



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

**SESTAVENÍ DISPEČERSKÉHO GRAFU PRO
VYBRANOU NÁDRŽ S UVAŽOVÁNÍM
KLIMATICKÝCH ZMĚN**

CREATING OF DISPATCHER GRAPH FOR A SELECTED DAM RESERVOIR
CONSIDERING CLIMATE CHANGE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Hakl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL MENŠÍK, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Petr Hák
Název	Sestavení dispečerského grafu pro vybranou nádrž s uvažováním klimatických změn
Vedoucí práce	Ing. Pavel Menšík, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2016
Datum odevzdání	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

1. Eva Miřácká Řízení hydroenergetické funkce vybrané nádrže pomocí dispečerského grafu. Brno, 2015. 35 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Pavel Menšík, Ph.D.
2. Starý, M. Nádrže a vodohospodářské soustavy (MODUL 01). Brno: VUT, 2006. 120 s.
3. Starý, M. Nádrže a vodohospodářské soustavy (MODUL 02). Brno: VUT, 2006. 117 s.
4. Starý, M.; Šálek, J.; Kožnárek, Z.; Šoustal, O. Automatizované systémy řízení ve vodním hospodářství. Metodické návody do cvičení a diplomového semináře. 1. vyd. Brno: VUT, 1987. 126 s.
5. Starý, M. Nádrže a vodohospodářské soustavy. Metodické návody do cvičení. 1. vyd. Brno: VUT, 1987. 67 s.
6. Starý, M. Nádrže a vodohospodářské soustavy. 1. vyd. Brno: VUT, 1986. 165 s.
7. Votruba, L.; Broža, V. Hospodaření s vodou v nádržích. 2.přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1980. 443 s.
8. Votruba, L. Vodohospodářské soustavy. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1979. 465 s.
9. Microsoft Excel (software)
10. Internetové stránky věnované výsledkům projektu „Podpora dlouhodobého plánování a návrhu adaptačních opatření v oblasti vodního hospodářství v kontextu změn klimatu“. Dostupné z: <http://185.8.238.196/>

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Úkolem bakalářské práce bude zkonstruovat několik dispečerských grafů pro vybranou vodní nádrž. Dispečerské grafy budou sloužit k řízení provozu zásobní funkce nádrže a budou vytvořeny pro několik variant. Jednotlivé varianty dispečerských grafů se budou lišit použitou vstupní průtokovou řadou průměrných měsíčních průtoků. Bude uvažováno s reálnou průtokovou řadou a dále s generovanými průtokovými řadami. Generované řady popisují odhadovaný průtokový režim v budoucím období, vycházejí z regionálních klimatických modelů. Pro účel bakalářské práce budou generované řady převzaty z výsledků projektu, jehož řešení zajišťoval Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka ve spolupráci s Českým hydrometeorologickým ústavem a akciovou společností Vodohospodářský rozvoj a výstavba. Jednotlivé varianty dispečerských grafů budou vhodným způsobem navzájem porovnány.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

Abstrakt

Cílem této práce je zkonstruovat několik dispečerských grafů pro vybranou vodní nádrž Vír I. z reálné průtokové řady, dále pak pro řady vygenerované podle regionálních klimatických modelů. Budou popsány jednotlivé předpovědní klimatické modely i postup konstrukce sestavení dispečerského grafu. Dispečerské grafy budou porovnány podle vhodných hledisek. V závěru práce se srovnají požadavky na odběr vody z nádrže dle manipulačního řádu s předpokládaným vývojem přítoků do nádrže a udržitelnost současných nároků na nalepšený odtok za stejných podmínek v budoucnosti.

Klíčová slova

dispečerský graf, vodní nádrž, nalepšený odtok, zásobní objem nádrže, regionální předpovědní modely, klimatická změna

Abstract

The aim of a thesis is construct a several dispatcher graphs for a selected Vír I. water dam, from real flow series, then extended by synthetic flow series generated by regional climatic models. Particular models will be discribed, so the construction of dispatcher graph. Graphs will be compared by appropriately selected parameters. In the end of the thesis will be comparision of requirements sets by manipulate order with predicted evolution of affluent to the dam and sustainability for todays claims relation on improved outflows in future with the same condition.

Keywords

dispatcher graph, water dam, improved outflow, storage volume of dam, regional forecasting models, climate change

Bibliografická citace VŠKP

Petr Hakl *Sestavení dispečerského grafu pro vybranou nádrž s uvažováním klimatických změn*. Brno, 2017. 43s.,0s.přil.,Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Pavel Menšík, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně, podle pokynů vedoucího práce a s použitím uvedených informačních zdrojů.

V Brně 21. května 2017

.....

autor práce: Petr Hakl

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Pavlu Menšíkovi, Ph.D. za jeho cenné rady, připomínky a podněty při zpracování bakalářské práce. Dále chci poděkovat svým rodičům za jejich podporu a trpělivost během celého studia.

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Vodní nádrž Vír I.	1
2	Cíl bakalářské práce	5
3	Postup a metody výpočtu	6
3.1	Vstupní data	7
3.1.1	Zásobní objem nádrže	7
3.1.2	Reálná časová řada	7
3.1.3	Generované časové řady	8
3.2	Způsoby porovnání klimatických modelů	9
3.2.1	Sestrojení dispečerského grafu	10
3.2.2	Hledání potřebných objemů	11
3.2.3	Nalezení zabezpečení	11
3.2.4	Zatřídění do kategorií podle významnosti	13
4	Vliv klimatických modelů na tvar dispečerských grafů	15
4.1	Dispečerské grafy	15
4.2	Průměrné dlouhodobé přítoky do nádrže	20
4.3	Potřebné a deficitní objemy	21
4.4	Porovnání podle zabezpečení	23
4.5	Porovnání podle počtu poruchových roků a celkové hloubky poruch	25
4.5.1	Porovnání podle celkové hloubky poruchy	26
4.6	Porovnání podle zatřídění do kategorií významnosti	28
5	Udržitelnost současných podmínek řízení zásobní funkce nádrže	29
6	Shrnutí výsledků	32
6.1	Dispečerské grafy	32
6.2	Odchylky od mediánu	34
7	Závěr	39

1 Úvod

Klimatická změna je stále naléhavější celosvětový problém[1]. Nikde nebude tento problém palčivější než v oboru vodního hospodářství[2]. Předpokládaný vývoj predikuje zvýšení průměrné teploty, úbytek regionálních srážek a jejich nahrazení srážkami přívalovými. Se zvýšenou průměrnou teplotou souvisí větší výpar z vodní hladiny i z půdy, což bude mít za důsledek snížení průměrných dlouhodobých přítoků do nádrží a tím navýšení poruchových roků až nutnost zredukování nalepšených odtoků. Toto vše je způsobeno ať už lidskou činností (produkce skleníkových plynů, odlesňování...), nebo přirozenými přírodními pochody.

Úkolem člověka je se na tuto změnu připravit ať už po stránce technické tzn. komplexní technické opatření v krajině (budování nových nádrží, objektů pro zadržení vody v krajině, protierozní opatření...) tak i duševní tzn. zefektivnění hospodaření s vodou v nádrži, vývoj nových optimalizačních metod a softwarů, využití inteligentních dispečerských rozhodovacích systémů i využívání neuronových sítí při řízení odtoku z nádrže.

1.1 Vodní nádrž Vír I.

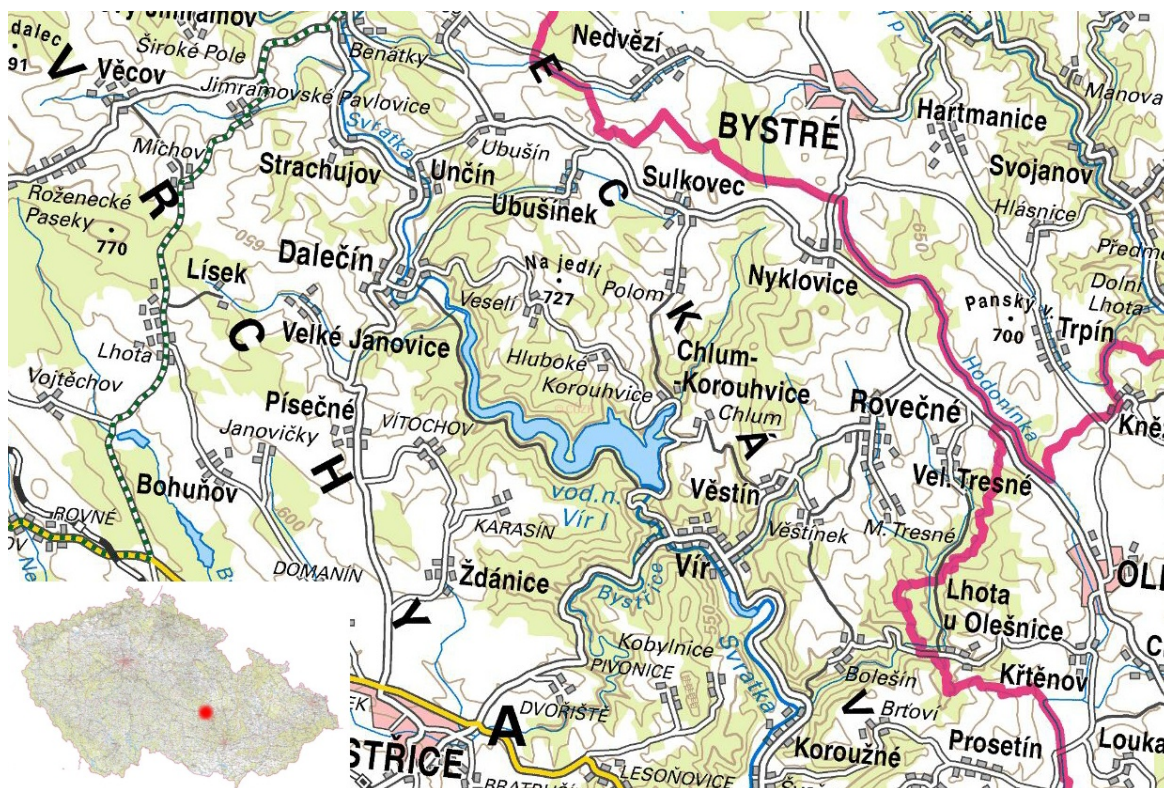
Vodárenská nádrž Vír I. Leží na řece Svatce v ř. km 114.9, v oblasti Českomoravské vrchoviny. K přehrazení toku se využilo jedno z nejužších míst údolí a obě její krajní stěny jsou ukotveny ve skalách.[4]

Důvody pro výstavbu přehrady Vír

Hlavním a rozhodujícím důvodem bylo regulovat průtoky vody v řece Svatce v jejím povodí, zabránění velkým povodním, které tuto oblast postihovaly a energetické využití vodního zdroje. V té době se ještě počítalo s rekreačním využitím. V záměru nebylo vodárenské využití přehrady.

První myšlenky na stavbu několika menších přehrad na řece Svatce se objevily již v roce 1911. Uvažovalo se o nádržích nad Brnem u Kníniček (postavena v letech 1936 až 1941), u Víru a u Borovnice (záměr nerealizován). Místo pro přehradu bylo vybráno na 114,9 km toku řeky v jednom z nejužších míst údolí. Práce na projektové přípravě byly zahájeny již v roce 1938, byly však přerušeny druhou světovou válkou. Novým impulsem byla ničivá povodeň v březnu roku 1941 pro skupinu inženýrů v čele s ing. Františkem Tomanem, kteří přes zákazy okupačních úřadů začali pracovat na úvodních projektech vodního díla Vír. Díky této připravenosti se pak mohlo po válce skutečně začít s realizací[3].

Přes poválečné problémy (nedostatek stavebního strojí a zařízení, chyběly inženýrské kapacity) byla stavba dne 14. května 1946 výměrem Zemského úřadu v Brně povolena a práce na stavbě byly v roce 1947 zahájeny. Dodatečně došlo k přehodnocení projektové dokumentace a v září 1948 Zemský národní výbor v Brně schválil výměr, kterým



Obr. 1: Přehledná mapa 1: 200 000 [www.cuzk.cz]

povoloval zvýšení přehradní zdi o 7,60 m na 75m a délky hráze v koruně na 390 m. Tím se také zvětšila zátopová plocha z původních 170 ha na 232 ha při nejvyšším stavu vody v jezeře. To vedlo i k následným změnám v projektech jak pod hrází, tak i v zátopové oblasti, která dosahuje až k obci Dalečín, délka jezera je cca 10 km.[3]

Funkce nádrže

Ačkoli bylo dílo koncipováno jako víceúčelové s hlavním důrazem na protipovodňovou funkci, s vodárenským využitím se zpočátku neuvažovalo. Dnes dílo slouží jako odběrné místo pro úpravnu vody Vír, úpravnu vody ve Švařci, odběr vody pro ROTTER s.r.o. k provozu MVE a výjimečně jako nalepšení pro Brněnskou přehradu.

Konstrukce hráze

Vodní nádrž Vír je konstruována jako tížná betonová hráz s osou v oblouku o poloměru 305,70 m. Přehradní zeď je rozdělena dilatačními spárami na 26 bloků. Šířka bloků plných a přepadových je 15 m, výpustních a elektrárenských 9 m. Dilatační spáry jsou těsněny železobetonovými trámcí, měděnými plechy a jílem. V příčném řezu je hráz se sklonem 0,05 m na straně návodní a 0,75 m na straně vzdušní.



(a) rok 1955



(b) rok 2017

Obr. 2: Přehrada během výstavby a dnes [www.prehradavir.cz]

Funkční bloky jsou založeny na rulách, stejně jako větší část bloků elektrárenských. Levá část je založena na svoru. Údolím šikmo probíhá tektonická porucha. V hrázi jsou tři revizní štoly navazující svislými šachtami na základovou injekční štolu.

Vodní elektrárna je situována na pravé straně tížné hráze. Příjezdová komunikace odbočuje ze silnice Vír - Dalečín. Budova je železobetonový skelet s cihelnou výplní, osvětlení místností je přímé - okny. Pro příchod a příjezd slouží vrata v ocelové čelní stěně se skleněnou výplní. Do r. 1997 byly v elektrárně dvě turbíny hltnosti $2 \times 12 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pro vodárenský odběr je využíván přivaděč DN 2200 na původní turbínu elektrárny, která je odstraněna a nahrazena turbínou s menší hltností na průběžný provoz [5].

Základní informace o hrázi:

Prostor stálého nadržení

kóta dna údolí	401,45 m n.m.
kóta hladiny stálého nadržení	421,45 m n.m.
objem stálého nadržení	3 800 000 m ³

Prostor zásobní

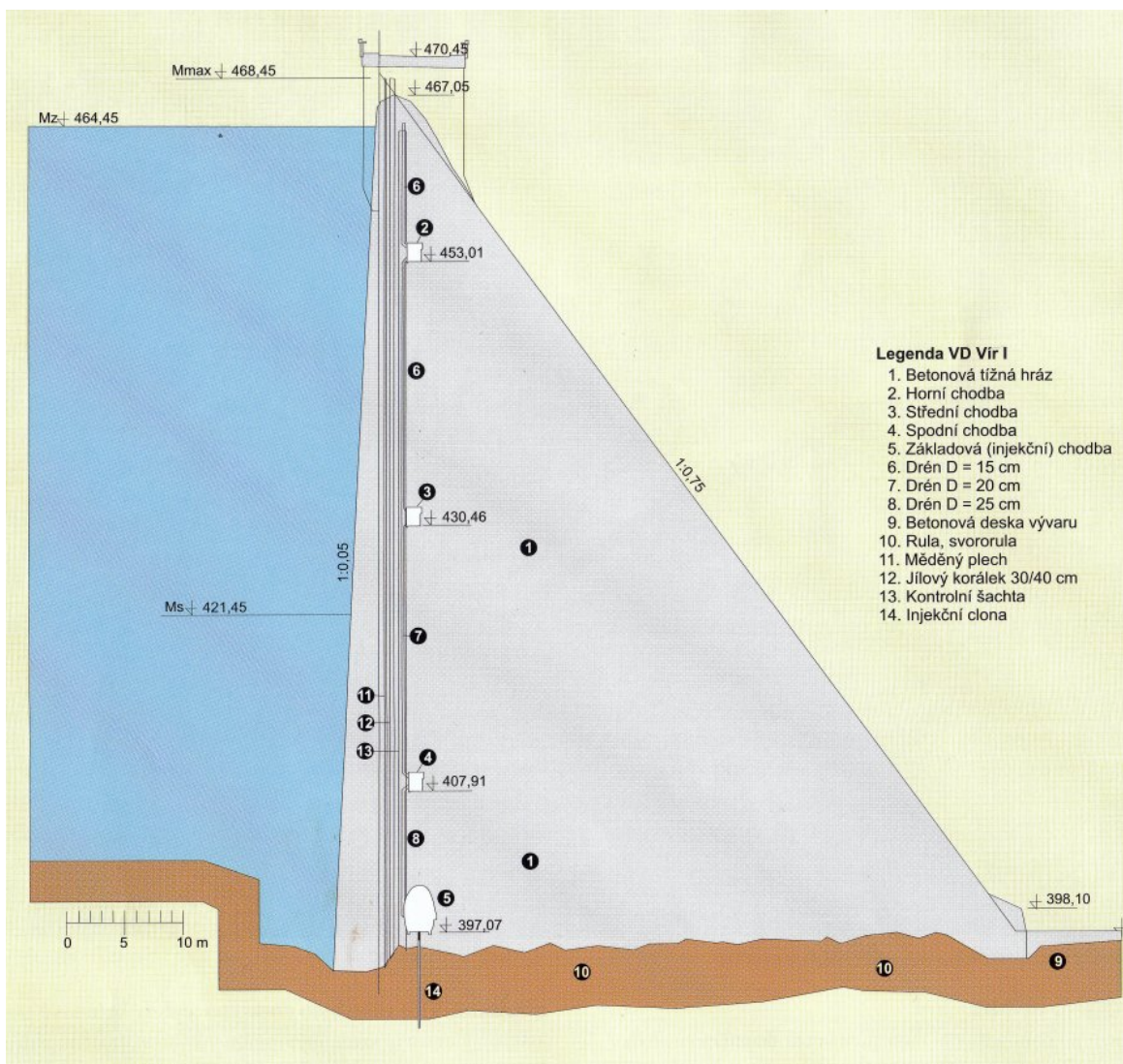
kóta minimální hladiny zásobního prostoru	421,45 m n.m.
kóta max. hladiny zásobního prostoru	464,45 m n.m.
objem zásobního prostoru	44 056 000 m ³
zatopené plocha při max. hladině zásobního prostoru	194 ha

