



České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební

Prověření strategického řízení Vltavské kaskády – parametry manipulačního řádu

Závěrečná zpráva

Objednatel: Povodí Vltavy, státní podnik
Holečkova 8, 150 24 Praha 5



Zhotovitel: České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Praha, prosinec 2014

Identifikační údaje:

Název akce: **Prověření strategického řízení Vltavské kaskády
– parametry manipulačního řádu**

Objednatel: **Povodí Vltavy, státní podnik**
Holečkova 8, 150 24 Praha 5

číslo smlouvy
objednatele: 607/2014-SML

Zhotovitel: **České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební
Katedra hydrotechniky**
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

číslo smlouvy
zhotovitele: 8301404A039

Zodpovědný řešitel: **doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur**

Spolupracovnice: Ing. Petra Kopecká
Ing. Petra Nešvarová, Ph.D.

Poděkování zpracovatelů studie patří pracovníkům státního podniku Povodí Vltavy, zejména Ing. Tomáši Kendíkovi, Ing. Karlu Březinovi a Ing. Janě Práškové za praktické provozní připomínky, odborná doporučení a ochotu při poskytování podkladů.

Poděkování také patří Ing. Daniele Szappanosové a Ing. Markétě Bártové za pomoc při hodnocení rekreačního účelu na nádržích Orlík a Slapy a Ing. Markétě Komárkové za zajištění historických geodetických podkladů.

Obsah

1. Úvod	5
1.1 Předmět a cíle studie.....	5
1.2 Historický vývoj Vltavské kaskády	6
1.3 Současné účely Vltavské kaskády	7
1.3 Cíle strategického řízení nádrží	8
1.4 Struktura studie.....	9
2. Formulované varianty řešení	10
3. Vodohospodářské řešení ochranné funkce.....	15
3.1 Použité podklady	15
3.1.1 Manipulační řády vodních děl Vltavské kaskády.....	15
3.1.2 Hydrologické podklady	16
3.2 Simulační model ochranné funkce Vltavské kaskády.....	18
3.3. Simulace povodně z roku 2013	20
3.3.1 Řízení Vltavské kaskády bez předpovědi.....	21
3.3.2 Řízení Vltavské kaskády s 24 hodinovou předpovědí.....	26
3.4 Výsledky vodohospodářského řešení retenční funkce	31
3.5 Dílčí závěry.....	36
4. Vodohospodářské řešení zásobní funkce.....	37
4.1 Použité podklady	37
4.1.1 Manipulační řády vodních děl	37
4.1.2 Hydrologické podklady	38
4.1.3 Manipulace na nádržích	39
4.1.4 Nároky a požadavky na vodu.	39
4.2 Simulační model zásobní funkce vodohospodářské soustavy	39
4.3 Příprava a validace reálných průtokových řad	42
4.4 Matematické modely průtokových řad v systému stanic	44
4.5 Minimální odtok z Vltavské kaskády	47
4.5.1 Výchozí podklady.....	47
4.5.2 Analýza minimálního odtoku z Vltavské kaskády.....	48

4.5.3 Dílčí závěry analýzy minimálního odtoku z Vltavské kaskády	53
4.6 Výsledky vodohospodářského řešení zásobní funkce pro současný stav – varianta A.0	54
4.6.1 Vodohospodářské řešení v reálných řadách	54
4.6.2 Vodohospodářské řešení v modelovaných řadách	60
4.7 Variantní vodohospodářské řešení zásobní funkce	66
4.8 Shrnutí vodohospodářského řešení zásobní funkce	70
5. Hydroenergetické řešení	72
5.1 Použité podklady	72
5.2 Výpočet ukazatelů energetického využití	73
5.3 Výsledky hydroenergetického řešení pro současný stav – varianta A.0.....	78
5.3.1 Hydroenergetické řešení v reálných řadách	78
5.3.2 Hydroenergetické řešení v modelovaných řadách.....	83
5.4 Variantní hydroenergetické řešení.....	88
5.5 Shrnutí hydroenergetického řešení.....	107
6. Vyhodnocení plavebních podmínek na Vltavské vodní cestě	109
6.1 Použité podklady	110
6.2 Vyhodnocení plavby mezi VD Orlík a VD Kořensko.....	111
6.2.1 Hydrodynamický 1D model nádrže Orlík	111
6.2.2 Zabezpečení vodní cesty Orlík – Kořensko pro jednotlivé varianty	114
6.3 Vyhodnocení plavby mezi VD Slapy a VD Kamýk	115
6.3.1 Hydrodynamický 1D model nádrže Slapy.....	115
6.3.2 Zabezpečení vodní cesty Slapy – Kamýk pro jednotlivé varianty	116
6.4 Dílčí závěry.....	117
7. Vyhodnocení vlivu na rekreaci	118
7.1 Použité podklady	118
7.2 Vyhodnocení rekreace na nádrži Orlík	118
7.2.1 Současné rekreační využití nádrže Orlík	118
7.2.2 Zabezpečení provozu přístavišť v nádrži Orlík	119
7.2.3 Analýza kolísání hladiny v nádrži Orlík pro jednotlivé varianty	125
7.3 Vyhodnocení rekreace na nádrži Slapy	127
7.3.1 Současné rekreační využití nádrže Slapy.....	127
7.3.2 Zabezpečení plavby v nádrži Slapy pro jednotlivé varianty	127

7.3.3 Analýza kolísání hladiny v nádrži Slapy pro jednotlivé varianty.....	131
7.4 Dílčí závěry.....	133
8. Závěrečná syntéza výsledků	134
Použité podklady	141
Přílohy.....	144

1. Úvod

Studie byla zpracována na základě smlouvy o dílo mezi objednatelem (Povodí Vltavy, státní podnik) a zhotovitelem (ČVUT v Praze, Fakulta stavební) č. sml. objednatele 607/2014-SML ze dne 22.5.2014. Cílem studie je prověření strategického řízení Vltavské kaskády za účelem vyhodnocení parametrů manipulačního řádu.

Povodňové události z let 2002 a 2013 otevřely v České republice širokou diskuzi o roli vodních nádrží při zvládnání extrémních hydrologických situací. V této souvislosti je třeba odlišovat operativní řízení nádrží, které sleduje optimalizaci manipulací v rámci vodoprávně projednaných manipulačních řádů a zpravidla s využitím prostředků předpovědních systémů a řízení strategické, které představuje změny v základních parametrech nádrží a funkčních objektů přehrad v souvislosti se změnami v prioritách jejich účelů. Studie si na základě zadání klade za cíl prověřit možnosti posílení retenčního účinku Vltavské kaskády s ohledem na zvýšení povodňové ochrany celého úseku dolní Vltavy včetně hlavního města Prahy.

1.1 Předmět a cíle studie

Předmětem této studie je dle zadání:

- a) Vodohospodářské řešení zásobní funkce (přešetření zabezpečení minimálního zůstatkového průtoku) – provede se očištění reálných datových řad, jejich validace, dále statistická a autokorelační analýza, bude vytvořen model syntetických řad v soustavě profilů a následně vodohospodářské řešení v reálných a syntetických řadách včetně simulace výroby elektrické energie, ověří se režimová funkce nádrže ve variantách (tedy stávající stav a několik variant zmenšení zásobního prostoru; půjde o variantní vodohospodářské řešení zabezpečení zásobní funkce nádrže).
- b) Prověření velikosti minimálního odtoku z Vltavské kaskády s ohledem na potřeby dolního toku Vltavy a toku Labe pod soutokem s Vltavou, tedy na povolené odběry a vypouštění.
- c) Zhodnocení vlivu snížení hladin zásobního prostoru vodních děl Orlík a Slapy na vhodné plavební podmínky na Vltavské vodní cestě v úseku České Budějovice až VD Slapy – bude sestaven 1D model pod VD Kamýk a VD Kořensko, dále variantní simulace průběhu hladin a následně vyhodnocení četnosti hladin a podkročení plavebních hloubek. Zhodnocení vlivu na rekreační účel VD Orlík a VD Slapy.
- d) Vodohospodářské řešení retenční funkce (transformace povodňových vln) – varianty zmenšeného zásobního prostoru, tedy zvětšeného retenčního z bodu a) se konfrontují s teoretickými povodňovými vlnami Q_{50} a Q_{100} (na Sázavě a Berounce Q_5 , Q_{10} , Q_{50} a Q_{100}), dále Q_{2002} a Q_{2013} a vyhodnotí se efekt zvýšení retence na snížení povodňových vln.
- e) Syntéza všech výstupů – porovnání efektu transformace povodní a dopadu snížené zabezpečení minimálního zůstatkového průtoku na režim toků pod Vltavskou

kaskádou; prověření, na kolik by byla nadále naplňována všechna platná povolení k nakládání s vodami.

Zpracovávání studie bylo realizováno na základě harmonogramu smlouvy o dílo po jednotlivých etapách průběžně od května do prosince 2014. Tato závěrečná zpráva obsahuje základní výsledky jednotlivých etap řešení a jejich závěrečnou syntézu, která bude sloužit jako podklad pro hledání optimální varianty na základě vícekritériálního hodnocení.

Základním cílem studie je prověření možností posílení retenční funkce Vltavské kaskády pomocí variantního řešení strategického řízení. Studie má za úkol současně ověřit dopady jednotlivých řešených variant na ostatní účely Vltavské kaskády. Studie je na základě zadání zpracována na základě platnosti následujících základních předpokladů:

1. Jednotlivé varianty přerozdělení nádržních prostorů byly formulovány s ohledem na zachování stávající maximální hladiny vodních děl a pokud možno bez nutnosti realizovat rozsáhlé vyvolané investice.
2. Požadavky a nároky na vodní zdroje jsou uvažovány dle stávajících povolení k nakládání.
3. Vodohospodářské řešení je zpracováno pro současné hydrologické podmínky, které současně reprezentují podmínky nejbližší budoucnosti. Vliv klimatické změny na vodní zdroje v Povodí Vltavy řešila studie VÚV T.G.M., v.v.i. (2008).

Studie v této fázi tedy neformulovala varianty, které by kladly zvýšené nároky na realizaci rozsáhlých vyvolaných investic jako je zvyšování maximálních hladin v rozsahu vzdutí jednotlivých nádrží, realizace průvodních protipovodňových opatření v chráněném území s cílem zvýšení neškodného odtoku z Vltavské kaskády, realizaci nového zdymadla na konci vzdutí VD Orlík a podobně.

1.2 Historický vývoj Vltavské kaskády

Historický vývoj účelů a technického řešení vodních děl Vltavské kaskády uvádí Broža (2005). První pohnutky pro vybudování stupňů na Vltavě pocházejí z období po vydání prvního vodocestního zákona v roce 1901 a cílem je zejména splavnění mezi Českými Budějovicemi a Mělníkem. Hydroenergetické využití jednotlivých stupňů je v této době spíše podružným účelem. Ve stejné době v roce 1911 zpracoval Ing. Radouš projekt upravující střední Vltavu vysokými přehradami, který se stal základem koncepce výstavby po první světové válce. Základem měly být dvě vysoké přehrady u Slap a u Orlíka. Tato myšlenka nebyla v tehdejší době ještě brána vážně. Další návrh úprav Vltavy pochází z roku 1922 a zpracovali ho inženýři Hromas a Štěpánek. Ti navrhovali vybudovat mezi Prahou a Českými Budějovicemi 10 stupňů, z nichž nejvyšší by byla hráz vysoká 70 m v poloze asi 1 km nad nynějším štěchovickým zdymadlem. Potřeby společnosti postupně měnily základní účel navrhované Vltavské kaskády ve prospěch energetického využití a vedly se dlouhé spory o zachování jejího plavebního účelu. Z tohoto důvodu byla většina vodních děl Vltavské kaskády

vybavena současně plavebními zařízeními. Na konci druhé světové války odborníci docházejí k závěru, že je nutné na Vltavě vybudovat co největší vodní díla, která by akumulovala vodu zejména pro hydroenergetiku. Všechna vodní díla té doby jsou však již budována jako víceúčelová, takže akumulovaná voda současně slouží pro další hospodářské využití a ke zlepšení vodohospodářských poměrů na Vltavě a dolním Labi.

Neuskutečněné nádrže Vltavské kaskády Český Krumlov I a II, Dívčí kámen a Rájov nebyly zřejmě po roce 1960 vybudovány, protože neuspokojovaly vysoké nároky na elektrizační soustavu. Pozornost se v 60. letech zaměřila na budování tepelných elektráren o velkém výkonu. Role vodních elektráren na Vltavské kaskádě v současnosti spočívá zejména v regulaci energetického systému prostřednictvím špičkových vodních elektráren. Tato jejich úloha je nezastupitelná a je třeba usilovat o co nejvyšší spolehlivost jejich provozu.

1.3 Současné účely Vltavské kaskády

Vltavská kaskáda je nejvýznamnější VH soustavou v povodí Vltavy. Její role během povodňových událostí 2002 a 2013 byla zásadní, kdy realizované manipulace vedly k částečnému snížení kulminačního průtoku a zejména poskytly čas pro přípravu protipovodňových opatření v Praze, na dolní trati Vltavy a na Labi (Fošumpaur, Kopecká, 2013). Současné nastavení strategických parametrů nádrží a funkčních objektů přehrad Vltavské kaskády vychází z původního komplexního manipulačního řádu podloženého vodohospodářským řešením z roku 1964 (Nacházel). Výjimku tvoří doplnění nádrží Hněvkovice a Kořensko podložené VH řešením z roku 1989 (Nacházel). Vltavská kaskáda, dle současného komplexního manipulačního řádu (VD TBD, a.s., 2009), obsahuje rozdělení nádržních prostorů jednotlivých nádrží dle tab. 1.1 a zajišťuje následující účely:

1. zajištění minimálního průtoku ve Vltavě v profilu Vrané $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ve spolupráci při hospodaření s vodou s vodními díly Lipno I., Slapy a Orlík a v součinnosti s ostatními vodními díly Vltavské kaskády,
2. využití odtoku z nádrží k výrobě elektrické energie ve vodních elektrárnách, které jsou součástí vodních děl,
3. snížení velkých vod na Vltavě a částečnou ochranu území pod přehradou před účinky povodní (se zvláštním zřetelem na ochranu Prahy),
4. dodávku povrchové vody pro odběratele,
5. nadlepšování průtoků ve Vltavě a příp. v Labi pro zlepšení plavebních podmínek,
6. vypouštění zvýšených průtoků ke zlepšení hygienických podmínek a kvality vody ve Vltavě (zejména v oblasti Prahy) a k likvidaci následků čistotářských havárií,
7. ovlivňování zimního průtokového režimu pod přehradou a omezení nežádoucích ledových jevů,
8. rekreace a vodní sporty,
9. plavba v nádrži,
10. extenzivní rybí hospodářství.

Tab. 1.1 Rozdělení nádržních prostorů nádrží Vltavské kaskády.

	Vs	Vz	Vr	Vcelk
	Stálé nadržení	Zásobní prostor	Ochranný prostor	Celkový objem
	[mil. m ³]			
Lipno I	23,354	252,991	33,156	309,501
Lipno II	0,222	1,442*)	0	1,664
Hněvkovice	8,940	12,155	0	21,095
Kořensko	1,070	1,730*)	0	2,800
Orlík	280,000	374,428	62,072	716,500
Kamýk	8,324	4,652*)	0	12,976
Slapy	68,800	200,500	0	269,300
Štěchovice	7,100	3,344*)	0	10,444
Vrané	8,578	2,523*)	0	11,101
CELKEM	406,388	853,765	95,228	1355,381

Legenda: *) jedná se pouze o vyrovnávací prostor pro energetické účely.

1.4 Cíle strategického řízení nádrží

Cíle strategického řízení nádrží a vodohospodářských (VH) soustav zpravidla vycházejí z potřeb společnosti na vodní zdroje z hlediska zajištění požadovaných odběrů, protipovodňové ochrany, regulace energetického systému, zajištění minimálních zůstatkových průtoků, plavby a řady dalších služeb. Změna parametrů strategického řízení vodohospodářských soustav může být vyvolána typicky z následujících důvodů:

- změny požadavků na vodní zdroje – cílů strategického řízení,
- změny hydrologických podmínek,
- kombinace obojího.

Změny požadavků na vodní zdroje mohou obsahovat kvantitativní změnu odebíraných množství pro jednotlivé uživatele (zvýšení nebo snížení), kvalitativní změny na spolehlivost dodávky vody, změny v prioritách jednotlivých účelů nádrží, změnu minimálního zůstatkového průtoku, změnu neškodného odtoku pod vodním dílem, změnu požadované míry ochrany před povodněmi území pod hrází, změnu požadavku na bezpečnost vodního díla při povodních a další. Změny hydrologických podmínek vycházejí zejména ze skutečnosti, že pro návrh existujících VH soustav byly využity průtokové řady zaznamenané před jejich výstavbou a v současnosti existují zpravidla podstatně delší hydrologické podklady. Současná úroveň poznání rovněž umožňuje kvalitativně spolehlivější přípravu stochastických hydrologických podkladů generováním syntetických průtokových řad s následným

hodnocením spolehlivosti účelů nádrží metodou stochastických simulací (metoda Monte-Carlo). Současně nelze opomenout diskutovaný fenomén nestacionarity průtokových řad a dopady klimatické změny na spolehlivost vodních zdrojů.

Změna cílů strategického řízení a hydrologických podmínek má následně vliv na základní (strategické) parametry VH soustavy, mezi které se řadí rozdělení nádržních prostorů (zejména velikost zásobního a retenčního objemu), kapacita funkčních objektů přehrad, kapacity přivaděčů vody a odběrných objektů, systém protipovodňové ochrany v toku pod nádržemi a ve vzdutí nádrží a řadu dalších.

Zpravidla vždy po výskytu extrémního hydrologického jevu, ať už jde o povodeň nebo o hydrologické sucho, jsme svědky volání společnosti po změně parametrů strategického řízení VH soustav. Tato reakce je přirozená, a je zpravidla nejintenzivnější bezprostředně po odeznění extrémního jevu. Věcně je však třeba mít na paměti, že neuvážená změna v nastavení základních parametrů VH soustavy může situaci spíše destabilizovat a porušit rovnováhu v zabezpečení jednotlivých účelů (služeb). Posílení jednoho účelu zpravidla vede ke snížení spolehlivosti ostatních. Z uvedeného důvodu je třeba doporučit maximálně zodpovědný přístup, který vychází z komplexního vodohospodářského řešení, které kvantifikuje spolehlivost všech požadovaných účelů VH soustavy na podkladě aktuálních hydrologických podkladů a soudobých metodických postupů.

1.5 Struktura studie

Studie v rámci druhé kapitoly formuluje posuzované varianty přerozdělení nádržních prostorů na nádržích Orlík a Slapy. Tyto varianty vycházejí z určité logiky, která systematicky zvyšuje velikost retenčního objemu na Vltavské kaskádě, a to především na nádrži Orlík. Jednotlivé varianty byly také voleny s ohledem na výslednou míru protipovodňového účinku pro dolní trať Vltavy. Po formulaci posuzovaných variant je řazení studie následující:

1. Analýza ochranné funkce Vltavské kaskády pro jednotlivé posuzované varianty. Cílem je zde zejména odhad jejich retenčního účinku s ohledem na povodňovou ochranu hlavního města Prahy a celé tratě podél dolní Vltavy.
2. Analýza spolehlivosti zajištění dalších hlavních vodohospodářských účelů Vltavské kaskády pro jednotlivé varianty řešení. Jedná se zejména o následující účely:
 - a. zajištění zásobní funkce a z toho vyplývající spolehlivost minimálního odtoku z Vltavské kaskády a odběrů povrchové vody.
 - b. hydroenergetické využití Vltavské kaskády. Jedná se zejména o vliv na roční výrobu elektrické energie a spolehlivost zajištění pohotových výkonů.
 - c. plavba na Vltavské vodní cestě.
 - d. rekreace na nádržích Vltavské kaskády.
3. Závěrečná syntéza výsledků, která zhodnotí výsledky jednotlivých výše uvedených analýz a vyhodnotí, do jaké míry bude možné pro jednotlivé posuzované varianty zajistit požadovanou spolehlivost základních účelů Vltavské kaskády.

2. Formulované varianty řešení

Cílem studie je prověření strategického řízení Vltavské kaskády s ohledem na možné zvýšení jejího retenčního účinku pro území podél dolní Vltavy. Studie se dle zadání měla zaměřit na takové varianty, které by nevyžadovaly realizaci rozsáhlých vyvolaných investic. Z uvedeného důvodu se studie nezabývá otázkou zvýšení maximální hladiny v jednotlivých nádržích, ale sleduje zejména možnosti variantního přerozdělení nádržních prostorů.

Na horní Vltavě má z hlediska povodňové ochrany území rozhodující význam nádrž Lipno I s plochou povodí cca 948 km², která dle tab. 1.1 disponuje retenčním objemem o velikosti 33,156 mil. m³. Retenční účinek této nádrže je významný pro záplavová území přibližně po profil České Budějovice. Retenční účinek nádrže Lipno I pro území dolní Vltavy je již prakticky nevýznamný a proto sledované varianty uvažují až s úpravami na nádržích od VD Orlík níže. Plocha povodí po hráz VD Orlík je 12 106 km² a po hráz VD Slapy činí plocha povodí 12 957 km² (plocha mezipovodí mezi profily VD Orlík a VD Slapy je tedy 851 km² a činí tedy pouze cca 6,6 % celkové plochy povodí po profil VD Slapy). Pro zajímavost ještě uvedme plochu povodí Vltavy po limnigraf Praha – Chuchle, která činí 26 730 km².

Na základě tab. 1.1 vyplývá, že nádrže Kamýk, Štěchovice a Vrané jsou vybaveny pouze malými zásobními objemy, které navíc slouží výhradně pro vyrovnávání zvýšeného odtoku ze špičkových vodních elektráren a jejich zachování je klíčové s ohledem na regulační funkci špičkových vodních elektráren na Vltavské kaskádě.

Formulace souboru posuzovaných variant se tedy soustředila na změny v rozdělení nádržních prostorů na nádržích Orlík a Slapy. Soubor navržených variant prošel v průběhu zpracovávání studie určitým vývojem a jeho finální podoba byla upřesněna teprve po vyřešení všech analýz vodohospodářského a hydroenergetického řešení Vltavské kaskády. Ve studii jsou sledovány tyto varianty:

Variant 0 – varianta současného stavu

Na nádržích Orlík a Slapy jsou formulovány následující nádržní prostory dle platných manipulačních řádů.

VD Orlík

PROSTOR STÁLÉHO NADRŽENÍ

v rozmezí kót	283,60 až 329,60 m n. m.
objem	280,0 mil. m ³
zatopená plocha	1 172,0 ha

ZÁSOBNÍ PROSTOR NÁDRŽE

v rozmezí kót	329,60 až 351,20 m n. m.
objem	374,428 mil. m ³
zatopená plocha	2 468,2 ha

OCHRANNÝ OVLADATELNÝ PROSTOR NÁDRŽE

v rozmezí kót	351,20 až 353,60 m n. m.
objem	62,072 mil. m ³
zatopená plocha	2 732,7 ha

CELKOVÝ PROSTOR NÁDRŽE

v rozmezí kót	283,60 až 353,60 m n. m.
objem	716,5 mil. m ³
zatopená plocha	2 732,7 ha

VD Slapy

PROSTOR STÁLÉHO NADRŽENÍ

v rozmezí kót	212,60 až 246,60 m n. m.
objem	68,800 mil. m ³
zatopená plocha	512,90 ha

ZÁSOBNÍ PROSTOR NÁDRŽE

v rozmezí kót	246,60 až 270,60 m n. m.
objem	200,50 mil. m ³
zatopená plocha	1 162,60 ha

CELKOVÝ PROSTOR NÁDRŽE

v rozmezí kót	212,60 až 270,60 m n. m.
objem	269,30 mil. m ³
zatopená plocha	1 162,60 ha

Variantá 1

- na nádrži Orlík je zvýšen retenční objem o 30 mil. m³ na úkor zásobního objemu.
- nádrž Slapy je provozována dle současného stavu.

Variantá 2

- na nádrži Orlík je zvýšen retenční objem o 30 mil. m³ na úkor zásobního objemu.
- na nádrži Slapy je zvýšen retenční objem o 30 mil. m³ na úkor zásobního objemu.
- celkem je retenční objem zvýšen o 60 mil. m³.

Variantá 3

- na nádrži Orlík je zvýšen retenční objem o 100 mil. m³ na úkor zásobního objemu.
- nádrž Slapy je provozována dle současného stavu.

Variantá 4

- na nádrži Orlík je zvýšen retenční objem o 100 mil. m³ na úkor zásobního objemu.
- na nádrži Slapy je zvýšen retenční objem o 30 mil. m³ na úkor zásobního objemu.
- celkem je retenční objem zvýšen o 130 mil. m³.

Varianta 5

Varianta byla formulována tak, aby došlo k transformaci povodně z roku 2013 na neškodný průtok. Přitom je uvažováno řízení nádrže s využitím spolehlivé předpovědi, která umožní začít s prázdněním nádrže s 24-hodinovým předstihem.

- na nádrži Orlík je zvýšen retenční objem o 208 mil. m³ na úkor zásobního objemu.
- nádrž Slapy je provozována dle současného stavu.

Varianta 6

Varianta byla formulována tak, aby došlo k transformaci povodně z roku 2013 na neškodný průtok. Zvyšování odtoku se realizuje bez předvypouštění za využití hydrologické předpovědi, tedy pouze na podkladě aktuální průtokové situace

- na nádrži Orlík je zvýšen retenční objem o 309 mil. m³ na úkor zásobního objemu.
- nádrž Slapy je provozována dle současného stavu.

Varianta 7

Jedná se o variantu prázdné nádrže Orlík. Nádrž je provozována pouze s velmi malým prostorem stálého nadržení s ohledem na kapacitu spodních výpustí. Hladina je udržována na kótě stálého nadržení 293,00 m n. m. a objem stálého nadržení tak činí 18,5 mil. m³.

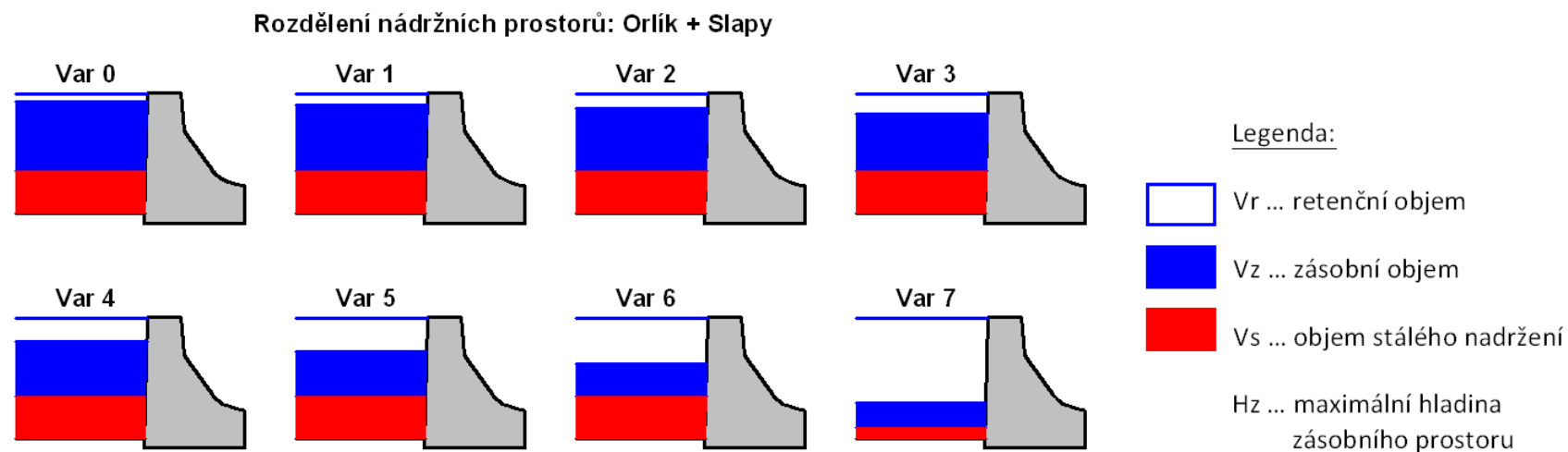
- na nádrži Orlík je zvýšen retenční objem o 636 mil. m³ na úkor objemu stálého nadržení a zásobního objemu.
- nádrž Slapy je provozována dle současného stavu.

Podrobný popis jednotlivých variant řešení je uveden v tab. 2.1. V obr. 2.1 jsou schematicky znázorněny proporce mezi základními nádržními prostory nádrží Orlík a Slapy (uvažováno souhrnně) pro jednotlivé varianty.

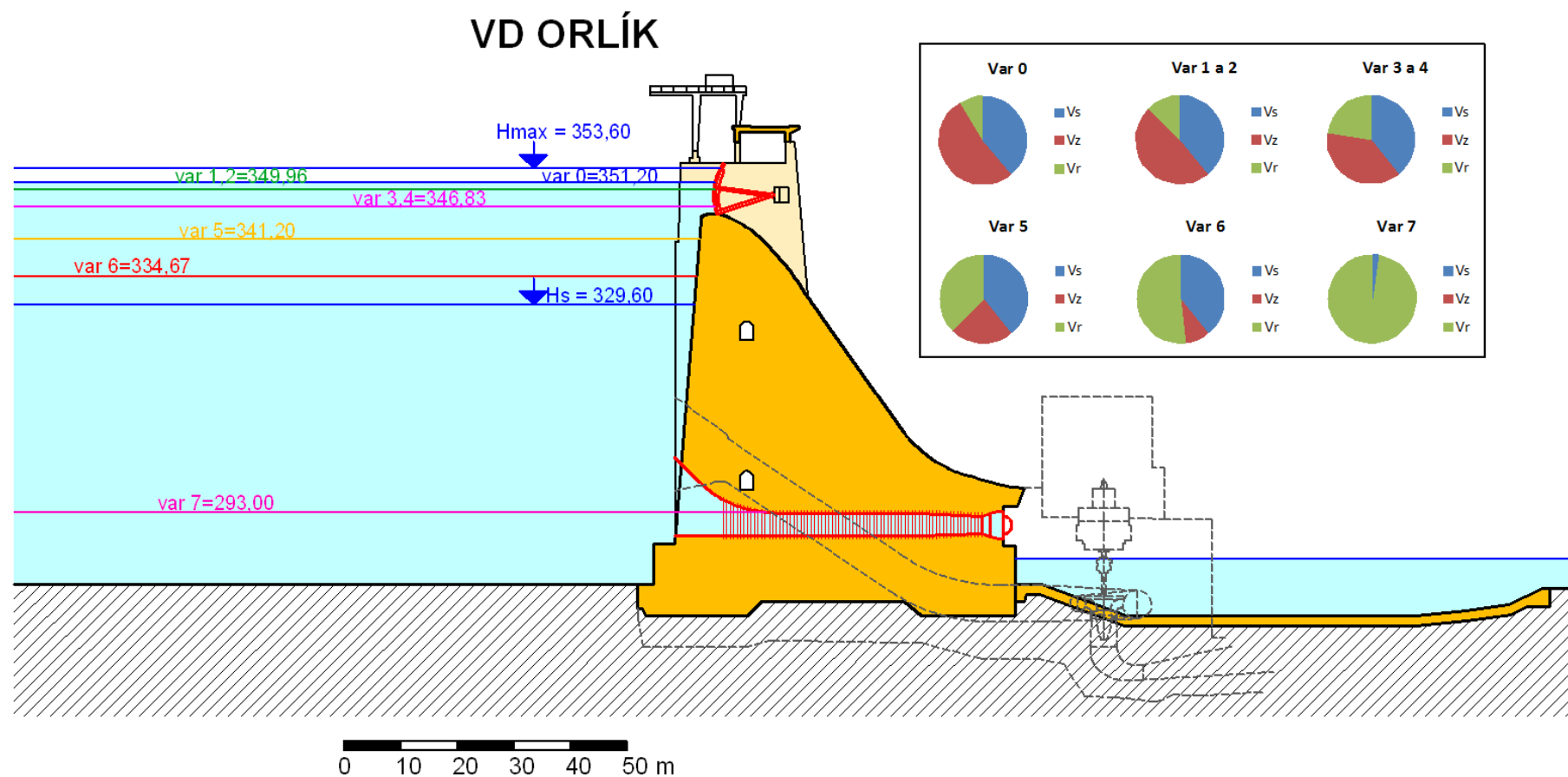
Většinu úprav v rozdělení nádržních prostorů lze předpokládat na nádrži Orlík. Obr. 2.2 znázorňuje polohy hladin zásobního prostoru pro jednotlivé varianty v podélném řezu přehrady. Doplněno je také schéma proporcí mezi jednotlivými nádržními prostory v koláčovém grafu.

Tab. 2.1 Posuzované varianty přerozdělení nádržních prostorů na nádržích Orlík a Slapy.

varianta	Orlík				Slapy				celkem		
	Hz	Vz	Vr	navýšení Vr	Hz	Vz	Vr	navýšení Vr	Vz	Vr	navýšení Vr
	[m n. m.]	[mil. m3]	[mil. m3]	[mil. m3]	[m n. m.]	[mil. m3]	[mil. m3]	[mil. m3]	[mil. m3]	[mil. m3]	[mil. m3]
0	351.20	374	62	0	270.60	201	0	0	575	62	0
1	349.96	344	92	30	270.60	201	0	0	545	92	30
2	349.96	344	92	30	267.93	171	30	30	515	122	60
3	346.83	274	162	100	270.60	201	0	0	475	162	100
4	346.83	274	162	100	267.93	171	30	30	445	192	130
5	341.20	166	270	208	270.60	201	0	0	367	270	208
6	334.67	65	372	309	270.60	201	0	0	266	372	309
7	293.00	0	698	636	270.60	201	0	0	201	698	636



Obr. 2.1 Znázornění proporcí mezi základními nádržními prostory pro jednotlivé varianty řešení (celkem pro Orlík + Slapy).



Obr. 2.2 Znáznornění kóty zásobního prostoru pro jednotlivé varianty na nádrži Orlík. Vpravo je znázorněn podíl jednotlivých nádržních prostorů v rámci posuzovaných variant (Vs ... objem stálého nadržení, Vz ... zásobní objem, Vr ... retenční objem).

3. Vodohospodářské řešení ochranné funkce

Předmětem této části studie je vodohospodářské řešení retenční funkce Vltavské kaskády s ohledem na povodňovou ochranu území podél dolní Vltavy. Řešení je provedeno pro současné parametry nádrží Vltavské kaskády a pro varianty zmenšeného zásobního prostoru, tedy zvětšeného retenčního prostoru. Řešení je zpracováno pro soubor teoretických povodňových vln na přítoku do nádrže Orlík, na Sázavě a Berounce s dobami opakování $N = 5, 20, 50$ a 100 let a pro skutečné historické povodňové události z let 2002 a 2013.

3.1 Použité podklady

3.1.1 Manipulační řády vodních děl Vltavské kaskády

Pro řešení retenční funkce Vltavské kaskády s ohledem na dolní Vltavu byly využity manipulační řády vodních děl Orlík, Kamýk, Slapy, Štěchovice a Vrané a dále komplexní manipulační řád Vltavské kaskády:

- Manipulační řád pro vodní dílo Orlík na Vltavě (v ř. km 144,650). Zpracoval: VD TBD, 05/1996, Schválil: OkÚ Příbram RŽP. Revize 07/2009.
- Manipulační řád pro vodní dílo Kamýk na Vltavě (ř. km 134,730). Zpracoval: VD TBD, 05/1996, Schválil: OkÚ Příbram RŽP. Revize 07/2009.
- Manipulační řád pro vodní dílo Slapy na významném vodním toku Vltava v ř. km 91,610. Zpracoval: Povodí Vltavy, státní podnik – centrální vodohospodářský dispečink, 01/2014. Schválil: KÚ Středočeského kraje dne 28.5.2014.
- Manipulační řád pro vodní dílo Štěchovice (v ř. km 84,318). Zpracoval: VD TBD, 05/1996, Schválil: OkÚ Praha-západ. Revize 05/2011.
- Manipulační řád pro vodní dílo Vrané (v ř. km 71,325). Zpracoval: VD TBD, 05/1996, Schválil: OkÚ Praha-západ. Revize 06/2002.
- Komplexní manipulační řád Vltavské kaskády. Zpracoval: VD TBD a.s., 10/1997, Schválil: Ministerstvo životního prostředí dne 25.5.1998. Revize: 08/2009.

3.1.2 Hydrologické podklady

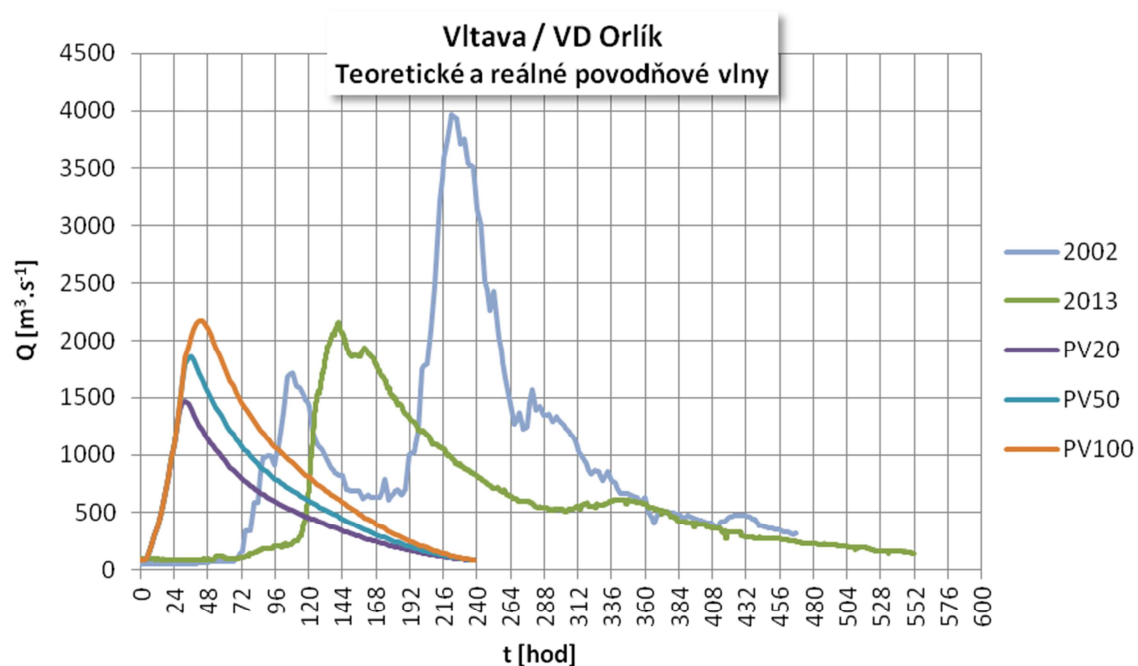
Pro potřeby vodohospodářského řešení retenční funkce Vltavské kaskády byly zajištěny aktuální základní hydrologické údaje podle ČSN 75 1400 a zejména data o povodňovém režimu Vltavy v profilu VD Orlík, Sázavy v profilu vodoměrné stanice Nespeky a Berounky v profilu vodoměrné stanice Beroun. Přehled těchto dat následuje.

Vodní tok			Vltava				
číslo hydrologického pořadí			1-08-05-0090-1-00				
profil			hráz VD Orlík				
plocha povodí			12 114.95			km ²	
N-leté průtoky Q _N						[m ³ .s ⁻¹]	
1	2	5	10	20	50	100	třída
461	657	954	1203	1472	1857	2175	II

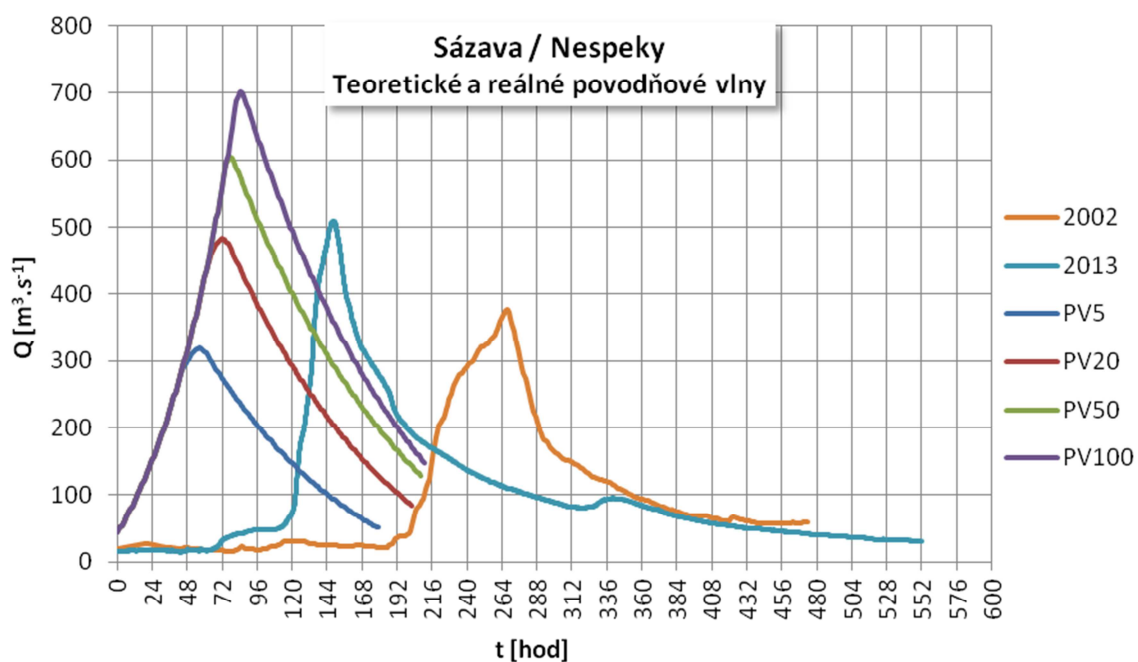
Vodní tok			Sázava				
číslo hydrologického pořadí			1-09-03-1550				
profil			vodoměrná stanice Nespeky				
plocha povodí			4 038.65			km ²	
N-leté průtoky Q _N						[m ³ .s ⁻¹]	
1	2	5	10	20	50	100	třída
159	223	319	398	483	604	702	II

Vodní tok			Berounka				
číslo hydrologického pořadí			1-11-04-0560				
profil			vodoměrná stanice Beroun				
plocha povodí			8 283.42			km ²	
N-leté průtoky Q _N						[m ³ .s ⁻¹]	
1	2	5	10	20	50	100	třída
270	403	615	799	1000	1310	1560	III

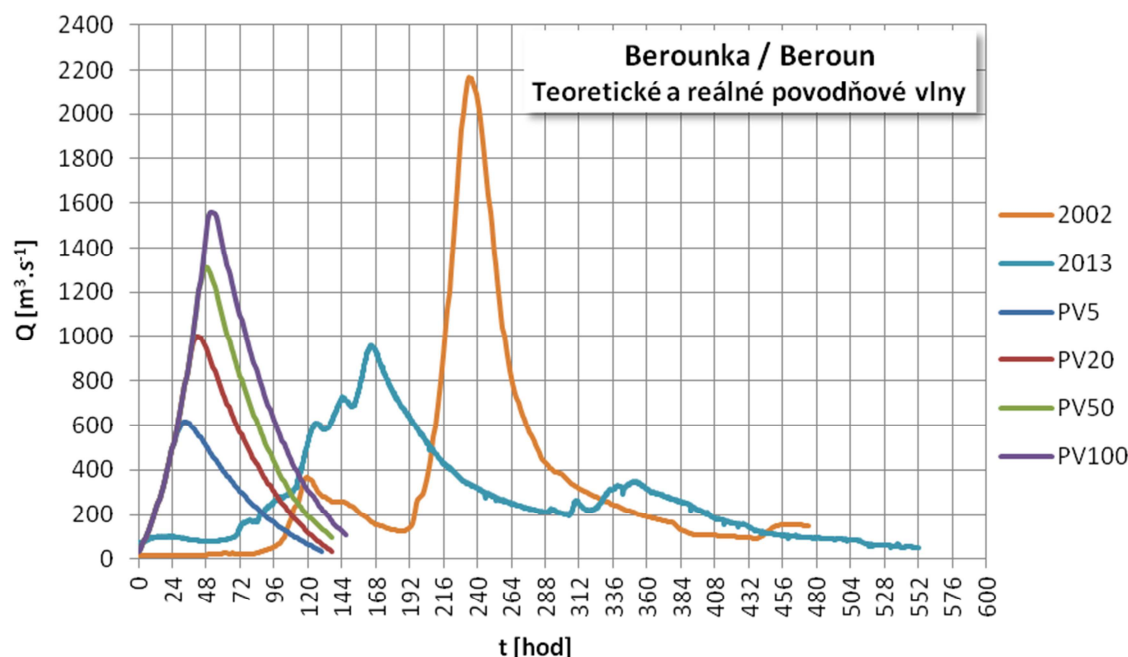
Nezbytným vstupem pro řešení retenční funkce dle zadání jsou také hydrogramy teoretických povodňových vln a reálných povodňových vln z let 2002 a 2013. Hydrogramy jsou uvedeny v obr. 3.1 až obr. 3.3.



Obr. 3.1 Teoretické a reálné povodňové vlny pro profil VD Orlík na Vltavě.



Obr. 3.2 Teoretické a reálné povodňové vlny pro profil Nespeky na Sázavě.



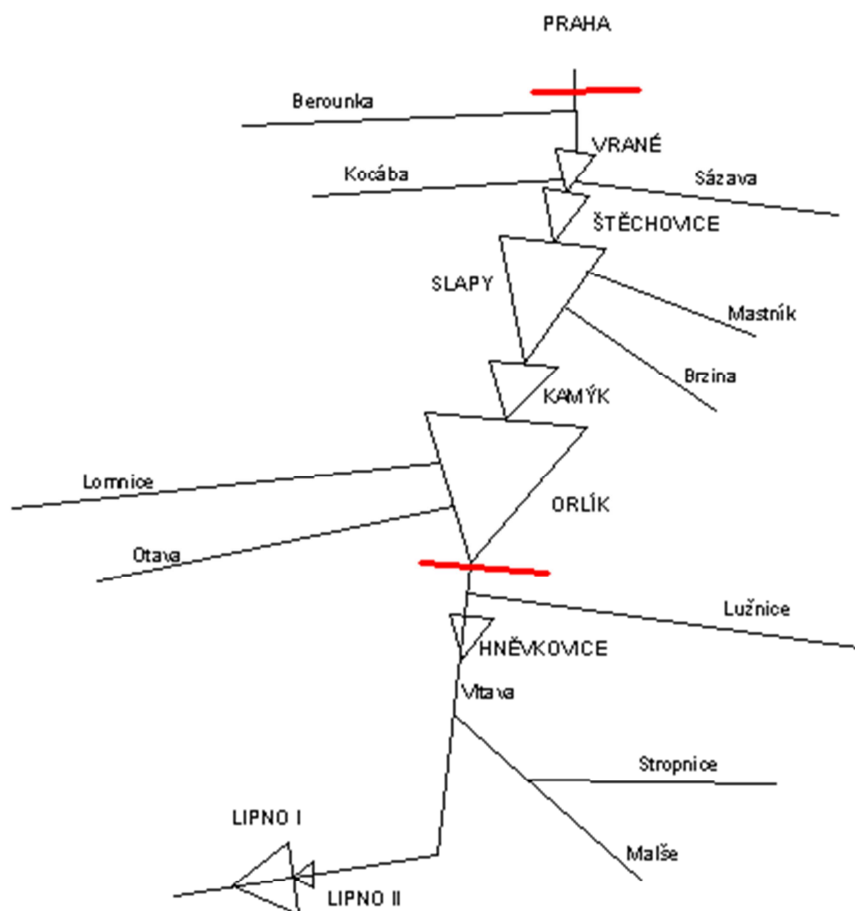
Obr. 3.3 Teoretické a reálné povodňové vlny pro profil Beroun na Berounce.

3.2 Simulační model ochranné funkce Vltavské kaskády

Za účelem zhodnocení retenčního potenciálu jednotlivých variant byl použit zjednodušený simulační model Vltavské kaskády, který byl využit pro potřeby studie „Analýza retenční funkce Vltavské kaskády a rybníka Rožmberk za povodně 2013“ (Fošumpaur, Kopecká, 2013). Struktura modelu je dána jednotlivými prvky, které jsou tvořeny nádržemi Orlík, Kamýk, Slapy, Štěchovice a Vrané (viz obr. 3.4). Z hlediska ochranné funkce je možné definovat systém pouze s využitím prvků Orlík a Slapy. Pro zachování informace o postupu povodně jsme se rozhodli zahrnout i ostatní nádrže. Vstupními veličinami jsou přítokové hydrogramy na přítoku do nádrže Orlík, hydrogram Berounky, Sázavy a dále hydrogramy vedlejších přítoků (Mastník, Brzina a Kocába). Definovaný systém je vymezen ve schématu na obr. 3.4 červenými úsečkami.

