



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Katedra hydrotechniky

**Optimalizace operativního řízení VD Kutřín při
povodních**

Flood control optimization of polder Kutřín

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Jan Hřebřina

Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

Vedoucí diplomové práce: doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur

Praha, 2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Hřebřina Jméno: Jan Osobní číslo: 468383

Zadávací katedra: 142 - Katedra hydrotechniky

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Optimalizace operativního řízení VD Kutřín při povodních

Název diplomové práce anglicky: Flood control optimization of polder Kutřín

Pokyny pro vypracování:

Nádrž Kutřín je koncepčně řešena jako suchá retenční nádrž v povodí řeky Krounky. Níže po toku Krounky se nachází soutok s řekou Novohradkou a pod soutokem se v záplavovém území řeky Novohradky nachází první ohrožené město Luže. VD Kutřín je schopno transformovat průtoky na Krounce až do Q100 na neškodný průtok pod hrází. V případě souběhu povodňových událostí na Krounce a Novohradce by bylo na základě zkušeností z minulých povodní vhodné transformovat průtoky ve VD Kutřín na nižší odtoky než je neškodný odtok pod hrází. Tento přístup se jeví být přínosným zejména při povodních na úrovni Q5 až Q20 v profilu Luže. Cílem diplomové práce je sestavit srážkoodtokový hydrologický model povodí Krounky a Novohradky po uzávěrový profil Luže a optimalizovat operativní řízení odtoku z VD Kutřín s ohledem na aktuální hydrometeorologická data z monitorovacího systému. Současně je úkolem posoudit a případně navrhnout rozšíření stávajícího monitorovacího systému v povodí. Hlavním cílem je návrh zásad pro řízení odtoku z VD Kutřín v závislosti na vývoji hydrologické situace na Krounce a Novohradce s cílem eliminovat nežádoucí důsledky souběhu povodňových vln.

Seznam doporučené literatury:

Patera, A., Nacházel, K., Fošumpaur, P.: Nádrže a vodohospodářské soustavy. Vydavatelství ČVUT. Praha 2002.
Votruba, L., Broža, V.: Hospodaření s vodou v nádržích. SNTL/ALFA. Praha 1980.

Jméno vedoucího diplomové práce: doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur

Datum zadání diplomové práce: 21.9.2021

Termín odevzdání diplomové práce: 2.1.2022

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

24.9.2021

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré potřebné informační zdroje v souladu s metodickým pokynem ČVUT 1/2009 „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

V Praze dne 3.1. 2022

.....

Bc. Hřebřina Jan

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat vedoucímu diplomové práce panu doc. Dr. Ing. Pavlu Fošumpaurovi za odborné vedení, cenné rady a možnosti častých osobních konzultací při zpracování mé diplomové práce. Děkuji také panu Ing. Martinu Horskému Ph.D. z fakulty stavební ČVUT v Praze za věcné konzultace. V neposlední řadě bych chtěl velice poděkovat mé rodinně za podporu a trpělivost, které se mi dostalo při zpracování diplomové práce.

Abstrakt:

Nádrž Kutřín je koncepčně řešena jako suchá retenční nádrž v povodí řeky Krounky. Níže po toku Krounky se nachází soutok s řekou Novohradkou a pod soutokem se v záplavovém území řeky Novohradky nachází první ohrožené město Luže. Cílem diplomové práce je připravit zásady pro řízení odtoku z VD Kutřín v závislosti na vývoji hydrologické situace na vodních tocích Krounka a Novohradka s cílem eliminovat nežádoucí důsledky souběhu povodňových vln. Za tímto účelem byl v rámci diplomové práce sestaven srážko-odtokový model v prostředí HEC-HMS, který umožnil vytvořit podklady v podobě neovlivněných hydrogramů a dotokové doby říčních úseků. Samotná optimalizační úloha se již odehrává v programovacím prostředí Matlab, kde byl sestaven simulační model, který umožnil stanovit optimální hodnotu neškodného odtoku z VD Kutřín v závislosti na hydrologické situaci Krounky a Novohradky.

Klíčová slova: Suchá nádrž, vodní dílo, optimalizace, řízení odtoku při povodních, automatický řídicí systém, srážko-odtokový model, teoretické povodňové vlny, simulační model

Summary:

The Kutřín reservoir is conceptually designed as a dry retention reservoir in the Krounka river basin. Near polder Kutřín there is a confluence with the Novohradka River and below the confluence in the floodplain of the Novohradka River is the town of Luže, which is the first to be threatened by flood. The objective of the diploma's thesis is to prepare principles for the flood control operation of a reservoir Kutřín depending on the development of the hydrological situation on the Krounka and Novohradka rivers in order to eliminate the undesirable consequences of concurrent flood waves. For this objective, a precipitation-runoff model was built in the HEC - HMS software and used to obtain input in the form of hypothetical waves and lag time of the rivers. The optimization task itself was performed using the Matlab programming software, where a simulation model was built, which allowed to determine the optimal value of the outflow from the Kutřín polder depending on the hydrological situation on the Krounka and Novohradka rivers.

Keywords: Dry reservoir, water work, optimization, flood control, automatic control system, precipitation-runoff model, hypothetical waves, simulation model