Prostor retenční ovladatelný

kóta min. hladiny ovladatelného retenčního prostoru	464,45 m n.m.
kóta max. hladiny ovladatelného retenčního prostoru	467,05 m n.m.
zatopená plocha při max. hladině ovladatelného prostoru	212,20 ha

Prostor retenční neovladatelný

kóta min. hladiny neovladatelného retenčního prostoru (koruna přel.)	467,05 <i>m n.m.</i>
kóta max. hladiny neovladatelného retenčního prostoru	468,45 <i>m n.m.</i>
objem neovladatelného retenčního prostoru	3 051 000 <i>m³</i>
zatopené plocha při max. hladině	223,60 <i>ha</i>



Obr. 3: Řez hrází [www.prehradavir.cz]

2 Cíl bakalářské práce

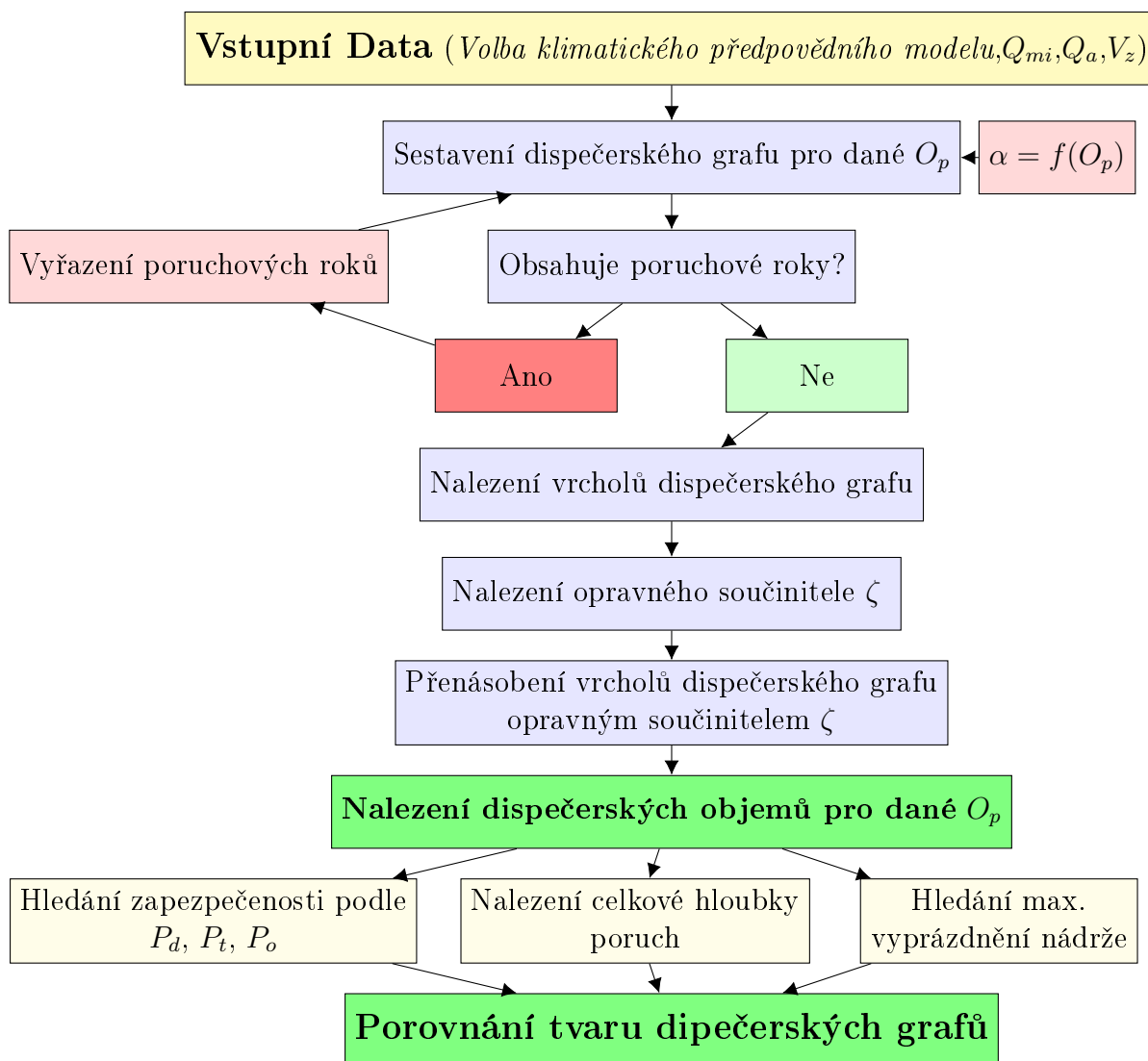
Cílem bakalářské práce je sestavit dispečerský graf pro vodní nádrž Vír I. z reálné průtokové řady v rozmezí let 1950 ~ 1960. Dalším krokem je vytvoření několika dispečerských grafů z prodloužené reálné časové řady o data vygenerovaná několika regionálními klimatickými předpovědními modely pro roky 2015 ~ 2100 a vzájemné porovnání jednotlivých modelů na základě několika parametrů.

V závěru práce budou aplikovány současné požadavky manipulace s vodou dle manipulačního řádu z roku 2011 na zkonstruovaný dispečerský graf podle předpovědních modelů a zhodnocení udržitelnosti těchto podmínek.

Reálná průtoková řada byla poskytnuta ústavem ČHMÚ, umělé průtokové řady generované podle regionálních klimatických modelů byly poskytnuty projektem „*Podpora dlouhodobého plánování a návrhu adaptačního opatření v oblasti vodního hospodářství v kontextu změn klimatu*“.

3 Postup a metody výpočtu

Celý postup výpočtu a následné porovnání klimatických předpovědí je možné shrnout do následujícího algoritmu na obr. 4.

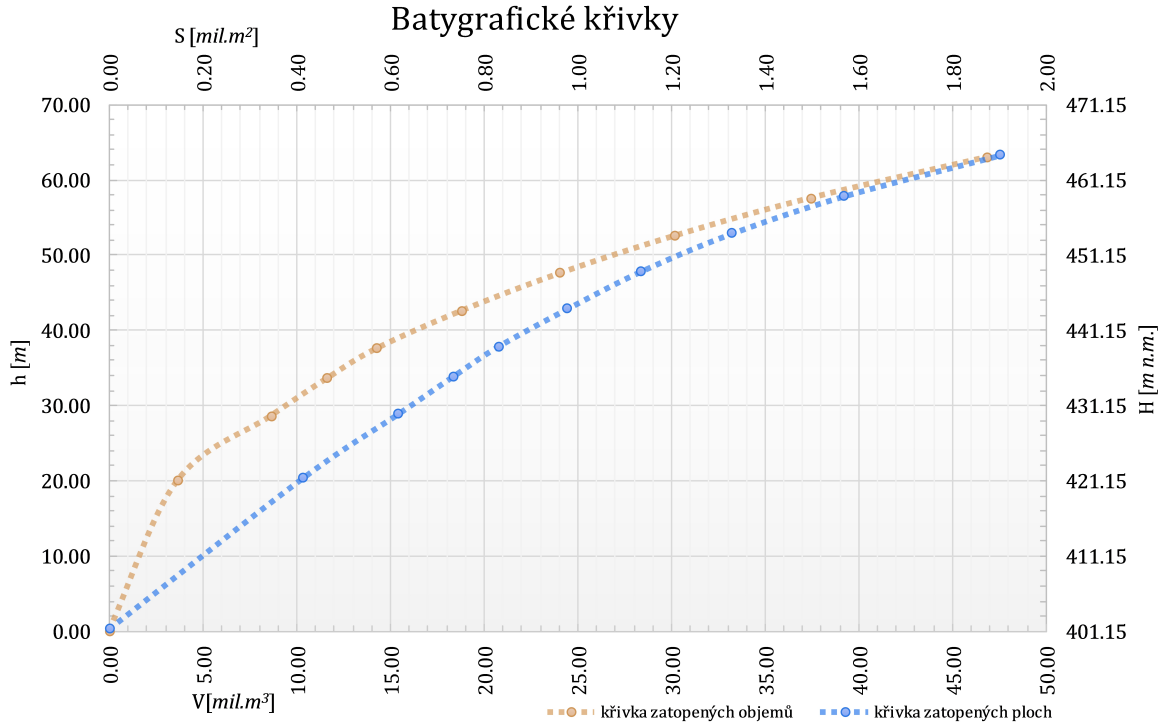


Obr. 4: Algoritmus výpočtu dispečerského grafu a hodnocení výsledků

3.1 Vstupní data

3.1.1 Zásobní objem nádrže V_z

Ve výpočtech je uvažováno s objemem zásobního protoru $V_z=44056000 \text{ m}^3$. Pro převedení objemů na nadmořskou výšku je nutné znát batygrafické křivky, které byly převzaty z manipulačního řádu pro vodní dílo Vír I. [5].



Obr. 5: Batygrafické křivky pro vodní nádrž Vír I.

3.1.2 Reálná časová řada

Ke kontrole a sledování vodních stavů slouží celkem 7 limnigrafických stanic a vodočtů. Všechny 7 limnigrafických stanic má dálkový přenos do kanceláře domku hrázného s vyhodnocením na řídicím počítači.

V roce 1996 byl uveden do provozu automatický monitoring systému SAE, kterým sledují přítoky do nádrže, stav hladiny v nádrži a odtok z nádrže pod Vírem II a dále se měří teplota vzduchu, vody, úhrn srážek, výška sněhu a tloušťka ledu v nádrži. Stavby jsou přenášeny na vodohospodářský dispečink a do kanceláře hrázného. V regulované trati pod hrází Vír I se měří odtok limnigrafem (Li 1) v profilu u továrny. Dálkovým přenosem je registrován stav hladiny v domku hrázného [5].

Reálná časová řada (označovaná akronymem OBS) z let 1950~ 2015 byla poskytnuta ústavem ČHMÚ. Tato časové řady byla následně prodloužena o časové řady předpovězené klimatickými modely.

3.1.3 Generované časové řady

Umělé průtokové řady v rozmezí let 2015~ 2100 byly poskytnuty projektem „Podpora dlouhodobého plánování a návrhu adaptačního opatření v oblasti vodního hospodářství v kontextu změn klimatu“ [6]. Poskytnuté hodnoty průměrného měsíčního odtoku z plochy v povodí jsou v $mm.m^2$ tudíž pro práci s nimi je nutné je převést na průměrný měsíční odtok v $m^3.s^{-1}$.

$$Q_{m,i} = \frac{P.S}{1000.\Delta t} [m^3.s^{-1}] \quad (3.1)$$

$Q_{m,i}$ průměrný měsíční odtok [$m^3.s^{-1}$]
 P průměrný měsíční odtok z plochy v povodí [$mm.m^2$]
 S plocha povodí=486 000 000 [m^2]
 Δt časový krok=1 měsíc =2 630 000 [s]

Výběr modelu

Ve výpočtu je uvažováno celkem s 15-ti umělými a jednou reálnou časovou řadou, které vychází s projektu ENSEMBLES. Projekt byl významným projektem financovaným z programu EU FP7, na němž participovaly desítky zejména evropských institucí. V rámci projektu byla provedena řada simulací globálních a regionálních klimatických modelů, většinou pro Evropu, ale i pro západní Afriku. Simulace regionálních klimatických modelů jsou dostupné jednak jako čtyřicetileté časové řezy řízené reanalýzou ERA-40 a tzv. transientní simulace řízené globálními klimatickými modely pro období 1950–2050 nebo i 1950–2100 [6].

Tab. 1: Simulace řízené modelem ECHAM5

Model	Akronym	Zdroj
RACMO	RACMO_EH5	Královský nizozemský meteorologický institut (KNMI)
REMO	REMO_EH5	Max-Planck Institut (MPI), Německo
RCA	RCA_EH5	Švédský hydrometeorologický institut (SMHI)
RegCM	RegCM_EH5	Mez. centrum pro teoretickou fyziku (ICTP), Itálie
HIRHAM	HIR_EH5	Dánský meteorologický institut (DMI)

Tab. 2: Simulace řízené modelem *ARPEGE*

Model	Akronym	Zdroj
HIRHAM	HIR_ARP	Dánský meteorologický inst. (DMI)
CNRM_RM	CNRM_ARP	(CNRM), Francie
ALADINCLIMATE/CZ	ALA_ARP	Český hydromet. úst. (ČHMÚ), ČR

Tab. 3: Simulace řízené modelem *HadCM3Q0*, *HadCM3Q3*, *HadCM3Q16*

Model	Akronym	Zdroj
HadRM	HadRM_Q0	Hadley Centre, UK
HadRM	HadRM_Q3	Hadley Centre, UK
HadRM	HadRM_Q16	Hadley Centre, UK
CLM	CLM_Q0	Federální švýcarský technologický institut (ETHZ)
RCA	RCA_Q3	Švédský hydrometeorologický institut (SMHI)
RCA	RCA_Q16	Komunitní sdružení pro klimatickou změnu (C4I), Irsko

Tab. 4: Simulace řízené modelem *BCM*

Model	Akronym	Zdroj
RCA	RCA_BCM	Švédský hydrometeorologický institut (SMHI)

3.2 Způsoby porovnání klimatických modelů

V důsledku velkého množství parametrů vstupujících do výpočtu nemůžeme srovnávat na základě jednoho určujícího ukazatele, protože každý parametr zahrnuje pouze omezené množství informací. Z toho důvodu je pro srovnání nutné zahrnout vícero různých prvků. Porovnání se provede pro $O_p \in \{0, 5; 1, 0; 1, 5; 2, 0; 2, 5; 3, 0; 3, 5\} m^3 \cdot s^{-1}$ při znalosti zásobního objemu $V_z = 44,056 mil.m^3$.

provedené srovnání:

- vykreslení obálek dispečerských grafů pro dané O_p do jednoho grafu
- porovnání dlouhodobého průměrného přítoku do nádrže Q_a
- potřebný objem zásobního prostoru pro 100% zabezpečení odtoku a tedy i stanovení deficitního objemu daného jako rozdíl vypočteného potřebného objemu a skutečného zásobního objemu v $mil.m^3$
- podle zabezpečení P_o, P_t, P_d

- na základě počtu poruchových roků, měsíců a objemu nedodané vody čili celkové hloubky poruch
- dle ČSN 73 68 15 - zatřídění do kategorií A ~D významnosti odběratelů a efektů nádrže

3.2.1 Sestrojení dispečerského grafu

Sestrojení dispečerského grafu je možné, má-li přítok do nádrže v letech s výraznými málovodnými obdobími (blízkými návrhovému období) aspoň přibližně shodný průběh. Důležitý je časový výskyt vodných a málovodných období, který by se měl ve všech rocích přibližně shodovat. Základní podmínkou pro sestrojení dispečerského grafu je existence ročního průtokového cyklu. Čím je roční cyklus průtoku pravidelnější, tím určitější dispečerský graf lze sestrojít [7].

Podmínky pro sestrojení:

- nutná existence ročního průtokového cyklu.
- Přibližné opakování vodných a málovodných období ve všech rocích.
- Podklad pro sestrojení - dlouhá reprezentativní reálná průtoková řada, nebo umělá průtoková řada.

Postup sestrojení dispečerského grafu:

1. Z chronologické průtokové řady, která je podkladem, se vyloučí roky, jejichž nárok na teoretickou hodnotu zásobního objemu je větší než skutečný zásobní objem. Tyto roky jsou poruchové a v konstrukci se k nim nepřihlíží[7].
2. Řešení vychází z požadavku, aby v každém roce na konci málovodného období byl zásobní objem právě vyprázdněn. Postupně od konce málovodného období měsíc po měsíci zpětně určujeme objem vody, který je nutno mít v nádrži k dispozici pro nalepšení odtoku O_P tak, aby na konci málovodného období byl dodržen výše uvedený požadavek – prázdný zásobní objem. Řešení je možno provádět početně nebo graficky. Stanovený nutný objem vody v nádrži na počátku jednotlivých měsíců řešeného roku vyneseme do grafu. Postup opakujeme pro všechny roky[7].
3. Hledanou protiporuchovou čáru $V_D(t)$ vytvoříme jako horní obálku všech nutných objemů v nádrži v průběhu roku[7].

