



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 OCHRANNÉ FUNKCE NÁDRŽE RYCHTÁŘOV

A WATER MANAGEMENT ANALYSIS OF THE RYCHTÁŘOV RESERVOIR PROTECTION
FUNCTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Adam Fliega

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL MENŠÍK, Ph.D.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Adam Fliega
Název	Vodohospodářské řešení ochranné funkce nádrže Rychtářov
Vedoucí práce	Ing. Pavel Menšík, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

1. Starý, M. Nádrže a vodohospodářské soustavy (MODUL 01). Brno: VUT, 2006. 120 s.
2. Starý, M. Nádrže a vodohospodářské soustavy. Metodické návody do cvičení. 1. vyd. Brno: VUT, 1987. 67 s.
3. Starý, M. Nádrže a vodohospodářské soustavy. 1. vyd. Brno: VUT, 1986. 165 s.
4. Velká Haná, Vodní dílo Rychtářov: Technicko - ekonomická studie. 2015.
5. ČSN 75 2405. Vodohospodářská řešení vodních nádrží. Praha: Český normalizační institut, 2004.
6. TNV 75 2935 - Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních.
7. ČSN 75 2340 Navrhování přehrad - Hlavní parametry a vybavení. Praha: Český normalizační institut, 2017.
8. Metodická příručka pro výběr a aplikaci vhodné metody odvození hydrologických podkladů za účelem posouzení bezpečnosti vodních děl. Praha: ČHMÚ, 2004.
9. HEC-HMS - The Hydrologic Modeling System. (software)
10. HEC-ResSim - The Reservoir System Simulation. (software)
11. Adam Fliega Vodohospodářské řešení nádrže Rychtářov na vodním toku Velká Haná. Brno, 2017. 44 s. Bakalářská práce. VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny.
12. Další odborná literatura dostupná v knihovně nebo na internetu.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Diplomová práce je zaměřena na zpracování vodohospodářského řešení ochranné funkce nádrže Rychtářov na vodním toku Velká Haná. Variantní návrh a posouzení ochranné funkce nádrže bude provedeno pomocí vhodného softwaru. Práce navazuje na bakalářskou práci studenta.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ 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).

Ing. Pavel Menšík, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Cílem této práce je vodohospodářské řešení ochranné funkce uvažované vodní nádrže Rychtářov na Velké Hané. Práce obsahuje hydrologický model povodí, který je vypracován v programu HEC-HMS. Na základě tohoto modelu byly odvozeny povodňové vlny PV_{100} , PV_{1000} a $PV_{10\,000}$. V rámci ochranné funkce jsou dimenzovány spodní výpusti a bezpečnostní přeliv. Návrh ochranného objemu nádrže je proveden v programu HEC-HMS, kde jsou provedeny výpočty transformace odvozených povodňových průtoků v různých situacích. Řešení poskytuje dvě různé varianty výpočtu, které jsou následně porovnány.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vodohospodářské řešení, ochranná funkce, vodní nádrž, hydrologický model, povodňová vlna

ABSTRACT

The aim of this thesis is water management analysis of the protective function of the Rychtářov water reservoir on the Velká Haná. Thesis contains hydrological model of the basin which is compiled in HEC-HMS program. According to this model are derived flood waves PV_{100} , PV_{1000} and $PV_{10\,000}$. Within of the protective function are designed outlets and spillway. The protective function is compiled in HEC-HMS program, where calculations of transformation of derived flood waves are performed. The solution provides two different variants. These variants are compared at the work.

KEYWORDS

Water management analysis, protective function, water reservoir, hydrological model, flood wave

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Adam Fliega *Vodohospodářské řešení ochranné funkce nádrže Rychtářov*. Brno, 2019. 67 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Pavel Menšík, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Vodohospodářské řešení ochranné funkce nádrže Rychtářov* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 8. 1. 2019

Bc. Adam Fliega
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Vodohospodářské řešení ochranné funkce nádrže Rychtářov* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 8. 1. 2019

Bc. Adam Fliega
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Pavlu Menšíkovi, Ph.D. za jeho odborné vedení při zpracování diplomové práce, za poskytnuté podklady a cenné rady.

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce	3
3	Metody výpočtu	4
3.1	Hydrologický model.....	4
3.1.1	Návrhová srážka	5
3.1.2	Přímý odtok	7
3.2	Vodohospodářské řešení ochranné funkce nádrže.....	9
3.2.1	Dimenzování spodních výpustí.....	9
3.2.2	Dimenzování šířky bezpečnostního přelivu.....	10
3.2.3	Povodňové řízení odtoku pomocí retenčního prostoru ovladatelného.....	11
3.2.4	Povodňové řízení odtoku pomocí retenčního prostoru neovladatelného.....	11
3.2.5	Povodňové řízení odtoku pomocí kombinace retenčního prostoru ovladatelného a neovladatelného	12
4	Vodohospodářské řešení ochranné funkce nádrže Rychtářov.....	13
4.1	Vodohospodářský význam nádrže	13
4.2	Dotčené území a obce.....	13
4.2.1	Vyškov	13
4.2.2	Vojenský újezd Březina.....	13
4.3	Hydrologické údaje.....	14
4.3.1	Velká Haná.....	14
4.4	Hydrologický model povodí Velké Hané	15
4.4.1	Informace o povodí	15
4.4.2	Stanovení CN čísel	15
4.4.3	Stanovení parametrů jednotkového hydrogramu	17
4.4.4	Parametry pro postup vlny v říčním korytě.....	18
4.4.5	Výsledný model povodí Velké Hané v HEC-HMS.....	21
4.4.6	Návrhová srážka na povodí	22
4.4.7	Kontrolní bod.....	26
4.4.8	Výsledné hydrogramy.....	26
4.5	Ochranná funkce nádrže Rychtářov	29
4.5.1	Dimenzování spodních výpustí.....	29
4.5.2	Dimenzování bezpečnostního přelivu	31
4.5.3	Zásobní prostor	31
4.5.4	Stanovení neškodného odtoku	31
4.5.5	Scénář simulací.....	34

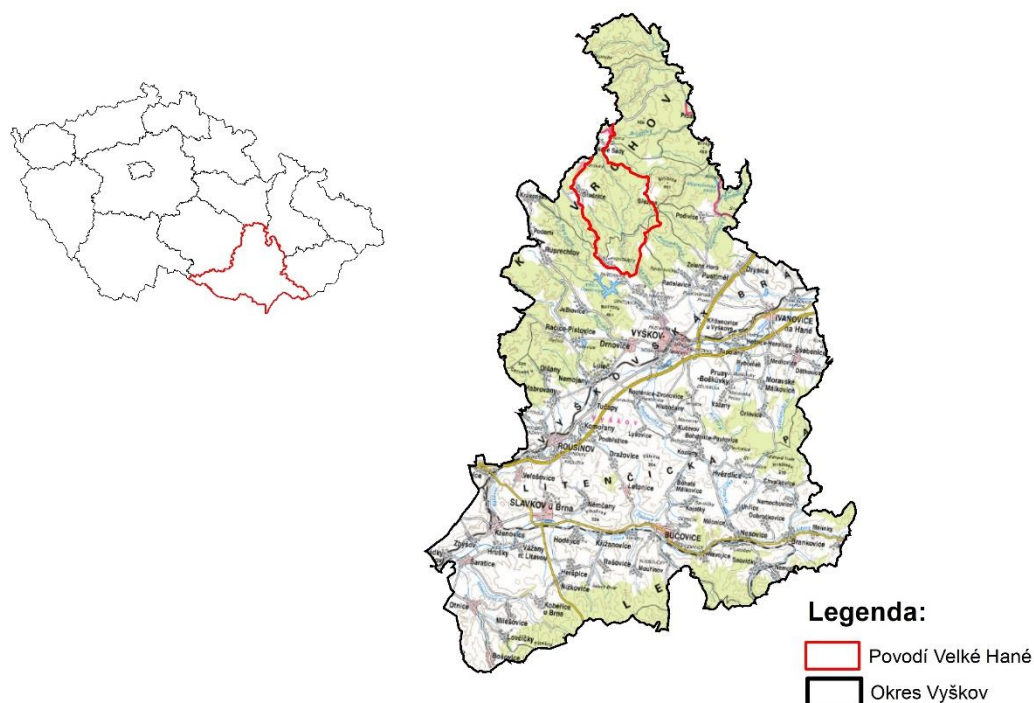
4.5.6	Ochranná funkce nádrže varianta č.1	34
4.5.7	Ochranná funkce nádrže varianta č. 2.....	43
4.5.8	Srovnání variant	48
5	Závěr.....	52
6	Literatura.....	53
7	Seznam použitých zkratk.....	55
8	Seznam přiložených tabulek.....	56
9	Seznam přiložených obrázků.....	57
10	Seznam přiložených grafů	58

1 Úvod

Problematika klimatické změny je už několik let v popředí společenského zájmu. Přestože existují názory zpochybňující negativní dopady antropogenní činnosti na podnebí, uznávaná odborná literatura se shoduje na tom, že klimatický systém může být lidskou činností ovlivněn. Podle dlouhodobých odhadů vývoje a vlivu lidské společnosti na klima mohou být dopady této činnosti značně negativní, minimálně v některých oblastech. [1]

Jednou ze zasažených oblastí je také vodní hospodářství. Ve vodním hospodářství se klimatická změna projevuje nárůstem extrémních situací. Za extrémní situace se považují stavy, kdy vody bude díky hydrologickému suchu málo nebo naopak díky přívalovým srážkám moc. Četnost těchto extrémních situací se bude podle většiny klimatických scénářů zvyšovat. [2]

Předpokládaným důsledkem klimatické změny je pokles průměrné dlouhodobé odtokové výšky ve všech povodích České republiky. Celkový odtok klesne do roku 2050 v případě optimistického scénáře na úroveň 80-94 % a v případě pesimistického scénáře na úroveň 57-86 % vůči nezměněnému klimatu. Řešením, jak se s předpokládaným nedostatkem vody vypořádat, je výstavba vodních nádrží. V generelu území chráněných pro akumulaci povrchových vod z roku 2011 je seznam 65 lokalit pro výhledové vodní nádrže. Jednou z výhledových lokalit je Rychtářov. [3]



Obr. č. 1: Řešená oblast (mapový podklad ČÚZK)

Tato diplomová práce navazuje na bakalářskou práci, která se zabývala vodohospodářským řešením zásobního objemu vodní nádrže Rychtářov. Účelem vodní nádrže je jak zásobní funkce, tak i funkce ochranná. Úkolem ochranné funkce nádrže je řízení odtoku, tak aby nepřekročil mez variačního rozpětí danou neškodným odtokem. Problematikou ochranné funkce nádrže Rychtářov a odvozováním všech nutných podkladů se bude zabývat tato diplomová práce.

O vodní nádrži Rychtářov se podle plánů z roku 1937 uvažovalo už v minulosti, jako o potencionálním zdroji užitkové vody pro vojenský výcvikový tábor u Vyškova. V dokumentech z roku 1975 byla vodní nádrž Rychtářov na toku Velké Hané zmiňována jako posilovací zdroj pro vodárenskou nádrž Opatovice. V dnešní době se o této nádrži uvažuje jako o potencionálním vodárenském zdroji pro Vyškovsko a Prostějovsko v soustavě se stávající vodní nádrži Opatovice. Dále by nádrž měla zajistit nadlepšení průtoku dolního úseku Hané a protipovodňovou ochranu.

2 Cíl práce

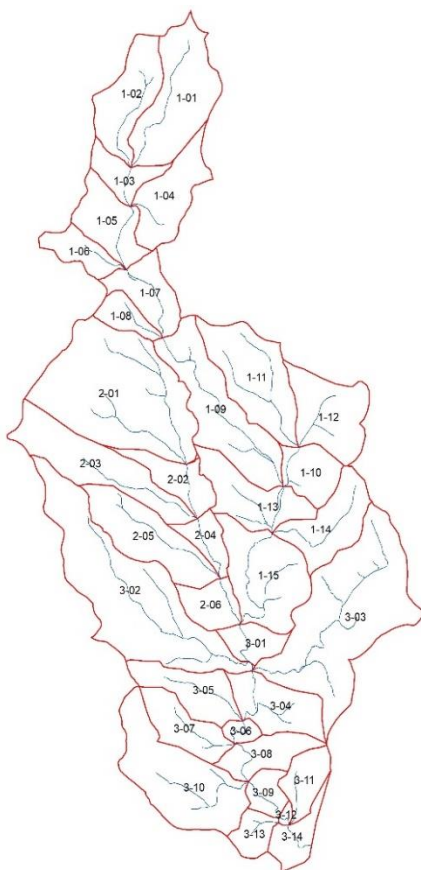
Cílem této diplomové práce je odvození hydrologických podkladů pro vypracování vodohospodářského řešení ochranné funkce nádrže Rychtářov na toku Velká Haná. Dále vypracování samotného vodohospodářského řešení ochranné funkce nádrže, která je součástí generelu území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území z roku 2011.

3 Metody výpočtu

Ke splnění cílů diplomové práce bylo zapotřebí odvodit podklady nutné pro vypracování vodohospodářského řešení ochranné funkce. Hlavním podkladem pro řešení ochranné funkce jsou průběhy N-letých povodňových vln. Odvozování N-letých povodňových vln vychází z přímého výpočtu průběhu povodňové vlny na základě prostorového a časového rozložení návrhové srážky. Tento výpočet využívá odvozených parametrů srážkoodtokového modelu, kde mezi nejdůležitější parametry patří ty, které určují podíl přímého odtoku a transformaci tohoto odtoku do hydrogramu. [4]

3.1 Hydrologický model

Hydrologické modelování je významným prvkem v oblasti vodního hospodářství. Zejména u řízení vodních zdrojů, předpovědi rizika povodní, řešení městského odvodnění a v hydrologii. Pro tvorbu hydrologického modelu v této práci byl zvolen program HEC-HMS. Jedná se o jeden z nejpoužívanějších srážko-odtokových modelů, zejména pro jeho dostupnost (volně ke stažení ze stránek US Army Corps of Engineers). Model HEC-HMS je navržen k simulaci kompletních hydrologických procesů v povodí. Jedná se o deterministický model, který používá tradiční výpočty, jakými jsou metoda jednotkového hydrogramu nebo výpočet transformace v korytě. Z tohoto pohledu se jedná o metrický model. Model je primárně navržen jako semi-distribučný, kdy lze dané povodí rozdělit na libovolné množství subpovodí. [5]



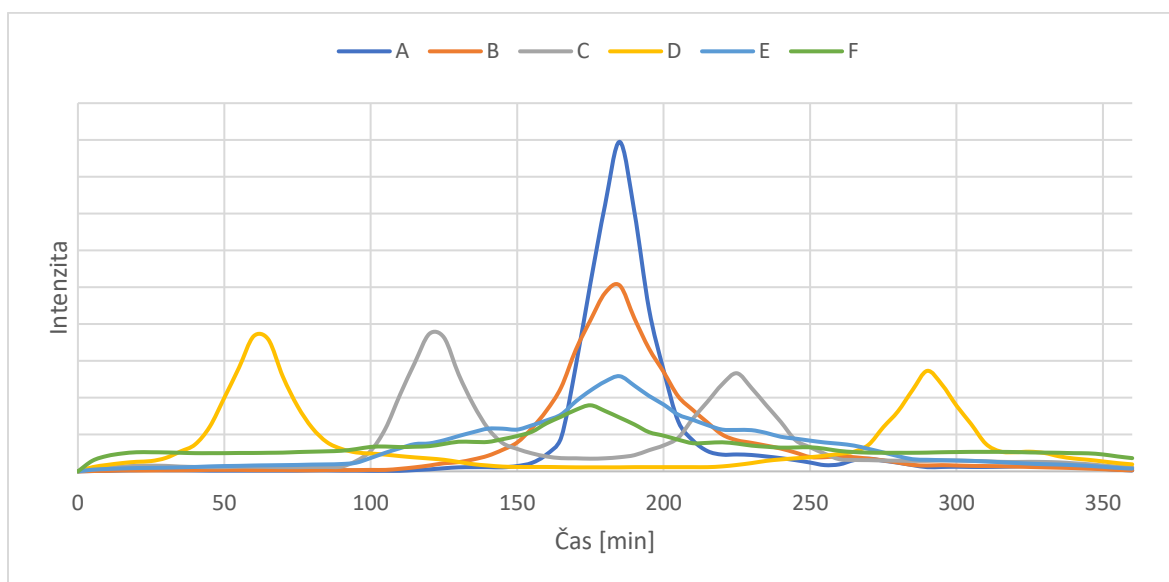
Obr. č. 2: Semi-distribučný model

3.1.1 Návrhová srážka

Klíčovými vstupy do hydrologického modelu jsou srážkové úhrny a jejich rozložení v čase. Velikost a tvar hydrogramu jsou výsledkem působení celé řady faktorů, z čehož nejde předpokládat, že zatěžovaná srážka určité doby opakování vyvolá odtok o stejné době opakování. Pro nepozorované profily je však modelování odezvy na srážku s určitou dobou opakování prakticky jediným použitelným řešením. Jako vstupní data jsou použity hodnoty 10minutových srážkových intenzit z měsíců květen až září za desetileté období 2002 až 2011. Základní délka uvažované srážky byla stanovena na šest hodin jako vhodný kompromis mezi denním úhrnem, který je z hlediska doby koncentrace v malém povodí příliš dlouhým časovým úsekem, a hodinovým úhrnem, který zpravidla nezahrnuje celou příčinnou srážkou. [6]

Průběh návrhové srážky

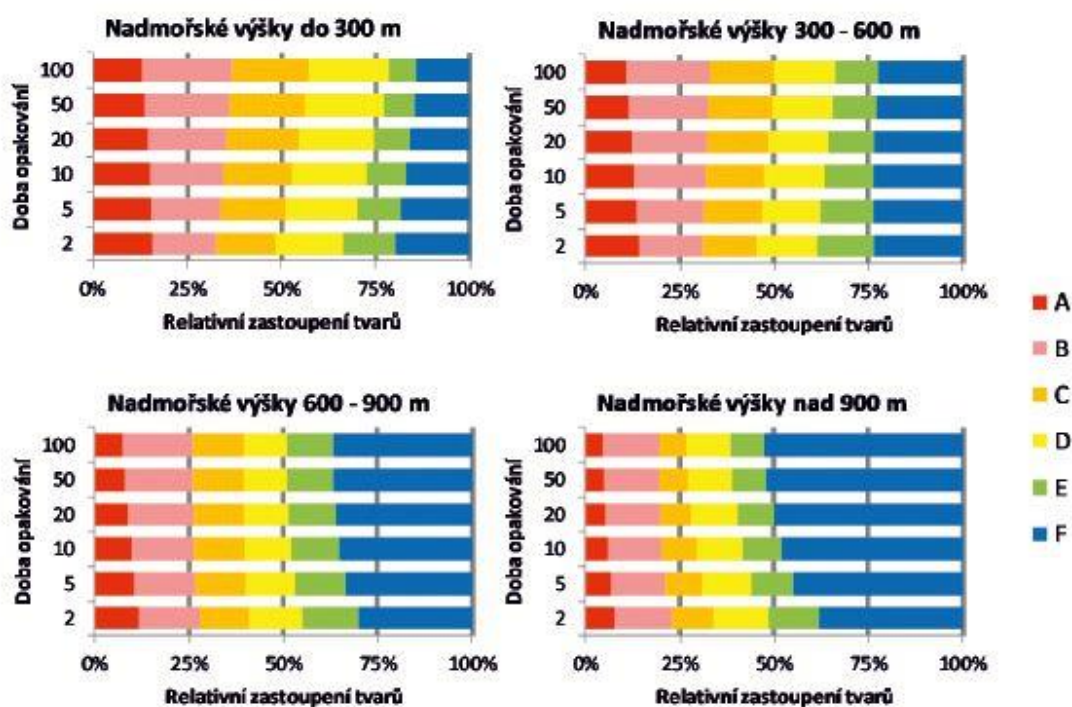
Na hydrologickou odezvu má zásadní vliv průběh návrhové srážky. Literatura krátkodobé srážky pro hydrologické modelování a navrhování drobných vodohospodářských staveb v krajině předkládá řešení ve formě šesti syntetických hyetogramů šestihodinových srážek, které byly odvozeny z reálných srážkových epizod pro celé území ČR. Tvary hyetogramů jsou označeny písmeny A až F. Čtveřice tvarů A, B, E a F má jednoduchý průběh, kde hyetogram tvaru A reprezentuje epizody nejvíce koncentrované v čase, a naopak tvar F nejméně koncentrované epizody. V pozorovacím období byly odvozeny i tvary C a D, které se vyznačují dvěma vrcholy s různě dlouhým poklesem mezi nimi. Průběhy šesti uvažovaných variant jsou vyjádřeny jako podíl množství srážek v jednotlivých minutách vůči šestihodinovému úhrnu, což umožňuje aplikovat dané tvary na srážky o libovolném úhrnu. [6]



Graf č. 1: Tvary hyetogramů A-F

Výskyt návrhové srážky

Tvary šestihodinových návrhových srážek nejsou na území České republiky zastoupeny rovnoměrně. Pravděpodobnost výskytu těchto tvarů je ovlivněna především nadmořskou výškou a v určité lokalitě je dále ovlivněna uvažovanou dobou opakování dané srážky. Na obr. č. 3 je vyobrazeno procentuální zastoupení jednotlivých tvarů na základě čtyř intervalů nadmořské výšky. Z obrázku vyplývá, že u intervalu nadmořské výšky do 300 m n.m. je zastoupení jednotlivých tvarů nejvíce rovnoměrné a s rostoucí dobou opakování nepatrně klesá zastoupení u tvarů E a F. U tvaru F je zřejmé, že zastoupení výrazně roste s nadmořskou výškou, přičemž ve vyšších polohách roste i s dobou opakování srážky. V intervalu nad 900 m n.m. má výraznou převahu zastoupení tvar F, kde u doby opakování 20 a více roků přesahuje 50 %. [6]



Obr. č. 3: Rozložení 6h srážek na základě nadmořské výšky a doby opakování [6]

3.1.2 Přímý odtok

Základní parametry pro stanovení přímého odtoku by měly vycházet z dlouhodobě sledovaných průtoků v uzávěrových profilech toku. U toků bez pozorování tyto parametry nejsou k dispozici, proto nezbyvá než stanovit návrhové parametry pomocí nepřímých metod, založených na charakteristikách povodí. U těchto metod je nutné, aby byly co nejpřesnější a nejjednodušší. Poměrně jednoduchou a dostatečně přesnou metodou je metoda čísel odtokových křivek. [7]

Metoda čísel odtokových křivek

Tato metoda byla vyvinuta v USA pro službu na ochranu půdy (SCS – Soil Conservation Service) a publikována v roce 1972. Je dostatečně přesná a použitelná pro stanovení objemu přímého odtoku. Přímý odtok zahrnuje odtok povrchový a odtok podpovrchový. Podíly tohoto typu odtoku se stanovují pomocí čísel odtokových křivek – CN. Čím větší hodnota CN, tím větší pravděpodobnost, že se jedná o povrchový odtok.

ID	Kategorie využívání území	A	B	C	D
111	Souvislá městská zastavba	81	88	91	93
112	Nesouvislá městská zastavba	77	85	90	92
121	Průmyslové a obchodní areály	85	90	93	94
122	Cestní, železniční síť a přílehlé areály	85	90	93	94
123	Přístavy	85	90	93	94
124	Letiště	85	90	93	94
131	Těžba nerostných surovin	85	90	93	94
132	Skládky	85	90	93	94
133	Výstavba	85	90	93	94
141	Městská zeleň	44	65	77	82
142	Areály sportu	44	65	77	82
211	Orná půda	64	73	83	87
221	Vinice	54	70	79	84
222	Ovocné stromy	45	66	77	83
231	Louky a pastviny	49	69	79	84
241	Jednorocní plodiny	65	75	83	86
242	Pole, louky, kultury	54	72	82	87
243	Zemědělské areály	71	82	87	90
311	Listnaté lesy	35	61	74	80
312	Jehličnaté lesy	35	61	74	80
313	Smíšené lesy	35	61	74	80
321	Přírodní louky	35	60	73	79
322	Vřesoviště a slatiny	99	99	99	99
324	Leso-křoviny	31	58	72	78
331	Pláže, duny a písky	77	86	91	94
332	Skály	77	86	91	94
333	Řídká vegetace	63	77	84	89
334	Spáleniště	77	86	91	94
335	Ledovce a věčný sníh	99	99	99	99
411	Močály a rašeliniště	99	99	99	99
412	Rašeliniště	99	99	99	99
511	Vodní toky	100	100	100	100
512	Vodní plochy	100	100	100	100

Obr. č. 4: Hodnoty CN čísel [4]

Dalšími vstupy do výpočtu jsou odhad počáteční ztráty I_A a potencionální retence povodí S . Počáteční ztráta byla stanovena na základě experimentálních měření na 20 % potencionální retence. [7]

$$I_A = 0,2 * S \quad (1)$$

kde:

$$S = \frac{25400 - 254 * CN}{CN} \quad (2)$$

Stanovení parametrů jednotkového hydrogramu

Prostředí programu HEC-HMS nabízí hned několik typů jednotkových hydrogramů, z nichž podle metodické příručky pro výběr a aplikace vhodné metody odvození hydrologických podkladů za účelem posouzení bezpečnosti vodních děl je doporučováno využít metodu jednotkového hydrogramu dle Clarka. Do této metody vstupuje doba koncentrace v povodí T_C a transformační faktor R . Pro výpočet doby koncentrace T_C je doporučeno použít vzorec SCS (Soil Censervation Service) pro odvození T_{LAG} (časový posun v hodinách mezi výskytem maxima příčinné srážky a výskytem kulminačního průtoku v uzávěrovém profilu)

$$T_{LAG} = \frac{L^{0,8}(S + 1)^{0,7}}{1900\sqrt{Y}} \quad (3)$$

kde:

- L délka údolnice [stopy]
- Y průměrný sklon povodí v procentech
- S maximální retence povodí [palce]

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (4)$$

Doba koncentrace T_C je poté vypočtena podle rovnice č.5.

$$T_C = 1,67 * T_{LAG} \quad (5)$$

Pro určení koeficientu R existuje minimum výpočetních vzorců, nejčastěji se na nepozorovaných povodích odhaduje koeficient R jako n -násobek doby koncentrace.

