



Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra krajinného managementu

Diplomová práce

Simulace vlivu potenciálně vybudované vodní nádrže na odtok
vody z vybraného povodí

Autor práce: Bc. Štěpán Hořejší

Vedoucí práce: Ing. Václav Bystřický, Ph.D.

České Budějovice
2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

.....
Podpis

Abstrakt

Tato diplomová práce skládající se z rešeršní a z praktické části je zaměřena na jednu z důležitých funkcí vodních nádrží - retenci vody. Cílem diplomové práce je ve zvoleném povodí provést pomocí hydrologického modelu HEC-HMS simulaci vlivu vybudované vodní nádrže na odtok vody z povodí a tedy ukázat, jak jsou vodní nádrže schopny ovlivnit hydrogram při srážko-odtokových událostech. V rešeršní části práce jsou definovány vodní nádrže a jejich dělení. Následně jsou popsány, jak srážky a odtok, tak samotný srážko-odtokový proces. V závěru rešeršní části jsou popsány jednotlivé hydrologické modely, blíže je pak specifikován hydrologický model HEC-HMS. Praktická část se skládá z popisu povodí a popisu vybudované vodní nádrže. Dále následuje popis použité metody, včetně nutných výpočtů pro hydrologické modelování. Na závěr jsou uvedeny zjištěné výsledky a jejich vyhodnocení.

Klíčová slova: vodní nádrže, srážko-odtokové události, transformace povodňové vlny, hydrologické modelování, HEC-HMS

Abstract

This thesis consists of a literature review and a practical part focused on water retention - one of the crucial functions of water reservoirs. The aim of the thesis is to use the hydrological model HEC-HMS to simulate the impact of the water reservoir on the water runoff from the catchment area in the selected watershed and demonstrate how water reservoirs are able to affect the hydrograph during rainfall-runoff events. In the included literature review, water reservoirs and their classifications are defined. Subsequently, precipitation and runoff, as well as the rainfall-runoff events, are explained. At the end of the literature review, various hydrological models are presented, with a closer description of the HEC-HMS hydrological model. The practical part consists of a description of the catchment area and the constructed water reservoir. This is followed by an analysis of the used method, including the necessary calculations for hydrological modelling. Finally, obtained results are presented and evaluated.

Keywords: water reservoirs, rainfall-runoff events, transformation of the flood wave, hydrologic modelling, HEC-HMS

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval odpovědnému vedoucímu mé diplomové práce Ing. Václavu Bystřickému, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady, které mi pomohly při tvorbě mé diplomové práce.

Obsah

Úvod.....	8
1 Literární rešerše.....	9
1.1 Vodní nádrže	9
1.1.1 Definice vodních nádrží dle zákona 254/2004 Sb. (vodní zákon)	9
1.1.2 Definice vodních nádrží dle ČSN normy	9
1.1.3 Definice vodních děl	9
1.2 Atmosférické srážky	10
1.3 Odtok	11
1.3.1 Celkový odtok	11
1.3.2 Povrchový odtok	12
1.3.3 Podpovrchový odtok	12
1.3.4 Přímý odtok.....	12
1.3.5 Faktory ovlivňující odtok vody z povodí.....	13
1.4 Srážko-odtokové události	15
1.4.1 Průtok	16
1.4.2 Extrémní průtok	16
1.4.3 Kulminační průtok a N-letý průtok	16
1.4.4 Čáry překročení.....	17
1.4.5 Hydrogram	17
1.4.6 Efektivní srážky a jednotkový hydrogram	18
1.5 Vliv vodních nádrží na vodní režim při srážko-odtokových událostech.....	18
1.6 Hydrologické modelování	19
1.6.1 Rozdělení hydrologických modelů	20
1.6.2 Metoda CN křivek.....	21
1.6.3 MIKE-SHE.....	21
1.6.4 HYDROG.....	22

1.6.5	HydroCAD	22
1.6.6	NASIM	23
1.6.7	KINFIL	23
1.6.8	DesQ-MaxQ	23
1.6.9	HEC-HMS	23
2	Materiál	27
2.1	Cíl práce	27
2.2	Popis vybraného povodí	27
2.2.1	Charakteristika lokality	28
2.2.2	Charakteristika povodí	29
2.2.3	Popis vodního toku	33
2.3	Lokalizace a popis MVN	36
2.3.1	Protipovodňové opatření - Poldr	36
3	Metody	45
3.1	Srážková data	46
3.1.1	Interpolace dat	46
3.2	Průměrné hodnoty odtokových křivek CN	47
3.2.1	Výpočet hodnot odtokových křivek CN	47
3.3	Komponenty hydrologického modelu HEC-HMS	48
3.3.1	Basin Model	48
3.3.2	Meteorological Model	53
3.3.3	Control specification	54
3.3.4	Reservoir	55
4	Výsledky	57
4.1	Dvouletá návrhová srážka - N2	60
4.2	Desetiletá návrhová srážka - N10	61
4.3	Dvacetiletá návrhová srážka - N20	62

4.4	Padesátiletá návrhová srážka - N50.....	63
4.5	Stoletá návrhová srážka - N100.....	65
4.6	Zhodnocení	66
5	Diskuse.....	67
	Závěr	68
	Seznam použité literatury.....	69
	Seznam obrázků	77
	Seznam tabulek	79
	Seznam použitých zkratk.....	80

Úvod

Voda je nejrozšířenější látkou na Zemi, je obsažena ve všech živých organismech, ekosystémech a dalších látkách. Je nenahraditelnou surovinou, složkou životního prostředí a čistým obnovitelným zdrojem energie. Vodu bychom měli rozumně používat a uvážene a šetrně s ní hospodařit. V podmínkách České republiky jsou primárním zdrojem vody srážky, což je příčinou velké závislosti na našich vodních zdrojích při případných změnách klimatických podmínek na Zemi. Zároveň je však srážková voda zdrojem kvalitní vody (Satrapa, 2006). Voda však nejenže dobře slouží, ale dokáže také napáchat velké škody při povodních, proto se před ní musíme občas i chránit. K této ochraně lze použít vodní nádrže. Ty jsou neopomenutelným faktorem pro zachycení a zadržení srážek a pro transformaci kulminačních průtoků. To vede ke zmírnění škod při povodních v okolí vodních toků (Konečná et al., 2018).

Cílem této diplomové práce je ve zvoleném povodí provést pomocí hydrologického modelu HEC-HMS simulaci vlivu vybudované vodní nádrže na odtok vody z vybraného povodí. Pro tuto práci bylo zvoleno povodí bezejmenného vodního toku u obce Kamenice v okrese Jihlava. Toto povodí bylo vybráno, protože se zde v minulosti po přivalových deštích několikrát rozvodnil bezejmenný vodní tok a přinesl s sebou do intravilánu obce povodňovou vlnu, která zatopila několik rodinných domů a napáchala další škody na obecním majetku. V roce 2013 byl na tomto vodním toku postaven víceúčelový poldr. Od tohoto roku slouží obci především jakožto ochrana před povodňovými vlnami. Úkolem této práce je také porovnat odtok vody z povodí při různých návrhových přivalových srážkách před výstavbou malé vodní nádrže a po jejím zbudování a zjistit tak, jestli toto protipovodňové opatření splnilo svůj význam.

Téma ochrany před povodněmi je, a i nadále bude důležité, proto bychom se měli zabývat otázkami, jak povodním předcházet a zabraňovat jejich vzniku.

1 Literární rešerše

1.1 Vodní nádrže

Vodní nádrže jsou velmi důležitým prvkem pro zadržení vody v krajině a hospodaření s vodou. Zadržení vody a následné hospodaření s ní funguje na principu transformace časového přítoku do nádrže a následného odtoku z nádrže (Brandt et al., 2017).

1.1.1 Definice vodních nádrží dle zákona 254/2004 Sb. (vodní zákon)

Pojem „vodní nádrž“ není ve vodním zákoně definován, dá se ale definovat pomocí průniku několika definic, které jsou v zákoně č. 245/2001 Sb. definovány. Těmito definicemi jsou „útvary povrchové vody“ a „umělý vodní útvar“. Při použití těchto definic by se do termínu vodní nádrže počítaly nádrže na vodních tocích, různá vodní díla, ale i přírodní jezera. Ve vodním zákoně je vysvětlen pojem „vodní dílo“. Pokud tento pojem použijeme pro popis vodních nádrží, tak je můžeme popsat jako přírodní či umělé vodní útvary, jejichž hlavní cíl jest zejména zachycení a následné zadržení vody, umělá regulace odtokového režimu povrchových vod nebo další nakládání s vodami.

1.1.2 Definice vodních nádrží dle ČSN normy

Dle ČSN normy 75 0101 se vodní nádrže dají definovat jako vodní útvar vzniklý akumulací vody v přírodní prohlubni nebo uměle vytvořeném prostoru na zemském povrchu, ve které se zadržuje nebo zpomaluje odtok vody z povodí. Jde tedy o prostor vytvořený vzdouvací stavbou na vodním toku s využitím přírodní nebo umělé prohlubně na zemském povrchu.

1.1.3 Definice vodních děl

Definice termínu „vodní dílo“ je uvedena výše. Pod tento pojem spadají i vodní nádrže, jakožto typ vodního díla. Vodní zákon říká, že vodní díla jsou stavby, které slouží ke vzdouvání a zadržování vod, umělému usměřování odtokového režimu povrchových vod, k ochraně a užívání vod, k nakládání s vodami, ochraně před škodlivými účinky vod, k úpravě vodních poměrů nebo k jiným účelům sledovaným tímto zákonem (Zákon č. 245/2001 Sb.).

Definice malých vodních nádrží

Podle ČSN normy 75 2410 jsou malé vodní nádrže, jejichž objem je po hladinu ovladatelného prostoru neboli normální hladinu menší než 2 mil m³ a zároveň jejich největší hloubka nepřesahuje 9 metrů. Jako normální hladina se definuje hladina v úrovni nejnižší části přelivové hrany bezpečnostního přelivu.

Dělení malých vodních nádrží

Malé vodní nádrže můžeme dělit podle jejich funkce. Většinou mají polyfunkční charakter. Mezi nejdůležitější funkce malých vodních nádrží patří: retenční funkce, ochranná funkce, hospodářská funkce, krajinytvorná a rekreační funkce, asanační a jiné speciální funkce. (Norma ČSN 75 2410)

Hráze vodních nádrží můžeme podle Vrány a Berana (1998) dělit podle polohy hráze na nádrže s čelní hrází nebo s boční hrází. Podle typu hráze se dále malé vodní nádrže dělí na průtočné a neprůtočné. Průtočné nádrže musí být vybaveny bezpečnostním přelivem. Vodní nádrže se dají dělit z hlediska jejich polohy vzhledem k vodnímu toku. Zde rozlišujeme břehové, údolní a boční vodní nádrže. Údolní nádrže jsou umístěné přímo v údolí, zpravidla na vodním toku. Břehové nádrže leží na okraji vodního toku a boční nádrže jsou postaveny mimo vodní tok nebo se nacházejí na jeho okraji.

Velké vodní nádrže

Vodní nádrže, které nesplňují kritéria popsána v normě ČSN 75 2410 označujeme jako větší a velké nádrže a přehrady. Tyto velké vodní nádrže a přehrady mají stejné nebo podobné funkce jako malé vodní nádrže. Nejdůležitější je ochranná a zásobní funkce. Dalšími funkcemi mohou být úpravy vlastností vody, zachycování splavenin, nebo energetická a rekreační funkce (Starý, 1986).

Velké vodní nádrže byly v České republice nejčastěji budovány v 20. století. Za největší rozmach ve stavbě velkých vodních nádrží lze označit 50. léta 20. století. V této době byla také vybudována podstatná část tzv. Vltavské kaskády, což jest soustava velkých vodních nádrží na středním toku Vltavy (Broža, 2009).

1.2 Atmosférické srážky

Ke vzniku meteorologickému jevu, kterým jsou atmosférické srážky je zapotřebí dostatečné množství nasyceného vzduchu a následná kondenzace vodních par na kapky vody nebo na ledové krystaly. Dále je potřeba též neustálý nárůst těchto

podmínek a velké množství vlhkého vzduchu. Při samotném vytváření srážek se ochlazuje teplý vzduch. To se děje několika způsoby. Jsou jimi advekce, radiace nebo smícháním vzduchových hmot s rozdílnou teplotou. Nejúčinnější metoda, kterou se vytváří oblačnost s největší potencionální srážkovou činností, je spojena s vertikálním pohybem vzduchu (Serrano 1997).

Nejčastější možnost vertikálního pohybu vzduchu souvisí s frontálními systémy. Na frontálním rozhraní teplý vzduch stoupá, překročí hranici kondenzace. To je hranice, kde je 100% relativní vlhkost. Nad hranicí kondenzace je již voda ve formě malých kapiček, které kondenzují na kondenzačních jádrech. V tomto čase se začíná uvolňovat kondenzační teplo. Následně se vytvoří oblačnost, a to nejčastěji typu stratus ale i cumulus (Brutsaert, 2005; Davie, 2008). Druhá možnost vzniku vertikálního pohybu vzduchu nastává, pokud je vzduch zahříván zemským povrchem. Vzduch vystoupá přes přirozenou překážku - například hornatý terén. Ve výšce nad hranicí kondenzace se vodní pára přemění na kapičky vody. Oblačnost, která takto vznikne, se nazývá orografická. Srážky v takovém případě častěji dopadají na návětrnou stranu pohoří (Davie 2008). Třetím druhem vzniku srážek je konvekce. Ta závisí na rozložení vertikálního profilu atmosféry. Konvektivní srážky opět souvisí s vertikálním pohybem vzduchu. Ohřátý vzduch má nižší hustotu a stoupá vzhůru. Poté, co dosáhne hranice kondenzace a je zároveň ve stavu nasycení, se vytvoří oblačnost typu cumulus nebo cumulonimbus. Tento typ oblačnosti tvořící se díky konvekci máme spojenou s výraznou srážkovou činností (Řezáčová et al., 2007).

1.3 Odtok

Odtok vody z povrchu země je spojen s výskytem srážek. Při zvýšeném výskytu srážek je nutné počítat se zvýšeným odtokem. Díky různým půdním poměrům a různě pěstované morfologii se na každém místě zemského povrchu vsákne jiné množství vody. Na vsakování vody má ovšem vliv daleko více faktorů (Stašek et al., 2018).

1.3.1 Celkový odtok

Celkový odtok je množství vody, které odteče z povodí za jednotku času. Je to voda, které odteče v řekách, ale i pod povrchem země. Celkový odtok můžeme rozdělit na povrchový a podpovrchový odtok (Hall, 1968).

1.3.2 Povrchový odtok

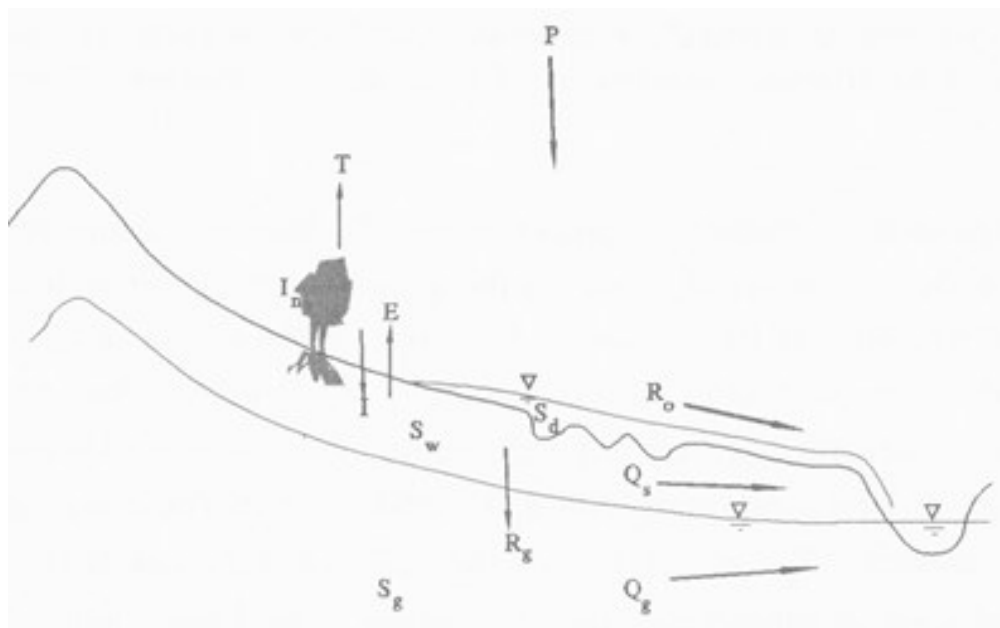
Serrano (1997) uvádí, že povrchový odtok vzniká buď při překročení infiltrační kapacity půdy nebo při dosažení stavu nasycení půdy. Při první možnosti obsah vody v půdě není podstatný. Půda ještě není nasycena. Rozhodujícím faktorem je ale intenzita srážek, která převyšuje rychlost vsaku vody do půdy. Tento odtok nastává častěji během krátkých, ale intenzivních dešťů. V druhém případě je půdní profil zcela zaplněn vodou a voda se nemá kam vsakovat. Tato situace nastává častěji při dlouhotrvajícím dešti o malé nebo střední intenzitě.

1.3.3 Podpovrchový odtok

Podpovrchový odtok se dělí na hypodermický odtok a základní odtok. Hypodermický odtok neboli interflow vzniká pod povrchem a jde o relativně rychlou složku odtoku, která probíhá ve střední vrstvě půdy. Voda z hypodermického odtoku se dostává do vodních ploch pomaleji než povrchovým odtokem (Kříž, 1983). Druhý typ podpovrchového odtoku se nazývá odtok základní. Ten představuje dynamickou složku podzemních vod. Je to vlastně přítok podzemních vod do vodních toků (Hall, 1968). Někdy je označován jako odtok podzemní vody (Kříž, 1983).

1.3.4 Přímý odtok

Přímý odtok se skládá z povrchového a hypodermického odtoku. Vzniká zejména díky dlouhodobější srážkové činnosti nebo při tání sněhu. Jedná se o rychlou složku odtoku (Beven, 2012). Serrano (1997) znázorňuje jednotlivé složky odtoku na následujícím obrázku 1.1.



Obrázek 1.1: Složky odtoku (Serrano, 1997)

P - srážky	R _o - povrchový odtok	S _g - podzemní voda
I - infiltrace	Q _s - podpovrchový odtok	I _n - intercepce
E - evaporace	Q _g - základní odtok	S _w - půdní voda
T - transpirace		

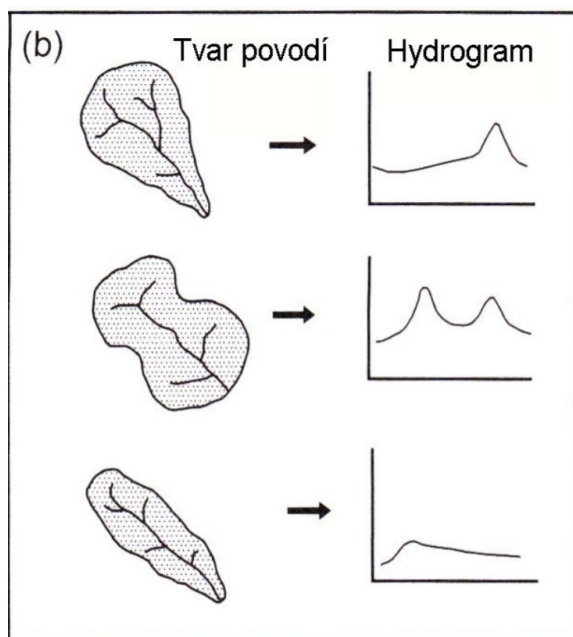
1.3.5 Faktory ovlivňující odtok vody z povodí

Je několik faktorů, které ovlivňují odtok vody z povodí. Tyto faktory se rozdělují na geometrické a geografické (Pavelková Chmelová a Frajer, 2013).

Geometrické faktory

Plocha, tvar a délka povodí

Velikost odtoku většinou roste s plochou povodí, a také se zvětšuje kulminační průtok. Odtok je vždy vztažen k určitému profilu na toku. Jednotlivá povodí od sebe oddělují rozvodnice. Rozvodnice se dělí na orografické a hydrogeologické (Kemel, 2000). Tvar povodí má většinou podobu více či méně symetrického listu. Tento list může být protáhlý, nebo spíše širší (Dub 1963). V širších povodích jsou odtokové dráhy většinou kratší a dochází tak k rychlejšímu odtoku z povodí. Právě u těchto povodí spíše dochází k povodňovým vlnám s velkým kulminačním průtokem. Naopak povodí, která jsou protáhlá mají kulminační vlny nižší (Gordon et al., 2004). Na obrázku 1.2 níže je vyobrazeno, jaký vliv má tvar povodí na velikost a tvar hydrogramu.



Obrázek 1.2: Tvar povodí a jeho vliv na hydrogram (Gordon et al., 2004)

Orografické poměry povodí

Orografické poměry povodí uvádějí jeho výškové a sklonitostní poměry. Dají se popsat pomocí hypsografické křivky. Z orografických charakteristik je nejdůležitější expozice svahů. Pokud strmé svahy nejsou pokryty vhodnou vegetací, stékající voda nabírá značnou rychlost a sílu. Výškové poměry můžeme zjistit terénním průzkumem nebo z map pomocí vrstevnic (Dub, 1963). Sklon povodí ovlivňuje nejen rychlost odtoku, ale také infiltraci vody v povodí. Při větším sklonu povodí obecně platí, že rychlost odtoku je větší a infiltrace je menší (Beven, 2012).