OBSAH

| | |
|---|-----------|
| 1. ÚVOD A CÍLE | 4 |
| 2. POLDR KUTŘÍN | 6 |
| 3. VSTUPNÍ PODKLADY PRO ŘEŠENÍ ÚLOHY..... | 8 |
| 3.1. PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE PRO PROVÁDĚNÍ STAVBY | 8 |
| 3.1.1. <i>Základní parametry hráze</i> | 8 |
| 3.1.2. <i>Charakteristické křivky nádrže</i> | 9 |
| 3.1.3. <i>Bezpečnostní přeliv</i> | 9 |
| 3.1.4. <i>Spodní výpusti</i> | 10 |
| 3.2. HYDROLOGICKÉ POMĚRY | 14 |
| 4. VÝPOČETNÍ PŘEDPOKLADY | 15 |
| 5. HYDROLOGICKÝ MODEL | 16 |
| 5.1. SESTAVENÍ SRÁŽKO-ODTOKOVÉHO MODELU | 17 |
| 5.1.1. <i>Schématické rozdělení řešené části povodí Novohradky</i> | 17 |
| 5.1.2. <i>Fyzicko – geografické charakteristiky povodí a říčních úseků</i> | 20 |
| 5.1.2.1. <i>Plochy povodí a délka říčních úseků</i> | 20 |
| 5.1.2.2. <i>Průměrný sklon povodí Y a sklon toku s_{10-85}</i> | 20 |
| 5.1.2.3. <i>Nepropustné plochy</i> | 21 |
| 5.1.3. <i>Metoda CN křivek</i> | 21 |
| 5.1.3.1. <i>Stanovení hodnot CN pro zvolené subpovodí</i> | 23 |
| 5.1.4. <i>Metoda jednotkového hydrogramu</i> | 28 |
| 5.1.5. <i>Muskingum – cunge</i> | 30 |
| 5.1.5.1. <i>Charakteristické příčné profily říčních úseků</i> | 30 |
| 5.1.5.2. <i>Manningova drsnost říčních úseků</i> | 31 |
| 5.1.6. <i>Odvozené parametry říčních úseků</i> | 32 |
| 5.1.7. <i>Odvozené fyzicko – geografické parametry dílčích výpočetních subpovodí</i> 32 | |
| 5.2. NÁVRHOVÉ HYETOGRAMY | 33 |
| 5.1. NÁVRHOVÉ MAXIMÁLNÍ N-LETÉ DENNÍ SRÁŽKOVÉ ÚHRNY | 35 |
| 5.2. VERIFIKACE HYDROLOGICKÉHO MODELU | 37 |
| 5.3. DOSAŽENÉ VÝSLEDKY HYDROLOGICKÉHO MODELOVÁNÍ | 38 |
| 5.3.1. <i>Regionální povodně</i> | 39 |
| 5.3.2. <i>Bleskové povodně</i> | 40 |
| 5.3.3. <i>Dotoková doba</i> | 41 |
| 6. VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ – VARIANTA SUCHÁ NÁDRŽ..... | 42 |
| 6.1. SESTAVENÍ OPTIMALIZAČNÍHO SYSTÉMU..... | 43 |



| | | |
|-----------|---|-----------|
| 6.1.1. | <i>Transformace povodňové vlny v nádrži</i> | 44 |
| 6.1.2. | <i>Postup povodňových vln v říční síti</i> | 45 |
| 6.1.3. | <i>Optimalizace neškodného odtoku z VD Kutřín</i> | 45 |
| 6.2. | DOSAŽENÉ VÝSLEDKY PRO VARIANTU SUCHÉ NÁDRŽE..... | 46 |
| 6.2.1. | <i>Regionální povodně</i> | 46 |
| 6.2.2. | <i>Bleskové povodně</i> | 50 |
| 6.3. | VYHODNOCENÍ SLUŽEBNOSTI PŘI POVODNI..... | 53 |
| 6.3.1. | <i>Sestavení modelu v prostředí ArcGis</i> | 53 |
| 6.3.2. | <i>Výsledky pro zohlednění služebnosti</i> | 56 |
| 7. | VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ – VARIANTA VODNÍ NÁDRŽ | 59 |
| 7.1. | DOSAŽENÉ VÝSLEDKY PRO VARIANTU VODNÍ NÁDRŽE | 60 |
| 7.1.1. | <i>Regionální povodně</i> | 61 |
| 7.1.2. | <i>Bleskové povodně</i> | 62 |
| 7.1.3. | <i>Komentář k variantě vodní nádrže</i> | 62 |
| 8. | NÁVRH ZÁSAD PRO OPERATIVNÍ ŘÍZENÍ V REÁLNÉM ČASE PŘI POVODNI | 64 |
| 8.1. | VARIANTA SUCHÉ NÁDRŽE | 64 |
| 8.2. | VARIANTA VODNÍ NÁDRŽE | 65 |
| 8.3. | KOMENTÁŘ K MONITOROVACÍMU SYSTÉMU | 65 |
| 9. | ZÁVĚR | 67 |
| | SEZNAM TABULEK | 70 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ | 72 |
| | SEZNAM PŘÍLOH | 73 |
| | POUŽITÉ ZDROJE | 74 |
| | PŘÍLOHY | 76 |



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

| | |
|---------|---|
| AŘS | ...Automatický řídicí systém |
| BPEJ | ...Bonitovaná půdně ekologická jednotka |
| CN | ...Curve Number |
| ČHMÚ | ...Český hydrometeorologický ústav |
| DIBAVOD | ...Digitální báze vodohospodářských dat |
| DPS | ...Dokumentace pro provádění stavby |
| HEC-HMS | ...Hydrologic Engineering Center – The Hydrologic Modeling System |
| HPJ | ...Hlavní půdní jednotka |
| KMH | ...Kontrolní maximální hladina |
| MBH | ...Mezní bezpečná hladina |
| SCS | ...Soil Conservation Service |
| SPA | ...Stupeň povodňové aktivity |
| SV | ...Spodní výpust |
| USGS | ...U.S. Geological Survey |
| VD | ...Vodní dílo |



1. ÚVOD A CÍLE

Předmětem diplomové práce je aktuální potřeba státního podniku Povodí Labe týkající se záměru zvýšení transformační funkce poldru Kutřín. Toto vodní dílo se bude nacházet ve východních Čechách v Pardubickém kraji, okrese Chrudim a je koncepčně řešeno jako suchá retenční nádrž v povodí řeky Krounky. Po dokončení stavby v roce 2024 bude vodní dílo tvořit významný prvek systému protipovodňové ochrany v povodí řeky Novohradky, do které řeka Krounka jakožto první významný levostranný přítok ústí (viz obrázek 1).

Toto území bylo historicky zasaženo významnými srážkoodtokovými událostmi a současná míra protipovodňové ochrany je na nevyhovující úrovni. Dokladem toho jsou povodňové situace v roce 1997, 2002 a 2006. Nejvíce zasaženým místem, kde docházelo k rozlivům a ohrožení okolních nemovitostí, je město Luže. Město Luže se nachází v těsné blízkosti pod soutokem řek Novohradky a Krounky. Míra protipovodňové ochrany je nevyhovující oproti standardům i v níže ležících intravilánech obcí jako jsou Lozice, Jenišovice, Chroustovice, Čankovice, Hrochův Týnec až po obec Úhřetice. Státní podnik Povodí Labe z pozice správce vodního toku sleduje toto téma dlouhodobě a pro zvýšení míry ochrany přistoupil k výstavbě poldru Kutřín. [5,12]

