



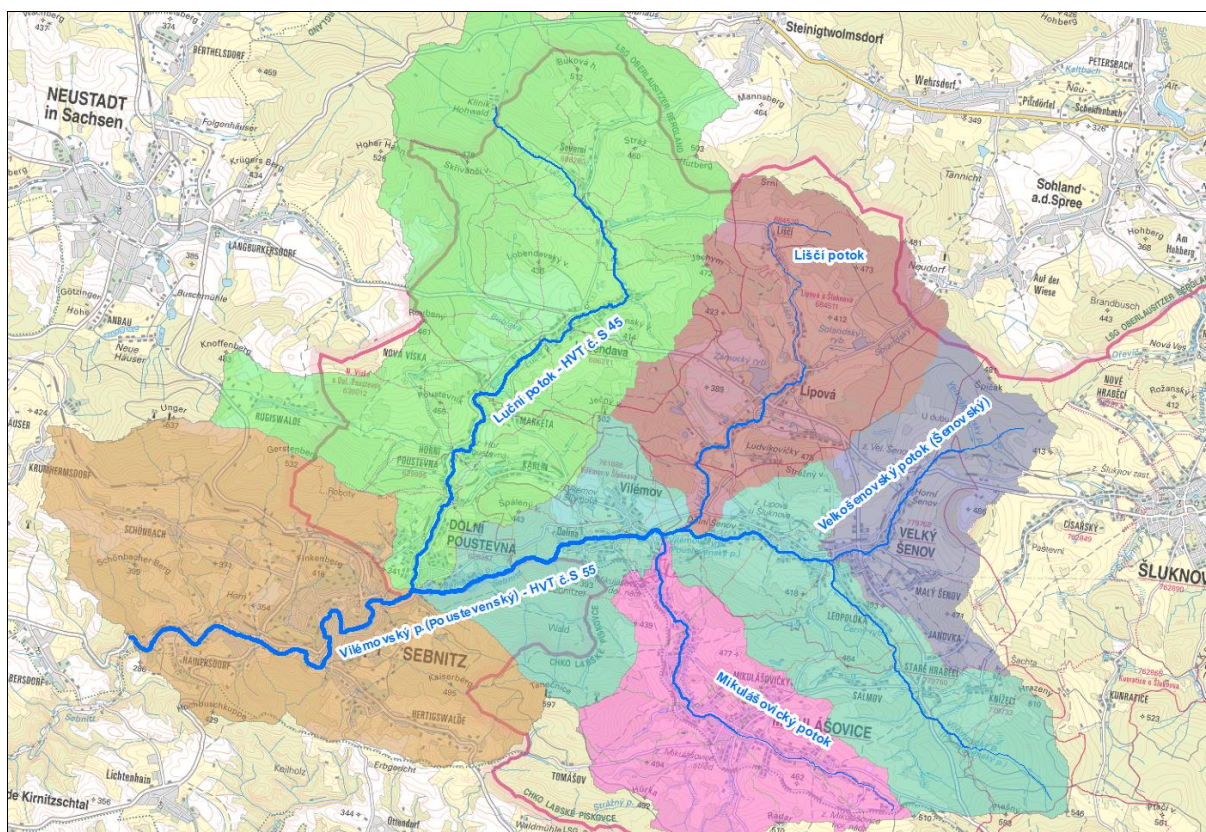
Europäische Union. Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj.



Ahoj sousede. Hallo Nachbar.
Interreg VA / 2014–2020



Protipovodňová opatření v povodí Vilémovského potoka/Sebnitz – studie proveditelnosti Projekt č 100272124



3.A SRÁŽKOOTOKOVÝ MODEL

LEDEN 2019



Vodohospodářský rozvoj a výstavba
akciová společnost
Nábřeží 4, Praha 5, 150 56



Sweco Hydroprojekt a.s.
Táborská 31
140 16 Praha 4



Europäische Union. Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj.



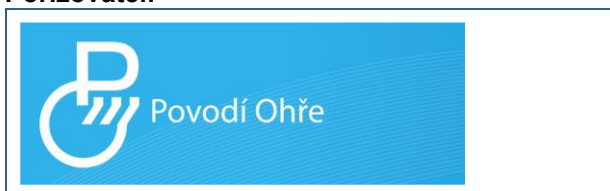
Ahoj sousede. Hallo Nachbar.
Interreg V A / 2014-2020



Protipovodňová opatření v povodí Vilémovského potoka/Sebnitz – studie proveditelnosti Projekt č 100272124

3.A SRÁŽKOOTOKOVÝ MODEL

Pořizovatel:



Povodí Ohře, státní podnik

Bezručova 4219

Chomutov

430 03

Zhotovitel: sdružení VRV + HDP



Vodohospodářský rozvoj a výstavba a. s.

Nábřeží 4

Praha 5

150 56



Sweco Hydroprojekt a.s.

Táborská 31

Praha 4

140 16

Obsah:

1	Základní údaje	5
1.1	Předmět zpracování	5
1.2	Zdroje dat	5
1.3	Seznam zkratk	5
2	Metodika posouzení a vstupní parametry	7
2.1	Metodika výpočtu	8
2.2	Vstupní parametry výpočtu	10
2.2.1	Parametry povodí	10
2.2.2	Schematizace modelu	12
2.2.3	Srážky	14
3	Posuzované varianty a scénáře	15
3.1	Varianta V0 – stávající stav	16
3.1.1	Kalibrace na data ČHMÚ	16
3.1.2	Průběh letních a zimních povodní	18
3.1.3	Hydrogramy v profilech navržených nádrží	18
3.2	Varianta V1	20
3.3	Varianta V2	21
3.4	Varianta V3	22
4	Vyhodnocení efektu soustavy opatření ve 3 variantách	23
4.1	Průběh hydrogramů v povodí při scénáři Q_{100} Sebnitz	28
4.2	Vyhodnocení změny rychlosti postupové doby povodně	29
5	Závěr	32

Seznam obrázků

Obr. 1	Povodí Vilémovského potoka/Sebnitz s uzávěrovým profilem pod městem Sebnitz	7
Obr. 2	Ukázka výstupu z HEC-HMS v podobě průběhu hydrogramu průtoků (povodňových vln) na dílčím soutoku	9
Obr. 3	Sestavený digitální model terénu	10
Obr. 4	Analýza sklonitosti řešeného území	11
Obr. 5	Mapa čísel odtokových křivek CN PVPIL	12
Obr. 6	Dílčí subpovodí, použité pro schematizaci modelu	13
Obr. 7	Schematizace modelu v HEC-HMS	14
Obr. 8	Průběh hyetogramu pro oblast B1	15
Obr. 9	Mapa povodí ve variantě simulace V0 – stávající stav	16
Obr. 10	LG stanice Sebnitz, výsledek kalibrace, referenční a modelový hydrogram TPV_{100} ..	18
Obr. 11	Mapa povodí ve variantě simulace V1	20
Obr. 12	Mapa povodí ve variantě simulace V2	21
Obr. 13	Mapa povodí ve variantě simulace V3	22
Obr. 14	Vyhodnocení efektu soustavy opatření V1 V2 a V3 na město Sebnitz	23
Obr. 15	Vyhodnocení efektu soustavy opatření V1 na dosažení neškodného průtoku $Q_{neš}$..	24
Obr. 16	Vyhodnocení efektu soustavy opatření V2 na dosažení neškodného průtoku $Q_{neš}$..	25
Obr. 17	Vyhodnocení efektu soustavy opatření V3 na dosažení neškodného průtoku $Q_{neš}$..	26
Obr. 18	V3 – hydrogramy v povodí při Q_{100} Sebnitz	29
Obr. 19	Vliv urychlení vlny na Mikulášovickém potoce na hydrogramy v povodí – scénář Q_{100} ve stanici Sebnitz	31

Seznam Tabulek

Tab. 1:	Charakteristika předchozích vláhových podmínek	11
Tab. 2	Použité maximální 1-denní N-leté úhrny	14
Tab. 3	Souhrn posuzovaných variant a scénářů	15

<i>Tab. 4 – Porovnání výsledků modelu po kalibraci s referenčními daty</i>	17
<i>Tab. 5 – Souhrn zahrnutých opatření ve variantě V1</i>	20
<i>Tab. 6 – Souhrn zahrnutých opatření ve variantě V2</i>	21
<i>Tab. 7 – Souhrn zahrnutých opatření ve variantě V3</i>	22
<i>Tab. 8 – N-leté průtoky na řešených tocích - vyhodnocení stavu a efektu soustavy opatření V1, V2, V3 (pozn. tučně jsou označeny referenční body v povodí)</i>	27
<i>Tab. 9: Vyhodnocení změny rychlosti postupové doby povodně</i>	29
<i>Tab. 10: Analýza vlivu zahrnutí urychlení postupu povodňové vlny do výpočtu na hydrogramy v povodí v důsledku navržených liniových PPO na Mikulášovickém potoce</i>	31

1 Základní údaje

1.1 Předmět zpracování

V návrhové části studie byly vytipovány retenční prostory v povodí Vilémovského potoka a navrženy jejich základní parametry. Předmětem této navazující části studie je sestavení a kalibrace srážko-odtokového modelu, odvození hydrogramů v profilech těchto retenčních prostorů, následně posouzení vlivu navržených retenčních prostorů na transformaci povodňových průtoků a vliv této transformace na průběh kulminačních průtoků na studovaných tocích v celém povodí.

Jedním z hlavních závěrů je posouzení, zda je protipovodňovou ochranu oblasti možné řešit pouze retenčními prostory v povodí, nebo zda je nutné doplnění liniového PPO.

1.2 Zdroje dat

- ČHMÚ data pro profily:
 - Velkošenovský p. – ústí do Vilémovského p.
 - Vilémovský p. – nad ústím Liščího potoka
 - Liščí p. – ústí do Vilémovského p.
 - Mikulášovický p. – ústí do Vilémovského p.
 - Luční p. – ústí do Vilémovského p.
 - Sebnitz – limnigrafická stanice
- DMR 4G
- DGM 2
- DIBAVOD
- ZABAGED
- DLM
- DOP
- DTK
- Ortofoto – WMS služby
- ZM 10
- ZM 25
- ZM 50

a další veřejně dostupné zdroje dat

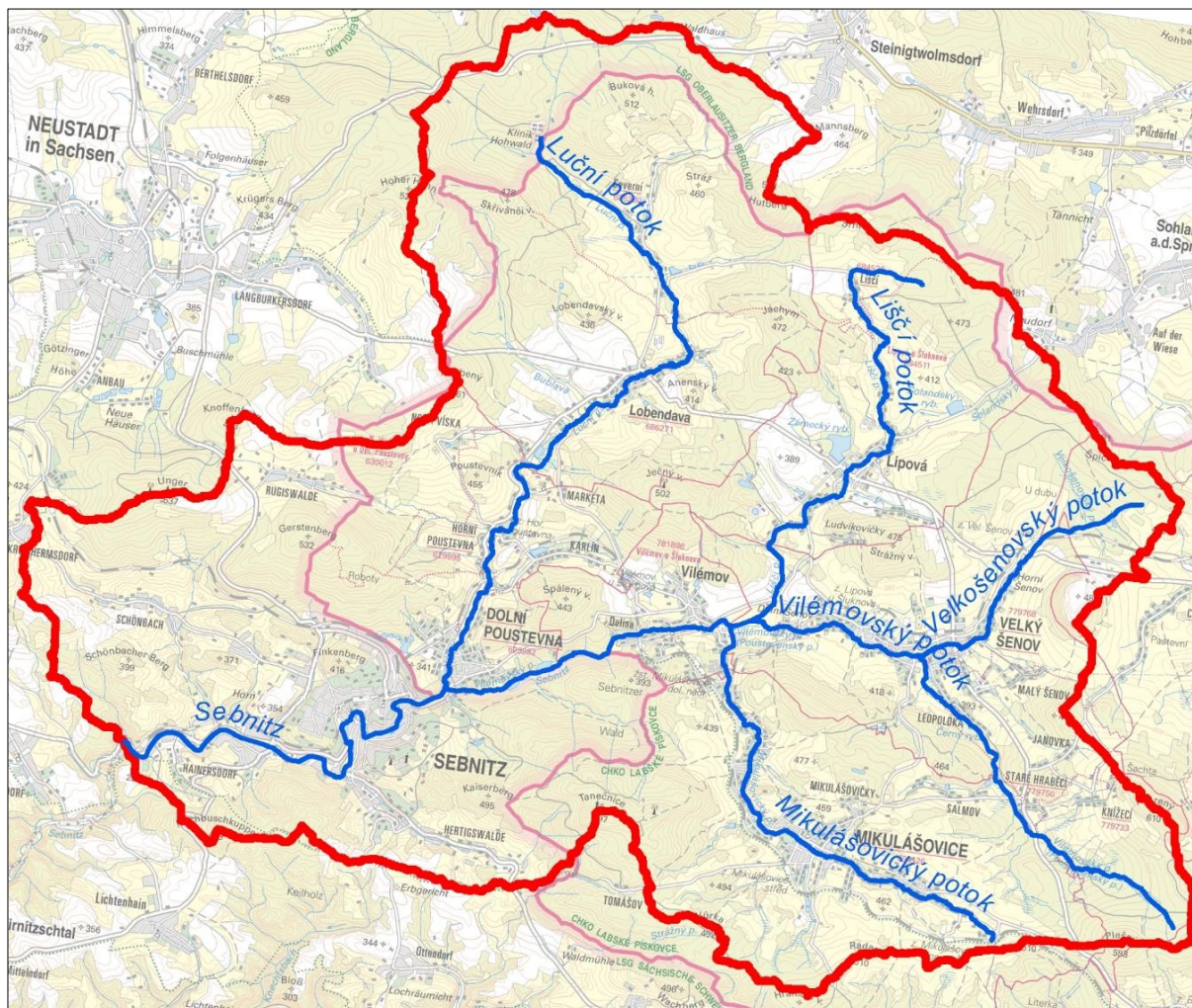
1.3 Seznam zkratk

ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
CN	Číslo odtokové křivky
ČR	Česká republika
DIBAVOD	Digitální báze vodohospodářských dat
DMR 4G	Digitální model reliéfu 4. generace
DGM 2	Digitální model reliéfu – Německo
DLM	Digitální model krajiny - Německo
DMT	Digitální model terénu
DOP	Ortofoto – německo
DTK (10,25,50)	Digitální topografické mapy – Německo – v měřítku 1:10 000, 1:25 000, 1: 50 000
GIS	Geografický informační systém
HEC	Hydrologic Engineering Center
HMS	Hydrologic Modeling System
LG	Limnigrafická stanice
PPO	Protipovodňová ochrana

TPV ₅	Teoretická povodňová vlna, jejíž výskyt je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen jedenkrát za 5 let
TPV ₂₀	Teoretická povodňová vlna, jejíž výskyt je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen jedenkrát za 20 let
TPV ₁₀₀	Teoretická povodňová vlna, jejíž výskyt je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen jedenkrát za 100 let
PVP	Předchozí vláhové podmínky
Q _a	Dlouhodobý průměrný roční průtok
Q ₅	Průtok, který je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen jedenkrát za 5 let (pětiletý průtok)
Q ₂₀	Průtok, který je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen jedenkrát za 20 let (dvacetiletý průtok)
Q ₁₀₀	Průtok, který je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen jedenkrát za 100 let (stoletý průtok)
Ř.KM	Říční kilometr
SN	Suchá nádrž
VRV	Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s.
ZABAGED	Základní báze geografických dat

2 Metodika posouzení a vstupní parametry

Pro účely výpočtu průběhu povodňových vln v povodí a jejich ovlivnění byl sestaven srážko-odtokový model. Model umožňuje stanovit charakteristiky povodňových vln na zadaném povodí včetně vlivu případných retenčních nádrží. Zájmovým územím je povodí Vilémovského potoka/Sebnitz s uzávěrovým profilem pod městem Sebnitz.