Hydrogram Sázavy je převzat z profilu Nespeky, který byl transformován o postupovou dobu a zaústěn do nádrže Vrané a hydrogram Berounky je převzat z profilu Beroun a rovněž transformován o postupovou dobu na soutok s Vltavou. Postupové doby byly pro zjednodušení řešeny jako konstantní pro celé spektrum povodňových průtoků. Hodnoty těchto postupových dob byly voleny následovně: 12 hodin pro Berounku (Beroun – soutok s Vltavou) a 9 hodin pro Sázavu (Nespeky nad Sázavou – soutok s Vltavou).

Do modelu jsou dále zahrnuty menší přítoky, které přivádějí vodu z mezipovodí nádrže Slapy. Takto koncipovaný model obsahuje všechny významné přítoky Vltavy v úseku VD Orlík po profil limnigrafu Malá Chuchle.



Obr. 3.4 Vymezení řešeného systému nádrží na Vltavské kaskádě z pohledu retenční funkce.

Popis ochranné funkce nádrže vychází ze základní rovnice nádrže:

$$\frac{dV}{dt} = P(t) - O(t)$$

která byla numericky aproximována Runge-Kuttovou metodou 4. řádu. Pro zobrazení systému byla zvolena metoda simulačního modelování. Uvedený přístup má řadu výhod, které spočívají především v možnosti posouzení různých scénářů chování systému pro různé varianty manipulací. Odvozený simulační model umožňuje definovat způsob manipulace na každé ze simulovaných nádrží prostřednictvím určení odtokových množství jednotlivými funkčními objekty. Systém je zkonstruován univerzálně, aby bylo možné pro každou nádrž volit odtok vodohospodářskou částí (spodními výpustmi a přepadem přes bezpečnostní přeliv) a přes vodní elektrárnu. Tyto odtoky představují regulační zásahy a jsou tudíž vstupem do subsystému každé nádrže. Do výpočtu je zařazena kontrola nastaveného odtoku

vodohospodářskou částí s momentálně maximálním možným disponibilním odtokem dle měrných křivek plně otevřených uzávěrů funkčních objektů a provádí případnou úpravu nastaveného odtoku.

Za neovladatelného stavu plyne přepad přes bezpečnostní přelivy řešením diferenciální rovnice nádrže (transformace povodňové vlny v nádrži). Hodnoty okamžitých náplní nádrže jsou paralelně přepočítávány pomocí charakteristiky nádrží na kontinuální záznam průběhů hladin v jednotlivých nádržích.

Tento způsob definice simulačního modelu umožňuje poměrně snadno posoudit retenční potenciál jednotlivých variant rozdělení nádržních prostorů na nádržích Orlík a Slapy. Pro každou nádrž je nutné ještě určit následující parametry:

- závislost přepadového množství přes bezpečnostní přeliv (přes všechna pole) na okamžité náplni nádrže, tedy měrnou křivku přelivů při vyhrazených uzávěrech,
- počáteční náplň nádrže na počátku simulace ($t=0$).

Protože jednotlivé nádrže Vltavské kaskády na sebe těsně navazují svým vzduutím, znamená odtok z výše položené nádrže přítok do níže položené nádrže. Z uvedeného důvodu zde odpadá průtok povodně říční sítí (přirozená transformace v korytě vodního toku) a lze snadno doložit, že proces průchodu povodňové vlny je tak urychlen. V našem řešení jsme se rozhodli na základě zkušeností pracovníků Povodí Vltavy zavést určité zdržení pouze mezi profily Štěchovice – Vrané (cca 0.5-1.0 hod) a Vrané – Chuchle (cca 1 hod).

Vodohospodářské řešení retenční funkce předpokládá následující provozní režim prázdnění Vltavské kaskády daný potřebou časových odstupů při zvyšování celkového odtoku z důvodu umožnění realizace řady přípravných opatření na dolním úseku Vltavy.

A/ při dosažení celkového průtoku v Praze-Chuchli $450 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ je tento průtok manipulací na kaskádě udržován po dobu 12 hodin. Následně je po dobu dalších 12 hodin průtok v Chuchli udržován na hodnotě $800 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Teprve potom je v Praze – Chuchli průtok udržován na hodnotě neškodného průtoku o velikosti $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, dokud nedojde k naplnění retenčního prostoru na nádržích Orlík a případně Slapy.

B/ Manipulace dle bodu A/ jsou aplikovány s 24 hodinovým předstihem.

3.3. Simulace povodně z roku 2013

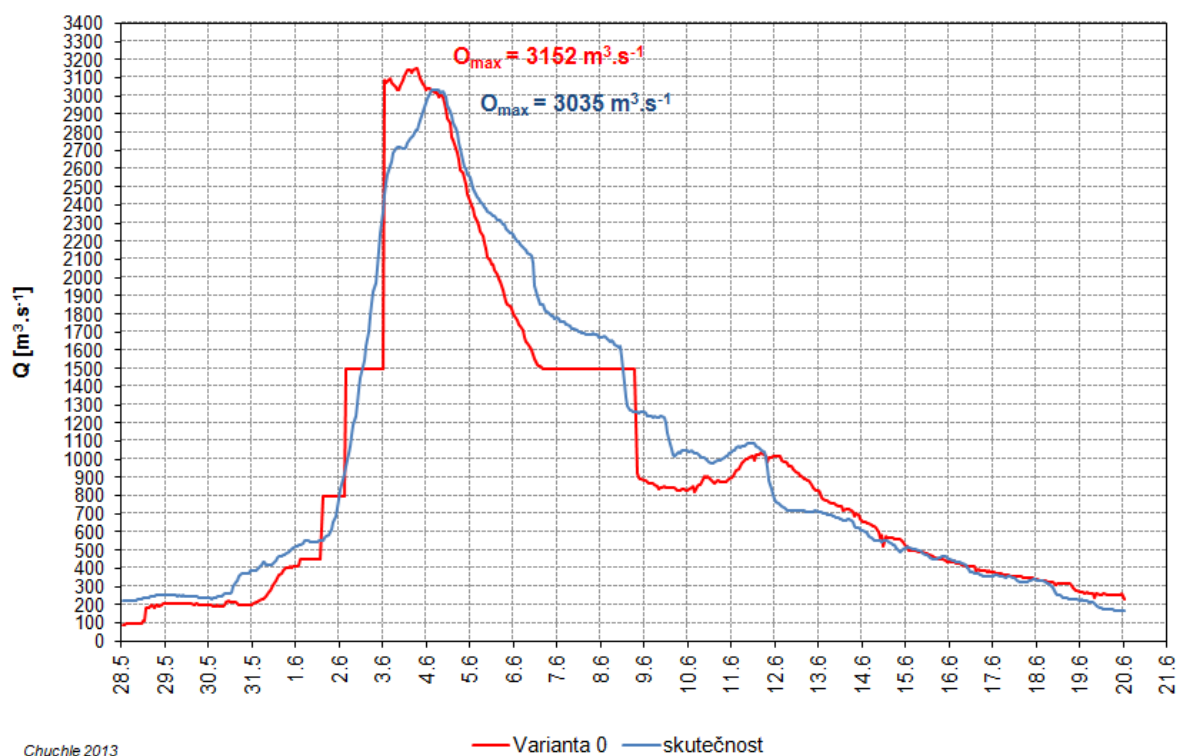
Následující kapitola uvádí výsledky vodohospodářského řešení retenční funkce Vltavské kaskády od nádrže Orlík po uzávěrový profil Praha – Chuchle pro povodeň z roku 2013. Povodeň kulminovala v Praze na hodnotě $3040 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, což odpovídá necelé padesátileté povodni. Tato povodeň byla transformována pomocí sestaveného simulačního modelu a

výsledky transformací pro jednotlivé varianty uvádí následující grafy. Průběh je zde podrobně dokumentován pro profil Praha Chuchle s ohledem na skutečnost, že se jedná o poslední zaznamenanou povodeň v povodí Vltavy a současně z důvodu, že dle jejího průběhu byly formulovány varianty č. 5 a 6 rozdělení nádržních prostorů nádrže Orlík.

3.3.1 Řízení Vltavské kaskády bez předpovědi

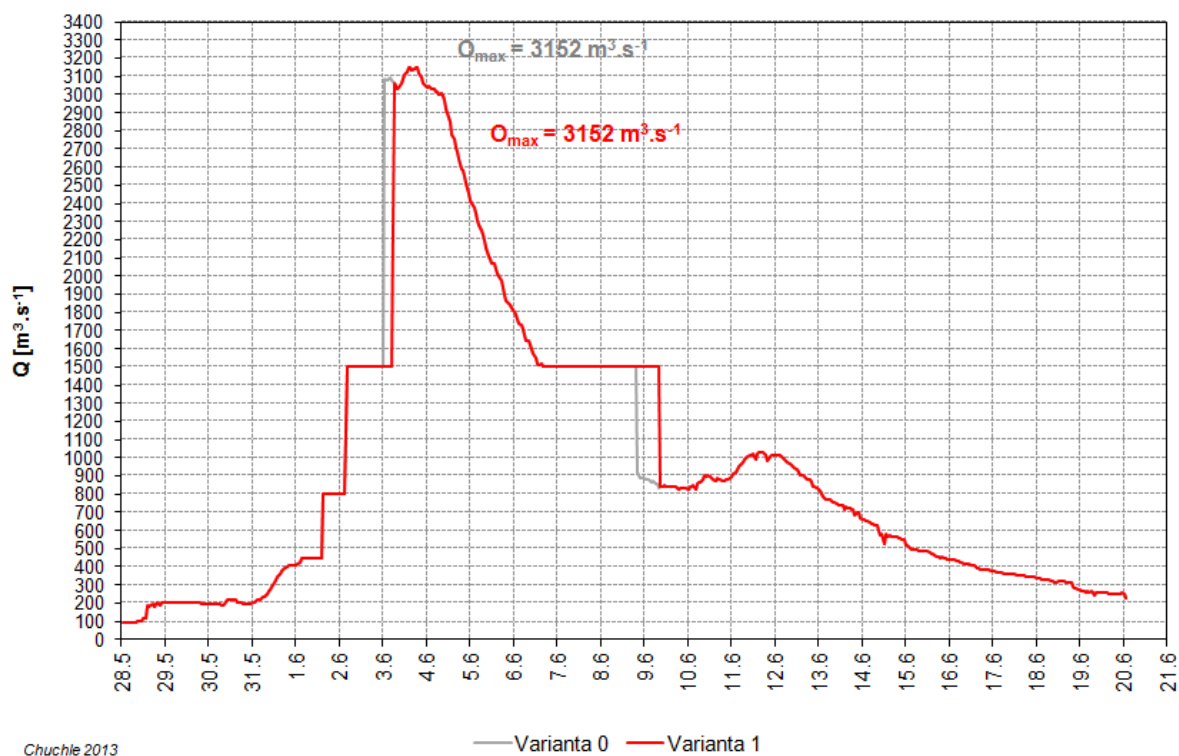
Jedná se o variantu, kdy průtoky z Vltavské kaskády jsou zvyšovány v postupném režimu od okamžiku dosažení průtoku $450 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v profilu Praha – Chuchle. Od tohoto okamžiku je průtok stabilizován manipulacemi na Vltavské kaskádě po dobu 12 hodin. Potom je průtok udržován na hodnotě $800 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ po dobu dalších 12 hodin a následně je až do vyčerpání retenčních prostorů udržován průtok v Praze Chuchli na úrovni $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Následující obr. 3.5 uvádí srovnání skutečného a simulovaného průtoku v Praze Chuchli pro variantu 0 (současný stav rozdělení nádržních prostorů).

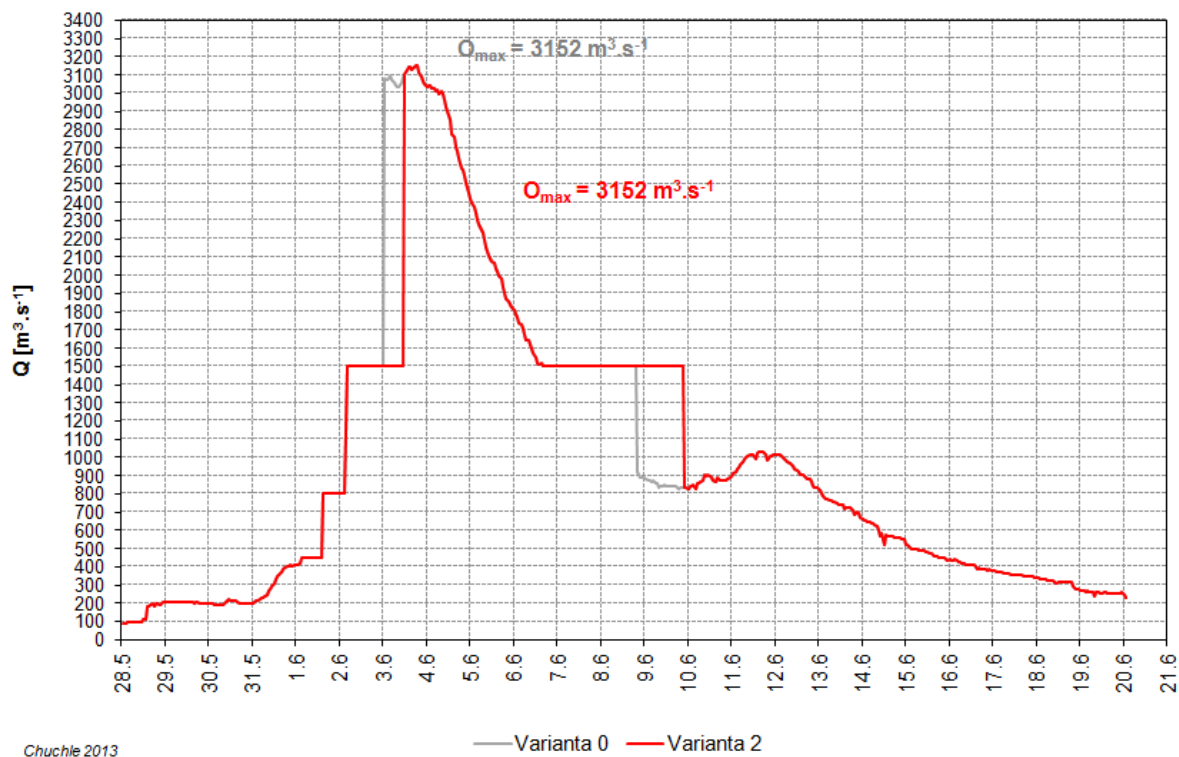


Obr. 3.5 Porovnání simulovaného průtoku v Praze Chuchli (varianta 0) a skutečného hydrogramu.

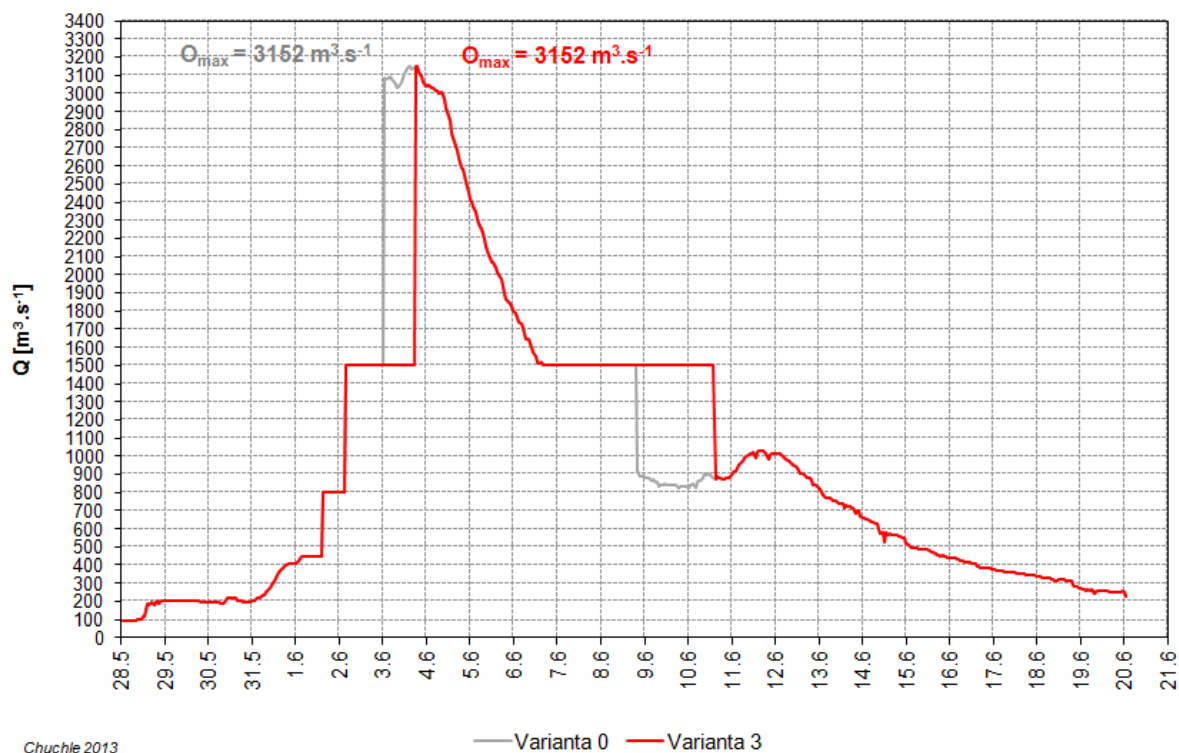
Následující obr. 3.6 až obr. 3.12 uvádí porovnání jednotlivých variant rozdělení nádržních prostorů na nádržích Orlík a Slapy s variantou 0 (současný stav) podle průběhu povodňové vlny v profilu Praha – Chuchle.



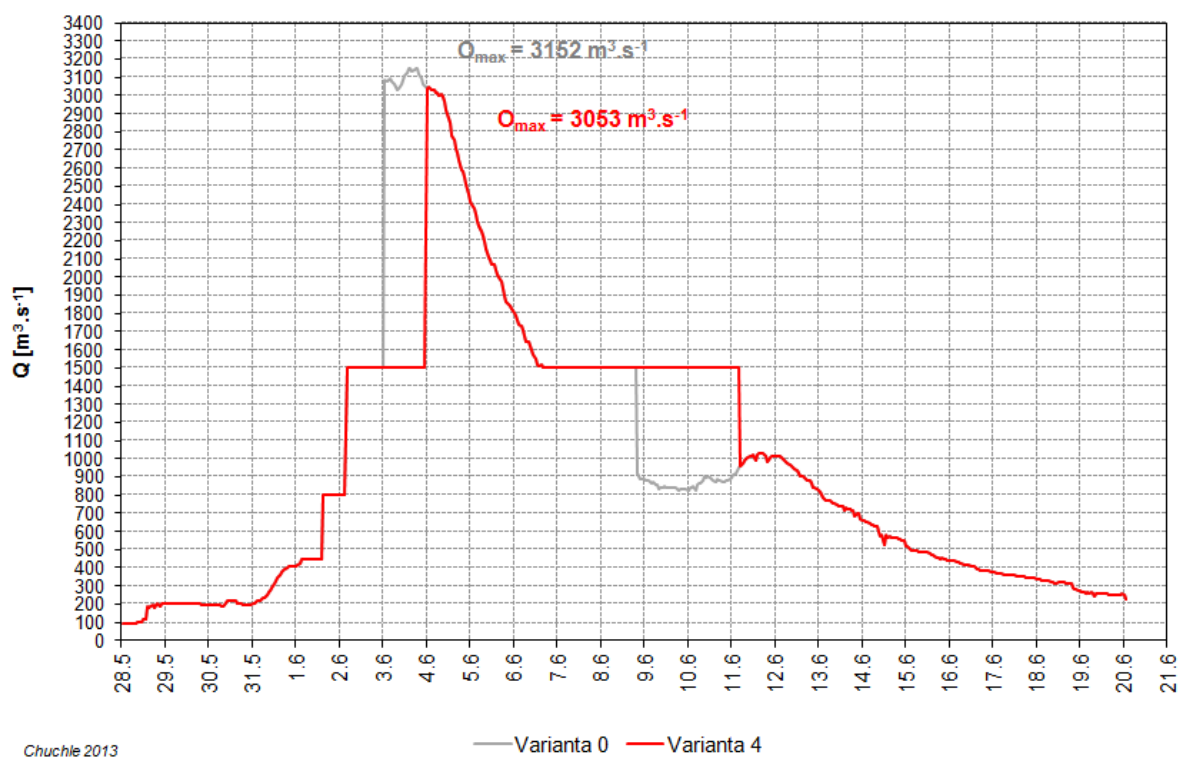
Obr. 3.6 Porovnání varianty 0 a varianty 1.



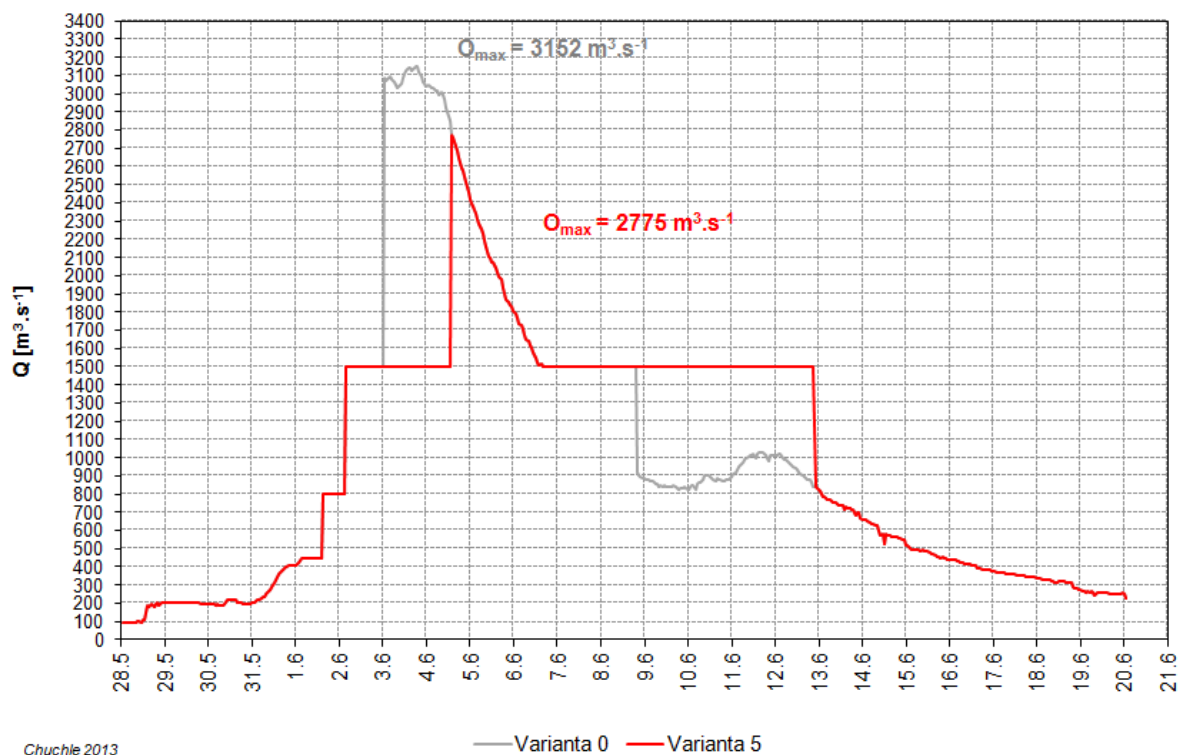
Obr. 3.7 Porovnání varianty 0 a varianty 2.



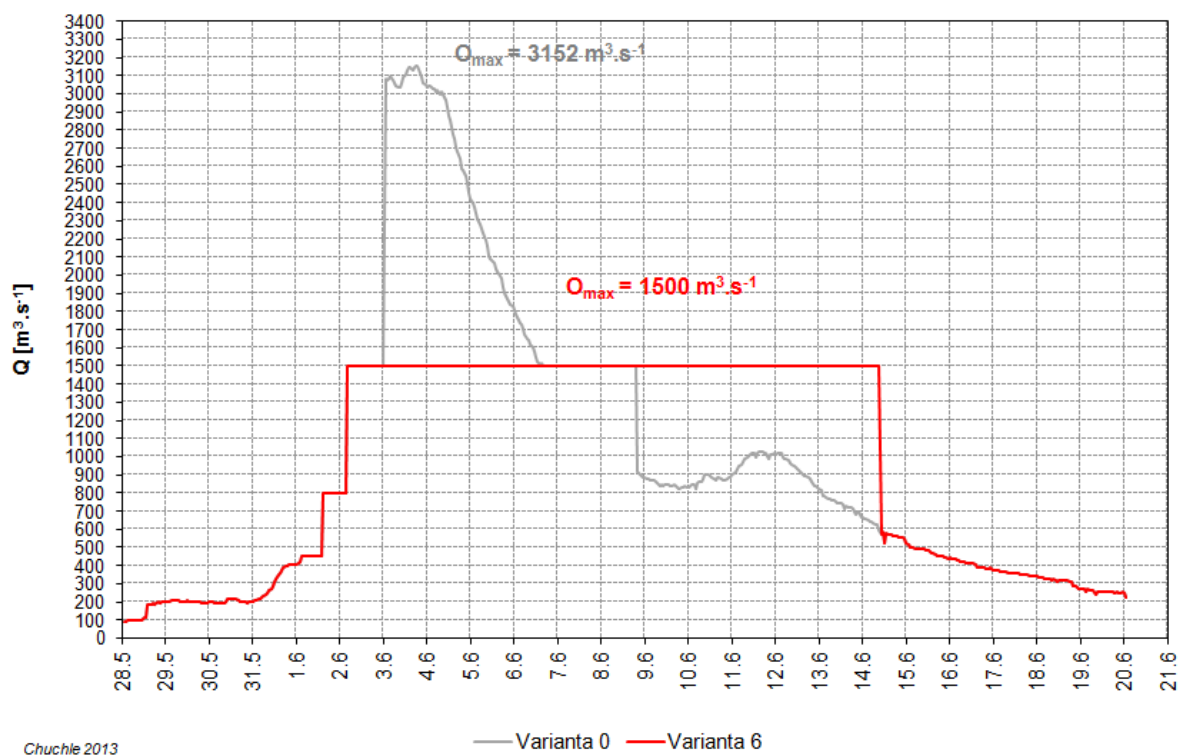
Obr. 3.8 Porovnání varianty 0 a varianty 3.



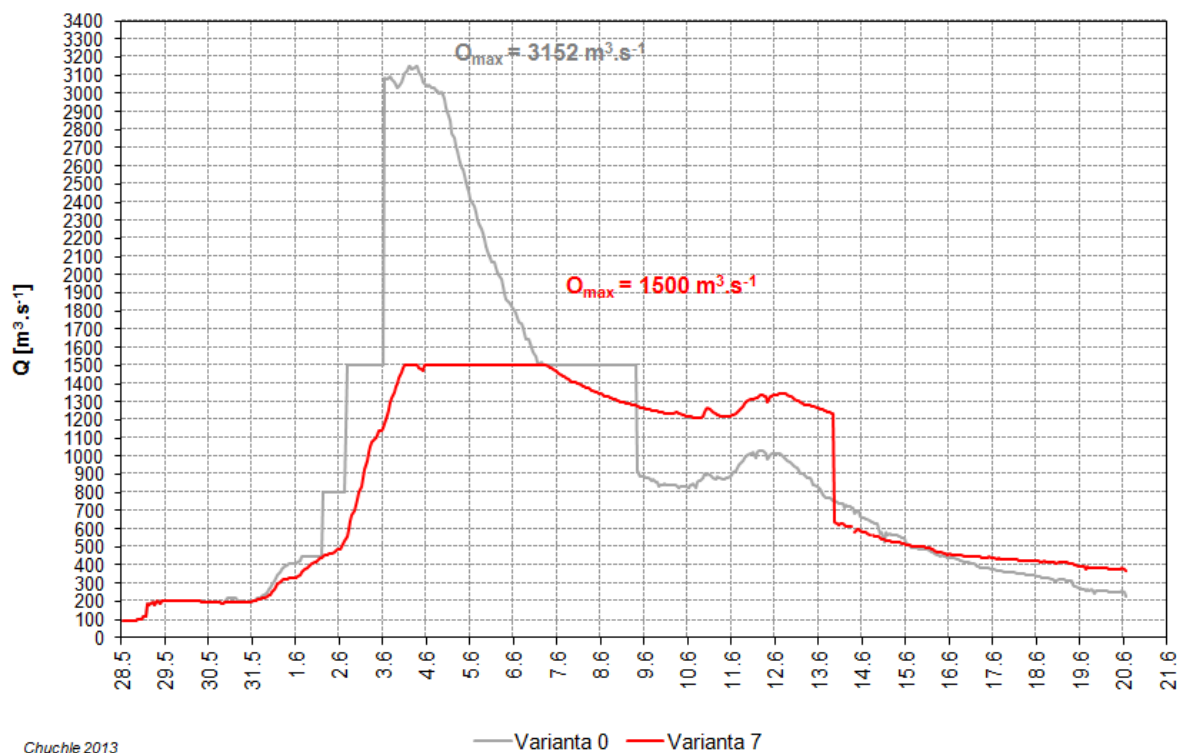
Obr. 3.9 Porovnání varianty 0 a varianty 4.



Obr. 3.10 Porovnání varianty 0 a varianty 5.



Obr. 3.11 Porovnání varianty 0 a varianty 6.



Obr. 3.12 Porovnání varianty 0 a varianty 7.

Ze zpracované analýzy vyplývají tyto poznatky:

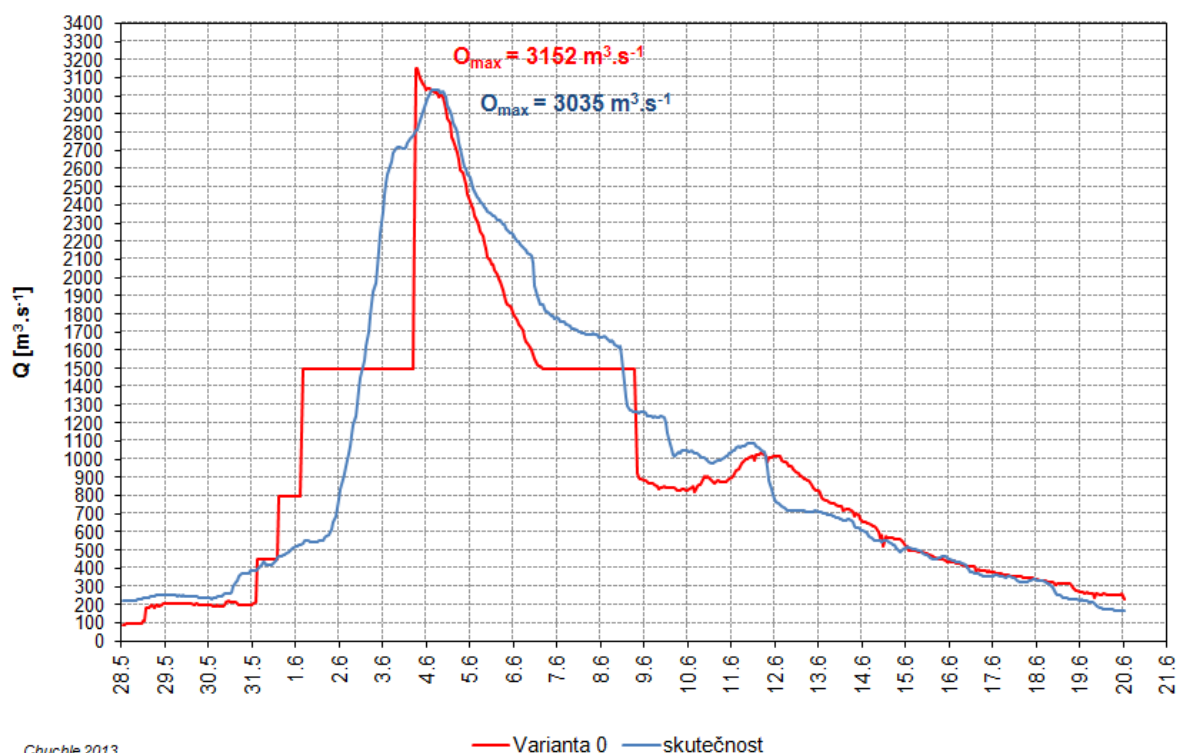
1. Transformaci povodně 2013 na neškodný průtok $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v profilu Praha Chuchle umožňují pouze varianty 6 a 7.
2. U ostatních variant dojde k překročení neškodného průtoku a ke vzniku povodňových škod. Jejich určitou výhodou oproti variantě 0 (stávající stav) je časové oddálení okamžiku, kdy je překročen neškodný průtok. Hodnoty tohoto časového oddálení ve srovnání s variantou 0 jsou následující:

Varianta oddálení překročení neškodného průtoku v Praze Chuchli

1	6 hod
2	12 hod
3	18 hod
4	24 hod
5	38 hod

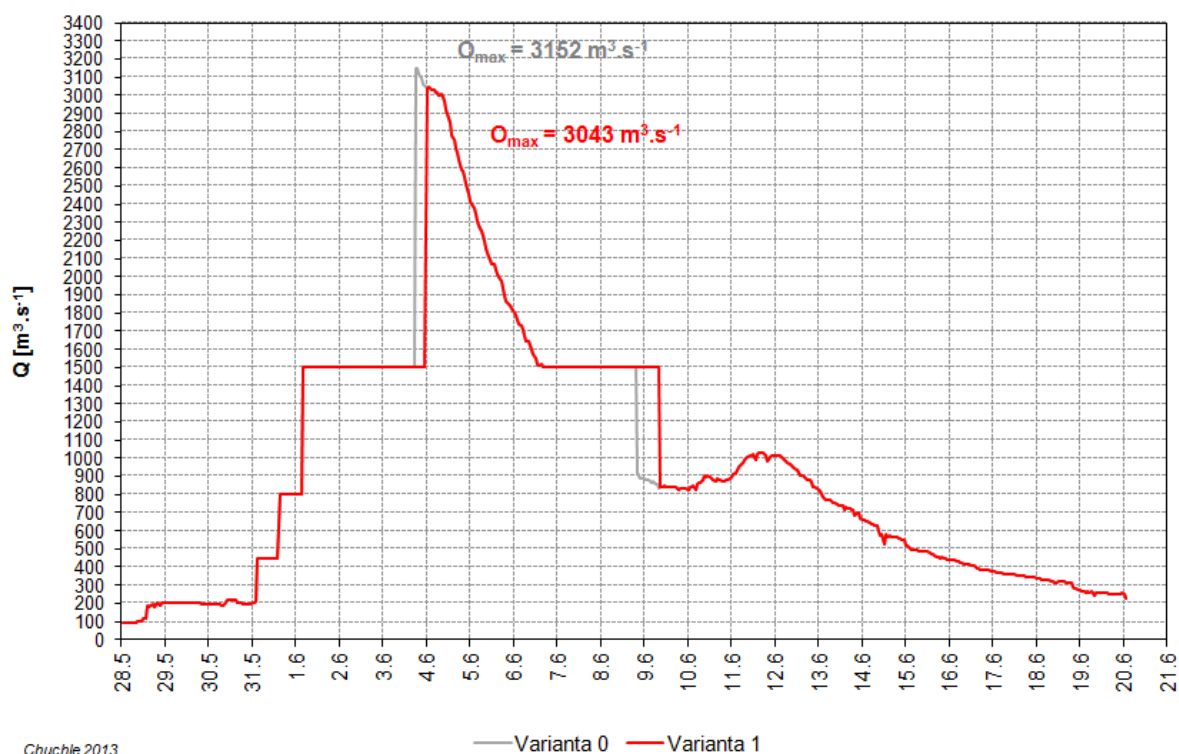
3.3.2 Řízení Vltavské kaskády s 24 hodinovou předpovědí

Spolehlivost hydrologické předpovědi je silně závislá na době předstihu a druhu vstupních dat. Nejspolehlivější je předpověď na základě průtoků ve výše ležících limnigrafických stanicích (metoda odpovídajících si průtoků), která však umožňuje předstih pouze v řádu několika jednotek hodin. Hydrologická předpověď založená na skutečných srážkách na povodí umožňuje dále prodloužit délku předstihu a je za současného stavu poznání a technologického vybavení dobře využitelná pro operativní řízení nádrží a vodohospodářských soustav. Naproti tomu hydrologické předpovědi, které využívají predikované srážky pomocí numerických meteorologických modelů, se vyznačují největší mírou neurčitosti a jejich bezprostřední využití pro operativní řízení nádrží za povodní je dosud komplikované. S ohledem na spolehlivost předpovědi byly průtoky zvyšovány v postupném režimu s předstihem 24 hodin od okamžiku dosažení průtoků $450 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v profilu Praha – Chuchle. Od tohoto okamžiku je průtok stabilizován manipulacemi na Vltavské kaskádě po dobu 12 hodin. Potom je průtok udržován na hodnotě $800 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ po dobu dalších 12 hodin a následně je až do vyčerpání retenčních prostorů udržován průtok v Praze Chuchli na úrovni $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Předpokladem této varianty řízení Vltavské kaskády je spolehlivá hydrologická předpověď. Následující obr. 3.13 uvádí srovnání skutečného simulovaného průtoků v Praze Chuchli pro variantu 0 (současný stav rozdělení nádržních prostorů).

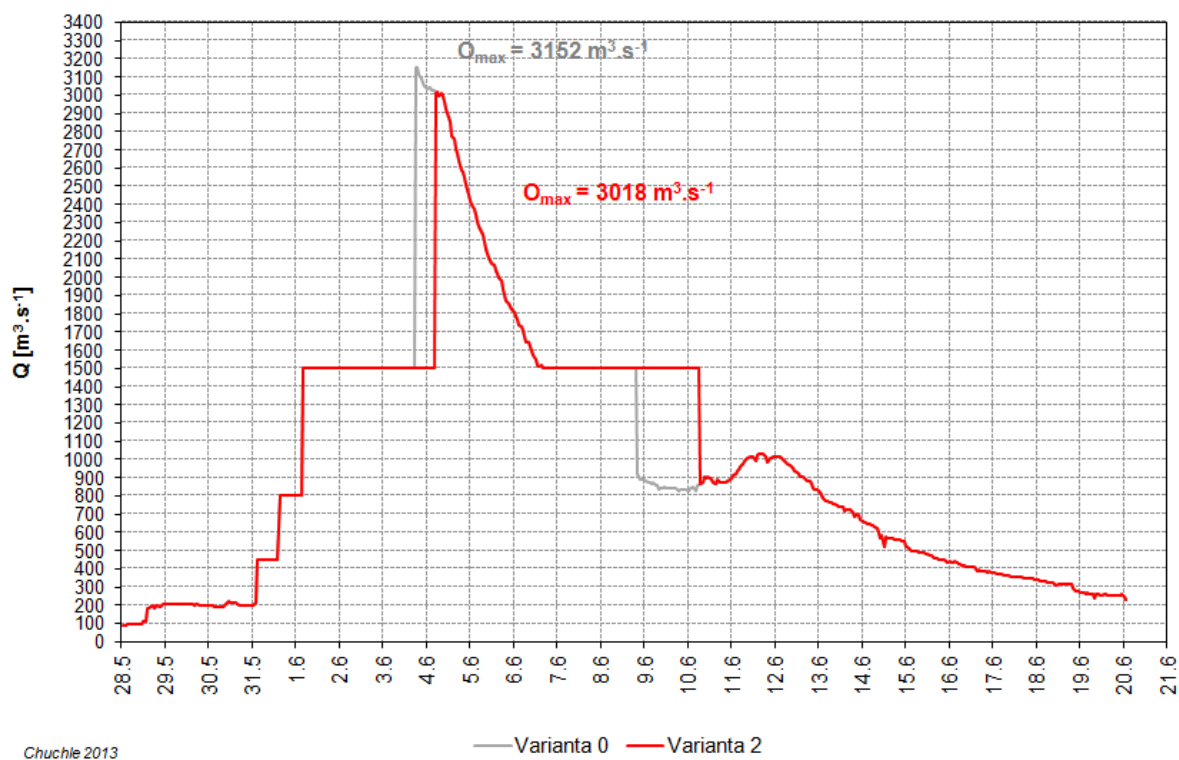


Obr. 3.13 Porovnání simulovaného průtoků v Praze Chuchli (varianta 0) a skutečného hydrogramu.

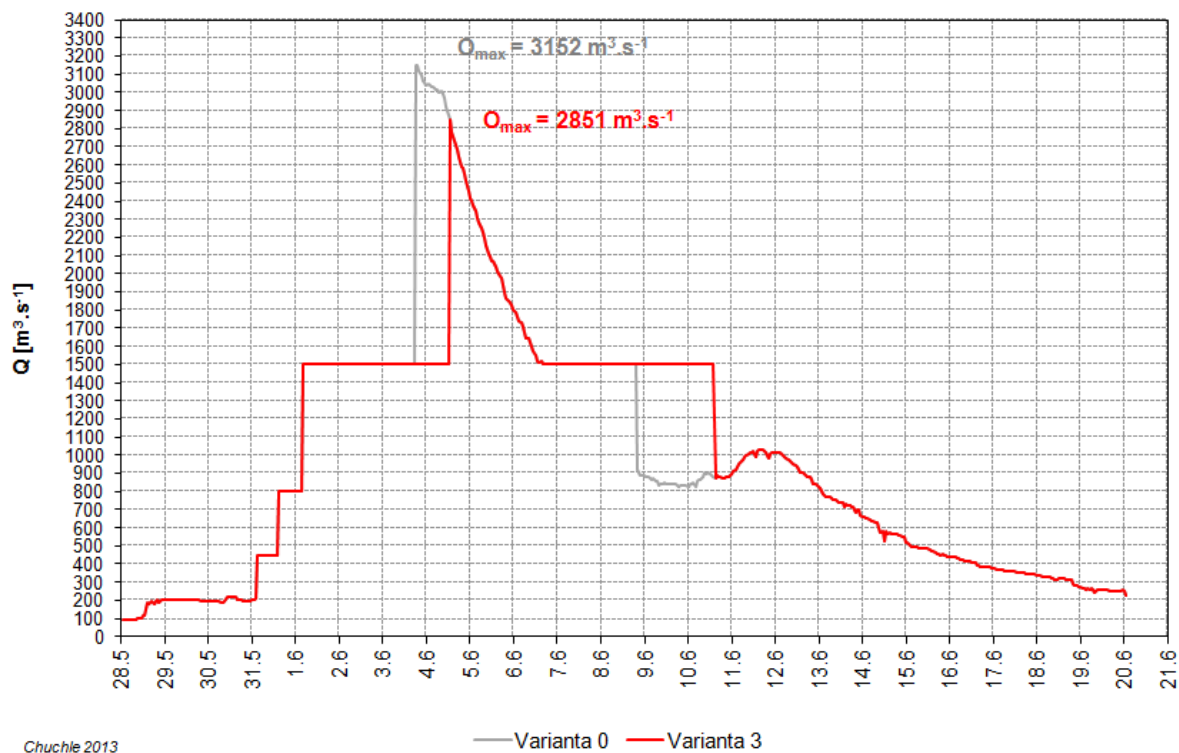
Následující obr. 3.14 až obr. 3.20 uvádí porovnání jednotlivých variant rozdělení nádržních prostorů na nádržích Orlík a Slapy s variantou 0 (současný stav).



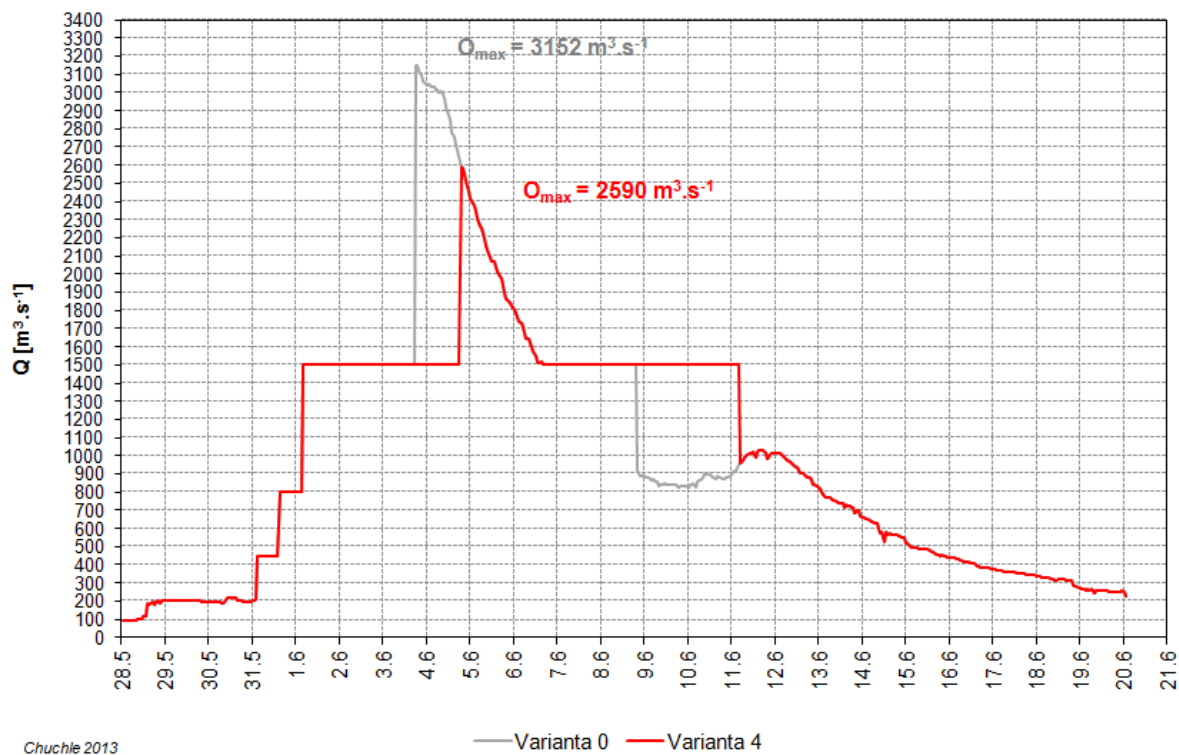
Obr. 3.14 Porovnání varianty 0 a varianty 1.



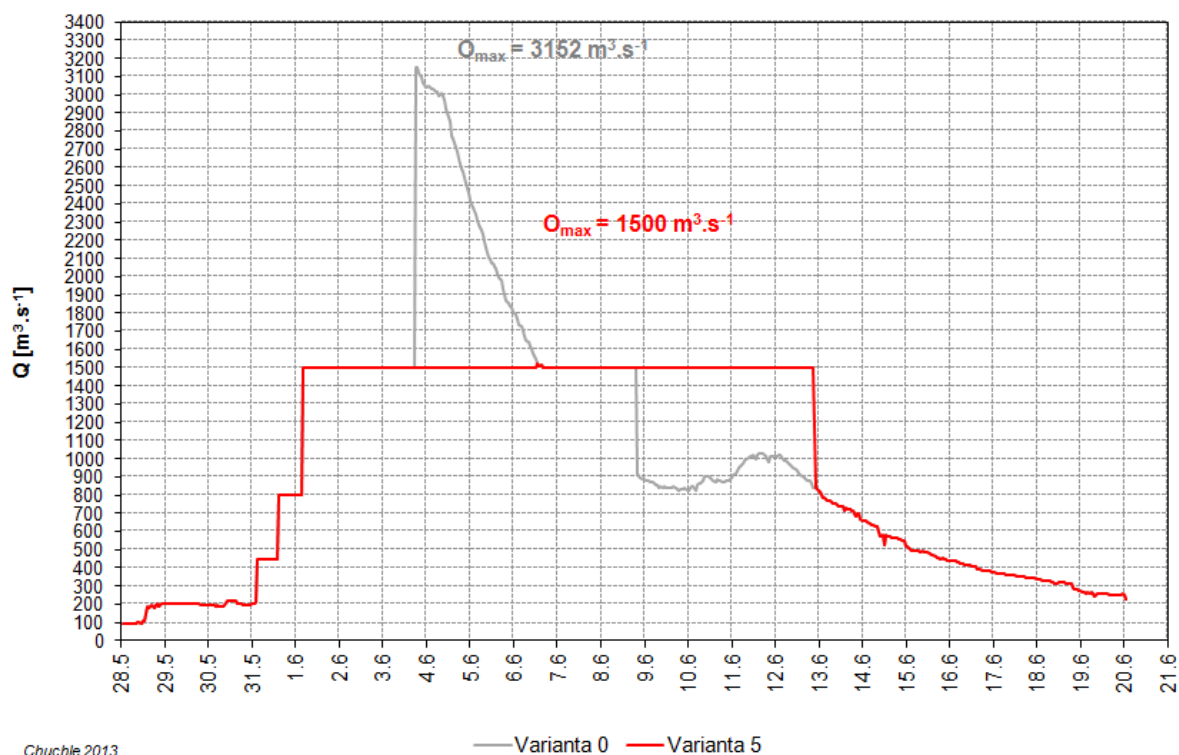
Obr. 3.15 Porovnání varianty 0 a varianty 2.