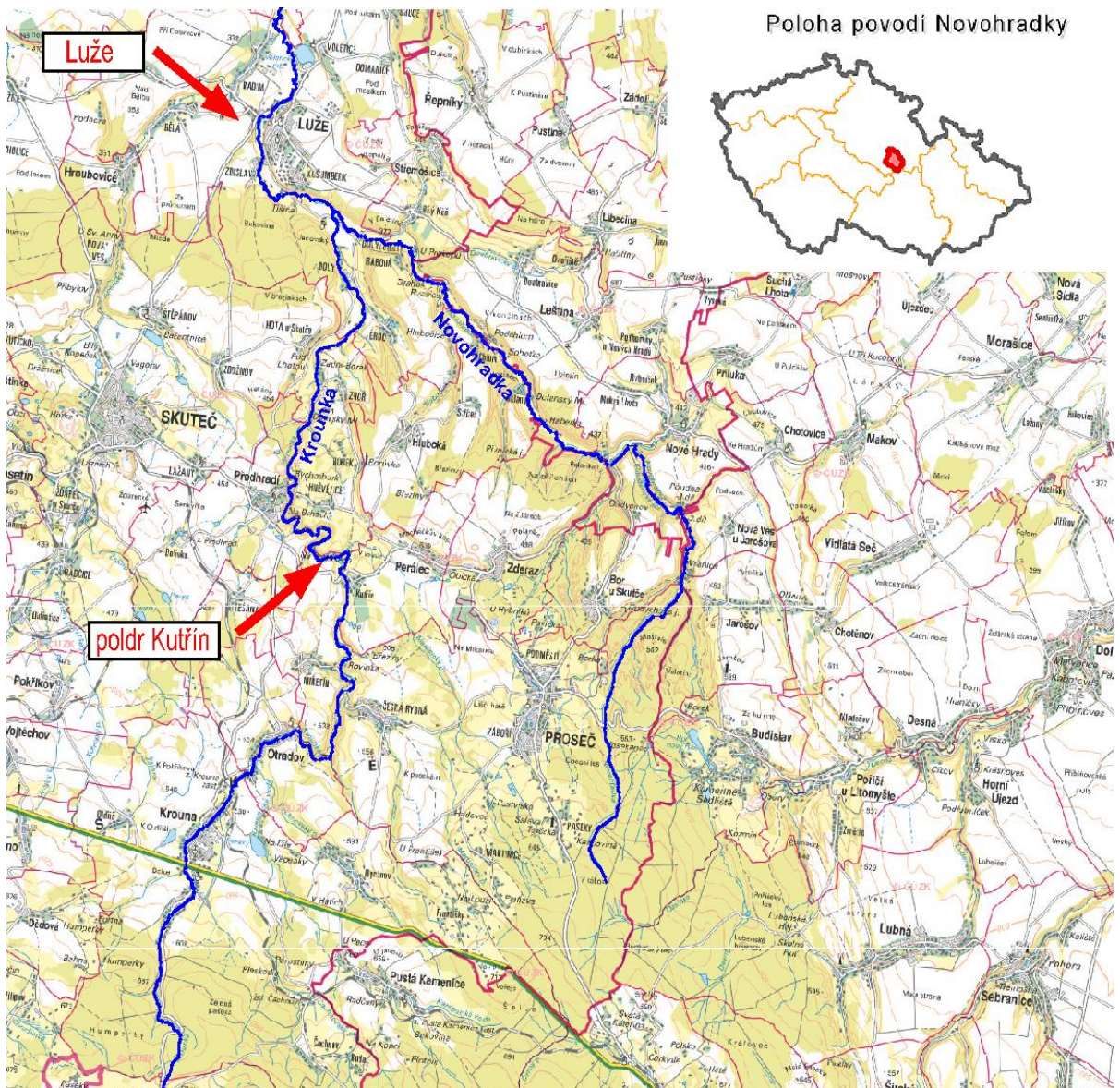
Díky konstrukčnímu řešení funkčních objektů hráze a retenčnímu prostoru nádrže je VD Kutřín schopno transformovat průtoky na Krounce až do hodnoty Q_{100} na neškodný průtok pod hrází. Vodohospodářské řešení proto předpokládá zachycení povodní na řece Krounce v poldru Kutřín a po odeznění povodňových průtoků na řece Novohradce postupné prázdnění nádrže Kutřín. Vzhledem k tomu, že na vodním díle není plánována trvalá přítomnost obsluhy, bude v rámci stavby vodní dílo pravděpodobně vybaveno automatickým řídicím systémem. AŘS bude o velikosti vypouštěného odtoku rozhodovat na základě hydrologické situace. [19]

V roce 2020 bylo povodí řek Novohradky a Krounky zasaženo několika povodňovými epizodami na úrovních $Q_2 - Q_{20}$, které opakovaně ukázaly, že je



vhodné transformovat průtoky v nádrži na nižší hodnoty než je neškodný odtok pod hrází. [19]

Problematicke se věnuje tato diplomová práce, jejímž cílem je sestavit hydrologický model povodí Novohradky až po uzávěrový profil Luže a optimalizovat operativní řízení odtoku z VD Kutřín s ohledem na aktuální hydrometeorologická data z monitorovacího systému. Hlavním cílem je pak návrh zásad pro řízení odtoku z VD Kutřín v závislosti na vývoji hydrologické situace na Krounce a Novohradce s cílem eliminovat nežádoucí důsledky souběhu povodňových vln. Současně je cílem posoudit a případně navrhnout rozšíření stávajícího monitorovacího systému.



Obrázek 1: Situace řešené úlohy. [23]



2. POLDR KUTŘÍN

Příprava navržené akce je součástí dlouhodobé systematické koncepční činnosti řešení povodňové problematiky v daném území. Stavba bude spolufinancována z dotačního titulu Ministerstva zemědělství – Podpora prevence před povodněmi IV. etapa. [20]

První myšlenky na výstavbu suché nádrže vznikly po významných povodních v roce 1997. Už v roce 2002 byla zpracována vyhledávací studie retenčních prostorů v celém povodí řeky Novohradky. Následně byly pomocí hydrologického modelu v rámci studie v roce 2007 posouzeny retenční prostory, kdy výsledky ukázaly, že nejvyšší transformační účinek má právě samostatně (izolovaně) působící poldr Kutřín. V roce 2009 byly zahájeny práce na dokumentaci k územnímu rozhodnutí, avšak kvůli majetkoprávním komplikacím bylo územní rozhodnutí vydáno až počátkem roku 2016. Pravomocné stavební povolení bylo získáno v říjnu 2018. V lednu 2021 státní podnik Povodí Labe uzavřel smlouvu se stavební společností OHL ŽS, a.s., která v dubnu téhož roku zahájila výstavbu VD Kutřín. Délka výstavby dle smlouvy o dílo byla stanovena na 45 měsíců od podpisu smlouvy. [2,20]



Obrázek 2: Stavba poldru Kutřín v prosinci 2021, Šilinkův důl. Autor DP.

