



# **VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

**BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

## **FAKULTA STAVEBNÍ**

**FACULTY OF CIVIL ENGINEERING**

## **ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY**

**INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT**

# **VYHODNOCENÍ ÚBYTKU LESA NA VÝSKYT ZVÝŠENÝCH ODTOKŮ**

**EVALUATION OF FOREST DECLINE ON THE OCCURRENCE OF INCREASED RUNOFF**

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**BACHELOR'S THESIS**

## **AUTOR PRÁCE**

**AUTHOR**

**ELIZAVETA KALACHEVA**

## **VEDOUCÍ PRÁCE**

**SUPERVISOR**

**Ing. TOMÁŠ KOZEL, Ph.D.**

**BRNO 2025**

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav vodního hospodářství krajiny  
Studentka: **Elizaveta Kalacheva**  
Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Kozel, Ph.D.**  
Akademický rok: 2024/25  
Studijní program: B0732A260005 Stavební inženýrství  
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Vyhodnocení úbytku lesa na výskyt zvýšených odtoků

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

V současné době jsou v oblastech s měřením povodí, kde i přes poměrně dlouhou dobu pozorování nebyl zaznamenán výskyt vyššího N-letého průtoků nebo nedošlo k výrazné změně pokrývnosti v rámci povodí. Změny ve vegetačním pokryvu mohou mít silný vliv na průtoky N-letých vod. Z tohoto důvodu bude vybráno povodí s dostatečně dlouhou řadou pozorování a těmito změnami. Pro toto povodí budou sestaveny a kalibrovány srážko-odtokové modely pro dosažený historický pokryv a události, kterými bude následně provedeno simulování různých historickými srážkovými událostmi pro různé historické pokrývky, u nichž se očekává, že způsobí vyšší průtoky.

### **Cíle a výstupy bakalářské práce:**

Studentka vypracuje pro zvolená období přehledy vegetačního pokryvu. Dále bude provedena schematizaci zvolené povodí. Následně studentka provede sestavení a následnou kalibraci pro srážko-odtokový model. V posledním kroku bude vyzkoušen vliv změny pokrývu na transformační schopnosti povodí na základě simulace historických událostí. Výsledky porovná s reálnými událostmi a vegetačním pokryvem přítomným v době událostí.

**Seznam doporučené literatury a podklady:**

Starý, M: Nádrže a vodohospodářské soustavy, skriptum, FAST VUT Brno, 2006.

Starý, M: Hydrologie, skriptum, FAST VUT Brno, 2005.

Starý, M: Nádrže a vodohospodářské soustavy, m. návody do cvičení 1. vyd. Brno, skriptum, VUT Brno, 1986.

Scharffenberg B. et al., Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual, U.S . Army Corps of Engineer 2018.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 30. 11. 2024

L. S.

---

doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.  
vedoucí ústavu

---

Ing. Tomáš Kozel, Ph.D.  
vedoucí práce

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.  
děkan

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá hodnocením vlivu změn lesního pokryvu na průběh a velikost srážkoodtokových procesů v povodí vodní nádrže Nová Říše. V práci je kladen důraz na analýzu historických epizod extrémních srážek a následných odtokových odpovědí povodí v letech 2006 až 2024. Pro hydrologické simulace byl použit modelovací nástroj HEC-HMS verze 4.10. Srážkoodtokové transformace byly realizovány metodou SCS Curve Number a SCS Unit Hydrograph. Zároveň byla provedena optimalizace parametrů modelu pomocí metody diferenciální evoluce s důrazem na kalibraci vůči reálným měřeným průtokům. Závěrečná část práce se věnuje vyhodnocení výsledků optimalizace modelu na základě parametrů jako jsou nasycení povodí, srážkové charakteristiky a změny CN. Současně je analyzován pokles procenta zalesnění, který má vliv na hydrologickou odpověď povodí.

## Abstract

This bachelor's thesis focuses on evaluating the impact of changes in forest cover on the course and magnitude of rainfall-runoff processes in the catchment area of the Nová Říše reservoir. The thesis emphasizes the analysis of historical episodes of extreme rainfall and the subsequent runoff responses of the catchment between 2006 and 2024. For hydrological simulations, the modeling tool HEC-HMS version 4.10 was used. Rainfall-runoff transformations were carried out using the SCS Curve Number method and the SCS Unit Hydrograph. Model parameter optimization was performed using the differential evolution method, with a focus on calibration against real measured discharge data. The final part of the thesis is dedicated to evaluating the results of the model optimization based on parameters such as watershed saturation, rainfall characteristics, and changes in the Curve Number (CN). Additionally, the decrease in forest cover percentage is analyzed for its influence on the hydrological response of the catchment.

## Klíčová slova

povodně, zalesnění, srážkoodtokový proces, HEC-HMS, modelování, povodí

## Keywords

floods, afforestation, rainfall-runoff process, HEC-HMS, modeling, catchment

## Citace

KALACHEVA, Elizaveta. *VYHODNOCENÍ ÚBYTKU LESA NA VÝSKYT ZVÝŠENÝCH ODTOKŮ*. Brno, 2025. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, FAKULTA STAVEBNÍ. Vedoucí práce Ing. Tomáš Kozel, Ph.D.

# VYHODNOCENÍ ÚBYTKU LESA NA VÝSKYT ZVÝŠENÝCH ODTOKŮ

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, uvedla jsem všechny literární prameny, publikace a další zdroje, ze kterých jsem čerpala.

.....

Elizaveta Kalacheva

30. května 2025

## Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Tomáši Kozelovi, Ph.D., za cenné konzultace, odborné vedení a čas, který mi věnoval během vypracování této práce.

Zvláštní poděkování patří také mé kamarádce Ulviyye Taghi-zada, Bc., za její pomoc a podporu při finální úpravě a formátování práce.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>Teoretická část</b>	<b>12</b>
3.1	Hydrologické procesy v povodí . . . . .	12
3.2	Vliv odlesňování . . . . .	13
3.3	Srážkoodtokový proces v povodí . . . . .	13
3.4	Hydrologické modely . . . . .	15
3.4.1	Základní klasifikace hydraulických modelů . . . . .	15
3.4.2	Modelování v HEC-HMS . . . . .	16
3.5	Metoda Curve Number (CN) . . . . .	17
3.6	Data . . . . .	19
3.6.1	Měření srážek . . . . .	19
3.6.2	Měření průtoku . . . . .	20
3.6.3	Metoda Diferenciální Evoluce . . . . .	21
<b>4</b>	<b>Aplikace</b>	<b>22</b>
4.1	Popis obecný zájmového území . . . . .	22
4.2	Klimatické podmínky . . . . .	24
4.3	Pedologické poměry . . . . .	24
4.4	Geologické poměry . . . . .	26
4.5	Vývoj lesa v zájmovém území . . . . .	27
4.6	Hydrologické poměry . . . . .	32
4.7	Sestavení modelu. . . . .	38
4.7.1	Výběr epizody. . . . .	38

4.7.2	Sestavení modelu. . . . .	39
4.7.3	Výpočet parametru. . . . .	40
4.7.4	Průběh simulace . . . . .	42
4.8	Optimalizace . . . . .	46
4.8.1	Kritérium Root Mean Square Error (RMSE) . . . . .	46
4.8.2	Kritérium Percent Error In Peak Discharge . . . . .	47
4.8.3	Přehled nastavených hodnot před průběhem optimalizace . . . . .	48
4.8.4	Výsledky optimalizace a jejich vyhodnocení . . . . .	52
<b>5</b>	<b>Závěr</b>	<b>58</b>

# 1 Úvod

Lesní ekosystémy hrají klíčovou roli ve vodním režimu krajiny. Díky schopnosti zadržovat srážkovou vodu, zpomalovat odtok a podporovat infiltraci půdy představují významný prvek v ochraně před povodněmi i suchy. V posledních letech však dochází na území České republiky k rozsáhlému úbytku lesů, zejména vlivem kácení a gradace kůrovcové kalamity a přemnožení kůrovce kvůli oslabenému lesu vlivem sucha. Tyto zásahy významně ovlivňují odtokové poměry v postižených oblastech a zvyšují riziko výskytu extrémních hydrologických situací. [6]

Dopad odlesnění na zvýšené odtoky je často patrný zejména v menších povodích, kde může i relativně malá změna pokryvu způsobit nárůst kulminačních průtoků a zkrácení doby náběhu odtokové vlny. Změny ve vegetaci ovlivňují vodní bilanci jak v krátkodobém horizontu, tak i z hlediska dlouhodobé retence a doplňování podzemních vod. Vzhledem k nárůstu četnosti události přívalových dešťů v posledních letech a extrémních srážkových událostí nabývá tato problematika na aktuálnosti.

V rámci bakalářské práce bylo zvoleno zájmové území v okolí obce Nová Říše, které v posledních letech zaznamenalo významný úbytek lesního porostu. Oblast je hydrologicky dobře dokumentovaná, což umožňuje zkoumat vývoj odtokových charakteristik v souvislosti s proměnami krajinného pokryvu. Účelem je posoudit, jak historický vývoj krajinného pokryvu ovlivnil výskyt a průběh odtokových extrémů. Práce se opírá o kombinaci historických dat, digitálních map, modelovacích nástrojů a srážko-odtokových simulací, které umožňují sledovat odezvu povodí na vybrané srážkové epizody v čase.

Simulace vybraných epizod proběhla pomocí programu HEC-HMS, kde byly pro výpočet zvoleny metody SCS Curve Number a SCS Unit Hydrograph. Uvedené modelové přístupy umožnily ověřit míru vlivu lesního pokryvu na srážkoodtokový proces a posoudit jeho význam na povrchový odtok.

## 2 Cíl práce

Hlavním cílem této bakalářské práce je provést schematizaci vybraného povodí řeky Řečice (Olšanský potok) a stanovit klíčové parametry nezbytné pro aplikaci zvolených modelovacích metod. Na základě těchto parametrů bude provedena simulace srážkoodtokového procesu pro vybrané srážkové epizody v časovém rozmezí let 2006 až 2024. Důraz je kladen především na analýzu hydrologické odezvy povodí v souvislosti s úbytkem lesního pokryvu a posouzení změn jeho transformační schopnosti v čase.

## 3 Teoretická část

### 3.1 Hydrologické procesy v povodí

Povodí představuje základní prostorovou jednotku hydrologické analýzy. Z hlediska svého vymezení se rozlišují dva hlavní typy – orografické a hydrogeologické. Orografické povodí je definováno přirozenými rozvodnicemi, tedy liniemi spojujícími nejvyšší body reliéfu, které oddělují odtok vody do různých vodních toků. V tomto případě se předpokládá, že veškerý povrchový i podzemní odtok směřuje do jednoho společného odtokového profilu. Oproti tomu hydrogeologické povodí zohledňuje i podzemní proudění vody, které může být výrazně ovlivněno geologickou strukturou a propustností hornin. To může vést k tomu, že podzemní voda přitéká nebo naopak odtéká mimo hranice orografického povodí [11].

Hydrologická odezva povodí na srážkovou událost – tedy vznik, tvar a velikost povodňové vlny – je výsledkem kombinace několika faktorů. Mezi nejvýznamnější patří topografie, geologie, pedologie a využití krajiny člověkem. Sklon svahů ovlivňuje rychlost odtoku – na strmých svazích dochází k rychlejší koncentraci vody, což zvyšuje kulminační průtok a zkracuje dobu infiltrace.

Geologické podloží a půdní vlastnosti rozhodují o infiltrační kapacitě území – čím propustnější půda, tím více vody se může vsakovat a tím méně jí odtéká povrchově.

Významný je také vliv lidské činnosti. Zastavěné a zpevněné plochy zásadním způsobem omezují vsakování vody a zvyšují povrchový odtok. Oproti tomu vegetační kryt, zejména lesní porosty a pastviny, napomáhá zadržování vody a jejímu postupnému uvolňování [10].

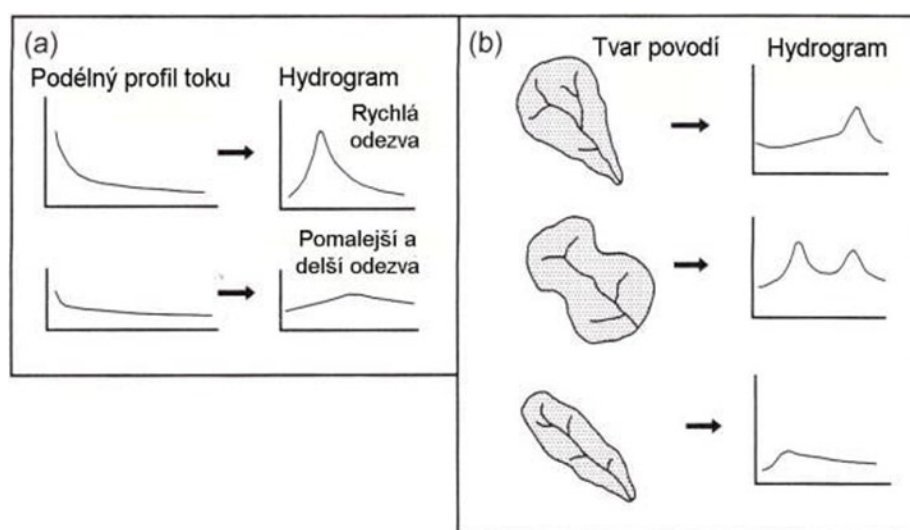
Tvar povodí je klíčový. U podélných povodí dochází k postupnému přítoku vody z jednotlivých částí, čímž se kulminační vlna prodlužuje a rozkládá v čase. Naopak u zaoblených povodí dochází k rychlé koncentraci odtoku z více směrů současně, což vede k ostřejší a vyšší kulminaci.

## 3.2 Vliv odlesňování

První vlna kůrovcové kalamitě v 21. století. Probehla v letech 2003 až 2010, druhá vlna začala v roce 2015. Tyto kalamity mají za vinu poměrně masivní odlesňování.

Samotné odlesňování však na hydrologickou bilanci nemá významný vliv. Vzniklé holiny mají za následek zvýšení odtoku ve vegetačním období o 8–12 % oproti vzrostlému lesu. Vzrůst odtoků z holin oproti mlazinám je 2–7 %. [13].

Výsledkem nevhodné těžby je zvýšení povrchového odtoku a lesní eroze, při kterých dochází k rozrušování pudy a nadměrnému zhutňování.



Obrázek 3.1: Vliv podélného profilu toku (vlevo) a tvaru povodí (vpravo) na tvar průtokové vlny

## 3.3 Srážkoodtokový proces v povodí

Srážkoodtokový proces v povodí představuje postupný přenos atmosférických srážek, které dopadnou na zemský povrch, směrem k odtokovému profilu. Tento proces je determinován celou řadou faktorů – od fyzikálních charakteristik území, přes typ půd a vegetační pokryv, až po lidskou činnost. V základním pojetí lze hydrologickou bilanci v povodí zjednodušeně popsat následující rovnicí : [11]

$$R = P - ET$$

- $R$  – odtok
- $P$  – srážky
- $ET$  – evapotranspirace

Při detailnější analýze krátkodobé bilance je však nutné zohlednit i další významné složky, které se na vodní bilanci podílejí. Tím vzniká rozšířený tvar bilanční rovnice:

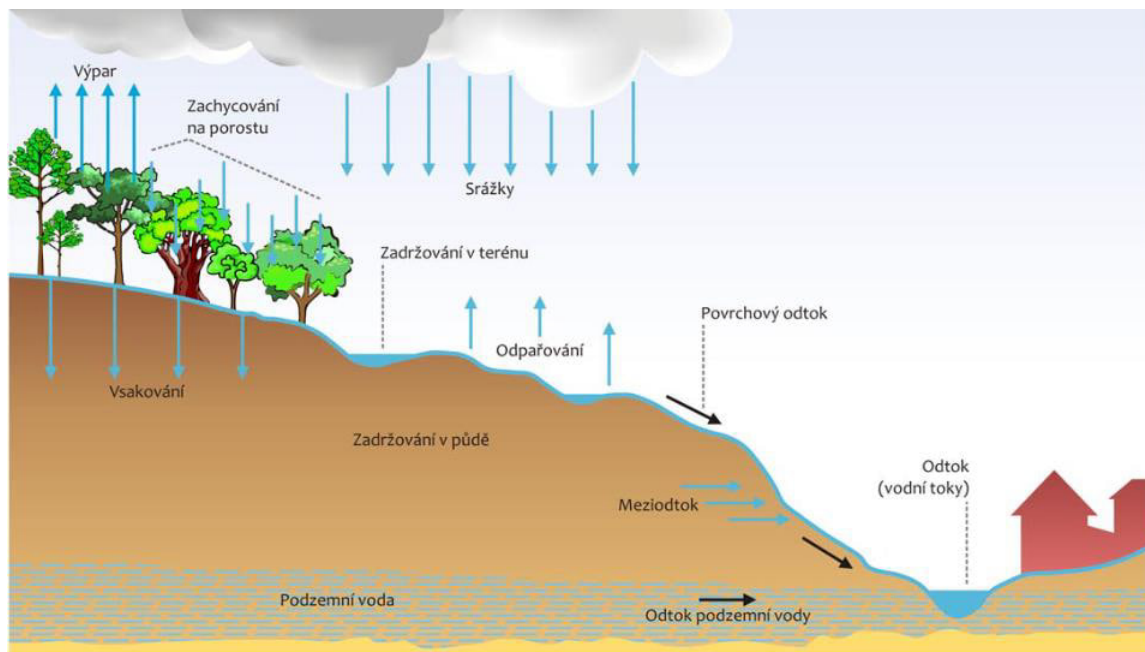
$$R = P - ET - IC + I + \Delta SS + \Delta SG$$

- $IC$  – intercepce (zachycení srážek vegetací)
- $I$  – infiltrace (vsakování vody do půdy)
- $\Delta SS$  – změna zásoby vody v půdě (soil storage)
- $\Delta SG$  – změna zásoby podzemní vody (subsurface groundwater)

Z pohledu hydrologického cyklu představuje atmosférická srážka klíčový vstup do srážkoodtokového systému. Po dopadu na zemský povrch může voda následovat několik možných cest. V případě, že dopadne na nepropustnou plochu, může bezprostředně odtéct do recipientu nebo být částečně zadržena (retenována) a následně se vypařit (evaporovat).