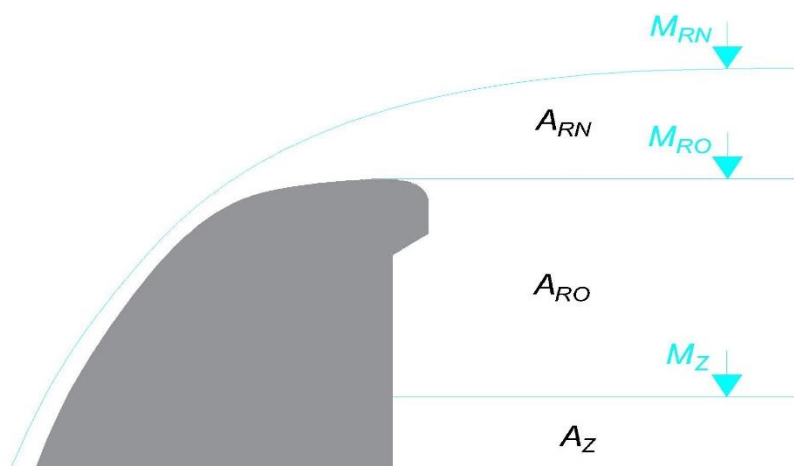
$$R = n * T_C \quad (6)$$

kde:

n se nejčastěji pohybuje v intervalu 1,2 až 2.

3.2 Vodohospodářské řešení ochranné funkce nádrže

Účelem ochranné funkce nádrže je řízení odtoku vody z nádrže tak, aby nepřekročil horní mez, která je dána neškodným odtokem. Základním prvkem ochranné funkce je volný vyhrazený prostor v nádrži, který dokáže zachytit část objemu povodně, čímž jsou zmírněny škodlivé účinky pod nádrží. Tento objem může být vymezen jako zvláštní retenční prostor ovladatelný, neovladatelný nebo také může vzniknout povypřázdněním zásobního prostoru před příchodem povodně. Základním vstupem pro řešení ochranné funkce nádrže je podrobný průběh povodňové vlny neboli hydrogram. [8]



Obr. č. 5: Schéma retenčního prostoru ovladatelného a neovladatelného

3.2.1 Dimenzování spodních výpustí

Pro řešení ochranné funkce nádrže je nutné znát kapacitu spodních výpustí. Spodní výpusti musí být dimenzovány na základě požadavku, aby se nádrž vyprázdnila od úrovně koruny bezpečnostního přelivu dvěma potrubími o minimálním průměru $d_{min} = 400$ mm. Doba tohoto prázdnění by měla probíhat v intervalu od 28 do 35 dnů. Jelikož má nádrž nepravidelný tvar, který nelze popsat analyticky, je doba prázdnění stanovena zjednodušeným postupným prázdněním po zvolených elementech ΔV_i , $i = 1, 2, \dots, N$, kde N je počet všech elementů. Doba prázdnění jednoho elementu je ΔT_i a celková doba prázdnění se vypočte podle rovnice č.7. [8]

$$T = \sum_{i=1}^N \Delta T_i \quad (7)$$

Pro výpočet prázdnění nádrže jsou použity následující vztahy:

$$v_i = \mu * \sqrt{2 * g * h_i} \quad (8)$$

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum \xi}} \quad (9)$$

kde:

ξ ztrátový součinitel ($\sum \xi = 0,4$)

$$S = 2 * \frac{\pi d^2}{4} \quad (10)$$

kde:

S plocha dvou potrubí

d průměr potrubí

$$o_{v,i} = v_i * S \quad (11)$$

$$\Delta T_i = \frac{\Delta V_i}{o_{v,i}} \quad (12)$$

Tab. č. 1: Ukázka výpočtu dimenzování spodních výpustí

i	h _i	H _i	v _i	ΔV _i	V	S	o _{v,i}	ΔT _i
[-]	[m]	[m]	[m/s]	[m ³]	[m ³]	[m ²]	[m ³ /s]	[den]
1	0,7	0,7	3,13	425	297	0,57	1,77	0,03
5	2,7	2	6,15	3963	7926	0,57	3,48	0,08
3	4,7	2	8,12	14939	29877	0,57	4,59	0,13
4	6,7	2	9,69	31356	62711	0,57	5,48	0,19
5	8,7	2	11,04	50962	101924	0,57	6,24	0,25
6	10,7	2	12,25	76141	152281	0,57	6,92	0,34

3.2.2 Dimenzování šířky bezpečnostního přelivu

Každá umělá nádrž, do které přitéká voda z povodí musí být vybavena přelivem k převádění povodňových průtoků do toku pod přehradou. Přelivem se rozumí konstrukce, přes kterou přepadá voda o volné hladině. Přelivy mohou být umístěny přímo v tělese hráze nebo mohou tvořit samostatný objekt. Pro výpočet ochranné funkce vodní nádrže je důležitým parametrem vstupujícím do výpočtu účinná šířka bezpečnostního přelivu. Tento parametr můžeme odhadnout pomocí rovnice č. 13. [9]

$$b_0 = \frac{Q}{m * \sqrt{2 * g} * H_0^{3/2}} \quad (13)$$

kde:

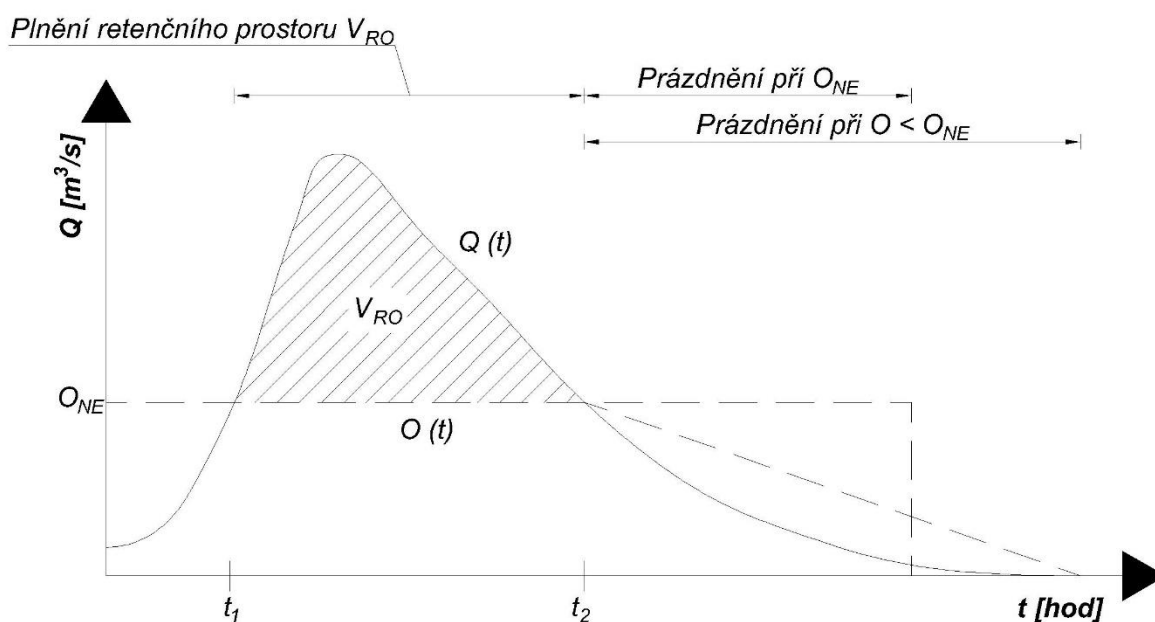
Q kulminační přítok návrhového hydrogramy povodně

m součinitel přepadu (m=0,499)

H₀ přepadová výška zvětšená o rychlostní výšku

3.2.3 Povodňové řízení odtoku pomocí retenčního prostoru ovladatelného

Funkce retenčního prostoru ovladatelného je řízená převážně odtokem spodními výpustěmi. Předpokladem je, že na počátku je retenční prostor ovladatelný V_{RO} prázdný. Strategie řízení odtoku z nádrže je tedy následující. Až po velikost $Q = O_{NE}$ z nádrže se vypouští $O = Q$, od tohoto okamžiku se vypouští odtok $O = O_{NE}$, přičemž se současně plní objem retenčního prostoru ovladatelného V_{RO} . V době, kdy pro přítok opět platí $Q = O_{NE}$ se buď dále vypouští $O = O_{NE}$, pokud je snaha o maximálně rychlé vyprázdnění V_{RO} nebo se vypouští nižší hodnota odtoku až po úplné vyprázdnění V_{RO} v delším časovém intervalu. [8]



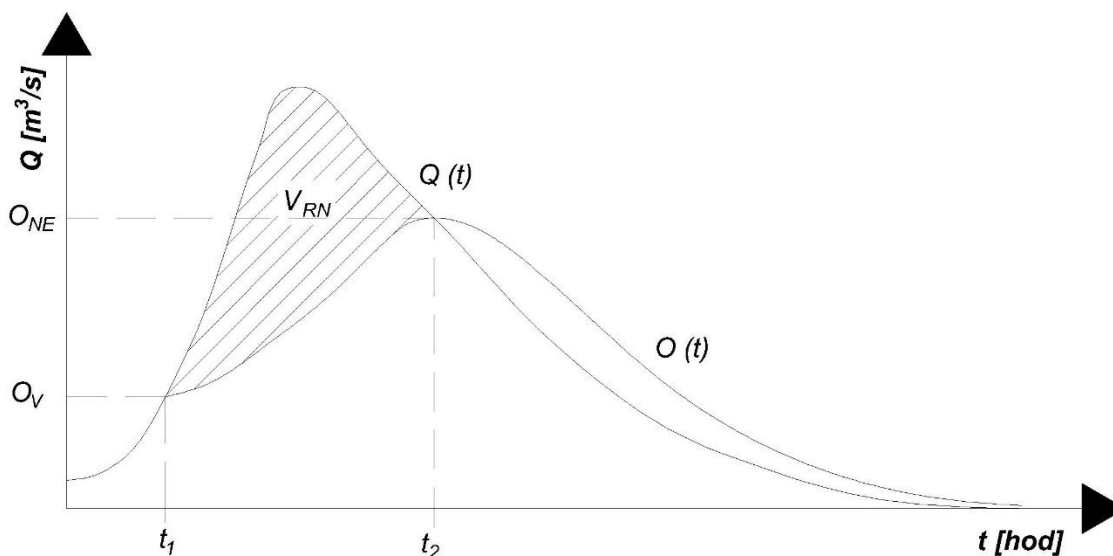
Obr. č. 6: Řízení povodňového odtoku pomocí retenčního prostoru ovladatelného

3.2.4 Povodňové řízení odtoku pomocí retenčního prostoru neovladatelného

Zásadní rozdíl mezi retenčním prostorem ovladatelným V_{RO} a neovladatelným V_{RN} spočívá kromě umístění těchto prostorů v nádrži ve způsobu řízení. U retenčního prostoru ovladatelného V_{RO} je odtok řízen pomocí lidské obsluhy v závislosti na přítoku do nádrže, zatímco strategie řízení retenčního prostoru neovladatelného V_{RN} je dána jejím plněním, a měrnou křivkou přepadu a spodních výpustí. [8]

V čase t_1 je hladina vody v nádrži v úrovni koruny bezpečnostního přelivu a otevření výpustí je konstantní po celou dobu průchodu povodně. Se vzrůstajícím přítokem $Q(t) > O_V$ dochází k počátku plnění retenčního prostoru neovladatelného V_{RN} . Ve stejnou chvíli začne přes bezpečnostní přeliv odtékat určitý přepadový průtok o výšce h , který se zvětšujícím se plněním V_{RN} postupně zvětšuje a je dán konzumní křivkou přepadu $O_P(h)$ a spodních výpustí $O_V(h)$. [8]

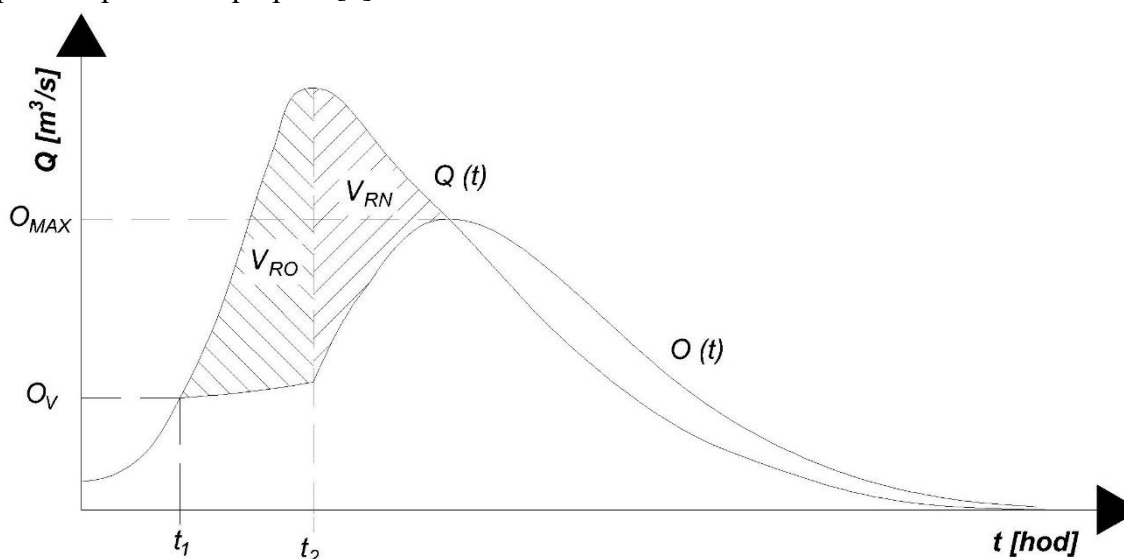
$$O(h) = O_V(h) + O_P(h) \quad (7)$$



Obr. č. 7: Řízení povodňového odtoku pomocí retenčního prostoru neovladatelného

3.2.5 Povodňové řízení odtoku pomocí kombinace retenčního prostoru ovladatelného a neovladatelného

Tento způsob povodňového řízení je obvyklý u velkých vodních nádrží a často bývá spojen s vypouštěním určitého množství vody pomocí spodních výpustí nebo elektrárnou. Princip této strategie je takový, že při plném zásobním objemu se vypouští spodními výpustmi odtok O roven přítoku do nádrže Q , pokud je Q menší nebo roven kapacitě spodních výpustí. Pokud se přítok do nádrže Q zvětší nad kapacitu spodních výpustí, začne se plnit retenční prostor ovladatelný. V momentě, kdy se naplní retenční prostor ovladatelný V_{RO} se začne plnit retenční prostor neovladatelný V_{RN} . Transformační čára této strategie řízení se sestojí s konzumní křivky výtoku spodních výpustí a přepadajícího množství přes bezpečnostní přepad. [8]



Obr. č. 8: Strategie řízení pomocí kombinace retenčního prostoru ovladatelného V_{RO} a neovladatelného V_{RN}

4 Vodohospodářské řešení ochranné funkce nádrže Rychtářov

4.1 Vodohospodářský význam nádrže

Celkový potencionální objem řešené nádrže je podle generelu LAPV z roku 2011 7,3 mil. m³. Nádrž je uvažována jako vodárenský zdroj pro Vyškovsko a Prostějovsko v soustavě se stávající vodní nádrží Opatovice, která leží na toku Malá Haná. [10]

4.2 Dotčené území a obce

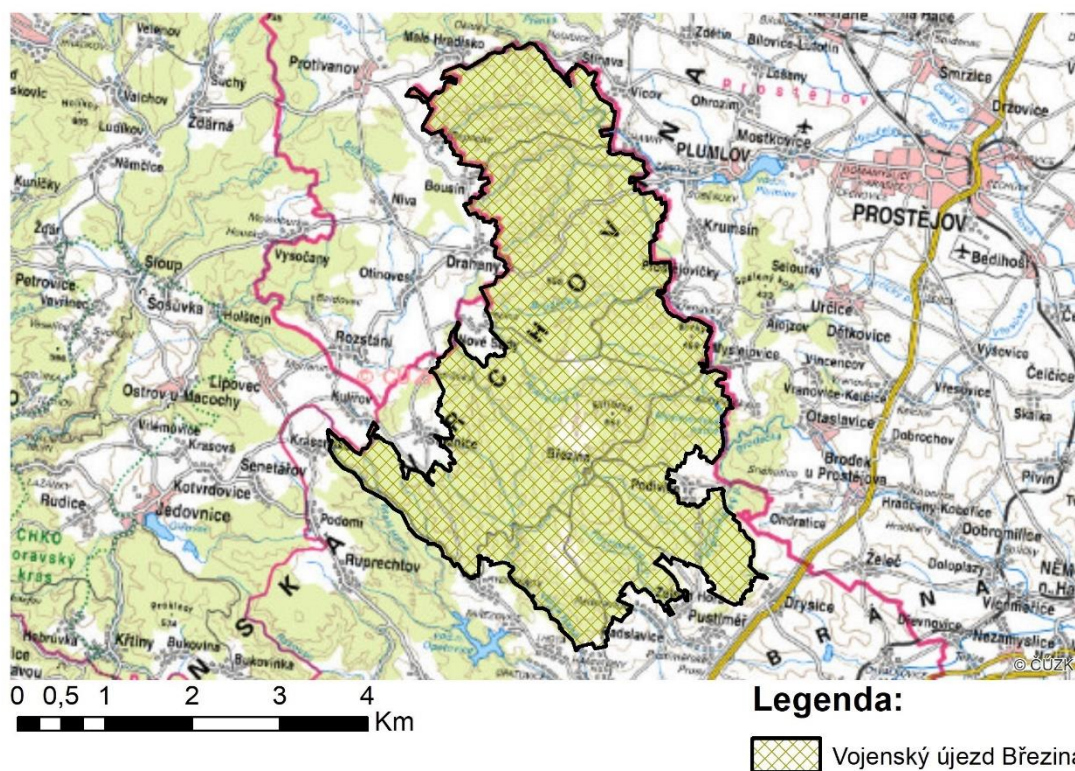
Oblasti, které mohou být dotčeny možnou realizací hráze nebo zátopou.

4.2.1 Vyškov

Jednou s dotčených oblastí je město Vyškov. Vyškov leží v severní části Jihomoravského kraje na řece Haná. Jeho katastrální výměra činí 50,40 km² a žije zde cca 21 000 obyvatel. Vyškov se člení na celkem 13 částí. Mezi nejvíce dotčené části možnou realizací patří zejména Rychtářov, Hamiltony, Lhota a Pařezevovice. [11]

4.2.2 Vojenský újezd Březina

Vojenský újezd Březina se nachází v severní části okresu Vyškov. Rozkládá na ploše 158,2 km². Je to oblast, která je určena k zajišťování obrany státu a k výcviku ozbrojených sil Armády České republiky. Na základě usnesení vlády Československé republiky ze dne 17.4.1951 byl dnem 1.5.1951 zřízen tento újezd. Téměř celé území vojenského újezdu je zalesněné. Nezalesněné a odlesněné plochy tvoří především různé vojenské areály. [12]



Obr. č. 9: Vojenský újezd Březina (mapový podklad ČÚZK)

4.3 Hydrologické údaje

Řešené vodní dílo se nachází na vodním toku Velká Haná. Profil hráze leží na osmnáctém kilometru.

4.3.1 Velká Haná

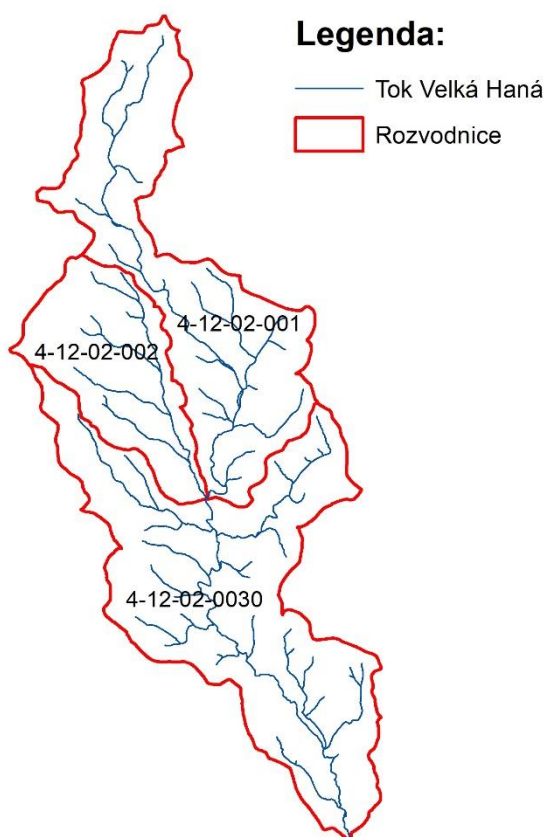
Tok Velká Haná pramení v Drahanské vrchovině přímo v obci Drahany. Velká Haná se ubírá jižním směrem, kde vtéká do Údolí Velké Hané. Po několika kilometrech vtéká do vojenského újezdu Březina, ze kterého vytéká u obce Rychtářov. Po 21,64 km v obci Dědice se Velká Haná stéká s tokem Malá Haná a tvoří tok Haná. Povodí Velké Hané se skládá ze tří povodí 4. řádu.

Tab. č. 2: Plocha jednotlivých povodí IV. řádu

Označení povodí	P [km ²]
4-12-02-0010	17,7
4-12-02-0020	9,0
4-12-02-0030	24,12

Hydrologické údaje toku

Délka toku:	21,64 km
Max. výška:	632 m n.m.
Min. výška:	258 m n.m.



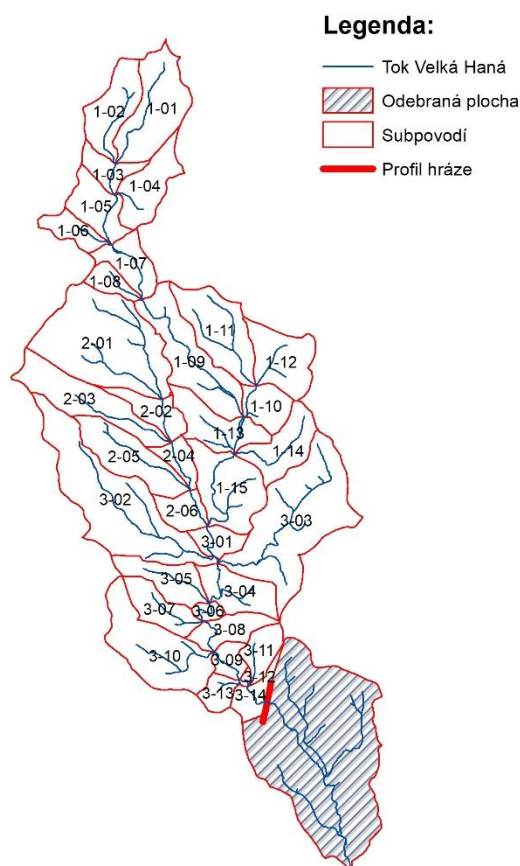
Obr. č. 10: Povodí Velké Hané

4.4 Hydrologický model povodí Velké Hané

Tvorba hydrologického modelu byla provedena v programu HEC-HMS.

4.4.1 Informace o povodí

Povodí Velké Hané se skládá ze tří povodí 4. řádu. Díky umístění profilu hráze musela být provedena redukce plochy povodí 4-12-02-0300. Z celkové plochy 24,12 km² vzniklo povodí po profil hráze o ploše 16,5 km². Dále bylo každé povodí 4. řádu rozděleno na několik dílčích povodí. Rozdělením vzniklo celkem 35 subpovodí. Pro výše zmíněné metody výpočtu, bylo nutné určit pro všechny dílčí povodí plochu, hodnotu CN čísel, dobu koncentrace a koeficient R.