Hráz poldru je navržena na toku řeky Krounky v profilu ř.km 9,17 cca 60 m nad Šilinkovým dolem. Profil byl zvolen z důvodu mimořádně vhodných morfologických a dispozičních podmínek, které umožňují dosažení velkého retenčního prostoru až 3,6 mil.m³ (při Q₁₀₀) při poměrně malé délce hráze 146 m. Celkový objem akumulované vody může dosáhnout 4,8 mil. m³. [3]

Nádrž disponuje pouze jediným funkčním prostorem a to je retenční prostor. Dle posudku pro kategorizaci vodních děl z hlediska technickobezpečnostního dohledu je toto vodní dílo zařazeno do kategorie II. Hráz a funkční objekty hráze jsou proto v souladu s vyhláškou č.590/2002 Sb. „o technických požadavcích pro vodní díla“ dimenzovány na návrhovou povodeň Q₁₀₀₀ a kontrolní povodeň Q₁₀₀₀₀. [3,21]

3. VSTUPNÍ PODKLADY PRO ŘEŠENÍ ÚLOHY

Pro zpracování diplomové práce byly k dispozici následující vstupní podklady.

3.1. Projektová dokumentace pro provádění stavby

Jedním ze základních podkladů pro zpracování diplomové práce byla projektová dokumentace pro provádění stavby.[3] V rámci té byly k dispozici i hydrotechnické výpočty. Stěžejní informace vyplývající z DPS jsou následující:

3.1.1. Základní parametry hráze

Samotná vzdouvací stavba je navržena jako betonová tížná hráz. Toto konstrukční řešení vyplynulo na základě požadavků orgánů ochrany přírody na maximální zachování kontinuity toku (co nejkratší základové výpusti) a zároveň provozních požadavků na funkci vodního díla. Pro citlivější zapojení konstrukce hráze do krajiny budou návodní i vzdušní líc hráze opatřeny přísypy tvarovanými do teras, které budou simulovat prostředí okolních suťových svahů. V tělese hráze bude navíc umístěna migrační prostup, který umožní akvatickým i terestrickým organismům volně migrovat podél vodního toku. [3,20]



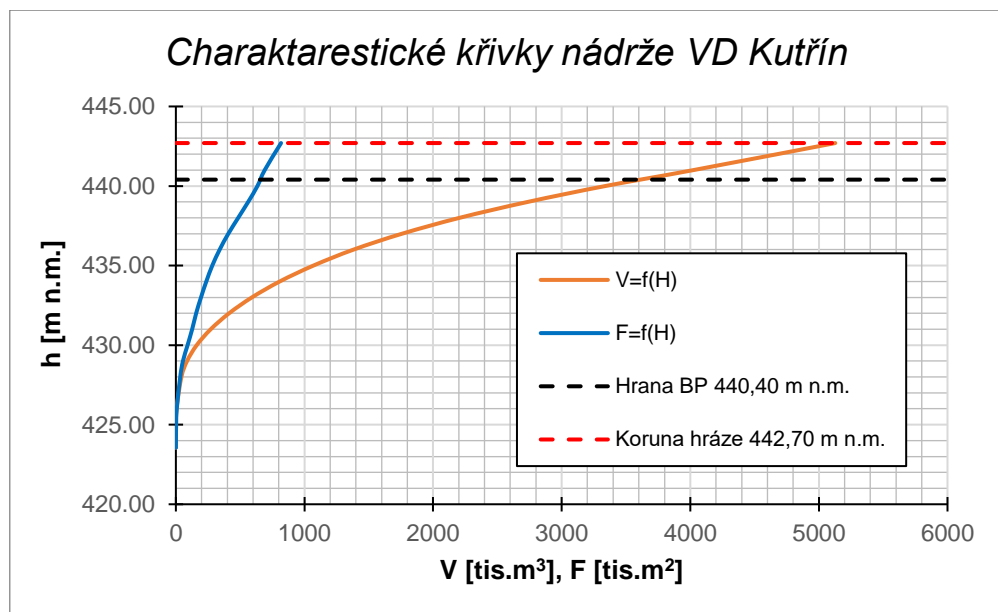
Obrázek 3: Vizualizace poldru Kutřín. Sdružení Kutřín 2016. [3]

Základní parametry tělesa hráze dle projektové dokumentace pro provádění stavby [3]:

- | | |
|--|----------------|
| - Maximální výška hráze nad terénem | 17,8 m |
| - Délka koruny hráze v ose (vč. spadiště) | 146,1 |
| - Maximální kóta hladiny při průchodu PV_{100} | 440,45 m n. m. |
| - Maximální kóta hladiny při průchodu PV_{10000} | 441,81 m n. m. |
| - Objem retenčního prostoru po bezpečnostní přeliv | 3,6 mil. m^3 |
| - Zatopená plocha při plném retenčním objemu | 67,5 ha |
| - Kóta koruny hráze = mezní bezpečné hladině | 442,70 m n. m. |

3.1.2. Charakteristické křivky nádrže

Charakteristické křivky zatopených ploch a objemů VD Kutřín jsou znázorněny v následujícím grafu. Pro účel zpracování této diplomové práce byly čáry zatopených ploch a objemů převzaty z DPS. [3]



Graf 1: Charakteristické křivky VD Kutřín [2].