Pokud však srážka zasáhne území s vegetačním pokryvem, může část vody proniknout do půdy – hovoříme o infiltraci. Jiná část může být zachycena vegetací (tzv. intercepce) a posléze se buď vypaří, nebo uvolní do atmosféry transpiračními procesy. Infiltrací proniklá voda se poté může stát součástí hypodermického či podzemního odtoku, a to v závislosti na půdních a geologických podmínkách daného území.

Složitost těchto vztahů podtrhuje význam detailní analýzy jednotlivých složek hydrologické bilance v rámci modelování odtokových procesů, zejména při hodnocení dopadů změn krajinného pokryvu (například odlesnění) na vývoj povodňových situací.



Obrázek 3.2: Srážkoodtokový cyklus povodí ([5])

### 3.4 Hydrologické modely

Hydrologické modely slouží k popisu a simulaci přeměny srážek na odtok v povodí. Používají se při analýze povodňových jevů, navrhování protipovodňových opatření i hodnocení dopadů změn krajinného pokryvu na hydrologické procesy. V této kapitole jsou představeny vybrané modely a metody, které byly využity pro simulaci srážkoodtokového procesu ve vybraném povodí.

#### 3.4.1 Základní klasifikace hydraulických modelů

Hydrologické modely lze rozdělit podle způsobu, jakým popisují hydrologické procesy. Empirické modely vycházejí ze statistických vztahů mezi srážkami a odtokem, často bez fyzikálního zdůvodnění. Používají se zejména pro jednoduché odhady, ale jejich platnost bývá omezena konkrétními podmínkami, pro které byly vytvořeny. Příkladem těchto modelů je program HEC-HMS (Hydrologic Modeling System).

Koncepční modely představují kompromis mezi jednoduchostí a fyzikální přesností. Popisují hlavní složky hydrologické bilance (např. infiltraci, intercepci, povrchový odtok) pomocí zjednodušených rovnic. Povodí je často rozděleno na dílčí části, pro které jsou para-

metry modelu uvažovány jednotně. Mezi často používané koncepční modely patří například MIKE SHE a SWAT (Soil and Water Assessment Tool).

Distribuované modely se snaží co nejpřesněji popsat pohyb vody v krajině. Povodí je rozděleno na menší výpočetní jednotky a pro každou z nich se řeší rovnice popisující proudění vody a její transformaci. Tyto modely vyžadují rozsáhlá vstupní data a velkou výpočetní kapacitu, ale umožňují velmi detailní simulaci.

### 3.4.2 Modelování v HEC-HMS

**HEC-HMS** (Hydrologic Engineering Centers – Hydrologic Modeling Systém) je simulační nástroj určený pro modelování hydrologických procesů v povodích, který vyvinula armáda Spojených států amerických. Tento software je k dispozici volně a nachází široké uplatnění jak při analýze hydrologie velkých povodí, tak i při řešení povodňových situací nebo modelování odtoku v menších městských či přírodních územích. V rámci bakalářské práce byla využita aktuální verze programu HEC-HMS 4.10, která nabízí pokročilé nástroje pro simulační výpočty i kalibraci modelů.

#### **Fyzický popis povodí – Basin Model**[12]

Základní strukturou modelu v prostředí HEC-HMS je tzv. Basin Model, který slouží k vytvoření topologického a funkčního schématu povodí. Model sestaven s několika typy komponent, mezi něž patří:

- **Subbasin** – dílčí povodí, ve kterém vzniká odtok
- **Reach** – úsek vodního toku
- **Reservoir** – nádrž nebo retenční objekt
- **Junction** – soutok více toků
- **Diversion** – rozdělení toku (např. odlehčovací kanál)
- **Source** – bod, kde vstupuje voda do modelu
- **Sink** – místo, kde voda model opouští (např. měrný profil)

Schematizace modelu může probíhat manuálně, na základě interpretace topografických map a ručního vymezení rozvodnic, nebo je využita automatizovaná procedura propojená s

GIS vrstvami (např. Digitální model reliéfu České republiky 4. generace (DMR 4G) převzaty z Českého úřadu zeměměřického a katastrálního). V této práci byl zvolen druhý způsob – do prostředí HEC-HMS byla importována digitální výšková data, která následně software použil k výpočtu fyzicko-geometrických parametrů a automatickému sestavení modelu. Výsledný model je georeferencovaný.

Součástí modelového přístupu v HEC-HMS je také práce s Time-Series Data, tedy časovými řadami vstupních i výstupních hodnot (např. srážek a průtoků), které jsou nezbytné pro přesné a dynamické řízení simulace v čase.

### **Meteorologický model**

Pro zadání meteorologických podmínek, které tvoří vstupní impuls pro srážkoodtokovou transformaci, HEC-HMS nabízí tzv. Meteorologický model, který zahrnuje srážky, teplotu vzduchu, vítr, radiační bilance, rosný bod, výpar, sněhové tání. Specificky pro srážky jsou v softwaru k dispozici čtyři různé způsoby jejich zadání:

- **Gridded Precipitation** – mřížková data, např. z radarových odhadů
- **Inverse Distance** – interpolace na základě vzdálenosti od stanic
- **Gage Weights** – vážený průměr dat ze srážkoměrných stanic
- **Specified Hyetograph** – přímo zadaný časový průběh srážek (hyetogram)

V této práci byla zvolena čtvrtá možnost, tj. Specified Hyetograph, kdy byl pro každou epizodu připraven konkrétní hyetogram podle dat z měřicí stanice a ten sloužil jako vstup do simulace.

### **Simulace**

Časové trvání simulace se určuje prostřednictvím nástroje Control Specifications. Zde se nastavují počáteční a koncové datum simulace, čas a časové intervaly simulace.

## **3.5 Metoda Curve Number (CN)**

Metoda Curve Number (CN) představuje empirický způsob odhadu objemu přímého odtoku ze srážek, zejména v malých povodích bez dlouhodobého hydrologického měření. Tento přístup byl vyvinut ve Spojených státech amerických v polovině 20. století Ministerstvem zemědělství (USDA) ve spolupráci s službami ochrany půdy (SCS) a je dodnes široce uplatňován při hydrologických výpočtech. Základní vztah pro určený výšky přímého odtoku: ([7])

$$HO = \frac{(HS - 0,2A)^2}{HS + 0,8A} \quad \text{pro } HS \geq 0,2A$$

- $HO$  – přímý odtok [mm]
- $HS$  – úhrn návrhového deště [mm]
- $A$  – potenciální retence [mm], vyjádřená pomocí čísel odtokových křivek (CN)

$$A = 25,4 \left( \frac{1000}{CN - 10} \right)$$

- $A$  – retenční kapacita [mm],
- CN – číslo odtokové křivky (Curve Number) [-].

Princip metody spočívá v přiřazení číselné hodnoty – tzv. křivkového čísla (Curve Number) – každé kombinaci typu půdy, využití území a počáteční vlhkosti půdního profilu. Tato hodnota vyjadřuje schopnost povodí zadržet vodu a slouží jako základní vstup pro výpočet přímého odtoku způsobeného srážkovou událostí. Obecně platí, že vyšší hodnota CN odpovídá nižší retenci a vyššímu povrchovému odtoku, nižší hodnoty – vyšší míře vsakování a zachycení vody v krajině.

Objem přímého odtoku je určen dle předpokladu, že poměr objemu odtoku k úhrnu přívalové srážky se rovná poměru objemu vody zadržené při odtoku k potenciálnímu objemu, který může být zadrženo.[8]

$$O_{PH} = 1000 \cdot P_p \cdot HO \quad [\text{m}^3]$$

- $O_{PH}$  – objem přímého odtoku [ $\text{m}^3$ ],
- $P_p$  – plocha povodí [ $\text{km}^2$ ],
- $HO$  – přímý odtok [mm]

Hodnota křivkového čísla CN je spojena s vlastnostmi povrchového pokryvu a s hydrologickými charakteristikami půdního prostředí, se schopností povrchu zadržet nebo propustit vodu v období srážkové události.

Při stanovení CN se vychází z klasifikace půd podle jejich infiltračních vlastností, tzv. hydrologických skupin půd (HSP). Tyto skupiny slouží k rozlišení půdní propustnosti a jsou rozděleny do čtyř kategorií označovaných písmeny A až D:

- A. půdy s vysokou infiltrační schopností (písečné nebo štěrkovité, s nízkým obsahem jílu)
- B. půdy s mírnou infiltrační kapacitou (např. hlinité)
- C. půdy s omezenou propustností (např. jílovité hlíny)
- D. těžké, špatně propustné půdy s velmi nízkou vsakovací schopností

Výsledná hodnota CN odpovídá průměrným vlhkostním podmínkám. Pokud se však vlhkostní podmínky oproti průměrným liší, bude se hodnota CN poměrně výrazně měnit. Dle následujících vztahů lze odvodit CN pro relativně suché podmínky (CNI) a pro podmínky vysoké vlhkosti půdy (CNII). [2]

## 3.6 Data

Modelování srážkoodtokových jevů vyžaduje kvalitní vstupní data. Pro tuto práci byla využita jak data o srážkách, tak data o průtocích, získaná z měřicí stanice Nova Říše (Řečice) (nad nádrží).

### 3.6.1 Měření srážek

#### Typy srážkoměrů a princip jejich fungování

V rámci měření atmosférických srážek se historicky na území České republiky používaly především standardní manuální srážkoměry, které dnes již postupně ustupují modernějším technologiím. Nicméně v některých lokalitách se tento tradiční způsob měření stále využívá, zejména jako doplňkový nebo ověřovací prvek.

Konstrukce standardního srážkoměru (označovaného též jako ombrometr) je poměrně jednoduchá – tvoří jej sběrná nálevka umístěná nad povrchem země, která odvádí zachycené srážky do menší vnitřní nádoby. Pro vlastní odečet výšky srážek se používá kalibrovaný skleněný válec. Odečty se standardně provádějí každý den v 7:00, kdy se změří výška nahromážděné vody v nádobě.

Jiný typ zařízení představuje ombrograf, který kromě objemu srážek zaznamenává i jejich časový průběh. V tomto přístroji se nachází plovák propojený s registračním zařízením,

jež kreslí křivku srážek na papír připevněný k otočnému bubnu. Tímto způsobem lze zjistit nejen úhrn, ale také intenzitu a délku trvání srážkové události.

V současnosti se běžně využívají zejména automatické srážkoměry, které zaznamenávají data bez nutnosti lidské obsluhy. Princip měření je založen na vážení spadlých srážek, přičemž měření může probíhat v časových krocích od několika minut až po hodiny. Mezi hlavní nevýhody tohoto typu patří riziko podhodnocení při extrémních intenzitách, případné přetečení při přívalových deštích nebo zamrzání za mrazivého počasí.

Hlavní omezení srážkoměrů je, že jsou schopná zaznamenávat úhrn srážek jen v místě umístění. Radary jsou oproti tomu schopné detekovat rozložení okamžitých intenzit srážek na ploše 100–200 km<sup>2</sup>. Stanice byly vybudovány v průběhu 70. a 80. let. [11]

České republice poskytují data dvě geostacionární družice satelitního měření, a to NOAA a METEOSTAT. Meteostat obíhá Zemi ve výšce 36 tisíc kilometrů jednou za 24 hodin. Družice NOAA má oběžnou dráhu ve sklonu 98 až 99 stupňů a výška dráhy je mezi 810 až 870 km. Doba oběhu je přibližně 100 minut. [11]

### 3.6.2 Měření průtoku

Tradiční přístup k měření průtoku spočíval v opakovaném určování rychlosti proudění a průřezové plochy toku v konkrétním profilu. K tomu se využívala plováková měření, vodoměrné latě nebo mechanické průtokoměry, přičemž odečty se prováděly v pravidelných intervalech nebo během specifických situací, jako jsou povodně.

S nástupem automatizace se začaly používat tzv. limnigrafy – zařízení určená pro kontinuální měření hladiny vodního toku. Tyto přístroje zaznamenávají změny výšky hladiny (tzv. vodní stav), které jsou následně pomocí kalibrační křivky (tzv. převodní křivky) přepočítány na odpovídající průtok. Výstupem je tak časová řada průtoků, obvykle s krokem od několika minut po hodiny.

Moderní stanice jsou vybaveny tlakovými sondami, ultrazvukovými nebo radarovými senzory, které měří výšku hladiny bezkontaktně a s vysokou přesností. Data jsou zaznamenávána automaticky a přenášena do centrálních databází.

Kromě bodových měření ve stanoveném profilu se stále častěji využívají i dálkově snímané informace, například prostřednictvím družicových nebo radarových metod, které umožňují sledovat hydrologické jevy v širším měřítku, zejména v odlehlých nebo nepřístupných oblastech. Podobně jako u srážek, i v případě průtoku poskytují satelitní družice

(např. Sentinel nebo Landsat) důležitá doplňková data, zejména při modelování rozsahu záplav nebo sledování změn vodní hladiny ve velkých nádržích a řekách.

### 3.6.3 Metoda Diferenciální Evoluce

Pro optimalizaci parametrů srážkoodtokového modelu byla v rámci této práce využita metoda diferenciální evoluce (Differential Evolution, DE), která je součástí modulu pro automatickou kalibraci v softwaru HEC-HMS verze 4.10. Tato metoda byla zvolena na doporučení vedoucího bakalářské práce.

Diferenciální evoluce je evoluční algoritmus, který pracuje s populací možných řešení, tedy sad parametrů, a prostřednictvím mutací, křížení a selekce hledá takové kombinace, které minimalizují (nebo maximalizují) zadanou cílovou funkci. V prostředí HEC-HMS lze jako hodnotící kritéria volit různé ukazatele shody, např. Root Mean Square Error (RMSE).

Optimalizace byla zaměřena na parametry ovlivňující výpočet odtoku pomocí metody SCS Curve Number ([?]) a SCS Unit Hydrograph ([3]). Konkrétně byly laděny následující veličiny:

- **CN (Curve Number)** – parametr určující míru retence v povodí
- **Lag Time** – zpoždění mezi efektivní srážkou a kulminací odtoku v subpovodí.

Při konfiguraci optimalizační úlohy v HEC-HMS byly nastaveny klíčové parametry algoritmu následovně:

- **Velikost populace (Population Size)** : 30. Tato hodnota určuje počet souběžně testovaných řešení v každé generaci. Vyšší počet zvyšuje pravděpodobnost nalezení globálního optima, avšak za cenu delší výpočetní doby.
- **Počet opakování (Max iterations)**: 100. Tento parametr udává maximální počet generací, během nichž algoritmus vyhodnocuje a zlepšuje řešení. Po dosažení této hranice se výpočet ukončí, a dá lepší řešení. Na obrázku č. 4.2 jsou představené dílčí části povodí, vyber kterých bude vysvětlen v kapitole 4.7.2.