Geografické faktory

Geologické a půdní vlastnosti

Geologické podmínky hrají roli zejména při rozdělení podloží na propustné a nepropustné (Daňhelka, 2007). Propustnost a infiltrační schopnost půdy má přímý vliv na velikost odtoku. Vrstvy propustnější snižují povrchový odtok a zvětšují podpovrchový odtok (Němec, 1965).

Vegetační pokryv

Vegetační pokryv má velký vliv na zachycení vody na povrchu, intercepci, evapotranspiraci i infiltraci. Přítomnost vegetace obecně zvyšuje zadržování vody v krajině. V podstatě jakýkoliv vegetační kryt zabraňuje erozi a z vodohospodářského hlediska je tedy výhodný (Němec, 1965). Stašek et al. (2018) zjistili, že vliv pěstovaných plodin

na povrchový odtok je dán zejména schopností zpozdit začátek nesoustředěného povrchového odtoku a tím tak snížit jeho objem. Jednotlivé rostliny mají největší vliv na povrchový odtok v době, kdy mají největší listovou plochu. Z kulturních plodin na povrchový odtok má vliv pšenice, ječmen, řepka či vojtěška. Tyto plodiny dokáží vlivem intercepce a podporou infiltrace zpozdit vznik povrchového odtoku až o 30 minut, v závislosti na jejich vývojové fázi. Snížení rychlosti odtoku lze dosáhnout i při pokrytí travním porostem. Jsou však porosty, které naopak přispívají k rychlému povrchovému odtoku. Mezi ně patří chmel, vinná réva nebo kukuřice (Daňhelka, 2007).

Lidský faktor

I lidský faktor má vliv na odtokové poměry a celkově na vodní režim krajiny. Je známo, že odlesňování, rozšiřování zemědělství a zejména urbanizace jsou důvody, díky kterým se snižuje míra infiltrace v krajině a současně se přitom zvyšuje povrchový odtok (Serrano, 1997). Činnost člověka v přírodě může působit i příznivě. Úpravami toků se mohou vylepšit odtokové poměry v povodí, stavbami vodních nádrží se zvyšují zásoby vody v krajině. Lidská činnost v krajině se však musí provádět s ohledem na krajinný ráz (Němec, 1965).

Klima a srážky

Srážková činnost má snad největší vliv na odtok. Ovlivňuje jeho sílu i to, jak odtok vypadá. Srážky se odlišují svým množstvím, druhem a časovým rozložením. Vyšší odtok zaručují více sněhové srážky než dešťové. Platí, že krátké, ale vydatné deště (například přivalové deště) prudce zvyšují odtok vody z povodí. Mírné a dlouhotrvající deště utváří dlouhodobý odtok. Odtok vody z povodí však ovlivňuje i teplota vzduchu a teplota půdy. Na jaře se díky zvyšující se intenzitě slunečního záření zvyšuje tání sněhu. Tím se zvyšuje odtok. Na teplotě také závisí výpar. Dalšími důležitými faktory jsou vlhkost a tlak vzduchu nebo směr a síla větru (Němec, 1965).

1.4 Srážko-odtokové události

Beven (2012) uvádí, že vždy existuje vztah mezi srážkou a odtokem. S tímto vztahem většinou pracujeme v rámci jednotlivých dílčích povodí. Díky srážkám vzniká odtok. Ten je nejvíce ovlivňován množstvím srážek, tvarem a velikostí povodí, sklonitostí terénu, geologií povodí nebo vegetačním pokryvem, jak již bylo popsáno výše.

1.4.1 Průtok

Průtok je definován jako objem vody Q , který proteče daným průtočným profilem za jednotku času t (Dub, 1963). Často se udává jako celkové množství vody, které odteče z povodí uzávěrovým profilem za určitý čas. Zjišťování průtoků se však nejčastěji provádí na příčném profilu toku, kde se zjistí objem vody v korytě a následně rychlost proudění vody (Brandt et al., 2017).

1.4.2 Extrémní průtok

Extrémním průtokem se rozumí nejvyšší nebo nejnižší hodnota, která se vyskytla v určitém časovém období. Do extrémních průtoků řadíme minimální a maximální průtoky (Starý, 2005). Minimální průtoky znamenají sucho. To nastává, když je v daném profilu vodního toku průtok dlouhodobě pod normálním stavem. Konkrétně v tomto případě se jedná o hydrologické sucho, které často navazuje na meteorologické sucho. Sledování nízkých průtoků se provádí z důvodu posouzení ekologického stavu toku (Brázdil a Trnka, 2015). Naopak maximální průtoky se označují jako povodně. Povodně nejčastěji vznikají, když množství vody z různých příčin překročí kapacitu koryta toku. Povodně se dělí na dešťové, sněhové, smíšené a ledové. Existuje též zvláštní kategorie povodní, které mají specifickou příčinu vzniku. Tou může být přehrazení koryta vodního toku sesuvem půdy nebo lavinou. Do kategorie zvláštních povodní řadíme také povodně vzniklé ucpáním propustků splaveninami. Posledním druhem zvláštních povodní jsou povodně, které vznikají protržením vodního díla (Brázdil et al., 2005).

1.4.3 Kulminační průtok a N-letý průtok

Nejvyšší vrcholový průtok u průtokové vlny se nazývá kulminační průtok. Lze pomocí něj charakterizovat povodně (Brázdil et al., 2005). Z hodnot kulminačních průtoků jednotlivých povodní se stanovují N-leté (kulminační) průtoky. Při povodních dochází k překročení právě těchto N-letých průtoků. Například při průtoku Q_{50} mluvíme o tzv. padesátileté vodě. Tento průtok je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen jednou za 50 let. Může být však samozřejmě překročen klidně třikrát do roka, ale následně musí být v daném profilu nižší průtoky po dobu 147 let. Kulminační průtoky různých pravděpodobností slouží mimo jiné k projektování vodohospodářských staveb (Starý, 2005).

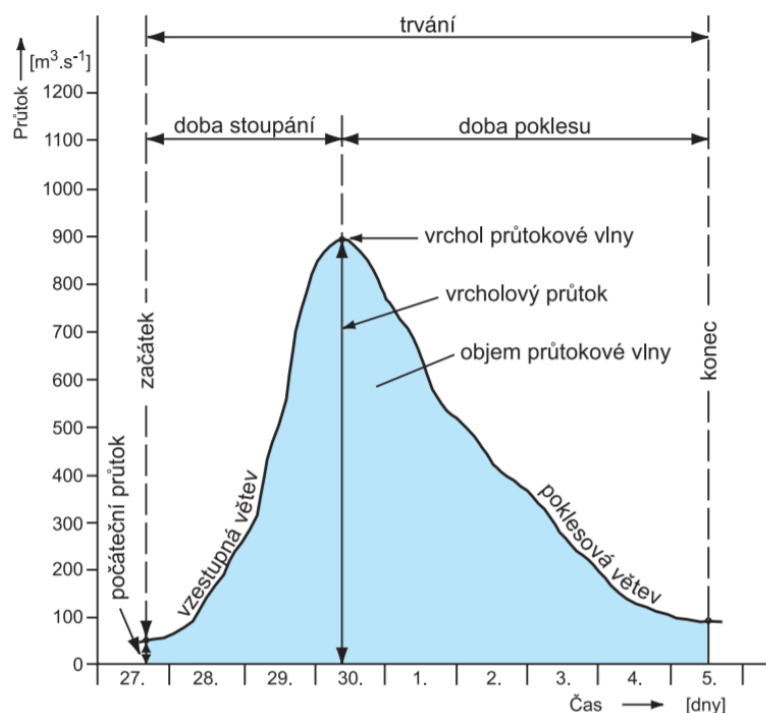
1.4.4 Čáry překročení

V hydrologii se čáry překročení používají k popisu, kolikrát byl překročen nebo alespoň dosažen průměrný roční průtok (Dub, 1963). Průměrný roční průtok se vypočítá z dostatečně dlouhé řady pozorování průměrných ročních průtoků. Díky následnému rozboru čar překročení můžeme lépe projektovat vodohospodářské stavby (Starý, 2005). Čáry překročení se dělí na empirické a teoretické. Empirické čáry se sestavují pomocí histogramů četností, které určí průběh empirické čáry. Přesnost empirických čar překročení je přímo úměrná délce řady pozorování. Pro krátká období pozorování není tato metoda vhodná. Zavádí se proto teoretická čára překročení. Ta má plynulejší průběh ve střední části a jelikož umožňuje extrapolaci čáry, můžeme ji použít také pro extrémní hodnoty (Kemel, 2000).

1.4.5 Hydrogram

Hydrogram znázorňuje hydrologický jev Q (průtok či odtok) v závislosti na čase t . Pomocí hydrogramu však nejčastěji znázorňujeme průtok. Výsledný hydrogram se také nazývá čára průtoku. Pomocí hydrogramu často popisujeme kulminační průtoky (Zhou et al., 2019). Hydrogram povodňové vlny se dá popsat následujícími veličinami: kulminačním průtokem Q_{\max} , objemem povodňové vlny W a samotným tvarem hydrogramu. Jako objem povodňové vlny se počítá veškerý objem proteklé vody od začátku povodně do jejího konce (Starý, 2005).

Na obrázku 1.3 níže popisují Brázdil et al. (2005) hydrogram průtokové (povodňové) vlny. Jak lze vidět, vzestupná větev začíná stoupat při překročení počátečního průtoku. V určitém bodě se stoupání zastaví, tento bod se nazývá vrchol průtokové vlny. Zde nastává kulminační průtok. Od tohoto bodu průtok klesá až na počáteční hodnotu. Pokles je znázorněn sestupnou větví.



Obrázek 1.3: Hydrogram průtokové vlny (Brázdil et al., 2005)

Elektivní srážka je taková srážka, která spadne na povrch země do určitého povodí, nevsaá se, nevypaá se, ale je schopna odtoku, a následně také odteče. Efektivní srážka se také nazývá srážka příčinná. Následkem efektivní srážky vzniká přímý odtok (Dub 1963). Odtok efektivní srážky o konstantní intenzitě a rovnoměrném rozložení nad povodím popisuje jednotkový hydrogram. Stanovuje tedy vztah mezi srážkou a odtokem. Součin plochy a výšky efektivní srážky se rovná objemu jednotkového hydrogramu (Starý 2005). Jednotkový hydrogram je unikátní pro každé povodí. Daňhelka (2007) uvádí, že se stanovuje na základě historických srážkových a průtokových řadách, v nichž jsou vyhledávány situace, kdy srážka vyvolala odtok. Ve skutečnosti však situace, která by odpovídala jednotkovému hydrogramu skoro neexistuje, a proto byl odvozen syntetický jednotkový hydrogram. Serrano (1997) popisuje, že díky jednotkovému hydrogramu jsou hydrologové schopni předpovědět povodňové vlny při intenzivních deštích nebo navrhovat vodohospodářské stavby.

1.5 Vliv vodních nádrží na vodní režim při srážko-odtokových událostech

Vodní nádrže bezpochyby přispívají k zadržení vody v krajině. Jsou neopomenutelným faktorem pro zachycení a zadržení srážek a pro transformaci kulminačních průtoků. To vede k zmírnění škod při povodních v okolí vodních toků. Díky retenční schopnosti vodních nádrží se zvyšují zásoby podzemních vod infiltrací povrchové

vody do spodních horizontů. Malé vodní nádrže tvoří v krajině významný prvek ekologické stability. Výstavba i obnova vodních nádrží je efektivním revitalizačním opatřením v krajině (Konečná et al., 2018).

Nejdůležitější schopností vodních nádrží je retence a akumulace vody. Povodně, které se u nás vyskytují, mají často katastrofální následky. Jednou z možností, jak minimalizovat následky povodní, je maximální využití potenciálu vodních nádrží. Díky zadržování vody jsou vodní nádrže schopny ovlivňovat povodňové průtoky v tocích při srážko-odtokových událostech (Starý, 1986). Hlavní funkcí retenčních vodních nádrží je zajištění ochrany území ležícího dole pod nádrží. Tyto nádrže zachycují povodňové průtoky nebo jejich podstatnou část. Největší vliv na extrémní průtoky má ve vodní nádrži retenční prostor. Tento prostor je na počátku povodňové vlny prázdný. Stejný objem vody, který se zadrží se následně z nádrže postupně odpouští (Bedient et al., 2013). Nově navrhované vodní nádrže mají velikost retenčního prostoru navrženou pro očekávaný povodňový průtok (Loucks a Beek van, 2005). Větší funkci pro regulaci extrémních průtoků mají vodní nádrže s ovladatelným retenčním prostorem nebo poldry. Menší vliv na povodňové průtoky pak mají malé vodní nádrže a rybníky bez ovladatelného retenčního prostoru. Důležitým faktorem pro protipovodňovou ochranu je poloha vodních nádrží (Brandt et al., 2017). Vodní nádrže jsou jistě důležitý prvek pro regulaci extrémních průtoků. Záleží však vždy na konkrétní vodní nádrži, na objemu srážek a na dalších faktorech. Je třeba také zmínit výraznou roli antropogenního vlivu a konkrétních případů. Rozhodování obsluhy vodních nádrží o manipulacích je ovlivněno vývojem hydrometeorologické situace a vydané hydro-meteorologické předpovědi. Obsluha vodní nádrže se může předem připravit na povodňovou vlnu upuštěním vody ve vodní nádrži (Čekal et al., 2011).

1.6 Hydrologické modelování

Srážko-odtokové hydrologické modely slouží k posouzení vlivu navrhovaných nebo již realizovaných opatření, které se dělají za účelem úpravy odtokových režimů povodí. K tomuto posouzení se používají různé matematické modely. Díky metodám matematického modelování můžeme nasimulovat skutečný hydrologický proces, a také předpovídat chování odtokových režimů v extrémních situacích (Kulhavý a Kovář, 2000). Existuje mnoho srážko-odtokových modelů, ty významnější používané v České republice jsou popsány níže.

1.6.1 Rozdělení hydrologických modelů

- 1) Deterministické
 - a. Hydrodynamické (white-box)
 - b. Koncepční (gray-box)
 - c. Black-box modely
- 2) Stochastické
 - a. Pravděpodobnostní
 - b. Modely generování časových řad

(Kulhavý a Kovář, 2000)

Deterministické modely

Tyto modely jsou popsány vztahem závislých proměnných (výstupní veličiny) a nezávislých proměnných (vstupní stavové veličiny). Existuje mnoho deterministických modelů, které se od sebe rozlišují svojí strukturou či fyzikálním přístupem (Jeníček et al., 2011).

Hydrodynamické modely jsou založeny na popisu srážko-odtokového procesu. Využívají přesně definované poznatky z hydrodynamiky, hydrostatiky nebo termodynamiky. Jejich nevýhodou však je velká složitost systémů (datová a časová náročnost výpočtu). Tyto modely se také nazývají fyzikálně založené, protože jsou založené na fyzikálním základě a snaží se respektovat principy zachování hmoty, hybnosti a energie (Daňhelka, 2007).

Koncepční modely spojují fyzikální přístupy v zjednodušené (koncepční) formě s empiricky odvozenými vztahy. Pro úspornost řešení a minimalizaci požadavků na zdroje informací o parametrech objektu se tento přístup vyhýbá prostorovým vztahům ve vyjádření parametrů. Tyto modely tedy potlačují prostorovou složku a předpokládají, že ke změnám stavových parametrů dochází v určitých reprezentčních bodech objektu. Tímto způsobem je vyloučena prostorová souřadnice. Prostorové rozložení parametrů je vyjádřeno náhradním způsobem (Kulhavý a Kovář, 2000). Původně spojitý systém je tímto diskretizován. Modely se poté řeší pomocí diferenciálních rovnic. Tyto modely slouží k popisu hlavních procesů hydrologického cyklu (Becker a Serban, 1990).

Black-box modely používají pouze empiricky odvozený vztah mezi vstupními a výstupními veličinami. Procesy probíhající uvnitř systému zůstávají skryty. Použití

těchto modelů je vhodné spíše pro malá povodí. Uplatňují se u hydrologických systémů jednotlivým chováním a jednoduchou strukturou, a to pouze tam kde kromě vstupních dat známe alespoň z části výstupy (Kulhavý a Kovář, 2000).

Stochastické modely

Stochastické modely primárně neobsahují vazbu mezi příčinou a důsledkem (Becker a Serban, 1990). Parametry opatřeny díky těmto modelům jsou obvykle vztaženy ke konkrétním místům (vodoměrným stanicím), kde byly získány. Stochastická složka je přítomna ve většině modelů v oblasti plánování a projekční činnosti vodohospodářských staveb. Deterministický přístup však převažuje (Daňhelka et al., 2003).

Pravděpodobnostní modely charakterizují hydrologické parametry (maximální a minimální průtok, vodní stavy, podzemní odtok) pravděpodobnostním rozdělením (Daňhelka, 2007).

Modely generování časových řad se používají při extrapolaci časových řad pozorovaných parametrů, přičemž se zachovávají jejich statistické charakteristiky (Becker a Serban, 1990).

1.6.2 Metoda CN křivek

Tato metoda je jednou z nejrozšířenějších metod pro vypočítání úhrnu efektivních srážek a je také zahrnuta ve velkém počtu modelů, jako jsou např.: HEC-HMS nebo HydroCad. Samotná metoda CN křivek vychází z návrhové srážky, která je vyjádřena formou srážkového úhrnu pro srážku určité periodicity. Hlavním předpokladem je dopad určité srážky na celou plochu povodí ve stejné intenzitě. Plocha povodí nesmí být větší než 10 km². Metoda je vhodná pro prognózu přímého odtoku, způsobeného přívalovým deštěm. Může se použít jak pro celé povodí, tak i jen pro určitý svah v povodí (Soukup a Hrádek, 1999). V praxi může být použita k navrhování a posuzování protierozních opatření. Nevýhodou však je, že nepopisuje časové a prostorové variability a její použitelnost je omezena na modelování ztrát při přívalových deštích (Janeček a Kovář, 2010).

1.6.3 MIKE-SHE

Tento srážko-odtokový model dánské firmy DHI (Danish Hydraulic Institute) patří mezi koncepčně distribuované modely. Jde o propracovaný model, který je propojený se systémem GIS. Díky tomu se tento model může použít pro řešení širokého spektra

hydrologických úkolů, například analýzu, plánování a řízení v oblasti vodních zdrojů, posuzování vzájemných interakcí mezi povrchovou a podzemní vodou, nebo řešení technických zásahů v povodí (Jeníček, 2006). Nástroj umožňuje prezentovat výsledky celého zájmového území nebo jen dílčích povodí. Jedná se o poměrně rozšířený komplexní modelovací systém (Jeníček et al., 2011).

Srážky vstupují do modelu nejčastěji v podobě časových řad ze srážkoměrných stanic. Jako vstupní data mohou být též použita údaje o tání sněhu. Ze vstupních dat je počítána evapotranspirace a intercepce. Povrchový odtok je počítán pomocí 2D modelu konečných diferencí šíření vlny. Podpovrchový odtok v nenasycené zóně je zjišťován několika způsoby. Model proudění podzemní vody vychází z modelu, který je také založen na metodě konečných diferencí (Graham a Butts, 2005).

1.6.4 HYDROG

Srážko-odtokový model HYDROG byl vyvinut pro potřeby simulace odtoku vody z povodí s vodními nádržemi a poldry. Při napojení na automatizovaný proces ze srážkoměrných stanic lze v reálném čase předpovídat průtok v libovolném profilu v povodí. Metodika řešení srážko-odtokových vztahů je založena na rozčlenění dílčích povodí do síťového grafu, kde hranice grafu tvoří vodní toky, dílčí povodí tvoří množinu ploch a bodové zdroje (nádrže) jsou zastoupeny uzly. Povodí má přiřazené tyto atributy: Plocha, délka povrchového odtoku, drsnost povrchu, hydraulická vodivost a podzemní odtok. Charakteristiky, které se k plochám vztahují, jsou považovány za konstantní. Tento model je vyvíjen pro operativní předpověď, a proto klade důraz především na správný vstup a interpretaci srážek. Je také možné využít radarových odhadů, nebo výstupů meteorologických předpovědních modelů. Potřebné jsou i časové řady teplot a vodní hodnoty sněhu. Další data jsou tvořena odtoky z nádrží nebo možnými přítoky do řešeného povodí. Stejně jako v jiných modelech je třeba stanovit stavové charakteristiky povodí (Unucka a Adamec, 2008).

1.6.5 HydroCAD

Model HydroCAD je hydrologický model založený na principu CN-křivek, který lze využít pro simulaci srážko-odtokových událostí v malém povodí. Díky modelování můžeme předpovídat výskyt povodňových vln či erozních událostí. Dále můžeme

ověřit, jestli říční síť v povodí kapacitně dostačuje. V neposlední řadě můžeme vyhodnotit různé návrhy řešení hydrologických objektů a vybrat nejvhodnější z hlediska bezpečnosti, ochrany životního prostředí a finanční náročnosti (Janeček et al., 2012).

1.6.6 NASIM

Německý srážko-odtokový model NASIM (Niederschlag-Abfluss Simulation Model) byl vytvořen pro plánování různých vodohospodářských systémů a také jako součást, která je využívána pro hydrologickou předpověď. Tento model patří do skupiny koncepčních deterministických modelů. Může do něj být implementována i stochastická složka. Tento model je však úzce navázán na německé datové zdroje a specifické formáty dat, proto se jeho použití ne úplně hodí pro oblasti mimo Německo (Jeníček et al., 2011).

1.6.7 KINFIL

Model KINFIL je založen na kombinaci teorie infiltrace přívalových dešťů a transformaci povrchového odtoku. Používá fyzikálně-geografické charakteristiky povodí, hydraulické vlastnosti půdy a hydrologické parametry povodí. Tento model se hodí pro malá povodí a je primárně určen k odvození kulminačních průtoků při různých situacích s různými vstupními podmínkami jako je například změna land use (Kovář et al., 2006).

