



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ MALÉ VODNÍ NÁDRŽE TRŠICE

WATER MANAGEMENT SOLUTION OF TRŠICE SMALL WATER RESERVOIR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Chyba

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. MILOŠ STARÝ, CSc.

BRNO 2019



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	Martin Chyba
Název	Vodohospodářské řešení malé vodní nádrže Tršice
Vedoucí práce	prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Datum zadání	30. 11. 2018
Datum odevzdání	24. 5. 2019

V Brně dne 30. 11. 2018

prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- Starý, M.: Nádrže a vodohospodářské soustavy, skriptum, FAST VUT Brno, 2006
- Starý, M.: Hydrologie, skriptum, FAST VUT Brno, 2005
- Starý, M.: HYDROG. Software pro simulaci, predikci a operativní řízení odtoku vody z povodí, Brno, 1991-2016
- Stávající technické podklady vodní nádrže Tršice (poskytne Povodí Moravy, státní podnik)
- Základní hydrologická data (poskytne Povodí Moravy, státní podnik a ČHMÚ Brno)
- Plán oblasti povodí Moravy, 2010-2015, Povodí moravy, státní podnik
- Mapové podklady dostupné na internetu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Malá vodní nádrž Tršice se nachází poblíž obce Tršice na toku Olešnice. Její stavba byla dokončena v roce 1983. Původně měla sloužit jako závlahová nádrž. K uvedenému účelu nebyla nikdy použita. Cílem práce je posouzení účinnosti jejího zásobního a ochranného funkčního prostoru.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Úkolem bakalářské práce je vhodné vodohospodářské řešení zásobní funkce a ochranné funkce malé vodní nádrže Tršice. Součástí práce je provedení výpočtu zabezpečení nádrže při různých hodnotách součinitelů zabezpečení a různých úrovní přelivné hrany bezpečnostního přelivu. Dále bude provedena transformace povodňových vln.

KLÍČOVÁ SLOVA

nádrž, vodohospodářské řešení, zásobní objem, povodňová vlna, transformace povodňové vlny, Tršice

ABSTRACT

The aim of the Bachelor thesis is appropriate design water management solution of storage tank function and protective function of small water reservoir Tršice. Part of the thesis is performing the calculation of safety reservoir during different values of security coefficients and different levels of overflow edge of safety edge. Will be performed transformation of flood waves.

KEYWORDS

reservoir, water management solution, storage tank, flood wave, transformation of flood wave, Tršice

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Martin Chyba *Vodohospodářské řešení malé vodní nádrže Tršice*. Brno, 2019. !!50!! s., !!50!! s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce prof. Ing. Miloš Starý, CSc.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Vodohospodářské řešení malé vodní nádrže Tršice* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 10. 5. 2019

Martin Chyba
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Vodohospodářské řešení malé vodní nádrže Tršice* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10. 5. 2019

Martin Chyba
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu prof. Ing. Miloši Starému, CSc. za odbornou pomoc, cenné rady, ochotu a trpělivost při zpracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Povodí Moravy, s.p. jmenovitě panu Ing. Davidovi Fínovi, za zajímavé téma bakalářské práce a poskytnutí značné části vstupních podkladů. Na konec bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za podporu po celou dobu studia.

OBSAH

1	Úvod	3
1.1	Popis nádrže	4
1.1.1	Technické parametry.....	4
1.1.2	Hráz.....	4
1.1.3	Sdružený objekt	5
1.1.4	Hydrologické údaje	5
2	Cíl práce	6
3	Metody.....	7
3.1	Řízení odtoku	7
3.2	Zabezpečení.....	8
3.2.1	Zabezpečení řízeného odtoku	8
3.2.2	Zabezpečení nalepšeného odtoku	9
3.3	Simulace	10
3.4	Simulační model	10
3.4.1	Úloha typu $V_z(O_p, P)$ pro $P = 100\%$	11
3.4.2	Úloha typu $P(O_p, V_z)$	12
3.5	Ochranná funkce nádrže.....	13
3.5.1	Metoda Runge – Kutta.....	14
4	Vstupní data	16
4.1	Průtoková řada	16
4.2	Batygrafické čáry	16
4.3	Funkční prostory nádrže	17
4.4	Hydrogram povodně.....	18
5	Aplikace.....	20
5.1	Zásobní funkce	20
5.1.1	Úloha č.1 – hledání zásobního objemu nádrže.....	20
5.1.2	Úloha č.2 – výpočet zabezpečení P	21
5.2	Ochranná funkce.....	25
5.2.1	Simulace povodně – změna úrovně přelivné hrany.....	25
5.2.1.1	Povodeň Q_{100}	25
5.2.1.2	Povodeň Q_{1000}	28

5.2.2	Simulace povodně – změna délky přelivné hrany.....	32
5.2.3	Simulace povodně – předvyprázdnění zásobního prostoru.....	32
6	Shrnutí výsledků.....	33
6.1	Zabezpečení.....	33
6.2	Transformace povodní.....	34
7	Závěr.....	36
8	Seznam použitých zdrojů.....	37
8.1	Seznam použitých norem, vyhlášek a zákonů.....	37
8.2	Doplňkové elektronické zdroje.....	37
9	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	38
10	Seznam použitých obrázků.....	38
11	Seznam použitých grafů.....	38
12	Seznam použitých tabulek.....	39
13	Seznam příloh uložených na cd.....	40

1 ÚVOD

Vodní nádrž je člověkem uměle vytvořená přehradní hráz na vodním toku. Z odborného hlediska vyjdeme ze zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), kde je vodní nádrž definovaná jako uměle vytvořený útvar povrchové vody, vymezená soustředěním povrchové vody v určitém prostředí. Tato vodní díla se využívají k výrobě elektrické energie a k akumulaci vody, ale také se dají využít pro stabilizaci průtoků říčních koryt, ochranu proti povodňovým vlnám a pro podporu využívání vodních toků k ekonomicky výhodné vodní dopravě. [4]

Jak už vyplývá ze zadání této bakalářské práce, nádrž Tršice je považována za malou vodní nádrž. Takovými nádržemi se zabývá norma ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže, kde je malá vodní nádrž definovaná, jako nádrž s maximálním objemem vody po hladinu ovladatelného prostoru 2 mil. m³ a největší hloubkou 9 m.

Každá nádrž by měla mít své vodohospodářské řešení. Účel vodohospodářského řešení je stanovení objemů jednotlivých prostorů nádrže, vyřešení optimálního způsobu řízení odtoku z nádrže, stanovení požadavků na parametry jednotlivých objektů a na jejich uspořádání, poskytnout spolehlivé podklady pro návrh funkčních objektů nádrže a hráze z pohledu bezpečnosti a provozuschopnosti vodního díla. Dále zjištění vlivu nádrže na průtok vody ve vodním toku a na vodní díla pod nádrží, u nově navrhovaných nádrží jde dále o vyřešení převádění vody přes staveniště během výstavby, o první plnění nádrže a o první prázdnění nádrže. Všechny tyto náležitosti řeší norma ČSN 75 2405 Vodohospodářské řešení vodních nádrží.

V této bakalářské práci se budeme hlavně věnovat zásobní a ochranné funkci nádrže. Z hlediska zásobní funkce půjde o sledování zabezpečení při změně nalepšeného odtoku a změně úrovně hladiny zásobního prostoru. U ochranné funkce budeme simulovat převedení dvou povodní přes nádrž.

1.1 POPIS NÁDRŽE

Malá vodní nádrž Tršice leží na řece Olešnici v říčním km 17,03 severně nad obcí Tršice, která leží jižně od Olomouce. Nádrž zabírá plochu cca 10 ha a její 215 m dlouhá sypaná hráz je schopna zadržet 769 000 m³ vody. Správcem nádrže je Povodí Moravy.

Nádrž byla v roce 1983 vystavěna jako závlahová nádrž, tento účel nebyl nikdy využit, ale v níže uvedených výpočtech budeme tento účel nádrže zvažovat. Další účely nádrže jsou, nadlepšování průtoků v toku Olešnice, chov ryb a rekreace. [3]

1.1.1 Technické parametry

Typ hráze:	sypaná z jílového materiálu
Těsnění:	střední jílové těsnění
Výška hráze:	12,65 m
Šířka koruny:	5,00 m
Délka hráze v koruně:	215,00 m
Hladina stálého nadržení:	280,10 m n. m.
Stálé nadržení:	20 200 m ³
Hladina zásobního prostoru:	288,9 m n. m.
Zásobní prostor:	672 000 m ³
Maximální zásobní hladina:	289,70 m n. m.
Celkový objem nádrže:	769 000 m ³
Hladina retenčního prostoru neovladatelného:	289,70 m n. m.
Prostor retenční neovladatelný:	97 000 m ³
Maximální bezpečná hladina:	290,00 m n. m.
Typ bezpečnostního přelivu:	boční (monoblok)
Kóta přelivu:	288,90 m n. m.
Šířka přelivu:	2 x 11,00 m [3]

1.1.2 Hráz

Hráz má přímé půdorysné uspořádání, v příčném řezu je lichoběžníkového tvaru. Jedná se o nehomogenní zemní hráz, se širokým středním jílovým těsněním, zámkem napojeným na těsnící injekční clonu. Návodní stabilizační část je nasypána z hlinitokamenité suti, povrch je opatřen kamenitým záhozem po výšku hladiny zásobního prostoru, zbytek návodního líce je ohumusován a oset. Vzdušná část je nasypána z jílovitého zahliněného štěrku a je ohumusována a oseta. Koruna hráze je průjezdná, široká 5 m a je opatřena vlnolamem na návodní straně. [3]

1.1.3 Sdružený objekt

Tento objekt slouží k vyprázdnění nádrže nebo na vypouštění požadovaného množství vody z nádrže. Objekt je vystavěn jako železobetonová dvoupatrová monolitická konstrukce, která je umístěna 15 m od levého závazání hráze. V objektu jsou umístěny dvě spodní výpusti o DN 400, které jsou uzavíratelné šoupátky s elektropohonem s ovládáním ve věži. V tělese objektu jsou dále umístěny ve třech výškových úrovních odběry vody, dříve využívané pro závlahu. Pro převedení velkých vod slouží boční přeliv s odvedením vody horní etáží sdruženého objektu. Bezpečnostní přeliv je oboustranný, délka přelivné hrany je 2 x 11 m.[3]

Kóta osy spodních výpustí:	277,20 m n. m.
Jmenovitá světlost spodních výpustí:	DN 400
Kóta přelivné hrany:	288,90 m n. m.
Délka přelivné hrany:	2 x 11,00 m
Kóty závlahových odběrů:	287,00 m n. m. – DN 150 283,50 m n. m. – DN 150 279,00 m n. m. – DN 200 [3]

1.1.4 Hydrologické údaje

Hydrologické údaje vycházejí z manipulačního řádu VD Tršice I.

Tok	Olešnice
dlouhodobý průměrný roční průtok	$Q_a = 161 \text{ l/s}$
průměrný roční úhrn srážek	$H_s = 745 \text{ mm}$
plocha povodí	$A = 19,98 \text{ km}^2$
č. hydrolog. pořadí	4 – 10 – 03 – 1250

Tab. 1 Základní hydrologické údaje

M – denní průtoky							ČHMÚ 2016	
	30	90	180	270	330	355	364	
Q [l/s]	379	191	96	48	21	7,3	2,1	

Tab. 2 M-denní průtoky

N – leté průtoky							(1981-2010)	
	1	2	5	10	20	50	100	
Q[m ³ /s]	2,4	4,6	8,1	11,1	14,6	19,6	23,9	

Tab. 3 N-leté průtoky

2 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je porovnání stávajícího zásobního objemu nádrže s nově vypočítaným zásobním objemem. Dále bude vypočítána zabezpečení nádrže se stávajícími parametry funkčních prostorů a ta bude porovnána se zabezpečení, kde budeme měnit úroveň hrany bezpečnostního přelivu a tím i zásobní objem. Pro tyto výpočty bude použit program UNCE RESERVOIR.

Dále bude provedena transformace dvou povodní, a to stoleté jako návrhové a tisícileté jako kontrolní. I zde budeme měnit hranu bezpečnostního přelivu a budeme sledovat změny v transformaci.

Jako poslední záležitost bude transformace obou povodní při změně délky přelivné hrany a při manipulaci s hladinou v nádrži. Toto bude provedeno jen pro stávající parametry funkčních prostorů nádrže. Pro výpočet transformací povodní bude použit program HYDROG.

3 METODY

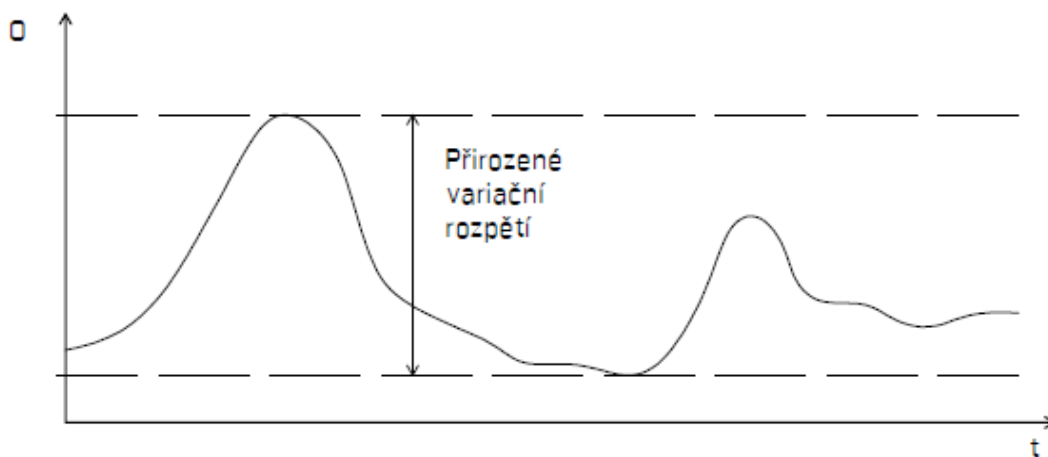
V této kapitole jsou popsány jednotlivé metody, které jsou důležité pro úspěšné dosažení cílů této bakalářské práce.

3.1 ŘÍZENÍ ODTOKU

Řízením (regulováním) odtoku rozumíme cílevědomě prováděnou redistribuci odtoku, jejímž účelem je přizpůsobování odtokového režimu (průběhu odtoku) potřebám společnosti. Tato činnost je nutná proto, že přirozené rozdělení odtoku v průběhu určitého sledovaného období nemusí a v obecném případě ani nemůže být v souladu s potřebami plánovitě řízené činnosti společnosti, protože je výsledkem fungování složitého přírodního mechanismu, v podstatě fungování nezávislého na člověku. Zdůrazněním lidského činitele přerůstá tento obor z hydrologie do oblasti vodního hospodářství a svými důsledky do oblasti průmyslové ekonomie.

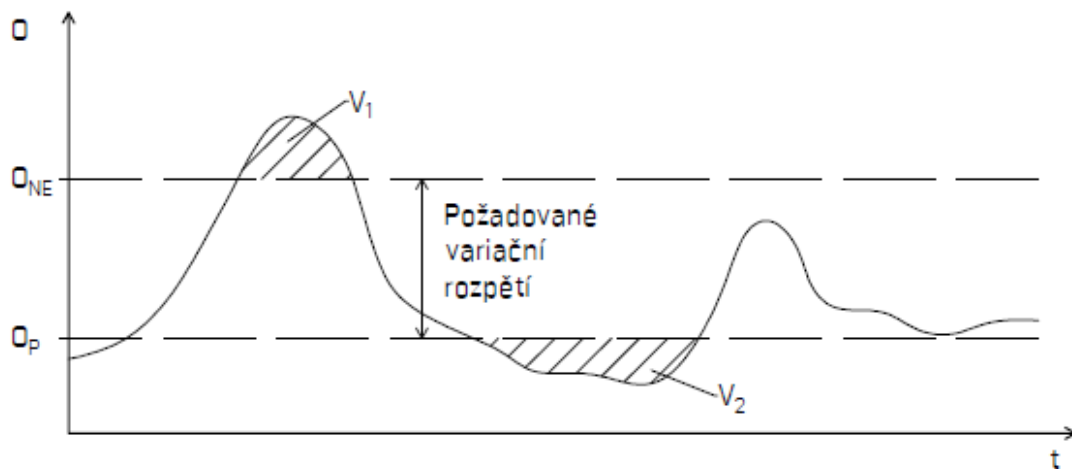
Předmětem hydrologické části řízení odtoku je analýza vztahu mezi přirozeným odtokovým režimem, prostředky jeho regulování a výsledným odtokovým režimem. Cílem je vyjádření vztahu takovými kvantitativními charakteristikami, které by umožnily objektivně hodnotit daný způsob řízení. Vlastní hodnocení, které je v podstatě hledáním optimální varianty regulování, je předmětem vodního hospodářství.