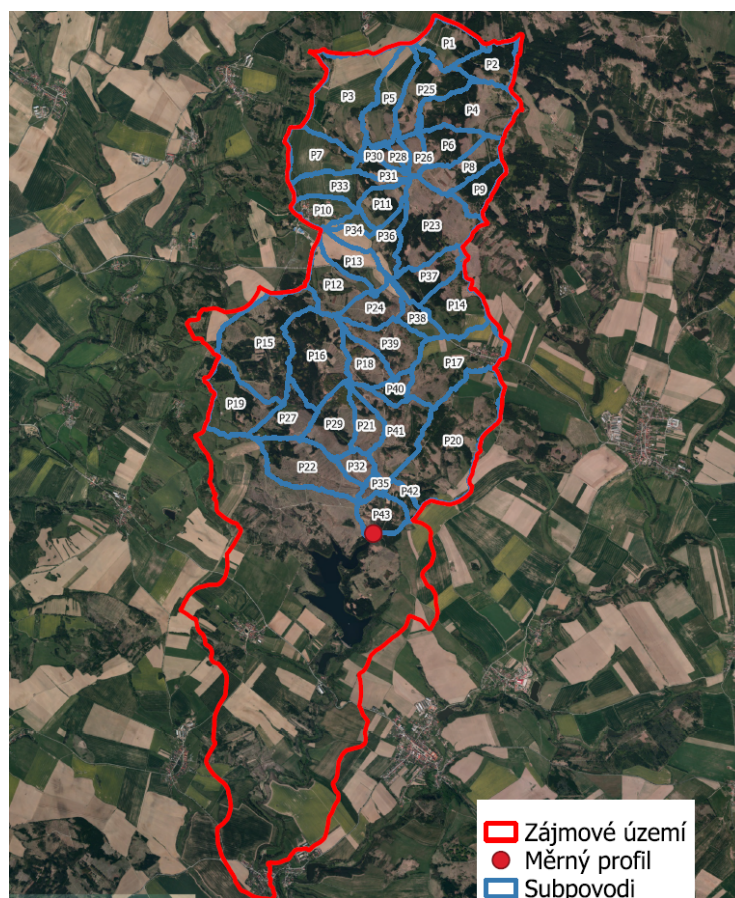
## 4 Aplikace

### 4.1 Popis obecný zájmového území

Zkoumané území se nachází v okolí vodní nádrže Nová Říše, která leží v západní části okresu Jihlava, na pomezí Českomoravské vrchoviny. Lokalita leží v nadmořské výšce přibližně mezi 550 a 650 m n. m., přičemž nejvyšších poloh dosahuje severovýchodní část povodí. Terén je mírně svažity, s převládajícím zemědělským a lesním využitím. Zájmovým územím protéká Olšanský potok, který je hlavním přítokem nádrže a zároveň klíčovým vodním tokem celého povodí. Přímo v blízkosti nádrže se nachází obec Nová Říše, která dává oblasti jméno a tvoří přirozené centrum území.



Obrázek 4.1: Poloha zájmového území v ČR (ČÚZK, 2006).



Obrázek 4.2: Zájmové území (ČÚZK, 2024).

## 4.2 Klimatické podmínky

Podle klimatické klasifikace J. Quitta, vycházející z dat za období 1961–2000, spadá zkoumané území do klimatické oblasti MW4. Tato oblast se vyznačuje mírným jarem, které trvá obvykle standardní dobu. Letní období je zde poměrně krátké, teplotně spíše mírné až mírně chladné, přičemž se vyznačuje nižším množstvím srážek. Podzim bývá rovněž mírný a obvykle trvá stejně dlouho jako jaro. Zimní měsíce jsou zde charakteristické mírnými až mírně chladnými teplotami a celkově suchým až mírně suchým charakterem. Délka zimy odpovídá průměrným hodnotám pro tuto klimatickou oblast.

Tabulka 4.1: Charakteristika klimatické oblasti

Charakteristika	Rozsah hodnot
Počet letních dnů	23–30
Počet dnů s průměrnou teplotou 10 °C a více	140–160
Počet mrazových dnů	110–150
Počet ledových dnů	40–50
Průměrná teplota v lednu [°C]	–2 až –3
Průměrná teplota v červenci [°C]	16–17
Průměrná teplota v dubnu [°C]	6–7
Průměrná teplota v říjnu [°C]	6–7
Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více	110–120
Srážkový úhrn ve vegetačním období [mm]	350–450
Srážkový úhrn v zimním období [mm]	250–300
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	60–80
Počet zamračených dnů	150–160
Počet jasných dnů	40–50

## 4.3 Pedologické poměry

Půdní pokryv v povodí vodní nádrže Nová Říše je poměrně pestrý a tvoří jej kombinace převážně kambizemí, dále se vyskytují hydromorfní půdy jako jsou gleje, pseudogleje a stagnogleje, a v menší míře také oglejené luvizemě. Tento půdní vývoj odráží členitost reliéfu, geologické podloží a hydrologické poměry v dané lokalitě.

Nejrozšířenějším typem jsou kambizemě modální mesobazické (KAa') a jejich slabě vyvinutá forma (KAa'g). Mají mírně kyselou až neutrální reakci a střední skeletovitost. Dobře propouštějí vodu a patří mezi půdy s poměrně dobrou infiltrační kapacitou. Dále se zde vyskytuje kambizem oglejená mesobazická (KAga'), která signalizuje přechodné zamokření svrchní části půdního profilu. V těchto místech dochází ke kombinaci minerálního půdního vývoje s periodickým nasycením vodou.

Na plošně omezených částech území se nachází také kambizem dystriká (KAd). Tento typ půdy je charakteristický nízkou zásobou bazických kationtů, výrazně kyselou reakcí a horší úrodností. Z hlediska hydrologie má omezenou retenční kapacitu a může se zde rychleji vytvářet povrchový odtok, zejména při vyšší nasycenosti profilu.[9]

Další složkou půdního prostředí jsou také hydromorfnní půdy – zejména pseudoglej modální (PGm). Tyto půdy jsou charakteristické střídavým zamokřením a vysycháním.

V nivních částech a podél vodních toků se vyskytuje glej fluvický (GLf), který je vázán na hladinu podzemní vody a bývá dlouhodobě nasycen vodou. Jeho výskyt souvisí s tokem Olšanského potoka a přítoky v blízkosti nádrže. Dále se v menší míře objevuje glej modální (GLm), typický pro rovinnější polohy.

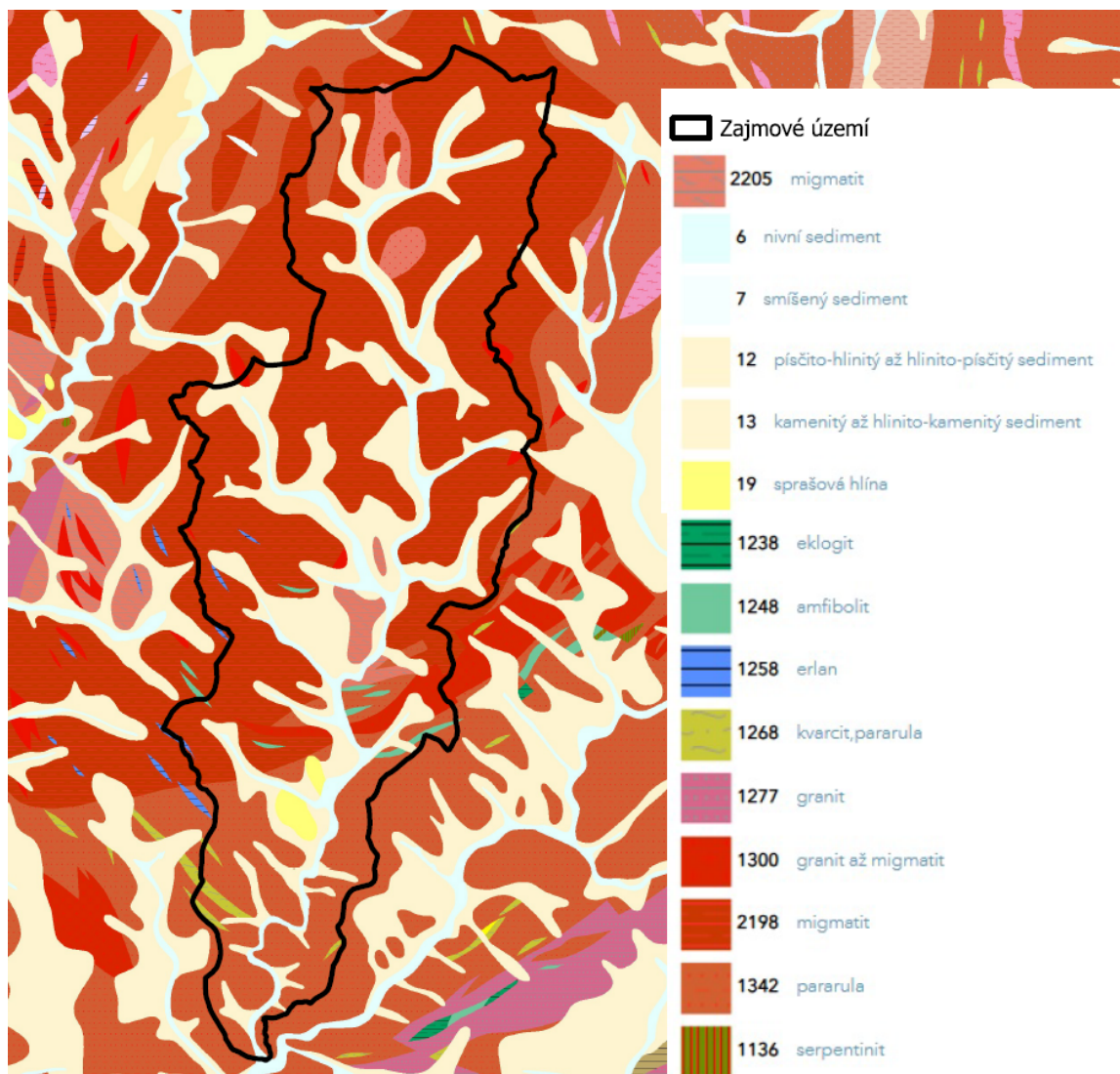
Na místech s pravidelným zamokřením a slabou infiltrací vznikl také stagnoglej modální (SGm). Tyto půdy mají zhoršenou cirkulaci vody a nízkou biologickou aktivitu, což se může negativně promítnout do vodní bilance krajiny.

Specifickým typem půdy přítomným v některých okrajových částech území je luvizem oglejená (LUg). Tyto půdy vznikají převážně ve středně těžkých hlínách a signalizují vývoj v podmínkách s občasným zamokřením a omezeným pohybem vody. [1]



a mají velmi proměnlivou infiltrační schopnost v závislosti na míře zvětrání.

Mimo hlavní plochy lze v mapě identifikovat i izolované oblasti s eklogitem (1238), amfibolitem (1248) a serpentinitem (1136), avšak tyto výskyty mají lokální význam a na celkové geologické složení území mají pouze okrajový vliv.



Obrázek 4.4: Geologická mapa zájmového území (GEOČR 1:50000) [4].

## 4.5 Vývoj lesa v zájmovém území

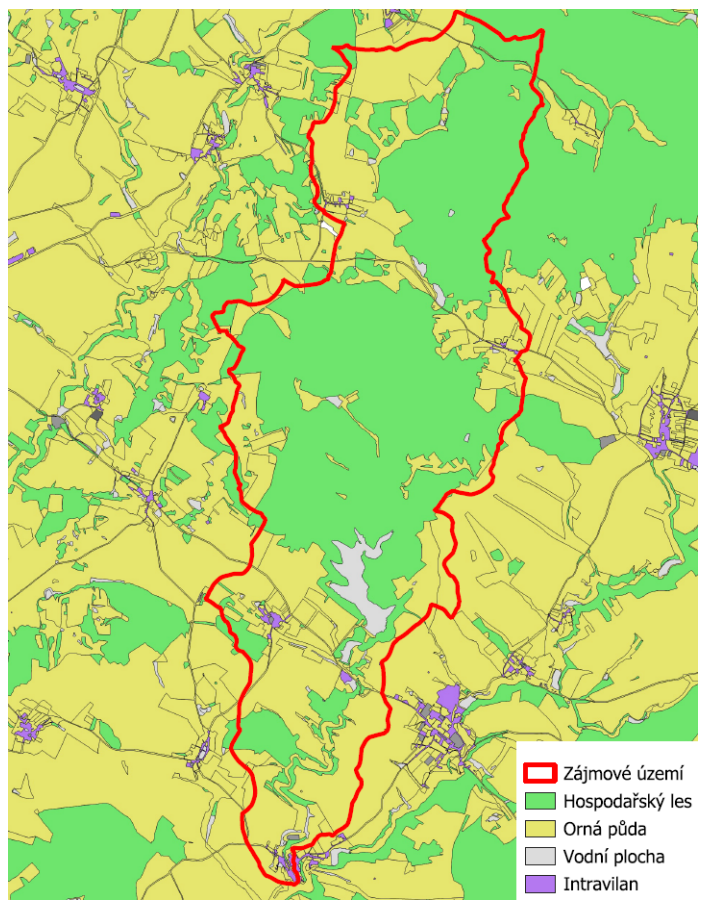
Odlesnění, z důvodu hospodářského zásahu, sanitárního kácení nebo přeměny krajinného využití, má dopad na vodní režim v povodí. Pokácením porostu se výrazně snižuje intercepční kapacita území. Odstraněním vegetace se zároveň snižuje transpirační výdej vody,

což ovlivňuje koloběh vlhkosti mezi půdou, vegetací a ovzduším.

Dalším důsledkem je zhoršení infiltračních podmínek. Půda, která byla dlouhodobě chráněna vegetačním krytem, se po odlesnění stává náchylnější k zhutnění a erozi. Povrch je více vystaven přímému dopadu dešťových kapek, což vede ke snížení vsakování a k urychlení povrchového odtoku.

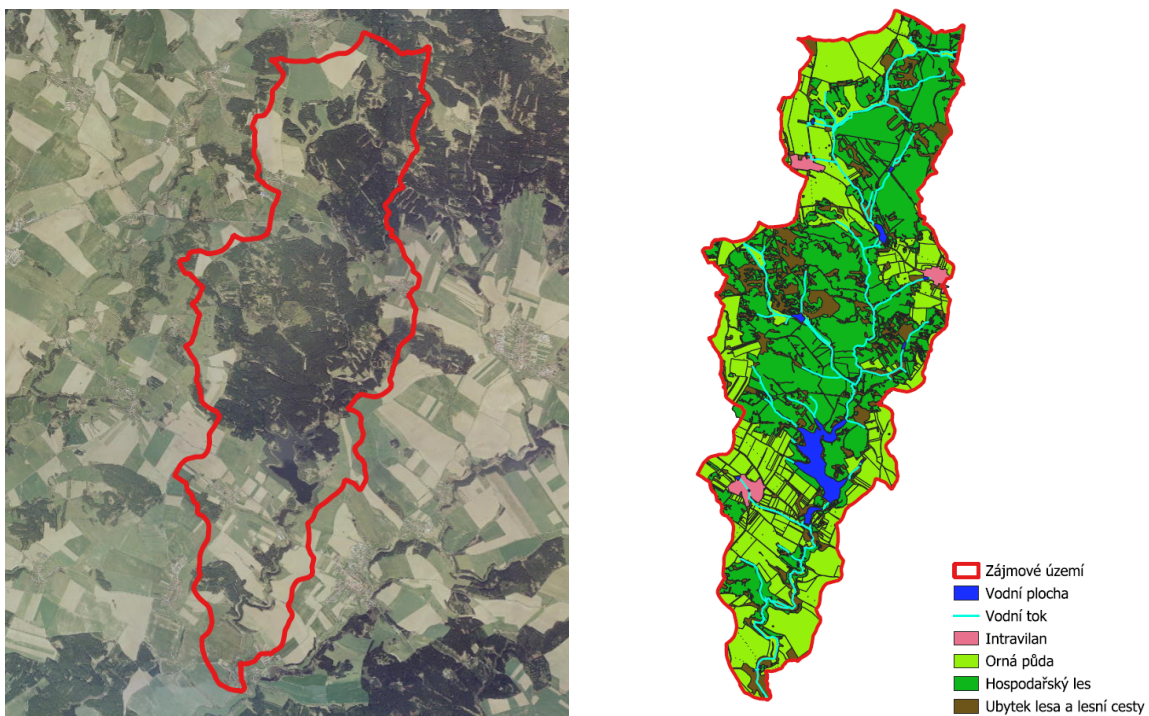
V důsledku těchto změn dochází ke zvýšené hydrologické odezvě při intenzivních srážkách. Kulminační průtoky stávají se vyšší a nastupují rychleji, protože voda není v krajině dostatečně zadržena. Tím se zvyšuje riziko povodňových jevů, zejména v oblastech s vyšším sklonem a nedostatečným půdním krytem.

Na základě historických ortofoto dle visuální kontroly jsem vybrala cellistou plochu jako les, všechno ostatně (např. mladý porost a suché monokultury) bylo vyznačeno jako úbytek lesu, z toho vyplývá, že mezi lety 2006 až po rok 2024 došlo k poměrně významnému úbytku lesa v zájmovém území. K prvnímu výraznému zhoršení porostu došlo mezi roky 2006 a 2012. V těchto letech byla většina porostu mírně až velmi silně poškozena. Pro zajištění ideálního stavu byla lesu stažena mapa využití území, na které lze pozorovat jak velká plocha zájmového území má být zalesněna.

