



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

POSOUZENÍ ZÁSOBNÍHO OBJEMU NÁDRŽE VRANOV V KONTEXTU VÝVOJE MORFOLOGIE DNA NÁDRŽE A HYDROLOGICKÝCH PRVKŮ POVODÍ

ASSESSMENT OF THE VRANOV RESERVOIR STORAGE CAPACITY IN THE CONTEXT OF THE RESERVOIR
BED MORPHOLOGY EVOLUTION AND HYDROLOGY CHARACTERISTIC OF THE RIVER BASIN

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Jílek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav vodního hospodářství krajiny
Student: **Bc. David Jílek**
Vedoucí práce: **doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.**
Akademický rok: 2022/23
Studijní program: N0732A260025 Stavební inženýrství – vodní hospodářství a vodní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Posouzení zásobního objemu nádrže Vranov v kontextu vývoje morfologie dna nádrže a hydrologických prvků povodí

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Dno vodních nádrží podléhá dynamickým změnám vlivem ukládání sedimentů. Tento proces má v dlouhodobém horizontu efekt na objem vody v nádrži, který se v důsledku uvedených morfologických změn dna nádrže, ale také vývojem klimatologických a hydrologických prvků, v čase mění.

Cíle a výstupy diplomové práce:

Cílem diplomové práce je pomocí nejaktuálnějších dat batymetrického zaměření dna pomoci tzv. Single-beam echo sonaru provést vyhodnocení batygrafických křivek nádrže. Následně pomocí aktualizovaných dat provést analýzu zásobního objemu nádrže v podmínkách nejistot vstupních dat. Přesněji nejistot morfologických a hydrologických dat. Praktická aplikace bude provedena na nádrži Vranov v povodí řeky Dyje a dílčí výsledky práce budou sloužit pro potřeby přeshraničního projektu INTERREG AT-CZ "ATCZ28 SEDECO - Sediments, ecosystem services and interrelation with floods and droughts in the AT-CZ border region".

Seznam doporučené literatury a podklady:

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

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

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

Atlas DMT manuál verze 20.5, dostupný online: <https://www.atlasltd.cz/dmt/podpora/manualy/>

ArcGIS tutorials, dostupné online: https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/main/get-started/arcgis-tutorials.htm#ESRI_SECTION1_B1F0ED9E2C994CA4BA7C7F6696496EE4

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

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

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 31. 3. 2022

L. S.

doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.
vedoucí ústavu

doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

ABSTRAKT

Zásobní prostory nádrží mají hlavní funkci v akumulaci povrchové vody. Z důvodu zanášení nádrží, vlivem klimatické změny a současně špatným hospodařením se zemědělskou půdou, dochází k postupné ztrátě objemů v zásobních prostorech nádrží. Tato práce je zaměřena na analýzu zásobního objemu vodní nádrže Vranov. Analýza je zpracována na základě historických a aktualizovaných vstupních dat, konkrétně dat morfologických a hydrologických. Historická morfologická data jsou převzata z manipulačního řádu nádrže. Aktualizovaná morfologická data jsou zastoupena batymetrickým zaměřením dna nádrže Vranov z roku 2021, ze kterého se následně vypočítaly hodnoty objemů a ploch pro vykreslení batygrafických křivek nádrže. Zaměření dna nádrže proběhlo v rámci přeshraničního projektu INTERREG AT-CZ "ATCZ28 SEDECO - Sediments, ecosystem services and interrelation with floods and droughts in the AT-CZ border region", jako spolupráce mezi podnikem Povodí Moravy, s.p. a VUT FAST v Brně. Hydrologická data byla poskytnuta Českým hydrometeorologickým ústavem a jsou aktualizována o měření do roku 2020. Tato aktualizace zahrnuje i extrémně suchou epizodu let 2015 až 2018, která výsledky analýzy výrazně ovlivňuje. Na základě všech vstupních dat je pomocí simulace provozu nádrže vyhotovena analýza zásobního objemu nádrže s uvažováním ztrát, konkrétně ztrát vody výparem. Analýza je provedena jak pro deterministické řešení, tak i pro stochastické (statistické) řešení. Pro stochastické řešení proběhl výpočet zásobního objemu s uvažováním nejistot měření vstupních podkladů. Dílčí výsledky analýzy byly publikovány v článku Marton a Jílek: Posouzení zásobního objemu nádrže Vranov na aktualizovaná vstupní data, který sloužil jako podklad pro příspěvek na mezinárodní konferenci Vodní nádrže 2022 pořádané v Brně podnikem Povodí Moravy, s.p.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vodní nádrž Vranov, batygrafické křivky, zásobní objem, průměrný měsíční průtok, zabezpečení, nejistoty

ABSTRACT

The main function of the reservoir storage volumes is an accumulation of fresh water. Due to the reservoir sedimentation, the impact of climate change, and also unsuitable agricultural land management, a gradual capacity loss in the reservoir storage volumes is happening. The aim of the paper is to provide a storage capacity analysis of the Vranov reservoir. The analysis was made using the historical and updated input data, specifically morphological and hydrological data. The historical-morphological data were taken from the handling regulation guidelines. The upgraded morphological data were in the form of actual reservoir bathymetry measurement from 2021, from which the values of the volume and of the area for reservoir area-volume curves drawing were calculated. Bathymetric measurement was a part of an international project INTERREG AT-CZ "ATCZ28 SEDECO - Sediments, ecosystem services and interrelation with floods and droughts in the AT-CZ border region" as a cooperation between Povodí Moravy, s.p. and BUT FCE. The hydrologic data were provided by Czech Hydrometeorological Institute and have been updated till 2020. It includes an extreme drought event between 2015 and 2018 that significantly affected the results of the analysis. Based on the input data as well as reservoir storage simulation, an analysis of the reservoir storage capacity considering the water evaporation loss was created. The analysis has been made both for the deterministic and statistic solutions. In the statistic solution, a calculation of storage volume involving input data uncertainty was done. The partial results of the analysis were published in the paper Marton and Jílek: Posouzení zásobního objemu nádrže Vranov na aktualizovaná vstupní data. This paper was also a part of the presentation at the international conference Vodní nádrže 2022 in Brno organised by Povodí Moravy, s. p.

KEYWORDS

Water Reservoir Vranov, Area-Volume Curves, Storage Capacity, Mean Monthly Flows, Reliability, Uncertainty

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JÍLEK, David. *Posouzení zásobního objemu nádrže Vranov v kontextu vývoje morfologie dna nádrže a hydrologických prvků povodí*. Brno, 2023. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Posouzení zásobního objemu nádrže Vranov v kontextu vývoje morfologie dna nádrže a hydrologických prvků povodí* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 11. 1. 2023

Bc. David Jílek
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Posouzení zásobního objemu nádrže Vranov v kontextu vývoje morfologie dna nádrže a hydrologických prvků povodí* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2023

Bc. David Jílek
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Zde bych rád poděkoval vedoucímu práce panu doc. Ing. Danielu Martonovi, Ph.D. za jeho velkou ochotu, věnovaný čas, cenné rady a připomínky, které mi pomohly při zpracování diplomové práce. Také mu děkuji za společnou spolupráci v průběhu celého studia. Velké poděkování patří také mým rodičům a celé rodině, přátelům a přítelkyni za jejich neúnavnou podporu během celého mého studia.

OBSAH

1	ÚVOD	1
2	CÍL PRÁCE	3
3	ZÁKLADNÍ TEORIE	4
3.1	Definice nádrže.....	4
3.1	Batygrafické křivky	4
3.2	Základní rovnice nádrže.....	6
3.3	Rozdělení funkčních prostorů v nádrži	7
3.4	Výpočet zásobního objemu	8
3.5	Nejistoty měření	9
3.6	Statistické charakteristiky	12
4	METODY A POSTUP VÝPOČTU	15
4.1	Metoda Monte-Carlo	15
4.2	Data hydrologická, morfologická a ztráty vstupující do výpočtu	16
4.3	Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže	16
4.3.1	Úloha 1	17
4.3.2	Úloha 2	18
4.3.3	Výpočet zabezpečení odtoku vody z nádrže	19
4.4	Použitý software	20
4.4.1	ArcGIS.....	21
4.4.2	UNCE_RESERVOIR.....	21
5	PRAKTICKÁ APLIKACE	23
5.1	Vodní dílo Vranov	23
5.1.1	Popis území	24
5.1.2	Informace a technické údaje nádrže.....	25
5.2	Hydrologická data	26

5.3	Batygrafické křivky vodní nádrže Vranov	27
5.3.1	Zaměření dna nádrže	27
5.3.2	Digitální model terénu a aktualizované batygrafické křivky	31
5.4	Analýza zásobního objemu	34
5.4.1	Deterministické řešení úlohy 1	34
5.4.2	Stochastické řešení úlohy 1	37
5.4.3	Deterministické řešení úlohy 2	46
5.4.4	Stochastické řešení úlohy 2	49
6	SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ	69
6.1	Zanášení nádrže	69
6.2	Výsledky analýzy zásobního funkce nádrže	70
7	ZÁVĚR	74
8	SEZNAM ZDROJŮ A POUŽITÉ LITERATURY	76
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A VELIČIN	79
10	SEZNAM OBRÁZKŮ	83
11	SEZNAM TABULEK	85

1 ÚVOD

Během posledních let se klimatická změna jeví stále jako významnější problém, který ovlivňuje životní prostředí i lidskou společnost. Tato klimatická změna je způsobována zejména lidskou činností a nese s sebou oteplování atmosféry, oceánů a pevniny [5]. Mezi další a významné projevy patří výskyt hydrologických extrémů, jako je mimo jiné střídání suchých období a přívalových dešťů s povodněmi. Tyto hydrologické extrémy ovlivňují celou planetu, Českou republiku nevyjímaje [10]. Zmínit lze například ničivé povodně v roce 1997, 2002, 2006 a 2013 [15], dále pak extrémně suchou epizodu let 2015 až 2018, anebo také tornádo na Jižní Moravě v roce 2021 [17]. Jak tyto příklady naznačují, tak postupná změna klimatu má přímý vliv také na hydrologické podmínky v povodích a s nimi související hospodaření s povrchovými a podzemními zdroji vody [11].

Dalším z globálních problémů je špatné hospodaření se zemědělskou půdou, která je tak náchylná na vodní a větrnou erozi. To je způsobeno intenzifikací zemědělské výroby, kdy jsou vytvářeny velké půdní bloky bez ohledu na sklonitost a délku pozemku po spádnicích. Také zvolené osevní postupy (např. pěstování širokořádkových plodin) napomáhají k vodní erozi. Připojí-li se k takovému hospodaření střídání suchých období s přívalovými dešti související právě s klimatickou změnou, tak dojde ještě k umocnění rozrušování zemědělské půdy a odnosu splavenin do toků. Tyto vodou unášené částice (a na nich vázané látky) sedimentují ve vodních tocích a vodních nádržích, kde dochází k jejich akumulaci [14].

Dno vodních nádrží podléhá dynamickým změnám vlivem ukládání sedimentů. Tento proces má v dlouhodobém horizontu vliv na objem vody v nádrži, který se v důsledku uvedených morfologických změn dna nádrže, ale také vývojem klimatologických a hydrologických prvků, v čase mění. Zároveň se zanesením zkracuje doba zdržení vody v nádrži, zvyšuje se rychlost průtoku nádrží a také se snižuje zabezpečení odběru vody [13].

Posouzení funkčních objemů stávajících nádrží v dokumentu Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR [22] je vytyčeno jako jedno z adaptačních opatření v hospodaření s povrchovými vodními zdroji v rámci

přizpůsobení se změně klimatu. Proto se jeví jako nezbytné získávat co nej přesnější informace o dostupném objemu vody v nádržích společně s aktualizací meteorologických, morfologických a hydrologických dat [11].

2 CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce je pomocí nejaktuálnějších dat batymetrického zaměření dna pomocí tzv. Single-beam echo sonaru provést vyhodnocení batygrafických křivek nádrže. Následně pomocí aktualizovaných morfologických a hydrologických dat provést analýzu zásobního objemu nádrže v podmínkách nejistot. Přesněji nejistot vstupních morfologických a hydrologických dat. Praktická aplikace bude provedena na nádrži Vranov v povodí řeky Dyje a dílčí výsledky práce budou sloužit pro potřeby přeshraničního projektu INTERREG AT-CZ "ATCZ28 SEDECO - Sediments, ecosystem services and interrelation with floods and droughts in the AT-CZ border region".

3 ZÁKLADNÍ TEORIE

Analýza zásobního objemu nádrže bude provedena v rámci vodohospodářského řešení zásobní funkce nádrže. Nejprve je však nutné si definovat některé pojmy a nastínit základní teorii.

3.1 DEFINICE NÁDRŽE

Obecně se pojem nádrž používá pro omezený prostor, který se plní a prázdní v závislosti na čase, a to médiem tuhým, kapalným či plyným. Společnou funkcí všech nádrží je, že vyrovnávají časový průběh přísunu média do nádrže a časový průběh jeho odběru z nádrže [19].

Tato práce se bude zabývat pouze vodními nádržemi. Pod pojmem vodní nádrž se rozumí omezený prostor určený k hromadění vody za účelem jejího pozdějšího využití, k zachycení a transformaci povodňových průtoků na ochranu údolí pod nádrží nebo k vytvoření prostředí a k úpravě vlastností vody [19].

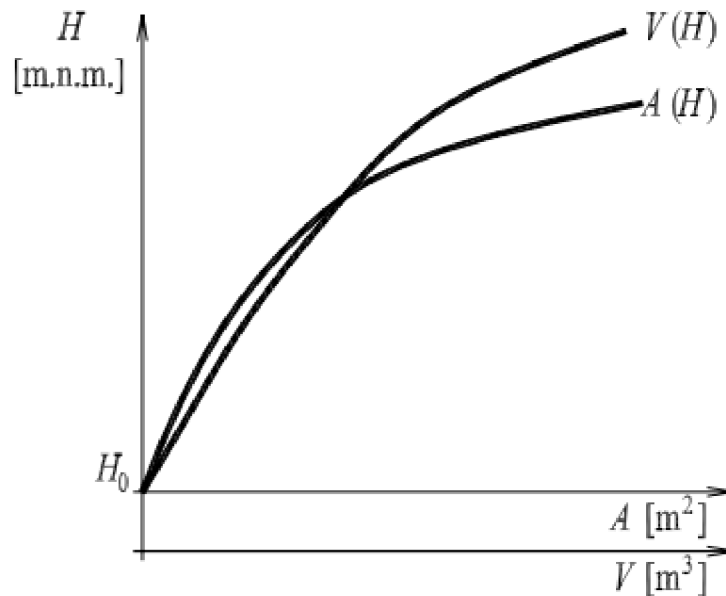
Vodní nádrže lze rozdělit podle účelu na zásobní, ochranné, vytvářející vodní prostředí a upravující vlastnosti vody. Zásobní nádrže zajišťují odběr vody nebo zlepšují průtoky v toku pod nádrží tak, že v období nadbytku vody vytvářejí její zásobu pro období jejího nedostatku. Ochranné nádrže slouží ke snížení povodňových průtoků. Zachycují špičky povodňových průtoků pro ochranu území pod nádrží před záplavami. Nádrže, které vytvářejí vodní prostředí, umožňují chov ryb, vodní drůbeže, rekreaci, vodní sporty a také například zlepšují životní prostředí. Do nádrží upravujících vlastnosti vody můžeme zařadit například nádrže usazovací a různé účelové nádrže. Většina vodních nádrží však plní více účelů současně, a proto se označují jako víceúčelové [19].

Hlavními parametry nádrže pak jsou objem, zatopená plocha a rozsah kolísání hladiny při její funkci [18].

3.1 BATYGRAFICKÉ KŘIVKY

Tato teoretická kapitola již byla popsána v bakalářské práci [6]. Pro diplomovou práci je ale stěžejní, a proto bude i zde rozebrána.

Batygrafické křivky jsou čáry zatopených ploch a čáry zatopených objemů, které udávají závislost mezi nadmořskou výškou hladiny vody v nádrži H a její plochou A a příslušným objemem nádrže V . Čára zatopených ploch se převážně určuje z vrstevnicového plánu a čára zatopených objemů se odvozuje z čáry zatopených ploch [18]. Batygrafické křivky jsou znázorněny na Obr. 1, kde $V(H)$ je čára zatopených objemů a $A(H)$ je čára zatopených ploch.



Obr. 1 Batygrafické křivky [18]

Při konstrukci křivek početní metodou je prvotní čára zatopených ploch. Podkladem pro její stanovení musí být mapy podrobné situace zátopy, které nesmějí být v měřítku menším než 1 : 5 000. Pro konstrukci křivky je nejprve nutné v nejnižším místě nádrže, které tvoří uzavřený útvar z hráze a stěn údolí, položit výšku plnění nádrže H_0 . Výška plnění nádrže se udává buď v nadmořských výškách, tedy v metrech nad mořem, nebo v reálných výškách, kdy $H_0 = 0$. Každé výšce plnění H odpovídá plocha hladiny A , kdy výšce H_0 odpovídá plocha hladina $A_0 = 0$. Poté se stanoví posloupnost výšek H postupným přičítáním přírůstku výšky plnění ΔH , až se dosáhne koncového bodu testované výšky plnění H_n . Odečtem plochy dle vrstevnic se naleznou plochy pro odpovídající výšky plnění. Průběh čáry zatopených ploch je určen jednotlivými diskrétními body $(H_i; A_i)$, které se vynesou do grafu a pomocí přímky nebo křivítka se spojí. Konstrukce čáry je přibližná a závisí na měřítku použitých podkladů a na volbě velikosti ΔH [19].

Při odvození čáry zatopených objemů platí, že v diskrétním bodě výšky plnění H_i je dána zatopená plocha A_i a odpovídající objem plnění nádrže V_i . Zvětší-li se plnění nádrže na hodnotu H_{i+1} , při dané zatopené ploše A_{i+1} , tak odpovídající hodnota objemu plnění nádrže V_{i+1} se vypočte dle vztahu (1). Protože pro $H_0 = 0$ platí $V_0 = 0$, tak je možné postupným výpočtem objemů, pro odpovídající výšky plnění a zatopené plochy, stanovit jednotlivé diskrétní body $(H_i; V_i)$. Vynesením do grafu a spojením bodů se získá čára zatopených objemů [19].

$$V_{i+1} = V_i + \frac{A_i + A_{i+1}}{2} (H_{i+1} - H_i) \quad (1)$$

kde je:

H_i	výška plnění v diskrétním bodě i
H_{i+1}	navýšená výška plnění
A_i	zatopená plocha v diskrétním bodě i
A_{i+1}	zatopená plocha odpovídající výšce plnění H_{i+1}
V_i	objem plnění nádrže v diskrétním bodě i
V_{i+1}	objem plnění nádrže odpovídající výšce plnění H_{i+1}

3.2 ZÁKLADNÍ ROVNICE NÁDRŽE

Základním podkladem pro vodohospodářské řešení a provozování nádrží jsou údaje o přítoku vody do nádrže $Q = f_1(t)$ a odtoku vody z nádrže $O = f_2(t)$, které jsou funkcí času. Obě tyto funkce jsou obecně natolik složité, že je není možno analyticky popsat. Proto se pro jejich interpretaci volí tabelární nebo grafické zpracování, kde mohou nabývat diskrétních nebo spojitých hodnot závislých na čase [19]. Objem vody, který přiteče do nádrže za nekonečně malý časový interval, je dán vztahem (2).

$$dV = (Q(t) - O(V(t))) dt \quad (2)$$

kde je:

dV	objem vody, který nateče do nádrže
dt	časový interval

$Q(t)$ střední hodnota přítoku vody do nádrže

$O(V(t))$ střední hodnota odtoku vody z nádrže

Vztah (2) lze upravit na základní diferenciální rovnici, dle zákona zachování hmotnosti pro nestačitelnou kapalinu.

$$Q(t) - O(V(t)) = \frac{dV(t)}{dt} \quad (3)$$

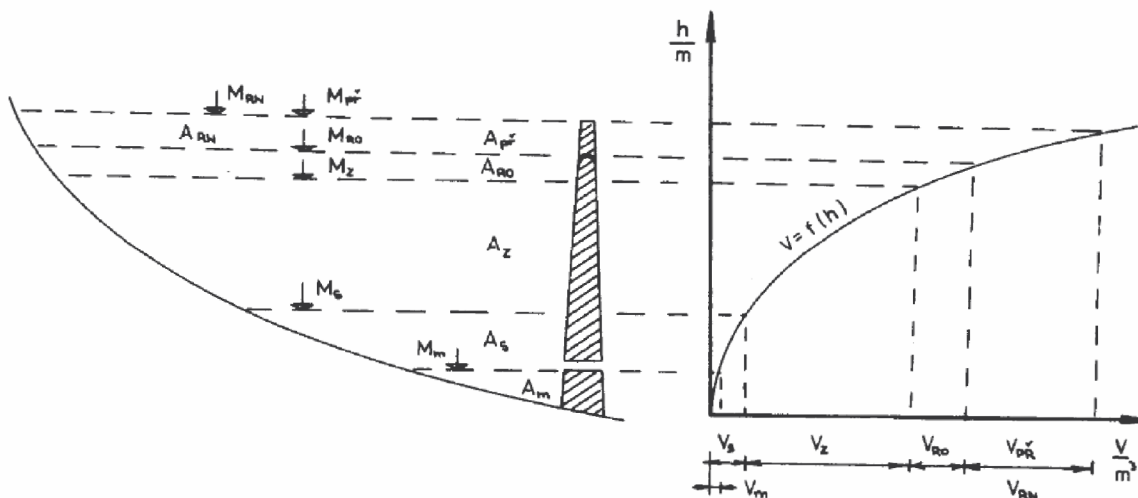
kde je:

$dV(t) / dt$ okamžitá změna objemu vody v nádrži (retence)

Dle vztahu (3) mohou v nádrži nastat tři stavy. Když $Q(t) > O(V(t))$, tak se nádrž plní. Když $Q(t) < O(V(t))$, tak se nádrž prázdní a když $Q(t) = O(V(t))$, tak se plnění nádrže nemění [19].

3.3 ROZDĚLENÍ FUNKČNÍCH PROSTORŮ V NÁDRŽI

Celkový prostor nádrže A_c a objem V_c lze rozdělit na dílčí prostory, kde každý má svoji funkci a slouží k celkovému fungování nádrže. Rozdělení funkčních prostorů a objemů v nádrži je naznačeno na Obr. 2.



Obr. 2 Umístění funkčních prostorů v nádrži [19]

U úplného dna nádrže se nachází mrtvý prostor A_m , který je umístěný pod úrovní spodních výpustí a nelze jej gravitačně vyprázdnit. Mrtvý prostor bývá součástí prostoru stálého nadržení [19].

Prostor stálého nadržení A_S je za normálního provozu nádrže nevyužíván. Funkce a požadavky tohoto prostoru jsou zejména kvalitativní. Konkrétně se jedná například o požadavky hygienické a estetické, požadavky na dodržení potřebné kvality vody v zásobním prostoru, zejména pak dodržení vhodné teploty. Další funkcí je chov ryb. Prostor stálého nadržení se ve výjimečných případech považuje za poruchovou rezervu nádrže, kterou lze využít při poruše dodávky vody [19].

Dále se v nádrži nachází zásobní prostor A_Z . Tento prostor slouží k řízení odtoku vody z nádrže tak, aby nalepšený odtok O_p neklesl pod jeho minimální mez stanovenou manipulačním řádem nádrže. Je tedy využíván k nalepšování celkového odtoku z nádrže, který se rovná součtu odběrů a odtoku vody do toku. Velikost zásobního prostoru je stanovena vodohospodářským řešením nádrže, což bude podrobněji popsáno v následujících kapitolách [19].

Následuje retenční prostor A_R , který slouží k zachycení povodní, k transformaci povodňových vln a také k řízení odtoku z nádrže tak, aby nebyl překročen neškodný odtok O_{NE} . Retenční prostor se dále dělí na ovladatelný a neovladatelný [19].

Retenční prostor ovladatelný A_{RO} je umístěn nad maximální hladinou zásobního prostoru. Shora je prostor ohraničen nejnižší úrovní přelivné hrany bezpečnostního přelivu, případně u úrovní horní hrany uzávěru u hrazeného přelivu. Retenční prostor neovladatelný A_{RN} je umístěn nad retenčním prostorem ovladatelným a dosahuje až po úroveň maximální hladiny v nádrži [19].

3.4 VÝPOČET ZÁSOBNÍHO OBJEMU

V České republice se metody výpočtu zásobního objemu dělí na metody simulační a statistické (analytické). V rámci této práce budou využívány simulační modely. Ty vycházejí ze základní rovnice nádrže popsané v předchozích kapitolách a z jejich upravených tvarů. Pomocí simulačních modelů lze řešit velikost zásobního objemu v reálných i umělých průtokových řadách.

Princip řešení pomocí simulačního modelu je popsán jako matematická technika, která napodobuje provoz nádrže ve sledovaném časovém úseku při zadané

počáteční podmínce (plnění nádrže v čase t_0) a zadání omezujících podmínek, které závisí na typu úlohy [19].

Typ simulačního modelu lze dále rozdělit podle podkladů vstupujících do výpočtu a podle změn v průběhu výpočtu. Simulační modely tak můžeme rozdělit na deterministické, stochastické, statické a dynamické. Deterministický model používá jako podklad reálnou průtokovou řadu. Naopak stochastický model má jako podklad umělou průtokovou řadu a je dán náhodným charakterem libovolné veličiny vstupujících do řešení. Výstupem takového modelu jsou statistické charakteristiky. Statický model je takový model, kdy se v průběhu řešení nemění strategie řízení odtoku ani nároky uživatelů vody. Naopak dynamický model respektuje změny nároků uživatelů vody a také respektuje změnu strategie řízení odtoku [19].

V praktické aplikaci budou použity simulační modely deterministické a stochastické pro řešení jednotlivých úloh, které budou popsány v rámci metodiky.

3.5 NEJISTOTY MĚŘENÍ

Nejistoty se stanovují za účelem zjištění intervalu hodnot okolo výsledku měření, který je možné přiřadit k hodnotě měřené veličiny. Model měření musí být schopen popsat nejen vlastní měření, ale i to, jak se do výsledku promítají ovlivňující okolní vlivy, které představují jednotlivé zdroje výsledné nejistoty. Existují dva základní typy nejistot podle způsobu, kterým byly získány, a to nejistoty typu A a nejistoty typu B [10], [21].

Stanovení nejistoty typu A je provedeno výpočtem z opakovaně provedených měření, tedy ze statistického zpracování opakované série měření. Standardní nejistota typu A je vyjádřena pomocí směrodatné odchylky výběrových průměrů dle vztahu (4).

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

kde je:

u_A	standardní nejistota typu A
n	počet měření dané veličiny
i	i-tá hodnota měřené veličiny
x_i	i-tý opakovaný výběr
\bar{x}	výběrový průměr, nebo také střední hodnota

Naopak pro nejistoty typu B platí, že jsou stanoveny jinak než opakovaným měřením. Zde je proto nutné najít všechny možné zdroje nejistot. Těmi mohou být vlivy vázané na použité přístroje a zařízení, vlivy okolního prostředí a jeho změny, vliv metody, vliv operátora a ostatní vlivy zastoupené převážně náhodnými omyly při odečtech a zápisu hodnot. Pro určení standardní nejistoty typu B se vychází z dílčích nejistot jednotlivých zdrojů [10], [21]. Je-li známá maximální odchylka j-tého zdroje nejistoty, pak se standardní nejistota zdroje určí podle vztahu (5).

$$u_{Bzj} = \frac{Z_{jmax}}{\chi} \quad (5)$$

kde je:

u_{Bzj}	dílčí nejistota j-tého zdroje
Z_{jmax}	známá maximální odchylka j-tého zdroje nejistoty
χ	součinitel vycházející z daného rozdělení pravděpodobnosti, kterým se daný zdroj řídí (pro normální rozdělení $\chi = 3$)

Celková standardní nejistota typu B se určí geometrickým součtem nejistot jednotlivých zdrojů dle vztahu (6).

$$u_B = \sqrt{\sum_{j=1}^n u_{Bzj}^2} \quad (6)$$

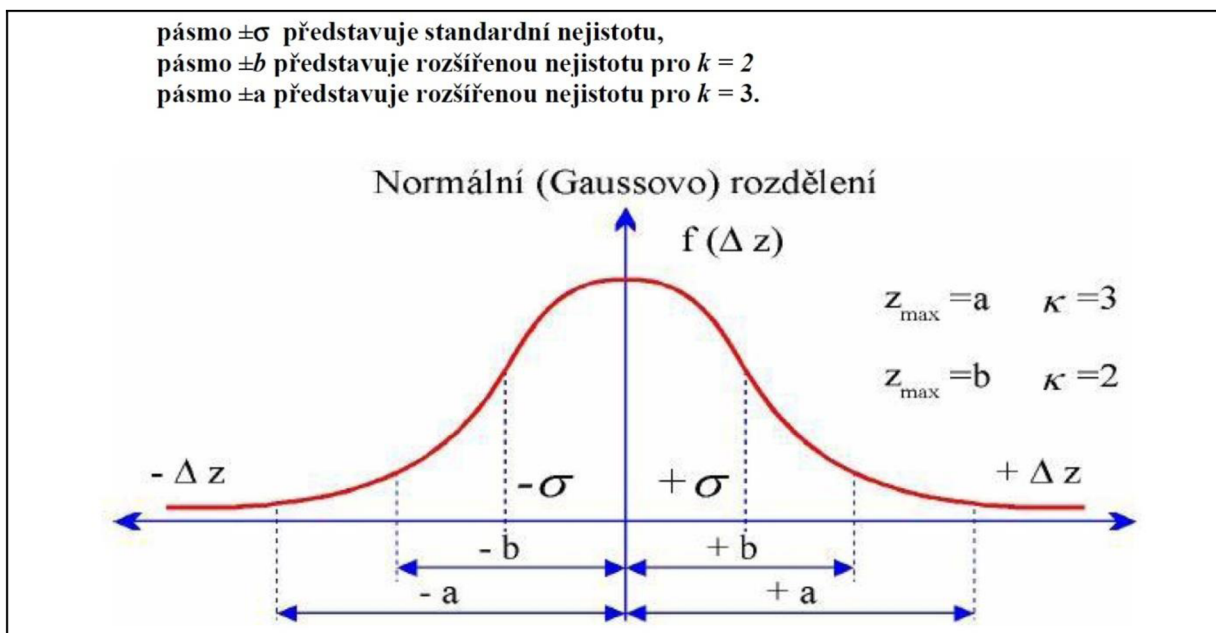
kde je:

u_B standardní nejistota typu B

Kombinovaná standardní nejistota je pak stanovena vztahem (7) jako geometrický průměr standardní nejistoty typu A a standardní nejistoty typu B.

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (7)$$

Tímto postupem se získá standardní kombinovaná nejistota. Standardní znamená, že při skládání byly použity hodnoty směrodatných odchylek. Rozdělení takto určené nejistoty je pak možné považovat za přibližně normální. Z toho vyplývá, že tato nejistota pokrývá cca 68,2 % možných výsledků, tedy přibližně 1/3 výsledků může padnout mimo stanovené pole nejistot. Pro vyšší pokrytí možných výsledků je pak možno použít koeficient rozšíření k . Pro normální rozdělení se pak nejčastěji používají koeficienty rozšíření $k = 2$ a $k = 3$ pro pravděpodobnostní pokrytí přibližně 95,4 % a 99,6 % [10]. Standardní a rozšířené nejistoty pro normální rozdělení jsou znázorněny na Obr. 3.



Obr. 3 Případy standardní a rozšířené nejistoty pro normální rozdělení pravděpodobnosti [10]

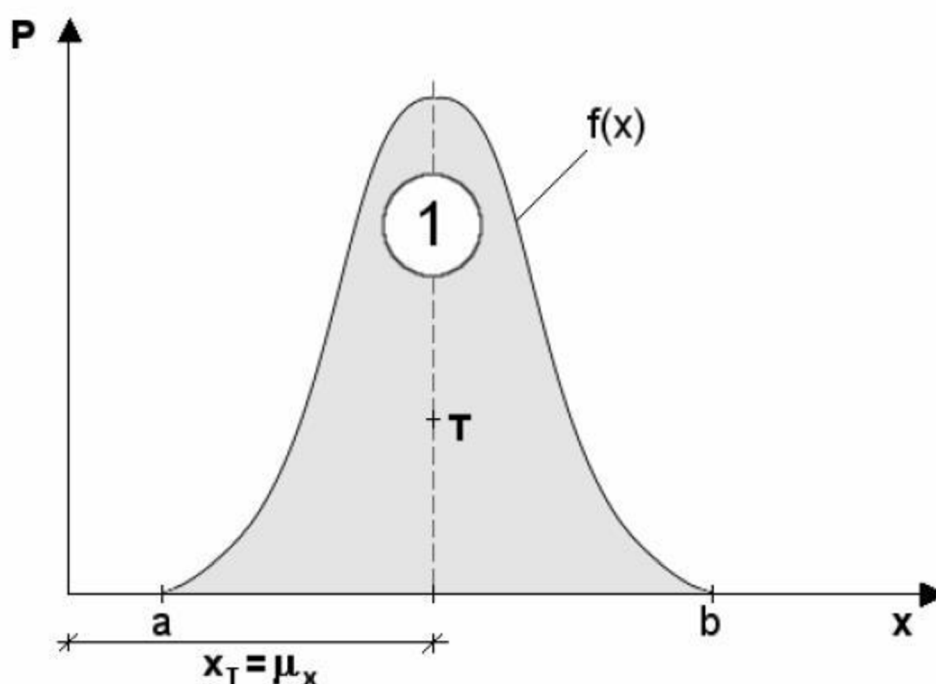
3.6 STATISTICKÉ CHARAKTERISTIKY

Statistické charakteristiky vypovídají o tvaru grafu hustoty pravděpodobnosti. V hydrologii se používají k popisu základního souboru hydrologických dat. Mezi nejčastěji používané statistické charakteristiky patří střední hodnota, disperse (rozptyl), směrodatná odchylka, koeficient variace, koeficient asymetrie a koeficient špičatosti. V rámci praktické analýzy byly hodnoty statisticky vyhodnoceny a prezentovány jsou ve formě středních hodnot a směrodatných odchylek. Statistické charakteristiky budou popsány dle [18].