Pro řízení odtoku se u nás vžil výraz vyrovnání odtoku, vyplývající z toho, že se v obvyklých případech jedná o snižování nejvyšších a zvyšování nejnižších průtoků. Výsledkem požadovaného řízení odtoku je obecně zmenšení variačního rozpětí průtoků na požadovaný rozsah. Získáváme tak z přirozeného variačního rozpětí (obr. 1) požadované variační rozpětí (viz obr. 2).



Obr. 1 Přirozené variační rozpětí odtoku [1]

O – Odtok, t – Čas, O_{NE} – Neškodný odtok, O_p – Nalepšený odtok, V_1 – Nadbytek vody, který „uskladníme“ v nádrži na pokrytí poruch (V_2), V_2 – Vzniklá porucha vlivem nedostatku vody (plocha obrazce odpovídá objemu nedodané vody)



Obr. 2 Požadované variační rozpětí odtoku [1]

Účelem řízení odtoku není však pouze vyrovnání odtoku, ale obecně jeho časová redistribuce (pokud je nástrojem řízení např. izolovaná nádrž) a redistribuce v čase a prostoru. Někdy je účelem řízení právě „rozkmitání“ odtoku, např. při denní regulaci pro špičkové vodní elektrárny, při nárazovém nalepšování pro plavbu, závlahy apod. V takovém případě má prostředek řízení odtoku funkci „rozdělovací“. [1]

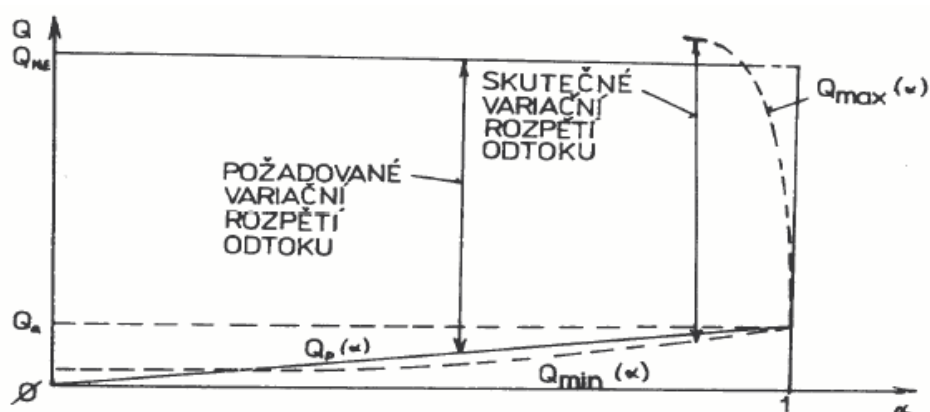
3.2 ZABEZPEČENOST

Zabezpečenost P obecně rozumíme pravděpodobnost, že odtok nevybočí ze stanoveného variačního rozpětí.

3.2.1 Zabezpečenost řízeného odtoku

Návrhovou zabezpečenost rozumíme jako pravděpodobnost nepřekročení mezi navrhovaného variačního rozpětí řízeného odtoku. Skutečné variační rozpětí řízeného odtoku a hodnota jednotlivých mezí (horní a dolní) poskytují informaci o vyrovnání odtoku vody z nádrže. Požadovanou dolní mez, kterou značíme O_p a nazýváme nalepšený odtok. Požadovanou horní mez nazýváme neškodný odtok a značíme O_{NE} . Poměrná hodnota $\alpha = O_p / Q_a$, $\alpha = < 0, 1 >$ se nazývá součinitel nalepšení. Q_a značí dlouhodobý průměrný průtok. Pokud bychom plynule snižovali skutečné variační rozpětí odtoku dané mezemi O_{MIN} a O_{MAX} a zanedbali vliv ztrát až do nulové hodnoty variačního rozpětí, splynuly by postupně tyto meze do jediného bodu $O_{MIN} = O_{MAX} = O_a$. Takovému stavu říkáme úplné vyrovnání. Je zřejmé, že dále není možné ani O_{MIN} zvyšovat, ani O_{MAX} snižovat. Q_a je limitní hodnotou pro O_{MIN} i O_{MAX} . Z uvedeného plyne, že se zvyšováním α musí nutně docházet ke snižování maximálního možného řízeného odtoku až pro $\alpha = 1$, kdy O_{MAX} musí nutně splynout s O_{MIN} a Q_a .

Stav, kdy $\alpha = 0$ a tudíž $O_p = 0$ odpovídá prostému jímání přítoku. Součinitel α je tedy ukazatelem stupně vyrovnání a regulace odtoku v profilu toku.



Obr. 3 Závislost variačního rozpětí odtoku na a [1]

Všeobecně platí, že se vzrůstem zabezpečení a součinitele nalepšení se zvyšují náklady na realizaci zařízení, jímž změnu odtoku provádíme. Na druhé straně však se zvyšováním zabezpečení klesají ztráty v hospodářských výsledcích odvětví, jehož činnost je úpravou odtoku podmíněna. Volba stupně zabezpečení a současně součinitele nalepšení je tedy určitou formou optimalizace celé koncepce návrhu a je v první řadě otázkou ekonomickou.[1]

3.2.2 Zabezpečení nalepšeného odtoku

Mírou zabezpečení nalepšeného odtoku, jako výsledek řízení odtoku, je pravděpodobnost, že skutečný odtok neklesne pod plánovanou hodnotu O_p .

Kvantifikátorem jevu, pojatého ze tří různých hledisek, jsou následující ukazatelé zabezpečení.

Zabezpečení podle opakování, kterou značíme P_o a ta je dána poměrem bezporuchových roků k celkovému počtu let ve vyšetřovaném období. Zabezpečení podle trvání, kterou značíme P_t a je dána poměrem skutečného trvání bezporuchového odtoku vody k celkovému trvání vyšetřovaného období. Poslední zabezpečení je zabezpečení podle dodávky vody, kterou značíme P_d a ta je dána poměrem skutečně odteklého množství vody k plánovanému odteklému množství ve vyšetřovaném období.

Poruchu klasifikujeme jako pokles řízeného odtoku pod plánovanou hodnotu nalepšeného odtoku. Zabezpečení odtoku vyjadřujeme v %.

Pro výpočet míry zabezpečení se používá buď klasický matematický vztah pro výpočet pravděpodobnosti

$$P = \frac{m}{n} \times 100, P \in (0, 100) \quad (3.1)$$

nebo empirický vztah odvozený Čegodajevem.

$$P = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} \times 100, P \in (0, 100) \quad (3.2)$$

Ve vztahu (3.1) a (3.2) obecně značí m počet prvků, ve kterých nastal sledovaný jev a n celkový počet vyhodnocovaných prvků. [1]

3.3 SIMULACE

Simulaci lze definovat jako techniku, která umožňuje vyhodnotit následky nějakého rozhodnutí bez jeho uskutečnění v praxi. Pokud simulaci vztáhneme k problematice řešení zásobní funkce nádrže, můžeme simulaci popsat jako matematickou techniku, která napodobuje posloupnosti aritmetických a logických algoritmů provozu nádrže ve sledovaném časovém úseku $\langle t_0, t_n \rangle$, při zadané počáteční podmínce (plnění nádrže v čase t_0) a zadání omezujících podmínek (závisí na typu úlohy – např. okamžité plnění nádrže). Další nezbytnou podmínkou je rovněž znalost způsobu řízení odtoku z nádrže, tj. závislost řízeného odtoku na stavu vodních zdrojů, kde stavem vodních zdrojů rozumíme okamžitou velikost přítoku vody do nádrže Q a plnění zásobního prostoru V . Lze jej zapsat vektorem $\underline{z} = (V, Q)$. Takto definovaný stav nám popisuje okamžitou potenciální možnou kapacitu vodního zdroje, protože zahrnuje jak velikost okamžitého přítoku vodu, tak i objem vody v nádrži, který je momentálně k dispozici pro nalepšování odtoku.

Během simulace provozu se sleduje průběh kritériální funkce (dále kritéria), která je u izolované nádrže tvořena zejména technickými veličinami, ale může být tvořena i ekonomickými veličinami, případně souhrnem technických a ekonomických veličin. Takovýmto kritériem může být například zabezpečení, ale i náklady na realizaci nebo zisky.

Nástrojem pro simulaci provozu se užívá metoda postupně bilanční, která vychází ze základní rovnice nádrže. Pomocí této metody je simulace provozu znázorněna posloupností časových snímků všech řešených veličin na rozhraní jednotlivých časových intervalů Δt , jejichž velikost je volena v souladu s podklady řešení. Pro vlastní simulaci provozu je tedy nutno znát chronologickou řadu průměrných průtoků (dle potřeby měsíčních, denních, či ročních) podle délky voleného časového kroku Δt , ve kterém provádíme bilanci a požadavky na odtok vody z nádrže v průběhu řešeného období (může být konstantní, měnit se cyklicky v průběhu roku nebo se dynamicky měnit v průběhu celého období). Tento princip je shodný jak při řešení v reálných, tak i umělých průtokových řadách. [1]

3.4 SIMULAČNÍ MODEL

Principem simulačního modelu je volba hledané veličiny v zadané oblasti a v určitém kroku, která do řešení vstupuje jako parametr. Pro každou volenou hodnotu parametru opakovaně simulujeme novou variantu provozu nádrže a v ní vyhodnotíme sledované kritérium (zabezpečení). Z vyřešených vybereme tu variantu, ve které se kritérium se zadanou přesností shoduje s požadovanou hodnotou. V ní volený parametr se pak stává výsledkem řešení. Tato úloha vede na optimalizaci, ve které je neznámou řešený parametr a kritériem je rozdíl mezi vypočtenou hodnotou P a požadovanou P' zabezpečení, který se minimalizuje.

Výpočet je možno urychlit tím, že se řešení provede nejdříve na hrubé rozlišovací úrovni s hrubým krokem parametru. Výsledky se vyhodnotí, vymezí se zmenšená oblast, ve které s největší pravděpodobností leží hledaný parametr a v ní se provede následné dořešení na

jemné rozlišovací úrovni s jemným krokem parametru. Uvedený postup se ve vodohospodářské terminologii nazývá klasickým simulačním modelem a v zásadě se jedná o použití mřížkové metody (grid method) při optimalizaci. Dále se dá výpočet urychlit tak, že se v průběhu výpočtu hledá vztah mezi voleným parametrem a hodnotou kritéria, na který se s další volbou kritéria v nové variantě pružně reaguje. Takto pojatá úloha je v podstatě iterací. [1]

3.4.1 Úloha typu $V_z (O_p, P)$ pro $P = 100\%$

Tato úloha, kterou budeme dále označovat jako úloha č.1, se provádí v jediné variantě jednorázovou simulací provozu nádrže. Řešení je vhodné uspořádat tabelárně následujícím způsobem pro $\Delta t = 1$ měs. = $2,63 \cdot 10^6$ s.

V tabulce je znázorněno řešení ve zkráceném období. Počáteční podmínkou je plná nádrž. Odtok z nádrže je řízen „na plánovaný odtok“.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	rok	měs.	O_p [m ³ .s ⁻¹]	Q [m ³ .s ⁻¹]	O [m ³]	$(O_p - Q) \cdot \Delta t$ [m ³]	$\Sigma(O_p - Q) \cdot \Delta t$ [m ³]	
							0,0	plná nádrž
1	1931	I	10,0	10,3	10,3	-0,3 Δt	0,0 Δt	
2		II	10,0	8,6	10,0	1,4 Δt	1,4 Δt	vynucený zvýšený odtok max. povyprázdnění
3		III	10,0	42,6	41,2	-32,6 Δt	0,0 Δt	
4		IV	15,0	64,5	64,5	-49,5 Δt	0,0 Δt	
5		V	25,0	35,2	35,2	-10,2 Δt	0,0 Δt	
6		VI	25,0	20,3	25,0	4,7 Δt	4,7 Δt	
7		VII	30,0	15,0	30,0	15,0 Δt	19,7 Δt	
8		VIII	30,0	16,8	30,0	13,2 Δt	32,9 Δt	
9		IX	25,0	8,5	25,0	16,5 Δt	49,4 Δt	
10		X	15,0	10,5	15,0	4,5 Δt	53,9 Δt	
11		XI	15,0	24,7	15,0	-9,7 Δt	44,2 Δt	
12		XII	15,0	23,2	15,0	-8,2 Δt	36,0 Δt	
13	1932	I	10,0	13,2	10,0	-3,2 Δt	32,8 Δt	

Tab. 4 Tabelární řešení úlohy č.1 [1]

Ve 4. sloupci je nalepšený odtok, v 5. sloupci přítok. V 7. sloupci je provedena bilance mezi požadovaným nalepšeným odtokovým množstvím $O_p \cdot \Delta t$ a přítokovým množstvím $Q \cdot \Delta t$ postupně v každém měsíci. V 8. sloupci je znázorněna simulace prázdnění nádrže. Pokud

v daném měsíci $O_p > Q$, nádrž se prázdní a pokud $O_p < Q$, nádrž se plní. Změna prázdnění nádrže na konci každého měsíce je získána tak, že dílčí bilanci mezi požadovaným odtokem a přiteklym objemem vody přičteme ke stavu prázdnění na konci předchozího měsíce. Řízení na plánovaný odtok je uplatňováno následujícím postupem. Pokud je nádrž plná (prázdnění je nulové) a platí, že přítok v daném měsíci je větší než požadovaný nalepšený odtok, nádrž není možno dále plnit, což se projeví vynuceným zvětšením skutečného odtoku proti plánu – sloupec 6, $i = 3, 4, 5$. V takovém případě ve sloupci 8 píšeme automaticky nulu. Dojde-li k naplnění nádrže v průběhu měsíce, píšeme rovněž v 8. sloupci nulu. Skutečný odtok v takovém měsíci zvětšíme o tolik, aby bylo dosaženo naplnění nádrže právě na konci měsíce, jinak je roven O_p .

Hledaným zásobním objemem je maximální vyprázdnění (pro $i = 10$) $V_z = 53,9 * 2,63 * 10^6 \text{ m}^3$ (pokud by se nevyskytla v dalších letech větší hodnota). Každý menší zásobní objem by už vyvolal poruchy při dodávce, tudíž $P < 100\%$. Každý větší zásobní objem by byl naopak zbytečně velký a projevil by se v nárůstu nákladů.

3.4.2 Úloha typu P (O_p, V_z)

Tuto úlohu si nazveme jako úloha č.2 a budeme opět postupovat jednorázovou simulací provozu nádrže. Řešení si znovu uspřádáme do tabulky a to v rozšířené úpravě jako tabulku v úloze č.1. Necht v naší ukázce je $V_z = 118,35 * 10^6 \text{ m}^3$. Počáteční podmínkou je opět plná nádrž.

Řešení probíhá postupem uvedeným v předchozí úloze. Změna je v tom, že ve sloupci 8 testujeme, zda na konci každého měsíce (bilanční krok) nepřesahuje nárok na vyprázdnění nádrže zadaný zásobní objem. Protože je však postup znázorněn v poměrných hodnotách, je omezující podmínkou poměrný zásobní objem nádrže $V'_z = V_z / \Delta t$. Pokud v 8. sloupci vychází na konci libovolného měsíce poměrné povyprázdnění větší než zadaný poměrný zásobní objem, píšeme jej v takovém měsíci rovné V'_z . V tomto měsíci dojde k poruše v odtoku vody z nádrže.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	rok	měs.	O_p [m ³ .s ⁻¹]	Q [m ³ .s ⁻¹]	O [m ³ .s ⁻¹]	$O_p - Q$ [m ³ .s ⁻¹]	$\sum(O_p - Q)$ [m ³ .s ⁻¹]	M_r	M_m	D' [m ³ .s ⁻¹]
							0,0			
1	1931	I	10,0	10,3	10,3	- 0,3	0,0			
2		II	10,0	8,6	10,0	1,4	1,4			
3		III	10,0	42,6	41,2	- 32,6	0,0			
4		IV	15,0	64,5	64,5	- 49,5	0,0			
5		V	25,0	35,2	35,2	- 10,2	0,0			
6		VI	25,0	20,3	25,0	4,7	4,7			
7		VII	30,0	15,0	30,0	15,0	19,7			
8		VIII	30,0	16,8	30,0	13,2	32,9			
9		IX	25,0	8,5	20,6	16,5	45,0	/	/	4,4
10		X	15,0	10,5	10,5	4,5	45,0		/	4,5
11		XI	15,0	24,7	15,0	- 9,7	35,3			
12		XII	15,0	23,2	15,0	- 8,2	27,1			
13	1932	I	10,0	13,2	10,0	- 3,2	23,9			
-		-	-	-	-	-	-			
-		-	-	-	-	-	-			
-		-	-	-	-	-	-			
-		-	-	-	-	-	-			
480		1970	XII	15,0	21,2	21,2	- 6,2	0,0		
								$\Sigma M_r = 1$	$\Sigma M_m = 2$	$\Sigma D' = 8,9$ [m ³ .s ⁻¹]

Tab. 5 Tabelární řešení úlohy č.2 [1]

Ve všech měsících, kde platí $O < O_p$, nastala porucha v dodávce vody z nádrže. Ve sloupcích 9, 10, 11 provádíme její vyhodnocení. V 9. sloupci označíme poruchové roky, v 10. poruchové měsíce a v 11. snížení odtoku oproti plánované hodnotě $D' = O_p - O$. Na konci tabulky ve sloupcích 9, 10, 11 provedeme součet všech poruchových roků, měsíců a sníženého odtoku. Celkové nedodané množství vody oproti plánované hodnotě vypočteme ze vztahu $\Sigma D = \Delta_t \cdot \Sigma D'$.