3.1.3. Bezpečnostní přeliv

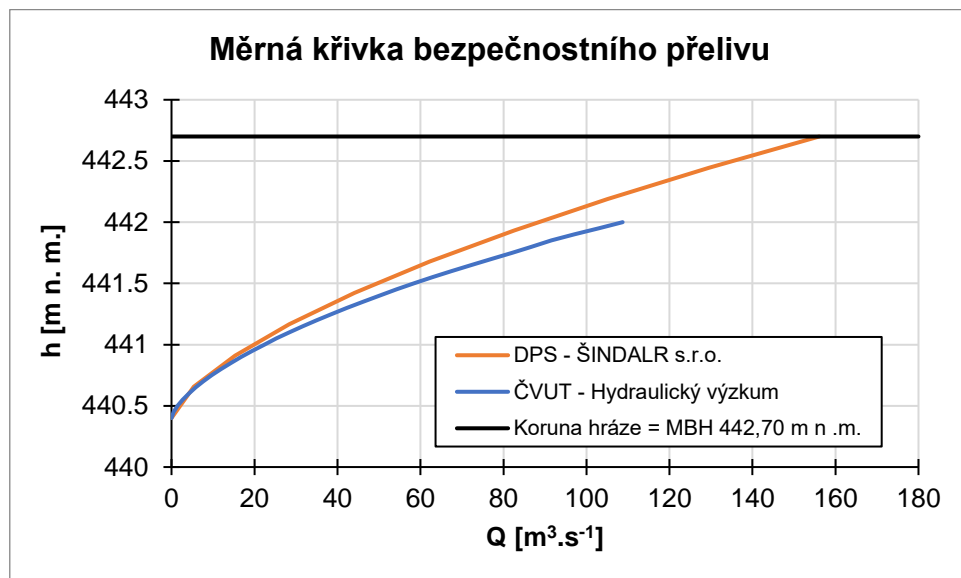
Jako bezpečnostní objekt je navržen boční bezpečnostní přeliv situovaný u pravobřežního zavázání hráze s navazujícím skluzem od přelivu, který je zakončený vývarem. Bezpečnostní přeliv je navržen tak, aby bezpečně převedl

kontrolní povodeň Q_{10000} ($106 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Hodnota kontrolní maximální hladiny netransformované kontrolní povodňové vlny KPV_{10000} je dle DPS rovna $KMH = 442,21 \text{ m n. m.}$ [2,3]

Základní parametry bezpečnostního přelivu dle projektové dokumentace pro provádění stavby [3]:

- Kóta přelivné hrany 440,40 m n.m.
- Délka přelivné hrany 25 m
- Šířka odpadu od bezpečnostního přelivu 15 m

Vhledem ke skutečnosti, že pro potřeby diplomové práce byly k dispozici výsledky hydraulického výzkumu bezpečnostního přelivu poldru Kutřín na fyzikálním modelu, nebyla měrná křivka ověřována samostatným výpočtem. Pro potřeby řešení optimalizačních úloh v rámci této diplomové práce byla uvažována ověřená měrná křivka v rámci hydraulického výzkumu Fakulty stavební ČVUT v Praze znázorněná na obrázku 4. [2]



Obrázek 4: Měrná křivka bezpečnostního přelivu VD Kutřín. [2,3]

3.1.4. Spodní výpusti

V dolní části hráze je situován funkční objekt, který je umístěn v samostatném dilatačním bloku a jsou v něm, společně s migračním prostupem, navrženy dvě



shodné spodní výpusti o průměru DN1200. Samotný vtok je řešen hydraulicky vhodným zaoblením. Každá výpust je v souladu s TNV 75 2415 vybavena dvěma uzávěry. Pod výtokem spodních výpustí je voda dále svedena odpadním tunelem do vývaru. [3,17]

Základní parametry výpustí dle projektové dokumentace pro provádění stavby [3]:

| | |
|--|---------------------------------------|
| - Průměr spodních výpustí na výtoku: | DN1200 |
| - Počet spodních výpustí: | 2 |
| - Osa spodních výpustí: | 424,65 m n. m. |
| - Návrhová kapacita obou SV: | 19,5 m ³ .s ⁻¹ |
| - Rezervní šoupátkový uzávěr: | DN1200 |
| - Regulační šoupátkový uzávěr: | DN1200 |
| - Kapacita obou výpustí při hladině 425,50 m n. m. | 6,56 m ³ .s ⁻¹ |
| - Kapacita obou výpustí při hladině 440,40 m n. m. | 23,00 m ³ .s ⁻¹ |

V rámci této diplomové práce byl ověřen výpočet měrné křivky spodní výpusti. Vzhledem ke skutečnosti, že podle projektové dokumentace je vtok spodní výpusti navržen za normálního provozu jako nezatopený, je třeba ve výpočtu zohlednit přechod mezi tlakovým a beztlakovým režimem proudění. Výpočet uvažuje s přechodem do tlakového režimu proudění po překročení kapacity potrubí.

Průtok spodní výpustí je řešen při volné hladině (beztlakový režim proudění) pomocí rovnice pro hydraulicky velký otvor, kde se průtok stanovuje na základě integrace příčného průřezu otvoru [9]. Pro zjednodušení byl uvažovaný kruhový průřez rozdělen pomocí jednotkové kružnice na několik obdélníkových proužků o šířce 0,06 m. Pro každý obdélníkový proužek byla vždy v závislosti na poloze hladiny počítána hodnota průtoku podle následující rovnice:

$$Q = m \cdot b \cdot \sqrt{2 * g} \cdot (h_2^{3/2} - h_1^{3/2}) \quad (1)$$



Kde m je přepadový součinitel (-), b je šířka uvažovaného průtokového průřezu (m), h_2 je vzdálenost dolní hrany uvažovaného průřezu od hladiny (m), h_1 je vzdálenost horní hrany uvažovaného průřezu od hladiny (m). Výsledná hodnota průtoku pro konkrétní stav se rovná sumě hodnot jednotlivých proužků.

Výpočet kapacity spodní výpusti při zatopení výpustného potrubí (tlakový režim) je řešen pomocí rovnice [10]:

$$Q = \mu_v \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_t} \quad (2)$$

Kde μ_v je výtokový součinitel (-), D je průměr potrubí (m), g je tíhové zrychlení ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$), H_t je tlačná výška k ose potrubí (m).

Součinitel výtoku je určen na základě rovnice [10]:

$$\mu_v = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \lambda * \frac{L}{D} + \Sigma \xi_i}} \quad (3)$$

Kde α je Coriolisovo číslo (-), λ je součinitel ztrát třením (-), L je délka potrubí spodní výpusti (m), D je průměr potrubí spodní výpusti (m), ξ_i je součinitel místní ztráty (m).