1.6.8 DesQ-MaxQ

Model byl odvozen z hydrologicko-hydraulických závislostí procesu svahového odtoku a metodiky řešení maximálního odtoku v údolnici. Tento model vyvinul prof. Hrádek a je určen pro stanovení návrhových charakteristik maximálních průtoků v profilech malých povodí vyvolaných přívalovými dešti. Tyto průtoky je možné schematizovat jednou plochou, například svah, nebo modelové povodí. Dále se model může použít pro výpočet ovlivnění maximálních průtoků a objemů povodňových vln změnou charakteristik povodí (Hrádek a Kuřík, 2001).

1.6.9 HEC-HMS

Srážko-odtokový model HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System) je americký model navazující na model HEC-1, který byl vyvíjen

od 60. let minulého století armádou USA. Jedná se o celistvý model se soustředěnými parametry. V současné době má však model i komponenty, které vykazují znaky modelů s distribuovanými parametry. Směřování k distribuovaným modelům začalo v 90. letech minulého století tím, že se od modelu oddělila samostatná vývojová větev - model WMS. Tento model právě směřuje k distribuovaným modelům, které více uplatňují spolupráci s prostředím GIS (HEC-HMS, 2022).

Model HEC-HMS má velmi široké využití. Byl navržen tak, aby dokázal řešit celou řadu hydrologických úkolů v různých zeměpisných šířkách. Používá se jak v zahraničí, tak v České republice. Základní použití je simulování procesu srážkového odtoku větvičích se systémů v povodí. Kromě výpočtu různých druhů odtoku je model možné též využít pro zásobování vodních zdrojů nebo povodňovou hydrologii. Hydrogramy vytvořené modelem mohou být po spojení s jinými softwary použity pro předpovídání průtoků či následků při extrémních průtocích, pro studium vodní dostupnosti nebo pro navrhování vodních nádrží a protipovodňových opatření. Použití modelu je možné do plochy povodí 500 km². Model je konstruován z jednotlivých ovladatelných hydrologických částí. Všechny průtoky v povodí lze vyjádřit matematickým modelem. Možnost aplikace modelu HEC-HMS jako takového se zvyšuje s rozvojem GIS. Hlavní výhodou tohoto modelu je jeho dostupnost. Lze jej volně využívat, jelikož je na internetu dostupný jako freeware (Flaming, 2004).

Hlavní nástroje modelu

Subbasin (povodí) - prvek který nemá přítok, ale pouze odtok.

Reach (tok) - prvek s jedním nebo více přítoky (z ostatních prvků) a s jedním odtokem.

Reservoir (nádrž) - prvek s jedním nebo více přítoky (z ostatních prvků) a s jedním vypočítaným odtokem. Ten se počítá ze vztahu zásoba-odtok.

Juction (soutok) - prvek který má více než jeden přítok, ale pouze jeden odtok. Soutoky jsou sečteny dohromady a tvoří odtok.

Diversion (rozdělení) - prvek se dvěma odtoky a s jedním nebo více přítoky z ostatních prvků.

Source (pramen) - prvek, který nemá přítok, ale pouze jeden odtok.

Sink (stoka) - prvek s jedním nebo více přítoky, bez odtoku (Flaming, 2004).

Komponenty modelu - simulační metody

Runoff-Volume Model

Tato část počítající objem odtoku (odtokových ztrát) obsahuje několik modelů, které má uživatel k dispozici. Jedná se například o metodu SCS CN křivek, jenž je kompatibilní s jinými metodami a která se používá pro výpočet objemu odtoku v závislostech na hydrologických vlastnostech půd, hydraulické vodivosti, nebo klimatologické charakteristice. Další možná metoda je Green-Ampt metoda nebo SMA metoda. Parametry zadáváme nejčastěji pro jednotlivá dílčí povodí, je však možné využít i distribuované metody.

Direct-Runoff Model

Tato metoda slouží pro výpočet přímého odtoku. Používá metodu jednotkového hydrogramu, případně její modifikace.

Baseflow Model

Některé modely procesů v povodí nejsou pro modelování podpovrchových pohybů vhodné. Program nabízí tři modely, které možno využít: Constant monthly-varying value (metoda konstantního odtoku), Exponential recession model (model exponenciálního poklesu), Linear-reservoir volume accounting model (model lineární nádrže).

Routing Model

Při výpočtu korytového odtoku můžeme simulovat odtok více modely. Jde o modely Muskingum-Cunge, Lag model, model kinematické vlny, nebo jejich modifikace. Tyto modely vychází ze základních rovnic proudění vody v korytě Simulují průtok v uzávěrovém profilu (Flaming, 2004; Jeníček et al., 2011)

Nároky na vstupní data

Potřeba vstupních dat pro model HEC-HMS se odvíjí od použité metody výpočtu, časového a prostorového kroku výpočtu, jinak jsou vstupní data podobná jako třeba u modelu MIKE-SHE. Rozdíl je především v půdních charakteristikách, které se odvíjejí od použité metody CN křivek. Pro model HEC-HMS existuje podrobný technický manuál, kde jsou jednotlivé parametry modelu podrobně popsány (HEC-HMS, 2022).

Vazba na GIS

Pro model HEC-HMS byla ve spolupráci se společností ESRI vytvořena nadstavba ArcGIS HEC-GeoHMS. Ta je propojena s další rozšířenou nadstavbou ArcHydro Tools. Obě tyto nadstavby za pomoci digitálního modelu terénu počítají

základní hydrologické charakteristiky povodí. Vytváří také hydrologicky korektní model terénu (model terénu s vyplněnými bezodtokými sníženinami) a pomáhají také s výpočty některých parametrů infiltrace a jednotlivých typů odtoku. Výsledná data je možné importovat do modelu HEC-HMS (Maidment, 2002).

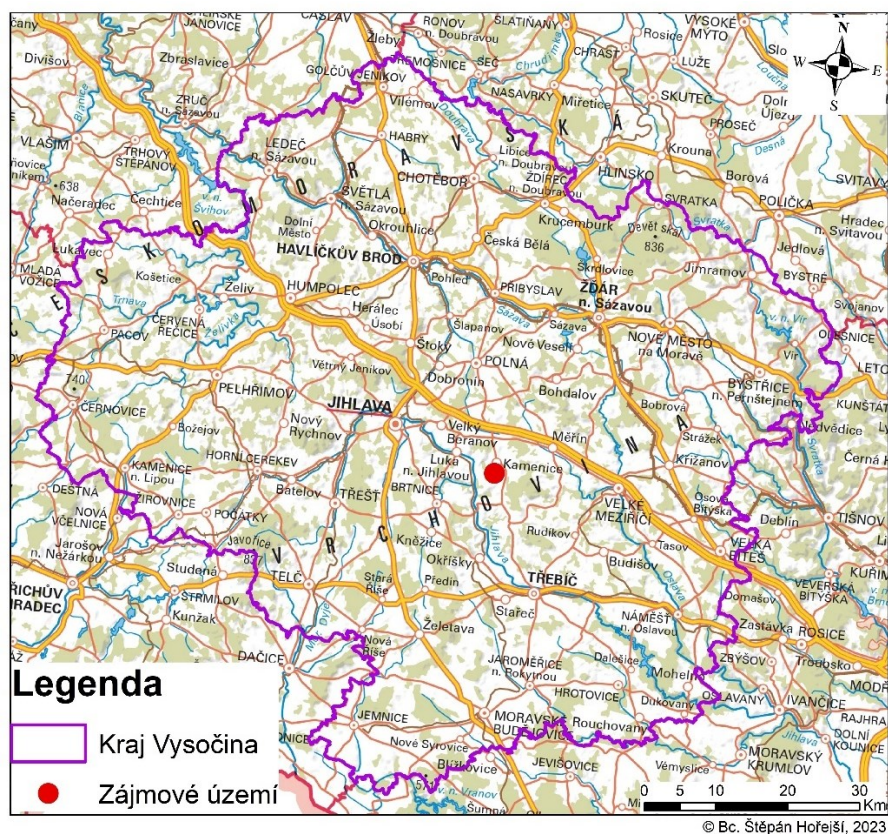
2 Materiál

2.1 Cíl práce

Cílem této diplomové práce bylo ve zvoleném povodí provést pomocí hydrologického modelu HEC-HMS simulaci vlivu vybudované vodní nádrže na odtok vody z vybraného povodí a následně porovnat odtoky z povodí před výstavbou MVN a po jejím vybudování. Porovnáním odtoků se zjistí, jaký má vybudovaná malá vodní nádrž vliv na odtoky vody z povodí při srážko-odtokových událostech.

2.2 Popis vybraného povodí

Pro tuto diplomovou práci bylo zvoleno povodí bezejmenného vodního toku v okrese Jihlava v kraji Vysočina, který se vlévá v obci Kamenice do vodního toku s názvem Kamenička. Tato říčka se zhruba tři kilometry od obce Kamenice vlévá do řeky Jihlavy, a to nedaleko obce Bítovčice. Poloha zájmové lokality je zobrazena na obrázku 2.4. Kvůli charakteru území se často stávalo, že se po příválových deštích rozvodnil zájmový bezejmenný vodní tok a přinesl s sebou do obce povodňovou vlnu, která vyplavila několik rodinných domů a zanesla pozemní komunikace v obci nánosy splavenin. Zejména z tohoto důvodu jsem si vybral tuto lokalitu.



Obrázek 2.4: Mapa polohy zájmové lokality v Kraji Vysočina (vlastní)

2.2.1 Charakteristika lokality

Městys Kamenice leží v okrese Jihlava, asi 15 km od Jihlavy, v údolí říčky Kameničky. Podle ČSU (2022) žilo v roce 2021 v obci 1967 obyvatel. Dle geomorfologické klasifikace můžeme obec zařadit do Česko-moravské subprovincie, konkrétně do Křižanovské vrchoviny a jejího podcelku Brtnické vrchoviny (Demek, 1987).

Brtnická vrchovina je plochá vrchovina s dlouhými hřbety, oddělenými podélnými sníženinami. Severovýchodem tohoto území prochází široký hřbet, který začíná jihovýchodně od Polné a následně vede přes Panský kopec (667 m n. m.). Dále pokračuje jihovýchodním směrem od Kamenice a končí u Třebíče. Údolí řeky Jihlavy je nejnižší položená část území, pohybuje se v nadmořské výšce okolo 440 m. Území okolo obce Kamenice je členitější část Brtnické vrchoviny se suký a konkávními svahy, v jižní části jsou nesoúměrná údolí přítoků řeky Jihlavy. Oblast je pokryta mozaikou polí, luk a smrkových lesů (Demek et al., 1965). Na obrázku 2.5 je vyobrazeno údolí Kameničky s městysem Kamenice.



Obrázek 2.5: Údolí Kameničky s městysem Kamenice (vlastní)

Charakteristika obce

Zástavba obce Kamenice je soustředěna do protáhlého pásu položeného na terénní hraně nad údolní nivou Kameničky, částečně po jejích březích. Dnes již jednotné koryto bylo v minulosti rozbrázděno množstvím bočních ramen a mlýnských náhonů, využívaných k pohonu celé řady mlýnů. Široké údolí Kameničky se v místech polohy městyse rozevívá, čímž vytváří vhodné podmínky k osídlení. Zvýšený severní břeh vodního toku převážně využívaný pro situaci zástavby je zčásti rozbrázděn několika drobnými přítoky, které oddělují jednotlivé části obce. Hlavní částí obce je náměstí, jehož nadmořská výška na obou koncích výrazně klesá. Na západní straně náměstí je situována tvrz, na východní se nachází kostel. První písemná zmínka o obci

pochází z roku 1358. Postupem času se obec rozrůstala a vzkvétala. Přesunem obchodních cest v 19. století a tím, že obec minuly hlavní silniční a železniční tahy, ztrácela městský ráz a dnes má proto spíše podobu větší vesnice (Kamenice u Jihlavy, 2007).

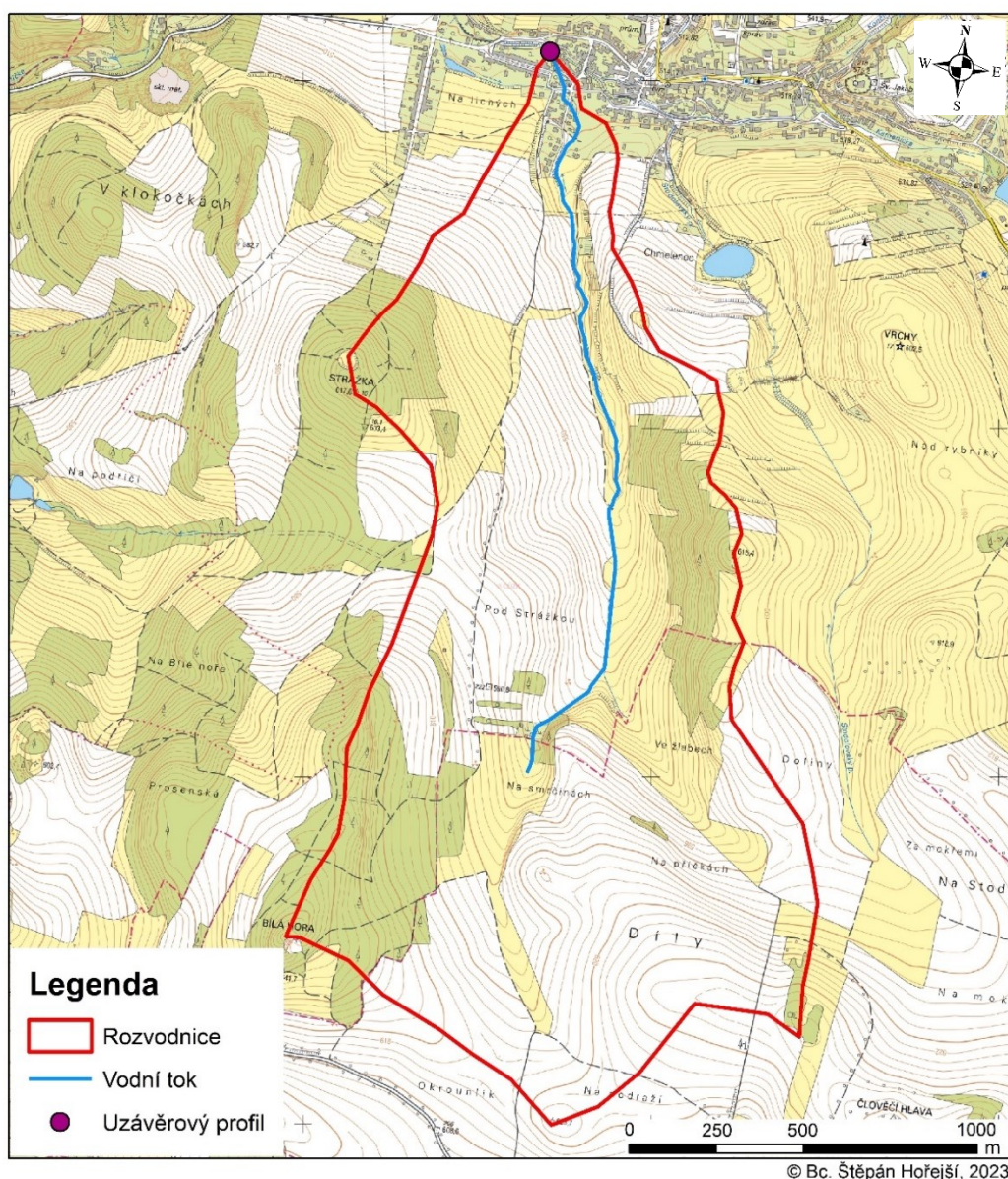
2.2.2 Charakteristika povodí

Zvolené povodí bezejmenného vodního toku se nachází jižně od obce. Rozprostírá se na katastrálních územích Kamenice u Jihlavy a Radošov. Vybraný vodní tok pramení v katastrálním území Radošov, avšak už po zhruba sto metrech toto katastrální území opouští a dále již teče jen v katastrálním území Kamenice u Jihlavy. Rozvodnice začíná v místě uzávěrového profilu. Ten se pro zvolené povodí nachází přímo v obci Kamenice, na soutoku bezejmenného vodního toku s říčkou Kamenicí. V tomto místě je nadmořská výška 502 m n. m. Rozvodnice vede na jih na vrchol s kótou 516 m n. m., dále pokračuje jižně po hřebenech na jeden z vrcholů Člověčí hlavy (636 m n. m.), načež se stáčí na západ a vede na vrchol s kótou 623 m n. m. Od tohoto místa vede zpět nejprve na severozápad přes sedlo na Bílou horu (659 m n. m.) a následně severně po hřebenech na vrchol s názvem Srážka (617 m n. m.). Z tohoto vrcholu se rozvodnice vrací zpět k uzávěrovému profilu. Celé území je značně členité. Nejvyšší převýšení je mezi Bílou horou a uzávěrovým profilem a činí 157 m. Níže (na obrázku 2.6 a 2.7) se nachází fotografie zájmového povodí a mapa se zakreslenou rozvodnicí.



Obrázek 2.6: Údolí zájmového povodí (vlastní)

Povodí zájmového vodního toku



Obrázek 2.7: Mapa povodí zájmového vodního toku (vlastní)

Povodí vybraného bezejmenného vodního toku náleží do povodí hydrologického pořadí 4-16-01-058, jež se nachází na mapových listech 2324 a 2342. Přímo v prostoru zájmového povodí se nenacházejí žádná ochranná pásma vodních zdrojů, ani záplavová území. Povodí však spadá do citlivých oblastí a zranitelných oblastí (HEIS.VUV, 2022).

Číselný popis povodí

Plocha zájmového povodí: 2,615 km²

Délka vodního toku: 2271 m

Délka údolnice: 3318 m

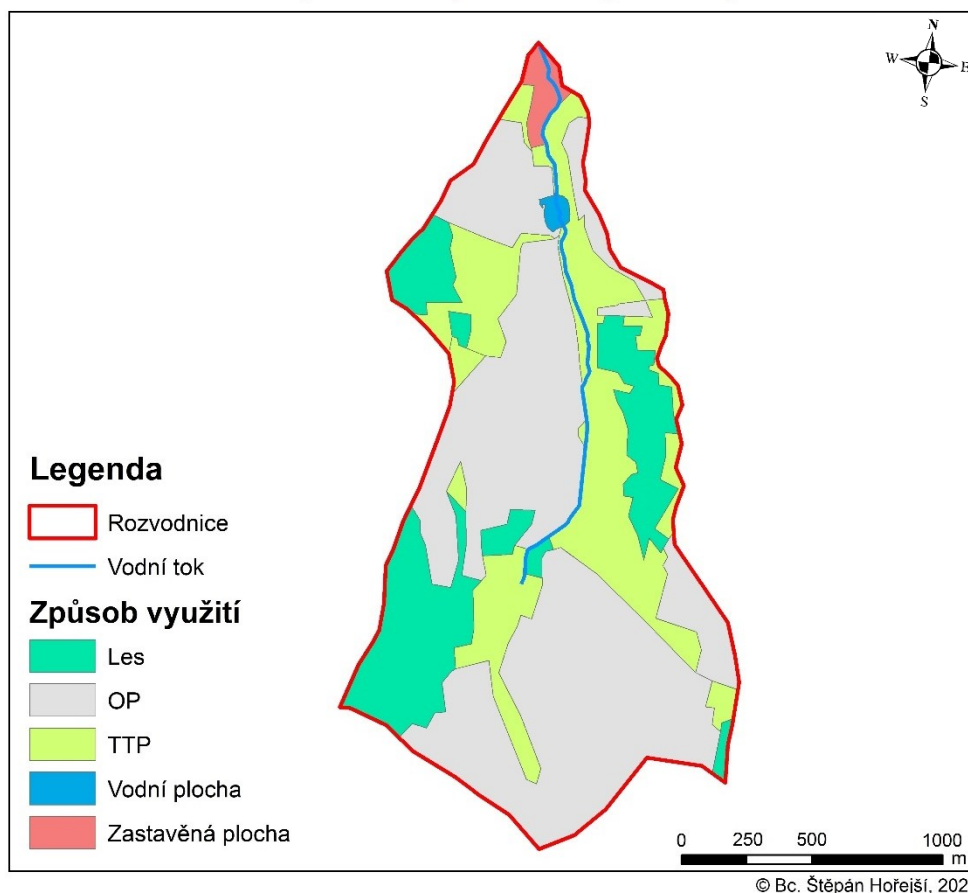
Výšková poloha prameniště: 582 m n.m.

Výšková poloha ústí toku: 502 m n.m.

Využití území

Využití území bylo zpracováno v programu ArcGIS, pomocí prohlížečské služby WMS INSPIRE Využití území. Zdrojovou sadou pro tyto data je Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®). Díky tomu bylo zjištěno, že největší podíl v ploše povodí zabírá se 144,3 ha (55 %) orná půda. Na druhém místě se nacházejí trvalé travní porosty s 64,6 ha (25 %) plochy. Lesy mají v povodí plochu 48,6 ha (18 %). Menší podíl zabírá zastavěná plocha s výměrou 3,8 ha (1,5 %) a nejméně náleží vodním plochám s rozlohou 1,2 ha (0,5 %). Mapa znázorňující využití území se nachází níže na obrázku 2.8. Povodí spadá do bramborářsko-ovesné výrobní oblasti B3. Typicky pěstovanými plodinami v této oblasti jsou tedy brambory, pšenice ozimá, žito ozimé, ječmen jarní a oves. Tyto plodiny bývají doplněny krmnou kapustou nebo krmnou řepou a samozřejmě jetelovinami, kterými začíná osevní postup.