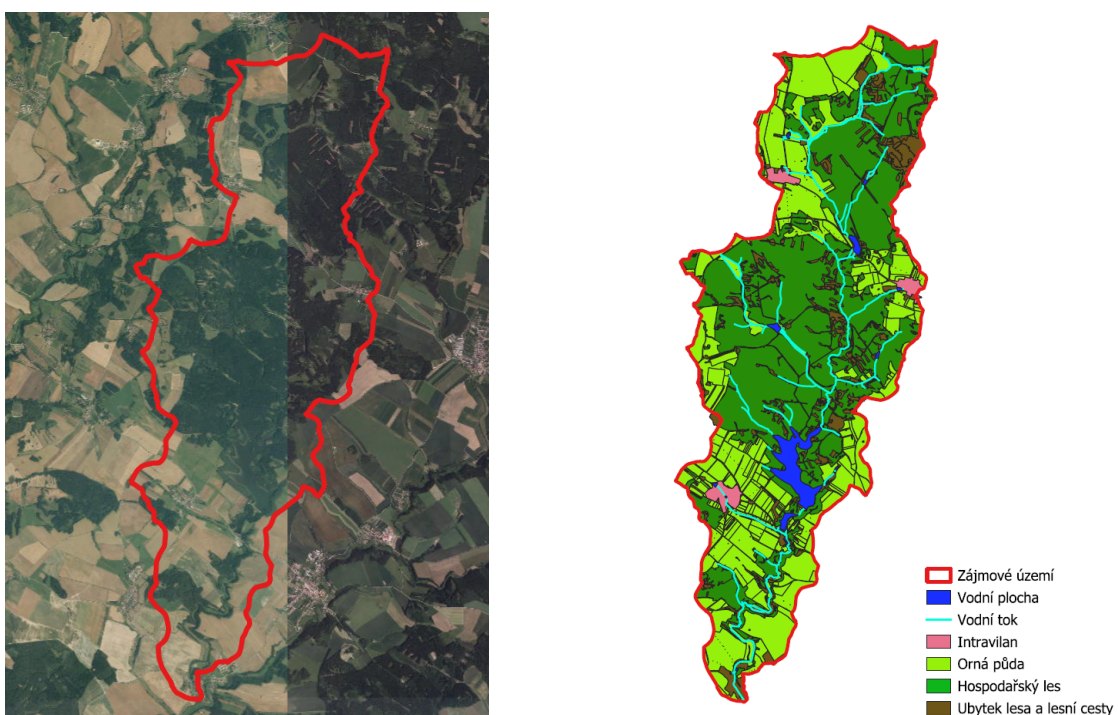


Obrázek 4.5: Mapa využití území.

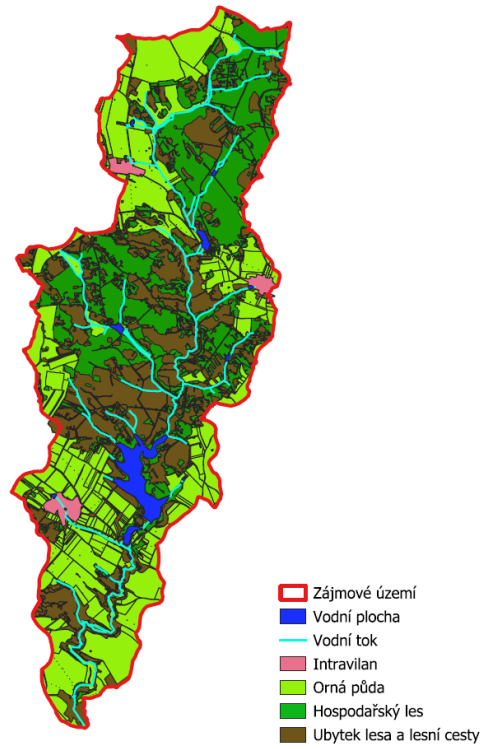
Na následujících snímcích je vidět úbytek lesa (vykácené plochy) během let a porovnání se stavem kde bych měl být na základě mapy využití území.



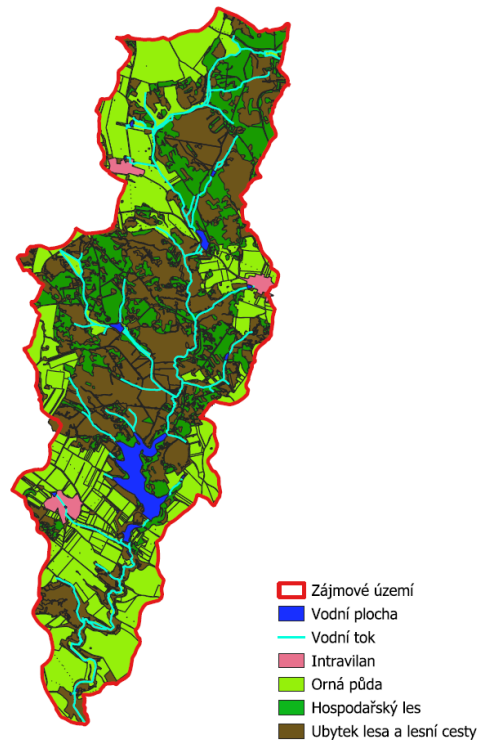
Obrázek 4.6: Stav lesa – 2006.



Obrázek 4.7: Stav lesa – 2012.



Obrázek 4.8: Stav lesa – 2020.



Obrázek 4.9: Stav lesa – 2024.

Před rokem 2006 docházelo k postupnému úbytku lesních ploch, což může souviset s přirozeným nebo cíleným zásahem do krajiny. V období mezi lety 2006 a 2012 došlo k částečné obnově a scelování lesa, což naznačuje zlepšení stavu vegetačního pokryvu v povodí. Po roce 2012 však nastává výrazný pokles rozlohy lesních porostů, který signalizuje degradaci krajinného krytu, pravděpodobně v důsledku rozsáhlého kácení.

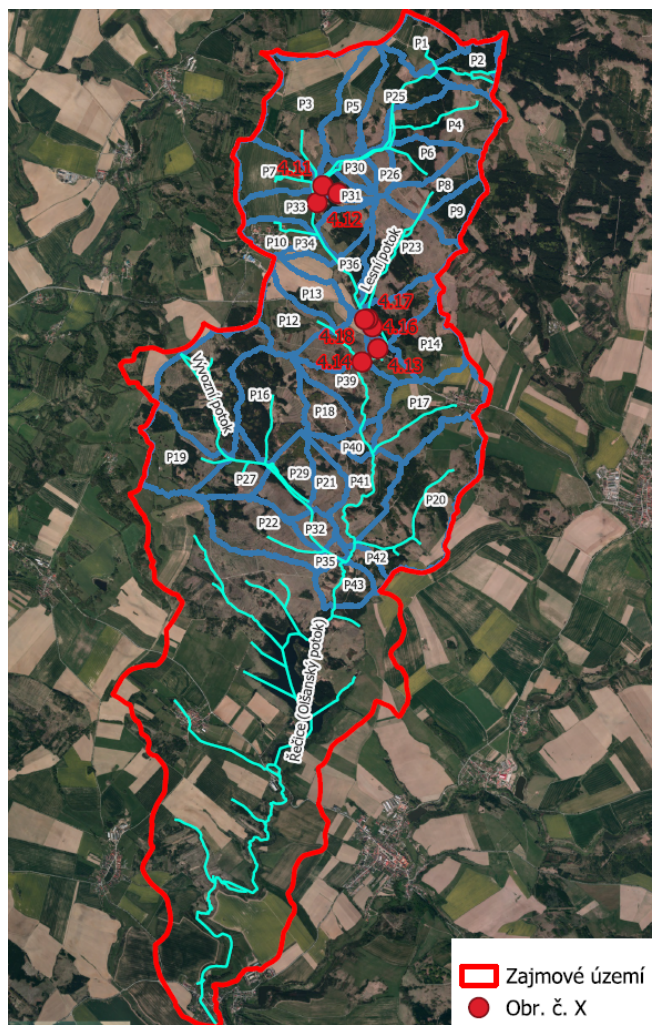
Tabulka 4.2: Úbytek a rozloha lesních porostů a holin v čase

	<b>Ideální stav</b>	<b>2006</b>	<b>2012</b>	<b>2020</b>	<b>2024</b>
Les [%]	100	76,45	85,79	47,14	33,45
Les [km <sup>2</sup> ]	15,33	11,72	13,15	7,22	5,13
Holina [%]	0	23,55	14,21	52,86	66,55
Holina [km <sup>2</sup> ]	0	3,61	2,18	8,10	10,20

## 4.6 Hydrologické poměry

Zájmové území této práce zahrnuje povodí Olšanského potoka, který tvoří hlavní přítok vodní nádrže Nová Říše. Rozloha zájmového povodí činí přibližně 27,5 km<sup>2</sup>, plocha modelované části je 17<sup>2</sup> km. Pramenná oblast se nachází v Českomoravské vrchovině, v nadmořské výšce kolem 620 m n. m., severně od samotné nádrže, v blízkosti obce Olšany. Tok postupně směřuje jihozápadním směrem a odvádí vody do nádrže, která je situována přibližně u středu povodí. Po průtoku hrází pokračuje potok dál k jihu, kde se následně vlévá do řeky Jihlavy.

Vodní nádrž Nová Říše představuje významný prvek v hydrologické síti oblasti, a to jak z hlediska retence vody, tak i protipovodňové ochrany a rekreačního využití. Zatopená plocha činí přibližně 9,3 ha.



Obrázek 4.10: Poloha pořízených snímků



Obrázek 4.11: Řečice (Olšansky potok) P31



Obrázek 4.12: Mýtina P33.



Obrázek 4.13: Řečice (Olšansky potok) P38.



Obrázek 4.14: Řečice (Olšansky potok) P39.



Obrázek 4.15: Les P31



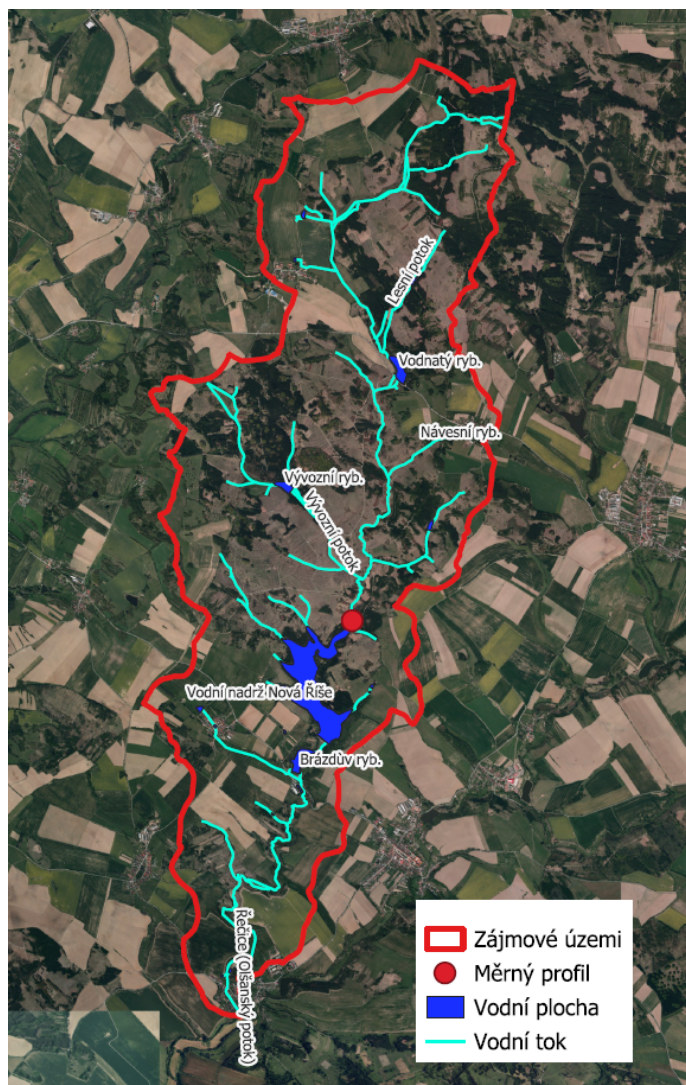
Obrázek 4.16: Řečice (Olšansky potok) P37.



Obrázek 4.17: Potok Lesní P37. Rozliv.



Obrázek 4.18: Bobří hráz na toku Řečice (Olšansky potok) P37



Obrázek 4.19: Mapa zájmového území (WMS - Ortofoto ČR 2024)

## 4.7 Sestavení modelu.

### 4.7.1 Výběr epizody.

Výběr srážkových epizod byl proveden na základě překročení kulminačního průtoku hodnoty  $Q_1$  ( $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) uvedené v Evidenčním listu vodního toku. Všechny zvolené epizody byly způsobeny výhradně dešťovými srážkami, což bylo záměrné omezení z důvodu nedostupnosti spolehlivých údajů o sněhových podmínkách.

Evidenční list operativního profilu		Stanice kategorie : C				
Tok:	<b>Řečice (Olšanský potok)</b>	Stanice:	<b>Nová Říše nad nádrží</b>			
Kraj:	<b>Kraj Vysočina</b>	ORP:	<b>Telč</b>	Obec:	<b>Nová Říše</b>	
Provozovatel:					<b>ČHMÚ Brno</b>	
Centrum automatizovaného sběru dat:					<b>ČHMÚ Brno</b>	
Staničení:	<b>7.3</b> [km]	Číslo hydrologického pořadí:	<b>4-14-01-0300</b>			
Plocha povodí:	<b>17.05</b> [km <sup>2</sup> ]	Zeměpisné souřadnice:	<b>15.5491523 v.d. 49.1652997 s.š.</b>			
Nula vodočtu:	<b>555.9</b> [m n. m.]	Procento plochy povodí toku:				
Stupně povodňové aktivity:		[cm]	[m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]			
Sucho		<b>95</b>	<b>0.0044</b>			
1.SPA (bdělost)						
2.SPA (pohotovost)						
3.SPA (ohrožení)						
3.SPA (extrémní povodeň)			<b>11.6</b>			
Průměrný roční stav:	<b>108</b> [cm]	N-leté průtoky:	Q <sub>1</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>10</sub> Q <sub>50</sub> Q <sub>100</sub>	
Průměrný roční průtok:	<b>0.07</b> [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	[m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	<b>1</b>	<b>3.2</b>	<b>4.9 11.6 16</b>	

Obrázek 4.20: Základní údaje (Evidenční list hlásného profilu č.353).

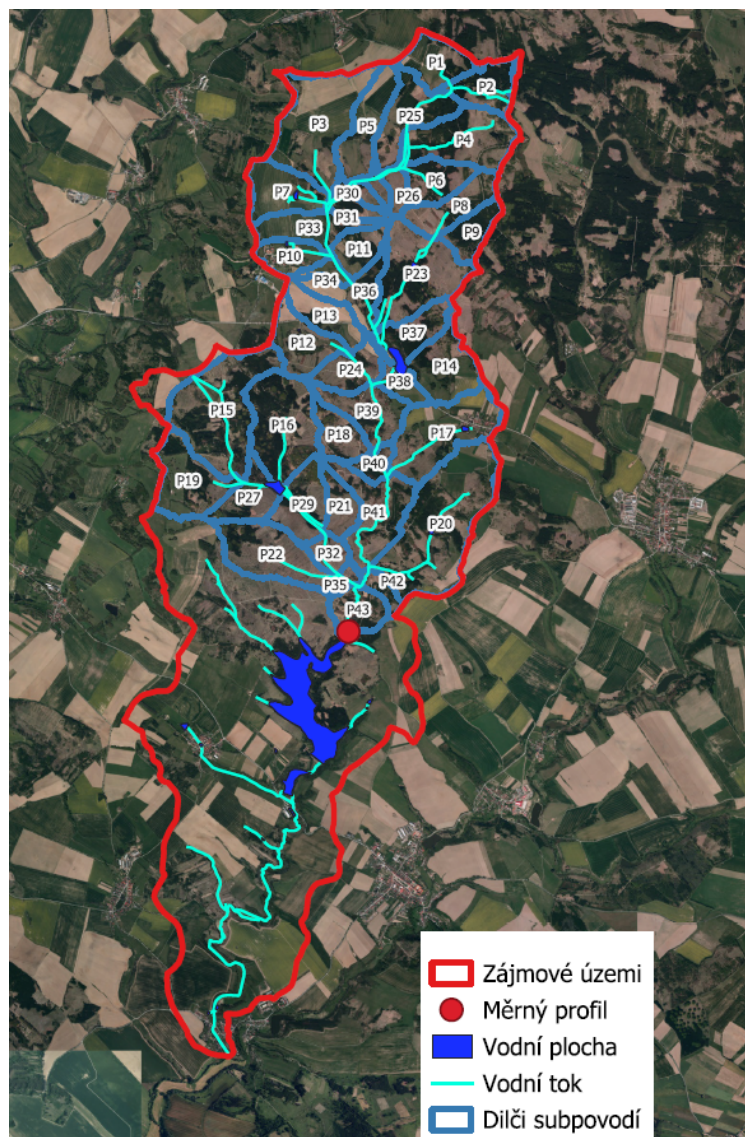
Tabulka 4.3: Vybrané dešťové epizody

Epizoda	Od	Do
2006 (1)	27. května 17:00	30. května 00:00
2006 (2)	29. června 2006 17:00	2. července 2006 00:00
2012 (1)	24. června 2013 17:00	27. června 2013 00:00
2012 (2)	25. září 2010 20:00	29. září 2010 00:00
2020 (1)	18. června 2020 00:00	20. června 2020 00:00
2020 (2)	31. srpna 2020 21:00	3. září 2020 00:00
2024 (1)	10. července 2024 15:00	12. července 2024 01:00
2024 (2)	13. září 2024 00:00	20. září 2024 01:00

## 4.7.2 Sestavení modelu.

### Schematizace povodí v HEC-HMS

Modelovaná část povodí byla vybrána nad vodní nádrží Nová Říše, neboť pro samotnou nádrž nebyla k dispozici žádná podrobná data o vývoji hladiny. Z toho důvodu byla využita měřicí stanice umístěná v profilu nad nádrží, která byla uvedena do provozu v roce 2006. Právě od tohoto roku také začíná časové období zahrnuté do výběru modelovaných srážkových událostí.