Při sestrovování dispečerského grafu se obvykle uvažuje teoretická velikost zásobního objemu, která je obecně rozdílná od projektové hodnoty. Proto je nutno teoretické

pořadnice dispečerského grafu upravit tak, aby maximální náplň byla shodná se skutečným objemem zásobního prostoru součinitelem ζ .

$$\zeta = \frac{V_z}{V_z(\text{teor.})} [-] \quad (3.2)$$

ζ Opravný součinitel [-]
 V_z Zásobní prostor nádrže=40 560 000 [m³]
 $V_z(\text{teor.})$ Maximální vyprázdnění nádrže pro dané O_p [m³]

3.2.2 Hledání potřebných objemů

Výpočet potřebných objemů nádrže se provede úlohou č.1 $V_z = f_1(O_p; P = 100\%)$, tedy hledáme potřebný zásobní prostor pro 100% zabezpečení nalepšeného odtoku. Z řešení úlohy dostaneme informaci jak velký by musel být teoretický zásobní objem aby pro danou průtokovou řadu a daný nalepšený odtok nenastala porucha.

Tímto docílíme jednak srovnání mezi provedenými simulacemi, ale i určitou představu o potencionálních technických úpravách pro zajištění lepší zabezpečení nalepšeného odtoku.

3.2.3 Nalezení zabezpečení

Pro výpočet zabezpečení se využívá úloha č. 2 $P = f_2(O_p; V_z)$, tedy hledáme zabezpečení za podmínky známého zásobního objemu a daném požadovaném odtoku. Předpokladem úlohy je výchozí stav plné nádrže. Je-li vyprázdněný objem větší než objem zásobní, potom je rok nebo měsíc klasifikován jako poruchový. Hloubka poruchy je potom dána jako součet poruch v jednotlivých měsících nebo rocích. Mírou zabezpečení nalepšeného odtoku jako výsledku řízení odtoku je pravděpodobnost, že skutečný odtok neklesne pod plánovanou hodnotu O_p [8].

Pro výpočet míry zabezpečení se používá buď klasický matematický vztah pro výpočet zabezpečení nebo Čegodajevův vztah, který má význam zejména při malém počtu prvků a zabezpečení blízkých se ku 100%. V našem případě je počet prvků dostatečný tudíž Čegodajevův vztah ztrácí význam.

$$P_i = \frac{m}{n} \cdot 100 [\%] \quad (3.3)$$

P_i pravděpodobnost [%]
 m počet prvků v kterých nastal sledovaný jev [-]
 n celkový počet vyhodnocovaných prvků [-]

Zabezpečení podle opakování P_o

Je nejpoužívanější a nejdostupnějším ukazatelem zabezpečení. V podstatě se však jedná o nejméně přesný ukazatel, protože nejméně přesně kvantifikuje trvání poruchy (abychom kvantifikovali rok jako poruchový, je postačující, aby se v uvažovaném roce vyskytla jediná porucha v odtoku). Tento ukazatel nezachycuje ani hloubku poruchy ani neodteklé množství oproti plánované hodnotě [8].

Pro výpočet se za m dosadí počet poruchových roků (roky v nichž nastane porucha) a za n celkový počet roků.

Zabezpečení podle trvání P_t

Výstižnější ukazatel z hlediska kvantifikace poruch v řízeném nalepšeném odtoku. Avšak i zde neexistuje přímý vztah mezi skutečným trváním poruch a mezi hospodářskou ztrátou. Obecně platí, že mělčí a delší porucha je hospodářsky příznivější než porucha krátká a hlubší [8].

Pro výpočet se za m dosadí počet poruchových měsíců (roky v nichž nastane porucha) a za n celkový počet měsíců.

Zabezpečení podle dodávky vody P_d

Je dán poměrem skutečně odteklého množství vody k plánovanému odteklému množství ve vyšetřovaném období. Plánované odteklé množství lze stanovit ze vztahu 3.4:

$$n_d = O_p \cdot t [m^3] \quad (3.4)$$

n_d plánované odteklé množství vody [m^3]
 O_p nalepšený neboli požadovaný odtok [$m^3 \cdot s^{-1}$]
 t celkový čas v daném období [s]

Skutečné odteklé množství vody stanovíme jako:

$$m_d = O_p \cdot t - \Sigma D [m^3] \quad (3.5)$$

m_d skutečné odteklé množství vody [m^3]
 O_p nalepšený neboli požadovaný odtok [$m^3 \cdot s^{-1}$]
 t celkový čas v daném období [s]
 ΣD celková hloubka poruch [m^3]

3.2.4 Zatřídění do kategorií podle významnosti

Kategorizace probíhá na základě hodnoty zabezpečení podle trvání Pt. Vířská přehrada zapadá do první kategorie **A**. Je jí hlavní funkcí je zásobování obyvatelstva pitnou vodou.

Tab. 5: Roztřídění podle významnosti

Třída významnosti	A	B	C	D
Zabezpečení podle trvání Pt[%]	$\geq 99,5$	$\geq 98,5$	$\geq 97,5$	$\geq 95,0$

Třída A

- a) vodovody pro více než 150 tisíc obyvatel
- b) jaderná a tepelná elektrárna nad 500MW
- c) vybrané průmyslové podniky celostátního významu (zejména s nepřetržitým provozem)

Třída B

- a) vodovody pro 50 tisíc až 150 tisíc obyvatel
- b) tepelná elektrárna do 500MW
- c) průmyslové podniky celostátního významu (mimo podniky dle třídy A dle bodu c)
- d) minimální průtoky pod nádrží a minimální potřebný průtok v jiném určeném profilu

Třída C

- a) vodovody pro méně než 50
- b) průmyslové podniky oblastního významu
- c) živočišná výroba mimo chov ryb a vodní drůbeže

Třída D

- a) vodní elektrárny (zabezpečení se vztahuje k dohodnutému průtoku, který se stanovuje individuálně)
- b) plavba
- c) místní průmysl a provozny komunálního hospodářství

- d) závlahy
- e) chov ryb a vodní drůbeže
- f) lesnictví
- g) rekreace

4 Vliv klimatických modelů na tvar dispečerských grafů

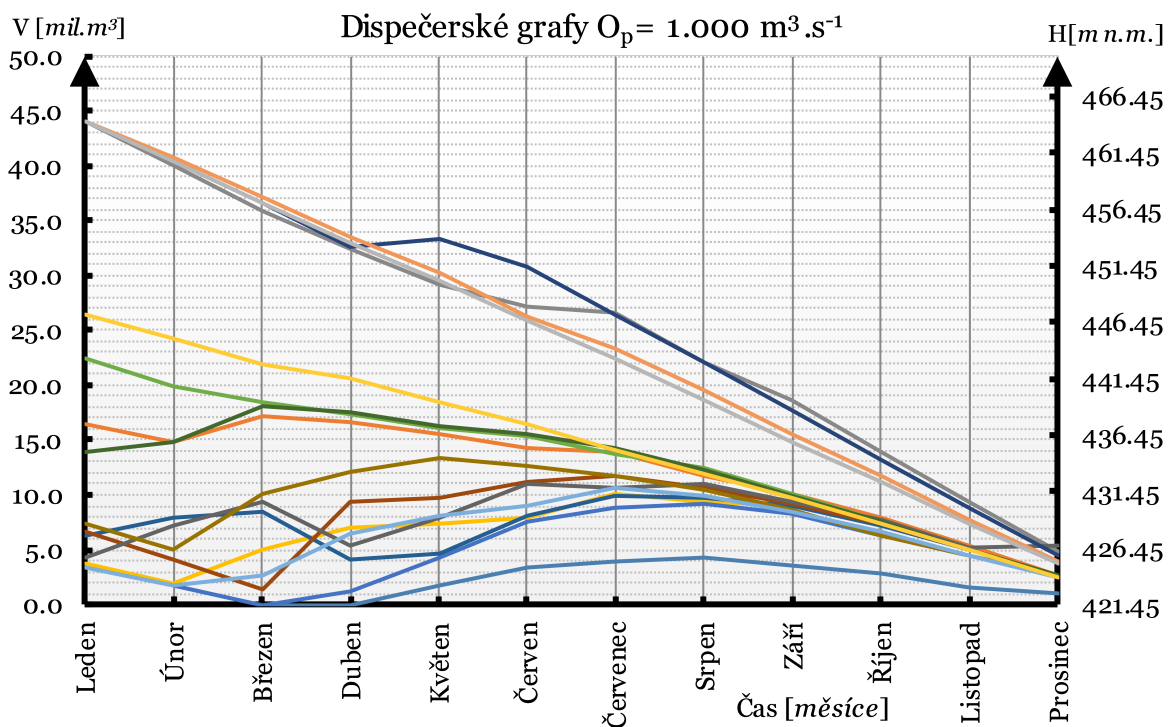
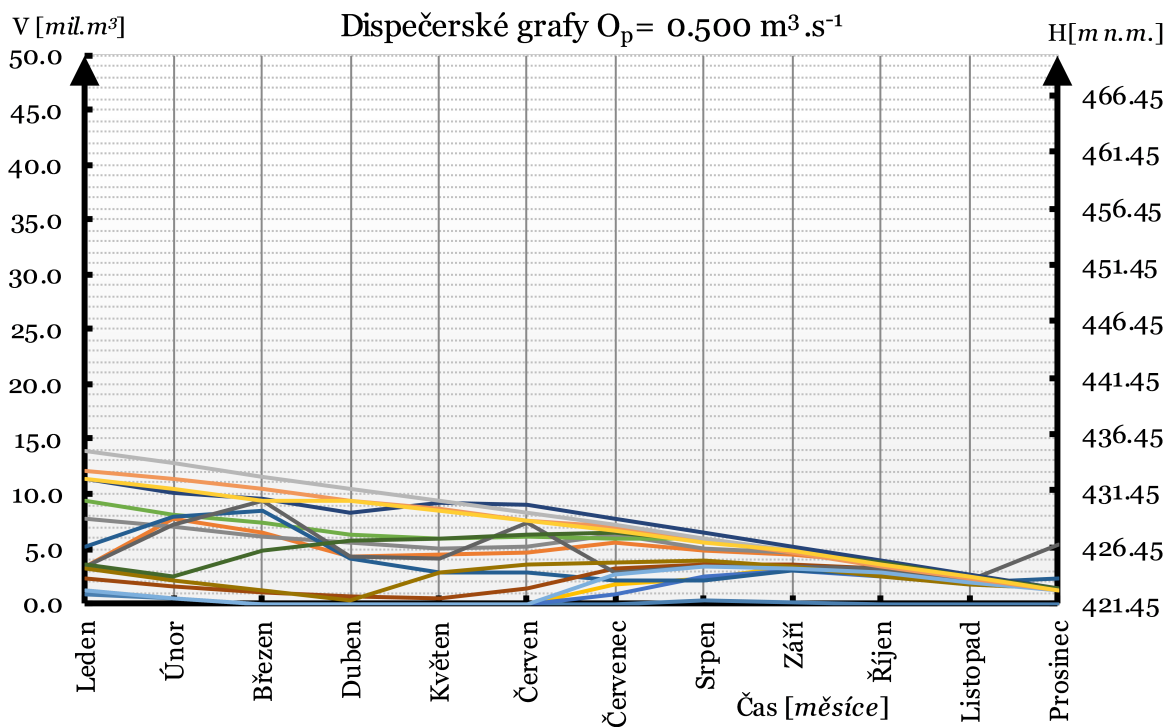
4.1 Dispečerské grafy

Výpočty byly provedeny postupně pro $O_p \in \{0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5\}m^3 \cdot s^{-1}$. Zásobní objem byl uvažován $V_z = 40\,560\,000m^3$ a časový krok $\Delta t = 2\,630\,000s$.

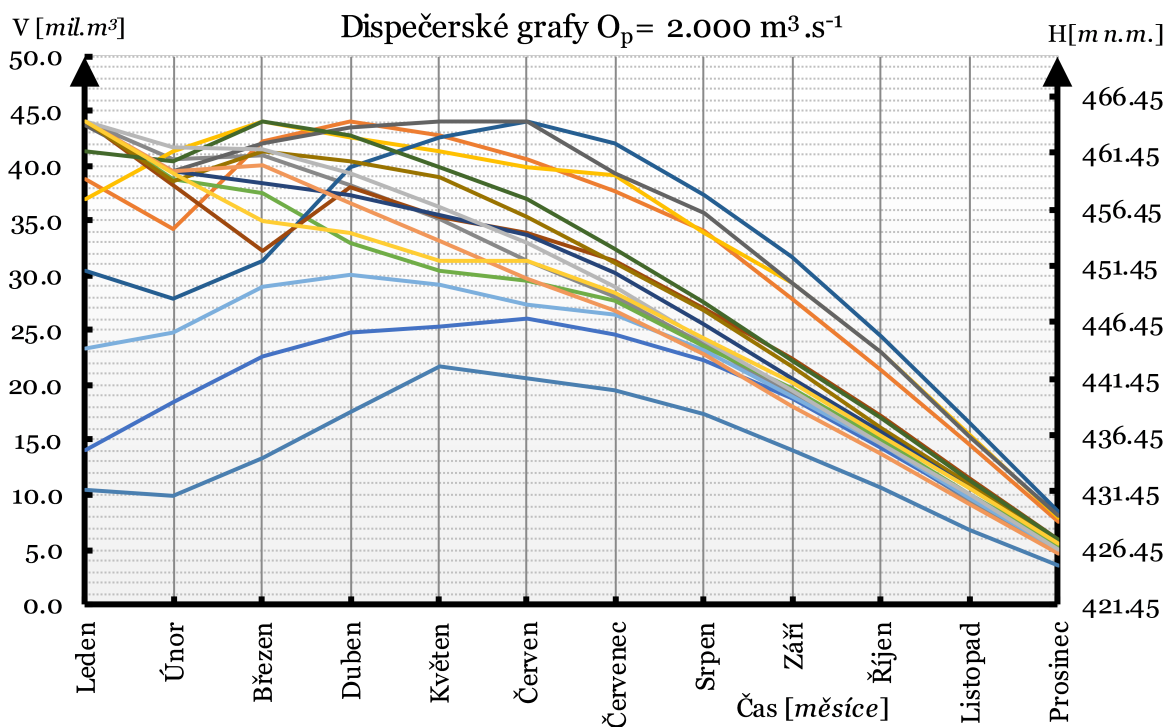
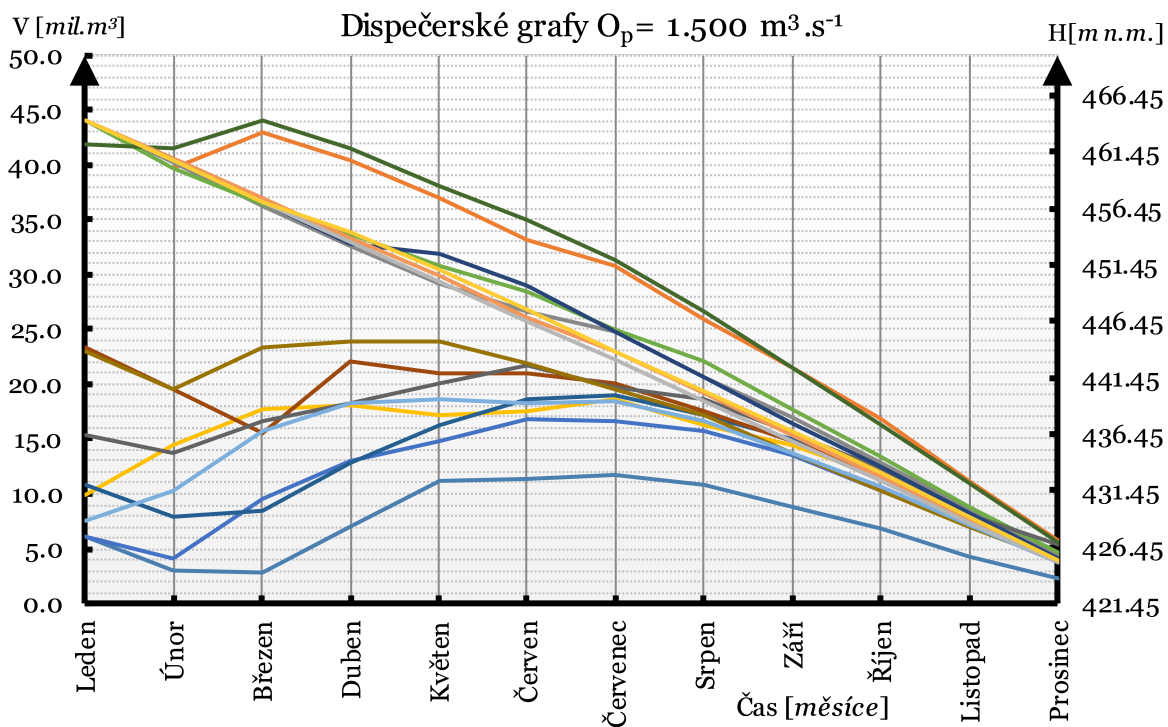
Tab. 6: *Součinitele nalepšení pro různé O_p*