Obr. 1 Povodí Vilémovského potoka/Sebnitz s uzávěrovým profilem pod městem Sebnitz

Metodika zpracování využívá moderní softwarové aplikace, které umožňují kvalitní, přehledné a srozumitelné zpracování řešené problematiky. Pro popis řešeného území je využita GIS aplikace ArcMap – ArcView 10.1 s 3D Analyst s nástavbou umožňující sestavení digitálního modelu terénu - Spatial Analyst, který umožňuje prezentaci výsledků. Nadstavby GIS aplikace HEC – GeoHMS pro sestavení kostry matematického modelu umožňují sestavení výpočetního schématu nad digitálním modelem terénu a následnou vizualizaci výsledků. Pro stanovení základních hydrologických veličin na toku s ohledem na velikost povodí je použit srážko odtokový model HEC – HMS.

HEC-HMS je simulační program vyvinutý americkým hydrologickým centrem (Hydrologic Engineering Center - HEC), které spadá pod tým inženýrů institutu vodních zdrojů (Institute for Water Resources - IWR) americké armády. Slouží k simulaci srážko-odtokových procesů (Hydrologic Modeling System - HMS). První verze HEC- HMS 1.0 byla uvedena v roce 1997. Nejnovější verze je v současnosti HEC-HMS 4.2.1. Model využívá vstupní parametry, které jsou podrobně popsány v dalších kapitolách. Jedná se o epizodní srážko-odtokový model.

Komponenty modelu

- Meteorologický model
- Model výpočtu objemu odtoku
- Model přímého odtoku
- Korytový model
- Model podzemního odtoku
- Ostatní – objekty na tocích (nádrže, kanály)

2.1 Metodika výpočtu

Základní odtok

Základní odtok je definován jako část celkového odtoku tvořená dotací z podzemních vod. Parametr se určuje dle odvozené mapy vyjadřující izolinie specifického základního odtoku pro ČR, případně výpočtem z Q_a (dlouhodobého průměrného ročního průtoku) a plochy povodí.

Povrchový odtok

Povrchový odtok (efektivní srážka) stanoví nástroj na základě vztahů:

$$\Sigma P_e(t) = \frac{(\Sigma P(t) - I_a)^2}{\Sigma P(t) - I_a + S} \quad I_a = 0,2 \cdot S \quad , \text{ kde}$$

- P_e kumulativní úhrn efektivní srážky na konci každého časového intervalu t [mm]
 P kumulativní úhrn srážky na konci každého časového intervalu t [mm]
 I_a počáteční ztráta povodí (infiltrace, evaporace) [mm], většinou uvažována jako 20 % z potenciální maximální retenční kapacity povodí S [mm]
 S potenciální maximální retenční kapacita povodí [mm]

Pro kumulativní úhrn P_e menší, než je hodnota počáteční ztráty I_a , je hodnota efektivní srážky (povrchový odtok) roven nule. Hodnota potenciální maximální retenční kapacity povodí S se stanoví jako

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad , \text{ kde}$$

CN číslo odtokové křivky

Doba transformace efektivní srážky a doba koncentrace

K transformaci efektivní srážky na časový průběh povrchového odtoku se používají metody jednotkových hydrogramů. V tomto případě byl použit Clarkův jednotkový hydrogram, který má dva parametry: dobu koncentrace a retenční konstanta R . Doba koncentrace je v úzkém vztahu k tzv. T_{LAG} (SCS lag time). Tento parametr je standardně definován jako časová vzdálenost mezi těžištěm efektivní srážky a kulminačním průtokem. Přibližně platí $T_c = 1,67 T_{LAG}$. Platí:

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

- T_{LAG} [hod]
 L délka údolnice k rozvodnici ve stopách
 Y průměrný sklon povodí v procentech
 S maximální retence v povodí v palcích [v palcích]

CN číslo odtokové křivky dle metody SCS.

Koeficient R (tzv. "Storage attenuation coefficient") vyjadřuje akumulční a transformační schopnost koryta vodního toku v zájmovém povodí. Pro výpočet tohoto parametru se v praxi ČHMÚ používá vzorec ve tvaru:

$$R = A \cdot L^B \cdot S_{10-85}^C, \text{ kde}$$

L maximální délka toku v povodí [míle]
 S_{10-85} průměrný sklon povodí podél maximální délky toku [stopa/míle]
 A,B,C parametry, pro ČR bylo odvozeno A=80, B=0,342, C= -0,79

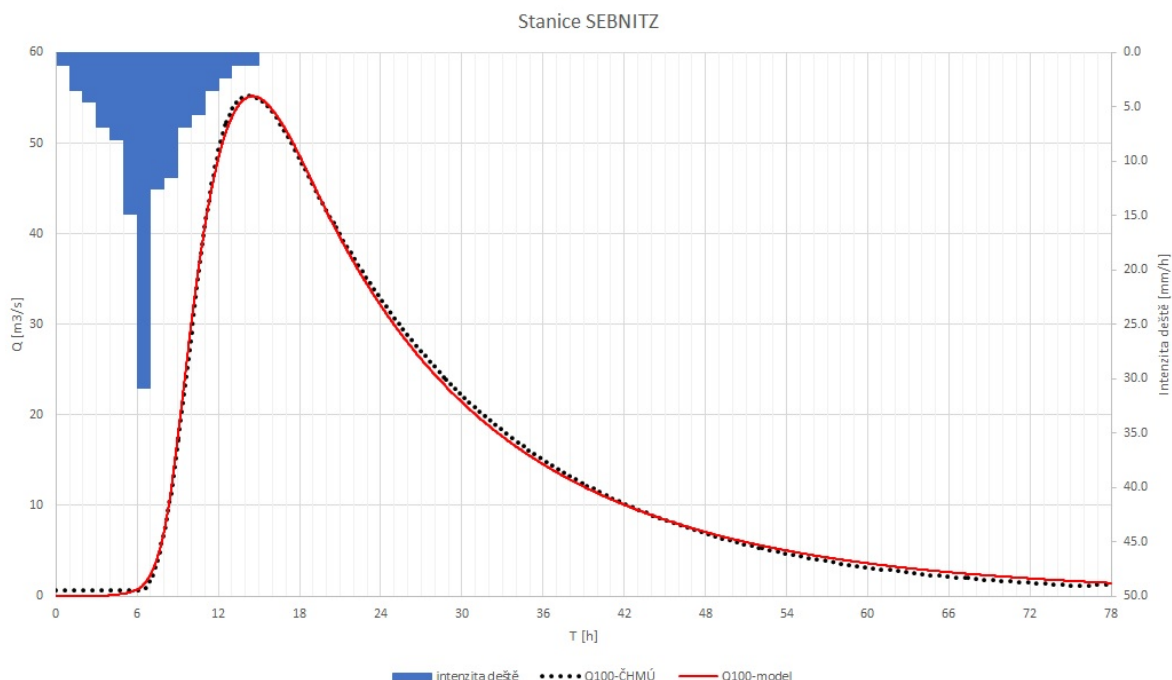
Korytový odtok

K určení výsledného hydrogramu slouží výpočet korytového odtoku. Pro postup povodňové vlny v říčních úsecích byla použita metoda Muskingum, která vychází z jednoduché bilance přítoku a odtoku v rámci říčního úseku:

$$S = K * [XI + (1 - X) * O], \text{ kde}$$

S zadržený objem v retenčním úseku [m^3],
 O průměrný odtok z říčního úseku [m^3/s],
 I průměrný přítok do říčního úseku [m^3/s],
 K čas postupu vlny v daném říčním úsekem [hod],
 X transformační faktor (bezrozměrné číslo, nabývá hodnot 0 - 0,5).

Hodnota K byla odvozená z odhadnuté rychlosti postupu povodňové vlny 1,5 m/s, u parametru X byla zvolena hodnota 0,2 (0,5 představuje nulovou transformaci, hodnota 0 maximální).



Obr. 2 Ukázka výstupu z HEC-HMS v podobě průběhu hydrogramu průtoků (povodňových vln) na dílčím soutoku

Ostatní – objekty na tocích

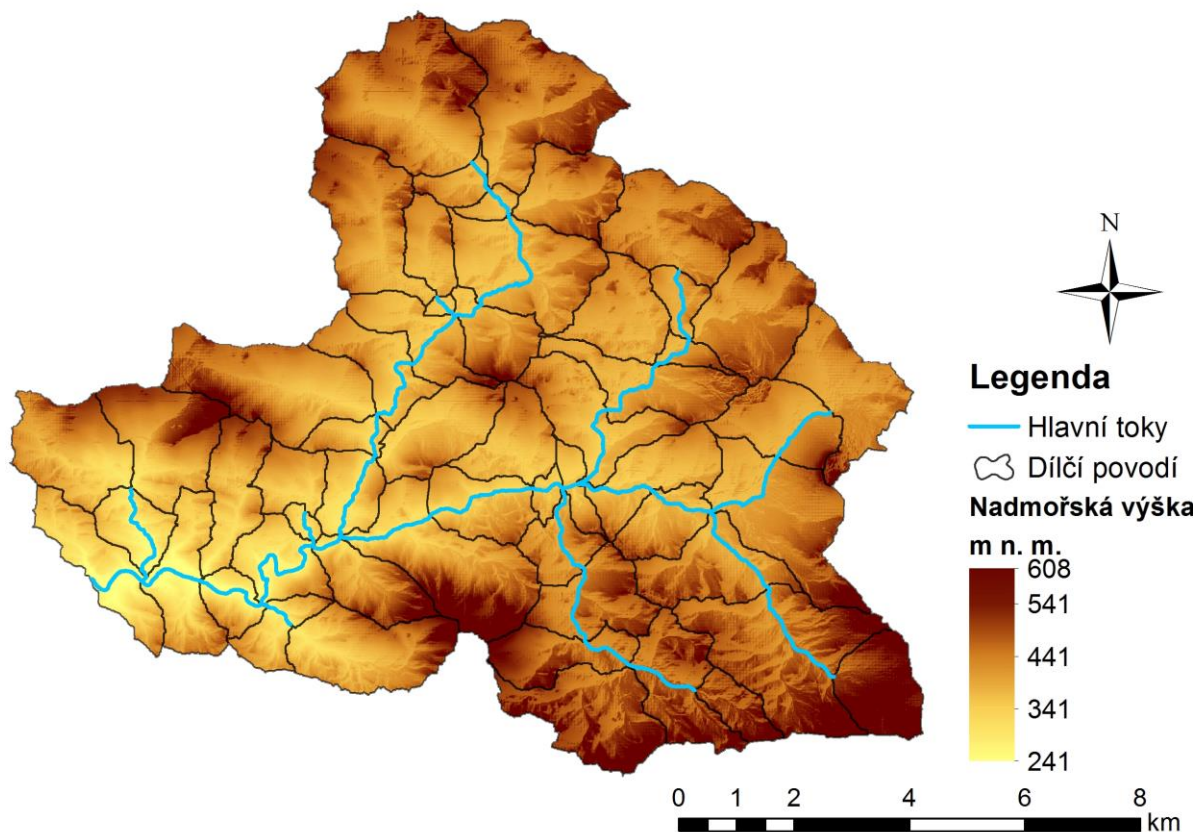
Objekt na toku může ovlivňovat srážko-odtokové poměry převáděním vody nebo retencí vody. Z tohoto předpokladu se do struktury modelu zanáší převod (kanál) resp. nádrž. V případě již existujícího objektu na toku je zahrnut při kalibraci modelu, a pokud se jedná o protipovodňové opatření, tak se posoudí jeho efekt na průběh povodňové vlny.