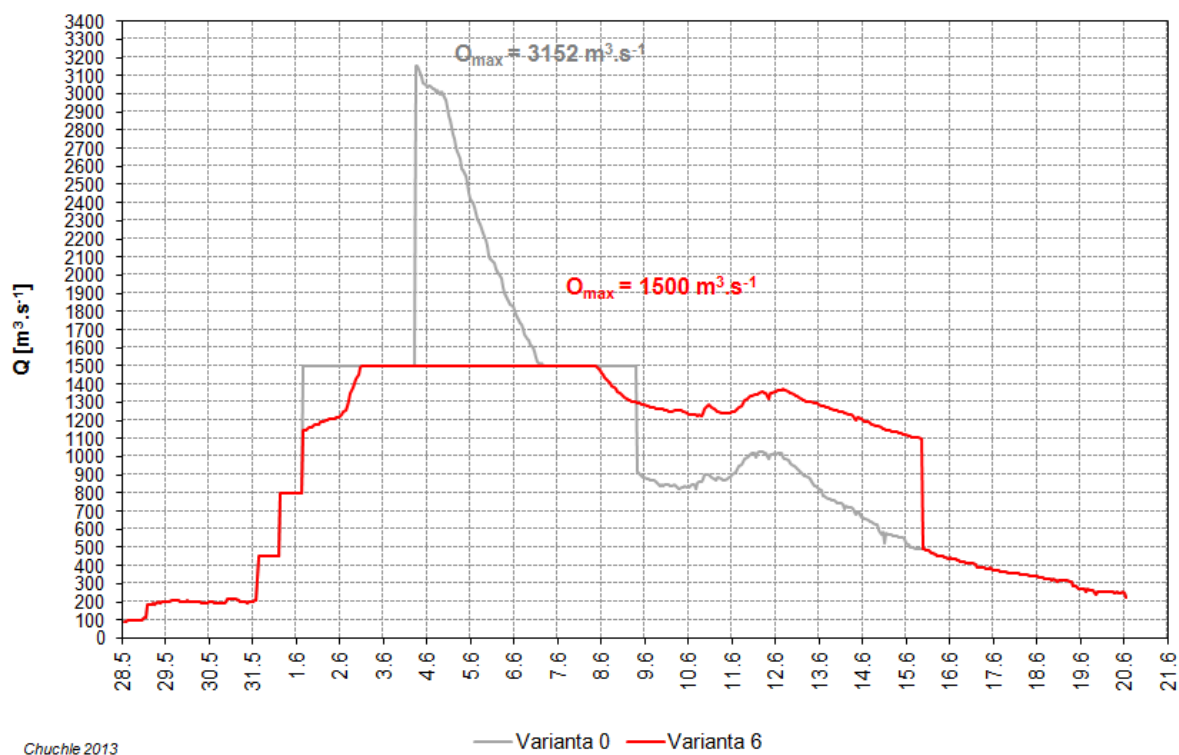
Obr. 3.16 Porovnání varianty 0 a varianty 3.



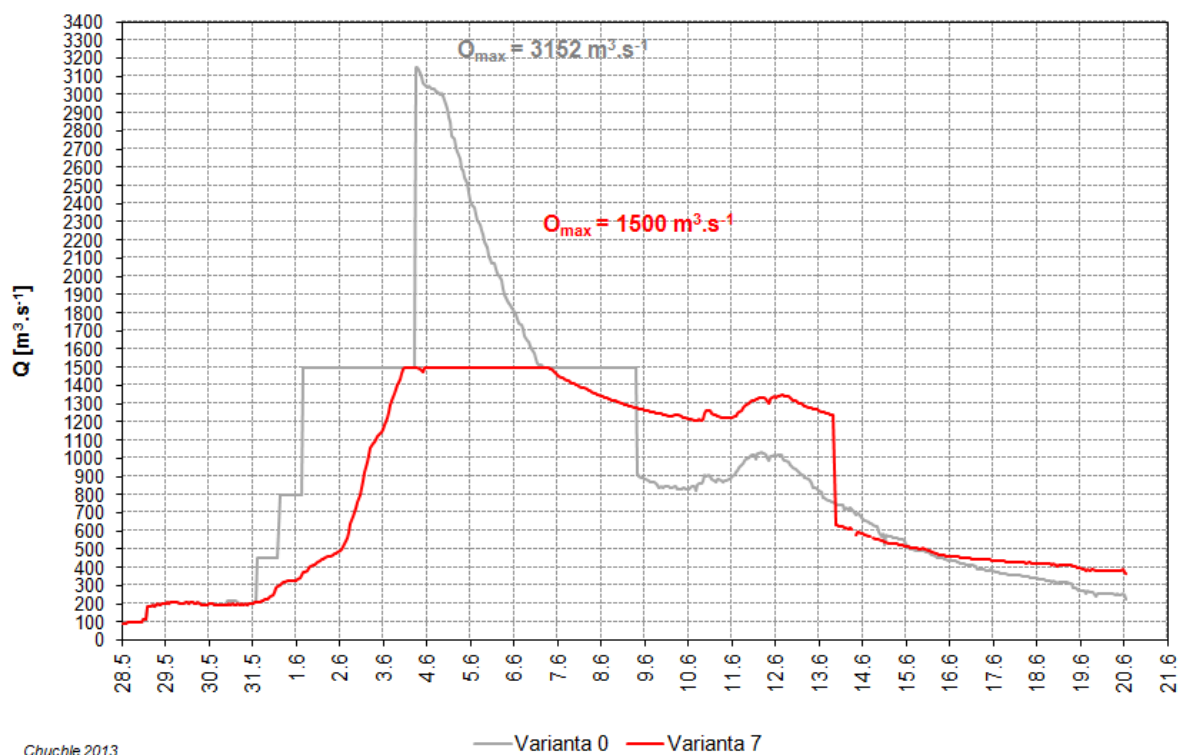
Obr. 3.17 Porovnání varianty 0 a varianty 4.



Obr. 3.18 Porovnání varianty 0 a varianty 5.



Obr. 3.19 Porovnání varianty 0 a varianty 6.



Obr. 3.20 Porovnání varianty 0 a varianty 7.

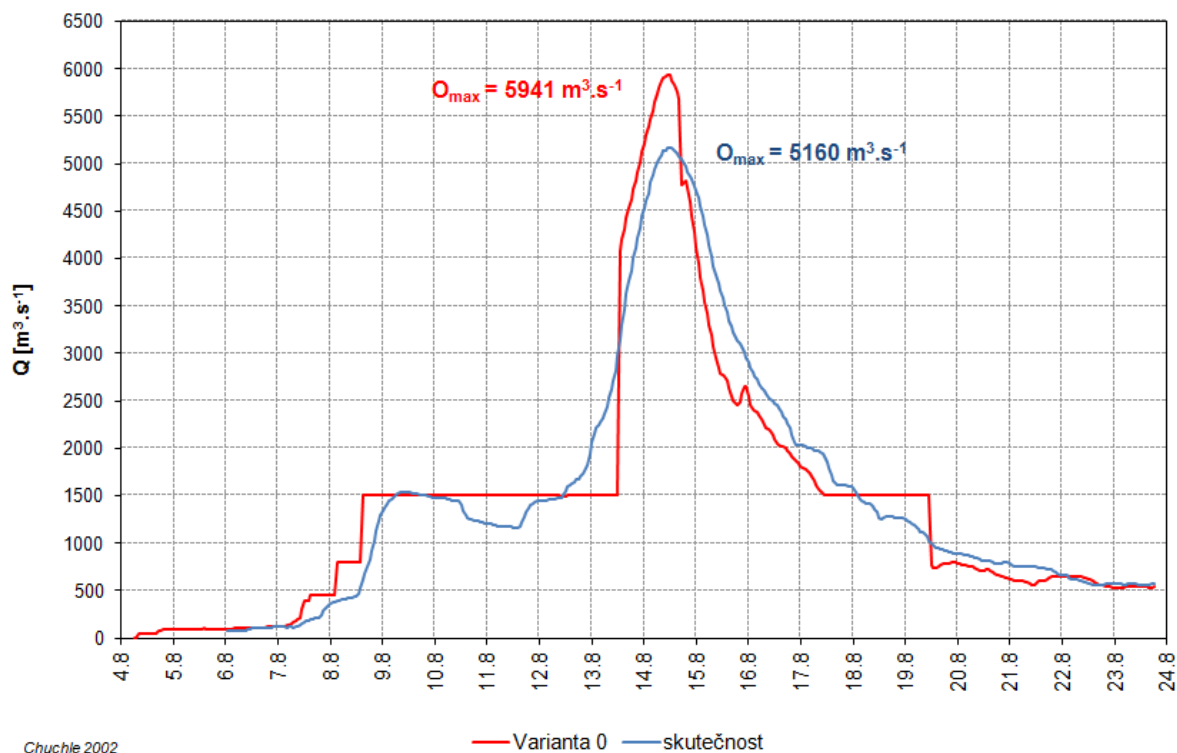
Ze zpracované analýzy vyplývají tyto poznatky:

1. Transformaci povodně 2013 na neškodný průtok $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v profilu Praha Chuchle umožňují varianty 5, 6 a 7.
2. U ostatních variant dojde k překročení neškodného průtoku a ke vzniku povodňových škod. Jejich určitou výhodou oproti variantě 0 (stávající stav) je časové oddálení okamžiku, kdy je překročen neškodný průtok. Hodnoty tohoto časového oddálení ve srovnání s variantou 0 jsou následující:

Varianta	oddálení překročení neškodného průtoku v Praze Chuchli
1	7 hod
2	12 hod
3	20 hod
4	26 hod

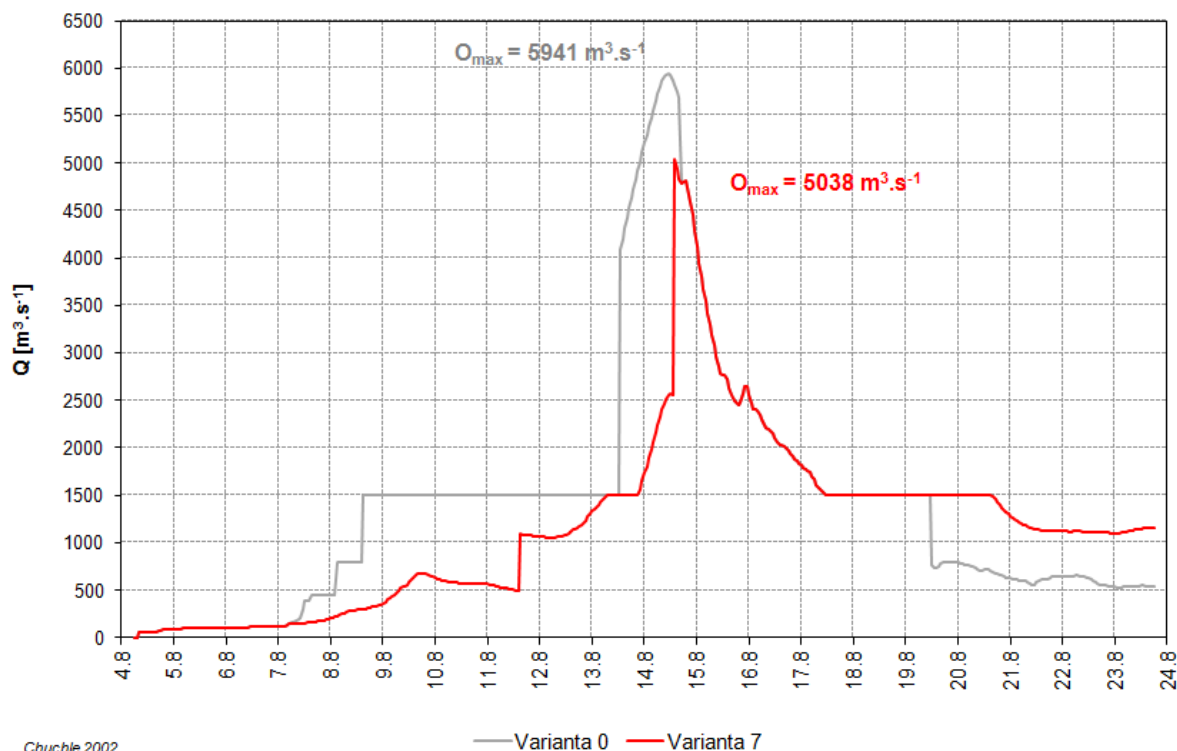
3.4 Simulace povodně z roku 2002

Tato kapitola uvádí výsledky vodohospodářského řešení retenční funkce Vltavské kaskády od nádrže Orlík po uzavěrový profil Praha – Chuchle pro povodeň z roku 2002. Povodeň kulminovala v Praze na hodnotě $5160 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, což odpovídá době opakování $N = 200$ až 500 let. Nejprve byla povodeň simulována pro variantu č. 0 (současný stav), kdy odtoky jsou navyšovány postupně v režimu uvedeném v minulé kapitole. Následující obr. 3.21 uvádí porovnání skutečného a modelovaného hydrogramu v profilu Praha Chuchle.



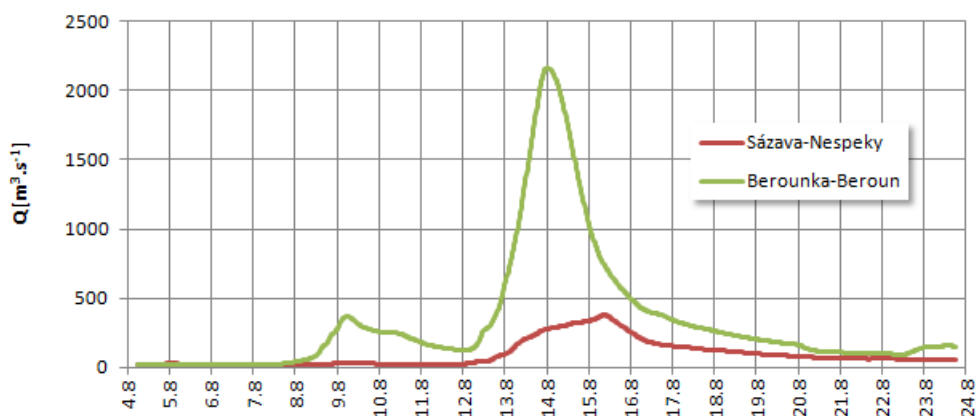
Obr. 3.21 Porovnání simulovaného průtoku v Praze Chuchli (varianta 0) a skutečného hydrogramu.

Tato katastrofální povodeň byla dále vyhodnocena pro variantu č. 7 – prázdná nádrž VD Orlík. Vzhledem ke skutečnosti, že zásobní funkci v řešeném úseku plní pouze nádrž Slapy, a to dokonce s nedostatečnou zabezpečeností, není varianta s předvypouštěním uvažována. Následující obr. 3.22 znázorňuje průběh průtoku v profilu Praha Chuchle pro variantu č. 7 (prázdný Orlík). Nádrž je před příchodem povodně prakticky prázdná (naplněný je pouze silně redukovaný prostor stálého nadržení o objemu cca 18 mil. m^3) a odtok je omezen kapacitou spodních výpustí. Po dosažení kóty 329,60 m n. m. je uvažováno zapojení odtoku vodní elektrárnou s kapacitou $600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Z grafu na obr. 3.22 vyplývá, že ani při variantě č. 7 nelze zajistit protipovodňovou ochranu podél dolní Vltavy, kdy kulminační průtok v Praze Chuchli stále velmi významně převyšuje hodnotu neškodného průtoku ($1500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).



Obr. 3.22 Porovnání varianty 0 a varianty 7.

Na grafu v obr. 3.23 jsou znázorněny hydrogramy Sázavy v profilu Nespeky a Berounky v profilu Beroun. Z grafu je patrné, že podíl přítoku těchto vodních toků do profilu Praha-Chuchle činí v maximu přibližně $2500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Z toho zřejmě vyplývá, že neškodný průtok $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ by byl na dolní Vltavě významně překročen i za teoretického předpokladu nulového odtoku z Vltavské kaskády.



Obr. 3.23 Hydrogramy Sázavy v profilu Nespeky a Berounky v profilu Beroun.

3.5 Výsledky vodohospodářského řešení retenční funkce

Za účelem vyhodnocení retenční funkce Vltavské kaskády s ohledem na úsek dolní Vltavy byl sestaven matematický simulační model, který obsahuje nádrže Orlík a Slapy s možností variantně upravovat kóty plného zásobního prostoru. Vzhledem ke skutečnosti, že retenční potenciál nádrží v horním povodí Vltavy včetně nádrže Lipno I je s ohledem na trať dolní Vltavy velmi omezený, je vstup do systému tvořen přítokem do nádrže Orlík. Systém současně obsahuje neovladatelné přítoky Sázavy a Berounky. Základní úlohou VH řešení retenční funkce je vyhodnotit míru ochrany tratě podél dolní Vltavy pro stávající situaci a pro všechny uvažované varianty snížení kóty zásobního prostoru na nádržích Orlík a Slapy.

Při posuzování míry ochrany před povodněmi je vedle velikosti retenčního prostoru také klíčová hodnota neškodného průtoku. Zde je třeba uvést, že původní řešení Bratránka (1956) vycházelo z hodnoty neškodného průtoku $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, který byl vztažen k centru Prahy (Malá Strana). Dle jeho výpočtů došlo vlivem realizace Vltavské kaskády ke zvýšení míry ochrany před povodněmi z původní hodnoty Q_5 na hodnotu asi Q_{20} . Tento závěr potvrzuje také VH řešení Vltavské kaskády zpracované Nacházelem z roku 1964 (Ředitelství vodohospodářského rozvoje v Praze). Toto řešení vycházelo z rozboru historických povodní za období 1888 až 1960, kdy z celkového počtu 9 největších povodní bylo celkem 6 transformováno na neškodný průtok $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v Praze a pouze 3 se nedaly ovládnout. Další ucelený rozbor dané problematiky zpracoval Kašpárek (1990, VÚV), který dochází k závěru, že zmenšení povodňových průtoků na Vltavě v Praze po roce 1955 není způsobeno jen vlivem kaskády. Větším dílem jde o projev přirozeného kolísání hydrologických procesů. Současně upozorňuje na možnost vzniku povodní generovaných dominantně z přítoků Berounky podobně jako při povodni v květnu 1872, kdy Vltavská kaskáda nemůže průtoky v Praze ovlivnit vůbec. Při této povodni byl dosažen také dosud nejvyšší pozorovaný průtok Berounky v Berouně ($2500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Vltava v Praze kulminovala při průtoku $3300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Plocha povodí Vltavy po hráz VD Orlík je $12\,106 \text{ km}^2$, plocha povodí Berounky k ústí do Vltavy je $8\,861 \text{ km}^2$ a plocha povodí Sázavy k ústí do Vltavy je $4\,349 \text{ km}^2$ (souhrnná plocha povodí přítoků Berounky a Sázavy je tedy $13\,210 \text{ km}^2$).

Naše VH řešení retenční funkce vychází ze současně platné hodnoty neškodného průtoku v Praze na úrovni $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (tedy méně než Q_5) a zohledňuje tak potřeby ochrany všech ohrožených území podél dolní Vltavy (nejenom hlavního města). Řešení dále zohledňuje postupný režim navyšování odtoku z kaskády po krocích 450 a $800 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, který umožňuje praktickou realizovatelnost řady přípravných opatření v Praze a podél dolní Vltavy. Spolehlivost retenční funkce je následně vyhodnocována pro soubor teoretických povodňových vln získaných od ČHMÚ a jejich kombinací na Vltavě, Sázavě a Berounce a pro nedávné povodně z let 2002 a 2013.

Množství kombinací různých povodňových událostí na celém povodí Vltavy po uzávěrový profil Praha Chuchle existuje obecně nekonečný počet. Úkolem tohoto vodohospodářského

řešení samozřejmě není obsáhnout všechny možné kombinace, ale pokusit se vytipovat základní možné scénáře, které budou reprezentovat typické povodňové události s určitou pravděpodobností výskytu. V obecném případě se jedná o problém vícerozměrných sdružených pravděpodobností hydrologických extrémních jevů, který není dosud v literatuře uspokojivě vyřešen.

Pro řešení předpokládejme, že geneze povodňových událostí v povodí Vltavy je ovlivněna vývojem synoptické situace nad daným územím. Dále můžeme vyjít ze skutečnosti, že významné letní povodně na povodí po uzavěrový profil Praha Chuchle budou způsobeny dlouhotrvajícími regionálními dešti, kdy lze předpokládat pomalý pohyb tlakových systémů západním nebo východním směrem. Z uvedeného důvodu lze za pravděpodobné považovat současný výskyt na dílčím povodí:

- a) Vltavy, Sázavy a Berounky,
- b) Sázavy a Vltavy,
- c) Berounky a Vltavy.

Současný výskyt povodní pouze v povodí Berounky a Sázavy lze považovat za méně pravděpodobný.

Dále zavedme předpoklad, že zimní povodně způsobené táním sněhových zásob v horních částech povodí Vltavy vyjmem z dalších úvah. Důvodem je skutečnost, že těmito povodním se často daří předcházet z důvodu preventivního předvypouštění zásobních prostorů v nádržích Vltavské kaskády na podkladě odhadu zásob vody ve sněhu. Tyto odhady poskytuje Český hydrometeorologický ústav a jejich spolehlivost je z praktického hlediska velmi dobrá. Čas potřebný k předvypouštění je v řádu týdnů.

Na základě těchto úvah byla sestavena skupina charakteristických povodňových událostí pro profil Praha-Chuchle vytvořených pomocí různých kombinací teoretických povodňových vln na Vltavě, Sázavě a Berounce. Tyto kombinace mají různou pravděpodobnost výskytu vyjádřenou standardně pomocí doby opakování. Pro jednotlivé charakteristické povodňové události byly následně vyhodnoceny velikosti souhrnných potřebných retenčních objemů na nádržích Orlík a Slapy. Výsledky uvádí následující tab. 3.1. Potřebné velikosti retenčního objemu jsou uvedeny pro případ, že odtoky jsou zvyšovány od okamžiku dosažení průtoku $450 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v Praze Chuchli nebo 24 hodin před tímto okamžikem na podkladě spolehlivé hydrologické předpovědi.

Tab. 3.1 Potřebné velikosti retenčního objemu pro různě pravděpodobné povodňové události.

povodňová událost (Praha-Chuchle)	typ povodňové události			potřebný retenční objem	
	Vltava (VD Orlík)	Sázava (Nespeky)	Berounka (Beroun)	bez předpovědi	s předpovědí 24 hod
N	N	N	N	[mil. m ³]	[mil. m ³]
10	10	5	5	89	38
20	20	5	5	121	68
	20	20	20	197	98
50	50	20	20	271	168
100	100	20	20	312	204
	100	50	50	*)	*)

*) Při souběhu povodní Q_{50} ze Sázavy a Berounky již nelze zajistit ochranu ani s prázdným Orlíkem.

Vyhodnocením objemů povodňových vln na Sázavě a Berounce s dobou opakování 50 a více let vyplývá, že při jejich souběhu nastává situace, kdy na dolní Vltavě již ochranu území nelze zajistit pomocí Vltavské kaskády, a to ani při realizaci varianty 7 (prázdná nádrž Orlík). Tuto situaci by pomohla vyřešit teprve realizace nových retenčních kapacit v povodí Berounky, popř. také Sázavy.

Na základě definovaných variant přerozdělení retenčního a zásobního prostoru v nádržích Orlík a Slapy (tab. 2.1) a na základě velikostí potřebných objemů retenčních prostorů pro dosažení požadované míry ochrany (tab. 3.1) lze rámcově odhadnout retenční potenciál jednotlivých variant. Toto srovnání obsahuje tab. 3.2, která kvantifikuje míru ochrany území pod Vltavskou kaskádou pro jednotlivé posuzované varianty.

Tab. 3.2 Míra ochrany území pod Vltavskou kaskádou pro jednotlivé varianty.

varianta	Míra ochrany	
	bez předpovědi	s předpovědí 24 hod
0	< Q10	< Q20
1	Q10	Q20
2	< Q20	< Q50
3	Q20	Q50
4	Q20	Q50
5	Q50	Q100 (2013)
6	Q100 (2013)	Q100
7	Q100	Q100

Při interpretaci tab. 3.2 je třeba mít na paměti, že se jedná o hodnoty odhadnuté na podkladě teoretických povodňových vln, resp. jejich kombinací a dále, že mohou nastat případy povodní pouze na Sázavě a/nebo Berounce, kdy Vltavská kaskáda na jejich průběhu na dolní trati Vltavy nemůže nic změnit.

3.6 Dílčí závěry

Na základě provedené analýzy vyplynuly tyto závěry:

1. Současná míra ochrany Prahy a území dolní Vltavy je na úrovni cca Q_{10} . Tato hodnota je nižší než se předpokládalo z původních výpočtů Bratránka a Nacházela, neboť hodnota neškodného průtoku je $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (namísto $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).
2. Skladba celkového retenčního objemu v rámci jednotlivých variant může být realokována na nádržích Orlík a Slapy s ohledem na ostatní účely soustavy bez vlivu na míru ochrany před povodněmi dané varianty.
3. Kvantifikace retenčního potenciálu jednotlivých variant je podkladem pro vícekriteriální hodnocení se zahrnutím všech ostatních účelů Vltavské kaskády.

4. Vodohospodářské řešení zásobní funkce

4.1 Použité podklady

4.1.1 Manipulační řády vodních děl

Pro řešení zásobní funkce Vltavské kaskády byly použity manipulační řády těchto vodních děl: Lipno I a Lipno II, Římov, Švihov (Želivka), Hněvkovice, Kořensko, Orlík, Kamýk, Slapy, Štěchovice a Vrané. Kromě manipulačních řádů jednotlivých vodních děl je k dispozici rovněž komplexní manipulační řád Vltavské kaskády:

- Manipulační řád pro vodní díla Lipno I. (ř. km 329,543) a Lipno II. (ř. km 319,108) na Vltavě. Zpracoval: VD TBD, 01/1995 a 03/1996, Schválil: OkÚ Český Krumlov. Revize 01/2009.
- Manipulační řád vodního díla Římov na Malši. Zpracoval: VD TBD, 10/2004. Revize 01/2010.
- Manipulační řád pro vodní dílo Želivka. Zpracoval: VD TBD, 06/2004. Revize 10/2011.
- Manipulační řád pro vodní díla Hněvkovice (ř. km 210,390) a Kořensko (ř. km 200,405) na Vltavě. Zpracoval: VD TBD, 05/1996, Schválil: OkÚ České Budějovice. Revize 03/2014.
- Manipulační řád pro vodní dílo Orlík na Vltavě (v ř. km 144,650). Zpracoval: VD TBD, 05/1996, Schválil: OkÚ Příbram RŽP. Revize 07/2009.
- Manipulační řád pro vodní dílo Kamýk na Vltavě (ř. km 134,730). Zpracoval: VD TBD, 05/1996, Schválil: OkÚ Příbram RŽP. Revize 07/2009.
- Manipulační řád pro vodní dílo Slapy na významném vodním toku Vltava v ř. km 91,610. Zpracoval: Povodí Vltavy, státní podnik – centrální vodohospodářský dispečink, 01/2014. Schválil: KÚ Středočeského kraje dne 28.5.2014.
- Manipulační řád pro vodní dílo Štěchovice (v ř. km 84,318). Zpracoval: VD TBD, 05/1996, Schválil: OkÚ Praha-západ. Revize 05/2011.
- Manipulační řád pro vodní dílo Vrané (v ř. km 71,325). Zpracoval: VD TBD, 05/1996, Schválil: OkÚ Praha-západ. Revize 06/2002.
- Komplexní manipulační řád Vltavské kaskády. Zpracoval: VD TBD a.s., 10/1997, Schválil: Ministerstvo životního prostředí dne 25.5.1998. Revize: 08/2009.

Z hlediska zadání studie jsou klíčové zejména následující údaje z manipulačních řádů:

- účel a využití vodního díla,
- základní hydrologické charakteristiky (plocha povodí, dlouhodobý průměrný roční průtok, M-denní a N-leté průtoky),
- výparné výšky z vodní hladiny pro jednotlivé kalendářní měsíce,
- rozdělení prostoru nádrže včetně čáry zatopených ploch a objemů,
- výpustná zařízení, jejich počet, rozměry, kapacity a měrné křivky,

- hodnoty odběrů a minimálních průtoků dle platných povolení k nakládání s vodami,
- hodnoty neškodného průtoků,
- manipulační pravidla pro manipulace v zásobním prostoru a v retenčním prostoru za povodní,
- manipulační pravidla pro spolupráci nádrží v soustavě.

4.1.2 Hydrologické podklady

Problematika zpracování hydrologických podkladů se řadí k nejdůležitějším krokům přípravy dat vzhledem k významné vazbě na vlastní výsledky vodohospodářského řešení. Základním požadavkem je zde zpravidla potřeba zajištění reprezentativních hydrologických řad průměrných měsíčních průtoků ve vybraných profilech vodohospodářské soustavy. Reprezentativnost hydrologické řady je chápána jako její schopnost vystihnout dostatečně spolehlivě variabilitu odtokového procesu v daném profilu. V praxi to znamená požadavek na určitou minimální délku hydrologické řady, aby obsahovala dostatečné množství extrémních situací v minulosti. Paralelně zde ovšem vstupuje fenomén očekávané klimatické změny, který bývá argumentován nestacionárními tendencemi odtokového procesu. Na základě uvedených skutečností je zpracované vodohospodářské řešení připraveno na podkladě hydrologických průtokových řad za období pozorování 1980 až 2013 (34 let), které lze vzhledem ke své délce považovat za dostatečně reprezentativní i pro řešení víceletých nádrží a současně v sobě obsahuje aktuální tendence ve vývoji hydrologických veličin ve vazbě na očekávanou klimatickou změnu. Stochastický charakter vodohospodářského řešení zásobní funkce Vltavské kaskády je dále zohledněn simulací syntetických průtokových řad v systému stanic o délce 1000 let, které následně slouží pro pravděpodobnostní řešení stochastickou simulací na bázi metody Monte – Carlo. Uvedený postup je plně v souladu s doporučením normy ČSN 75 2405 Vodohospodářská řešení vodních nádrží.

V rámci hydrologických podkladů byly použity zejména průtokové řady v limnigrafické síti ČHMÚ. Jedná se o řady průměrných denních průtoků za období 1980 až 2013 v těchto profilech:

- České Budějovice/Vltava (1980-2013),
- Bechyně/Lužnice (1980-2013),
- Nespeky/Sázava (2002-2013),
- Poříčí/Sázava (1980-2001),
- Vyšší Brod/Vltava (1980-2013),
- Pořešín/Malše (1980-2013),
- Beroun/Berounka (1980-2013).

4.1.3 Manipulace na nádržích

Pro potřeby odvození průtokových řad v rámci vodohospodářské soustavy povodí Vltavy byly využity následující provozní data na významných zásobních nádržích z evidence Povodí Vltavy státní podnik, viz tab. 4.1:

- průběhy hladin,
- bilanční přítoky,
- odtoky z nádrží,
- skutečné odběry z nádrží.

Tab. 4.1 Časové řady vstupních veličin na jednotlivých nádržích.

nádrž	časový krok	hladina	přítok	odtok	odběr
Lipno I	den	1980-2013	1980-2013		
Římov	den	1980-2013	1980-2013	1980-2013	1980-2013
Hněvkovice	den	1991-2013	1991-2013	1999-2013	2003-2013
Orlík	den	1980-2013	1980-2013	1980-2013	
Kamýk	den	1980-2013			
Slapy	den	1980-2013			
Štěchovice	den	1980-2013			
Vrané	den	1980-2013		1980-2013	
Švihov	měsíc	1980-2013	1980-2013	1980-2013	1980-2013

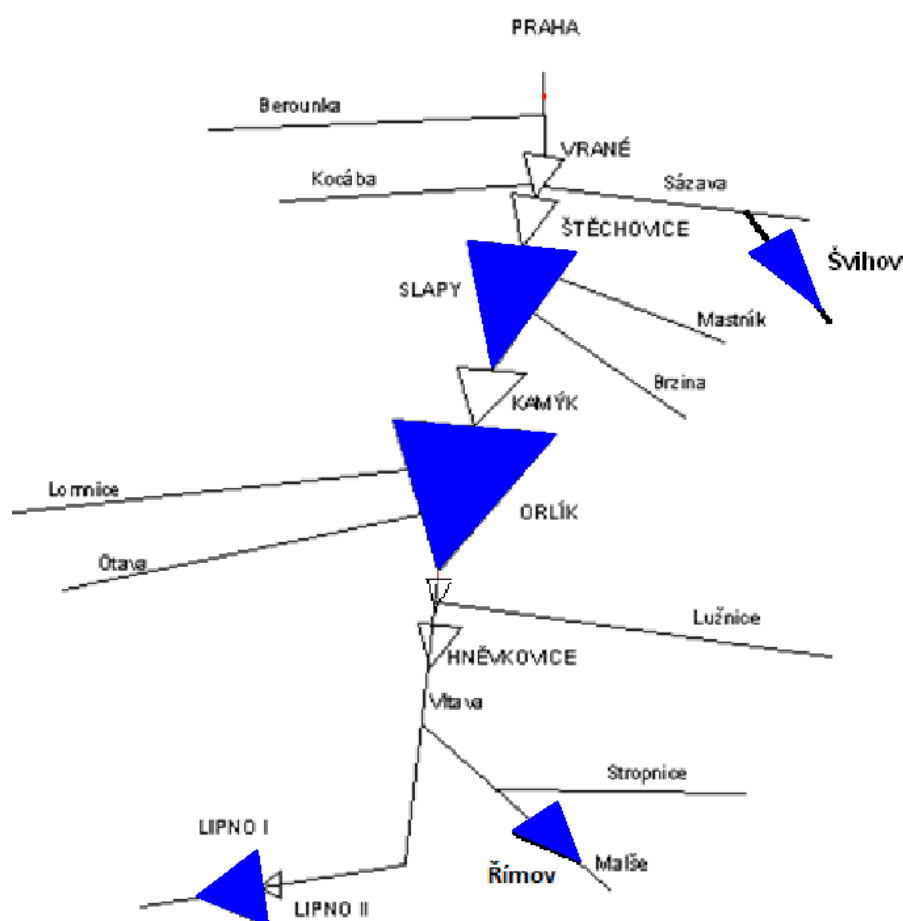
4.1.4 Nároky a požadavky na vodu

Nároky a požadavky na vodu jsou v sestaveném simulačním modelu zásobní funkce Vltavské kaskády uplatňovány ve výši dle platných povolení k nakládání, a to přes skutečnost, že v některých případech nedosahují v současnosti skutečné odběry jejich hodnot. Výchozím podkladem jsou potřeby vody dle vodohospodářské bilance Povodí Vltavy státní podnik za rok 2013 ve výši dle platných povolení k nakládání.

4.2 Simulační model zásobní funkce vodohospodářské soustavy

Vltavská kaskáda je vodohospodářská soustava, která současně plní řadu účelů definovaných v manipulačních řádech jednotlivých vodních děl a v komplexním manipulačním řádu. Prvním krokem při popisu jejího chování je definice systému, který představuje určité výpočetní zjednodušení reálné VH soustavy. Úloha definice systému na reálném objektu vychází z jeho účelovosti a obsahuje následující kroky:

- a) volba základních prvků systému vzhledem k základnímu účelu. V našem případě VH řešení zásobní funkce je třeba zahrnout pouze ty prvky, které mají významný potenciál ve smyslu hospodaření s vodou a současně všechny významné uživatele vody. Základním cílem je VH řešení nádrží Orlík a Slapy s ohledem na zajištění minimálních průtoků pod VD Vrané. Z uvedeného důvodu byly do řešení zahrnuty také nádrže Lipno I na Vltavě a Římov na Malši, které mají potenciál ovlivňovat přítoky do nádrže Orlík. Dále je zahrnuta nádrž Švihov na Želivce, která ovlivňuje bilanční průtoky v Sázavě. Ostatní nádrže do systému zahrnuty nebyly, neboť mají vodohospodářsky odlišný charakter a zásobní funkci soustavy v podstatě neovlivňují. Jedná se o vyrovnávací nádrže pod špičkovými elektrárnami na Vltavské kaskádě: Lipno II, Kamýk, Štěchovice a Vrané. Nádrž Hněvkovice plní roli nárazové nádrže pro kompenzační nadlepšování z kompenzační nádrže Lipno I a její zásobní prostor slouží zejména pro vyrovnávání kompenzačního nadlepšování z nádrže Lipno I (tlumení nepřesností kompenzačních dávek). VD Kořensko slouží pro vzdouvání vody ve své zdrži, ale hospodaření s vodou se zde opět nerealizuje.



Obr. 4.1 Schéma vodohospodářské soustavy v povodí Vltavy pro vodohospodářské řešení zásobní funkce.



- b) Volba vstupních a výstupních veličin systému. Zde je třeba formulovat následující typy veličin:
- Vstupní veličiny, které vstupují do systému z jeho okolí a ovlivňují jeho chování. Typicky sem lze zařadit hydrologické podklady (průtokové řady a požadavky a nároky na vodní zdroje).
 - Stavové veličiny, jsou veličiny popisující stavy systému v čase simulace (např. hodnoty náplní zásobního prostoru, polohy hladiny v nádržích).
 - Výstupní veličiny mohou být časové řady dat, kterými systém působí na své okolí (např. řady skutečných odtoků z nádrží, skutečných odběrů). Dále jsou to ukazatele spolehlivosti systému, které umožňují vyhodnotit zabezpečení dodávky vody pro jednotlivé odběratele a zabezpečení minimálních zůstatkových průtoků v kontrolních profilech vodohospodářské soustavy, kde jsou předepsány dle platných povolení k nakládání. Mezi tyto ukazatele patří typicky zabezpečení podle trvání, zabezpečení podle opakování, popř. zabezpečení podle objemu dodané vody.
 - Parametry vodohospodářské soustavy, jsou veličiny, které jsou zpravidla předmětem optimalizace. Jedná se o strategické parametry, mezi které se řadí například hodnoty zásobních objemů jednotlivých nádrží. Volba těchto parametrů následně ovlivňuje průběh a hodnoty výstupních veličin.
- c) Volba rozlišovací úrovně vychází přímo z výše vybraných prvků systému. Pro VH řešení zásobní funkce nádrže je základní bilanční jednotkou zpravidla měsíc. Časové řady bilancovaných veličin se potom chápou ve smyslu řad průměrných měsíčních hodnot (průtoků, výroby elektrické energie, atd.). Časové řady okamžitých objemů v zásobních prostorech nádrží, popř. kóty hladiny v nádržích se potom vztahují k počátku, resp. konci jednotlivých měsíců.
- d) Způsob zobrazení systému představuje postup, jakým bude vyhodnocováno chování systému. Zde se zpravidla využívá prostředků simulačních modelů, které umožňují sledovat chování systému v čase prostřednictvím popisu vstupních, stavových a výstupních veličin. Popis chování systému Vltavské kaskády byl sestaven pomocí technologie matematického simulačního modelu, který je založen na bilančním řešení vstupních a výstupních veličin v měsíčním kroku.

Pro hodnocení spolehlivosti zásobní funkce jednotlivých nádrží je vyhodnocena zabezpečení podle trvání, podle opakování a podle objemu dodávané vody dle normy ČSN 75 2405. Zabezpečení podle trvání p_t se vyjádří podle vztahu:

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

kde m ... počet bezporuchových měsíců, ve kterých je splněna zásobní funkce,
 n ... počet měsíců celé průtokové řady.

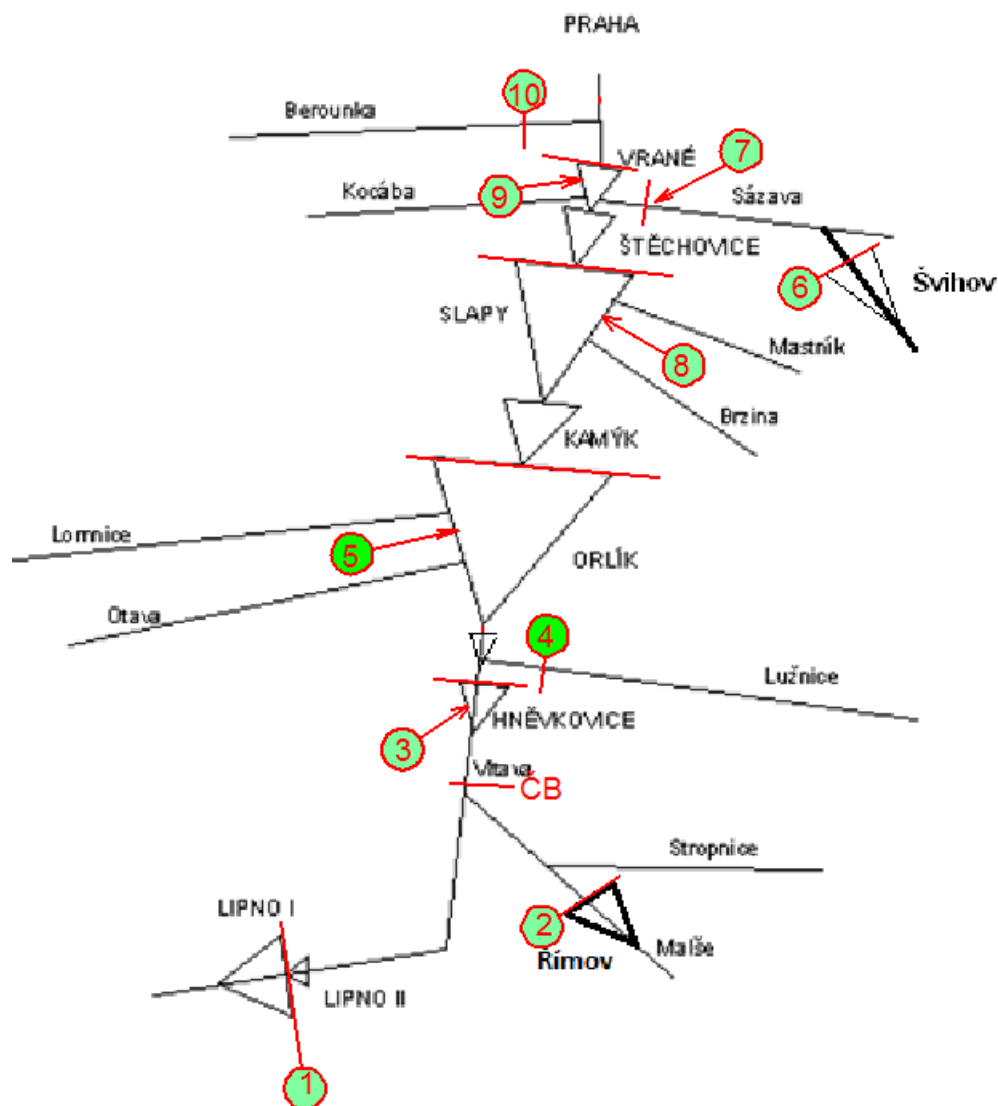
Zabezpečenost dle opakování p_o se vyjádří dle stejného vztahu s tím, že m značí počet bezporuchových let a n počet všech let průtokové řady. Zabezpečenost podle objemu dodané vody p_d se vyjádří procentem objemu skutečně dodané vody z celkového množství, které mělo být z nádrže za uvažované období dodáno.

4.3 Příprava a validace reálných průtokových řad

Cílem řešení bylo očištění a validace reálných řad průměrných měsíčních průtoků v profilech podle obr. 4.2. Jedná se o průtokové řady, které tvoří vstupy do simulačního modelu zásobní funkce Vltavské kaskády. Úkolem očištění a validace vstupních průtokových řad je:

- a) vyloučení případných hrubých chyb ve vstupních datech. To je umožněno skutečností, že dostupná data z limnigrafické sítě ČHMÚ a provozní záznamy z databáze správce vodních toků umožňují realizovat řadu bilančních kontrol ve vybraných profilech vodohospodářské soustavy. V případě zjištění závažnějších nesouladů je možné tyto odchylky odstranit – validace dat.
- b) Základním vstupem do modelu zásobní funkce vodohospodářské soustavy jsou reálné průtokové řady znázorněné pořadovými čísly na obr. 4.2. Cílem očištění těchto průtokových řad je jejich převedení na přirozený (neovlivněný) charakter, aby uvedené řady nebyly ovlivněny hospodařením s vodou a odběry povrchové vody, resp. vypouštěním odpadních vod do vod povrchových.

Pro definované profily vstupních průtokových řad (obr. 4.2) byly vyčísleny základní popisné statistiky, pořadnice autokorelačních funkcí do řádu $r(5)$ a křížové (meziprofilové) korelace. Výsledky této statistické analýzy jsou uvedeny v příloze č. 1.



Obr. 4.2 Schéma průtokových profilů soustavy.

Odvozený systém obsahuje následující neovlivněné průtokové řady:

- 1) Přítok do nádrže Lipno I,
- 2) Přítok do nádrže Římov,
- 3) Přítok z mezipovodí mezi profily 1) a 2) a profilem hráze VD Hněvkovice,
- 4) Přítok do Vltavy z vodního toku Lužnice,
- 5) Přítok z mezipovodí mezi profily 3) a 4) a profilem hráze VD Orlík,
- 6) Přítok do nádrže Švihov,
- 7) Přítok z mezipovodí mezi profilem 6) a ústím Sázavy do Vltavy,
- 8) Přítok z mezipovodí mezi hrází VD Orlík a hrází VD Slapy,
- 9) Přítok z mezipovodí mezi hrází VD Slapy, profilem 7) a hrází VD Vrané,
- 10) Přítok Berounky do Vltavy.

4.4 Matematické modely průtokových řad v systému stanic

Pro vodohospodářské (VH) řešení zásobní funkce nádrží a vodohospodářských soustav se standardně využívají reálné průtokové řady průměrných měsíčních průtoků. Při VH řešení významných nádrží doporučuje norma ČSN 75 2405 zpracovat rovněž výpočet v modelovaných (syntetických) průtokových řadách a výsledky tohoto řešení jsou potom rozhodující pro vodohospodářský plán nádrže. Popsaný způsob představuje stochastické řešení zásobní funkce, kdy vstupní reálné průtokové řady slouží pro vyhodnocení pravděpodobnostních vlastností hydrologického režimu jednotlivých povodí a vlastní simulace je realizována ve stochasticky modelovaných průtokových řadách délky typicky 500 až 1000 let. **Zde je třeba upozornit na skutečnost, že takto odvozené dlouhé modelované řady nepředstavují prognózu hydrologického režimu do vzdálené budoucnosti, ale umožňují spolehlivěji odhadnout současnou variabilitu odtokového procesu než vstupní reálné řady.** Ty mohou často obsahovat ve svém průběhu pouze jedno nebo dvě návrhová málovodná období, což je pro spolehlivé posouzení zásobní funkce víceletých nádrží velmi nedostatečné.

Požadavek normy na stochastické řešení zásobní funkce nádrží je odůvodněný zejména v případech nádrží s velkým významem zásobní funkce a při současném víceletém cyklu. V případě nádrží Orlík a Slapy se jedná převažující měrou o sezónní řízení odtoku, ale systém současně obsahuje nádrže Lipno I a Švihov, které reprezentují typické víceleté nádrže s nejvyšším významem zásobní funkce třídy A dle normy ČSN 75 2405. Z uvedeného důvodu je VH řešení v souboru připravených modelovaných řadách opodstatněné a pro tyto účely byly napřed připraveny modelované průtokové řady průměrných měsíčních průtoků za synchronní období 1000 let ve všech 10 profilech dle obr. 4.2.

Matematické modely průtokových řad v systému závislých stanic jsou proti modelům v nezávislých stanicích podstatně složitější tím, že je nezbytné do nich zahrnout kromě systému autokorelačních vazeb i systém vnějších korelačních vazeb mezi všemi kombinacemi stanic. Tato okolnost má zásadní význam, protože vyvolává potřebu odvodit matematický model pro systém jako celek, nelze tedy vystačit se souborem modelů pro stanice, považované za nezávislé.