$O_p[m^3 \cdot s^{-1}]$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
$\alpha_{O_p}[-]$	$\alpha_{0,5}$	$\alpha_{1,0}$	$\alpha_{1,5}$	$\alpha_{2,0}$	$\alpha_{2,5}$	$\alpha_{3,0}$	$\alpha_{3,5}$
OBS	0,15	0,30	0,46	0,61	0,76	0,91	1,07
ALA_ARP	0,17	0,34	0,51	0,67	0,84	1,01	1,18
CLM_Q0	0,16	0,32	0,48	0,64	0,80	0,96	1,12
CNRM_ARP	0,17	0,33	0,50	0,66	0,83	0,99	1,16
HIR_ARP	0,17	0,34	0,51	0,68	0,85	1,02	1,19
HIR_EH5	0,14	0,27	0,41	0,55	0,68	0,82	0,96
HadRM_Q0	0,17	0,33	0,50	0,66	0,83	0,99	1,16
HadRM_Q16	0,18	0,36	0,55	0,73	0,91	1,09	1,27
HadRM_Q3	0,14	0,29	0,43	0,58	0,72	0,87	1,01
RACMO_EH5	0,13	0,26	0,40	0,53	0,66	0,79	0,92
RCA_BCM	0,14	0,29	0,43	0,57	0,71	0,86	1,00
RCA_EH5	0,13	0,27	0,40	0,53	0,66	0,80	0,93
RCA_Q16	0,15	0,30	0,45	0,60	0,75	0,91	1,06
RCA_Q3	0,14	0,28	0,42	0,56	0,70	0,84	0,98
REMO_EH5	0,14	0,29	0,43	0,57	0,72	0,86	1,00
RegCM_EH5	0,15	0,29	0,44	0,58	0,73	0,87	1,02

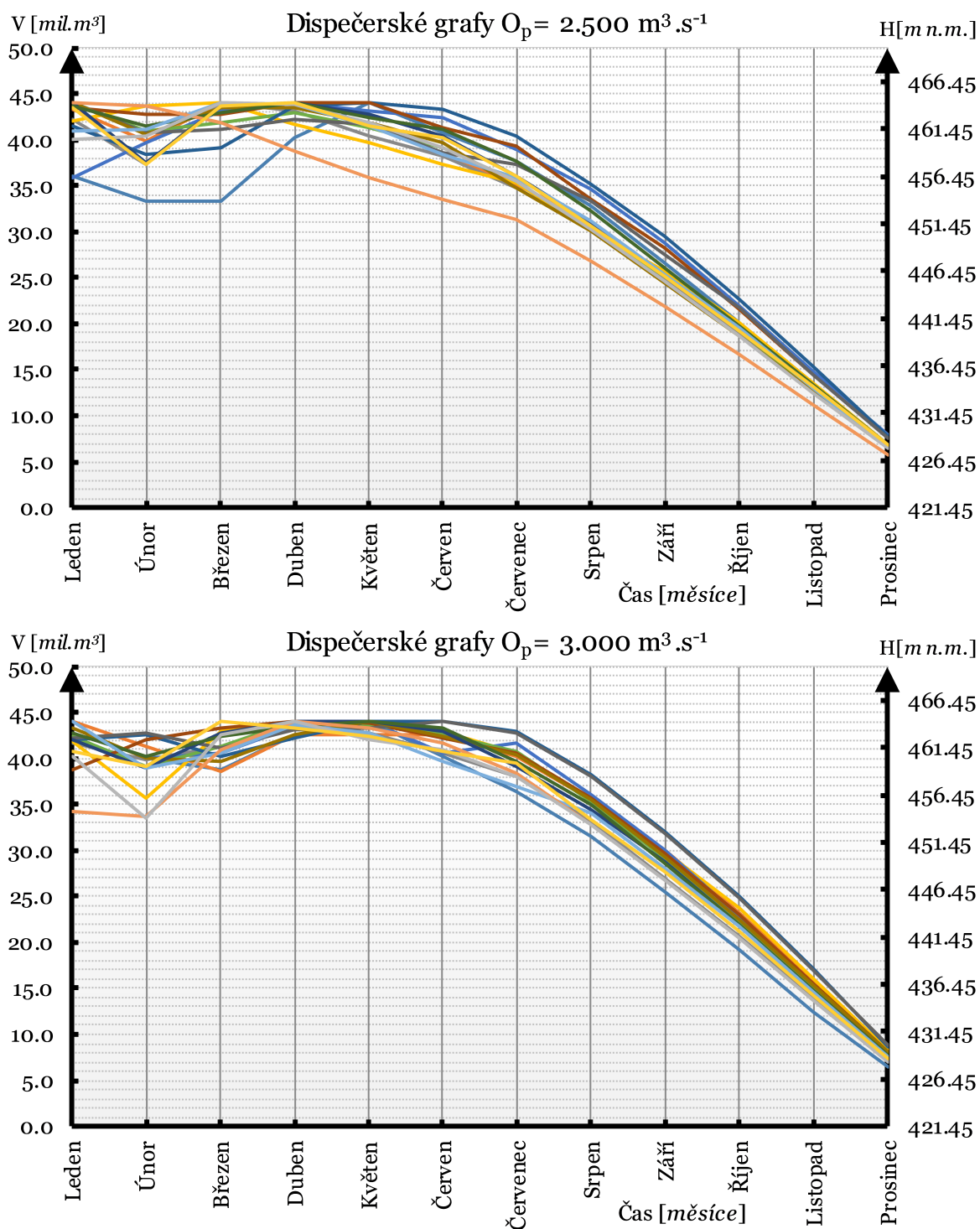
V tabulce č.6 jsou součinitele nalepšeného odtoku předepsané funkcí $\alpha = f(O_p)$. V grafech na obr. 6, 7, 8, 9 můžeme vidět postupně se transformující dispečerské grafy sestavené z protiporuchových čar tzv. obálek daných modelů v závislosti na požadavcích odběru vody čili nalepšeném odtoku. Pro orientaci v grafech slouží legenda čar na obr 20.



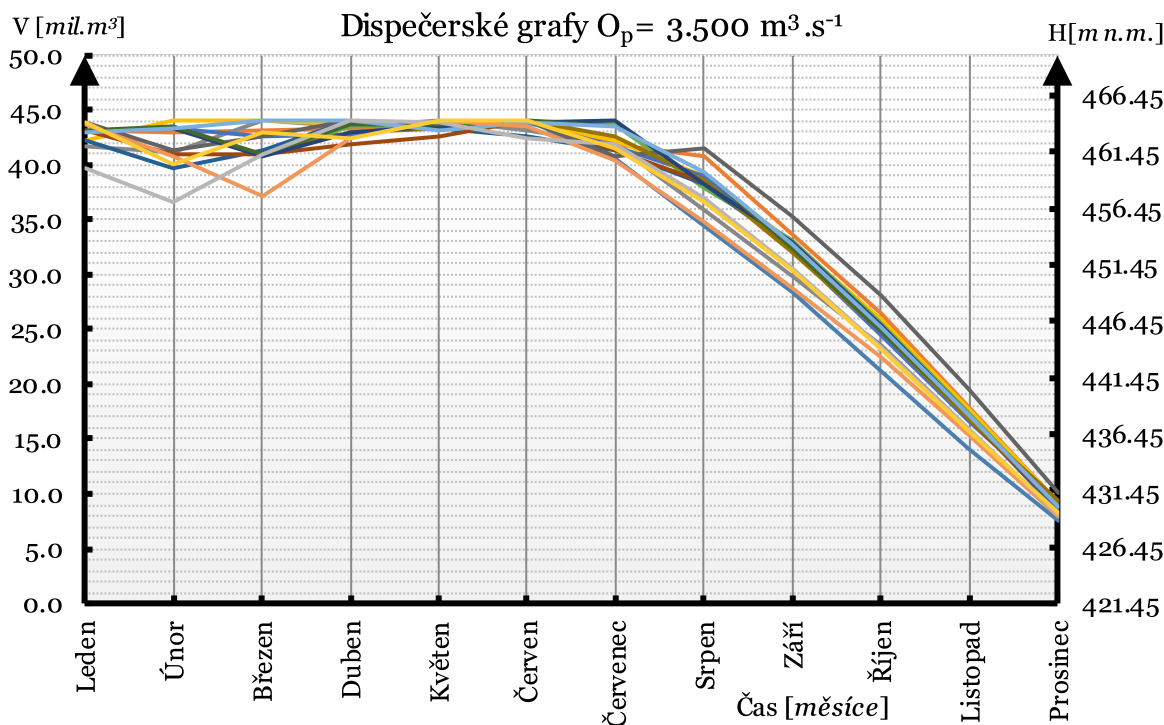
Obr. 6: Srovnání disp. grafů pro $O_p = 0,5$ a $1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$



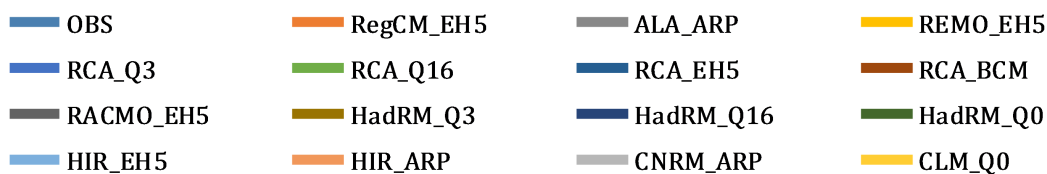
Obr. 7: Srovnání disp. grafů pro $O_p = 1,5$ a $2,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$



Obr. 8: Srovnání disp. grafů pro $O_p = 2,5$ a $3,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$



Obr. 9: Srovnání disp. grafů pro $O_p = 3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$



Obr. 10: Legenda pro obr. 6,7,8,9

Postupným zvyšování nalepšeného odtoku O_p můžeme sledovat vývoj obálek dispečerských všech 15 generovaných řad a jedné reálné průtokové řady z období 1950-2015. Při nižších požadavcích na odběr vody nám z grafů vyplývají difference mezi jednotlivými simulacemi a reálnou řadou v nároku potřebných nadržovaných objemů v závislosti na roční době.

Největší nutnost nadržovaných objemů na začátku kalendářního roku (Leden, Únor, Březen) při nízkých hodnotách $O_p \in \{0,5; 1,0; 1,5\} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ mají všechny simulace řízené modelem ARPEGE mezi kterými je i simulace ALADINCLIMATE/CZ s akronymem ALA_ARP jehož výsledky vycházejí z Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), dále pak HIR_ARP (DMI) a CNRM_ARP z Francouzského národního centra pro meteorologický výzkum. K nim lze přiřadit i RegCM_EH5 (model ECHAM5), HadRM_Q16,

RCAQ16(oba model HadCM3Q16) a CLM_Q0(HadCM3Q0). Vývoje jejich dispečerských grafů v průběhu roků téměř lineárně klesá na až hodnoty objemů kolem $5 \sim 10 \text{mil.m}^3$.

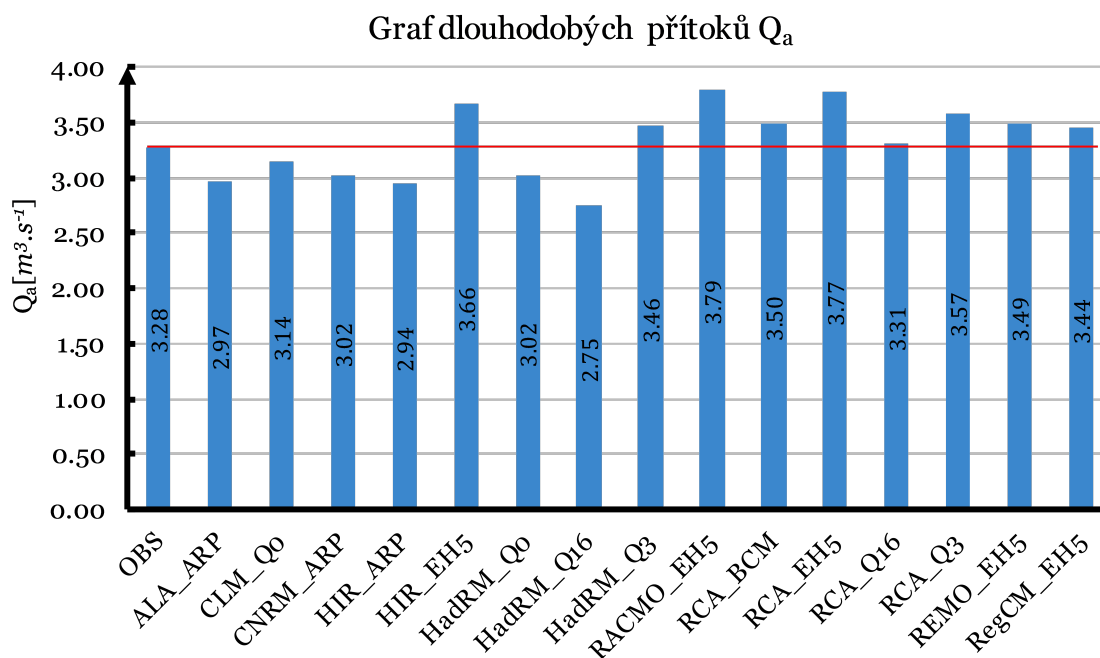
Předpokládaný vývoj obálky dispečerských grafů má reálná časová řada OBS, tzn. malé objemy v jarních měsících a naproti tomu velké objemy v málovodných obdobích(Červen,Srpen,Září). Očekávané jsou i nejmenší požadavky oproti generovaným řadám, což koresponduje s všeobecným předpokladem snížení přítoků do nádrže v průběhu nastávajícího období(2015 ~ 2100). Charakterem tvaru křivky na ni navazují zbývající simulace a to: RACMO_EH5, REMO_EH5, RCA_EH5, HIR_EH5(všechny model ECHAM5), HadRM_Q0(model HadCM3Q0),HadRM_Q3, RCA_Q3(oba model HadCMQ3) a RCA_BCM(model BCM).

U hodnot $O_p \in \{2, 0; 2, 5; 3, 0; 3, 5\} \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ se tvar všech křivek postupně formuje do jednotného průběhu, se stejnými nároky v jednotlivých měsících, které lze shrnout jako nadrženi plné nádrže v první polovině roku(od Ledna do Července), načez v druhé půlce roku nutnost nadržovaných objemů klesá přímou úměrou až na hodnoty okolo $5 \sim 10 \text{mil.m}^3$ v závěru kalendářního roku.

4.2 Průměrné dlouhodobé přítoky do nádrže Q_a

Tab. 7: Průměrné dlouhodobé přítoky do nádrže Q_a

akronym	$Q_a [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$\Delta Q = Q_{a,OBS} - Q_{a,akronym} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
OBS	3,28	-
ALA_ARP	2,97	-0,31
CLM_Q0	3,14	-0,14
CNRM_ARP	3,02	-0,26
HIR_ARP	2,94	-0,34
HIR_EH5	3,66	+0,38
HadRM_Q0	3,02	-0,26
HadRM_Q16	2,75	-0,53
HadRM_Q3	3,46	+0,18
RACMO_EH5	3,79	+0,51
RCA_BCM	3,50	+0,22
RCA_EH5	3,77	+0,49
RCA_Q16	3,31	+0,03
RCA_Q3	3,57	+0,29
REMO_EH5	3,49	+0,21
RegCM_EH5	3,44	+0,16

Obr. 11: Průměrné dlouhodobé přítoky Q_a

4.3 Potřebné a deficitní objemy

Výpočty byly provedeny postupně pro $O_p \in \{0, 5; 1, 0; 1, 5; 2, 0\} m^3 \cdot s^{-1}$. Zásobní objem byl uvažován $V_z = 40560000 m^3$ a časový krok $\Delta t = 2630000 s$.

Již není uvažováno s odtoky 2,5;3,0 a 3,5 $m^3 \cdot s^{-1}$, protože by výsledek postrádal význam z důvodu příliš velkých potřebných objemů. Deficitní-chybějící objem je definován jako rozdíl teoreticky vypočteného potřebného objemu a skutečného zásobního prostoru.