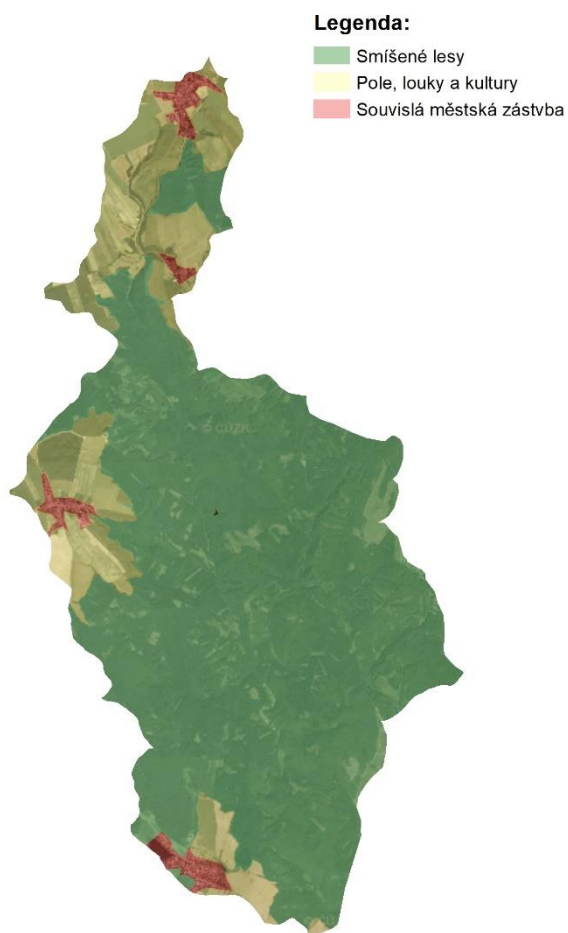


Obr. č. 11: Podrobné rozdělení řešeného povodí

4.4.2 Stanovení CN čísel

Pro výpočet přímého odtoku bylo nutné do programu HEC-HMS zadat hodnoty CN křivek pro dané povodí. Hodnota CN čísel se odvozuje na základě druhu půdního pokryvu a hydrologické skupině půdy. CN čísla mohou dosahovat hodnoty 0 až 100, kdy hodnota blízka 100 je povrch téměř nepropustný. Hodnoty CN se v podmínkách České republiky pohybují v rozmezí 55–85. V řešené oblasti nebyly k dispozici žádné informace o hydrologické skupině půdy, proto bylo ve výpočtu uvažováno, že celé území povodí spadá do hydrologické skupiny B. Na území povodí Velké Hané bylo pomocí terénního

průzkumu a studie ortofotomapy určeny tři druhy půdního pokryvu. Největší část půdního pokryvu tvořily smíšené lesy, dále pole, louky a zástavba.

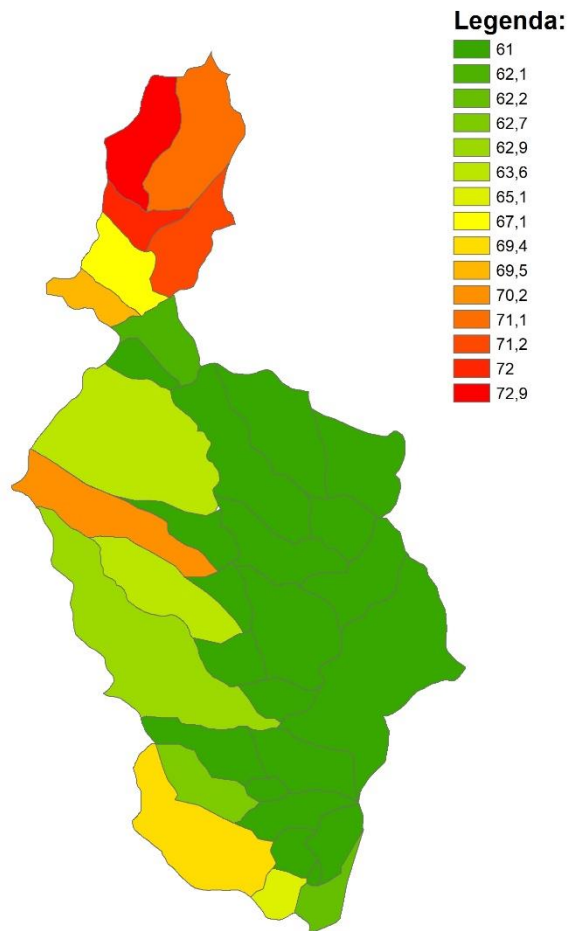


Obr. č. 12: Druhy půdních pokryvů v povodí

Tab. č. 3: Hodnoty CN čísel jednotlivých půdních pokryvů hydrologické skupiny B [4]

Druh půdního pokryvu	Plocha [km²]	CN číslo
Smíšené lesy	33,68	61
Pole, louky a kultury	8,41	72
Souvislá městská zástavba	1,22	88

U všech dílčích povodí byly zjištěny plochy jednotlivých druhů půdních pokryvů a vypočteno průměrné CN číslo vztažené na plochu jednotlivých povodí.



Obr. č. 13: Hodnoty CN čísel jednotlivých dílčích povodí

Z obr. č. 13 je patrné, že nejnižší hodnoty CN čísel jsou v lesnatých oblastech. Tyto oblasti se ve většině nacházejí na území vojenského újezdu Březina. Nejvyšší CN čísla jsou v oblastech obcí Drahany, Dědice a Rychtářov.

4.4.3 Stanovení parametrů jednotkového hydrogramu

Dále bylo třeba pro každé dílčí povodí doplnit údaje o transformaci. Jako transformační funkce je použit jednotkový hydrogram dle Clarka, který disponuje parametry doby koncentrace povodí T_C a transformačním faktorem R . Doba koncentrace T_C je čas potřebný pro odtok z hydraulicky nejvzdálenějšího bodu v povodí do uzávěrového profilu. Transformační koeficient R simuluje zdržení vody v povodí. Tyto parametry se vypočítají pomocí rovnic (5) a (6).

Tab. č. 4: Parametry povodí 4-12-02-0010

Č. povodí	1-01	1-02	1-03	1-04	1-05	1-06	1-07	1-08	1-09	1-10	1-11	1-12	1-13	1-14	1-15
P [km²]	1,97	1,25	0,54	1,16	0,97	0,54	0,84	0,42	2,09	0,72	1,76	1,37	1,19	1,18	1,78
T_C [hod]	2,07	1,66	0,84	0,64	1,40	0,69	1,93	0,73	4,29	1,08	2,17	1,35	1,12	2,58	3,41
R [hod]	2,49	1,99	1,00	0,77	1,68	0,83	2,32	0,88	5,14	1,30	2,61	1,62	1,35	3,10	4,09

Tab. č. 5: Parametry povodí 4-12-02-0020

Č. povodí	2-01	2-02	2-03	2-04	2-05	2-06
P [km ²]	3,92	0,70	1,78	0,45	1,55	0,61
T _c [hod]	2,09	1,32	2,76	1,67	1,59	1,35
R [hod]	2,51	1,58	3,31	2,01	1,91	1,62

Tab. č. 6: Parametry povodí 4-12-02-0030

Č. povodí	3-01	3-02	3-03	3-04	3-05	3-06	3-07	3-08	3-09	3-10	3-11	3-12	3-13	3-14
P [km ²]	0,49	3,91	4,02	1,07	0,99	0,19	0,87	0,74	0,38	2,30	0,60	0,06	0,40	0,52
T _c [hod]	1,38	3,27	3,48	2,25	1,18	3,35	0,93	1,70	2,18	1,64	0,63	0,77	0,48	1,31
R [hod]	1,66	3,92	4,18	2,70	1,42	4,02	1,12	2,04	2,62	1,96	0,76	0,92	0,58	1,57

4.4.4 Parametry pro postup vlny v říčním korytě

V případě, že se hydrologický model skládá s více prvků reprezentující povodí, vznikají v modelu prvky představující říční úseky. V těchto úsecích je nutné simulovat postup vlny po toku. Program HEC-HMS pro tyto účely nabízí metodu kinematické vlny. V této metodě je třeba znát délku daného úseku, sklon, Manningův drsnostní součinitel a šířku říčního koryta. Délky a sklony daných říčních úseků byly odvozeny z mapových podkladů. Manningův drsnostní součinitel byl odvozen na základě terénního průzkumu a podle fotografického katalogu drsností [13].

Celá říční síť byla klasifikována jako malý velmi zaplevelený tok s tůňemi, kde Manningův drsnostní součinitel dosahuje minimální hodnoty 0,075, optimální 0,100 a maximální 0,150. Do modelu byla zvolena hodnota optimální 0,100. Šířka koryta říční sítě v povodí byla také stanovena pomocí terénního průzkumu. V horní části řeky Velké Hané byla šířka koryta určena na 0,5 m. U levého přítoku Hanice byla šířka koryta stanovena na 0,4 m. U soutoku Hanice a Velké Hané byla šířka koryta vytyčena na 1 m, kdy se profil zvětšoval postupně s tokem, kde v místě profilu hráze byla šířka toku určena na 1,3 m.



Obr. č. 14: Hanice



Obr. č. 15: Pramen Velké Hané (Drahany)



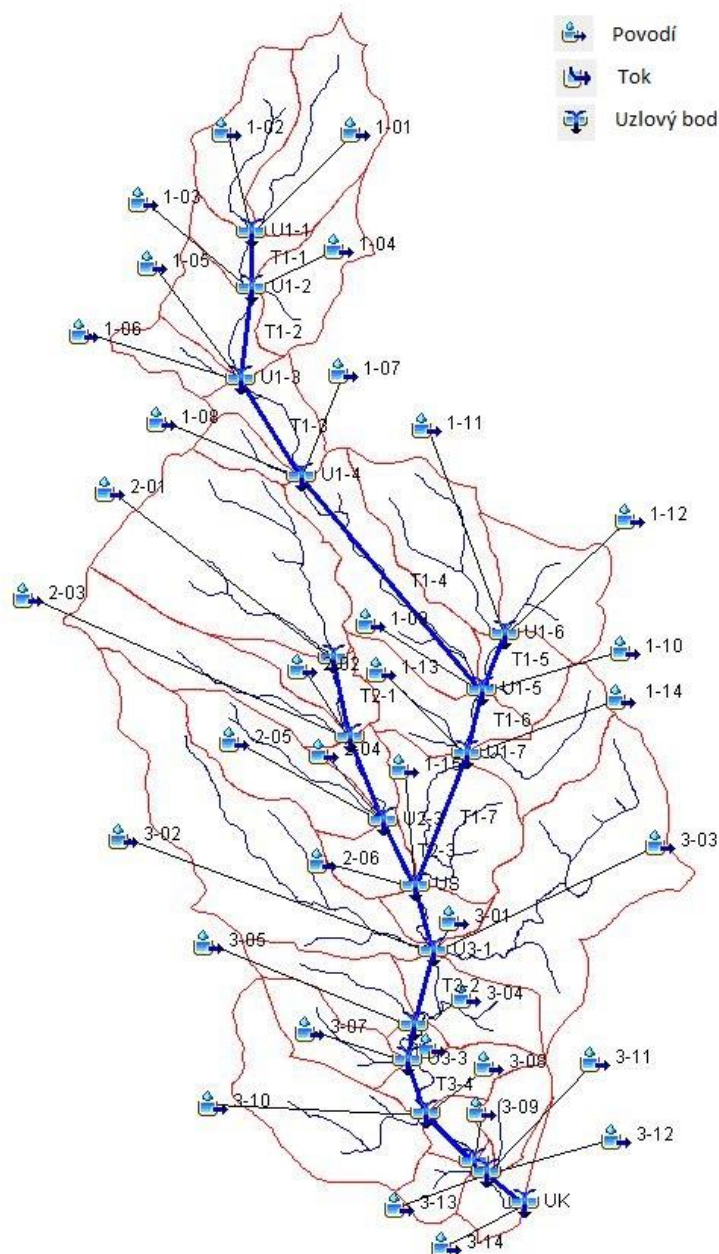
Obr. č. 16: *Velká Haná (údolí Velké Hané)*



Obr. č. 17: *Soutok Malé a Velké Hané (Dědice)*

4.4.5 Výsledný model povodí Velké Hané v HEC-HMS

Konečný hydrologický model povodí Velké Hané se skládá z 35 dílčích povodí. Tato dílčí povodí jsou rozdělena do tří celků podle povodí 4. řádu. Hydrologický model dále tvoří soutokové uzly, do kterých jsou zaústěny odtoky z dílčích povodí nebo navržená říční koryta. Soutokových uzlů je v modelu celkem 18. Všechny soutokové uzly jsou mezi sebou spojeny pomocí navržených říčních koryt, kterých je v modelu 17.

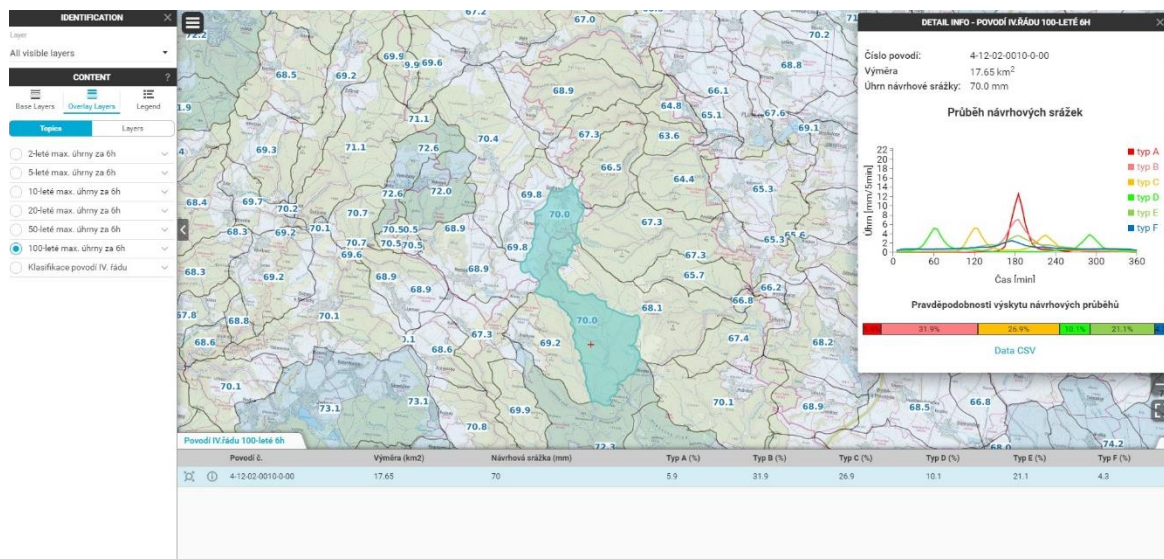


Obr. č. 18: Hydrologický model v programu HEC-HMS [14]

4.4.6 Návrhová srážka na povodí

Webová aplikace

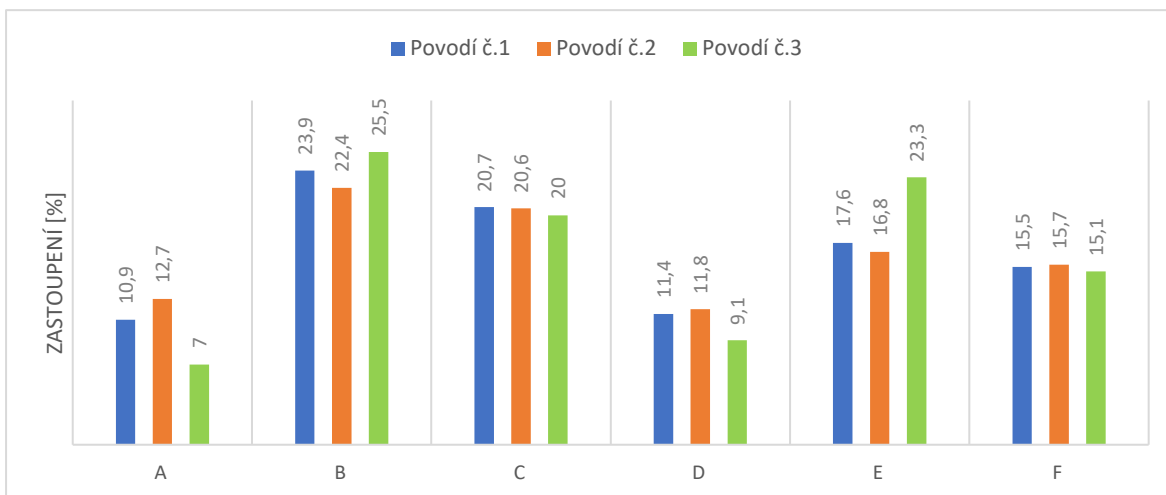
Důležitým vstupem do hydrologického modelu jsou srážkové úhrny. Pro tuto práci byly zvoleny šesti hodinové návrhové srážky na plochu povodí 4. řádu. Tyto srážkové úhrny jsou zpracovány ve webové aplikaci Rain, kterou vyvinula Fakulta stavební ČVUT v Praze. V této aplikaci je možné dohledat informace o ploše daného povodí, o celkovém úhrnu šestihodinové srážky a 6 typů hyetogramů s pravděpodobnostním výskytem v daném povodí. V této aplikaci je možné přepínat mapové podklady podle doby opakování dané návrhové srážky. [15]



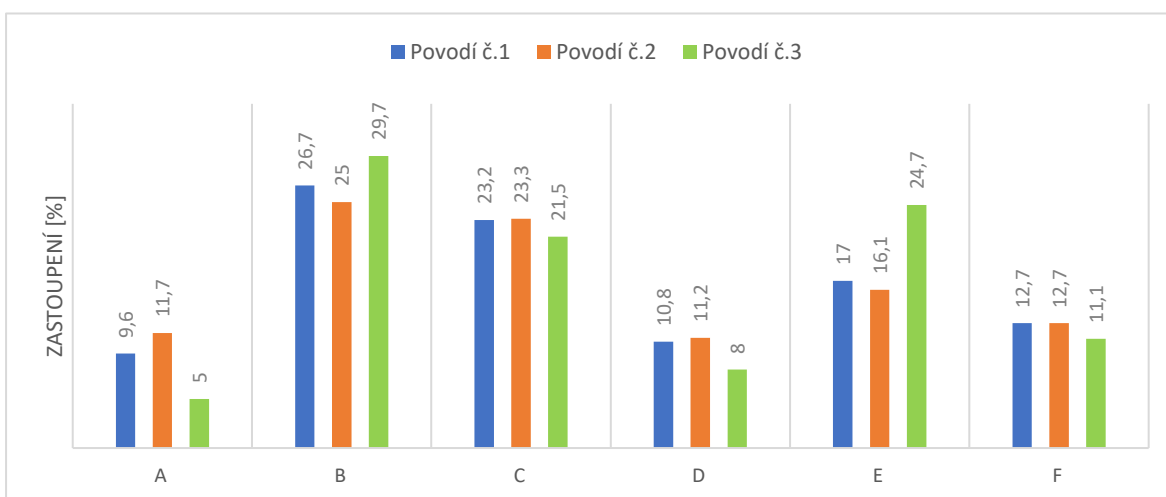
Obr. č. 19: Ukázka webové aplikace [15]

Aplikace návrhové srážky na povodí

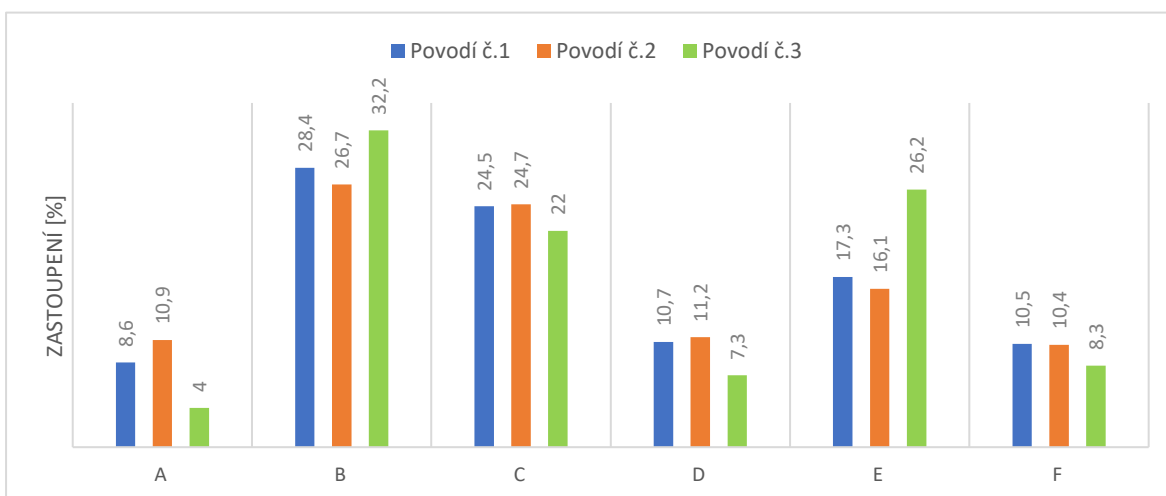
Povodí tedy bylo zatěžováno šestihodinovým maximálním úhrnem o 2, 5, 10, 20, 50, 100leté době opakování. Pro každou dobu opakování byly z webové aplikace vyčteny 3 různé úhrny pro jednotlivé povodí IV. řádu. Poté byl pro každý úhrn vybrán hyetogram, který měl největší procentuální zastoupení v dané oblasti. Jak je z následujících grafů (graf č. 2-7) vidět, tak u všech úhrnů má největší zastoupení průběh typu B.



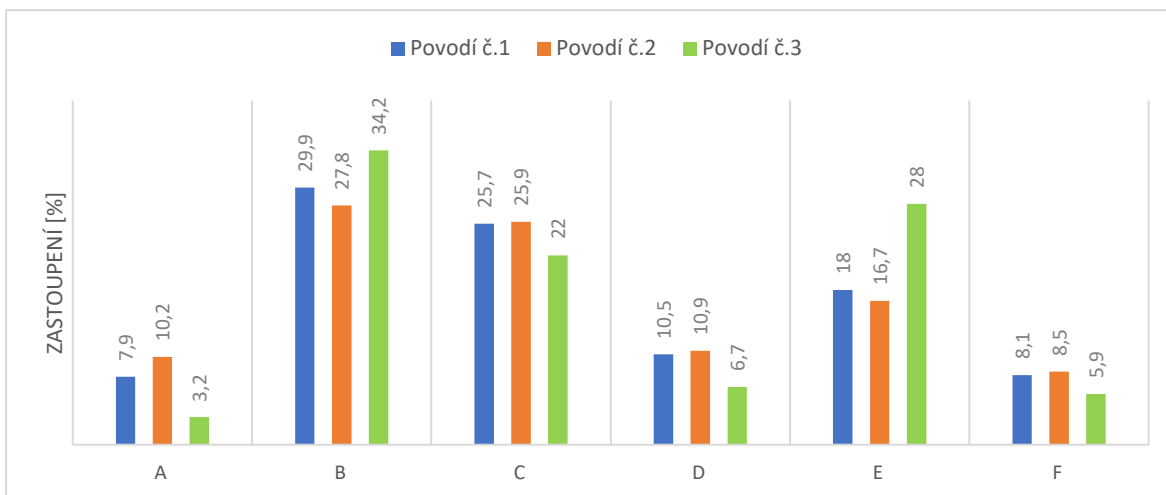
Graf č. 2: Procentuální zastoupení jednotlivých hyetogramů návrhové srážky N2



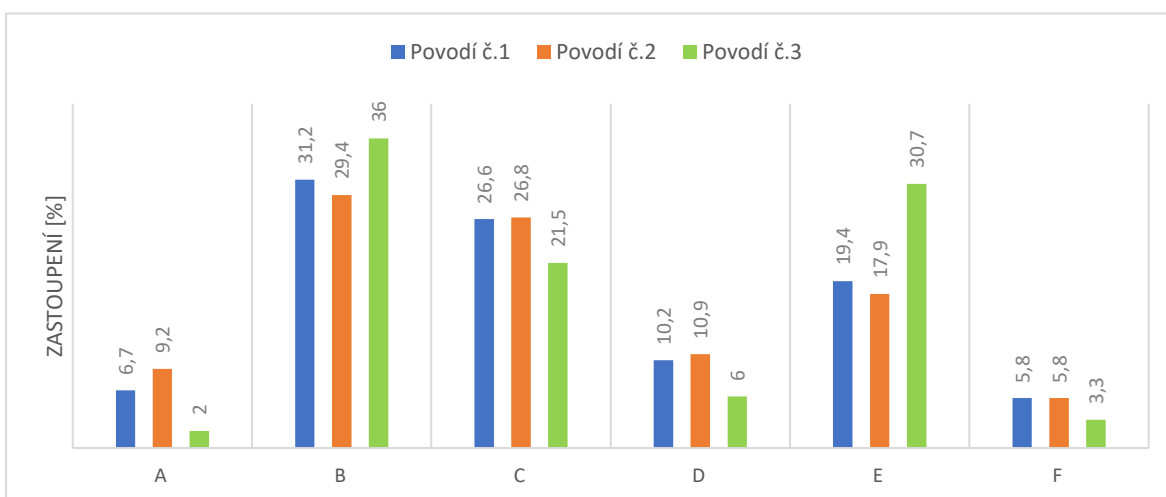
Graf č. 3: Procentuální zastoupení jednotlivých hyetogramů návrhové srážky N5



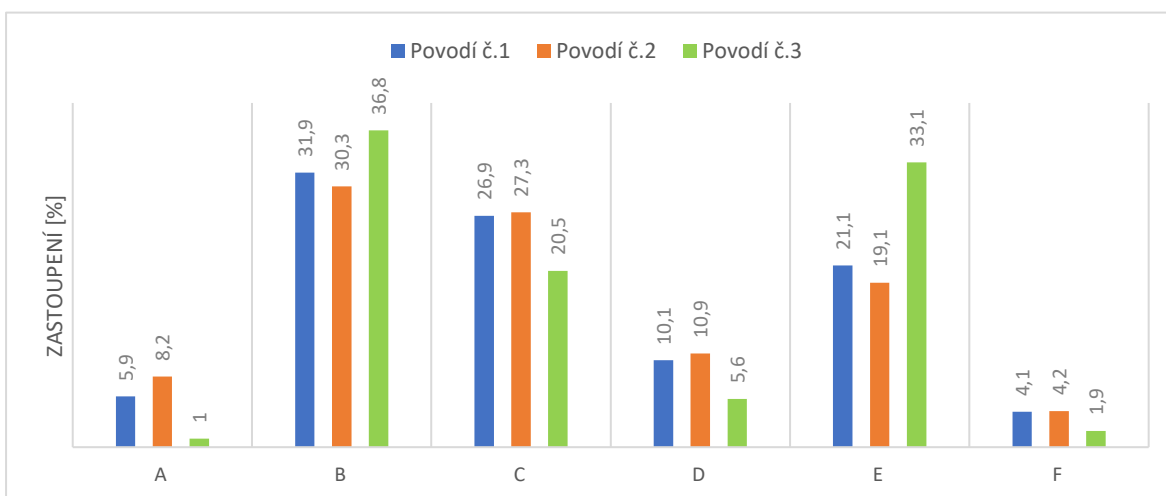
Graf č. 4: Procentuální zastoupení jednotlivých hyetogramů návrhové srážky N10