Pro simulaci modelovaných průtokových řad v systému 10 stanic byla využita metoda hlavní komponenty. Postup byl vyvinut na Fakultě stavební, ČVUT v Praze (Votruba, Nacházal, 1980) a byl v minulosti využit pro řadu úloh. Metoda hlavní komponenty vychází z analýzy kovarianční, popř. korelační matice výchozích proměnných, které se transformují tak, aby podíly jejich rozptylu na variabilitě původních proměnných byly co největší. Jestliže se např. studuje geneze nějakého jevu v závislosti na systému příčinných faktorů s různými korelačními vazbami, pak lze touto analýzou získat úspornější model proměnných, který zahrnuje jen nejpodstatnější příčinné faktory, ostatní (s malým rozptylem) lze zanedbat. Takto odvozené vektory se nazývají hlavní komponenty. Lze dokázat, že jsou mezi sebou nezávislé (v prostoru ortogonální).

Výstavba modelu postupuje podle toho tak, že se nejdříve transformují závislé vektory reálných měsíčních průtoků v jednotlivých kalendářních měsících (v různých stanicích) na nezávislé (ortogonální) vektory, čímž se z modelu jakoby vyloučí systém vnějších korelací. Pak se generují řady průměrných měsíčních průtoků ve fiktivních (nezávislých) stanicích, které se v poslední fázi výpočtů zpětně transformují na syntetické řady s požadovanými vzájemnými korelacemi.

Na základě rozboru autokorelačních vlastností výchozích reálných řad ve všech 10 profilech (obr. 4.2) lze tyto považovat za autoregresní posloupnosti a modelovat je tedy pomocí lineárního regresního modelu AR(k). Jelikož je model AR(k) vhodný pouze pro modelování jednotlivých nezávislých řad, je nezbytné napřed převést závislé řady na nezávislé pomocí metody principiální komponenty, viz např. (Patera, Nacházel, Fošumpaur, 2002).

Nezávislá data x s logaritmicko-normálním rozdělením pravděpodobnosti je dále nutno převést na data s normálním rozdělením pravděpodobnosti. K tomu je třeba znát jejich statistické charakteristiky, a to: průměr, směrodatnou odchylku, součinitel variace a součinitel asymetrie.

Průměr	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$
Směrodatná odchylka	$S(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$
Součinitel variace	$Cv(x) = \frac{Sx}{\bar{x}}$
Součinitel asymetrie	$Cs(x) = \frac{n}{(n-1) \cdot (n-2)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{Sx} \right)^3$

Normalizace:

$$y = \ln|x - x_0|,$$

kde x jsou hodnoty nezávislé řady
 y jsou normalizované hodnoty nezávislé řady
 x_0 je parametr log.-norm. rozdělení.

Pro potřeby aplikace lineárního regresního modelu je zpravidla vhodné data ještě standardizovat do standardní náhodné proměnné, aby měla nulovou střední hodnotu a směrodatnou odchylku rovnou jedné.

Standardizace:

$$z = \frac{y - \bar{y}}{Sy}$$

kde

y jsou normalizované hodnoty nezávislé řady

$\bar{y}$ je průměr normalizované řady y ,

S_y je směrodatná odchylka normalizované řady y ,

z jsou hodnoty nezávislé řady se standardním rozdělením pravděpodobnosti $N(0,1)$.

Takto upravená data s normálním rozdělením pravděpodobnosti jsou vhodná jako vstupní data pro lineární autoregresní model $AR(1)$. Základní rovnice lineárního autoregresního modelu k -tého řádu je:

$$z_t = b_1 \cdot z_{t-1} + b_2 \cdot z_{t-2} + \dots + b_k \cdot z_{t-k} + e_t$$

kde b_1 až b_k jsou regresní koeficienty,

z jsou hodnoty modelované řady (ve tvaru standardní náhodné proměnné),

e_t je náhodná složka modelu.

Regresní koeficienty b lze vypočítat z Yulle-Walkerových rovnic:

$$\begin{pmatrix} r(0) & r(1) & r(2) & \dots & r(k-1) \\ r(1) & r(0) & r(1) & \dots & r(k-2) \\ r(2) & r(1) & r(0) & \dots & r(k-3) \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ r(k-1) & r(k-2) & r(k-3) & \dots & r(0) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ \vdots \\ b_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r(1) \\ r(2) \\ r(3) \\ \vdots \\ r(k) \end{pmatrix}$$

kde $r(i)$ je autokorelační koeficient i -tého řádu řady z .

Náhodná složka modelu e_t je vyjádřena vzorcem:

$$e_t = d_t \cdot \sigma_e = d_t \cdot \sqrt{1 - b_1 \cdot r(1) - b_2 \cdot r(2) - \dots - b_k \cdot r(k)}$$

kde d_t je náhodné číslo, $d_t \in N(0,1)$,

σ_e ... směrodatná odchylka náhodné složky modelu,

$r(k)$... autokorelační koeficienty řádu k .

Pomocí uvedeného postupu lze namodelovat syntetické řady Q_m v jednotlivých profilech vodohospodářské soustavy libovolné délky. Tyto řady jsou navzájem nezávislé a mají normální rozdělení pravděpodobnosti.

Namodelované nezávislé řady s normálním rozdělením pravděpodobnosti je nutné převést zpět na řady s logaritmicko-normálním rozdělením. K tomu slouží zpětná transformace:

$$x = e^{(z \cdot S_y + \bar{y})} + x_0$$

kde z jsou hodnoty syntetické nezávislé řady,
 S_y a $\bar{y}$ jsou charakteristiky řady y ,
 x_0 je hodnota použitá při normalizaci.

Nezávislé syntetické řady x s logaritmicko-normálním rozdělením je třeba transformovat inverzním postupem k principiální komponentě zpět na navzájem závislé řady průtokové řady, které jsou následně testovány statistickými testy a postoupeny do vodohospodářského řešení zásobní funkce Vltavské kaskády.

4.5 Minimální odtok z Vltavské kaskády

Předmětem této kapitoly je prověření velikosti minimálního odtoku z Vltavské kaskády s ohledem na potřeby dolního toku Vltavy a toku Labe pod soutokem s Vltavou, tedy na povolené odběry a vypouštění.

4.5.1 Výchozí podklady

Hodnota minimálního odtoku z Vltavské kaskády je upravena v komplexním manipulačním řádu (VD TBD, 1997; revize Povodí Vltavy, 2009), kde je uvedena v části A.1 (Účel a využití vodních děl Vltavské kaskády) jako první účel v pořadí podle důležitosti. Minimální odtok z vodního díla Vrané je zde uveden hodnotou $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. V části A.2.4 je dále uvedeno, že Vodohospodářský dispečink Povodí Vltavy může po dohodě s Pražskými vodárnami a dispečinkem Vodních elektráren snížit minimální průtok pod VD Vrané na $35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Stejné ustanovení ohledně minimálního odtoku z Vltavské kaskády je rovněž uvedeno v manipulačních řádech jednotlivých vodních děl.

Minimální odtok z Vltavské kaskády obsahoval již komplexní manipulační řád z roku 1964 (Ředitelství vodohospodářského rozvoje v Praze). V případě nádrží Orlík a Slapy je zde uvedeno, že při energetickém využití je třeba počítat se zajištěním vodárenských požadavků, které jsou v manipulačních řádech zakotveny podmínkou minimálního odtoku $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ z vodního díla Vrané. Tento požadavek vyplynul podle vyjádření Pražských vodáren pro spolehlivé zásobení hl. m. Prahy pitnou vodou. Také tehdejší manipulační řád zaručoval tento požadavek s tím, že v období příznivější kvality vody může být tento odtok snížen na takovou mez, která bude stanovena operativní dohodou mezi Pražskými vodárnami, organizací Labe-Vltava a energetickým dispečinkem. V havarijních případech bylo však naopak třeba počítat s mimořádným krátkodobým zvýšením průtoku pro zajištění zásobení Prahy pitnou vodou, a to zejména z kvalitativních důvodů. Také toto ustanovení je v praxi realizováno i v současné době.

Požadavek na minimální odtok z Vltavské kaskády ve výši $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ tedy vycházel z požadavku Pražských vodáren, a to nejen ve smyslu dostatečné kvantity vody, ale zejména její kvality. Svědčí o tom také manipulační řád nádrže Slapy z roku 1966 (Ředitelství vodohospodářského rozvoje v Praze). Také vodohospodářské řešení nádrží Vltavské kaskády z roku 1964 identifikuje nadlepšovací efekt v rozmezí 40 až $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pro vybrané zabezpečení dodávky vody dle opakování.

O skutečnosti, že volba minimálního odtoku z Vltavské kaskády měla zejména kvalitativní důvody, svědčí také sborník z konference „Vltavská kaskáda“, která se konala ve dnech 24. až 27. října 1956 ve Výzkumném ústavu vodohospodářském v Praze Podbabě. Konference se účastnili špičkoví odborníci v oblasti vodního hospodářství tehdejšího Československa. Ve svém příspěvku Dr. Bulíček uvádí, že jakost vody ve Vltavě je závislá také na její vodnosti, a to zejména s ohledem na vypouštění odpadních vod, kdy je rozhodující průtok 355-denní vody. Bulíček uvádí, že za přirozeného hydrologického režimu Vltavy teklo v Praze minimálně $11,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, zatímco nádrže vybudované k roku 1956 zajišťují v Praze minimálně $32,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a po vybudování všech nádrží Vltavské kaskády bude zajištěn minimální průtok $47,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

4.5.2 Analýza minimálního odtoku z Vltavské kaskády

Problematika minimálních průtoků ve vodních tocích byla poprvé systematicky řešena v prvním vydání Státního vodohospodářského plánu a zákona o vodním hospodářství z roku 1955. V § 2 tohoto zákona bylo požadováno, „aby odběrem vody, a to její spotřebou (rozdíl mezi odběrem a odpadem vody), nebyly přirozené průtoky snižovány pod nejmenší průtok, vyskytující se v odběrném místě průměrně 355 dní v roce. Na přechodnou dobu mohl vodohospodářský orgán povolit i větší snížení přirozených průtoků, zásadně však nikoliv pod úroveň vody 364-denní.

Záležitost minimálních průtoků následně upřesnil zákon ČNR č. 130/1974 o státní správě ve vodním hospodářství, podle kterého ministerstvo lesního a vodního hospodářství určovalo ukazatele minimálních průtoků vody ve vodních tocích, viz např. Směrný vodohospodářský plán (SVP) z roku 1976. Z hlediska státní vodohospodářské bilance SVP se rozlišovaly:

- Minimální bilanční průtok (MQ),
- Minimální potřebný průtok (MPP).

Minimální bilanční průtok (MQ) je definován jako „bilanční hodnota, která má charakter přednostně zabezpečovaného nároku na vodní zdroj. Reprezentuje zachování podmínek pro biologickou rovnováhu toku a v jeho nejbližším okolí a umožňuje obecné užívání vody, které nevyžaduje povolení vodohospodářských orgánů“. Současně SVP určovalo postup pro stanovení hodnot MQ v profilech s regulovaným odtokem nádržemi a v ostatních případech.

V zásadách pro roční a víceleté hospodaření s vodou v jednotlivých povodích vydaných ve Věstníku MLVH ČSR ročník 1981, částka 23, Praha, 1. prosince 1981, pod čj. 1892/ORVH-81

ze dne 13. října 1981, v příloze č. 1 jsou uvedeny hodnoty minimálního průtoku pro vodohospodářsky významné vodní toky, které byly závazné pro vodohospodářské orgány při vydávání povolení k nakládání s povrchovou vodou. Podle těchto zásad nesměl minimální průtok nad ČOV Praha Troja klesnout pod hodnotu $22,18 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Protože hodnoty minimálních průtoků nedostatečně zohledňovaly ekologické hledisko a ochranu ekosystémů vázaných na vodní tok, a to zejména v případech drobných vodních toků, byl v roce 1998 zaveden institut **minimálního zůstatkového průtoku (MZP)**. Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů (dále jen "vodní zákon"), jej definuje jako průtok, který ještě umožňuje obecné nakládání s povrchovými vodami a ekologické funkce vodního toku. MZP formuluje metodický pokyn jako průtok, který je nutno ponechat ve vodním toku v daném profilu nebo úseku pro udržení jeho základních vodohospodářských a ekologických funkcí.

Hodnoty MQ a MZP jsou tedy různé veličiny, kdy ukazatel MZP je zpravidla přísnější. Obě veličiny jsou využívány pro hodnocení bilančního stavu v kontrolních profilech v rámci sestavování vodohospodářské bilance oblastí povodí dle vyhlášky MZe č. 431/2001 Sb. Podrobný postup upravuje metodický pokyn pro sestavení vodohospodářské bilance oblastí povodí (MZe, 2002).

Minimální potřebný průtok (MPP) je ve Směrném vodohospodářském plánu (SVP) z roku 1976 definován jako průtok, který pokrývá jak hodnotu minimálního bilančního průtoku (MQ), tak i všechny ostatní požadavky na vodu, které jsou často proměnlivé časově a ke kterým je zpravidla potřebné povolení k nakládání. Obecně se jedná zejména o tyto požadavky:

- Odběry vody pro pitné a jiné účely,
- Potřeby ředící vody pro dosažení cílové jakosti vody charakterizované příslušnými ukazateli v profilech vodních toků pod vyústěním odpadních vod,
- Likvidace tepelného znečištění,
- Dosažení regulace hladiny v korytě z hlediska potřebné úrovně podzemních vod v přilehlém území,
- Provozování osobní a nákladní vodní dopravy splavňovacími zařízeními,
- Využití vodní energie.

Konkrétní hodnota minimálního zůstatkového průtoku se stanoví dle metodického pokynu č. 5/1998 odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí s ohledem na průtok Q_{355d} . V případě, kdy je $Q_{355d} > 5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ je doporučená hodnota MZP = $(Q_{355d} + Q_{364d}) \cdot 0,5$. Takto vypočtená hodnota slouží jako podklad pro vodoprávní úřad pro výsledné stanovení hodnoty MZP, která může být vyšší nebo výjimečně nižší než vypočtená.

V případě odběru povrchové vody z Vltavy pro úpravnu vody v Podolí je v povolení k nakládání č.j. MHMP 363164/2006/OOP-ii/R-300/Sh ze dne 22.11.2006 uvedena nutnost dodržet minimální zůstatkový průtok ve Vltavě v hodnotě $28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Z uvedeného výčtu vyplývá, že v úseku pod Vltavskou kaskádou po Mělník je rozhodující pro stanovení minimálního potřebného průtoku pokrytí odběrů vody, zajištění dostatečných průtoků k neškodnému odvedení odpadních vod a zajištění minimálního bilančního/zůstatkového průtoku.

Největší odběr povrchové vody pod VD Vrané po Prahu představuje úpravna vody v Podolí s maximálním povoleným odběrem $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Společně s ostatními odběry je možné uvažovat o odběrech cca $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v řešeném úseku. Vezmeme-li v úvahu stanovenou hodnotu MZP v profilu úpravní vody v Podolí, je potřebný průtok pro zajištění MZP a odběrů roven cca $32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Tento potřebný průtok je krom odtoku z Vltavské kaskády dotován rovněž přítokem z Berounky, jež při započtení svým 364-denním průtokem (Q_{364} z časové řady 1931 až 1980 je $3,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \approx 4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) snižuje hodnotu na zaokrouhleně $28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Stanovená hodnota minimálního potřebného průtoku ve výši $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ dále zohledňovala také potřebu zajištění jakosti povrchové vody (dostatečné ředění odpadních vod), a to zejména pod Ústřední čistírnou odpadních vod (dále jen ÚČOV) Praha a jiné účely.

Podle evidence správce povodí státního podniku Povodí Vltavy (údaje pro potřeby vodní bilance ohlašované povinnými subjekty podle ustanovení § 22 odstavec 2 vodního zákona) je z významného vodního toku Vltava v úseku od VD Vrané po ústí do Labe evidováno celkem 16 významných odběrů povrchových vod, jejichž povolené množství odebíraných povrchových vod v souhrnu dosahuje 161,16 mil. m^3 za rok. Někteří z těchto odběratelů mají ve svém rozhodnutí o povolení nakládání s povrchovou vodou (odběrem) stanoven minimální zůstatkový průtok, a to i ve výši $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Povolení k vypouštění odpadních vod z Ústřední čistírny odpadních vod Praha (dále jen „ÚČOV Praha“) (č.j. MHMP-1417791/2012/OOP-II/R-258/Fi) je platné do konce roku 2018, s tím, že do tohoto data budou splněny emisní limity podle požadavků nařízení vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění pozdějších předpisů (dále jen „nař. vl. č. 61/2003 Sb.“) vodního zákona a to v ukazateli celkového dusíku (Nc), kde emisní limity pro průměrné hodnoty i pro maximální hodnoty jsou vyšší než dle požadavku nařízení vlády.

Sledování jakosti povrchových vod ve vodních tocích ve správě státního podniku Povodí Vltavy má dlouholetou tradici a velká pozornost mu byla věnována i u jeho předchůdců již od 60. let minulého století. V zájmovém úseku Vltavy pod VD Vrané se vyhodnocování jakosti povrchové vody uskutečňuje každoročně v rámci sestavení vodohospodářské bilance v dílčím povodí Dolní Vltavy, při kterém je vyhodnocena jakost povrchových vod za předchozí dvoutletí. Vyhodnocování se uskutečňuje jednak podle nař. vl. č. 61/2003 Sb. a jednak podle

ČSN 75 7221 Jakost vod – Klasifikace tekoucích povrchových vod z října 1998 (dále jen „ČSN 75 7221“), podle které se určují třídy jakosti tekoucích povrchových vod. Tekoucí povrchové vody se dle jakosti vody zařazují do 5 tříd jakosti:

- I** – neznečištěná voda, tzn. stav povrchové vody, který nebyl významně ovlivněn lidskou činností a při kterém ukazatele jakosti vody nepřesahují hodnoty odpovídající běžnému přirozenému pozadí ve vodních tocích;
- II** – mírně znečištěná voda, tzn. stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které umožňují existenci bohatého, vyváženého a udržitelného ekosystému;
- III** – znečištěná voda, tzn. stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které nemusí vytvořit podmínky pro existenci bohatého, vyváženého a udržitelného ekosystému;
- IV** – silně znečištěná voda, tzn. stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které vytvářejí podmínky umožňující existenci pouze nevyváženého ekosystému;
- V** – velmi silně znečištěná voda, tzn. stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které vytvářejí podmínky umožňující existenci pouze silně nevyváženého ekosystému.

Klasifikace jakosti vody podle každého jednotlivého ukazatele do třídy jakosti vody se uskutečňuje srovnáním vypočtené charakteristické hodnoty tohoto ukazatele s jemu odpovídající soustavou mezních hodnot definovaných normou ČSN 75 7221. Charakteristická hodnota ukazatele jakosti vody je hodnota s pravděpodobností nepřekročení 90% (u rozpuštěného kyslíku je to hodnota s pravděpodobností překročení 90%).

Na základě Zprávy o hodnocení jakosti povrchových vod v dílčím povodí Dolní Vltavy za období 2011 – 2012 vyplývá, že v průběhu podélných profilů jakosti vody převažuje patrné zlepšení jakosti vody po průchodu nádržemi Vltavské kaskády a s nárůsty znečištění pod Prahou. U ukazatelů kyslíkového režimu (BSK_5 , resp. $CHSK_{Cr}$) dochází ke zhoršení z I. třídy na II. třídu již po soutoku se Sázavou a následně z II. třídy na III. třídu po soutoku s Beroučkou. U ukazatele $CHSK_{Cr}$ se průběh jakosti vyznačuje menšími výkyvy, ale i zde je patrné zhoršení jakosti vody z II. na III. třídu pod ÚČOV Praha. Jakost vody v ukazateli dusičnanový dusík je v celém podélném profilu v mezích II. třídy, i když pod ÚČOV Praha dochází ke znatelnému zhoršení.

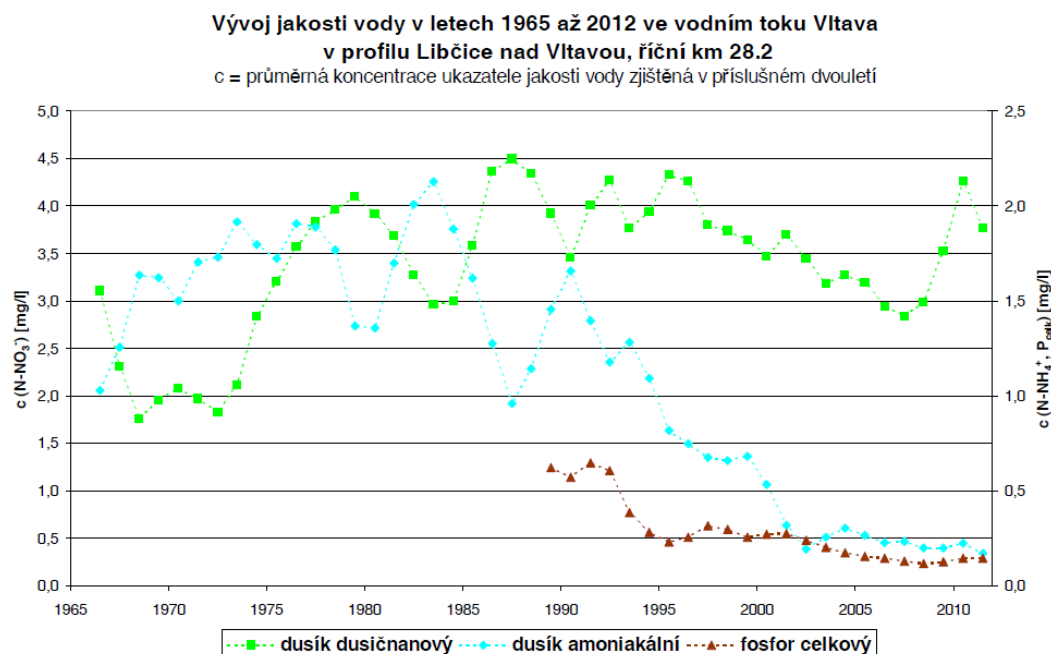
Problematická je situace u dvou ukazatelů: amoniakální dusík a celkový fosfor. U amoniakálního dusíku se pod ÚČOV Praha jakost vody výrazně zhoršuje z I. třídy až k hranici III. jakostní třídy. Koncentrace celkového fosforu se mírně zvyšuje v rámci II. třídy pod soutoky se Sázavou a s Beroučkou a dále pod Prahou narůstá do III. třídy jakosti. Současně platí, že v bilancovaném období 2011-2012 nebyla dodržena hodnota normy

environmentální kvality (NEK) dle nařízení vlády č. 61/2003 Sb. u amoniakálního dusíku (NEK-RP=0,23 mg/l) a celkového fosforu (NEK-RP=0,15 mg/l). Dle předaných podkladů byly průměrné hodnoty těchto ukazatelů za sledované období 2009-2013 těsně pod imisními limity vyjádřenými jako NEK-RP.

Vývoj ukazatelů amoniakální dusík (N-NH₄) a celkový fosfor (P_{celk}) za sledované období 1965-2012 v profilu Libčice nad Vltavou (ř. km 28,2) uvádí následující obr. 4.3. Z grafu plyne, že oba ukazatele doznaly od konce 80. let minulého století významné zlepšení a v posledních cca 10 letech stagnují v oblasti imisních limitů NEK dle nař. vl. č. 61/2003.

Z uvedených skutečností vyplývá, že hodnotu minimálního potřebného průtoku pod VD Vrané nelze více snižovat z důvodu zajištění dostatečné jakosti vody v souvislosti s naplňováním požadavků nař. vl. č. 61/2003 Sb., které implementuje evropskou směrnici Rady 91/271/EHS ze dne 12. prosince 1991 o ochraně vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů. Na základě sdělení státního podniku Povodí Vltavy byla průměrná hodnota na odtoku z ÚČOV Praha v ukazateli amoniakální dusík dle vodohospodářské bilance za období 2009-2013 rovna 3,4 mg/l.

Vzhledem k výše uvedenému by hodnota minimálního potřebného resp. zůstatkového průtoku pod VD Vrané odpovídala velikosti vyšší než 50 m³.s⁻¹, tedy o 10 m³.s⁻¹ větší než je tomu ve skutečnosti.



Obr. 4.3 Vývoj jakosti v letech 1965-2012 ve Vltavě v profilu Libčice nad Vltavou (Povodí Vltavy, 2013).

4.5.3 Dílčí závěry analýzy minimálního odtoku z Vltavské kaskády

Na základě provedené analýzy minimálního odtoku z Vltavské kaskády vyplynuly tyto závěry:

1. Hodnota minimálního odtoku z Vltavské kaskády pod VD Vrané o velikosti $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ je platná po celou dobu její existence, vyplývá z účelu Vltavské kaskády a byla určena již v rámci prvního nastavení strategického řízení této VH soustavy.
2. Analýzou historických podkladů z 50. a 60. let vyplývá, že minimální odtok pod VD Vrané o velikosti $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ byl zaveden zejména z důvodu požadavku Pražských vodáren na zajištění pitné vody pro hlavní město Prahu prostřednictvím úpravní vody v Podolí a dále pak na dostatečné ředění odpadních vod z ÚČOV Praha. Současně jak původní VH řešení Vltavské kaskády, tak poslední VH řešení z roku 1964, dokládalo nadlepení minimálních odtoků z Vltavské kaskády pod VD Vrané na hodnoty v rozsahu 40 až $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
3. Filozofie stanovování minimálních průtoků v ČR prodělala od dob Státního vodohospodářského plánu (1955) přes Směrný vodohospodářský plán (1976) do dnešních dnů určitý vývoj, ve kterém je patrné postupné zvyšování nároků ve smyslu většího akcentování ekologických funkcí vodních toků. Minimální odtok z Vltavské kaskády je v tomto kontextu vhodné neustále porovnávat s hodnotou tzv. minimálního potřebného průtoku (MPP) definovaného Směrným vodohospodářským plánem (1976) jako průtoku, který pokrývá jak hodnotu minimálního bilančního průtoku (popř. v dnešní době minimálního zůstatkového průtoku), tak i všechny ostatní požadavky na vodu, které jsou časově proměnlivé a ke kterým je zpravidla potřebné povolení k nakládání s vodami.
4. Na základě analýzy jakosti vody v dílčím povodí Dolní Vltavy lze konstatovat, že minimální potřebný průtok pod VD Vrané v současnosti vychází ze stejných požadavků jako v dobách návrhu Vltavské kaskády. Jedná se zejména o zajištění odběrů povrchové vody (zejména pro pitné účely), dostatečného dotování povrchových vod za účelem zlepšení jakosti ve významném vodním toku Vltava a zajištění minimálního zůstatkového průtoku pro účely obecného nakládání s povrchovými vodami, ke kterým není nutné povolení.
5. Hodnota odtoku pod VD Vrané ve výši $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ je v současnosti nepodkročitelná, zejména z kvalitativních důvodů v souvislosti s plněním požadavků nař. vl. 61/2003 Sb.
6. Z výše uvedených důvodů jednoznačně vyplývá, že jakýkoliv zásah do více než 40 let stabilizovaných vodních poměrů ve významném vodním toku Vltava od profilu pod VD Vrané do Mělníka formou snížení odtoku ve výši $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ nelze připustit bez řešení negativních dopadů na vodní tok Vltavy pod Vltavskou kaskádou a jeho okolí.
7. Na základě předběžných bilančních úvah lze naopak uvažovat o mírném navýšení odtoku z Vltavské kaskády pod VD Vrané v rozsahu 40 až $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
8. Na základě zpracované analýzy byly do vodohospodářského řešení zásobní funkce Vltavské kaskády zahrnuty řady variant: A - pro současný minimální odtok ($40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), B - pro snížený minimální odtok ($28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) a C - pro zvýšený minimální odtok ($50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

4.6 Výsledky vodohospodářského řešení zásobní funkce pro současný stav – varianta A.0

Tato kapitola obsahuje vodohospodářské řešení zásobní funkce, které je zpracováno pro stávající parametry vodních nádrží Vltavské kaskády dle platného manipulačního řádu. Vodohospodářské řešení je zpracováno pro hodnoty odběrů a vypouštění dle aktuálně platných povolení k nakládání. Hodnota minimálního potřebného odtoku z Vltavské kaskády pod VD Vrané je uvažována aktuálně platnou hodnotou $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Vodohospodářské řešení je zpracováno pro reálné řady průměrných měsíčních průtoků za období 1980 až 2013 a současně pro modelované řady se zohledněním vzájemných korelačních vazeb metodou principiální komponenty o délce 1000 let. Tento postup je v souladu s doporučením normy ČSN 75 2405, která pro třídu významnosti nádrží A a současné víceleté řízení odtoku uvádí potřebu zpracovat vodohospodářské řešení též v modelovaných řadách. Výsledky tohoto řešení jsou potom dle normy rozhodující pro vodohospodářský plán nádrže.

4.6.1 Vodohospodářské řešení v reálných řadách

Následující tab. 4.2 uvádí zabezpečení zásobní funkce jednotlivých odběrů z jednotlivých nádrží v úrovních dle platných povolení k nakládání s povrchovými vodami zjištěné simulací zásobní funkce Vltavské kaskády v reálných řadách za období 1980 – 2013.

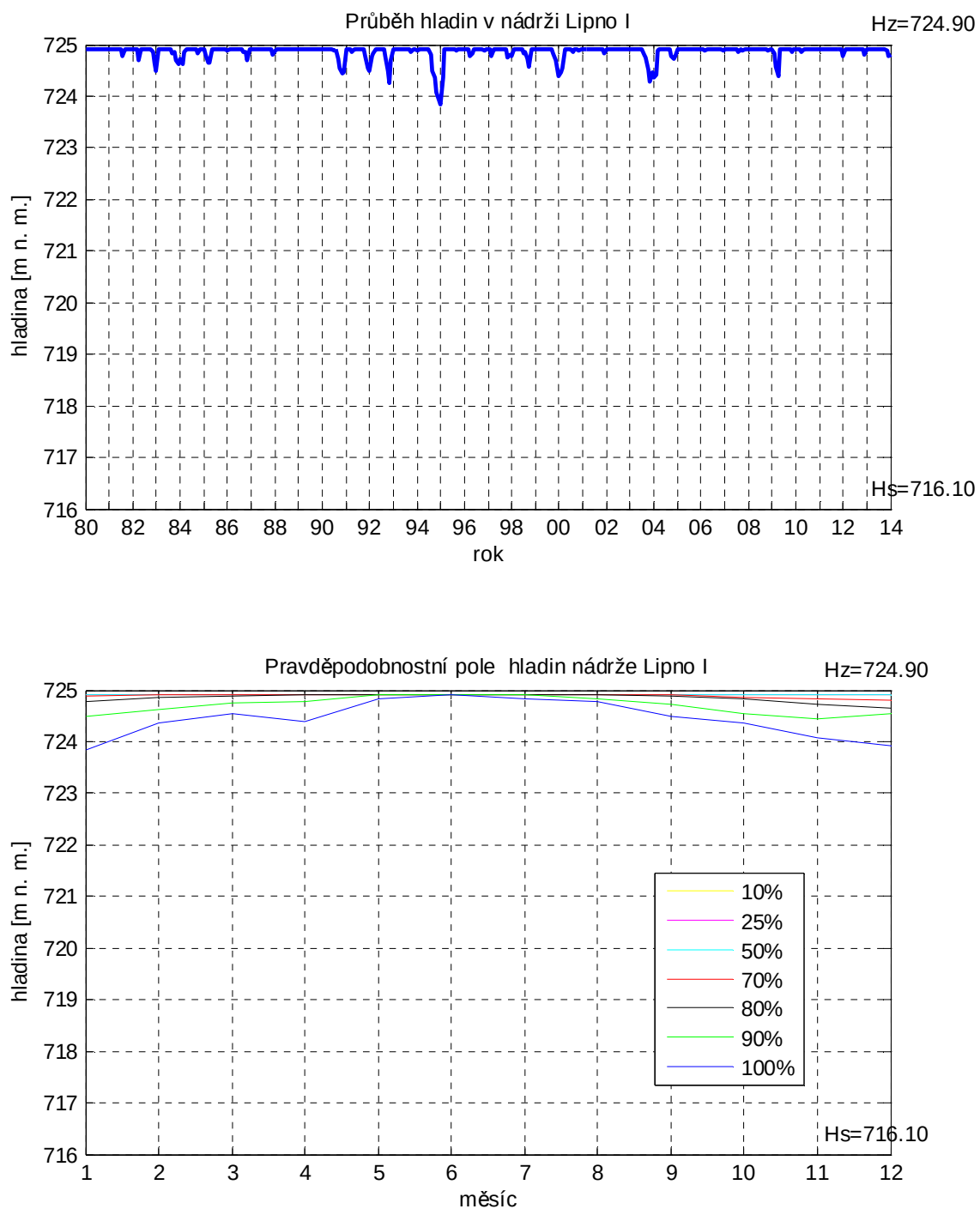
Tab. 4.2 Zabezpečení zásobní funkce nádrží v reálných řadách 1980 – 2013.

vodní nádrž	vodní tok	zabezpečení zásobní funkce			Počet poruch	
		pt [%]	po [%]	pd [%]	měsíce	roky
Lipno I	Vltava	99.83	97.97	100.00	0	0
Římov	Malše	99.83	97.97	100.00	0	0
Švihov	Želivka	99.83	97.97	100.00	0	0
Orlík + Slapy	Vltava	99.83	97.97	100.00	0	0

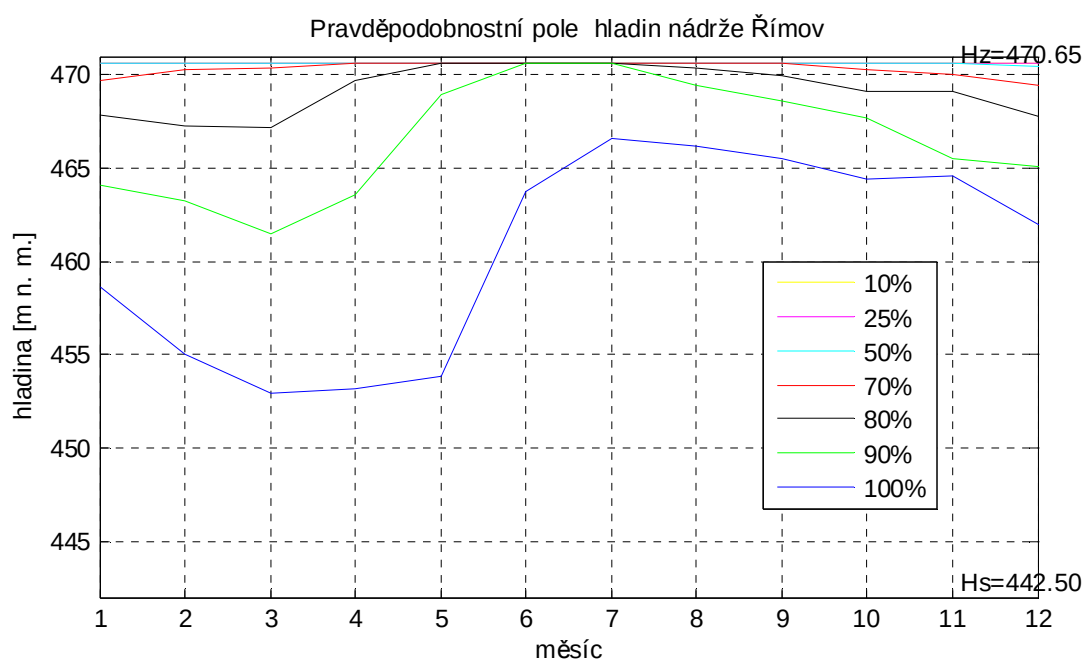
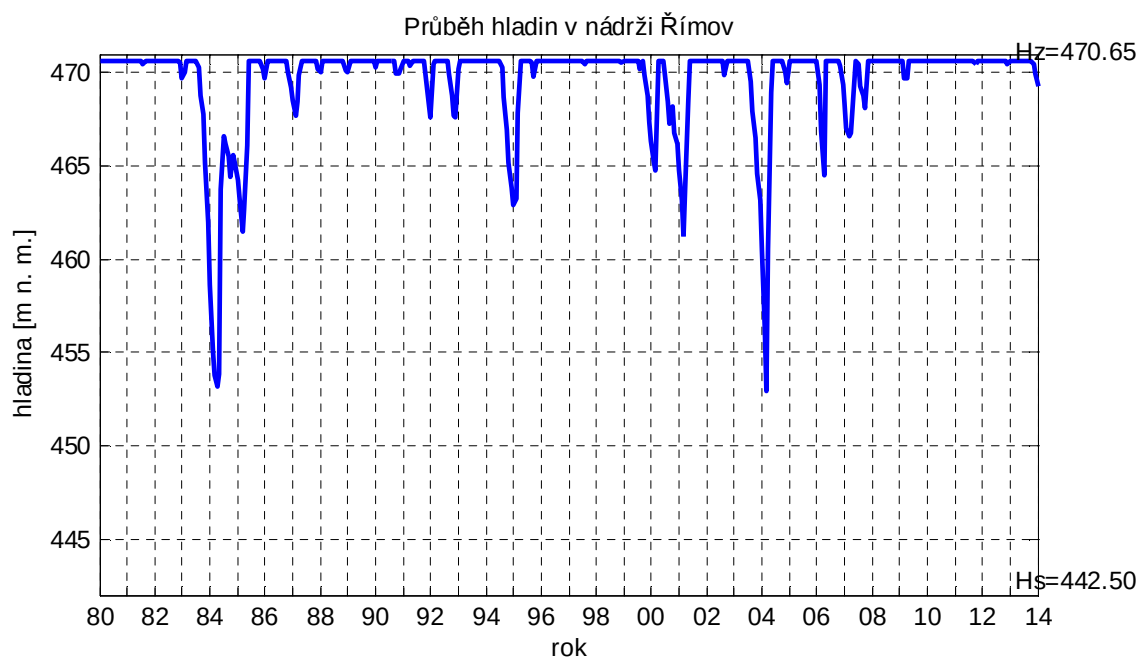
Legenda: pt – zabezpečení dle trvání, po – zabezpečení dle opakování, pd – zabezpečení dle objemu dodané vody.

Z tab. 4.2 vyplývá, že v rámci simulovaného období 1980 – 2013 nedošlo na žádné z nádrží k poruše v dodávce vody a všechny odběry byly zabezpečeny v plném rozsahu dle platných povolení k nakládání.

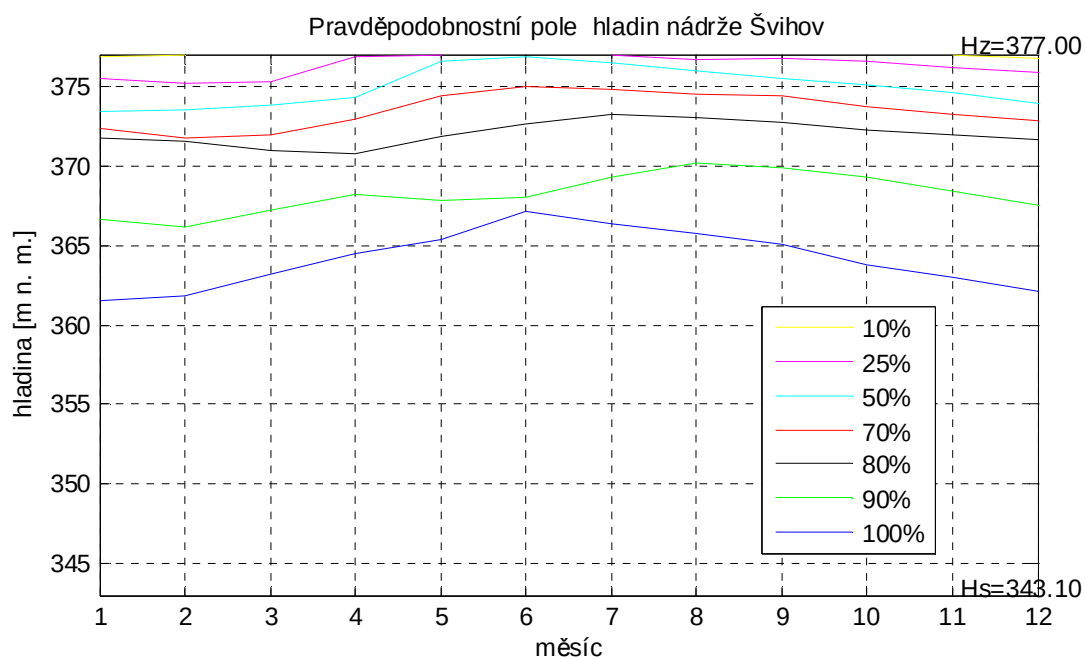
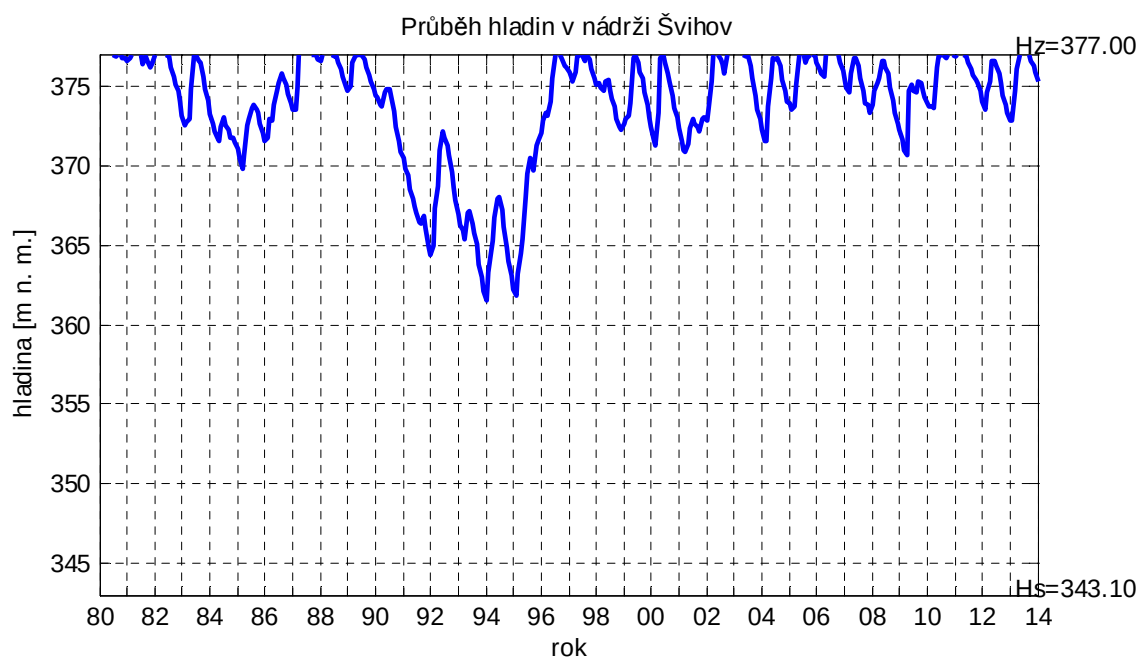
Průběhy hladin v jednotlivých nádržích a vyhodnocení jejich pravděpodobnostních polí pro jednotlivé kalendářní měsíce je uvedeno v obr. 4.4 až obr. 4.8.



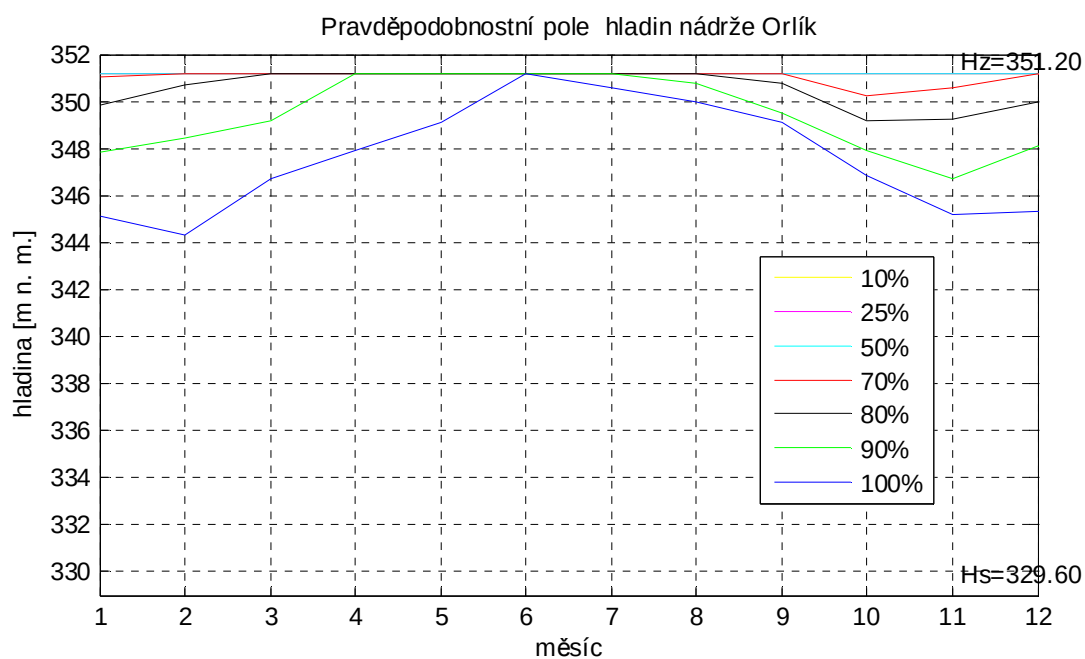
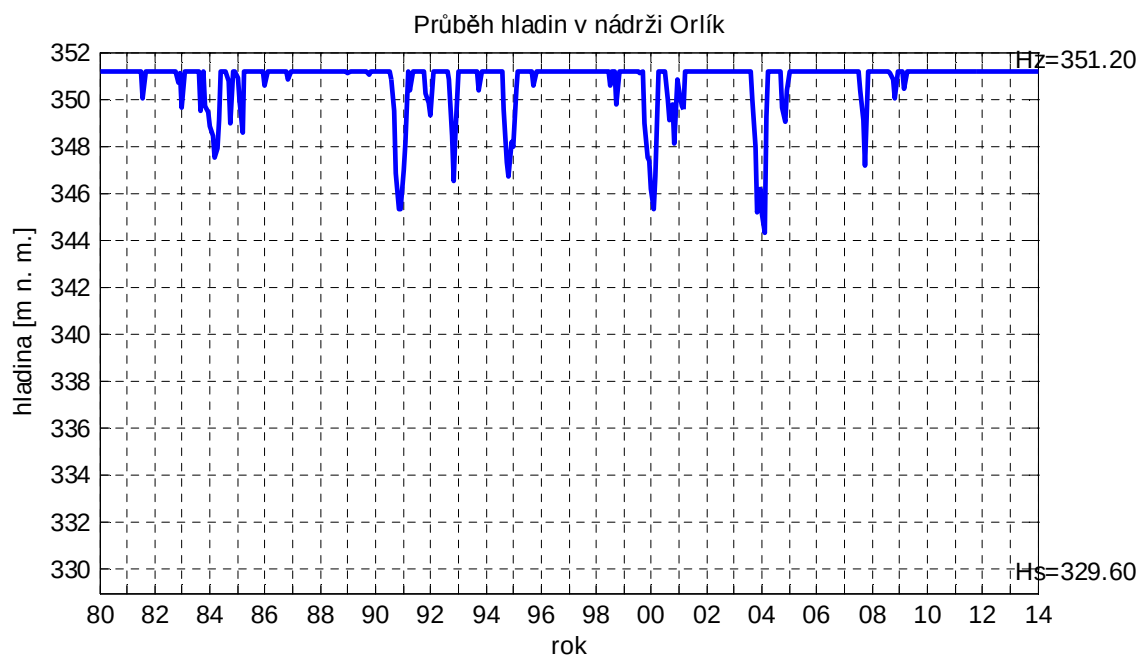
Obr. 4.4 Varianta A.0 – nádrž Lipno I, simulace v reálné řadě 1980 – 2013.