2.2 Vstupní parametry výpočtu

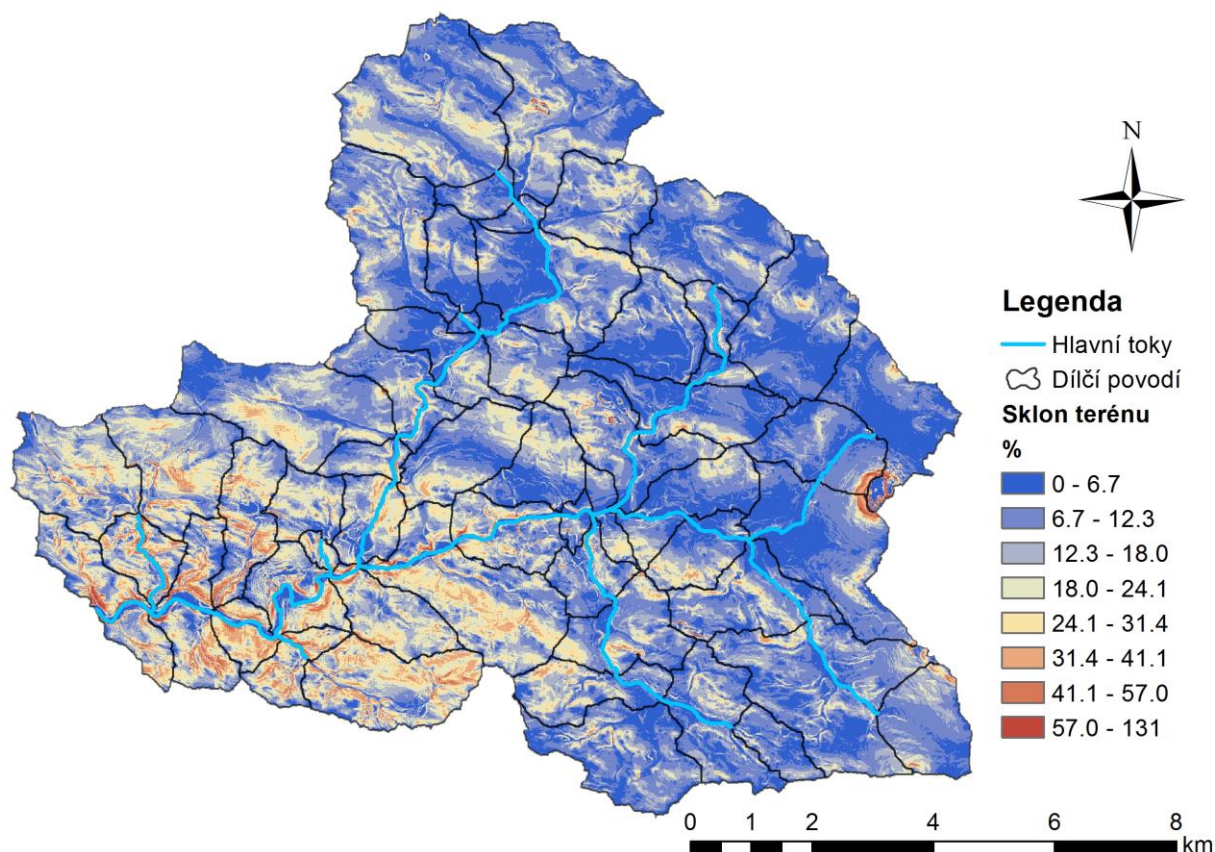
2.2.1 Parametry povodí

Morfologie povodí

Analýza morfologie povodí byla provedena na podkladě digitálního modelu reliéfu České republiky 4. generace DMR 4G, sloučeného se sadou DGM2 v Německu. Byl vytvořen hydrologicky korektní digitální model terénu (DMT) za pomoci GIS nástrojů – vyplnění bezodtokých míst, schematické zahloubení toků. Na základě takto zpracovaného DMT bylo zájmové území rozděleno do dílčích povodí a ke každému byly stanoveny parametry vstupující do srážko-odtokového procesu.



Obr. 3 – Sestavený digitální model terénu



Obr. 4 Analýza sklonitosti řešeného území

Čísla odtokových křivek CN

Hodnoty čísel odtokových křivek (CN) charakterizují propustnost povodí. Teoretické rozmezí hodnot CN je od jedné do sta. Hodnota 1 charakterizuje zcela propustné, hodnota 100 zcela nepropustné podloží, v reálu se vyskytují hodnoty od přibližně 30 (velké ztráty vody na povodí) až do 100 (beze ztrát).

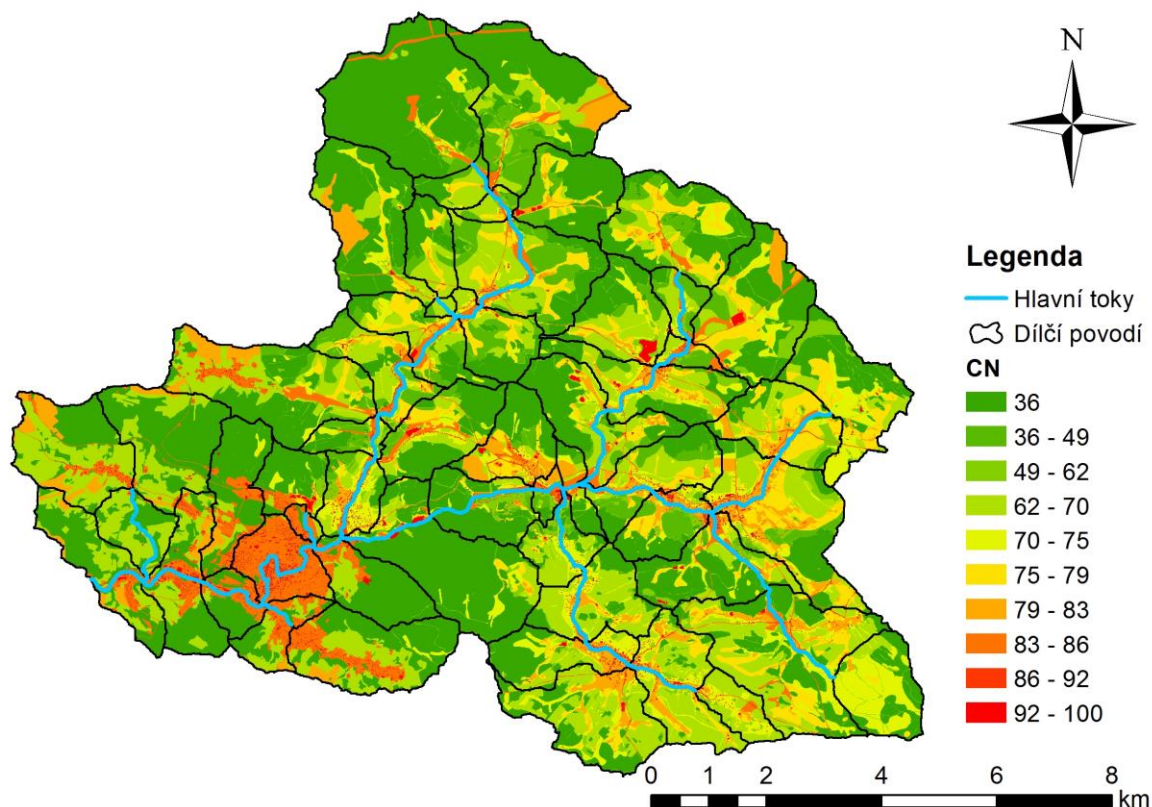
Čísla odtokových křivek (CN) jsou určena podle:

- hydrologických vlastností půd rozdělených do 4 skupin (A, B, C, D) na základě minimálních rychlostí infiltrace vody do půdy bez pokryvu po dlouhodobém syčení
- vlhkosti půdy určované na základě předchozích vláhových podmínek (PVP) ve 3 stupních:
 - PVP I - odpovídá takovému minimálnímu obsahu vody v půdě, který ještě umožňuje uspokojivou orbu a obdělávání
 - PVP II – odpovídá střednímu nasycení půdy vodou (použití pro návrhové účely)
 - PVP III – odpovídá stavu, kdy je půda přesycena vodou z předcházejících dešťů

Tab. 1: Charakteristika předchozích vláhových podmínek

Skupina PVP	Výška deště za 5 dnů H_{s5} [mm]	
	Nevegetační sezóna	Vegetační sezóna
I.	<13	<36
II.	13-28	36-53
III.	>28	>53

- využití půdy, vlastností vegetačního pokryvu, způsobu obdělávání a uplatnění protierozních opatření.



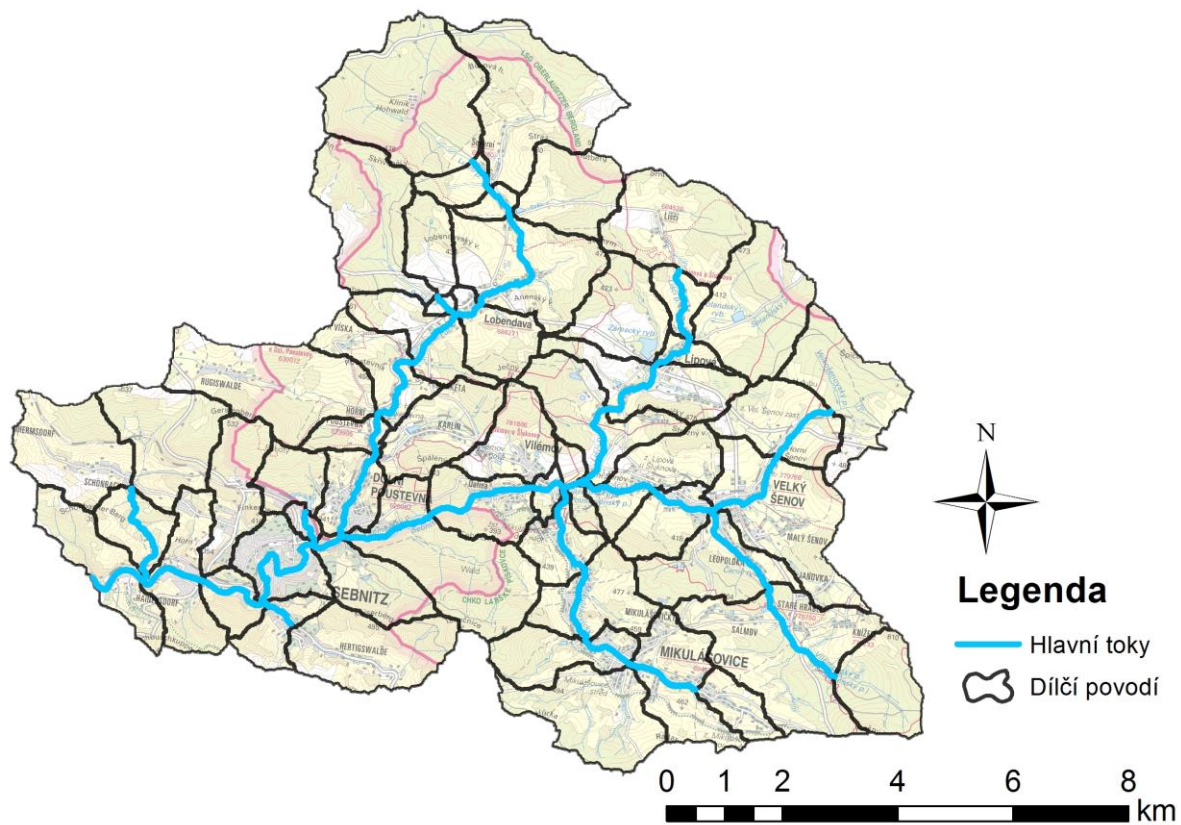
Obr. 5 Mapa čísel odtokových křivek CN PVPII.

Dalším vstupem do výpočtu je krajinný pokryv, neboli využití území (tzv. „landuse“), získaný na základě dostupných vrstev (ZABAGED, ortofoto aj.).