Obrázek 4.21: Schematizace povodí.

#### 4.7.3 Výpočet parametru.

Pro úspěšné nastavení srážkoodtokového modelu v prostředí HEC-HMS bylo nutné stanovit několik klíčových parametrů, zejména hodnotu CN (Curve Number), dobu zpoždění odtoku Lag Time pro jednotlivá subpovodí a časové zpoždění proudění v toku (Reach Lag).

Hodnota CN byla stanovena na základě prostorové analýzy využití území v prostředí GIS. Pomocí mapových podkladů byly rozlišeny základní typy pokryvu území, konkrétně orná půda, lesní porosty, trvalý travní porost, vodní plochy a zastavěná území (intravilán). Pro každou kategorii byl následně přiřazen odpovídající koeficient CN podle metodiky SCS,

přičemž byl zohledněn také typ půdy dle hydrologických skupin (A až D), které určují míru infiltrační schopnosti povrchu. Zařazení půdních typů do jednotlivých hydrologických skupin bylo provedeno na základě klasifikace uvedené v práci Janačka (2010).

Doba zpoždění mezi dopadem efektivní srážky a odezvou ve výstupním profilu subpovodí (tzv. Lag Time) byla odvozena pomocí empirického vztahu doporučeného odbornými materiály Českého vysokého učení technického. Tento výpočet zohledňuje délku hlavní odtokové linie, výškový rozdíl mezi nejvzdálenějším bodem a výstupem ze subpovodí a hodnotu CN. Výsledkem je odhad doby, za kterou se srážková voda transformuje v měřitelný odtok v závěrovém profilu. Pro výpočet byl použit následující vztah: [8]

$$T_{\text{lag}} = \frac{L^{0,8} \cdot (100 - CN)^{0,7}}{1900 \cdot H^{0,5}} \quad (4.1)$$

- $T_{\text{lag}}$  – doba zpoždění odtoku (hod),
- $L$  – délka hlavní odtokové trasy v povodí (m),
- $CN$  – hodnota čísla křivky podle metody (-),
- $H$  – výškový rozdíl mezi nejvzdálenějším bodem a výstupem ze subpovodí (m).

Byl odhadován časový parametr pro tokové úseky v jednotlivých povodích (Reach Lag). Výpočet vycházel z fyzikálních vlastností koryta a zahrnoval délku toku, sklonitost řečiště a charakter povrchu. Uvažována byla také povrchová drsnost, vyjádřená pomocí Manningova součinitele, který rozlišuje přírodní koryta, zatravněné příkopy či technicky upravené úseky. V případech, kde bylo možné předpokládat záplavový rozliv, byla zohledněna i šířka koryta a tvar průtočného profilu. Tímto způsobem bylo možné kalibrovat rychlost proudění vody v jednotlivých větvích modelu a tím ovlivnit načasování kulminací průtoků v simulaci.

$$T_{\text{reach}} = \frac{L}{v} \quad (4.2)$$

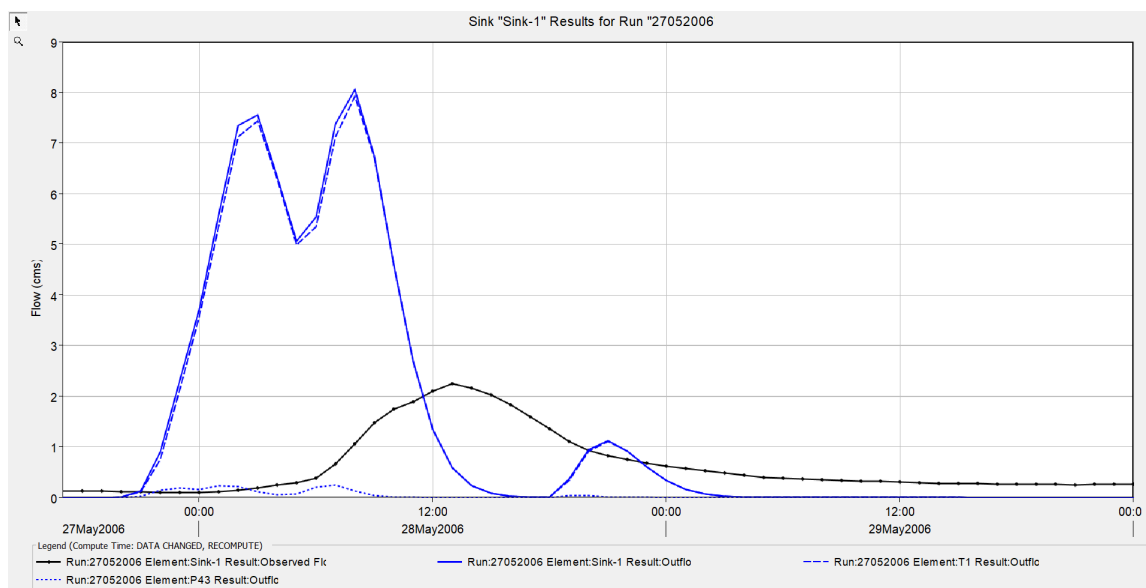
- $T_{\text{reach}}$  – doba zdržení v toku (s),
- $L$  – délka toku (m),
- $v$  – průměrná rychlost proudění ve vodním toku (m/s).

#### 4.7.4 Průběh simulace

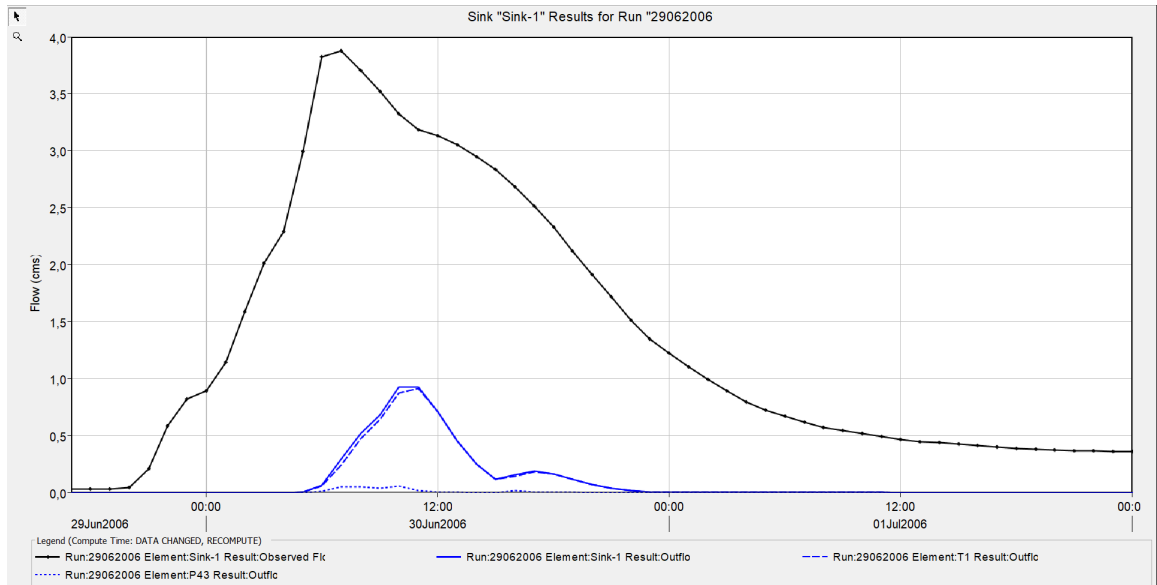
Na základě provedené simulace byla získána srovnání mezi modelovaným a pozorovaným průtokem. Na obrázcích 4.22 až 4.29 je znázorněn průběh reálného průtoku černou čarou (observovaný průtok na závěrovém profilu) a simulovaný průtok modrou čarou (výstup modelu HEC-HMS pro příslušné elementy v povodí).

Z porovnání vyplývá, že v částech, kde simulovaný průtok převyšuje pozorovaný, lze usuzovat na předpoklad nasyceného povodí, tedy na podmínky blížíící se hydrologickému stavu CN1. Naopak tam, kde simulovaný průtok nedosahuje reálných hodnot, je pravděpodobné, že se povodí nacházelo v suchém stavu odpovídajícím podmínkám CN3.

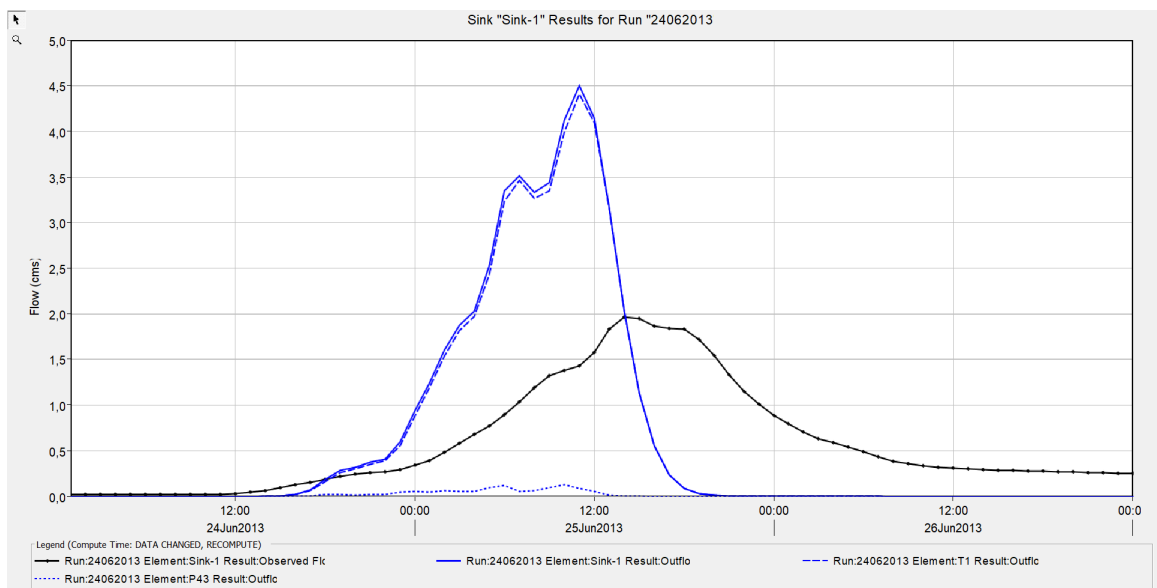
**Ověření počátečních podmínek:** Výsledky simulace ukazují na určité nesrovnalosti mezi modelovanými a reálnými průtoky. Tyto odchylky naznačují, že zvolená počáteční nastavení modelu neodpovídají plně skutečnému hydrologickému stavu povodí. Z tohoto důvodu je nezbytné přistoupit k optimalizaci vstupních parametrů s cílem zvýšit kvalitu a věrohodnost výsledků modelování.



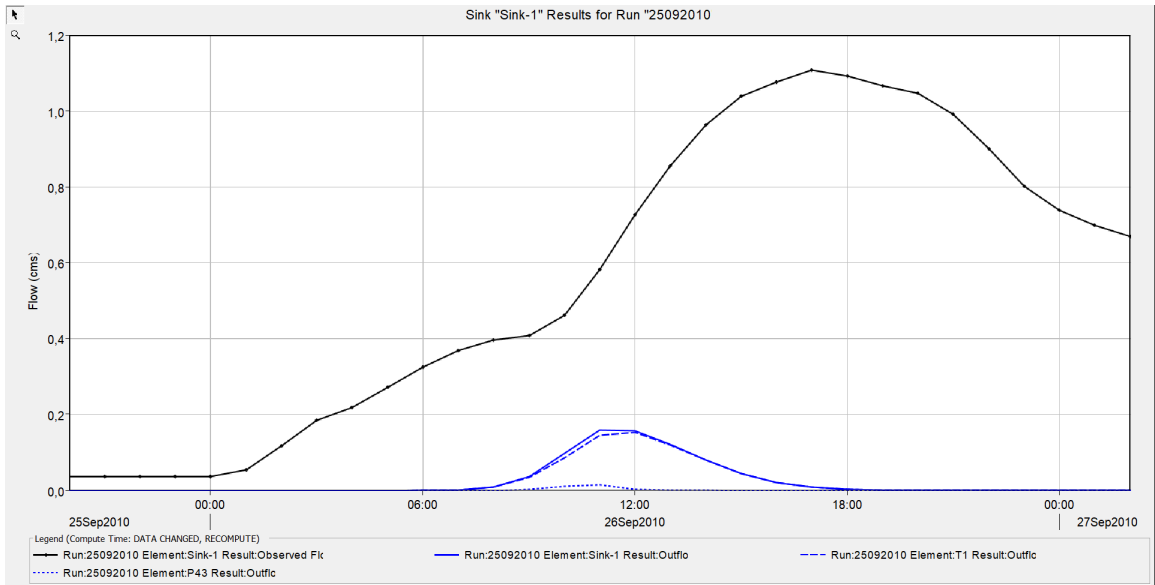
Obrázek 4.22: Simulace epizody 2006(1)



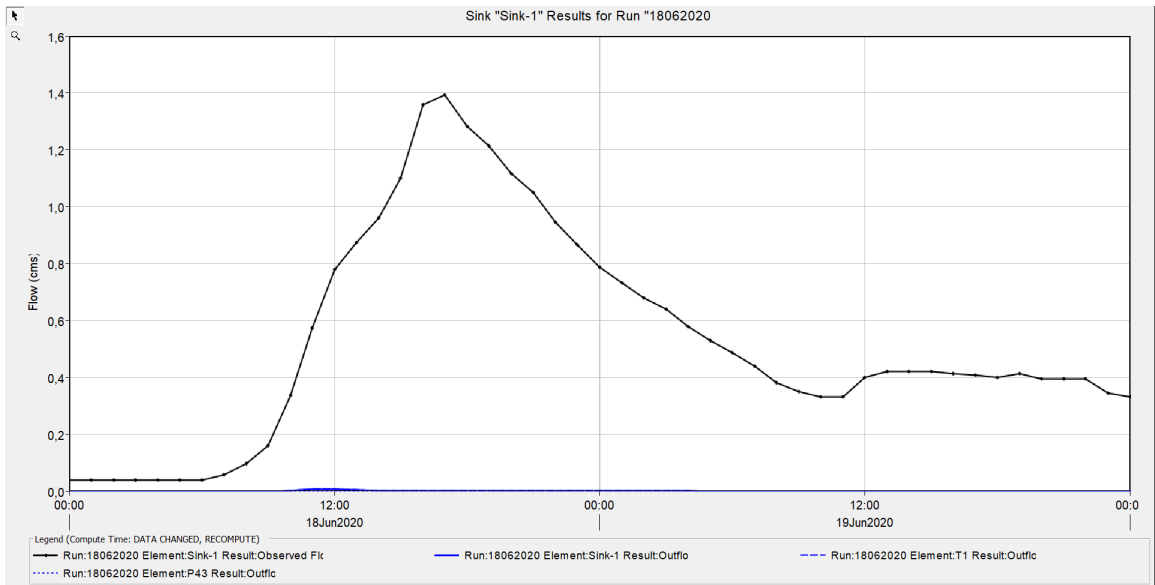
Obrázek 4.23: Simulace epizody 2006(2)