Pro výpočet zabezpečení podle opakování, trvání a dodávky vody použijeme vztahy (3.1) a (3.2) z kapitoly č.3.2.2, ve kterých m a n vyjádříme pomocí ΣM_r , ΣM_m , ΣD . Zavedeme-li, že N_r a N_m je celkový počet roků a měsíců v řešeném období, platí pro zabezpečení podle opakování, že $m = N_r - \Sigma M_r$, $n = N_r$, pro zabezpečení podle trvání $m = N_m - \Sigma M_m$, $n = N_m$ a pro zabezpečení podle dodávky vody $m = PD - \Sigma D$, $n = PD$, kde PD je plánované množství odtoké vody z nádrže v řešeném období. [1]

3.5 OCHRANNÁ FUNKCE NÁDRŽE

Účelem ochranné funkce je řízení odtoku vody z nádrže tak, aby nepřekročil horní mez variačního rozpětí, danou neškodným odtokem O_{NE} při stanovené zabezpečení P_{NE} .

Základním prostředkem při povodňovém řízení odtoku je volný vyhrazený prostor v nádrži, ve kterém je zachycena část objemu povodně, a tak jsou zmírněny její škodlivé účinky na tok v nádrži. Tento objem může být vymezen jako zvláštní retenční prostor ovladatelný nebo neovladatelný nebo může vzniknout po vyprázdnění zásobního objemu před příchodem povodně. Vzhledem k tomu, že povodně mají krátkodobý průběh je nutno znát jejich podrobný, převážně hodinový průběh v čase – tzv. hydrogram povodně. [1]

3.5.1 Metoda Runge – Kutta

Tato metoda je popsána, protože ji používá výpočetní program HYDROG, který je použit v této práci pro výpočet transformací povodní.

Kdykoliv se v simulačním modelu vyskytuje jedna nebo více diferenciálních rovnic, je zřejmé, že stav přinejmenším jednoho procesu ze zainteresovaných se mění kontinuálně (spojitě). Pokud je uváděna také diskretní změna, můžeme simulační model popsat jako diskretně – kontinuálního typu. Použití uzavřené formy analytického řešení je možné, avšak u většiny diferenciálních změn diskretními změnami je možno vytvořit simulační model v libovolném programovacím jazyku uzpůsobeném pro diskretní programování, který poskytuje možnosti numerického řešení.

Nechť $V(t)$ je řešením diferenciální rovnice prvního řádu

$$V'(t) = \frac{dV(t)}{dt} = Q(t) - O(V(t)), \quad (3.3)$$

kteřou můžeme psát obecně ve tvaru

$$\frac{dV(t)}{dt} = f(t, V(t)) \quad (3.4)$$

kde $f(t, V(t))$ je nekonečně diferencovatelná. Předpokládejme, že známe $V(t)$ a chceme určit výslednou hodnotu $V(t + \Delta t)$. Velikost Δt značí délku kroku a v kontextu diskretně – kontinuální simulace na ni můžeme pohlížet jako na pevný časový posun, ve kterém se nevyskytuje mezi t a $t + \Delta t$ žádný diskretní bod. V dalším textu je řešení rovnice metodou Runge – Kutta.

Nechť V_0 je řešením v t a V_1 je řešením v $t + \Delta t$. Za použití metody Runge – Kutta 2. řádu pak můžeme psát:

$$V_1 - V_0 = \frac{K_1 + K_2}{2}$$

Metoda Runge – Kutta 2. řádu pro aproximaci $V(t + \Delta t) - V(t)$, aplikovaná na diferenciální rovnici 1. řádu, je zatížena chybou $\theta (\Delta t^3)$. Proto se připouští pouze na výklad. Její použití v praxi vede na nepřipustnou chybu, pokud Δt není nekonečně malé. Avšak vytvoření značně malého Δt má za následek neúměrný růst nákladů na výpočet a je zdrojem zaokrouhlovacích chyb způsobených omezenou délkou slova počítače.

Vhodnější pro řešení (3.3) je použití metody Runge – Kutta 4. řádu pro diferenciální rovnici 1. řádu:

$$V_1 - V_0 = \frac{K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4}{6}$$

kde:

$$K_1 = \Delta t * f(t, V(t))$$

$$K_2 = \Delta t * f\left(t + \Delta t, V(t) + \frac{K_1}{2}\right)$$

$$K_3 = \Delta t * f\left(t + \frac{\Delta t}{2}, V(t) + \frac{K_2}{2}\right)$$

$$K_4 = \Delta t * f(t + \Delta t, V(t) + K_3)$$

Užití metody Runge - Kutta 4.řádu pro aproximaci je zatíženo chybou $\theta (\Delta t^5)$. Proto má široké užití. Hodnoty K_1, K_2, K_3, K_4 jsou s přihlédnutím ke tvaru $f(t, V(t))$ v (3.3) dány

$$K_1 = \Delta t * (Q(t) - O(V(t)))$$

$$K_2 = \Delta t \left(Q\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) - O\left(V(t) + \frac{K_1}{2}\right) \right)$$

$$K_3 = \Delta t \left(Q\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) - O\left(V(t) + \frac{K_2}{2}\right) \right)$$

$$K_4 = \Delta t(Q(t + \Delta t) - O(V(t) + K_3))$$

Metodu Runge - Kutta 4. řádu používá právě zmiňovaný program HYDROG. [1]

4 VSTUPNÍ DATA

Vstupní data jsou důležitá pro každý výpočet. Vstupní data byla poskytnuta Povodím Moravy, s.p, včetně manipulačního řádu nádrže Tršice.

4.1 PRŮTOKOVÁ ŘADA

Základním hydrologickým podkladem, který nám poskytuje informaci o průtoku vody určitým profilem jsou reálné průtokové řady. Pojem reálná se užívá proto, že vznikly měřeními nebo odvození. Ve vybraném profilu na toku se s určitou frekvencí měří okamžitý průtok vody. Pro měření je možno použít buď přímé, nebo nepřímé postupy známé z hydrologie.

Průtok vody v průběhu dne kolísá, průměrná hodnota tvoří průměrný denní průtok. Posloupnost průměrných denních průtoků stanovená za určité období tvoří tzv. reálnou řadu průměrných denních průtoků. Vytvoříme-li pak analogicky posloupnost průměrných měsíčních průtoků, získáváme tzv. reálnou řadu průměrných měsíčních průtoků. Vytvoříme-li posloupnost průměrných ročních průtoků, získáváme tzv. reálnou řadu průměrných ročních průtoků. [1]

Pro tuto práci byla poskytnuta reálná řada průměrných měsíčních průtoků od roku 1970 až po rok 2018. Tato řada byla naměřena ve stanici Kokory, která se nachází níže po toku Olešnice než nádrž Tršice. A tak bylo nutné, aby došlo k odvození průtokové řady. Odvození bylo provedeno pomocí poměru dlouhodobých průměrných průtoků. Kdy si dlouhodobý průměrný průtok pro měřící stanici Kokory označíme jako $Q_a^A = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ a dlouhodobý průměrný průtok pro měřený profil u nádrže Tršice označíme $Q_a^X = 0,161 \text{ m}^3/\text{s}$. Dále máme známé průměrné měsíční průtoky ze stanice Kokory, ty si označíme jako $Q_{m,i}^A$ a neznámé průměrné měsíční průtoky pro měřený profil u nádrže si označíme jako $Q_{m,i}^X$. Potom vyjdeme z rovnice

$$\frac{Q_a^A}{Q_a^X} = \frac{Q_{m,i}^A}{Q_{m,i}^X},$$

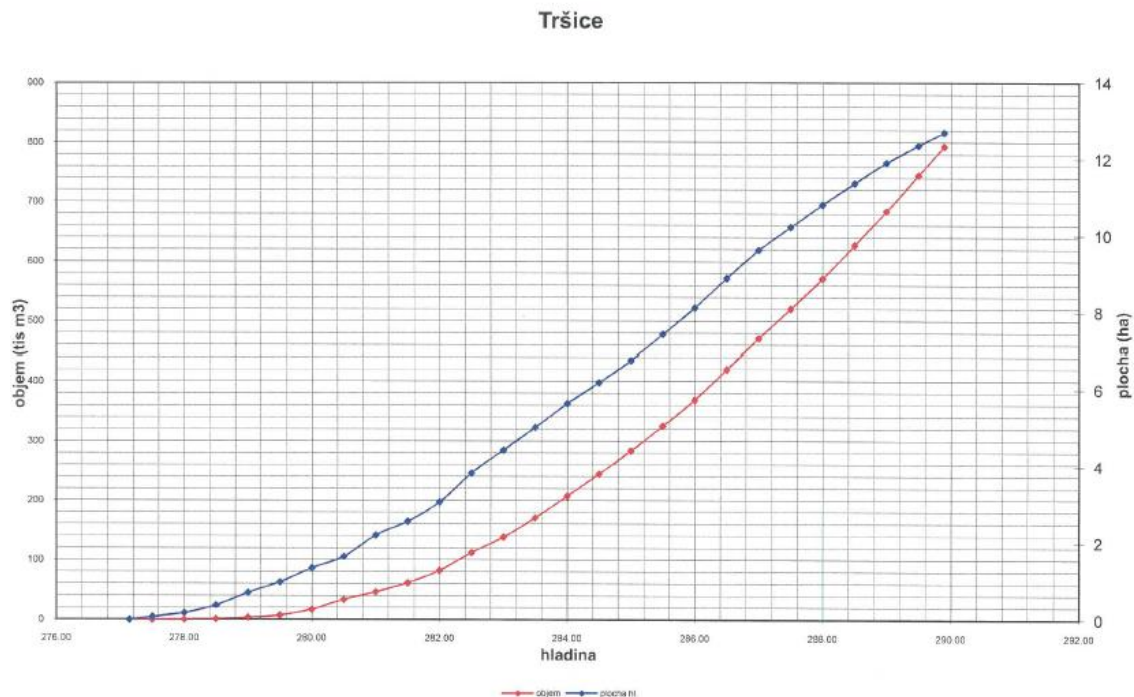
kde si vyjádříme jedinou neznámou a to $Q_{m,i}^X$, pak dostaneme vztah

$$Q_{m,i}^X = \frac{Q_a^X}{Q_a^A} * Q_{m,i}^A$$

podle kterého vypočítáme průměrné měsíční průtoky pro měřený profil u nádrže Tršice a z nich dostaneme odvozenou reálnou průtokovou řadu.

4.2 BATYGRAFICKÉ ČÁRY

Morfologii údolí popisujeme pomocí batygrafických čar, tj. čáry zatopených ploch a čáry zatopených objemů, které se rovněž nazývají charakteristikami nádrže. Čára zatopených ploch udává závislost mezi výškou plnění nádrže H a příslušnou plochou hladiny F odpovídající plnění. Čára zatopených objemů udává závislost mezi výškou plnění nádrže H a příslušným zatopeným objemem V . [1]

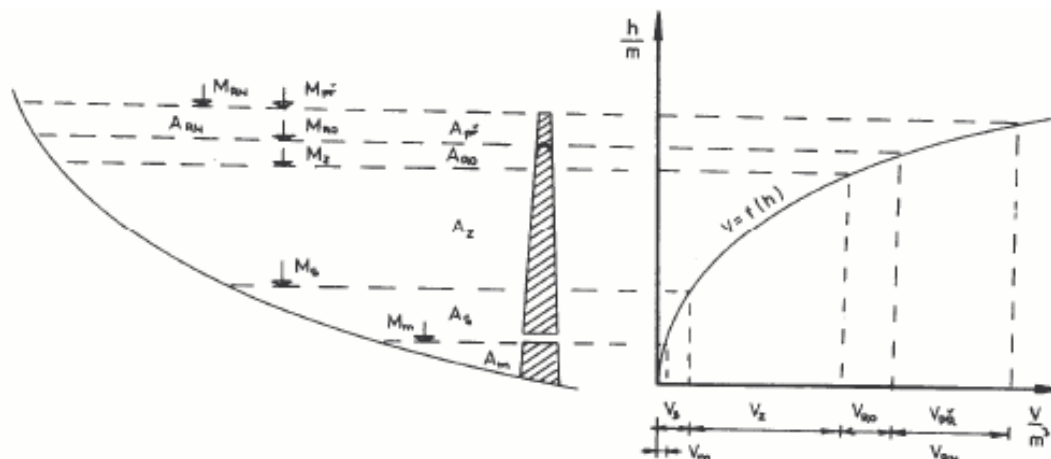


Graf 1 Batygrafické čáry nádrže Tršice [3]

4.3 FUNKČNÍ PROSTORY NÁDRŽE

Celkový prostor nádrže A_c o objemu V_c se zpravidla dělí na dílčí prostory vyplývající z vodohospodářského řešení nádrže. Celkový objem nádrže je dán výrazem

$$V_c = V_s + V_z + V_{RO} + V_{RN}$$



Obr. 4 Funkční prostory nádrže [1]

Prostor stálého nadržení A_s o celkovém objemu V_s je za normálního provozu nevyužívaný. Pro stanovení jeho velikosti se uvádějí různá hlediska, ale až na speciální případy neexistuje metodika pro objektivní kvantitativní stanovení velikosti A_s . Součástí prostoru stálého nadržení je mrtvý prostor A_m , umístěný pod úroveň spodních výpustí, který nelze gravitačně vyprázdnit.

Zásobní prostor A_z slouží k řízení odtoku vody z nádrže tak, aby neklesl pod dolní mez variačního rozpětí O_p . Jinými slovy slouží k nalepšování celkového odtoku (součet odběrů +

odtok do toku). Velikost A_z a jeho účinek jsou stanoveny vodohospodářským řešením nádrže podle typu úlohy. V našem případě jeho velikost budeme řešit pomocí úlohy č.1.

Retenční prostor A_r slouží k řízení odtoku vody z nádrže tak, aby nepřekročil horní mez variačního rozpětí O_{NE} . Je tedy určen k zachycení povodní a k transformaci povodňových vln. Retenční prostor se dělí na ovladatelný a neovladatelný.

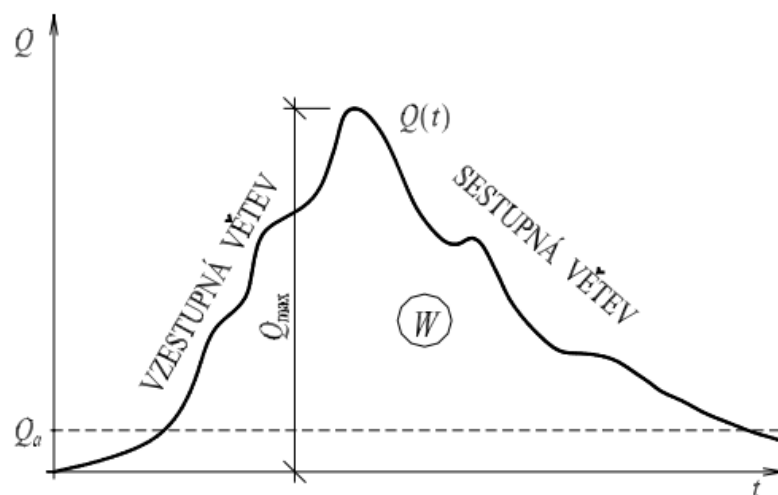
Retenční prostor ovladatelný A_{RO} je umístěn nad maximální hladinou zásobního prostoru. Shora je omezen nejnižší úrovní přelivné hrany nehrazeného přelivu nebo úrovní horní hrany uzávěru hrazeného přelivu. Nádrž Tršice má pouze retenční prostor neovladatelný.