Rozdělení povodí podle využití pozemků



Obrázek 2.8: Mapa využití pozemků (vlastní)

Geologie a pedologie

Z geologického hlediska jsou nejvíce zastoupeny pararuly a granodiority až křemenné diority. V okolí vodního toku jsou kamenité až hlinito-kamenité sedimenty a další smíšené sedimenty. Přímo v oblasti vodoteče se nacházejí nivní sedimenty. Půdní typy vyskytující se v zájmovém povodí vodního toku jsou převážně hnědozemě. Dále jsou zastoupeny illimerizované půdy. Kolem vodního toku jsou gleje a oglejené půdy. Na části území se nacházejí drnové půdy. Půdotvorný substrát na celém území tvoří svahoniny nebo horniny středně až málo výživné (nevápenité). Půdní druhy zastoupené v povodí jsou nejvíce písčitohlinité půdy, v menším měřítku pak půdy hlinitopísčité a hlinité (Němeček et al., 2011).

Klimatické faktory

Klimatická oblast zájmového území je dle Quitta (1971) mírně teplá oblast MT3. Tato oblast je charakterizována takto: Jaro je mírné, normálně dlouhé až delší, léto je krátké, mírné až mírně chladné, suché až mírně suché, podzim je mírný, normálně dlouhý až delší, zima je mírná až mírně chladná, suchá až mírně suchá a normálně dlouhá. Další charakteristika klimatu oblasti je uvedena v tabulce 2.1.

Tabulka 2.1: Klimatické charakteristiky zájmového povodí (Quitt, 1971)

Počet letních dní	20 - 30
Počet dní s prům. teplotou 10 °C a více	120 - 140
Počet dní s mrazem	130 - 160
Počet ledových dní	40 - 50
Prům. lednová teplota	-3 °C až -4 °C
Prům. červencová teplota	16 °C - 17 °C
Prům. dubnová teplota	6 °C - 7 °C
Prům. říjnová teplota	6 °C - 7 °C
Prům. počet dní se srážkami 1 mm a více	110 - 120
Suma srážek ve vegetačním období	350 mm - 450 mm
Suma srážek v zimním období	250 mm - 300 mm
Suma srážek celkem	600 mm - 750 mm
Počet dní se sněhovou pokrývkou	60 - 100
Počet zatažených dní	120 - 150
Počet jasných dní	40 - 50

Vodní nádrže a odvodnění

V zájmovém povodí se kromě nově zbudovaného poldru, který je důkladněji popsán níže, nenachází žádná jiná vodní nádrž. Dle dostupných hydrologických map není žádná část povodí odvodněna (HEIS.VUV, 2022).

Pozemkové úpravy v území

V katastrálním území Kamenice u Jihlavy proběhla jednoduchá pozemková úprava. Byla zahájena v roce 1995 a ukončena byla v roce 1999. Důvody pro její zahájení byly vytýčení pozemků a realizace staveb. Díky této JPÚ se realizovalo 760 m cestní síť. Z navazujících katastrálních území byla provedena v katastrálním území Kamenička taktéž JPÚ. Ta byla zahájena již v roce 1994 a dokončena byla v roce 1997. V katastrálním území Vežnice byla provedena komplexní pozemková úprava, která byla dokončena v roce 2001. Toto katastrální území se nachází severně od katastrálního území Kamenice u Jihlavy. V dalším navazujícím katastrálním území - Pavlínov byla zahájena komplexní pozemková úprava v roce 2012, a to z důvodu žádosti vlastníků nadpoloviční výměry zemědělských pozemků. Tato pozemková úprava stále není dokončená (listopad 2022) (EAGRI, 2022).

Struktura pozemků

Díky službě ČUZK Nahlížení do katastru nemovitostí bylo zjištěno, že pozemky ve vybraném povodí vlastní různí vlastníci. Jelikož v území neproběhla komplexní pozemková úprava, je současné rozložení pozemků nevyhovující. Mnoho vlastníků nemá zaručen přístup na svoje pozemky. Současný tvar a velikost pozemků odpovídá mapě stabilního katastru. Pozemky jsou typicky velmi dlouhé a úzké. Při kolektivizaci v 50. letech minulého století byly pozemky sceleny do větších půdních bloků. V dnešní době na scelených pozemcích většinou hospodaří zemědělská společnost, sídlící v Kamenici (ČUZK, 2022).

2.2.3 Popis vodního toku

Jak již bylo uvedeno výše, vodní tok pramení v nadmořské výšce 582 m n. m. Díky rekognoskaci území v září roku 2022 bylo zjištěno, že v místě prameniště je studánka, dnes již zpustlá a značně zarostlá náletovou vegetací. Od tohoto místa teče vodní tok mezi vegetací, tvořenou především nálety břízy a olše. Zhruba za 400 metrů se k našemu vodnímu toku připojuje menší vodoteč. Tento pravostranný přítok je jediným přítokem celého zájmového vodního toku. Od soutoku pokračuje vodoteč asi 500 me-

trů uměle vytvořeným napřímeným korytem bez jakékoli okolní vegetace. Okolní zemědělské pozemky jsou zorány až na hranu vodního toku. Dále tok pokračuje při okraji lesních pozemků v původním korytě až k poldru, který je důkladněji popsán níže v této práci. Na levé straně k toku doléhají travní porosty s nálety vrby jívy. Na pravé straně toku je smíšený les tvořený zejména olší, osikou, vrbou, jasanem a smrkem. Na konci této kapitoly se nacházejí fotografie vodního toku v tomto místě (obrázek 2.9) a v místě vstupu vodního toku do poldru (obrázek 2.10). Poté co opustí vodní tok poldr, pokračuje opět uměle zbudovaným korytem do zastavěného území obce, kde se vlévá do říčky Kameničky. V zastavěném území je vodoteč nejprve lemována vrbami, následně však teče mezi jednotlivými domy, které jsou v těsné blízkosti vodoteče.

Okolí toku

Celá lokalita se nachází v dosti zvlněné krajině. Přeci jenom se jedná o část Českomoravské vrchoviny. Zvolený vodní tok teče v hlubokém údolí. Převýšení od nejvyššího bodu v povodí (Bílá hora) k nejnižšímu (uzávěrový profil) je 157 metrů. Více než polovinu pozemků tvoří orná půda, která je intenzivně využívána. Při rekognoskaci území v září 2022 bylo zjištěno, že se v povodí na strmých půdních blocích velké výměry (největší půdní blok 19 ha) pěstují nevhodně zvolené plodiny, jako je například kukuřice. Jak uvádějí Soukup a Hrádek (1999) kukuřice, jakožto širokořádková plodina zásadně přispívá ke vzniku nesoustředěného odtoku a následného rychlého odtoku vody z povodí. Navíc její nesprávná aplikace na zemědělských pozemcích vede k zvýšení erozní ohroženosti půdy. Lesní pozemky v povodí tvoří necelou jednu pětinu území. Bohužel ani těmto lesním celkům v zájmovém povodí se nevyhnula kůrovcová kalamita. Kromě lesního porostu, který se nachází přímo u koryta vodního toku jsou okolní lesy tvořeny převážně smrkovými monokulturami. Při kalamitě v roce 2020 byly tyto monokultury již většinou vykáceny a nyní jsou postupně nahrazovány porosty smrku, borovice, modřínu a buku.



Obrázek 2.9: Přirozené koryto zájmového vodního toku (vlastní)



Obrázek 2.10: Vodní tok se vlévá do poldru (vlastní)

2.3 Lokalizace a popis MVN

Veškeré technické parametry MVN i souvisejících stavebních objektů byly převzaty z Technické zprávy (Gregor, 2012), která byla vyhotovena pro stavbu tohoto protipovodňového opatření. Údaje o financování stavby byly převzaty ze Smlouvy o dílo, jež byla uzavřena mezi městysem Kamenice a stavební firmou, která prováděla zhotovení stavby.

Kvůli charakteru území byly v minulosti v obci Kamenice několikrát řešeny události spojené s povodňovou vlnou, které způsobily velké škody. Po přívalovém dešti se levostranný bezejmenný přítok Kameničky, popsaný výše, rozvodnil a přinesl do intravilánu obce povodňovou vlnu, která zatopila několik rodinných domů. Po přívalových deštích také bývaly pozemní komunikace v obci často plné nánosů, které s sebou přinesla povodňová vlna. V roce 2010 bylo obcí rozhodnuto vybudovat na problémovém vodním toku malou vodní nádrž - víceúčelový poldr, který bude z části zatopený. Tato MVN by zadržela povodňovou vlnu před intravilánem a ochránila tak majetek obecní i soukromý.

2.3.1 Protipovodňové opatření - Poldr

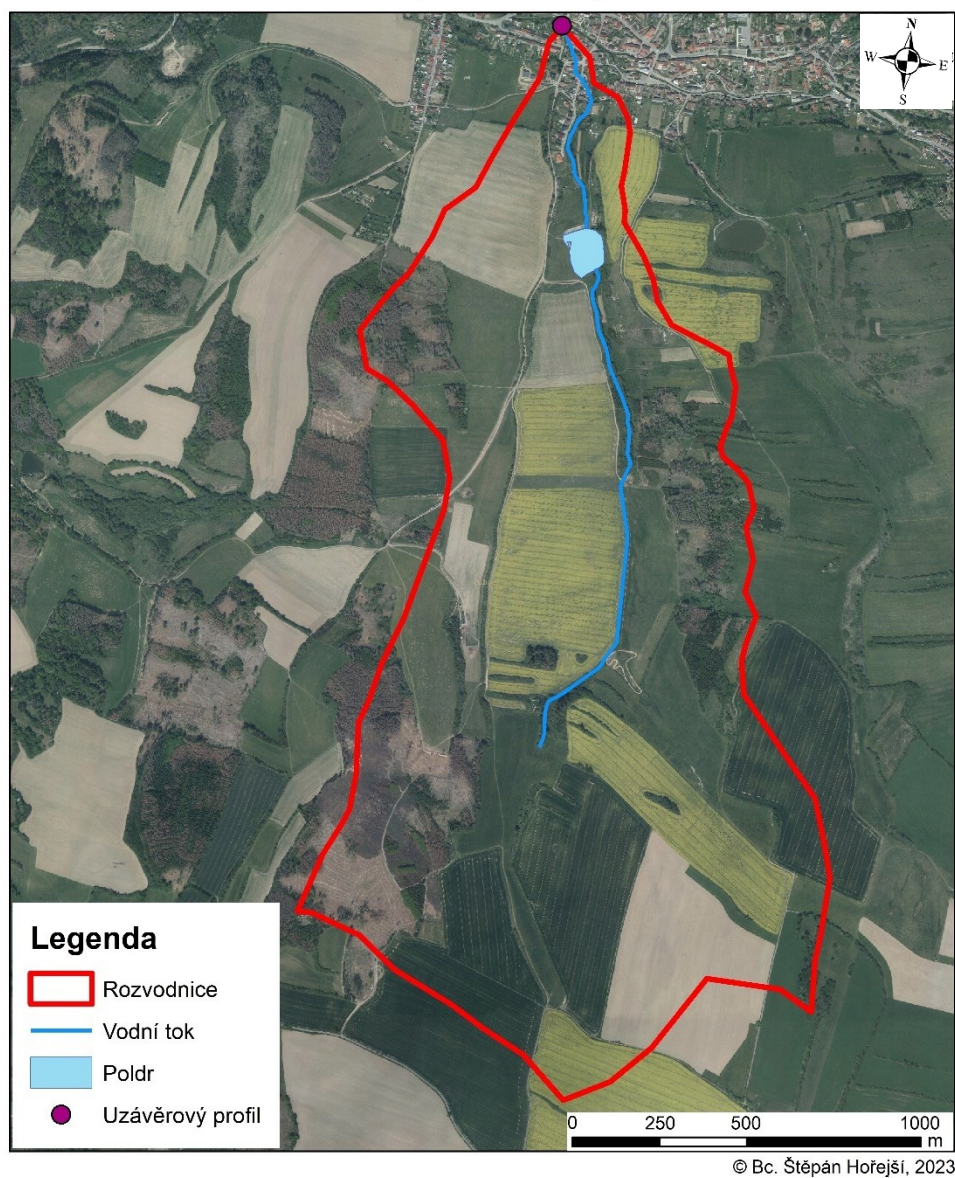
V lednu 2011 byl městysem Kamenice oznámen záměr vybudovat na bezejmenném vodním toku „Přírodě blízké protipovodňové opatření v městyse Kamenice“. Protipovodňové opatření bylo navrženo na základě požadavku investora stavby. Cíle tohoto opatření bylo vybudovat poldr, který by ochránil intravilán obce před povodňovými vlnami. Záměr získal všechny potřebná povolení a v roce 2012 byla zahájena jeho realizace. Dokončení stavby a uvedení do provozu nastalo v roce 2013. Od tohoto roku poldr slouží obci jakožto ochrana před povodňovými vlnami.

Lokalizace stavby

Vlastní stavba protipovodňového opatření se nachází v extravilánu městyse Kamenice, na bezejmenném vodním toku, zhruba 500 metrů od intravilánu, směrem jižně od městyse Kamenice.

V rámci výstavby byla realizována hráz, bezpečnostní přeliv a vyhloubená tůň. V navazující severní části podél stávajícího potoka směrem do městyse Kamenice byly vyhotoveny ochranné hrázky, neprůtočné maloplošné tůně a doprovodná výsadba mokřadních rostlin. Mapa s umístěním poldru se nachází níže na obrázku 2.11, fotografie poldru následují na obrázcích 2.12 a 2.13.

Umístění poldru v povodí



Obrázek 2.11: Mapa umístění poldru v povodí (vlastní)



Obrázek 2.12: Protipovodňové opatření poldr (vlastní)

Před výstavbou byl na místě současného poldru trvalý travní porost - neudržované travní porosty s ruderální vegetací, orná půda - hospodářsky využívaná a místy stromový (náletový) porost. Podél koryta potoka v místě dnešní hráze se nacházely náletové křovinné porosty a menší listnaté stromy. Jednalo se tedy o pozemky bez větší krajinné a ekologické hodnoty a bez cenných biotopových rostlin. Celkově byl terén vlhký a pro pojezd těžších strojů bez úprav nevhodný.



Obrázek 2.13: MVN poldr (vlastní)

Začlenění do krajiny

Stavba má vodohospodářský charakter a je umístěna do nezastavěného území, zkrátka do volné krajiny. Celý záměr je řešen tak, že přispěje ke zlepšení přirozené funkce území, kterou je retence vody, a navíc provedení stavby poldru nepůsobí negativně na danou krajinu řešeného území. Z hlediska začlenění do krajinného rázu, kde je rozhodující citlivé nastavení parametrů hrázového tělesa, byly rozměry stavebních objektů navrženy s ohledem na krajinný ráz území.

Pozitivní vliv na estetický efekt nádrže má vybudovaná tůň uvnitř retenčního prostoru nádrže. Tato vyhloubená tůň obohatila lokalitu o nový krajinný prvek, který v lokalitě chyběl. Součástí tůň je litorální pásmo osázené vlhkomilnými a vodními druhy rostlin.

Dále došlo k vytvoření několika tůň podél koryta toku pod hrází. Jejich realizace přispěla ke zlepšení celkového estetického vjemu toku. Vytvoření litorálního pásma tůň pomohlo zvýšit biologickou rozmanitost lokality - rozvoj vodních živočichů, obojživelníků a ptactva. V nivě poldru vzniklo biocentrum.

Popis poldru

Poldr byl vystavěn jako protipovodňové opatření s dostatečnou retenční schopností za účelem ochrany městyse před povodňovou vlnou, snížení povodňových špiček větších povodní a oddálení účinku povodně. Nádrž trvale zadržuje část vody. Převážnou část objemu nádrže však tvoří retenční prostor. Na koruně hráze byla vybudována cesta pro obsluhu poldru a jeho údržbu.

Stavba poldru byla rozdělena na tyto stavební objekty:

- 1) SO 01 Poldr
 - a) SO 01.1 Hráz
 - b) SO 01.2 Bezpečnostní přeliv
 - c) SO 01.3 Zahloubená tůň
 - d) SO 01.4 Výpustné zařízení
- 2) SO 02 Úprava toku
 - a) SO 02.1 Ochranné hrázky
 - b) SO 02.2 Tůně
 - c) SO 02.3 Doprovodná výsadba

Pozemky poldru a jejich vlastnictví

Pozemky potřebné pro stavbu MVN byly vyjmuty ze zemědělského půdního fondu v rámci řízení dokumentace pro územní řízení - jedná se především o pozemky pod hrází, pod stálým zatopením a pod upraveným tokem. Plocha těchto pozemků je celkem 1,9 ha, z toho 1,16 ha náleží samotné vodní nádrži. Všechny pozemky pod nově vzniklým poldrem se nacházejí na listu vlastnictví číslo 10001, vlastní je tedy obec Kamenice.

Provoz poldru

Po dokončení výstavby zájmového protipovodňového opatření jeho provoz a údržbu zajišťuje investor - městys Kamenice. Jedná se převážně o kosení trávy, kontrolu hladiny vody a občasnou prohlídku funkčních objektů (výpustné zařízení a bezpečnostní přeliv). Před uvedením do provozu byl pro bezpečný provoz vypracován manipulační a provozní řád poldru, který obsahuje zásady instrukcí při povodních a havarijních stavech.

Technické parametry

Technické údaje poldru

Navrhovaná kapacita spodní výpusti: 3,3 m³/s

Plocha při max. zátopové hladině: 1,86 ha

Plocha stálého zatopení poldru: 0,111 ha

Objem celkového prostoru poldru: 69 516 m³

Objem retenčního prostoru poldru (při max. hladině): 58 521 m³

Kóta hladiny stálého zatopení (kóta vtoku do výpustného zařízení): 521,32 m n. m.

Kóta dna stálého zatopení: 520,21 m n. m.

Technické údaje hráze poldru

Délka koruny hráze: 118,00 m

Max. výška hráze: 13,5 m

Kóta koruny hráze: 532,00 m n. m.

Kóta dna hráze: 518,67 m n. m.

Šířka koruny hráze: 3,5 m

Kubatura hráze: cca 30 000 m³

Návodní sklon hráze: 1:3

Vzdušný sklon hráze: 1:2,5

Délka přelivné hrany: 16,6 m

Navrhovaná kapacita bezpečnostního přelivu $Q_{100} = 18,1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Popis hráze poldru

Hráz nádrže je navržena homogenní s příčným řezem ve tvaru lichoběžníku. Svahy hráze jsou ohumusovány orníci v tloušťce 150 mm a zpevněny travním drnem. Tato vrstva by měla postačit k zabránění eroze. V úrovni základové spáry blíže k patě vzdušného svahu byl instalován vnitřní drén. Koruna hráze byla pouze ohumusována orníci v tloušťce 100 mm. Vzdušný líc má sklon 1:2,5 a je v polovině své výšky rozdělen lavičkou šířce 2,0 m. Ukončení vzdušného líce je do patního drénu. Návodní líc byl navržen ve sklonu 1:3. Založení hráze bylo provedeno pomocí zavazujícího těsnícího ozubu. Odvod povrchových a dešťových vod z koruny hráze poldru je řešen pomocí sklonu 1 % směrem do retenčního prostoru nádrže.

Samotná výstavba protipovodňového opatření nemá vliv na podzemní vody daného území. Povrchové vody budou shromažďovány v retenčním prostoru poldru, kde budou poté vypouštěny pomocí spodní výpusti směrem dál do vodního toku.

Popis bezpečnostního přelivu

Bezpečnostní přeliv byl navržen jako boční v levé části hráze. Přelivná hrana je 0,5 m pod úrovní maximální hladiny. Hrana přelivu má délku 16 m, šířku 0,50 m. Kapacitu přelivu je minimálně $Q_{100} = 18,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Celá konstrukce bezpečnostního přelivu je tvořena z železobetonu. Dno je z lomového kamene. Stěny bezpečnostního přelivu mají lichoběžníkový průřez. Stěna je v nejnižším místě vysoká 1,84 m a v nejvyšším místě 3,82 m vysoká. Pro přejezd přes bezpečnostní přeliv byla vytvořena dřevěná lávka, která jest opatřena dřevěným zábradlím. Na bezpečnostní přeliv navazuje odpadní koryto o celkové délce 73,44 m. Koryto má lichoběžníkový průřez a je tvořeno balvanitým skluzem z lomového kamene. Stěny koryta jsou ve sklonu 1:1. Níže na obrázku 2.14 a 2.15 jsou fotografie bezpečnostního přelivu.



Obrázek 2.14: Bezpečnostní přeliv poldru (vlastní)



Obrázek 2.15: Vtok do bezpečnostního přelivu (vlastní)

Popis výpustného zařízení

Výpust byla navržena z železobetonových prefabrikovaných rámců. Ty jsou obetované po celé délce průchodu pod hrázi a vyztuženy ocelí. Stěny byly zhotoveny v poměru 1:10. Celková délka propusti je 53,0 m. Před vtokem do výpustného zařízení

byly osazeny česle z ocelových profilů typu I, jež jsou zakotveny do betonového pasu. Dále jsou před česlemi z I profilů osazeny další kruhové před-česle. Fotografie spodní výpusti - výtoku z poldru je na obrázku 2.16.



Obrázek 2.16: Výpustné zařízení - výtok (vlastní)

Za spodním vyústěním je navržen vývar. Jako vývařiště slouží nově vybudované umělé koryto v délce 20,4 m. Koryto má tvar lichoběžníku se sklony svahů 1:1 a se šířkou dna 5 m. Povrch koryta je z lomového kamene. Dno vývařiště koryta bylo oproti původní kótě dna potoka sníženo o 0,3 m z důvodu uklidnění energie toku. Napojení vývařiště na stávající koryto bylo provedeno pomocí nově upraveného koryta s kamenným záhozem.