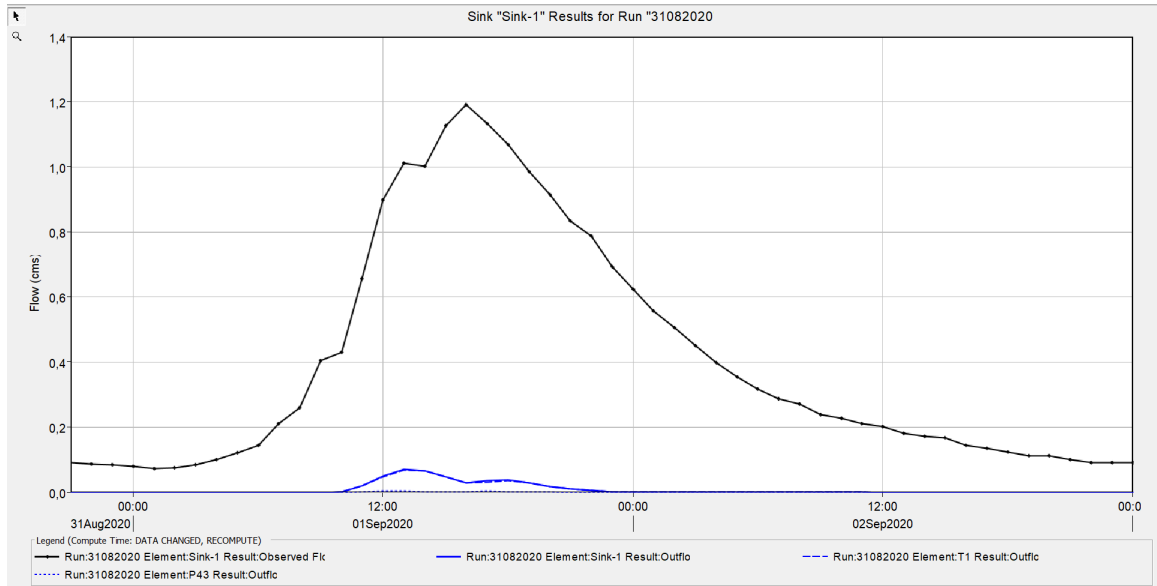
Obrázek 4.24: Simulace epizody 2012(1)



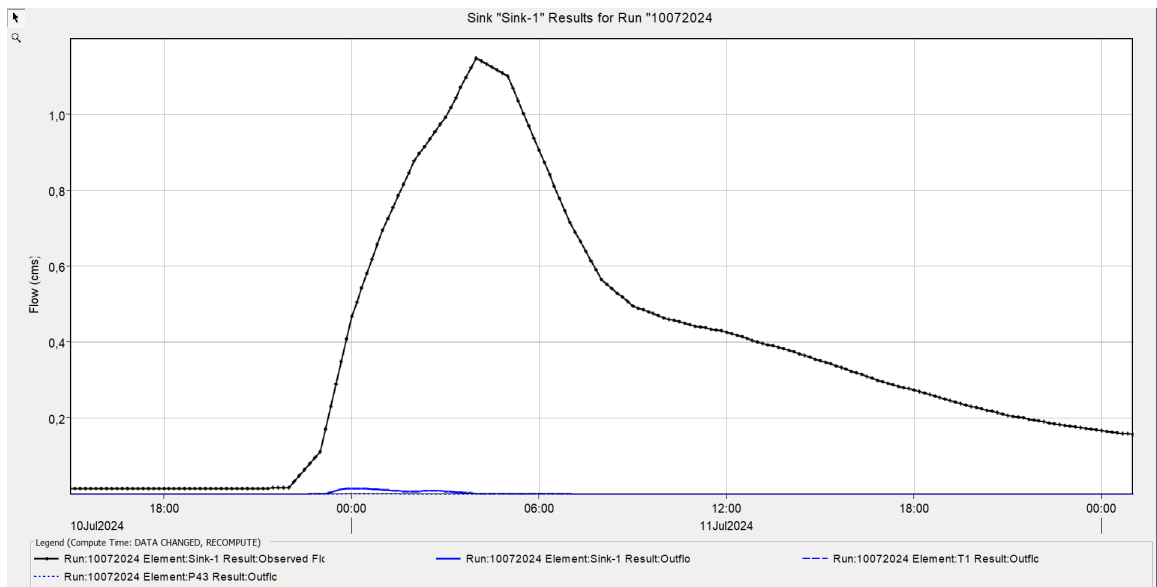
Obrázek 4.25: Simulace epizody 2012(2)



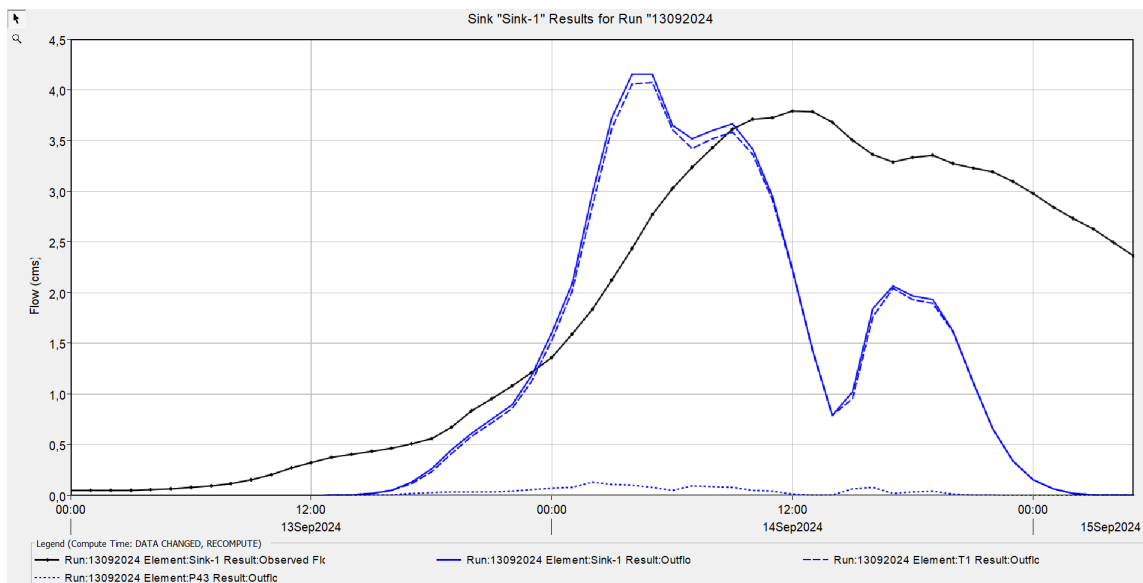
Obrázek 4.26: Simulace epizody 2020(1)



Obrázek 4.27: Simulace epizody 2020(2)



Obrázek 4.28: Simulace epizody 2024(1)



Obrázek 4.29: Simulace epizody 2024(2)

## 4.8 Optimalizace

Pro zhodnocení kvality simulací a následnou optimalizaci modelu HEC-HMS byly využity kvantitativní ukazatele, které umožňují srovnat simulovaný průběh odtoku s reálným (pozorovaným) průtokem. Mezi hlavní zvolené parametry patří:

### 4.8.1 Kritérium Root Mean Square Error (RMSE)

RMSE se běžně využívá pro měření rozptylu a přesnosti předpovědi. Čím nižší je jeho hodnota, tím blíže jsou modelované hodnoty k reálným datům. RMSE je citlivý na extrémní odchylky, a proto klade větší důraz na výraznější chyby v simulaci.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{sim,i} - Q_{obs,i})^2} \quad (4.3)$$

- $Q_{sim,i}$  – simulovaný průtok v čase  $i$
- $Q_{obs,i}$  – pozorovaný (reálný) průtok v čase  $i$
- $n$  – počet časových kroků

### 4.8.2 Kritérium Percent Error In Peak Discharge

Tento parametr udává relativní chybu mezi maximální hodnotou simulovaného průtoku (kulminační průtok) a odpovídající hodnotou naměřenou. Vyjadřuje se v procentech a jeho cílem je kvantifikovat přesnost modelu ve stanovení kulminace povodňové vlny. Nízké hodnoty této chyby indikují dobrou schopnost modelu vystihnout extrém.

$$PE_{\text{peak}} = \left( \frac{Q_{\text{sim,peak}} - Q_{\text{obs,peak}}}{Q_{\text{obs,peak}}} \right) \times 100 \quad (4.4)$$

- $Q_{\text{sim,peak}}$  – simulovaný kulminační průtok
- $Q_{\text{obs,peak}}$  – pozorovaný kulminační průtok

Výše uvedené parametry byly následně použity pro hodnocení výstupů jednotlivých simulací a jako podklad pro optimalizaci vstupního parametru pomocí metody diferenciální evoluce v prostředí HEC-HMS. Tím bylo možné zlepšit shodu modelu s reálným hydrologickým chováním povodí. Optimalizace hodnot CN byla provedena pomocí globálního přístupu. To znamená, že hodnoty CN nejsou optimalizovány pro jednotlivá povodí zvlášť, ale je optimalizován parametr, který přímo ovlivňuje jejich velikost. Tento parametr dále označujeme jako globální parametr.

### 4.8.3 Přehled nastavených hodnot před průběhem optimalizace

Tabulka 4.4: Hodnoty  $T_{\text{lag}}$  jednotlivých povodí. [min]

		$T_{\text{lag}}[\text{min}]$							
	Návrh	2006(1)	2006(2)	2012(1)	2012(2)	2020(1)	2020(2)	2024(1)	2024(2)
P1	29.3	41.8	19.6	39.1	22.8	17.5	20.6	19.4	28.5
P10	31.0	42.1	22.6	39.2	24.9	20.6	23.3	23.4	31.3
P11	22.5	32.5	14.6	30.2	17.0	10.4	13.0	13.4	20.7
P12	40.6	55.0	29.6	51.2	32.6	27.1	30.5	30.9	41.1
P13	35.1	50.9	22.6	46.7	26.0	18.9	23.1	22.1	33.7
P14	39.9	54.5	28.8	50.6	31.8	23.1	26.6	25.6	35.8
P15	63.9	86.6	46.6	80.7	51.4	42.6	48.1	48.6	64.7
P16	56.3	76.3	41.1	71.1	45.3	37.6	42.4	42.8	57.1
P17	37.4	55.0	23.3	51.0	27.8	18.7	23.4	24.1	37.2
P18	38.4	52.1	27.9	48.5	30.8	25.1	28.4	28.3	38.0
P19	42.1	57.1	30.7	53.2	33.8	28.1	31.7	32.0	42.7
P2	34.1	50.9	20.6	46.6	24.5	17.3	21.8	22.2	34.8
P20	73.2	99.3	53.5	92.5	58.9	48.9	55.2	55.7	74.2
P21	29.5	44.8	17.1	41.0	20.8	13.4	17.7	18.0	29.6
P22	52.9	73.3	37.2	68.5	42.0	33.6	38.7	38.2	52.8
P23	43.6	61.4	29.8	56.8	33.7	22.4	26.9	25.1	37.9
P24	26.0	38.2	16.2	35.7	19.6	14.0	17.3	17.6	26.7
P25	50.5	71.2	34.4	66.4	39.4	30.4	35.6	33.8	48.8
P26	23.8	32.5	17.1	30.6	19.3	15.4	17.5	17.6	23.8
P27	41.1	55.8	29.9	52.1	33.1	27.4	30.9	31.2	41.6
P28	18.5	26.6	12.2	24.8	14.2	9.1	11.2	11.1	17.0
P29	40.9	55.5	29.9	51.7	32.9	27.3	30.8	31.1	41.5
P3	78.6	106.5	57.3	99.3	63.2	52.2	58.9	59.2	79.1
P30	24.5	34.4	16.7	32.5	19.5	14.2	16.7	16.6	23.8

Tabulka 4.5: Hodnoty  $T_{lag}$  jednotlivých povodí. [min]

		$T_{lag}[\text{min}]$							
	Návrh	2006(1)	2006(2)	2012(1)	2012(2)	2020(1)	2020(2)	2024(1)	2024(2)
P31	23.8	33.3	16.4	31.4	18.9	14.0	16.4	16.0	22.9
P32	28.7	38.9	21.0	36.3	23.1	19.2	21.6	21.8	29.1
P33	45.8	62.2	33.4	57.9	36.8	30.4	34.4	34.3	45.9
P34	31.1	42.5	22.3	39.5	24.8	18.6	21.4	20.5	28.5
P35	14.5	20.2	10.0	18.8	11.3	9.0	10.5	10.4	14.6
P36	50.3	68.5	36.5	63.8	40.4	31.8	36.1	26.6	39.2
P37	29.0	40.3	20.3	38.2	23.5	18.3	21.1	19.2	27.3
P38	27.0	36.9	19.4	34.5	21.6	17.0	19.5	15.3	22.3
P39	33.7	45.9	24.5	42.9	27.2	22.2	25.2	24.8	33.4
P4	48.7	66.4	35.1	62.0	39.0	32.0	36.4	36.5	49.1
P40	22.3	30.7	15.8	28.5	17.6	13.8	15.8	13.9	19.9
P41	40.3	55.0	29.1	51.2	32.2	26.2	29.7	29.2	39.6
P42	21.1	28.6	15.4	26.7	17.0	14.1	15.9	15.1	20.4
P43	17.5	25.3	11.3	23.6	13.3	9.5	11.5	11.4	17.2
P5	55.9	79.4	37.4	75.7	44.8	33.1	39.1	39.1	56.2
P6	35.8	48.5	26.1	45.2	28.8	23.9	27.0	25.5	34.5
P7	34.6	50.7	21.8	47.1	26.0	17.7	21.9	22.3	34.2
P8	30.0	41.4	21.2	38.8	23.9	18.8	21.6	20.9	29.1
P9	28.4	39.1	20.2	38.7	24.6	20.5	23.1	23.3	31.1

Tabulka 4.6: Hodnoty CN před průběhem optimalizace.

CN[-]

	Návrh	2006(1)	2006(2)	2012(1)	2012(2)	2020(1)	2020(2)	2024(1)	2024(2)
P1	68.9	55.1	82.7	57.8	77.9	86.0	81.1	83.0	70.0
P10	60.2	48.2	72.2	50.9	68.7	75.5	71.1	70.9	59.8
P11	70.9	56.7	85.1	59.7	80.5	93.6	88.2	87.5	73.9
P12	60.0	48.0	72.0	50.8	68.4	75.2	70.9	70.5	59.5
P13	71.5	57.2	85.8	60.6	81.7	90.4	85.2	86.5	73.0
P14	61.5	49.2	73.8	52.1	70.2	81.1	76.5	77.9	65.7
P15	60.0	48.0	72.0	50.8	68.5	75.2	70.9	70.5	59.5
P16	60.0	48.0	72.0	50.8	68.4	75.2	70.9	70.5	59.5
P17	73.4	58.7	88.0	61.7	83.1	93.3	87.9	87.1	73.5
P18	60.4	48.3	72.5	51.1	68.9	76.3	71.9	72.0	60.8
P19	60.0	48.0	72.0	50.8	68.4	75.2	70.9	70.5	59.5
P2	75.0	60.0	90.0	63.5	85.5	94.0	88.6	88.1	74.4
P20	60.0	48.0	72.0	50.8	68.4	75.2	70.9	70.5	59.5
P21	76.9	61.5	92.3	65.0	87.6	97.1	91.5	91.1	76.8
P22	64.2	51.3	77.0	54.0	72.8	80.3	75.7	76.1	64.2
P23	66.9	53.5	80.3	56.5	76.2	88.5	83.4	85.5	72.1
P24	73.4	58.7	88.0	61.3	82.7	91.6	86.3	85.7	72.3
P25	67.2	53.8	80.6	56.5	76.2	84.5	79.6	81.2	68.5
P26	61.7	49.3	74.0	51.8	69.8	77.6	73.2	73.1	61.7
P27	60.3	48.3	72.4	51.0	68.7	75.5	71.2	70.9	59.8
P28	70.0	56.0	84.0	58.8	79.3	91.6	86.4	86.7	73.2
P29	60.0	48.0	72.0	50.8	68.4	75.2	70.9	70.5	59.5
P3	60.1	48.1	72.1	50.8	68.5	75.4	71.1	70.9	59.8
P30	66.9	53.5	80.3	55.8	75.2	85.3	80.4	80.5	67.9

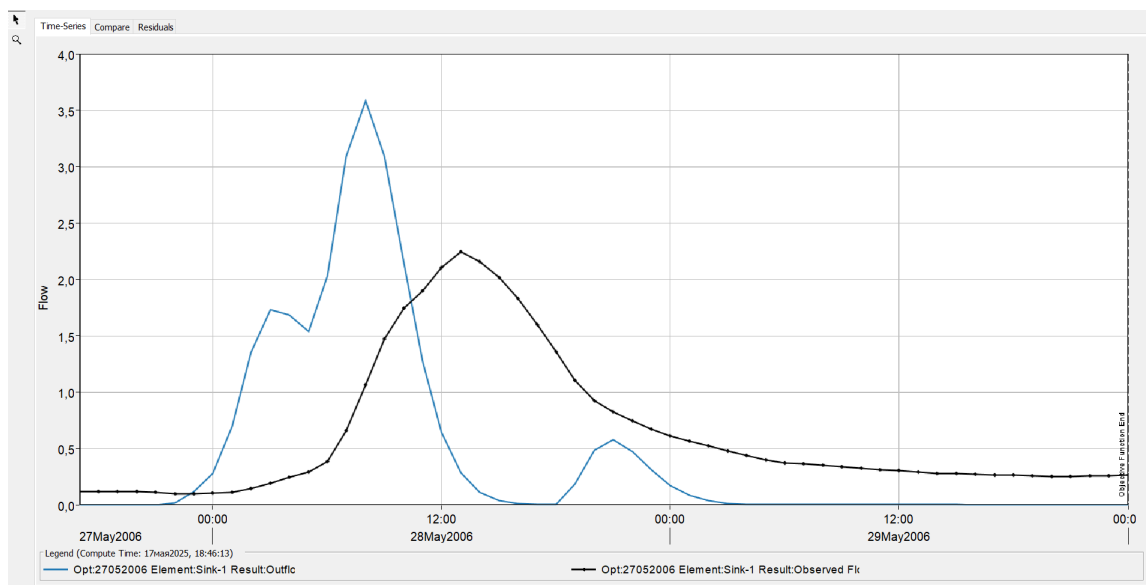
Tabulka 4.7: Hodnoty CN před průběhem optimalizace.