Graf č. 5: Procentuální zastoupení jednotlivých hyetogramů návrhové srážky N20

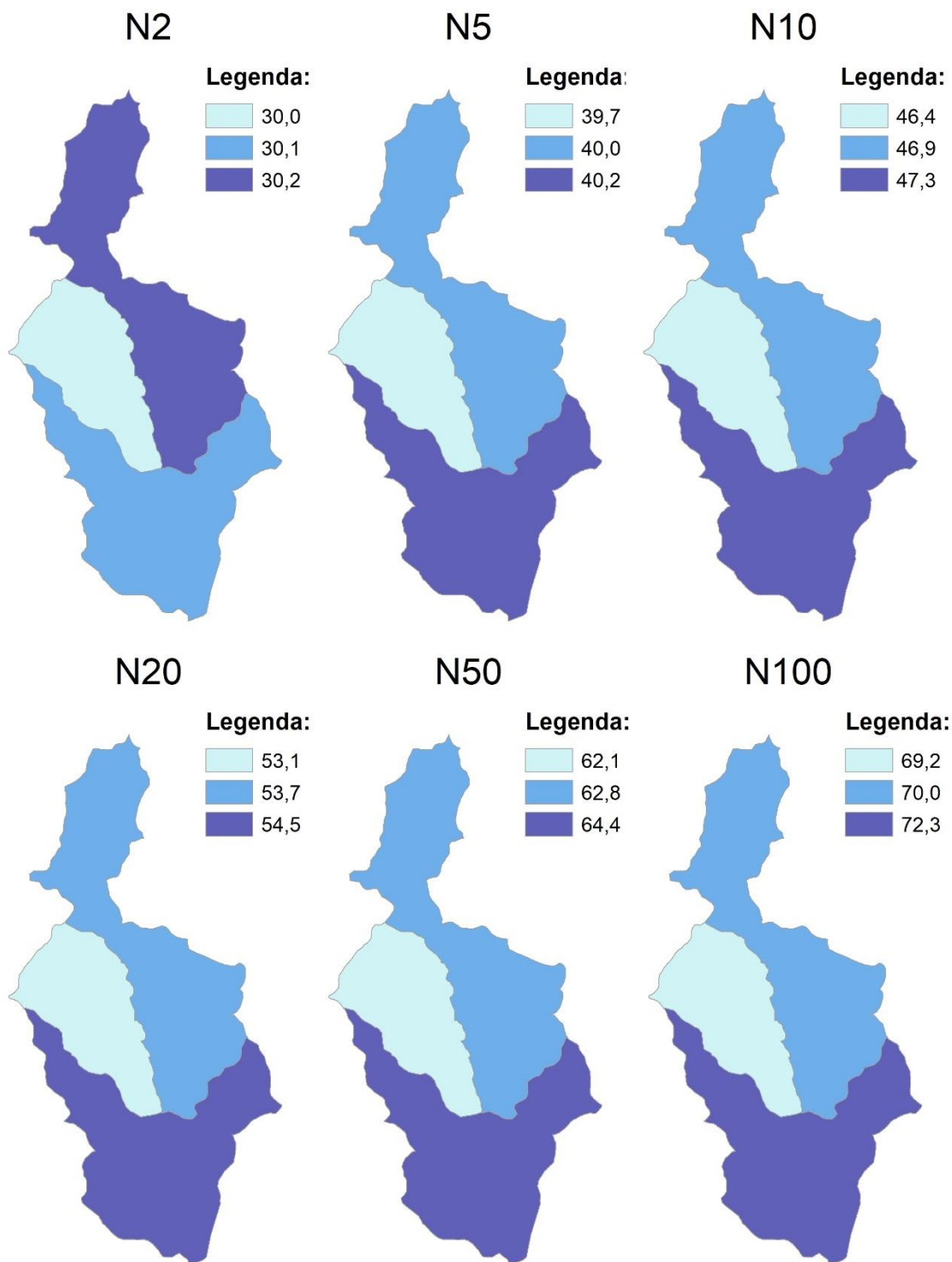


Graf č. 6: Procentuální zastoupení jednotlivých hyetogramů návrhové srážky N50



Graf č. 7: Procentuální zastoupení jednotlivých hyetogramů návrhové srážky N100

Hyetogram typu B je podle obr. č. 2 charakteristický pro nadmořskou výšku od 300 do 600 m n.m., čemuž řešené povodí Velké Hané odpovídá. Hyetogram typu B má jednoduchý průběh s jedním maximem. V extrémní fázi tohoto hyetogramu dosahují maximální intenzity cca 10 % celkového srážkového úhrnu.



Obr. č. 20: Hodnoty maximálních srážkových úhrnů (mm) na jednotlivé povodí IV. řádu s určitou dobou opakování

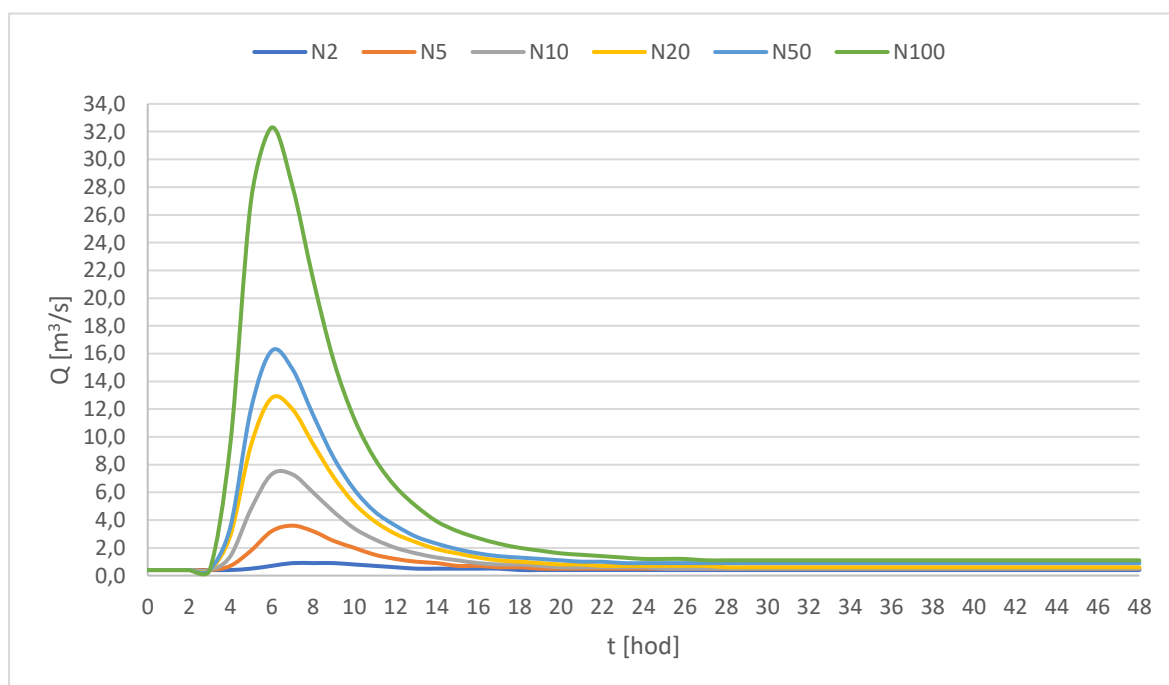
Na obr. č. 20 jsou vyobrazeny maximální srážkové úhrny v milimetrech na jednotlivé povodí 4. řádu. Největší srážkové úhrny se vyskytují v povodí č. 4-12-02-0030, jen u návrhové srážky s dobou opakování $N = 2$ je srážkový úhrn nejvyšší v povodí č. 4-12-02-0020. U stoleté návrhové srážky se celkové úhrny pohybují v průměru kolem 70 mm.

4.4.7 Kontrolní bod

Do hydrologického modelu HEC-HMS byl vložen kontrolní bod, pomocí kterého byl model sledován 48 hodin od začátku návrhové srážky v časovém intervalu jedné hodiny.

4.4.8 Výsledné hydrogramy

Výsledkem výpočtu v programu HEC-HMS je šest hydrogramů s dobou opakování $N = 2$ až $N = 100$. Hydrogramy jsou vztaženy k uzávěrovému profilu, který byl umístěn v místě profilu hráze.



Graf č. 8: Výsledné hydrogramy

Tab. č. 7: Kulminační průtoky a celkové objemy jednotlivých povodňových vln

	N2	N5	N10	N20	N50	N100
Q_{MAX} [m³/s]	0,9	3,6	7,3	12,8	16,2	32,3
V [m³]	83800	141600	228600	345900	443100	773500

Z grafu č. 8 můžeme vidět, že průběhy všech hydrogramů mají stejný průběh. Průběh je dán tvarem návrhového hyetogramu a parametry povodí. Z tabulky č. 7 je patrné, že u hydrogramů s dobou opakování $N = 2$, $N = 5$ a $N = 10$ jsou maximální průtoky povodně velmi nízké. U hydrogramu $N = 20$ se maximální průtok povodně vyšplhal na hodnotu $12,8 \text{ m}^3/\text{s}$ a objem povodně činil 345900 m^3 . U povodně s dobou opakování $N = 50$

byl maximální průtok 16,2 m³/s a objem povodně 443100. U povodně s nejvyšší dobou opakování N 100 byl maximální průtok 32,3 m³/s a celkový objem povodně 773500 m³.

Odvození hydrogramu

Z předchozího výpočtu pomocí programového vybavení HEC-HMS máme k dispozici hydrogramy s dobou opakování od N2 do N 100. Podle ustanovení ČSN 75 2935 a ČSN 75 2340 bylo nutné provést odvození hydrogramů s vyšším pravděpodobnostním překročení kulminace.

Ochrana vodního díla

Pro návrh ochrany vodního díla je využito normy ČSN 75 2340, kde je velikost návrhového povodně stanovena pomocí následující tabulky.

Kategorie VD z hlediska TBD	Pravděpodobnost překročení (doba opakování) kulminace PV:
I., II.	0,001 (N = 1 000 let)
III.	0,01 (N = 100 let)
IV.	0,01 (N = 100 let)
	u vodních děl s potenciálními nízkými škodami lze pro návrhovou povodeň v odůvodněných případech zvolit pravděpodobnost překročení 0,05 (N = 20 let)

Obr. č. 21: Tabulka kategorií vodního díla z hlediska TBD [16]

Vodní dílo Rychtářov je uvažováno jako dílo s významnou retenční funkcí. Podle obrázku č. 27 bylo vodní dílo Rychtářov zařazeno do první kategorie. Podle tohoto předpisu byla zvolena návrhová povodeň s dobou opakování N = 1000 let.

Ochrana zemní hráze

Pro návrh ochrany hráze je využito normy ČSN 75 2935. Požadovaná míra bezpečnosti vodního díla se stanovuje podle ustanovení článku 7.1 této normy a níže uvedené tabulky.

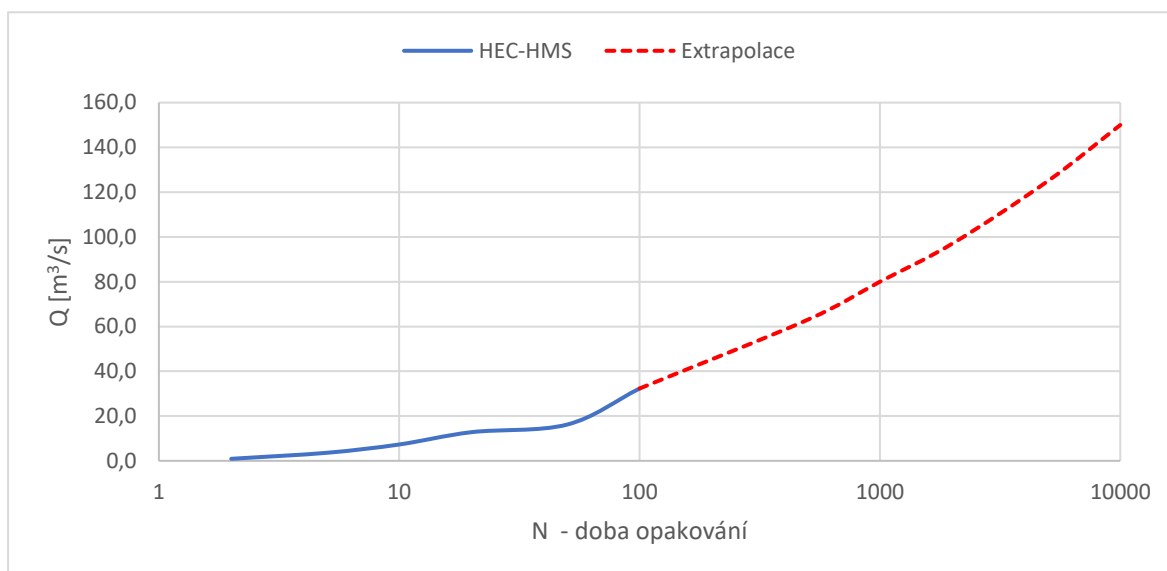
Kategorie vodního díla ³⁾	Pravděpodobné škody při hypotetické havárii vodního díla	Hodnotící hlediska podle potenciálního rozsahu škod při hypotetické havárii vodního díla		Požadovaná míra bezpečnosti VD	
		Potencionální rozsah celkových škod	Uvažované ztráty lidských životů	p = 1/N	N (let)
I.	velmi vysoké	mimořádně vysoké ekonomické škody, škody na životním prostředí a sociální dopady v rozsahu státu	ztráty lidských životů se předpokládají	0,0001	10 000
II.	vysoké	vysoké ekonomické škody, škody na životním prostředí a sociální dopady v rozsahu regionu, případně státu	ztráty lidských životů se předpokládají	0,0001	10 000
			ztráty lidských životů jsou nepravděpodobné	0,0005	2 000
III.	střední	značné ekonomické škody, škody na životním prostředí a sociální dopady v rozsahu regionu	ztráty lidských životů se předpokládají	0,001	1 000
			ztráty lidských životů jsou nepravděpodobné	0,005	200
IV.	nízké	nízké ekonomické škody, škody na životním prostředí a sociální dopady lokálního rozsahu	předpokládají se ojedinělé ztráty lidských životů	0,005	200
			ztráty lidských životů jsou nepravděpodobné	0,01	100
			nízké ekonomické škody pouze u vlastníka VD, ostatní škody jsou nevýznamné	ztráty lidských životů jsou nepravděpodobné	0,05

Obr. č. 22: Tabulka kategorií podle pravděpodobné škody při hypotetické havárii vodního díla [17]

V blízkosti uvažované hráze je město Vyškov, kde je evidováno 21 125 obyvatel. Je tedy evidentní, že při případné poruše hráze jsou ztráty na lidských životech pravděpodobné. Vodní dílo Rychtářov je tedy zařazeno do kategorie I. s přepokládanými ztrátami lidských životů. V této kategorii je požadovaná míra bezpečnosti předepsána povodně s dobou opakování 10 000 let. Pro výpočet transformace povodňové vlny bude nutné odvodit hydrogramy s dobou opakování $N = 1000$ a $N = 10\,000$ let.

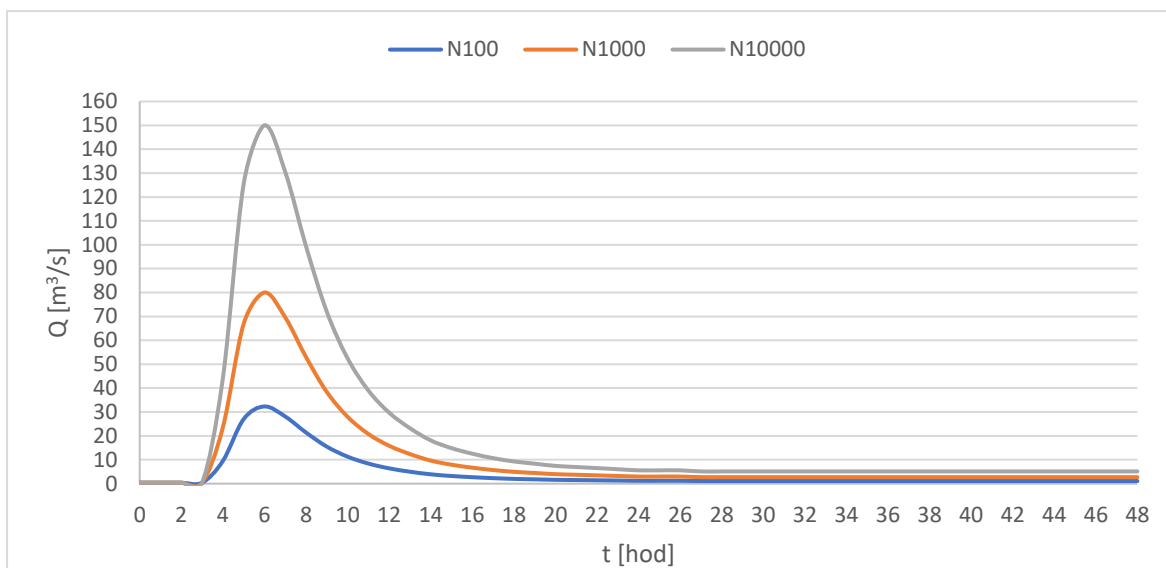
Extrapolace

Odvození bylo provedeno pomocí extrapolace v MS Excel. V grafu č. 9 můžeme vidět na vodorovné ose dobu opakování povodně. Tato osa je pro přehlednost v logaritmickém měřítku. Na ose jsou vyobrazeny hodnoty od 1 do 10 000. Na svislé ose je promítnut průtok v m^3/s . Z grafu je zřejmé, že extrapolace byla provedena tak, aby extrapolované povodňové vlny pokračovaly v nastaveném trendu. U povodňové vlny s dobou opakování $N = 1000$ let byl maximální průtok stanoven na hodnotu $80 \text{ m}^3/\text{s}$ a u povodně s $N = 10\,000$ let byl maximální průtok $150 \text{ m}^3/\text{s}$.



Graf č. 9: Extrapolace povodňových vln $N1000$ a $N10000$

Jelikož průběh povodňové vlny je přímo závislý na tvaru návrhového hyetogramu a parametrech povodí, byl průběh těchto povodňových průtoků odvozen na základě průběhu povodně $N 100$. V grafu č. 10 jsou vyobrazeny průběhy PV_{100} , PV_{1000} a $PV_{10\,000}$. U PV_{1000} činil celkový objem povodně $1\,917\,438 \text{ m}^3$ a u $PV_{10\,000}$ byl celkový objem $3\,590\,153 \text{ m}^3$.



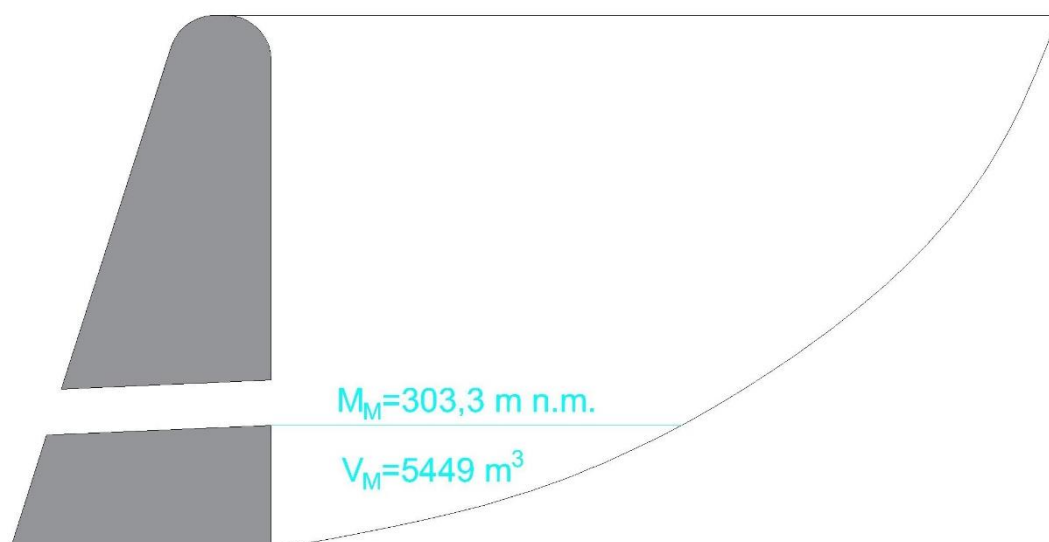
Graf č. 10: Hydrogram PV_{100} , PV_{1000} a PV_{10000}

4.5 Ochranná funkce nádrže Rychtářov

Ochranná funkce nádrže Rychtářov byla provedena ve dvou variantách. V první variantě byl zohledněn potencionální objem nádrže, který je uveden v generelu území chráněných pro akumulaci povrchových vod z roku 2011. V tomto dokumentu je stanoven potencionální objem nádrže 7,3 mil. m³. Z tohoto objemu nádrže byla odvozena zátopa a maximální hladina vodního díla. Tyto parametry byly následně zohledněny při návrhu ochranné funkce. Ve druhé variantě byla ochranná funkce navrhována, tak aby transformace povodňové vlny byla co nejvíc účinná bez ohledu na výšku hráze a potencionální zátopy. Před samotným vypracováním ochranné funkce musely být odvozeny důležité parametry hráze. Jedná se především o parametry spodních výpustí, bezpečnostního přelivu a umístění hladiny zásobního prostoru.

4.5.1 Dimenzování spodních výpustí

Spodní výpusti byly navrženy jako dvě potrubí o stejném průměru DN 600. Osy potrubí byly umístěny do nadmořské výšky 303,6 m n.m. Umístěním spodních výpustí vznikl v nádrži mrtvý prostor. Tento prostor nelze gravitačně vyprázdnit. Tomuto prostoru přísluší zatopený objem 5449 m³ a zatopenou plochou 2725 m².



Obr. č. 23: Schéma umístění spodních výpustí a mrtvého prostoru

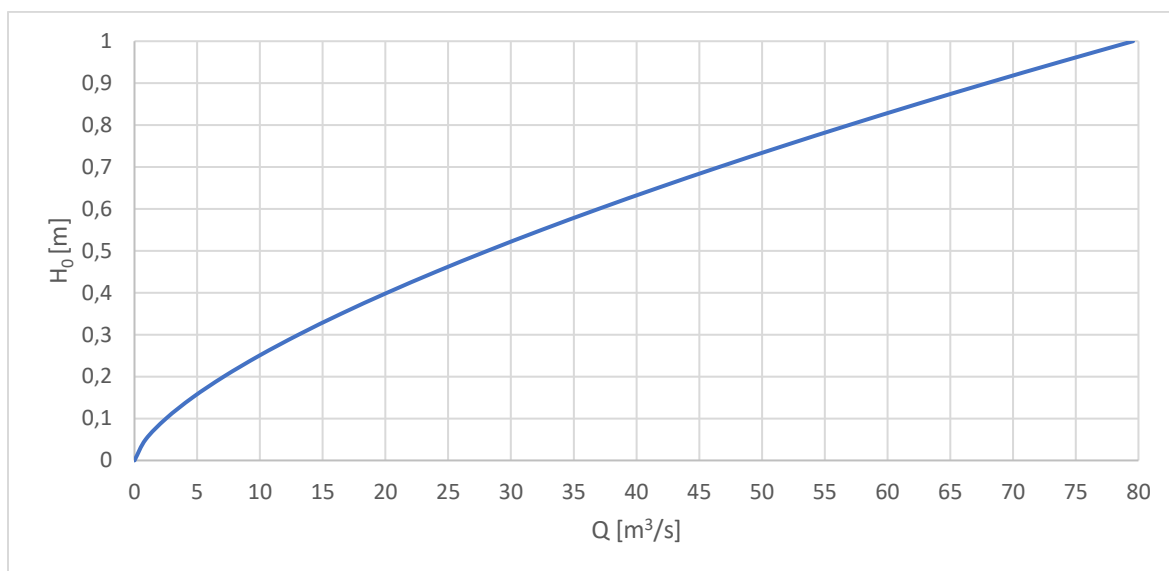
Tab. č. 8: Výpočet dimenzování spodních výpustí

i	H [m n.m.]	h_i [m]	H_i [m]	v_i [m/s]	V_i [m³]	ΣV_i [m³]	S [m²]	O_i [m³/s]	T_i [den]
1	303,3	0	0	0,00	0	0	0,57	0,00	0,00
2	304	0,7	0,7	3,13	7926	7926	0,57	1,77	0,05
3	306	2,7	2	6,15	29877	37803	0,57	3,48	0,10
4	308	4,7	2	8,12	62711	100514	0,57	4,59	0,16
5	310	6,7	2	9,69	101924	202438	0,57	5,48	0,22
6	312	8,7	2	11,04	152281	354719	0,57	6,24	0,28
7	314	10,7	2	12,25	202859	557578	0,57	6,92	0,34
8	316	12,7	2	13,34	250413	807991	0,57	7,54	0,38
9	318	14,7	2	14,35	300284	1108275	0,57	8,12	0,43
10	320	16,7	2	15,30	361288	1469563	0,57	8,65	0,48
11	322	18,7	2	16,19	444860	1914423	0,57	9,15	0,56
12	324	20,7	2	17,03	531729	2446152	0,57	9,63	0,64
13	326	22,7	2	17,84	604929	3051081	0,57	10,09	0,69
14	328	24,7	2	18,61	671657	3722738	0,57	10,52	0,74
15	330	26,7	2	19,34	737902	4460640	0,57	10,94	0,78
16	332	28,7	2	20,06	804569	5265209	0,57	11,34	0,82
17	334	30,7	2	20,74	873067	6138276	0,57	11,73	0,86
18	336	32,7	2	21,41	948890	7087166	0,57	12,11	0,91
19	338	34,7	2	22,05	1029746	8116912	0,57	12,47	0,96
20	340	36,7	2	22,68	1115094	9232006	0,57	12,82	1,01
								Σ	10,41

Z tabulky č. 8 je zřejmé, že při výšce hráze 36,7 m bude prázdnění pomocí spodních výpustí 2x DN 600 trvat 10,41 dní. Doba prázdnění tak není v požadovaném intervalu prázdnění 28 až 35 dnů.