Střední hodnota

Střední hodnota se značí μ_x a jedná se o hodnotu prvního obecného momentu ($k=1$). Střední hodnota patří k tzv. charakteristikám polohy a její hodnota se rovná x-ové souřadnici těžiště hustoty pravděpodobnosti (viz Obr. 4).

$$\mu_x = \mu(x) = \mu[x] = m_1[x] = \int_a^b xf(x)dx \quad (8)$$



Obr. 4 Střední hodnota jako x-ová souřadnice těžiště hustoty pravděpodobnosti [18]

Disperze

Disperze neboli rozptyl se značí D_x a jedná se o hodnotu druhého centrálního momentu ($k=2$). Pokud se hodnota disperse blíží nule, tak je graf hustoty

pravděpodobnosti úzký a špičatý, pokud roste hodnota disperze do nekonečna, tak je tvar grafu plochý a nízký.

$$D_x = D(x) = D[x] = M_2(x) = m_2(x - \mu_x) = \int_a^b (x - \mu_x)^2 f(x) dx \quad (9)$$

Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka, nebo také střední kvadratická odchylka se značí σ_x a jedná se o odmocninu z disperze. Vychází tak z druhého centrálního momentu.

$$\sigma_x = \sigma(x) = \sigma[x] = \sqrt{D_x} \quad (10)$$

Koeficient variace

Koeficient variace $C_{v,x}$ se definuje jako podíl směrodatné odchylky a střední hodnoty. Opět tedy vychází z druhého centrálního momentu. Používá se k vzájemnému porovnávání souborů, ve kterých se hodnoty náhodných veličin řádově liší.

$$C_{v,x} = \frac{\sigma_x}{\mu_x} \quad (11)$$

Koeficient asymetrie

Koeficient asymetrie, nebo také šikmosti se značí $C_{a,x}$ a vyjadřuje míru asymetrie jevů okolo aritmetického průměru. Určí se jako podíl třetího centrálního momentu a třetí mocniny směrodatné odchylky.

$$C_{s,x} = \frac{M_3(x)}{\sigma^3(x)} \quad (12)$$

Pokud je $C_s > 0$, tak se křivka hustoty pravděpodobnosti naklání doleva, pro $C_s = 0$ je křivka symetrická a pro $C_s < 0$ platí náklon doprava.

Koeficient špičatosti

Koeficient špičatosti neboli excese se značí E_x a je mírou koncentrace dat kolem určité hodnoty ve srovnání s definovaným rozdělením veličiny.

$$E_x = \frac{M_4(x)}{\sigma^4(x)} - 3 \quad (13)$$

U normálního rozdělení je $E_x = 0$. Více plochá rozdělení mají $E_x < 0$ a pro více špičatá rozdělení platí, že $E_x > 0$.

Pro stanovení statistických charakteristik je nutný minimální počet realizací, aby jednotlivé charakteristiky byly určeny s chybou maximálně $\pm 10\%$. Minimální počet realizací pro jednotlivé statistické charakteristiky je uveden v Tab. 1.

Tab. 1 Minimální počet realizací pro odhad statistické charakteristiky s chybou $\pm 10\%$ [18]

Statistická charakteristika	Počet realizací
μ_x	20
$D_x, \sigma_x, C_{v,x}$	40
$C_{a,x}$	80
E_x	300

V rámci práce při použití metody Monte-Carlo je zvolen počet realizací 300. Byl testován i vyšší počet realizací, ale na výsledné hodnoty už to nemělo vliv a nijak se neměnily. Proto byl zvolen počet realizací 300 a považuje se za dostatečný.

4 METODY A POSTUP VÝPOČTU

V následujících kapitolách budou popsány metody a postupy, které jsou dále využity v praktické aplikaci.

4.1 METODA MONTE-CARLO

Pro vygenerování nejistotou zatížených vstupních parametrů je použita metoda Monte-Carlo. Ta předpokládá, že obecná vstupní změřená hodnota X je náhodná (stochastická) veličina, což umožňuje generovat nové realizace hodnoty kolem vstupní měřené hodnoty X jako náhodné a na sobě nezávislé. Toto umožňuje popsat vstupní hodnotu pomocí odpovídajícího normálního rozdělení pravděpodobností $N(\mu(X), \sigma(X))$. Zavedením funkce normálního rozdělení pravděpodobnosti je umožněno zadávat v okolí výsledné hodnoty náhodné veličiny pomocí střední hodnoty ($\mu(X)$ = naměřená hodnota X) a směrodatné odchylky ($\sigma(X)$ = standardní nejistota) [10].

Základem řešení generátoru náhodných řad je opakované použití metody Monte Carlo. Pomocí generátoru náhodných čísel a příslušných distribučních křivek jsou opakovaně generovány náhodné průběhy řady prvků X . Každému prvku X_j odpovídá distribuční křivka pro 1 až n prvků v řadě. Opakovaně náhodně generované průběhy řady prvků X jsou označeny jako NX_j , a to pro $j = 1, 2, \dots, PO$, kde PO je počet opakování [10]. V rámci praktické aplikace je zvolen počet opakování $PO = 300$.

Obecný postup generování náhodných prvků může být aplikován na měřené veličiny vstupující do vodohospodářského řešení zásobního objemu nádrže jako například řady průměrných měsíčních průtoků Q_m , hodnoty výparu z vodní hladiny E , anebo hodnoty průsaku tělesem hráze. Jde také uplatnit při generování náhodných poloh bodů v 2D souřadnicovém systému jako například pro generování náhodných realizací batygrafických křivek (čar zatopených ploch a objemů) [10].

4.2 DATA HYDROLOGICKÁ, MORFOLOGICKÁ A ZTRÁTY VSTUPUJÍCÍ DO VÝPOČTU

Do vodohospodářského řešení zásobní funkce nádrže vstupuje několik parametrů. Hydrologická data jsou prezentována reálnou průtokovou řadou (přítok vody do nádrže). Morfologická data tvoří batygrafické křivky nádrže. Dále je nutné zavádět ztráty vody. Mezi ztrátové činitele se řadí výpar vody z vodní hladiny, průsak tělesem hráze a ostatní ztráty (např. netěsnosti uzávěru a ztráty namrzáním). Všechna podkladní data vstupující do výpočtu zásobní funkce vodní nádrže Vranov budou podrobně popsána v rámci praktické aplikace.

4.3 VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ ZÁSOBNÍ FUNKCE NÁDRŽE

Při vodohospodářském řešení zásobní funkce nádrže hledáme vztah mezi hodnotou nalepšeného odtoku O_p , velikostí zásobního objemu nádrže V_z a zabezpečeností nalepšeného odtoku P . Zároveň je znám časový průběh přítoku vody $Q(t)$, který je zadaný chronologickou řadou. Vztahy mezi těmito veličinami řešené simulačními metodami je možné provádět početně nebo graficky. Pro početní řešení je vhodné použít výpočetní techniku z důvodu velkého množství opakovaných výpočtů. Grafické řešení je na druhou stranu přehlednější. Princip řešení je u obou případů stejný, pouze dochází k rozdílné interpretaci stejného postupu [19].

Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže je možné řešit pomocí základních typů úloh podle toho, která z popsaných tří veličin je hledaná a které dvě jsou zadané. U úlohy 1 je velikost zásobního objemu V_z funkcí nalepšeného odtoku O_p a zabezpečenosti P , kdy $P = 100\%$ (**Úloha 1: $V_z = f(O_p, P)$**). Úloha 2 hledá zabezpečenost P , která je funkcí nalepšeného odtoku O_p a velikosti zásobního objemu V_z (**Úloha 2: $P = f(O_p, V_z)$**). Úloha 3 je podobná úloze 1, kdy je hledaný zásobní objem V_z funkcí nalepšeného odtoku O_p a zabezpečenosti P , zde je však zabezpečenost $P < 100\%$ (**Úloha 3: $V_z = f(O_p, P)$**). V úloze 4 je hledaný nalepšený odtok O_p , který je funkcí zásobního objemu V_z a zabezpečenosti P (**Úloha 4: $O_p = f(V_z, P)$**) [19].

V rámci praktické aplikace budou řešeny úloha 1 a úloha 2, a proto budou dále podrobněji popsány. Pro obě úlohy platí, že se provádí jednorázovou simulací

provozu nádrže v jediné variantě. Počáteční podmínkou výpočtu je plná nádrž a okrajovou podmínkou časový průběh přítoku vody do nádrže. Základním postupem výpočtů obou úloh je, že se v každém kroku řešení provádí porovnání mezi přítokem vody do nádrže Q a požadovaným nalepšeným odtokem O_p . Když je $O_p > Q$, tak se nádrž prázdní a naopak, když je $O_p < Q$, tak se nádrž plní [19].

4.3.1 Úloha 1

Jak již bylo psáno, tak úloha 1 je typ úlohy, kde je hledaná velikost zásobního objemu V_z funkcí nalepšeného odtoku O_p a zabezpečení P , kde $P = 100 \%$. Počáteční podmínkou je plná nádrž a v každém bilančním kroku (na konci měsíce) se stanovuje simulace prázdnění nádrže [19], [20].

Základem simulačního modelu vodohospodářského řešení zásobní funkce nádrže pro úlohu 1 je upravená základní rovnice nádrže převedená do nerovnosti viz (14).

$$0 \leq \sum_{i=0}^k (O_i - Q_i)\Delta t + (O_{i+1} - Q_{i+1})\Delta t \quad (14)$$

kde je:

O_i odtok vody z nádrže v daném časovém kroku $i = 1, \dots, k$ [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Q_i přítok vody do nádrže v daném časovém kroku $i = 1, \dots, k$ [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Δt časový krok výpočtu [měsíc]

Pomocí této nerovnosti je možné vypočítat velikost zásobního objemu V_z pro zabezpečení $P = 100 \%$, což znamená, že v nádrži během celého řešeného období nevznikne nedodávka vody vyvolaná nedostatečným přítokem vody do nádrže. To se provede vyčíslením sumy v jednotlivých časových krocích $i = 1, \dots, k$. Nerovnost je omezena hodnotou 0, která značí plnou nádrž. Vypočtením hodnoty výrazu pro aktuální krok se získá hodnota aktuálního prázdnění zásobního objemu nádrže $V'_{z,i}$. Vypočtením všech časových kroků se získá průběh prázdnění a plnění nádrže. Maximální hodnota vyprázdnění nádrže za řešené období se pak rovná hledanému zásobnímu objemu nádrže V_z se zabezpečení $P = 100 \%$ [19], [20].

4.3.2 Úloha 2

Úloha 2 je typ úlohy, kde je hledaná zabezpečenost P funkcí nalepšeného odtoku O_p a velikosti zásobního objemu V_z . Počáteční podmínkou je opět plná nádrž a v každém bilančním kroku (na konci měsíce) se stanovuje simulace prázdnění nádrže. Zásobní objem V_z je známý. Rozdíl mezi úlohou 1 a úlohou 2 je v tom, že se v úloze 2 navíc testuje omezující podmínka $\Sigma (O_p - Q)$, neboli zda na konci každého měsíce nepřesahuje nárok na vyprázdnění nádrže zadaný zásobní [19], [20].

Základem simulačního modelu vodohospodářského řešení zásobní funkce nádrže v podmínkách nejistot pro úlohu 2 je upravená základní rovnice nádrže převedená do nerovnosti viz (15).

$$0 \leq \sum_{i=0}^k (O_i - Q_i)\Delta t + (O_{i+1} - Q_{i+1})\Delta t \leq V_{z,max} \quad (15)$$

kde je:

O_i odtok vody z nádrže v daném časovém kroku $i = 1, \dots, k$ [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Q_i přítok vody do nádrže v daném časovém kroku $i = 1, \dots, k$ [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Δt časový krok výpočtu [měsíc]

$V_{z,max}$ maximální zásobní objem nádrže [m^3]

Nerovnost je zleva omezena hodnotou 0, která značí plnou nádrž a zprava je omezena hodnotou $V_{z,max}$, která značí prázdný zásobní objem nádrže. Vypočtením hodnoty výrazu pro aktuální krok se získá hodnota aktuálního prázdnění zásobního objemu nádrže $V_{z,i}$, která se následně musí otestovat, zda se nachází v intervalu od 0 do $V_{z,max}$. Pokud se hodnota vypočteného výrazu rovná $V_{z,max}$, tak vznikne porucha [19], [20]. Tím získáme poruchové měsíce pro výpočet zabezpečenosti podle trvání. Pokud se v určitém roce nachází alespoň jeden poruchový měsíc, tak se tento rok označí také jako poruchový. Poruchové roky se použijí pro výpočet zabezpečenosti podle opakování. Nakonec se pro každý poruchový měsíc vypočte velikost poruchy D (množství nedodané vody) odečtením skutečného měsíčního přítoku Q_m od nalepšeného odtoku O_p .

Množství nedodané vody se použije pro výpočet zabezpečení dodání vody [20].

4.3.3 Výpočet zabezpečení odtoku vody z nádrže

Mírou zabezpečení nalepšeného odtoku O_p , jako výsledku řízení odtoku je pravděpodobnost, že skutečný odtok neklesne pod plánovanou hodnotu O_p . Kvantifikátorem tohoto jevu z tří různých hledisek jsou následující ukazatelé zabezpečení [10]. V práci jsou zabezpečení vypočteny dle Čegodajeva (17), (18), (19).

Zabezpečení podle trvání

Klasifikace poruchy zásobního objemu v daném měsíci pro výpočet zabezpečení je dán dle (16).

$$Z_{t,i} = \begin{cases} Z_{t,i} = 1, & O_i \geq O_p \\ Z_{t,i} = 0, & O_i < O_p \end{cases} \quad (16)$$

$Z_{t,i} = 1$ popisuje stav zásobního objemu nádrže v bezporuchovém (vyhovujícím) měsíci. $Z_{t,i} = 0$ popisuje stav zásobního objemu nádrže v poruchovém (nevyhovujícím) měsíci. Z hodnot $Z_{t,i}$ je pak možné vypočítat zabezpečení podle trvání viz (17).

$$P_t = \frac{(\sum_{i=1}^n Z_{t,i}) - 0,3}{n + 0,4} \cdot 100 \quad (17)$$

Suma $Z_{t,i}$ zde představuje počet bezporuchových měsíců a n je počet všech měsíců v řešeném období [10].

Zabezpečení podle opakování

Jak již bylo psáno, tak pokud se v daném roce vyskytuje alespoň jeden poruchový měsíc, tak se tento rok uvažuje také jako poruchový. Zabezpečení podle opakování je tedy vypočítaná v časovém kroku jeden rok [19]. Vypočte se opět dle Čegodajeva viz (18).

$$P_o = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} \cdot 100 \quad (18)$$

kde je:

m počet bezporuchových let

n celkový počet let v řešeném období

Zabezpečení dodání vody

Ve všech měsících, kdy je odtok vody z nádrže O menší než požadovaný odtok vody z nádrže O_p , nastane porucha v dodávce vody z nádrže. Zabezpečení podle dodávky vody P_d je potom dána poměrem skutečně odteklého množství vody k plánovanému odteklému množství v daném období viz (19) [10].

$$P_d = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} \cdot 100 \quad (18)$$

kde je:

m skutečně odteklé množství využití vody [m^3]

n plánované odteklé množství vody při O_p v daném období [m^3]

Velikosti m a n pro výpočet zabezpečení dodání vody se stanoví dle vztahů (19) a (20).

$$n = O_p \cdot t \quad (19)$$

$$m = O_p \cdot t - \sum D \quad (20)$$

kde je:

O_p nalepšený (požadovaný) odtok vody z nádrže [$m^3 \cdot s^{-1}$]

t celkový čas v daném období [s]

$\sum D$ objem vody nedodaný do systému (hloubka poruchy) [m^3]

V rámci praktické aplikace byly počítány zabezpečení podle trvání a zabezpečení dodání vody.

4.4 POUŽITÝ SOFTWARE

Výše popsané metody budou v rámci praktické aplikace řešeny pomocí programů ArcGIS, UNCE_RESERVOIR a MS Excel, kdy budou nejprve vypočteny

nové batygrafické křivky z aktuálního zaměření nádrže pomocí programu ArcGIS. Výstupy budou upraveny do tabulky a grafu pomocí programu MS Excel. Následně budou v MS Excel upravena hydrologická data do vyhovujících formátů. Takto získané vstupy budou použity pro analýzu zásobního objemu pomocí programu UNCE_RESERVOIR.

4.4.1 ArcGIS

Jak již bylo zmíněno, tak k výpočtu batygrafických křivek byl použit program ArcGIS, konkrétně ArcMap. Nejprve bylo nutné nastavení výchozího souřadnicového systému na JTSK Krovak EastNorth pro správné zobrazení dat a k výpočtu objemů. Následně byly načteny zaměřené body do databázového souboru *dBase*. Tyto databázové soubory je možné sloučit do jednoho souboru pomocí funkce *Merge* a následně vytvořit digitální výškový model DEM pomocí funkce *Topo to Raster*. Tento model je následně nutný ořezat tak, aby do výpočtu zatopených objemů a ploch vstupovaly pouze žádoucí oblasti nádrže. Požadovaná oblast se z celkového digitálního modelu vyřízne polygonem pomocí funkce *Extract by Mask*. Z takto oříznutého digitálního výškového modelu je již možné vypočítat zatopené objemy a plochy nádrže. To se provede funkcí *Surface Volume*. Tato funkce vytvoří pro každou námi zvolenou nadmořskou výšku textový soubor, který již obsahuje vypočtený objem a plochu. Takto získaná data se následně upraví do tabulky v programu MS Excel a vymodelují se čáry zatopených objemů a ploch.

Postup práce s programem ArcGIS proveden dle [3] byl již podrobně popsán v rámci bakalářské práce včetně verifikace zvoleného postupu [6].

4.4.2 UNCE_RESERVOIR

K samotným výpočtům zásobní funkce nádrže byl použit program UNCE_RESERVOIR, který byl vyvinut na Ústavu vodního hospodářství krajiny fakulty stavební VUT v Brně (dále FAST VUT ÚVHK). Program slouží k výpočtům zásobního objemu nádrže s uvažováním ztrát vody z nádrže a nejistot parametrů vstupujících do řešení [12].

Úloha vychází z řešení základní rovnice nádrže v součtovém tvaru, kdy podstatou úlohy je výpočet maximálního zásobního objemu nádrže při 100%

zabezpečení odtoku vody z nádrže a úloha, kdy je stanovena zabezpečení podle trvání a množství nedodané vody pro známé hodnoty nejlepšího odtoku a zásobního objemu. Základem výpočtů je jednorůchodová simulace provozu nádrže. Řešení uvažuje ztráty vody z nádrže, ale také nejistoty všech vstupujících parametrů do výpočtu. Výsledkem výpočtů jsou jednak velikosti zásobního objemu nádrže s uvažováním ztrát a bez uvažování ztrát vody z nádrže, ale také hodnoty objemu nádrže s uvažováním nejistot vstupních dat [7]. Tyto úlohy byly podrobně popsány v předchozích kapitolách 4.3.1 a 4.3.2.

Vstupními podklady (ve formátu textových souborů) programu UNCE_RESERVOIR jsou soubory reálné průtokové řady průměrných průtoků, batygrafické křivky nádrže, hodnota průměrného ročního výparu z vodní hladiny a hodnota průsaku tělesem hráze. Jelikož bylo v rámci předchozích prací na FAST VUT ÚVHK zjištěno, že vliv průsaku tělesem hráze je oproti ostatním vstupům zanedbatelný, tak nebude v rámci praktické aplikace vstupovat do výpočtů. Dále se v softwaru vyplňují informace o nejlepšího odtoku a velikosti vstupních nejistot měření jednotlivých veličin [7].

Výstupní soubory obsahují data odtoku vody z nádrže bez ztrát a se ztrátami, hodnoty zásobního objemu nádrže, hodnoty zabezpečení trvání a zabezpečení dodání vody. Dále pak statistické charakteristiky zásobního objemu nádrže, zabezpečení trvání a zabezpečení dodání vody [7].

Výstupní data ze softwaru UNCE_RESERVOIR jsou poté vhodně upraveny v programu MS Excel do tabulek a grafů a prezentovány v rámci praktické aplikace.

5 PRAKTICKÁ APLIKACE

Praktická aplikace byla provedena pro reálně provozovanou vodní nádrž Vranov. V rámci praktické aplikace bude popsáno samotné vodní dílo, dále pak proces zaměření dna nádrže, které sloužilo pro vykreslení aktualizovaných batygrafických křivek. Zároveň budou popsána hydrologická data spojená s nádrží. Tyto vstupy se použily pro analýzu zásobního objemu pomocí softwaru UNCE RESERVOIR a všechny výsledky budou postupně rozebrány.

5.1 VODNÍ DÍLO VRANOV

Vodní nádrž Vranov byla uvedena do provozu v roce 1934, správcem vodního díla je Povodí Moravy, s.p. Nádrž se nachází na 175,41 km řeky Dyje a její hlavní účely jsou hydroenergetika, zásobování vodou, protipovodňová ochrana, rekreace, sportovní rybolov a plavba [24].



Obr. 5 Vranovská přehrada během výstavby a v provozu [25]

5.1.1 Popis území

Vodní nádrž Vranov se nachází v Jihomoravském kraji v okrese Znojmo mezi obcemi Vranov nad Dyjí a Podhradí nad Dyjí. Svoji plochou zasahuje do deseti katastrálních území, což jsou Vranov nad Dyjí, Onšov, Lančov, Jazovice, Chvalatice, Bítov, Vysočany, Oslovice, Zblovce a Podhradí nad Dyjí. Jak již bylo řečeno, tak vodní nádrž se nachází na vodním toku Dyje. Dalším významným tokem, který se vlévá do nádrže, je řeka Želetavka. Želetavka je levostranný přítok řeky Dyje a ústí do nádrže nedaleko obce Vysočany. Celková plocha zatopeného území je 7,613 km² při maximální hladině 351,45 m n. m. Většinu přilehlého území tvoří lesy [8].



Obr. 6 Základní mapa VD Vranov a okolí [27]

Na ř. km 132,73 řeky Dyje se nachází vodní nádrž Znojmo. Jejím účelem je, mimo jiné, také týdenní vyrovnávání nerovnoměrných průtoků v řece Dyji způsobených špičkovým provozem HC Vranov (provozovatel MVE). Dále se na vodním toku Dyje nachází ještě kaskáda tří nádrží Nové Mlýny [8].

5.1.2 Informace a technické údaje nádrže

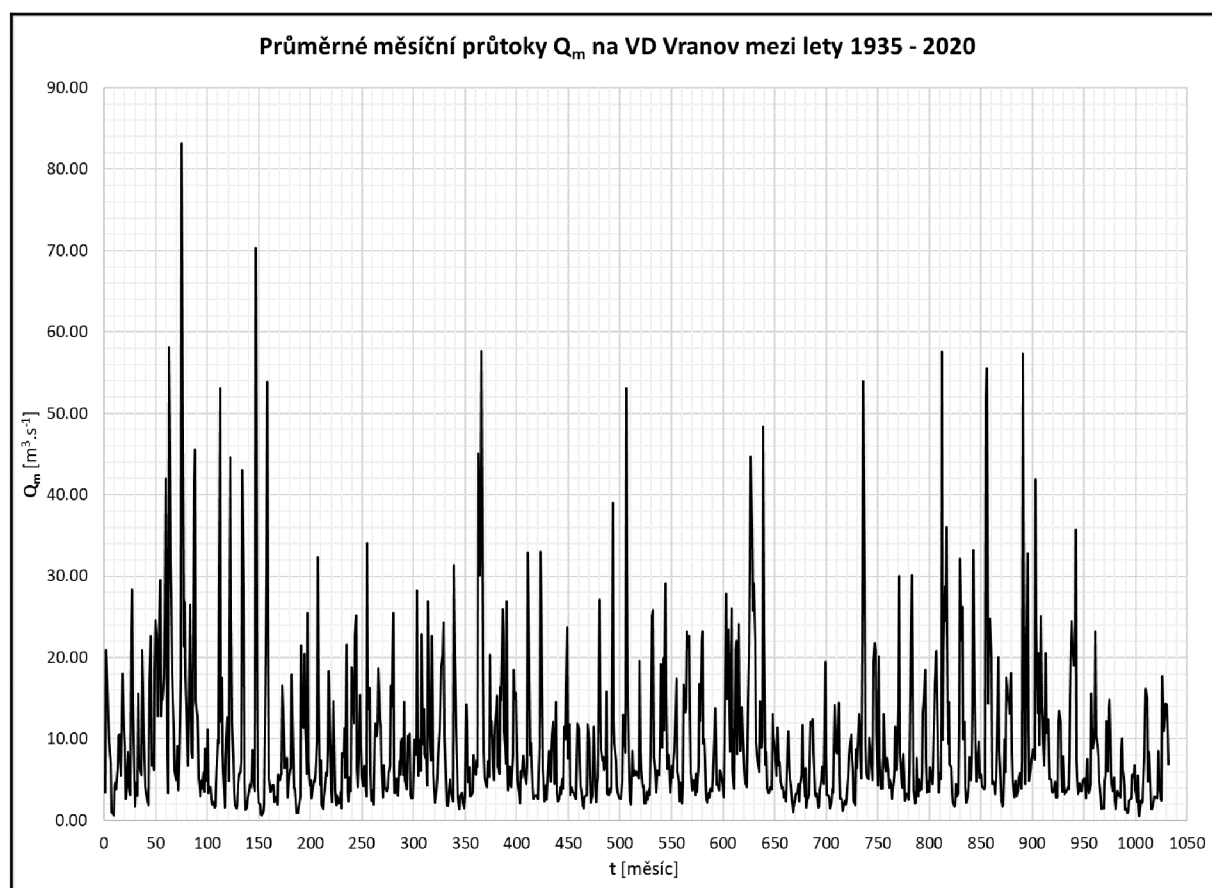
Hráz nádrže Vranov je vybudovaná jako betonová gravitační. Její výška nade dnem je 47,0 m, délka hráze v koruně je 290,5 m a šířka v koruně je 7,0 m. Kóta koruny hráze je 353,39 m n. m. Průměrný dlouhodobý roční přítok Dyje do nádrže Q_a je $8,50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a Q_a Želetavky je $1,08 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Celkový průměrný roční průtok nádrží Q_a je $9,740 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Celkový objem nádrže je 132,7 mil. m^3 . Plocha povodí nad nádrží je 2 211,80 km^2 . Další informace jsou uvedeny v Tab. 2. [8]

Tab. 2 Základní informace a údaje o vodní nádrži Vranov dle MŘ [24]

Základní údaje:			
Nádrž:	VD Vranov	Závod:	Závod Dyje
Tok:	Dyje, km 175,41	Uvedení do provozu:	1934
Správce:	Povodí Moravy, s.p.		
Poloha:			
Kraj:	Jihomoravský	Obec:	Vranov nad Dyjí
Okres:	Znojmo	Kat. území hráze:	Vranov nad Dyjí
Obec s rozšířenou působností:	Znojmo		
Hydrologické údaje:			
Č. hydrologického pořadí:	4-14-02-051	Q_{100} :	435,000 m^3/s
Plocha povodí:	2 211,80 km^2	Q_{355d} :	1,110 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Prům. roční průtok Q_a :	9,740 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$		
Nádrž:			
Hl. stálého nadržení:	331,45 m n.m.	Stálého nadržení:	31,840 mil. m^3
Hl. zásobního prostoru:	348,45 m n.m.	Zásobní prostor:	79,668 mil. m^3
Hl. retenčního prostoru ovladatelného:	350,10 m n.m.	Retenční prostor ovladatelný:	11,157 mil. m^3
Hl. retenčního prostoru neovladatelného:	351,45 m n.m.	Retenční prostor neovladatelný:	10,031 mil. m^3
Celkový objem nádrže:			132,696 mil. m^3
Účinek nádrže:			
Neškodný odtok:	130,000 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Minimální odtok:	1,000 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

5.2 HYDROLOGICKÁ DATA

Základní hydrologické údaje jsou uvedeny v Tab. 2, případně v předchozích kapitolách. Pro výpočet zásobního objemu vodní nádrže Vranov byla použita data od Českého hydrometeorologického ústavu (dále ČHMÚ). Konkrétně byly použity průměrné měsíční průtoky Q_m z měrných profilů Podhradí na Dyji a Vysočany na toku Želetavka. Měsíční průtokové řady byly poskytnuty od roku 1935 do roku 2020, a tudíž obsahují i extrémně suché období z let 2015 až 2018. Obě průtokové řady byly sečteny, a vytvořily tak řadu průměrných měsíčních přítoků do nádrže. Do vodohospodářského řešení zásobní funkce nádrže byly ale vytvořeny dvě průtokové řady, z nichž jedna byla kompletní od roku 1935 do roku 2020 (viz Obr. 7). Druhá byla zkrácena do roku 2000, aby co nejvíce odpovídala délce průtokové řady použité pro vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže v manipulačním řádu. V manipulačním řádu byla použita řada průměrných měsíčních průtoků za období 1931 – 2000.



Obr. 7 Průměrné měsíční průtoky Q_m na VD Vranov mezi lety 1935 – 2020 [16]

Do výpočtu také vstupuje průměrný roční výpar E_a , jehož hodnota při zatopené ploše 55 880 ha k nadmořské výšce 348,45 m n. m. činí 650 mm/rok. Tato hodnota průměrného ročního výparu byla rozdělena procentuálně k odpovídajícím měsícům dle ČSN 75 2405 Vodohospodářská řešení vodních nádrží [2]. Hodnoty v procentech a v mm/měsíc jsou vypsány v Tab. 3.

Tab. 3 Procenta ročního výparu pro jednotlivé měsíce a výpar v mm/měsíc [2]

Měsíc:	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
% ročního výparu:	1	2	6	9	12	14	16	15	11	7	5	2
mm/měsíc	7	13	39	58	78	91	104	98	72	46	32	13

5.3 BATYGRAFICKÉ KŘIVKY VODNÍ NÁDRŽE VRANOV

Jako vstup do výpočtu byly použity dvě sady batygrafických křivek. První je původní, převzatá z manipulačního řádu. Druhou sadou jsou aktualizované batygrafické křivky, které byly vypočteny díky novému zaměření dna nádrže a z následného vymodelování digitálního modelu terénu dna.