Za výtokem z vývaru bylo nutné upravit stávající příčný profil toku z důvodu nevyhovujících kapacitních poměrů. Z tohoto důvodu byl stávající profil upraven na lichoběžníkový tvar se sklonem svahů 1:3 šířkou ve dně 5 m a s vnitřní kynetou ve dně pro převádění běžných průtoků. Úprava koryta toku byla provedena pomocí kamenného záhozu z lomového kamene s filtrační vrstvou z drceného kameniva.

Úprava toku pod poldrem

Úprava toku začíná za vývarem poldru a končí těsně před prvním pozemkem rodinného domu v obci Kamenice. Délka úpravy toku činí 374 m. Na pozemcích dotčených úpravou toku je trvalý málo biologicky cenný travní porost, místy nálety stromů. Samotná úprava toku spočívala ve zvýšení kapacity příčného profilu toku. Toto zvýšení kapacity bylo provedeno pomocí vybudování pravostranných ochranných hrázek podél toku. Vybřežené kulminační průtoky budou hrázkami zadrženy tak, aby nepokračovaly ve svém toku do zastavěné části obce. Hrázky byly zhotoveny jako nízké

homogenní o maximální výšce 0,5 m. Sklony návodního líce jsou ve sklonu 1:3 až 1:2, vzdušná strana navržená ve sklonu 1:30.

Pro pozitivní rozvoj biodiverzity a fauny v lokalitě byl vodní tok doplněn soustavou tří tůní. Tůně byly umístěny dle morfologie terénu a aby byly vhodně začleněny do krajiny. Tůně jsou bezpřítokové a bezodtokové, napouští se samovolně vzlakem spodní vody. Tvary tůní jsou přírodní, jejich hloubka se pohybuje od 0,3 m do 0,8 m. Svahy byly zhotoveny v přirozených poměrech, aby byl zajištěn bezpečný přístup živočichů k vodnímu zdroji. Součástí tůní je i litorální pásmo osázené vlhkomilnými a vodními druhy rostlin.

Podél vodního toku byly po obou stranách střídavě vysázeny solitéry i skupiny dřevin. Navržené složení dřevin odpovídá přirozenému výskytu druhů pro danou oblast. Složení výsadby bylo navrženo dle mapy potenciální přirozené vegetace České republiky.

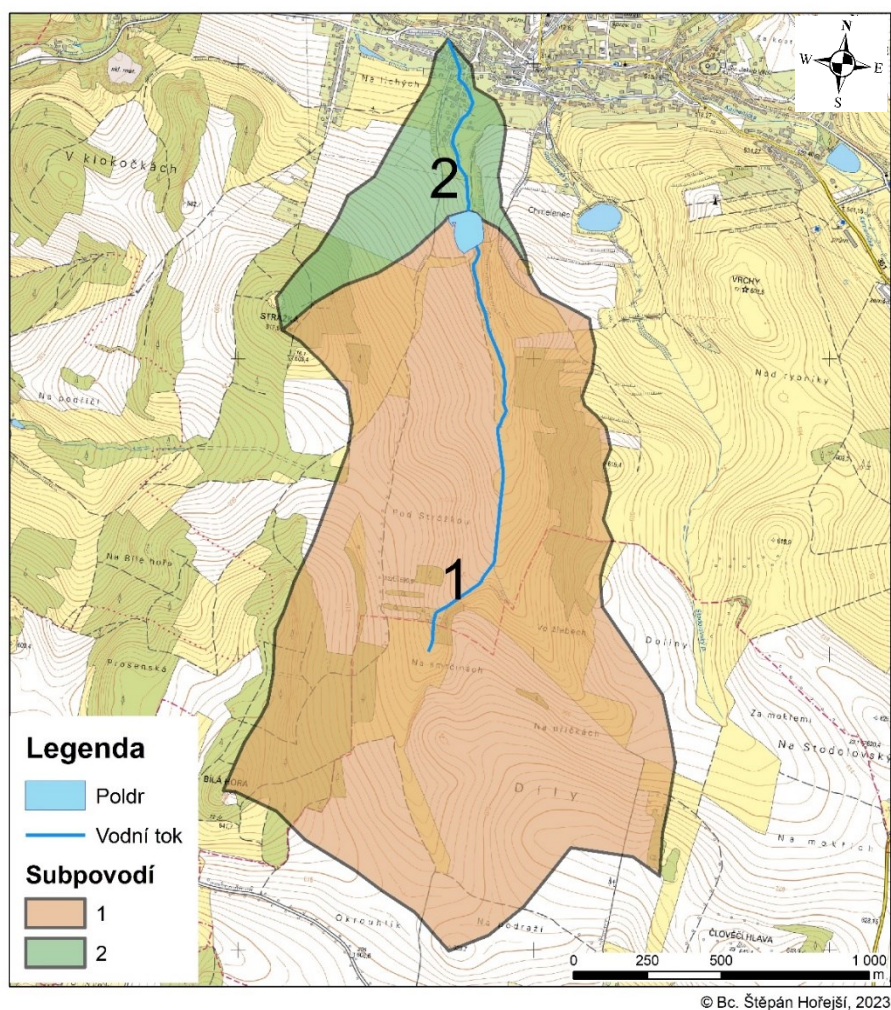
Finanční otázka

Celkové náklady na výstavbu s názvem: „*Přírodě blízké protipovodňové opatření v městysi Kamenice*“ činily 14 328 026 Kč. Investorem byl městys Kamenice, který zaplatil částku „pouze“ 1 432 803 Kč (10 % nákladů). Realizaci tohoto projektu podpořil také Státní fond životního prostředí ČR, který v rámci Operačního programu Životní prostředí přispěl částkou 716 406 Kč (5 % nákladů). Hlavní část nákladů spolufinancovala Evropská unie z Fondu soudružnosti, která přispěla částkou 12 178 822 Kč (85 % nákladů). Zejména díky Evropské unii se tento projekt mohl realizovat.

3 Metody

Pro simulaci odtoků vody z povodí byl zvolen hydrologický model HEC-HMS. Tento model je podrobněji popsán výše v této práci. Pomocí modelu HEC-HMS bylo nadefinováno zájmové povodí, byly zvoleny a nadefinovány metody výpočtu a následně byly vyplněny i parametry pro již existující malou vodní nádrž. Výsledky byla zpracovány taktéž v tomto hydrologickém modelu. Některá vstupní data byla zjišťována pomocí aplikace ArcMap programu ArcGIS od společnosti Esri. Jednalo se zejména o číselné údaje povodí. Jako kontrola některých vstupních dat byl použit program ERCN od Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy.

Nejprve bylo zájmové povodí rozděleno v programu ArcGIS na dvě subpovodí. Subpovodí 1 má uzávěrový profil v místě, kde hráz poldru křížuje vodní tok, Subpovodí 2 má pak uzávěrový profil v místě, kde se vodní tok vlévá do Kameničky. Toto rozdělení bylo vytvořeno kvůli hydrologickým výpočtům s poldrem. Mapa s vyznačenými subpovodími je níže na obrázku 2.17.



Obrázek 2.17: Rozdělení zájmového povodí na subpovodí (vlastní)

3.1 Srážková data

Na začátku hydrologického modelování bylo třeba připravit srážková data. Hydrologické simulace srážko-odtokových situací jsou zpravidla vytvářeny pro návrhové N-leté srážky. V našem případě byly vybrány dvouleté, desetiletí, dvacetileté, padesátileté a stoleté návrhové přivalové srážky. Data pro výpočet těchto srážek pro celé zájmové povodí byla převzata z práce Šamaj et al. (1985). Byly vybrány tři nejbližší srážkoměrné stanice (Jihlava, Brtnice a Velké Meziříčí). V následující tabulce 3.2 jsou uvedeny maximální 24hodinové srážkové úhrny N-letých srážek pro jednotlivé tři vybrané srážkoměrné stanice.

Tabulka 3.2: Maximální 24hodinové srážkové úhrny (Šamaj et al., 1985)

Jméno stanice	Pravděpodobnost opakování za N-roků Maximální 24-h srážkový úhrn v mm				
	2	10	20	50	100
Jihlava	36,7	55	62,5	71,7	78,9
Brtnice	36,4	56,7	65	75,2	83,1
Velké Meziříčí	36,4	56	64	73,9	81,5

3.1.1 Interpolace dat

Získání přesných dat pro zájmové povodí bylo provedeno prostorovou interpolací dat ze zmíněných srážkoměrných stanic. Tento krok byl proveden metodou IDW (Inverse Distance Weighting - metoda inverzních vzdáleností) v programu ArcGIS. Jak uvádí Ježek (2015), tato metoda pracuje s teorií váženého průměru. Je založena na principu, kde váha bodu je nepřímo úměrná mocnině vzdáleností mezi ostatními interpolovanými body. Bližší bod by měl mít větší váhu než vzdálené body. Metoda IDW se řadí mezi využívanější metody prostorové interpolace. Tabulka výsledných hodnot návrhových srážek získaných interpolací se nachází níže. V případě srážek byla data připravena pro celé zájmové povodí z důvodu jeho malé plochy, a tedy i zanedbatelných rozdílů velikostí srážkových hodnot.

Tabulka 3.3: Výsledné maximální 24hodinové srážkové úhrny pro zájmové povodí

Pravděpodobnost opakování za N-roků Maximální 24-h srážkový úhrn v mm v zájmovém povodí				
2	10	20	50	100
36,5	56,2	64,2	74,1	81,8

3.2 Průměrné hodnoty odtokových křivek CN

Po získání srážkových dat bylo třeba zjistit průměrné hodnoty odtokových křivek CN. Průměrné hodnoty odtokových křivek CN byly určeny zvláště pro obě subpovodí.

Metoda čísel odtokových křivek slouží k určování přímých odtoků z přívalových dešťů. Je založena na převodu výšky přívalové srážky na přímý odtok na základě čísel odtokových křivek CN. Tyto hodnoty odtokových křivek CN jsou charakterizovány zejména hydrologickými vlastnostmi, využitím a způsobem obhospodařování půd a velikostí nepropustných ploch. Zpětný výpočet čísel odtokových křivek CN ukazuje na jejich úzkou souvislost s příčinnými srážkovými úhrny (Janeček a Kovář, 2010). Metoda byla odvozena v USA pro potřeby Služby na ochranu půdy (SCS - Soil Conservation Service) a byla publikována v roce 1972. Tato metoda je velmi oblíbená jak v USA, tak i v dalších zemích světa. Je také často používaná v České republice. Její světová popularita je dána především díky jednoduchosti a snadné aplikovatelnosti i pro malá nesledovaná povodí. (Janeček et al., 2012).

3.2.1 Výpočet hodnot odtokových křivek CN

Nejprve byla v programu ArcGIS vytvořena vrstva kódů BPEJ. Tato vrstva je ve formě „shapefile“ ke stažení z internetových stránek SPÚ (Státní pozemkový úřad, 2023). Následně dle Janečka et al. (2012) proběhlo přiřazení čísel odtokových křivek CN pro každou položku v atributové tabulce. To bylo provedeno na základě hydrologických skupin půd, způsobu využití a obdělávání půd a na základě hydrologických podmínek.

Hydrologické skupiny půd se dělí na A, B, C a D. Každá skupina je charakterizována jinými hydrologickými vlastnostmi, od půd s vysokou rychlostí infiltrace (skupina A), až po půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace (skupina D). Rozdělení do skupin proběhlo na základě hlavní půdní jednoty, která je součástí kódu BPEJ.

V případě lesních pozemků, které nemají přidělené kódy BPEJ byla zvolena metoda podle Šinka et al., (2013). Postup pro stanovení hydrologické skupiny půd pro lesy je podobný, jako u zemědělských půd. Výchozí podklad pro jejich zjištění však není mapa BPEJ, nýbrž mapa souboru lesních typů. Tyto mapy SLT ve formátu WMS poskytuje Ústav pro hospodářskou úpravu lesů (UHUL, 2023). Díky této mapě byla určena skupina lesních typů a s pomocí převodního klíče souboru lesních typů na skupinu typů geobiocénů byla stanovena hlavní půdní jednotka. Z ní již bylo možno stanovit hydrologickou půdní skupinu (Bínová et al., 2017).

Způsob využití půdy v zájmovém povodí byl zpracován v programu ArcGIS a je podrobněji popsán výše v této práci.

Způsob obdělávání půdy byl na základě rekognoskace území ze září 2022 určen jako obdělávání přímými řádky vedenými bez ohledu na sklon pozemku.

Hydrologické podmínky byly zvoleny jako střední v případě lesů a jako špatné ve všech ostatních případech. Jako špatné hydrologické podmínky lze charakterizovat ty podmínky, které omezují infiltraci vody do půdy a zvyšují odtok vody z povodí, při neponechání posklizňových zbytků.

Po přiřazení čísel odtokových křivek CN byly vypočteny průměrné hodnoty odtokových křivek pro obě subpovodí. Ty se nacházejí v tabulce 3.4. Jednotlivé hodnoty odtokových křivek CN jsou zobrazeny na obrázku 3.22, v kapitole výsledky.

Tabulka 3.4: Výsledné průměrné hodnoty odtokových křivek CN

	Plocha povodí v ha	Průměrná hodnota CN
Subpovodí 1	233,3	68
Subpovodí 2	28,1	74

3.3 Komponenty hydrologického modelu HEC-HMS

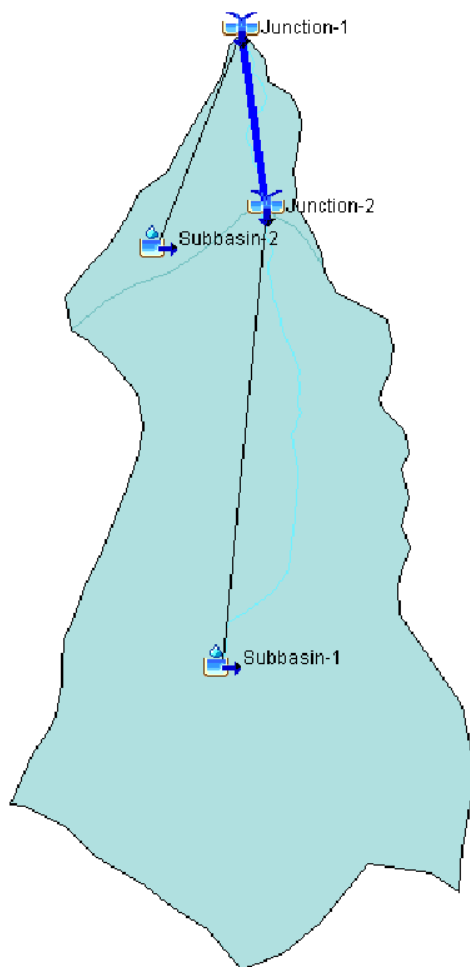
Jak již bylo popsáno výše, hydrologický model HEC-HMS pracuje s několika komponenty, které je třeba nadefinovat. Jedná se o komponenty, jejichž popis následuje.

3.3.1 Basin Model

V Programu HEC-HMS byl nejprve založen nový projekt a byl zvolen souřadnicový systém „S-JTSK / Krovak East North“. Následně byl vytvořen Model povodí 1. To bylo provedeno přes „Basin Model Manager“. Do nově vytvořeného modelu byly naimportovány rozvodnice, které byly připraveny v programu ArcGIS.

Dále bylo třeba vytvořit stromové schéma povodí, které se v případě zájmového povodí skládá z těchto prvků: Subpovodí 1, Subpovodí 2, Junction 1, Junction 2 a Reach (mezi Junction 1 a Junction 2). U všech těchto prvků byl určen směr proudu odtoku. Schéma povodí je zobrazeno na obrázku 3.18 níže. Následně byly vyplněny údaje pro obě subpovodí. Nejprve se jednalo o plochy povodí. Ty byly zjištěny z programu ArcGIS. Dále bylo třeba zvolit vhodné metody pro celkové hydrologické modelování. Popis zvolených metod a potřebné výpočty pro jejich aplikaci se nachází

níže. U obou subpovodí byl v našem případě zanedbán základní odtok, evapotranspirace a teplota povrchu povodí. Hydrologické modelování v této práci také nebere v úvahu tání sněhu.



Obrázek 3.18: Schéma povodí bez poldru

Loss

Pro výpočet ztráty (Loss) byla zvolena metoda SCN Curve Number, do které vstupuje počáteční ztráta, nepropustnost a průměrné hodnoty odtokových křivek CN. Výpočet odhadu počáteční ztráty byl proveden na základě 20% potenciální retence dle Janečka et al. (2012) následujícím způsobem:

$$I_a = 0,2 * A,$$

kde

I_a - počáteční ztráta [mm]

A - potenciální retence [mm]

$$A = 25,4 * (1000 / CN - 10),$$

kde

CN - hodnota odtokových CN křivek

Výpočet nepropustnosti byl proveden v programu ArcGIS, na základě způsobu využití území. Bylo zjištěno, že v Subpovodí 2 zabírají nepropustné plochy zhruba 3 %. V Subpovodí 1 se žádné nepropustné plochy nenachází, do programu HEC-HMS byla tedy zadána hodnota 0 %. Výsledky výpočtu odhadu počáteční ztráty a procento nepropustných ploch je uvedeno v tabulce 3.5. Popis výpočtu hodnot odtokových CN křivek se nachází výše.

Tabulka 3.5: Výsledné hodnoty počáteční retence I_a

	Počáteční retence I_a [mm]	Nepropustné plochy [%]
Subpovodí 1	23,7	0
Subpovodí 2	18,2	3

Transform

Dále bylo potřeba zvolit metodu transformace přímého odtoku (Transform). Kent (1971) říká, že metoda transformace ovlivňuje tvar kulminační vlny, a tím i velikost kulminačního průtoku. Pro tuto metodu byl zvolen Clark Unit Hydrograph. Bylo třeba vypočítat a zadat dobu koncentrace a retenční koeficient. Doba koncentrace T_c je čas, který je potřeba pro odtok z hydraulicky nejvzdálenější části povodí do uzávěrového profilu. Retenční koeficient R určuje dobu zadržení vody v povodí. Obě veličiny se udávají v hodinách. Doba koncentrace T_c byla vypočtena dle následujícího vzorce:

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

kde

T_{lag} - doba mezi výskytem maximální hodnoty příčinné srážky a kulminačním průtokem v uzávěrovém profilu povodí [h]

L - délka údolnice [feet]

S - maximální potenciální retence povodí [inches]

Y - průměrný sklon povodí [%]

Maximální potenciální retence povodí S [inches] se zjistí převedením potencionální retence A [mm] na palce [inches]: $S = A / 25,4$

Vztah mezi dobou koncentrace T_c a dobou T_{lag} je dán vztahem:

$$T_c = 1,67 * T_{lag} [h]$$

Retenční koeficient R byl vypočten dle vzorce:

$$R = A * L^B * S_{1085}^C,$$

kde

R - retenční koeficient [h]

L - maximální délka toku [mi]

S_{1085} - vzdálenost mezi 10 % a 85 % maximální délky údolnice [ft/mi]

A, B, C - koeficienty, které byly stanoveny pro Českou republiku ČHMÚ

$$A = 80$$

$$B = 0,342$$

$$C = -0,79$$

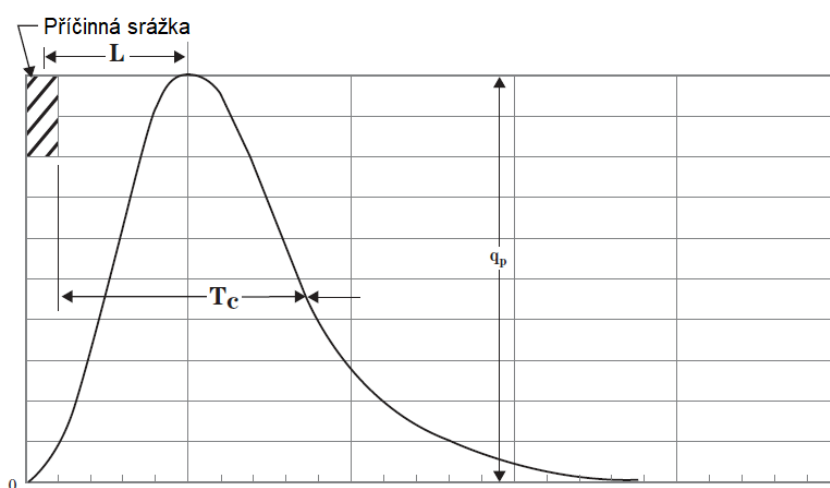
(Šercl, 2009)

Výsledky hodnoty doby koncentrace a retenčního koeficientu jsou v tabulce 3.6.

Tabulka 3.6: Výsledné hodnoty doby koncentrace T_c a retenčního koeficientu R

	Doba koncentrace T_c [h]	Retenční koeficient R [h]
Subpovodí 1	1,108	1,405
Subpovodí 2	0,610	1,149

Na obrázku 3.19 je znázorněn vztah mezi příčinnou srážkou a dobou koncentrace.