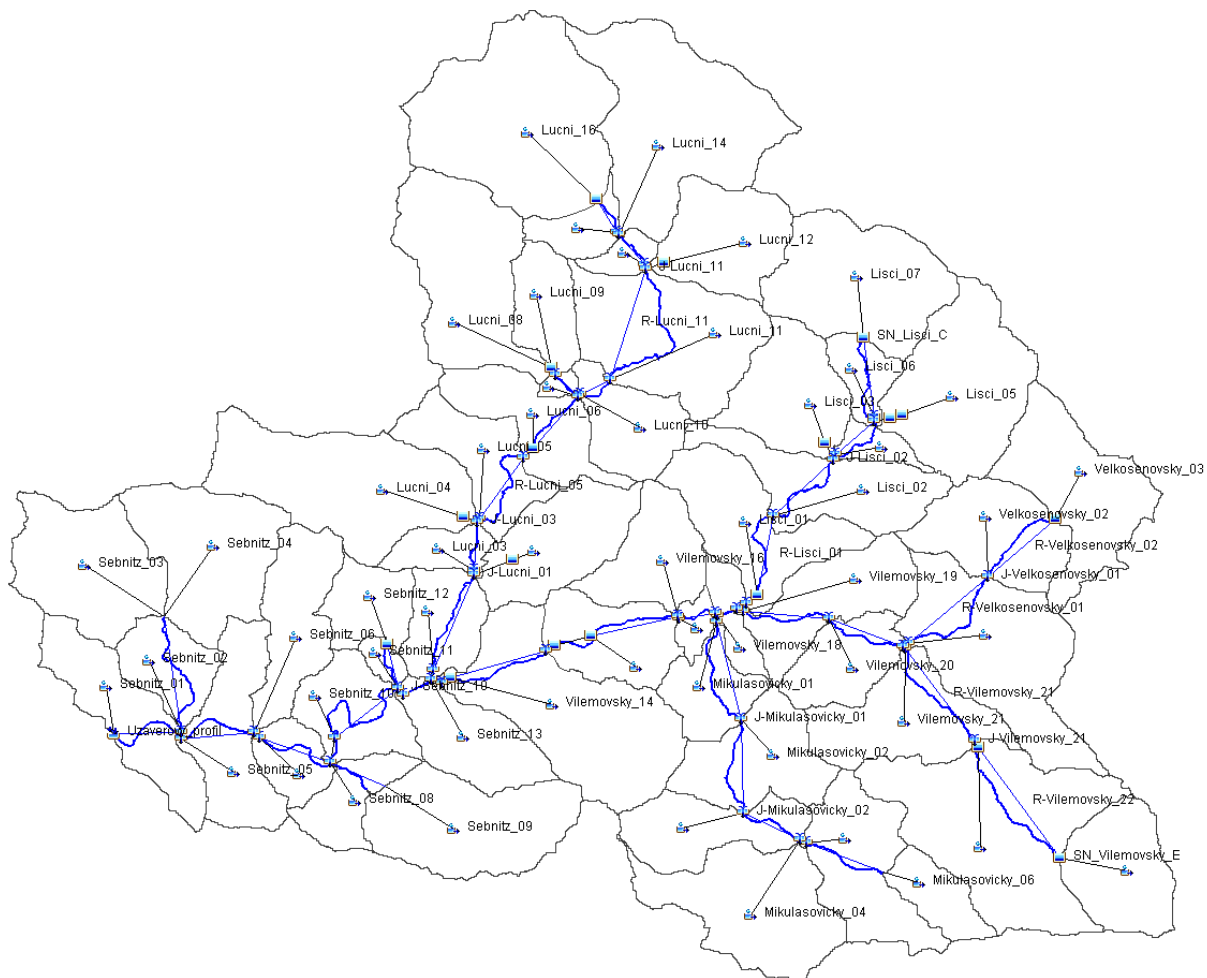
2.2.2 Schematizace modelu

Schematizace modelu na dílčí povodí byla provedena s ohledem na účel modelu – a sice stanovení průběhů povodňových vln v povodí Vilémovského potoka ve stanovených profilech a jejich ovlivnění výstavbou nádrží v povodí. Řešená oblast byla rozdělena na dílčí povodí na soutocích významnějších přítoků, dle reprezentativní velikosti mezipovodí a dále v místech, kde se plánuje výstavba nádrží.

Vlastní výpočet probíhá v uzlech – uzávěrových profilech jednotlivých povodí (příp. na objektech). Jednotlivá povodí jsou ve srážko-odtokovém modelu propojena pomocí říčních úseků a vzniká tak stromová struktura vzájemně provázaných povodí, ukončených uzávěrovým profilem. Uvažovány byly vodohospodářsky významnější stávající průtočné vodní nádrže > 2 ha (retenční prostor řešen zjednodušeně 0,5 m nad plochou hladiny).



Obr. 6 Dílčí subpovodí, použitá pro schematizaci modelu



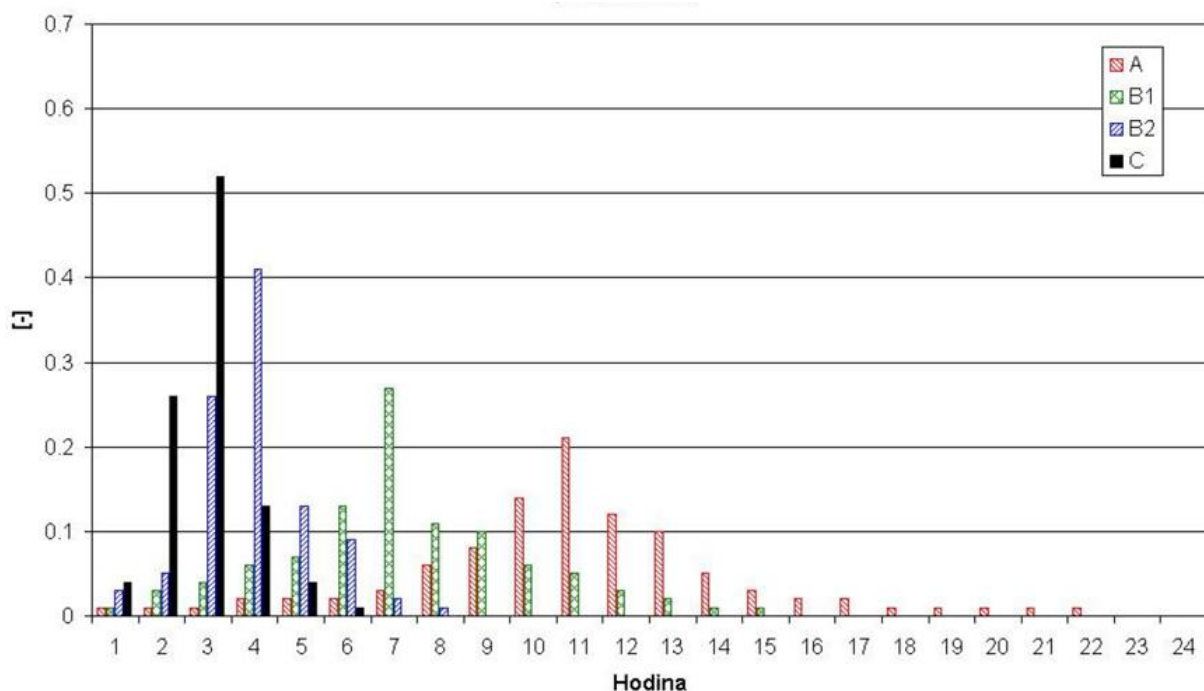
Obr. 7 Schematizace modelu v HEC-HMS

2.2.3 Srážky

Pro zatížení povodí srážkou se využívá hyetogram, který určuje intenzitu srážky v čase. Studie vychází z N-letých maximálních 1-denních úhrnů pro dobu opakování 20 a 100 let, které jsou dle metodiky ČHMÚ a ÚFA (Kulasová, Šercl, Boháč a kol. : Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní, Závěrečná zpráva projektu QD1368, ČHMÚ 2004.) využity pro stanovení návrhových hyetogramů. Typický průběh hyetogramu pro oblast řešeného povodí odpovídá oblasti B1 – přechodová oblast mezi oblastí přívalových srážek a oblastí horskou po plošné redukci a korekci na plovoucí interval.

Tab. 2 – Použité maximální 1-denní N-leté úhrny

Doba opakování N	Úhrn pro povodí [mm]
20 let	88
100 let	114



Obr. 8 Průběh hyetogramu pro oblast B1

3 Posuzované varianty a scénáře

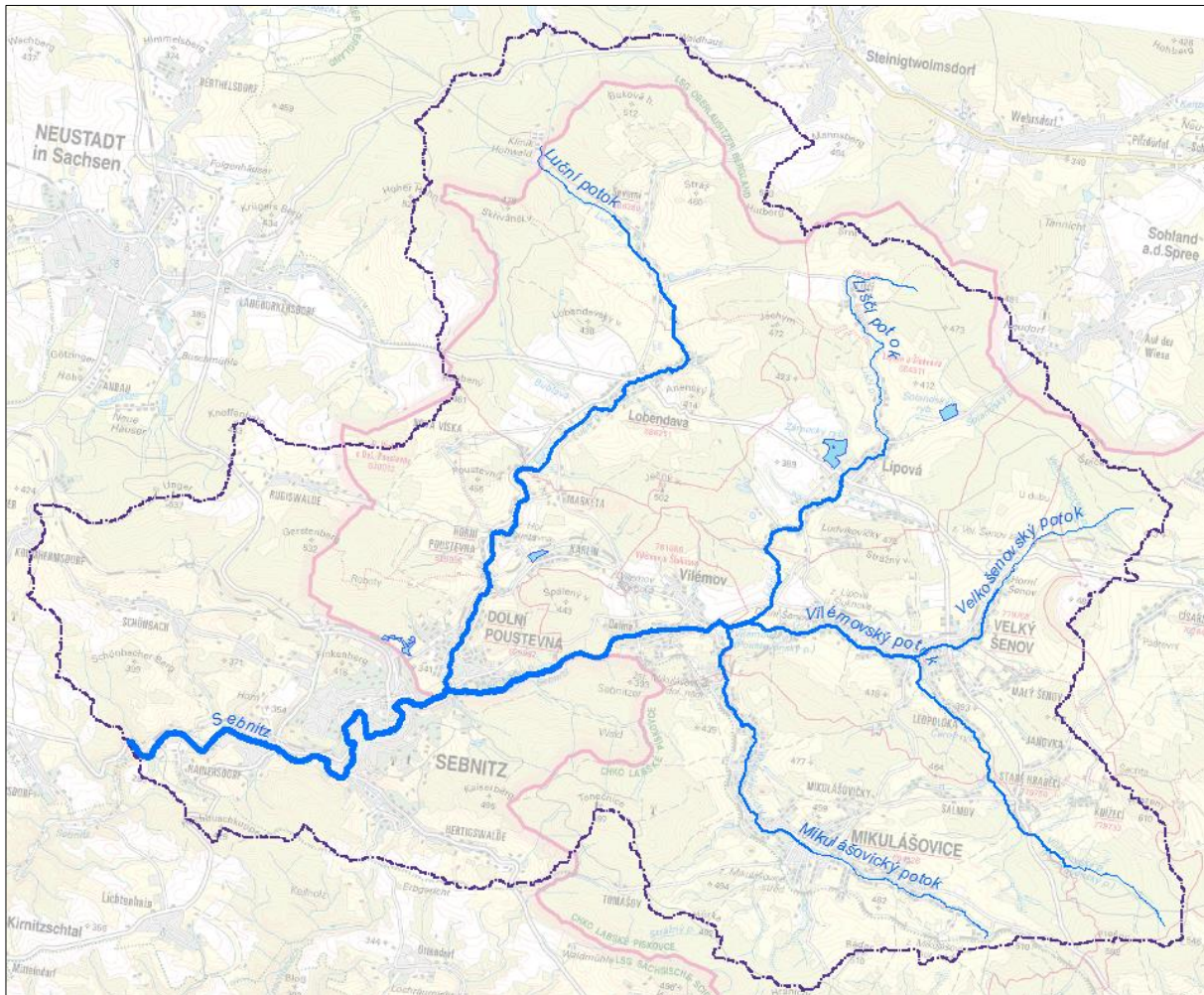
Tab. 3 – Souhrn posuzovaných variant a scénářů

Varianta	Scénář Q ₂₀	Scénář Q ₁₀₀
V0 – stávající stav	x	x
V1	x	x
V2	x	x
V3	x	x

Epizodním simulačním modelem povodí není z principu možné řešit stejnou N-letost teoretické povodňové vlny v celém povodí současně (jak v horních partiích pramenných subpovodí, na všech přítocích, tak v uzávěrovém profilu). Dokládají to např. hodnoty N-letých průtoků na tocích nad a pod soutokem. Zde je vždy hodnota průtoků pod soutokem nižší, než součet hodnot průtoků nad soutokem, neboť se jedná o statistické veličiny. Z tohoto důvodu je modelové řešení dílčích oblastí odděleno na charakteristické oblasti (1 - oblast horních toků – Luční, Liščí, Velkošenovský, Mikulášovický a Vilémovský, 2 - oblast středního toku Vilémovského potoka, 3 - oblast dolního toku v rámci řešeného území – město Sebnitz). Pro tyto tři charakteristické oblasti zvlášť je simulována N-letá povodeň v jejich uzávěrovém profilu a předpokládá se dosažení N-letých průtoků v úsecích toků, příslušejících do této charakteristické oblasti. Výsledky průběhu povodně dané N-letosti jsou následně prezentovány souhrnně v jedné mapě, přičemž vznikly složením výsledků ze tří charakteristických oblastí.

3.1 Varianta V0 – stávající stav

Pro účely získání srážko-odtokového modelu, simulujícího odezvu povodní při daném scénáři srážek, byla provedena jeho kalibrace na všechny dostupné referenční scénáře, tedy jak N-leté kulminační průtoky, tak na průběh (objem a tvar) teoretické povodňové vlny. Výstupy výpočtů stávajícího stavu slouží k porovnání s výsledky simulací ve variantách návrhů a zjištění míry ovlivnění danou sadou opatření. Mapa povodí v této variantě je na Obr. 9.



Obr. 9 – Mapa povodí ve variantě simulace V0 – stávající stav

3.1.1 Kalibrace na data ČHMÚ

Srážko-odtokový model byl kalibrován na data ČHMÚ. Referenčními hodnotami pro kalibraci modelu byly kulminační N-leté průtoky v šesti profilech:

- Velkošenovský p. – ústí do Vilémovského p.
- Vilémovský p. – nad ústím Liščího potoka
- Liščí p. – ústí do Vilémovského p.
- Mikulášovický p. – ústí do Vilémovského p.
- Luční p. – ústí do Vilémovského p.
- Sebnitz – limnigrafická stanice

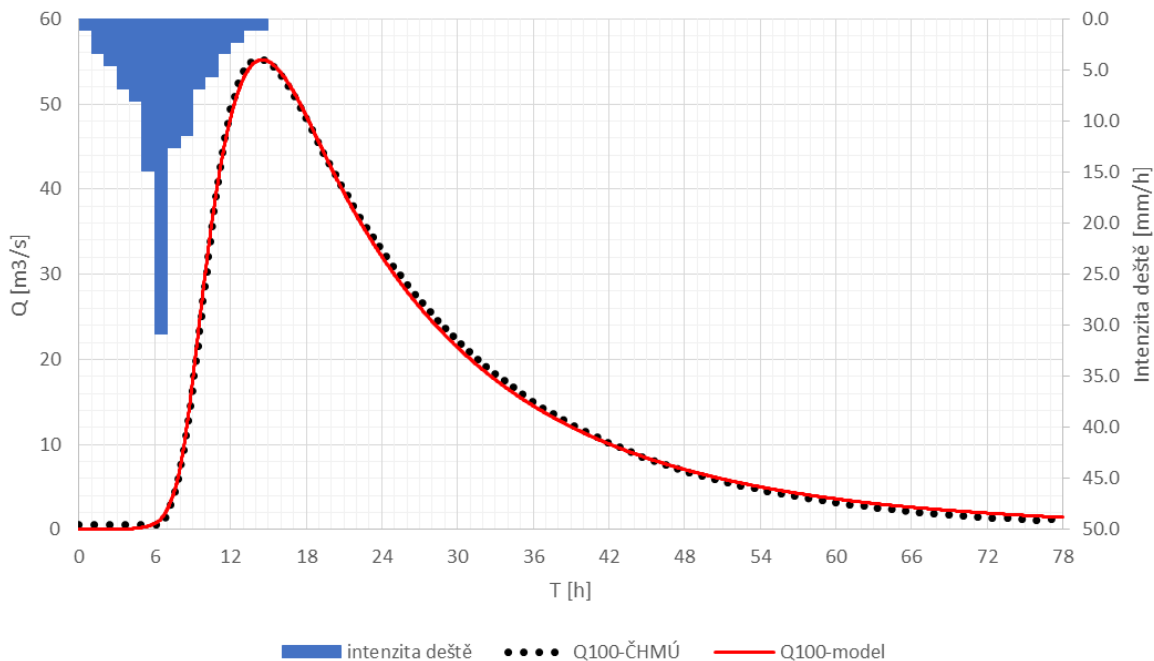
V posledním jmenovaném profilu je znám i objem a tvar hydrogramu teoretické povodňové vlny.