5.3.1 Zaměření dna nádrže

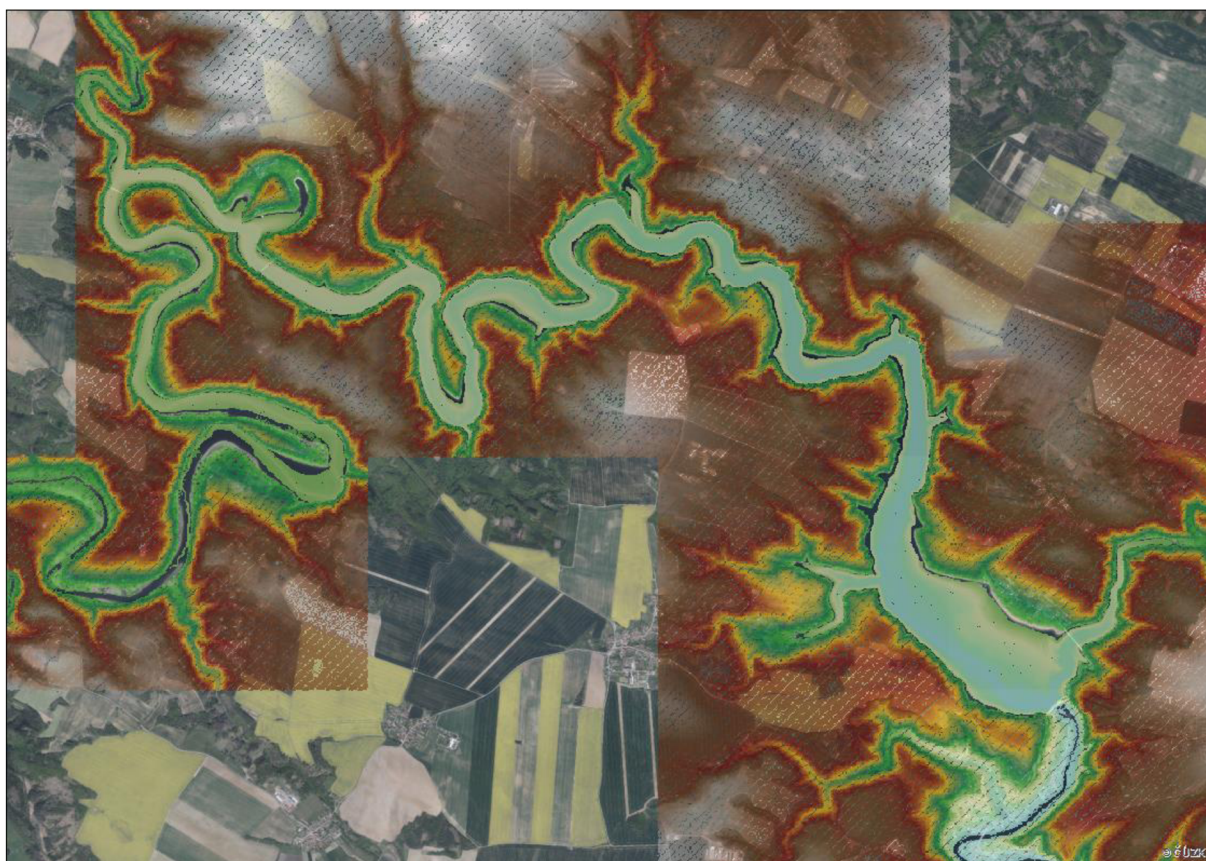
Data pro vymodelování celkového digitálního modelu terénu vznikla složením třech různých zaměření dna nádrže a okolního reliéfu. První sada dat vznikla jako podrobné batymetrické měření dna nádrže Vranov pomocí měřicí lodi provozované podnikem Povodí Moravy s.p. (dále PMO), která je vybavena sonarem. Toto zaměření provedlo PMO v rámci tří etap měření v období od srpna 2021 do října 2021. Tímto způsobem bylo zaměřeno přibližně 55 milionů bodů, které pokrývaly dno téměř celé nádrže. Data byla poskytnuta od Povodí Moravy, s.p. ve formě textových souborů, které obsahovaly souřadnice bodů X a Y v souřadnicovém systému WGS84 a také odpovídající hloubku v daném bodě (viz Obr. 8). Z-tová souřadnice zaměřeného bodu byla získána odečtením hloubky ze zaměření od kóty hladiny vody pro konkrétní měření.

x	y	z
15.80459978	48.91422250	20.36
15.80460877	48.91422250	20.36
15.80460877	48.91422250	20.33
15.80461775	48.91422250	20.34
15.80461775	48.91422250	20.28
15.80462673	48.91422842	20.24
15.80462673	48.91422250	20.23
15.80463572	48.91422250	20.21
15.80463572	48.91422842	20.18
15.80464470	48.91422842	20.17
15.80464470	48.91422250	20.16
15.80465368	48.91422250	20.14
15.80465368	48.91422250	20.11

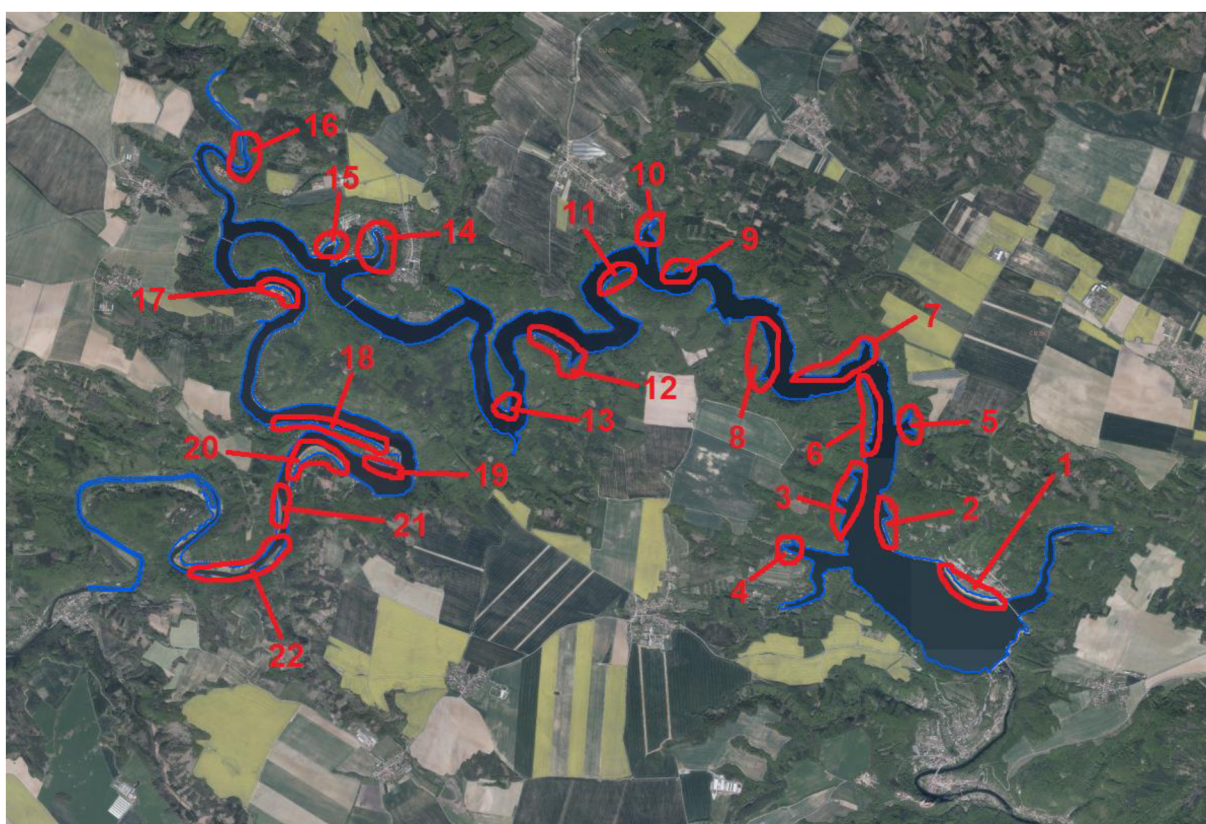
Obr. 8 Ukázka upraveného textového souboru se souřadnicemi bodů z batymetrického měření

Druhým balíkem dat je výškopis digitálního modelu reliéfu páté generace ZABAGED – DMR 5G zakoupený od ČÚZK, který pokrývá terén přilehlého okolí nádrže a umožňuje tak vymodelování plynulého digitálního modelu terénu dna nádrže.

Tyto dvě sady dat se spojily do jednoho rastru v programu ArcGIS (viz Obr. 9). Díky takto získanému rastru bylo možné vytipovat nedostatečně zaměřená místa z batymetrického měření, a naplánovat tak doměření břehových linií. Vytipovaná místa jsou zobrazena na Obr. 10. Celkem bylo vybráno 22 míst k doměření, ve kterých byly zahrnuty velké pláže, zátoky a vzdutí toků Dyje a Želetavka.



Obr. 9 Rastr dna nádrže získaný spojením batymetrického zaměření nádrže a DMR 5G [26]



Obr. 10 Mapa vytipovaných míst k doměření [26]

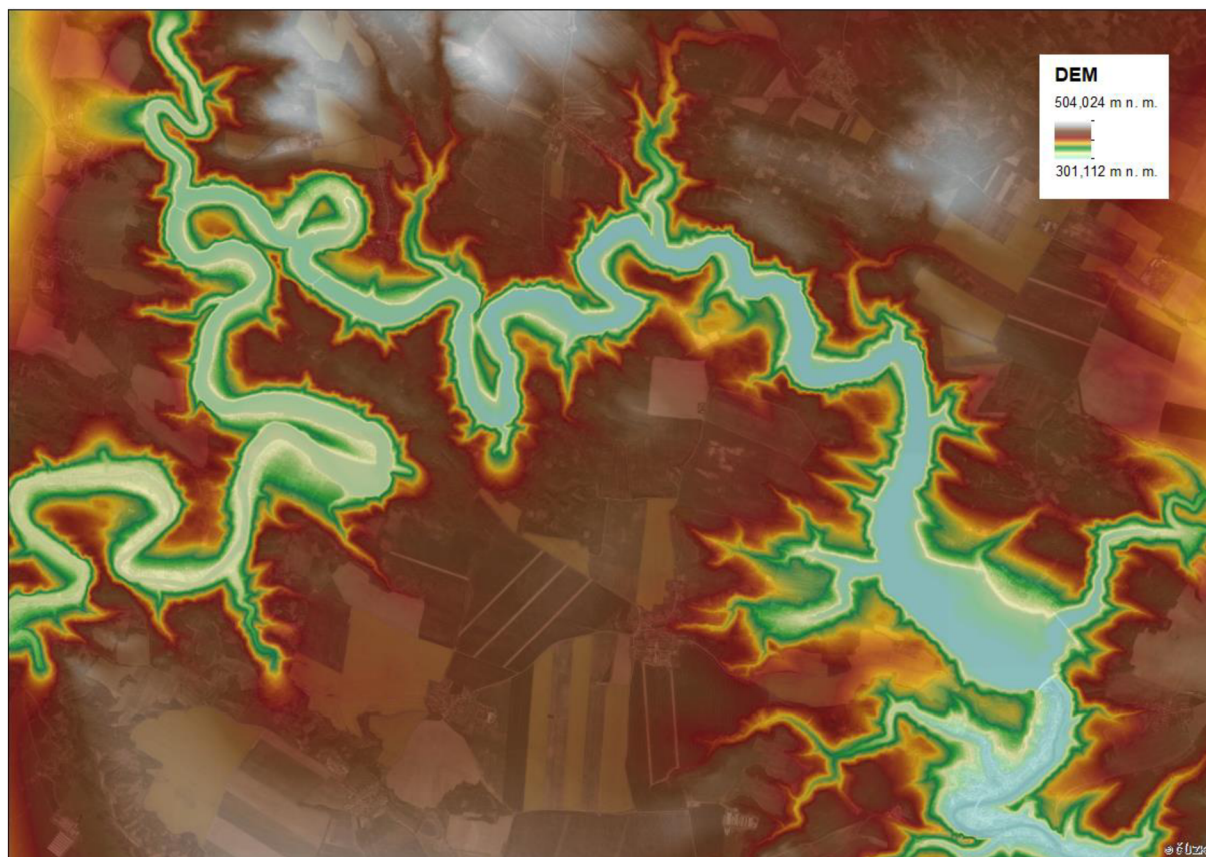
Třetí a poslední sada dat byla získána ručním doměřením vytipovaných břehových linií vodní nádrže pomocí GPS měřící stanice. Toto doměření bylo provedeno FAST VUT ÚVHK ve složení doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D., Ing. Stanislav Paseka, Ph.D., Ing. Martin Bednář a Bc. David Jílek. Doměřování probíhalo v zimním období od listopadu 2021 do února 2022, a to z důvodu poklesu hladiny vody a lepší přístupnosti do nádrže. Body získané pomocí GPS a DMR 5G byly v souřadnicovém systému JTSK. Proto bylo nutné souřadný systém sjednotit pro všechny sady dat, aby bylo možné vytvořit digitální model terénu a vypočítat objemy a plochy pro aktualizované batygrafické křivky. Z důvodu velkého množství zaměřených bodů z batymetrického měření bylo jednodušší převést zbylé dvě sady bodů na souřadnicový systém WGS84 a vše načíst v tomto systému na rozložení v S-JTSK v programu ArcGIS.



Obr. 11 Fotografie z místa doměření břehové linie č. 20 [4]

5.3.2 Digitální model terénu a aktualizované batygrafické křivky

Kompletní zaměření dna nádrže se použilo jako vstup do softwaru ArcGIS, ve kterém bylo možné digitální model terénu vytvořit. Postup vytvoření byl stručně popsán v předchozích kapitolách a podrobně je rozebrán v bakalářské práci [6], která se na tvorbu digitálního modelu terénu zaměřovala.



Obr. 12 Digitální model terénu dna nádrže Vranov a jeho okolí [26]

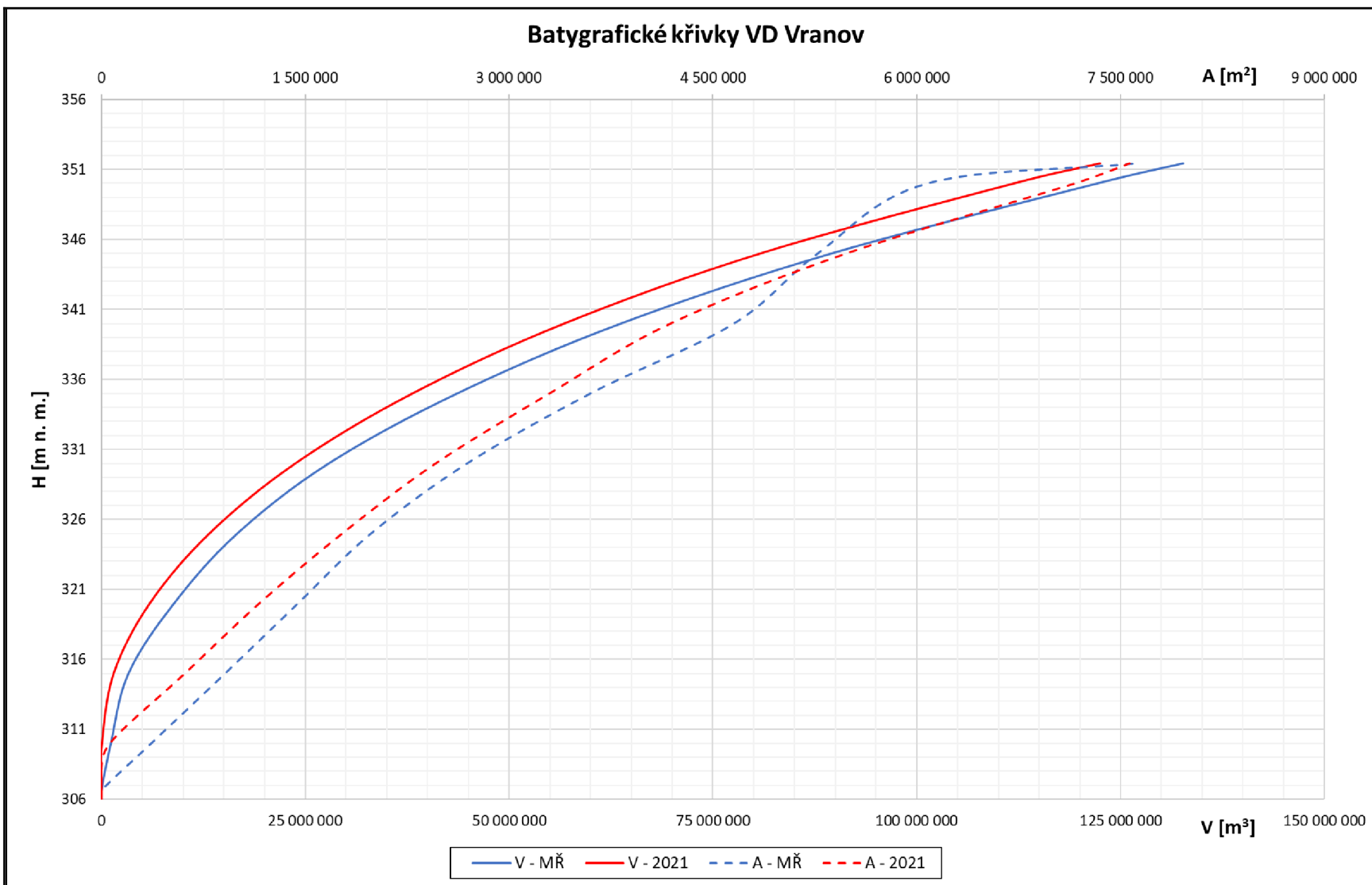
Takto vytvořený digitální model terénu (viz Obr. 12) bylo nutné oříznout tak, aby do výpočtu objemu nádrže vstupovala pouze plocha rozlivu nádrže. Například bylo nutné oříznout terén kolem řeky Dyje pod nádrží, protože by uměle zvyšoval celkový objem nádrže. Z takto upraveného digitálního modelu terénu již bylo možné vypočítat hodnoty pro vykreslení čáry zatopených objemů a ploch. Jednotlivé objemy a plochy byly vypočteny po pěti metrech od nadmořské výšky 306,33 m n. m. po maximální hladinu z manipulačního řádu 351,46 m n. m. V Tab. 4 jsou zobrazeny hodnoty objemů a ploch dle manipulačního řádu a dle posledního zaměření z roku 2021.

Tab. 4 Porovnání vypočtených zatopených objemů a ploch s manipulačním řádem [9]

H	Manipulační řád		Zaměření 2021	
	V	A	V	A
[m n. m.]	[m ³]	[m ²]	[m ³]	[m ²]
306	0	0	0	0
306,66	3 462	1 090	17	394
310	1 159 615	365 064	43 392	62 245
315	3 312 857	908 929	1 478 391	614 063
320	8 884 286	1 444 643	5 889 186	1 161 027
325	16 655 441	1 982 907	13 204 144	1 771 864
330	27 843 402	2 688 290	23 723 054	2 457 622
331,45	31 840 000	2 950 000	27 443 026	2 680 051
335	43 581 626	3 595 651	38 072 628	3 294 651
340	63 664 477	4 652 626	56 681 979	4 185 530
345	89 442 582	5 268 372	80 687 143	5 475 842
348,45	111 508 000	5 580 000	101 066 887	6 573 603
350	121 988 818	6 068 485	111 716 520	7 153 938
351,46	132 696 000	7 625 000	122 468 778	7 566 308

Z Tab. 4 je patrné, že celkový objem nádrže na kótě 351,46 m n. m. se oproti manipulačnímu řádu snížil o 10,227 mil. m³, což odpovídá relativní změně 7,71 %. Objem stálého nadržení na kótě 331,45 m n. m. se snížil o 4,397 mil. m³, což odpovídá relativní změně 13,81 %. Zásobní objem se ze 79,668 mil. m³ snížil o 6,044 mil. m³, což odpovídá 73,624 mil. m³ a relativní změně 7,59 %. Také je zajímavé si všimnout toho, že mezi kótou 345 a 350 m n. m. dochází k navýšení zatopené plochy oproti manipulačnímu řádu. To je zcela patrné i na Obr. 13. Zde nastává otázka, jak přesné jsou hodnoty objemů a ploch z manipulačního řádu.

Na Obr. 13 jsou znázorněny batygrafické křivky z manipulačního řádu i z aktuálního zaměření nádrže. Plnou čarou jsou naznačeny čáry zatopených objemů a čárkovanou čarou jsou znázorněny čáry zatopených ploch. Křivky z manipulačního řádu mají modrou barvu a křivky z aktuálního zaměření mají barvu červenou.



Obr. 13 Porovnání aktualizovaných batygrafických křivek s manipulačním řádem [9]

5.4 ANALÝZA ZÁSObNÍHO OBJEMU

Jak bylo popsáno v předchozích kapitolách, tak analýza zásobního objemu byla provedena pomocí programu UNCE_RESERVOIR. Byly řešeny základní dvě úlohy simulace provozu nádrže, tedy dříve vysvětlená úloha 1 a úloha 2. Obě tyto úlohy byly počítány jak v deterministickém, tak statistickém (resp. stochastickém) řešení, tedy s uvažováním nejistot vstupních veličin.

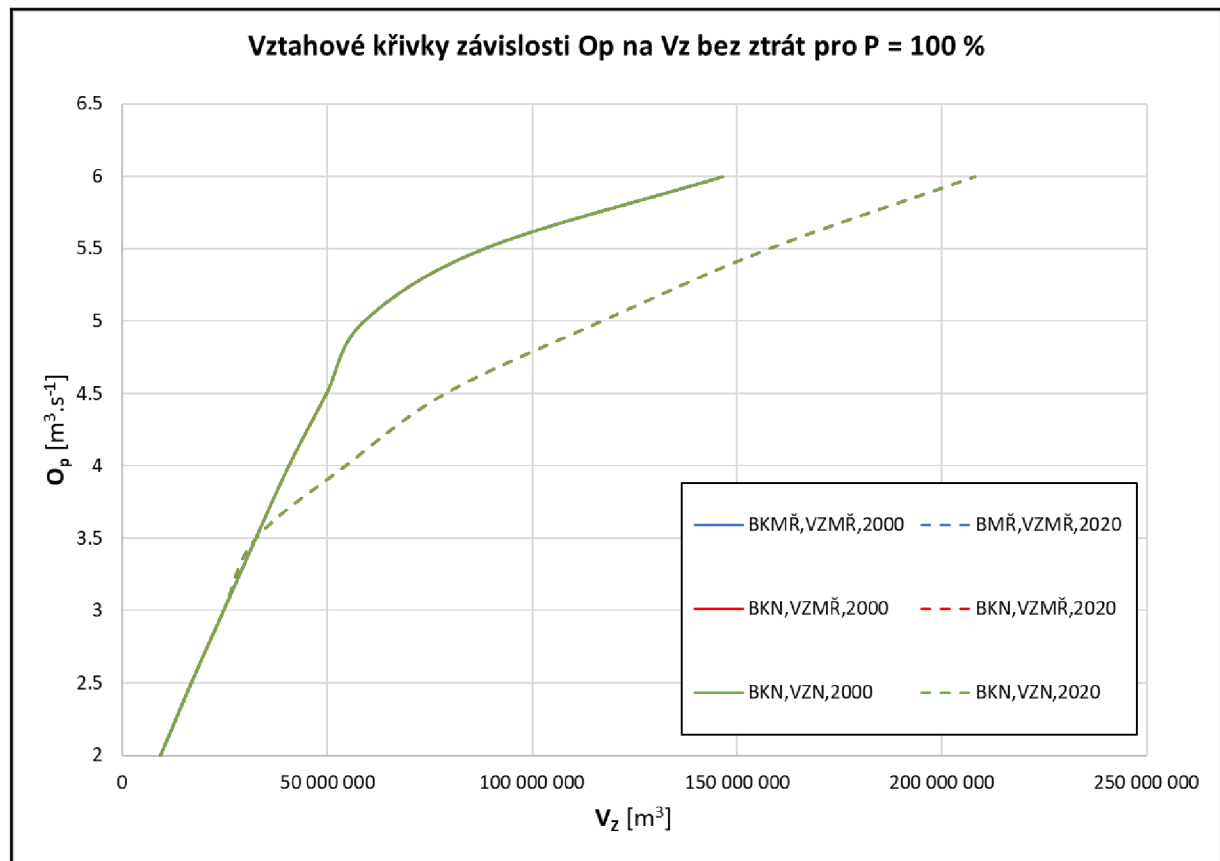
Jako vstupní veličiny byly použity dvě popsané sady batygrafických křivek, tedy batygrafické křivky z manipulačního řádu (dále jako BKMŘ) a nové batygrafické křivky z aktuálního zaměření nádrže. Z hydrologických dat byly použity průměrné měsíční průtoky nádrží v řadách 1935 – 2000 a 1935 – 2020. Dále vstupoval do výpočtu průměrný roční výpar z volné hladiny o hodnotě 650 mm/rok. Dalším důležitým vstupem do výpočtu jsou hodnoty objemu stálého nadržení a zásobního objemu, kdy jsou použity hodnoty jak z manipulačního řádu ($V_{S,MŘ} = 31,840$ mil. m³, $V_{Z,MŘ} = 79,668$ mil. m³), tak i aktualizované objemy ($V_{S,N} = 27,443$ mil. m³, $V_{Z,N} = 73,624$ mil. m³). Nalepšený odtok vody z nádrže O_p byl konstantní pro všechny měsíce v roce. Následně byly v programu provedeny výpočty pro různé kombinace výše zmíněných vstupů.

5.4.1 Deterministické řešení úlohy 1

Deterministická analýza pro úlohu 1 byla provedena pro nalepšený odtok O_p v intervalu od 2 do 6 m³.s⁻¹, bez i s uvažováním ztrát vody z nádrže, konkrétně se ztrátou vody výparem. Následně byla provedena optimalizace O_p pro $V_{Z,MŘ} = 79,668$ mil. m³, případně $V_{Z,N} = 73,624$ mil. m³ a pro zabezpečení $P = 100$ %. Výsledky budou prezentovány nejprve formou tabulek a poté graficky vykreslením vztahových křivek závislosti O_p na V_z pro zabezpečení $P = 100$ %.

Tab. 5 Zásobní objemy pro deterministické řešení úlohy 1 bez uvažování ztrát

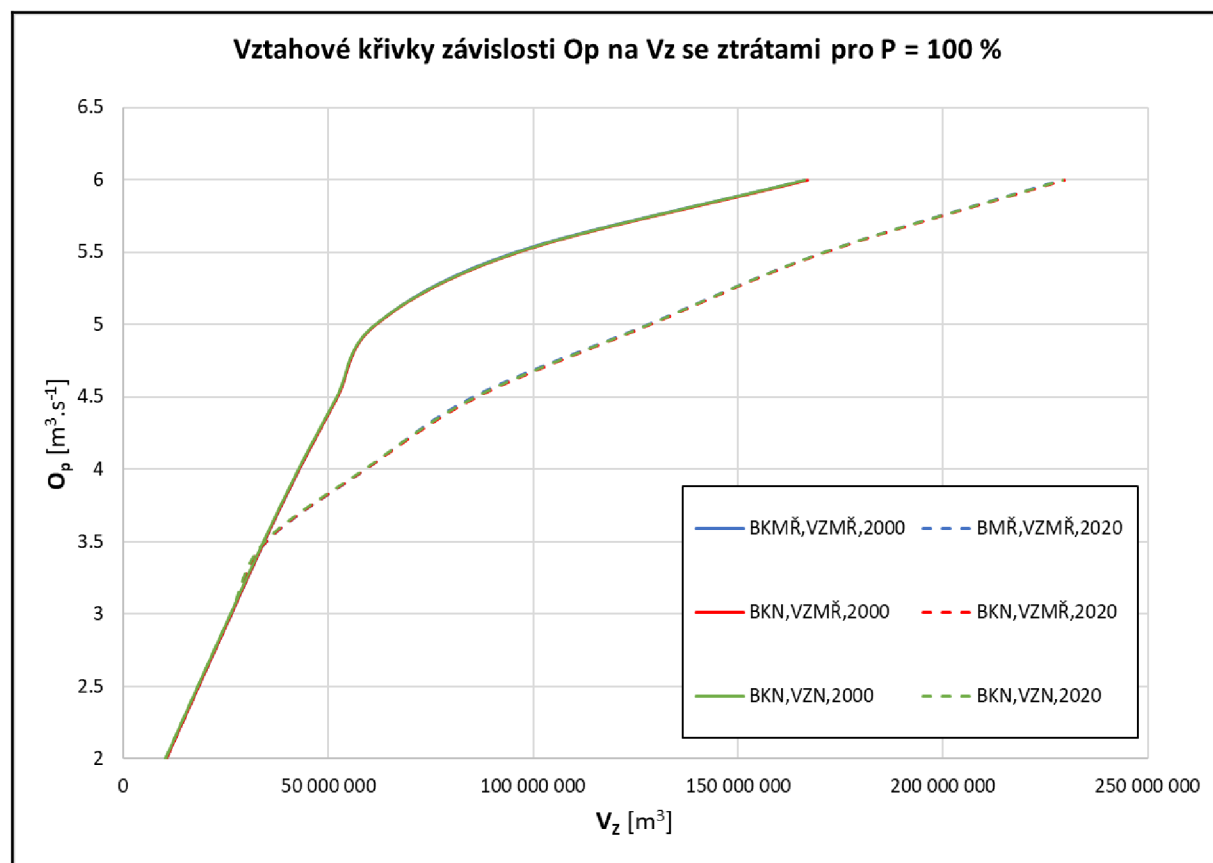
O _p	BKMŘ + V _{Z,MŘ}		BKN + V _{Z,MŘ}		BKN + V _{Z,N}	
	1935-2000	1935-2020	1935-2000	1935-2020	1935-2000	1935-2020
	V _Z	V _Z	V _Z	V _Z	V _Z	V _Z
m ³ .s ⁻¹	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	
2	9 231 300	9 231 300	9 231 300	9 231 300	9 231 300	9 231 300
2.5	16 700 500	16 700 500	16 700 500	16 700 500	16 700 500	16 700 500
3	24 590 500	24 590 500	24 590 500	24 590 500	24 590 500	24 590 500
3.5	32 480 500	32 480 500	32 480 500	32 480 500	32 480 500	32 480 500
4	40 528 300	54 309 500	40 528 300	54 309 500	40 528 300	54 309 500
4.5	49 733 300	78 689 600	49 733 300	78 689 600	49 733 300	78 689 600
5	58 938 300	116 850 904	58 938 300	116 850 904	58 938 300	116 850 904
5.5	88 157 608	157 615 904	88 157 608	157 615 904	88 157 608	157 615 904
6	146 569 888	208 059 280	146 569 888	208 059 280	146 569 888	208 059 280



Obr. 14 Vztahové křivky závislosti Op na Vz bez ztrát pro P = 100 %

Tab. 6 Zásobní objemy pro deterministické řešení úlohy 1 s uvažováním ztrát a optimalizovaným O_p pro $V_{z,MŘ} / V_{z,N}$ pro $P = 100 \%$

O_p	BKMŘ + $V_{z,MŘ}$		BKN + $V_{z,MŘ}$		BKN + $V_{z,N}$	
	1935-2000	1935-2020	1935-2000	1935-2020	1935-2000	1935-2020
	V_z	V_z	V_z	V_z	V_z	V_z
$m^3 \cdot s^{-1}$	m^3	m^3	m^3	m^3	m^3	m^3
2	10 387 678	10 387 678	10 383 359	10 383 359	10 299 844	10 299 844
2.5	18 291 682	18 291 682	18 272 320	18 272 320	18 175 162	18 175 162
3	26 306 534	26 306 534	26 275 670	26 275 670	26 179 910	26 179 910
3.5	34 318 052	34 840 156	34 284 156	34 776 156	34 184 964	34 538 464
4	42 857 872	59 023 536	42 837 924	59 035 484	42 718 956	58 796 300
4.5	52 162 500	85 164 752	52 203 856	86 292 944	52 084 680	85 885 528
5	61 441 196	127 757 024	61 571 284	128 531 920	61 450 796	128 145 552
5.5	95 465 408	170 777 504	96 323 608	171 322 400	95 987 592	170 898 128
6	166 316 928	228 744 896	167 058 736	229 817 488	166 297 056	229 206 560
O_p pro $V_{z,MŘ}/V_{z,N}$	5,290	4,410	5,282	4,403	5,208	4,291



Obr. 15 Vztahové křivky závislosti O_p na V_z se ztrátami pro $P = 100 \%$

Z výsledků je patrné, že vliv nových batygrafických křivek na zásobní objem a odtok vody není tak významný jako vliv průtokové řady. V Tab. 5 je vidět, že při

výpočtu bez ztrát vody z nádrže zůstává pro jednotlivé nalepšené průtoky O_p stále stejný zásobní objem V_z i při různé batygrafii. Při výpočtu s uvažováním se ztrátami vody z nádrže už nepatrné rozdíly mezi výsledky jsou. Stále však platí, že největší vliv na zásobní objem má průtoková řada.

Tyto závěry jsou také patrné z optimalizovaných nalepšených průtoků O_p se stoprocentní zabezpečeností pro všechny kombinace výpočtů (viz Tab. 6). Pro staré batygrafické křivky se zásobním objemem z manipulačního řádu a průtokovou řadou od 1935 do 2000 vychází $O_p = 5,290 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, což se liší pouze nepatrně od nové batygrafie se zásobním objemem z manipulačního řádu a se stejnou průtokovou řadou, kdy $O_p = 5,282 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Větší rozdíl nastává, když se do výpočtu vnese aktualizovaný zásobní objem, tehdy se $O_p = 5,208 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Při výpočtu s průtokovou řadou od 1935 do 2020 však dochází k mnohem většímu snížení nalepšeného průtoku se stoprocentní zabezpečeností. Pro batygrafii z manipulačního řádu vychází $O_p = 4,410 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, což je prakticky totožné s novou batygrafií společně s původním zásobním objemem, tehdy se $O_p = 4,403 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Při výpočtu s aktuálním zásobním objemem se $O_p = 4,291 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Tyto optimalizované nalepšené průtoky s $P = 100 \%$ pro $V_{Z,M\check{R}}$ nebo $V_{Z,N}$ jsou dále použity jako výchozí O_p pro analýzu úlohy 2.

5.4.2 Stochastické řešení úlohy 1

Následně byla řešena stejná úloha, ale s uvažováním nejistot vstupních dat. Nejistota byla zavedena pro vstupní parametry průtok vody nádrží, batygrafické křivky a výpar vody z hladiny. Na každý vstup jednotlivě byla zavedena standardní nejistota $u_a = 5 \%$, 10% a 15% . Nakonec se provedl výpočet úlohy, kde byla vnesena nejistota na všechny vstupy současně, tedy kombinace nejistot.