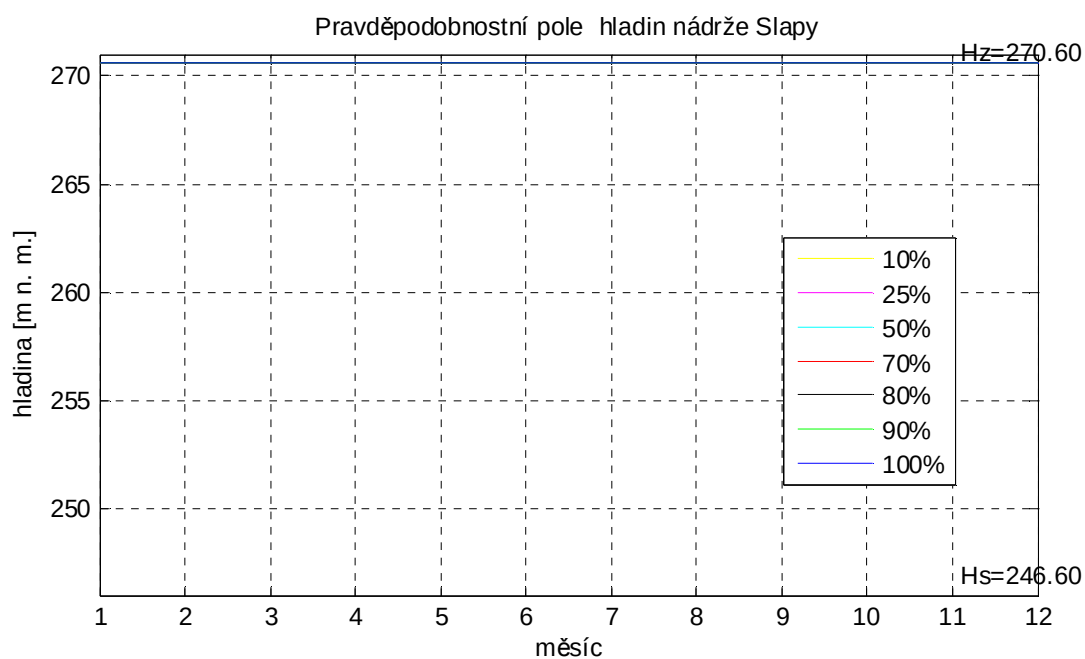
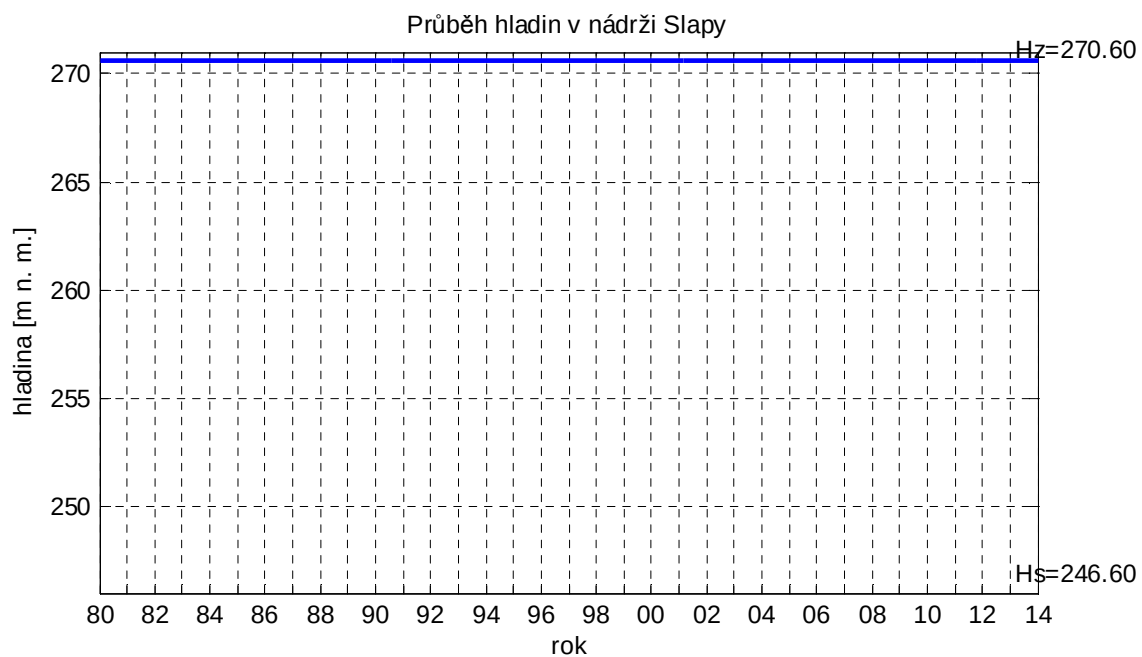
Obr. 4.5 Varianta A.0 – nádrž Římov, simulace v reálné řadě 1980 – 2013.



Obr. 4.6 Varianta A.0 – nádrž Švihov, simulace v reálné řadě 1980 – 2013.



Obr. 4.7 Varianta A.0 – nádrž Orlík, simulace v reálné řadě 1980 – 2013.



Obr. 4.8 Varianta A.0 – nádrž Slapy, simulace v reálné řadě 1980 – 2013.

4.6.2 Vodohospodářské řešení v modelovaných řadách

Následující tab. 4.3 uvádí zabezpečení zásobní funkce jednotlivých odběrů z jednotlivých nádrží v úrovních dle platných povolení k nakládání s povrchovými vodami zjištěné simulací zásobní funkce Vltavské kaskády v modelovaných řadách délky 1000 let.

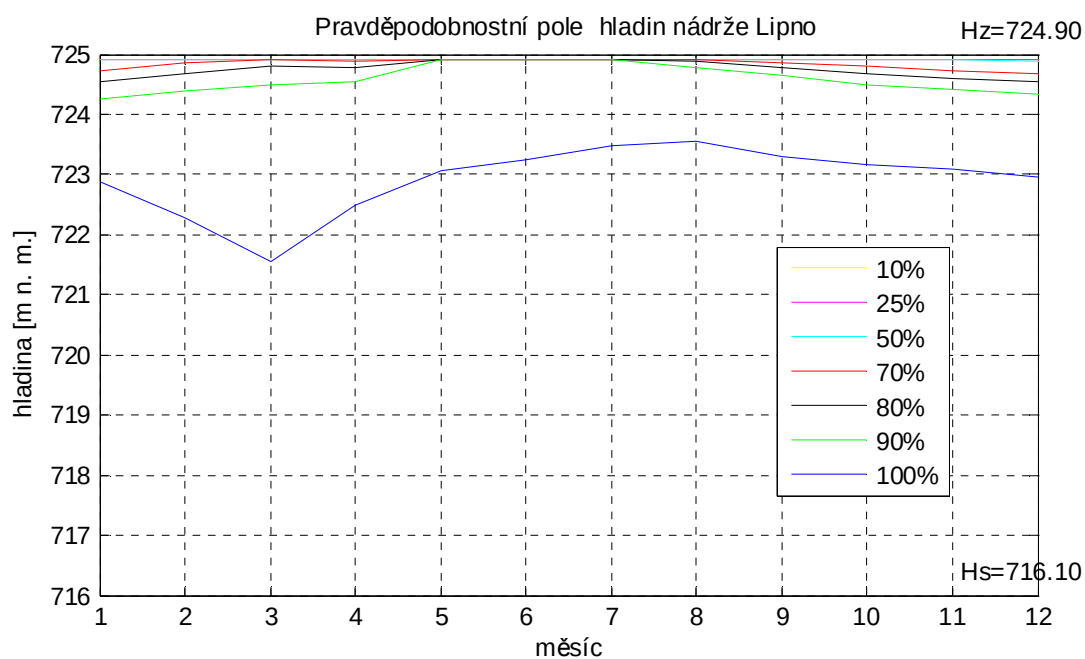
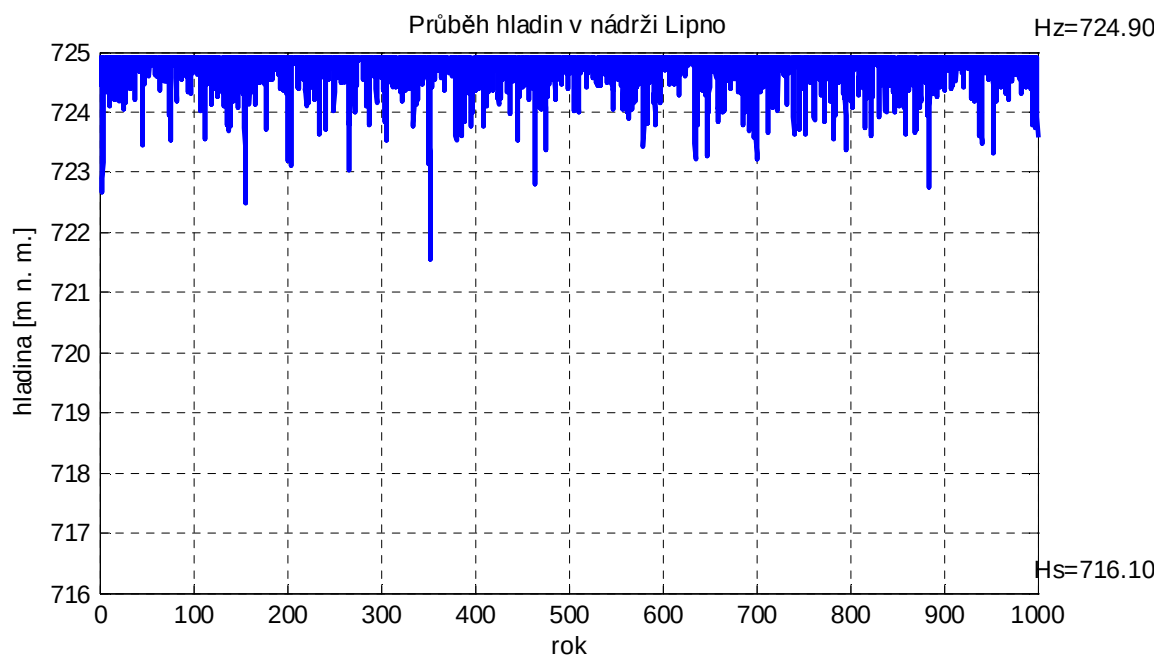
Tab. 4.3 Zabezpečení zásobní funkce nádrží v syntetických řadách délky 1000 let.

vodní nádrž	vodní tok	zabezpečení zásobní funkce			Počet poruch za 1000 let	
		pt [%]	po [%]	pd [%]	měsíce	roky
Lipno I	Vltava	99.99	99.93	100.00	0	0
Římov	Malše	99.78	98.03	99.92	26	19
Švihov	Želivka	99.99	99.93	100.00	0	0
Orlík + Slapy	Vltava	99.99	99.93	100.00	0	0

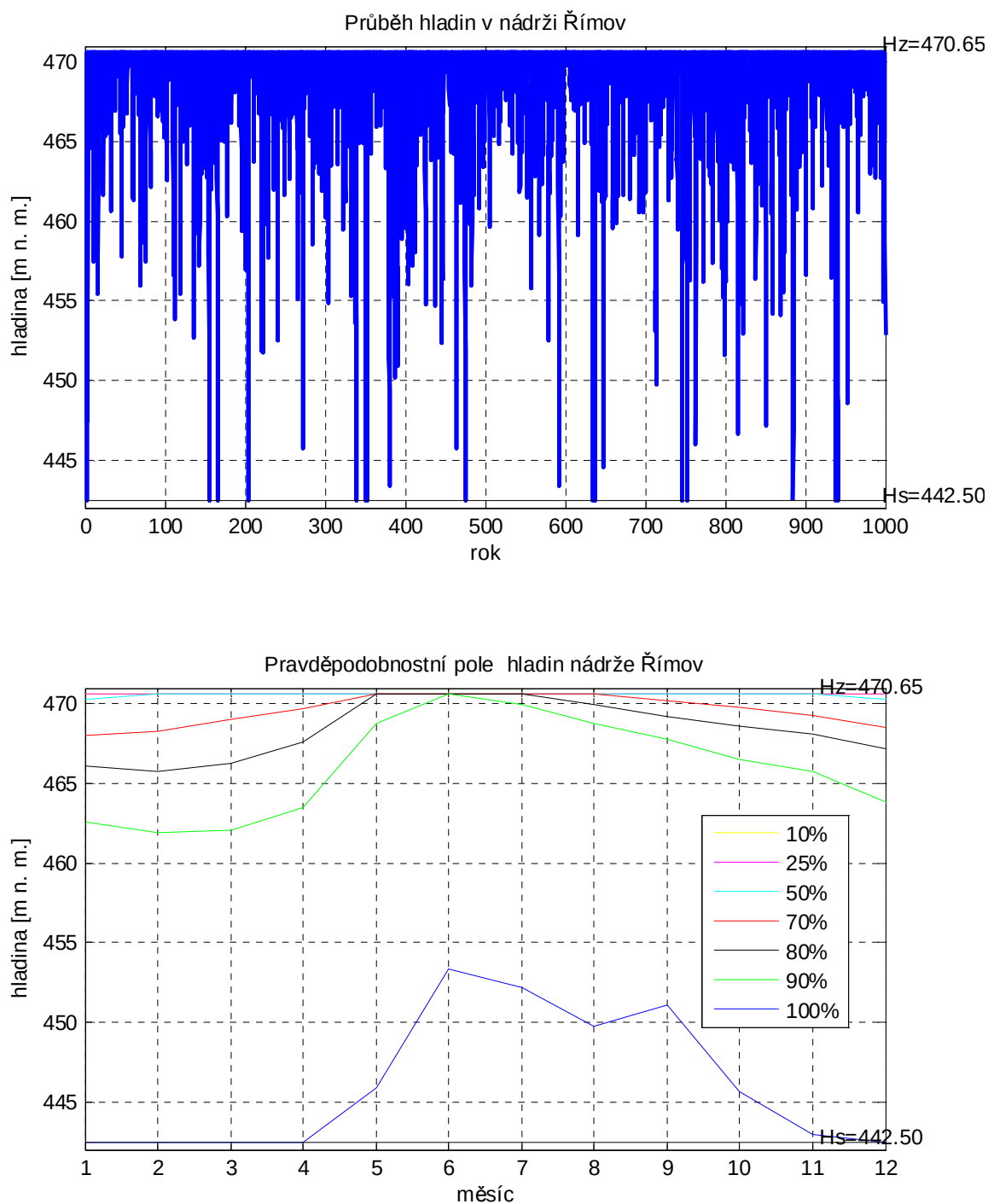
Legenda: pt – zabezpečení dle trvání, po – zabezpečení dle opakování,
pd – zabezpečení dle objemu dodané vody.

Z tab. 4.3 vyplývá, že v rámci simulovaného 1000-letého období došlo k poruchám v dodávce vody pouze u nádrže Římov. V případě nádrží Švihov, Orlík a Slapy nedošlo k poruše v dodávce vody a všechny odběry byly uspokojeny v plánované výši včetně minimálního potřebného průtoku pod VD Vrané ve výši $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

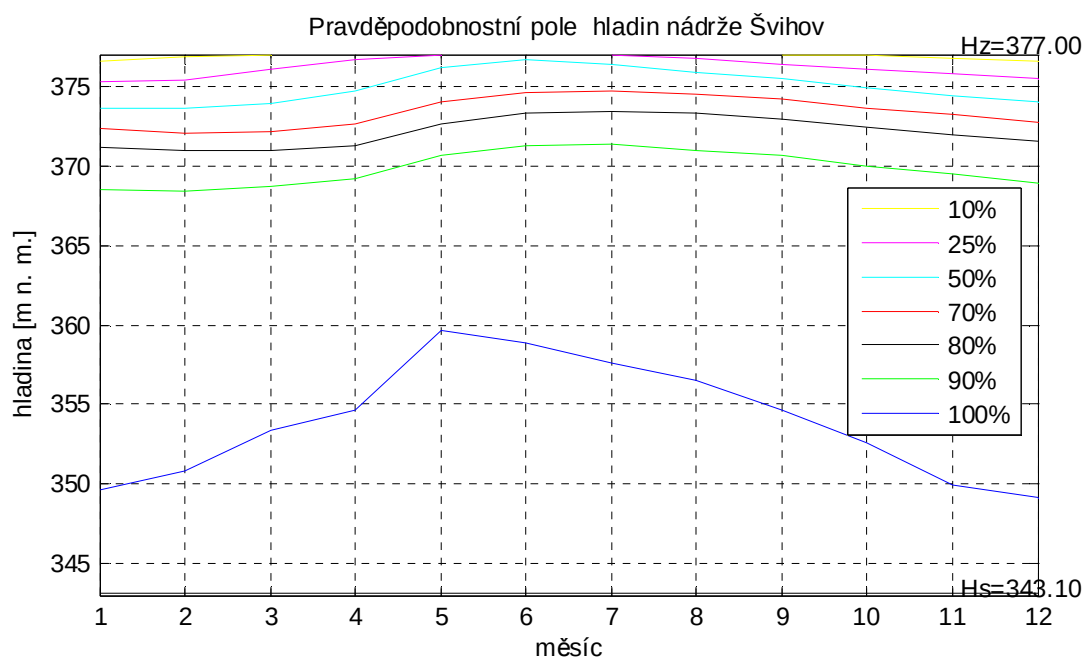
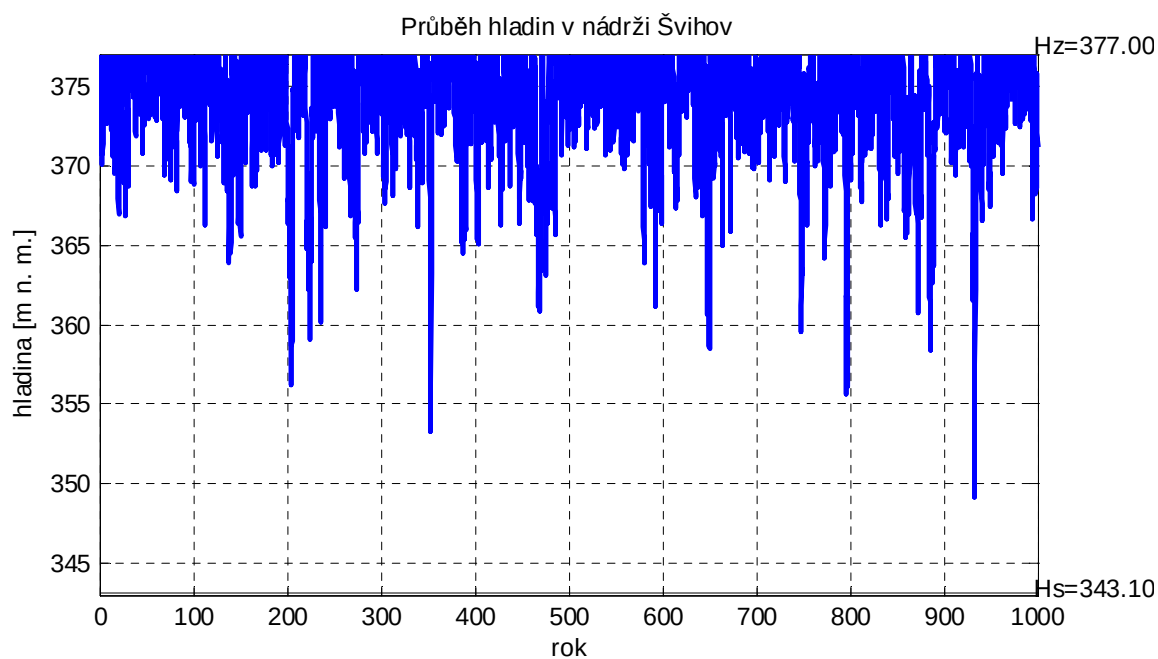
Průběhy hladin v jednotlivých nádržích a vyhodnocení jejich pravděpodobnostních polí pro jednotlivé kalendářní měsíce je uvedeno v obr. 4.9 až obr. 4.13.



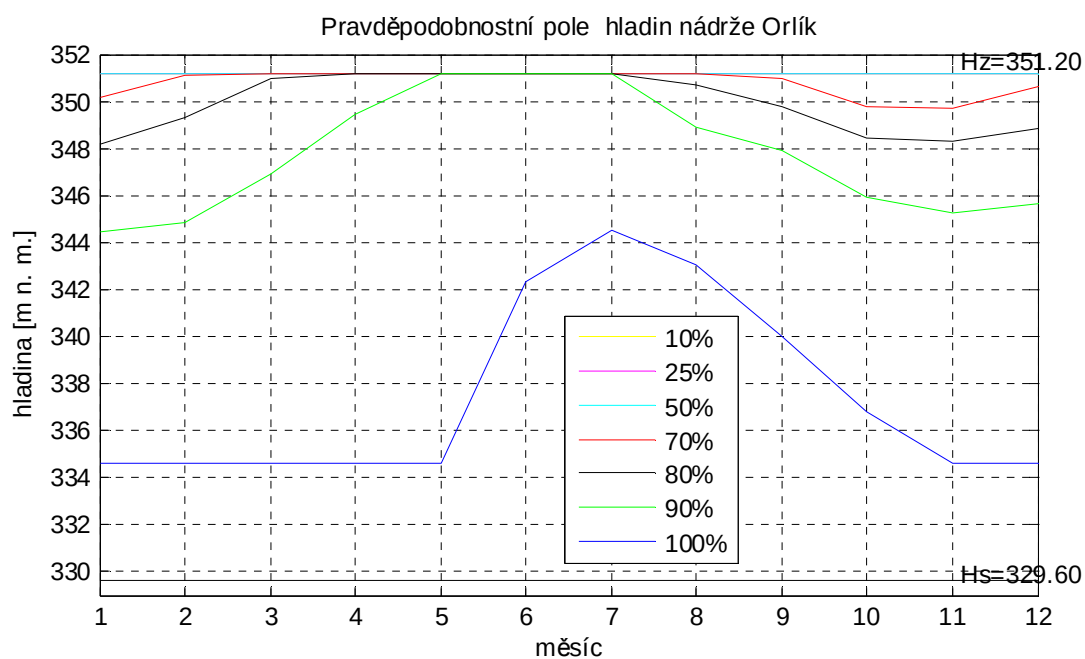
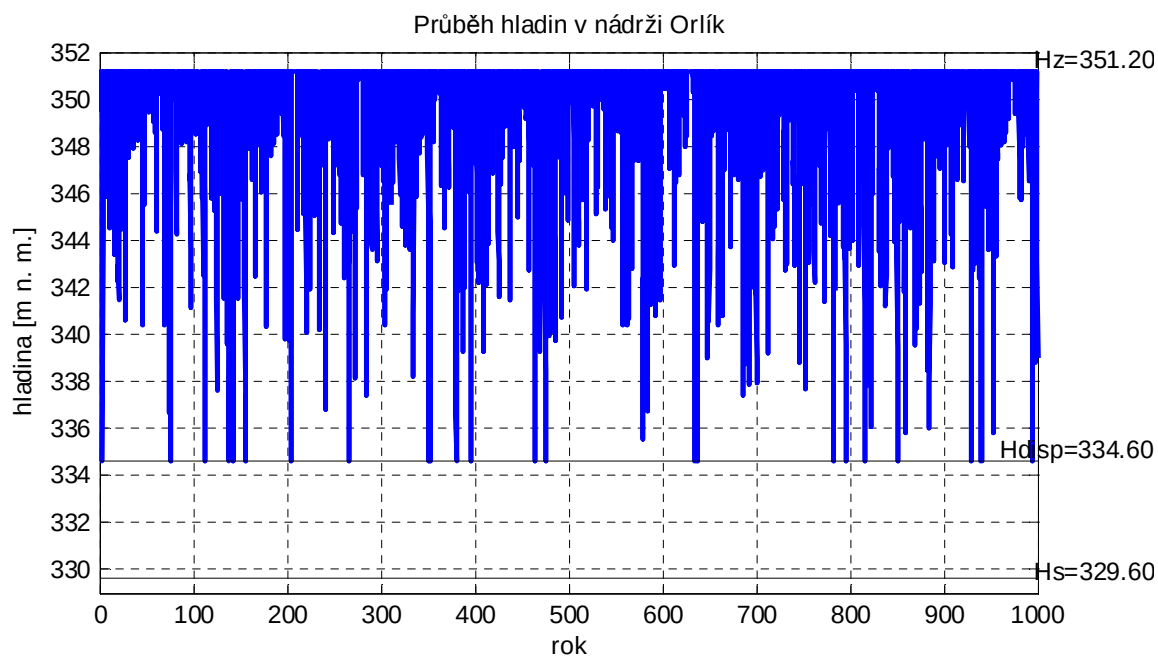
Obr. 4.9 Varianta A.0 – nádrž Lipno I, simulace v syntetické 1000-leté řadě.



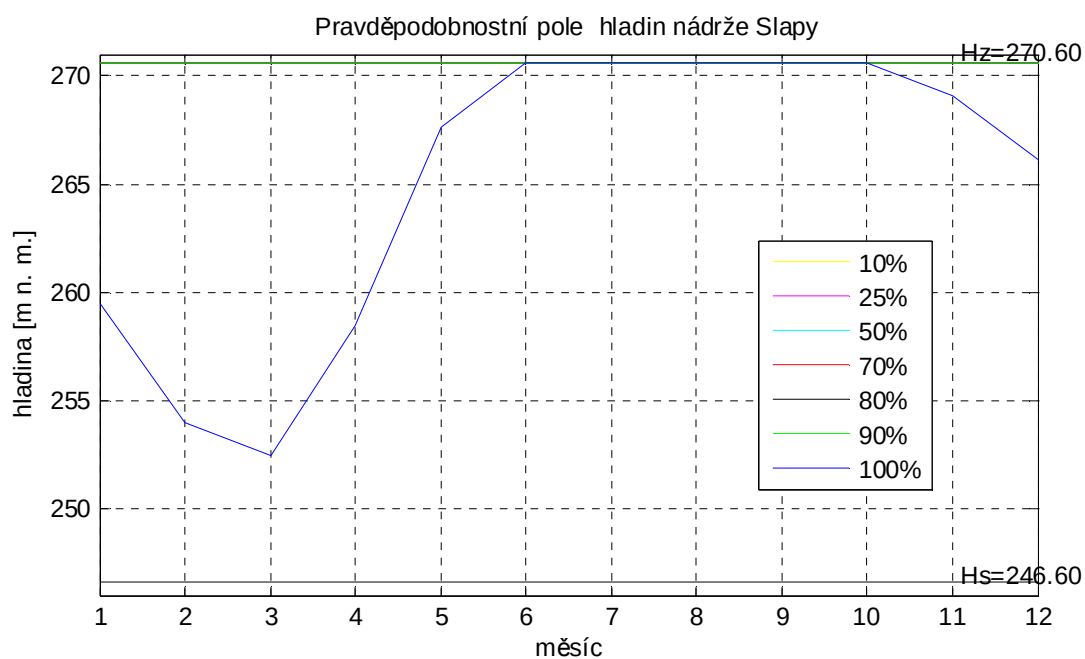
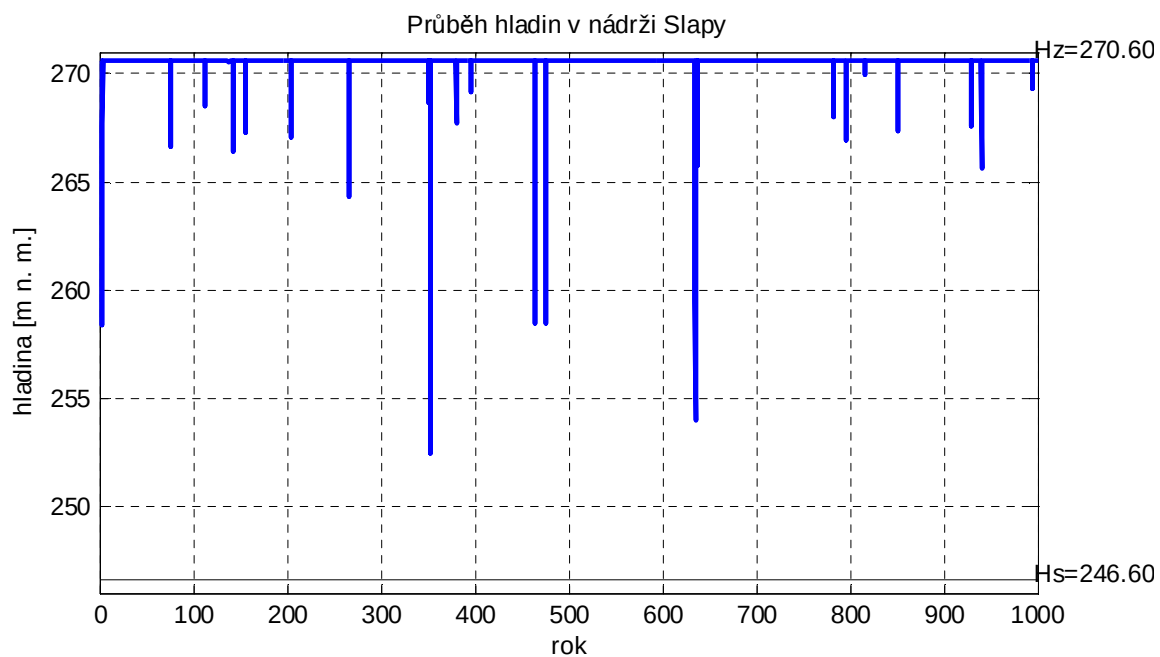
Obr. 4.10 Varianta A.0 – nádrž Římov, simulace v syntetické 1000-leté řadě.



Obr. 4.11 Varianta A.0 – nádrž Švihov, simulace v syntetické 1000-leté řadě.



Obr. 4.12 Varianta A.0 – nádrž Orlík, simulace v syntetické 1000-leté řadě.



Obr. 4.13 Varianta A.0 – nádrž Slapy, simulace v syntetické 1000-leté řadě.

4.7 Variantní vodohospodářské řešení zásobní funkce

Cílem variantního vodohospodářského řešení je ověření spolehlivosti zásobní funkce Vltavské kaskády pro soubor vybraných variant rozdělení nádržních prostorů v nádržích Orlík a Slapy. Simulace byly provedeny v syntetické 1000-leté řadě průměrných měsíčních průtoků. Hodnocena byla spolehlivost zásobní funkce pro 7 variant přerozdělení nádržních prostorů formulovaných v kapitole č. 2 - viz tab. 2.1. Posouzeny byly také tři varianty hodnoty minimálního odtoku z Vltavské kaskády formulované v kapitole č. 4.5. Připomeňme, že se jedná o tyto řady variant:

- A – současná hodnota minimálního odtoku pod VD Vrané o velikosti $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- B – snížená hodnota minimálního odtoku na $28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- C – zvýšená hodnota minimálního odtoku na $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Varianta současného rozdělení nádržních prostorů a aktuálně platného minimálního odtoku pod VD Vrané řešená v kapitole 4.6 má tedy označení A.0.

Varianta - 0	VD Orlík			VD Slapy			Celkem	
	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0
	[m n. m.]	[mil. m^3]	[mil. m^3]	[m n. m.]	[mil. m^3]	[mil. m^3]	[mil. m^3]	[mil. m^3]
	351.20	374.428	0	270.60	200.500	0	574.928	0

VH řešení v syntetických 1000-letých řadách

Var	Vrané Qmin	vodní nádrž	vodní tok	zabezpečení zásobní funkce			Počet poruch za 1000 let	
	[m³.s⁻¹]			pt [%]	po [%]	pd [%]	měsíce	roky
A.0	40	Orlík + Slapy	Vltava	99.99	99.93	100.00	0	0
B.0	28			99.99	99.93	100.00	0	0
C.0	50			99.84	98.73	99.91	18	12

Varianta - 1	VD Orlík			VD Slapy			Celkem	
	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0
	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]
	349.96	344.428	-30	270.60	200.500	0	544.928	-30

VH řešení v syntetických 1000-letých řadách

Var	Vrané Qmin	vodní nádrž	vodní tok	zabezpečení zásobní funkce			Počet poruch za 1000 let	
	[m ³ .s ⁻¹]			pt [%]	po [%]	pd [%]	měsíce	roky
A.1	40	Orlík + Slapy	Vltava	99.99	99.93	100.00	0	0
B.1	28			99.99	99.93	100.00	0	0
C.1	50			99.76	98.13	99.86	28	18

Varianta - 2	VD Orlík			VD Slapy			Celkem	
	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0
	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]
	349.96	344.428	-30	267.93	170.500	-30	514.928	-60

VH řešení v syntetických 1000-letých řadách

Var	Vrané Qmin	vodní nádrž	vodní tok	zabezpečení zásobní funkce			Počet poruch za 1000 let	
	[m ³ .s ⁻¹]			pt [%]	po [%]	pd [%]	měsíce	roky
A.2	40	Orlík + Slapy	Vltava	99.99	99.93	100.00	0	0
B.2	28			99.99	99.93	100.00	0	0
C.2	50			99.67	97.53	99.80	39	24

Varianta - 3	VD Orlík			VD Slapy			Celkem	
	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0
	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]
	346.83	274.428	-100	270.60	200.500	0	474.928	-100

VH řešení v syntetických 1000-letých řadách

Var	Vrané Qmin	vodní nádrž	vodní tok	zabezpečení zásobní funkce			Počet poruch za 1000 let	
	[m ³ .s ⁻¹]			pt [%]	po [%]	pd [%]	měsíce	roky
A.3	40	Orlík + Slapy	Vltava	99.99	99.93	100.00	0	0
B.3	28			99.99	99.93	100.00	0	0
C.3	50			99.45	96.43	99.70	65	35

Varianta - 4	VD Orlík			VD Slapy			Celkem	
	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0
	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]
	346.83	274.428	-100	267.93	170.500	-30	444.928	-130

VH řešení v syntetických 1000-letých řadách

Var	Vrané Qmin	vodní nádrž	vodní tok	zabezpečení zásobní funkce			Počet poruch za 1000 let	
	[m ³ .s ⁻¹]			pt [%]	po [%]	pd [%]	měsíce	roky
A.4	40	Orlík + Slapy	Vltava	99.98	99.73	99.99	2	2
B.4	28			99.99	99.93	100.00	0	0
C.4	50			99.33	95.33	99.60	80	46

Varianta - 5	VD Orlík			VD Slapy			Celkem	
	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0
	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]
	341.20	166.160	-208.2677	270.60	200.500	0	366.660	-208.2677

VH řešení v syntetických 1000-letých řadách

Var	Vrané Q _{min}	vodní nádrž	vodní tok	zabezpečení zásobní funkce			Počet poruch za 1000 let	
	[m ³ .s ⁻¹]			pt [%]	po [%]	pd [%]	měsíce	roky
A.5	40	Orlík + Slapy	Vltava	99.92	99.13	99.94	9	8
B.5	28			99.99	99.93	100.00	0	0
C.5	50			98.40	89.53	99.13	191	104

Varianta - 6	VD Orlík			VD Slapy			Celkem	
	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0
	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]
	334.67	65.018	-309.410	270.60	200.500	0	265.518	-309.410

VH řešení v syntetických 1000-letých řadách

Var	Vrané Q _{min}	vodní nádrž	vodní tok	zabezpečení zásobní funkce			Počet poruch za 1000 let	
	[m ³ .s ⁻¹]			pt [%]	po [%]	pd [%]	měsíce	roky
A.6	40	Orlík + Slapy	Vltava	99.39	95.73	99.62	73	42
B.6	28			99.99	99.93	100.00	0	0
C.6	50			96.06	78.04	97.77	472	219

Varianta - 7	VD Orlík			VD Slapy			Celkem	
	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0
	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]
	293.00	0	-374.280	270.60	200.500	0	200.500	-374.280

VH řešení v syntetických 1000-letých řadách

Var	Vrané Qmin	vodní nádrž	vodní tok	zabezpečení zásobní funkce			Počet poruch za 1000 let	
	[m ³ .s ⁻¹]			pt [%]	po [%]	pd [%]	měsíce	roky
A.7	40	Orlík + Slapy	Vltava	98.52	89.73	99.07	177	102
B.7	28			99.98	99.73	99.99	2	2
C.7	50			93.74	70.34	96.33	750	296

4.8 Shrnutí vodohospodářského řešení zásobní funkce

Výsledné vyhodnocení zásobní funkce nádrží Orlík a Slapy ve vazbě na zajištění minimálního potřebného průtoku pod VD Vrané uvádí následující tab. 4.4.

Z provedené analýzy zásobní funkce Vltavské kaskády vyplývají tyto dílčí závěry:

1. Za současné situace existuje v plnění zásobní funkce za účelem zajištění minimálního odtoku z Vltavské kaskády a odběrů povrchové vody určitá rezerva, jejíž velikost také vyplývá z dispečerského grafu současného manipulačního řádu.
2. Při současných nárocích a hydrologických poměrech je z jednostranného pohledu zásobní funkce možno bezkonfliktně zvýšit retenční objem až o 100 mil. m³.
3. Z důvodu kvality vody nelze v současnosti uvažovat o snížení hodnoty minimálního odtoku z Vltavské kaskády pod VD Vrané ve výši 40 m³.s⁻¹.

Tab. 4.4 Výsledky vodohospodářského řešení zásobní funkce.

Varianta	MPP (Vrané)	VD Orlík	VD Slapy	Celkem (Orlík + Slapy)		pt	poruch za 1000 let		četnost poruch
		změna Vz oproti současnosti	změna Vz oproti současnosti	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti současnosti		měsíce	roky	jednou za N let
		[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]		[-]	[-]	[roky]
A.0	40	0	0	574.928	0	99.99	0	0	-
A.1	40	-30	0	544.928	-30	99.99	0	0	-
A.2	40	-30	-30	514.928	-60	99.99	0	0	-
A.3	40	-100	0	474.928	-100	99.99	0	0	-
A.4	40	-100	-30	444.928	-130	99.98	2	2	500
A.5	40	-208	0	366.660	-208	99.92	9	8	125
A.6	40	-309	0	265.518	-309	99.39	73	42	24
A.7	40	-374	0	200.500	-374	98.52	177	102	10
B.0	28	0	0	574.928	0	99.99	0	0	-
B.1	28	-30	0	544.928	-30	99.99	0	0	-
B.2	28	-30	-30	514.928	-60	99.99	0	0	-
B.3	28	-100	0	474.928	-100	99.99	0	0	-
B.4	28	-100	-30	444.928	-130	99.99	0	0	-
B.5	28	-208	0	366.660	-208	99.99	0	0	-
B.6	28	-309	0	265.518	-309	99.99	0	0	-
B.7	28	-374	0	200.500	-374	99.98	2	2	500
C.0	50	0	0	574.928	0	99.84	18	12	83
C.1	50	-30	0	544.928	-30	99.76	28	18	56
C.2	50	-30	-30	514.928	-60	99.67	39	24	42
C.3	50	-100	0	474.928	-100	99.45	65	35	29
C.4	50	-100	-30	444.928	-130	99.33	80	46	22
C.5	50	-208	0	366.660	-208	98.40	191	104	10
C.6	50	-309	0	265.518	-309	96.06	472	219	5
C.7	50	-374	0	200.500	-374	93.74	750	296	3



5. Hydroenergetické řešení

Cílem hydroenergetického řešení Vltavské kaskády je posouzení vlivu jednotlivých variant přerozdělení nádržních prostorů na nádržích Orlík a Slapy na průměrné roční výroby a pohotové výkony špičkových vodních elektráren. Dle dat Energetického regulačního úřadu byl v roce 2013 podíl výroby elektrické energie ve vodních elektrárnách 4,3 % z celkového objemu vyrobené energie v ČR. Tento podíl tedy není významný, za zásadní je však třeba považovat roli špičkových vodních elektráren z pohledu regulace energetického systému. Tato úloha špičkových vodních elektráren je nezastupitelná a je třeba usilovat o co nejvyšší spolehlivost jejich provozu. Pro posouzení byl využit sestavený simulační model zásobní funkce Vltavské kaskády dle kapitoly č. 4. Model pracuje v měsíčním kroku a umožňuje tak vyhodnocení průměrných měsíčních výrob elektrické energie na podkladě průtočného množství využitelného vodními elektrárnami a průměrného spádu. Výsledkem hodnocení hydroenergetické funkce na špičkových elektrárnách Lipno I, Orlík a Slapy jsou tyto veličiny:

1. Průměrná roční výroba energie. Pro variantu současného stavu jsou rovněž dokumentovány čáry překročení ročních výrob energie.
2. Maximální pohotové výkony na jednotlivých špičkových elektrárnách se zabezpečností 100, 99, 95 a 90 %.
3. Pohotové výkony po dobu 4 hodin se zabezpečností 100, 99, 95 a 90 %, které byly zpracovány pro předpoklad:
 - a. zcela prázdných vyrovnávacích nádrží na začátku špičky,
 - b. z poloviny prázdných vyrovnávacích nádrží na začátku špičky.

Vodní elektrárna Lipno I byla do analýzy doplněna zejména z důvodu možnosti vyhodnocení úhrnných pohotových výkonů na špičkových vodních elektrárnách na Vltavské kaskádě pro jednotlivé varianty řešení z pohledu celkové regulační schopnosti.

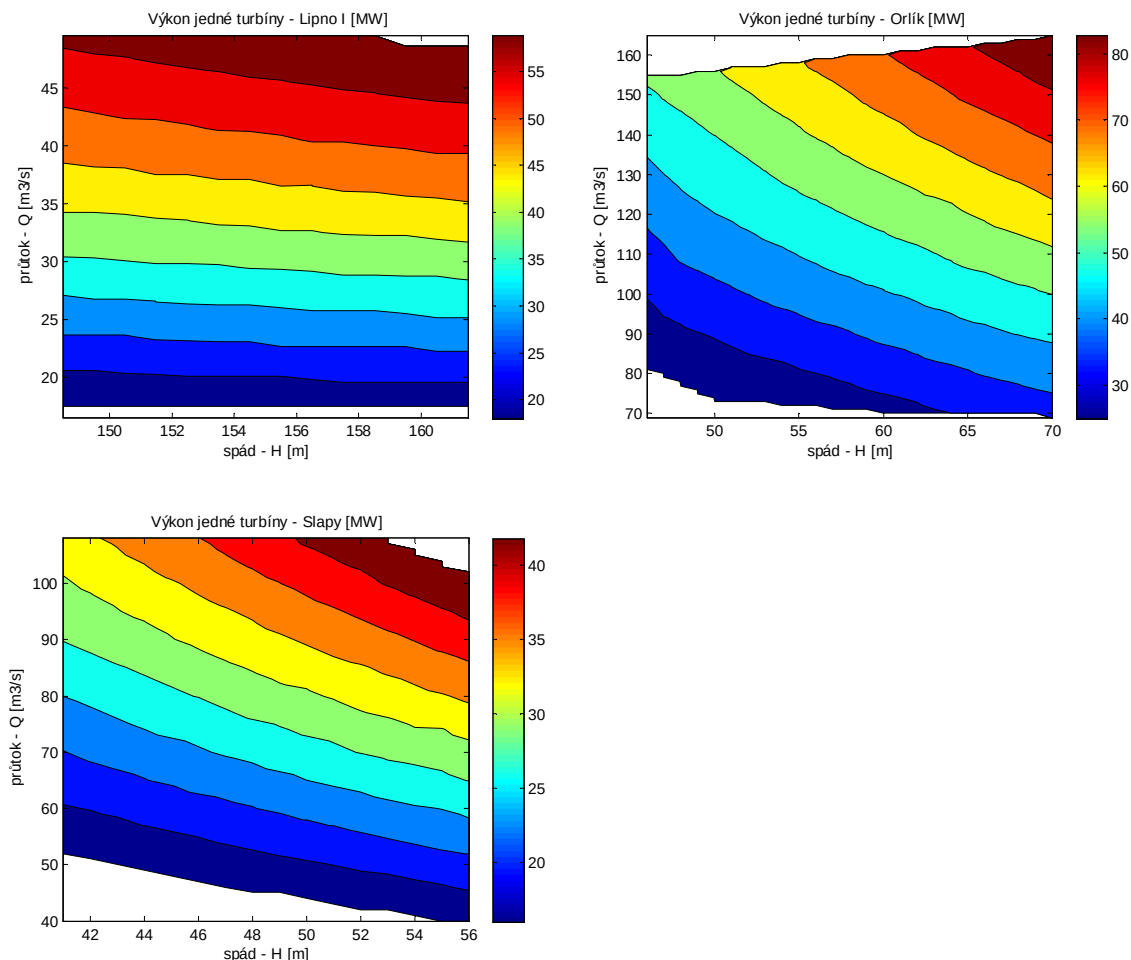
5.1 Použité podklady

Pro potřeby hydroenergetického řešení Vltavské kaskády byly využity tabulky závislosti výkonu na spádu a průtoku pro turbíny špičkových vodních elektráren Lipno I, Orlík a Slapy. Hlavní parametry pro výpočet výroby elektrické energie uvádí tab. 5.1.

Tab. 5.1 Hlavní parametry špičkových vodních elektráren.

vodní elektrárna	počet turbín	hltnost jedné turbíny	celková hltnost	dolní hladina pro výpočet spádu
	[-]	[m ³ .s ⁻¹]	[m ³ .s ⁻¹]	[m n. m.]
Lipno I	2	46	92	566.75
Orlík	4	150	600	283.60
Slapy	3	108	324	218.20

Výkonové charakteristiky jsou uvedeny v obr. 5.1.



Obr. 5.1 Výkonové křivky pro turbíny špičkových elektráren Lipno I, Orlik a Slapy.

5.2 Výpočet ukazatelů energetického využití

Předmětem hodnocení byly průměrné měsíční výroby na špičkových elektrárnách Vltavské kaskády: Lipno I, Orlik a Slapy. Současně byly určeny také ukazatele pohotových výkonů. Pro analýzu byly využity výsledky simulačního modelu zásobní funkce pro jednotlivé varianty přerozdělení nádržních prostorů. Protože simulační model pracuje v měsíčním kroku, slouží odvozené hodnoty ukazatelů energetického využití špičkových elektráren zejména pro porovnání rámcových proporcí mezi jednotlivými variantami. Model však neumožňuje detailně postihnout reálné provozní podmínky hydroenergetického systému na Vltavské kaskádě. Hodnocení se zaměřilo na tyto ukazatele:

1. Průměrné roční výroby elektrické energie

Bilance ročních výrob energie je odvozena z měsíčních hodnot získaných na podkladě průběhů průměrných měsíčních průtoků a polohy hladin v rámci simulovaných 1000-letých průtokových řad. Na podkladě těchto údajů je odvozeno, jaká část z celkového převáděného průtoku vodním dílem je využitelná ve vodní elektrárně a je určena hodnota průměrného měsíčního spádu v daném výpočetním kroku (měsíci). Následně je odvozen průměrný výkon dle výkonových charakteristik (obr. 5.1) a hodnota měsíční výroby. Po simulaci celé průtokové řady jsou odvozeny hodnoty průměrné roční výroby za simulované období a její čára překročení.

2. Maximální pohotové výkony

Maximální pohotové výkony jsou hodnoceny opět po jednotlivých měsících průtokové řady jako maximální okamžité hodnoty výkonů po otevření všech turbín dané vodní elektrárny na maximální hltlost. Velikost maximálních pohotových výkonů je tedy závislá na maximální hltlosti všech turbín vodní elektrárny a průměrném měsíčním spádu.

Hodnota maximálního pohotového výkonu představuje okamžitou disponibilní hodnotu, ale neobsahuje informaci o době jeho udržitelnosti, která ve skutečnosti závisí na momentálním volném prostoru v níže ležící vyrovnávací nádrži.

3. Pohotové výkony po dobu 4 hodin

Tento ukazatel energetického využití jednotlivých špičkových vodních elektráren již umožňuje posoudit využitelný výkon, který bude zajištěn po určitou dobu. Na základě konzultací s provozovatelem špičkových vodních elektráren (ČEZ, a.s.) byla zvolena doba 4 hodin. Výkon byl hodnocen pro dvě základní modelové situace:

- a) vyrovnávací nádrž pod špičkovou elektrárnou je zcela prázdná,
- b) vyrovnávací nádrž je prázdná pouze z jedné poloviny.