$L - T_{lag}$ - Lag time (doba mezi výskytem srážky a kulminačním průtokem)

T_c - Doba koncentrace

q_p - Velikost kulminačního průtoku

Obrázek 3.19: Doba koncentrace (Kent, 1971)

Reach

Dále bylo třeba definovat prvek tok (Reach). Ten slouží pro sledování postupu potenciální povodňové vlny. Ve zvoleném zájmovém povodí se tento prvek nachází mezi Junction 2 a Junction 1 v Subpovodí 2. Pro komponent Reach byl v možnosti Routing (proudění soustředěného odtoku vody v korytě) zvolen typ Discharge = Inflow (odtok = vtok). Pro prvek Reach byla zvolena metoda Muskingum. Linsley (1975) popisuje, že pro tuto metodu je třeba znát hodnotu Muskingum K a Muskingum X. Jedná se o veličiny, které definují velikost a rychlost vzestupu povodňové vlny při toku říčním korytem. Hodnota Muskingum K je čas průtoku korytem. Udává se v hodinách. Muskingum X jest bezrozměrné číslo, které se pohybuje v rozmezí 0 - 0,5. V praktické aplikaci hodnota nula udává výsledek maximálního útlumu a hodnota 0,5 je bez útlumu. Zpravidla se volí hodnota 0,2. Pro hydrologické modelování v této diplomové práci byla taktéž zvolena pro Muskingum X hodnota 0,2. Hodnota Muskingum K byla vypočítána z následujícího vzorce:

$$K = L / V_w,$$

kde

L - délka koryta [m]

V_w - rychlost povodňové vlny [m/h]

Rychlost povodňové vlny V_w byla vypočítána na základě Chézyho rovnice. Tato rovnice slouží pro výpočet rychlosti proudění vody v otevřeném korytě. Rovnici odvodil roku 1775 francouzský inženýr Antoine de Chézy. Rovnice má tvar:

$$v = C\sqrt{R * i},$$

kde

v - rychlost proudění vody [m/s]

R - hydraulický poloměr [m] - (R = průtočná plocha koryta / omočený obvod)

i - podélný sklon dna koryta

C - Chézyho rychlostní součinitel [$m^{0,5} * s^{-1}$]

Chézyho rychlostní součinitel C se zjistí dle Manningova vzorce:

$$C = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}},$$

kde

C - Chézyho rychlostní součinitel [$m^{0,5} * s^{-1}$]

n - drsnostní součinitel (drsnost koryta)

R - hydraulický poloměr [m] - ($R = \text{průtočná plocha} / \text{omočený obvod}$)

(Mattas, 2014)

Po vypočítání rychlosti proudění vody se vypočítá rychlost povodňové vlny V_w jakožto n násobek rychlosti proudění vody v. Číslo n je v rozmezí 1,33 - 1,67 (Feldman, 2000). Výsledné hodnoty Muskingum K a Muskingum X se nacházejí v tabulce 3.7.

Tabulka 3.7: Výsledné hodnoty Muskingum K a Muskingum X

Veličina	Hodnota
Muskingum K	0,045 h
Muskingum X	0,2

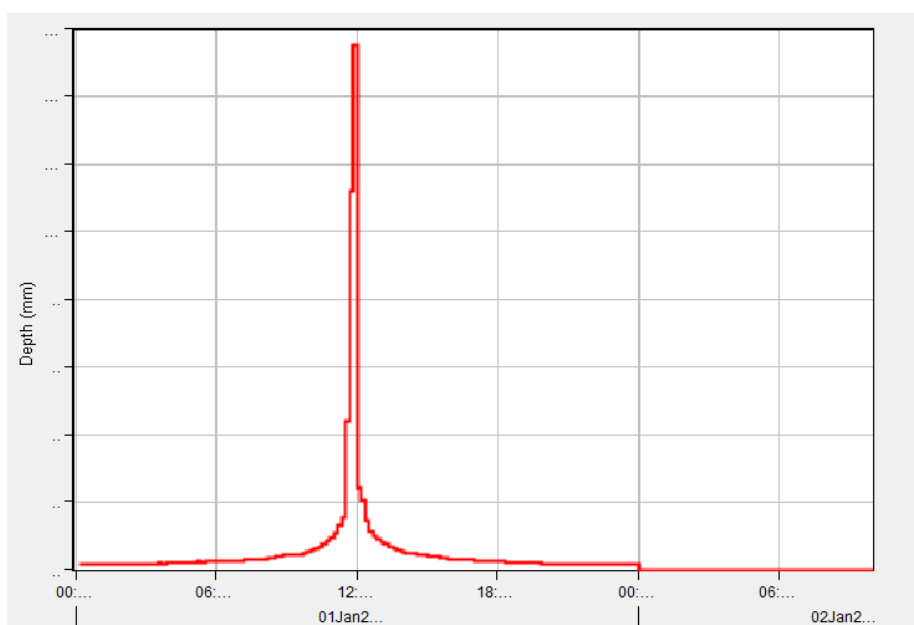
Junction

Na závěr bylo potřeba vyplnit prvek Junction. Tento prvek lze charakterizovat jako soutok. Je to prvek, který může simulovat přímo soutoky jednotlivých toků, nebo nahrazuje uzávěrové profily. U tohoto prvku se vyplňuje pouze prvek, který se nachází dále po proudu.

3.3.2 Meteorological Model

Pro přidání návrhových srážek do hydrologického modelování bylo třeba v programu HEC-HMS vytvořit meteorologický model (Meteorological Model). To bylo provedeno přes funkci „Meteorological Model Manager“. Bylo vytvořeno celkem pět meteorologických modelů. Každý model reprezentoval jinou návrhovou srážku. Jak již bylo popsáno výše, jednalo se o dvouleté, desetileté, dvacetileté, padesátileté a stoleté příčinné srážky. Dále byly vyplněny jednotlivé hodnoty celkového úhrnu návrhových srážek, které byly získány interpolací v programu ArcGIS. Popis postupu zjištění návrhových srážek jest uveden výše. Také bylo třeba vybrat druh srážky. Bylo možné vybírat z možností: Specified Hyetograph (specifický hyetogram), Inverse Distance (inverzní vzdálenost), Gridded Precipitation (metoda mřížky), Frequency Storm (frekvenční bouře) nebo Hypotetical Storm (hypotetická bouře). Jako druh srážek byla ve všech případech zvolena poslední možnost, tedy typ Hypotetical Storm. Hypotetical Storm je nasimulování příčinné srážky, která by mohla nastat v dané oblasti.

Jde o obecný typ přívalové srážky. Dále byl zvolen typ pro časové rozložení srážky. Zde byl použit vzorec SCS Type 2. Tento typ vzorce byl vybrán na základě uživatelské příručky programu HEC-HMS jako nejvhodnější. Na základě zadaného celkového srážkového úhrnu a vybraného vzorce pro distribuci srážek byl programem HEC-HMS vytvořen pravděpodobný hyetogram, kde celková délka trvání srážky je 24 hodin, ale většina srážek spadne v intervalu jen zhruba dvou hodin. Takto navržené srážkové události jsou vhodné zejména pro území, kde je absence srážkoměrů a chybí zde tedy data o přívalových deštích (HEC-HMS, 2023). Na následujícím obrázku 3.20 je znázorněn hyetogram použité stoleté návrhové přívalové srážky.



Obrázek 3.20: Hyetogram stoleté návrhové srážky

3.3.3 Control specification

Posledním komponentem, který se musí zadat do programu HEC-HMS, aby vůbec mohlo být dosaženo nějakých hydrologických výpočtů v tomto programu je Control specification. V tomto prvku byla nastavena doba, po kterou bylo definované povodí kontrolováno. Začátek sledování byl nastaven shodně se začátkem příčinné srážky. Konec sledování byl nastaven s dostatečnou rezervou, aby byly po provedení hydrologických výpočtů v programu HEC-HMS vidět na hydrogramech všechny výsledky. Interval sledování byl nastaven na 10 minut.

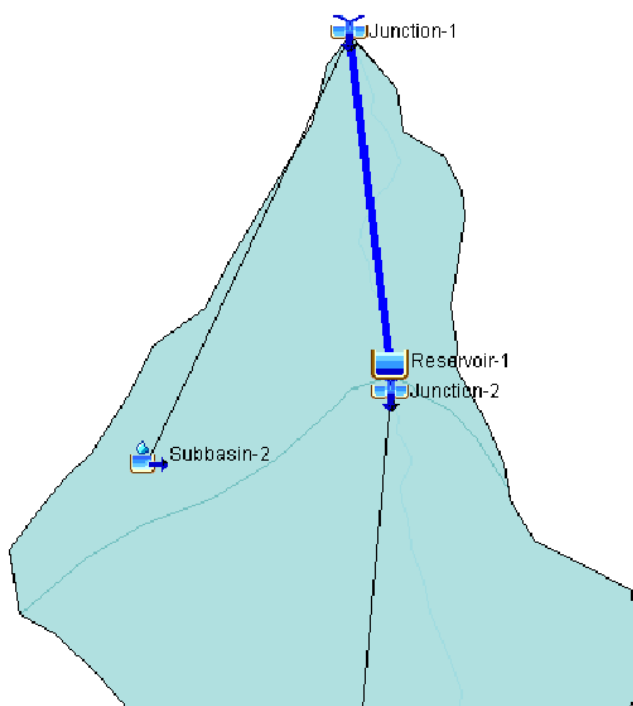
Po tomto kroku již mohly být v programu HEC-HMS nasimulovány různé srážko-odtokové charakteristiky při různých návrhových srážkách, avšak pouze pro situaci, kdy se na vodním toku nenachází žádný prvek, který by v povodí zadržoval vodu.

Pro případ modelování s retenčním prvkem (poldrem) bylo třeba tuto MVN v programu HEC-HMS přidat do Basin modelu.

3.3.4 Reservoir

V programu HEC-HMS se díky prvku vodní nádrž (Reservoir) mohou navrhnout jakékoliv vodní nádrže (nejen MVN, ale i velká přehradní díla).

Nejprve byl funkcí „Basin Model Manager“ vytvořen nový Model povodí 2. Do tohoto modelu byly přidány veškeré prvky, jako do Modelu povodí 1. Byly do něj také doplněny všechny elementy (Subpovodí 1, Subpovodí 2, Junction 1, Junction 2 a Reach) a dosazeny veškeré hodnoty, které byly vypočítány výše, jako do Modelu povodí 1. Tím byl získán stejný model povodí, avšak do tohoto nového modelu byl mezi prvky Junction 2 a Reach přidán prvek Reservoir, který simuluje již existující poldr. Díky vložení elementu vodní nádrže do Subpovodí 1 mohlo být později provedeno porovnání průtoků při srážko-odtokových událostech při stavu bez vodní nádrže a při stavu s vodní nádrží. Toto porovnání se nachází ve výsledcích. Na obrázku 3.21 je zobrazeno schéma povodí s přidanou vodní nádrží.



Obrázek 3.21: Schéma povodí s vodní nádrží

Po přidání vodní nádrže bylo třeba tento prvek patřičně definovat. To proběhlo dle technického manuálu programu HEC-HMS. Pro výpočet transformace povodňové vlny byla zvolena metoda Outflow Curve (křivka odtoku). Tato metoda funguje

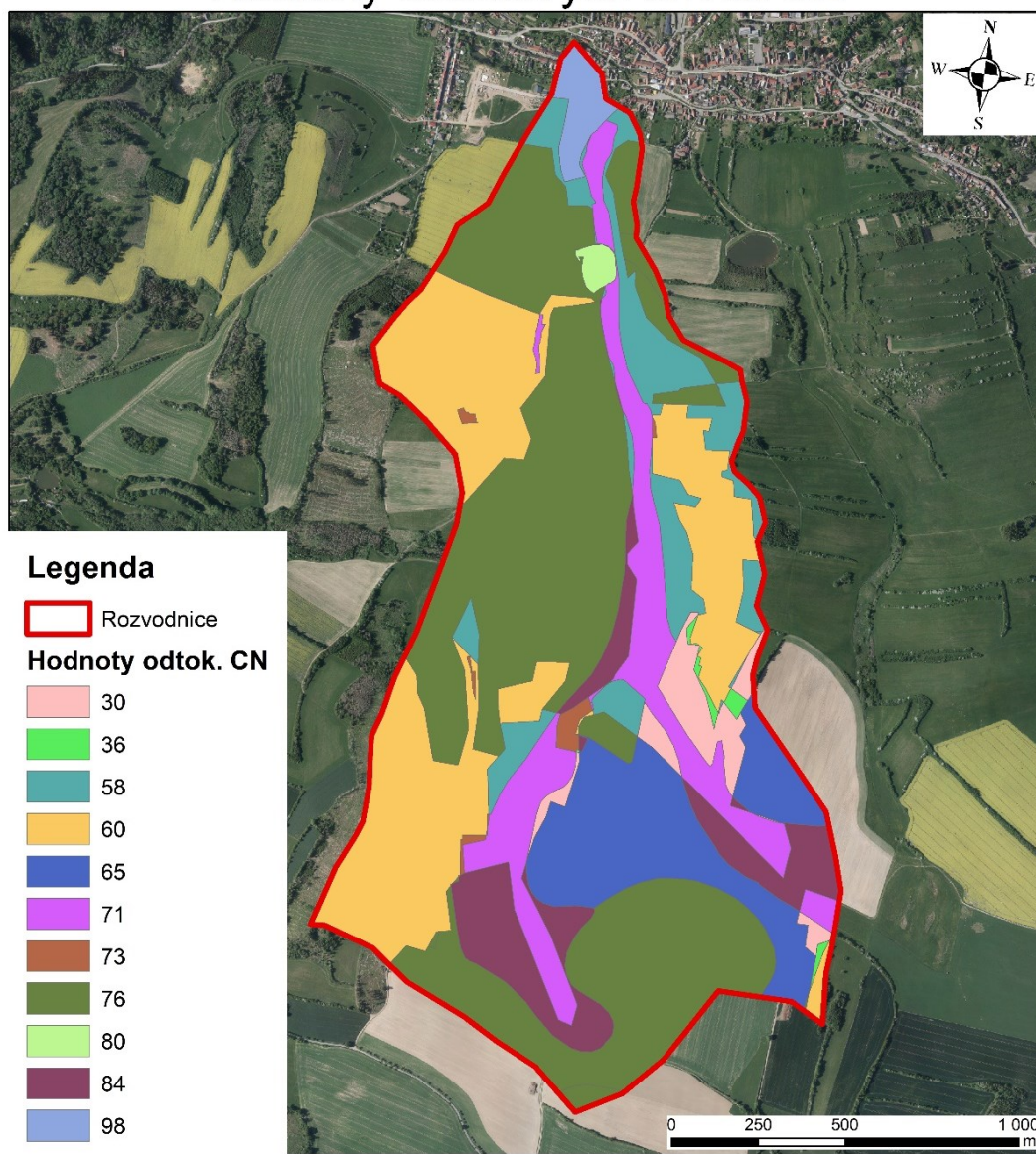
na základně vztahu mezi kapacitou nádrže a odtokem z nádrže. Dále bylo třeba vybrat metodu pro zadržení vody v nádrži. Tou byla zvolena metoda Storage-Discharge (zadržení-odtok). Pro tuto metodu bylo třeba přes funkci „Paired Data Manager“ vyplnit hodnoty pro výpočet samotné transformace. Do prvního řádku okna pro zadání hodnot byly vloženy nulové hodnoty, do dalšího hodnota objemu retenčního prostoru poldru ($58\,251\text{ m}^3$) a nejvyššího možného odtoku spodní výpustí ($3,3\text{ m}^3/\text{s}$). Nakonec byla vybrána metoda pro Initial Condition (počáteční stav). Byla použita možnost Inflow = Outflow (přítok = odtok), při které je voda zadržována v nádrži a současně konstantně vypouštěna (HEC-HMS Technical Reference Manual, 2023).

4 Výsledky

Hlavní část výsledků této diplomové práce zkoumá vyhodnocení vlivu MVN na srážko-odtokové charakteristiky při různých návrhových srážkách. Tyto výsledky jsou uvedeny níže. Nejprve jsou zde však uvedeny zjištěné výsledky některých důležitých vstupů, které bylo potřeba vytvořit či případně vypočítat pro program HEC-HMS.

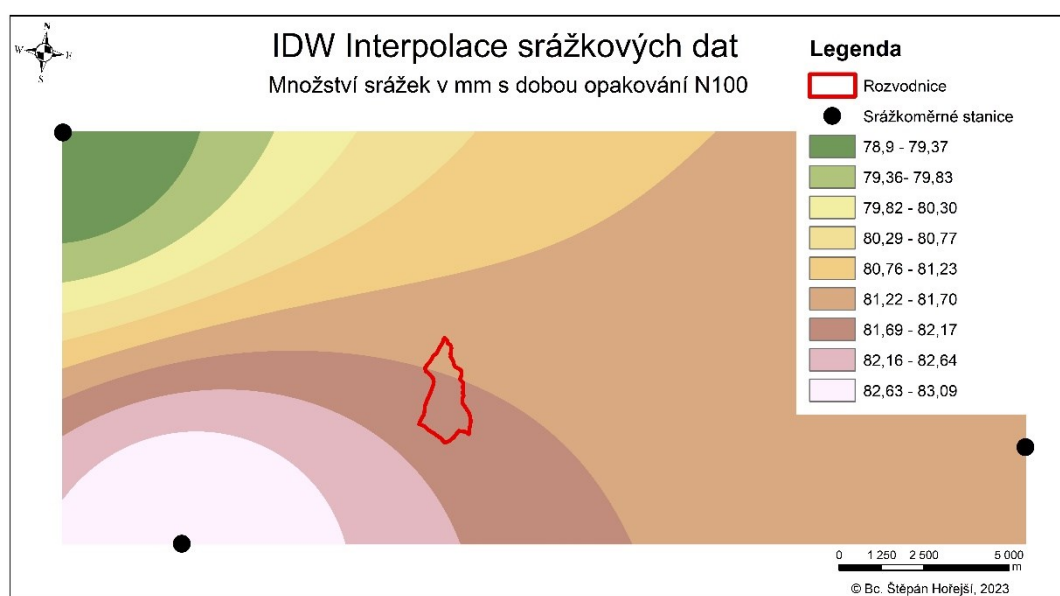
Nejprve bylo třeba zjistit hodnoty odtokových křivek CN v programu ArcGIS. Na následujícím obrázku 4.22 je znázorněna mapa povodí právě s hodnotami odtokových křivek CN.

Hodnoty odtokových křivek CN



Obrázek 4.22: Jednotlivé hodnoty odtokových křivek CN (vlastní)

Další důležitý vstup byl výpočet množství návrhových srážek. To bylo provedeno IDW interpolací v programu ArcGIS. Přesný postup a popis této metody interpolace je uveden v kapitole Metody. Na obrázku 4.23 je zobrazena interpolace srážek s dobou opakování sto let. Z takto zjištěných hodnot srážek bylo třeba ještě určit průměry pro celé povodí. Ty byly zjištěny také v programu ArcGIS a jejich hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.3 v kapitole Metody.



Obrázek 4.23: Interpolace srážkových dat (vlastní)

Jeden z dalších stěžejních vstupů pro výpočty v programu HEC-HMS byla doba koncentrace. Ta byla vypočítána dle vzorců uvedených v kapitole Metody. Pro Subpovodí 1, které je plošně větší, vyšla tato hodnota 1,108 hodin (přibližně 66 minut). Pro Subpovodí 2 byl výsledek doby koncentrace 0,610 hodin (přibližně 37 minut). Pro porovnání byla doba koncentrace vypočtena také v programu ERCN. Zde byla pro Subpovodí 1 zjištěna doba koncentrace 1,231 hodin (přibližně 74 minut). Hodnoty vypočítané dle vzorců uvedených v kapitole Metody a hodnoty zjištěné z programu ERCN se tedy nijak výrazně neliší. Na následujícím obrázku 4.24 je zobrazen výřez výpočtu doby koncentrace z programu ERCN.

Celková doba koncentrace

Plošný povrchový odtok

Délka : l = 100 m Hydraulický sklon : s = 0,01 tg α

Drsnost : n = 0,15 ... Dvouletý 24-h déšť : Hs2 = 36,5 ... mm

Tta = 0,832 h

Soustředěný odtok o malé hloubce

Délka : l = 947 m Hydraulický sklon : s = 0,0391 tg α

Povrch na zájmovém území

Nedlážděný

Dlážděný

Rychlost : v = 0,972 m /s

Ttb = 0,271 h

Soustředěný odtok v otevřeném korytě

Délka : l = 1602 m Hydraulický sklon : s = 0,0374 tg α

Drsnost : n = 0,033 ... Plocha příč. profilu : F = 2,08 m²

Rychlost : v = 3,462 m /s Omočený obvod : O = 4,58 m

Ttc = 0,129 h Hydraulický ploměr : R = 0,454 m

Tc = 1,231 h Výpočet Tc

Obrázek 4.24: Výpočet doby koncentrace v programu ERCN

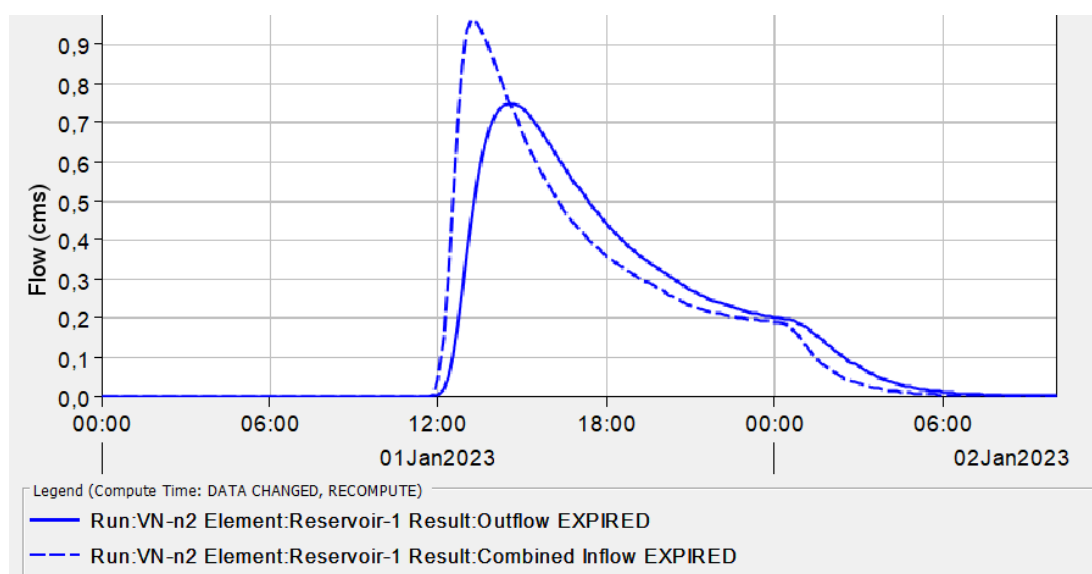
Získané výsledky o kulminačních průtocích pocházejí z programu pro hydrologické modelování HEC-HMS a jsou uvedeny ve formě přehledných tabulek a grafů. Tyto výsledky jsou rozděleny do kapitol podle jednotlivých návrhových srážek. Sledování simulovaných průtoků bylo provedeno v prvku Reach, tedy v místě mezi poldrem a uzávěrovým profilem v Subpovodí 2, kde vodní tok proudí otevřeným korytem. Jak již bylo uvedeno výše prvek Reach je umístěn mezi prvky Junction 2 a Junction 1. Výsledky porovnávají simulovaný stav bez vodní nádrže a stav s vytvořenou vodní nádrží. Jelikož byly pro malou vodní nádrž použity její skutečné parametry, můžeme díky tomu porovnat srážko-odtokové situace v zájmovém povodí před vybudováním nádrže a nyní.