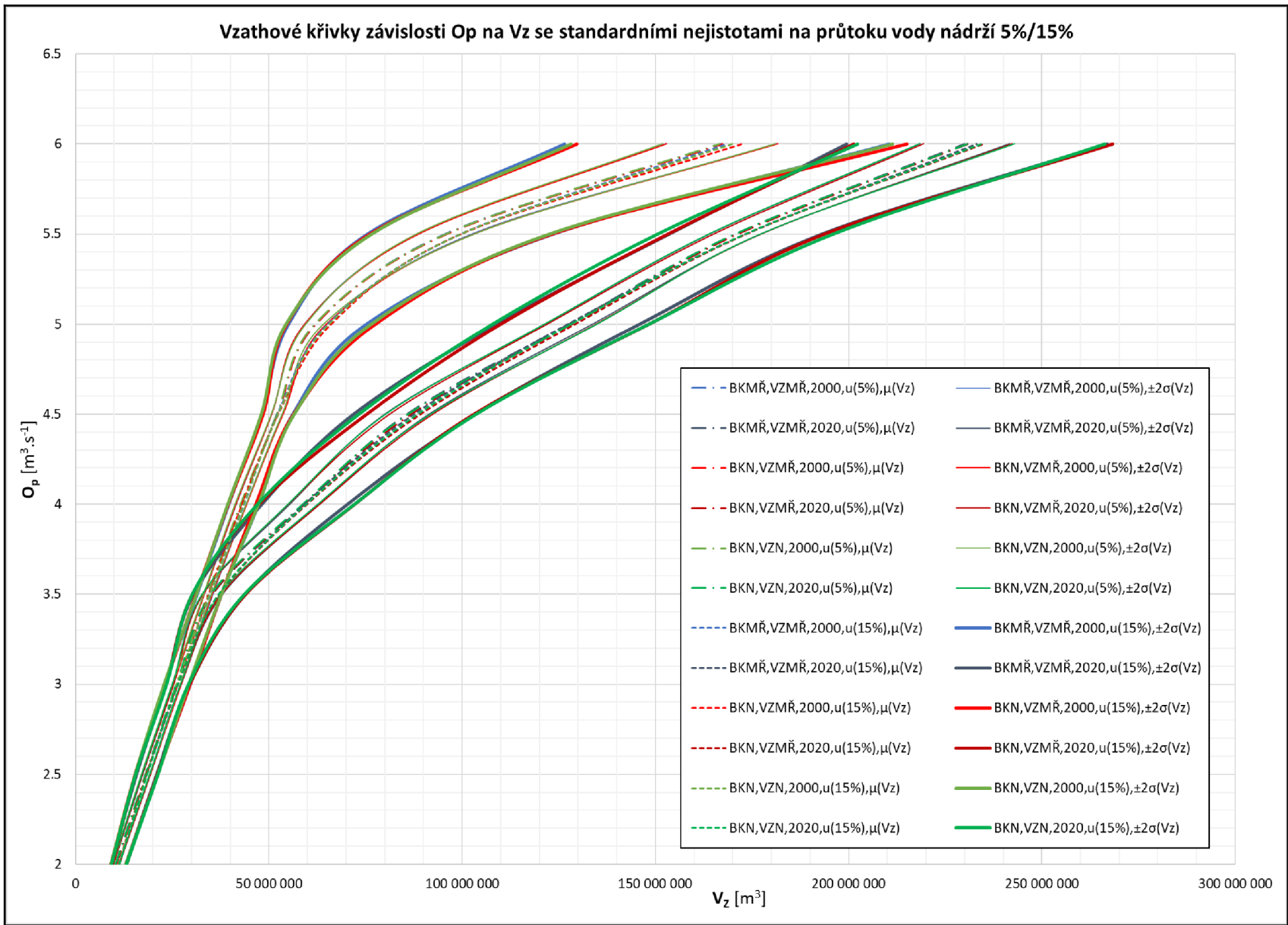
Počet opakování generace náhodných vstupních parametrů metodou Monte-Carlo byl $PO = 300$. Výsledky budou prezentovány opět pro všechny sady vstupů, a to v tabulkách formou statistických charakteristik, tedy střední hodnoty $\mu(V_z)$ a směrodatné odchylky $\pm\sigma(V_z)$. Současně budou výsledky prezentovány graficky, a to vykreslením vztahových křivek závislosti O_p na V_z pro jednotlivé vstupní nejistoty. Pro přehlednost budou do grafů vneseny průběhy středních hodnot $\mu(V_z)$ se vstupní standardní nejistotou 5% a 15% a současně průběhy

dvojnásobku směrodatné odchyly $\pm 2\sigma(V_z)$ pokrývající 95 % pravděpodobnosti výskytu náhodné veličiny, tedy rozšířené výstupní nejistoty 10 % a 30 %. Jelikož jsou nejistoty zavedeny i na ztráty, tak budou v rámci této práce prezentovány zejména výsledky úlohy s uvažováním ztrát vody z nádrže.

Tab. 7 Střední hodnoty $\mu(V_z)$ a směrodatné odchyly $\pm\sigma(V_z)$ zásobních objemů se zavedením nejistoty na průtok vody nádrží pro stochastické řešení úlohy 1 s uvažováním ztrát

u _a	O _p	BKMŘ+V _{z,MŘ}				BKN+V _{z,MŘ}				BKN+V _{z,N}			
		1935-2000		1935-2020		1935-2000		1935-2020		1935-2000		1935-2020	
		$\mu(V_z)$	$\sigma(V_z)$	$\mu(V_z)$	$\sigma(V_z)$	$\mu(V_z)$	$\sigma(V_z)$	$\mu(V_z)$	$\sigma(V_z)$	$\mu(V_z)$	$\sigma(V_z)$	$\mu(V_z)$	$\sigma(V_z)$
%	m ³ .s ⁻¹	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	
5%	2	1.05E+07	3.70E+05	1.05E+07	3.78E+05	1.05E+07	3.66E+05	1.05E+07	3.92E+05	1.04E+07	3.81E+05	1.04E+07	3.79E+05
	2.5	1.83E+07	4.79E+05	1.83E+07	4.82E+05	1.82E+07	5.04E+05	1.83E+07	5.27E+05	1.82E+07	5.40E+05	1.82E+07	5.06E+05
	3	2.62E+07	5.24E+05	2.63E+07	4.80E+05	2.63E+07	5.00E+05	2.63E+07	4.98E+05	2.61E+07	5.19E+05	2.62E+07	5.33E+05
	3.5	3.44E+07	5.54E+05	3.55E+07	1.26E+06	3.43E+07	5.10E+05	3.54E+07	1.23E+06	3.42E+07	5.10E+05	3.51E+07	1.18E+06
	4	4.28E+07	6.47E+05	5.93E+07	1.91E+06	4.29E+07	6.88E+05	5.91E+07	2.03E+06	4.28E+07	7.10E+05	5.89E+07	1.93E+06
	4.5	5.21E+07	6.88E+05	8.58E+07	2.86E+06	5.22E+07	7.28E+05	8.69E+07	2.79E+06	5.21E+07	6.97E+05	8.61E+07	2.90E+06
	5	6.21E+07	1.43E+06	1.28E+08	3.06E+06	6.21E+07	1.39E+06	1.28E+08	3.16E+06	6.19E+07	1.14E+06	1.28E+08	3.41E+06
	5.5	9.56E+07	3.54E+06	1.71E+08	3.31E+06	9.60E+07	3.58E+06	1.71E+08	3.06E+06	9.58E+07	3.73E+06	1.71E+08	3.35E+06
	6	1.67E+08	7.15E+06	2.30E+08	5.77E+06	1.67E+08	7.20E+06	2.31E+08	5.72E+06	1.66E+08	7.24E+06	2.31E+08	6.16E+06
10%	2	1.07E+07	6.78E+05	1.08E+07	6.53E+05	1.09E+07	6.59E+05	1.09E+07	6.89E+05	1.08E+07	7.09E+05	1.08E+07	6.11E+05
	2.5	1.83E+07	1.05E+06	1.82E+07	1.06E+06	1.84E+07	1.02E+06	1.83E+07	1.04E+06	1.81E+07	1.04E+06	1.83E+07	1.03E+06
	3	2.63E+07	9.82E+05	2.63E+07	1.07E+06	2.62E+07	9.97E+05	2.63E+07	1.03E+06	2.63E+07	1.05E+06	2.62E+07	9.94E+05
	3.5	3.44E+07	1.04E+06	3.61E+07	2.28E+06	3.45E+07	1.03E+06	3.60E+07	2.12E+06	3.44E+07	1.02E+06	3.62E+07	2.44E+06
	4	4.31E+07	1.35E+06	5.97E+07	3.94E+06	4.30E+07	1.27E+06	5.93E+07	4.08E+06	4.29E+07	1.19E+06	5.90E+07	3.80E+06
	4.5	5.21E+07	1.41E+06	8.68E+07	5.31E+06	5.22E+07	1.33E+06	8.76E+07	5.15E+06	5.20E+07	1.46E+06	8.71E+07	5.60E+06
	5	6.35E+07	3.27E+06	1.27E+08	6.48E+06	6.39E+07	3.28E+06	1.29E+08	6.28E+06	6.37E+07	3.19E+06	1.28E+08	6.22E+06
	5.5	9.61E+07	7.98E+06	1.71E+08	6.99E+06	9.71E+07	7.58E+06	1.72E+08	6.43E+06	9.72E+07	7.45E+06	1.72E+08	6.91E+06
	6	1.67E+08	1.47E+07	2.32E+08	1.16E+07	1.68E+08	1.46E+07	2.32E+08	1.08E+07	1.64E+08	1.50E+07	2.32E+08	1.15E+07
15%	2	1.12E+07	9.71E+05	1.13E+07	1.00E+06	1.12E+07	1.01E+06	1.13E+07	9.09E+05	1.12E+07	9.55E+05	1.13E+07	9.91E+05
	2.5	1.84E+07	1.36E+06	1.85E+07	1.30E+06	1.83E+07	1.45E+06	1.83E+07	1.45E+06	1.84E+07	1.46E+06	1.84E+07	1.47E+06
	3	2.65E+07	1.67E+06	2.65E+07	1.55E+06	2.65E+07	1.62E+06	2.65E+07	1.56E+06	2.62E+07	1.59E+06	2.64E+07	1.45E+06
	3.5	3.47E+07	1.59E+06	3.73E+07	3.35E+06	3.45E+07	1.65E+06	3.72E+07	3.47E+06	3.46E+07	1.60E+06	3.70E+07	3.40E+06
	4	4.36E+07	1.95E+06	5.94E+07	5.55E+06	4.31E+07	1.79E+06	5.99E+07	6.23E+06	4.34E+07	1.98E+06	5.97E+07	6.30E+06
	4.5	5.22E+07	2.04E+06	8.77E+07	7.83E+06	5.25E+07	1.99E+06	8.92E+07	6.96E+06	5.24E+07	2.14E+06	8.85E+07	7.61E+06
	5	6.53E+07	5.06E+06	1.27E+08	9.28E+06	6.61E+07	5.74E+06	1.29E+08	9.61E+06	6.55E+07	5.52E+06	1.28E+08	1.01E+07
	5.5	9.96E+07	1.20E+07	1.73E+08	9.90E+06	9.97E+07	1.18E+07	1.74E+08	1.01E+07	9.97E+07	1.15E+07	1.73E+08	1.14E+07
	6	1.69E+08	2.10E+07	2.33E+08	1.69E+07	1.72E+08	2.13E+07	2.35E+08	1.67E+07	1.70E+08	2.08E+07	2.34E+08	1.60E+07

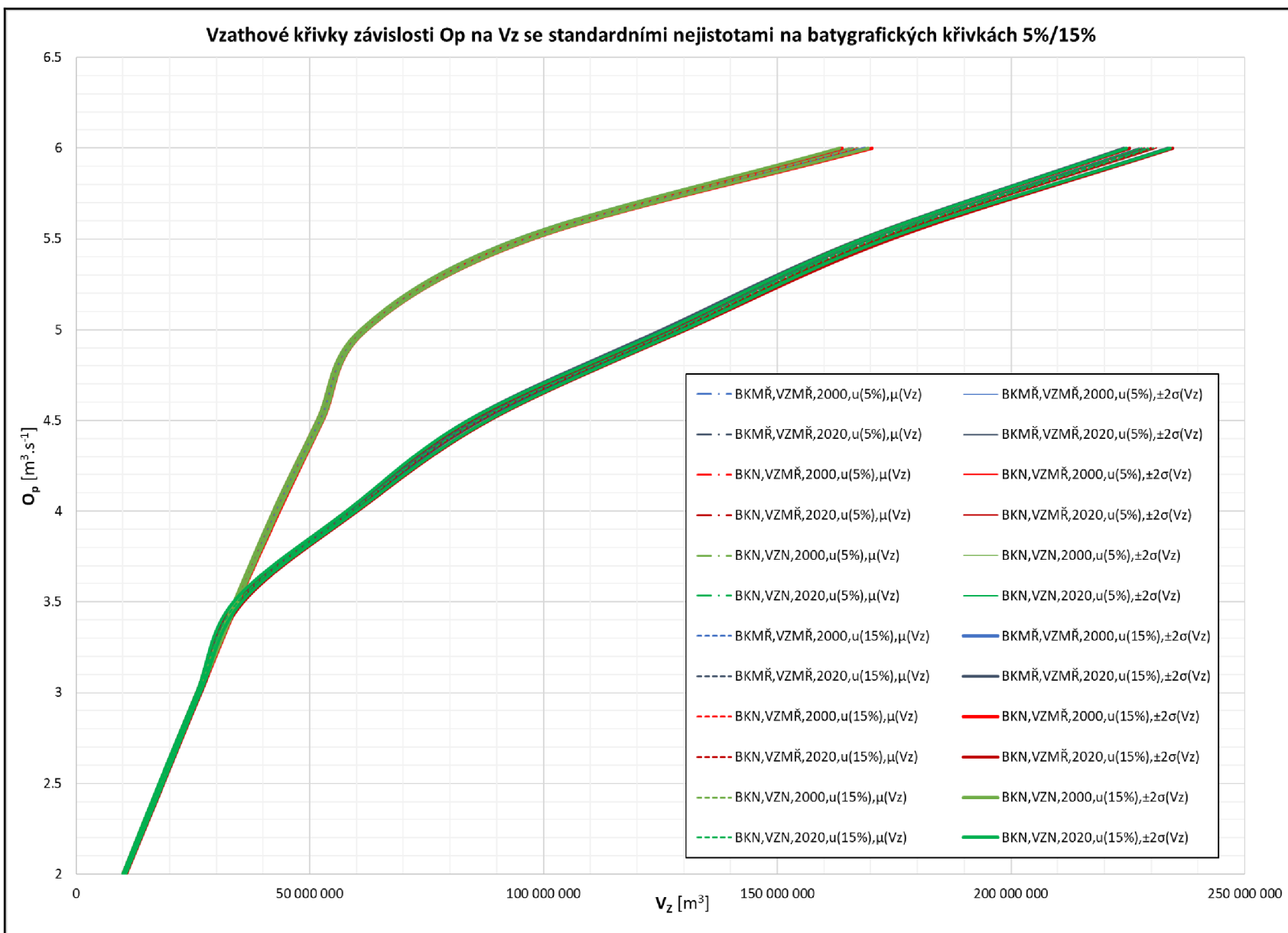
Obr. 16 Vztahové křivky závislosti O_p na V_z se standardní nejistotou na průtoku vody nádrží 5%/15%



Tab. 8 Střední hodnoty $\mu(V_z)$ a směrodatné odchylky $\pm\sigma(V_z)$ zásobních objemů se zavedením nejistoty na batygrafické křivky pro stochastické řešení úlohy 1 s uvažováním ztrát

u_a	O_p	BKMŘ+ $V_{z,MŘ}$				BKN+ $V_{z,MŘ}$				BKN+ $V_{z,N}$			
		1935-2000		1935-2020		1935-2000		1935-2020		1935-2000		1935-2020	
		$\mu(V_z)$	$\sigma(V_z)$	$\mu(V_z)$	$\sigma(V_z)$	$\mu(V_z)$	$\sigma(V_z)$	$\mu(V_z)$	$\sigma(V_z)$	$\mu(V_z)$	$\sigma(V_z)$	$\mu(V_z)$	$\sigma(V_z)$
%	$m^3 \cdot s^{-1}$	m^3	m^3	m^3	m^3	m^3	m^3	m^3	m^3	m^3	m^3	m^3	
5%	2	1.04E+07	4.88E+04	1.04E+07	4.84E+04	1.04E+07	5.50E+04	1.04E+07	5.70E+04	1.03E+07	5.14E+04	1.03E+07	5.30E+04
	2.5	1.83E+07	6.33E+04	1.83E+07	6.00E+04	1.83E+07	6.50E+04	1.83E+07	6.61E+04	1.82E+07	6.35E+04	1.82E+07	6.23E+04
	3	2.63E+07	6.04E+04	2.63E+07	5.70E+04	2.63E+07	7.05E+04	2.63E+07	6.92E+04	2.62E+07	6.71E+04	2.62E+07	6.44E+04
	3.5	3.43E+07	5.52E+04	3.48E+07	1.14E+05	3.43E+07	7.54E+04	3.48E+07	1.57E+05	3.42E+07	7.11E+04	3.45E+07	1.52E+05
	4	4.29E+07	7.02E+04	5.90E+07	1.26E+05	4.28E+07	9.39E+04	5.91E+07	1.59E+05	4.27E+07	8.12E+04	5.88E+07	1.65E+05
	4.5	5.22E+07	6.94E+04	8.52E+07	2.21E+05	5.22E+07	1.09E+05	8.63E+07	3.51E+05	5.21E+07	9.34E+04	8.59E+07	3.38E+05
	5	6.14E+07	5.80E+04	1.28E+08	3.85E+05	6.16E+07	1.08E+05	1.29E+08	3.39E+05	6.14E+07	1.02E+05	1.28E+08	3.00E+05
	5.5	9.55E+07	1.77E+05	1.71E+08	4.60E+05	9.64E+07	2.27E+05	1.71E+08	4.59E+05	9.60E+07	2.45E+05	1.71E+08	4.33E+05
	6	1.66E+08	4.26E+05	2.29E+08	6.53E+05	1.67E+08	5.99E+05	2.30E+08	6.43E+05	1.66E+08	5.03E+05	2.29E+08	6.37E+05
10%	2	1.04E+07	9.30E+04	1.04E+07	8.78E+04	1.04E+07	1.05E+05	1.04E+07	1.04E+05	1.03E+07	9.45E+04	1.03E+07	9.79E+04
	2.5	1.83E+07	1.18E+05	1.83E+07	1.16E+05	1.83E+07	1.38E+05	1.83E+07	1.37E+05	1.82E+07	1.30E+05	1.82E+07	1.25E+05
	3	2.63E+07	1.11E+05	2.63E+07	1.31E+05	2.63E+07	1.53E+05	2.63E+07	1.35E+05	2.62E+07	1.33E+05	2.62E+07	1.22E+05
	3.5	3.43E+07	1.19E+05	3.48E+07	2.46E+05	3.43E+07	1.62E+05	3.48E+07	3.29E+05	3.42E+07	1.35E+05	3.46E+07	2.84E+05
	4	4.28E+07	1.34E+05	5.90E+07	2.50E+05	4.29E+07	1.88E+05	5.90E+07	3.30E+05	4.27E+07	1.84E+05	5.88E+07	3.20E+05
	4.5	5.21E+07	1.38E+05	8.51E+07	4.56E+05	5.22E+07	1.91E+05	8.63E+07	6.52E+05	5.21E+07	1.89E+05	8.59E+07	6.48E+05
	5	6.14E+07	1.25E+05	1.28E+08	7.57E+05	6.16E+07	2.05E+05	1.29E+08	6.76E+05	6.15E+07	2.08E+05	1.28E+08	6.42E+05
	5.5	9.55E+07	3.56E+05	1.71E+08	9.25E+05	9.63E+07	4.80E+05	1.71E+08	8.96E+05	9.60E+07	4.78E+05	1.71E+08	8.14E+05
	6	1.66E+08	8.74E+05	2.29E+08	1.40E+06	1.67E+08	1.13E+06	2.30E+08	1.54E+06	1.66E+08	1.08E+06	2.29E+08	1.38E+06
15%	2	1.04E+07	1.32E+05	1.04E+07	1.27E+05	1.04E+07	1.68E+05	1.04E+07	1.52E+05	1.03E+07	1.52E+05	1.03E+07	1.32E+05
	2.5	1.83E+07	1.76E+05	1.83E+07	1.76E+05	1.83E+07	2.11E+05	1.83E+07	2.08E+05	1.82E+07	1.89E+05	1.82E+07	2.05E+05
	3	2.63E+07	1.82E+05	2.63E+07	1.65E+05	2.63E+07	2.12E+05	2.63E+07	2.13E+05	2.62E+07	1.78E+05	2.62E+07	1.90E+05
	3.5	3.43E+07	1.67E+05	3.48E+07	3.88E+05	3.43E+07	2.12E+05	3.49E+07	4.58E+05	3.42E+07	2.08E+05	3.46E+07	4.29E+05
	4	4.28E+07	2.10E+05	5.90E+07	3.81E+05	4.29E+07	3.18E+05	5.91E+07	5.47E+05	4.27E+07	2.79E+05	5.89E+07	4.87E+05
	4.5	5.21E+07	2.10E+05	8.51E+07	6.70E+05	5.22E+07	2.99E+05	8.63E+07	1.01E+06	5.21E+07	2.88E+05	8.60E+07	1.02E+06
	5	6.14E+07	2.02E+05	1.28E+08	1.13E+06	6.16E+07	3.09E+05	1.29E+08	9.55E+05	6.15E+07	3.24E+05	1.28E+08	9.25E+05
	5.5	9.54E+07	4.97E+05	1.71E+08	1.40E+06	9.63E+07	7.04E+05	1.71E+08	1.52E+06	9.60E+07	7.58E+05	1.71E+08	1.24E+06
	6	1.66E+08	1.29E+06	2.29E+08	2.38E+06	1.67E+08	1.62E+06	2.30E+08	2.28E+06	1.66E+08	1.54E+06	2.29E+08	2.34E+06

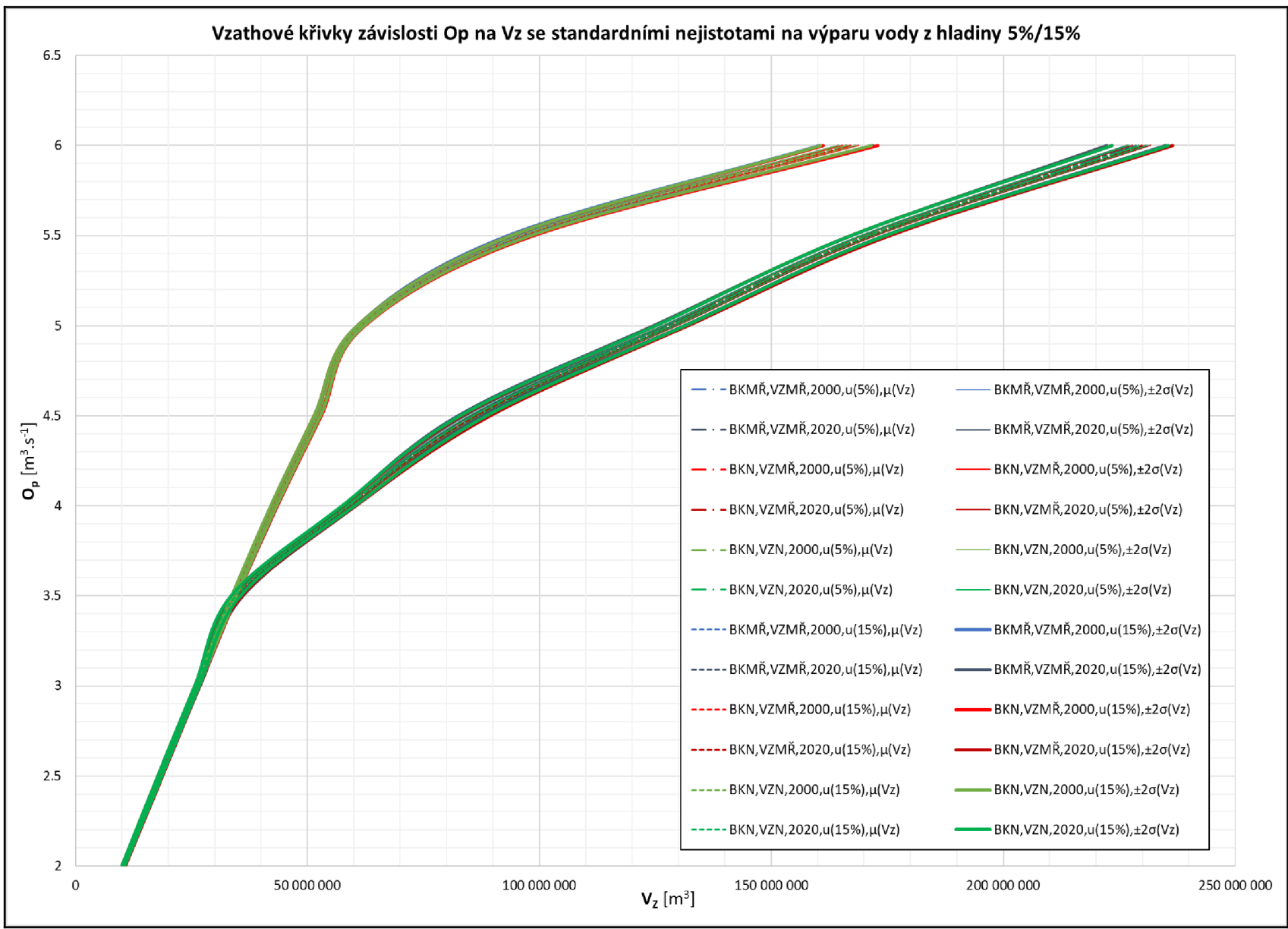
Obr. 17 Vztahové křivky závislosti O_p na V_z se standardní nejistotou na batygrafických křivkách 5%/15%



Tab. 9 Střední hodnoty $\mu(V_z)$ a směrodatné odchylky $\pm\sigma(V_z)$ zásobních objemů se zavedením nejistoty na výpar vody z hladiny pro stochastické řešení úlohy 1 s uvažováním ztrát

u _a	O _p	BKMŘ+V _{z,MŘ}				BKN+V _{z,MŘ}				BKN+V _{z,N}			
		1935-2000		1935-2020		1935-2000		1935-2020		1935-2000		1935-2020	
		$\mu(V_z)$	$\sigma(V_z)$	$\mu(V_z)$	$\sigma(V_z)$	$\mu(V_z)$	$\sigma(V_z)$	$\mu(V_z)$	$\sigma(V_z)$	$\mu(V_z)$	$\sigma(V_z)$	$\mu(V_z)$	$\sigma(V_z)$
%	m ³ .s ⁻¹	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	
5%	2	1.04E+07	6.03E+04	1.04E+07	5.57E+04	1.04E+07	5.76E+04	1.04E+07	5.91E+04	1.03E+07	4.90E+04	1.03E+07	5.02E+04
	2.5	1.83E+07	8.31E+04	1.83E+07	7.51E+04	1.83E+07	7.64E+04	1.83E+07	7.73E+04	1.82E+07	7.51E+04	1.82E+07	7.71E+04
	3	2.63E+07	8.44E+04	2.63E+07	8.51E+04	2.63E+07	8.68E+04	2.63E+07	8.42E+04	2.62E+07	7.61E+04	2.62E+07	7.59E+04
	3.5	3.43E+07	9.13E+04	3.49E+07	2.15E+05	3.43E+07	9.41E+04	3.48E+07	2.03E+05	3.42E+07	8.25E+04	3.46E+07	1.91E+05
	4	4.29E+07	1.20E+05	5.90E+07	2.38E+05	4.28E+07	1.18E+05	5.90E+07	2.08E+05	4.27E+07	1.12E+05	5.88E+07	2.18E+05
	4.5	5.22E+07	1.20E+05	8.52E+07	4.54E+05	5.22E+07	1.17E+05	8.63E+07	4.78E+05	5.21E+07	1.14E+05	8.59E+07	4.59E+05
	5	6.14E+07	1.25E+05	1.28E+08	5.25E+05	6.16E+07	1.31E+05	1.29E+08	5.77E+05	6.15E+07	1.29E+05	1.28E+08	5.59E+05
	5.5	9.55E+07	3.75E+05	1.71E+08	6.55E+05	9.63E+07	4.14E+05	1.71E+08	6.87E+05	9.60E+07	3.84E+05	1.71E+08	6.18E+05
	6	1.66E+08	8.94E+05	2.29E+08	9.89E+05	1.67E+08	8.70E+05	2.30E+08	9.93E+05	1.66E+08	9.23E+05	2.29E+08	9.96E+05
10%	2	1.04E+07	1.14E+05	1.04E+07	1.11E+05	1.04E+07	1.08E+05	1.04E+07	1.14E+05	1.03E+07	1.02E+05	1.03E+07	1.07E+05
	2.5	1.83E+07	1.62E+05	1.83E+07	1.55E+05	1.83E+07	1.60E+05	1.83E+07	1.56E+05	1.82E+07	1.50E+05	1.82E+07	1.53E+05
	3	2.63E+07	1.75E+05	2.63E+07	1.72E+05	2.63E+07	1.78E+05	2.63E+07	1.62E+05	2.62E+07	1.62E+05	2.62E+07	1.55E+05
	3.5	3.43E+07	1.75E+05	3.48E+07	4.11E+05	3.43E+07	1.63E+05	3.48E+07	3.55E+05	3.42E+07	1.71E+05	3.45E+07	3.68E+05
	4	4.28E+07	2.35E+05	5.90E+07	4.30E+05	4.28E+07	2.23E+05	5.91E+07	4.59E+05	4.27E+07	2.19E+05	5.88E+07	4.15E+05
	4.5	5.22E+07	2.41E+05	8.52E+07	8.80E+05	5.22E+07	2.59E+05	8.62E+07	9.57E+05	5.21E+07	2.24E+05	8.60E+07	9.68E+05
	5	6.14E+07	2.38E+05	1.28E+08	1.07E+06	6.16E+07	2.63E+05	1.28E+08	1.12E+06	6.15E+07	2.48E+05	1.28E+08	1.15E+06
	5.5	9.54E+07	6.87E+05	1.71E+08	1.22E+06	9.63E+07	7.57E+05	1.71E+08	1.31E+06	9.60E+07	7.54E+05	1.71E+08	1.21E+06
	6	1.66E+08	1.92E+06	2.29E+08	1.92E+06	1.67E+08	1.75E+06	2.30E+08	2.11E+06	1.66E+08	1.86E+06	2.29E+08	2.07E+06
15%	2	1.04E+07	1.72E+05	1.04E+07	1.73E+05	1.04E+07	1.78E+05	1.04E+07	1.71E+05	1.03E+07	1.49E+05	1.03E+07	1.49E+05
	2.5	1.83E+07	2.32E+05	1.83E+07	2.26E+05	1.83E+07	2.25E+05	1.83E+07	2.49E+05	1.82E+07	2.34E+05	1.82E+07	2.24E+05
	3	2.63E+07	2.56E+05	2.63E+07	2.62E+05	2.63E+07	2.55E+05	2.63E+07	2.51E+05	2.62E+07	2.31E+05	2.62E+07	2.53E+05
	3.5	3.43E+07	2.51E+05	3.48E+07	6.23E+05	3.43E+07	2.63E+05	3.48E+07	5.58E+05	3.42E+07	2.51E+05	3.46E+07	5.06E+05
	4	4.29E+07	3.44E+05	5.90E+07	7.22E+05	4.28E+07	3.43E+05	5.90E+07	6.74E+05	4.27E+07	3.22E+05	5.88E+07	6.73E+05
	4.5	5.22E+07	3.46E+05	8.52E+07	1.35E+06	5.22E+07	3.87E+05	8.64E+07	1.53E+06	5.21E+07	3.40E+05	8.58E+07	1.43E+06
	5	6.15E+07	3.81E+05	1.28E+08	1.64E+06	6.16E+07	3.94E+05	1.29E+08	1.72E+06	6.14E+07	3.61E+05	1.28E+08	1.58E+06
	5.5	9.54E+07	1.07E+06	1.71E+08	1.78E+06	9.64E+07	1.21E+06	1.71E+08	2.08E+06	9.60E+07	1.05E+06	1.71E+08	1.87E+06
	6	1.66E+08	2.91E+06	2.29E+08	3.16E+06	1.67E+08	2.91E+06	2.30E+08	3.26E+06	1.66E+08	2.71E+06	2.29E+08	3.03E+06