CN[-]

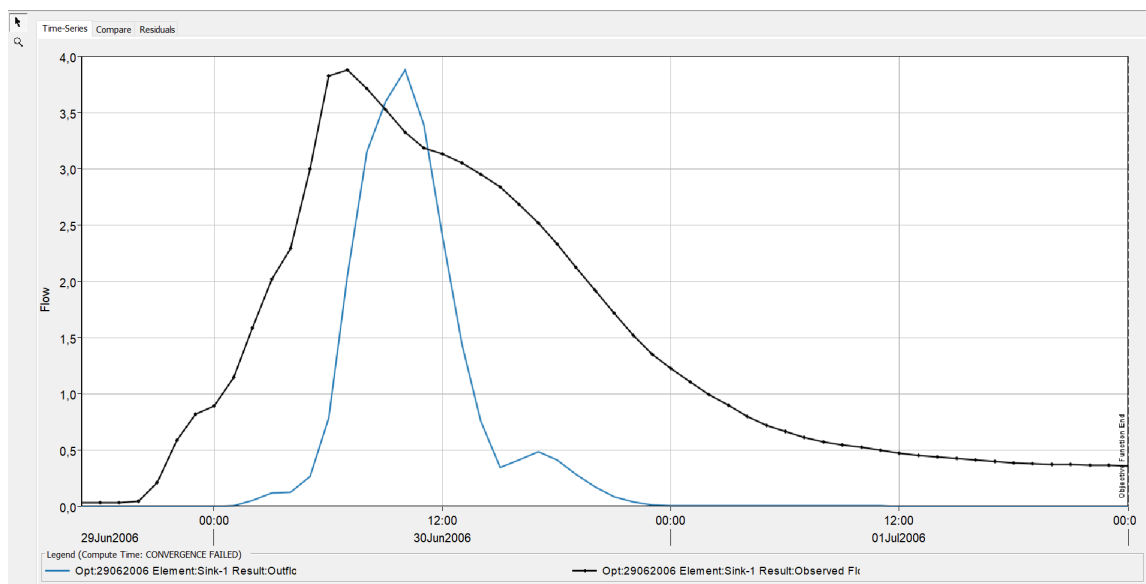
	Návrh	2006(1)	2006(2)	2012(1)	2012(2)	2020(1)	2020(2)	2024(1)	2024(2)
P31	66.2	53.0	79.5	55.4	74.6	84.3	79.5	80.2	67.7
P32	60.0	48.0	72.0	50.8	68.5	75.2	70.9	70.6	59.6
P33	60.3	48.2	72.3	51.0	68.7	75.6	71.2	71.3	60.2
P34	61.8	49.4	74.1	52.2	70.4	80.3	75.7	77.1	65.1
P35	66.0	52.8	79.2	55.8	75.2	82.4	77.7	77.9	65.7
P36	60.8	48.7	73.0	51.4	69.3	77.8	73.3	83.4	70.4
P37	64.7	51.8	77.7	53.9	72.6	81.1	76.5	79.5	67.1
P38	62.1	49.7	74.5	52.4	70.6	78.8	74.3	82.3	69.4
P39	60.8	48.6	72.9	51.3	69.1	76.3	71.9	72.5	61.2
P4	61.4	49.1	73.7	51.9	69.9	76.9	72.5	72.3	61.0
P40	63.5	50.8	76.2	53.7	72.4	80.6	76.0	80.3	67.8
P41	61.2	49.0	73.5	51.8	69.8	77.1	72.7	73.4	61.9
P42	60.0	48.0	72.0	50.8	68.4	75.2	70.9	72.8	61.5
P43	71.2	56.9	85.4	59.8	80.5	90.0	84.9	85.2	71.9
P5	68.6	54.9	82.3	56.8	76.5	85.9	81.0	81.0	68.4
P6	60.0	48.0	72.0	50.8	68.4	75.2	70.9	72.8	61.5
P7	72.7	58.1	87.2	61.0	82.2	92.4	87.1	86.7	73.2
P8	63.7	51.0	76.5	53.6	72.2	80.3	75.7	76.9	64.9
P9	63.0	50.4	75.6	50.8	68.4	75.2	70.9	70.5	59.5

#### 4.8.4 Výsledky optimalizace a jejich vyhodnocení

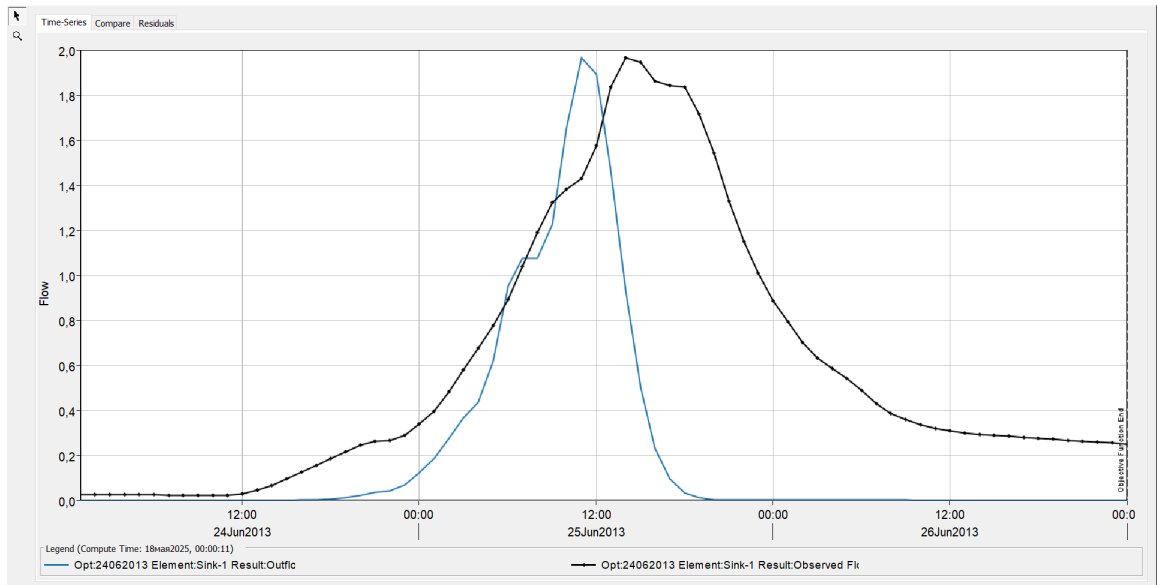
Byla provedena optimalizace pomocí metody diferenciální evoluce, která sloužila k nalezení nejhodnějších parametrů hydrologického modelu. V rámci procesu optimalizace byly testovány různé kritériální funkce, zejména RMSE (Root Mean Square Error) a Percent Error in Peak Discharge



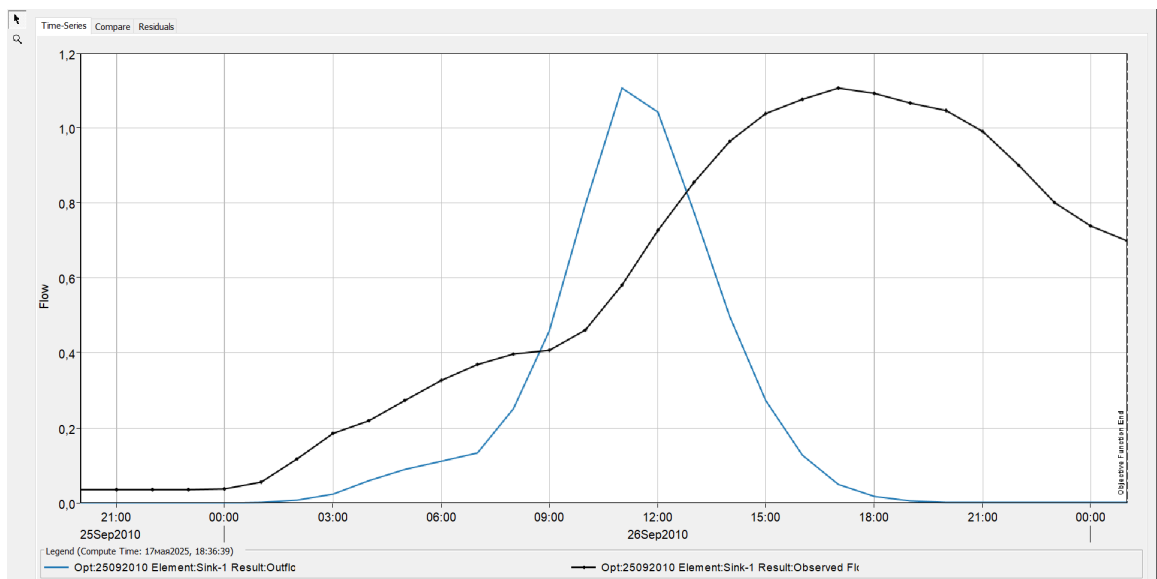
Obrázek 4.30: Optimalizace epizody 2006(1)



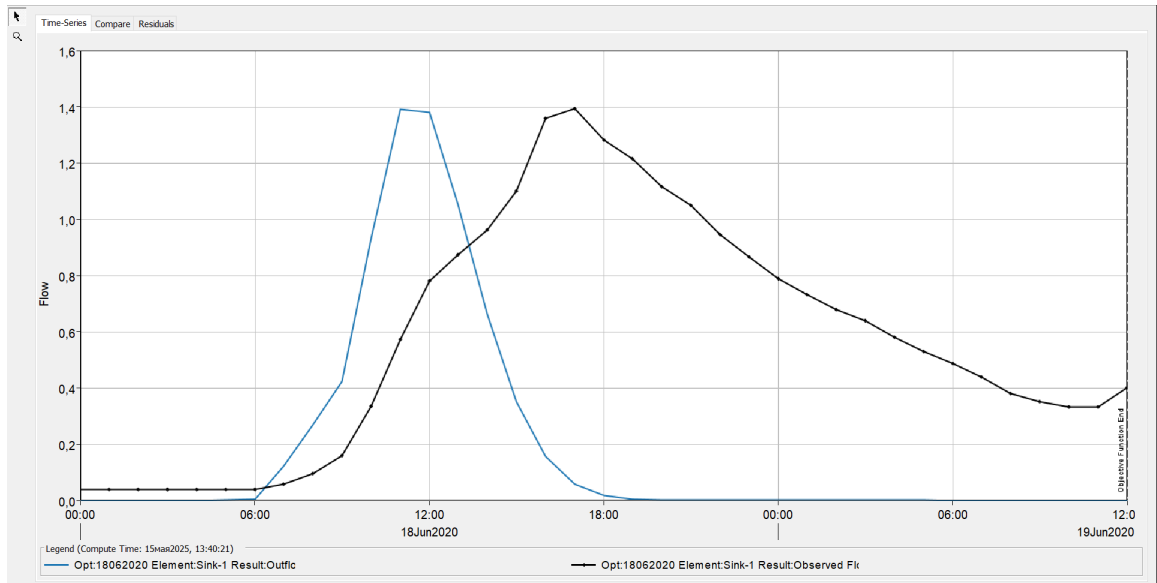
Obrázek 4.31: Optimalizace epizody 2006(2)



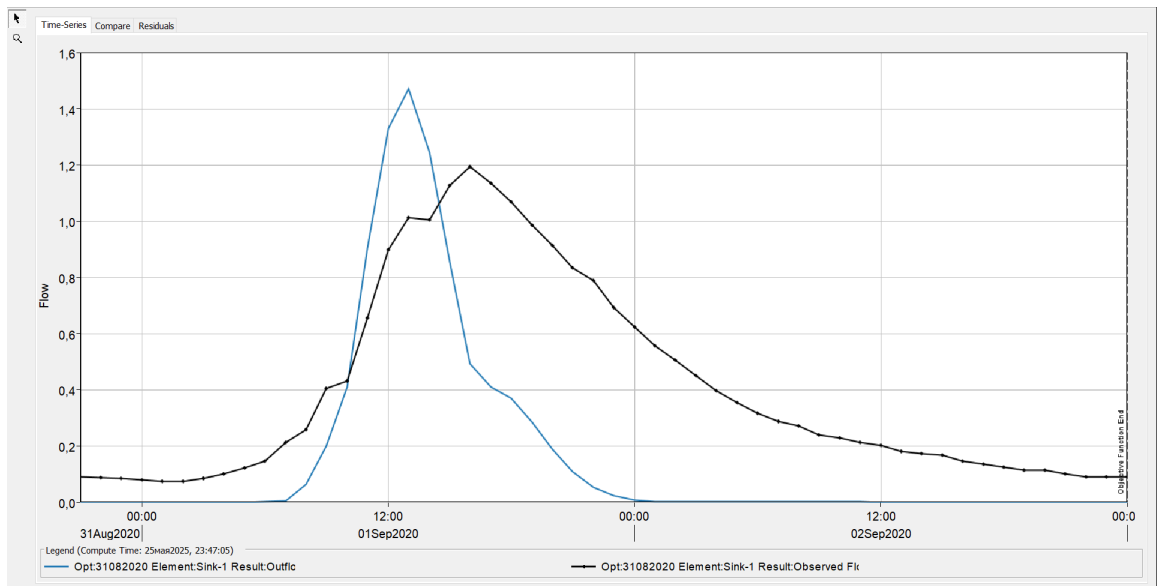
Obrázek 4.32: Optimalizace epizody 2012(1)



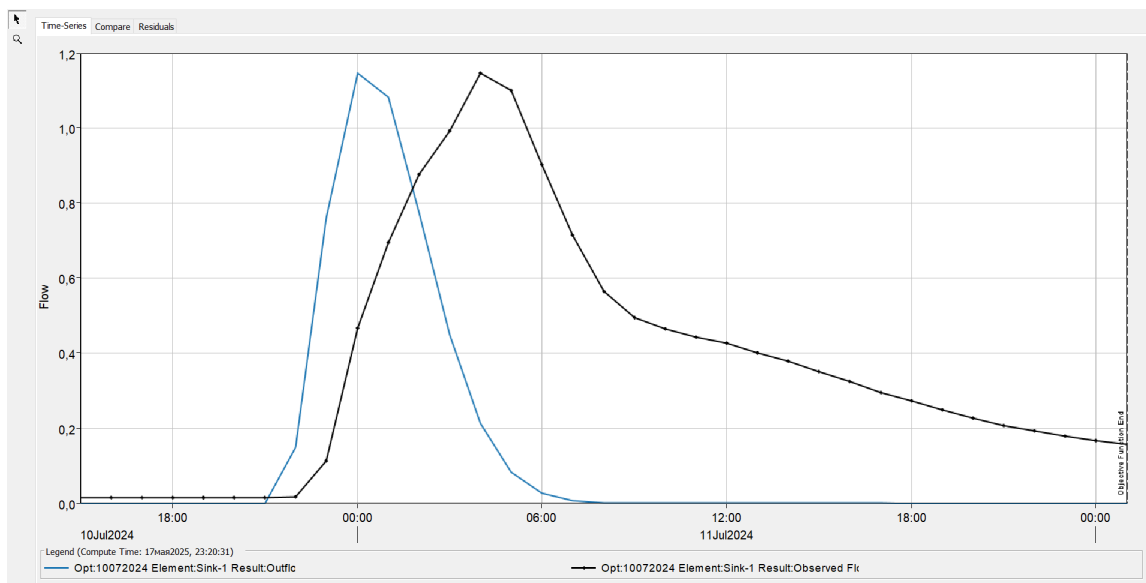
Obrázek 4.33: Optimalizace epizody 2012(2)