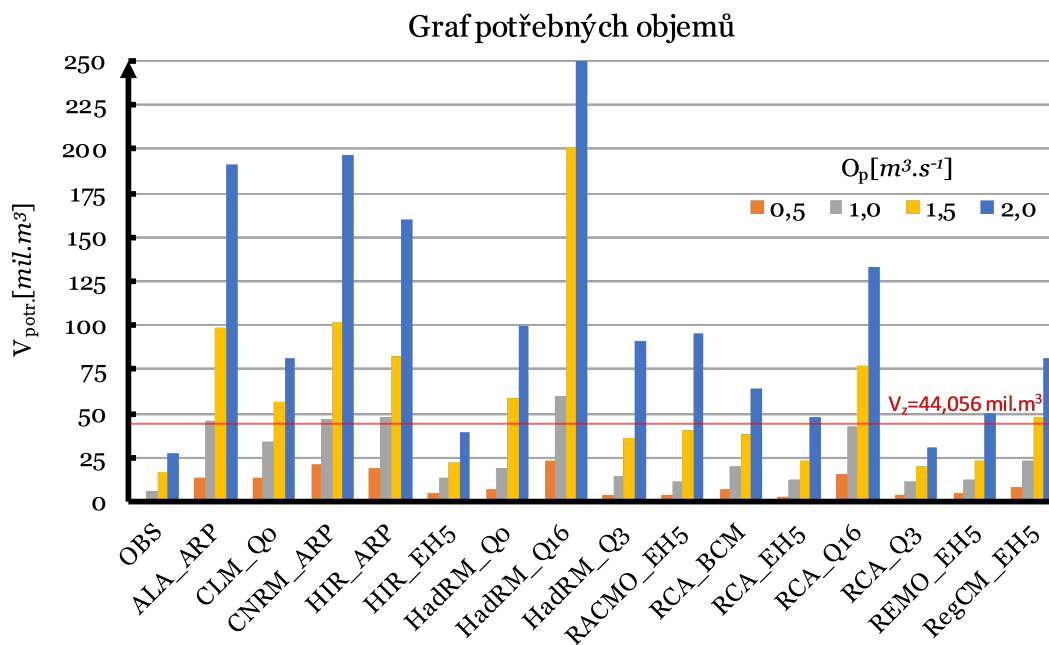
V tabulce 15 jsou uvedeny hodnoty teoreticky potřebného objemu pro stoprocentní zabezpečení na dané O_p . V tabulce č. 9 jsou uvedeny deficitní objemy stanovené podle vztahu 4.1.

$$V_{def} = V_{teor} - V_z \quad (4.1)$$

V_{def}	chybějící objem [m^3]
V_{teor}	teoretický spočítaný objem [m^3]
V_z	zásobní objem [m^3]

Tab. 8: Potřebné objemy pro různé O_p v mil.m^3

$O_p[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
OBS	0,82	6,48	16,61	27,73	64,677
ALA_ARP	13,78	45,43	98,61	191,51	391,59
CLM_Q0	13,31	33,94	56,54	81,45	192,9
CNRM_ARP	21,10	46,63	102,18	196,60	402,97
HIR_ARP	18,86	47,83	82,09	159,90	333,02
HIR_EH5	4,59	13,08	22,45	39,26	64,68
HadRM_Q0	7,31	19,40	58,53	99,30	205,68
HadRM_Q16	23,49	59,38	200,96	659,60	1406,50
HadRM_Q3	4,05	14,37	36,73	90,81	158,76
RACMO_EH5	4,25	11,83	40,21	95,01	157,30
RCA_BCM	7,63	20,06	38,01	64,57	110,14
RCA_EH5	3,35	12,01	23,26	48,39	124,67
RCA_Q16	15,47	42,91	77,01	133,56	312,93
RCA_Q3	3,93	11,22	20,43	30,42	64,68
REMO_EH5	4,61	12,83	23,48	50,32	92,62
RegCM_EH5	8,29	22,78	48,43	81,91	154,91

















Obr. 12: Potřebné objemy pro různé O_p

Tab. 9: Deficitní objemy pro různé O_p v mil.m^3

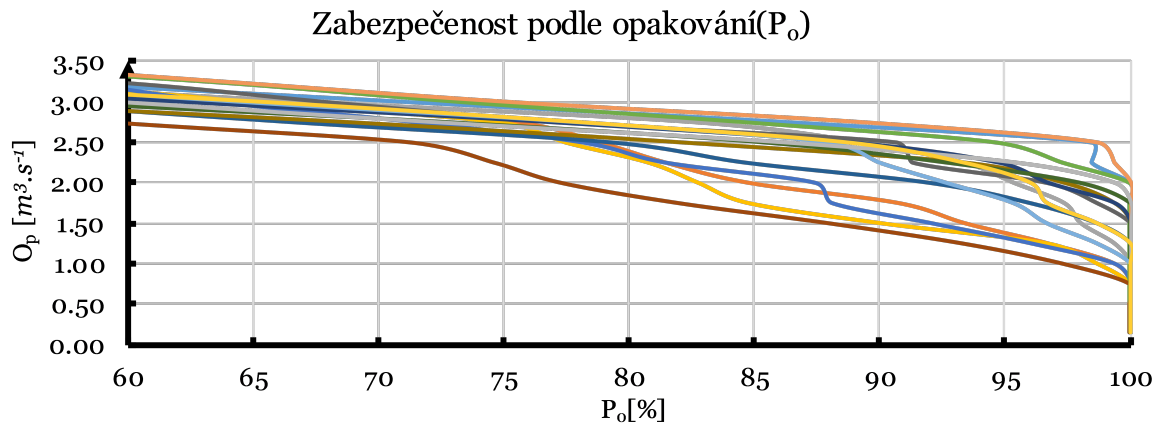
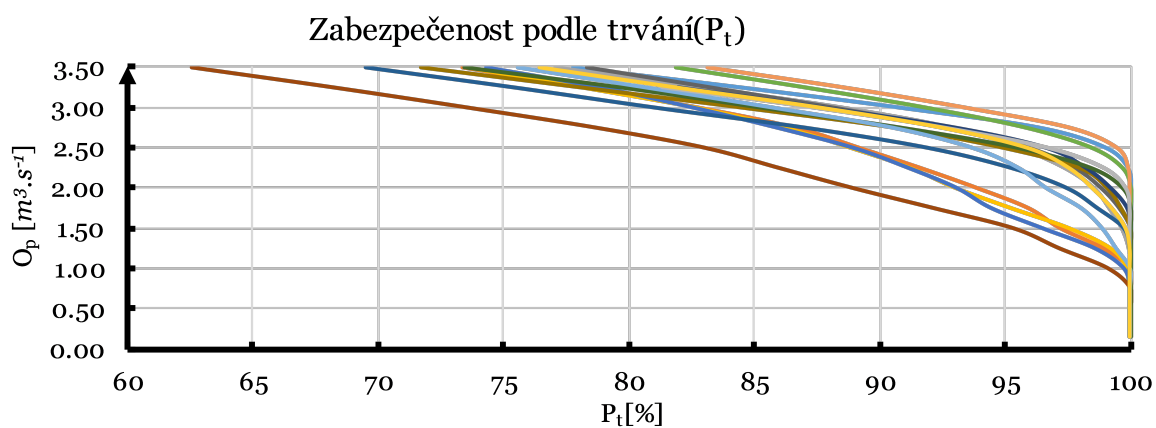
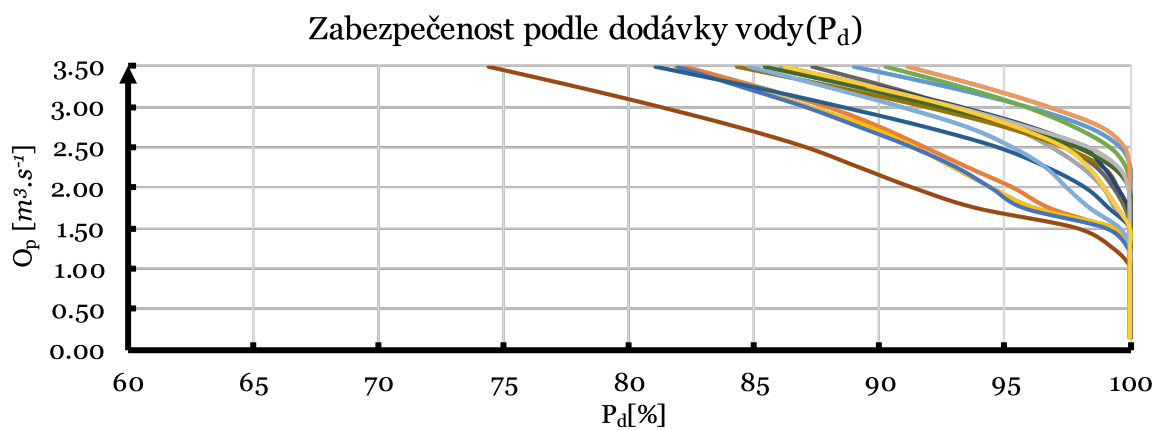
$O_p[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
OBS	0,00	0,00	54,55	0,00	20,62
ALA_ARP	0,00	1,37	12,49	147,45	347,53
CLM_Q0	0,00	0,00	58,12	37,39	148,94
CNRM_ARP	0,00	2,57	58,12	152,54	358,04
HIR_ARP	0,00	3,78	38,03	115,85	288,96
HIR_EH5	0,00	0,00	0,00	0,00	20,62
HadRM_Q0	0,00	0,00	14,47	55,24	161,62
HadRM_Q16	0,00	15,32	156,90	615,52	1362,44
HadRM_Q3	0,00	0,00	0,00	46,75	114,71
RACMO_EH5	0,00	0,00	0,00	51,02	113,24
RCA_BCM	0,00	0,00	0,00	20,51	66,08
RCA_EH5	0,00	0,00	0,00	4,39	80,92
RCA_Q16	0,00	0,00	33,04	89,50	268,87
RCA_Q3	0,00	0,00	0,00	0,00	20,62
REMO_EH5	0,00	0,00	0,00	6,26	48,56
RegCM_EH5	0,00	0,00	4,37	37,66	11,85

4.4 Porovnání podle zabezpečení

Pomocí vztahových křivek můžeme srovnat zabezpečení jednotlivých modelů. Křivky jsou vykresleny postupně pro zabezpečení podle opakování, trvání a dodávky vody na základě výsledků vypočítaných dle vzorce 3.3.

 OBS	 RegCM_EH5	 ALA_ARP	 REMO_EH5
 RCA_Q3	 RCA_Q16	 RCA_EH5	 RCA_BCM
 RACMO_EH5	 HadRM_Q3	 HadRM_Q16	 HadRM_Q0
 HIR_EH5	 HIR_ARP	 CNRM_ARP	 CLM_Q0

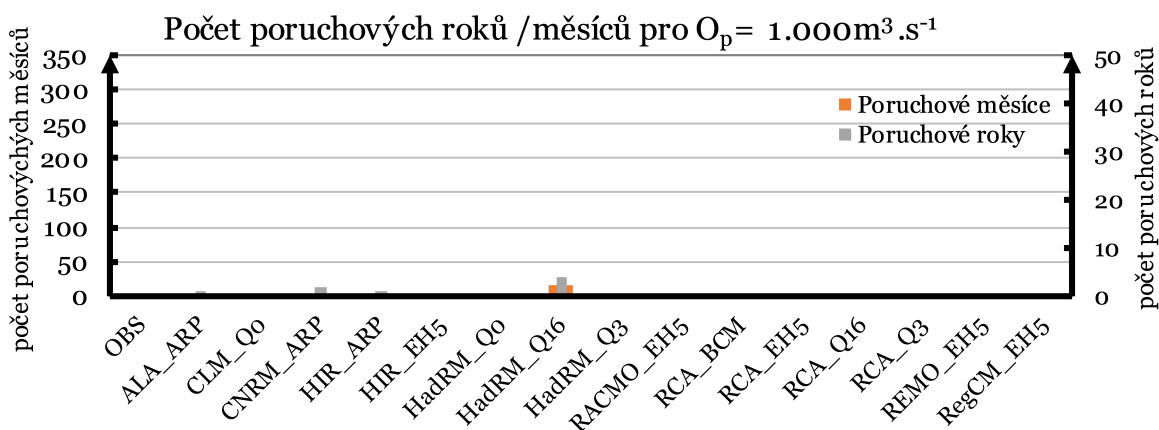
Obr. 13: Legenda pro obr. 14,15,16

Obr. 14: Vztahové křivky podle P_o Obr. 15: Vztahové křivky podle P_t Obr. 16: Vztahové křivky podle P_d

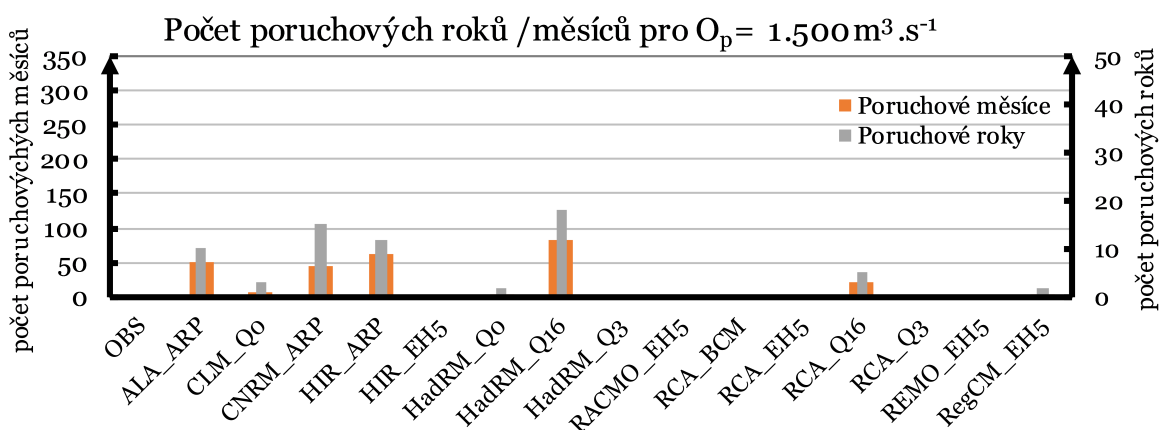
4.5 Porovnání podle počtu poruchových roků a celkové hloubky poruch

Poruchový měsíc je definován jako měsíc v němž nastane porucha tzn. vyprázdnění nádrže je větší než zásobní objem nádrže ($44,056 \text{ mil.m}^3$). Poruchový rok je dán výskytem minimálně jednoho poruchového měsíce během jeho trvání. Celkovou hloubku poruch stanovíme součtem všech dílčích poruch v průběhu celého období viz kapitola 3.2.3.

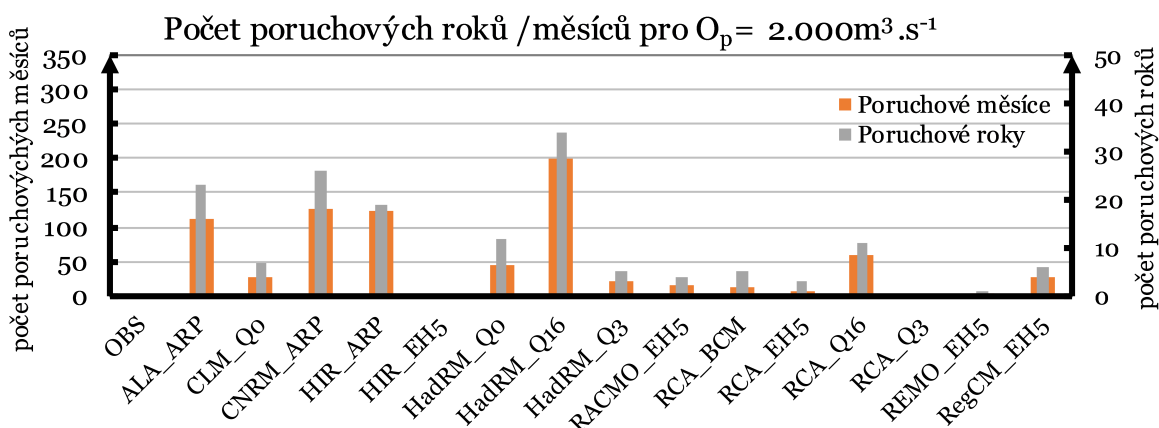
Srovnání je pro $O_p \in \{1,0; 1,5; 2,0; 2,5\} \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. V tomto případě není počítáno s hodnotami $O_p \in \{0,5; 3,0; 3,5\} \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pro příliš nízký nebo vysoký počet poruchových roků respektive měsíců.



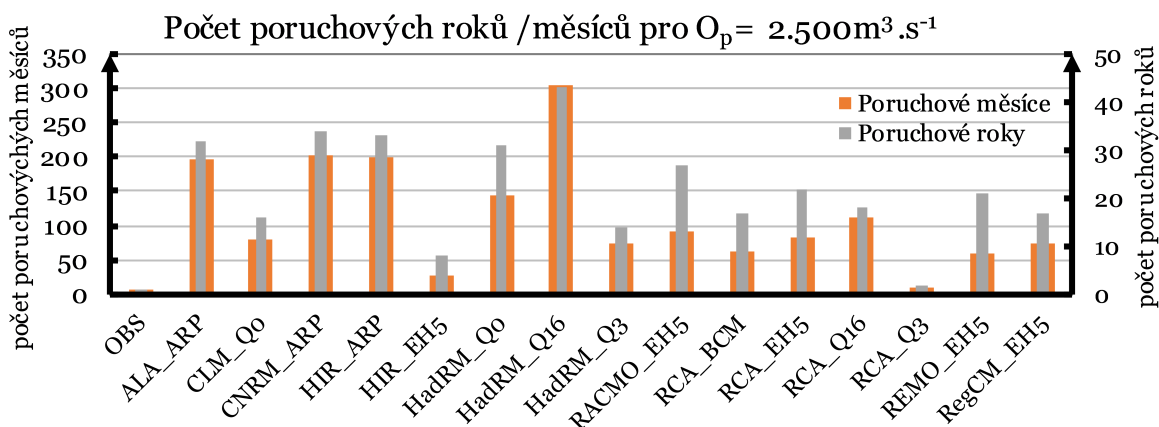
Obr. 17: Počet poruchových měsíců a roků pro $O_p = 1,00 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$



Obr. 18: Počet poruchových měsíců a roků pro $O_p = 1,50 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$



Obr. 19: Počet poruchových měsíců a roků pro $O_p = 2,00 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$



Obr. 20: Počet poruchových měsíců a roků pro $O_p = 2,50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

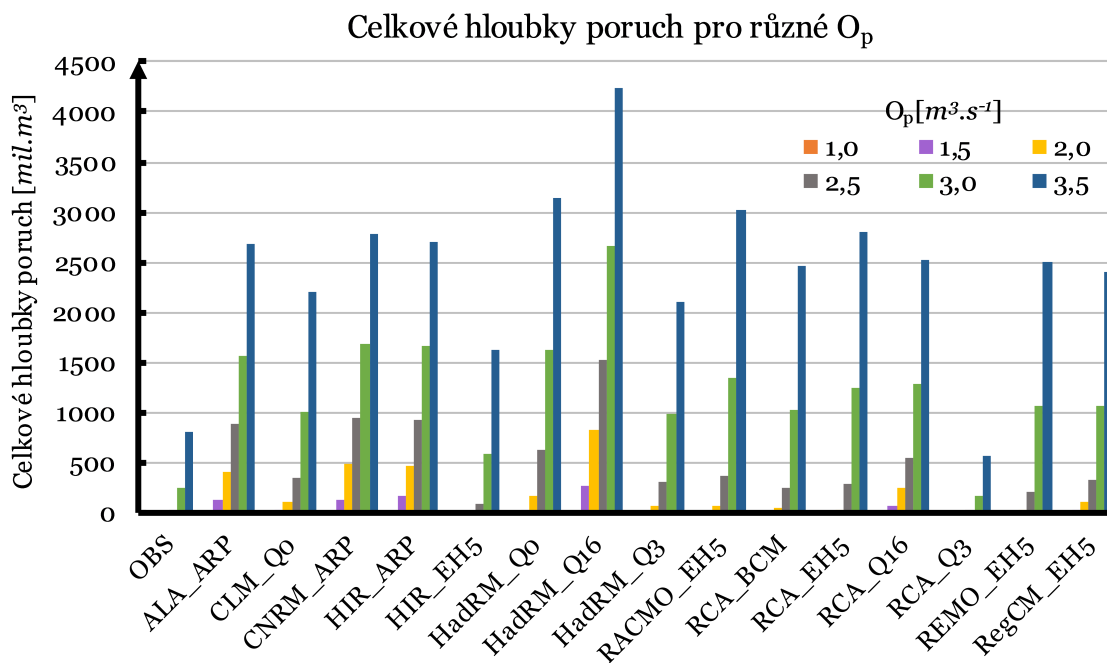
Nízkým průměrným dlouhodobým přítokům do nádrže odpovídá vysoký počet poruchových měsíců/roků. S nejvíce poruchovými měsíci/roky jsou tedy simulace řízené modelem ARPEGE ale i simulace HadRM_Q16(model HadRM_Q16) vycházející z britského Hadley Center.