4.1 Dvouletá návrhová srážka - N2

Simulovaná návrhová srážka s dobou opakování dva roky začala v 00:00 hodin a skončila v 00:00 hodin následujícího dne. Vrchol návrhové srážky nastal mezi 11:45 a 12:05 hodin.

V případě simulace situace bez vodní nádrže nastal kulminační průtok v místě, kde je při simulaci s poldrem jeho hráz v 13:10 hodin. Velikost kulminačního průtoku byla 0,96 m³/s. Celkové množství oteklé vody ze Subpovodí 1 bylo 2 900 m³.

Tak jako v případě simulace situace bez vodní nádrže byla pro situaci s poldrem použita stejná návrhová srážka. Ze zkoumání výsledků simulace situace s vodní nádrží jest vidno, že kulminační průtok pod hrází poldru nastal později, až ve 14:30 hodin. Velikost kulminačního průtoku prvkem Reach byla 0,75 m³/s. Vodní nádrž v tomto případě pojmul 960 m³ vody. Níže na obrázku 4.25 je zobrazen hydrogram povodňové vlny simulace s návrhovou srážkou N2.



Obrázek 4.25: Hydrogram povodňové vlny s vodní nádrží a s návrhovou srážkou N2

Modrá plná čára - Průtok výpustným zařízením poldru

Modrá čárkovaná čára - Průtok v místě výpustného zařízení poldru při simulaci bez vodní nádrže

Porovnání

Níže se nachází tabulka (4.8) pro porovnání výsledků simulace situací bez vodní nádrže a s vodní nádrží při návrhové srážce s dobou opakování dva roky.

Tabulka 4.8: Porovnání výsledků při návrhové srážce N2

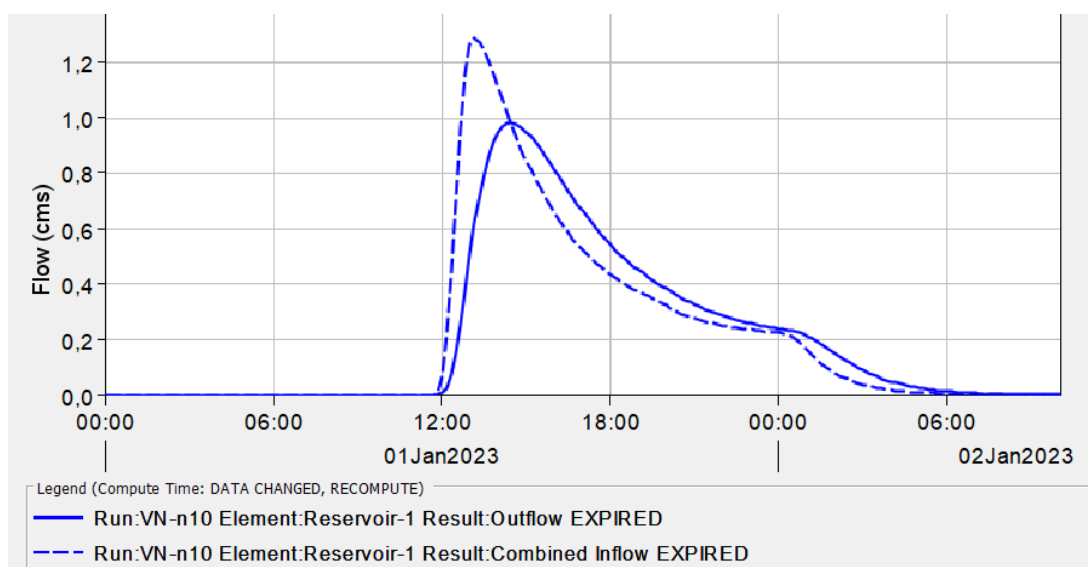
	Kulminační průtok [m ³ /s]	Doba kulminace [h]	Množství odteklé vody z povodí [m ³]
Situace bez vodní nádrže	0,96	13:10	2 900
Situace s vodní nádrží	0,75	14:30	2 900

4.2 Desetiletá návrhová srážka - N10

Simulovaná návrhová srážka s dobou opakování deset let začala v 00:00 hodin a skončila v 00:00 hodin následujícího dne. Vrchol návrhové srážky nastal opět mezi 11:45 a 12:05 hodin.

V případě simulace situace bez vodní nádrže nastal kulminační průtok v místě, kde je při simulaci s poldrem jeho hráz ve 13:10 hodin. Velikost kulminačního průtoku byla 1,29 m³/s. Celkové množství odteklé vody ze Subpovodí 1 bylo 16 300 m³.

Tak jako v případě simulace situace bez vodní nádrže byla pro situaci s poldrem použita stejná návrhová srážka. Ze zkoumání výsledků simulace situace s vodní nádrží je vidět, že kulminační průtok pod hrází poldru nastal později, až ve 14:30 hodin. Velikost kulminačního průtoku prvkem Reach byla 0,98 m³/s. Vodní nádrž v tomto případě pojmul 5 780 m³ vody. Níže na obrázku 4.26 je zobrazen hydrogram povodňové vlny simulace s návrhovou srážkou N10.



Obrázek 4.26: Hydrogram povodňové vlny s vodní nádrží a s návrhovou srážkou N10

Modrá plná čára - Průtok výpustným zařízením poldru

Modrá čárkovaná čára - Průtok v místě výpustného zařízení poldru při simulaci bez vodní nádrže

Porovnání

Níže se nachází tabulka (4.9) pro porovnání výsledků simulace situací bez vodní nádrže a s vodní nádrží při návrhové srážce s dobou opakování deset let.

Tabulka 4.9: Porovnání výsledků při návrhové srážce N10

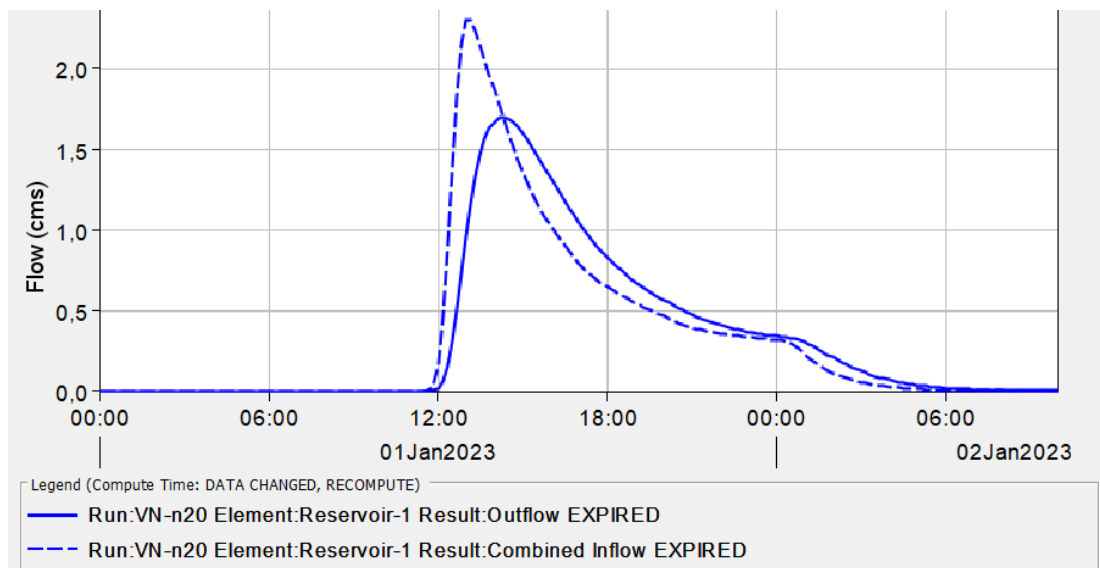
	Kulminační průtok [m ³ /s]	Doba kulminace [h]	Množství odtéklé vody [m ³]
Situace bez vodní nádrže	1,29	13:10	16 300
Situace s vodní nádrží	0,98	14:30	16 300

4.3 Dvacetiletá návrhová srážka - N20

Simulovaná návrhová srážka s dobou opakování dvacet let opět začala v 00:00 hodin a skončila v 00:00 hodin následujícího dne. Vrchol návrhové srážky nastal ve stejnou dobu, jako u předešlých srážek, tedy mezi 11:45 a 12:05 hodin.

V případě simulace situace bez vodní nádrže nastal kulminační průtok v místě, kde je při simulaci s poldrem jeho hráz ve 13:00 hodin. Velikost kulminačního průtoku byla 2,27 m³/s. Celkové množství odtéklé vody ze Subpovodí 1 bylo 24 100 m³.

Tak jako v případě simulace situace bez vodní nádrže byla pro situaci s poldrem použita stejná návrhová srážka. Ze zkoumání výsledků simulace situace s vodní nádrží je vidět, že kulminační průtok pod hrází poldru nastal později, až ve 14:15 hodin. Velikost kulminačního průtoku prvkem Reach byla 1,71 m³/s. Vodní nádrž v tomto případě pojmul 8 870 m³ vody. Níže na obrázku 4.27 je zobrazen hydrogram povodňové vlny simulace s návrhovou srážkou N20.



Obrázek 4.27: Hydrogram povodňové vlny s vodní nádrží a s návrhovou srážkou N20

Modrá plná čára - Průtok výpustným zařízením poldru

Modrá čárkovaná čára - Průtok v místě výpustného zařízení poldru při simulaci bez vodní nádrže

Porovnání

Níže se nachází tabulka (4.10) pro porovnání výsledků simulace situací bez vodní nádrže a s vodní nádrží při návrhové srážce s dobou opakování dvacet let.

Tabulka 4.10: Porovnání výsledků při návrhové srážce N20

	Kulminační průtok [m ³ /s]	Doba kulminace [h]	Množství odteklé vody [m ³]
Situace bez vodní nádrže	2,27	13:00	24 100
Situace s vodní nádrží	1,71	14:15	24 100

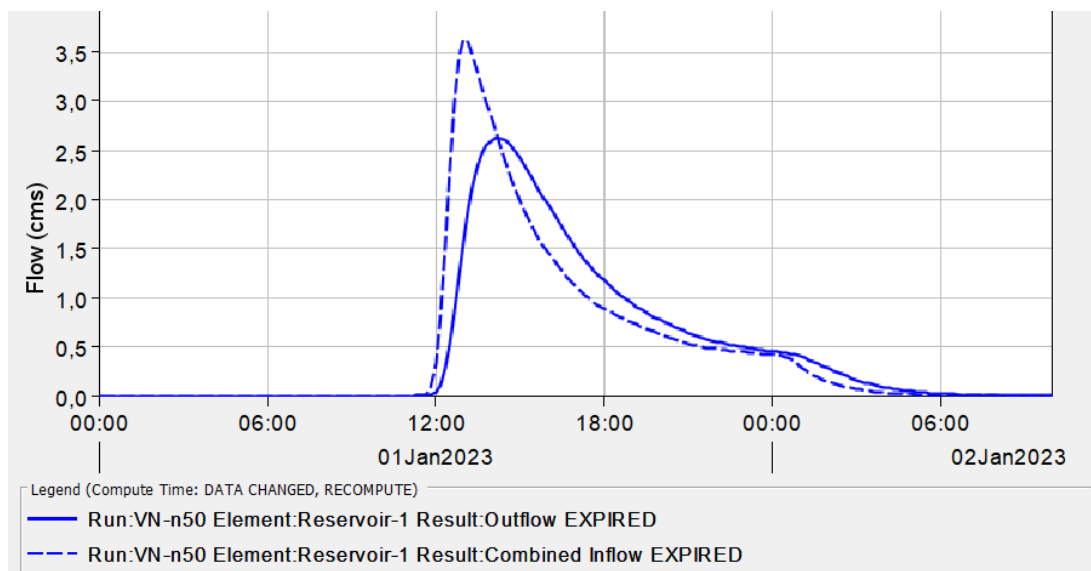
4.4 Padesátiletá návrhová srážka - N50

Začátek, konec i doba kulminace srážky s dobou opakování padesát let je stejná jako u předchozích návrhových srážek.

V případě simulace situace bez vodní nádrže nastal kulminační průtok v místě, kde je při simulaci s poldrem jeho hráz ve 13:00 hodin. Velikost kulminačního průtoku byla 3,65 m³/s. Celkové množství odteklé vody ze Subpovodí 1 bylo 35 100 m³.

Tak jako v případě simulace situace bez vodní nádrže byla pro situaci s poldrem použita stejná návrhová srážka. Ze zkoumání výsledků simulace situace s vodní nádrží

je vidět, že kulminační průtok pod hrází poldru nastal později, až ve 14:10 hodin. Velikost kulminačního průtoku prvkem Reach byla 2,64 m³/s, tedy nižší. Vodní nádrž v tomto případě pojmul 13 370 m³ vody. Níže na obrázku 4.28 je zobrazen hydrogram povodňové vlny simulace s návrhovou srážkou N50.



Obrázek 4.28: Hydrogram povodňové vlny s vodní nádrží a s návrhovou srážkou N50

Modrá plná čára - Průtok výpustným zařízením poldru

Modrá čárkovaná čára - Průtok v místě výpustného zařízení poldru při simulaci bez vodní nádrže

Porovnání

Níže se nachází tabulka (4.11) pro porovnání výsledků simulace situací bez vodní nádrže a s vodní nádrží při návrhové srážce s dobou opakování padesát let.

Tabulka 4.11: Porovnání výsledků při návrhové srážce N50

	Kulminační průtok [m ³ /s]	Doba kulminace [h]	Množství odteklé vody [m ³]
Situace bez vodní nádrže	3,65	13:00	35 100
Situace s vodní nádrží	2,64	14:10	35 100

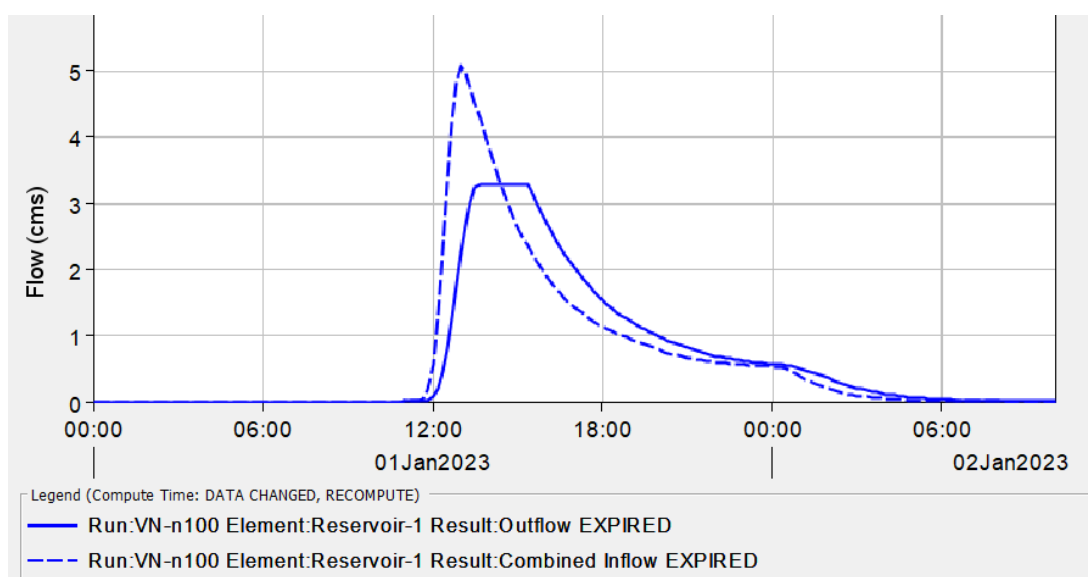
4.5 Stoletá návrhová srážka - N100

Začátek, konec i doba kulminace stoleté návrhové srážky je stejná jako u předchozích návrhových srážek.

V případě simulace situace bez vodní nádrže nastal kulminační průtok v místě, kde je při simulaci s poldrem jeho hráz ve 13:00 hodin. Velikost kulminačního průtoku byla 5,05 m³/s. Celkové množství odtékající vody ze Subpovodí 1 bylo 44 600 m³.

I pro simulaci situace s poldrem byla použita stejná návrhová srážka. Z výsledků je vidět, že začátek kulminačního průtoku pod hrází poldru nastal ve 13:25 hodin. Velikost kulminačního průtoku prvkem Reach byla 3,30 m³/s.

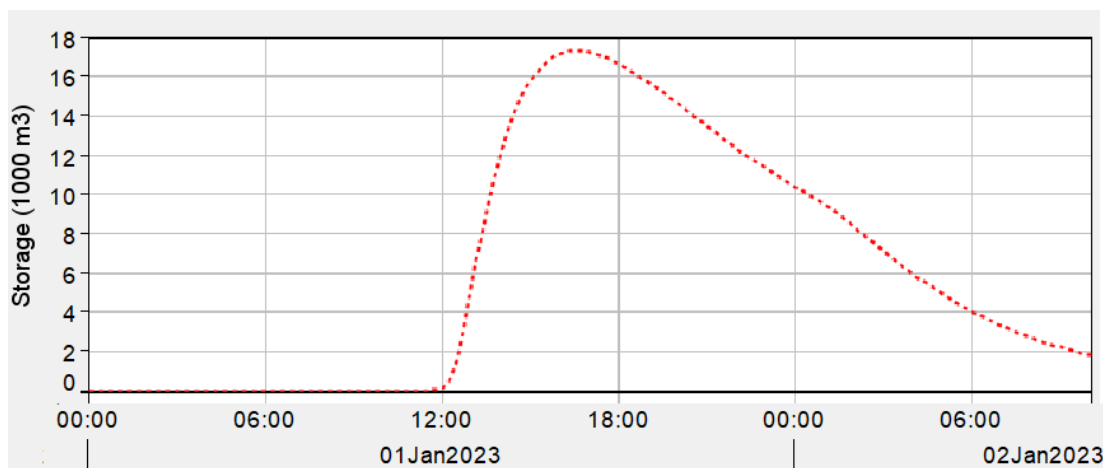
Při stoleté návrhové srážce se tedy v nádrži nahromadilo tolik vody, že výpustným zařízením poldru vytékalo maximální množství vody, na které byla výpust projektována. Na hydrogramu na obrázku 4.29 níže je zobrazeno, že kulminační průtok byl snížen a v čase mezi 13:25 a 15:35 vytékal z MVN konstantní kulminační průtok 3,30 m³/s. Je názorně vidět, že kulminační průtok byl snížen a jeho doba byla zároveň prodloužena, oproti modelu bez vodní nádrže. Kulminační povodňová vlna se tedy ve vodní nádrži transformovala. Vodní nádrž v tomto případě pojmul 17 330 m³ vody. Na dalším obrázku 4.30 je zobrazeno plnění retenčního prostoru vodní nádrže při stoleté návrhové srážce.



Obrázek 4.29: Hydrogram povodňové vlny s vodní nádrží a s návrhovou srážkou N100

Modrá plná čára - Průtok výpustným zařízením poldru

Modrá čárkovaná čára - Průtok v místě výpustného zařízení poldru při simulaci bez vodní nádrže



Obrázek 4.30: Plnění retenčního prostoru vodní nádrže při návrhové srážce N100

Porovnání

Níže se nachází tabulka (4.12) pro porovnání výsledků simulace situací bez vodní nádrže a s vodní nádrží při návrhové srážce s dobou opakování sto let.

Tabulka 4.12: Porovnání výsledků při návrhové srážce N100

	Kulminační průtok [m ³ /s]	Doba kulminace [h]	Množství odteklé vody [m ³]
Situace bez vodní nádrže	5,05	13:10	44 600
Situace s vodní nádrží	3,30	13:25 - 15:35	44 600

4.6 Zhodnocení

V případě simulace situace s vodní nádrží klesl kulminační průtok u stoleté návrhové srážky o 35 % na hodnotu 3,30 m³/s, což je maximální kapacita spodní výpusti poldru. Doba kulminace byla také opožděna. V poldru se v tomto případě zadrželo 17 330 m³ vody. Můžeme tedy konstatovat, že poldr splnil svoji funkci.