4.5.2 Dimenzování bezpečnostního přelivu

Bezpečnostní přeliv je nedílnou součástí hráze. Slouží k převádění povodňových průtoků do toku pod hrází. V této práci byl bezpečnostní přeliv dimenzován na povodňový průtok Q_{1000} . Bezpečnostní přeliv byl dimenzován tak, aby při určité přepadové výšce H_0 byl schopen převést povodeň s dobou opakování $N = 1000$ let. Pomocí rovnice č. 13 byl proveden výpočet účinné šířky přelivu b_0 . Kulminační průtok povodně měl hodnotu $80 \text{ m}^3/\text{s}$ a přepadové výška byla zvolena 1 m. Výsledkem výpočtu byla účinná šířka bezpečnostního přelivu $b_0 = 36,2 \text{ m}$.



Graf č. 11: Konzumní křivka bezpečnostního přelivu.

4.5.3 Zásobní prostor

Pro výpočet transformace povodňové vlny je nutné znát hladinu zásobního prostoru. Tento zásobní objem vychází z bakalářské práce, kde byla řešena zásobní funkce vodní nádrže Rychtářov. Výsledkem této práce byl zásobní objem $5\,500\,000 \text{ m}^3$. Když k tomuto zásobnímu objemu přičteme objem stálého nadržení $481\,795,91 \text{ m}^3$, dostaneme objem $5\,981\,795,91 \text{ m}^3$. Hladina tohoto objemu je v nadmořské výšce $333,6 \text{ m n.m.}$

4.5.4 Stanovení neškodného odtoku

Neškodný odtok reprezentuje maximální přípustný odtok, nutný pro ochranu před povodněmi. Kromě přímých škod při zaplavení zemědělských pozemků nebo objektů působí povodně často i nepřímé ztráty národnímu hospodářství. Často bývá narušena doprava nebo dodávka elektrické energie. [8]

Tok Velká Haná se u obce Dědice stéká s tokem Malá Haná, kde společně vytvoří tok Hané. Haná následně pokračuje přes město Vyškov, kde by mohly být způsobeny největší škody. Podkladem pro stanovení neškodného odtoku pod vodní nádrží Rychtářov bude použit digitální povodňový plán města Vyškov.

Malá Haná

Na toku Malá Haná leží vodní nádrž Opatovice. Toto vodní dílo bylo dokončeno roku 1972. Jedná se o zemní sypanou hráz, která má výšku 37 m a objem zadržené vody je necelých 10 000 000 m³. Hlásný profil na tomto toku se nachází nad i pod Opatovickou nádrží. Neškodný odtok Opatovické nádrže je $O_{NE} = 4,5 \text{ m}^3/\text{s}$. [18]

Haná

Na toku Hané musí být stanovena kapacita koryta, která dokáže přes město Vyškov převést neškodný průtok z vodní nádrže Opatovice a zároveň z uvažované vodní nádrže Rychtářov. Podkladem budou průtoky v hlásném profilu Vyškov a digitální povodňový plán města Vyškov.

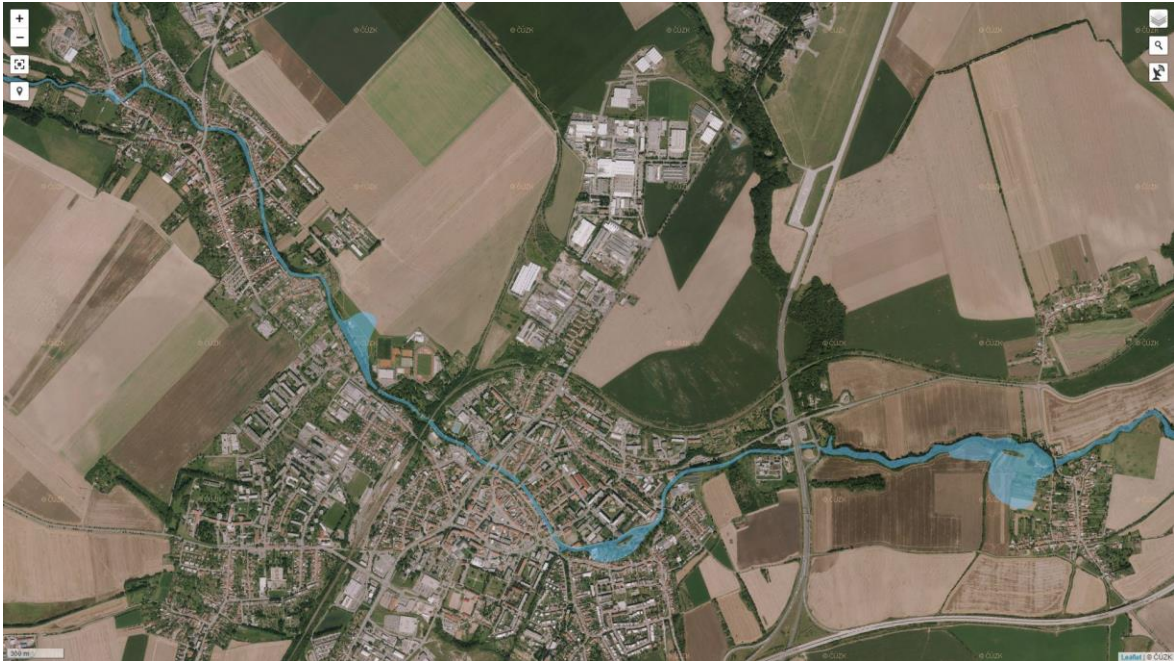
Tab. č. 9: N-leté průtoky Haná (hlásný profil Vyškov) [19]

N-leté průtoky	Q ₁	Q ₅	Q ₁₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
[m ³ /s]	7,5	16,5	21	34	40



Obr. č. 24: Potenciální záplava území při kulminačním průtoku s dobou opakování $N = 100$ [20]

Na obr. č. 24 je vidět záplava, kterou způsobil povodňový průtok s dobou opakování $N = 100$ let. Tento průtok dosahuje hodnoty $Q_{100} = 40 \text{ m}^3/\text{s}$. Je vidět, že u tohoto průtoku je záplavou ve velké míře zasažena zastavěná plocha centra Vyškova a městské části Dědice.



Obr. č. 25: Potenciální záplava území při kulminačním průtoku s dobou opakování $N = 20$ [20]

Na obr. č. 25 je vyobrazená povodňová záplava, kterou způsobil povodňový průtok Q_{20} . O tomto průtoku není v hlásném profilu Vyškov žádná informace, ale odhadem se bude pohybovat kolem $25 \text{ m}^3/\text{s}$. Z obrázku je patrné že záplava stejně jako u průtoku Q_{100} zasahuje v menší míře do zastavěné oblasti.



Obr. č. 26: Potenciální záplava území při kulminačním průtoku s dobou opakování $N = 5$ [20]

Na obr. č.26 je znázorněno, jak se tok Hané chová za průtoku Q_5 . Tento průtok má v hlásném profilu Vyškov hodnotu $16,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Jde vidět, že koryto tento průtok bez problému zvládne převést. Za neškodný průtok v profilu Hané budeme tedy považovat $Q_5 = 16,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Velká Haná

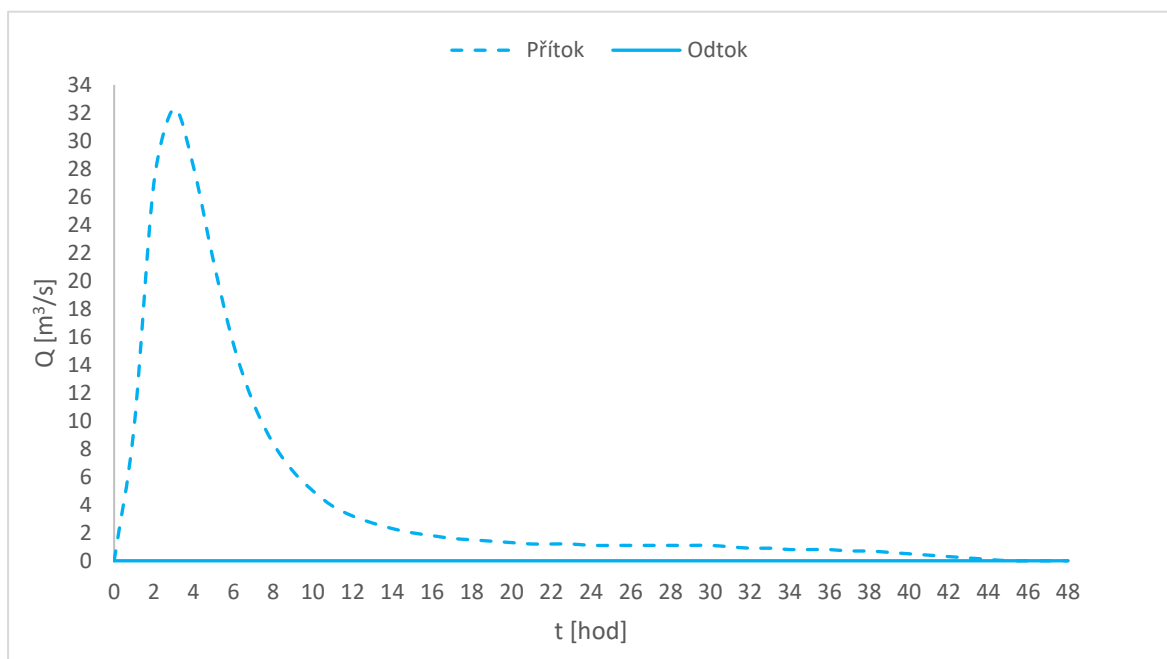
Za předpokladu, že průtoky toku Hané se skládají z průtoků Malé a Velké Hané, bude neškodný odtok pod uvažovanou nádrží stanoven jako rozdíl průtoků Hané a Malé Hané. Když tedy od kapacitního průtoků Hané $Q_5 = 16,5 \text{ m}^3/\text{s}$ odečteme neškodný odtok vodní nádrže Opatovice $O_{NE} = 4,5 \text{ m}^3/\text{s}$, dostaneme průtok $Q = 12,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Pro další účely práce budeme jako neškodný odtok pro vodní nádrž Rychtářov uvažovat $O_{NE} = 12,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.5.5 Scénář simulací

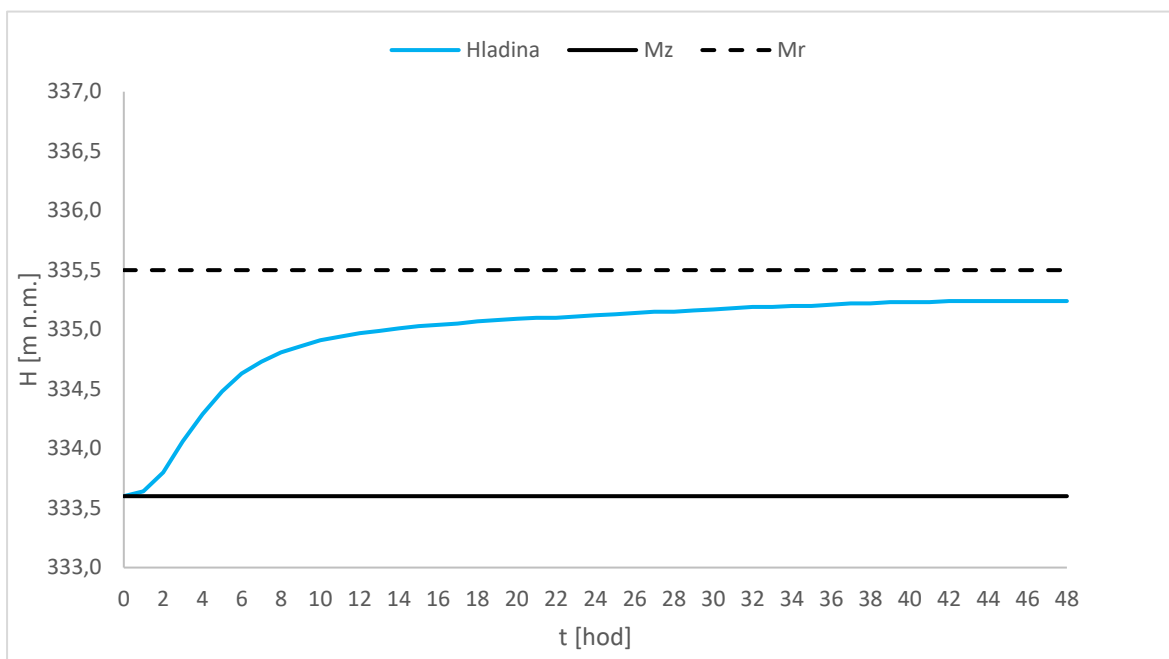
Pro každou variantu jsou posuzovány tři scénáře. V prvním scénáři jsou při transformaci povodňové vlny uzavřené obě spodní výpusti a transformace probíhá jen přes bezpečnostní přeliv. Ve druhém scénáři simulace probíhá transformace povodňové vlny pomocí bezpečnostního přelivu a jedné spodní výpusti. V posledním scénáři je posuzován stav, kdy jsou obě spodní výpusti otevřené. Pro každou variantu simulace je jako počáteční stav považován plný zásobní prostor, kdy je hladina v nadmořské výšce 333,6 m n.m. Jelikož program HEC-HMS nedisponuje optimalizačním řízením, jsou spodní výpusti ve všech variantách otevřené nebo zavřené po celou dobu simulace. V tomto důsledku dochází v některých případech k mírnému předvypuštění nádrže nebo k následnému vypouštění zásobního prostoru. Při zpětném dosažení maximální hladiny zásobního prostoru by v praxi byl dále vypouštěn jen odtok roven přítoku. Tím by nedošlo k vypouštění zásobního prostoru.

4.5.6 Ochranná funkce nádrže varianta č.1

V této variantě bylo uvažováno s maximálním objemem nádrže $7,3 \text{ mil. m}^3$. Hrana koruny bezpečnostního přelivu byla umístěna do výšky 335,5 m n.m. V této variantě je provedena transformace povodňových vln PV_{100} , PV_{1000} a $PV_{10\,000}$.

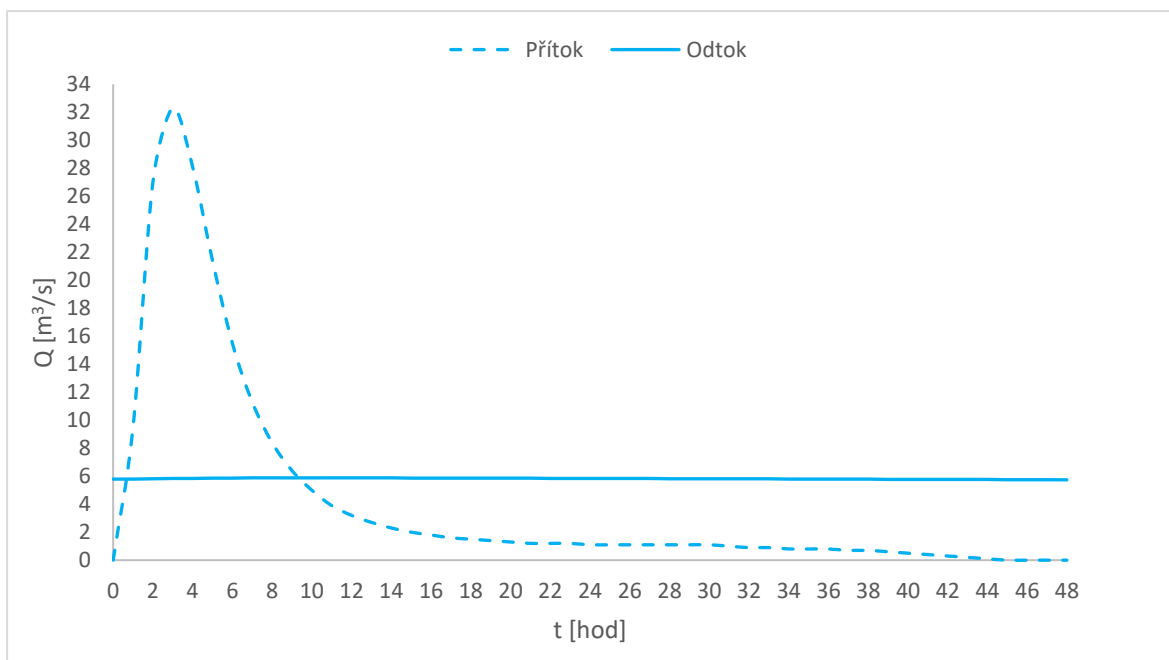


Graf č. 12: Transformace PV_{100} – uzavřené spodní výpusti

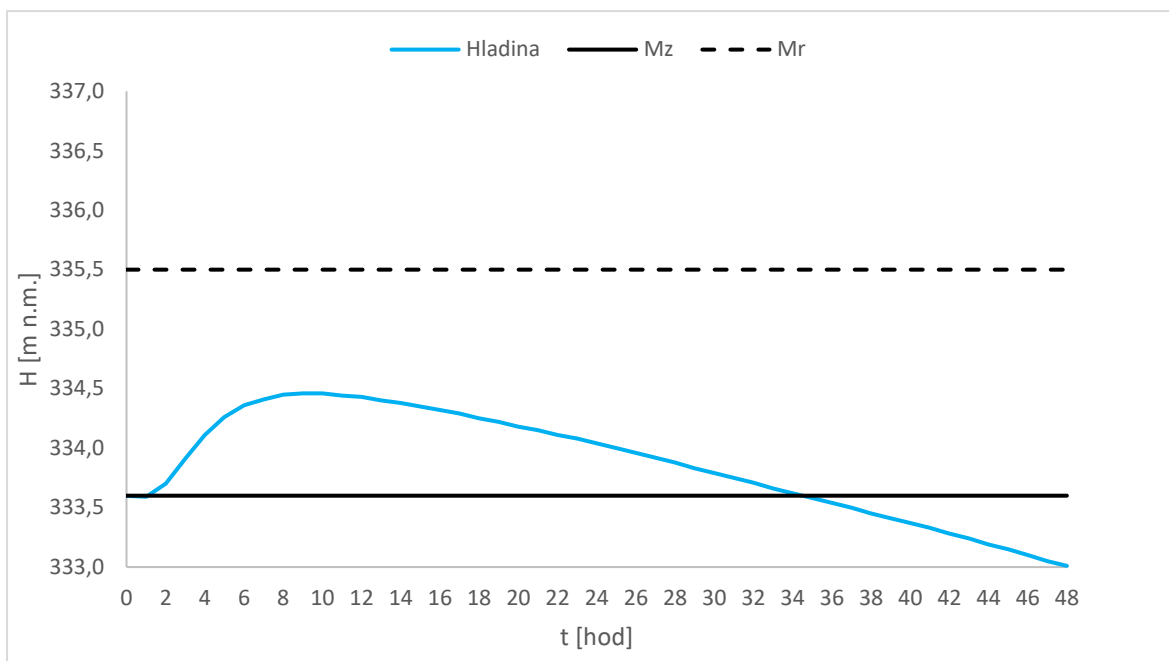


Graf č. 13: Průběh hladiny v nádrži při PV_{100} – uzavřené spodní výpusti

V grafu č. 12 je znázorněna transformace povodňové vlny PV_{100} . V této variantě nedošlo k naplnění retenčního prostoru ovladatelného V_{RO} , z čehož plyne, že nebyl využit bezpečnostní přeliv. Nádrž v této konfiguraci je schopná zadržet celou povodeň. Při této simulaci, kdy obě spodní výpusti byly uzavřené, vystoupala hladina do úrovně 335,24 m n.m. Celkový objem při této hladině činil 6 719 000 m³.

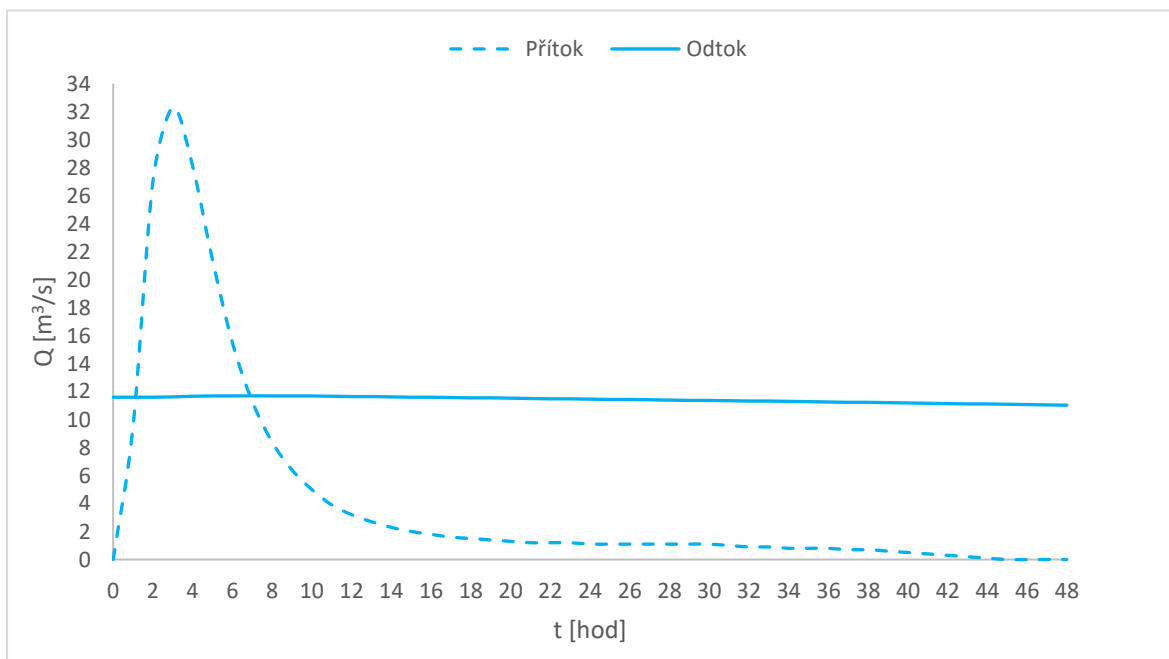


Graf č. 14: Transformace PV_{100} – 1x spodní výpust

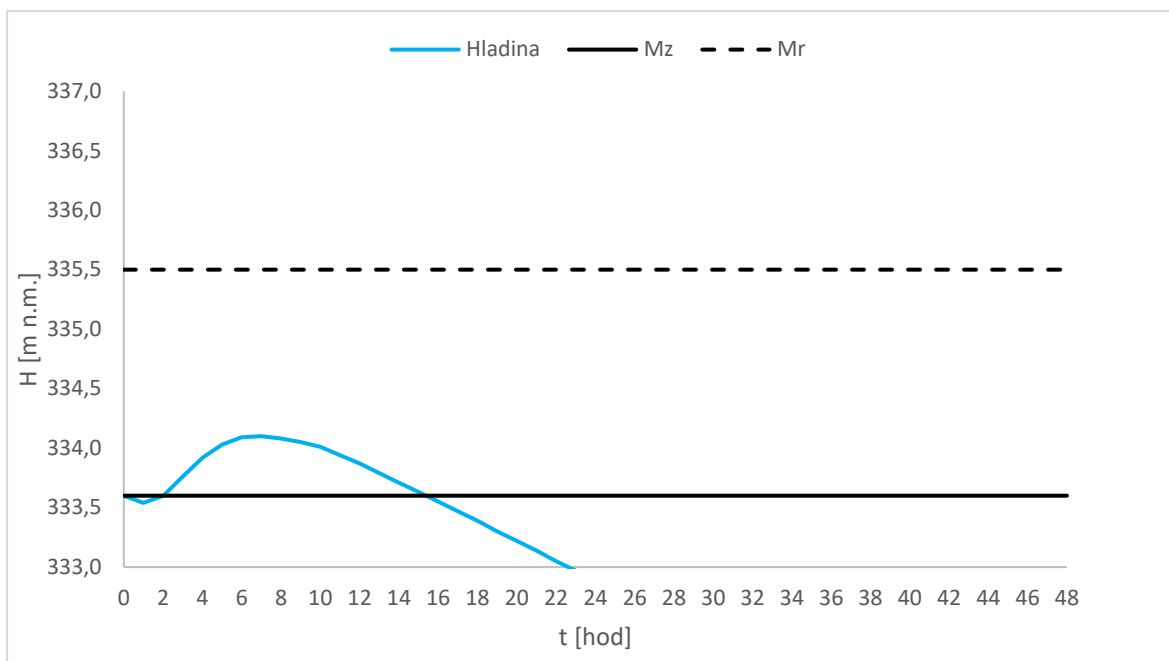


Graf č. 15: Průběh hladiny v nádrži při PV_{100} – 1x spodní výpust

Při simulaci, kdy byla otevřená jedna spodní výpust voda vystoupala do nadmořské výšky 334,45 m n.m. Objem dosáhl hodnoty 6 351 000 m³. Odtok z nádrže pomocí jedné spodní výpustě dosáhl maximální hodnoty $O = 5,88$ m³/s.