4.5.1 Porovnání podle celkové hloubky poruchy

Celková hloubka poruchy za sledované období nám dá jiný pohled na charakter poruch než pouhý počet poruchových měsíců a roků. V kombinaci s počtem poruchových měsíců/roků můžeme přibližně rozlišit charakter poruch, je-li vysoký počet poruchových měsíců ale mělká celková porucha můžeme očekávat, že v dané simulaci je více mělkých dílčích poruch a naopak.

Tab. 10: Celkové hloubky poruch pro různé O_p v $mil.m^3$

$O_p[m^3.s^{-1}]$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
OBS	0,00	0,00	0,00	0,00	20,62	255,50	801,53
ALA_ARP	0,00	1,37	132,56	400,45	882,12	1562,66	2685,14
CLM_Q0	0,00	0,00	16,06	96,91	352,62	998,26	2205,13
CNRM_ARP	0,00	2,57	125,74	486,84	944,28	1683,13	2791,19
HIR_ARP	0,00	3,78	164,96	474,13	926,98	1658,51	2699,90
HIR_EH5	0,00	0,00	0,00	0,00	92,50	589,01	1619,53
HadRM_Q0	0,00	0,00	14,48	168,98	623,85	1629,60	3137,88
HadRM_Q16	0,00	33,50	263,90	819,94	1527,44	2657,55	4235,07
HadRM_Q3	0,00	0,00	0,00	66,20	300,07	988,44	2098,25
RACMO_EH5	0,00	0,00	0,00	58,83	367,68	1347,70	3028,72
RCA_BCM	0,00	0,00	0,00	49,22	239,21	1034,16	2461,79
RCA_EH5	0,00	0,00	0,00	9,26	294,63	1241,91	2801,88
RCA_Q16	0,00	0,00	63,41	239,16	553,87	1292,34	2518,32
RCA_Q3	0,00	0,00	0,00	0,00	8,58	173,27	556,92
REMO_EH5	0,00	0,00	0,00	6,26	211,01	1056,88	2508,69
RegCM_EH5	0,00	0,00	6,69	103,07	352,82	1056,58	2408,72



4.6 Porovnání podle zařídění do kategorií významnosti

Tab. 11: Roztřídění podle významnosti dle ČSN 73 68 15

Třída významnosti	A	B	C	D
Zabezpečenost podle trvání Pt[%]	$\geq 99,5$	$\geq 98,5$	$\geq 97,5$	$\geq 95,0$

Tab. 12: Zařídění do kategorií A-D dle významnosti

$O_p[m^3 \cdot s^{-1}]$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
OBS	A	A	A	A	B	D	D
ALA_ARP	A	A	D	D	D	D	D
CLM_Q0	A	A	A	B	D	D	D
CNRM_ARP	A	A	C	D	D	D	D
HIR_ARP	A	A	D	D	D	D	D
HIR_EH5	A	A	A	A	C	D	D
HadRM_Q0	A	A	A	D	D	D	D
HadRM_Q16	A	B	D	D	D	D	D
HadRM_Q3	A	A	A	B	D	D	D
RACMO_EH5	A	A	A	B	D	D	D
RCA_BCM	A	A	A	B	D	D	D
RCA_EH5	A	A	A	A	D	D	D
RCA_Q16	A	A	B	D	D	D	D
RCA_Q3	A	A	A	A	B	D	D
REM0_EH5	A	A	A	A	D	D	D
RegCM_EH5	A	A	A	C	D	D	D

5 Udržitelnost současných podmínek řízení zásobní funkce nádrže

Abychom mohli jednotlivé modely posuzovat z hlediska udržitelnosti současných požadků na odběry vody tzn. nalepšený odtok za stejných podmínek jako v současnosti, musíme si zvolit jeden ze směrodatných ukazatelů. V našem případě to bude hodnota zabezpečení podle dodávky vody P_d .

Praktické provedení této úlohy bude probíhat pomocí funkce řešitel v prostředí softwaru excel, kde cílová hodnota zabezpečení podle dodávky vody generované řady, bude rovna zabezpečení reálné průtokové pro námi zvolené O_p tj. budeme zjišťovat míru ponížení/povýšení nalepšeného odtoku při zachování stejné zabezpečení. Výsledky budou přehledně sepsány do tabulky.

Námi zvolené hodnoty O_p budou $O_p \in \{1, 93; 2, 40; 3, 00; 3, 20\} m^3 \cdot s^{-1}$ které odpovídají 4. regulačním stupňům uváděných v manipulační řádu pro vodní dílo Vír I. [5].

Tab. 13: Podmínky pro IV. regulační stupeň

IV. Regulační st. akronym	P_d [%]	O_p [$m^3 \cdot s^{-1}$]	ΔO_p [$m^3 \cdot s^{-1}$]	Q_a [$m^3 \cdot s^{-1}$]	α [-]
OBS	99,95	1,93	—	3,28	0,59
ALA_ARP	99,95	0,98	-0,95	2,97	0,33
CLM_Q0	99,95	1,25	-0,68	3,14	0,40
CNRM_ARP	99,95	0,97	-0,96	3,02	0,32
HIR_ARP	99,95	0,95	-0,98	2,94	0,32
HIR_EH5	99,95	2,15	+0,22	2,94	0,59
HadRM_Q0	99,95	1,40	-0,53	3,66	0,44
HadRM_Q16	99,95	0,79	-1,14	2,75	0,29
HadRM_Q3	99,95	1,61	-0,32	3,46	0,47
RACMO_EH5	99,95	1,57	-0,36	3,79	0,41
RCA_BCM	99,95	1,68	-0,25	3,50	0,48
RCA_EH5	99,95	1,97	+0,04	3,77	0,52
RCA_Q16	99,95	1,03	-0,90	3,31	0,31
RCA_Q3	99,95	2,29	+0,36	3,57	0,64
REMO_EH5	99,95	1,94	0,00	3,49	0,56
RegCM_EH5	99,95	1,45	-0,48	3,44	0,42

Tab. 14: Podmínky pro III. a II. regulační stupeň

III. Regulační st. akronym	P_d [%]	O_p [$m^3 \cdot s^{-1}$]	ΔO_p [$m^3 \cdot s^{-1}$]	Q_a [$m^3 \cdot s^{-1}$]	α [-]
OBS	99,71	2,40	—	3,28	0,73
ALA_ARP	99,71	1,10	-1,30	2,97	0,37
CLM_Q0	99,71	1,52	-0,88	3,14	0,49
CNRM_ARP	99,71	1,08	-1,32	3,02	0,36
HIR_ARP	99,71	1,09	-1,31	2,94	0,37
HIR_EH5	99,71	2,32	-0,08	2,94	0,63
HadRM_Q0	99,71	1,55	-0,85	3,66	0,51
HadRM_Q16	99,71	0,91	-1,49	2,75	0,33
HadRM_Q3	99,71	1,77	-0,63	3,46	0,47
RACMO_EH5	99,71	1,80	-0,60	3,79	0,48
RCA_BCM	99,71	1,89	-0,51	3,50	0,54
RCA_EH5	99,71	2,08	-0,32	3,77	0,55
RCA_Q16	99,71	1,17	-1,23	3,31	0,35
RCA_Q3	99,71	2,56	+0,16	3,57	0,72
REMO_EH5	99,71	2,18	-0,22	3,49	0,63
RegCM_EH5	99,71	1,60	-0,80	3,44	0,47

II. Regulační st. akronym	P_d [%]	O_p [$m^3 \cdot s^{-1}$]	ΔO_p [$m^3 \cdot s^{-1}$]	Q_a [$m^3 \cdot s^{-1}$]	α [-]
OBS	95,88	3,00	—	3,28	0,91
ALA_ARP	95,88	1,91	-1,09	2,97	0,64
CLM_Q0	95,88	2,66	-0,34	3,14	0,85
CNRM_ARP	95,88	1,79	-1,21	3,02	0,59
HIR_ARP	95,88	1,73	-1,27	2,94	0,59
HIR_EH5	95,88	3,00	0,00	2,94	0,82
HadRM_Q0	95,88	2,36	-0,64	3,66	0,78
HadRM_Q16	95,88	1,54	-1,46	2,75	0,56
HadRM_Q3	95,88	2,72	-0,28	3,46	0,79
RACMO_EH5	95,88	2,66	-0,34	3,79	0,71
RCA_BCM	95,88	2,77	-0,23	3,50	0,79
RCA_EH5	95,88	2,72	-0,28	3,77	0,72
RCA_Q16	95,88	2,39	-0,61	3,31	0,72
RCA_Q3	95,88	3,09	+0,09	3,57	0,87
REMO_EH5	95,88	2,75	-0,25	3,49	0,79
RegCM_EH5	95,88	2,70	-0,30	3,44	0,79

Tab. 15: Podmínky pro I. regulační stupeň

I. Regulační st. akronym	P_d [%]	O_p [$m^3 \cdot s^{-1}$]	ΔO_p [$m^3 \cdot s^{-1}$]	Q_a [$m^3 \cdot s^{-1}$]	α [-]
OBS	93,45	3,20	—	3,28	0,98
ALA_ARP	93,45	2,26	-0,94	2,97	0,76
CLM_Q0	93,45	2,93	-0,27	3,14	0,93
CNRM_ARP	93,45	2,16	-1,04	3,02	0,72
HIR_ARP	93,45	2,19	-1,01	2,94	0,75
HIR_EH5	93,45	3,23	+0,03	2,94	0,82
HadRM_Q0	93,45	2,62	-0,58	3,66	0,87
HadRM_Q16	93,45	1,78	-1,42	2,75	0,65
HadRM_Q3	93,45	2,96	-0,24	3,46	0,85
RACMO_EH5	93,45	2,88	-0,32	3,79	0,76
RCA_BCM	93,45	2,98	-0,23	3,50	0,85
RCA_EH5	93,45	2,92	-0,22	3,77	0,77
RCA_Q16	93,45	2,76	-0,44	3,31	0,83
RCA_Q3	93,45	3,31	+0,11	3,57	0,93
REMO_EH5	93,45	2,97	-0,23	3,49	0,85
RegCM_EH5	93,45	2,95	-0,25	3,44	0,86

Z dosažených výsledků nám vyplývá, že vysoký dlouhodobý přítok do nádrže není zárukou vyšší zabezpečení podle dodávky vody. Zejména u modelu HIR_EH5 jež vychází z řídicího modelu ECHAM5 můžeme sledovat vyšší zabezpečení než u reálné časové řady, ačkoli je průměrný dlouhodobý přítok nižší a to o $0,34 m^3 \cdot s^{-1}$. Nepřímá úměrnost dlouhodobého přítoku Q_a a zabezpečení P_d je způsoben rozkolísaností průtoku v období a tím většími hloubkami poruch.

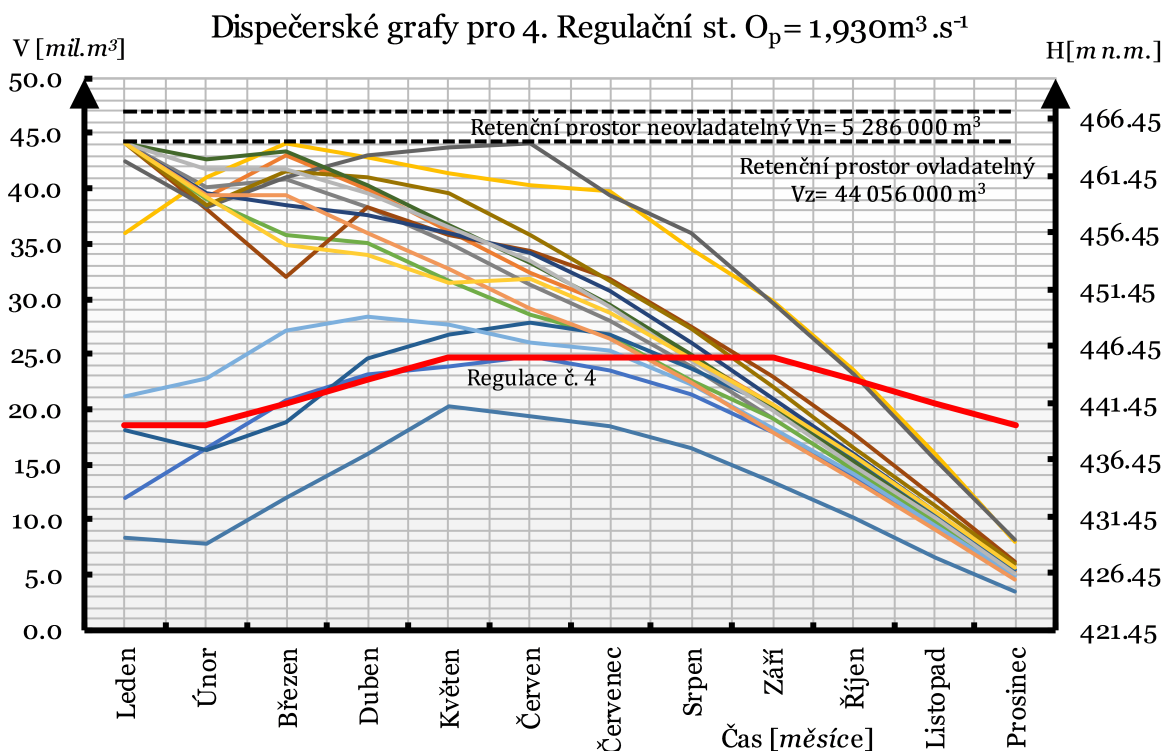
Opačnými příklady budiž generované řady RCA_EH5 vycházející ze Švédského hydrometeorologického institutu (SHMI) a simulace institutu Max-Planck (MPI) RACMO_EH5. Jejich relativně velké průměrné dlouhodobé přítoky ($3,77$ a $3,79 m^3 \cdot s^{-1}$) nám intuitivně napovídají, že velikost zabezpečení bude též velká ale nevyrovnanost průtoků a velké výkyvy nás nutí snížit nalepšený odtok pro zachování stejných podmínek.