Z výsledků je také patrné, že hodnoty při modelování stoleté návrhové srážky nebyly stále tak vysoké, aby musela být voda z poldru odváděna bezpečnostním přelivem. Vodní nádrž je tedy dimenzována na větší příčinné srážky, než byly použity v této práci.

5 Diskuse

Hydrologické modelování vytvořené v programu HEC-HMS a uvedené v této diplomové práci staví na základech, že vodní nádrže ovlivňují průtoky na vodních tocích. Díky vodním nádržím je možné snižovat kulminační průtoky, které by jinak mohly způsobovat značné škody. To potvrzuje například Starý (1986) nebo Lewis (2013). Výsledky v této práci toto tvrzení potvrdily. Po vytvoření vodní nádrže klesl stoletý kulminační průtok o 35 %. Také se opozdila doba kulminace.

Nelze obecně říci, o kolik procent se sníží kulminační průtok po vybudování malé vodní nádrže v povodí. To záleží na mnoha faktorech. Šercl (2009) píše, že mezi tyto faktory patří například kapacita retenčního prostoru nádrže, charakteristika povodí a vodního toku nebo klimatické podmínky lokality.

Sklenář a Brázdil (2012) uvádějí, že po vybudování vodní nádrže dochází ke zásadním změnám v rozložení průměrného ročního chodu průtoků. Průtoky před výstavbou vodní nádrže jsou mnohem více proměnlivé. Po výstavbě vodní nádrže také poklesne frekvence i velikost kulminačních průtoků. Rovněž se opoždí doba kulminace. Dále však uvádějí, že vše závisí na typu vodní nádrže a lokalitě jejího umístění. To potvrzují i Mei et al. (2016).

V případě zjištěných výsledků je třeba brát v potaz, že vstupní data pro hydrologické modelování byla většinou zjištěna z prostředí počítačových programů. Pro získání kvalitnějších vstupních dat, a tedy i přesnějších výsledků byl autor této práce omezen zejména absencí srážkoměrné stanice v povodí a absencí zařízení, které by sbíralo dlouhodobá data o průtocích zájmového vodního toku. Pro verifikaci zjištěných výsledků by se těmito daty mohl dále kalibrovat hydrologický model v programu HEC-HMS, aby dosahoval ještě přesnějších výsledků než těch, které byly v této práci zjištěny (Flaming 2004).

O citlivosti programu HEC-HMS na vstupní data píše také Jeníček et al. (2011), kteří uvádějí, že využití hydrologických modelů s sebou nese mnoho pochybností a nejistot. Při hydrologickém modelování jest třeba dbát na kvalitu vstupních dat, volbu časového rozložení a vůbec zvolit vhodný hydrologický model.

Závěr

Tato diplomová práce pojednává o vlivu vodních nádrží na odtokové charakteristiky při srážko-odtokových událostech v povodí.

Práce se skládá ze dvou částí, a to z literární rešerše a praktické části. V té rešeršní se práce věnuje vodním nádržím a jejich dělení. Následně jsou popsány jak srážky a odtok, tak samotný srážko-odtokový proces. Na závěr rešeršní části jsou popsány jednotlivé hydrologické modely, blíže je pak specifikován hydrologický model HEC-HMS. Praktická část se skládá z popisu povodí, popisu vzniklého poldru a z popisu použité metody pro hydrologické výpočty.

Pro tuto práci bylo vybráno povodí bezejmenného vodního toku u obce Kamenice v okrese Jihlava, kde se v minulosti po přivalových deštích několikrát rozvodnil bezejmenný vodní tok a přinesl s sebou do intravilánu obce povodňovou vlnu, která zatopila několik rodinných domů.

Cílem této diplomové práce bylo pomocí hydrologického modelu HEC-HMS nasimulovat a porovnat odtoky z vybraného povodí před výstavbou MVN a po jejím vybudování. Jako srážková data byly použity návrhové N-leté přivalové srážky. Ty byly získány interpolací ze tří nejbližších srážkoměrných stanic. Dále muselo být připraveno několik dalších vstupních dat. Samotný výpočet průtoků včetně získaných grafů byl proveden v programu HEC-HMS.

Z dosažených výsledků je patrné, že po vytvoření vodní nádrže klesl kulminační průtok u návrhové srážky s dobou opakování sto let o 35 %. Po výstavbě MVN se také opozdila doba kulminace.

Můžeme tedy konstatovat, že po vybudování malé vodní nádrže se kulminační průtoky díky transformaci ve vodní nádrži snížily. Navíc hodnoty přítoku do nádrže při modelování stoleté návrhové srážky nebyly stále tak vysoké, aby musela být voda z poldru odváděna bezpečnostním přelivem. Vodní nádrž je tedy dimenzována na větší příčinné srážky, než byly použity v této práci.

Diplomová práce se bezpochyby zabývá velmi důležitou problematikou, jíž by se její autor i v budoucnu rád hlouběji zabýval.

Seznam použité literatury

Seznam klasické literatury

BEDIENT, P. B. et al. (2013). *Hydrology and Floodplain Analysis*. 5. vydání. Pearson, Upper Sadle River, NJ, 816 s. ISBN 978-0-13-256796-1.

BECKER, A. a SERBAN, P. (1990). *Hydrological models for water - resources system design and operation*. Operational Hydrology Report No. 34, WMO, Geneva, 80 s.

BEVEN, K. (2012). *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer*. 2. vydání. Wiley, Chichester, 457 s. ISBN 978-0-470-71459-1.

BÍNOVÁ, L. et al. (2017). *Metodika vymezení územního systému ekologické stability*. Ministerstvo životního prostředí, Praha, 186 s.

BRANDT, M. J. et al. (2017). *Twort's Water Supply*. 7. vydání. Elsevier, 676 s. ISBN 978-0-340-72018-9.

BRÁZDIL, R. et al. (2005). *Historie počasí a podnebí v Českých zemích: Historické a současné povodně v České republice*. Masarykova univerzita, Brno, 369 s. ISBN 80-210-3864-0.

BRÁZDIL, R. a TRNKA, M. (2015). *Historie počasí a podnebí v Českých zemích: minulost, současnost, budoucnost*. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, Brno, 402 s. ISBN 978-80-87902-11-0.

BROŽA, V. et al. (2009). *Přehrady Čech Moravy a Slezska*. Nakladatelství knihy 555, Liberec, 251 s. ISBN 80-86660-11-7.

BRUTSAERT, W. (2005). *Hydrology: an Introduction*. 8. vydání. Cambridge University Press, Cambridge, 605 s. ISBN 978-0-521-82479-8.

ČEKAL, R. et al. (2011). *Průvodce informacemi pro povodňové orgány*. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 32 s. ISBN 987-80-86690-93-3.

DAŇHELKA, J. et al. (2003). *Posouzení vhodnosti aplikace srážko-odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR*. ČZU Praha, Praha, 214 s.

DAŇHELKA, J. (2007). *Operativní hydrologie: Hydrologické modely a nejistota předpovědi*. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 104 s.

DAVIE, T. (2008). *Fundamentals of Hydrology*. 2. vydání. Routledge Fundamentals of Physical Geography, New York, NY, 200 s. ISBN 0-415-39986-6.

DEMEK, J. et al. (1965). *Geomorfologie českých zemí*. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 336 s.

DEMEK, J. (1987). *Obecná geomorfologie*. Academia, Praha, 476 s.

DUB, O. (1963). *Hydrológia, hydrografia, hydrometria*. SVTL, Bratislava, 488 s.

FELDMAN, A. D. (2000). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS*. U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA, 138 s.

FLAMING, M. (2004). Description of the Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) and Application to Watershed Studies. *Smart Technical Notes*, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, 4(3), s. 1-17.

GORDON, N. D. et al. (2004). *Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists*. 2. vydání. Wiley, Chichester, 429 s. ISBN 0-470-84357-8.

GRAHAM, D. N. a BUTTS, M. B. (2005). Flexible, integrated watershed modelling with MIKE-SHE. In: SINGH, V. P. et al. (Ed.). *Watershed Models*. CRC Press, s. 245-272. ISBN 978-0849336096.

GREGOR, R. (2012). *Dokumentace pro provedení stavby - Technická zpráva*. Gregor - projekt invest, s.r.o., Žďár nad Sázavou, 52 s.

HALL, F. R. (1968). Base-Flow Recessions - a Review. *Water Resources Research*, American Geophysical Union, **4**(5), s. 973-983. ISSN 1944-7973.
doi:10.1029/WR004i005p00973.

HRÁDEK, F. a KUŘÍK, P. (2001). *Maximální odtok z povodí - teorie svahového odtoku a hydrologický model DesQ-MAXQ*, ČZU Praha, Praha, 37 s.

JANEČEK, M. a KOVÁŘ, P. (2010). Aktuálnost „Metody čísel odtokových křivek - CN“ k určování přímého odtoku z malého povodí. *Vodní hospodářství*, Vodní hospodářství, spol. s r. o., **60**(7), s. 187-189. ISSN 1211-0760.

JANEČEK, M. et al. (2012). *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. ČZU Praha, Praha, 117 s.

JENÍČEK, M. (2006). Rainfall-Runoff modelling in small and middle large catchments - an overview. *Geografie*, Česká geografická společnost, **111**(3), s. 305-313. ISSN 1212-0014.

JENÍČEK, M. et al. (2011). Aplikace matematických modelů v oblasti ochrany vody a vodního hospodářství. In: BÍZEK, V. et al. *Aplikace modelů v oblasti životního prostředí*. CENIA, česká informační agentura životního prostředí, Praha, s. 113-158. ISBN 978-80-85087-88-8.

JEŽEK, J. (2015). *Geostatistika a prostorová interpolace*. Karolinum, Praha, 200 s. ISBN 978-80-246-3104-2.

KEMEL, M. (2000). *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. ČVUT, Praha, 289 s. ISBN 80-010-1456-8.

KENT, K. M. (1971). *SCS National Engineering Handbook*. Hydrology, Soil Conservation Service, Washington, D.C., 29 s.

KONEČNÁ, J. et al. (2018). *Optimalizace ochrany vody a půdy v povodí vodních zdrojů: metodika*. VÚMOP, Brno, 106 s. ISBN 978-80-87361-87-0.

KOVÁŘ, P. et al. (2006). Possibilities of Using the Direct Runoff Model KINFIL for a Road Network Design. *Soil and Water Research*, Česká akademie zemědělských věd, Praha, 1(2), s. 49-56. ISSN 1805-9384.

KŘÍŽ, H. (1983). *Hydrologie podzemních vod*. Academia, Praha, 268 s.

KULHAVÝ, Z. a KOVÁŘ, P. (2000). *Využití modelů hydrologické bilance pro malá Povodí*. VÚMOP, Praha, 123 s.

LEWIS, B. (2013). *Small Dams Planning, Concruction and Maintenance*. CRC Press, London, 210 s. ISBN 9780429227813.

LOUCKS, D. P. a BEEK, E. van (2005). *Water Resources Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models and Applications*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paříž, 680 s. ISBN 92-3-103998-9.

LINSLEY, R. K. (1975). *Hydrology for engineers*. 2. vydání. McGraw-Hill, New York, NY, 482 s. ISBN 0070379673.

MEI, X. et al. (2016). Impact of Dams on Flood Occurrence of Selected Rivers in the United States. *Frontiers of Earth Science*, Higher Education Press, 11(2), s. 268-282. doi: 10.1007/s11707-016-0592-1.

MAIDMENT, D. R. (2002). *Arc Hydro: GIS for Water Resources*. 3. vydání. Esri Press, Redlands, CA, 220 s. ISBN 978-1589480346.

MATTAS, D. (2014). *Výpočet průtoku v otevřených korytech*. VÚMOP, Praha, 110 s. ISBN 978-80-87402-27-6.

NĚMEC, J. (1965). *Hydrologie*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 237 s.

NĚMEČEK, J. et al. (2011). *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. 2. vydání. ČZU Praha, Praha, 94 s. ISBN 978-80-213-2155-7.

PAVELKOVÁ CHMELOVÁ, R. a FRAJER, J. (2013). *Základy fyzické geografie 1: Hydrologie*. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 141 s. ISBN 978-80-244-3843-6.

QUITT, E. (1971). *Klimatické oblasti Československa*. Československá akademie věd, Brno, 73 s.

ŘEZÁČOVÁ, D. et al. (2007). *Fyzika oblaků a srážek*. Academia, Praha, 574 s. ISBN 978802001505.

SATRAPA, L. (2006). *Principy a pravidla územního plánování: Vodní Hospodářství*. Ústav územního rozvoje, Brno, 26 s.

SERRANO, S. E. (1997). *Hydrology for Engineers, Geologists and Environmental Professionals*. HydroScience, Lexington, KY, 452 s. ISBN 0-9655643-9-8.

SKLENÁŘ, J. a BRÁZDIL, R. (2012). Vliv vodní nádrže Vír na maximální roční a povodňové průtoky na horní Svatce. *Geografie*, Česká geografická společnost, **117**(2), s. 192-208. ISSN 1212-0014.

SOUKUP, M. a HRÁDEK, F. (1999). *Optimální regulace povrchového odtoku z povodí*. VÚMOP, Praha, 98 s.

STARÝ, M. (1986). *Nádrže a vodohospodářské soustavy*. Vysoké učení technické, Brno, 165 s.

STARÝ, M. (2005). *Hydrologie*. Vysoké učení technické, Brno, 156 s.

STAŠEK, J. et al. (2018). Vliv pěstovaných plodin na formování povrchového odtoku. In: *Hospodaření s vodou v krajině, Třeboň 21.-22.6.2018*. Česká bioklimatická společnost, Praha, s. 133-143. ISBN 978-80-87361-83-2.

ŠAMAJ, F. et al. (1985). Denné úhrny zrážok s mimoriadnou výdatnosťou v ČSSR v období 1901-1980. *Zborník prác Slovenského hydrometeorologického ústavu*. Alfa, Bratislava, 113 s.

ŠERCL, P. (2009). Vliv fyzicko-geografických faktorů na charakteristiky teoretických návrhových vln. *Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu*. ČHMÚ, Praha, 88 s.

ŠINKA, K. et al. (2013). *Aplikácie geografických informačných systémov v pozemkových úpravách*. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Nitra, 5 s. ISBN 978-80-552-1128-2.

UNUCKA, J. a ADAMEC, M. (2008). Modelování vlivu krajinného pokryvu na srážko-odtokové vzťahy v povodí Olše. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, Institute of Hydrology of the Slovak Academy of Sciences, Bratislava, **56**(4), s. 257-271. ISSN 1338-4333.

VRÁNA, K. a BERAN, J. (1998). *Rybníky a účelové nádrže*. 3. vydání. ČVUT, Praha, 150 s. ISBN 978-80-01-04002-7.

ZHOU, M. et al. (2019). Impact Assessments of Rainfall-Runoff Characteristics Response Based on Land Use Change via Hydrological Simulation. *Water Journal*, MDPI, **11**(4), s. 1-19. ISSN 2073-4441. doi:10.3390/w11040866.

Seznam legislativy

Norma ČSN 75 0101 (2003). *Vodní hospodářství: Základní terminologie*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 28 s.

Norma ČSN 75 2410 (1997). *Malé vodní nádrže*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 48 s.

Zákon č. 245/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů [Vodní zákon].

Seznam internetových zdrojů

ČSU, (2022). *Databáze demografických údajů za obce ČR*. [on-line] [cit. 12.12.2022]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/databaze-demografickych-udaju-za-obce-cr>

ČÚZK, (2022). *Nahlížení do katastru nemovitostí*. [on-line] [cit. 8.12.2022]. Dostupné z: <https://nahliznidokn.cuzk.cz/VyberKatastrMapa.aspx>

EAGRI, (2022). *Přehled pozemkových úprav*. [on-line] [cit. 15.11.2022]. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/app/eagriapp/PU/Prehled/>

HEC-HMS, (2022). *HEC-HMS - Features*. [on-line] [cit. 20.11.2022]. Dostupné z: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/features.aspx>

HEC-HMS, (2023). *HEC-HMS Users Manual*. [on-line] [cit. 8.3.2023]. Dostupné z: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/4.9/meteorology-description/precipitation>

HEC-HMS Technical Reference Manual, (2023). *HEC-HMS Technical Reference Manual, Modeling Reservoirs*. [on-line] [cit. 9.3.2023]. Dostupné z: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmstrm/modeling-reservoirs>

HEIS.VUV, (2022). *Základní vodohospodářská mapa ČR 1:50 000*. [on-line] [cit. 28.11.2022]. Dostupné z: <https://heis.vuv.cz/>

Kamenice u Jihlavy, (2007). *Stručná historie Kamenice - oficiální web městyse*. [on-line] [cit. 29.11.2022]. Dostupné z: <https://www.kameniceujihlavy.cz/strucna-historie-kamenice/d-16908/p1=7786>

Státní pozemkový úřad, (2023). *Aktuální databáze BPEJ ke stažení*. [on-line] [cit. 10.1.2023]. Dostupné z: https://www.spucr.cz/bpej/celostatni-databaze-bpej/aktualni-databaze-bpej-ke-stazeni.html?fbclid=IwAR0NUo_aHpJ-JEUb5xQbKE5dese26UtfUKkpN15ZsvXA4fOvwc4Uo6bGixQY

UHUL, (2023). *Webové mapové služby*. [online] [cit. 15.2.2023]. Dostupné z: <https://www.uhul.cz/portfolio/webove-mapove-sluzby/>

Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Složky odtoku (Serrano, 1997).....	13
Obrázek 1.2: Tvar povodí a jeho vliv na hydrogram (Gordon et al., 2004).....	14
Obrázek 1.3: Hydrogram průtokové vlny (Brázdil et al., 2005).....	18
Obrázek 2.4: Mapa polohy zájmové lokality v Kraji Vysočina (vlastní).....	27
Obrázek 2.5: Údolí Kameničky s městysem Kamenice (vlastní).....	28
Obrázek 2.6: Údolí zájmového povodí (vlastní).....	29
Obrázek 2.7: Mapa povodí zájmového vodního toku (vlastní).....	30
Obrázek 2.8: Mapa využití pozemků (vlastní).....	31
Obrázek 2.9: Přirozené koryto zájmového vodního toku (vlastní).....	35
Obrázek 2.10: Vodní tok se vlévá do poldru (vlastní).....	35
Obrázek 2.11: Mapa umístění poldru v povodí (vlastní).....	37
Obrázek 2.12: Protipovodňové opatření poldru (vlastní).....	38
Obrázek 2.13: MVN poldru (vlastní).....	38
Obrázek 2.14: Bezpečnostní přeliv poldru (vlastní).....	42
Obrázek 2.15: Vtok do bezpečnostního přelivu (vlastní).....	42
Obrázek 2.16: Výpustné zařízení - výtok (vlastní).....	43
Obrázek 2.17: Rozdělení zájmového povodí na subpovodí (vlastní).....	45
Obrázek 3.18: Schéma povodí bez poldru.....	49
Obrázek 3.19: Doba koncentrace (Kent, 1971).....	51
Obrázek 3.20: Hyetogram stoleté návrhové srážky.....	54

Obrázek 3.21: Schéma povodí s vodní nádrží.....	55
Obrázek 4.22: Jednotlivé hodnoty odtokových křivek CN (vlastní).....	57
Obrázek 4.23: Interpolace srážkových dat (vlastní).....	58
Obrázek 4.24: Výpočet doby koncentrace v programu ERCN.....	59
Obrázek 4.25: Hydrogram povodňové vlny s návrhovou srážkou N2.....	60
Obrázek 4.26: Hydrogram povodňové vlny s návrhovou srážkou N10.....	61
Obrázek 4.27: Hydrogram povodňové vlny s návrhovou srážkou N20.....	63
Obrázek 4.28: Hydrogram povodňové vlny s návrhovou srážkou N50.....	64
Obrázek 4.29: Hydrogram povodňové vlny s návrhovou srážkou N100.....	65
Obrázek 4.30: Plnění retenčního prostoru vodní nádrže při návrhové srážce N100.....	66

Seznam tabulek

Tabulka 2.1: Klimatické charakteristiky zájmového povodí (Quitt, 1971).....	32
Tabulka 3.2: Maximální 24-hodinové srážkové úhrny (Šamaj et al., 1985).....	46
Tabulka 3.3: Výsledné maximální 24-hodinové srážkové úhrny pro zájmové povodí	46
Tabulka 3.4: Výsledné průměrné hodnoty odtokových křivek CN.....	48
Tabulka 3.5: Výsledné hodnoty počáteční retence I_a	50
Tabulka 3.6: Výsledné hodnoty doby koncentrace T_c a retenčního koeficientu R	51
Tabulka 3.7: Výsledné hodnoty Muskingum K a Muskingum X	53
Tabulka 4.8: Porovnání výsledků při návrhové srážce N_2	61
Tabulka 4.9: Porovnání výsledků při návrhové srážce N_{10}	62
Tabulka 4.10: Porovnání výsledků při návrhové srážce N_{20}	63
Tabulka 4.11: Porovnání výsledků při návrhové srážce N_{50}	64
Tabulka 4.12: Porovnání výsledků při návrhové srážce N_{100}	66

Seznam použitých zkratk

BPEJ	Bonitovaná půdně ekologická jednotka
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČSU	Český statistický úřad
ČUZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze
ČZU	Česká zemědělská univerzita v Praze
HEIS VUV	Hydroekologický informační systém Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka
JPU	jednoduchá pozemková úprava
KPU	komplexní pozemková úprava
m n. m.	metry nad mořem
MVN	malá vodní nádrž
SPÚ	Státní pozemkový úřad
VÚMOP	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy
VÚT	Vysoké učení technické v Brně
WMO	World Meteorological Organization (Světová meteorologická organizace)