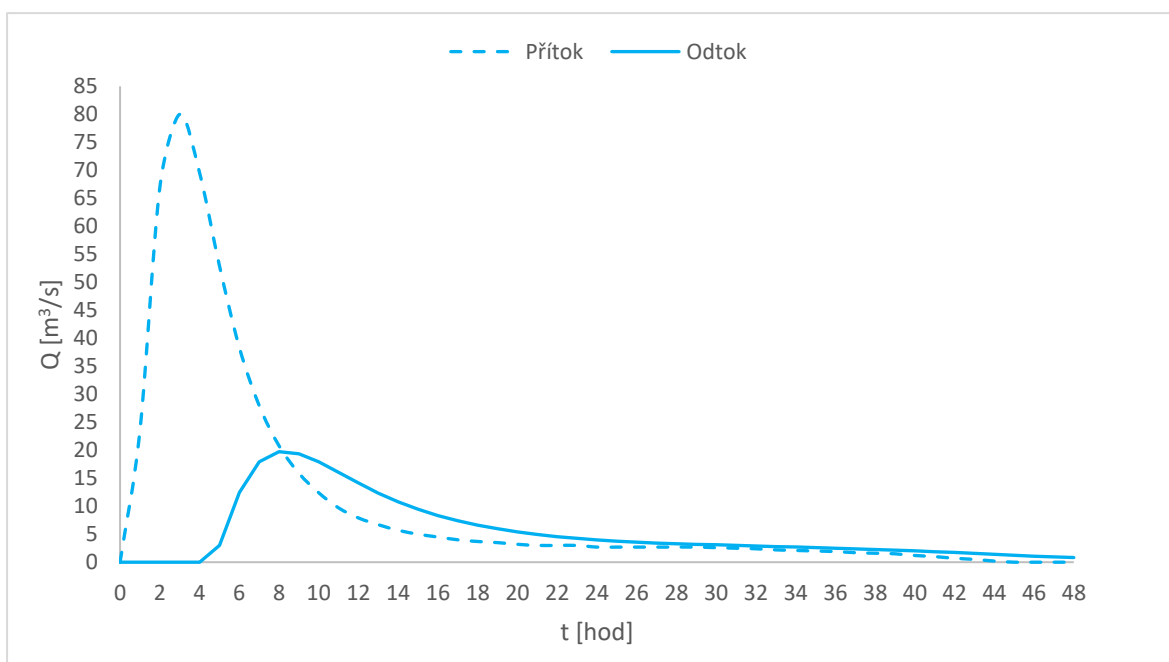


Graf č. 16: Transformace PV_{100} – 2x spodní výpust

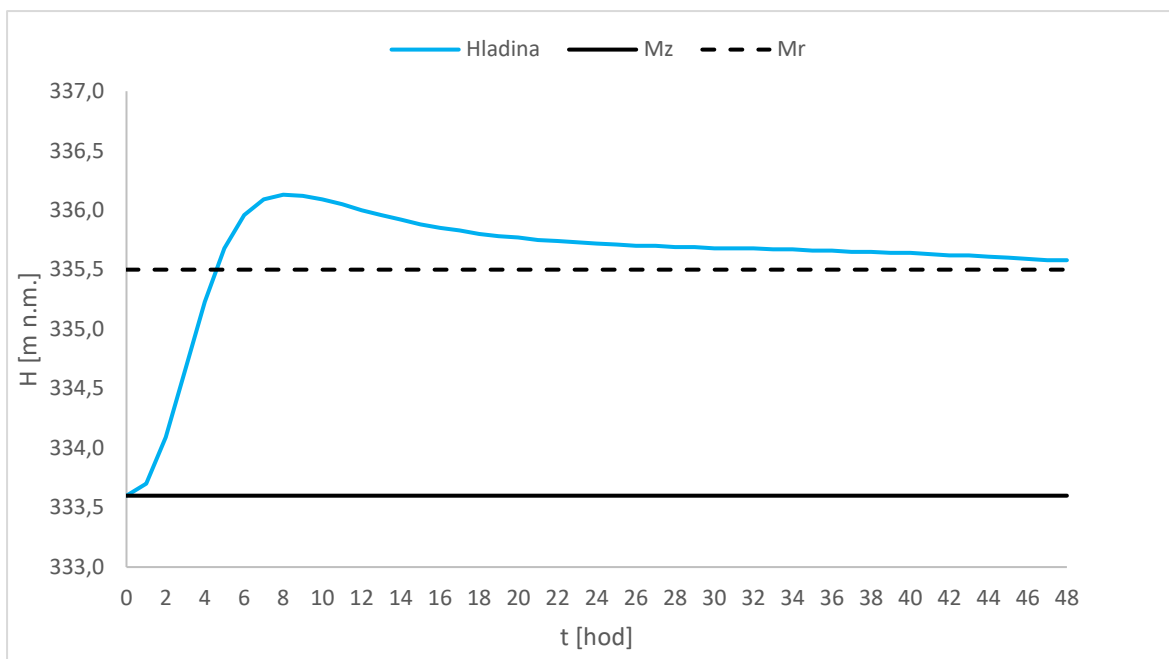


Graf č. 17: Průběh hladiny v nádrži při PV_{100} – 2x spodní výpust

U varianty, kdy byly obě spodní výpusti otevřené, dosáhla hladina v nádrži nadmořské výšky 334,1 m n.m. a objemu 6 250 000 m³. Maximální odtok pomocí spodních výpustí dosáhl hodnoty $O = 11,695$ m³/s. Dále bylo v práci sledováno, jak se nádrž chová při průchodu PV_{1000} .

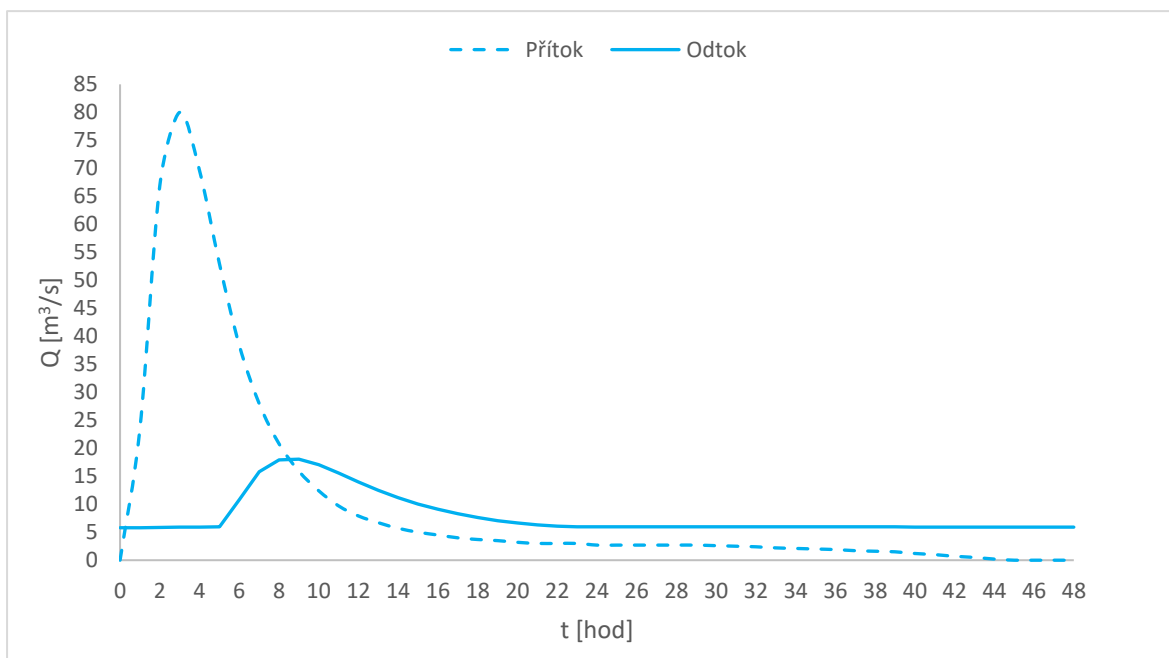


Graf č. 18: Transformace PV_{1000} – uzavřené spodní výpusti

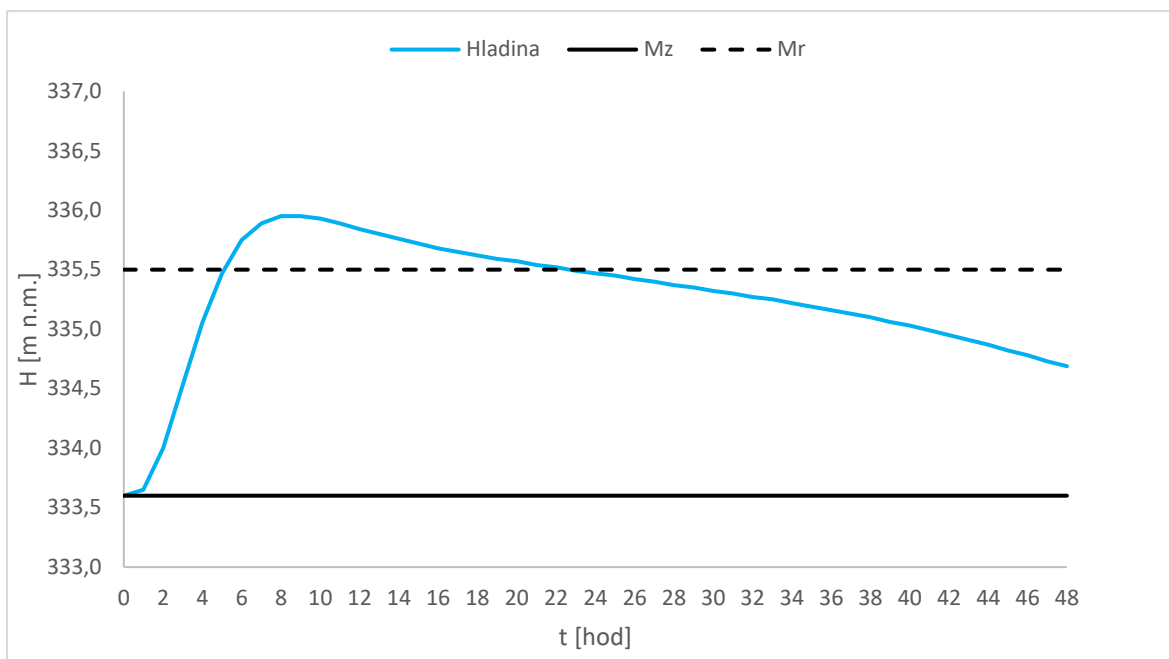


Graf č. 19: Průběh hladiny v nádrži při PV_{1000} – uzavřené spodní výpusti

Ve variantě, kdy nádrží prošla povodňová vlna PV_{1000} a obě spodní výpusti byly uzavřeny, odtok z nádrže činil $O = 19,74 \text{ m}^3/\text{s}$. Neškodný odtok byl v tomto případě překročen o více než $7,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Při této simulaci došlo k naplnění retenčního prostoru ovladatelného V_{RO} a voda přepadala přes bezpečnostní přeliv. Voda v nádrži dosáhla nadmořské výšky $336,13 \text{ m n.m.}$

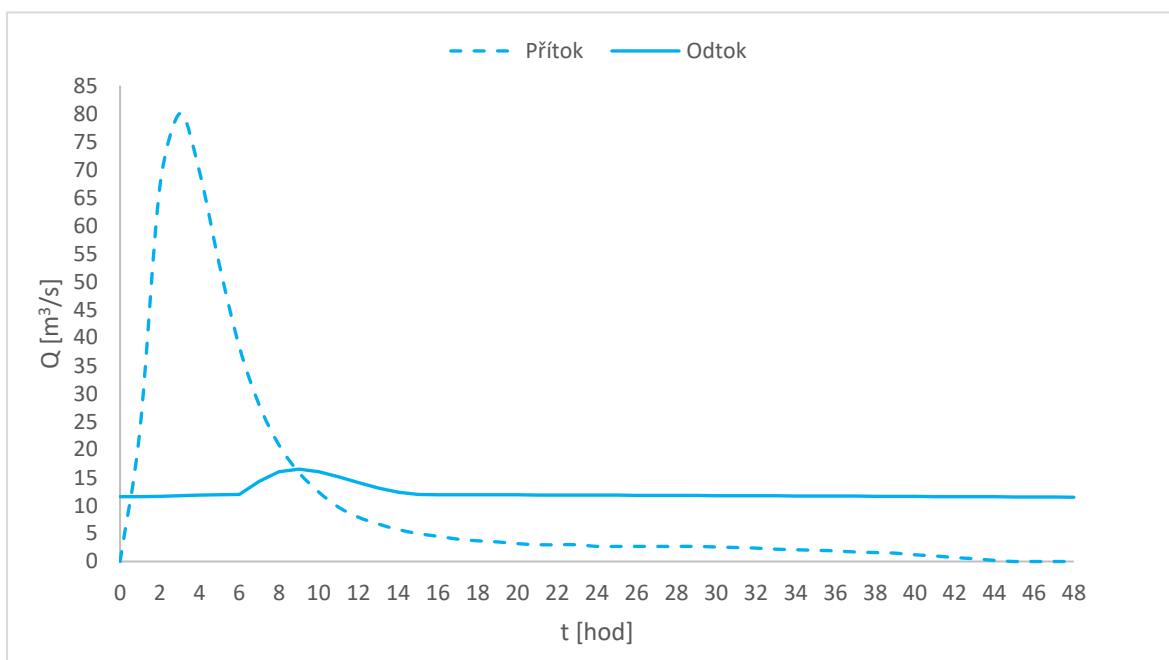


Graf č. 20: Transformace PV_{1000} – 1x spodní výpust

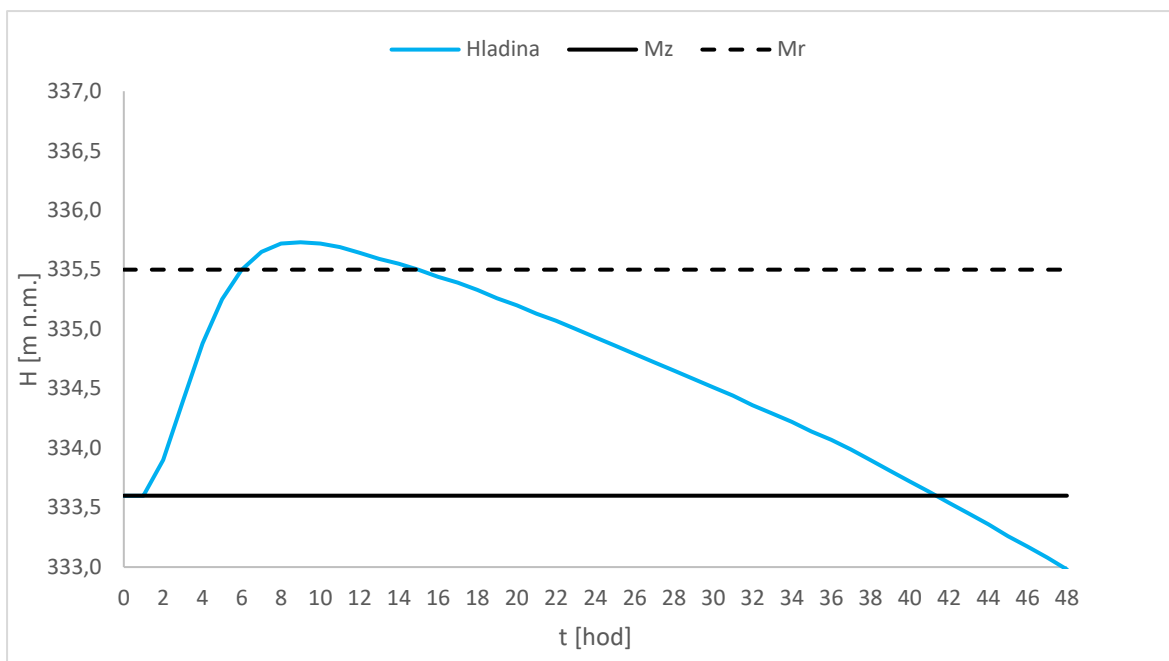


Graf č. 21: Průběh hladiny při PV_{1000} – 1x spodní výpust

Ve variantě s jednou spodní výpustí otevřenou opět došlo k naplnění retenčního prostoru ovladatelného V_{RO} . Maximální odtok v této variantě dosáhl $O = 18,05 \text{ m}^3/\text{s}$ a byl tak překročen neškodný odtok. Voda vystoupala do nadmořské výšky 335,95 m n.m.

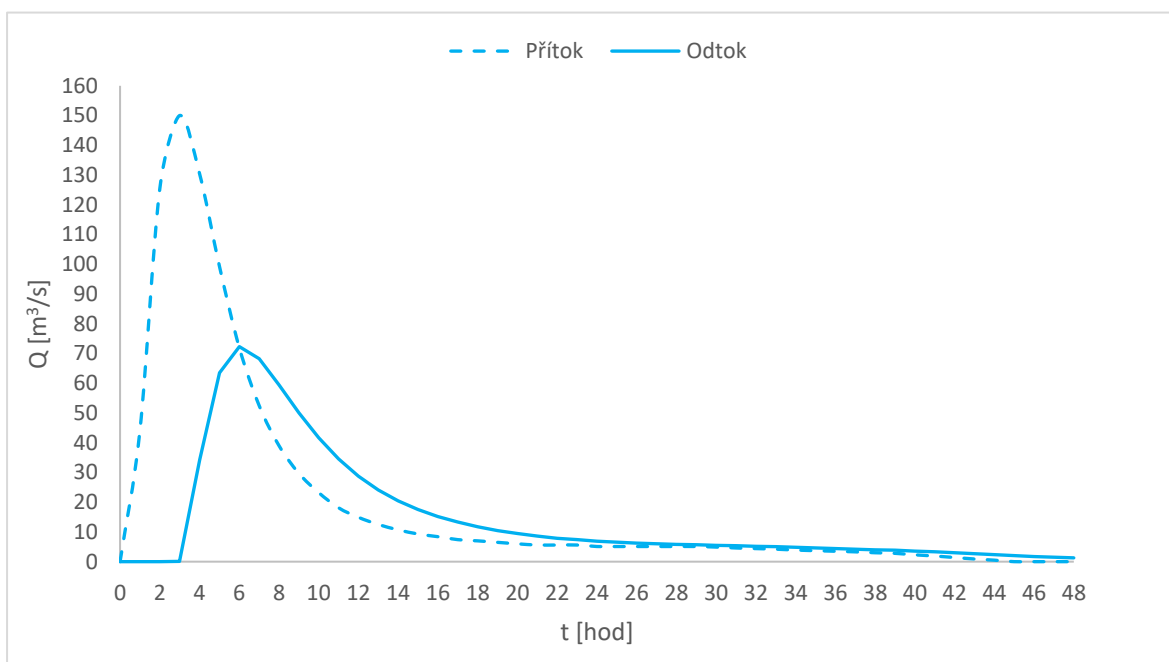


Graf č. 22: Transformace PV_{1000} – 2x spodní výpust

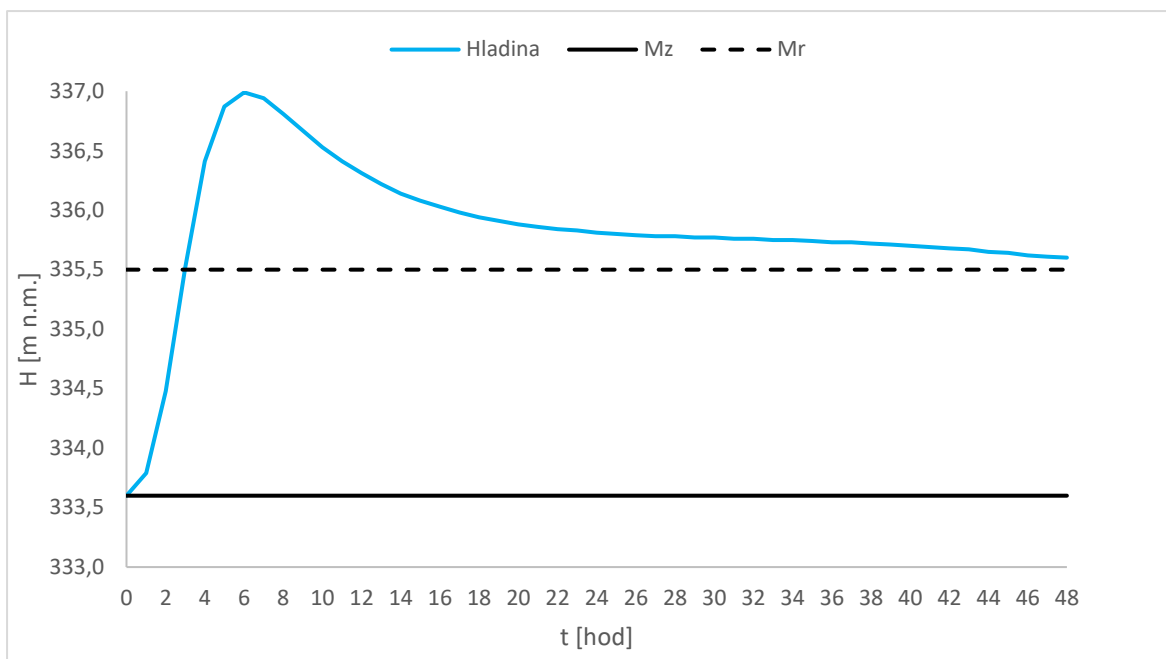


Graf č. 23: Průběh hladiny v nádrži při PV_{1000} – 2x spodní výpust

Maximální odtok z nádrže, kdy byly obě spodní výpusti otevřené, činil $O = 16,50 \text{ m}^3/\text{s}$. Neškodný odtok byl překročen o $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Hladina vody v nádrži dosáhla nadmořské výšky $335,73 \text{ m n.m.}$ Těto nadmořské výšce odpovídal maximální objem $V_{MAX} = 6\,958\,800 \text{ m}^3$.

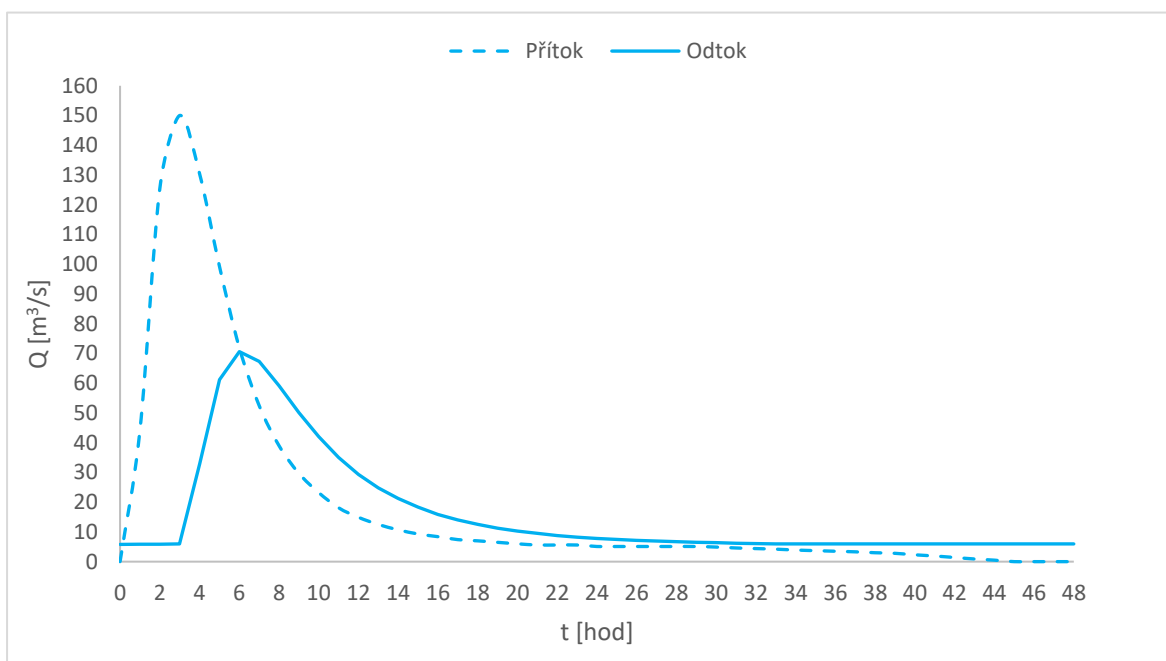


Graf č. 24: Transformace $PV_{10\,000}$ – uzavřené spodní výpusti

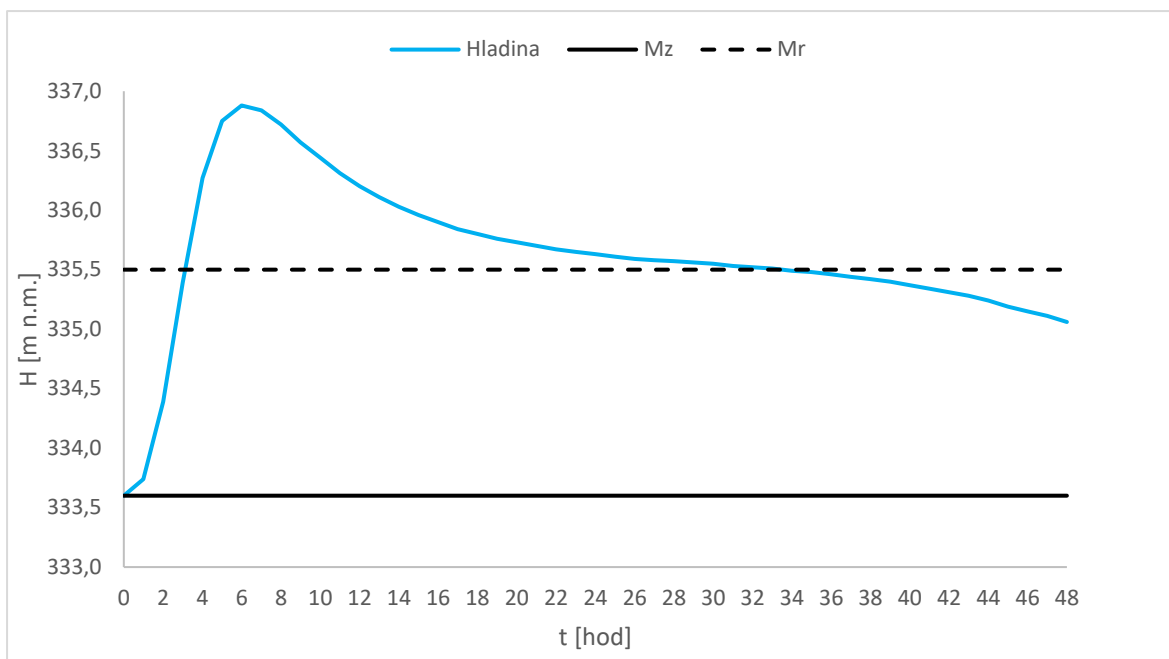


Graf č. 25: Průběh hladiny v nádrži při $PV_{10\,000}$ – uzavřené spodní výpusti

Z grafu č. 24 je patrné, že maximální odtok z nádrže činil $O = 72,3 \text{ m}^3/\text{s}$ čímž byl překročen neškodný odtok o více než $60 \text{ m}^3/\text{s}$. Vodní hladina vystoupala do úrovně $336,99 \text{ m n.m.}$ a objem při této hladině činil $7\,600\,000 \text{ m}^3$.