Kalibračními parametry jsou ztráty – použitá metoda SCS CN hodnotí počáteční ztrátu a hodnotu CN křivek. Vzniklý objem přímého odtoku se transformuje na hydrogram metodou Clarkova jednotkového hydrogramu s parametry T_c – doba koncentrace a retenční konstanta.

Tab. 4 – Porovnání výsledků modelu po kalibraci s referenčními daty

	Q ₂₀	Q ₁₀₀
Velkošenovský – ústí do Vilémovského p.	9.07	14.90
	9.07	14.90
	0.0%	0.0%
Vilémovský – nad ústím Liščího potoka	18.00	29.50
	18.00	29.50
	0.0%	0.0%
Liščí – ústí do Vilémovského p.	10.40	17.00
	10.40	17.00
	0.0%	0.0%
Mikulášovický – ústí do Vilémovského p.	10.90	17.90
	10.90	17.90
	0.0%	0.0%
Luční – ústí do Vilémovského p.	23.10	38.00
	23.10	38.00
	0.0%	0.0%
Sebnitz – limnigrafická stanice	33.60	55.20
		55.2
		0.0%
Legenda		
Průtok dle ČHMÚ (m ³ /s)		
Průtok model (m ³ /s)		
Rozdíl referenčních a simulovaných dat (%)		

Stanice SEBNITZ



Obr. 10 LG stanice Sebnitz, výsledek kalibrace, referenční a modelový hydrogram TPV_{100}

3.1.2 Průběh letních a zimních povodní

Ve zprávě 1A, kapitole „Vyhodnocení povodní“ je souhrn zaznamenaných povodní, rozdělení na letní a zimní vč. max. pozorované kulminace.

Referenční hydrogram teoretické povodňové vlny ČHMÚ je sestaven s ohledem na průběh letních povodní (kulminace) a zimních povodní (objem) a lze jej tak považovat za reprezentativní vyjádření povodní všech typů, jak letních, tak zimních. Tento referenční teoretický hydrogram byl použit ve studii a byla na něm vyhodnocována navržená opatření.

Ve srážko-odtokovém modelu je pro dosažení kulminace dle dat ČHMÚ uvažováno s odlišnými průběhy odtoků ve specifických oblastech řešeného povodí.

Na horních tocích (přítoky s malou plochou povodí) jsou N-leté průtoky vyvolány přívalovými srážkami krátkého trvání s vysokou intenzitou. Ke kulminaci dochází dříve a objem povodňové vlny je nižší. Průběh hydrogramu je typický pro letní povodně z přívalových srážek.

V profilu Sebnitz na Vilémovském potoce jsou odtoky vyvolány déletrvajícimi srážkami s nižší intenzitou. Odtoky jsou charakteristické větším objemem a pozdější kulminací. Výsledný hydrogram odpovídá hydrogramu referenčnímu teoretickému dle ČHMÚ, jehož vlastnosti charakterizují jak letní, tak zimní povodně.

3.1.3 Hydrogramy v profilech navržených nádrží

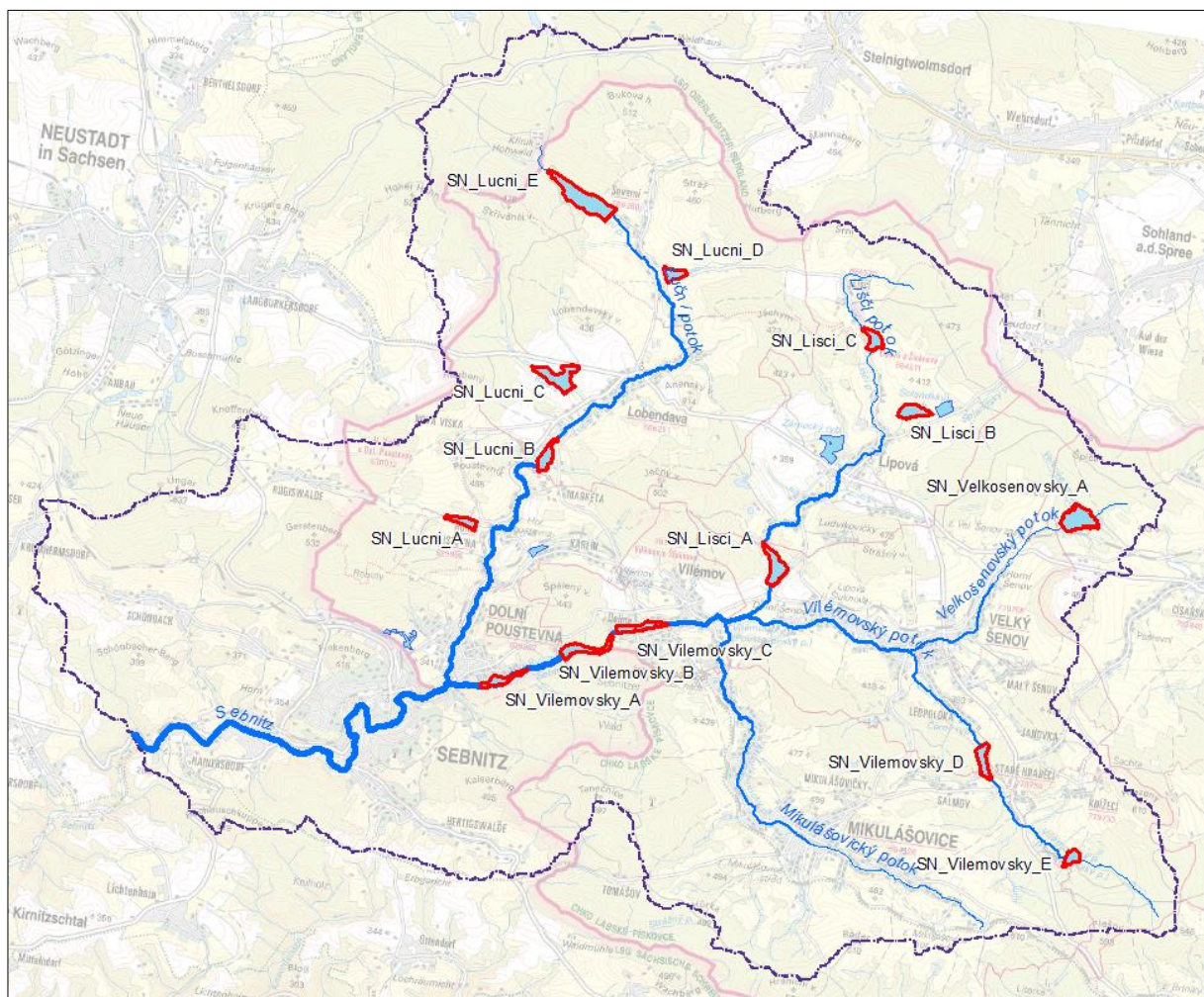
Na takto zkalibrovaném modelu byly získány hydrogramy povodňových průtoků v profilech navržených nádrží pro scénář 20-leté a 100-leté vody. Tyto hydrogramy jsou součástí zprávy 2.A – Návrh protipovodňových opatření, ve které jsou současně prezentovány efekty transformace povodňové vlny v jednotlivých nádržích v profilu hráze.

3.2 Varianta V1

Stávající stav byl upraven na variantu V1. Doplněno bylo celkem 14 retenčních nádrží. Jejich umístění je zobrazeno v mapě níže. Jedná se o nádrže s pracovními názvy:

Tab. 5 – Souhrn zahrnutých opatření ve variantě V1

SN Liščí A
SN Liščí B
SN Liščí C
SN Luční A
SN Luční B
SN Luční C
SN Luční D
SN Luční E
SN Velkošenovský A
SN Vilémovský A
SN Vilémovský B
SN Vilémovský C
SN Vilémovský D
SN Vilémovský E



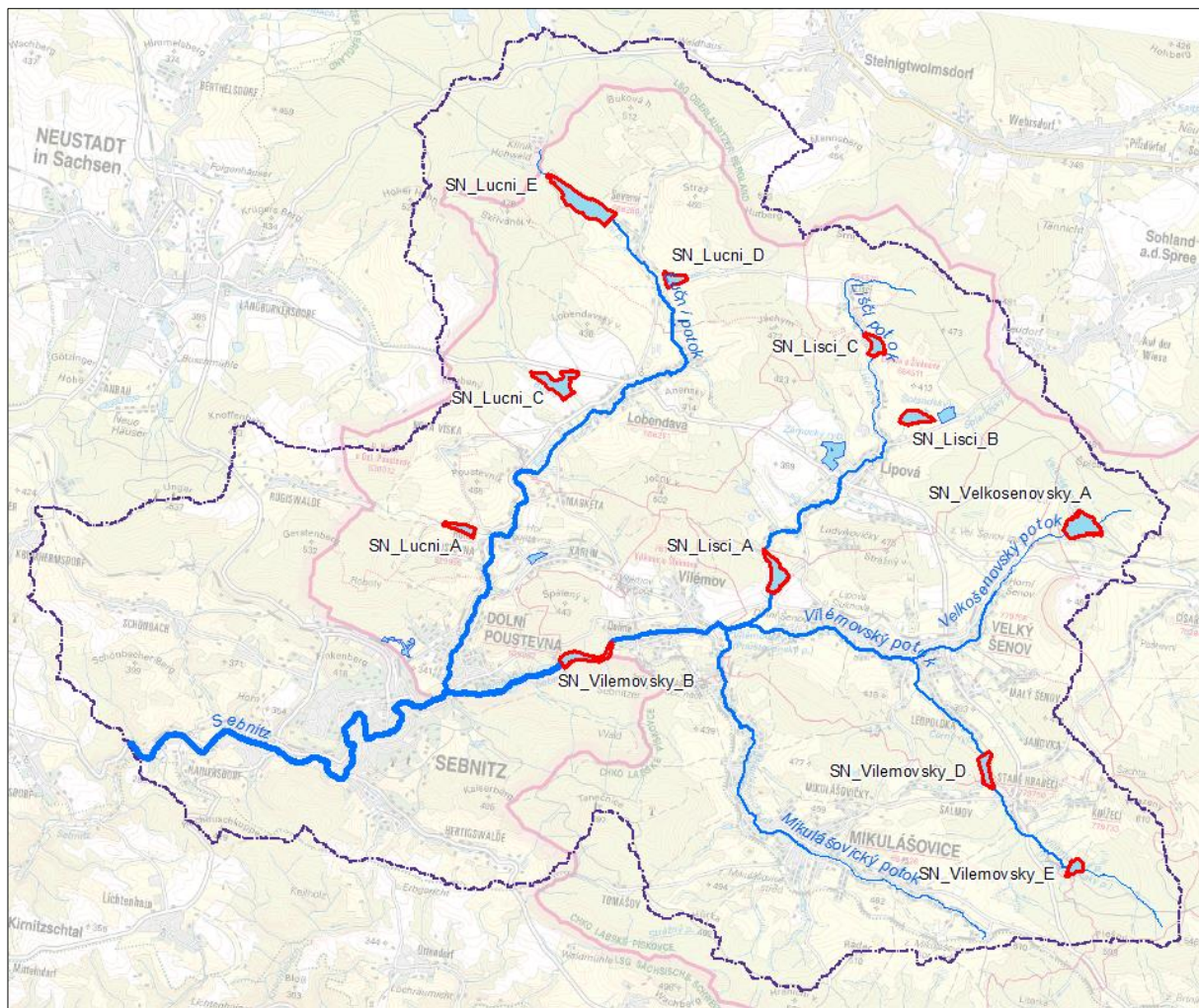
Obr. 11 – Mapa povodí ve variantě simulace V1

3.3 Varianta V2

Variantu V2 tvoří redukovaná sada opatření, kdy z V1 byly vyřazeny nádrže SN Luční _B, SN Vilémovský _A a SN Vilémovský _C. Variantu 2 tak tvoří 11 retenčních nádrží. Jejich umístění je zobrazeno v mapě níže. Jedná se o nádrže s pracovními názvy:

Tab. 6 – Souhrn zahrnutých opatření ve variantě V2

SN Liščí A
SN Liščí B
SN Liščí C
SN Luční _A
SN Luční _C
SN Luční _D
SN Luční _E
SN Velkošenovský _A
SN Vilémovský _B
SN Vilémovský _D
SN Vilémovský _E