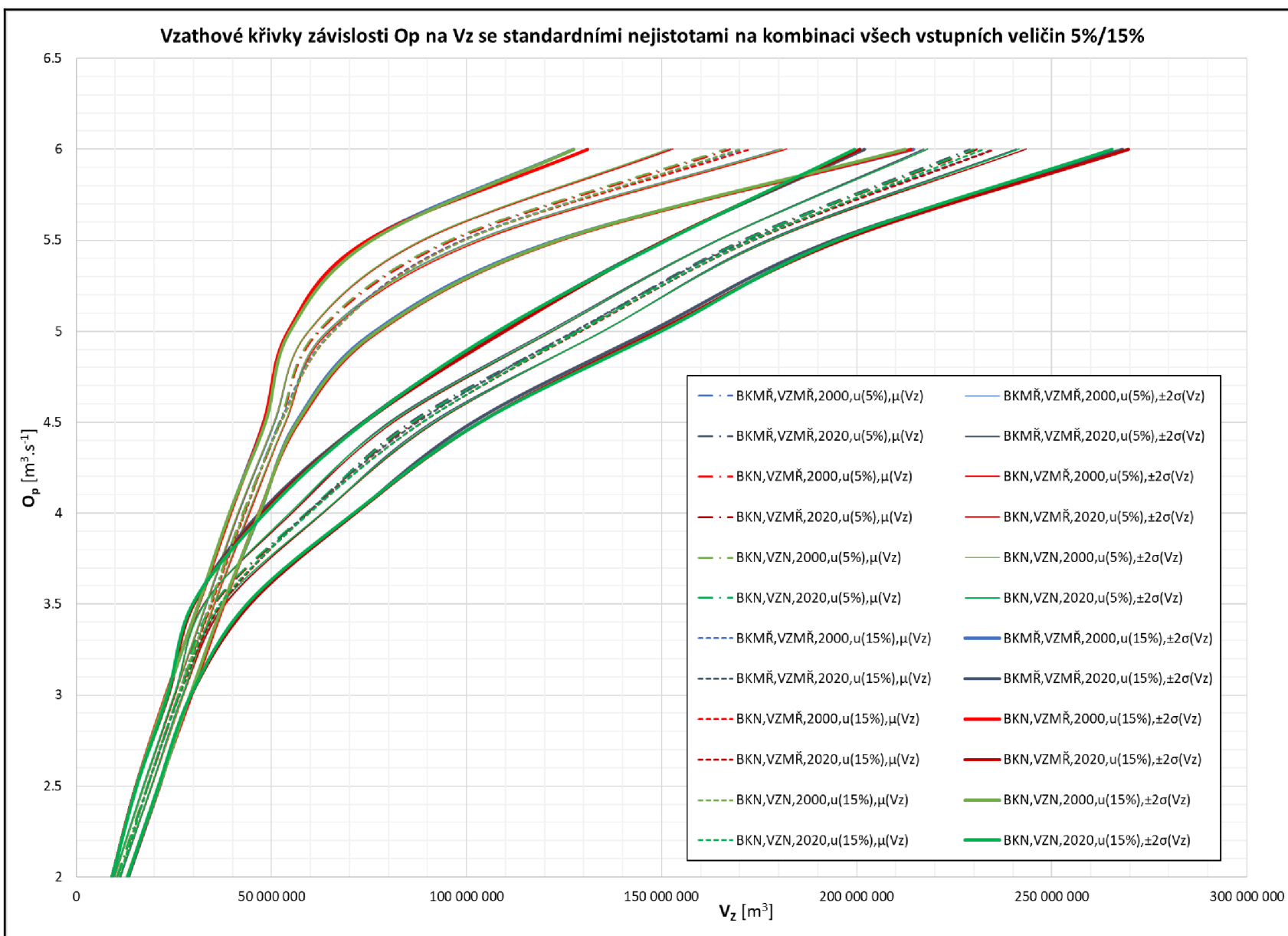
Obr. 18 Vzťahové křivky závislosti O_p na V_z se standardní nejistotou na výparu vody z hladiny 5%/15%



Tab. 10 Střední hodnoty $\mu(V_z)$ a směrodatné odchylky $\pm\sigma(V_z)$ zásobních objemů se zavedením nejistoty na kombinaci všech vstupních veličin pro stochastické řešení úlohy 1 s uvažováním ztrát

u _a	O _p	BKMRř+V _{z,MŘ}				BKN+V _{z,MŘ}				BKN+V _{z,N}			
		1935-2000		1935-2020		1935-2000		1935-2020		1935-2000		1935-2020	
		$\mu(V_z)$	$\sigma(V_z)$	$\mu(V_z)$	$\sigma(V_z)$	$\mu(V_z)$	$\sigma(V_z)$	$\mu(V_z)$	$\sigma(V_z)$	$\mu(V_z)$	$\sigma(V_z)$	$\mu(V_z)$	$\sigma(V_z)$
%	m ³ .s ⁻¹	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	
5%	2	1.05E+07	4.07E+05	1.06E+07	3.80E+05	1.05E+07	3.78E+05	1.05E+07	3.89E+05	1.04E+07	3.50E+05	1.05E+07	3.98E+05
	2.5	1.83E+07	5.01E+05	1.83E+07	5.47E+05	1.83E+07	5.00E+05	1.83E+07	5.23E+05	1.82E+07	4.79E+05	1.82E+07	5.20E+05
	3	2.63E+07	5.45E+05	2.63E+07	4.95E+05	2.63E+07	5.65E+05	2.63E+07	5.23E+05	2.62E+07	5.76E+05	2.62E+07	5.11E+05
	3.5	3.44E+07	5.01E+05	3.54E+07	1.35E+06	3.43E+07	5.45E+05	3.55E+07	1.37E+06	3.42E+07	5.25E+05	3.51E+07	1.09E+06
	4	4.29E+07	6.45E+05	5.93E+07	2.00E+06	4.29E+07	7.34E+05	5.93E+07	2.00E+06	4.27E+07	6.97E+05	5.89E+07	2.06E+06
	4.5	5.23E+07	6.97E+05	8.56E+07	2.74E+06	5.22E+07	7.45E+05	8.67E+07	2.72E+06	5.21E+07	7.08E+05	8.62E+07	2.79E+06
	5	6.19E+07	1.21E+06	1.28E+08	3.53E+06	6.23E+07	1.33E+06	1.29E+08	3.23E+06	6.19E+07	1.26E+06	1.28E+08	3.27E+06
	5.5	9.57E+07	3.40E+06	1.71E+08	3.22E+06	9.65E+07	3.70E+06	1.71E+08	3.38E+06	9.57E+07	3.56E+06	1.71E+08	3.31E+06
	6	1.66E+08	6.98E+06	2.29E+08	5.97E+06	1.67E+08	7.25E+06	2.31E+08	6.32E+06	1.66E+08	7.27E+06	2.30E+08	5.86E+06
10%	2	1.08E+07	6.93E+05	1.09E+07	6.91E+05	1.08E+07	6.69E+05	1.09E+07	7.06E+05	1.08E+07	7.15E+05	1.09E+07	6.76E+05
	2.5	1.83E+07	1.05E+06	1.84E+07	1.07E+06	1.83E+07	1.07E+06	1.83E+07	9.63E+05	1.81E+07	9.97E+05	1.81E+07	1.07E+06
	3	2.63E+07	1.01E+06	2.63E+07	8.90E+05	2.62E+07	9.65E+05	2.63E+07	1.02E+06	2.62E+07	1.10E+06	2.63E+07	1.01E+06
	3.5	3.44E+07	1.06E+06	3.62E+07	2.43E+06	3.45E+07	1.07E+06	3.62E+07	2.49E+06	3.43E+07	1.08E+06	3.60E+07	2.50E+06
	4	4.30E+07	1.26E+06	5.93E+07	3.88E+06	4.31E+07	1.37E+06	5.94E+07	4.11E+06	4.31E+07	1.33E+06	5.89E+07	4.05E+06
	4.5	5.20E+07	1.51E+06	8.69E+07	4.94E+06	5.22E+07	1.44E+06	8.70E+07	5.01E+06	5.21E+07	1.43E+06	8.74E+07	5.12E+06
	5	6.36E+07	3.32E+06	1.28E+08	6.60E+06	6.39E+07	3.58E+06	1.28E+08	6.58E+06	6.36E+07	3.39E+06	1.28E+08	6.15E+06
	5.5	9.58E+07	7.57E+06	1.72E+08	6.93E+06	9.77E+07	7.22E+06	1.72E+08	7.20E+06	9.65E+07	7.76E+06	1.72E+08	6.77E+06
	6	1.67E+08	1.40E+07	2.31E+08	1.13E+07	1.68E+08	1.37E+07	2.31E+08	1.23E+07	1.68E+08	1.43E+07	2.32E+08	1.12E+07
15%	2	1.13E+07	9.85E+05	1.13E+07	1.03E+06	1.13E+07	9.97E+05	1.12E+07	9.78E+05	1.11E+07	9.67E+05	1.12E+07	1.01E+06
	2.5	1.82E+07	1.50E+06	1.83E+07	1.51E+06	1.83E+07	1.45E+06	1.84E+07	1.47E+06	1.83E+07	1.47E+06	1.83E+07	1.39E+06
	3	2.64E+07	1.61E+06	2.65E+07	1.45E+06	2.63E+07	1.65E+06	2.66E+07	1.44E+06	2.61E+07	1.53E+06	2.64E+07	1.49E+06
	3.5	3.45E+07	1.61E+06	3.73E+07	3.60E+06	3.47E+07	1.59E+06	3.73E+07	3.55E+06	3.45E+07	1.57E+06	3.68E+07	3.48E+06
	4	4.32E+07	1.94E+06	5.92E+07	6.12E+06	4.32E+07	1.80E+06	5.97E+07	5.94E+06	4.31E+07	1.91E+06	5.98E+07	5.71E+06
	4.5	5.22E+07	2.10E+06	8.75E+07	7.05E+06	5.26E+07	2.24E+06	8.87E+07	7.36E+06	5.25E+07	2.05E+06	8.87E+07	7.42E+06
	5	6.56E+07	5.45E+06	1.28E+08	9.67E+06	6.59E+07	5.79E+06	1.29E+08	9.73E+06	6.59E+07	5.58E+06	1.29E+08	1.05E+07
	5.5	9.88E+07	1.21E+07	1.72E+08	1.08E+07	9.93E+07	1.23E+07	1.74E+08	1.13E+07	9.96E+07	1.19E+07	1.73E+08	1.09E+07
	6	1.71E+08	2.18E+07	2.35E+08	1.66E+07	1.72E+08	2.07E+07	2.35E+08	1.72E+07	1.70E+08	2.12E+07	2.32E+08	1.65E+07

Obr. 19 Vztahové křivky závislosti O_p na V_z se standardní nejistotou na kombinaci všech vstupních veličin 5%/15%



Výsledky výpočtů jsou zobrazeny v Tab. 7 - Tab. 10 a v grafech vykreslených na Obr. 16 - Obr. 19. V grafech je naznačeno několik druhů čar. Konkrétně se jedná o čáry čerchované, které značí střední hodnoty zásobních objemů se vstupní nejistotou 5 %, dále to jsou čáry čárkované značící střední hodnoty zásobních objemů se vstupní nejistotou 15 %. Kolem čar značících střední hodnoty jsou zobrazeny plné čáry, kdy tenké značí dvojnásobné směrodatné odchytky pro vstupní nejistoty 5 % a tlusté značí dvojnásobné směrodatné odchytky pro vstupní nejistoty 15 %.

Stejně jako u deterministické analýzy úlohy 1 zde vychází, že výpočet nejvíce ovlivňují průtokové řady. Pro O_p v intervalu od 2 do $3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ je průběh vztahových křivek jednotlivých kombinací výpočtů téměř totožný. Rozdíl nastává od $O_p = 3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, kdy se od sebe oddělují vztahové křivky se vstupními průtokovými řadami do roku 2000 a do roku 2020.

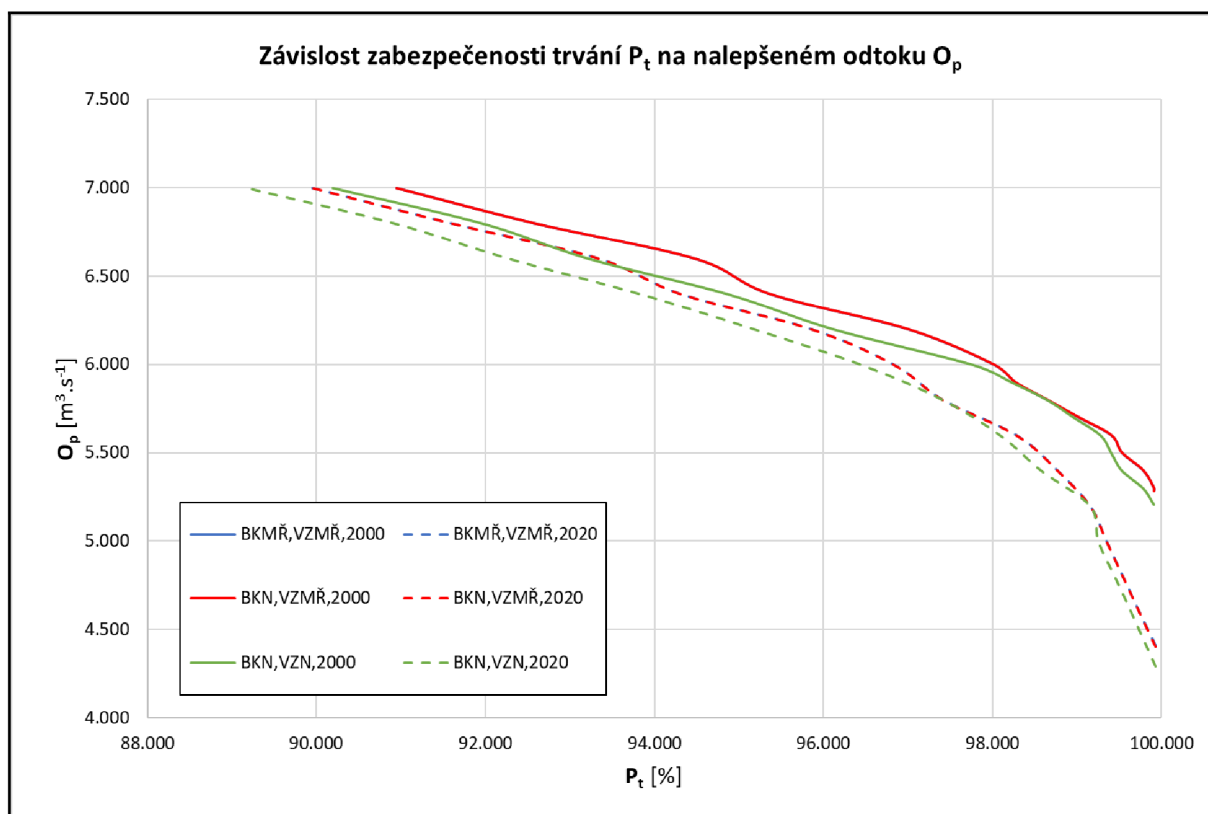
Zejména z grafů je dále patrné, že největší nejistotou jsou zatížena data průtokových řad, jelikož zde vycházejí o řád vyšší směrodatné odchytky, což značí výrazné rozevření obalových křivek na Obr. 16. Naopak u batygrafických křivek a výparu lze konstatovat, že zde jsou nejistoty téměř zanedbatelné, jelikož i při rozšíření výstupních nejistot na 10 % a 30 % jsou směrodatné odchytky jako obalové křivky nepatrné. Při zatížení nejistotami všech vstupních veličin a jejich kombinací dochází opět k navýšení směrodatných odchylek z důvodu vstupu nejistot na průtokových řadách.

5.4.3 Deterministické řešení úlohy 2

Deterministická analýza pro úlohu 2 byla provedena pro nalepšený odtok O_p v intervalu od optimalizované hodnoty z úlohy 1 se stoprocentní zabezpečeností do $7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, pouze s uvažováním ztrát vody z nádrže. Do výpočtu budou opět vstupovat dva zásobní objemy, konkrétně původní $V_{Z,MŘ} = 79,668 \text{ mil. m}^3$ a aktualizovaný $V_{Z,N} = 73,624 \text{ mil. m}^3$. Jelikož byly v úloze 1 nalepšené odtoky optimalizovány na tři desetinná místa, tak většina vypočtených počátečních zabezpečeností má hodnotu přibližně 99,9 % na místo 100 %. Výsledky budou prezentovány nejprve formou tabulek a poté graficky vykreslením vztahových křivek závislosti O_p na zabezpečenosti trvání P_t a závislosti O_p na zabezpečenosti dodání vody P_d .

Tab. 11 Zabezpečení trvání pro deterministické řešení úlohy 2 s uvažováním ztrát

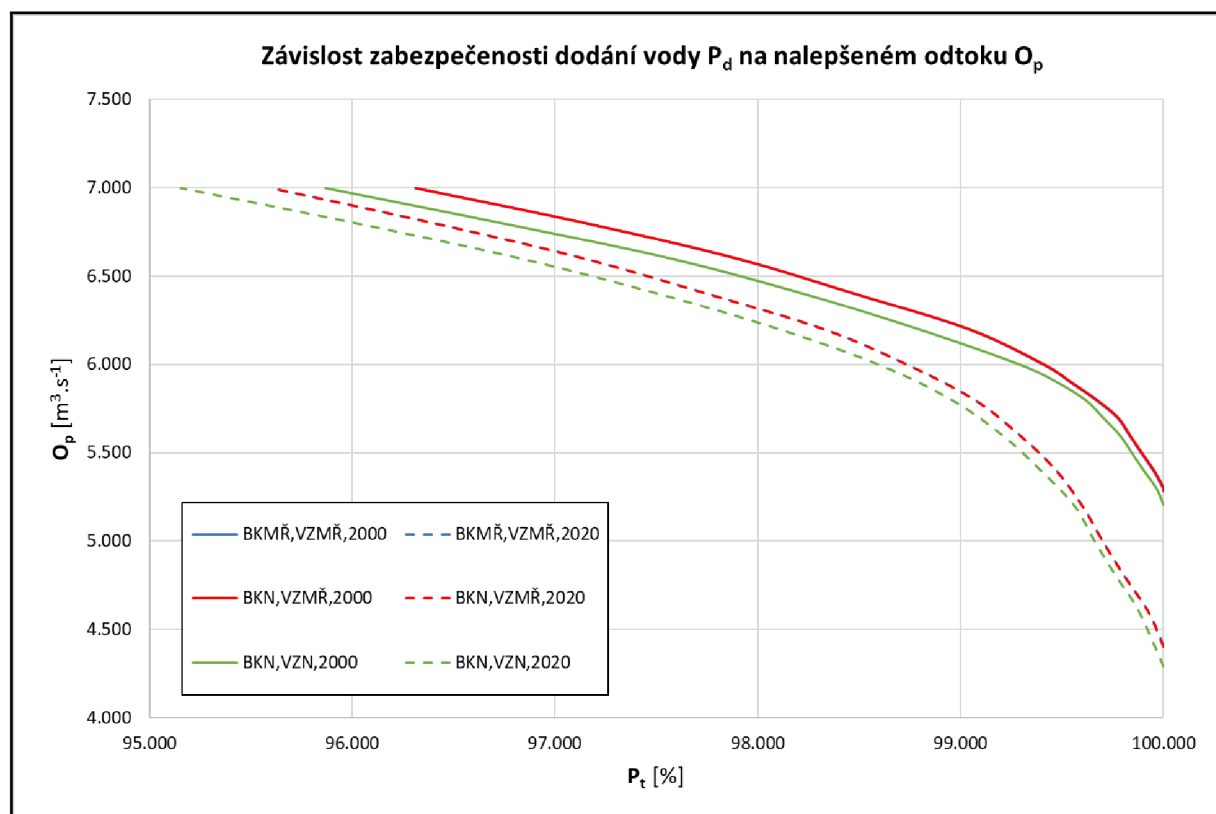
BKMŘ + V _{Z,MŘ}				BKN + V _{Z,MŘ}				BKN + V _{Z,N}			
1935-2000		1935-2020		1935-2000		1935-2020		1935-2000		1935-2020	
O _p	P _t	O _p	P _t	O _p	P _t	O _p	P _t	O _p	P _t	O _p	P _t
m ³ .s ⁻¹	%	m ³ .s ⁻¹	%	m ³ .s ⁻¹	%	m ³ .s ⁻¹	%	m ³ .s ⁻¹	%	m ³ .s ⁻¹	%
5.290	99.912	4.410	99.932	5.282	99.912	4.403	99.932	5.208	99.912	4.291	99.932
5.300	99.912	4.600	99.739	5.300	99.912	4.600	99.739	5.300	99.785	4.600	99.642
5.400	99.786	4.800	99.545	5.400	99.786	4.800	99.545	5.400	99.533	4.800	99.448
5.500	99.533	5.000	99.351	5.500	99.533	5.000	99.351	5.500	99.407	5.000	99.254
5.600	99.407	5.200	99.157	5.600	99.407	5.200	99.157	5.600	99.281	5.200	99.157
5.700	99.028	5.400	98.770	5.700	99.028	5.400	98.770	5.700	98.967	5.400	98.576
5.800	98.650	5.600	98.286	5.800	98.650	5.600	98.286	5.800	98.650	5.600	98.092
5.900	98.271	5.800	97.414	5.900	98.271	5.800	97.414	5.900	98.228	5.800	97.414
6.000	98.019	6.000	96.833	6.000	98.019	6.000	96.833	6.000	97.766	6.000	96.445
6.200	97.009	6.200	95.864	6.200	97.009	6.200	95.864	6.200	96.126	6.200	95.186
6.400	95.369	6.400	94.314	6.400	95.369	6.400	94.314	6.400	94.864	6.400	93.830
6.600	94.485	6.600	93.346	6.600	94.485	6.600	93.346	6.600	93.223	6.600	92.280
6.800	92.592	6.800	91.602	6.800	92.592	6.800	91.602	6.800	91.961	6.800	90.924
7.000	90.952	7.000	89.955	7.000	90.952	7.000	89.955	7.000	90.194	7.000	89.181



Obr. 20 Závislost zabezpečení trvání P_t na nalepšeném odtoku O_p

Tab. 12 Zabezpečení dodání vody pro deterministické řešení úlohy 2 s uvažováním ztrát

BKMR̄ + V _{Z,MŘ}				BKN + V _{Z,MŘ}				BKN + V _{Z,N}			
1935-2000		1935-2020		1935-2000		1935-2020		1935-2000		1935-2020	
O _p	P _d	O _p	P _d	O _p	P _d	O _p	P _d	O _p	P _d	O _p	P _d
m ³ .s ⁻¹	%	m ³ .s ⁻¹	%	m ³ .s ⁻¹	%	m ³ .s ⁻¹	%	m ³ .s ⁻¹	%	m ³ .s ⁻¹	%
5.290	100.000	4.410	100.000	5.282	100.000	4.403	100.000	5.208	100.000	4.291	100.000
5.300	100.000	4.600	99.926	5.300	100.000	4.600	99.926	5.300	99.965	4.600	99.880
5.400	99.952	4.800	99.808	5.400	99.952	4.800	99.808	5.400	99.904	4.800	99.767
5.500	99.892	5.000	99.700	5.500	99.892	5.000	99.700	5.500	99.844	5.000	99.660
5.600	99.833	5.200	99.600	5.600	99.833	5.200	99.600	5.600	99.785	5.200	99.562
5.700	99.774	5.400	99.471	5.700	99.774	5.400	99.471	5.700	99.703	5.400	99.395
5.800	99.669	5.600	99.292	5.800	99.669	5.600	99.292	5.800	99.616	5.600	99.206
5.900	99.543	5.800	99.068	5.900	99.543	5.800	99.069	5.900	99.475	5.800	98.956
6.000	99.411	6.000	98.736	6.000	99.411	6.000	98.737	6.000	99.295	6.000	98.597
6.200	99.042	6.200	98.327	6.200	99.042	6.200	98.327	6.200	98.796	6.200	98.107
6.400	98.481	6.400	97.754	6.400	98.481	6.400	97.754	6.400	98.230	6.400	97.515
6.600	97.899	6.600	97.146	6.600	97.899	6.600	97.146	6.600	97.575	6.600	96.834
6.800	97.158	6.800	96.407	6.800	97.158	6.800	96.408	6.800	96.745	6.800	96.026
7.000	96.312	7.000	95.598	7.000	96.312	7.000	95.599	7.000	95.866	7.000	95.155



Obr. 21 Závislost zabezpečení dodání vody P_d na nalepšeném odtoku O_p

Opět je patrné, že výpočet úlohy 2 nejvíce ovlivňují průtokové řady a v tomto případě i aktualizovaný zásobní objem. Samotné batygrafické křivky závislosti zabezpečeností na nalepšeném odtoku téměř neovlivňují. Na Obr. 20 je vidět, že průběh závislosti P_t na O_p není zcela plynulý. To může být způsobeno zvoleným velkým krokem nalepšeného odtoku O_p .

Odečtením z grafů na Obr. 20 a na Obr. 21 byly získány optimalizované nalepšené odtoky pro zabezpečenosti 99,5 %. O_p pro zabezpečení podle trvání $P_t = 99,5$ % vychází následovně. Pro původní batygrafii s průtokovou řadou do roku 2000 vychází $O_p = 5,526 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, což odpovídá i hodnotě pro novou batygrafii s původním zásobním objemem a s průtokovou řadou do roku 2000. Velká změna nastává, vstupuje-li do výpočtu průtoková řada do roku 2020. Tehdy batygrafie opět výsledek neovlivní a pro obě sady batygrafických křivek vychází $O_p = 4,846 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Zavedením aktualizovaného zásobního objemu do výpočtu dochází k mírnému posunu O_p pro novou batygrafickou křivku a obě sady průtokových řad, tedy pro řadu do roku 2000 je $O_p = 5,426 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a pro řadu do roku 2020 je $O_p = 4,746 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Stejně tak byly stanoveny O_p pro zabezpečení dodání vody $P_d = 99,5$ %, které vychází následovně. Pro původní batygrafii s průtokovou řadou do roku 2000 vychází $O_p = 5,933 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, což odpovídá i hodnotě pro novou batygrafii s původním zásobním objemem a s průtokovou řadou do roku 2000. Velká změna nastává, vstupuje-li do výpočtu průtoková řada do roku 2020. Tehdy batygrafie opět výsledek neovlivní a pro obě sady batygrafických křivek vychází $O_p = 5,355 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Zavedením aktualizovaného zásobního objemu do výpočtu dochází k mírnému posunu O_p pro novou batygrafickou křivku a obě sady průtokových řad, tedy pro řadu do roku 2000 je $O_p = 5,882 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a pro řadu do roku 2020 je $O_p = 5,274 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

5.4.4 Stochastické řešení úlohy 2

Následně byla řešená stejná úloha, ale s uvažováním nejistot vstupních dat. Nastavení výpočtů bylo stejné jako v případě stochastické analýzy úlohy 1. Tedy byly použity všechny sady vstupů, dále byly vstupní parametry průtok vody nádrží, batygrafické křivky, výpar z vodní hladiny a kombinace těchto parametrů

zatíženy vstupní nejistotou $u_b = 5 \%$, 10% a 15% . Počet opakování generace náhodných vstupních parametrů metodou Monte-Carlo byl $PO = 300$.

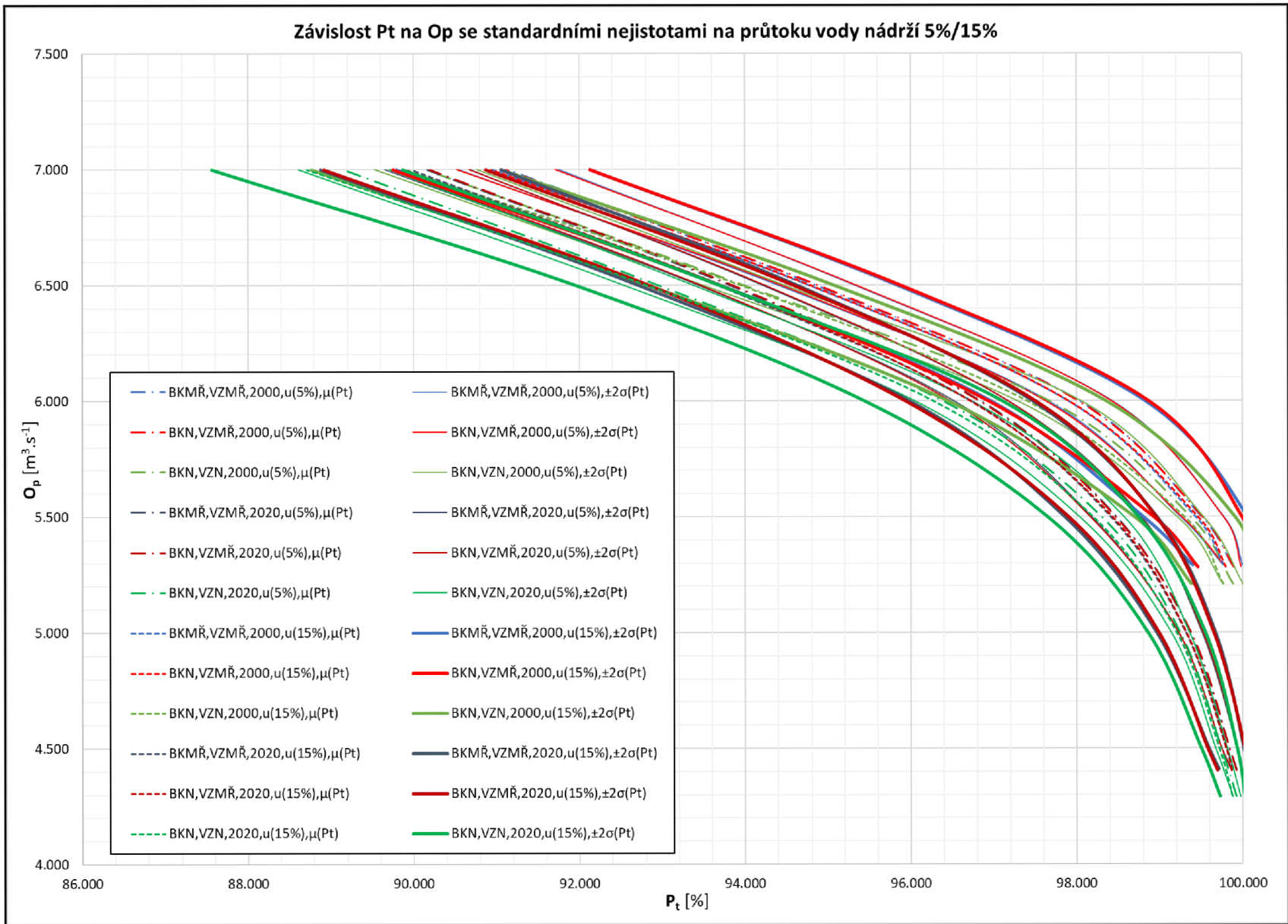
Výsledky budou prezentovány v tabulkách formou statistických charakteristik střední hodnoty $\mu(P_t) / \mu(P_d)$ a směrodatné odchylky $\pm\sigma(P_t) / \pm\sigma(P_d)$. Současně budou výsledky prezentovány graficky, a to vykreslením závislosti P_t na O_p a následně P_d na O_p pro jednotlivé vstupní nejistoty. Pro přehlednost budou do grafů vneseny průběhy středních hodnot $\mu(P_t) / \mu(P_d)$ se vstupní standardní nejistotou 5% a 15% a současně průběhy dvojnásobku směrodatné odchylky $\pm\sigma(P_t) / \pm\sigma(P_d)$ pokrývající 95% pravděpodobnosti výskytu náhodné veličiny, tedy rozšířené výstupní nejistoty 10% a 30% .

Stejně jako u stochastického řešení úlohy 1 je v grafech je naznačeno několik druhů čar. Styl značení je zachován z úlohy 1 jak pro střední hodnoty, tak pro směrodatné odchylky, tedy obalové křivky.