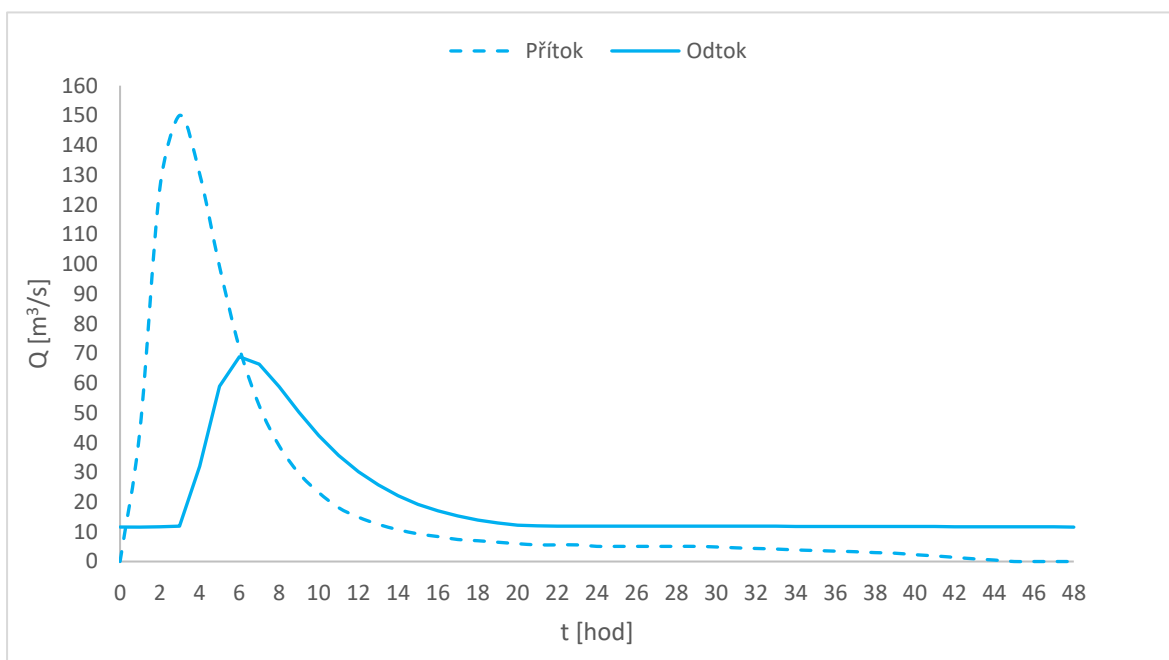


Graf č. 26: Transformace $PV_{10\,000}$ – 1x spodní výpust

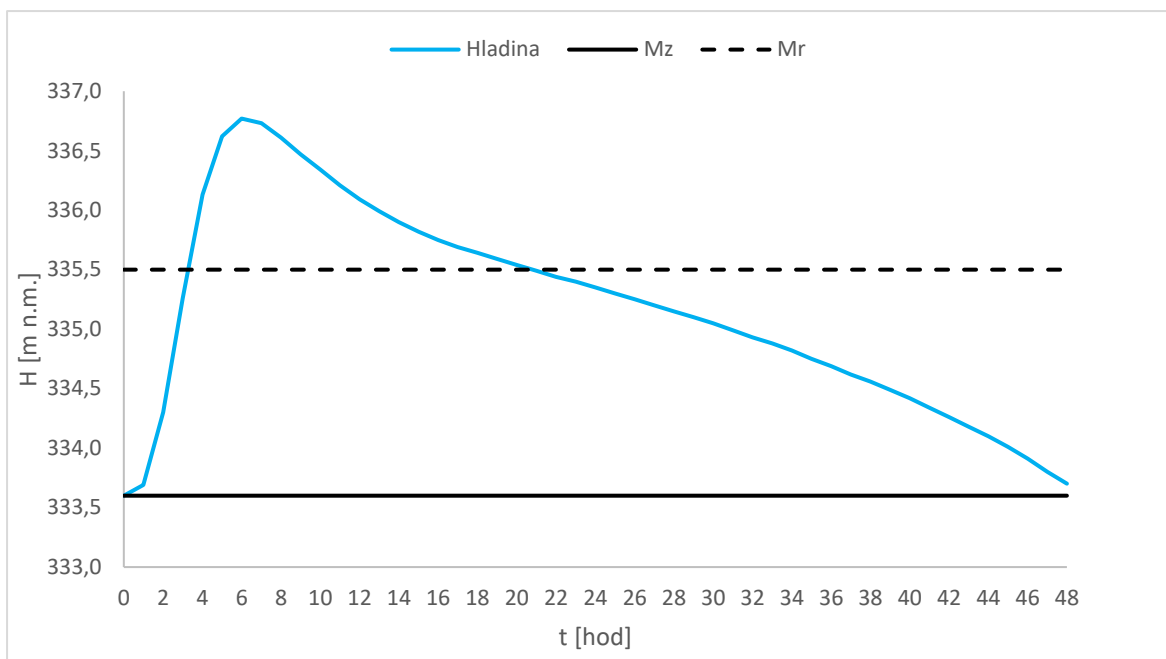


Graf č. 27: Průběh hladiny při $PV_{10\,000}$ – 1x spodní výpust

V této variantě byl odtok z nádrže složený z kombinace odtoku přes bezpečnostní přeliv a jedné spodní výpusti. Maximální odtok dosáhl hodnoty $O = 70,61 \text{ m}^3/\text{s}$. Stejně jako u předešlé varianty byl překročen neškodný odtok z nádrže. Voda v nádrži vystoupala do nadmořské výšky 336,88 m n.m. Maximální objem nádrže činil $V_{MAX} = 7\,543\,600 \text{ m}^3$.



Graf č. 28: Transformace $PV_{10\,000}$ – 2x spodní výpust

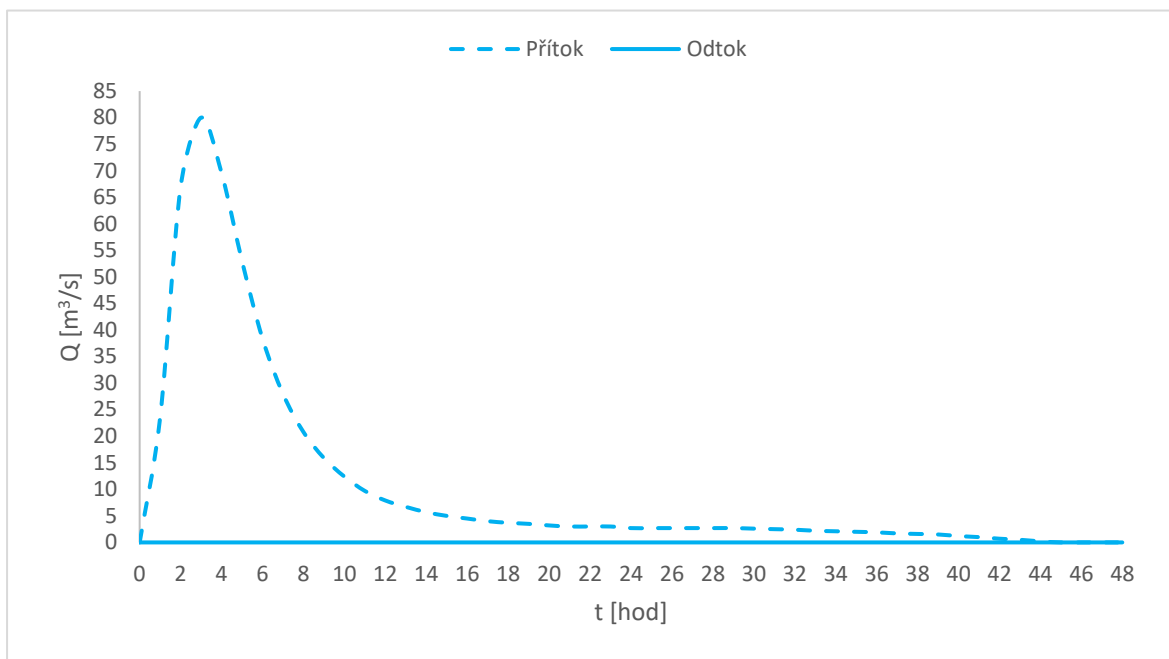


Graf č. 29: Průběh hladiny v nádrži při $PV_{10\,000}$ – 2x spodní výpust

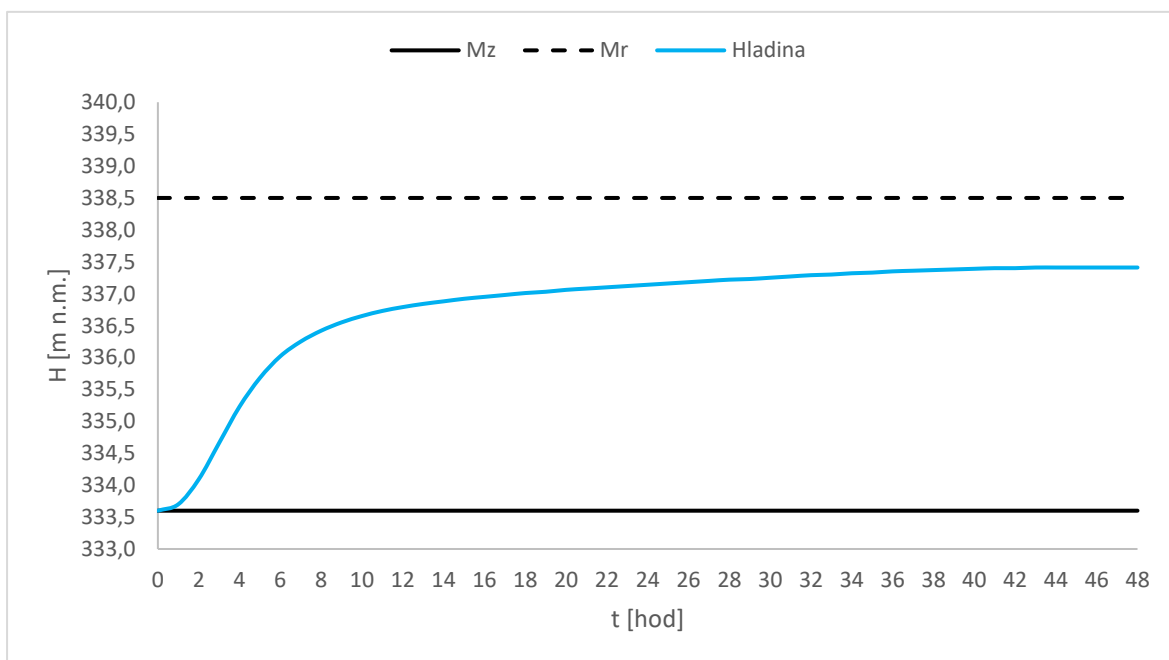
Z grafu č. 28 můžeme vyčíst, že maximální odtok z nádrže je $O = 68,84 \text{ m}^3/\text{s}$. Hladina při této transformaci vystoupala do nadmořské výšky 336,77 m n.m. a této hladině odpovídá objem $7\,844\,000 \text{ m}^3$.

4.5.7 Ochranná funkce nádrže varianta č. 2

Ochranný prostor nádrže byl v této variantě výpočtu navrhován tak, aby transformace povodňové vlny byla co největší a odtok z nádrže nepřesáhl neškodný odtok. Zároveň bylo zohledněno zaplavené území při maximální hladině. Maximální hladina zásobního prostoru zůstala ve stejné výšce jako v předchozí variantě tedy 333,6 m n.m. Hladina retenčního prostoru ovladatelného neboli koruna bezpečnostního přelivu byla umístěna do nadmořské výšky 338,5 m n.m. Koruna bezpečnostního přelivu bude oproti první variantě o 3 metry výše čímž vznikne retenční prostor neovladatelný o výšce 4,9 m. Z předchozí varianty je zřejmé, že kulminační průtok PV_{100} nádrž dokáže zadržet celý objem této povodně. V grafu č. 30 a 31 je znázorněna transformace PV_{1000} , kdy byly obě spodní výpustě zavřené. Z těchto grafů vyplývá, že nádrž je schopná zadržet celý objem této povodňové vlny.

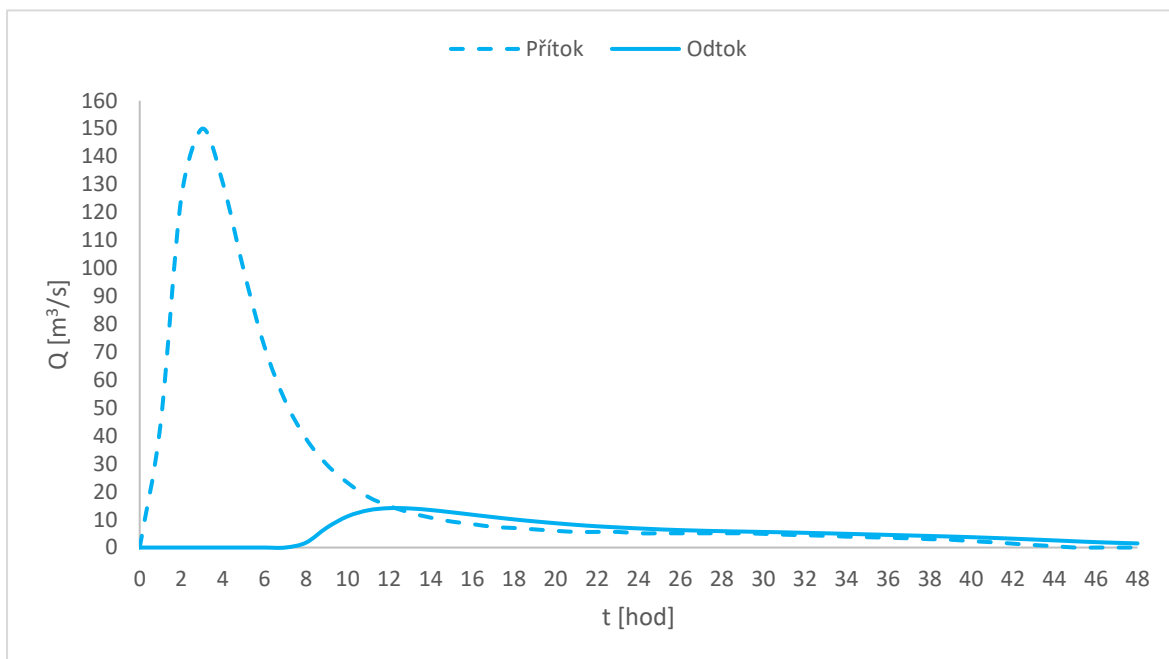


Graf č. 31: Transformace PV_{1000} – uzavřené obě spodní výpusti

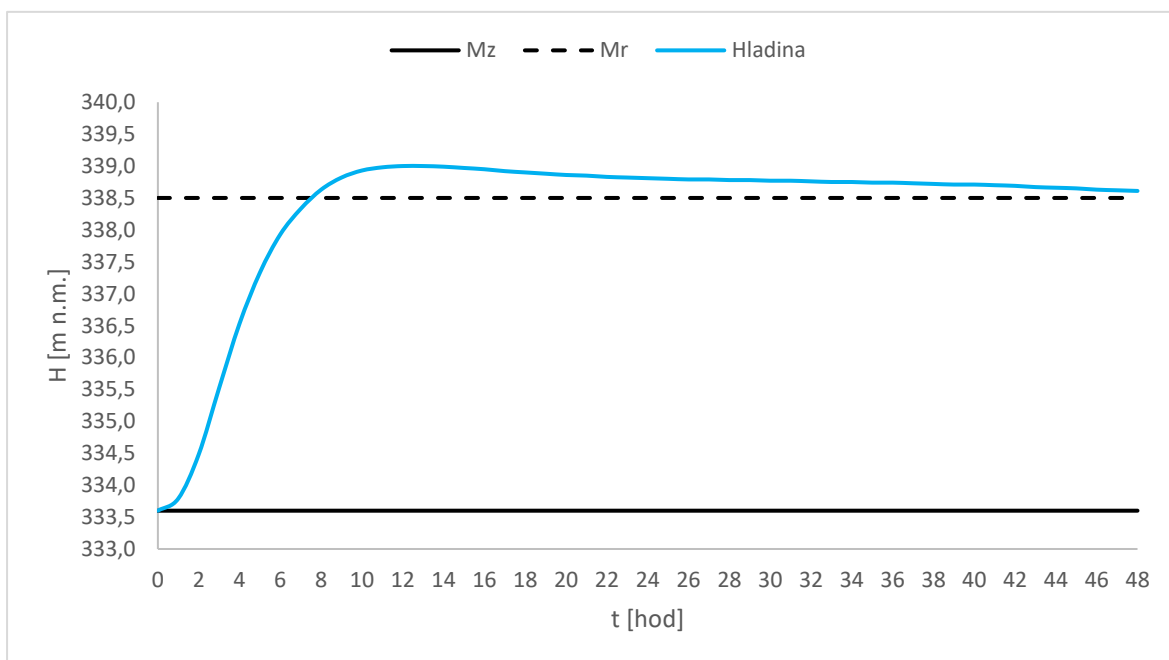


Graf č. 30: Průběh hladiny v nádrži při PV_{1000} – uzavřené obě výpusti

V této variantě simulace tedy nedošlo k přepadu vody přes bezpečnostní přeliv. Voda v nádrži vystoupala do nadmořské výšky 337,41 m n.m. a objem při této hladině činil 7 816 000 m^3 . Dále v práci bude řešena pouze transformace povodňové vlny $PV_{10\ 000}$.

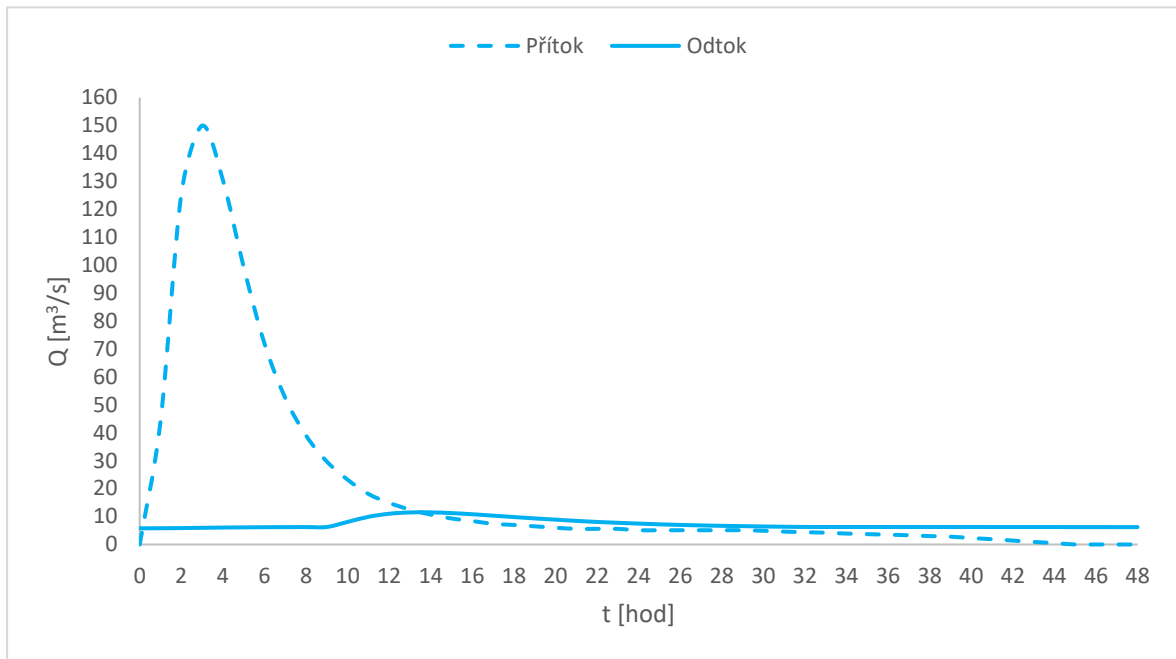


Graf č. 32: Transformace $PV_{10\,000}$ – uzavřené spodní výpusti

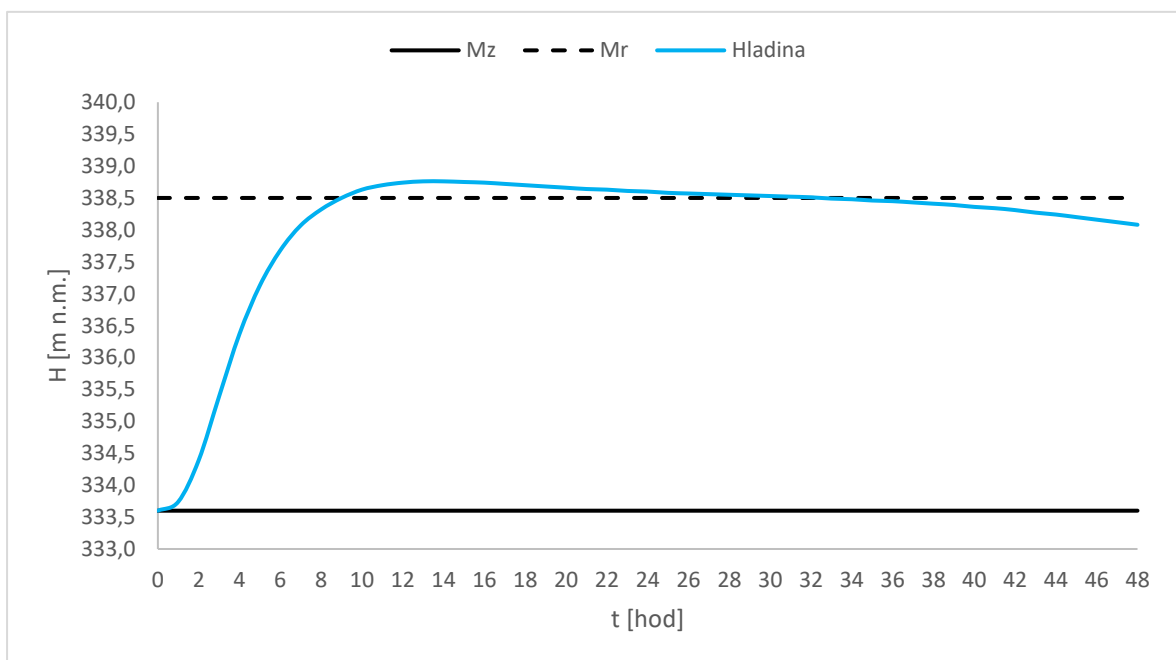


Graf č. 33: Průběh hladiny v nádrži při $PV_{10\,000}$ – uzavřené spodní výpusti

Když byly spodní výpusti uzavřené odtok z nádrže dosáhl maximální hodnoty $Q = 14,11 \text{ m}^3/\text{s}$. Voda v nádrži vystoupala do 339,0 m n.m. čemuž odpovídal objem $8\,678\,000 \text{ m}^3$. Neškodný odtok byl v tomto případě překročen o $2,11 \text{ m}^3/\text{s}$.