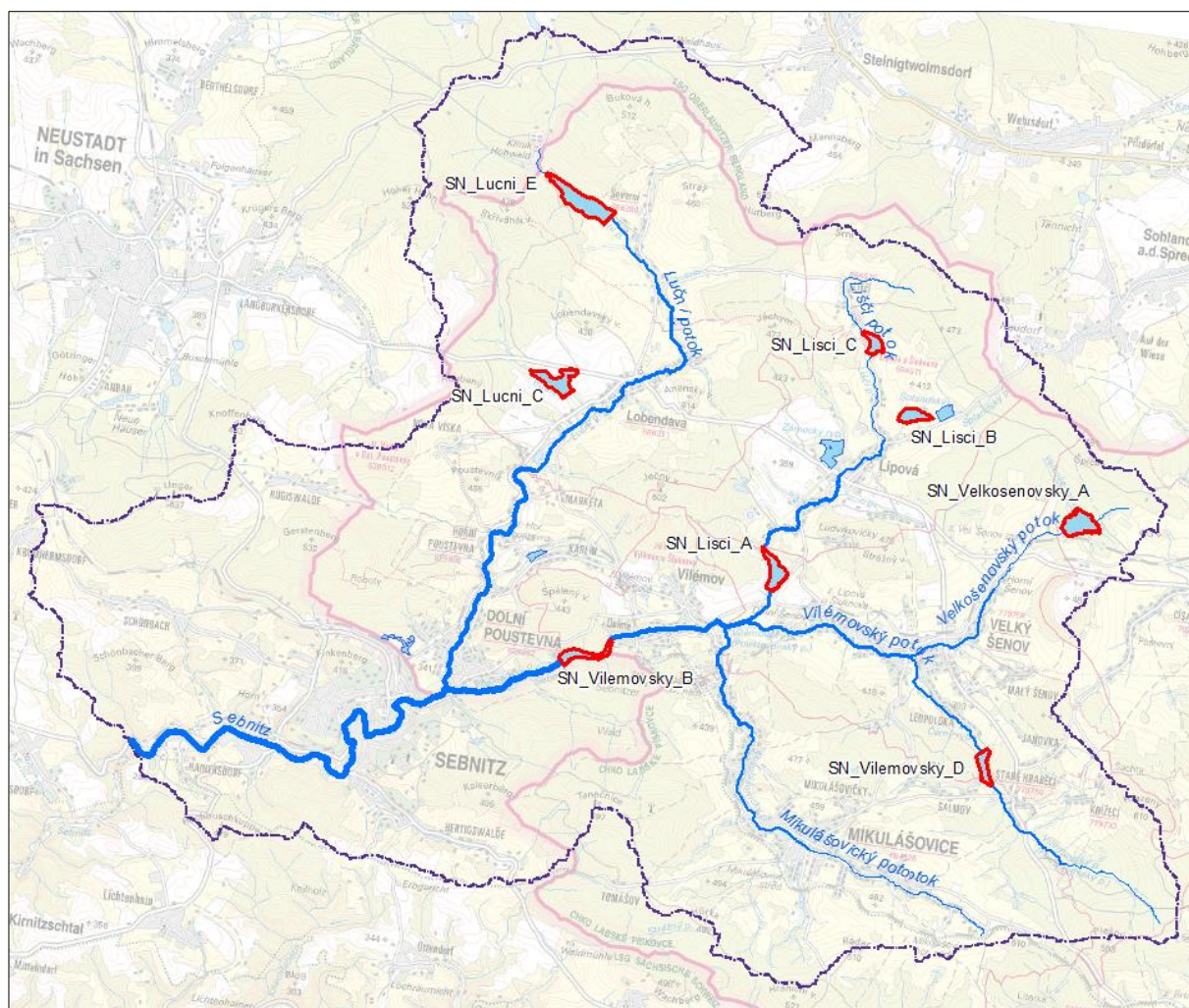
Obr. 12 – Mapa povodí ve variantě simulace V2

3.4 Varianta V3

Variantu V3 tvoří redukovaná sada opatření, kdy z V2 byly vyřazeny nádrže SN Luční _A, SN Luční _D, SN a Vilémovský _E. Variantu 3 tak tvoří 8 retenčních nádrží. Jejich umístění je zobrazeno v mapě níže. Jedná se o nádrže s pracovními názvy:

Tab. 7 – Souhrn zahrnutých opatření ve variantě V3

SN Liščí A
SN Liščí B
SN Liščí C
SN Luční _C
SN Luční _E
SN Velkošenovský _A
SN Vilémovský _B
SN Vilémovský _D

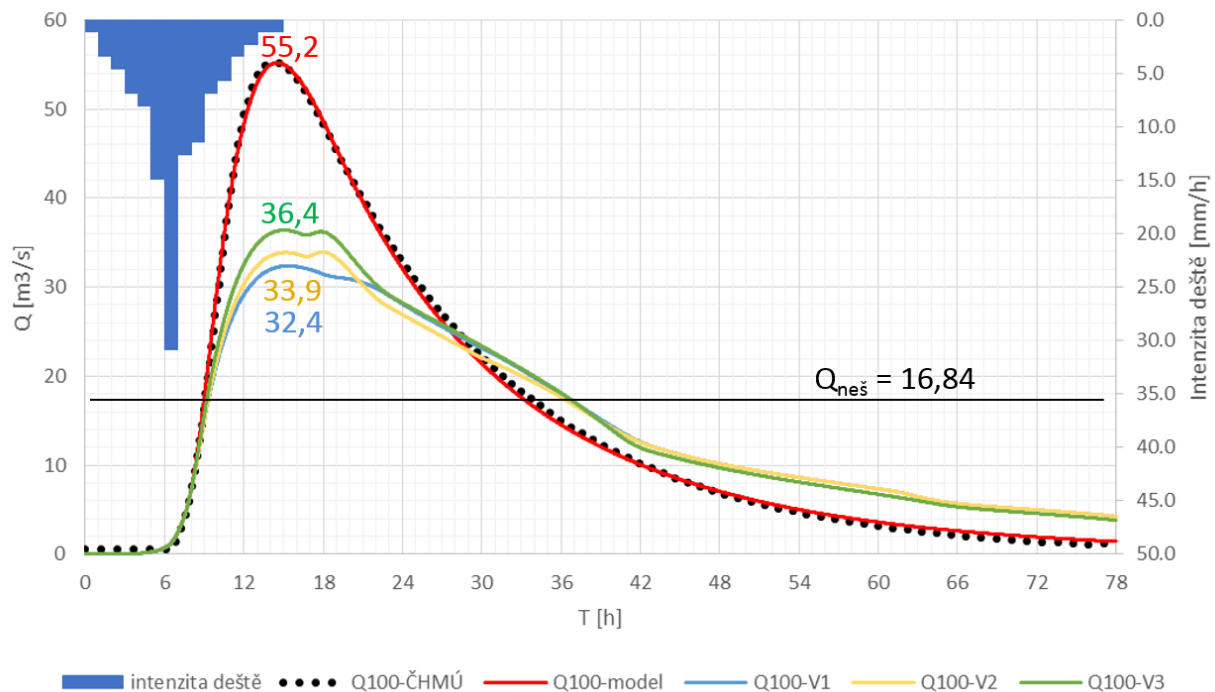


Obr. 13 – Mapa povodí ve variantě simulace V3

4 Vyhodnocení efektu soustavy opatření ve 3 variantách

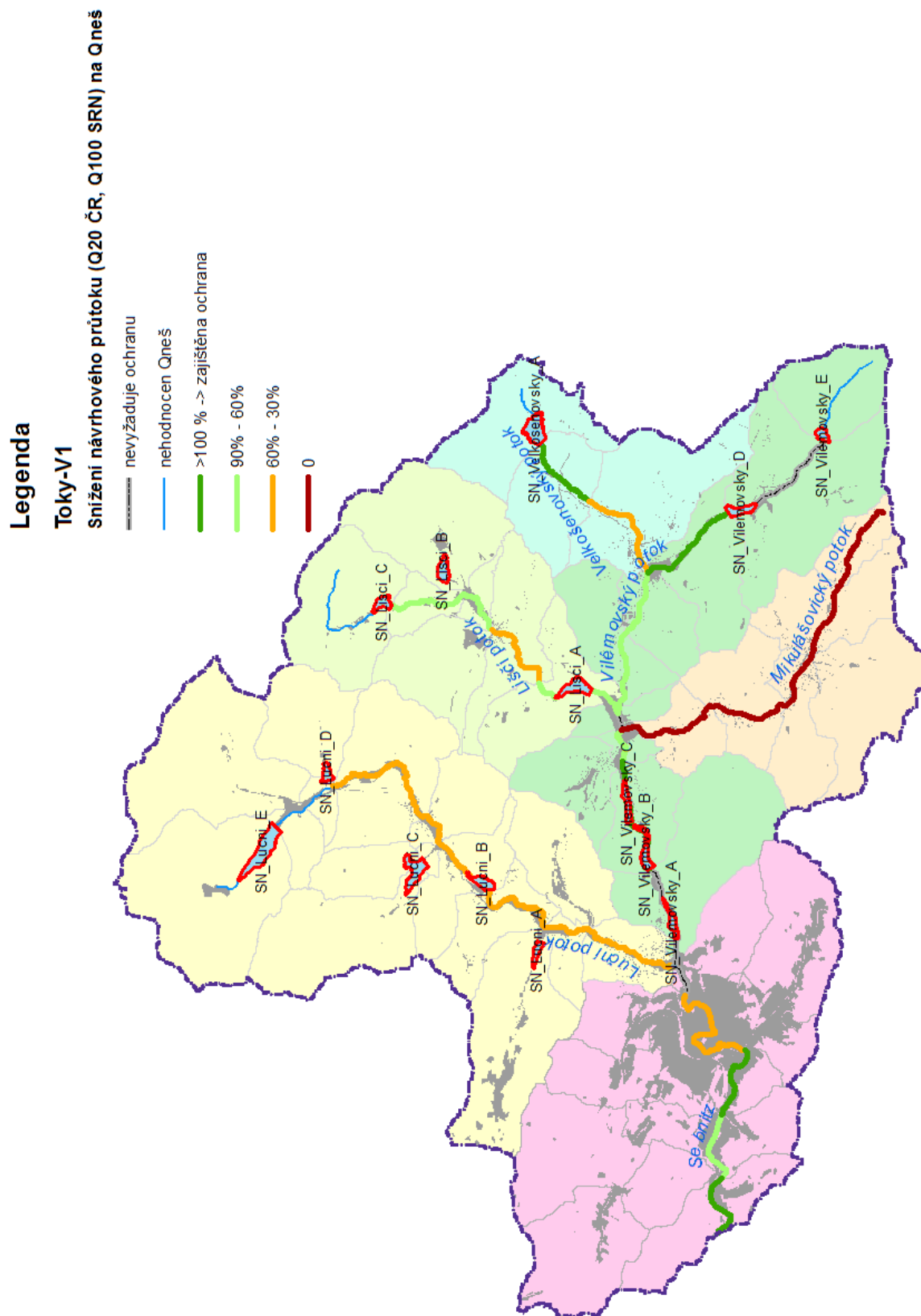
V rámci vyhodnocení efektu soustavy opatření je doložen hydrogram teoretické povodňové vlny pro limnigrafickou stanici Sebnitz pro všechny tři varianty opatření.