6 Shrnutí výsledků

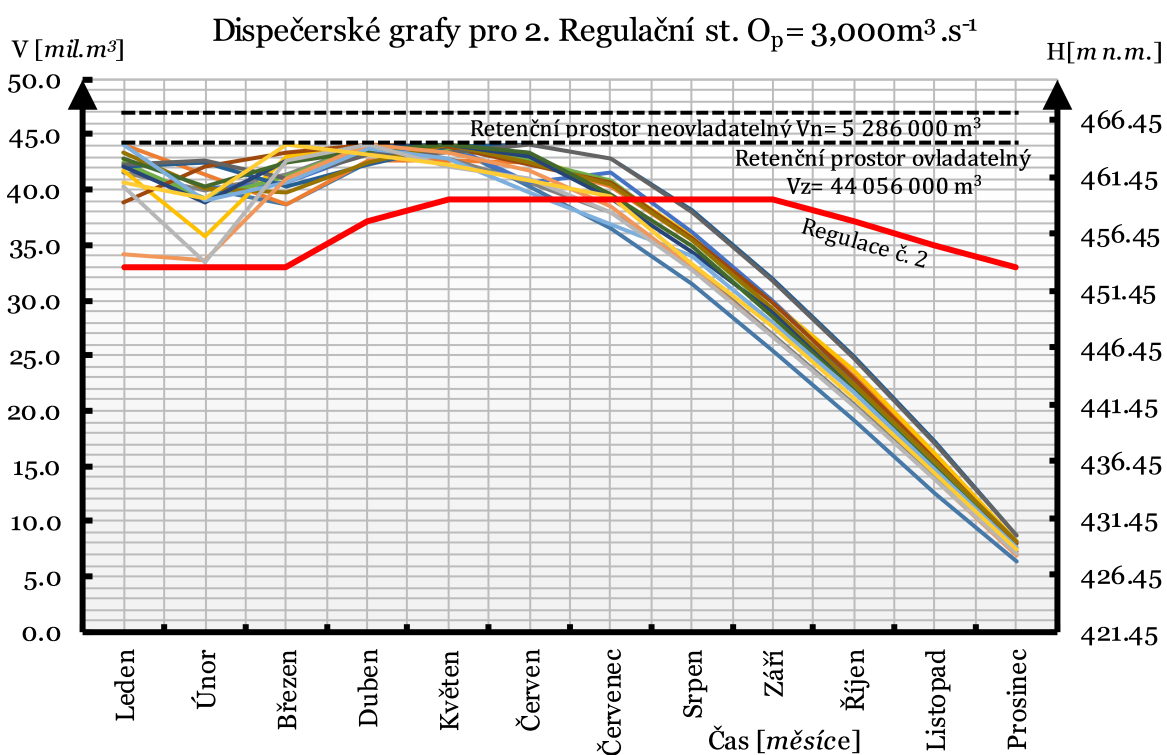
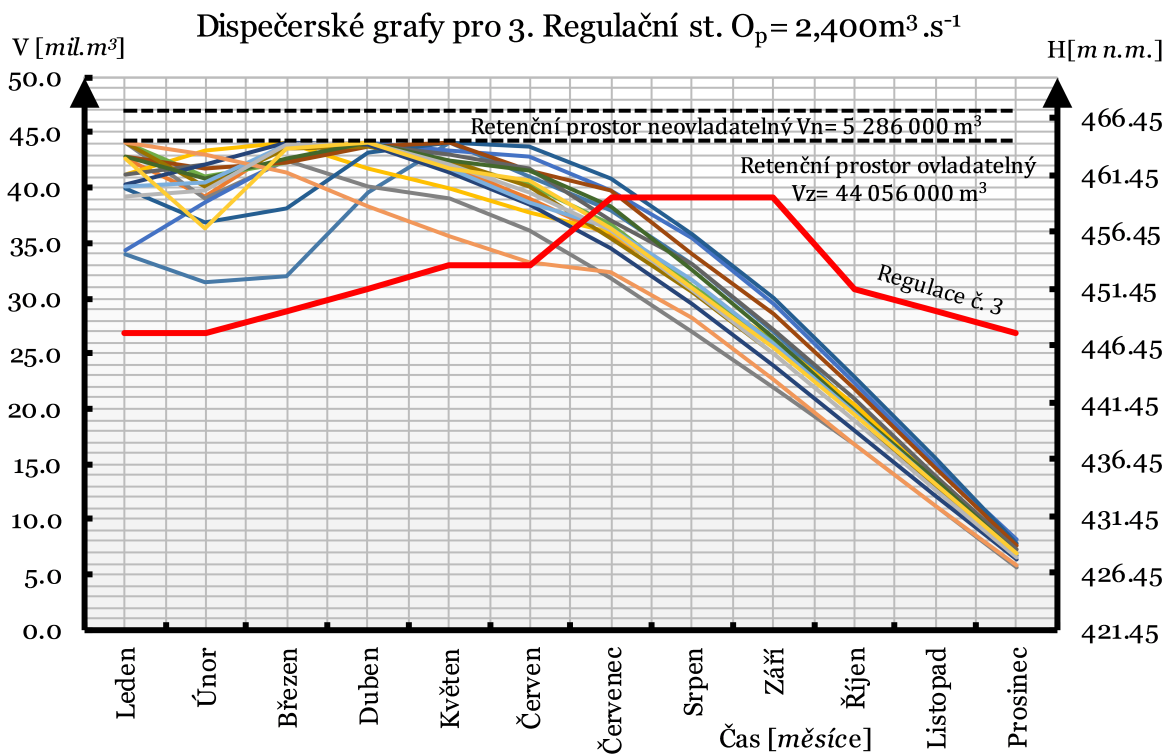
6.1 Dispečerské grafy

Jako zhodnocení jednotlivých modelů nám poslouží sestavení 4 dispečerských grafů sestavených pro $O_p \in \{1, 93; 2, 4; 3, 0; 3, 2\} m^3 \cdot s^{-1}$ danými 4.stupňovou regulací uvedenou v manipulačním řádu[5], vyznačenými hladinami ohraničující zásobní prostor ovladatelný a neovladatelný, dále pak vyznačeným grafem pro danou regulaci též uvedenou v man. řádu. Nutno dodat že zde není zcela uvedeno jakým způsobem byl příslušný manipulační graf sestaven, je-li uvažováno se ztrátami výparem apod. proto je toto zobrazení zcela informativní a nemá pro srovnání se simulačními řadami větší význam.

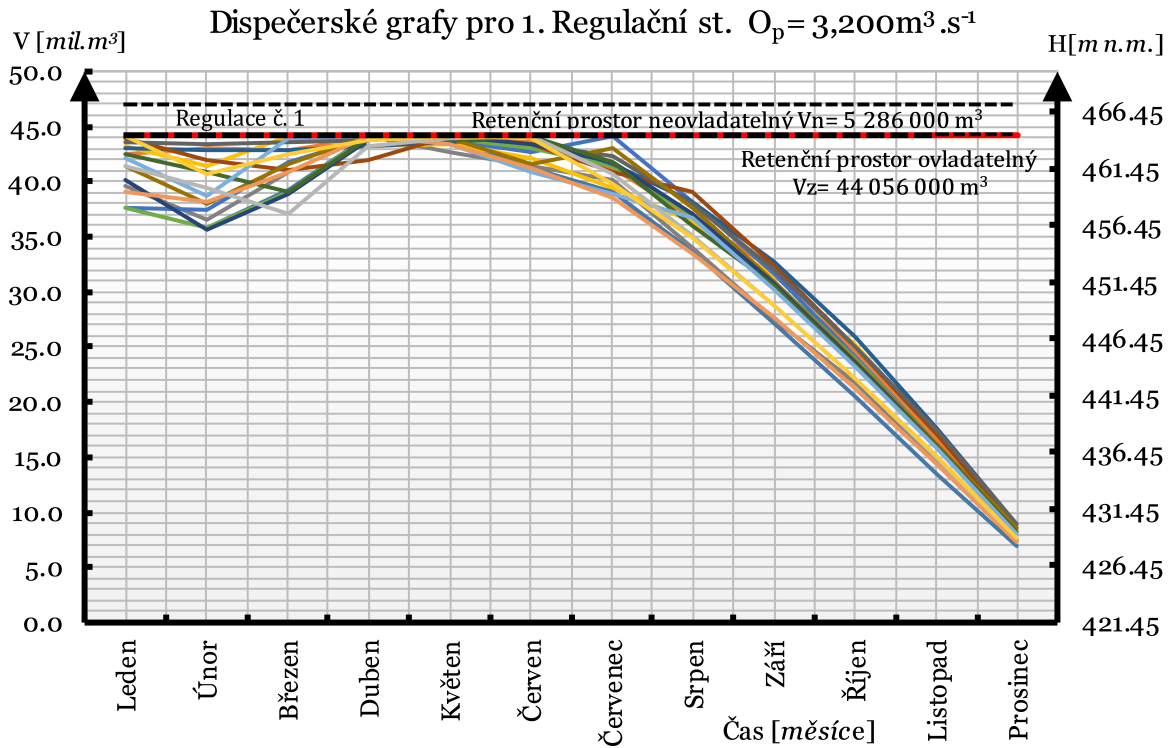
- Regulace č.1 $O_p = 3, 200 m^3 \cdot s^{-1}$
- Regulace č.2 $O_p = 3, 000 m^3 \cdot s^{-1}$
- Regulace č.3 $O_p = 2, 400 m^3 \cdot s^{-1}$
- Regulace č.4 $O_p = 1, 930 m^3 \cdot s^{-1}$



Obr. 22: Dispečerské grafy pro 4.regulační stupeň



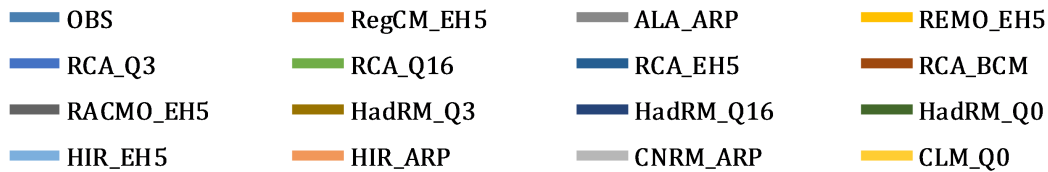
Obr. 23: Dispečerské grafy pro 2. a 3. regulační stupeň



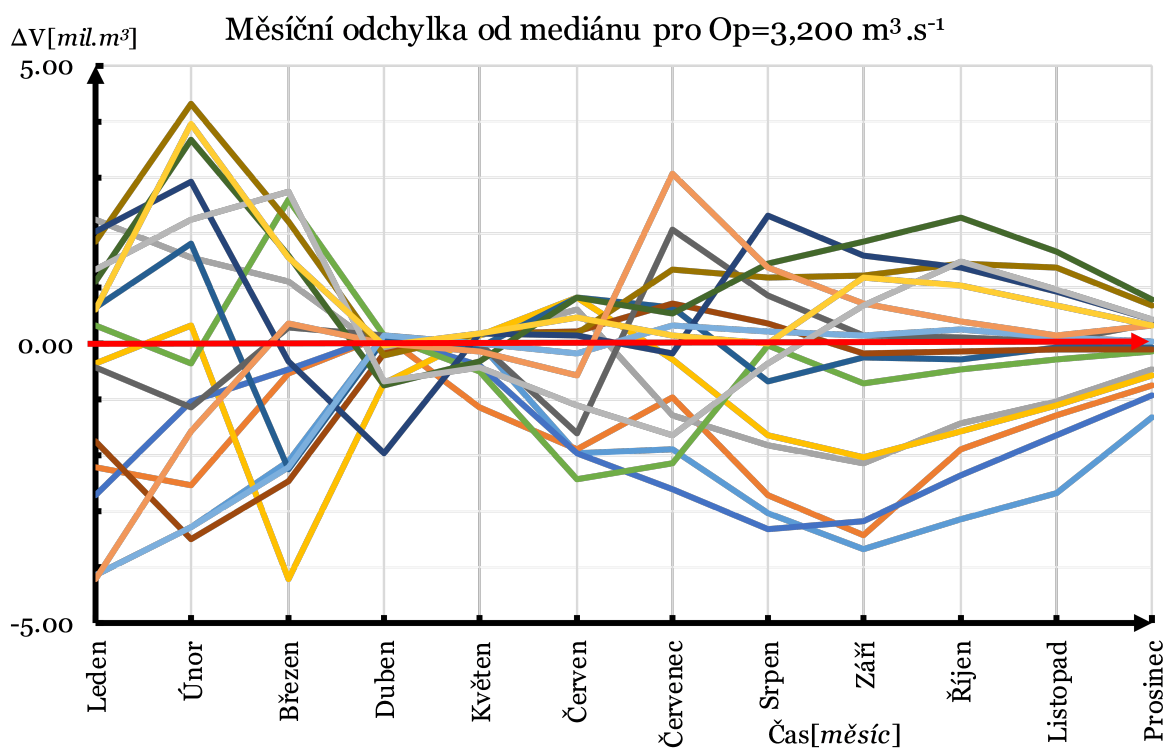
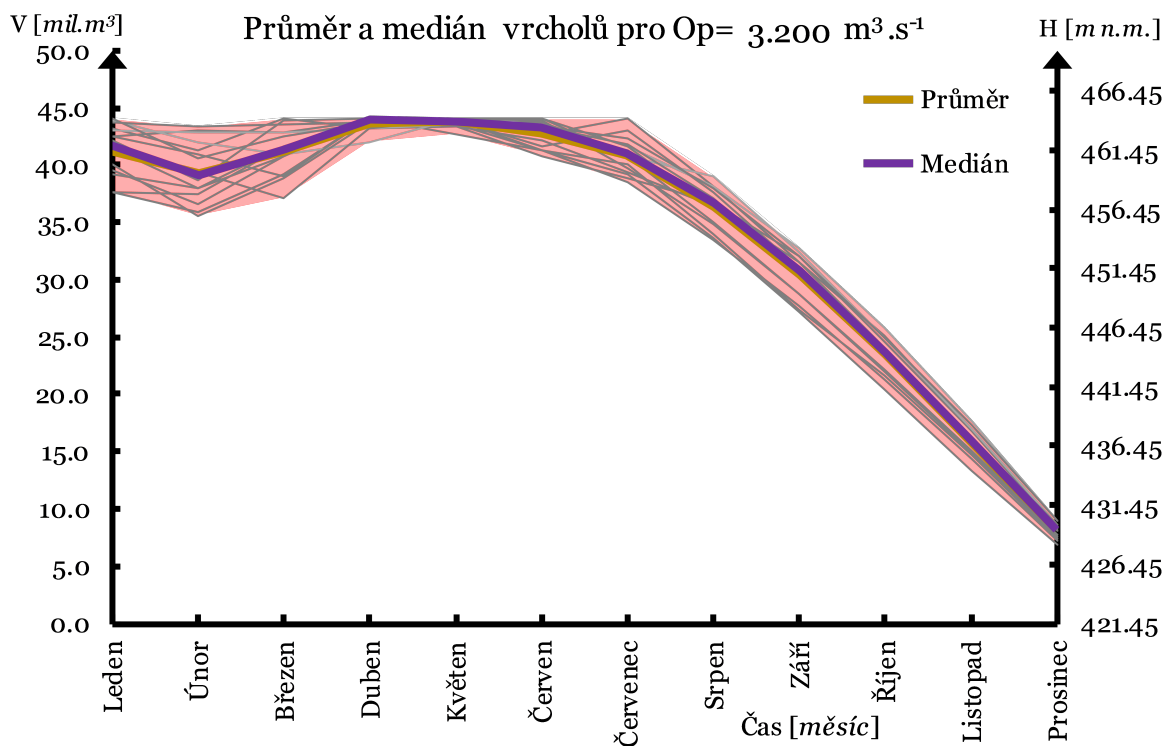
Obr. 24: Dispečerské grafy pro 1.regulační stupeň

6.2 Odchyly od mediánu

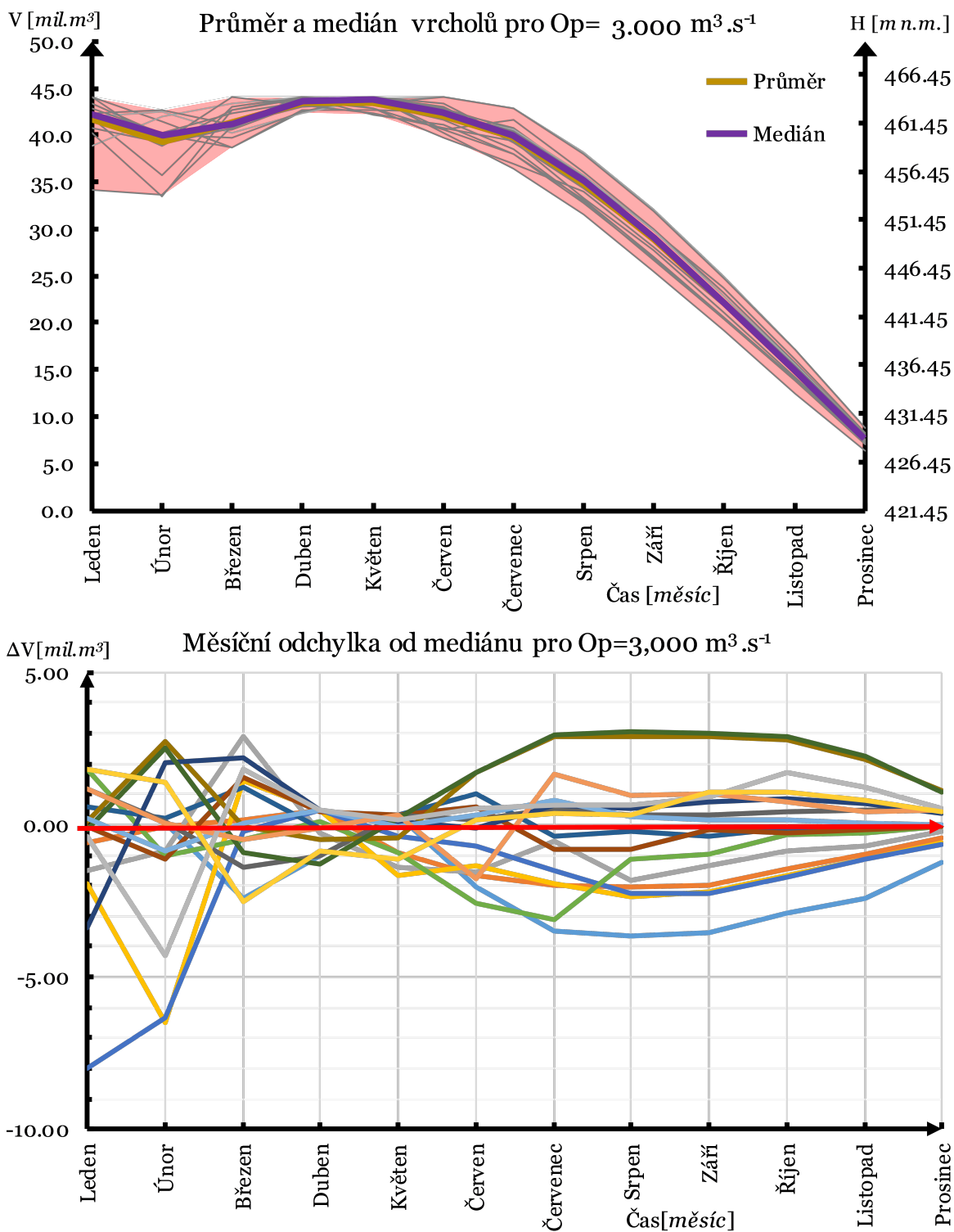
Dalším způsobem jak lze porovnat jednotlivé dispečerské grafy je odchylkou od mediánu vrcholů v jednotlivých měsících. Vyznačuje-li nám červená barva v dispečerském grafu rozpětí vrcholů pro dané měsíce, pak fialová medián z hodnot v tomto rozpětí. Položíme-li medián roven ose x, můžeme odečítat měsíční odchylky vrcholů simulačních modelů od mediánu.