Pro potřeby analýzy byly uvažovány tyto parametry vyrovnávacích nádrží pod jednotlivými špičkovými elektrárnami a určeny disponibilní energeticky využitelné průtoky po dobu 4 hodin:

VE Lipno I

vyrovnávací nádrž: Lipno II

Lipno II	H [m n. m.]	V [mil. m3]
Hs (stálé nadržení)	557.60	0.222
Hv = Hmax	562.70	1.664
vyrovnávací prostor		1.442

doba špičkového provozu: 4 hod
 maximální hltlost VE: $92 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Pohotovové průtoky po dobu 4 hodin:

stav vyrovnávací nádrže	Q [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	$Q_{\max}$ [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	$Q_{\text{pohotové}}$ [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
a) prázdný vyrovnávací prostor	100.14	92.00	92.00
b) pouze polovina prázdná	50.07	92.00	50.07

VE Orlík

vyrovnávací nádrž: Kamýk a částečně Slapy

Kamýk	H [m n. m.]	V [mil. m3]
Hs (stálé nadržení)	282.10	8.324
Hv = Hmax	284.60	12.976
vyrovnávací prostor		4.652

Slapy		
Léto (IV - IX)	H [m n. m.]	V [mil. m3]
Hspodní	269.50	256.694
Hmax	270.60	269.301
vyrovnávací prostor		12.606

Zima (X - III)	H [m n. m.]	V [mil. m3]
Hspodní	268.00	240.072
Hmax	268.50	245.545
vyrovnávací prostor		5.473

doba špičkového provozu: 4 hod
 maximální hltlost VE: $600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Pohotovové průtoky po dobu 4 hodin:

Léto (IV - IX)	V_p [mil. m ³]	Q [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	$Q_{\max}$ [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	$Q_{\text{pohotové}}$ [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
prázdný vyrovnávací prostor:	17.258	1198.50	600.00	600.00
pouze polovina prázdná:	8.629	599.25	600.00	599.25
Zima (X - III)				
prázdný vyrovnávací prostor:	10.125	703.10	600.00	600.00
pouze polovina prázdná:	5.062	351.55	600.00	351.55

VE Slapy

vyrovnávací nádrž: Štěchovice

Štěchovice		
Léto (IV - IX)	H [m n. m.]	V [mil. m³]
Hs (stálé nadržení)	215.80	7.100
Hv = Hmax	219.40	10.444
vyrovnávací prostor		3.344

Zima (X - III)	H [m n. m.]	V [mil. m³]
Hs (stálé nadržení)	214.80	6.236
Hv = Hmax	219.40	10.444
vyrovnávací prostor		4.208

doba špičkového provozu: 4 hod

maximální hltnost VE: 324 m³.s⁻¹

Pohotovové průtoky po dobu 4 hodin:

	Vp [mil. m ³]	Q [m ³ .s ⁻¹]	Q_{max} [m ³ .s ⁻¹]	Q_{pohotové} [m ³ .s ⁻¹]
Léto (IV - IX)				
prázdný vyrovnávací prostor:	3.344	232.25	324.00	232.25
pouze polovina prázdná:	1.672	116.13	324.00	116.13
Zima (X - III)				
prázdný vyrovnávací prostor:	4.208	292.24	324.00	292.24
pouze polovina prázdná:	2.104	146.12	324.00	146.12

Na základě provedeného rozboru vyplývá, že využitelný disponibilní odtok přes jednotlivé špičkové elektrárny záleží na:

- skutečnosti jak je momentálně naplněná níže ležící vyrovnávací nádrž. V této souvislosti uvažujeme stav, kdy je zcela prázdná a stav kdy je prázdná z poloviny svého pracovního (vyrovnávacího) objemu,
- velikosti vyrovnávacích objemů se liší dle platných manipulačních řádů pro zimní a letní sezónu.

Výsledné hodnoty disponibilních průtoků po dobu 4 hodin obsahuje tab. 5.2.

Tab. 5.2 Disponibilní pohotové průtoky po dobu 4 hodin v závislosti na stavu naplnění vyrovnávací nádrže a kalendářním měsícem.

kalendářní měsíc												
Lipno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
prázdný vyrovnávací prostor:	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0
pouze polovina prázdná:	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1

Orlík	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
prázdný vyrovnávací prostor:	600.0	600.0	600.0	600.0	600.0	600.0	600.0	600.0	600.0	600.0	600.0	600.0
pouze polovina prázdná:	351.5	351.5	351.5	599.3	599.3	599.3	599.3	599.3	599.3	351.5	351.5	351.5

Slapy	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
prázdný vyrovnávací prostor:	292.2	292.2	292.2	232.3	232.3	232.3	232.3	232.3	232.3	292.2	292.2	292.2
pouze polovina prázdná:	146.1	146.1	146.1	116.1	116.1	116.1	116.1	116.1	116.1	146.1	146.1	146.1

5.3 Výsledky hydroenergetického řešení pro současný stav – varianta A.0

Tato kapitola obsahuje výsledky hydroenergetického řešení špičkových elektráren Lipno I, Orlick a Slapy, které je zpracováno pro stávající parametry vodních nádrží Vltavské kaskády dle platného manipulačního řádu. Analýza využívá vodohospodářské řešení zásobní funkce Vltavské kaskády, které je zpracováno pro hodnoty odběrů a vypouštění dle aktuálně platných povolení k nakládání. Hodnota minimálního potřebného odtoku z Vltavské kaskády pod VD Vrané je uvažována aktuálně platnou hodnotou $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Hydroenergetické řešení je zpracováno pro reálné řady průměrných měsíčních průtoků za období 1980 až 2013 a současně pro stochasticky modelované řady o délce 1000 let.

5.3.1 Hydroenergetické řešení v reálných řadách

Výsledky hydroenergetického řešení špičkových vodních elektráren Lipno I, Orlick a Slapy shrnuje následující tab. 5.3 až 5.5. V tabulce 5.3 jsou vyčísleny průměrné roční výroby a maximální pohotové výkony na jednotlivých špičkových elektrárnách se zabezpečeností 100, 99, 95 a 90 %. Maximální pohotové výkony však nezohledňují dobu jejich udržení a je třeba je považovat za okamžité získané s využitím max. hltnosti všech turbín a momentálního spádu.

Následně byly také určeny pohotové výkony po dobu 4 hodin, které byly zpracovány pro předpoklad zcela prázdných vyrovnávacích nádrží na začátku špičky (tab. 5.4) a pro předpoklad z poloviny prázdných vyrovnávacích nádrží (tab. 5.5).

Tab. 5.3 Maximální pohotové výkony.

Hydroenergetické řešení v reálných řadách 1980 - 2013

vodní elektrárna	Ø roční výroba	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	143.2	119.9	120.3	120.6	120.7
VE Orlick	360.4	287.3	292.3	304.0	311.0
VE Slapy	291.2	133.2	133.2	133.2	133.2
celkem	794.8	540.4	545.9	557.8	564.9

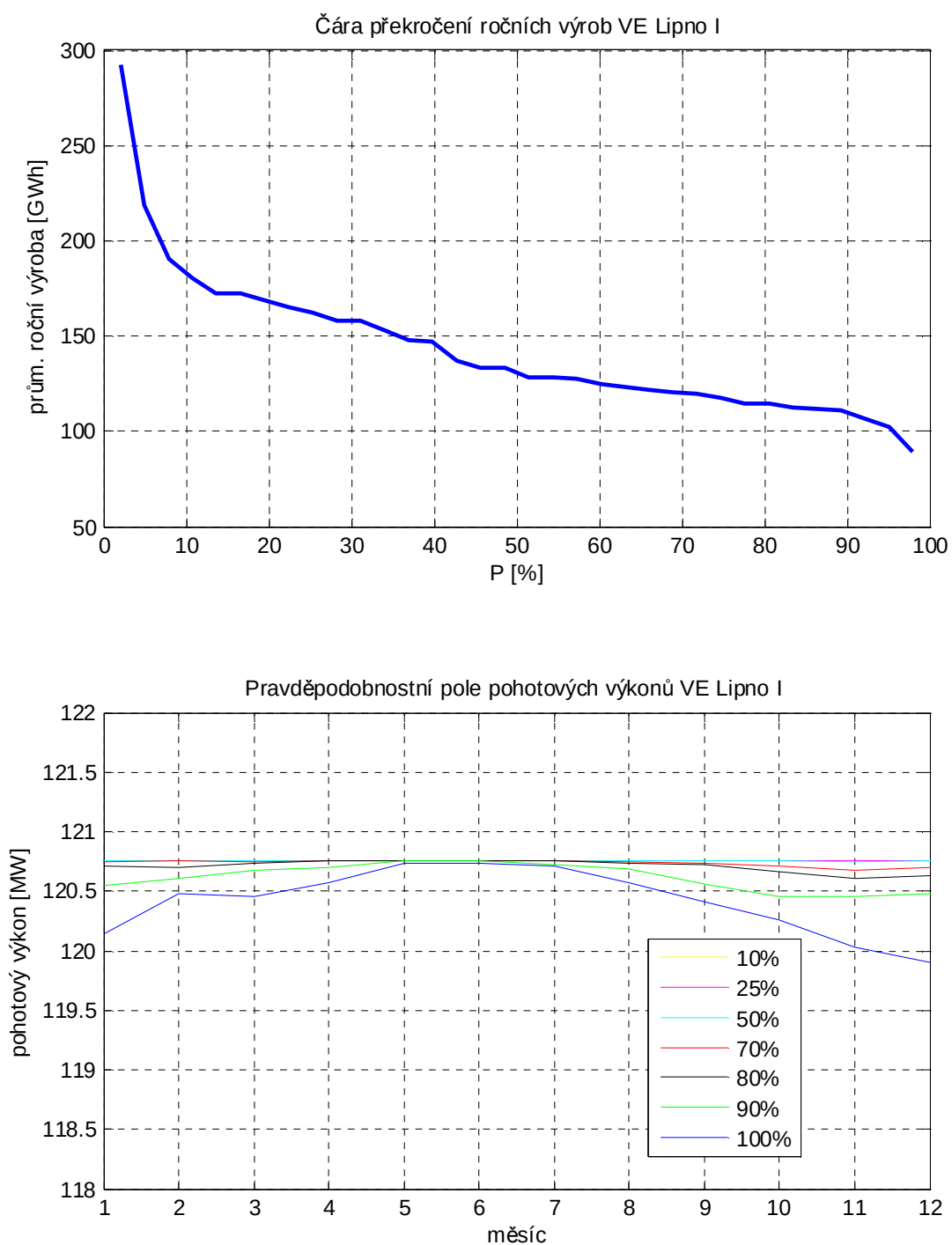
Tab. 5.4 Pohotový výkon po dobu 4 hodin za předpokladu prázdných vyrovnávacích nádrží.

	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	119.9	120.3	120.6	120.7
VE Orlík	287.3	292.3	304.0	311.0
VE Slapy	95.5	95.5	95.5	95.5
celkem	502.7	508.2	520.1	527.2

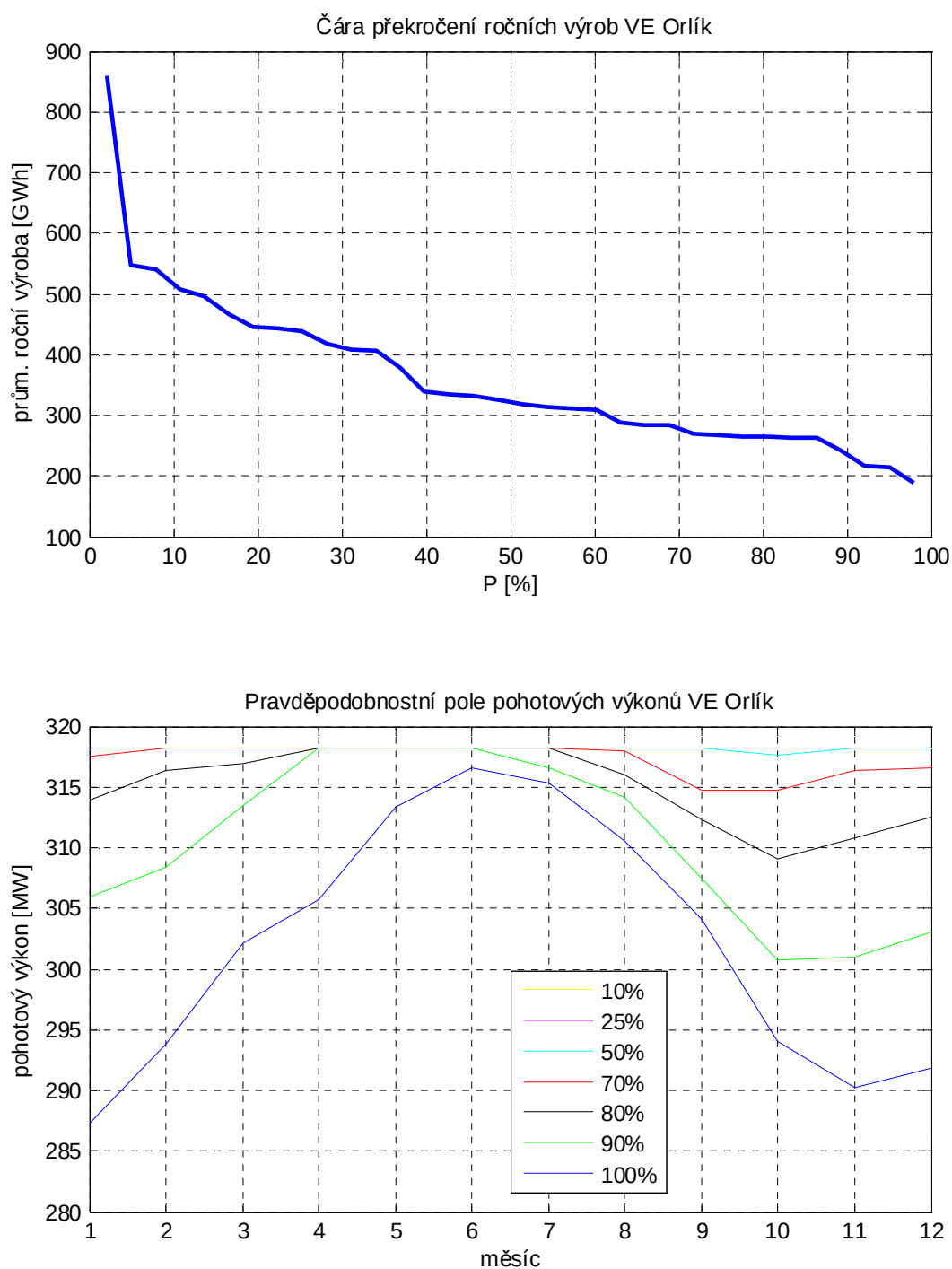
Tab. 5.5 Pohotový výkon po dobu 4 hodin za předpokladu z poloviny prázdných vyrovnávacích nádrží.

	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	65.3	65.5	65.7	65.7
VE Orlík	168.3	171.3	178.3	183.7
VE Slapy	47.7	47.7	47.7	47.7
celkem	281.4	284.5	291.7	297.2

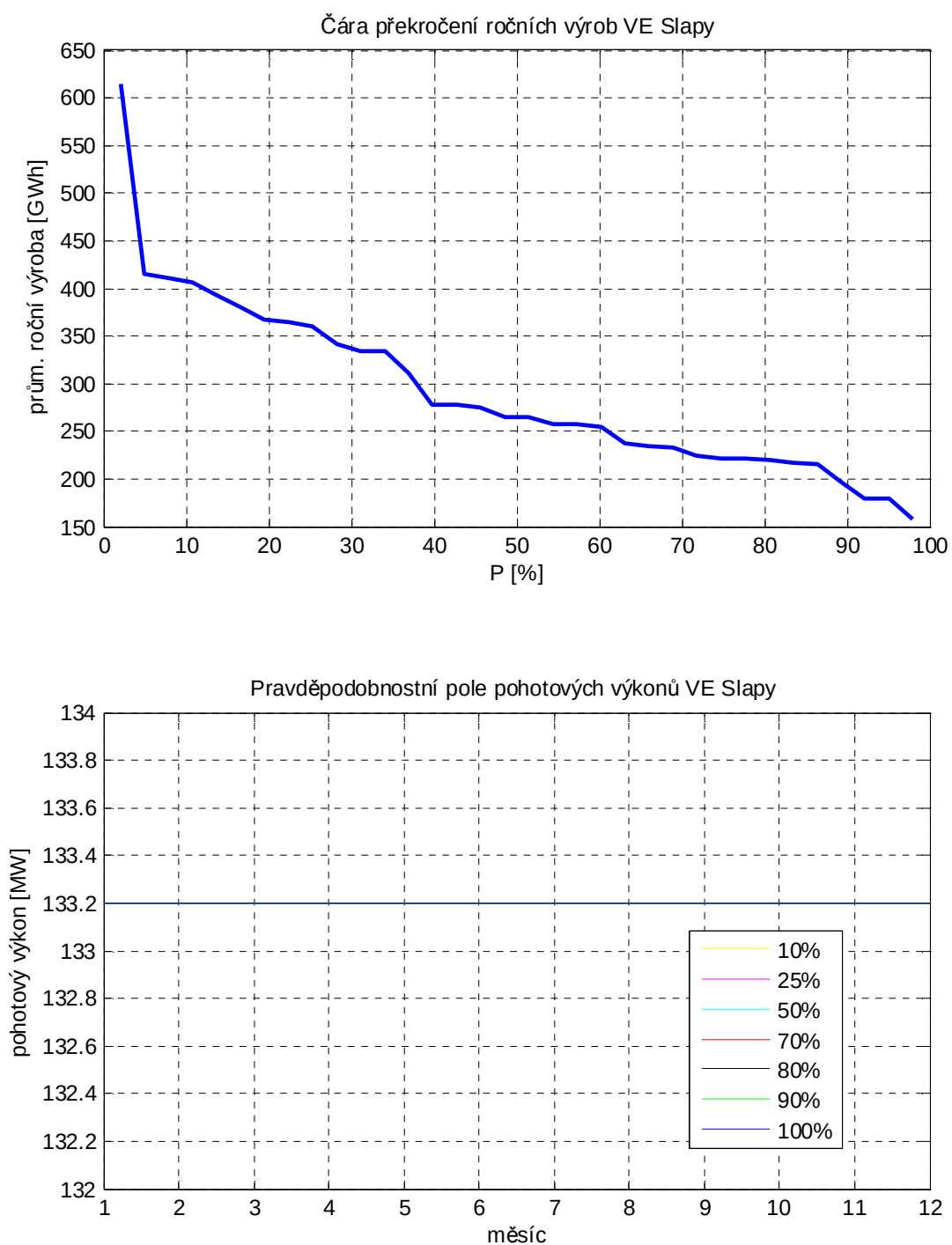
Následující obr. 5.2 až obr. 5.4 znázorňují čáry překročení ročních výrob na jednotlivých vodních elektrárnách a pravděpodobnostní pole maximálních pohotových výkonů v jednotlivých kalendářních měsících.



Obr. 5.2 Varianta A.0 – hydroenergetické řešení VE Lipno I v reálné řadě 1980-2013.



Obr. 5.3 Varianta A.0 – hydroenergetické řešení VE Orlík v reálné řadě 1980-2013.



Obr. 5.4 Varianta A.0 – hydroenergetické řešení VE Slapy v reálné řadě 1980-2013.

5.3.2 Hydroenergetické řešení v modelovaných řadách

Výsledky hydroenergetického řešení špičkových vodních elektráren Lipno I, Orlík a Slapy v modelovaných 1000-letých řadách shrnuje následující tab. 5.6 až 5.8. V tabulce 5.6 jsou vyčísleny průměrné roční výroby a maximální pohotovové výkony na jednotlivých špičkových elektrárnách se zabezpečeností 100, 99, 95 a 90 %. Maximální pohotovové výkony však nezohledňují dobu jejich udržení a je třeba je považovat za okamžité získané s využitím max. hlnosti všech turbín a momentálního spádu.

Následně byly také určeny pohotovové výkony po dobu 4 hodin, které byly zpracovány pro předpoklad zcela prázdných vyrovnávacích nádrží na začátku špičky (tab. 5.7) a pro předpoklad z poloviny prázdných vyrovnávacích nádrží (tab. 5.8).

Tab. 5.6 Průměrné roční výroby a maximální pohotovové výkony.

A.0	Vrané = 40 m ³ .s ⁻¹				
Hydroenergetické řešení v syntetických 1000-letých řadách					
vodní elektrárna	Ø roční výroba	okamžitý výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	138.8	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	346.2	238.2	261.0	289.0	303.2
VE Slapy	285.9	105.9	133.2	133.2	133.2
celkem	770.9	462.6	513.9	542.6	556.9

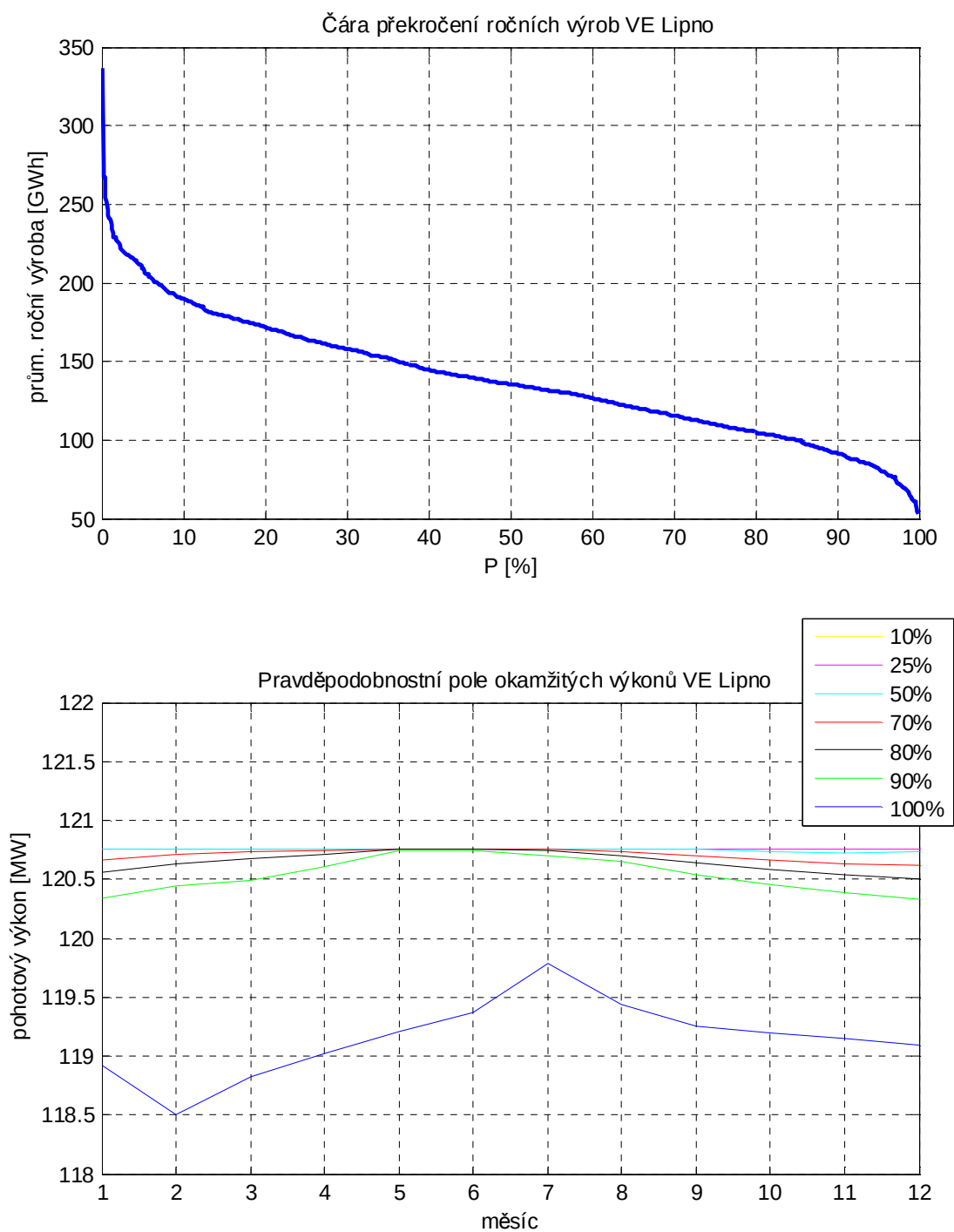
Tab. 5.7 Pohotový výkon po dobu 4 hodin za předpokladu prázdných vyrovnávacích nádrží.

A.0	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	238.2	261.0	289.0	303.2
VE Slapy	80.5	95.5	95.5	95.5
celkem	437.2	476.2	504.9	519.2

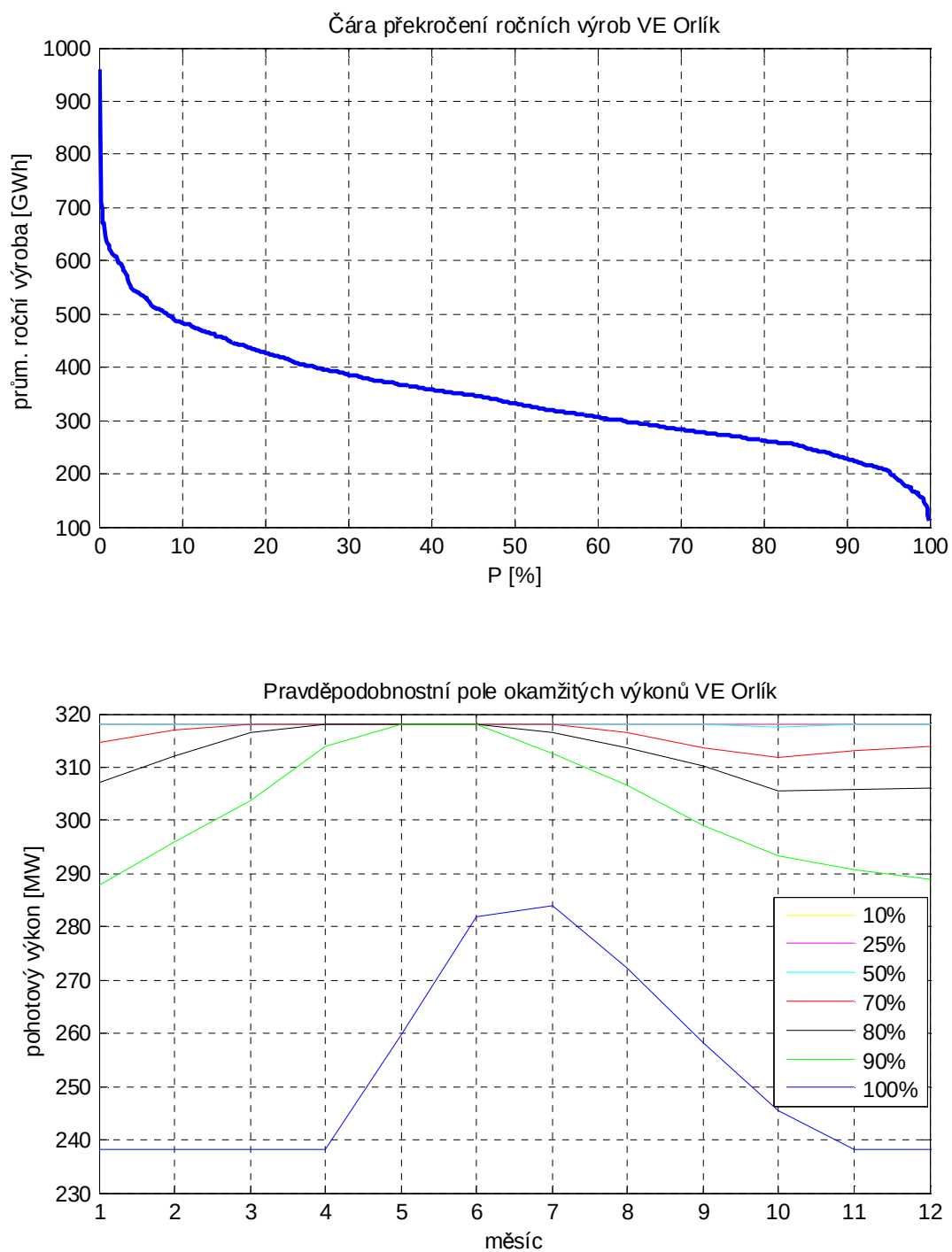
Tab. 5.8 Pohotový výkon po dobu 4 hodin za předpokladu z poloviny prázdných vyrovnávacích nádrží.

A.0	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	64.5	65.2	65.5	65.6
VE Orlík	139.5	153.5	171.3	180.9
VE Slapy	40.3	47.7	47.7	47.7
celkem	244.3	266.5	284.5	294.2

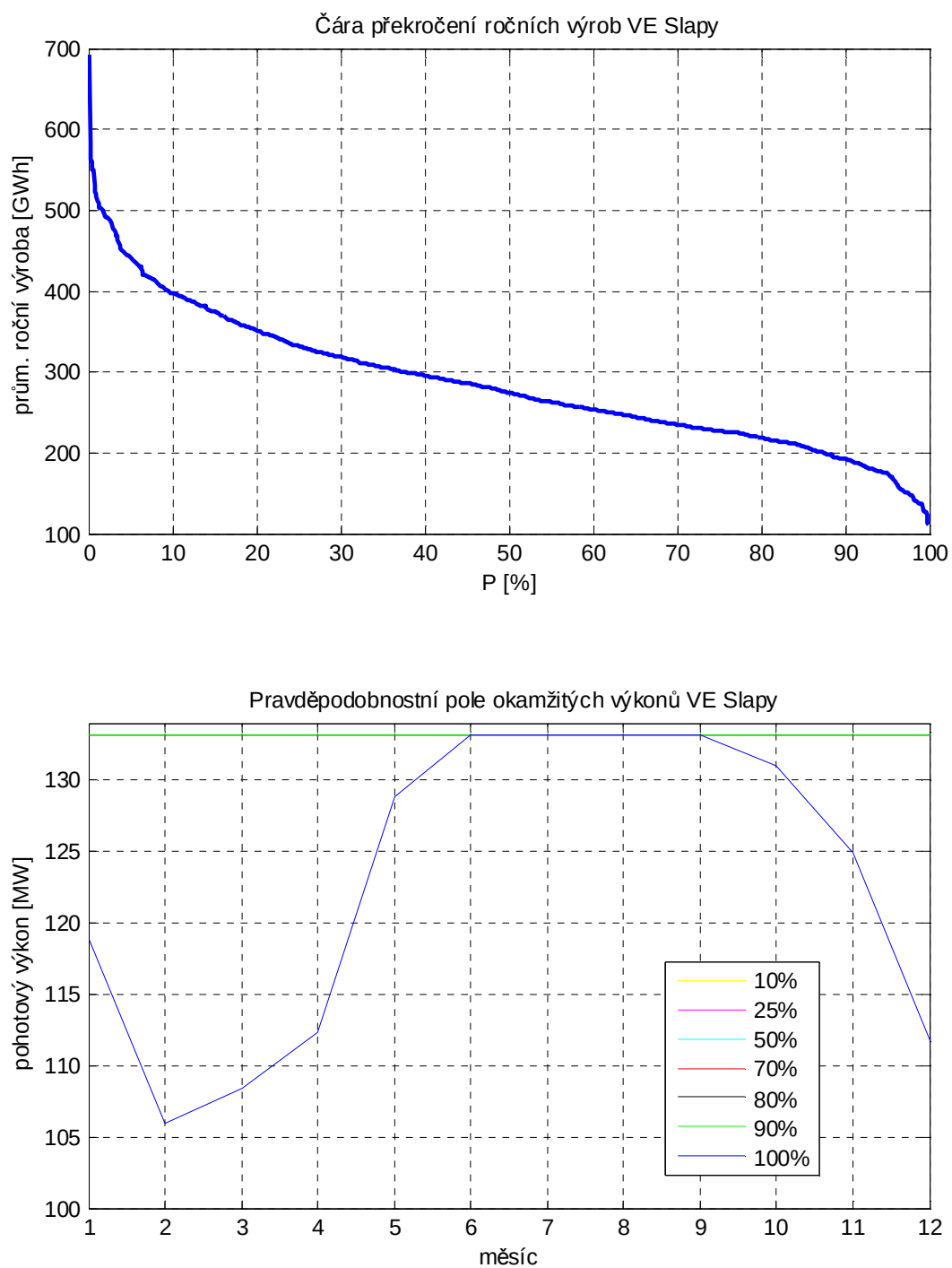
Následující obr. 5.5 až obr. 5.7 znázorňují čáry překročení ročních výrob na jednotlivých vodních elektrárnách a pravděpodobnostní pole maximálních pohotových výkonů v jednotlivých kalendářních měsících.



Obr. 5.5 Varianta A.0 – hydroenergetické řešení VE Lipno I (modelovaná 1000-letá řada).



Obr. 5.6 Varianta A.0 – hydroenergetické řešení VE Orlík (modelovaná 1000-letá řada).



Obr. 5.7 Varianta A.0 – hydroenergetické řešení VE Slapy (modelovaná 1000-letá řada).

5.4 Variantní hydroenergetické řešení

Cílem variantního hydroenergetického řešení je kvantifikace průměrných ročních výrob a pohotových výkonů na špičkových vodních elektrárnách Lipno I, Orlík a Slapy. Simulace byly provedeny v syntetické 1000-leté řadě průměrných měsíčních průtoků pomocí modelu zásobní funkce Vltavské kaskády. Hodnoceny byly ukazatele energetického využití pro 7 variant přerozdělení nádržních prostorů formulovaných v kapitole č. 2 - viz tab. 2.1. Posouzeny byly také tři varianty hodnoty minimálního odtoku z Vltavské kaskády formulované v kapitole č. 4.5. Připomeňme, že se jedná o tyto řady variant:

A – současná hodnota minimálního odtoku pod VD Vrané o velikosti $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,

B – snížená hodnota minimálního odtoku na $28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,

C – zvýšená hodnota minimálního odtoku na $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Varianta současného rozdělení nádržních prostorů a aktuálně platného minimálního odtoku pod VD Vrané řešená v kapitole 5.3 má tedy označení A.0.

Varianta - 0	VD Orlík			VD Slapy			Celkem	
	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0
	[m n. m.]	[mil. m^3]	[mil. m^3]	[m n. m.]	[mil. m^3]	[mil. m^3]	[mil. m^3]	[mil. m^3]
	351.20	374.428	0	270.60	200.500	0	574.928	0

B.0	Vrané = 28 m ³ .s ⁻¹				
Hydroenergetické řešení v syntetických 1000-letých řadách					
vodní elektrárna	Ø roční výroba	okamžitý výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	138.8	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	348.4	270.5	299.9	312.1	315.7
VE Slapy	285.9	133.2	133.2	133.2	133.2
celkem	773.1	522.2	552.9	565.7	569.4

B.0	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	270.5	299.9	312.1	315.7
VE Slapy	95.5	95.5	95.5	95.5
celkem	484.5	515.2	528.0	531.8

B.0	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	64.5	65.2	65.5	65.6
VE Orlík	158.5	176.1	184.3	186.3
VE Slapy	47.7	47.7	47.7	47.7
celkem	270.7	289.1	297.6	299.7

C.0	Vrané = 50 m ³ .s ⁻¹				
Hydroenergetické řešení v syntetických 1000-letých řadách					
vodní elektrárna	Ø roční výroba	okamžitý výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	138.8	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	341.6	211.0	238.2	250.8	275.7
VE Slapy	285.0	102.4	117.5	133.2	133.2
celkem	765.5	431.9	475.5	504.3	529.4

C.0	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	211.0	238.2	250.8	275.7
VE Slapy	73.5	95.5	95.5	95.5
celkem	403.1	453.5	466.6	491.7

C.0	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	64.5	65.2	65.5	65.6
VE Orlík	123.6	139.5	150.3	167.1
VE Slapy	36.7	47.7	47.7	47.7
celkem	224.9	252.5	263.5	280.4

Varianta - 1	VD Orlík			VD Slapy			Celkem	
	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0
	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]
	349.96	344.428	-30	270.60	200.500	0	544.928	-30

A.1	Vrané = 40 m ³ .s ⁻¹				
Hydroenergetické řešení v syntetických 1000-letých řadách					
vodní elektrárna	Ø roční výroba	okamžitý výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	138.8	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	339.4	238.2	252.0	281.4	296.6
VE Slapy	285.9	102.1	133.2	133.2	133.2
celkem	764.1	458.8	505.0	535.0	550.4

A.1	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	238.2	252.0	281.4	296.6
VE Slapy	74.3	95.5	95.5	95.5
celkem	431.0	467.3	497.3	512.7

A.1	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	64.5	65.2	65.5	65.6
VE Orlík	139.5	148.2	167.0	177.3
VE Slapy	37.1	47.7	47.7	47.7
celkem	241.2	261.2	280.2	290.6

B.1	Vrané = 28 m ³ .s ⁻¹				
Hydroenergetické řešení v syntetických 1000-letých řadách					
vodní elektrárna	Ø roční výroba	okamžitý výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	138.8	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	341.6	262.0	293.0	306.1	309.9
VE Slapy	286.0	133.2	133.2	133.2	133.2
celkem	766.3	513.7	546.0	559.6	563.6

B.1	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	262.0	293.0	306.1	309.9
VE Slapy	95.5	95.5	95.5	95.5
celkem	476.0	508.3	521.9	525.9

B.1	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	64.5	65.2	65.5	65.6
VE Orlík	153.5	172.1	180.9	182.9
VE Slapy	47.7	47.7	47.7	47.7
celkem	265.7	285.1	294.1	296.3

C.1	Vrané = 50 m ³ .s ⁻¹				
Hydroenergetické řešení v syntetických 1000-letých řadách					
vodní elektrárna	Ø roční výroba	okamžitý výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	138.8	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	334.8	211.0	238.2	244.5	267.9
VE Slapy	284.7	102.0	115.2	133.1	133.2
celkem	758.3	431.6	473.2	497.9	521.7

C.1	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	211.0	238.2	244.5	267.9
VE Slapy	73.2	94.1	95.5	95.5
celkem	402.8	452.0	460.3	484.0

C.1	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	64.5	65.2	65.5	65.6
VE Orlík	123.6	139.5	145.5	162.5
VE Slapy	36.6	47.0	47.7	47.7
celkem	224.8	251.8	258.7	275.9

Varianta - 2	VD Orlík			VD Slapy			Celkem	
	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0
	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]
	349.96	344.428	-30	267.93	170.500	-30	514.928	-60

A.2	Vrané = 40 m ³ .s ⁻¹				
Hydroenergetické řešení v syntetických 1000-letých řadách					
vodní elektrárna	Ø roční výroba	okamžitý výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	138.8	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	339.4	233.2	252.1	281.5	296.7
VE Slapy	270.5	104.2	125.7	125.7	125.7
celkem	748.8	455.9	497.7	527.6	542.9

A.2	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	233.2	252.1	281.5	296.7
VE Slapy	80.1	90.1	90.1	90.1
celkem	431.8	462.1	492.0	507.4

A.2	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	64.5	65.2	65.5	65.6
VE Orlík	136.6	148.3	167.0	177.3
VE Slapy	40.0	45.1	45.1	45.1
celkem	241.2	258.6	277.6	288.0

B.2	Vrané = 28 m ³ .s ⁻¹				
Hydroenergetické řešení v syntetických 1000-letých řadách					
vodní elektrárna	Ø roční výroba	okamžitý výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	138.8	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	341.6	262.1	293.0	306.1	309.9
VE Slapy	270.6	125.7	125.7	125.7	125.7
celkem	751.0	506.3	538.6	552.2	556.1

B.2	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	262.1	293.0	306.1	309.9
VE Slapy	90.1	90.1	90.1	90.1
celkem	470.7	503.0	516.6	520.5

B.2	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	64.5	65.2	65.5	65.6
VE Orlík	153.5	172.1	180.9	182.9
VE Slapy	45.1	45.1	45.1	45.1
celkem	263.1	282.4	291.5	293.6

C.2	Vrané = 50 m ³ .s ⁻¹				
Hydroenergetické řešení v syntetických 1000-letých řadách					
vodní elektrárna	Ø roční výroba	okamžitý výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	138.8	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	334.9	211.0	237.6	244.7	268.3
VE Slapy	269.3	102.1	111.9	125.7	125.7
celkem	743.0	431.6	469.3	490.8	514.5

C.2	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	211.0	237.6	244.7	268.3
VE Slapy	73.2	90.1	90.1	90.1
celkem	402.7	447.6	455.2	479.0

C.2	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	64.5	65.2	65.5	65.6
VE Orlík	123.6	139.5	145.5	162.6
VE Slapy	36.6	45.1	45.1	45.1
celkem	224.7	249.8	256.1	273.3

Varianta - 3	VD Orlík			VD Slapy			Celkem	
	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0
	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]
	346.83	274.428	-100	270.60	200.500	0	474.928	-100

A.3	Vrané = 40 m ³ .s ⁻¹				
Hydroenergetické řešení v syntetických 1000-letých řadách					
vodní elektrárna	Ø roční výroba	okamžitý výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	138.8	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	321.9	224.6	238.2	262.5	279.2
VE Slapy	285.9	102.7	127.2	133.2	133.2
celkem	746.6	445.8	485.2	516.0	533.0

A.3	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	224.6	238.2	262.5	279.2
VE Slapy	74.5	95.5	95.5	95.5
celkem	417.6	453.5	478.3	495.3

A.3	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	64.5	65.2	65.5	65.6
VE Orlík	131.6	139.5	156.0	167.6
VE Slapy	37.2	47.7	47.7	47.7
celkem	233.3	252.5	269.3	281.0

B.3	Vrané = 28 m ³ .s ⁻¹				
Hydroenergetické řešení v syntetických 1000-letých řadách					
vodní elektrárna	Ø roční výroba	okamžitý výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	138.8	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	324.2	240.1	275.1	290.4	294.8
VE Slapy	286.1	133.1	133.2	133.2	133.2
celkem	749.2	491.7	528.1	544.0	548.6

B.3	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	240.1	275.1	290.4	294.8
VE Slapy	95.5	95.5	95.5	95.5
celkem	454.1	490.4	506.3	510.9

B.3	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	64.5	65.2	65.5	65.6
VE Orlík	140.6	161.7	172.0	174.4
VE Slapy	47.7	47.7	47.7	47.7
celkem	252.9	274.7	285.2	287.7

C.3	Vrané = 50 m ³ .s ⁻¹				
Hydroenergetické řešení v syntetických 1000-letých řadách					
vodní elektrárna	Ø roční výroba	okamžitý výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	138.8	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	317.7	211.0	229.6	238.2	249.8
VE Slapy	283.6	102.0	109.1	127.3	133.2
celkem	740.1	431.6	458.5	485.9	503.5

C.3	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	211.0	229.6	238.2	249.8
VE Slapy	73.5	89.7	95.5	95.5
celkem	403.0	439.1	454.0	465.8

C.3	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	64.5	65.2	65.5	65.6
VE Orlík	123.6	135.8	139.5	151.5
VE Slapy	36.7	44.8	47.7	47.7
celkem	224.9	245.8	252.8	264.9

Varianta - 4	VD Orlík			VD Slapy			Celkem	
	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0
	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]
	346.83	274.428	-100	267.93	170.500	-30	444.928	-130

A.4	Vrané = 40 m ³ .s ⁻¹				
Hydroenergetické řešení v syntetických 1000-letých řadách					
vodní elektrárna	Ø roční výroba	okamžitý výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	138.8	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	322.0	217.2	238.2	262.6	279.3
VE Slapy	270.5	102.4	121.3	125.7	125.7
celkem	731.3	438.2	479.2	508.6	525.5

A.4	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	217.2	238.2	262.6	279.3
VE Slapy	74.7	90.1	90.1	90.1
celkem	410.5	448.1	473.1	490.0

A.4	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	64.5	65.2	65.5	65.6
VE Orlík	127.3	139.5	156.0	167.6
VE Slapy	37.3	45.1	45.1	45.1
celkem	229.1	249.8	266.6	278.3

B.4	Vrané = 28 m ³ .s ⁻¹				
Hydroenergetické řešení v syntetických 1000-letých řadách					
vodní elektrárna	Ø roční výroba	okamžitý výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	138.8	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	324.3	240.1	275.2	290.5	294.9
VE Slapy	270.7	125.7	125.7	125.7	125.7
celkem	733.8	484.4	520.7	536.5	541.1

B.4	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	240.1	275.2	290.5	294.9
VE Slapy	90.1	90.1	90.1	90.1
celkem	448.8	485.1	500.9	505.5

B.4	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	64.5	65.2	65.5	65.6
VE Orlík	140.7	161.8	172.0	174.4
VE Slapy	45.1	45.1	45.1	45.1
celkem	250.3	272.0	282.6	285.1

C.4	Vrané = 50 m ³ .s ⁻¹				
Hydroenergetické řešení v syntetických 1000-letých řadách					
vodní elektrárna	Ø roční výroba	okamžitý výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	138.8	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	317.7	211.0	224.5	238.2	250.0
VE Slapy	268.2	102.3	109.1	122.9	125.7
celkem	724.7	431.9	453.4	481.4	496.3

C.4	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	211.0	224.5	238.2	250.0
VE Slapy	73.4	86.1	90.1	90.1
celkem	403.0	430.3	448.7	460.7

C.4	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	64.5	65.2	65.5	65.6
VE Orlík	123.6	131.8	139.5	151.6
VE Slapy	36.7	43.0	45.1	45.1
celkem	224.9	240.0	250.1	262.3



Varianta - 5	VD Orlík			VD Slapy			Celkem	
	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0
	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]
	341.20	166.160	-208.2677	270.60	200.500	0	366.660	-208.2677

A.5	Vrané = 40 m ³ .s ⁻¹				
Hydroenergetické řešení v syntetických 1000-letých řadách					
vodní elektrárna	Ø roční výroba	okamžitý výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	138.8	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	293.6	211.0	238.2	238.2	249.5
VE Slapy	284.9	102.2	111.4	127.4	133.2
celkem	717.3	431.7	469.4	486.0	503.2

A.5	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	211.0	238.2	238.2	249.5
VE Slapy	73.9	91.0	95.5	95.5
celkem	403.5	449.0	454.0	465.5

A.5	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	64.5	65.2	65.5	65.6
VE Orlík	123.6	139.5	139.8	150.0
VE Slapy	36.9	45.5	47.7	47.7
celkem	225.1	250.3	253.0	263.4

B.5	Vrané = 28 m ³ .s ⁻¹				
Hydroenergetické řešení v syntetických 1000-letých řadách					
vodní elektrárna	Ø roční výroba	okamžitý výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	138.8	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	295.8	238.2	244.3	261.3	266.6
VE Slapy	286.3	106.3	132.7	133.2	133.2
celkem	720.9	463.0	496.8	514.9	520.3

B.5	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	238.2	244.3	261.3	266.6
VE Slapy	89.7	95.5	95.5	95.5
celkem	446.4	459.5	477.2	482.6

B.5	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	64.5	65.2	65.5	65.6
VE Orlík	139.5	143.8	155.2	158.1
VE Slapy	44.9	47.7	47.7	47.7
celkem	248.9	256.8	268.5	271.5

C.5	Vrané = 50 m ³ .s ⁻¹				
Hydroenergetické řešení v syntetických 1000-letých řadách					
vodní elektrárna	Ø roční výroba	okamžitý výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	138.8	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	290.1	211.0	213.7	238.2	238.2
VE Slapy	280.0	102.0	106.4	119.4	128.3
celkem	709.0	431.5	439.9	477.9	487.0

C.5	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	211.0	213.7	238.2	238.2
VE Slapy	73.1	82.4	94.3	95.5
celkem	402.7	416.0	452.8	454.2

C.5	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	64.5	65.2	65.5	65.6
VE Orlík	123.6	125.7	139.5	139.5
VE Slapy	36.6	41.2	47.1	47.7
celkem	224.7	232.2	252.2	252.9

Varianta - 6	VD Orlík			VD Slapy			Celkem	
	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0
	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]
	334.67	65.018	-309.410	270.60	200.500	0	265.518	-309.410

A.6	Vrané = 40 m ³ .s ⁻¹				
Hydroenergetické řešení v syntetických 1000-letých řadách					
vodní elektrárna	Ø roční výroba	okamžitý výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	138.8	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	258.3	211.0	224.6	238.2	238.2
VE Slapy	280.5	102.0	106.0	116.6	124.2
celkem	677.6	431.6	450.4	475.2	482.9

A.6	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	211.0	224.6	238.2	238.2
VE Slapy	73.2	79.9	90.6	94.4
celkem	402.7	424.3	449.1	453.1

A.6	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	64.5	65.2	65.5	65.6
VE Orlík	123.6	132.1	139.5	139.5
VE Slapy	36.6	39.9	45.3	47.2
celkem	224.7	237.2	250.3	252.4

B.6	Vrané = 28 m ³ .s ⁻¹				
Hydroenergetické řešení v syntetických 1000-letých řadách					
vodní elektrárna	Ø roční výroba	okamžitý výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	138.8	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	258.4	236.9	238.2	238.2	238.3
VE Slapy	285.5	102.1	113.7	126.7	130.4
celkem	682.7	457.5	471.6	485.2	489.2

B.6	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	236.9	238.2	238.2	238.3
VE Slapy	73.9	88.2	94.3	95.5
celkem	429.3	446.2	452.9	454.4

B.6	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	64.5	65.2	65.5	65.6
VE Orlík	138.8	139.5	139.6	139.6
VE Slapy	36.9	44.1	47.1	47.7
celkem	240.3	248.9	252.3	253.0

C.6	Vrané = 50 m ³ .s ⁻¹				
Hydroenergetické řešení v syntetických 1000-letých řadách					
vodní elektrárna	Ø roční výroba	okamžitý výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	138.8	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	257.4	211.0	211.0	224.5	238.2
VE Slapy	272.7	102.0	104.5	111.6	119.4
celkem	668.9	431.6	435.3	456.5	478.1

C.6	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	211.0	211.0	224.5	238.2
VE Slapy	73.2	77.0	87.6	92.0
celkem	402.7	407.8	432.4	450.6

C.6	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	64.5	65.2	65.5	65.6
VE Orlík	123.6	123.6	131.5	139.5
VE Slapy	36.6	38.5	43.8	46.0
celkem	224.7	227.3	240.8	251.1

Varianta - 7	VD Orlík			VD Slapy			Celkem	
	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Hz - kóta zásobního prostoru	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0	Vz - objem zásobního prostoru	ΔV - změna oproti var 0
	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]
	293.00	0	-374.280	270.60	200.500	0	200.500	-374.280

A.7	Vrané = 40 m ³ .s ⁻¹				
Hydroenergetické řešení v syntetických 1000-letých řadách					
vodní elektrárna	Ø roční výroba	okamžitý výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	138.8	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VE Slapy	281.0	102.0	106.0	116.6	124.1
celkem	419.8	220.5	225.8	237.0	244.6

A.7	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	0.0	0.0	0.0	0.0
VE Slapy	73.2	80.1	90.5	94.4
celkem	191.8	199.9	210.9	214.9

A.7	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	64.5	65.2	65.5	65.6
VE Orlík	0.0	0.0	0.0	0.0
VE Slapy	36.6	40.0	45.2	47.2
celkem	101.1	105.2	110.8	112.8

B.7	Vrané = 28 m ³ .s ⁻¹				
Hydroenergetické řešení v syntetických 1000-letých řadách					
vodní elektrárna	Ø roční výroba	okamžitý výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	138.8	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VE Slapy	285.6	102.3	113.5	126.6	130.2
celkem	424.5	220.8	233.3	247.0	250.8

B.7	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlick	0.0	0.0	0.0	0.0
VE Slapy	73.8	88.1	94.3	95.5
celkem	192.3	207.9	214.6	216.0

B.7	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	64.5	65.2	65.5	65.6
VE Orlick	0.0	0.0	0.0	0.0
VE Slapy	36.9	44.0	47.1	47.7
celkem	101.4	109.3	112.7	113.4

C.7	Vrané = 50 m ³ .s ⁻¹				
Hydroenergetické řešení v syntetických 1000-letých řadách					
vodní elektrárna	Ø roční výroba	okamžitý výkon [MW] se zabezpečeností:			
	[GWh]	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	138.8	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VE Slapy	274.1	102.1	104.4	111.6	119.3
celkem	412.9	220.6	224.2	232.0	239.9

C.7	prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	118.5	119.8	120.4	120.5
VE Orlík	0.0	0.0	0.0	0.0
VE Slapy	73.2	77.3	87.7	92.0
celkem	191.7	197.1	208.0	212.5

C.7	z 1/2 prázdné vyrovnávací nádrže			
vodní elektrárna	pohotový výkon [MW] se zabezpečeností:			
	p = 100%	p = 99%	p = 95%	p = 90%
VE Lipno I	64.5	65.2	65.5	65.6
VE Orlík	0.0	0.0	0.0	0.0
VE Slapy	36.6	38.6	43.8	46.0
celkem	101.1	103.9	109.4	111.6

5.5 Shrnutí hydroenergetického řešení

Zpracovaná analýza se zaměřila na vyhodnocení průměrných ročních výrob na jednotlivých špičkových elektrárnách Vltavské kaskády (Lipno I, Orlík a Slapy) a na určení pohotových výkonů.