Pro určení součinitele ztrát třením byl využit vztah dle Šereka:

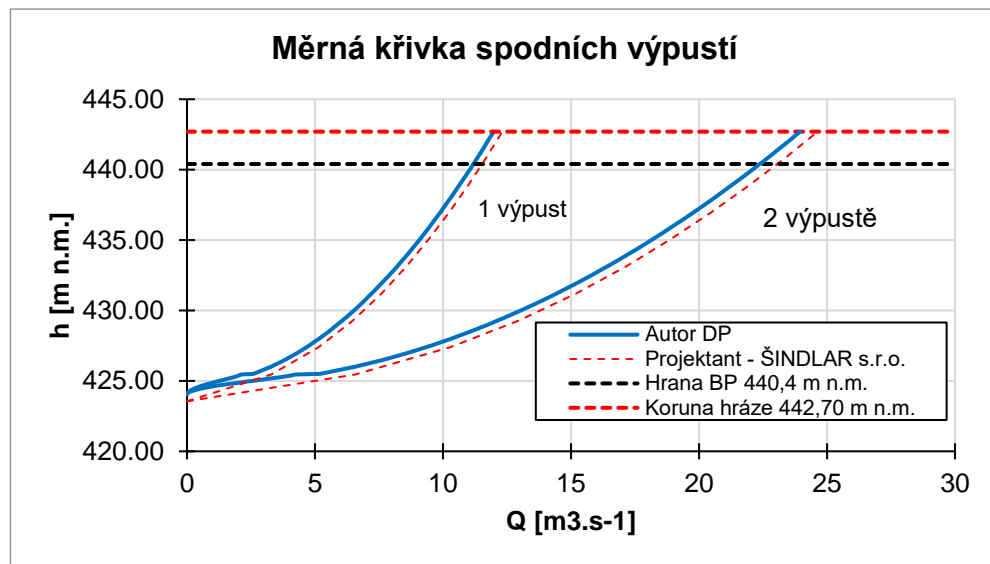
$$\lambda = \left[\frac{1}{\left(2 \log \left(\frac{\Delta}{D}\right) - 1,13874\right)^8} + \frac{0,01}{Re} \right]^{1/4} \quad (4)$$

Kde Δ je hydraulická drsnost potrubí (m), D je průměr potrubí spodní výpusti (m), Re je Reynoldsovo číslo určené pomocí vztahu:

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (5)$$

Kde v je rychlost proudění vody ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), ν je kinematická viskozita vody při tlaku $10^5 \text{ Pa} = 1,01 \cdot 10^{-6} (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$.

Z výše uvedeného vyplývá, že výsledná měrná křivka (obrázek 5) se v beztlakovém režimu řídí podle rovnice 1 a po překročení kapacity potrubí přechází do tlakového režimu proudění podle rovnice 2.



Obrázek 5: Měrná křivka spodní výpusti VD Kutřín.

Dle obrázku 5 je patrný nesoulad mezi měrnou křivkou uvažovanou v rámci projektové dokumentace a měrnou křivkou vypočtenou dle výše uvedených postupů. Je to způsobeno jednak tím, že v případě DPS bylo chybně uvažováno s kótou vtokového bazénu spodních výpustí (423,55 m n. m.) jako s kótou dna vtoku (424,05 m n.m.). Dále nebylo uvažováno s výpočtem, který by zohledňoval proudění v beztlakovém režimu. [3]

Dle vypočtené měrné křivky byly upraveny výše uvedené parametry spodní výpusti v rámci DPS následovně:

- Kapacita obou výpustí při hladině 425,55 m n. m. $5,20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- Kapacita obou výpustí při hladině 440,40 m n. m. $22,38 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$



3.2. Hydrologické poměry

Pro potřeby optimalizace bylo třeba znát neškodný průtok v profilu města Luže. Tato hodnota byla získána z evidenčního listu hlásného profilu průtokoměrné stanice Luže. Byla stanovena na základě průtoku odpovídající 3. stupni povodňové aktivity (SPA), který je roven hodnotě $25,29 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Při překročení této hodnoty průtoku již dochází ke vzniku škod většího rozsahu, ohrožení životů a majetku v záplavovém území podle § 70 zákona č. 254/ 2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). (příloha 1)

Hydrologické údaje byly poskytnuty od Českého hydrometeorologického ústavu. O hydrologické údaje bylo žádáno v rámci projekční činnosti. [3]

Základní hydrologické údaje z roku 2017 pro tok Krounka v profilu „nad náпустným objektem pro MVN Kutřín – cca 10,0 ř.km“

Tabulka 1: Hydrologické údaje pro tok Krounka.

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--|--|
| Vodní tok | | | | | | | | | | | | | Krounka | |
| Číslo hydrologického pořadí | | | | | | | | | | | | | 1-03-03-0550-0-00 | |
| Profil | | | | | | | | | | | | | VD Kutřín – cca 10,0 ř.km | |
| Souřadnice v S JTSK | | | | | | | | | | | | | x = -629884 m y = - 1086897 m | |
| Plocha povodí A | | | | | | | | | | | | | 50,31 km ² | |
| Dlouhodobá průměrná roční výška srážek na povodí P_a | | | | | | | | | | | | | 772 mm | |
| Dlouhodobý průměrný průtok Q_a | | | | | | | | | | | | | 0.594 m ³ .s ⁻¹ třída III. | |
| M-denní průtoky Q_{Md} | | | | | | | | | | | | | m³.s⁻¹ | |
| 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 355 | 364 | třída | |
| 1,64 | 1,00 | 0,699 | 0,515 | 0,388 | 0,294 | 0,221 | 0,162 | 0,113 | 0,071 | 0,031 | 0,010 | 0,0045 | III. | |
| N-leté průtoky Q_N | | | | | | | | | | | | | m³.s⁻¹ | |
| 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | třída | | | | | | | |
| 4,79 | 7,80 | 13,1 | 18,0 | 23,8 | 32,9 | 40,8 | III. | | | | | | | |



Základní hydrologické údaje z roku 2017 pro tok Novohradky v profilu „hlásný profil Luže - 28,35 ř.km“.

Tabulka 2: Hydrologické údaje pro tok Novohradka v profilu průtokoměrné stanice Luže.

| | | | | | | | |
|--|------|-------------------------------------|-------|---------------------------------|-------|------------|-------|
| Vodní tok | | Novohradka | | | | | |
| Číslo hydrologického pořadí | | 1-03-03-060 | | | | | |
| Profil | | Hlásný profil Luže – 28,35 ř.km | | | | | |
| Souřadnice | | 16,0263417 v.d. | | 49,8871912 s.š. | | | |
| Plocha povodí A | | 152,45 | | km ² | | | |
| Dlouhodobý průměrný průtok Q_a | | 1,22 | | m ³ .s ⁻¹ | | třída III. | |
| N-leté průtoky Q_N | | m³.s⁻¹ | | | | | |
| 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | třída |
| 10,9 | 16,7 | 26 | 34,30 | 43,70 | 57,80 | 69,70 | III. |

3.3. Hydrologické studie

Pro zpracování diplomové práce byla dále k dispozici hydrologická studie pro stanovení průběhu teoretické povodňové vlny TPV10000 v profilu poldru Kutřín [5] a hydrologická studie pro průběh návrhové povodňové vlny TPV100 v profilu poldru Kutřín – Krounka [7].