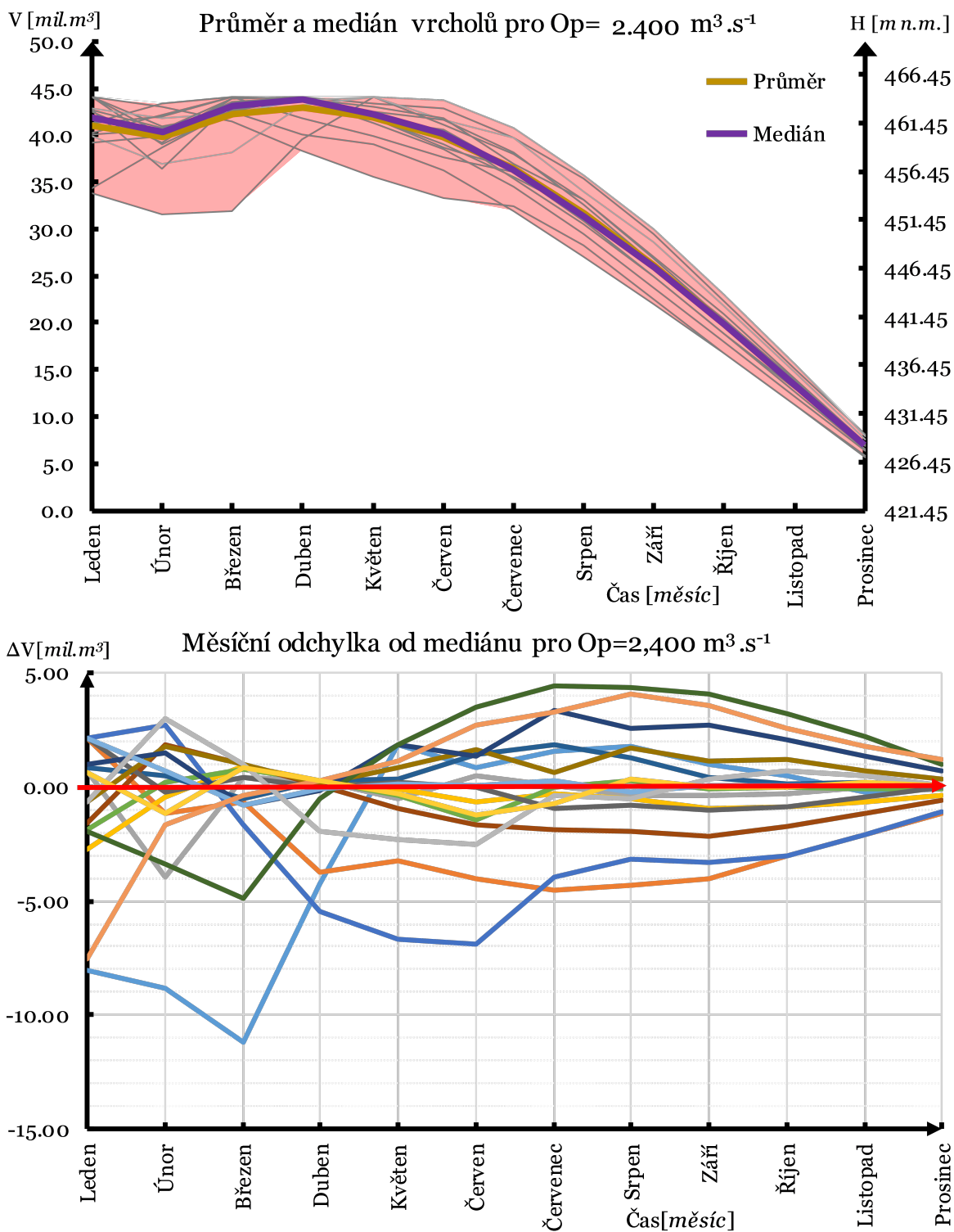
Obr. 25: Legenda pro obr.22,23,24,26,27,28,29



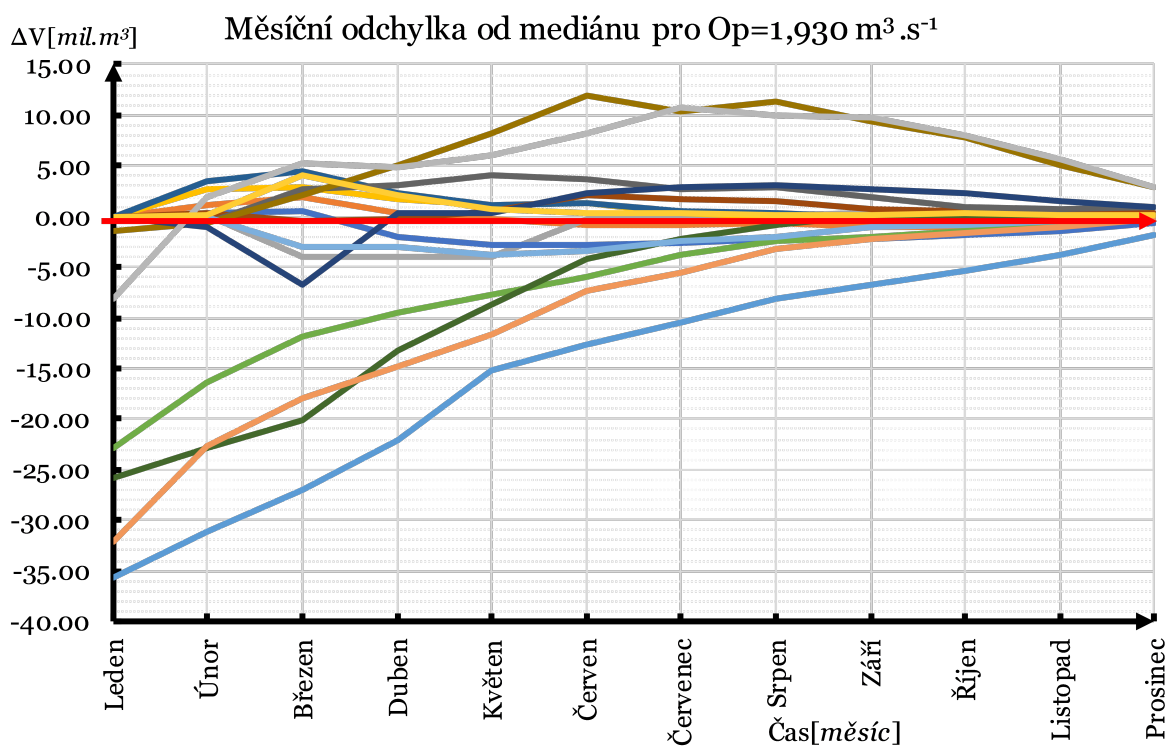
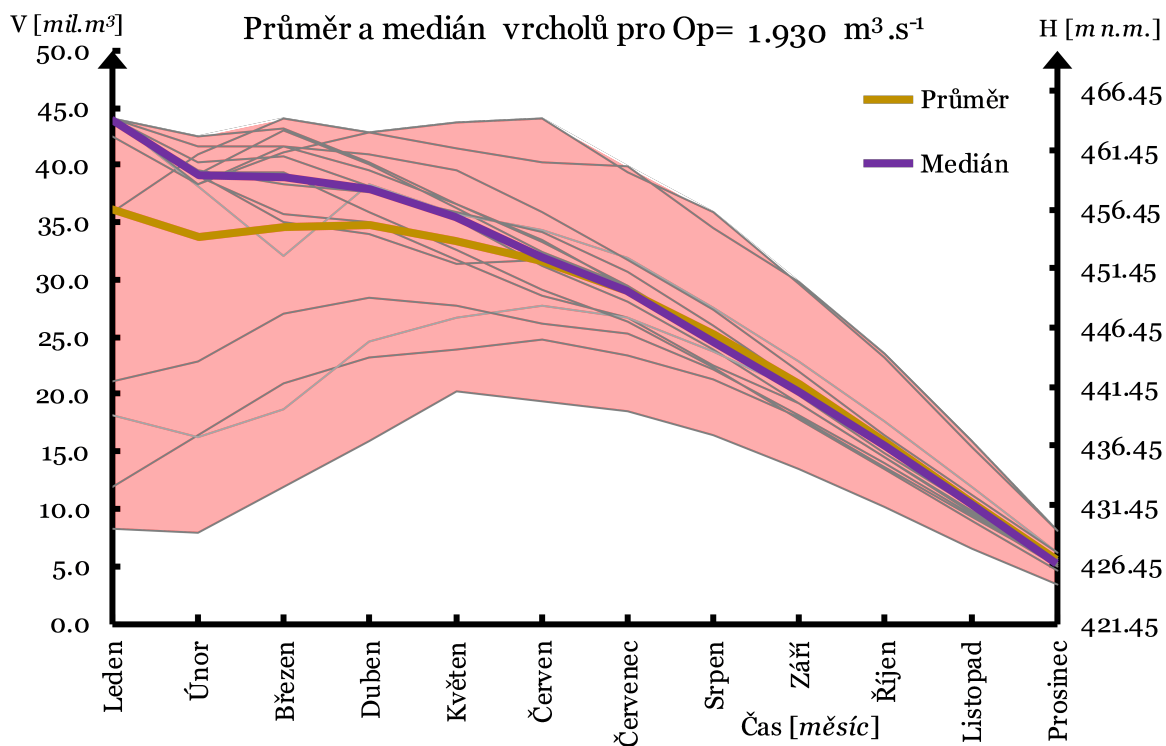
Obr. 26: Srovnání odchylky od mediánu pro 1.regulační stupeň



Obr. 27: Srovnání odchylky od mediánu pro 2.regulační stupeň



Obr. 28: Srovnání odchylky od mediánu pro 3.regulační stupeň



Obr. 29: Srovnání odchytky od mediánu pro 4.regulační stupeň

7 Závěr

Data vycházející z programu VÚV TGM „*Podpora dlouhodobého plánování a návrhu adaptačního opatření v oblasti vodního hospodářství v kontextu změn klimatu*“ ve tvaru průměrného odtoku z plochu povodí pod vyrovnávací nádrží Vír I., byly převedeny na průměrný dlouhodobý průtok a následně použity pro tvorbu několika dispečerských grafů a výpočet dalších parametrů.

Tvary 15-ti křivek, každá vytvořená z průtokové řady odpovídající jednotlivým klimatickým předpovědním modelům a jedné křivky z reálné průtokové řady, byly pro porovnání vykresleny do jednoho grafu. Dispečerské grafy nám dají informaci jaké potřebné zásobní objemy v jednotlivých měsících musí být v nádrži v závislosti na velikosti nalepšeného odtoku. Z grafů (obálek dispečerských grafů) nám jasně vyplývá že současný stav, tedy potřebné objemy pro reálnou průtokovou řadu, jsou v poměru k ostatním generovaným řadám menší, a tudíž můžeme v budoucnosti očekávat větší nárok na zásobní objem v daném měsíci pro zajištění požadovaných odběrů.

Déle jsou generované řady a reálná průtoková řada porovnány pomocí několika pomocných ukazatelů a to průměrného dlouhodobého přítoku do nádrže, potřebných objemů pro 100% zabezpečení, vztahových křivek pro zabezpečení podle opakování, trvání a dodávky vody a zatřídění do kategorií podle významnosti. Pomocí těchto ukazatelů můžeme lépe porozumět charakteru generovaných řad, jejich hloubky poruch, trvání poruch i dopad na změnu kategorie nádrže podle ČSN 73 68 15.

V závěru práce je porovnání udržitelnosti nalepšených odtoků, vycházejících ze 4. regulačních stupňů, v budoucnosti při zachování stejné zabezpečení podle dodávky vody. Zjistili jsme jakou mírou by musela být ponížena nebo povýšena hodnota nalepšeného odtoku, aby byli udrženy současné hodnoty zabezpečení. Z dosažených výsledků nám vyplývá, že většina předpovědí predikuje snížení, někdy i významným způsobem, hodnoty nalepšeného odtoku.

Vzniká tudíž nutnost se na tuto změnu připravit. Jakým způsobem to už je předmětem dalších prací a výzkumů v oblasti řízení nádrží ale i souvisejících opatření spadajících do komplexních opatření v krajině.

Literatura

- [1] Stocker, T.F., 2014. Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- [2] K.K. Yilmaz, H. Yazicigil, et al. Potential impacts of climate change on turkish water resources: a review A. Baba (Ed.), Climate Change and Its Effects on Water Resources, 105 NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security 3, Springer Science + Business Media B.V., Ankara, Turkey (2011), pp. 105–114
- [3] Úvod ke stavbě přehrady. Vířská přehrada [online]. 2014 [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <http://www.prehradavir.cz>
- [4] Vířská přehrada (Vodní díla Víř I. a Víř II.) [online]. 2008 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.virvudolisvratky.cz/index.php?clanek=5>
- [5] Povodí Moravy, s. p. Manipulační řád pro vodní dílo Víř I na řece Svratce v km 114,900. Brno, 2011
- [6] VÚV TGM. © Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i. [online]. 2014 [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <http://185.8.238.196/>
- [7] Votruba, L.; Broža, V. Hospodaření s vodou v nádržích. 2.přepřac. vyd. Praha: SNTL, 1980. 443 s.
- [8] Starý, Miloš. Nádrže a vodohospodářské soustavy. Vyd. 2., přepřac. Brno: Vysoké učení technické, 1990. ISBN 8021401915.

Seznam obrázků

1	Přehledná mapa 1: 200 000	2
2	Přehrada během výstavby a dnes	3
3	Řez hrází	4
4	Algoritmus výpočtu dispečerského grafu a hodnocení výsledků	6
5	Batygrafické křivky pro vodní nádrž Vír I.	7
6	Srovnání disp. grafů pro $O_p = 0,5$ a $1,0 m^3.s^{-1}$	16
7	Srovnání disp. grafů pro $O_p = 1,5$ a $2,0 m^3.s^{-1}$	17
8	Srovnání disp. grafů pro $O_p = 2,5$ a $3,0 m^3.s^{-1}$	18
9	Srovnání disp. grafů pro $O_p = 3,5 m^3.s^{-1}$	19
10	Legenda pro obr. 6,7,8,9	19
11	Průměrné dlouhodobé přítoky Q_a	21
12	Potřebné objemy pro různé O_p	22
13	Legenda pro obr. 14,15,16	23
14	Vztahové křivky podle P_o	24
15	Vztahové křivky podle P_t	24
16	Vztahové křivky podle P_d	24
17	Počet poruchových měsíců a roků pro $O_p = 1,00 m^3.s^{-1}$	25
18	Počet poruchových měsíců a roků pro $O_p = 1,50 m^3.s^{-1}$	25
19	Počet poruchových měsíců a roků pro $O_p = 2,00 m^3.s^{-1}$	26
20	Počet poruchových měsíců a roků pro $O_p = 2,50 m^3.s^{-1}$	26
21	Celkové hloubky poruch	27
22	Dispečerské grafy pro 4.regulační stupeň	32
23	Dispečerské grafy pro 2. a 3.regulační stupeň	33
24	Dispečerské grafy pro 1.regulační stupeň	34
25	Legenda pro obr. 22,23,24,26,27,28,29	34
26	Srovnání odchylky od mediánu pro 1.regulační stupeň	35
27	Srovnání odchylky od mediánu pro 2.regulační stupeň	36
28	Srovnání odchylky od mediánu pro 3.regulační stupeň	37
29	Srovnání odchylky od mediánu pro 4.regulační stupeň	38

Seznam tabulek

1	Tab. použitých simulací řízených modelem ECHAM5	8
2	Tab. použitých simulací řízených modelem ARPEGE	9
3	Tab. použitých simulací řízených modelem HadCM3Q0, HadCM3Q3, HadCM3Q16	9
4	Tab. použitých simulací řízených modelem BCM	9
5	Roztřídění podle významnosti	13
6	Součinitele nalepšení pro různé O_p	15
7	Průměrné dlouhodobé přítoky do nádrže Q_a	20
8	Potřebné objemy pro různé O_p	22
9	Deficitní objemy pro různé O_p	23
10	Celkové hloubky poruch pro různé O_p	27
11	Roztřídění podle významnosti dle ČSN 73 68 15	28
12	Zatřídění do kategorií A-D dle významnosti	28
13	Podmínky pro IV. regulační stupeň	29
14	Podmínky pro III. a II. regulační stupeň	30
15	Podmínky pro I. regulační stupeň	31

Seznam použitých zkratek a symbolů

zkratka/symbol	jednotka	název
$Q_{m,i}$	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	průměrný měsíční přítok
Q_a	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	průměrný dlouhodobý přítok do nádrže
P	$[mm \cdot m^2]$	průměrný měsíční přítok
S	$[m^2]$	plocha povodí
Δt	$[s]$	časový krok = 1 měsíc = 2 630 000s
ζ	$[-]$	opravný součinitel
$V_z(\text{teor.})$	$[m^3]$	maximální vyprázdění nádrže pro dané O_p
P_i	$[\%]$	pravděpodobnost jevu
m	$[-]$	počet prvků v kterých nastal sledovaný jev
n	$[-]$	celkový počet vyhodnocovaných prvků
m_d	$[m^3]$	skutečné odteklé množství vody
n_d	$[m^3]$	plánované odteklé množství
O_p	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	nalepšený neboli požadovaný odtok
ΣD	$[m^3]$	celková hloubka poruch
α	$[-]$	součinitel nalepšení