Retenční prostor neovladatelný A_{RN} je umístěn nad retenčním prostorem ovladatelným, v našem případě je umístěn nad maximální hladinou zásobního prostoru. U nehrazeného přelivu je zdola omezen nejnižší úrovní přelivné hrany. U hrazeného přelivu je zdola omezen horní hranou uzávěru, je-li hradící výška přelivu nižší než přepadová výška při návrhové povodni. [1]

Hladina stálého nadržení:	280,10 m n. m.
Stálé nadržení:	20 200 m ³
Hladina zásobního prostoru:	288,9 m n. m.
Zásobní prostor:	672 000 m ³
Hladina retenčního prostoru neovladatelného:	289,70 m n. m.
Prostor retenční neovladatelný:	97 000 m ³
Maximální zásobní hladina:	289,70 m n. m.
Celkový objem nádrže:	769 000 m ³
Maximální bezpečná hladina:	290,00 m n. m. [3]

4.4 HYDROGRAM POVODNĚ

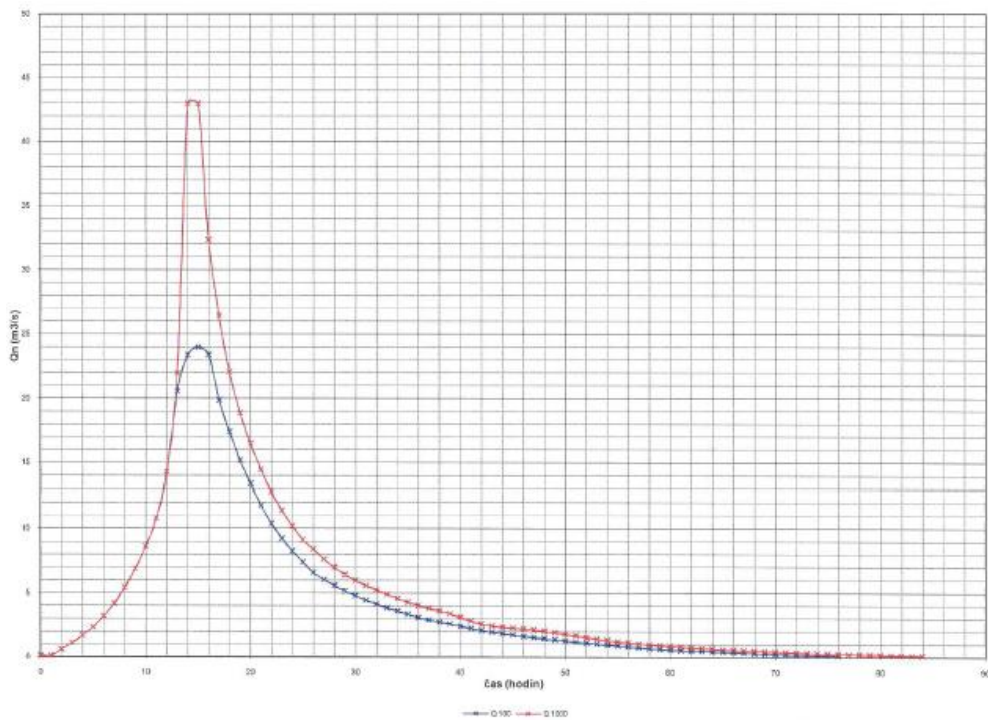
V libovolném profilu na toku je možno znázornit průběh povodně hydrogramem povodně, tj. zaznamenaným časovým průběhem povodňového průtoku. Ten se vyznačuje vzestupnou větví a sestupnou větví. V zásadě je možno hydrogram povodně popsat třemi veličinami, a to kulminačním průtokem Q_{max} , objemem povodně W , resp. objemem povodňové vlny W_{PV} a tvarem hydrogramu. Objem povodně je roven objemu vody (plocha) nad zvoleným průtokem. Pokud není průtok zadán, implicitně se rozumí hodnota dlouhodobého průměrného průtoku Q_a . Objemem povodňové vlny se rozumí veškerý objem proteklé vody mezi počátkem a koncem povodně. Počátek a konec musí být zadán. Pokud tomu tak není, rozumí se těmito body průsečík Q_a se vzestupnou a sestupnou větví hydrogramu. [5]



Obr. 5 Vzor hydrogramu povodně [5]

Pro náš případ máme hydrogram dvou povodní, a to stoleté a tisícileté povodně. Pro výpočet a další popis budeme brát stoletou povodeň jako návrhovou a tisíciletou jako kontrolní povodeň. Charakteristika povodní:

- | | |
|-------------|--|
| PV_{100} | kulminační průtok $Q_{100} = 24 \text{ m}^3/\text{s}$ |
| | doba trvání $T_{100} = 76 \text{ hod}$ |
| | objem povodně $W_{100} = 1,248 \text{ mil. m}^3$ |
| PV_{1000} | kulminační průtok $Q_{1000} = 43 \text{ m}^3/\text{s}$ |
| | doba trvání $T_{1000} = 84 \text{ hod}$ |
| | objem povodně $W_{1000} = 1,676 \text{ mil. m}^3$ |



Graf 2 Hydrogram povodně pro nádrž Tršice [3]

5 APLIKACE

V této kapitole provedeme praktickou aplikaci výše uvedených metod na stávající nádrži Tršice. Pro lepší orientaci si tuto kapitolu rozdělíme na dva větší celky, na zásobní a ochranou funkci nádrže. Zde budou popsány nejdůležitější informace a výsledky výpočtu, zbytek výsledků bude shrnut v kapitole 6 shrnutí výsledků.

5.1 ZÁSObNÍ FUNKCE

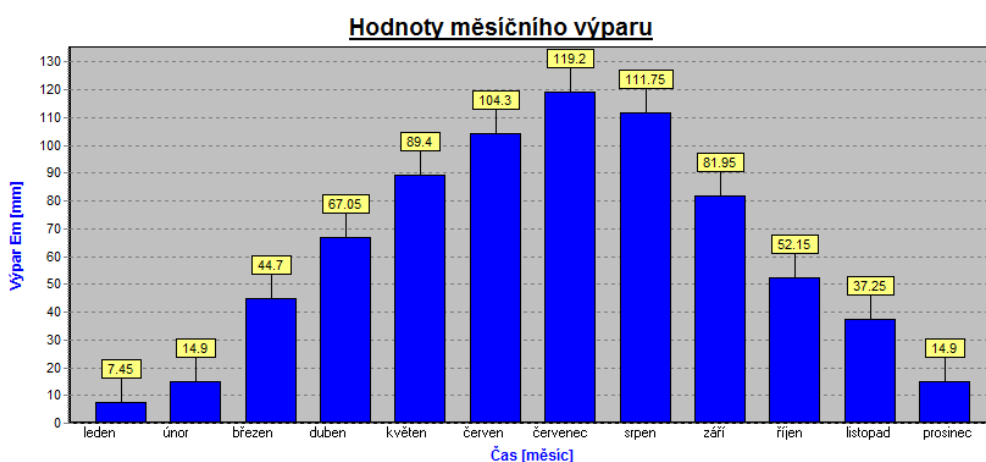
Zásobní funkce slouží k řízení odtoku vody z nádrže, jak už jsme si popsali v kapitole 4.3. Zde si aplikujeme metodu č.1 (viz kapitola 3.4.1) a metodu č.2 (viz kapitola 3.4.2) na nádrž Tršice.

5.1.1 Úloha č.1 – hledání zásobního objemu nádrže

Tento výpočet jsme provedli pouze pro kontrolu, protože zásobní objem nádrže Tršice známe. Ten je uveden v manipulačním řádu nádrže, kdy $V_z = 672\,000\text{ m}^3$. Použijeme výpočetní program UNCE RESERVOIR. Jako vstupní data použijeme průtokovou řadu průměrných měsíčních průtoků a batygrafické křivky nádrže.

Pro výpočet jsme uvažovali pouze ztráty výparem, ostatní ztráty jsou rovny nule. Ztráta výparem byla charakterizovaná hodnotou ročního výparu $H_v = 745\text{ mm/rok}$, kterou jsme zapsali do programu, a ten si hodnotu ročního výparu přepočítal na hodnotu měsíčního výparu podle tabulky z ČSN 75 2405.

Načti z ČSN 75 2405 nebo zapiš hodnoty % ročního výparu v jednotlivých měsících											
Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Sípen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
1	2	6	9	12	14	16	15	11	7	5	2
Celkem procent (kontrola)											100.0
Zadej hodnotu ročního výparu E_a : 745 [mm/rok] a vypočítej a vykresli hodnoty měsíčního výparu											
Hodnoty měsíčního výparu E_m [mm]											
Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Sípen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
7.45	14.9	44.7	67.05	89.4	104.3	119.2	111.75	81.95	52.15	37.25	14.9



Graf 3 Hodnoty měsíčního výparu

Dalším důležitým parametrem, který bylo nutno vyplnit, je objem stálého nadržení $V_s = 20200\text{ m}^3$, který známe z manipulačního řádu. Poslední hodnotou, kterou bylo nutno zadat, je nalepšený odtok O_p , který má po celý rok konstantní hodnotu. Jak se vypočítá jsme si popsali

v kapitole 3.2.1. Tento odtok jsme pro zajímavost měnili a to tím, že jsme měnili součinitel nalepšení α . Součinitel nalepšení jsme měli v rozsahu 0,1 – 0,4, tudíž nalepšený odtok měl hodnoty 0,016 pro $\alpha = 0,1$ a hodnotu 0,064 pro $\alpha = 0,4$. Větší hodnotu součinitele nalepšení jsme použít nemohli, protože nám už vycházely velké objemy a ty byly mimo hodnoty batygrafických křivek.

V tabulce č.6 jsou uvedeny výsledky výpočtu. Vidíme, že vypočítaný objem pro hodnotu $O_p = 0,048$, označen modře, odpovídá stávajícímu objemu s odchylkou 1000 m³. V tabulce vidíme výsledky zásobního objemu se ztrátami a beze ztrát. Cílem toho tohoto výpočtu byla nejen kontrola stávajícího zásobního prostoru, ale také ověření správnosti zadání vstupních dat do programu pro další výpočty.

Úloha č.1			
		Bez Ztr.	Se Ztr.
$\alpha[-]$	$O_p[m^3/s]$	$V_z[m^3]$	$V_z[m^3]$
0.1	0.016	81530	92352
0.2	0.032	286670	315501
0.3	0.048	623310	670736
0.4	0.064	959950	1021057
0.5	0.081	Nedostačující batygraf. křivky	

Tab. 6 Výsledky úlohy č.1

5.1.2 Úloha č.2 – výpočet zabezpečení P

V tomto případě budeme počítat zabezpečení P při změně O_p a při změně výškové úrovně přelivné hrany bezpečnostního přelivu. Nalepšený odtok O_p budeme počítat pro α v rozmezí 0,1 – 0,8. Výškovou úroveň přelivné hrany budeme měnit po 0,1 m, a to celkem o 1 m dolů a o 1 m nahoru. Vlivem změny výškové úrovně přelivné hrany se nám bude zvyšovat či snižovat zásobní prostor nádrže. K výpočtu použijeme jako v prvním případě program UNCE RESERVOIR pouze s tím rozdílem, že místo úlohy č.1 budeme počítat úlohu č.2.

Budeme sledovat hodnoty zabezpečení podle trvání P_t a zabezpečení podle dodávky vody P_d . Zabezpečení podle opakování sledovat nebudeme.

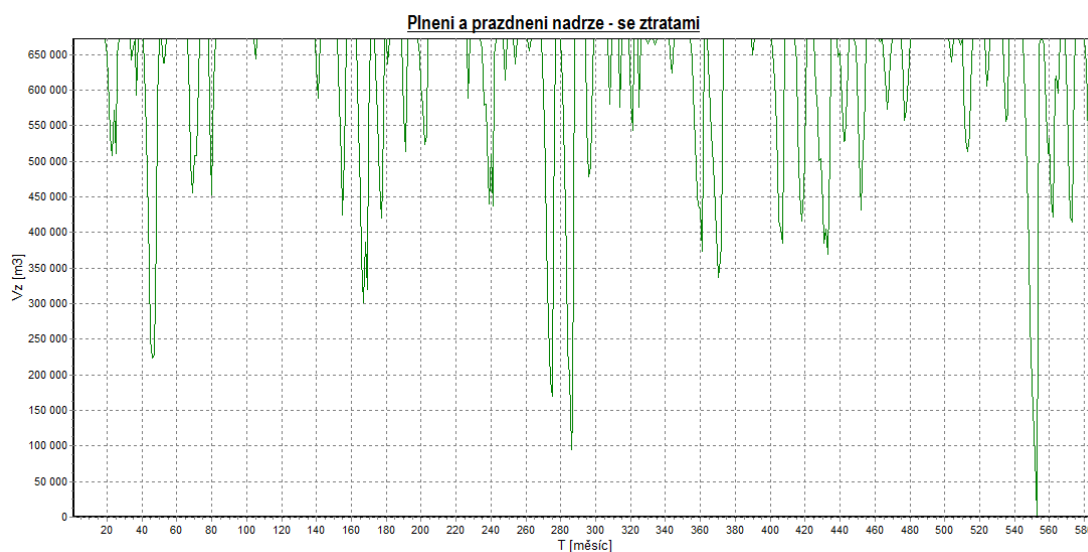
Vstupní data jsou stejná jako při úloze č.1, mimo ně do výpočtu vstupuje ještě jeden parametr, a to zásobní objem nádrže V_s . Ztráty znovu uvažujeme jen výparem.

V této kapitole si ukážeme a popíšeme výsledky zabezpečení při skutečném zásobním objemu a při maximální, minimální změně výšky přelivné hrany bezpečnostního přelivu. Ostatní výsledky budou shrnuty v kapitole 6.

Úloha č.2					
$V_z =$	672000	m^3			
$H_{přel.hr} =$	288.9	m.n.m		skut. hrana přel	
	$\alpha[-]$	$O_p[m^3/s]$	Pt[%]	Pd[%]	Poruch.měs
O_p1	0.1	0.016	100	100	0
O_p2	0.2	0.032	100	100	0
O_p3	0.3	0.048	99.71	99.98	1
O_p4	0.4	0.064	98.35	99.36	9
O_p5	0.5	0.081	92.06	96.76	46
O_p6	0.6	0.097	84.59	92.19	90
O_p7	0.7	0.113	75.24	86.97	145
O_p8	0.8	0.129	66.91	81.92	194

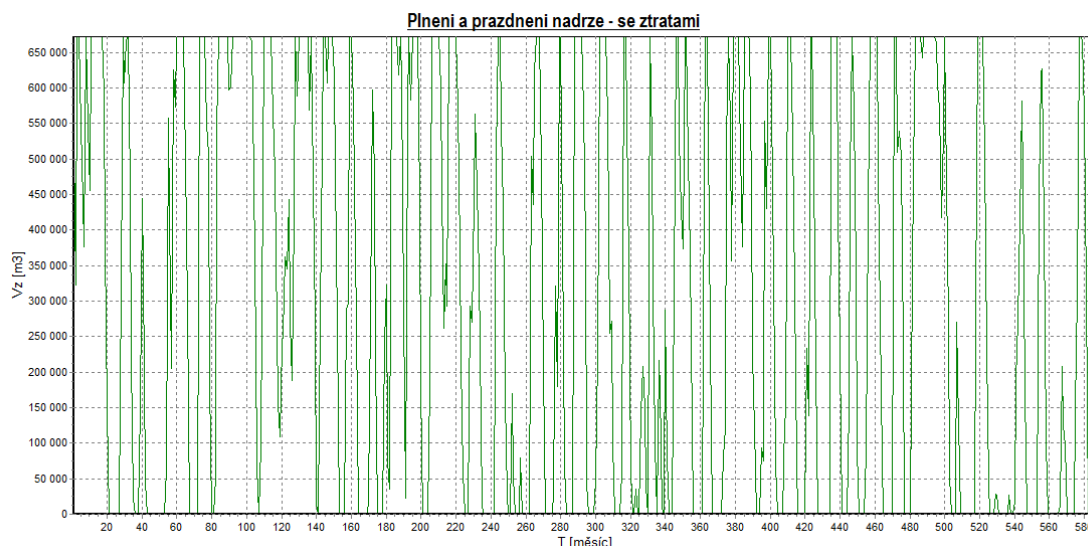
Tab. 7 Zabezpečení pro $V_z = 672000 m^3$

V tabulce č.7 máme výsledky zabezpečení podle trvání P_t a podle dodávky vody P_d pro skutečnou výšku přelivné hrany. V posledním sloupečku tabulky máme počet poruchových měsíců, to znamená počet měsíců, ve kterých došlo k poruše (viz kapitola 3.2.2). Vidíme, že čím větší odtok z nádrže, tím máme vyšší počet poruchových měsíců. To si ukážeme na grafu č.4 a č.5. Kde jsem pro vás na ukázkou vybral plnění a prázdnění nádrže pro skutečný stav a O_p3 , graf č.4 a plnění a prázdnění nádrže pro skutečný stav a O_p8 , graf č.5.