Stanice SEBNITZ

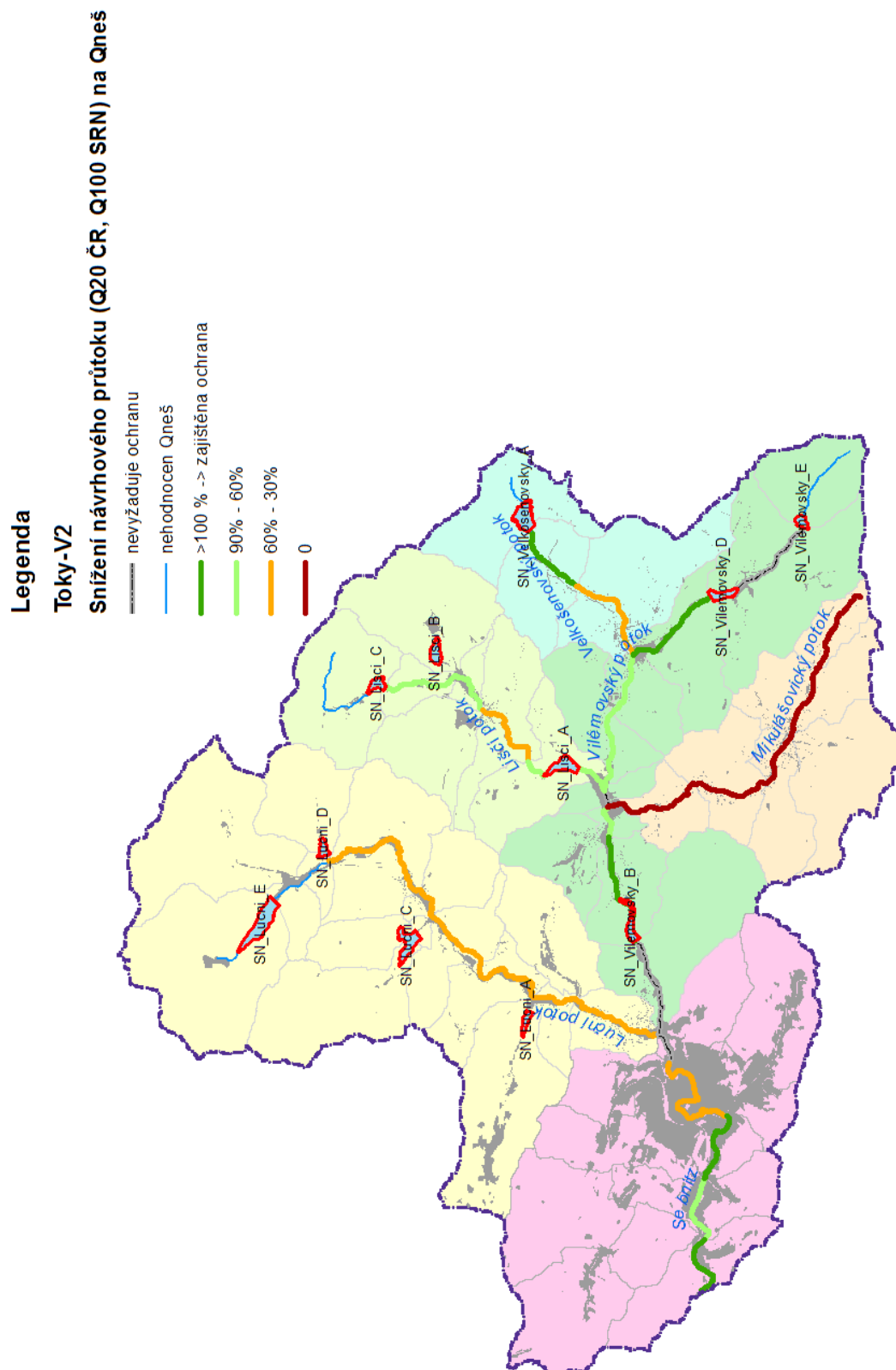


Obr. 14 – Vyhodnocení efektu soustavy opatření V1 V2 a V3 na město Sebnitz

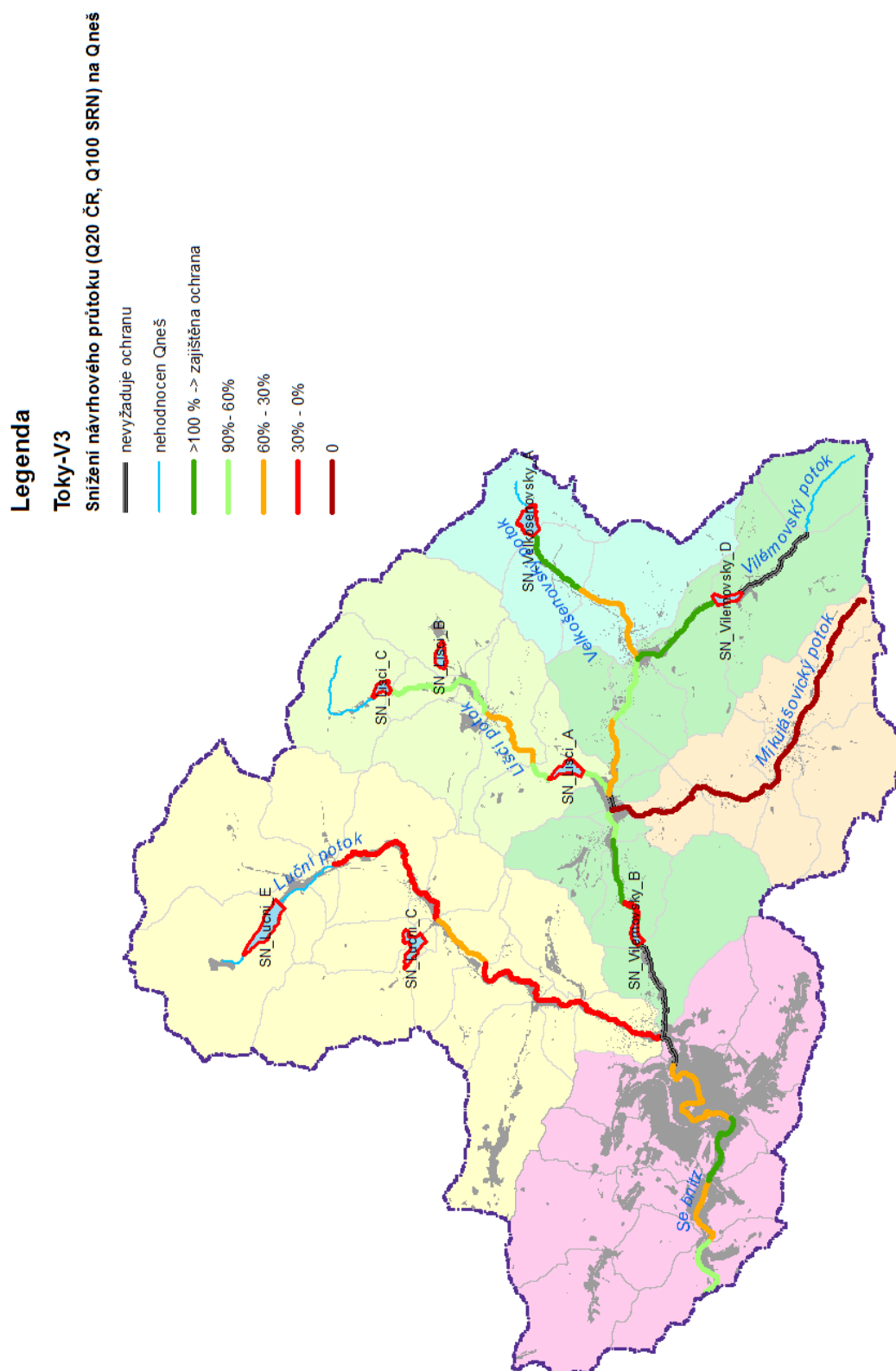
Vyhodnocení vlivu soustavy opatření bylo provedeno na sledovaných úsecích všech toků. Bylo určeno, jak vlivem transformace povodňové vlny dojde ke snížení N-letých průtoků. Snížené povodňové průtoky byly porovnány s neškodným průtokem v intravilánech, zjištěným v rámci hydrodynamických modelů, a bylo vyhodnoceno, na kterých úsecích dojde výstavbou soustavy opatření k dosažení neškodného průtoků, případně nakolik se k tomuto průtoku je možné vlivem retenčních prostorů přiblížit. Výstupem jsou mapy se znázorněním dosažení neškodných průtoků a tabulky hodnot stávajících a ovlivněných N-letých průtoků na dílčích úsecích toků.



Obr. 15 – Vyhodnocení efektu soustavy opatření V1 na dosažení neškodného průtoku Q_{neš}



Obr. 16 – Vyhodnocení efektu soustavy opatření V2 na dosažení neškodného průtoku $Q_{neš}$



Obr. 17 – Vyhodnocení efektu soustavy opatření V3 na dosažení neškodného průtoku $Q_{neš}$

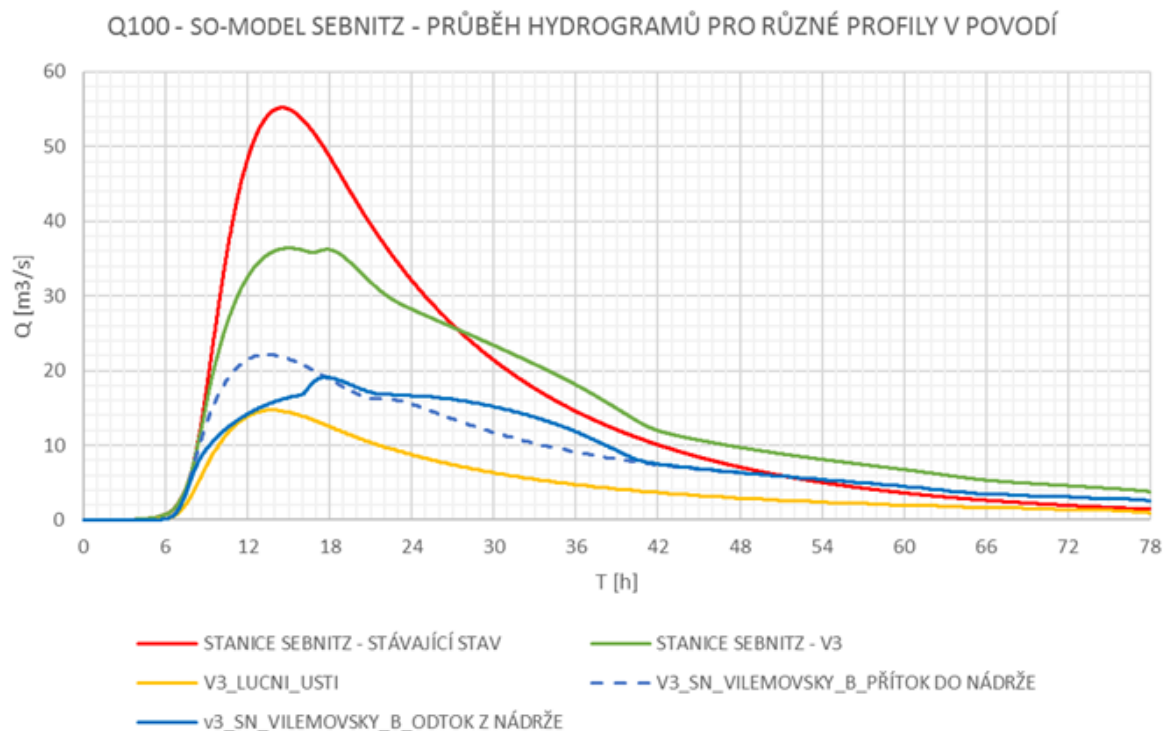
Tab. 8 – N-leté průtoky na řešených tocích - vyhodnocení stavu a efektu soustavy opatření V1, V2, V3 (pozn. tučně jsou označeny referenční body v povodí)

Kód úseku [ID HMS]	Povodí [km ²]	Stav_ Q ₀₂₀ [m ³ /s]	Stav_ Q ₁₀₀ [m ³ /s]	V1_ Q ₀₂₀ [m ³ /s]	V1_ Q ₁₀₀ [m ³ /s]	V2_ Q ₀₂₀ [m ³ /s]	V2_ Q ₁₀₀ [m ³ /s]	V3_ Q ₀₂₀ [m ³ /s]	V3_ Q ₁₀₀ [m ³ /s]	Q _{neš} [m ³ /s]	Požadovaná ochrana N [let]
Lisci_01	15.8	10.4	17.0	3.5	7.2	3.5	7.2	3.5	7.2	0.8	20
Lisci_02	13.1	8.7	14.3	4.9	7.6	4.9	7.6	4.9	7.6	0.7	20
Lisci_04	8.3	5.8	9.4	2.0	3.8	2.0	3.8	2.0	3.8	0.7	20
Lisci_06	4.2	2.7	4.4	0.9	2.8	0.9	2.8	0.9	2.8	0.7	20
Lisci_07	3.5	2.3	3.7	2.3	3.7	2.3	3.7	2.3	3.7	N/A	20
Lucni_01	36.7	23.1	38.0	15.0	21.6	15.2	23.6	19.0	30.2	1.5	20
Lucni_03	33.0	19.9	32.9	11.8	18.0	11.9	18.4	15.7	25.0	1.2	20
Lucni_05	27.8	16.3	27.1	10.8	15.4	10.9	16.9	12.1	19.1	0.9	20
Lucni_06	26.0	14.9	24.9	9.4	13.5	9.5	14.7	10.7	16.9	1.4	20
Lucni_10	19.1	10.3	17.4	7.2	11.4	7.2	11.4	8.4	13.6	1.0	20
Lucni_11	17.5	9.0	15.3	5.8	9.3	5.8	9.3	7.0	11.4	0.7	20
Lucni_13	11.5	5.7	9.8	3.7	6.0	3.7	6.0	3.7	6.0	N/A	20
Lucni_15	6.3	3.0	5.4	1.1	1.6	1.1	1.6	1.1	1.6	N/A	20
Lucni_16	5.5	2.3	4.3	2.3	4.3	2.3	4.3	2.3	4.3	N/A	20
Mikulasovicky_01	12.0	10.9	17.9	10.9	17.9	10.9	17.9	10.9	17.9	2.9	20
Mikulasovicky_02	10.8	9.8	16.1	9.8	16.0	9.8	16.0	9.8	16.0	3.0	20
Mikulasovicky_03	8.6	7.7	12.5	7.7	12.5	7.7	12.5	7.7	12.5	2.0	20
Mikulasovicky_05	3.5	3.2	4.9	3.2	4.9	3.2	4.9	3.2	4.9	1.0	20
Mikulasovicky_06	1.0	1.1	1.8	1.1	1.8	1.1	1.8	1.1	1.8	0.2	20
Sebnitz_01	121.0	N/A	68.4	N/A	45.6	N/A	47.0	N/A	49.6	48.0	100
Sebnitz_05	111.3	N/A	62.0	N/A	39.0	N/A	40.6	N/A	43.1	29.1	100
Sebnitz_07	106.9	N/A	59.2	N/A	36.2	N/A	37.7	N/A	40.3	59.2	100
Sebnitz_10	101.7	N/A	55.2	N/A	32.4	N/A	33.9	N/A	36.4	16.8	100
Sebnitz_13_a	98.5	N/A	52.0	N/A	29.4	N/A	31.6	N/A	33.9	52.0	100
Sebnitz_13_b	98.5	30.5	50.5	18.7	24.6	19.2	30.1	19.5	30.7	50.5	20
Velkosenovsky_01	9.4	9.1	14.9	6.8	10.9	6.8	10.9	6.8	10.9	2.5	20
Velkosenovsky_02	5.3	4.2	7.0	1.9	2.9	1.9	2.9	1.9	2.9	2.0	20