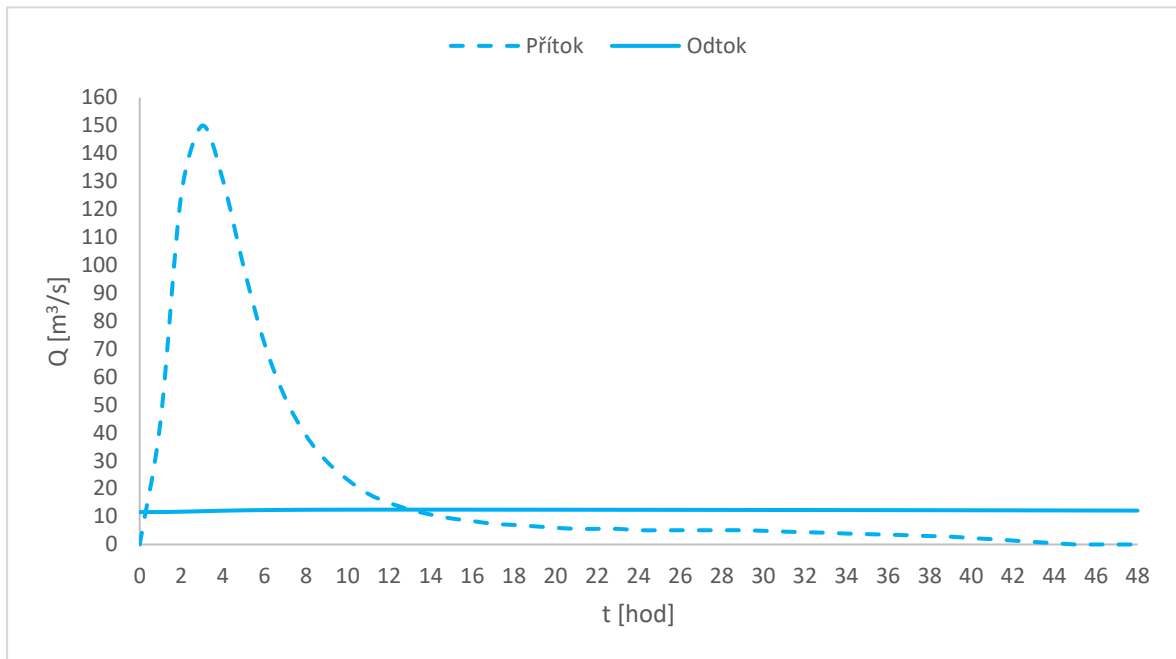


Graf č. 34: Transformace PV_{10 000} – 1x spodní výpust

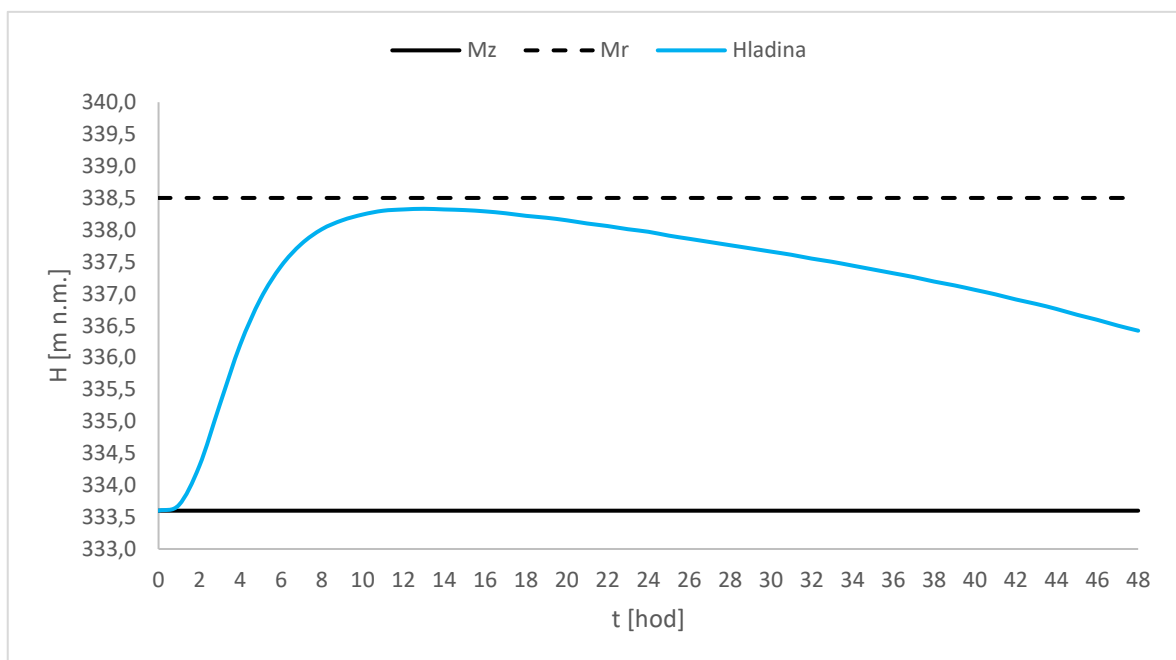


Graf č. 35: Průběh hladiny v nádrži při PV_{10 000} – 1x spodní výpust

V případě, kdy byla jedna spodní výpust v simulaci otevřená byl maximální odtok z nádrže $O = 11,5 \text{ m}^3/\text{s}$. V tomto případě nedošlo o překročení neškodného odtoku. Voda vystoupala do nadmořské výšky 388,76 m n.m. a objem vody v nádrži činil 8 542 000 m³.



Graf č. 36: Transformace $PV_{10\,000}$ – 2x spodní výpust



Graf č. 37: Průběh hladiny v nádrži při $PV_{10\,000}$ – 2x spodní výpust

V případě, kdy byly otevřené obě spodní výpusti nedošlo k naplnění retenčního prostoru ovladatelného V_{RO} . Maximální odtok z nádrže dosáhl hodnoty $O = 12,48 \text{ m}^3/\text{s}$ z čehož vyplývá, že neškodný odtok byl překročen o $0,48 \text{ m}^3/\text{s}$. Hladina vody v nádrži dosáhla do úrovně $338,33 \text{ m n.m.}$ a objem činil $8\,303\,000 \text{ m}^3$.

4.5.8 Srovnání variant

Při návrhu první varianty byla zohledněna potenciální zátoka 7,3 mil. m³, která je uvedena v dokumentu LAPV 2011. Koruna hráze byla umístěna na do výšky 337 m n.m., koruna bezpečnostního přelivu do výšky 335,5 m n.m. V druhé variantě byla hráz navržena tak, aby transformační účinek nádrže byl co největší. Z hlediska transformace bylo v druhé variantě dosaženo lepších výsledků než v prvním případě. Odtoky z nádrže jen nepatrně přesáhly hodnotu stanoveného neškodného odtoku při transformaci povodňové vlny $PV_{10\,000}$. Z hlediska ekonomického se zdá výhodnější varianta č. 1. Hráz je nižší o tři metry, tím pádem i méně nákladnější a zátoka je menší o cca 40 000 m².

Tab. č. 10: Základní informace jednotlivých variant

	Varianta č.1	Varianta č.2
Mz [m n.m.]	333,6	333,6
Mr [m n.m.]	335,5	338,5
M _{MAX} [m n.m.]	336,9	339,0
Koruna [m n.m.]	337,0	340,0
P _{MAX} [m ²]	515800	555900

Tab. č. 11: Výsledky transformace při $PV_{10\,000}$

	Varianta č. 1			Varianta č. 2		
	0xSV	1xSV	2xSV	0xSV	1xSV	2xSV
O [m ³ /s]	72,30	70,61	68,84	14,11	11,50	12,48
H [m n.m.]	336,99	336,88	336,77	339,00	338,76	338,33



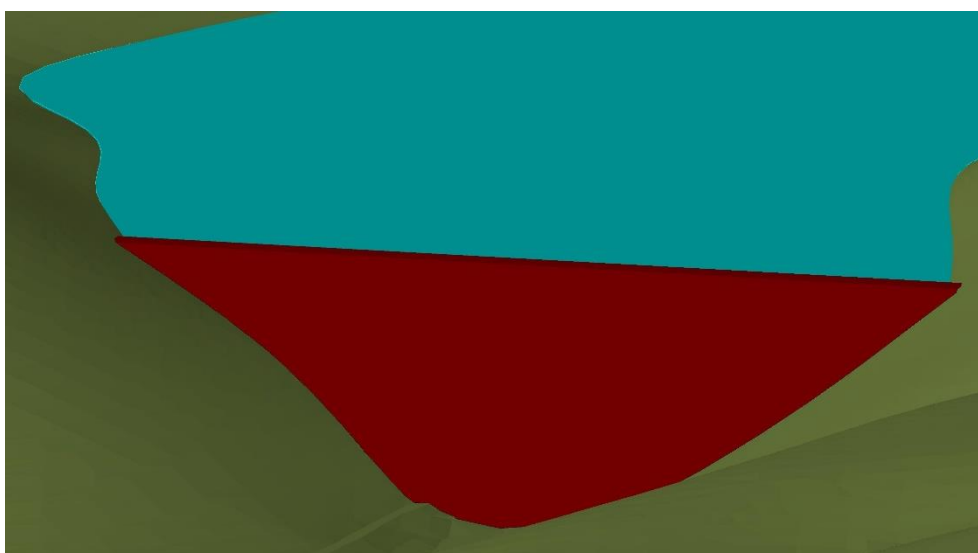
Obr. č. 27: Zatopená plocha při maximální hladině 337,0 m n.m. (mapový podklad ČÚZK)



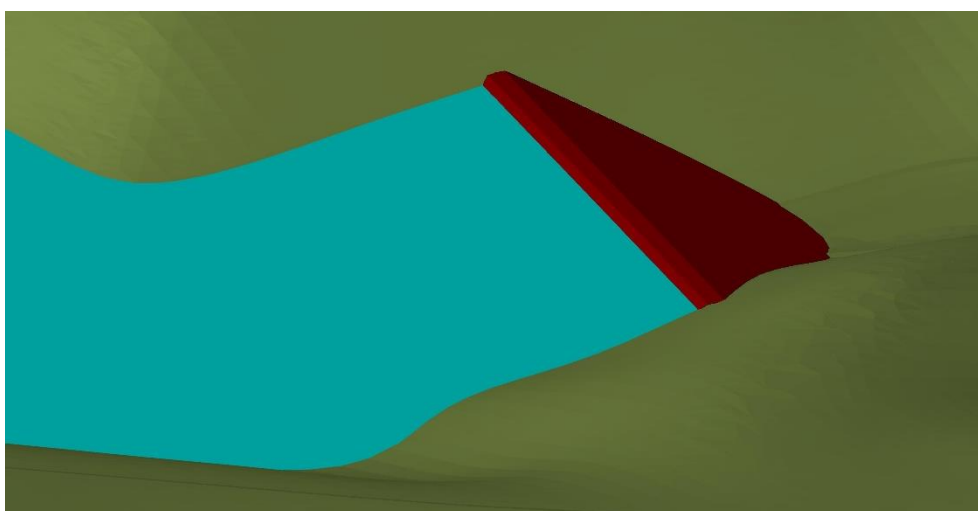
Obr. č. 28: Zatopená plocha při maximální hladině 339,0 m n.m. (mapový podklad ČÚZK)



Obr. č. 29: Ukázka 3D modelu hráze a zátopy



Obr. č. 30: Ukázka 3D modelu hráze - západní pohled



Obr. č. 31: Ukázka 3D modelu hráze – Severovýchodní pohled

5 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vypracování vodohospodářského řešení ochranné funkce nádrže Rychtářov na vodním toku Velká Haná. V první části této práce jsou popsány použité metody, které byly pro tvorbu práce nezbytné.

V další části diplomové práce byl sestaven hydrologický model řešeného povodí, který byl následně zatížen návrhovou srážkou. Hydrologický model byl řešen v programu HEC-HMS. Výsledkem tohoto hydrologického modelování byla řada kulminačních průtoků s dobou opakování N2 až N100. Z této řady kulminačních průtoků byly následně pomocí extrapolace odvozeny kulminační průtoky s dobou opakování $N = 1000$ a $N = 10\,000$. Pro řešení ochranné funkce nádrže byly využity pouze povodňové vlny PV_{100} , PV_{1000} a $PV_{10\,000}$.

Závěrečná část této práce se zabývá samotným řešením ochranné funkce nádrže. V prvotní fázi této části byly navrženy parametry spodních výpustí a bezpečnostního přelivu. Spodní výpusti byly dimenzovány jako dvě stejné potrubí DN 600. Bezpečnostní přeliv byl navržen, tak aby byl schopen převést $Q_{1000} = 80 \text{ m}^3/\text{s}$. Účinná šířka byla stanovena $b_0 = 36,2 \text{ m}$.

Transformace jednotlivých povodňových vln byla provedena také v programu HEC-HMS. Ochranná funkce nádrže byla provedena pro dvě varianty. Varianta č. 1 byla navržena podle dokumentu LAPV z roku 2011, kde je stanoven potencionální objem nádrže $7,3 \text{ mil. m}^3$. Z tohoto objemu byla odvozena maximální hladina nádrže 337 m n.m. Druhá varianta byla navržena, tak aby transformační účinek nádrže byl co nejvyšší. Maximální hladina u této varianty byla stanovena do výšky 339 m n.m. V obou variantách byly sestaveny tři různé simulace. V první simulaci byly uzavřené obě spodní výpustě, ve druhé variantě byla otevřená pouze jedna spodní výpust' a v třetí variantě byly obě spodní výpustě otevřené. Z dosažených výsledků vyšla z pohledu transformace povodňové vlny lépe varianta č. 2. Z hlediska ekonomického se jeví jako lepší varianta č. 1. Hráz v této variantě je nižší o tři metry a zátopa je menší o cca $40\,000 \text{ m}^2$.

6 Literatura

1. **Hanel, Martin, a další.** *Odhad dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a možná adaptační opatření.* [Online] Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka v.v.i., 2011. https://www.vuv.cz/files/pdf/edicni_cinnost/publikace/hanel_odhad-dopadu_klimaticke_zmeny.pdf.
2. *Klimatická změna. Hydrologie.* [Online] Ústav výzkumu globální změny AV ČR v.v.i. <http://www.klimatickazmena.cz/cs/adaptace/hydrologie/>.
3. **Peláková, Martina, Boersema, Matthijs a Kašpárek, Ladislav.** *Odhad objemu potřebného pro kompenzaci poklesu odtoku vlivem klimatické změny.* [Online] Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka v.v.i., 2005. http://eagri.cz/public/web/file/37101/VUV_klim_zmen_1_.pdf.
4. **Bohuslava Kulasová, Petr Šercl, Miloň Boháč.** *Metodická příručka pro výběr a aplikaci vhodné metody odvození hydrologických podkladů za účelem posouzení bezpečnosti vodních děl.* Praha : Český hydrometeorologický ústav, 2004.
5. **Vlasák, Karel.** *Citlivostní analýza vstupních parametrů modelu HEC-HMS.* Diplomová práce. Praha : ČVUT v Praze, 2018.
6. **Kavka, Petr, Müller, Miloslav a kolektiv.** *Krátkodobé srážky pro hydrologické modelování a navrhování drobných vodohospodářských staveb v krajině.* Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2018.
7. **Janeček, Miloslav a kol.** *Ochrana zemědělské půdy před erozí.* Praha : Česká zemědělská univerzita Praha, 2012.
8. **Starý, Miloš.** *Nádrže a vodohospodářské soustavy. Metodický návod do cvičení.* Brno : Vysoké učení technické v Brně.
9. **Říha, Jaromír.** *Hydrotechnické stavby II. Přehradý.* Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2006.
10. *Velká Haná, Vodní dílo Rychtářov. Technicko - ekonomická studie.* 2015.
11. *Vyškov. Wikipedie.* [Online] [Citace: 14. Říjen 2018.] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Vy%C5%A1kov>.
12. *Vojenský újezd Březina. Wikipedie.* [Online] [Citace: 14. Listopad 2018.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Vojensk%C3%BD_%C3%BAjezd_B%C5%99ezina.
13. **Uhmannová, Hana a Smelík, Lukáš.** *Fotografický katalog drsností.* [Online] <http://www.utok.cz/sites/default/files/data/USERS/u24/Drsnost%20koryt.pdf>.
14. **Scharffenberg, W.** *Hydrologic Modeling System HEC-HMS.* [autor knihy] US Army Corps of Engineers. *User's Manual.* 2016.

15. *Rain FSv ČVUT v Praze*. [Online] [Citace: 13. Listopad 2018.] <http://rain.fsv.cvut.cz/>.
16. *Navrhování přehrad - Hlavní parametry a vybavení*. ČSN 75 2340. 2017.
17. *Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních*. ČSN 75 2935.
18. *VD Opatovice. Povodí Moravy, s.p.* [Online] [Citace: 13. Listopad 2018.] <http://www.pmo.cz/cz/o-podniku/vodni-dila/opatovice/>.
19. *Evidenční list hlásného profilu č. 336*. [Online] [Citace: 20. Listopad 2018.] http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307146.
20. *Vyškov - povodňový plán města. Elektronický digitální povodňový plán*. [Online] [Citace: 15. Listopad 2018.] <https://www.edpp.cz/online-povodnova-mapa-cr/vyskov/>.

7 Seznam použitých zkratek

ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální,
USA	United States of America,
LAPV	generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území,
MS	Microsoft,
PV	povodňová vlna,
Q	průtok [m^3/s],
O	odtok vody z nádrže [m^3/s],
O_{NE}	neškodný odtok [m^3/s],
v	rychlost [m/s],
V	objem [m^3],
V_{RN}	retenční prosto neovladatelný [m^3],
V_{RO}	retenční prostor ovladatelný [m^3],
S	plocha [m^2],
DN	jmenovitý vnitřní průměr potrubí [mm],
SV	spodní výpust,
T	čas [hod],
b_0	účinná šířka bezpečnostního přelivu [m],
h_0	přepadová výška bezpečnostního přelivu [m],
M_M	hladina mrtvého prostoru [m n.m.],
M_Z	hladina zásobního prostoru [m n.m.],
M_R	hladina retenčního prostoru [m n.m.],
S	maximální retence povodí [palce],
I_A	odhad počáteční ztráty povodí,
T_C	doba koncentrace v povodí [hod],
T_{LAG}	časový posun v hodinách mezi výskytem maxima příčinné srážky a výskytem kulminačního průtoku v uzávěrovém profilu [hod]

8 Seznam příložených tabulek

Tab. č. 1: Ukázka výpočtu dimenzování spodních výpustí	10
Tab. č. 2: Plocha jednotlivých povodí IV. řádu	14
Tab. č. 3: Hodnoty CN čísel jednotlivých půdních pokryvů hydrologické skupiny B [4]..	16
Tab. č. 4: Parametry povodí 4-12-02-0010	17
Tab. č. 5: Parametry povodí 4-12-02-0020	18
Tab. č. 6: Parametry povodí 4-12-02-0030	18
Tab. č. 7: Kulminační průtoky a celkové objemy jednotlivých povodňových vln.....	26
Tab. č. 8: Výpočet dimenzování spodních výpustí.....	30
Tab. č. 9: N-leté průtoky Haná (hlásný profil Vyškov) [19]	32
Tab. č. 10: Základní informace jednotlivých variant.....	48
Tab. č. 11: Výsledky transformace při $PV_{10\ 000}$	48

9 Seznam příložených obrázků

Obr. č. 1: Řešená oblast (mapový podklad ČÚZK).....	1
Obr. č. 2: Semi-distribučovaný model.....	4
Obr. č. 3: Rozložení 6h srážek na základě nadmořské výšky a doby opakování [6]	6
Obr. č. 4: Hodnoty CN čísel [4]	7
Obr. č. 5: Schéma retenčního prostoru ovladatelného a neovladatelného.....	9
Obr. č. 6: Řízení povodňového odtoku pomocí retenčního prostoru ovladatelného	11
Obr. č. 7: Řízení povodňového odtoku pomocí retenčního prostoru neovladatelného	12
Obr. č. 8: Strategie řízení pomocí kombinace retenčního prostoru ovladatelného V_{RO} a neovladatelného V_{RN}	12
Obr. č. 9: Vojenský újezd Březina (mapový podklad ČÚZK)	13
Obr. č. 10: Povodí Velké Hané.....	14
Obr. č. 11: Podrobné rozdělení řešeného povodí	15
Obr. č. 12: Druhy půdních pokryvů v povodí.....	16
Obr. č. 13: Hodnoty CN čísel jednotlivých dílčích povodí	17
Obr. č. 14: Hanice.....	19
Obr. č. 15: Pramen Velké Hané (Drahany)	19
Obr. č. 16: Velká Haná (údolí Velké Hané)	20
Obr. č. 17: Soutok Malé a Velké Hané (Dědice).....	20
Obr. č. 18: Hydrologický model v programu HEC-HMS [14].....	21
Obr. č. 19: Ukázka webové aplikace [15]	22
Obr. č. 20: Hodnoty maximálních srážkových úhrnů (mm) na jednotlivé povodí IV. řádu s určitou dobou opakování.....	25
Obr. č. 21: Tabulka kategorií vodního díla z hlediska TBD [16].....	27
Obr. č. 22: Tabulka kategorií podle pravděpodobné škody při hypotetické havárii vodního díla [17]	27
Obr. č. 23: Schéma umístění spodních výpustí a mrtvého prostoru	30
Obr. č. 24: Potenciální záplava území při kulminačním průtoku s dobou opakování $N = 100$ [20]	32
Obr. č. 25: Potenciální záplava území při kulminačním průtoku s dobou opakování $N = 20$ [20]	33
Obr. č. 26: Potenciální záplava území při kulminačním průtoku s dobou opakování $N = 5$ [20]	33
Obr. č. 27: Zatopená plocha při maximální hladině 337,0 m n.m. (mapový podklad ČÚZK)	49
Obr. č. 28: Zatopená plocha při maximální hladině 339,0 m n.m. (mapový podklad ČÚZK)	50
Obr. č. 29: Ukázka 3D modelu hráze a zátopy.....	51
Obr. č. 30: Ukázka 3D modelu hráze - západní pohled.....	51
Obr. č. 31: Ukázka 3D modelu hráze – Severovýchodní pohled	51

10 Seznam příložených grafů

Graf č. 1: Tvary hyetogramů A-F.....	5
Graf č. 2: Procentuální zastoupení jednotlivých hyetogramů návrhové srážky N2	23
Graf č. 3: Procentuální zastoupení jednotlivých hyetogramů návrhové srážky N5	23
Graf č. 4: Procentuální zastoupení jednotlivých hyetogramů návrhové srážky N10	23
Graf č. 5: Procentuální zastoupení jednotlivých hyetogramů návrhové srážky N20	24
Graf č. 6: Procentuální zastoupení jednotlivých hyetogramů návrhové srážky N50	24
Graf č. 7: Procentuální zastoupení jednotlivých hyetogramů návrhové srážky N100	24
Graf č. 8: Výsledné hydrogramy	26
Graf č. 9: Extrapolace povodňových vln N1000 a N10000	28
Graf č. 10: Hydrogram PV ₁₀₀ , PV ₁₀₀₀ a PV _{10 000}	29
Graf č. 11: Konzumní křivka bezpečnostního přelivu.....	31
Graf č. 12: Transformace PV ₁₀₀ – uzavřené spodní výpusti.....	34
Graf č. 13: Průběh hladiny v nádrži při PV ₁₀₀ – uzavřené spodní výpusti	35
Graf č. 14: Transformace PV ₁₀₀ – 1x spodní výpust	35
Graf č. 15: Průběh hladiny v nádrži při PV ₁₀₀ – 1x spodní výpust.....	36
Graf č. 16: Transformace PV ₁₀₀ – 2x spodní výpust	36
Graf č. 17: Průběh hladiny v nádrži při PV ₁₀₀ – 2x spodní výpust.....	37
Graf č. 18: Transformace PV ₁₀₀₀ – uzavřené spodní výpusti	37
Graf č. 19: Průběh hladiny v nádrži při PV ₁₀₀₀ – uzavřené spodní výpusti	38
Graf č. 20: Transformace PV ₁₀₀₀ – 1x spodní výpust	38
Graf č. 21: Průběh hladiny při PV ₁₀₀₀ – 1x spodní výpust	39
Graf č. 22: Transformace PV ₁₀₀₀ – 2x spodní výpust.....	39
Graf č. 23: Průběh hladiny v nádrži při PV ₁₀₀₀ – 2x spodní výpust	40
Graf č. 24: Transformace PV _{10 000} – uzavřené spodní výpusti.....	40
Graf č. 25: Průběh hladiny v nádrži při PV _{10 000} – uzavřené spodní výpusti.....	41
Graf č. 26: Transformace PV _{10 000} – 1x spodní výpust	41
Graf č. 27: Průběh hladiny při PV _{10 000} – 1x spodní výpust.....	42
Graf č. 28: Transformace PV _{10 000} – 2x spodní výpust	42
Graf č. 29: Průběh hladiny v nádrži při PV _{10 000} – 2x spodní výpust.....	43
Graf č. 30: Průběh hladiny v nádrži při PV ₁₀₀₀ – uzavřené obě výpusti.....	44
Graf č. 31: Transformace PV ₁₀₀₀ – uzavřené obě spodní výpusti.....	44
Graf č. 32: Transformace PV _{10 000} – uzavřené spodní výpusti.....	45
Graf č. 33: Průběh hladiny v nádrži při PV _{10 000} – uzavřené spodní výpusti	45
Graf č. 34: Transformace PV _{10 000} – 1x spodní výpust	46
Graf č. 35: Průběh hladiny v nádrži při PV _{10 000} – 1x spodní výpust.....	46
Graf č. 36: Transformace PV _{10 000} – 2x spodní výpust	47
Graf č. 37: Průběh hladiny v nádrži při PV _{10 000} – 2x spodní výpust.....	47