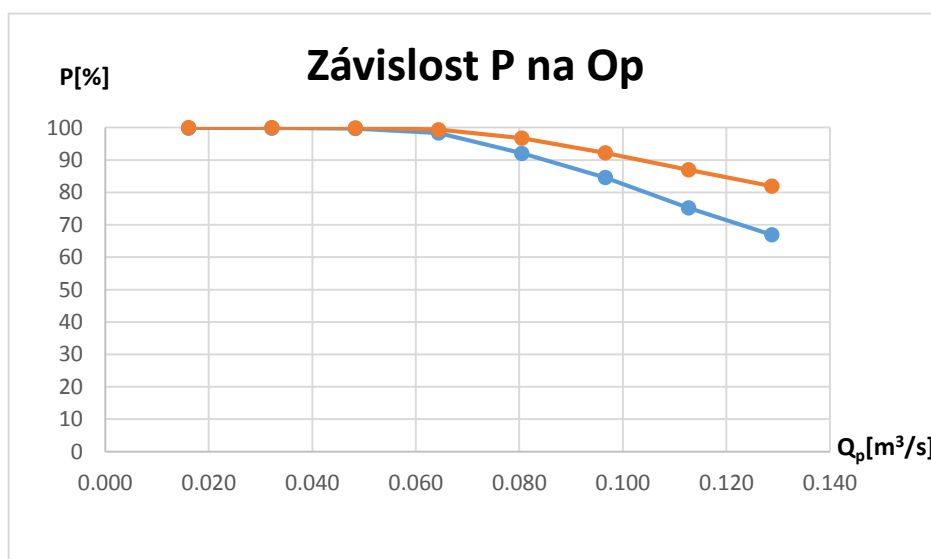
Graf 4 Plnění a prázdnění nádrže

V grafu č.4 vidíme, že dojde k poruše pouze v jednom měsíci. Poznáme to podle toho, že se nám čára plnění a prázdnění dostane na hodnotu $V_z = 0 m^3$. V grafu č.5 vidíme případ plnění a prázdnění nádrže pro O_p8 . V tomto případě vidíme značně víc poruch než v grafu č.4.



Graf 5 Plnění a prázdnění nádrže

V grafu č.6 si můžeme všimnou závislosti zabezpečení P na nalepšeném průtoku O_p . S vyšším odtokem se nám snižuje zabezpečení, viz graf č.6. Pro všechny vypočítané úrovně přelivné hrany bezpečnostního přelivu je závislost P na O_p stejná, pouze se mění hodnoty.



Graf 6 Závislost P na O_p

Ted' se zaměříme na výsledky pro stav, kdy jsme hranu přelivu zvedli o 1 metr. Se zásobním objemem jsme na hodnotě $V_z = 793\,080\text{ m}^3$, to je zvýšení o $121\,000\text{ m}^3$ než má skutečný zásobní objem. V tabulce č.8 vidíme snížení počtu poruchových měsíců, je to dáno zvětšením zásobního objemu, tedy větším rozsahem mezi dolní a horní hladinou zásobního prostoru. Můžeme pozorovat i zvýšení zabezpečení pro různá O_p , opět je to způsobené tím, že jsme zvětšili zásobní objem. Můžeme konstatovat a potvrdit, že čím větší zásobní prostor, tím roste zabezpečení.

Úloha č.2					
$V_z =$		793080	m^3		
$H_{přel.hr} =$		289.9	m.n.m + 100cm		
	$\alpha[-]$	$O_p[m^3/s]$	Pt[%]	Pd[%]	Poruch.měs
O_p1	0.1	0.016	100	100	0
O_p2	0.2	0.032	100	100	0
O_p3	0.3	0.048	99.88	100	0
O_p4	0.4	0.064	99.20	99.72	4
O_p5	0.5	0.081	95.46	98.11	26
O_p6	0.6	0.097	87.13	93.97	75
O_p7	0.7	0.113	79.32	88.94	121
O_p8	0.8	0.129	69.29	83.57	180

Tab. 8 Zabezpečení pro $V_z = 793080 m^3$

Teď se zaměříme na výsledky pro stav, kdy jsme hranu přelivu snížili o 1 metr. Se zásobním objemem jsme na hodnotě $V_z = 560\,000 m^3$, to je zmenšení o $112\,000 m^3$ než má skutečný zásobní objem. V tabulce č.9 vidíme zvýšení počtu poruchových měsíců. Je to dáno zmenšením zásobního objemu, tedy menším rozsahem mezi dolní a horní hladinou zásobního prostoru a dochází k rychlejšímu vyprázdnění V_z . Můžeme pozorovat i snížení zabezpečení pro různá O_p , opět je to způsobené tím, že jsme zmenšili zásobní objem. Zde vidíme, že čím menší zásobní objem, tím menší zabezpečení.

Úloha č.2					
$V_z =$		560000	m^3		
$H_{přel.hr} =$		287.9	m.n.m - 100cm		
	$\alpha[-]$	$O_p[m^3/s]$	Pt[%]	Pd[%]	Poruch.měs
O_p1	0.1	0.016	100	100	0
O_p2	0.2	0.032	100	100	0
O_p3	0.3	0.048	99.37	99.82	3
O_p4	0.4	0.064	96.14	98.69	22
O_p5	0.5	0.081	87.47	95.10	73
O_p6	0.6	0.097	81.02	90.33	111
O_p7	0.7	0.113	72.01	85.01	164
O_p8	0.8	0.129	64.02	80.26	211

Tab. 9 Zabezpečení pro $V_z = 560000 m^3$

Zbytek výsledků bude dán do souhrnné tabulky zabezpečení v kapitole 6.

5.2 OCHRANNÁ FUNKCE

V této kapitole provedeme simulaci dvou povodní. Jak už bylo řečeno, budou to stoletá a tisíciletá povodeň. Budeme sledovat transformaci povodně při změně výšky přelivné hrany, při změně délky přelivné hrany a nakonec při předvyprázdněním zásobního prostoru. Pro transformaci povodně použijeme program HYDROG.

Pro výpočet řekneme, že stoletá povodeň je návrhová povodeň a tisíciletá povodeň je kontrolní povodeň. Při simulaci návrhové povodně by měly být zavřeny spodní výpusti, zavřeny veškeré odběry a transformace by se měla dít přes samotný bezpečnostní přeliv. Maximální hladina nesmí překročit hladinu neovladatelného retenčního prostoru. Při simulaci kontrolní povodně může být otevřena polovina spodních výpustí, otevřeny odběry a maximální hladina nesmí překročit maximální mezní bezpečnou hladinu.

Jako vstupní data budou použity hydrogramy povodní a batygrafické čáry.

5.2.1 Simulace povodně – změna úrovně přelivné hrany

Výšku přelivné hrany budeme měnit stejně jako u zabezpečení v kapitole 5.1.2.

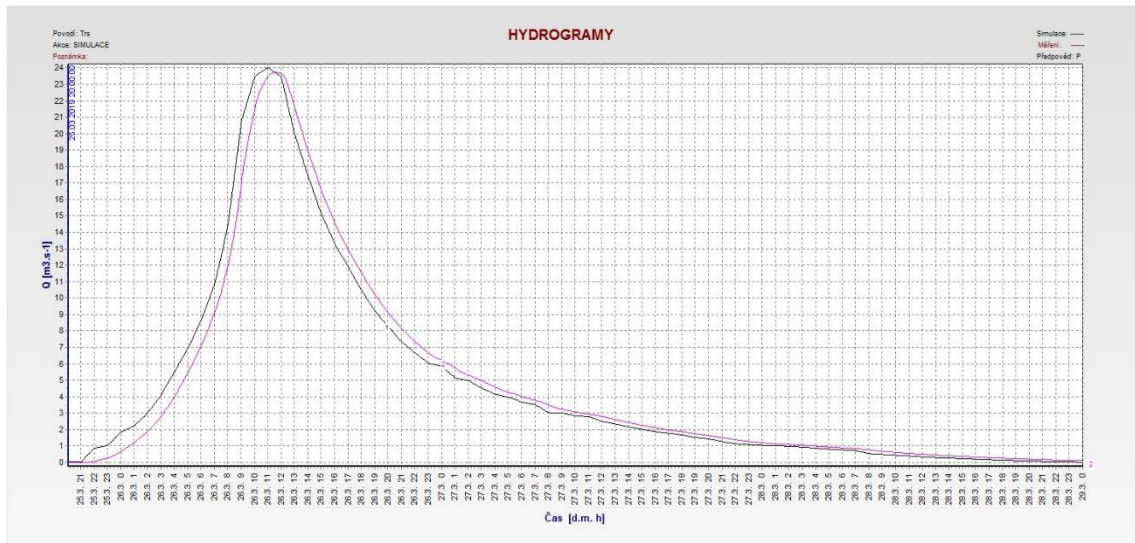
5.2.1.1 Povodeň Q_{100}

U stoleté povodně budeme počítat se zavřenými výpustěmi a odběry. Budeme sledovat překročení hladiny neovladatelného retenčního prostoru $M_{RN} = 289,7$ m n. m.. Pro úplnost si udáme i maximální mezní bezpečnou hladinu $M_{MB} = 290,00$ m n. m..

V programu HYDROG jsme si vytvořili výpočetní schéma, které tvoří nádrž a jeden úsek před nádrží a druhý úsek za nádrží. Trvání simulace bude 76 hod a časový krok výpočtu 0,5 min.

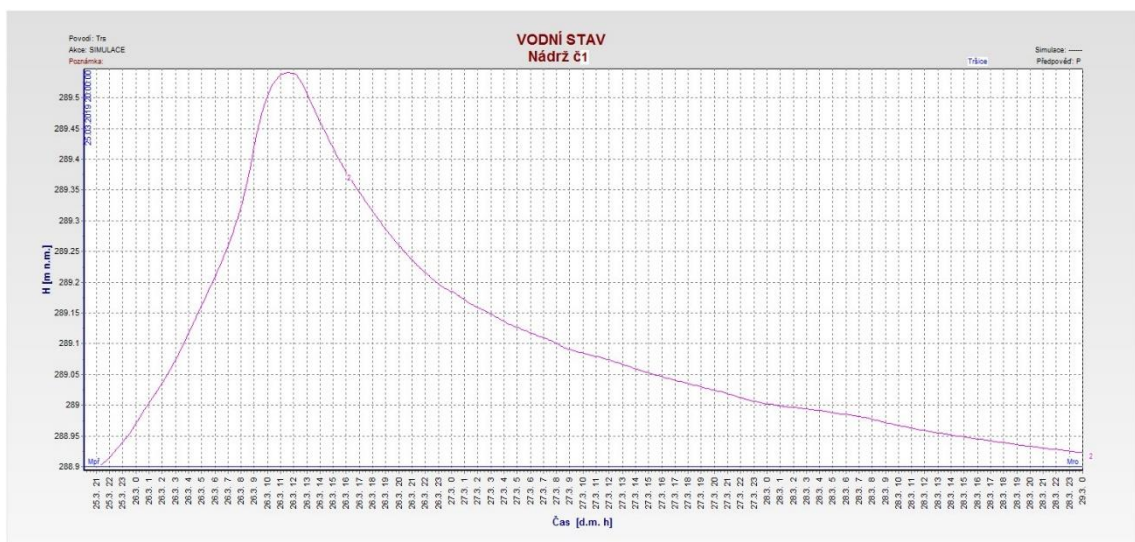
Maximální průtok stoleté povodně je $Q_{100} = 24$ m³/s. V případě, kdy úroveň přelivné hrany není nijak posunutá a její výška je tedy 288,9 m n. m., dochází k transformaci povodně na průtok $Q_{max} = 23,72$ m³/s. Vidíme na obrázku č.6, že transformace není nijak veliká. Maximální hladina dosahuje na kótu 289,54 m n. m. a je 16 cm pod hadinou M_{RN} . Ujistili jsme se, že skutečný stav úrovně bezpečnostního přelivu splňuje podmínku pro převedení návrhové

povodně.



Obr. 6 Transformace povodně Q_{100} pro skutečný stav

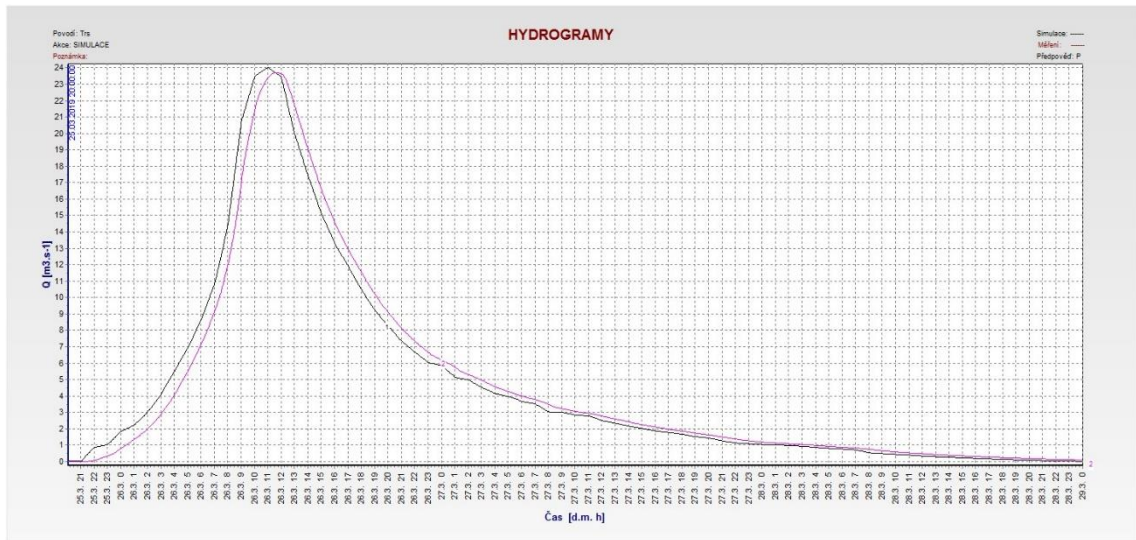
Na obrázku č.6 vidíme černou barvou znázorněn přítok do nádrže a červenou barvou je znázorněna transformace povodně. Vidíme, že rozdíl mezi oběma křivkami je minimální.



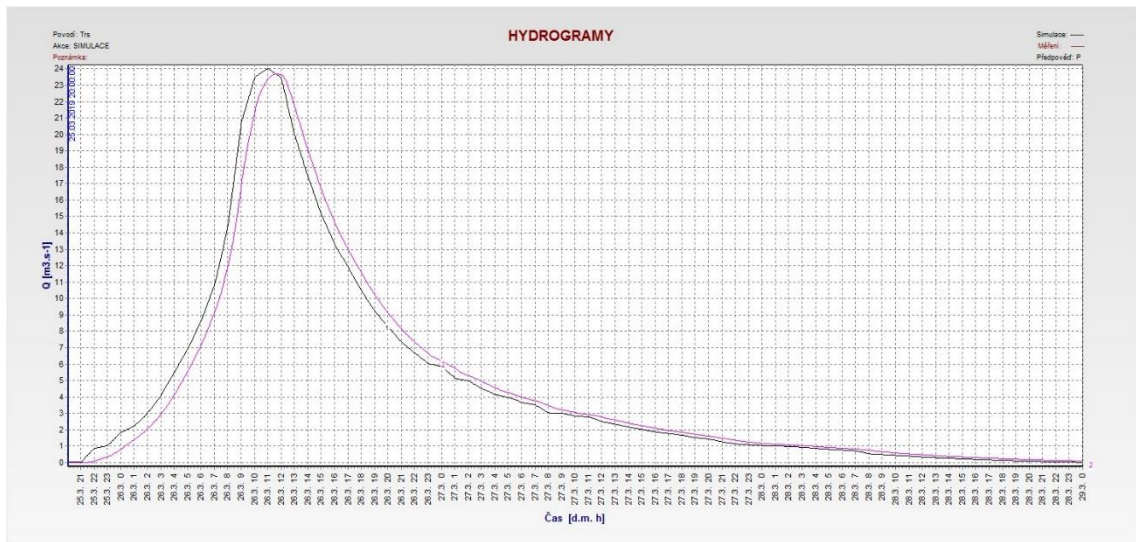
Obr. 7 Vodní stav v nádrži při Q_{100} a $H_{přel.hrn} = 288,90$ m n.m.