4. VÝPOČETNÍ PŘEDPOKLADY

Metodika řešení spočívá ve vytvoření srážko-odtokového modelu a optimalizačního systému, který řeší transformaci povodňové vlny v nádrži a říční síti. Srážko-odtokový model umožní určit především vstupy pro optimalizační systém v podobě neovlivněných hydrogramů povodí a dob dotoku jednotlivých říčních úseků. Optimalizační systém umožní simulovat průběh povodňových událostí a na základě hydrologické situace v říčních úsecích řek Krounky a Novohradky stanoví optimální hodnotu neškodného odtoku z poldru Kutřín, který v profilu průtokoměrné stanice Luže způsobí nejmenší kulminační průtok.

Veškeré výsledky budou posuzovány s ohledem na neškodný průtok v průtokoměrné stanici ve městě Luže (kapitola 3.2). Uvedený SPA je platný pro úsek horního toku Novohradky až po soutok s vodním tokem Žejbro. (příloha 1) Z výše uvedeného vyplývá, že při průtoku nižším než je neškodný průtok v obci Luže, je zajištěna ochrana intravilánu i níže ležících obcí jako jsou Lozice,



Jenišovice a Chroustovice. Z tohoto důvodu bude hydrologický model sestaven pouze po uzávěrový profil průtokoměrné stanice Luže.

Zároveň veškeré výpočty budou stanoveny s ohledem na posouzení bezpečnosti VD podle zásad ČSN 75 2935. Z tohoto důvodu bude kontrolována hladina v nádrži a její poloha vůči MBH = 442,70 m n.m. [15]

Posuzované varianty budou vyhodnoceny pro povodňové události s různými dobami opakování ve škále $N=1, 2, 5, 10, 20, 50$ a 100 let. U povodní nižších četností, než je 100 let, se předpokládá, že již nelze zajistit žádnou manipulací na VD Kutřín neškodný průtok ve městě Luže. V rámci výsledků budou pro úplnost vyhodnoceny průtokové stavy ve městě Luže i pro souběh povodňových vln s různou dobou opakování až do Q_{100} . Vzhledem ke geografické podobnosti obou povodí lze s největší pravděpodobností očekávat kombinace povodňových epizod se shodnou dobou opakování, popřípadě lišící se o jeden řád.

5. HYDROLOGICKÝ MODEL

Pro řešení úlohy optimalizace řízení odtoku je třeba mít k dispozici kvalitní hydrologické podklady v podobě neovlivněných hydrogramů s různou dobou opakování pro všechna výpočetní subpovodí. Dále je třeba znát doby dotoku pro jednotlivé říční úseky mezi výpočetními profily. Vzhledem k tomu, že pro potřeby této diplomové práce nebyly hydrogramy ani doby dotoku k dispozici, je třeba nejprve sestavit a verifikovat srážko-odtokový model.

K tomu byl použit volně dostupný deterministický hydrologický model *HEC – HMS* verze 4.8, jehož autorem je U.S. Army Corps of Engineers. V praxi je tento software využíván v provozních podmínkách Českým hydrometeorologickým ústavem za účelem vydávání teoretických povodňových vln. [5,12] Model obsahuje soubor hydrologických modelovacích přístupů pro stanovení výšky efektivního deště a odvození průběhu povodňové vlny na základě transformační funkce povodí. [4,5]



Pro sestavení hydrologického modelu byly v této diplomové práci využity následující modelovací techniky, které jsou shodné s metodikou ČHMÚ [5,12]:

- Pro stanovení podílu tzv. efektivního deště **metoda CN křivek**.
- Pro určení povrchového odtoku **metoda Clarkova dvouparametrického okamžitého jednotkového hydrogramu**.
- Pro výpočet postupové doby a transformace hydrogramů v říčních úsecích metoda **Muskingum – Cunge**.

5.1. Sestavení srážko-odtokového modelu

V případě sestavení hydrologického modelu bylo postupováno dle metodiky ČHMÚ pro odvození teoretických povodňových vln v těchto krocích [5]:

- 1 Schématické rozdělení řešeného povodí na jednotlivé subpovodí a říční úseky.
- 2 Určení základních fyzicko-geografických parametrů povodí a říčních úseků.
- 3 Určení parametrů pro výpočet efektivního deště a odtokových ztrát metodou CN křivek na základě půdních poměrů a využívání území.
- 4 Určení parametrů jednotkového hydrogramu na základě fyzicko-geografických parametrů povodí.
- 5 Určení parametrů pro výpočet postupu vlny v korytě metodou Muskingum – Cunge
- 6 Sestavení návrhového hyetogramu podle kterého bude návrhová srážka rozdělena do hodinových intervalů.
- 7 Verifikace hydrologického modelu.
- 8 Výpočet teoretických povodňových vln.