Tab. 13 Střední hodnoty $\mu(P_t)$ a směrodatné odchylky $\pm\sigma(P_t)$ zabezpečení trvání se zavedením nejistoty na průtok vody nádrží pro stochastické řešení úlohy 2 s uvažováním ztrát

u_a		1935-2000								
		BKMŘ+V _{Z,MŘ}			BKN+V _{Z,MŘ}			BKN+V _{Z,N}		
		O_p	$\mu(P_t)$	$\sigma(P_t)$	O_p	$\mu(P_t)$	$\sigma(P_t)$	O_p	$\mu(P_t)$	$\sigma(P_t)$
%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	
5%	5.290	99.879	0.058	5.282	99.891	0.047	5.208	99.882	0.061	
	5.500	99.507	0.130	5.500	99.516	0.126	5.500	99.367	0.080	
	6.000	98.036	0.193	6.000	98.020	0.198	6.000	97.668	0.192	
	6.500	94.856	0.230	6.500	94.883	0.227	6.500	93.984	0.246	
	7.000	91.145	0.302	7.000	91.115	0.298	7.000	90.152	0.308	
10%	5.290	99.834	0.126	5.282	99.845	0.111	5.208	99.842	0.117	
	5.500	99.490	0.202	5.500	99.517	0.205	5.500	99.332	0.186	
	6.000	97.955	0.348	6.000	97.964	0.347	6.000	97.595	0.373	
	6.500	94.854	0.385	6.500	94.839	0.380	6.500	93.977	0.387	
	7.000	91.084	0.438	7.000	90.981	0.461	7.000	89.984	0.479	
15%	5.290	99.771	0.187	5.282	99.798	0.166	5.208	99.766	0.190	
	5.500	99.428	0.315	5.500	99.461	0.266	5.500	99.295	0.303	
	6.000	97.896	0.466	6.000	97.905	0.483	6.000	97.400	0.475	
	6.500	94.772	0.533	6.500	94.789	0.544	6.500	93.949	0.561	
	7.000	90.959	0.583	7.000	90.941	0.593	7.000	89.913	0.572	
u_a		1935-2020								
		BKMŘ+V _{Z,MŘ}			BKN+V _{Z,MŘ}			BKN+V _{Z,N}		
		O_p	$\mu(P_t)$	$\sigma(P_t)$	O_p	$\mu(P_t)$	$\sigma(P_t)$	O_p	$\mu(P_t)$	$\sigma(P_t)$
%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	
5%	4.410	99.922	0.030	4.403	99.923	0.028	4.291	99.926	0.024	
	4.500	99.837	0.046	4.500	99.838	0.046	4.500	99.742	0.036	
	5.000	99.366	0.071	5.000	99.375	0.073	5.000	99.248	0.056	
	5.500	98.474	0.151	5.500	98.465	0.151	5.500	98.297	0.135	
	6.000	96.840	0.163	6.000	96.824	0.173	6.000	96.385	0.171	
	6.500	93.818	0.194	6.500	93.846	0.194	6.500	92.951	0.209	
	7.000	90.166	0.257	7.000	90.196	0.239	7.000	89.157	0.275	
10%	4.410	99.892	0.057	4.403	99.893	0.060	4.291	99.902	0.048	
	4.500	99.821	0.083	4.500	99.821	0.079	4.500	99.730	0.081	
	5.000	99.345	0.130	5.000	99.354	0.120	5.000	99.220	0.127	
	5.500	98.482	0.192	5.500	98.482	0.194	5.500	98.273	0.183	
	6.000	96.764	0.291	6.000	96.779	0.288	6.000	96.374	0.270	
	6.500	93.762	0.326	6.500	93.788	0.335	6.500	92.904	0.349	
	7.000	90.065	0.382	7.000	90.056	0.379	7.000	89.024	0.416	
15%	4.410	99.871	0.080	4.403	99.869	0.086	4.291	99.877	0.076	
	4.500	99.803	0.105	4.500	99.801	0.112	4.500	99.717	0.110	
	5.000	99.318	0.176	5.000	99.321	0.165	5.000	99.204	0.174	
	5.500	98.411	0.278	5.500	98.427	0.264	5.500	98.194	0.275	
	6.000	96.727	0.371	6.000	96.717	0.392	6.000	96.270	0.416	
	6.500	93.675	0.477	6.500	93.713	0.435	6.500	92.822	0.434	
	7.000	89.970	0.544	7.000	89.895	0.488	7.000	88.717	0.575	

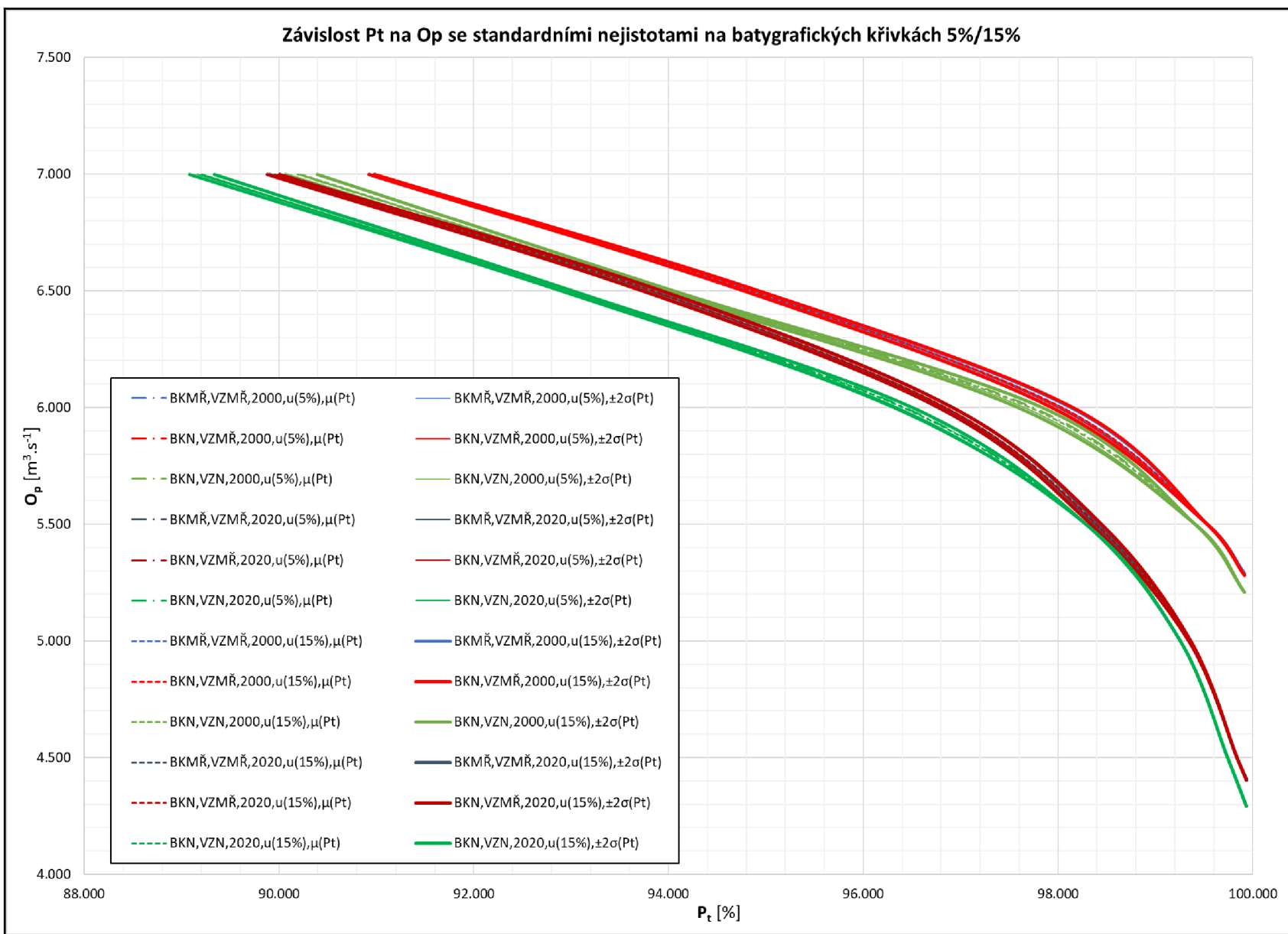
Obr. 22 Závislost P_t na O_p se standardní nejistotou na průtoku vody nádrží 5%/15%



Tab. 14 Střední hodnoty $\mu(P_t)$ a směrodatné odchylky $\pm\sigma(P_t)$ zabezpečení trvání se zavedením nejistoty na batygrafické křivky pro stochastické řešení úlohy 2 s uvažováním ztrát

u_a	1935-2000								
	BKMR $\check{R}+V_{Z,M\check{R}}$			BKN $+V_{Z,M\check{R}}$			BKN $+V_{Z,N}$		
	O_p	$\mu(P_t)$	$\sigma(P_t)$	O_p	$\mu(P_t)$	$\sigma(P_t)$	O_p	$\mu(P_t)$	$\sigma(P_t)$
%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%
5%	5.290	99.912	0.000	5.282	99.912	0.000	5.208	99.912	0.000
	5.500	99.533	0.000	5.500	99.533	0.000	5.500	99.407	0.000
	6.000	98.019	0.000	6.000	98.020	0.010	6.000	97.748	0.044
	6.500	94.863	0.000	6.500	94.863	0.000	6.500	93.980	0.000
	7.000	90.951	0.000	7.000	90.951	0.000	7.000	90.195	0.007
10%	5.290	99.912	0.000	5.282	99.912	0.000	5.208	99.912	0.000
	5.500	99.533	0.000	5.500	99.533	0.000	5.500	99.407	0.000
	6.000	98.030	0.036	6.000	98.032	0.039	6.000	97.720	0.061
	6.500	94.862	0.015	6.500	94.861	0.018	6.500	93.981	0.010
	7.000	90.951	0.000	7.000	90.951	0.000	7.000	90.209	0.047
15%	5.290	99.912	0.000	5.282	99.912	0.000	5.208	99.912	0.000
	5.500	99.533	0.000	5.500	99.533	0.000	5.500	99.407	0.000
	6.000	98.041	0.048	6.000	98.050	0.054	6.000	97.715	0.063
	6.500	94.857	0.032	6.500	94.858	0.040	6.500	93.979	0.039
	7.000	90.953	0.013	7.000	90.952	0.015	7.000	90.229	0.082
u_a	1935-2020								
	BKMR $\check{R}+V_{Z,M\check{R}}$			BKN $+V_{Z,M\check{R}}$			BKN $+V_{Z,N}$		
	O_p	$\mu(P_t)$	$\sigma(P_t)$	O_p	$\mu(P_t)$	$\sigma(P_t)$	O_p	$\mu(P_t)$	$\sigma(P_t)$
%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%
5%	4.410	99.932	0.000	4.403	99.932	0.000	4.291	99.932	0.000
	4.500	99.836	0.000	4.500	99.836	0.000	4.500	99.738	0.000
	5.000	99.351	0.000	5.000	99.351	0.000	5.000	99.254	0.000
	5.500	98.383	0.000	5.500	98.383	0.000	5.500	98.285	0.000
	6.000	96.832	0.000	6.000	96.833	0.010	6.000	96.430	0.035
	6.500	93.830	0.000	6.500	93.830	0.000	6.500	92.958	0.000
	7.000	89.955	0.000	7.000	89.955	0.000	7.000	89.182	0.011
10%	4.410	99.932	0.000	4.403	99.932	0.000	4.291	99.932	0.000
	4.500	99.836	0.000	4.500	99.836	0.000	4.500	99.738	0.000
	5.000	99.351	0.000	5.000	99.351	0.000	5.000	99.254	0.000
	5.500	98.383	0.008	5.500	98.384	0.011	5.500	98.285	0.000
	6.000	96.839	0.024	6.000	96.842	0.028	6.000	96.415	0.045
	6.500	93.832	0.015	6.500	93.829	0.026	6.500	92.959	0.010
	7.000	89.953	0.015	7.000	89.952	0.018	7.000	89.192	0.035
15%	4.410	99.932	0.000	4.403	99.932	0.000	4.291	99.932	0.000
	4.500	99.836	0.000	4.500	99.836	0.000	4.500	99.738	0.000
	5.000	99.351	0.000	5.000	99.351	0.006	5.000	99.254	0.000
	5.500	98.386	0.017	5.500	98.391	0.028	5.500	98.285	0.000
	6.000	96.849	0.036	6.000	96.849	0.036	6.000	96.412	0.047
	6.500	93.839	0.040	6.500	93.838	0.051	6.500	92.960	0.030
	7.000	89.955	0.024	7.000	89.944	0.032	7.000	89.208	0.063

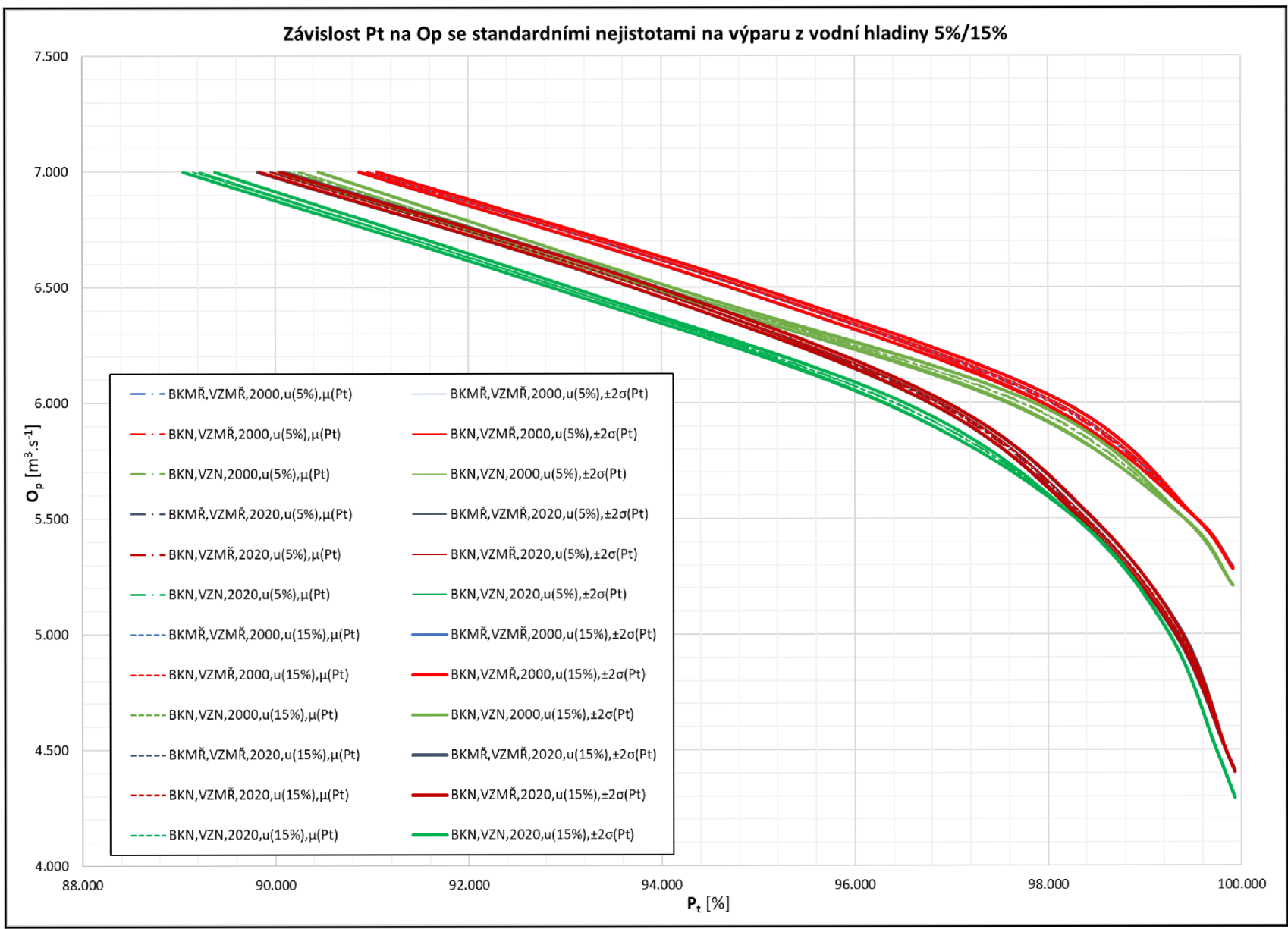
Obr. 23 Závislost P_t na O_p se standardní nejistotou na batygrafických křivkách 5%/15%



Tab. 15 Střední hodnoty $\mu(P_t)$ a směrodatné odchylky $\pm\sigma(P_t)$ zabezpečení trvání se zavedením nejistoty na výpar z vodní hladiny pro stochastické řešení úlohy 2 s uvažováním ztrát

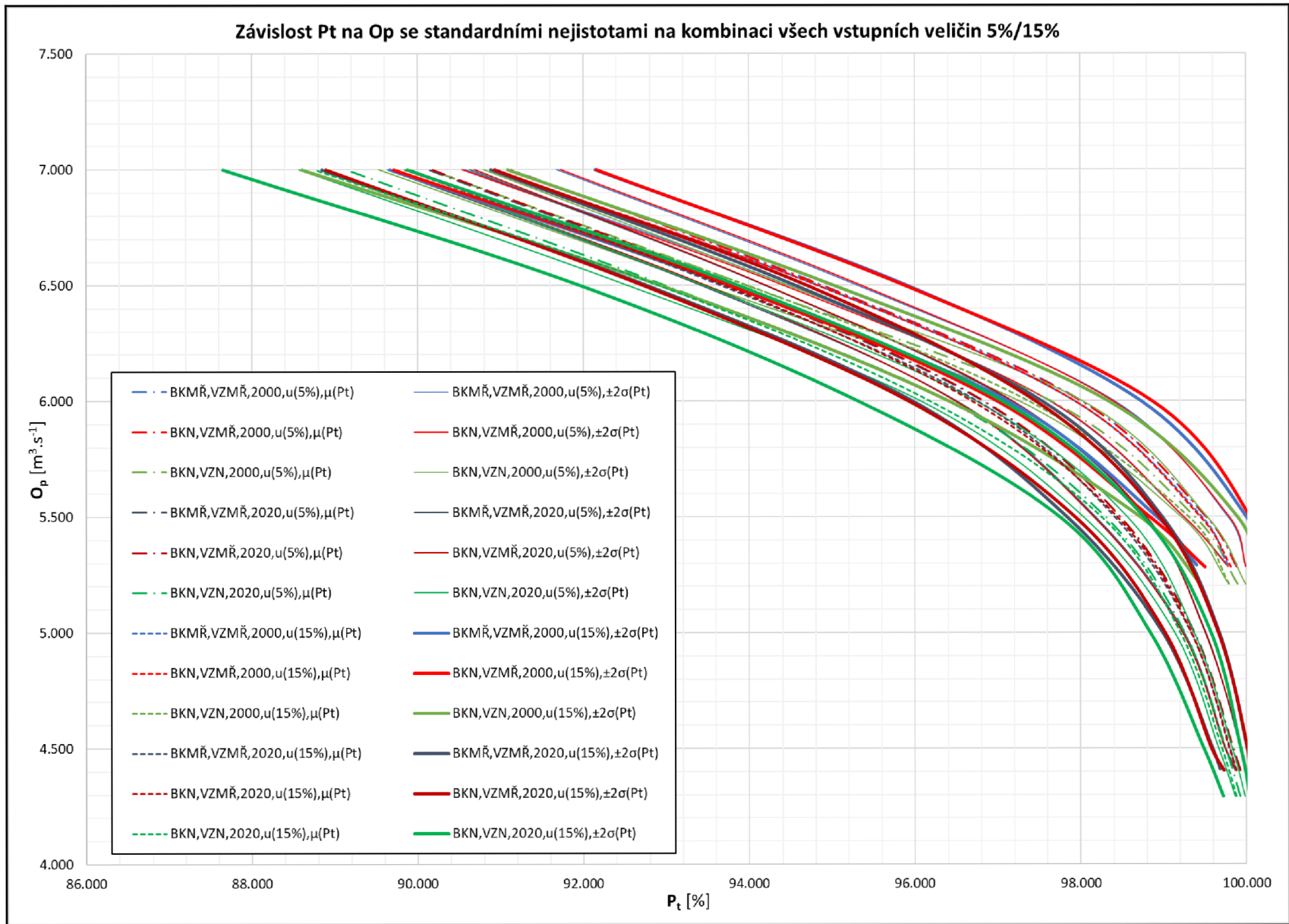
u_a	1935-2000								
	BKMŘ+V _{Z,MŘ}			BKN+V _{Z,MŘ}			BKN+V _{Z,N}		
	O_p	$\mu(P_t)$	$\sigma(P_t)$	O_p	$\mu(P_t)$	$\sigma(P_t)$	O_p	$\mu(P_t)$	$\sigma(P_t)$
%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%
5%	5.290	99.912	0.000	5.282	99.912	0.000	5.208	99.912	0.000
	5.500	99.533	0.000	5.500	99.533	0.000	5.500	99.407	0.000
	6.000	98.027	0.031	6.000	98.027	0.032	6.000	97.736	0.054
	6.500	94.863	0.010	6.500	94.863	0.010	6.500	93.981	0.007
	7.000	90.951	0.000	7.000	90.951	0.000	7.000	90.202	0.032
10%	5.290	99.912	0.000	5.282	99.912	0.000	5.208	99.912	0.000
	5.500	99.533	0.000	5.500	99.533	0.000	5.500	99.407	0.000
	6.000	98.052	0.056	6.000	98.045	0.051	6.000	97.722	0.061
	6.500	94.857	0.033	6.500	94.858	0.030	6.500	93.984	0.033
	7.000	90.952	0.007	7.000	90.952	0.007	7.000	90.220	0.069
15%	5.290	99.912	0.000	5.282	99.912	0.000	5.208	99.912	0.000
	5.500	99.533	0.000	5.500	99.533	0.000	5.500	99.407	0.000
	6.000	98.058	0.058	6.000	98.052	0.058	6.000	97.714	0.069
	6.500	94.845	0.069	6.500	94.849	0.068	6.500	93.984	0.061
	7.000	90.962	0.047	7.000	90.962	0.047	7.000	90.241	0.105
u_a	1935-2020								
	BKMŘ+V _{Z,MŘ}			BKN+V _{Z,MŘ}			BKN+V _{Z,N}		
	O_p	$\mu(P_t)$	$\sigma(P_t)$	O_p	$\mu(P_t)$	$\sigma(P_t)$	O_p	$\mu(P_t)$	$\sigma(P_t)$
%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%
5%	4.410	99.932	0.000	4.403	99.932	0.000	4.291	99.932	0.000
	4.500	99.836	0.000	4.500	99.836	0.000	4.500	99.738	0.000
	5.000	99.351	0.000	5.000	99.351	0.000	5.000	99.254	0.000
	5.500	98.383	0.006	5.500	98.383	0.008	5.500	98.285	0.000
	6.000	96.840	0.025	6.000	96.840	0.026	6.000	96.419	0.043
	6.500	93.830	0.000	6.500	93.830	0.008	6.500	92.958	0.000
	7.000	89.955	0.006	7.000	89.955	0.006	7.000	89.184	0.018
10%	4.410	99.932	0.000	4.403	99.932	0.000	4.291	99.932	0.000
	4.500	99.836	0.000	4.500	99.836	0.000	4.500	99.738	0.000
	5.000	99.351	0.006	5.000	99.351	0.006	5.000	99.254	0.000
	5.500	98.392	0.028	5.500	98.393	0.030	5.500	98.285	0.000
	6.000	96.854	0.041	6.000	96.854	0.040	6.000	96.411	0.046
	6.500	93.831	0.040	6.500	93.833	0.039	6.500	92.962	0.025
	7.000	89.947	0.033	7.000	89.947	0.028	7.000	89.208	0.061
15%	4.410	99.932	0.000	4.403	99.932	0.000	4.291	99.932	0.000
	4.500	99.836	0.000	4.500	99.836	0.000	4.500	99.738	0.000
	5.000	99.356	0.022	5.000	99.354	0.017	5.000	99.254	0.000
	5.500	98.395	0.032	5.500	98.397	0.035	5.500	98.285	0.000
	6.000	96.861	0.045	6.000	96.864	0.045	6.000	96.404	0.054
	6.500	93.834	0.067	6.500	93.827	0.062	6.500	92.963	0.052
	7.000	89.951	0.067	7.000	89.945	0.054	7.000	89.215	0.082

Obr. 24 Závislost P_t na O_p se standardní nejistotou na výparu z vodní hladiny 5%/15%



Tab. 16 Střední hodnoty $\mu(P_t)$ a směrodatné odchylky $\pm\sigma(P_t)$ zabezpečení trvání se zavedením nejistoty na kombinaci všech vstupních veličin pro stochastické řešení úlohy 2 s uvažováním ztrát

u_a	1935-2000								
	BKMR $\check{R}+V_{Z,M\check{R}}$			BKN $+V_{Z,M\check{R}}$			BKN $+V_{Z,N}$		
	O_p	$\mu(P_t)$	$\sigma(P_t)$	O_p	$\mu(P_t)$	$\sigma(P_t)$	O_p	$\mu(P_t)$	$\sigma(P_t)$
%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%
5%	5.290	99.880	0.056	5.282	99.885	0.052	5.208	99.887	0.051
	5.500	99.507	0.135	5.500	99.516	0.137	5.500	99.368	0.079
	6.000	98.011	0.197	6.000	98.007	0.188	6.000	97.638	0.191
	6.500	94.886	0.209	6.500	94.878	0.234	6.500	93.966	0.248
	7.000	91.123	0.278	7.000	91.129	0.296	7.000	90.162	0.316
10%	5.290	99.841	0.113	5.282	99.850	0.097	5.208	99.843	0.114
	5.500	99.511	0.198	5.500	99.491	0.222	5.500	99.339	0.179
	6.000	97.972	0.335	6.000	97.975	0.321	6.000	97.604	0.371
	6.500	94.837	0.394	6.500	94.840	0.383	6.500	94.006	0.380
	7.000	91.057	0.414	7.000	91.003	0.471	7.000	90.073	0.484
15%	5.290	99.771	0.186	5.282	99.810	0.153	5.208	99.789	0.173
	5.500	99.458	0.270	5.500	99.439	0.302	5.500	99.298	0.296
	6.000	97.926	0.402	6.000	97.930	0.469	6.000	97.368	0.482
	6.500	94.828	0.539	6.500	94.828	0.524	6.500	93.976	0.523
	7.000	90.905	0.619	7.000	90.935	0.610	7.000	89.845	0.621
u_a	1935-2020								
	BKMR $\check{R}+V_{Z,M\check{R}}$			BKN $+V_{Z,M\check{R}}$			BKN $+V_{Z,N}$		
	O_p	$\mu(P_t)$	$\sigma(P_t)$	O_p	$\mu(P_t)$	$\sigma(P_t)$	O_p	$\mu(P_t)$	$\sigma(P_t)$
%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%
5%	4.410	99.923	0.028	4.403	99.921	0.031	4.291	99.921	0.031
	4.500	99.833	0.045	4.500	99.837	0.051	4.500	99.744	0.042
	5.000	99.373	0.066	5.000	99.363	0.069	5.000	99.249	0.060
	5.500	98.475	0.152	5.500	98.473	0.160	5.500	98.293	0.134
	6.000	96.820	0.162	6.000	96.829	0.173	6.000	96.399	0.168
	6.500	93.799	0.193	6.500	93.836	0.182	6.500	92.984	0.229
	7.000	90.137	0.247	7.000	90.185	0.249	7.000	89.140	0.287
10%	4.410	99.897	0.058	4.403	99.899	0.051	4.291	99.903	0.050
	4.500	99.817	0.079	4.500	99.803	0.088	4.500	99.720	0.080
	5.000	99.351	0.125	5.000	99.346	0.128	5.000	99.218	0.126
	5.500	98.490	0.211	5.500	98.477	0.204	5.500	98.282	0.192
	6.000	96.806	0.277	6.000	96.798	0.292	6.000	96.353	0.298
	6.500	93.746	0.352	6.500	93.782	0.310	6.500	92.952	0.326
	7.000	90.095	0.350	7.000	90.039	0.365	7.000	88.975	0.429
15%	4.410	99.860	0.089	4.403	99.878	0.074	4.291	99.878	0.080
	4.500	99.799	0.104	4.500	99.794	0.107	4.500	99.704	0.111
	5.000	99.330	0.170	5.000	99.338	0.160	5.000	99.203	0.183
	5.500	98.409	0.287	5.500	98.440	0.255	5.500	98.249	0.253
	6.000	96.753	0.390	6.000	96.688	0.383	6.000	96.181	0.435
	6.500	93.664	0.447	6.500	93.710	0.493	6.500	92.913	0.477
	7.000	89.865	0.509	7.000	89.911	0.510	7.000	88.764	0.556

Obr. 25 Závislost P_t na O_p se standardní nejistotou na kombinaci všech vstupních veličin 5%/15%

Výsledky analýzy úlohy 2 pro zabezpečení podle trvání P_t odpovídají výsledkům z předchozích analýz úlohy 1 a úlohy 2. Nadále zde převažuje vliv průtokových řad, další výrazný vliv na výpočet má snížený zásobní objem nádrže a aktualizované batygrafické křivky ovlivňují výsledky minimálně. Vliv nejistot na batygrafických křivkách a výparu přináší minimální směrodatné odchylky oproti vlivu nejistot na průtoku vody nádrží.

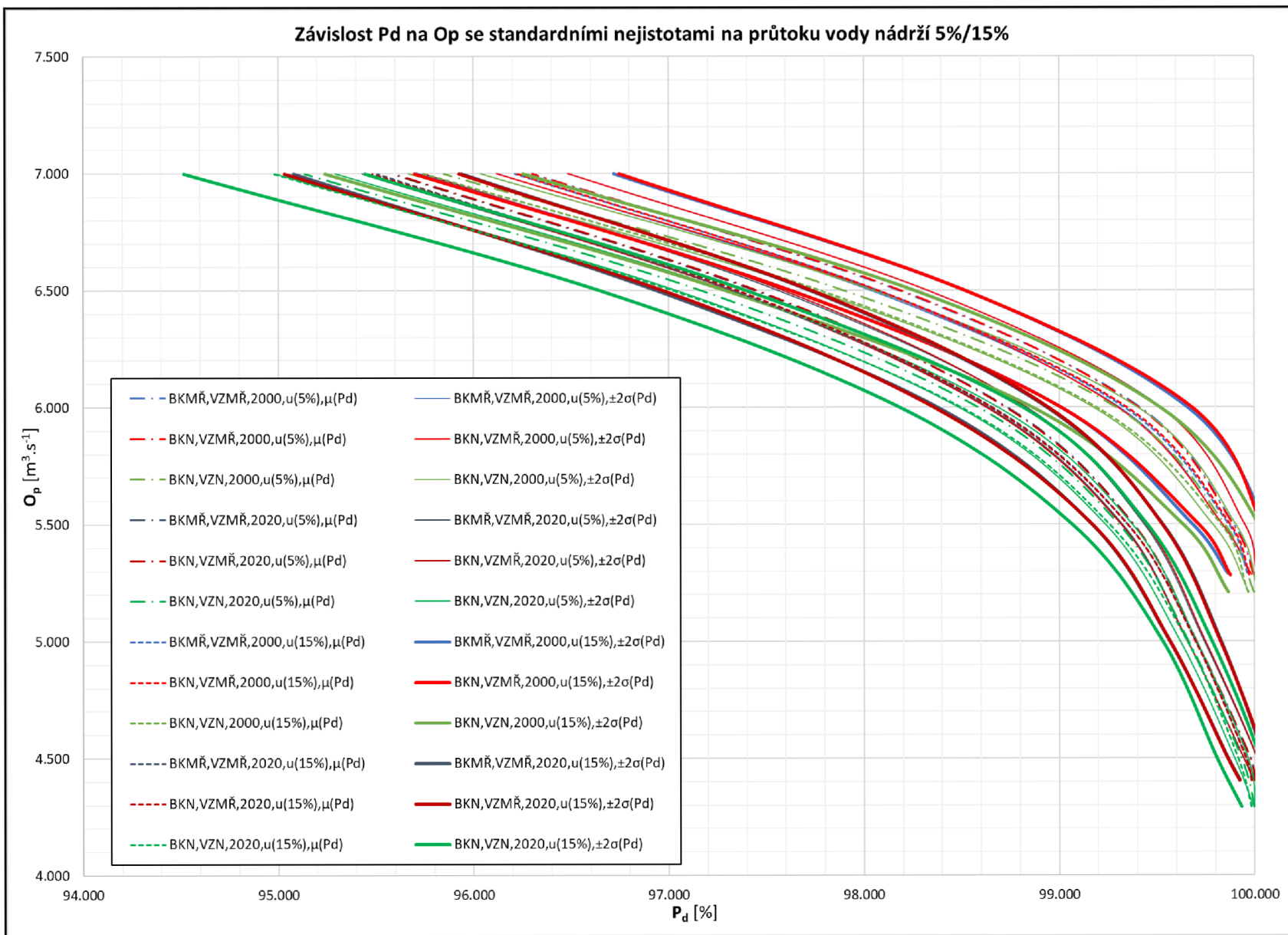
Je zajímavé si všimnout, že směrodatné odchylky středních hodnot zabezpečení jsou u průtokových řad do roku 2000 více než dvojnásobné oproti průtokovým řadám do roku 2020 pro zabezpečení 99,5 %. Například při standardní vstupní nejistotě 5 % na kombinaci všech vstupů vychází pro průtokovou řadu 1935 – 2000 směrodatná odchylka 0,135 % a pro průtokovou řadu 1935 – 2020 vychází směrodatná odchylka 0,060 %. To je nejspíše způsobeno přesnějšími hydrologickými daty z posledních let a také nižší hodnotou nalepšeného odtoku pro zabezpečení 99,5 %.

Veškeré nastavení modelu a vstupy do výpočtu zabezpečení dodání vody P_d jsou totožné s výpočtem zabezpečení podle trvání P_t . Proto zde již nebudou uváděny a rovnou budou prezentovány výsledky formou tabulek a grafů.