Zde na obrázku č.7 vidíme vodní stav v nádrži při návrhové povodni. V dolní části je znázorněna modrou čarou úroveň hrany přelivu. Červenou barvou je znázorněno převedení vody přes bezpečnostní přeliv.

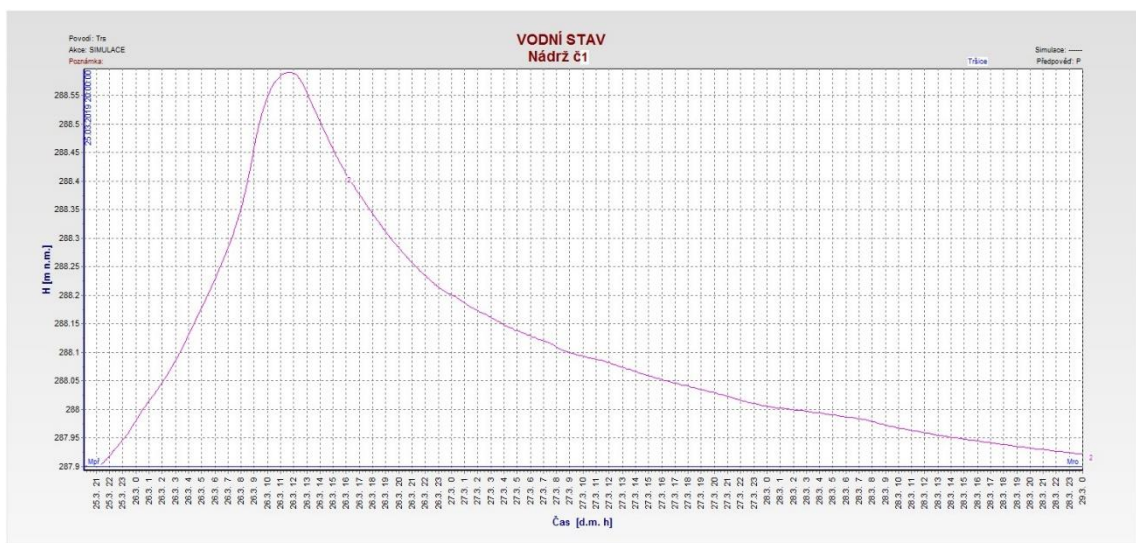
Pokud hranu přelivu posuneme na výšku 287,9, tzn. snížíme ji o 1 m, tak se nám transformace povodně nepatrně sníží. $Q_{max} = 23,69$ m³/s a maximální výška hladiny vody dosahuje na úroveň 288,59 m n. m. i tato situace vyhoví podmínce návrhové povodně. Pokud naopak zvýšíme úroveň hrany přelivu na výšku 289,9 m. n. m., tak se nám transformace znovu nepatrně sníží, ale maximální výška hladiny se zvýší a to na úroveň 290,52 m n. m.. Zde vidíme, že hladina nám překročila, jak M_{RN} , tak i M_{MB} a z toho nám vyplývá, že takové posunutí hrany přelivu je nepřijatelné.



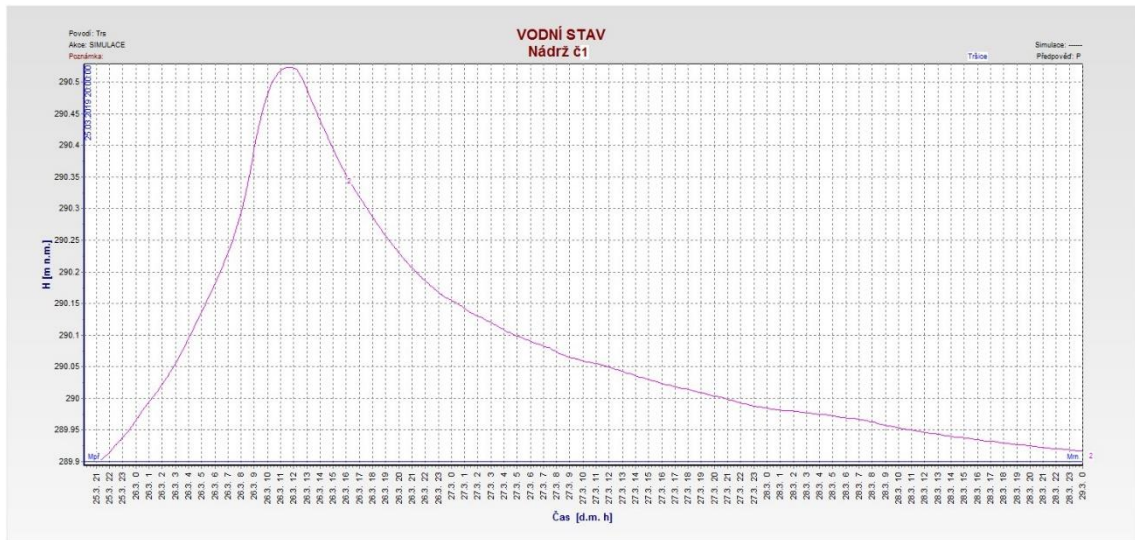
Obr. 8 Transformace povodně Q_{100} pro $H_{přel.hrn} = 287,90$ m n.m.



Obr. 9 Transformace povodně Q_{100} pro $H_{přel.hrn} = 289,90$ m n.m.



Obr. 10 Vodní stav v nádrži při Q_{100} a $H_{přel.hrn} = 287,90$ m n.m.



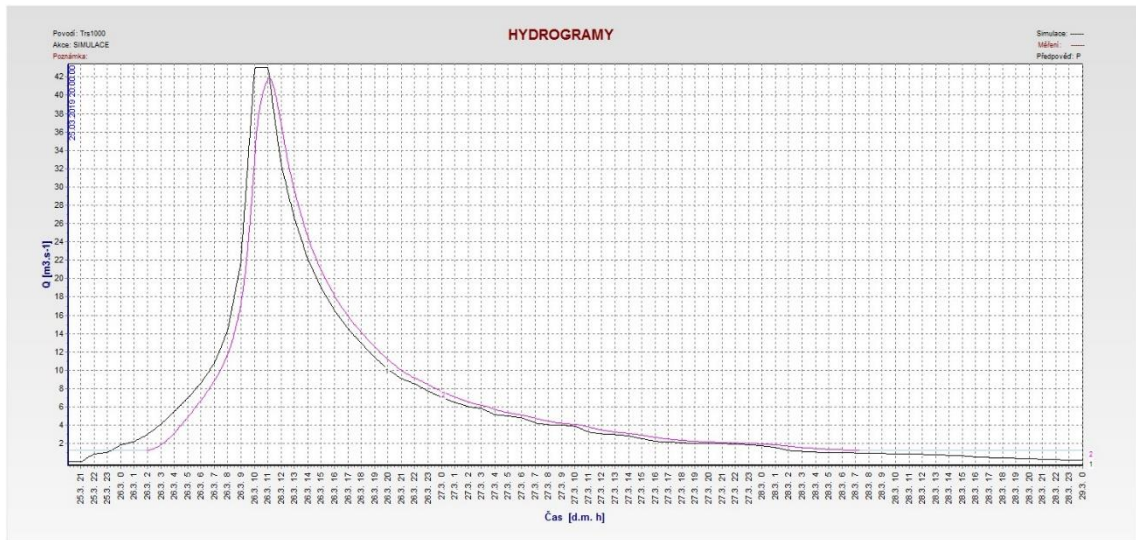
Obr. 11 Vodní stav v nádrži při Q_{100} a $H_{přel.hrn} = 289,90$ m n.m.

5.2.1.2 Povodeň Q_{1000}

U tisícileté povodně budeme počítat s otevřenou jednou výpustí a v druhém případě přidáme i otevřené odběry. Budeme sledovat překročení maximální mezní bezpečné hladiny $M_{MB} = 290,00$ m n. m..

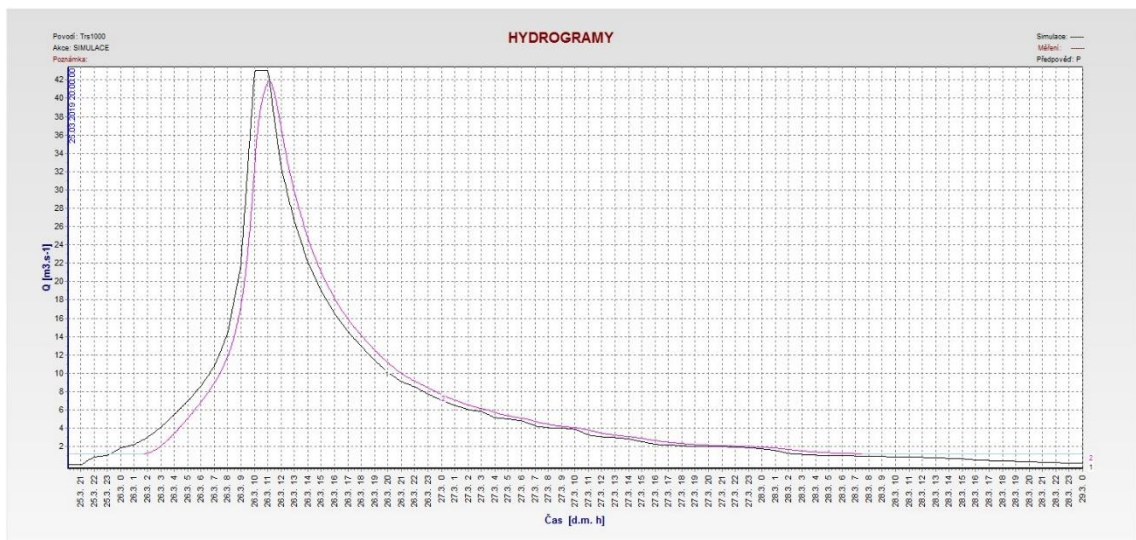
Použijeme opět program HYDROG i stejné výpočetní schéma jako při Q_{100} . V případě s odběry, budeme odběry simulovat pomocí odlehčení z úseku před nádrží do úseku za nádrží a tento případ bude shrnut v kapitole 6. Trvání simulace bude 84 hod s časovým krokem 0,5 min.

Maximální průtok tisícileté povodně je $Q_{1000} = 43$ m³/s. Při skutečném stavu úrovně hrany přelivu je transformace povodně na $Q_{max} = 41,85$ m³/s a maximální hadina vody dosahuje výšky 289,79 m n. m.. Vidíme, že maximální hladina vody je pod úrovní maximální mezní bezpečné hladiny a tak splňuje podmínku pro převedení kontrolní povodně. To samé nám splňuje i úroveň přelivné hrany ve výšce 287,9 m n. m, kde maximální výška hladiny je 288,86 díky posunutí přelivné hrany o 1 m. Při této úrovni je transformace povodně na $Q_{max} = 41,84$ m³/s.

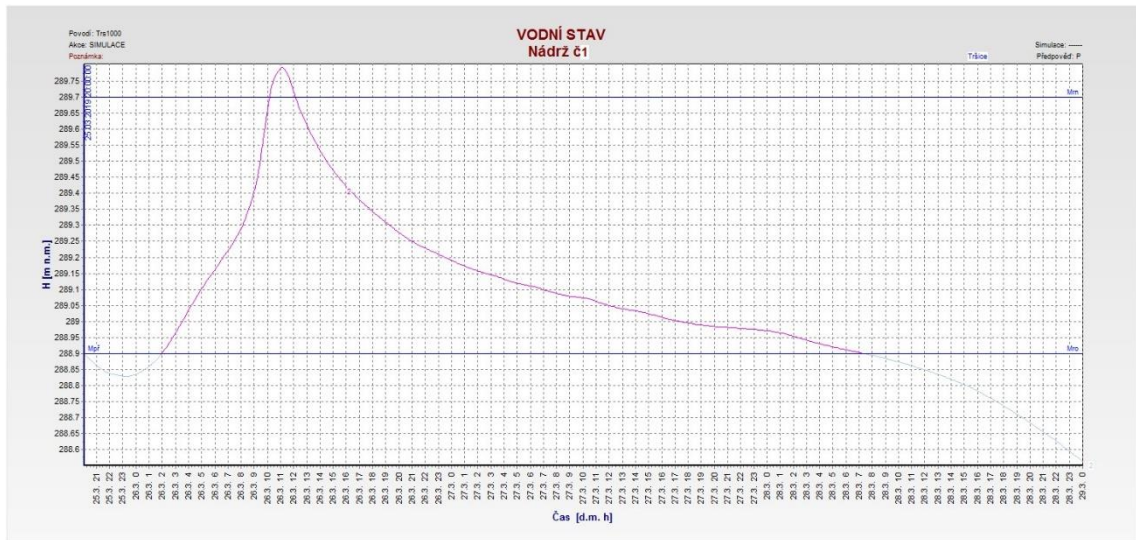


Obr. 12 Transformace povodně Q_{1000} pro skutečný stav

Na obrázku č.12 je znázorněna transformace tisícileté povodně pro skutečný stav. Šedá čára na začátku povodně značí převod vody přes spodní výpust a červená čára značí převod vody přes bezpečnostní přeliv.

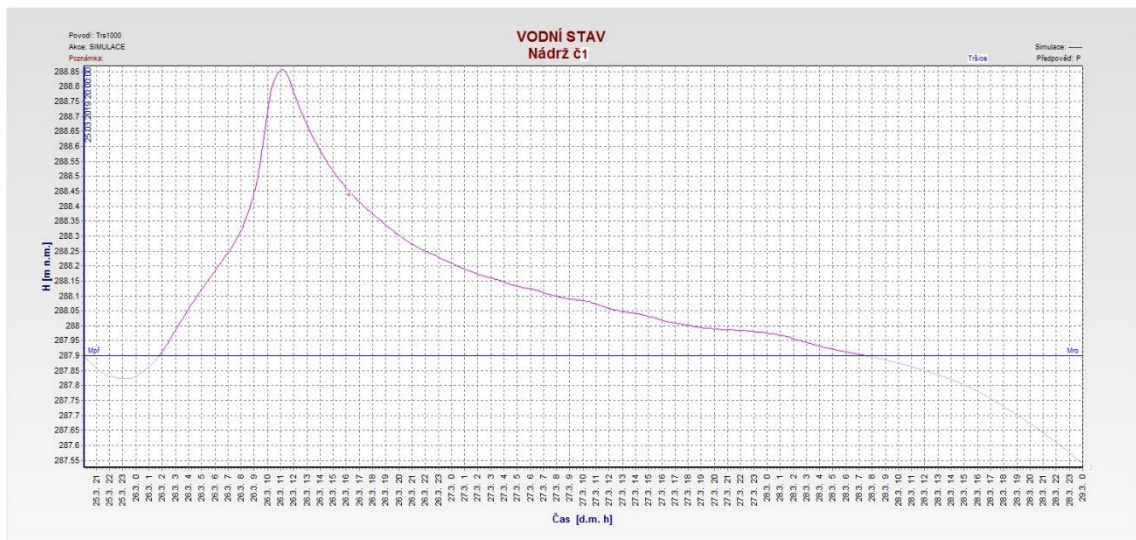


Obr. 13 Transformace povodně Q_{1000} pro $H_{přel.hrn} = 287,90$ m n.m.



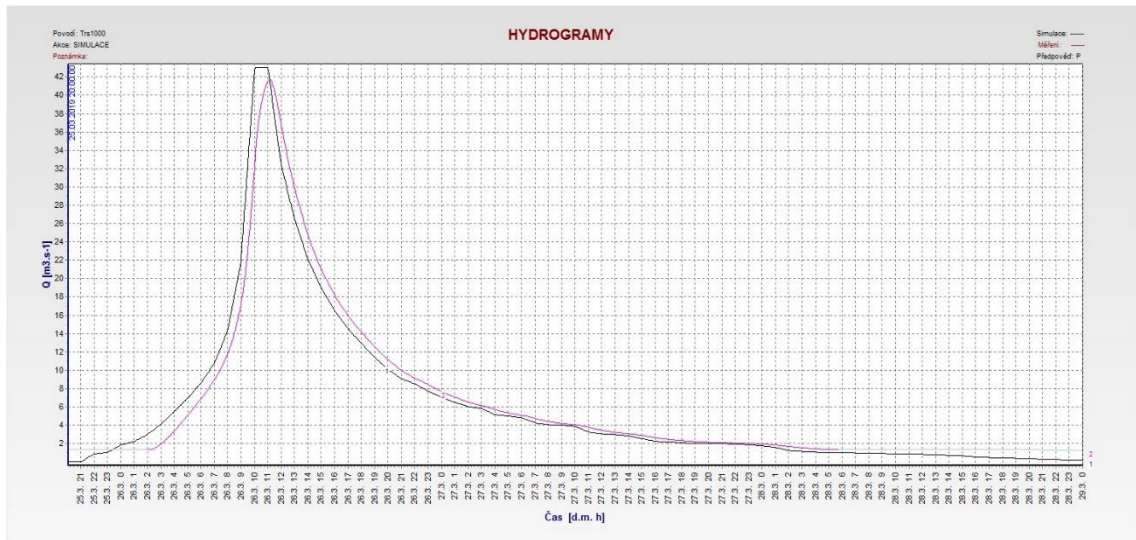
Obr. 14 Vodní stav v nádrži při Q_{1000} a $H_{přel,hrn} = 288,90$ m n.m.