Kód úseku [ID HMS]	Povodí [km ²]	Stav_ Q ₀₂₀ [m ³ /s]	Stav_ Q ₁₀₀ [m ³ /s]	V1_ Q ₀₂₀ [m ³ /s]	V1_ Q ₁₀₀ [m ³ /s]	V2_ Q ₀₂₀ [m ³ /s]	V2_ Q ₁₀₀ [m ³ /s]	V3_ Q ₀₂₀ [m ³ /s]	V3_ Q ₁₀₀ [m ³ /s]	Q _{neč} [m ³ /s]	Požadovaná ochrana N [let]
Velkosenovsky_03	3.0	2.5	4.3	2.5	4.3	2.5	4.3	2.5	4.3	N/A	20
Vilemovsky_14	60.0	26.0	43.1	15.1	20.5	15.2	24.3	15.3	24.5	43.1	20
Vilemovsky_15	55.5	24.4	40.0	13.9	21.2	13.8	21.9	13.8	22.0	20.6	20
Vilemovsky_17	51.8	22.0	35.9	14.5	22.8	14.5	22.8	14.6	22.8	11.8	20
Vilemovsky_18	39.4	20.0	32.7	12.5	19.5	12.5	19.5	12.6	19.6	32.7	20
Vilemovsky_19	23.0	18.0	29.5	10.7	16.9	10.7	16.9	10.7	17.0	5.8	20
Vilemovsky_20	20.8	16.7	27.5	9.4	14.9	9.4	14.9	9.5	15.0	5.3	20
Vilemovsky_21	10.0	7.3	11.9	2.2	4.5	2.2	4.5	2.3	7.7	5.8	20
Vilemovsky_22	7.4	5.9	9.6	1.0	3.5	1.0	3.5	1.0	6.2	9.6	20
Vilemovsky_23	2.1	2.0	3.3	2.0	3.3	2.0	3.3	2.0	3.3	N/A	20

4.1 Průběh hydrogramů v povodí při scénáři Q₁₀₀ Sebnitz

Pro ilustraci ovlivnění odtokových poměrů ve variantě V3 – tj. soustava 8 nádrží – je prezentován souběh průtoků v profilu Vilémovský / Luční / stanice Sebnitz. Jedná se o průtoky v modelovém scénáři, který po zatížení srážkou produkuje odtok totožný s referenčním hydrogramem ČHMÚ Q₁₀₀ v limnigrafické stanici Sebnitz (=> průtoky na přítocích jsou nižší, než Q₁₀₀ dle ČHMÚ). Z uvedeného grafu na obrázku níže je zřejmé, že se nádrž Vilémovský B naplní a po krátkou dobu dochází k přepadu přes bezpečnostní přeliv. Vlivem nádrže Vilémovský B dojde ke snížení kulminačního průtoky v profilu hráze o 3 m³/s z 22 m³/s na 19 m³/s a k posunu kulminace v tomto profilu v čase o 4h 20 min. V profilu ústí Lučního potoka kulminuje povodňová vlna při průtoky 14 m³/s. V profilu stanice Sebnitz je kulminační průtok 36 m³/s.



Obr. 18 – V3 – hydrogramy v povodí při Q_{100} Sebnitz

4.2 Vyhodnocení změny rychlosti postupové doby povodně

Lze očekávat, že výstavbou liniových protipovodňových opatření (zkapacitnění toku, ohrázování) dojde v takto upravených úsecích k větším rychlostem proudění a tím pádem k urychlení postupu povodňové vlny níže po tocích ve srovnání se stávajícím stavem při stejném průtoku.

Ve studii byl vyhodnocen vliv navržených opatření srovnáním rychlostí proudění, spočtených hydraulickými modely pro:

- 1) stávající stav
- 2) návrhový stav (varianta V3 s doplněnými liniovými protipovodňovými opatřeními).

Tab. 9: Vyhodnocení změny rychlosti postupové doby povodně

	Průměrná rychlost proudění [m/s]		
	Stav Q_{100}	Návrh V3 vč. liniových PPO Q_{100}	Rozdíl rychlostí návrh-stav
Sebnitz	2.58	2.39	-0.19
Vilémovský potok	2.19	2.13	-0.06
Mikulášovický	1.70	2.60	0.90
Liščí	1.25	1.24	-0.01

Na základě provedené analýzy pro jednotlivé toky byly učiněny tyto závěry:

Vlivem výstavby liniových protipovodňových opatření (zkapacitnění toku, ohrázování) dojde ke zvýšení rychlostí v korytě. Současně ve výsledné soustavě vlivem transformačního účinku nádrží poklesne kulminační průtok a tím pádem i rychlost proudění a postupu povodňové vlny. Ve výsledku tak dochází

mimo Mikulášovický potok ke vzájemnému vyrušení těchto jevů a k nepatrnému zpomalení postupu povodňové vlny ve srovnání se stávajícím stavem při Q_{100} .

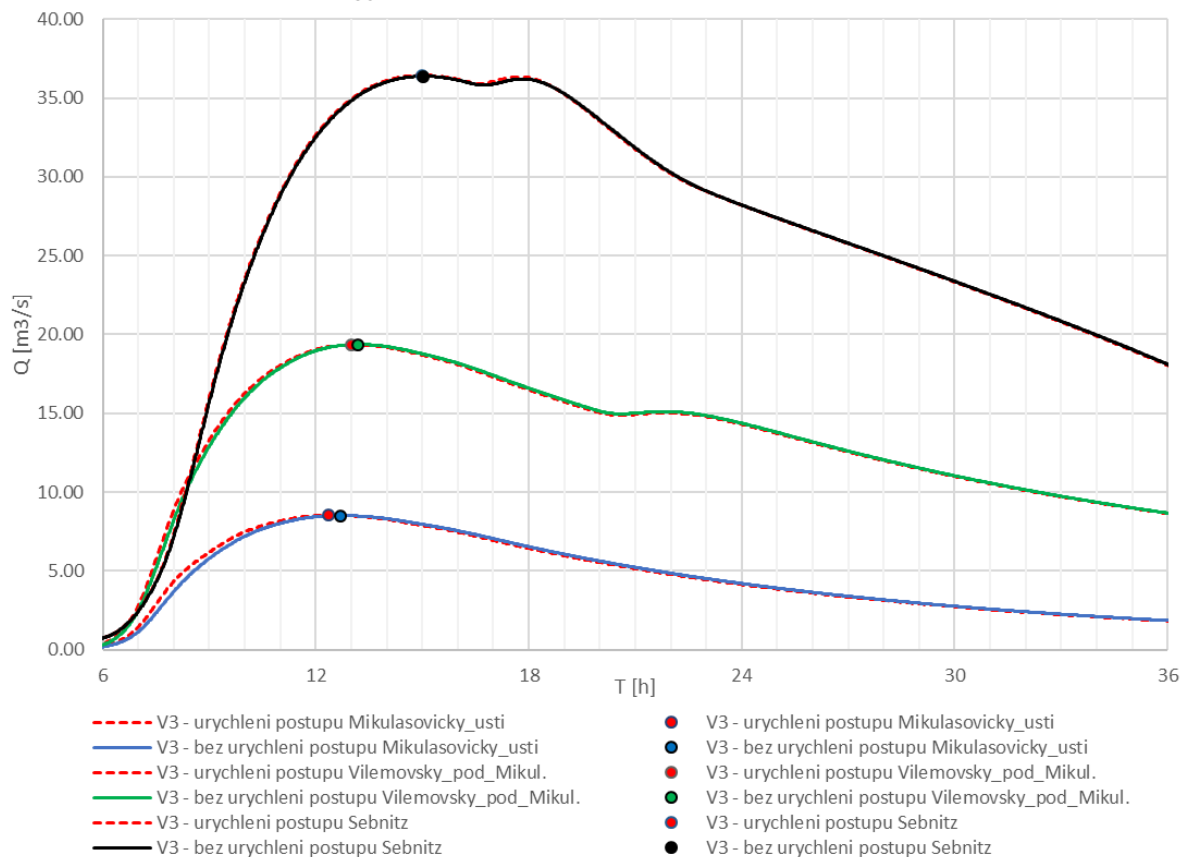
Na Mikulášovickém potoce se nenachází žádné opatření typu retence, současně se zde uvažuje s liniovým PPO. Z tohoto důvodu byla provedena analýza vlivu urychlení postupu povodňové vlny na hydrogramy v povodí v důsledku navržených liniových PPO. Změna postupové doby povodně byla na sestaveném srážko-odtokovém modelu zahrnuta do výpočtu změnou parametrů K a X ve výpočetní metodě Muskingum. Bylo uvažováno s urychlením postupu povodňové vlny o výše uvedených 0,9 m/s. Transformační faktor X byl upraven z 0,2 na 0,4, kde 0,5 představuje nulovou transformaci, hodnota 0 maximální. Výsledky této analýzy jsou doloženy v grafech a tabulkách níže.

Vzhledem k zanedbatelnému efektu, míře schematizace a nejistotám ve stanovení vstupních parametrů nebyla změna rychlosti postupu povodňové vlny do výsledného srážko-odtokového modelu zohledněna. Významný vliv na dobu kulminace povodňové vlny mají nádrže, kde dochází k transformaci vlny a oddálení její kulminace v čase. Tento efekt je spolehlivě definovatelný a výpočet s ním uvažuje.

V průběhu další přípravy projektu s již konkrétním návrhem jednotlivých opatření lze doporučit ověření učiněných závěrů výpočetními prostředky s menší mírou schematizace – viz níže.

Pro sofistikovanější popis ovlivnění postupu povodňové vlny liniovými prvky PPO a retenčními nádržemi by bylo třeba řešit transformaci povodňové vlny v nádržích a retardaci povodňové vlny v inundačním území hydrodynamickým neustáleným výpočtem, což není v rozsahu a podrobnosti řešené studie. Se zohledněním výše uvedených závěrů však nelze očekávat významný vliv soustavy liniových opatření na dobu postupu povodňové vlny.

výpočetní scénář - Q100 ve stanici Sebnitz



Obr. 19 – vliv urychlení vlny na Mikulášovickém potoce na hydrogramy v povodí – scénář Q100 ve stanici Sebnitz

Tab. 10: Analýza vlivu zahrnutí urychlení postupu povodňové vlny do výpočtu na hydrogramy v povodí v důsledku navržených liniových PPO na Mikulášovickém potoce

výpočetní scénář - Q ₁₀₀ ve stanici Sebnitz	V3 - bez urychlení postupu			V3 - urychlení postupu		
	Mikulasovicky usti	Vilemovsky pod Mikul.	Sebnitz	Mikulasovicky usti	Vilemovsky pod Mikul.	Sebnitz
Tmax(Q) hod	12.70	13.20	15.02	12.38	13.02	14.98
Tmax(Q) min	762	792	901	743	781	899
Max Q	8.51	19.36	36.39	8.53	19.35	36.45
delta T (min)				-19	-11	-2
delta Q (m3/s)				0.03	-0.01	0.06
Q bez urychlení v době kulminace urychleného hydrogramu (m3/s)	8.49	19.35	36.38			
Navýšení průtoku v době kulminace urychleného hydrogramu (m3/s)				0.04	0.00	0.06

5 Závěr

V této části studie byl sestaven a zkalibrován srážko-odtokový model. V návaznosti na návrhovou část studie, kde byly vytipovány retenční prostory v povodí Vilémovského potoka a navrženy jejich základní parametry, byly odvozeny hydrogramy v profilech těchto retenčních prostorů. Následně byl posouzen vliv navržených retenčních prostorů na transformaci povodňových průtoků. Byly vyhodnocovány scénáře N-letých průtoků Q_{20} a Q_{100} . Tyto scénáře jsou řešeny pro každý retenční prostor samostatně v profilu hráze a následně jejich kombinace ve variantách. Pro definované varianty soustav opatření byl studován jejich vliv na průběh/snížení kulminačních průtoků na studovaných tocích v celém povodí.

Srážko-odtokový model

- Simulace teoretických srážkových událostí na povodí Vilémovského potoka
- Stanovení kulminačních průtoků a hydrogramů ve výpočtových bodech na celém řešeném povodí.
- Posouzení vlivu navržených retenčních prostorů na kulminační průtoky ve výpočtových bodech na celém řešeném povodí a na průběh povodňového hydrogramu v uzávěrovém profilu Sebnitz.

Varianty vznikaly postupně z vytipovaných 14 retenčních prostorů (V1). Redukcí vodohospodářsky neefektivních nádrží vznikla soustava 11 retenčních prostorů (V2) a dále na základě multikriteriální analýzy byla sestavena výsledná sada 8 retenčních opatření V3. Postup vytipování profilů a sestavení variant je uveden v návrhové části studie.

Navržená výsledná soustava nádrží se principiálně skládá z většího počtu menších retenčních nádrží, které jsou většinou umístěny na horních tocích na dílčích přítocích. Svým jednotlivým vlivem tyto nádrže chrání intravilány pod profilem hráze. V součinnosti celé soustavy pak dochází k významnému pozitivnímu vlivu i na obce v dolní části řešeného území včetně města Sebnitz. Z důvodu konfigurace povodí a soustavy opatření není ve výsledné sadě opatření žádná nádrž s významně převažujícím vlivem pro ochranu města Sebnitz. Taková nádrž s dostatečným objemem by musela být umístěna těsně nad městem, kde však nebyla vyhodnocena jako realizovatelná.

Vliv tří sledovaných soustav opatření byl vyhodnocen jak pro dílčí úseky toků, tak pro kontrolní profil limnigrafické stanice Sebnitz. Obecně lze říci, že nádrže na horních tocích mají dostatečný vliv na snížení povodňových průtoků především na úseky toků v blízkosti pod profilem hráze. S narůstající plochou povodí se jejich efekt postupně snižuje. V obcích níže po toku je proto většinou nutno doplnit liniová PPO. Jejich potřebný rozsah je však s ohledem na snížení povodňových průtoků nádržemi nižší, než bez nich.

V soustavě retenčních opatření byl prokázán příznivý efekt na město Sebnitz. Nebylo dosaženo neškodného průtoků, ale bylo dosaženo značného snížení kulminačních průtoků Q_{100} z 55,2 m³/s na cca 35 m³/s. Snížení Q_{100} na aktuální neškodný průtok ve městě Sebnitz nelze dosáhnout pouze vlivem soustavy vytipovaných nádrží. Pro požadovanou ochranu města Sebnitz na Q_{100} však postačí navýšení neškodného průtoků (výstavbou liniových PPO) na průtok zhruba odpovídající aktuální hodnotě Q_{20} .