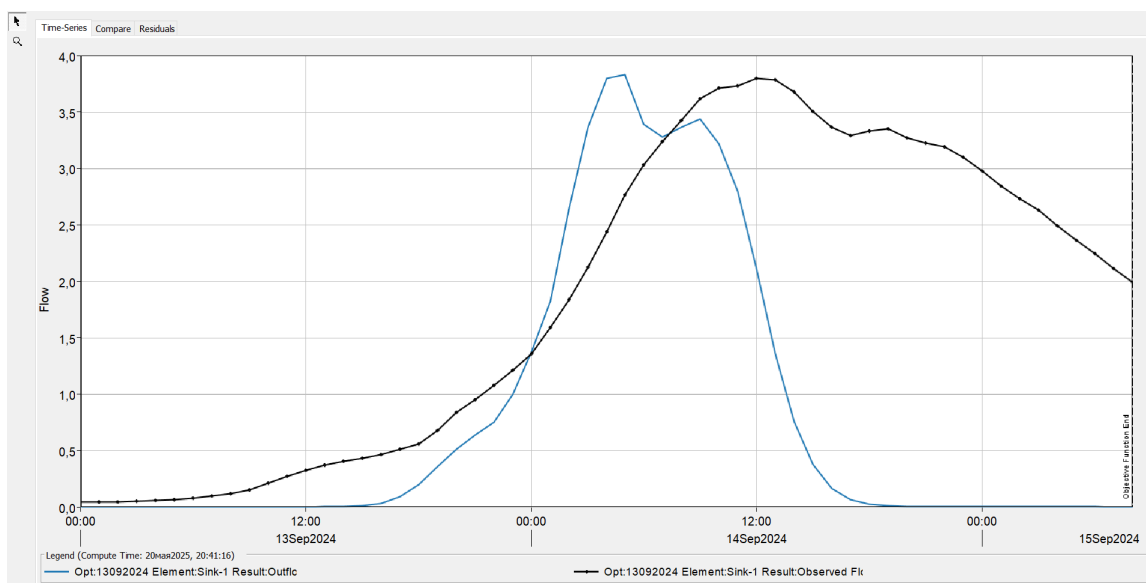
Obrázek 4.34: Optimalizace epizody 2020(1)



Obrázek 4.35: Optimalizace epizody 2020(2)



Obrázek 4.36: Optimalizace epizody 2024(1)



Obrázek 4.37: Optimalizace epizody 2024(2)

Na základě provedené optimalizace pozorujeme, že u epizody **2006 (1)** a u epizody **2020 (2)** lze konstatovat, že hodnoty parametru CN byly nastaveny dobře vzhledem k charakteru události. Nicméně délka doby dotoku a doby koncentrace není správně nastavena, což se projevuje nevhodným časovým posunem mezi jednotlivými vlnami. V reálných datech na sebe jednotlivé vlny plynule navazují, zatímco v simulaci se překrývají, což naznačuje

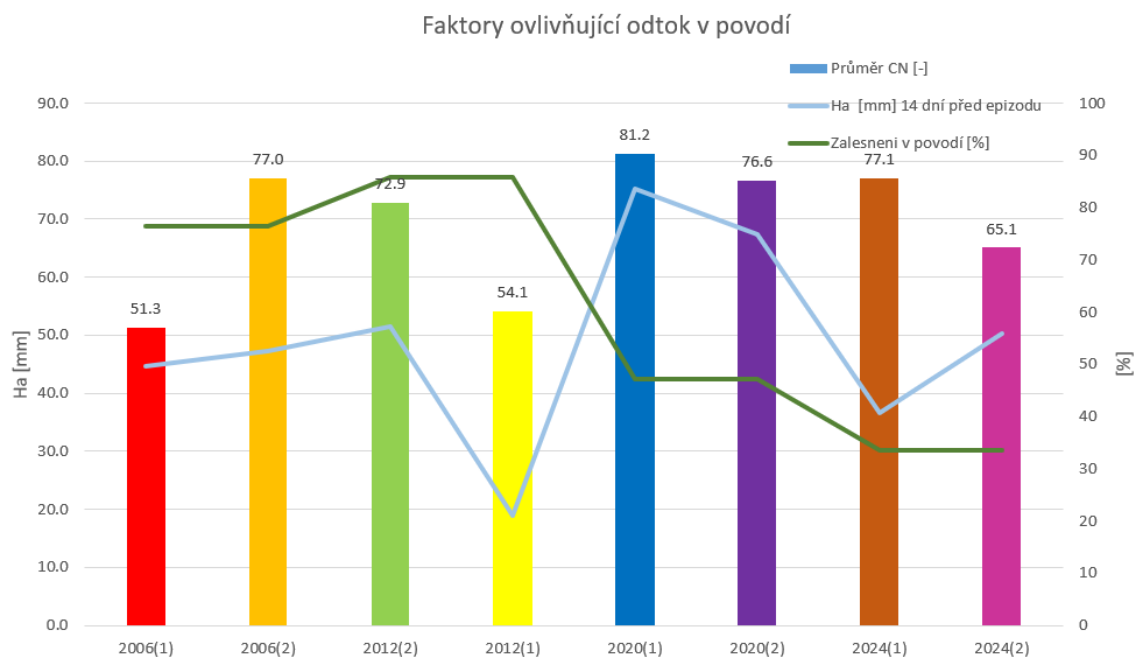
nesoulad v čase kulminace průtoku.

V případě epizody **2006 (2)** byly pozorovány nesrovnalosti v objemu simulovaného odtoku, který neodpovídá realitě. Tento rozdíl je způsoben tím, že nepočítáme s podpovrchovým odtokem, což vede k podhodnocení celkového objemu odtoku.

Epizody **2012 (1)**, **2012 (2)** a **2020 (1)** vykazují kvalitní shodu v oblasti nástupu odtoku i v časové pozici průtokového maxima. Rozdíly se projevují zejména v klesající části hydrogramu, kde simulovaný pokles neodpovídá plně pozorované realitě. Tento nesoulad je dán absencí modelování podpovrchového odtoku.

Tabulka 4.8: Faktory ovlivňující odtok v povodí.

Basin	2006 (1)	2006 (2)	2012 (2)	2012 (1)	2020 (1)	2020 (2)	2024 (1)	2024 (2)
Zalesnění v povodí [%]	76.45	76.45	85.79	85.79	47.14	47.14	33.45	33.45
Globální parametr [-]	0.800	1.200	1.141	0.846	1.253	1.181	1.175	0.991
Průměr CN [-]	51.34	77.01	72.88	54.07	81.23	76.57	77.12	65.07
Suma srážek za 14 dnů před epizodou Ha [mm]	44.6	47.2	51.5	19.0	75.2	67.4	36.6	50.3
Suma srážek od začátku epizody do 4 hodin za pikem v mm	21.01	34.10	29.73	25.58	12.62	12.23	7.69	60.00
$Q_{\max}$ [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]	2.240	3.876	1.303	1.965	1.392	1.192	1.147	3.795



Obrázek 4.38: Faktory ovlivňující odtok v povodí.

## 5 Závěr

V rámci této bakalářské práce byl sestaven srážkoodtokový model povodí v prostředí HEC-HMS a byly provedeny simulace vybraných extrémních epizod. Údaje o srážkách a průtocích byly získány pro Olšanský potok v okolí nádrže Nová Říše, přičemž epizody byly zvoleny tak, aby reprezentovaly události s výraznými průtoky nezpůsobenými táním sněhu. Pro sestavení modelu bylo využito ortofotomapy a digitálního modelu reliéfu ve spojení s daty o využití krajiny, především z hlediska zalesnění a typu půdy. Na základě těchto dat byly odvozeny počáteční hodnoty parametrů jako CN (curve number) a doba koncentrace.

Po vytvoření schématu modelu následovala kalibrace a optimalizace vstupních parametrů. Zatímco automatická optimalizace pomocí diferenciální evoluce nepřinesla uspokojivé výsledky, neboť v některých případech generovala nereálné parametry, ruční jednofaktorová optimalizace hodnot CN vedla k významnému zlepšení shody simulovaných a reálných průtoků, a to především v oblasti kulminačních hodnot.

Klasická simulace s odhadnutými parametry nepřinesla uspokojivé výsledky a v některých případech generovala s realitou neslučitelné průběhy. Z tohoto důvodu bylo přikročeno k optimalizaci s využitím metody diferenciální evoluce za účelem nalezení vhodné hodnoty globálního parametru. Pomocí metody Percent Error In Peak Discharge bylo dosaženo lepší shody mezi pozorovaným a simulovaným průtokem.

Z výsledků uvedených v tabulce 4.6 a grafu 4.38 lze konstatovat, že pro dané nastavení nelze jednoznačně prokázat pozitivní vliv lesa na snížení N-letých průtoků. Lze však vyvodit, že povodí s vyšším procentem zalesnění má tendenci při stejných hodnotách předchozích srážek vykazovat nižší hodnoty CN.

Samotná neprokazatelnost vlivu lesa je pravděpodobně spojena s tím, že nebyla provedena optimalizace parametru  $T_{lag}$  (Lag). Tento fakt ovlivnil skládání jednotlivých vln, které následně ovlivnily i optimalizované hodnoty CN.

Další možnou příčinou může být i použití optimalizace s využitím globálního parametru,

která je více náchylná na volbu počátečních hodnot než optimalizace lokálních parametrů jednotlivých povodí.

Cílem této bakalářské práce bylo prozkoumat možnost optimalizace s využitím globálního parametru. Zároveň se podařilo doplňkově zmapovat stav lesa, přičemž z výsledků je patrné, že mezi lety 2012 a 2020 došlo k tak výraznému narušení lesních ploch, že je velmi obtížné je nadále identifikovat jako souvislý lesní celek – jedná se spíše o jednotlivé ostrůvky vegetace.

Samotná problematika je velmi zajímavá a zároveň náročná, a proto je vhodné se jí dále věnovat. Uvedené příčiny neúspěchu si zasluhují podrobnější zkoumání, které je plánováno v rámci navazující diplomové práce.

# Literatura

- [1] *Půdní typy*. 2010. Dostupné z: [http://geoportal.gov.cz/ArcGIS/services/CENIA/cenia\\_typy\\_pud/MapServer/WMS/Server](http://geoportal.gov.cz/ArcGIS/services/CENIA/cenia_typy_pud/MapServer/WMS/Server). [cit. 2025-03-15].
- [2] *Vodní hospodářství*. Bohumilice: [b.n.], 2010. Dostupné z: <https://www.vodnihospodarstvi.cz/ArchivPDF/vh2010/vh07-2010.pdf>. [cit. 2024-12-21].
- [3] *SCS Unit Hydrograph Model*. 2023. Dostupné z: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmstrm/transform/scs-unit-hydrograph-model>. [cit. 2025-03-15].
- [4] *Geologická mapa 1 : 50 000*. 2024. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/#>. [cit. 2024-12-02].
- [5] BAREŠ, V.; BENEŠ, R.; JÍLKOVÁ, J.; SLAVÍKOVÁ, L.; STRÁNSKÝ, D. et al. *Ochrana před povodněmi v urbanizovaných územích*. 1. vyd. Praha: IREAS, Institut pro strukturální politiku, o. p. s., 2007. ISBN 978-80-86684-48-2.
- [6] BERAN, J. *Základy vodního hospodářství*. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2000. Skripta ČZU, Praha.
- [7] JANDORA, J.; STARA, J. a STARÝ, M. *Hydraulika a hydrologie*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2005.
- [8] JANEČEK, M. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: Česká zemědělská univerzita Praha, Fakulta životního prostředí, 2012.
- [9] NĚMEČEK, J. *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. 2. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2008.
- [10] RUDA, A. *Klimatologie a hydrogeografie pro učitele: Multimediální elektronický výukový materiál*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2014. Vytvořeno ve spolupráci

se Servisním střediskem pro e-learning na MU, Fakulta informatiky MU, 2012–2014.  
Publikováno na Elportále.

- [11] STARÝ, M. *Hydrologie*. FAST VUT Brno, 2005. Skriptum.
- [12] U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER. *HEC-HMS (Hydrologic Modeling System)* <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>. 2025. Přístupné online. [cit. 2025-03-15].
- [13] ŠVIHLA, V.; ŠACH, F. a ČERNOHOUS, V. *Vliv holých sečí či rychlého velkoplošného rozpadu lesa na celkový odtok za vegetační období*. 2016. 7 s. Dostupné z: <https://www.vulhm.cz/files/uploads/2019/02/445.pdf>. [cit. 2025-02-12].

## Seznam použitých zkratek a symbolů

$T_{\text{lag}}$	Zpoždění kulminace odtoku [min]. 48, 49, 65
CN	CN-Curve Number. 1, 17–19, 21, 40–42, 47, 55, 56, 58, 65
DMR	Digitální model reliéfu (český ekvivalent DEM). 17
GIS	Geographic Information System – Geografický informační systém. 17, 40
HEC-HMS	Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System – Modelovací systém pro simulaci hydrologických procesů. 1, 10, 15–17, 21, 39, 40, 42, 46, 47, 58
RMSE	Root Mean Squared Error – Odmocněná střední kvadratická chyba. 2, 21, 46, 52
SCS	Soil Conservation Service – Americká služba ochrany půdy. 10, 17, 21, 40

## Seznam obrázků

<b>3.1</b>	Vliv podélného profilu toku (vlevo) a tvaru povodí (vpravo) na tvar přítokové vlny	9
<b>3.2</b>	Srážkoodtokový cyklus povodí (Baar, 2007) .....	11
<b>4.1</b>	Poloha zájmového území v ČR (ČÚZK, 2006) .....	19
<b>4.2</b>	Zájmové území (ČÚZK, 2021) .....	19
<b>4.3</b>	Mapa půdních typů zájmového území (Půdní typy, 2010) .....	21
<b>4.4</b>	Geologická mapa zájmového území (ČGS/ČR 1:50000) .....	23
<b>4.5</b>	Stav lesa – 2002 .....	26
<b>4.6</b>	Stav lesa – 2016 .....	26
<b>4.7</b>	Stav lesa – 2020 .....	27
<b>4.8</b>	Stav lesa – 2022 .....	27
<b>4.9</b>	Poloha čidel .....	30
<b>4.10</b>	Řečiště (Oskarský potok) P31 .....	32
<b>4.11</b>	Mýtina P31 .....	32
<b>4.12</b>	Řečiště (Oskarský potok) P38 .....	33
<b>4.13</b>	Les P31 .....	33
<b>4.14</b>	Řečiště (Oskarský potok) P27 .....	34
<b>4.15</b>	Potok Lesní P27, Rovín... .....	34
<b>4.16</b>	Mapa vrstevnic .....	35
<b>4.17</b>	Výškový profil toku na úseku (Oskarský potok P27) .....	35
<b>4.18</b>	Mapa zájmového území (WMS – Ortofoto ČR 2021) .....	36
<b>4.19</b>	Sklonitostní analýza (identifikace liniového profilu č.3&5) .....	36
<b>4.21</b>	Schematizace povodí .....	36
<b>4.22</b>	Simulace epizody 2006(1) .....	38
<b>4.23</b>	Simulace epizody 2006(2) .....	39

<b>4.24</b>	Simulace epizody 2012(1) .....	39
<b>4.25</b>	Simulace epizody 2012(2) .....	40
<b>4.26</b>	Simulace epizody 2020(1) .....	40
<b>4.27</b>	Simulace epizody 2020(2) .....	41
<b>4.28</b>	Simulace epizody 2024(1) .....	41
<b>4.29</b>	Simulace epizody 2024(2) .....	42
<b>4.30</b>	Optimalizace epizody 2006(1) .....	48
<b>4.31</b>	Optimalizace epizody 2006(2) .....	48
<b>4.32</b>	Optimalizace epizody 2012(1) .....	49
<b>4.33</b>	Optimalizace epizody 2012(2) .....	49
<b>4.34</b>	Optimalizace epizody 2020(1) .....	50
<b>4.35</b>	Optimalizace epizody 2020(2) .....	50
<b>4.36</b>	Optimalizace epizody 2024(1) .....	51
<b>4.37</b>	Optimalizace epizody 2024(2) .....	51
<b>4.38</b>	Faktory ovlivňující odtok v povodí .....	53

## Seznam tabulek

4.1	Charakteristika klimatické oblasti .....	20
4.2	Úbytek a rozloha lesních porostů a holin v čase .....	28
4.3	Vybrané dešťové epizody .....	35
4.4	Hodnoty $T_{\text{lag}}$ před průběhem optimalizace .....	44
4.5	Hodnoty CN před průběhem optimalizace .....	46
4.6	Faktory ovlivňující odtok v povodí .....	52