Zde na obrázku č.14 vidíme vodní stav v nádrži při tisícileté povodni. Šedá barva značí převod vody spodní výpustí a červená barva převod vody přes bezpečnostní přeliv. Dolní modrá čára značí úroveň hrany přelivu a horní modrá čára značí úroveň hladiny neovladatelného retenčního přelivu. Při této povodni tato úroveň může být překročena.

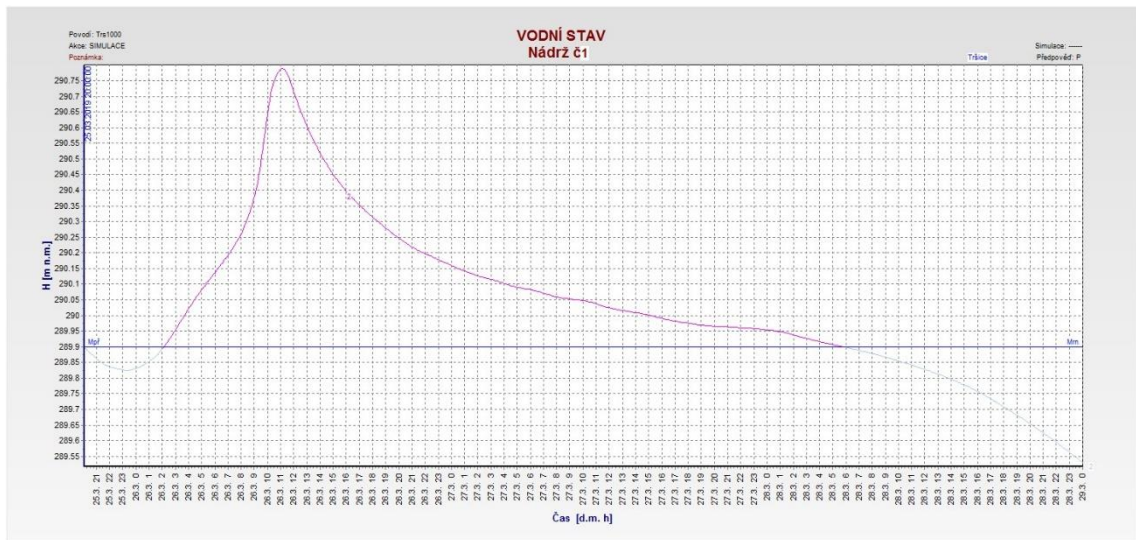


Obr. 15 Vodní stav v nádrži při Q_{1000} a $H_{přel,hrn} = 287,90$ m n.m.

Při maximálním posunutí hrany přelivu výše na úroveň 289,9 m n. m., dochází k největší transformaci povodně a to na $Q_{max} = 41,72$ m³/s, ale úroveň maximální hladiny 290,79 m n. m. převyšuje maximální mezní bezpečnou hladinu a tak je tento posun úrovně hrany přelivu nemožný.



Obr. 16 Transformace povodně Q_{1000} pro $H_{přel.hrn} = 289,90$ m n.m.



Obr. 17 Vodní stav v nádrži při Q_{1000} a $H_{přel.hrn} = 289,90$ m n.m.

Ostatní výsledky různých úrovní hrany přelivu jsou shrnuty v kapitole 6. Pro doplnění a pro úplnost jsou veškeré hydrogramy a vodní stavy v nádrži uloženy na přiloženém CD.

5.2.2 Simulace povodně – změna délky přelivné hrany

V této kapitole si ukážeme simulaci povodně při změně délky bezpečnostního přelivu. Skutečná délka přelivné hrany je 22 m. My jí budeme měnit po 2 metrech až na délku 4 m.

Povodeň Q_{100} (Zavřené spodní výpusti)

Změna délky přelivné hrany pro $V_z=672000\text{m}^3$

$L_{\text{přel.hrany}}[\text{m}]$	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4
$Q_{\text{max}}[\text{m}^3/\text{s}]$	23.72	23.69	23.65	23.6	23.49	23.35	23.15	22.83	22.25	21.11
$H_{\text{max}}[\text{m.n.m}]$	289.54	289.58	289.62	289.67	289.74	289.82	289.94	290.09	290.32	290.7

Tab. 10 Změna délky přelivné hrany pro Q_{100}

Povodeň Q_{1000} (Otevřená jedna spodní výpust)

Změna délky přelivné hrany pro $V_z=672000\text{m}^3$

$L_{\text{přel.hrany}}[\text{m}]$	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4
$Q_{\text{max}}[\text{m}^3/\text{s}]$	41.85	41.6	41.29	40.88	40.36	39.76	38.86	37.66	35.83	41.96
$H_{\text{max}}[\text{m.n.m}]$	289.79	289.85	289.91	289.98	290.08	290.19	290.33	290.53	290.8	290.95

Tab. 11 Změna délky přelivné hrany pro Q_{1000}

V přiložených tabulkách vidíme, že čím menší délka přelivné hrany tím je mnohem vyšší transformace povodně, ale tím víc zabraňujeme odtoku vody, a proto se nám zvedá maximální hladina vody. V případě stoleté povodně by bylo teoreticky možné zmenšení přelivné hrany až na délku 16 m, protože úroveň hladiny neovladatelného retenčního prostoru je 289,7 m n. m.. V případě tisícileté povodně by bylo možné posunout délku přelivné hrany také na 16 m, protože úroveň maximální mezní bezpečné hladiny je 290,00 m n. m..

Všimneme si v tabulce č.11 náhlého nárůstu Q_{max} . Je to způsobené tím, že došlo k nejhoršímu možnému stavu a to k přelití nádrže přes korunu hráze.

Všechny potřebné hydrogramy a vodní stavy v nádrži nalezneme na přiloženém CD.

5.2.3 Simulace povodně – předvyprázdnění zásobního prostoru

Budeme simulovat povodně při předvyprázdněním zásobního prostoru, tzn., že budeme mít i retenční prostor ovladatelný. Úroveň hladiny budeme měnit od výšky 289,9 m n. m. až po výšku 286,9 m n. m.

Povodeň Q_{100} (Zavřené spodní výpusti)

Předvypuštění zásobního prostoru nádrže pro výšku hrany bez. přelivu 288.9 m.n.m

$H_{\text{hladiny}}[\text{m.n.m}]$	288.9	288.8	288.7	288.6	288.5	288.4	287.9	287.4	286.9
$Q_{\text{max}}[\text{m}^3/\text{s}]$	23.72	23.72	23.72	23.72	23.72	23.72	23.69	23.69	23.58
$H_{\text{max}}[\text{m.n.m}]$	289.54	289.54	289.54	289.54	289.54	289.54	289.54	289.54	289.54

Tab. 12 Předvyprázdnění zásobního prostoru pro Q_{100}

Povodeň Q_{1000} (Otevřená jedna spodní výpust)

Předvypuštění zásobního prostoru nádrže pro výšku hrany bez. přelivu 288.9 m.n.m

$H_{\text{hladiny}}[\text{m.n.m}]$	288.9	288.8	288.7	288.6	288.5	288.4	287.9	287.4	286.9
$Q_{\text{max}}[\text{m}^3/\text{s}]$	41.85	41.85	41.85	41.84	41.84	41.84	41.78	41.54	40.83
$H_{\text{max}}[\text{m.n.m}]$	289.79	289.79	289.79	289.79	289.79	289.79	289.79	289.79	289.78

Tab. 13 Předvyprázdnění zásobního prostoru pro Q_{1000}

V přiložených tabulkách vidíme chování transformace, při změně výšky hladiny retenčního prostoru ovladatelného. Změnu Q_{max} vidíme až při povyprázdnění o 1 m, maximální výška

hladiny je neměnná. Takovýto průběh je dán hlavně morfologií terénu a batygrafickými křivkami.

Všechny potřebné hydrogramy a vodní stavy v nádrži nalezneme na příloženém CD.

6 SHRUTÍ VÝSLEDKŮ

6.1 ZABEZPEČENOST

Tabulka zabezpečení Pt[%]

		snížení/zvýšení [cm]										
		-100	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0
kóta hrany přelivu[m.n.m]		287.9	288	288.1	288.2	288.3	288.4	288.5	288.6	288.7	288.8	288.9
O_p [m ³ /s]	$\alpha[-]/V_z$ [m ³]	560000	570000	581000	592000	603000	614000	625000	636750	648500	660250	672000
0.016	0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.032	0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.048	0.3	99.37	99.37	99.54	99.54	99.54	99.54	99.71	99.71	99.71	99.71	99.71
0.064	0.4	96.14	96.65	96.82	97.33	97.50	97.50	97.84	98.01	98.01	98.35	98.35
0.081	0.5	87.47	87.98	88.66	89.00	90.36	90.53	91.04	91.21	91.38	91.89	92.06
0.097	0.6	81.02	81.70	82.21	82.21	82.21	80.38	82.89	83.06	83.23	84.08	84.59
0.113	0.7	72.01	72.18	72.35	72.52	72.69	73.20	73.37	73.71	74.05	74.90	75.24
0.129	0.8	64.02	64.02	64.53	64.53	65.38	65.72	65.89	66.23	66.40	66.91	66.91
		snížení/zvýšení [cm]										
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
kóta hrany přelivu[m.n.m]		289	289.1	289.2	289.3	289.4	289.5	289.6	289.7	289.8	289.9	
O_p [m ³ /s]	$\alpha[-]/V_z$ [m ³]	684167	696333	708500	720667	732833	745000	757000	769000	781040	793080	
0.016	0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.032	0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.048	0.3	99.71	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.064	0.4	98.35	98.69	99.03	99.03	99.03	99.03	99.03	99.03	99.20	99.20	
0.081	0.5	92.57	92.57	93.25	93.25	93.76	93.76	94.10	94.27	94.78	95.46	
0.097	0.6	84.76	85.10	85.27	85.61	85.94	85.94	85.94	85.94	86.28	87.13	
0.113	0.7	75.92	76.26	76.60	76.60	77.11	77.62	78.30	78.64	78.81	79.32	
0.129	0.8	67.25	67.42	67.76	68.44	68.61	68.95	68.95	69.12	69.12	69.29	

Tab. 14 Výsledky zabezpečení Pt

V tabulce č.14 jsou znázorněny všechny výsledky zabezpečení podle trvání, při změně úrovní hrany přelivu. Modře znázorněn je skutečný stav nádrže. Vidíme, že v každé úrovni výšky přelivu se zabezpečení snižuje s narůstajícím nalepšeným odtokem. Nejvyšší zabezpečení Pt je při úrovni přelivu ve výšce 289 m n. m. a nejnižší zabezpečení Pt je při úrovni 287,9.

V tabulce č.15 jsou znázorněny všechny výsledky zabezpečení podle dodávky vody, při změně úrovní hrany přelivu. Modře znázorněn je skutečný stav nádrže. Vidíme, že v každé úrovni výšky přelivu se zabezpečení snižuje s narůstajícím nalepšeným odtokem. Nejvyšší zabezpečení Pd je při úrovni přelivu ve výšce 289 m n. m. a nejnižší zabezpečení Pd je při úrovni 287,9.

Tabulka zabezpečení Pd[%]

snížení/zvýšení [cm]	-100	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	
kóta hrany přelivu[m.n.m]	287.9	288	288.1	288.2	288.3	288.4	288.5	288.6	288.7	288.8	288.9	
O_p [m ³ /s]	α [-]/ V_z [m ³]	560000	570000	581000	592000	603000	614000	625000	636750	648500	660250	672000
0.016	0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.032	0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.048	0.3	99.82	99.85	99.86	99.89	99.89	99.91	99.92	99.94	99.95	99.97	99.98
0.064	0.4	98.69	98.78	98.86	98.94	99.01	99.09	99.16	99.21	99.27	99.32	99.36
0.081	0.5	95.10	95.27	95.45	95.64	95.81	95.97	96.13	96.29	96.45	96.61	96.76
0.097	0.6	90.33	90.52	90.71	90.90	91.08	91.26	91.44	91.63	91.82	92.01	92.19
0.113	0.7	85.01	85.19	85.38	85.58	85.77	85.96	86.15	86.36	86.56	86.76	86.97
0.129	0.8	80.26	80.42	80.60	80.77	80.93	81.09	81.25	81.42	81.58	81.75	81.92

snížení/zvýšení [cm]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
kóta hrany přelivu[m.n.m]	289	289.1	289.2	289.3	289.4	289.5	289.6	289.7	289.8	289.9	
O_p [m ³ /s]	α [-]/ V_z [m ³]	684167	696333	708500	720667	732833	745000	757000	769000	781040	793080
0.016	0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.032	0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.048	0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.064	0.4	99.41	99.46	99.50	99.53	99.57	99.60	99.64	99.67	99.70	99.72
0.081	0.5	96.91	97.05	97.19	97.33	97.47	97.61	97.74	97.87	97.99	98.11
0.097	0.6	92.39	92.57	92.75	92.93	93.10	93.28	93.45	93.63	93.80	93.97
0.113	0.7	87.18	87.39	87.61	87.82	88.03	88.22	88.41	88.59	88.77	88.94
0.129	0.8	82.09	82.26	82.44	82.61	82.77	82.94	83.10	83.26	83.41	83.57

Tab. 15 Výsledek zabezpečení Pd

Z přiložených tabulek vidíme, že čím větší zásobní objem, tím je větší zabezpečení. Doporučená hodnota zabezpečení nádrží pro závlahy je 95%. Z tabulky výsledků vyplývá, že v našem případě se budeme pohybovat v hodnotách $\alpha = <0,4 - 0,55>$.

6.2 TRANSFORMACE POVODNÍ

Zde si shrneme výsledky transformace povodí pro různé úrovně hrany bezpečnostního přelivu. V tabulkách budou výsledky maximálního průtoku Q_{max} a maximální hladiny vody H_{max} při transformaci povodní.

Povodeň Q_{100} (Zavřené spodní výpusti)

snížení/zvýšení [cm]	-100	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0
kóta hrany přelivu[m.n.m]	287.9	288	288.1	288.2	288.3	288.4	288.5	288.6	288.7	288.8	288.9
V_z [m ³]	560000	570000	581000	592000	603000	614000	625000	636750	648500	660250	672000
Q_{max} [m ³ /s]	23.69	23.69	23.69	23.69	23.68	23.68	23.69	23.69	23.70	23.71	23.72
H_{max} [m.n.m]	288.59	288.69	288.78	288.88	288.98	289.07	289.17	289.26	289.35	289.45	289.54

snížení/zvýšení [cm]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
kóta hrany přelivu[m.n.m]	289	289.1	289.2	289.3	289.4	289.5	289.6	289.7	289.8	289.9
V_z [m ³]	684167	696333	708500	720667	732833	745000	757000	769000	781040	793080
Q_{max} [m ³ /s]	23.73	23.71	23.69	23.68	23.68	23.68	23.68	23.68	23.68	23.68
H_{max} [m.n.m]	289.63	289.72	289.82	289.92	290.02	290.12	290.22	290.32	290.42	290.52

xxx.xx překračuje M_{RN}

xxx.xx překračuje $M_{mez.bez}$

Tab. 16 Výsledek transformace povodně Q_{100}

V tabulce č.16 jsou udány výsledky transformace stoleté povodně pro různé úrovně hrany přelivu. Světle modře je znázorněn skutečný stav. Maximální transformace povodně je při $Q_{max} = 23,68 \text{ m}^3/\text{s}$. Pro zvýšení úrovně hrany přelivu o 10, 20 a 30 cm, maximální hladina převyšuje hladinu retenčního prostoru neovladatelného. Ale pro případný posun úrovně hrany přelivu by se hladina retenčního prostoru neovladatelného dala určitě posunout. Při dalším zvýšení hrany přelivu dochází k překročení maximální mezní bezpečné hladiny a to je nežádoucí. Tyto posunu jsou nepředpokladatelné a nedoporučují se.

7 ZÁVĚR

V prvé řadě jsme zkontrolovali stávající objem s nově vypočítaným objem podle úlohy č.1.. Nově vypočítaný objem vyšel o 1000 m³ méně než stávající a to je zanedbatelný rozdíl. Takže stávající objem je podle mé úvahy navržen správně při stávajících parametrech hráze.