Výsledné vyhodnocení hydroenergetice funkce špičkových vodních elektráren Lipno I, Orlík a Slapy ve vazbě na zajištění minimálního potřebného průtoku pod VD Vrané uvádí následující tab. 5.9.

Tab. 5.9 Výsledky hydroenergetického řešení špičkových elektráren Lipno I, Orlík a Slapy.

Varianta	MPP (Vrané)	VD Orlík	VD Slapy	VE Lipno I, Orlík a Slapy			
		změna Vz oproti současnosti	změna Vz oproti současnosti	Ø roční výroba	ΔEr - změna oproti současnosti	min. výkon po dobu 4 hodin (prázd. vyrovnávací nádrže)	min. výkon po dobu 4 hodin (z 1/2 prázd. vyrovnávací nádrže)
		[mil. m ³]	[mil. m ³]	[GWh]	[%]	[MW]	[MW]
A.0	40	0	0	771	0	437	244
A.1	40	-30	0	764	-1	431	241
A.2	40	-30	-30	749	-3	432	241
A.3	40	-100	0	747	-3	418	233
A.4	40	-100	-30	731	-5	411	229
A.5	40	-208	0	717	-7	404	225
A.6	40	-309	0	678	-12	403	225
A.7	40	-374	0	420	-46	192	101
B.0	28	0	0	773	0	485	271
B.1	28	-30	0	766	-1	476	266
B.2	28	-30	-30	751	-3	471	263
B.3	28	-100	0	749	-3	454	253
B.4	28	-100	-30	734	-5	449	250
B.5	28	-208	0	721	-6	446	249
B.6	28	-309	0	683	-11	429	240
B.7	28	-374	0	425	-45	192	101
C.0	50	0	0	766	-1	403	225
C.1	50	-30	0	758	-2	403	225
C.2	50	-30	-30	743	-4	403	225
C.3	50	-100	0	740	-4	403	225
C.4	50	-100	-30	725	-6	403	225
C.5	50	-208	0	709	-8	403	225
C.6	50	-309	0	669	-13	403	225
C.7	50	-374	0	413	-46	192	101

6. Vyhodnocení plavebních podmínek na Vltavské vodní cestě

Předmětem této části studie je zhodnocení vlivu snížení hladin zásobního prostoru vodních nádrží Orlík a Slapy na vhodné plavební podmínky na Vltavské vodní cestě v úseku České Budějovice až VD Slapy pomocí vyhodnocení četnosti hladin a podkročení plavebních hloubek. Cílem je také zhodnocení vlivu na rekreační účel VD Orlík a VD Slapy kvantifikací omezení provozu přístavišť v nádržích pro jednotlivé varianty přerozdělení nádržních prostorů.

Zákon 114/1995 Sb. o vnitrozemské plavbě uvádí úsek Vltavy od ř. km 239,6 (České Budějovice) po ř. km 91,5 (Třebeň) jako dopravně významnou využívanou vodní cestu jen pro plavidla o nosnosti do 300 tun. Rozměry vodních cest dopravně významných, včetně jejich zařazení do tříd, a plavebně provozní podmínky umístění mostů a jiných zařízení, která je křížují nad nejvyšší plavební hladinou nebo pod dnem těchto cest, stanoví prováděcí předpis. Tímto předpisem je vyhláška Ministerstva dopravy č. 222/1995 Sb. o vodních cestách, plavebním provozu v přístavech, společné havárii a dopravně nebezpečných věcí. Na základě vyhlášky č. 222/1995 Sb. je úsek vodního toku Vltavy od Českých Budějovic do Třebeníc (tedy také vodní nádrže Orlík a Slapy) vodní cestou I. třídy. Pro I. třídu vodní cesty je nejmenší plavební hloubka, rovna 2,7 m. Skládá se z přípustného ponoru plavidla (2,2 m) a bezpečnostní vzdálenost plavidla nade dnem vodní cesty tzv. marže (0,5 m).

V rámci první etapy splavnění horní Vltavy v úseku České Budějovice – hráz VD Kořensko je však uvažována plavební hloubka hodnotou 1,6 m a plavební hloubka 2,7 m je uvažována „výhledově“. S hodnotou minimální plavební hloubky 1,6 m počítal také např. projekt „Modernizace rejdu PK Kořensko“ také pod VD Kořensko (tedy na konci vzduť VD Orlík). Výhledově se zde ovšem také uvažuje minimální plavební hloubka 2,7 m v souladu s Vyhláškou 222/1995 Sb.

V analýze je tedy jako minimální plavební hloubka pod VD Kořensko uvažována hodnota 1,6 m (1,3 m ponor + 0,3 m marže), což je rovněž v souladu se Sdělením státní plavební správy č. 20/2014 ze dne 21.3.2014 o plavebních parametrech vodních cest sledovaných dopravně významných I. třídy a některých vodních cest sledovaných účelových. V souladu se sdělením č. 20/2014 je v rámci nádrže Slapy uvažována minimální plavební hloubka na úrovni 2,0 m (1,7 m ponor + 0,3 m marže).

Vyhodnocení plavebních podmínek na vltavské vodní cestě bylo provedeno ověřením zajištění minimální plavební hloubky v kritických bodech, které se nacházejí na konci vzduť nádrže Orlík a Slapy. Analýza byla zpracována se zahrnutím hydrodynamického vzduť v závislosti na převáděných průtocích. Pro sestavení modelu byl použit softwarový model HEC – RAS 4.1 (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System), který je vyvíjen ženijní složkou americké armády (U. S. Army Corps of Engineers). Program HEC – RAS je

používán pro tvorbu 1D modelů vodních toků s možností simulace ustáleného i neustáleného proudění. Základem výpočtu ustáleného proudění v 1D matematickém modelu je řešení Bernoulliho rovnice a rovnice kontinuity. Výpočet je prováděn metodou po úsecích.

6.1 Použité podklady

Posouzení vlivu snížení hladin zásobního prostoru vodních děl Orlík a Slapy na vhodné plavební podmínky na vltavské vodní cestě se zabývá vyhodnocením spolehlivosti plavby v celém úseku od Českých Budějovic až po VD Slapy. Hodnocena je tedy možnost zajištění plavebních podmínek, aby bylo možné daný úsek celý proplout. Uvedené hodnocení předpokládá realizaci plavebního stupně Hněvkovice – jez a uvedení celé vltavské vodní cesty do provozu. Zajištění plavby v tomto úseku je nutnou podmínkou pro efektivní využívání nové plavební infrastruktury realizované pro splavnění horní Vltavy v rámci investiční akce „Dokončení Vltavské vodní cesty České Budějovice – Týn nad Vltavou“ a připravovaných lodních zdvihadel Orlík a Slapy. Pro vyhodnocení plavby v tomto úseku byly uvažovány parametry vodní cesty na základě následujících podkladů:

- Zákon 114/1995 Sb. o vnitrozemské plavbě,
- Vyhláška 222/1995 Sb. Ministerstva dopravy ze dne 14. Zář 1995 o vodních cestách, plavebním provozu v přístavech, společné havárii a dopravě nebezpečných věcí,
- Plavební vyhláška č. 3/2014 Státní plavební správy ze dne 22.7.2014 o proplavování plavebními komorami na labsko-vltavské vodní cestě.
- Sdělení Státní plavební správy č. 20/2014 ze dne 21.3.2014 o plavebních parametrech vodních cest sledovaných dopravně významných I. třídy a některých cest sledovaných účelových.
- Parametry vltavské vodní cesty v rámci I. etapy akce „Dokončení Vltavské vodní cesty České Budějovice – Týn nad Vltavou“. ŘVC ČR.

Pro simulaci hydrodynamické hladiny na konci vzduť nádrže Orlík byly využity tyto podklady:

- Stanovení průběhů hladin velkých vod na Vltavě od VD Orlík po VD Kořensko a na Otavě od soutoku s Vltavou po jez Vrcovice. Ing. Petr Sklenář (ČVUT v Praze).
- Povodí Vltavy, s.p.: Kontrola hloubek plavební dráhy, měřený úsek ř. km 198,80 – 200,3. Datum měření: 23. – 30.4.2007. Měřicí člun Joska.
- Hydroprojekt Praha: Údolní řezy: Orlík – Týn nad Vltavou. Duben 1972.

Pro simulaci hydrodynamické hladiny na konci vzduť nádrže Slapy byly využity tyto podklady:

- Povodí Vltavy, s.p.: Zaměření dna nádrže Slapy v rozsahu celé nádrže. Měřicí člun Joska.
- Hydroprojekt Praha: Podélný profil Vltavy a Otavy. Duben 1972.
- Hydroprojekt Praha: Údolní řezy: Slapy-Kamýk. Duben 1972.

6.2 Vyhodnocení plavby mezi VD Orlík a VD Kořensko

Pro analýzu byl využit stávající hydrodynamický model (Sklenář, 2012), který byl zpřesněn na konci vzdutí nádrže Orlík pod VD Kořensko v rozsahu cca 1,5 km na základě zaměření dna Vltavy měřícím člunem Joska (Povodí Vltavy, s.p., 2007).

6.2.1 Hydrodynamický 1D model nádrže Orlík

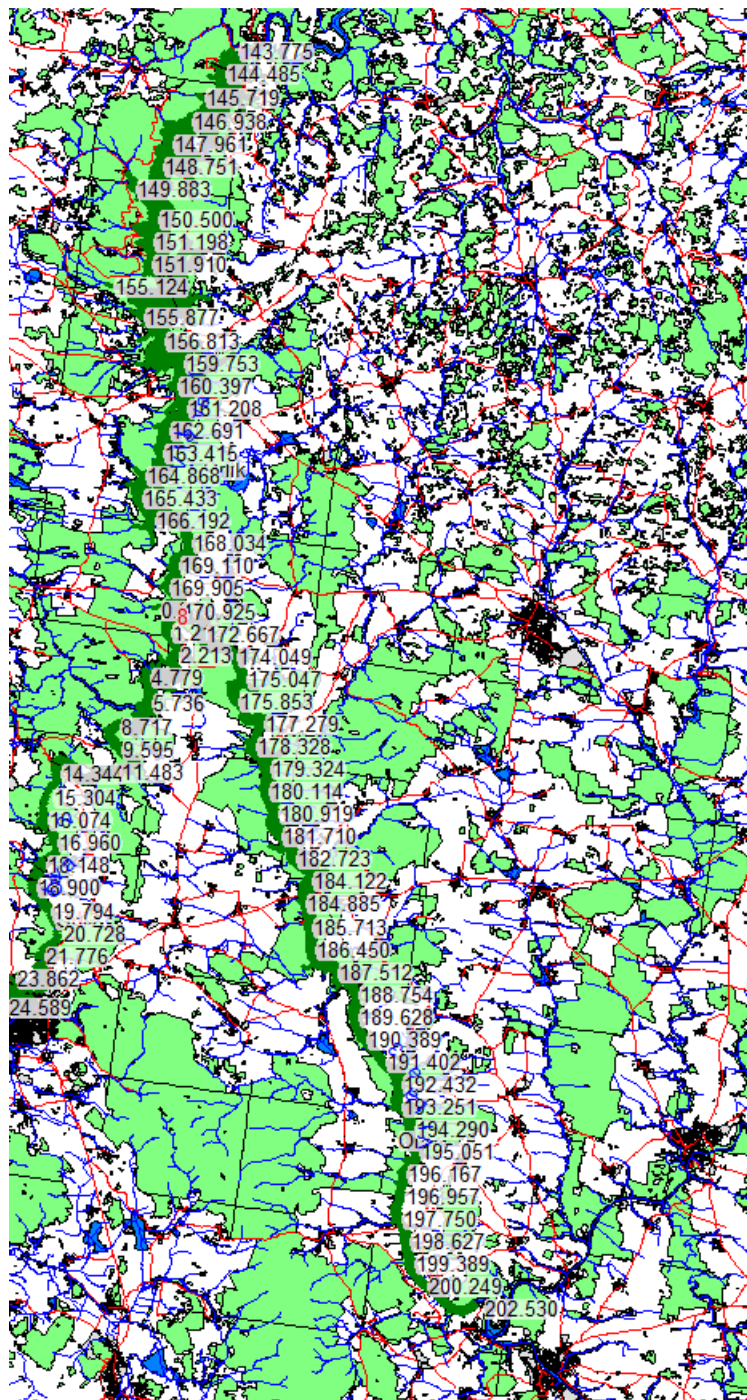
Situace modelu v prostředí HEC-RAS je znázorněna na obr. 6.1. Příčné řezy jsou v osově vzdálenosti cca 20 až 30 m. Na obr. 6.2 je znázorněna geometrie dna Vltavy pod VD Kořensko na základě zaměření měřícím člunem Joska.

Kalibrace modelu byla provedena s využitím následujících dat:

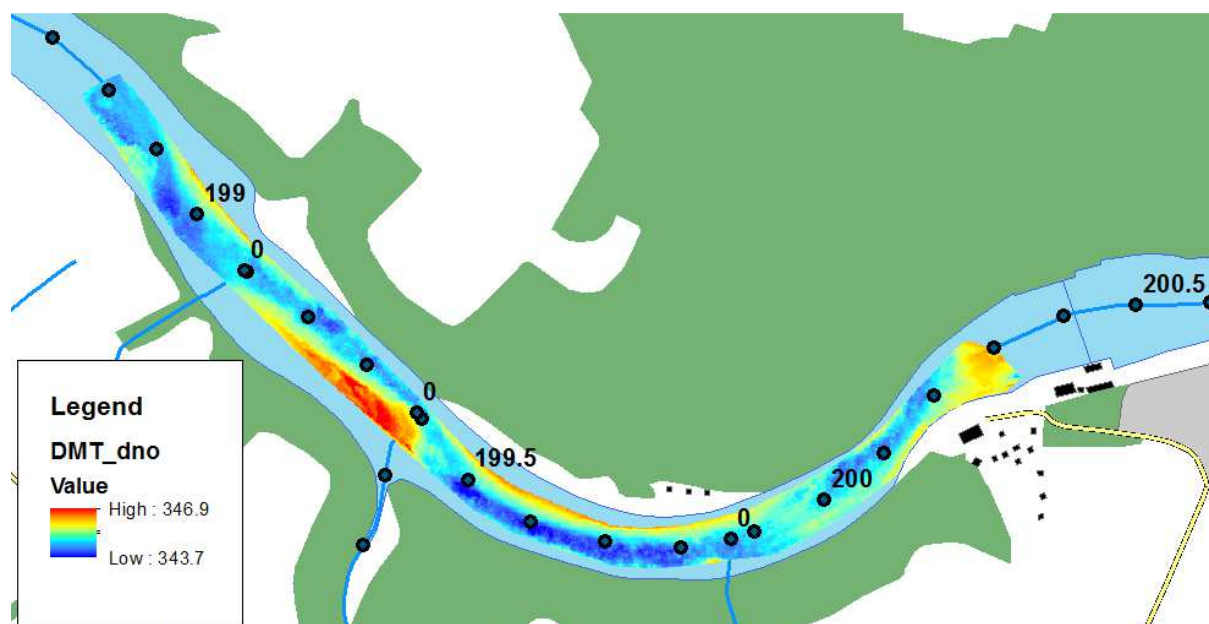
- Měrné křivky dolní vody pro VD Kořensko při vlivu vzdutí VD Orlík a bez vlivu vzdutí. Manipulační řád pro vodní díla Hněvkovice a Kořensko na Vltavě. (revize Povodí Vltavy, s.p., březen 2014).
- Provozní záznamy Povodí Vltavy, s.p. za období 12.2.2013 až 31.5.2013. Záznamy obsahují údaje o poloze hladiny u hráze VD Orlík, pod VD Kořensko a celkový průtok převáděný přes VD Kořensko. Data jsou k dispozici v 10-minutovém kroku.

Přítok do systému z Otavy byl zohledněn na základě hydrologické analogie dle základních hydrologických dat.

Kalibrací hydrodynamického modelu byla optimalizována hodnota Manningovy drsnosti koryta Vltavy na úrovni $n = 0,035$.



Obr. 6.1 Situace hydrodynamického modelu nádrže Orlik v prostředí HEC-RAS.



Obr. 6.2 Znáznornění geometrie dna nádrže Orlík pod VD Kořensko.

Na základě zaměření dna pod VD Kořensko vyplývá, že nejvyšší kóta dna v plavební dráze je na úrovni 345,60 m n. m. Při uvážení minimální plavební hloubky v daném úseku 1,6 m je minimální plavební hydrostatická hladina (při nulovém průtoku) rovna 347,20 m n. m. Zde poznamenejme, že oficiálně platná minimální plavební hladina je dle sdělení SPS č. 20/2014 na úrovni 347,60 m n. m. a je tak mírně na straně bezpečnosti.

Následující tab. 6.1 uvádí minimální potřebné průtoky přes VD Kořensko při daných polohách hladiny u hráze VD Orlík z hlediska zajištění minimální plavební hloubky 1,6 m. Z tabulky vyplývá, že při vzrůstajícím průtoku stačí pro zajištění minimální plavební hloubky menší kóta hladiny u hráze VD Orlík, což je dáno hydrodynamickým vzduším. Analýza byla zpracována po maximální průtok přes VD Kořensko o velikosti $150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, neboť při dosažení tohoto průtoku je v daném úseku zastavena plavba na základě sdělení SPS č. 20/2014.

Tab. 6.1 Zajištění plavebních podmínek pod VD Kořensko v závislosti na průtoku a hladině u hráze VD Orlík.

průtok Kořensko	Kóta hladiny		dno pod Kořenskem	hloubka
	hráz Orlík	pod Kořenskem		
$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$[\text{m n. m.}]$	$[\text{m n. m.}]$	$[\text{m n. m.}]$	$[\text{m}]$
0	347.20	347.20	345.60	1.60
63	347.10			
95	346.95			
110	346.83			
125	346.70			
140	346.45			
150	346.20			

6.2.2 Zabezpečení vodní cesty Orlík – Kořensko pro jednotlivé varianty

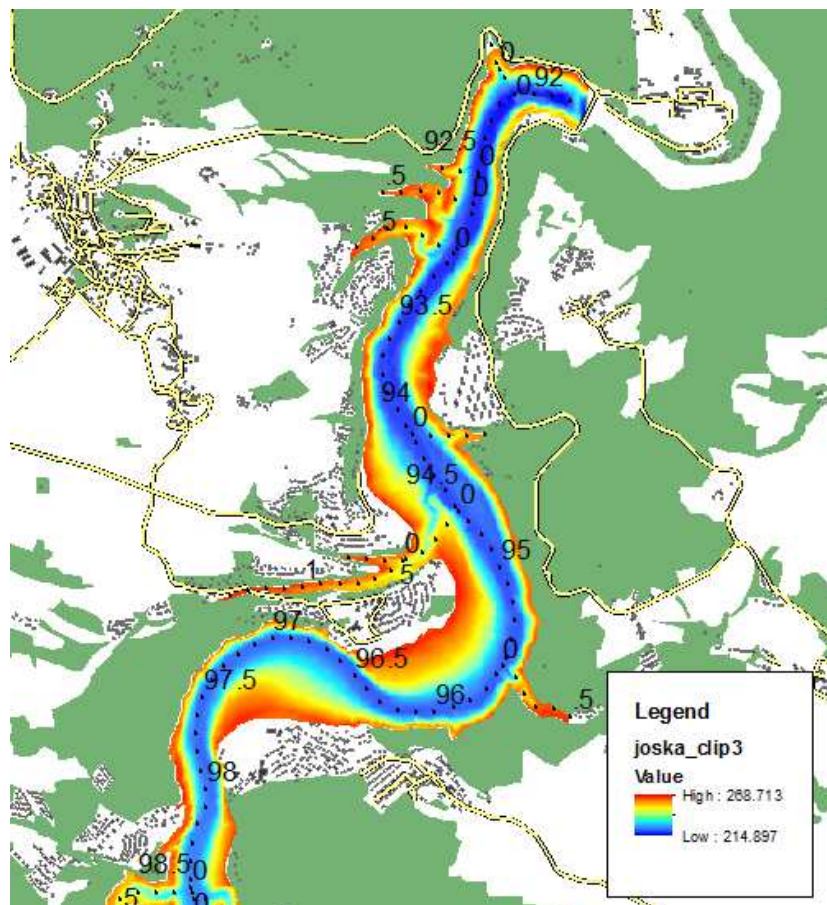
Zabezpečení plavby v úseku Orlík – Kořensko je limitována zajištěním minimální plavební hloubky pod VD Kořensko a hodnotou maximálního plavebního průtoku $150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Vyhodnocení pravděpodobnostních vlastností zajištění plavby bylo provedeno simulací v syntetické 1000-leté řadě v rámci simulačního modelu zásobní funkce Vltavské kaskády. V každém výpočetním kroku tak byly vyhodnoceny plavební podmínky pod VD Kořensko na základě výsledků hydrodynamického modelování z tab. 6.1. Zajištění plavebních podmínek bylo vyhodnoceno pro jednotlivé měsíce plavební sezóny, která je dána provozem plavební komory Kořensko od 1.6. do 30.9. dle plavební vyhlášky 3/2014 Státní plavební správy ze dne 22.7.2014 o proplavování plavebními komorami na labsko-vltavské vodní cestě.

Tab. 6.2 Zabezpečení plavebních podmínek v úseku Orlík – Kořensko.

Varianta	MPP (Vrané)	VD Orlík	VD Slapy	Celkem (Orlík + Slapy)		zabezpečení plavby Orlík - Kořensko			
		změna Vz	změna Vz	Vz - objem zásobního prostoru	změna Vz	VI	VII	VIII	IX
		[$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	[mil. m^3]	[mil. m^3]	[mil. m^3]	[%]	[%]	[%]	[%]
A0	40	0	0	574.928	0	99	99	94	90
A1	40	-30	0	544.928	-30	99	97	90	84
A2	40	-30	-30	514.928	-60	99	97	90	84
A3	40	-100	0	474.928	-100	1	2	2	0
A4	40	-100	-30	444.928	-130	1	2	2	0
A5	40	-208	0	366.660	-208	0	0	0	0
A6	40	-309	0	265.518	-309	0	0	0	0
A7	40	-374	0	200.500	-374	0	0	0	0
B0	28	0	0	574.928	0	100	100	99	97
B1	28	-30	0	544.928	-30	100	99	96	93
B2	28	-30	-30	514.928	-60	100	99	96	93
B3	28	-100	0	474.928	-100	1	2	2	0
B4	28	-100	-30	444.928	-130	1	2	2	0
B5	28	-208	0	366.660	-208	0	0	0	0
B6	28	-309	0	265.518	-309	0	0	0	0
B7	28	-374	0	200.500	-374	0	0	0	0
C0	50	0	0	574.928	0	96	94	86	78
C1	50	-30	0	544.928	-30	95	90	81	73
C2	50	-30	-30	514.928	-60	95	90	81	73
C3	50	-100	0	474.928	-100	1	2	2	0
C4	50	-100	-30	444.928	-130	1	2	2	0
C5	50	-208	0	366.660	-208	0	0	0	0
C6	50	-309	0	265.518	-309	0	0	0	0
C7	50	-374	0	200.500	-374	0	0	0	0

6.3 Vyhodnocení plavby mezi VD Slapy a VD Kamýk

Pro analýzu byl sestaven hydrodynamický model v prostředí HEC-RAS, který byl zpracován na základě zaměření dna slapské nádrže v celém rozsahu měřicím člunem Joska (Povodí Vltavy, s.p., 2007). Na obr. 6.3 je znázorněn detail digitálního modelu terénu nádrže Slapy v okolí hráze.



Obr. 6.3 Digitální model terénu použitý pro sestavení hydrodynamického modelu nádrže Slapy v prostředí HEC-RAS.

6.3.1 Hydrodynamický 1D model nádrže Slapy

Kalibrace modelu byla provedena s využitím provozních záznamů Povodí Vltavy, s.p. za období 1.8.2013 až 30.10.2013. Záznamy obsahují údaje o poloze hladiny u hráze VD Slapy, pod VD Kamýk a celkový průtok převáděný přes VD Kamýk. Data jsou k dispozici v 10-minutovém kroku. Ve sledovaném období se vyskytlo dostatek provozních situací, při kterých byl pod VD Kamýk patrný vliv vzdutí v nádrži Slapy a naopak také situace, kdy byla slapská nádrž povyprázdněna, takže vliv vzdutí nebyl pod VD Kamýk patrný.

Kalibrací hydrodynamického modelu byla optimalizována hodnota Manningovy drsnosti koryta Vltavy na úrovni $n = 0,033$.

Na základě zaměření dna pod VD Kamýk vyplývá, že nejvyšší kóta dna v plavební dráze je na úrovni 267,10 m n. m. Při uvážení minimální plavební hloubky v daném úseku 2,0 m je minimální plavební hydrostatická hladina (při nulovém průtoku) rovna 269,10 m n. m., což je plně v souladu s oficiálně platnou minimální plavební hladinou dle sdělení SPS č. 20/2014.

Následující tab. 6.3 uvádí minimální potřebné průtoky přes VD Kamýk při daných polohách hladiny u hráze VD Slapy z hlediska zajištění minimální plavební hloubky 2,0 m. Z tabulky vyplývá, že při vzrůstajícím průtoku stačí pro zajištění minimální plavební hloubky menší kóta hladiny u hráze VD Slapy, což je dáno hydrodynamickým vzduťm.

Tab. 6.3 Zajištění plavebních podmínek pod VD Kamýk v závislosti na průtoku a hladině u hráze VD Slapy.

průtok Kamýk	hráz Slapy hladina	kritický profil pod Kamýkem			
		ř.km	dno	hladina	hloubka
[m ³ .s ⁻¹]	[m n. m.]		[m n. m.]	[m n. m.]	[m]
0	269.10	134.730	267.10	269.10	2.00
42	268.90	134.400	267.10	269.10	2.00
92	268.70	132.950	266.87	268.87	2.00
128	268.50	132.950	266.87	268.88	2.01
150	268.30	132.950	266.87	268.89	2.02

Výsledky zjištěné hydrodynamickou analýzou dle tab. 6.3 ukazují na možnost plavby v daném úseku i při nižší poloze hladiny než je minimální úroveň 269,10 m n. m. díky hydrodynamickému vzduť pod VD Kamýk při provozu vodní elektrárny (VE). Ve skutečnosti je však provoz VE Kamýk podřízen provozu VE Orlik a mimo špičku není v současnosti přes VD Kamýk převáděn žádný průtok. Z uvedeného důvodu je pro vyhodnocení plavby uvažována hydrostatická hladina na úrovni 269,10 m n. m.

6.3.2 Zabezpečení vodní cesty Slapy – Kamýk pro jednotlivé varianty

Zabezpečení plavby v úseku Slapy – Kamýk je limitována zajištěním minimální plavební hloubky pod VD Kamýk na úrovni hydrostatické hladiny 269,10 m. n. m. Vyhodnocení pravděpodobnostních vlastností zajištění plavby bylo provedeno simulací v syntetické 1000-leté řadě v rámci simulačního modelu zásobní funkce Vltavské kaskády. V každém výpočetním kroku tak byly vyhodnoceny plavební podmínky pod VD Kamýk. Zajištění plavebních podmínek bylo vyhodnoceno pro jednotlivé měsíce plavební sezóny, která je limitována provozem plavební komory Kořensko od 1.6. do 30.9. dle plavební vyhlášky

3/2014 Státní plavební správy ze dne 22.7.2014 o proplavování plavebními komorami na labsko-vltavské vodní cestě.

Tab. 6.4 Zabezpečení plavebních podmínek v úseku Slapy – Kamýk.

Varianta	MPP (Vrané)	VD Orlík	VD Slapy	Celkem (Orlík + Slapy)		zabezpečení plavby Slapy - Kamýk			
		změna Vz	změna Vz	Vz - objem zásobního prostoru	změna Vz	VI	VII	VIII	IX
		[m ³ .s ⁻¹]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[%]	[%]	[%]	[%]
A0	40	0	0	574.928	0	100	100	100	100
A1	40	-30	0	544.928	-30	100	100	100	100
A2	40	-30	-30	514.928	-60	0	0	0	0
A3	40	-100	0	474.928	-100	100	100	100	100
A4	40	-100	-30	444.928	-130	0	0	0	0
A5	40	-208	0	366.660	-208	100	99	98	92
A6	40	-309	0	265.518	-309	97	86	77	67
A7	40	-374	0	200.500	-374	97	86	77	67
B0	28	0	0	574.928	0	100	100	100	100
B1	28	-30	0	544.928	-30	100	100	100	100
B2	28	-30	-30	514.928	-60	0	0	0	0
B3	28	-100	0	474.928	-100	100	100	100	100
B4	28	-100	-30	444.928	-130	0	0	0	0
B5	28	-208	0	366.660	-208	100	100	100	100
B6	28	-309	0	265.518	-309	100	94	90	85
B7	28	-374	0	200.500	-374	100	94	90	85
C0	50	0	0	574.928	0	100	100	99	98
C1	50	-30	0	544.928	-30	99	99	99	98
C2	50	-30	-30	514.928	-60	0	0	0	0
C3	50	-100	0	474.928	-100	99	98	98	94
C4	50	-100	-30	444.928	-130	0	0	0	0
C5	50	-208	0	366.660	-208	98	95	89	81
C6	50	-309	0	265.518	-309	90	76	64	52
C7	50	-374	0	200.500	-374	90	76	64	52

6.4 Dílčí závěry

Z provedené analýzy vyplývá, že provoz vltavské vodní cesty umožňuje pouze varianta 0 a 1. U všech ostatních variant dochází k přerušení vodní cesty na konci vzdutí VD Slapy nebo VD Orlík.

7. Vyhodnocení vlivu na rekreaci

Rekreační využití nádrží Orlík a Slapy je velmi intenzivní. Jedná se o tradiční rekreační oblasti s poměrně hustou turistickou a rekreační infrastrukturou a vybavením pro rekreační a sportovní plavbu. Tato okolnost je podmíněna poměrně vyrovnanými hladinovými poměry, které jsou stabilní zejména na nádrži Slapy, což vychází z manipulačních pravidel pro hospodaření s vodou v zásobních prostorech daných platným manipulačním řádem. Nádrž Slapy se prázdní až po významném povypřázdňení nádrže Orlík a plnění nádrží je v opačném pořadí. Tento požadavek vychází historicky z potřeby optimalizace spádů a tedy výkonů vodních elektráren.

Pro vyhodnocení vlivu jednotlivých variant na rekreační potenciál nádrží Orlík a Slapy byly hodnoceny zejména plavební podmínky v okolí současné plavební infrastruktury. Hodnocení bylo zaměřeno zejména na dva základní aspekty:

- zajištění minimálních plavebních hloubek v prostoru stávajících trvalých přístavišť v nádržích,
- posouzení kolísání hladiny v nádržích během jednoho roku a během plavební sezóny s ohledem na frekvenci potřebného převazování plavidel při změně polohy hladiny.

7.1 Použité podklady

Pro zpracování analýzy byly využity následující podklady:

- Povodí Vltavy, s.p.: Zaměření dna nádrže Orlík v rozsahu od hráze VD Orlík po most Podolsko. Měřicí člun Joska.
- Povodí Vltavy, s.p.: Zaměření dna nádrže Slapy v rozsahu celé nádrže. Měřicí člun Joska.
- Územně technické podklady využití vodní plochy a břehových pozemků vodní nádrže Orlík. Hydroprojekt CZ a.s., říjen 2010.
- Územně technické podklady využití vodní plochy a břehových pozemků vodní nádrže Slapy. Hydroprojekt CZ a.s., říjen 2010.
- výsledky simulačního modelu zásobní funkce Vltavské kaskády – viz kapitola č. 4.

7.2 Vyhodnocení rekreace na nádrži Orlík

7.2.1 Současné rekreační využití nádrže Orlík

Ke zpracování rešerše současného rekreačního využití nádrže Orlík byly použity materiály Územně technických podkladů využití vodní plochy a břehových pozemků vodní nádrže Orlík. Tyto podklady byly zpracovány v říjnu 2010 firmou Hydroprojekt CZ a.s. Současná možnost rekreačního využití nádrže Orlík je velmi rozmanitá. V okolí nádrže se nachází mnoho

rekreačních zařízení, která využívají plochu vodní nádrže Orlík k různým druhům volnočasových aktivit. Mezi nejrozšířenější patří především plavba spojená s turistikou po významných památkách a místech okolí nádrže Orlík, využívají se pláže v přilehlých kempech pro stanování a rodinnou rekreaci.

Tab. 7.1 Přehledná statistika počtu typů přístavišť a jejich umístění u břehu VD Orlík.

VD Orlík Typ přístaviště	Umístění - PB pravý břeh	Umístění - LB levý břeh	Přístavů celkem	Přístavy stávající	Přístavy navržené
Krátkodobé veřejné vyhrazené stání	6	3	9	6	3
Krátkodobé kotviště	0	4	4	3	1
Krátkodobé kotviště - řeka Otava	2	2	4	2	2
Marina	1	2	3	3	0
Sportovní kotviště	20	18	38	38	0
Sportovní přístav	1	0	1	1	0

Přehled plavební infrastruktury na nádrži Orlík je uveden v příloze č. 2.

Přehled ubytovacích kapacit u nádrže Orlík je uveden v příloze č. 3.

7.2.2 Zabezpečení provozu přístavišť v nádrži Orlík

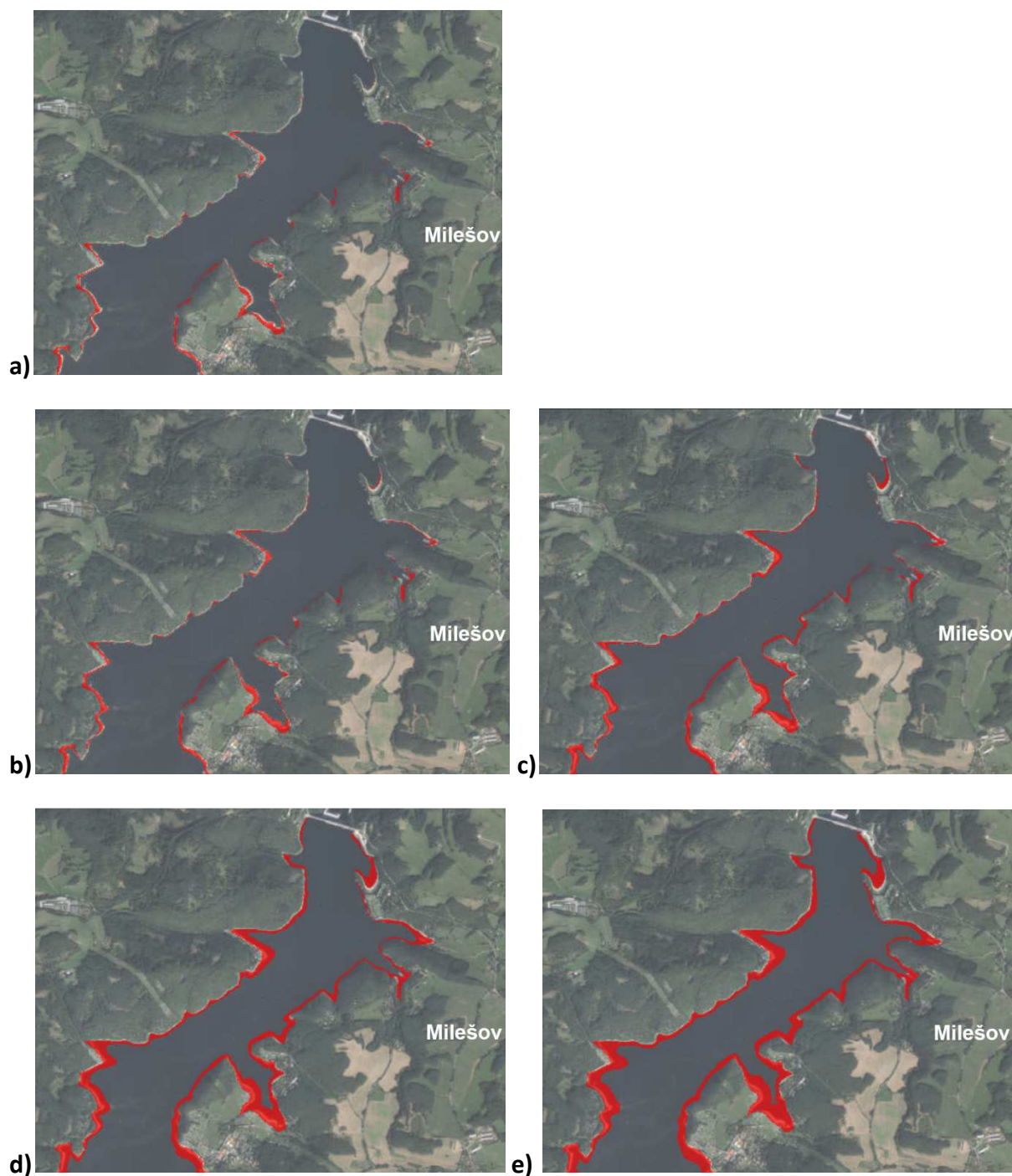
Zabezpečení provozu přístavišť v nádrži Orlík byla vyhodnocena pro jednotlivé varianty realokace nádržních prostorů pro současně platný minimální odtok z Vltavské kaskády na úrovni $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Pro zabezpečení provozu jednotlivých přístavišť byla pro každou řešenou variantu stanovena charakteristická hladina vody v nádrži, která je zabezpečena s 90% pravděpodobností po dobu plavební sezóny na nádrži Orlík. Plavební sezóna v nádrži Orlík je v období měsíců duben až září. Poměrně vysoká hodnota zabezpečení hladiny vody v nádrži je důležitá pro udržení provozu přístavišť. Hodnocení bylo zpracováno simulací zásobní funkce Vltavské kaskády v 1000-leté syntetické řadě a výsledky jsou uvedeny v tab. 7.2.

Tab. 7.2 Polohy hladin s 90% zabezpečení v období plavební sezóny (IV-IX) na nádrži Orlík pro jednotlivé varianty přerozdělení nádržních prostorů.

VD Orlík								
Varianta	0	1	2	3	4	5	6	7
H _z [m n. m.]	351.20	349.96	349.96	346.83	346.83	341.20	334.67	293.00
H _{90%} [m n. m.]	349.31	347.99	347.99	344.64	344.64	338.51	334.60	293.00

V další fázi byl pomocí zaměření dna nádrže Orlík vyměřovacím plavidlem Povodí Vltavy, s.p. v rozsahu hráz vodního díla až po podolský most sestaven digitální model. S využitím GIS

analýzy byl následně vyexportován rastr znázorňující oblasti s nedostatečnou plavební hloubkou v prostoru nádrže pro jednotlivé varianty řešení – viz obr. 7.1. Minimální plavební hloubka v nádrži Orlík je 1,60 m.



Obr. 7.1 Vyznačení oblastí s nedostatečnou plavební hloubkou (červeně) v zátokách nádrže Orlík pro jednotlivé varianty: a) varianta 0, b) varianta 1 a 2, c) varianta 3 a 4, d) varianta 5, e) varianta 6.

Na obr. 7.1 je zobrazena pouze ukázka výsledného vyhodnocení oblastí s nedostatečnými plavebními hloubkami v okolí hráze vodního díla Orlík. Mapy celého studovaného úseku od hráze vodního díla Orlík po most v Podolsku jsou v příloze č. 6.

S využitím přehledu plavební infrastruktury dle studie společnosti Hydroprojekt CZ, a.s. (2010) a rastrových map s nedostatečnou plavební hloubkou byl zpracován rámcový odhad omezení provozu přístavišť v nádrži Orlík pro jednotlivé řešené varianty snížení hladiny zásobního prostoru. Výsledek této analýzy je uveden v tab. 7.3. Při variantě 0 (současný stav) je uvažována plná kapacita přístavních stání a pro ostatní varianty byl proveden odborný odhad jejich redukce na základě podrobné analýzy snímků nádrže a rastru oblastí s nedostatečnou plavební hloubkou.

Závěrečná rekapitulace dopadů jednotlivých variant snížení zásobního prostoru v nádrži Orlík na počty přístavních stání je uvedena na konci tabulky 7.3.

Tab. 7.3 Odhady přístavních stání v provozu na nádrži Orlík pro jednotlivé varianty řešení.

Název přístaviště - řeka Vltava - VD Orlík	ř. km	kapacita (trvalé přístaviště)	Varianta 0	Varianta 1 a 2	Varianta 3 a 4	Varianta 5	Varianta 6	Varianta 7
Hřebenská zátoka (Hřebeny)	145.50	80 plavidel	80	80	80	20	0	0
Rovný	145.70	60 plachetnic	60	60	60	40	10	0
Malá Spláneka	146.80	20 plachetnic	20	20	15	10	0	0
Spálenka	146.40	15 plachetnic	15	10	5	5	0	0
Písečná	146.80	10 plavidel	10	6	0	0	0	0
V Lomech (Bor I. II. III.)	146.90	27 plavidel	27	23	20	8	4	0
Lavičky - nový přístav	147.60	40 plachetnic	40	30	20	5	3	0
Lavičky	147.90	35 plachetnic	35	35	10	5	20	0
Trhovky	148.10	20 plavidel	20	20	10	5	2	0
Těchnice	148.30	20 plavidel	20	15	6	2	1	0
Trhovky - Chlívý	148.70	85 plavidel	85	75	65	55	40	0
Taterův vrch	149.40	nepravidelné přenocování malých plavidel	0	0	0	0	0	0
Luh	149.80	100 plavidel	100	100	85	40	10	0
V jezevčinách	150.40	20 plavidel	20	20	20	20	20	0
Planina	150.75	60 plavidel	60	55	55	35	20	0
Vystrkov (I. II.)	151.60	35 plavidel	35	35	30	25	20	0
Vystrkov - Hraděň	151.70	20 plavidel	20	20	10	5	5	0
Kamenice (I. II.)	152.60	70 plavidel	70	60	45	35	15	0
Voltýřovská zátoka - Písecká loděnice	154.00	40 plavidel	40	40	40	40	40	0
Voltýřovská zátoka	154.05	40 plavidel	40	27	20	10	8	0
Pukňovská zátoka	154.50	50 plavidel	50	40	20	5	1	0
Zábrdí	154.70	10 plavidla	10	3	2	0	0	0
Udice	154.90	40 plavidel	40	30	15	5	3	0

Kouty	155.20	30 plavidel	30	22	10	5	2	0
SK Yacht & Ski - Barrandovská zátoka	155.60	70 plavidel stále	70	5	4	1	1	0
Chrást	156.70	nepravidelné přenocování malých plavidel	0	0	0	0	0	0
Zámek Orlík	157.40	proplouvající plavidla	0	0	0	0	0	0
Chrást	158.30	45 plavidel	45	45	35	10	2	0
Žebrákovské sedlo	159.35	10 plavidel	10	10	8	3	1	0
Staré Sedlo	159.40	30 plavidel	30	20	20	5	3	0
Kostelecká zátoka	159.60	44 plavidel	44	34	28	10	8	0
Žďákovský most	160.00	proplouvající plavidla	0	0	0	0	0	0
Žďákovský most	160.10	20 plavidel	20	20	15	5	5	0
Krkavčí skála	160.60	10 plavidel	10	10	10	10	5	0
Peklo	163.10	30 plavidel	30	27	20	10	5	0
Luh	163.60	nepravidelné přenocování malých plavidel	0	0	0	0	0	0
Luh - Nezvěstice	163.65	5 plavidel	5	5	2	0	0	0
Ochoz	164.80	30 plavidel	30	20	15	5	2	0
Zbonín	168.30	15 plavidel	15	10	5	3	1	0
Varta	169.40	nepravidelné přenocování malých plavidel	0	0	0	0	0	0
Sobědražská zátoka	171.60	50 plavidel	50	40	35	10	5	0
Čihadla	172.10	nepravidelné přenocování malých plavidel	0	0	0	0	0	0
Bránická zátoka	173.50	20 plavidel	20	15	10	3	1	0
Hrejkovická zátoka	177.00	50 plavidel	50	45	30	5	3	0
Červená	177.30	nepravidelné přenocování malých plavidel	0	0	0	0	0	0
Panstvíčko	180.50	20 plavidel	20	5	0	0	0	0
Podolsko - Petrův vrch	181.85	20 plavidel	20	5	0	0	0	0

Podolsko	181.90	15 plavidel	15	15	15	0	0	0
Podolsko	182.60	30 plavidel	30	30	30	0	0	0
Podolsko - TJ Otava	182.70	30 plavidel	30	10	2	0	0	0
Strouhy - Velký potok	184.90	nepravidelné přenocování malých plavidel	0	0	0	0	0	0
Počet míst v provozu	[ks]		1471	1197	927	460	266	0
Počet míst v provozu	[%]		100%	81%	63%	31%	18%	0%

7.1.3 Analýza kolísání hladiny v nádrži Orlík pro jednotlivé varianty

Analýza kolísání hladiny byla zpracována výpočtem gradientů hladiny pro dva případy:

- celoročně (od ledna do prosince),
- v období plavební sezóny (plavba v nádrži je uvažována od dubna do září).