Tab. 17 Střední hodnoty $\mu(P_d)$ a směrodatné odchylky $\pm\sigma(P_d)$ zabezpečení dodání vody se zavedením nejistoty na průtoku vody nádrží pro stochastické řešení úlohy 2 s uvažováním ztrát

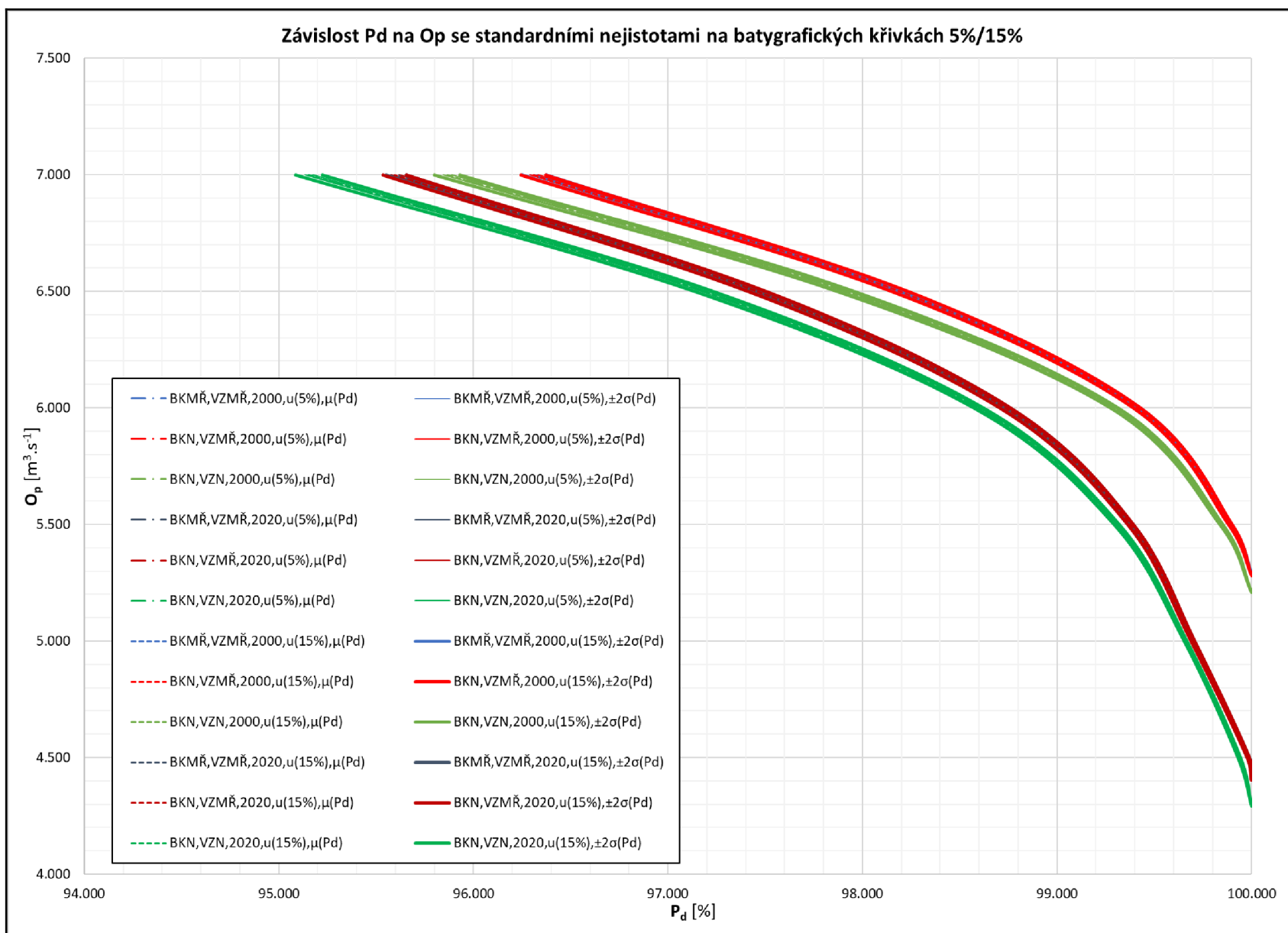
u_a		1935-2000								
		BKMR \check{R} +V $_{Z,M\check{R}}$			BKN+V $_{Z,M\check{R}}$			BKN+V $_{Z,N}$		
		O $_p$	$\mu(P_d)$	$\sigma(P_d)$	O $_p$	$\mu(P_d)$	$\sigma(P_d)$	O $_p$	$\mu(P_d)$	$\sigma(P_d)$
%	m $^3 \cdot s^{-1}$	%	%	m $^3 \cdot s^{-1}$	%	%	m $^3 \cdot s^{-1}$	%	%	
5%	5.290	99.996	0.010	5.282	99.998	0.007	5.208	99.996	0.012	
	5.500	99.892	0.029	5.500	99.892	0.029	5.500	99.846	0.029	
	6.000	99.413	0.054	6.000	99.408	0.055	6.000	99.289	0.056	
	6.500	98.179	0.073	6.500	98.190	0.067	6.500	97.897	0.076	
	7.000	96.304	0.091	7.000	96.302	0.091	7.000	95.851	0.092	
10%	5.290	99.983	0.032	5.282	99.983	0.031	5.208	99.986	0.027	
	5.500	99.885	0.056	5.500	99.892	0.059	5.500	99.838	0.062	
	6.000	99.378	0.106	6.000	99.379	0.106	6.000	99.261	0.118	
	6.500	98.139	0.147	6.500	98.148	0.143	6.500	97.843	0.145	
	7.000	96.283	0.175	7.000	96.255	0.176	7.000	95.811	0.173	
15%	5.290	99.965	0.051	5.282	99.973	0.048	5.208	99.966	0.050	
	5.500	99.869	0.093	5.500	99.875	0.080	5.500	99.827	0.097	
	6.000	99.335	0.162	6.000	99.347	0.168	6.000	99.191	0.164	
	6.500	98.073	0.223	6.500	98.073	0.223	6.500	97.776	0.242	
	7.000	96.214	0.253	7.000	96.223	0.262	7.000	95.749	0.253	
u_a		1935-2020								
		BKMR \check{R} +V $_{Z,M\check{R}}$			BKN+V $_{Z,M\check{R}}$			BKN+V $_{Z,N}$		
		O $_p$	$\mu(P_d)$	$\sigma(P_d)$	O $_p$	$\mu(P_d)$	$\sigma(P_d)$	O $_p$	$\mu(P_d)$	$\sigma(P_d)$
%	m $^3 \cdot s^{-1}$	%	%	m $^3 \cdot s^{-1}$	%	%	m $^3 \cdot s^{-1}$	%	%	
5%	4.410	99.999	0.003	4.403	99.999	0.004	4.291	100.000	0.003	
	4.500	99.978	0.017	4.500	99.978	0.017	4.500	99.931	0.017	
	5.000	99.700	0.021	5.000	99.702	0.023	5.000	99.661	0.021	
	5.500	99.379	0.028	5.500	99.379	0.031	5.500	99.304	0.034	
	6.000	98.734	0.049	6.000	98.726	0.050	6.000	98.585	0.050	
	6.500	97.443	0.058	6.500	97.452	0.067	6.500	97.167	0.065	
	7.000	95.586	0.079	7.000	95.594	0.075	7.000	95.138	0.077	
10%	4.410	99.992	0.016	4.403	99.991	0.018	4.291	99.995	0.011	
	4.500	99.967	0.033	4.500	99.967	0.031	4.500	99.924	0.038	
	5.000	99.701	0.043	5.000	99.704	0.042	5.000	99.656	0.043	
	5.500	99.373	0.057	5.500	99.377	0.060	5.500	99.295	0.062	
	6.000	98.691	0.103	6.000	98.688	0.096	6.000	98.553	0.092	
	6.500	97.405	0.128	6.500	97.416	0.129	6.500	97.113	0.133	
	7.000	95.543	0.156	7.000	95.540	0.149	7.000	95.102	0.166	
15%	4.410	99.983	0.030	4.403	99.982	0.030	4.291	99.985	0.025	
	4.500	99.955	0.045	4.500	99.955	0.047	4.500	99.916	0.054	
	5.000	99.698	0.066	5.000	99.696	0.064	5.000	99.656	0.063	
	5.500	99.350	0.091	5.500	99.348	0.090	5.500	99.258	0.096	
	6.000	98.659	0.140	6.000	98.651	0.146	6.000	98.499	0.158	
	6.500	97.332	0.197	6.500	97.352	0.191	6.500	97.022	0.187	
	7.000	95.510	0.216	7.000	95.480	0.224	7.000	94.981	0.232	

Obr. 26 Závislost P_d na O_p se standardní nejistotou na průtoku vody nádrží 5%/15%



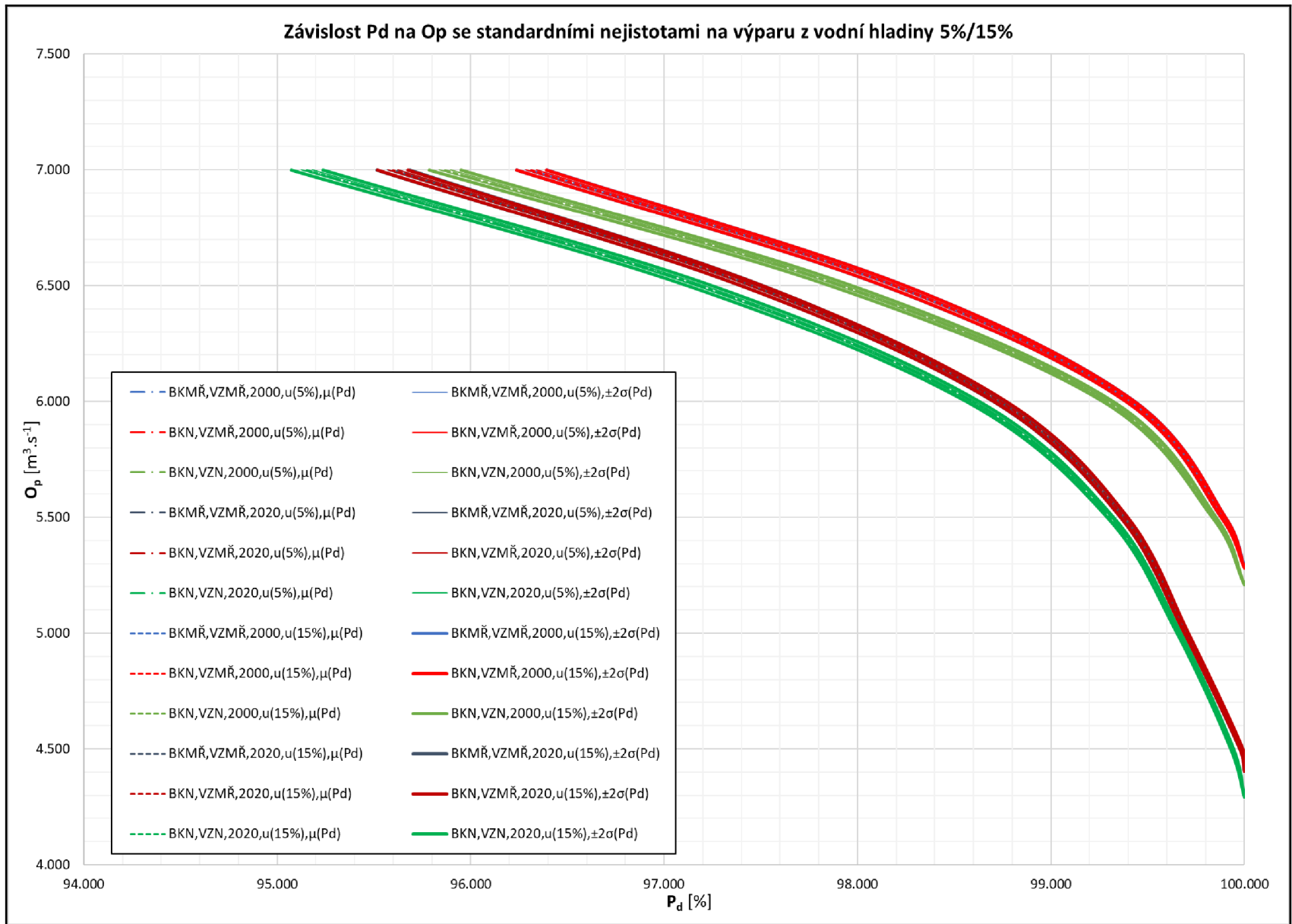
Tab. 18 Střední hodnoty $\mu(P_d)$ a směrodatné odchylky $\pm\sigma(P_d)$ zabezpečení dodání vody se zavedením nejistoty na batygrafické křivky pro stochastické řešení úlohy 2 s uvažováním ztrát

u_a	1935-2000								
	BKMR $\check{R}+V_{Z,M\check{R}}$			BKN $+V_{Z,M\check{R}}$			BKN $+V_{Z,N}$		
	O_p	$\mu(P_d)$	$\sigma(P_d)$	O_p	$\mu(P_d)$	$\sigma(P_d)$	O_p	$\mu(P_d)$	$\sigma(P_d)$
%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%
5%	5.290	100.000	0.000	5.282	100.000	0.000	5.208	100.000	0.000
	5.500	99.891	0.001	5.500	99.892	0.001	5.500	99.844	0.001
	6.000	99.411	0.002	6.000	99.411	0.003	6.000	99.295	0.003
	6.500	98.193	0.006	6.500	98.194	0.007	6.500	97.917	0.007
	7.000	96.311	0.008	7.000	96.311	0.011	7.000	95.866	0.011
10%	5.290	100.000	0.000	5.282	100.000	0.000	5.208	100.000	0.000
	5.500	99.891	0.003	5.500	99.891	0.003	5.500	99.844	0.002
	6.000	99.411	0.006	6.000	99.411	0.006	6.000	99.294	0.007
	6.500	98.193	0.012	6.500	98.193	0.013	6.500	97.917	0.015
	7.000	96.312	0.018	7.000	96.311	0.021	7.000	95.865	0.020
15%	5.290	100.000	0.000	5.282	100.000	0.000	5.208	100.000	0.000
	5.500	99.892	0.004	5.500	99.891	0.005	5.500	99.844	0.004
	6.000	99.413	0.008	6.000	99.412	0.009	6.000	99.295	0.010
	6.500	98.193	0.017	6.500	98.194	0.021	6.500	97.915	0.022
	7.000	96.313	0.031	7.000	96.308	0.032	7.000	95.865	0.033
u_a	1935-2020								
	BKMR $\check{R}+V_{Z,M\check{R}}$			BKN $+V_{Z,M\check{R}}$			BKN $+V_{Z,N}$		
	O_p	$\mu(P_d)$	$\sigma(P_d)$	O_p	$\mu(P_d)$	$\sigma(P_d)$	O_p	$\mu(P_d)$	$\sigma(P_d)$
%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%
5%	4.410	100.000	0.000	4.403	100.000	0.000	4.291	100.000	0.000
	4.500	99.984	0.001	4.500	99.984	0.001	4.500	99.936	0.001
	5.000	99.700	0.001	5.000	99.700	0.001	5.000	99.660	0.001
	5.500	99.379	0.002	5.500	99.379	0.002	5.500	99.306	0.002
	6.000	98.736	0.003	6.000	98.737	0.004	6.000	98.597	0.004
	6.500	97.459	0.007	6.500	97.460	0.007	6.500	97.186	0.008
	7.000	95.597	0.009	7.000	95.599	0.011	7.000	95.155	0.011
10%	4.410	100.000	0.000	4.403	100.000	0.000	4.291	100.000	0.000
	4.500	99.984	0.001	4.500	99.984	0.002	4.500	99.936	0.002
	5.000	99.700	0.002	5.000	99.700	0.003	5.000	99.660	0.003
	5.500	99.379	0.004	5.500	99.379	0.005	5.500	99.307	0.005
	6.000	98.737	0.008	6.000	98.736	0.009	6.000	98.597	0.008
	6.500	97.460	0.013	6.500	97.457	0.015	6.500	97.187	0.015
	7.000	95.598	0.019	7.000	95.599	0.020	7.000	95.154	0.021
15%	4.410	100.000	0.000	4.403	100.000	0.000	4.291	100.000	0.000
	4.500	99.984	0.002	4.500	99.984	0.003	4.500	99.936	0.003
	5.000	99.700	0.004	5.000	99.699	0.005	5.000	99.660	0.004
	5.500	99.379	0.006	5.500	99.379	0.007	5.500	99.306	0.007
	6.000	98.736	0.012	6.000	98.735	0.014	6.000	98.597	0.012
	6.500	97.460	0.020	6.500	97.460	0.023	6.500	97.186	0.024
	7.000	95.602	0.026	7.000	95.596	0.031	7.000	95.154	0.035

Obr. 27 Závislost P_d na O_p se standardní nejistotou na batygrafických křivkách 5%/15%

Tab. 19 Střední hodnoty $\mu(P_d)$ a směrodatné odchylky $\pm\sigma(P_d)$ zabezpečení dodání vody se zavedením nejistoty na výparu z vodní hladiny pro stochastické řešení úlohy 2 s uvažováním ztrát

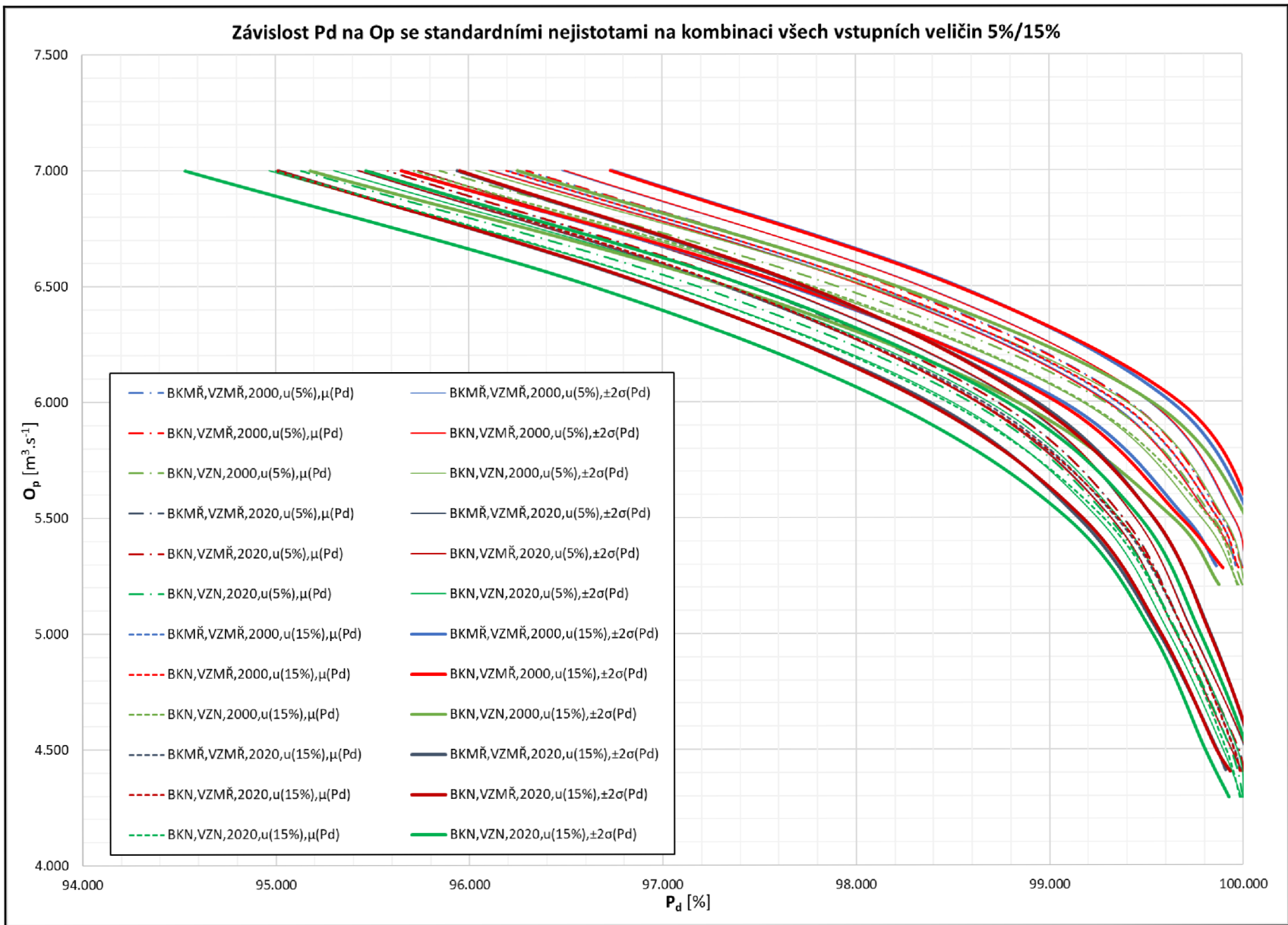
u_a	1935-2000								
	BKMŘ+V _{Z,MŘ}			BKN+V _{Z,MŘ}			BKN+V _{Z,N}		
	O_p	$\mu(P_d)$	$\sigma(P_d)$	O_p	$\mu(P_d)$	$\sigma(P_d)$	O_p	$\mu(P_d)$	$\sigma(P_d)$
%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%
5%	5.290	100.000	0.000	5.282	100.000	0.000	5.208	100.000	0.000
	5.500	99.891	0.002	5.500	99.892	0.002	5.500	99.844	0.002
	6.000	99.412	0.004	6.000	99.412	0.004	6.000	99.295	0.004
	6.500	98.193	0.008	6.500	98.193	0.008	6.500	97.917	0.009
	7.000	96.311	0.014	7.000	96.313	0.014	7.000	95.866	0.015
10%	5.290	100.000	0.000	5.282	100.000	0.000	5.208	100.000	0.000
	5.500	99.891	0.004	5.500	99.891	0.004	5.500	99.844	0.003
	6.000	99.412	0.008	6.000	99.412	0.008	6.000	99.296	0.009
	6.500	98.193	0.017	6.500	98.195	0.016	6.500	97.917	0.019
	7.000	96.310	0.027	7.000	96.312	0.026	7.000	95.863	0.027
15%	5.290	100.000	0.000	5.282	100.000	0.000	5.208	100.000	0.000
	5.500	99.892	0.005	5.500	99.892	0.005	5.500	99.844	0.005
	6.000	99.412	0.011	6.000	99.412	0.011	6.000	99.295	0.013
	6.500	98.192	0.028	6.500	98.192	0.028	6.500	97.916	0.028
	7.000	96.315	0.039	7.000	96.314	0.038	7.000	95.868	0.041
u_a	1935-2020								
	BKMŘ+V _{Z,MŘ}			BKN+V _{Z,MŘ}			BKN+V _{Z,N}		
	O_p	$\mu(P_d)$	$\sigma(P_d)$	O_p	$\mu(P_d)$	$\sigma(P_d)$	O_p	$\mu(P_d)$	$\sigma(P_d)$
%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%
5%	4.410	100.000	0.000	4.403	100.000	0.000	4.291	100.000	0.000
	4.500	99.984	0.001	4.500	99.984	0.001	4.500	99.936	0.001
	5.000	99.700	0.002	5.000	99.700	0.002	5.000	99.660	0.002
	5.500	99.379	0.003	5.500	99.379	0.003	5.500	99.306	0.003
	6.000	98.737	0.005	6.000	98.737	0.006	6.000	98.597	0.005
	6.500	97.459	0.010	6.500	97.459	0.010	6.500	97.186	0.010
	7.000	95.598	0.013	7.000	95.599	0.012	7.000	95.154	0.014
10%	4.410	100.000	0.000	4.403	100.000	0.000	4.291	100.000	0.000
	4.500	99.984	0.002	4.500	99.984	0.002	4.500	99.936	0.002
	5.000	99.700	0.003	5.000	99.700	0.003	5.000	99.660	0.003
	5.500	99.379	0.006	5.500	99.379	0.006	5.500	99.306	0.005
	6.000	98.737	0.011	6.000	98.737	0.011	6.000	98.597	0.011
	6.500	97.460	0.019	6.500	97.461	0.019	6.500	97.186	0.020
	7.000	95.599	0.027	7.000	95.597	0.024	7.000	95.155	0.028
15%	4.410	100.000	0.000	4.403	100.000	0.000	4.291	100.000	0.000
	4.500	99.984	0.004	4.500	99.984	0.003	4.500	99.936	0.004
	5.000	99.700	0.005	5.000	99.700	0.005	5.000	99.661	0.005
	5.500	99.378	0.009	5.500	99.378	0.009	5.500	99.307	0.008
	6.000	98.737	0.016	6.000	98.738	0.016	6.000	98.597	0.017
	6.500	97.459	0.028	6.500	97.456	0.028	6.500	97.186	0.032
	7.000	95.601	0.042	7.000	95.598	0.039	7.000	95.155	0.041

Obr. 28 Závislost P_d na O_p se standardní nejistotou na výparu z vodní hladiny 5%/15%

Tab. 20 Střední hodnoty $\mu(P_d)$ a směrodatné odchylky $\pm\sigma(P_d)$ zabezpečení dodání vody se zavedením nejistoty na kombinaci všech vstupních veličin pro stochastické řešení úlohy 2 s uvažováním ztrát

u_a	1935-2000								
	BKMR \check{r} +V $_{z,M\check{r}}$			BKN+V $_{z,M\check{r}}$			BKN+V $_{z,N}$		
	O_p	$\mu(P_d)$	$\sigma(P_d)$	O_p	$\mu(P_d)$	$\sigma(P_d)$	O_p	$\mu(P_d)$	$\sigma(P_d)$
%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%
5%	5.290	99.996	0.010	5.282	99.996	0.009	5.208	99.997	0.008
	5.500	99.891	0.029	5.500	99.892	0.030	5.500	99.844	0.029
	6.000	99.410	0.053	6.000	99.407	0.056	6.000	99.285	0.057
	6.500	98.195	0.072	6.500	98.185	0.074	6.500	97.900	0.080
	7.000	96.299	0.091	7.000	96.299	0.097	7.000	95.850	0.093
10%	5.290	99.985	0.028	5.282	99.987	0.024	5.208	99.984	0.030
	5.500	99.890	0.058	5.500	99.888	0.060	5.500	99.842	0.060
	6.000	99.381	0.106	6.000	99.379	0.101	6.000	99.264	0.113
	6.500	98.129	0.142	6.500	98.152	0.160	6.500	97.858	0.155
	7.000	96.269	0.171	7.000	96.266	0.184	7.000	95.829	0.181
15%	5.290	99.965	0.051	5.282	99.976	0.040	5.208	99.971	0.047
	5.500	99.871	0.084	5.500	99.867	0.094	5.500	99.827	0.095
	6.000	99.350	0.140	6.000	99.355	0.158	6.000	99.179	0.174
	6.500	98.093	0.219	6.500	98.098	0.211	6.500	97.773	0.218
	7.000	96.200	0.273	7.000	96.194	0.270	7.000	95.715	0.268
u_a	1935-2020								
	BKMR \check{r} +V $_{z,M\check{r}}$			BKN+V $_{z,M\check{r}}$			BKN+V $_{z,N}$		
	O_p	$\mu(P_d)$	$\sigma(P_d)$	O_p	$\mu(P_d)$	$\sigma(P_d)$	O_p	$\mu(P_d)$	$\sigma(P_d)$
%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%	$m^3 \cdot s^{-1}$	%	%
5%	4.410	99.999	0.003	4.403	99.999	0.003	4.291	99.999	0.004
	4.500	99.975	0.017	4.500	99.977	0.019	4.500	99.933	0.019
	5.000	99.700	0.021	5.000	99.697	0.021	5.000	99.661	0.021
	5.500	99.380	0.030	5.500	99.380	0.031	5.500	99.303	0.028
	6.000	98.730	0.049	6.000	98.729	0.054	6.000	98.589	0.048
	6.500	97.441	0.063	6.500	97.451	0.063	6.500	97.181	0.072
	7.000	95.582	0.079	7.000	95.583	0.077	7.000	95.135	0.083
10%	4.410	99.993	0.015	4.403	99.993	0.013	4.291	99.994	0.013
	4.500	99.966	0.031	4.500	99.960	0.035	4.500	99.921	0.037
	5.000	99.701	0.046	5.000	99.700	0.044	5.000	99.658	0.042
	5.500	99.377	0.063	5.500	99.373	0.058	5.500	99.295	0.063
	6.000	98.708	0.090	6.000	98.704	0.103	6.000	98.549	0.107
	6.500	97.405	0.138	6.500	97.410	0.131	6.500	97.115	0.133
	7.000	95.557	0.144	7.000	95.546	0.155	7.000	95.099	0.149
15%	4.410	99.979	0.035	4.403	99.984	0.026	4.291	99.984	0.029
	4.500	99.955	0.046	4.500	99.953	0.047	4.500	99.912	0.055
	5.000	99.700	0.067	5.000	99.702	0.063	5.000	99.656	0.062
	5.500	99.344	0.097	5.500	99.353	0.092	5.500	99.278	0.095
	6.000	98.658	0.139	6.000	98.633	0.140	6.000	98.472	0.154
	6.500	97.332	0.197	6.500	97.344	0.198	6.500	97.041	0.202
	7.000	95.479	0.230	7.000	95.483	0.236	7.000	95.002	0.234

Obr. 29 Závislost P_d na O_p se standardní nejistotou na kombinaci všech vstupních veličin 5%/15%



Výsledky analýzy úlohy 2 pro zabezpečení dodání vody P_d odpovídají výsledkům z předchozích analýz úlohy 1 a úlohy 2. I zde převažuje vliv průtokových řad, další výrazný vliv na výpočet má snížený zásobní objem nádrže a aktualizované batygrafické křivky ovlivňují výsledky minimálně. Vliv nejistot na batygrafických křivkách a výparu přináší minimální směrodatné odchylky oproti vlivu nejistot na průtoku vody nádrží.

Závěry z této analýzy jsou podobné jako při analýze zabezpečení podle trvání. Konkrétní výsledky pro obě analýzy budou uvedeny ve shrnutí výsledků v nadcházející kapitole.

6 SHRNU TÍ VÝSLEDKŮ

V následujících podkapitolách budou jednotlivé výsledky zaměření a analýz rozebrány a okomentovány.

6.1 ZANÁŠENÍ NÁDRŽE

Z provedeného zaměření dna nádrže Vranov a následného vymodelování digitálního modelu terénu je jasně patrné, že došlo k výrazné ztrátě celkového objemu nádrže. To je z velké části způsobeno zanesením nádrže sedimenty. Změna objemů funkčních prostorů v nádrži je patrná v následující tabulce.

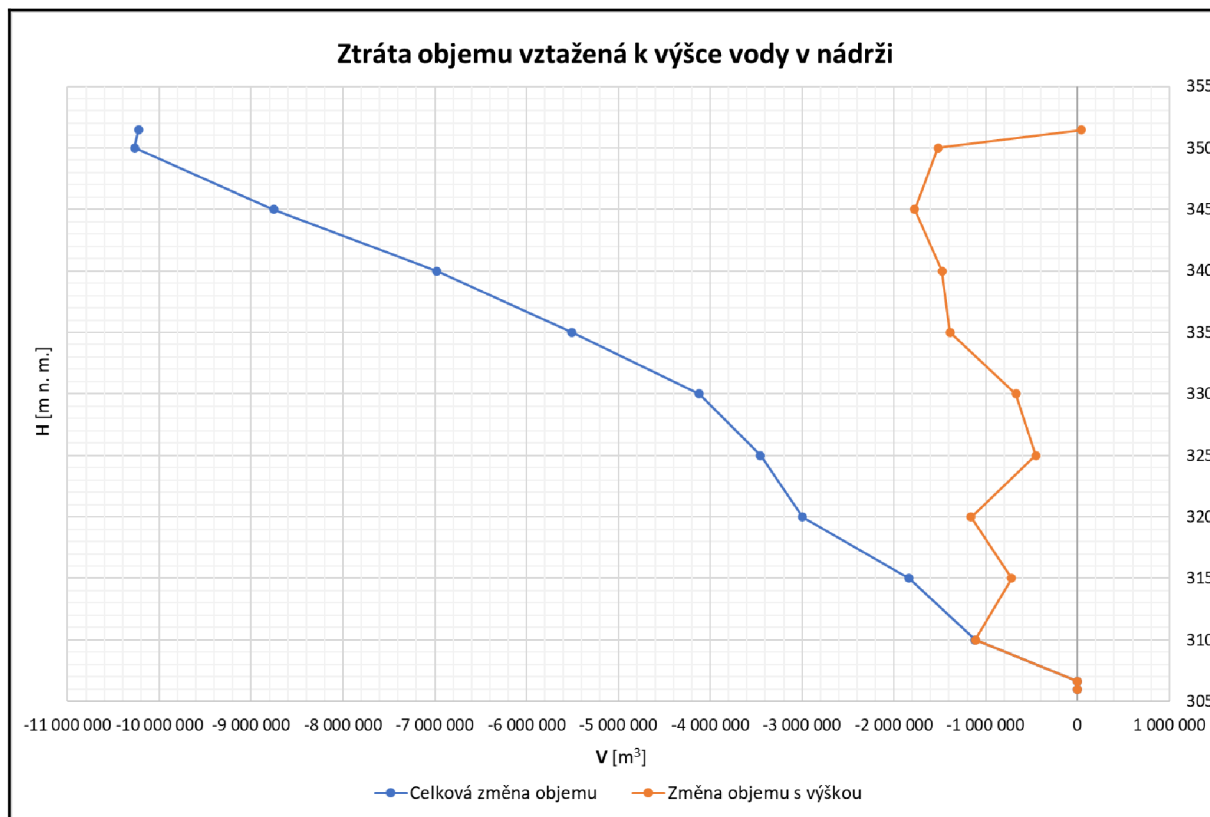
Tab. 21 Objemy funkčních prostorů nádrže

Objemy funkčních prostorů	H	V _{MŘ}	V ₂₀₂₁	Relativní změna V
	[m n. m.]	[m ³]	[m ³]	[%]
V _s	331,45	31 840 000	27 443 026	13,81
V _Z	348,45	79 668 000	73 623 860	7,59
V _{ro}	350,10	11 157 000	11 366 610	-1,88
V _{rn}	351,46	10 031 000	10 035 282	-0,04
V _c	351,46	132 696 000	122 468 778	7,71

Z Tab. 21 je patrné, že k největší ztrátě objemu dochází v prostoru stálého nadržení a v prostoru zásobním. Jak již bylo psáno dříve, tak v prostoru stálého nadržení došlo k relativní změně objemu o 13,81 % a v zásobním prostoru došlo k relativní změně objemu o 7,59 %. Zajímavé ale je, že v retenčním prostoru (ovladatelném i neovladatelném) došlo k mírnému nárůstu objemu. To lze demonstrovat i na Obr. 30, kde po výšce dochází průběžně ke ztrátě objemu, ale od nadmořské výšky 350,00 m n. m. dojde k jeho mírnému nárůstu. Tento jev může být zapříčiněn dvěma důvody. Prvním je, že nadmořská výška 350,00 m n. m. a výše odpovídá místům vzdutí řek Dyje a Želetavky, a tak zde může docházet k postupnému vymílání břehových hran a k mírnému nárůstu zatopených ploch a objemů. Druhým důvodem může být stále ještě nedostatečné doměření místa vzdutí, a tím vnesená chyba do výpočtu. Nejspíše se však jedná o kombinaci obou důvodů.