V další části jsme počítali zabezpečení pro různé úrovně výšky hrany bezpečnostního přelivu. Pro skutečný stav nádrže vyšla zabezpečení pro různá Op v rozmezí od 100% až po 67% a to u zabezpečení podle trvání a v rozmezí od 100% až po 82% u zabezpečení podle dodávky vody. U nádrží určené k odběru vody pro závlahu je doporučená hodnota zabezpečení $P = 95\%$. Takže u naší nádrže se budeme pohybovat u hodnoty $Op = 0,081$ m³/s.

Když vezmeme v úvahu povodně a zásobní objem dohromady, tak nám z výpočtů vyplívají dvě možnosti. První možnost by byla zmenšit zásobní objem, nádrž by vyhověla na obě povodně jak na návrhovou tak i na kontrolní. A druhá možnost by byla zvětšit zásobní objem, maximální zvýšení zásobního objemu by šlo až na hodnotu $V_z = 696\,333$ m³. Nádrž by znovu vyhověla na obě povodně, s tím že by se musela posunout hladina retenčního prostoru neovladatelného alespoň na hodnotu $M_{RN} = 289,80$ m n. m.. Já bych se přikláněl k druhé možnosti, větší objem = větší možnosti řízení odtoku.

Na konec napíši možné pokračování výpočtů této práce. U výpočtu zásobního objemu a zabezpečení by jsme mohli uvažovat změnu Op ve vegetačním období. To znamená měnit velikost odtoku v měsících duben až červen a sledovat co se děje se zabezpečení. U ochranné funkce je mnoho dalších možností výpočtu v programu HYDROG.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] STARÝ, Miloš. *Nádrže a vodohospodářské soustavy: MODUL 01* [online]. 2006.
- [2] STARÝ, Miloš. *Nádrže a vodohospodářské soustavy: MODUL 02* [online]. 2006.
- [3] *Manipulační řád: VD Tršice I* [online]. Olomouc, 2017.
- [4] *Zákon č. 254/2001 Sb.: Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)*. In: .
Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>
- [5] STARÝ, Miloš. *Hydrologie: MODUL 02* [online]. 2005.

8.1 SEZNAM POUŽITÝCH NOREM, VYHLÁŠEK A ZÁKONŮ

ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže

ČSN 75 2405 Vodohospodářské řešení vodních nádrží

8.2 DOPLŇKOVÉ ELEKTRONICKÉ ZDROJE

<http://www.mapy.cz>

<http://uvhk.fce.vutbr.cz>

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Všechny zkratky a symboly jsou specifikovány přímo v textu.

10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1	Přirozené variační rozpětí odtoku [1].....	7
Obr. 2	Požadované variační rozpětí odtoku [1]	8
Obr. 3	Závislost variačního rozpětí odtoku na α [1]	9
Obr. 4	Funkční prostory nádrže [1]	17
Obr. 5	Vzor hydrogramu povodně [5].....	19
Obr. 6	Transformace povodně Q_{100} pro skutečný stav.....	26
Obr. 7	Vodní stav v nádrži při Q_{100} a $H_{přel.hrn} = 288,90$ m n.m.....	26
Obr. 8	Transformace povodně Q_{100} pro $H_{přel.hrn} = 287,90$ m n.m.	27
Obr. 9	Transformace povodně Q_{100} pro $H_{přel.hrn} = 289,90$ m n.m.	27
Obr. 10	Vodní stav v nádrži při Q_{100} a $H_{přel.hrn} = 287,90$ m n.m.	27
Obr. 11	Vodní stav v nádrži při Q_{100} a $H_{přel.hrn} = 289,90$ m n.m.	28
Obr. 12	Transformace povodně Q_{1000} pro skutečný stav	29
Obr. 13	Transformace povodně Q_{1000} pro $H_{přel.hrn} = 287,90$ m n.m.....	29
Obr. 14	Vodní stav v nádrži při Q_{1000} a $H_{přel.hrn} = 288,90$ m n.m.....	30
Obr. 15	Vodní stav v nádrži při Q_{1000} a $H_{přel.hrn} = 287,90$ m n.m.....	30
Obr. 16	Transformace povodně Q_{1000} pro $H_{přel.hrn} = 289,90$ m n.m.....	31
Obr. 17	Vodní stav v nádrži při Q_{1000} a $H_{přel.hrn} = 289,90$ m n.m.....	31

11 SEZNAM POUŽITÝCH GRAFŮ

Graf 1	Batygrafické čáry nádrže Tršice [3].....	17
Graf 2	Hydrogram povodně pro nádrž Tršice [3]	19
Graf 3	Hodnoty měsíčního výparu.....	20
Graf 4	Plnění a prázdnění nádrže	22
Graf 5	Plnění a prázdnění nádrže	23
Graf 6	Závislost P na Op	23

12 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tab. 1	Základní hydrologické údaje	5
Tab. 2	M-denní průtoky	5
Tab. 3	N-leté průtoky	5
Tab. 4	Tabelární řešení úlohy č.1 [1]	11
Tab. 5	Tabelární řešení úlohy č.2 [1]	13
Tab. 6	Výsledky úlohy č.1	21
Tab. 7	Zabezpečení pro $V_z = 672000 \text{ m}^3$	22
Tab. 8	Zabezpečení pro $V_z = 793080 \text{ m}^3$	24
Tab. 9	Zabezpečení pro $V_z = 560000 \text{ m}^3$	24
Tab. 10	Změna délky přelivné hrany pro Q_{100}	32
Tab. 11	Změna délky přelivné hrany pro Q_{1000}	32
Tab. 12	Předvyprázdnění zásobního prostoru pro Q_{100}	32
Tab. 13	Předvyprázdnění zásobního prostoru pro Q_{1000}	32
Tab. 14	Výsledky zabezpečení P_t	33
Tab. 15	Výsledek zabezpečení P_d	34
Tab. 16	Výsledky transformace povodně Q_{100}	34
Tab. 17	Výsledky transformace povodně Q_{1000}	35
Tab. 18	Výsledek transformace povodně Q_{1000} s odběry	35

13 SEZNAM PŘÍLOH ULOŽENÝCH NA CD

Hydrogramy transformace povodně Q_{100}

- 01 Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 288,90$ m n. m.
- 02 Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 289,00$ m n. m.
- 03 Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 289,10$ m n. m.
- 04 Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 289,20$ m n. m.
- 05 Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 289,30$ m n. m.
- 06 Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 289,40$ m n. m.
- 07 Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 289,50$ m n. m.
- 08 Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 289,60$ m n. m.
- 09 Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 289,70$ m n. m.
- 10 Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 289,80$ m n. m.
- 11 Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 289,90$ m n. m.
- 12 Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 288,80$ m n. m.
- 13 Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 288,70$ m n. m.
- 14 Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 288,60$ m n. m.
- 15 Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 288,50$ m n. m.
- 16 Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 288,40$ m n. m.
- 17 Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 288,30$ m n. m.
- 18 Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 288,20$ m n. m.
- 19 Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 288,10$ m n. m.
- 20 Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 288,00$ m n. m.
- 21 Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 287,90$ m n. m.

Vodní stavy v nádrži pro povodeň Q_{100}

- 01 Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 288,90$ m n. m.
- 02 Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 289,00$ m n. m.
- 03 Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 289,10$ m n. m.
- 04 Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 289,20$ m n. m.
- 05 Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 289,30$ m n. m.
- 06 Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 289,40$ m n. m.
- 07 Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 289,50$ m n. m.
- 08 Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 289,60$ m n. m.
- 09 Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 289,70$ m n. m.
- 10 Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 289,80$ m n. m.
- 11 Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 289,90$ m n. m.
- 12 Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 288,80$ m n. m.
- 13 Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 288,70$ m n. m.
- 14 Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 288,60$ m n. m.
- 15 Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 288,50$ m n. m.
- 16 Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 288,40$ m n. m.
- 17 Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 288,30$ m n. m.
- 18 Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 288,20$ m n. m.
- 19 Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 288,10$ m n. m.
- 20 Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 288,00$ m n. m.
- 21 Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 287,90$ m n. m.

Hydrogramy transformace povodně Q_{1000}

01	Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 288,90$ m n. m.
02	Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 289,00$ m n. m.
03	Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 289,10$ m n. m.
04	Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 289,20$ m n. m.
05	Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 289,30$ m n. m.
06	Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 289,40$ m n. m.
07	Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 289,50$ m n. m.
08	Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 289,60$ m n. m.
09	Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 289,70$ m n. m.
10	Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 289,80$ m n. m.
11	Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 289,90$ m n. m.
12	Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 288,80$ m n. m.
13	Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 288,70$ m n. m.
14	Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 288,60$ m n. m.
15	Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 288,50$ m n. m.
16	Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 288,40$ m n. m.
17	Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 288,30$ m n. m.
18	Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 288,20$ m n. m.
19	Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 288,10$ m n. m.
20	Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 288,00$ m n. m.
21	Hydrogram pro $H_{přel.hrn} = 287,90$ m n. m.

Vodní stavy v nádrži pro povodeň Q_{1000}

01	Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 288,90$ m n. m.
02	Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 289,00$ m n. m.
03	Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 289,10$ m n. m.
04	Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 289,20$ m n. m.
05	Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 289,30$ m n. m.
06	Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 289,40$ m n. m.
07	Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 289,50$ m n. m.
08	Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 289,60$ m n. m.
09	Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 289,70$ m n. m.
10	Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 289,80$ m n. m.
11	Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 289,90$ m n. m.
12	Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 288,80$ m n. m.
13	Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 288,70$ m n. m.
14	Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 288,60$ m n. m.
15	Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 288,50$ m n. m.
16	Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 288,40$ m n. m.
17	Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 288,30$ m n. m.
18	Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 288,20$ m n. m.
19	Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 288,10$ m n. m.
20	Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 288,00$ m n. m.
21	Vodní stav pro $H_{přel.hrn} = 287,90$ m n. m.

Hydrogramy transformace povodně Q_{100} pro změnu délky přelivné hrany

- 01 Hydrogram pro $L_{přel.hrn} = 22$ m
- 02 Hydrogram pro $L_{přel.hrn} = 20$ m
- 03 Hydrogram pro $L_{přel.hrn} = 18$ m
- 04 Hydrogram pro $L_{přel.hrn} = 16$ m
- 05 Hydrogram pro $L_{přel.hrn} = 14$ m
- 06 Hydrogram pro $L_{přel.hrn} = 12$ m
- 07 Hydrogram pro $L_{přel.hrn} = 10$ m
- 08 Hydrogram pro $L_{přel.hrn} = 8$ m
- 09 Hydrogram pro $L_{přel.hrn} = 6$ m
- 10 Hydrogram pro $L_{přel.hrn} = 4$ m

Vodní stavy v nádrži pro povodeň Q_{100} pro změnu délky přelivné hrany

- 01 Vodní stav pro $L_{přel.hrn} = 22$ m
- 02 Vodní stav pro $L_{přel.hrn} = 20$ m
- 03 Vodní stav pro $L_{přel.hrn} = 18$ m
- 04 Vodní stav pro $L_{přel.hrn} = 16$ m
- 05 Vodní stav pro $L_{přel.hrn} = 14$ m
- 06 Vodní stav pro $L_{přel.hrn} = 12$ m
- 07 Vodní stav pro $L_{přel.hrn} = 10$ m
- 08 Vodní stav pro $L_{přel.hrn} = 8$ m
- 09 Vodní stav pro $L_{přel.hrn} = 6$ m
- 10 Vodní stav pro $L_{přel.hrn} = 4$ m

Hydrogramy transformace povodně Q_{1000} pro změnu délky přelivné hrany

- 01 Hydrogram pro $L_{přel.hrn} = 22$ m
- 02 Hydrogram pro $L_{přel.hrn} = 20$ m
- 03 Hydrogram pro $L_{přel.hrn} = 18$ m
- 04 Hydrogram pro $L_{přel.hrn} = 16$ m
- 05 Hydrogram pro $L_{přel.hrn} = 14$ m
- 06 Hydrogram pro $L_{přel.hrn} = 12$ m
- 07 Hydrogram pro $L_{přel.hrn} = 10$ m
- 08 Hydrogram pro $L_{přel.hrn} = 8$ m
- 09 Hydrogram pro $L_{přel.hrn} = 6$ m
- 10 Hydrogram pro $L_{přel.hrn} = 4$ m

Vodní stavy v nádrži pro povodeň Q_{1000} pro změnu délky přelivné hrany

- 01 Vodní stav pro $L_{přel.hrn} = 22$ m
- 02 Vodní stav pro $L_{přel.hrn} = 20$ m
- 03 Vodní stav pro $L_{přel.hrn} = 18$ m
- 04 Vodní stav pro $L_{přel.hrn} = 16$ m
- 05 Vodní stav pro $L_{přel.hrn} = 14$ m
- 06 Vodní stav pro $L_{přel.hrn} = 12$ m
- 07 Vodní stav pro $L_{přel.hrn} = 10$ m
- 08 Vodní stav pro $L_{přel.hrn} = 8$ m
- 09 Vodní stav pro $L_{přel.hrn} = 6$ m
- 10 Vodní stav pro $L_{přel.hrn} = 4$ m

Hydrogramy transformace povodně Q_{100} pro předvyprázdnění zásobního prostoru

- 01 Hydrogram pro $H_{\text{hladiny}} = 288,9$ m n. m.
- 02 Hydrogram pro $H_{\text{hladiny}} = 288,8$ m n. m.
- 03 Hydrogram pro $H_{\text{hladiny}} = 288,7$ m n. m.
- 04 Hydrogram pro $H_{\text{hladiny}} = 288,6$ m n. m.
- 05 Hydrogram pro $H_{\text{hladiny}} = 288,5$ m n. m.
- 06 Hydrogram pro $H_{\text{hladiny}} = 288,4$ m n. m.
- 07 Hydrogram pro $H_{\text{hladiny}} = 287,9$ m n. m.
- 08 Hydrogram pro $H_{\text{hladiny}} = 287,4$ m n. m.
- 09 Hydrogram pro $H_{\text{hladiny}} = 286,9$ m n. m.

Vodní stavy v nádrži pro povodeň Q_{100} pro předvyprázdnění zásobního prostoru

- 01 Vodní stav pro $H_{\text{hladiny}} = 288,9$ m n. m.
- 02 Vodní stav pro $H_{\text{hladiny}} = 288,8$ m n. m.
- 03 Vodní stav pro $H_{\text{hladiny}} = 288,7$ m n. m.
- 04 Vodní stav pro $H_{\text{hladiny}} = 288,6$ m n. m.
- 05 Vodní stav pro $H_{\text{hladiny}} = 288,5$ m n. m.
- 06 Vodní stav pro $H_{\text{hladiny}} = 288,4$ m n. m.
- 07 Vodní stav pro $H_{\text{hladiny}} = 287,9$ m n. m.
- 08 Vodní stav pro $H_{\text{hladiny}} = 287,4$ m n. m.
- 09 Vodní stav pro $H_{\text{hladiny}} = 286,9$ m n. m.

Hydrogramy transformace povodně Q_{1000} pro předvyprázdnění zásobního prostoru

- 01 Hydrogram pro $H_{\text{hladiny}} = 288,9$ m n. m.
- 02 Hydrogram pro $H_{\text{hladiny}} = 288,8$ m n. m.
- 03 Hydrogram pro $H_{\text{hladiny}} = 288,7$ m n. m.
- 04 Hydrogram pro $H_{\text{hladiny}} = 288,6$ m n. m.
- 05 Hydrogram pro $H_{\text{hladiny}} = 288,5$ m n. m.
- 06 Hydrogram pro $H_{\text{hladiny}} = 288,4$ m n. m.
- 07 Hydrogram pro $H_{\text{hladiny}} = 287,9$ m n. m.
- 08 Hydrogram pro $H_{\text{hladiny}} = 287,4$ m n. m.
- 09 Hydrogram pro $H_{\text{hladiny}} = 286,9$ m n. m.

Vodní stavy v nádrži pro povodeň Q_{1000} pro předvyprázdnění zásobního prostoru

- 01 Vodní stav pro $H_{\text{hladiny}} = 288,9$ m n. m.
- 02 Vodní stav pro $H_{\text{hladiny}} = 288,8$ m n. m.
- 03 Vodní stav pro $H_{\text{hladiny}} = 288,7$ m n. m.
- 04 Vodní stav pro $H_{\text{hladiny}} = 288,6$ m n. m.
- 05 Vodní stav pro $H_{\text{hladiny}} = 288,5$ m n. m.
- 06 Vodní stav pro $H_{\text{hladiny}} = 288,4$ m n. m.
- 07 Vodní stav pro $H_{\text{hladiny}} = 287,9$ m n. m.
- 08 Vodní stav pro $H_{\text{hladiny}} = 287,4$ m n. m.
- 09 Vodní stav pro $H_{\text{hladiny}} = 286,9$ m n. m.