Cílem výpočtu bylo určení pravděpodobností, že za dané období (celoročně nebo během plavební sezóny) dojde ke změně hladiny v rámci následujících mezí:

- 0 až 1 m,
- více než o 1 m,
- více než o 2 m,
- více než o 3 m.

Analýza byla zpracována z důvodu předpokladu zvýšeného kolísání hladiny vody v nádrži pro varianty se sníženým objemem zásobního prostoru na nádržích Orlík a Slapy. Toto zvýšené kolísání přitom má nepříznivý dopad na rekreaci v nádrži, neboť klade nároky na častější převazování plavidel. Výsledky analýzy uvádí tab. 7.4.

Tab. 7.4 Analýza kolísání hladiny v nádrži Orlík.

Varianta	MPP (Vrané)	VD Orlík	VD Slapy	Celkem (Orlík + Slapy)		VD Orlík				VD Slapy			
						pravděpodobnost kolísání hladiny				pravděpodobnost kolísání hladiny			
						(celoročně: I až XII)				(v plavební sezóně: IV až IX)			
						0 - 1 m	> 1 m	> 2 m	> 3 m	0 - 1 m	> 1 m	> 2 m	> 3 m
	[m ³ .s ⁻¹]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	Vz	změna Vz	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
A0	40	0	0	574.928	0	30	70	59	48	52	48	37	27
A1	40	-30	0	544.928	-30	30	70	59	49	52	48	38	28
A2	40	-30	-30	514.928	-60	30	70	59	49	52	48	38	28
A3	40	-100	0	474.928	-100	28	72	62	52	51	49	40	31
A4	40	-100	-30	444.928	-130	28	72	62	52	51	49	40	31
A5	40	-208	0	366.660	-208	27	73	65	58	50	51	43	36
A6	40	-309	0	265.518	-309	89	11	9	7	98	2	1	1
A7	40	-374	0	200.500	-374	suchá nádrž							
B0	28	0	0	574.928	0	61	39	21	13	76	24	11	6
B1	28	-30	0	544.928	-30	60	40	22	13	75	25	12	6
B2	28	-30	-30	514.928	-60	61	39	22	13	75	25	12	6
B3	28	-100	0	474.928	-100	58	42	24	16	74	26	14	7
B4	28	-100	-30	444.928	-130	58	42	24	16	74	26	14	7
B5	28	-208	0	366.660	-208	55	45	29	19	72	28	18	10
B6	28	-309	0	265.518	-309	100	0	0	0	100	0	0	0
B7	28	-374	0	200.500	-374	suchá nádrž							
C0	50	0	0	574.928	0	14	86	79	72	34	66	56	48
C1	50	-30	0	544.928	-30	14	86	80	73	34	66	56	49
C2	50	-30	-30	514.928	-60	14	86	80	73	34	66	56	49
C3	50	-100	0	474.928	-100	14	86	80	75	34	67	58	51
C4	50	-100	-30	444.928	-130	14	86	80	75	34	67	58	51
C5	50	-208	0	366.660	-208	12	88	83	78	32	68	62	55
C6	50	-309	0	265.518	-309	65	35	33	30	88	12	10	9
C7	50	-374	0	200.500	-374	suchá nádrž							



7.3 Vyhodnocení rekreace na nádrži Slapy

7.3.1 Současné rekreační využití nádrže Slapy

Ke zpracování rešerše současného rekreačního využití nádrže Slapy byly použity materiály Územně technických podkladů využití vodní plochy a břehových pozemků vodní nádrže Slapy. Také tyto podklady byly zpracovány v říjnu 2010 firmou Hydroprojekt CZ a.s.

Současná možnost rekreačního využití nádrže Slapy je velmi různorodá. V okolí nádrže se nachází rekreační objekty, které využívají plochu vodní nádrže Slapy k různým typům aktivit trávení volného času. I zde, na nádrži Slapy, stejně jako u využití nádrže Orlík, patří mezi nejrozšířenější i nejoblíbenější především plavba spojená s turistikou po významných památkách v okolí nádrže Slapy (také se hojně využívají pláže v přilehlých kempech i okolních nemovitostech pro stanování a rodinnou rekreaci).

Tab. 7.5 Přehledná statistika počtu typů přístavišť a jejich umístění u břehu VD Slapy

VD Slapy Typ přístaviště	Umístění - PB pravý břeh	Umístění - LB levý břeh	Přístavů celkem	Přístavy stávající	Přístavy navržené
Krátkodobé veřejné vyhrazené stání	3	4	7	4	3
Krátkodobé kotviště	1	2	3	1	2
Marina	1	1	2	2	0
Sportovní kotviště	27	33	60	48	12
Sportovní přístav	2	0	2	2	0
Jachetní kotviště	0	6	6	6	0
Samostatné zimoviště	1	8	9	9	0
Sdružená individuální stání	2	0	2	2	0
Servisní zařízení	0	1	1	1	0

Přehled plavební infrastruktury na nádrži Slapy je uveden v příloze č. 4.

Přehled ubytovacích kapacit u nádrže Slapy je uveden v příloze č. 5.

7.3.2 Zabezpečení plavby v nádrži Slapy pro jednotlivé varianty

Zabezpečení provozu přístavišť v nádrži Slapy byla vyhodnocena pro jednotlivé varianty realokace nádržních prostorů pro současně platný minimální odtok z Vltavské kaskády na úrovni $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Pro zabezpečení provozu jednotlivých přístavišť byla pro každou řešenou variantu stanovena charakteristická hladina vody v nádrži, která je zabezpečena s 90% pravděpodobností po dobu plavební sezóny na nádrži Slapy. Plavební sezóna v nádrži Slapy je v období měsíců duben až září. Poměrně vysoká hodnota zabezpečení hladiny vody v nádrži je důležitá pro udržení provozu přístavišť. Hodnocení bylo zpracováno simulací

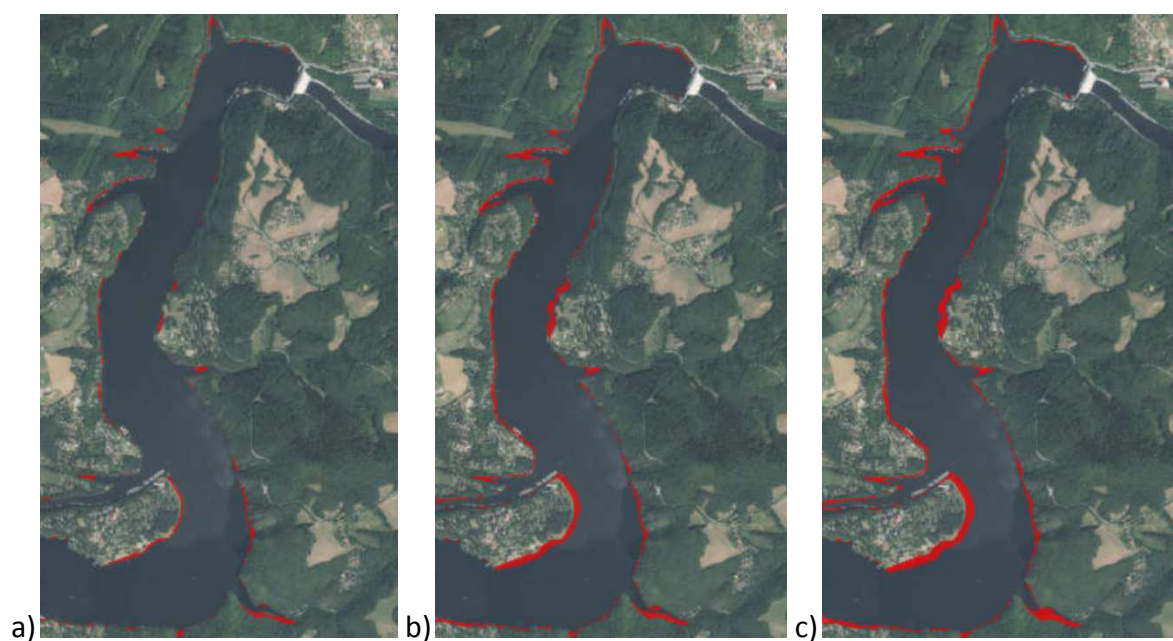
zásobní funkce Vltavské kaskády v 1000-leté syntetické řadě a výsledky jsou uvedeny v tab. 7.6.

Tab. 7.6 Polohy hladin s 90% zabezpečeností v období plavební sezóny (IV-IX) na nádrži Slapy pro jednotlivé varianty přerozdělení nádržních prostorů.

VD Slapy

Varianta	0	1	2	3	4	5	6	7
H _z [m n. m.]	270.60	270.60	267.93	270.60	267.93	270.60	270.60	270.60
H _{90%} [m n. m.]	270.60	270.60	267.93	270.60	267.93	270.60	266.85	266.85

V další fázi byl pomocí zaměření dna nádrže Slapy vyměřovacím plavidlem Povodí Vltavy, s.p. v rozsahu celé nádrže sestaven digitální model. S využitím GIS analýzy byl následně vyexportován rastr znázorňující oblasti s nedostatečnou plavební hloubkou v prostoru nádrže pro jednotlivé varianty řešení – viz obr. 7.2. Minimální plavební hloubka v nádrži Slapy je 2,00 m.



Obr. 7.2 Vyznačení oblastí s nedostatečnou plavební hloubkou (červeně) v zátokách nádrže Slapy pro jednotlivé varianty: a) varianta 0, 1, 3 a 5, b) varianta 2 a 4, c) varianta 6 a 7.

Na obr. 7.2 je zobrazena pouze ukázka výsledného vyhodnocení oblastí s nedostatečnými plavebními hloubkami v okolí hráze vodního díla Slapy. Mapy celé nádrže jsou v příloze č. 7.

S využitím přehledu plavební infrastruktury dle studie společnosti Hydroprojekt CZ, a.s. (2010) a rastrových map s nedostatečnou plavební hloubkou byl zpracován rámcový odhad omezení provozu přístavišť v nádrži Slapy pro jednotlivé řešené varianty snížení hladiny zásobního prostoru. Výsledek této analýzy je uveden v tab. 7.7. Při variantě 0 (současný stav)

je uvažována plná kapacita přístavních stání a pro ostatní varianty byl proveden odborný odhad jejich redukce na základě podrobné analýzy snímků nádrže a rastru oblastí s nedostatečnou plavební hloubkou.

Závěrečná rekapitulace dopadů jednotlivých variant snížení zásobního prostoru v nádrži Slapy na počty přístavních stání je uvedena na konci tabulky 7.7.

Tab. 7.7 Odhady přístavních stání v provozu na nádrži Slapy pro jednotlivé varianty řešení.

Název přístaviště - řeka Vltava - VD Slapy	ř. km	Kapacita	Varianta 0,1,3,5	Varianta 2,4	Varianta 6,7
Třebeň	91.5	120 míst (zimoviště)	0	0	0
Svatojánský potok	92.230	30 plavidel	30	15	10
Přehrada Slapy	92.420	70 plavidel u plovacího zařízení	70	70	70
Rovínek 1	92.660	15 plavidel	15	5	0
Rovínek 2	92.710	5 plavidel	5	5	0
Cihelná zátoka	92.850	45 plavidel	45	20	5
Lahoz 1	93.000	25 plavidel	25	15	5
Na hádkách	93.045	není trvalé přístaviště	0	0	0
Lahoz 2	93.110	15 plavidel	15	0	0
Na Hádkách	93.180	15 plavidel	15	15	15
Nová Rabyně	93.630	15 plavidel	15	10	5
Nová Rabyně	94.000	50 míst (zimoviště)	0	0	0
Nová Rabyně - Bavor	94.200	30 plavidel	30	10	5
Rabyňská hora	94.400	20 plavidel	20	20	10
Malá Sladovařská zátoka	94.680	50 plavidel	50	20	10
Smrčiny	94.800	20 plavidel	20	0	0
Velká Sladovařská zátoka	94.830	50 plavidel	50	30	0
Modrá loďnice	94.830	80 plavidel	80	60	60
Ždán	95.230	50 míst (zimoviště)	0	0	0
Měřín	96.250	5 plavidel	5	5	5
Měřín - Malé Monako	96.655	75 plavidel	75	75	75
Měřín	96.725	5 plavidel	5	5	5
Měřín	96.750	30 míst (zimoviště)	0	0	0
Pod Ždaňskou horou	97.780	není trvalé přístaviště	0	0	0
Měřín - Volareza	97.800	20 plavidel	20	20	20
Hrdlička 2	98.10	25 plavidel	25	10	5
Hrdlička 1	98.40	20 plavidel	20	15	10
Merederská zátoka	98.49	20 plavidel	20	10	10
Jablonecká zátoka	98.52	25 plavidel	25	20	10
Jedlina	98.58	25 plavidel	25	0	0
Malčany	99.24	5 plavidel	5	5	5
Nebříšská zátoka	99.75	15 plavidel	15	5	0

Záhorská zátoka	100.58	15 plavidel	15	5	0
Stará Živohošť	101.00	15 plavidel	15	5	0
Stará Živohošť - hotel	101.22	80 plavidel	80	80	80
Stará Živohošť	101.640	30 míst (zimoviště)	0	0	0
Stará Živohošť (U hřbitova)	102.00	30 plavidel	30	30	30
Stará Živohošť	102.050	100 míst (zimoviště)	0	0	0
Chlumská zátoka	102.20	30 plavidel	30	20	10
Nová Živohošť (U Kozla)	102.70	40 plavidel	40	20	10
Nová Živohošť	102.70	5 plavidel (proplovající plavidla)	5	0	0
Nová Živohošť	103.900	50 míst (zimoviště)	0	0	0
Mastník	104.50	není trvalé přístaviště	0	0	0
Mastník, pod Živohoští	104.50	20 plavidel	20	0	0
Suchá Louka	104.50	40 plavidel	40	20	10
Žlíbek	104.50	5 plavidel	5	0	0
Mastník	104.50	30 plavidel	30	0	0
Hradnice	104.50	30 plavidel	30	0	0
Mastník - ústí	104.86	10 plavidel	10	10	10
Prostřední Lhota	104.90	10 plavidel	10	5	0
Kobylníky 1	105.30	15 plavidel	15	15	15
Kobylníky 2	105.62	15 plavidel	15	15	15
Kobylníky 3	106.53	6 plavidel	6	6	6
U tří smrků	106.80	40 plavidel	40	20	10
Musík	106.80	40 plavidel	40	0	0
Sejce	107.40	15 plavidel	15	15	15
Častoboř	108.00	60 plavidel	60	60	60
Čelínská zátoka	110.80	15 plavidel	15	0	0
Oboz	112.43	10 plavidel	10	5	0
Oboz - U dubu	113.70	10 plavidel	10	10	10
Cholín	114.76	20 plavidel	20	20	20
Cholín - servis Hudeček	115.00	2 plavidla	2	2	2
Cholín	115.10	není trvalé přístaviště	0	0	0
Cholín	115.25	není trvalé přístaviště	0	0	0
Cholín nad mostem	115.53	20 plavidel	20	20	20
Cholín u mostu	115.54	30 plavidel	30	30	0
Hubenovská zátoka	116.70	15 plavidel	15	10	0
Luka	115.66	80 plavidel	80	60	40
Jedlový vrch	117.70	20 plavidel	20	10	0
Županovice za kempem	118.60	15 plavidel	15	15	15
Županovice kemp	119.70	15 plavidel	15	15	15
Kemp Županice	120.400	35 míst (zimoviště)	0	0	0
Županovice	120.50	5 plavidel	5	0	0
Županovice - Na Pasíčkách	121.00	10 plavidel	10	5	0
Zvírotice - U Křepeň	119.90	10 plavidel	10	10	10
Zvírotice - Zamišec	121.00	10 plavidel	10	10	10
Županovice	121.30	není trvalé přístaviště	0	0	0

Županovice - U Háje	121.70	10 plavidel	10	10	5
Zvírovice	122.52	8 plavidel	8	5	0
Hřiměždice - Malá strana	122.60	20 plavidel	20	20	10
Záběhlice 2	123.45	3 plavidla	3	3	0
Záběhlice 1	124.26	14 plavidel	14	14	14
Byčice	125.45	není trvalé přístaviště	0	0	0
Bučily	125.44	5 plavidel	5	5	5
Na Kovárně	125.67	25 plavidel	25	10	0
Hřiměždice	127.30	10 plavidel	10	0	0
Hřiměždice Na Hradišti	127.95	10 plavidel	10	5	0
Hřiměždice	128.00	není trvalé přístaviště	0	0	0
Roviště	130.30	10 plavidel	10	0	0
Kamýk na Vltavou	132.60	11 plavidel	11	0	0
Kamýk na Vltavou	133.80	není trvalé přístaviště	0	0	0
Počet míst v provozu	[ks]		1689	1085	787
Počet míst v provozu	[%]		100%	64%	47%

7.3.3 Analýza kolísání hladiny v nádrži Slapy pro jednotlivé varianty

Analýza kolísání hladiny byla zpracována výpočtem gradientů hladiny pro dva případy:

- celoročně (od ledna do prosince),
- v období plavební sezóny (plavba v nádrži je uvažována od dubna do září).

Cílem výpočtu bylo určení pravděpodobností, že za dané období (celoročně nebo během plavební sezóny) dojde ke změně hladiny v rámci následujících mezí:

- 0 až 1 m,
- více než o 1 m,
- více než o 2 m,
- více než o 3 m.

Analýza byla zpracována z důvodu předpokladu zvýšeného kolísání hladiny vody v nádrži pro varianty se sníženým objemem zásobního prostoru na nádržích Orlík a Slapy. Toto zvýšené kolísání přitom má nepříznivý dopad na rekreaci v nádrži, neboť klade nároky na častější převazování plavidel. Výsledky analýzy uvádí tab. 7.8.

Tab. 7.8 Analýza kolísání hladiny v nádrži Slapy.

Varianta	MPP (Vrané)	VD Orlík	VD Slapy	Celkem (Orlík + Slapy)		VD Slapy							
						pravděpodobnost kolísání hladiny				pravděpodobnost kolísání hladiny			
						(celoročně: I až XII)				(v plavební sezóně: IV až IX)			
						0 - 1 m	> 1 m	> 2 m	> 3 m	0 - 1 m	> 1 m	> 2 m	> 3 m
	[m ³ .s ⁻¹]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[mil. m ³]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
A0	40	0	0	574.928	0	97	3	2	2	100	1	1	0
A1	40	-30	0	544.928	-30	96	4	3	3	99	1	1	1
A2	40	-30	-30	514.928	-60	96	4	3	3	99	1	1	1
A3	40	-100	0	474.928	-100	91	9	8	6	97	3	2	2
A4	40	-100	-30	444.928	-130	91	10	8	7	97	3	3	2
A5	40	-208	0	366.660	-208	67	33	30	27	84	16	14	12
A6	40	-309	0	265.518	-309	24	76	70	64	47	53	47	42
A7	40	-374	0	200.500	-374	24	77	70	64	47	53	47	42
B0	28	0	0	574.928	0	100	0	0	0	100	0	0	0
B1	28	-30	0	544.928	-30	100	0	0	0	100	0	0	0
B2	28	-30	-30	514.928	-60	100	0	0	0	100	0	0	0
B3	28	-100	0	474.928	-100	100	0	0	0	100	0	0	0
B4	28	-100	-30	444.928	-130	100	0	0	0	100	0	0	0
B5	28	-208	0	366.660	-208	96	4	4	3	99	1	1	1
B6	28	-309	0	265.518	-309	51	49	39	28	69	31	24	17
B7	28	-374	0	200.500	-374	50	50	39	29	68	32	25	17
C0	50	0	0	574.928	0	81	19	18	16	93	7	6	6
C1	50	-30	0	544.928	-30	77	23	22	20	91	9	8	8
C2	50	-30	-30	514.928	-60	77	23	22	21	92	9	8	7
C3	50	-100	0	474.928	-100	65	35	33	31	85	16	14	13
C4	50	-100	-30	444.928	-130	65	36	33	31	84	16	14	13
C5	50	-208	0	366.660	-208	41	59	56	53	66	34	32	29
C6	50	-309	0	265.518	-309	11	89	86	83	32	68	65	60
C7	50	-374	0	200.500	-374	11	89	86	83	32	68	64	59



7.4 Dílčí závěry

Na základě provedené analýzy vyplynuly tyto závěry:

1. Snižování objemu zásobního prostoru na nádrži Orlík přináší omezení provozu stávajících přístavišť a kotvišť na březích nádrže. Provedená analýza umožnila rámcově kvantifikovat rozsah těchto omezení. Na nádrži Orlík je při snížení zásobního objemu o 30 mil. m³ (varianta 1 a 2) přerušen provoz v rozsahu cca 19 % stávajících přístavních stání. Při snížení zásobního prostoru o 100 mil. m³ (varianta 3 a 4) je provoz přerušen u 37 % přístavních stání. V případě varianty 5 je přerušen provoz u 69 % přístavních stání, u varianty 6 u 82 % přístavních stání.
2. Na nádrži Slapy přináší snížení zásobního objemu o 30 mil. m³ v rámci variant 2 a 4 přerušení provozu v rozsahu 36 % přístavních stání. U varianty 6 a 7, kdy prakticky veškerou zásobní funkci plní nádrž Slapy je zde přerušen provoz 53 % přístavních stání.
3. Snižování velikosti zásobních objemů na nádržích Orlík a Slapy přináší ve srovnání se současným stavem zvýšené kolísání hladiny, což je patrné spíše v případě nádrže Slapy.

8. Shrnutí výsledků

Vodohospodářské řešení ochranné funkce:

1. Současná míra ochrany Prahy a území dolní Vltavy je na úrovni cca Q_{10} . Tato hodnota je nižší než se předpokládalo na základě výpočtů z doby návrhu Vltavské kaskády, neboť hodnota neškodného průtoku v Praze Chuchli je nyní $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, zatímco v době návrhu činila $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
2. Výsledkem vodohospodářského řešení retenční funkce Vltavské kaskády je odhad míry ochrany území před povodněmi podél dolní Vltavy včetně hlavního města Prahy pro jednotlivé formulované varianty rozdělení nádržních prostorů v nádržích VD Orlík a VD Slapy.
3. Míra ochrany zájmového území se pro varianty s rostoucí velikostí celkového retenčního objemu postupně zvětšuje na úroveň Q_{50} až Q_{100} . Varianta 5 byla formulována tak, aby byla neškodně převedena povodeň z roku 2013 za předpokladu využití spolehlivé hydrologické předpovědi s 24-hodinovým předstihem. Varianta 6 je zvolena, aby došlo k neškodnému převedení povodně z roku 2013 bez hydrologické předpovědi pouze postupným navyšování odtoku dle aktuálního vývoje povodňové situace.
4. Jednotlivé varianty uvažují s různou velikostí celkového retenčního objemu na nádržích Orlík a Slapy a současně navrhují jeho rozdělení mezi obě nádrže. Přitom platí, že z pohledu povodňové ochrany území podél dolní Vltavy lze skladbu celkového retenčního objemu dané varianty na obou nádržích měnit za předpokladu, že jejich souhrnná hodnota zůstane stejná. Tato potřeba může být vyvolána lepším zohledněním ostatních účelů obou nádrží. Změna skladby celkového retenčního objemu přitom nemá vliv na míru ochrany před povodněmi dané varianty.
5. Varianta 7 ukázala, že ani zcela prázdný Orlík by nedokázal transformovat povodeň z roku 2002 na neškodný průtok v Praze Chuchli. Současně upozorňujeme na možnost vzniku povodní generovaných dominantně z přítoků Berounky a/nebo Sázavy, kdy Vltavská kaskáda nemůže průtoky v Praze ovlivnit vůbec a přitom dojde k překročení neškodného průtoku na dolní Vltavě. Příkladem je povodeň z roku 1872, kdy by rovněž nebylo možné zabránit povodňovým škodám ani při variantě prázdného Orlíku (varianta 7).

Vodohospodářské řešení zásobní funkce:

1. Za současné situace existuje v plnění zásobní funkce Vltavské kaskády určitá rezerva, jejíž velikost také vyplývá z dispečerského grafu současného manipulačního řádu. Dispečerský graf slouží jako pomůcka pro operativní řízení zásobní funkce souboru nádrží Orlík a Slapy a byl zkonstruován se zohledněním zajištění minimálního odtoku z Vltavské kaskády, odběrů povrchové vody v úseku Kořensko – Vrané a provozu špičkových vodních elektráren Orlík a Slapy. Nezohledňuje však ostatní účely nádrží, zejména plavbu ve vltavské vodní cestě a rekreaci.

2. Při současných nárocích na vodu a hydrologických poměrech je z jednostranného pohledu zásobní funkce možno bezkonfliktně zvýšit retenční objem až o 100 mil. m³ na úkor zásobního objemu v systému nádrží Orlík a Slapy.
3. Na základě zpracované analýzy minimálního odtoku z Vltavské kaskády vyplývá, že nelze z důvodu kvality vody v současnosti uvažovat o snížení jeho hodnoty pod VD Vrané ve výši 40 m³.s⁻¹.

Hydroenergetické řešení:

1. V rámci hodnocení vlivu jednotlivých variant přerozdělení nádržních objemů na nádržích Orlík a Slapy byl hodnocen také dopad na výrobu elektrické energie ve vodních elektrárnách Orlík a Slapy. Analýza prokázala, že dopad na celkový objem vyrobené energie není z celospolečenského hlediska významný. Za zásadní je však třeba považovat roli špičkových vodních elektráren Vltavské kaskády z pohledu regulace energetického systému. Zde je úloha špičkových vodních elektráren Orlík a Slapy nezastupitelná a je třeba usilovat o co nejvyšší spolehlivost jejich provozu.
2. Zpracovaná analýza proto hodnotí nejenom dopady na celkový vyrobený objem elektrické energie, ale také kvantifikuje vliv na pohotové výkony špičkových vodních elektráren na Vltavské kaskádě. Úhrnný pokles výroby energie na vodních elektrárnách Orlík a Slapy činí pro variantu 1 cca 1% a postupně se zvyšuje, kdy pro variantu 6 činí cca 15%. V případě pohotových výkonů souboru elektráren Orlík a Slapy dochází k podobné tendenci: u varianty 1 je pokles pohotového výkonu cca 1% a pro variantu 6 činí cca 9%. V případě varianty 7 (prázdná nádrž Orlík) je pokles výroby v souboru nádrží Orlík a Slapy o cca 56% a snížení pohotového výkonu o cca 70%.

Plavební podmínky na Vltavské vodní cestě:

1. Posouzení vlivu snížení hladin zásobního prostoru vodních děl Orlík a Slapy na vhodné plavební podmínky na vltavské vodní cestě hodnotí zejména kritické úseky na konci vzduť nádrže Orlík při plavbě do zdrže Kořensko a na konci vzduť nádrže Slapy při plavbě do nádrže Kamýk.
2. Z provedené analýzy vyplývá, že provoz vltavské vodní cesty umožňuje pouze varianta 0 a 1. U všech ostatních variant dochází k přerušení vodní cesty na konci vzduť VD Slapy nebo VD Orlík.

Vliv na rekreaci:

1. Rekreční využití nádrží Orlík a Slapy je velmi intenzivní. Jedná se o tradiční rekreační oblasti s poměrně hustou turistickou a rekreační infrastrukturou a vybavením pro rekreační a sportovní plavbu. Současný rekreační potenciál na nádržích Orlík a Slapy byl v rámci této studie hodnocen počtem stávajících přístavních a kotevních stání na březích a v zátokách nádrží.

2. Snižování objemu zásobního prostoru na nádrži Orlík přináší omezení provozu stávajících přístavišť a kotvišť na březích nádrže. Provedená analýza umožnila rámcově kvantifikovat rozsah těchto omezení. Na nádrži Orlík je při snížení zásobního objemu o 30 mil. m³ (varianta 1 a 2) přerušen provoz v rozsahu cca 19 % stávajících přístavních stání. Při snížení zásobního prostoru o 100 mil. m³ (varianta 3 a 4) je provoz přerušen u 37 % přístavních stání. V případě varianty 5 je přerušen provoz u 69 % přístavních stání, u varianty 6 u 82 % přístavních stání.
3. Na nádrži Slapy přináší snížení zásobního objemu o 30 mil. m³ v rámci variant 2 a 4 přerušení provozu v rozsahu 36 % přístavních stání. U varianty 6 a 7, kdy prakticky veškerou zásobní funkci plní nádrž Slapy je zde přerušen provoz 53 % přístavních stání. Snižování velikosti zásobních objemů na nádržích Orlík a Slapy přináší ve srovnání se současným stavem zvýšené kolísání hladiny, což je patrné spíše v případě nádrže Slapy.

9. Závěrečná syntéza výsledků

Cílem studie je zpracování komplexního vodohospodářského řešení Vltavské kaskády s cílem prověření základních parametrů strategického řízení s ohledem na hlavní vodohospodářské účely. Zadání studie bylo vyvoláno potřebou zodpovědně vyhodnotit, jaké jsou reálné možnosti navýšení retenčního účinku Vltavské kaskády v souvislosti s protipovodňovou ochranou hlavního města Prahy a celého úseku dolní Vltavy, který je silně urbanizován a došlo zde během uplynulých povodní z let 2002 a 2013 k významným povodňovým škodám.

Studie se dle zadání zaměřila na takové možnosti zvýšení retenčního účinku Vltavské kaskády, které jsou prakticky pohotově realizovatelné změnou základních parametrů manipulačního řádu. Předpokladem je paralelní revize všech dotčených povolení k nakládání s povrchovými vodami. Studie v této fázi tedy neformulovala varianty, které by kladly zvýšené nároky na realizaci rozsáhlých vyvolaných investic jako je zvyšování maximálních hladin v rozsahu vzduť jednotlivých nádrží, realizace průvodních protipovodňových opatření v chráněném území s cílem zvýšení neškodného odtoku z Vltavské kaskády, realizaci nového zdymadla na konci vzduť VD Orlík a podobně. Navržené varianty proto sledovaly cílové zvýšení protipovodňové ochrany v záplavovém území podél dolní Vltavy pomocí realokace nádržních prostorů, tedy konkrétně zvyšováním objemu retenčního prostoru na úkor prostoru zásobního. Výjimku tvoří varianta 7 (prázdná nádrž Orlík), která byla do studie zařazena s ohledem na vyhodnocení vlivu tohoto opatření na průběh povodní z let 2002 a 2013. Z tohoto pohledu bylo třeba kvantifikovat důsledky realokace nádržních prostorů pro jednotlivé varianty řešení na všechny základní účely Vltavské kaskády, která je typickou víceúčelovou vodohospodářskou soustavou.

Studie se zaměřila na vyhodnocení jednotlivých variant z těchto hledisek:

1. Protipovodňová ochrana – ukazatel je vyhodnocen formou odhadu zvýšení míry ochrany území pod Vltavskou kaskádou.
2. Zásobní funkce – cílem je vyčíslení spolehlivosti zajištění minimálního odtoku z Vltavské kaskády pod VD Vrané a dalších odběrů povrchové vody.
3. Energetika – ukazatel kvantifikuje dopad jednotlivých variant na průměrnou roční výrobu ve špičkových elektrárnách a současně hodnotí jejich schopnost zajišťovat pohotové výkony z hlediska regulace státní elektrizační soustavy.
4. Plavba ve vltavské vodní cestě – zajištění plavby je vyhodnoceno na základě zajištění minimálních plavebních hloubek na konci vzduť VD Orlík a VD Slapy.
5. Rekreace na nádržích – ukazatel je vyhodnocen pomocí kvantifikace počtu zrušených přístavních stání na březích nádrží Orlík a Slapy a frekvence kolísání hladin v nádržích.

Důležitým strategickým parametrem z hlediska zajištění zásobní funkce Vltavské kaskády je také hodnota minimálního potřebného průtoku pod VD Vrané. Tato hodnota je po celou dobu provozu Vltavské kaskády provozována na úrovni $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Na základě analýzy jakosti

vody v dílčím povodí Dolní Vltavy lze konstatovat, že minimální potřebný průtok pod VD Vrané v současnosti vychází ze stejných požadavků jako v dobách návrhu Vltavské kaskády. Jedná se zejména o zajištění odběrů povrchové vody (zejména pro pitné účely), dostatečného dotování povrchových vod za účelem zlepšení jakosti ve významném vodním toku Vltava a zajištění minimálního zůstatkového průtoku pro účely obecného nakládání s povrchovými vodami, ke kterým není nutné povolení. Hodnota odtoku pod VD Vrané ve výši $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ je v současnosti nepodkročitelná, zejména z kvalitativních důvodů v souvislosti s plněním požadavků nař. vl. 61/2003 Sb. Z pohledu zvýšení protipovodňové ochrany se logicky jeví výhodnější její snížení. Naopak s ohledem na kvalitativní ukazatele by bylo možné uvažovat o mírném navýšení této hodnoty. Pro posouzení míry citlivosti tohoto parametru na spolehlivost zásobní funkce byla hodnota minimálního odtoku z Vltavské kaskády variantě ověřována na úrovni 40, 28 a $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Podrobná argumentace těchto variant je uvedena v kapitole č. 4.5.

Formulace posuzovaných variant je podrobně uvedena v druhé kapitole v tab. 2.1. Základní výsledky jednotlivých analýz, které kvantifikují vliv posuzovaných variant na sledovaná kritéria, jsou uvedeny v tab. 9.1. V tabulce je také znázorněna expertně stanovená oblast, ve které jsou jednotlivé varianty konfliktní, resp. významně konfliktní s danými kritérii. Z výsledného vyhodnocení formulovaných variant realokace zásobního a retenčního objemu na nádržích Orlík a Slapy plynou tyto závěry:

1. Bezkonfliktní, resp. s přijatelnými dopady, je za současné situace pouze varianta 1, která zvyšuje objem retenčního prostoru na nádrži Orlík o 30 mil. m^3 . Tato varianta umožní, za předpokladu využití spolehlivé hydrologické předpovědi a s ní spojeném zahájení odpouštění orlické nádrže o 24 hodin dříve, zvýšit protipovodňovou ochranu území pod Vltavskou kaskádou na úroveň přibližně dvacetileté vody.
2. Další varianty jsou již ve vazbě na definovaná kritéria významně konfliktní a jejich bezprostřední realizace formou pouhé změny manipulačního řádu není vzhledem k současným službám, které Vltavská kaskáda plní, možná. Pro realizaci těchto variant by bylo zapotřebí buďto přehodnotit účely Vltavské kaskády z celospolečenského hlediska, nebo vyprojektovat a zrealizovat potřebné vyvolané investice pro eliminaci nepříznivých vlivů na ostatní účely, popř. kombinaci obojího.
3. Výsledky této studie budou sloužit zejména pro další rozhodovací proces o smysluplnosti a efektivnosti dalšího zvyšování retence na Vltavské kaskádě s uvážením dopadů na ostatní účely včetně jejich případného přehodnocení a s uvážením rozsahu vyvolaných investic. Ekonomickou efektivnost jednotlivých variant je možné posuzovat pomocí standardní analýzy nákladů a užitků, kdy do řešení by měly být zahrnuty i ostatní nepřímé ekonomické dopady vyvolané jednotlivými variantami (vliv na rozvoj regionu, sociální aspekty, a další).
4. Před realizací některé z variant je třeba doporučit její posouzení z hlediska dalších aspektů kromě vodohospodářských, mezi které se řadí např. vliv na kvalitu vody

v nádržích, stabilitu svahů, rekreaci a vodní sporty včetně koupání a extenzivní rybí hospodářství.

5. Pro zvýšení retenčního účinku Vltavské kaskády je třeba doporučit sledovat nejenom varianty zvyšování objemu retenčního prostoru, ale také možnosti operativního řízení. Z uvedeného důvodu byl do analýzy retenční funkce Vltavské kaskády zařazen také předpoklad předvypouštění s 24-hodinovým předstihem. Účinnost takového opatření je poměrně značná. Přitom riziko ohrožení zásobní funkce je vzhledem k jejím rezervám za současné situace poměrně malé a lze jej dále snižovat realizací předvypouštění na základě kombinace zvýšeného ukazatele nasycenosti povodí předchozími srážkami a nepříznivé hydrologické předpovědi. Historické zkušenosti naznačují, že stav nasycenosti povodí lze poměrně spolehlivě odhadovat ve vazbě na aktuální přítok do nádrže Orlík. Při tomto způsobu řízení je třeba počítat s vyšší frekvencí realizace přípravných protipovodňových opatření podél dolní Vltavy s vyššími finančními náklady a omezeními, kdy řada z těchto událostí se na základě dalšího hydrologického průběhu nevyvine do povodňové situace a může být veřejností vnímána jako planý poplach.
6. Poměrně významný vliv na zvýšení retenčního účinku Vltavské kaskády s ohledem na dolní tok Vltavy má rovněž hodnota neškodného průtoku v Praze Chuchli, která je v současné době rovna $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Za předpokladu zvýšení neškodného průtoku lze očekávat poměrně významné zlepšení retenční funkce Vltavské kaskády, jak o tom svědčí studie (Fošumpaur, Satrapa, 2003), která analyzovala průběh povodně z roku 2002.
7. S ohledem na skutečnost, že protipovodňová ochrana záplavového území dolní Vltavy pod Vltavskou kaskádou není ovlivněna pouze výskytem povodňových událostí na Vltavě, ale rovněž na Sázavě a Berounce, lze doporučit hledání nových retenčních kapacit také v povodí těchto vodních toků. Historické zkušenosti, ale i průběhy teoretických povodňových vln jasně ukazují, že povodně na dolní Vltavě s významnými povodňovými škodami mohou být způsobeny pouze přítoky z Berounky a Sázavy. Například významnou povodeň v roce 1872 způsobila pouze Berounka a lze snadno ukázat, že povodňovým škodám by nezabránila ani zcela prázdná orlická nádrž.
8. Dále je třeba si uvědomit, že snižování hladiny zásobního prostoru na nádrži Orlík, které vyvolá její přiblížení k minimální plavební hladině (347,60 m n. m.) může být provozně nevýhodné, neboť se tím redukuje objem vody v pásmu, které slouží pro bezproblémový provoz špičkové vodní elektrárny a plnění řady dalších neperiodických požadavků na odtok z Vltavské kaskády. Jedná se například o požadavky na časově omezený zvýšený nebo naopak snížený odtok z Vltavské kaskády z důvodu zlepšení kvality vody, pořádání sportovních akcí a dalších mimořádných událostí a služeb.

Tab. 9.1 Hodnoty základních kritérií pro posuzované varianty.

varianta	navýšení retenčního prostoru (Orlík+Slapy)	Ochrana před povodněmi		Zásobní funkce (zajištění minimálního odtoku + odběry) ²⁾		Energetická funkce		Plavba na vltavské vodní cestě		Rekreace v nádržích Orlík a Slapy	
		bez předpovědi	s předpovědí 24 hod	Pt ¹⁾	četnost poruch: jednou za N let	VE Orlík - změna roční výroby	VE Slapy - změna roční výroby	konec vzdutí VD Orlík	konec vzdutí VD Slapy	Orlík - redukce přístavních stání	Slapy - redukce přístavních stání
	[mil. m ³]	[roky]	[roky]	[%]	[roky]	[%]	[%]	[a/n]	[a/n]	[%]	[%]
0	0	< Q10	< Q20	99.99	-	0	0	ano	ano	0	0
1	30	Q10	Q20	99.99	-	-2	0	ano	ano	-19	0
2	60	< Q20	< Q50	99.99	-	-2	-5	ano	ne	-19	-36
3	100	Q20	Q50	99.99	-	-7	0	ne	ano	-37	0
4	130	Q20	Q50	99.98	500	-7	-5	ne	ne	-37	-36
5	208	Q50	Q100 (2013)	99.92	125	-15	0	ne	ano	-69	0
6	309	Q100 (2013)	Q100	99.39	24	-25	-2	ne	omezeně	-82	-53
7	636	Q100	Q100	98.52	10	-100	-2	ne	omezeně	-100	-53

Popis:

1) Pt ... zabezpečení zásobní funkce dle ČSN 75 2405,

2) minimální odtok z Vltavské kaskády pod VD Vrané je zde uvažován 40 m³.s⁻¹,

3) červeně je zvýrazněna oblast, kdy je varianta v konfliktu, resp. významném konfliktu s daným kritériem.

Použité podklady

1. Bratránek, A.: Vltavská kaskáda, možnost zlepšení ochrany Velké Prahy před povodněmi. Vodní hospodářství, 1956, č. 6, s. 142-145.
2. Broža, V. a kol.: Přehradý Čech, Moravy a Slezska. Nakladatelství: Knihy 555. Liberec, 2005.
3. ČSN 75 2405 Vodohospodářská řešení vodních nádrží. Říjen 2004.
4. Fošumpaur, P., Kopecká, P.: Analýza retenční funkce Vltavské kaskády a rybníka Rožmberk za povodně 2013. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, prosinec 2013.
5. Fošumpaur, P., Satrapa, L.: Posouzení příčin zaplavení pražského metra při povodni v srpnu 2002. Analýza ochranné funkce Vltavské kaskády. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, listopad 2003.
6. Fošumpaur, P.: Zhodnocení operativních rezerv při povodňovém řízení Vltavské kaskády. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, prosinec 2013.
7. Hanel, M., Kašpárek, L., Mrkvičková, M. a kol.: Odhad dopadu klimatické změny na hydrologickou bilanci ČR a možná adaptační opatření. VÚV T.G.M., v.v.i., Praha 2011.
8. Hydroprojekt Praha: Podélný profil Vltavy a Otavy. Duben 1972.
9. Hydroprojekt Praha: Údolní řezy: Orlík – Týn nad Vltavou. Duben 1972.
10. Hydroprojekt Praha: Údolní řezy: Slapy-Kamýk. Duben 1972.
11. Kašpárek, L. et al.: Vliv velkých údolních nádrží v povodí Labe na snížení povodňových průtoků. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 44 s. ISBN 80-85900-56-4, 2005.
12. Kašpárek, L., Bušek, M.: Vliv vltavské kaskády na povodňový režim Vltavy v Praze. Vodní hospodářství, 1990, č. 7, s. 280-286.
13. Kašpárek, L., Peláková, M., Krejčí, J.: Vliv Vltavské kaskády na povodňové průtoky. Vodní hospodářství, 2012, č. 11, s. 356-358.
14. Komplexní manipulační řád Vltavské kaskády. Ředitelství vodohospodářského rozvoje v Praze. Praha, 1964.
15. Komplexní manipulační řád Vltavské kaskády. VD TBD, 1997; revize Povodí Vltavy, 2009.
16. Manipulační řád pro vodní díla Hněvkovice (ř. km 210,390) a Kořensko (ř. km 200,405) na Vltavě. Zpracoval: VD TBD, 05/1996, Schválil: OkÚ České Budějovice. Revize 03/2014.
17. Manipulační řád pro vodní díla Lipno I. (ř. km 329,543) a Lipno II. (ř. km 319,108) na Vltavě. Zpracoval: VD TBD, 01/1995 a 03/1996, Schválil: OkÚ Český Krumlov. Revize 01/2009.
18. Manipulační řád pro vodní dílo Kamýk na Vltavě (ř. km 134,730). Zpracoval: VD TBD, 05/1996, Schválil: OkÚ Příbram RŽP. Revize 07/2009.
19. Manipulační řád pro vodní dílo Orlík na Vltavě (v ř. km 144,650). Zpracoval: VD TBD, 05/1996, Schválil: OkÚ Příbram RŽP. Revize 07/2009.
20. Manipulační řád pro vodní dílo Slapy na významném vodním toku Vltava v ř. km 91,610. Zpracoval: Povodí Vltavy, státní podnik – centrální vodohospodářský dispečink, 01/2014. Schválil: KÚ Středočeského kraje dne 28,5,2014.

21. Manipulační řád pro vodní dílo Štěchovice (v ř. km 84,318). Zpracoval: VD TBD, 05/1996, Schválil: OkÚ Praha-západ. Revize 05/2011.
22. Manipulační řád pro vodní dílo Vrané (v ř. km 71,325). Zpracoval: VD TBD, 05/1996, Schválil: OkÚ Praha-západ. Revize 06/2002.
23. Manipulační řád pro vodní dílo Želivka. Zpracoval: VD TBD, 06/2004. Revize 10/2011.
24. Manipulační řád vodního díla Římov na Malši. Zpracoval: VD TBD, 10/2004. Revize 01/2010.
25. Manipulační řád vodního díla Slapy. Ředitelství vodohospodářského rozvoje v Praze. Praha, 1966.
26. Metodický pokyn Ministerstva zemědělství pro sestavení vodohospodářské bilance oblasti povodí (k ustanovením § 5, § 6, § 7, § 8 a § 9 vyhlášky č. 431/2001 Sb., o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a o údajích pro vodní bilanci) č. j. 25248/2002-6000 ze dne 28. 8. 2002.
27. Metodický pokyn odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích, Věstník MŽP č. 5/1998, .
28. Nacházel, K., Patera, A., Přenosilová, E., Bureš, P.: Vodohospodářské řešení Vltavské kaskády. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 1989. 17 s.
29. Nacházel, K.: Komplexní manipulační řád Vltavské kaskády. Ředitelství vodohospodářského rozvoje v Praze. 1964.
30. Nařízení vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění pozdějších předpisů.
31. Novický, O., Vyskoč, P., Vizina, A., Kašpárek, L., Pícek, J.: Klimatická změna a vodní zdroje v povodí Vltavy. Vyd. Praha: VÚV T.G.M, v.v.i., 2008. 29 s. ISBN 978-80-85900-79-8.
32. Parametry vltavské vodní cesty v rámci I. etapy akce „Dokončení Vltavské vodní cesty České Budějovice – Týn nad Vltavou“. ŘVC ČR.
33. Plavební vyhláška č. 3/2014 Státní plavební správy ze dne 22. 7. 2014 o proplavování plavebními komorami na labsko-vltavské vodní cestě.
34. Rozhodnutí Magistrátu hlavního města Prahy, odboru životního prostředí, o povolení odběru surové vody z Vltavy pro úpravnu vody Podolí, SZn: S-MHMP 363164/2006/OOP-II/R-300/Sh, ze dne 22. 11. 2006.
35. Rozhodnutí Magistrátu hlavního města Prahy, odboru životního prostředí, o povolení vypouštění přečištěných městských odpadních vod z Ústřední čistírny odpadních vod Praha do významného vodního toku Vltava, č. j. MHMP-1417791/2012/OOP-II/R-258-Fi, ze dne 17. 12. 2012.
36. Sborník z konference „Vltavská kaskáda“, která se konala ve dnech 24. až 27. října 1956 ve Výzkumném ústavu vodohospodářském v Praze Podbabě. VÚV, 1957.
37. Sdělení Státní plavební správy č. 20/2014 ze dne 21.3.2014 o plavebních parametrech vodních cest sledovaných dopravně významných I. třídy a některých cest sledovaných účelových.
38. Směrnice Rady 91/676/EHS ze dne 12. prosince 1991 o ochraně vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů.

39. Směrný vodohospodářský plán ČSR. Ministerstvo lesního a vodního hospodářství ČSR, Praha 1976.
40. Územně technické podklady využití vodní plochy a břehových pozemků vodní nádrže Orlík. Hydroprojekt CZ a.s., říjen 2010.
41. Územně technické podklady využití vodní plochy a břehových pozemků vodní nádrže Slapy. Hydroprojekt CZ a.s., říjen 2010.
42. Vyhláška 431/2001 Sb., o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a o údajích pro vodní bilanci.
43. Vyhláška Ministerstva dopravy č. 222/1995 Sb. o vodních cestách, plavebním provozu v přístavech, společné havárii a dopravně nebezpečných věcí.
44. Zákon 114/1995 Sb. o vnitrozemské plavbě.
45. Zákon 254/2001 Sb. o vodách, a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů.
46. Zpráva o hodnocení jakosti povrchových vod v dílčím povodí Dolní Vltavy za období 2011-2012. Povodí Vltavy, státní podnik, 2013.

Přílohy

1. Statistická a korelační analýza reálných řad pro VH řešení zásobní funkce.
2. Přehled plavební infrastruktury na nádrži Orlík
3. Přehled ubytovacích kapacit u nádrže Orlík
4. Přehled plavební infrastruktury na nádrži Slapy
5. Přehled ubytovacích kapacit u nádrže Slapy
6. VD Orlík – znázornění hloubek v nádrži menších než 1,60 m
7. VD Slapy – znázornění hloubek v nádrži menších než 2,00 m