Jak již bylo řečeno, tak na Obr. 30 jsou zaznačeny průběhy změn objemu po výšce. Modrou čarou je značena celková změna objemu sčítaná po výšce. Oranžovou čarou jsou značeny změny objemu pro jednotlivé výšky vody v nádrži.

Z tohoto grafu je také patrné, že k největšímu zanešení nádrže dochází na kótě 345 m n. m., kde se zmenší objem o přibližně 1,8 mil. m³.



Obr. 30 Ztráta objemu vztažená k výšce vody v nádrži

6.2 VÝSLEDKY ANALÝZY ZÁSOBNÍHO FUNKCE NÁDRŽE

Pro prezentování výsledků je nutné zavést symbologii. U uvedené veličiny v závorce jsou zkratkou popsány všechny vstupující veličiny do výpočtu. Například batygrafické křivky (BK) mohou mít index MŘ (manipulační řád) nebo N (nové/aktualizované). Stejně tak vstupní zásobní objem V_Z je odlišen indexy MŘ a N, kdy $V_{Z,MŘ} = 79,668$ mil. m³ a $V_{Z,N} = 73,624$ mil. m³. Průtokové řady jsou značeny rokem jejich ukončení, tedy 2000 a 2020.

V rámci analýzy zásobní funkce nádrže Vranov byla nejprve vypočtena úloha 1 bez uvažování nejistot a s uvažováním nejistot. Pro úlohu 1 bez zatížení výpočtu nejistotami vychází optimalizované nejlepší odtoky O_p pro 100 % zabezpečení a vstupní zásobní objem. Výsledky jsou následující.

$$O_p (BK_{MŘ}, V_{Z,MŘ}, 2000) = 5,290 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$O_p (BK_{MŘ}, V_{Z,MŘ}, 2020) = 4,410 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$O_p (BK_N, V_{Z,M\check{R}}, 2000) = 5,282 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$O_p (BK_N, V_{Z,M\check{R}}, 2020) = 4,403 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$O_p (BK_N, V_{Z,N}, 2000) = 5,208 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$O_p (BK_N, V_{Z,N}, 2020) = 4,291 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

U nalepšených odtoků je patrné, že je nejvíce ovlivňuje průtoková řada, kdy nejméně příznivý a nejmenší nalepšený odtok vychází pro zcela aktuální hydrologická a morfologická data. Zajímavé je, že když výsledné nalepšené odtoky porovnáme s manipulačním řádem nádrže Vranov, kde je uvedeno, že nalepšený odtok se 100% zabezpečeností odpovídá hodnotě $4,00 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tak je patrné, že žádný z výsledků tuto hodnotu nepřekročil. Dokonce vypočtený nalepšený odtok, který by měl nejvíce odpovídat manipulačnímu řádu, vychází až $5,290 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Největším rozdílem mezi výpočtem a manipulačním řádem je, že do výpočtu vstupovala průtoková řada od roku 1935 do roku 2000, kdežto nalepšený odtok pro manipulační řád byl stanoven pro průtokovou řadu od roku 1931 do roku 2000. Dle [1] v letech 1932 – 1934 probíhala perioda velkého sucha v povodích řeky Dyje a Moravy. To může být jedním z vysvětlení, proč se výsledky částečně rozcházejí. Také mohlo dojít v rámci manipulačního řádu k ponížení nalepšeného odtoku se 100% zabezpečeností na stranu bezpečnou.

Pro výsledky úlohy 1 s uvažováním nejistot platí, že s rostoucí vstupní nejistotou roste i rozptyl výsledného zásobního objemu. Podrobně budou výsledky popsány na kombinaci všech vstupů zatížených vstupní standardní nejistotou 5 % a rozšířenou nejistotou na výstupu 10 %, která pokrývá 95 % pravděpodobnosti výskytu hledaného zásobního objemu. Hodnoty nalepšených odtoků byly optimalizovány tak, aby odpovídaly původnímu zásobnímu objemu z manipulačního řádu, tedy hodnotě $V_Z = 79\,688\,000 \text{ m}^3$. K této hodnotě je vypočtena dvojnásobná směrodatná odchylka představující rozšířenou nejistotu na výstupu. Výsledkem je tedy interval hodnot zásobního objemu s 95% pravděpodobností výskytu a jemu odpovídající nalepšený odtok, a to pro různé vstupy.

$$V_Z (BK_{M\check{R}}, V_{Z,M\check{R}}, 2000) = 79\,688\,000 \pm 4\,716\,865 \text{ m}^3, \text{ tedy relativní nejistota } \pm 5,92 \%, \text{ odpovídající } O_p = 5,263 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}.$$

$V_Z (BK_{M\check{R}}, V_{Z,M\check{R}}, 2020) = 79\,668\,000 \pm 5\,146\,330 \text{ m}^3$, tedy relativní nejistota $\pm 6,46 \%$, odpovídající $O_p = 4,387 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

$V_Z (BK_N, V_{Z,M\check{R}}, 2000) = 79\,668\,000 \pm 5\,068\,861 \text{ m}^3$, tedy relativní nejistota $\pm 6,36 \%$, odpovídající $O_p = 5,254 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

$V_Z (BK_N, V_{Z,M\check{R}}, 2020) = 79\,668\,000 \pm 5\,062\,941 \text{ m}^3$, tedy relativní nejistota $\pm 6,36 \%$, odpovídající $O_p = 4,371 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

$V_Z (BK_N, V_{Z,N}, 2000) = 79\,668\,000 \pm 4\,944\,201 \text{ m}^3$, tedy relativní nejistota $\pm 6,21 \%$, odpovídající $O_p = 5,263 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

$V_Z (BK_N, V_{Z,N}, 2020) = 79\,668\,000 \pm 5\,224\,043 \text{ m}^3$, tedy relativní nejistota $\pm 6,56 \%$, odpovídající $O_p = 4,380 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Ke snížení pravděpodobnosti poruchy by bylo možné doporučit přičíst k zásobnímu objemu hodnotu nejistoty.

Z výsledků úlohy 2, kde bylo za cíl určit zabezpečení podle trvání a zabezpečení dodání vody, je patrné, že jednotlivá vstupní data ovlivňují zabezpečení odtoku. To lze prezentovat výsledky úlohy 2 bez zavedení nejistot. Opět při porovnání výsledků s manipulačním řádem nádrže je vidět, že nalepšený odtok nabývá rozdílných hodnot pro zabezpečení podle trvání $P_t = 99,5 \%$, kde by podle MŘ měl být roven $4,30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Výsledky jsou prezentovány formou optimalizovaných nalepšených odtoků na hodnotu zabezpečení podle trvání $99,5 \%$ dle manipulačního řádu, ke kterým jsou dopočteny odpovídající zabezpečení dodání vody.

$$O_p (BK_{M\check{R}}, V_{Z,M\check{R}}, 2000) = 5,526 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}; \quad P_d (BK_{M\check{R}}, V_{Z,M\check{R}}, 2000) = 99,877 \%$$

$$O_p (BK_{M\check{R}}, V_{Z,M\check{R}}, 2020) = 4,846 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}; \quad P_d (BK_{M\check{R}}, V_{Z,M\check{R}}, 2020) = 99,783 \%$$

$$O_p (BK_N, V_{Z,M\check{R}}, 2000) = 5,526 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}; \quad P_d (BK_N, V_{Z,M\check{R}}, 2000) = 99,877 \%$$

$$O_p (BK_N, V_{Z,M\check{R}}, 2020) = 4,846 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}; \quad P_d (BK_N, V_{Z,M\check{R}}, 2020) = 99,783 \%$$

$$O_p (BK_N, V_{Z,N}, 2000) = 5,426 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}; \quad P_d (BK_N, V_{Z,N}, 2000) = 99,888 \%$$

$$O_p (BK_N, V_{Z,N}, 2020) = 4,746 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}; \quad P_d (BK_N, V_{Z,N}, 2020) = 99,797 \%$$

Na první pohled je patrné, že vypočtené odtoky jsou opět vyšší než v manipulačním řádu. Předpokládá se stejné vysvětlení jako u úlohy 1.

Výsledky úlohy 2 s uvažováním nejistot budou opět popsány na kombinaci všech vstupů zatížených vstupní standardní nejistotou 5 % a rozšířenou nejistotou na výstupu 10 %, která pokrývá 95 % pravděpodobnosti výskytu hledané zabezpečení. Výsledky jsou prezentovány formou optimalizovaných nalepšených odtoků na hodnotu zabezpečení podle trvání 99,5 % dle manipulačního řádu, ke kterým jsou dopočteny odpovídající zabezpečení dodání vody. K zabezpečením je vypočtena dvojnásobná směrodatná odchylka, která představuje rozšířenou nejistotu na vstupu. Výsledkem je tedy interval hodnot P_t a P_d s 95% pravděpodobností výskytu a odpovídající O_p , a to pro různé vstupy.

$$P_t (BK_{M\check{R}}, V_{Z,M\check{R}}, 2000) = 99,5 \pm 0,270 \%, \text{ pro } O_p = 5,502 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P_d (BK_{M\check{R}}, V_{Z,M\check{R}}, 2000) = 99,889 \pm 0,059 \%$$

$$P_t (BK_{M\check{R}}, V_{Z,M\check{R}}, 2020) = 99,5 \pm 0,120 \%, \text{ pro } O_p = 4,862 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P_d (BK_{M\check{R}}, V_{Z,M\check{R}}, 2020) = 99,776 \pm 0,040 \%$$

$$P_t (BK_N, V_{Z,M\check{R}}, 2000) = 99,5 \pm 0,274 \%, \text{ pro } O_p = 5,505 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P_d (BK_N, V_{Z,M\check{R}}, 2000) = 99,887 \pm 0,061 \%$$

$$P_t (BK_N, V_{Z,M\check{R}}, 2020) = 99,5 \pm 0,128 \%, \text{ pro } O_p = 4,855 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P_d (BK_N, V_{Z,M\check{R}}, 2020) = 99,778 \pm 0,041 \%$$

$$P_t (BK_N, V_{Z,N}, 2000) = 99,5 \pm 0,143 \%, \text{ pro } O_p = 5,426 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P_d (BK_N, V_{Z,N}, 2000) = 99,883 \pm 0,047 \%$$

$$P_t (BK_N, V_{Z,N}, 2020) = 99,5 \pm 0,102 \%, \text{ pro } O_p = 4,746 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P_d (BK_N, V_{Z,N}, 2020) = 99,799 \pm 0,040 \%$$

Ke snížení pravděpodobnosti poruchy by bylo možné doporučit odečíst od střední hodnoty zabezpečení hodnotu nejistoty. Při výpočtech vždy platilo, že pro konkrétní nalepšený odtok O_p byla vždy zabezpečení podle trvání P_t nižší než zabezpečení dodání vody P_d .

7 ZÁVĚR

Prvním z cílů diplomové práce bylo pomocí dat z nového batymetrického měření vytvořit digitální model dna vodní nádrže Vranov a vyhodnotit aktuální batygrafické křivky. Data k práci byla poskytnuta v rámci projektu ATCZ28 SEDECO „Sedimenty a ekosystémové služby ve vzájemném působení s povodněmi a suchem v pohraniční oblasti AT-CZ“. Po vymodelování digitálního modelu terénu a vypočtením batygrafických křivek bylo možné vyhodnotit zanesení nádrže oproti manipulačnímu řádu. Z výsledků je možné vyčíst, že došlo ke ztrátě cca 10 mil. m³ z celkového objemu nádrže, což odpovídá relativní změně 7,7 %.

Dalším a hlavním cílem práce bylo provést analýzu zásobního objemu nádrže v podmínkách nejistot vstupních dat, konkrétně nejistot morfologických a hydrologických dat. Jako morfologická data byly použity batygrafické křivky z manipulačního řádu nádrže a právě nově vypočtené batygrafické křivky z batymetrického zaměření nádrže. Hydrologická data byla poskytnuta od ČHMÚ.

V rámci analýzy zásobní funkce nádrže byly nejprve se stoprocentní zabezpečeností vypočteny zásobní objemy a vykresleny vztahové křivky závislosti zásobního objemu na nalepšeném odtoku. Do výpočtu vstupovaly dva různé zásobní objemy, a to zásobní objem převzatý z manipulačního řádu a aktualizovaný zásobní objem odpovídající novým batygrafickým křivkám. Poté byl výpočet zatížen nejistotami na přítoku vody do nádrže, batygrafických křivkách, výparu vody z nádrže a na kombinaci všech zmíněných vstupů. Následně se provedl výpočet zabezpečeností nejprve bez uvažování nejistot a poté s nejistotami. Opět byly vykresleny vztahové křivky, nyní však závislosti zabezpečenosti na nalepšeném odtoku.

Výpočty byly porovnány s manipulačním řádem, bohužel však nebylo dosaženo stejných výsledků. Jedním z možných vysvětlení je, že byla oproti manipulačnímu řádu použita průtoková řada neobsahující roky 1931 až 1934. V dostupných materiálech bylo dohledáno, že tyto roky byly v povodí Dyje klasifikovány jako velmi suché. Argumentem pro toto tvrzení je to, že průtokové řady mají největší vliv ze všech vstupů na výpočet zásobního objemu. Například extrémně suchá epizoda let 2015 až 2018, která byla součástí rozšířené průtokové řady do roku

2020, velmi ovlivnila veškeré výpočty, do kterých vstupovala. Lze tedy předpokládat, že kdyby byly suché roky 1931 až 1934 poskytnuty a do výpočtu zahrnuty, tak by nalepšené odtoky pro dané zabezpečení byly podstatně nižší.

Porovná-li se však hodnoty O_p se vstupy blízkými manipulačnímu řádu a O_p s neaktuálnějšími vstupy, tak se nalepšený odtok sníží o cca $0,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. To již může způsobit nemalé problémy. Pro udržení stávajícího nalepšeného odtoku by bylo nutné buď snížit zabezpečení, zde by ale mohlo dojít k tomu, že by nádrž byla zařazena do nižší třídy významnosti dle normy ČSN 75 2405. Nebo by bylo nutné upravit manipulační pravidla pro řízení zásobního objemu, případně změnit funkční objemy nádrže. Oboje je spojeno s aktualizací manipulačního řádu nádrže.

Provedením analýzy bylo prokázáno, že vývoj hydrologických vstupů, resp. změna průtoků nádrží, má na zásobní funkci nádrže významnější vliv než změna morfologie dna nádrže. Toto tvrzení je možné podložit výsledky optimalizovaných nalepšených odtoků pro zabezpečení 99,5 %. Při aktualizaci batygrafie došlo ke snížení nalepšeného odtoku o $0,08 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, ale při výpočtu s rozšířenou průtokovou řadou, avšak se stejnou batygrafií došlo ke snížení nalepšeného odtoku o $0,64 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Poměrově tak odpovídá vliv hydrologických vstupů, který je přibližně osmkrát vyšší než vliv morfologických vstupů.

Dílní výsledky této práce byly prezentovány v článku Marton a Jílek: Posouzení zásobního objemu nádrže Vranov na aktualizovaná vstupní data [11]. Tento článek byl zároveň podkladem pro příspěvek na mezinárodní konferenci Vodní nádrže 2022 v Brně pořádané podnikem Povodí Moravy, s.p. V rámci shrnutí a závěru konference Tůma zmiňuje [23]: „Jelikož je vliv změny klimatu na snížení průměrných ročních průtoků až o řád vyšší než vliv ostatních faktorů při provozování nádrží, je nezbytné zaměřit další aktivity v oblasti výzkumu a studia na zvýšení míry akumulace povrchových vod a snížení vypouštěného znečištění.“ Tento výrok plně koresponduje s výsledky práce a budiž tak i jejím závěrem.

8 SEZNAM ZDROJŮ A POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BRÁZDIL, R.; TRNKA, M. *Historie počasí a podnebí v Českých zemích: minulost, současnost, budoucnost*. Brno: Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, 2015. ISBN 978-80-87902-11-0.
- [2] Česká technická norma ČSN 75 2405 *Vodohospodářská řešení vodních nádrží*, ICS 93.160, Český normalizační institut, Praha 2017.
- [3] ESRI. ArcGIS tutorials. *ArcGIS Desktop* [online]. [cit. 2023-01-11]. Dostupné z: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/get-started/introduction/arcgis-tutorials.htm>
- [4] Fotografie z místa doměření břehové linie č. 20, autor Bc. David Jílek, Jazovice, Vodní nádrž Vranov, 02-2022.
- [5] IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- [6] JÍLEK, D. *Vyhodnocení morfologie dna vodní nádrže pomocí dat z batymetrického měření*. Brno, 2021. 51 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.
- [7] *Krycí list programu UNCE_RESERVOIR* [online]. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny, 2015 [cit. 2023-01-11]. Dostupné z: <http://uvhk.fce.vutbr.cz/cs/software.php>
- [8] *Manipulační řád pro VD Vranov na řece Dyji v km 175,405*. Brno: Povodí Moravy, s.p., 2011.
- [9] *Manipulační řád pro VD Vranov na řece Dyji v km 175,405: Křivka objemů a ploch nádrže Vranov*. Brno: Povodí Moravy, s.p., 2011.

- [10] MARTON, D. *Nejistoty zatěžující vodohospodářské řešení zásobního objemu údolní nádrže*. Brno, 2018. Habilitační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny.
- [11] MARTON, D.; JÍLEK, D. Posouzení zásobního objemu nádrže Vranov na aktualizovaná vstupní data. In: *Vodohospodářská konference Vodní nádrže 2022*. Brno: Povodí Moravy, s.p., 2022, s. 22-25. ISBN 978-80-907141-6-8.
- [12] MARTON, D.; STARÝ, M.; MENŠÍK, P.: UNCERESERVOIR; UNCERESERVOIR – Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže. URL: <http://uvhk.fce.vutbr.cz/cs/software.php> (software).
- [13] NOVÁK, P. *Nové technologie batymetrie vodních toků a nádrží pro stanovení jejich zásobních kapacit a sledování množství a dynamiky sedimentů: certifikovaná metodika výsledků výzkumu, vývoje a inovací*. Praha: VÚMOP, 2017. ISBN 978-80-87361-81-8.
- [14] *Ochrana půdy a udržitelné způsoby hospodaření* [online]. Institut vzdělávání v zemědělství o.p.s. Hybernská 38, Praha 1, 2019 [cit. 2023-01-11]. Dostupné z: https://www.zscr.cz/download/files/Ochrana_pudy_a_udrzitelne_zpusoby_hospodareni.pdf
- [15] PELÁKOVÁ, M.; KAŠPÁREK, L. Největší povodně za 100 let. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace* [online]. 2019, 61(5), 38-49 [cit. 2023-01-11]. ISSN 0322-8916. Dostupné z: <https://www.vtei.cz/2019/10/nejvetsi-povodne-za-100-let/>
- [16] Průměrné měsíční průtoky z měrných profilů Podhradí a Vysočany. *Portál ČHMÚ: Historická data* [online]. Český hydrometeorologický úřad [cit. 2023-01-11]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/hydrologie/historicka-data>
- [17] *Souhrnná zpráva k vyhodnocení tornáda na jihu Moravy 24. 6. 2021* [online]. Český hydrometeorologický ústav, 2021 [cit. 2023-01-11]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove_zpravy/2021/Souhrnna_zprava_a_tornado_24.6.2021.pdf

- [18] STARÝ, M. *Hydrologie (Modul 01)*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2005.
- [19] STARÝ, M. *Nádrže a vodohospodářské soustavy (Modul 01)*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2006.
- [20] STARÝ, M. *Nádrže a vodohospodářské soustavy*. Přednáška. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 27.2.2020.
- [21] STARÝ, M. *Vybrané kapitoly z vodního hospodářství krajiny (MODUL 03)*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2007.
- [22] *Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR: 1. aktualizace pro období 2021–2030* [online]. Ministerstvo životního prostředí, 2021 [cit. 2023-01-11]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zmena_klimatu_adaptacni_strategie/\\$FILE/OEOK_Narodni_adaptacni_strategie-aktualizace_20212610.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zmena_klimatu_adaptacni_strategie/$FILE/OEOK_Narodni_adaptacni_strategie-aktualizace_20212610.pdf)
- [23] TŮMA, A. Shrnutí konference a závěr. *Konference vodní nádrže 2022* [online]. Brno: Povodí Moravy, s.p., 2022 [cit. 2023-01-11]. Dostupné z: <http://vodninadrze.pmo.cz/cz/stranka/shrnuti-konference/>
- [24] *VD Vranov* [online]. Povodí Moravy, s.p., 2010 [cit. 2023-01-11]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/o-podniku/vodni-dila/vranov/>
- [25] Vranovská přehrada včera a dnes. In: *Vranovská přehrada* [online]. Vranov nad Dyjí, 2014 [cit. 2023-01-11]. Dostupné z: <https://www.vranovnaddyji.cz/vranovska-prehrada/soucasnost>
- [26] WMS - Ortofoto ČR. In: *ČÚZK: Geoportál* [online]. Český úřad zeměměřický a katastrální [cit. 2023-01-11]. Dostupné z: https://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx
- [27] WMS - ZM10. In: *ČÚZK: Geoportál* [online]. Český úřad zeměměřický a katastrální [cit. 2023-01-11]. Dostupné z: https://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM10_PUB/WMSservice.aspx

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A VELIČIN

ΔH	přírůstek výšky plnění nádrže [m]
H_n	koncový bod testované výšky plnění [m]
H_i	výška plnění v diskrétním bodě i [m]
H_{i+1}	navýšená výška plnění [m]
A_i	zatopená plocha v diskrétním bodě i [m ²]
A_{i+1}	zatopená plocha odpovídající výšce plnění H_{i+1} [m ²]
V_i	objem plnění nádrže v diskrétním bodě i [m ³]
V_{i+1}	objem plnění nádrže odpovídající výšce plnění H_{i+1} [m ³]
dV	objem vody, který nateče do nádrže [m ³]
dt	časový interval
$Q(t)$	střední hodnota přítoku vody do nádrže [m ³ .s ⁻¹]
$O(V(t))$	střední hodnota odtoku vody z nádrže [m ³ .s ⁻¹]
A_c	celkový prostor nádrže
V_c	celkový objem nádrže [m ³]
A_m	mrtvý prostor nádrže
A_s	prostor stálého nadržení
A_z	zásobní prostor nádrže
A_R	retenční prostor nádrže
A_{RO}	retenční prostor ovladatelný
A_{RN}	retenční prostor neovladatelný
O_p	nalepšený odtok [m ³ .s ⁻¹]
O_{NE}	neškodný odtok [m ³ .s ⁻¹]
u_A	standardní nejistota typu A
n	počet měření dané veličiny
i	i -tá hodnota měřené veličiny

x_i	i-tý opakovaný výběr
\bar{x}	výběrový průměr, nebo také střední hodnota
u_{Bzj}	dílčí nejistota j-tého zdroje
Z_{jmax}	známá maximální odchylka j-tého zdroje nejistoty
χ	součinitel vycházející z daného rozdělení pravděpodobnosti
u_B	standardní nejistota typu B
k	koeficient rozšíření
μ_x	střední hodnota
D_x	rozptyl
σ_x	směrodatná odchylka
$C_{v,x}$	koeficient variace
$C_{a,x}$	koeficient asymetrie
E_x	koeficient špičatosti
PO	počet opakování
NX_j	generované průběhy řady prvků
Q_m	průměrný měsíční průtok [$m^3 \cdot s^{-1}$]
E	výpar z vodní hladiny [mm]
$2D$	dvojměrný
V_z	zásobní objem nádrže [m^3]
P	zabezpečení zlepšeného odtoku [%]
$V_{z,max}$	maximální zásobní objem nádrže [m^3]
$V'_{z,i}$	hodnota aktuálního prázdnění zásobního objemu nádrže [m^3]
D	velikost poruchy (množství nedodané vody) [m^3]
P_t	zabezpečení podle trvání [%]
P_o	zabezpečení podle opakování [%]
P_d	zabezpečení dodání vody [%]

MS	Microsoft
GIS	geografický informační systém
S-JTSK	systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
DEM	Digital Elevation Model
FAST VUT	Fakulta stavební Vysoké učení technické v Brně
ÚVHK	Ústav vodního hospodářství krajiny
MVE	malá vodní elektrárna
Q_a	průměrný roční průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
VD	vodní dílo
E_a	průměrný roční výpar [mm/rok]
ČSN	česká technická norma
PMO	Povodí Moravy, s.p.
WGS	World Geodetic Systém
ZABAGED	Základní báze geografických dat
DMR 5G	digitální model reliéfu České republiky 5. generace
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
GPS	Global Positioning Systém
MŘ	manipulační řád
BK	batygrafické křivky
$\mu(V_z)$	střední hodnota zásobního objemu [m^3]
$\pm\sigma(V_z)$	směrodatná odchylka zásobního objemu [m^3]
$\pm 2\sigma(V_z)$	dvojnásobná směrodatná odchylka zásobního objemu [m^3]
$\mu(P_t)$	střední hodnota zabezpečení podle trvání [%]
$\pm\sigma(P_t)$	směrodatná odchylka zabezpečení podle trvání [%]
$\pm 2\sigma(P_t)$	dvojnásobná směrodatná odchylka zabezpečení podle trvání [%]

$\mu(P_d)$	střední hodnota zabezpečení dodání vody [%]
$\pm\sigma(P_d)$	směrodatná odchylka zabezpečení dodání vody [%]
$\pm 2\sigma(P_d)$	dvojnásobná směrodatná odchylka zabezpečení dodání vody [%]
SEDECO	Sedimenty a ekosystémové služby ve vzájemném působení s povodněmi a suchem v pohraniční oblasti AT-CZ

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Batygrafické křivky [18]	5
Obr. 2 Umístění funkčních prostorů v nádrži [19].....	7
Obr. 3 Případy standardní a rozšířené nejistoty pro normální rozdělení pravděpodobnosti [10]	11
Obr. 4 Střední hodnota jako x-ová souřadnice těžiště hustoty pravděpodobnosti [18].....	12
Obr. 5 Vranovská přehrada během výstavby a v provozu [25].....	23
Obr. 6 Základní mapa VD Vranov a okolí [27].....	24
Obr. 7 Průměrné měsíční průtoky Q_m na VD Vranov mezi lety 1935 – 2020 [16].	26
Obr. 8 Ukázka upraveného textového souboru se souřadnicemi bodů z batymetrického měření	28
Obr. 9 Rastr dna nádrže získaný spojením batymetrického zaměření nádrže a DMR 5G [26].....	29
Obr. 10 Mapa vytipovaných míst k doměření [26].....	29
Obr. 11 Fotografie z místa doměření břehové linie č. 20 [4]	30
Obr. 12 Digitální model terénu dna nádrže Vranov a jeho okolí [26]	31
Obr. 13 Porovnání aktualizovaných batygrafických křivek s manipulačním řádem [9]	33
Obr. 14 Vztahové křivky závislosti O_p na V_z bez ztrát pro $P = 100 \%$	35
Obr. 15 Vztahové křivky závislosti O_p na V_z se ztrátami pro $P = 100 \%$	36
Obr. 16 Vztahové křivky závislosti O_p na V_z se standardní nejistotou na průtoku vody nádrží 5%/15%.....	39
Obr. 17 Vztahové křivky závislosti O_p na V_z se standardní nejistotou na batygrafických křivkách 5%/15%.....	41
Obr. 18 Vztahové křivky závislosti O_p na V_z se standardní nejistotou na výparu vody z hladiny 5%/15%	43

Obr. 19 Vztahové křivky závislosti O_p na V_z se standardní nejistotou na kombinaci všech vstupních veličin 5%/15%.....	45
Obr. 20 Závislost zabezpečení trvání P_t na nalepšeném odtoku O_p	47
Obr. 21 Závislost zabezpečení dodání vody P_d na nalepšeném odtoku O_p	48
Obr. 22 Závislost P_t na O_p se standardní nejistotou na průtoku vody nádrží 5%/15%.....	52
Obr. 23 Závislost P_t na O_p se standardní nejistotou na batygrafických křivkách 5%/15%.....	54
Obr. 24 Závislost P_t na O_p se standardní nejistotou na výparu z vodní hladiny 5%/15%.....	56
Obr. 25 Závislost P_t na O_p se standardní nejistotou na kombinaci všech vstupních veličin 5%/15%.....	58
Obr. 26 Závislost P_d na O_p se standardní nejistotou na průtoku vody nádrží 5%/15%.....	61
Obr. 27 Závislost P_d na O_p se standardní nejistotou na batygrafických křivkách 5%/15%.....	63
Obr. 28 Závislost P_d na O_p se standardní nejistotou na výparu z vodní hladiny 5%/15%.....	65
Obr. 29 Závislost P_d na O_p se standardní nejistotou na kombinaci všech vstupních veličin 5%/15%.....	67
Obr. 30 Ztráta objemu vztažená k výšce vody v nádrži.....	70

11 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Minimální počet realizací pro odhad statistické charakteristiky s chybou $\pm 10\%$ [18].....	14
Tab. 2 Základní informace a údaje o vodní nádrži Vranov dle MŘ [24]	25
Tab. 3 Procenta ročního výparu pro jednotlivé měsíce a výpar v mm/měsíc [2]..	27
Tab. 4 Porovnání vypočtených zatopených objemů a ploch s manipulačním řádem [9].....	32
Tab. 5 Zásobní objemy pro deterministické řešení úlohy 1 bez uvažování ztrát..	35
Tab. 6 Zásobní objemy pro deterministické řešení úlohy 1 s uvažováním ztrát a optimalizovaným O_p pro $V_{Z,MŘ} / V_{Z,N}$ pro $P = 100\%$	36
Tab. 7 Střední hodnoty $\mu(V_Z)$ a směrodatné odchylky $\pm\sigma(V_Z)$ zásobních objemů se zavedením nejistoty na průtok vody nádrží pro stochastické řešení úlohy 1 s uvažováním ztrát	38
Tab. 8 Střední hodnoty $\mu(V_Z)$ a směrodatné odchylky $\pm\sigma(V_Z)$ zásobních objemů se zavedením nejistoty na batygrafické křivky pro stochastické řešení úlohy 1 s uvažováním ztrát	40
Tab. 9 Střední hodnoty $\mu(V_Z)$ a směrodatné odchylky $\pm\sigma(V_Z)$ zásobních objemů se zavedením nejistoty na výpar vody z hladiny pro stochastické řešení úlohy 1 s uvažováním ztrát	42
Tab. 10 Střední hodnoty $\mu(V_Z)$ a směrodatné odchylky $\pm\sigma(V_Z)$ zásobních objemů se zavedením nejistoty na kombinaci všech vstupních veličin pro stochastické řešení úlohy 1 s uvažováním ztrát	44
Tab. 11 Zabezpečení trvání pro deterministické řešení úlohy 2 s uvažováním ztrát.....	47
Tab. 12 Zabezpečení dodání vody pro deterministické řešení úlohy 2 s uvažováním ztrát	48
Tab. 13 Střední hodnoty $\mu(P_t)$ a směrodatné odchylky $\pm\sigma(P_t)$ zabezpečení trvání se zavedením nejistoty na průtok vody nádrží pro stochastické řešení úlohy 2 s uvažováním ztrát.....	51

Tab. 14 Střední hodnoty $\mu(P_t)$ a směrodatné odchyly $\pm\sigma(P_t)$ zabezpečení trvání se zavedením nejistoty na batygrafické křivky pro stochastické řešení úlohy 2 s uvažováním ztrát	53
Tab. 15 Střední hodnoty $\mu(P_t)$ a směrodatné odchyly $\pm\sigma(P_t)$ zabezpečení trvání se zavedením nejistoty na výpar z vodní hladiny pro stochastické řešení úlohy 2 s uvažováním ztrát.....	55
Tab. 16 Střední hodnoty $\mu(P_t)$ a směrodatné odchyly $\pm\sigma(P_t)$ zabezpečení trvání se zavedením nejistoty na kombinaci všech vstupních veličin pro stochastické řešení úlohy 2 s uvažováním ztrát.....	57
Tab. 17 Střední hodnoty $\mu(P_d)$ a směrodatné odchyly $\pm\sigma(P_d)$ zabezpečení dodání vody se zavedením nejistoty na průtoku vody nádrží pro stochastické řešení úlohy 2 s uvažováním ztrát	60
Tab. 18 Střední hodnoty $\mu(P_d)$ a směrodatné odchyly $\pm\sigma(P_d)$ zabezpečení dodání vody se zavedením nejistoty na batygrafické křivky pro stochastické řešení úlohy 2 s uvažováním ztrát	62
Tab. 19 Střední hodnoty $\mu(P_d)$ a směrodatné odchyly $\pm\sigma(P_d)$ zabezpečení dodání vody se zavedením nejistoty na výparu z vodní hladiny pro stochastické řešení úlohy 2 s uvažováním ztrát	64
Tab. 20 Střední hodnoty $\mu(P_d)$ a směrodatné odchyly $\pm\sigma(P_d)$ zabezpečení dodání vody se zavedením nejistoty na kombinaci všech vstupních veličin pro stochastické řešení úlohy 2 s uvažováním ztrát.....	66
Tab. 21 Objemy funkčních prostorů nádrže	69