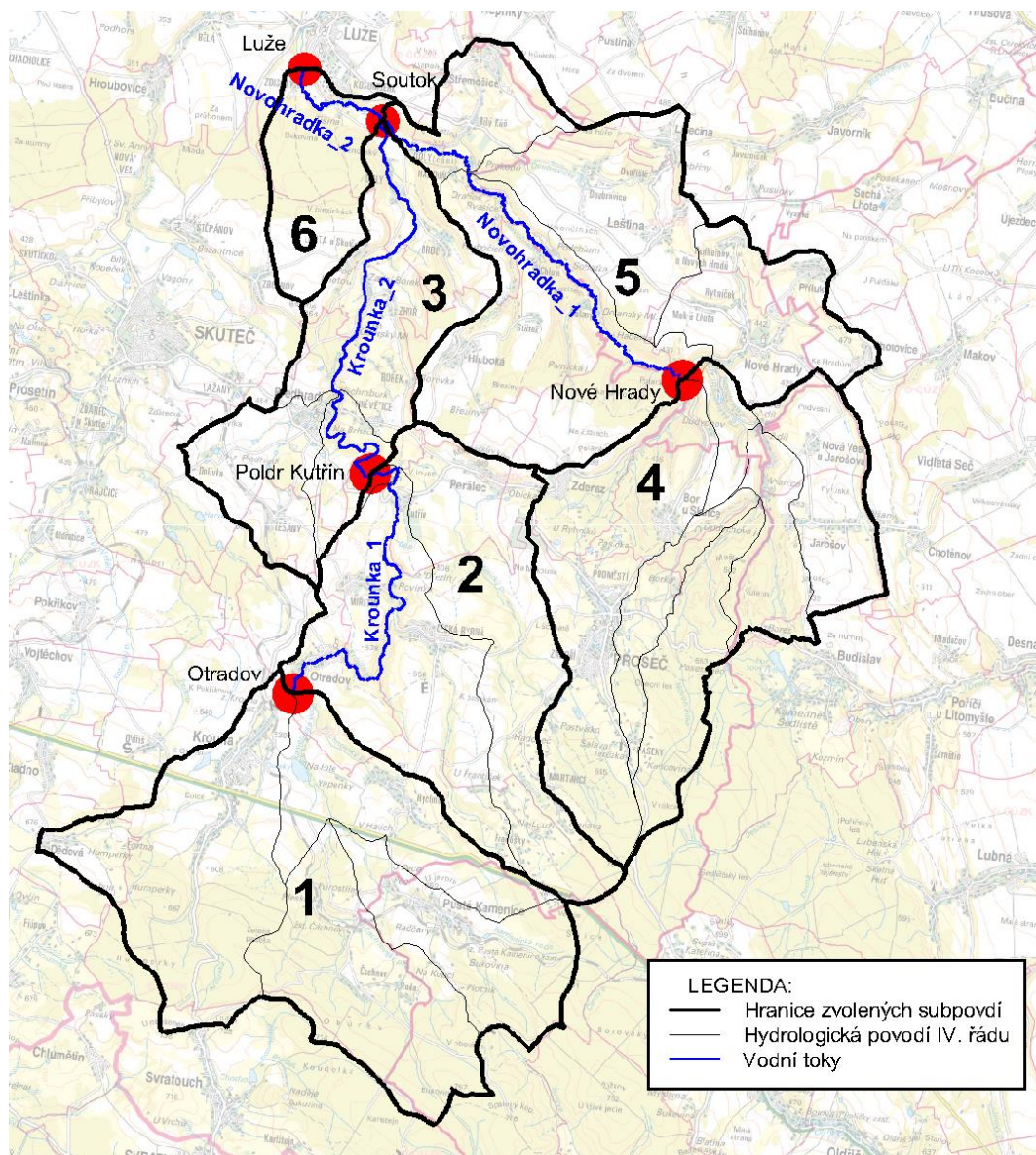
5.1.1. Schématické rozdělení řešené části povodí

Novohradky

Jako první krok při sestavení srážko-odtokového modelu je rozdělení řešeného povodí na jednotlivé subpovodí a říční úseky. Řešená část povodí Novohradky byla rozdělena podle hydrologických povodí IV. řádu na 6 subpovodí a 4 říční úseky dle obrázku 6. Důvod rozdělení povodí a říčních úseků vyplývá

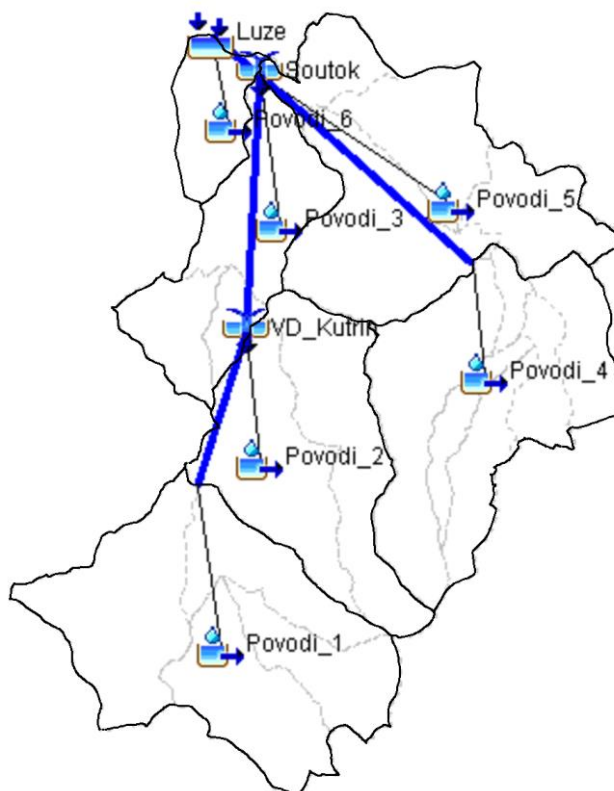


také z požadavku na zjištění dotokové doby ze stávajících a plánovaných průtokoměrných stanic. Říční úsek Krounka_1 má tak počáteční profil ve stávající průtokoměrné stanici Otradov a říční úsek Novohradka_1 má tak počáteční profil v plánované průtokoměrné stanici Nové Hrady. Dále jsou na obrázku 6 naznačeny polohy profilu VD Kutřín a závěrového profilu města Luže, které jsou stěžejní pro vodohospodářské řešení vyplývající ze zadání diplomové práce.



Obrázek 6: Rozdělení řešené části povodí řeky Novohradky na dílčí výpočetní subpovodí a říční úseky. [21, 22]

Na základě rozdělení povodí (obrázek 6) byl sestaven schématický výpočetní model v prostředí HEC – HMS (obrázek 7).



Obrázek 7: Hydrologický model povodí Novohradky po stanici Luže v softwaru HEC – HMS 4.8.

V tabulkách 3 a 4 je uvedeno, jakým způsobem jsou jednotlivé povodí a říční úseky v modelu řazeny za sebou, neboli, do jakých profilů bude vygenerovaný hydrogram zaústěn.

Tabulka 3: Řazení říčních úseků ve výpočetním modelu.

| Říční úsek | Počáteční profil | Koncový profil |
|--------------|---|----------------|
| Krounka_1 | Stávající průtokoměrná stanice Otradov | VD Kutřín |
| Krounka_2 | VD Kutřín | Soutok |
| Novohradka_1 | Plánovaná průtokoměrná stanice Nové Hrady | Soutok |
| Novohradka_2 | Soutok | Luže |

Tabulka 4: Řazení povodí ve výpočetním modelu.

| Povodí | Zaústění |
|----------|--------------|
| Povodi_1 | Krounka_1 |
| Povodi_2 | VD Kutřín |
| Povodi_3 | Soutok |
| Povodi_4 | Novohradka_1 |
| Povodi_5 | Soutok |
| Povodi_6 | Luže |



5.1.2. Fyzicko – geografické charakteristiky povodí a říčních úseků

Jako další krok pro sestavení modelu je určení základních fyzicko – geografických parametrů povodí a říčních úseků. Pro tyto účely byly využity především mapy s vyznačenými vrstevnicemi společně s nástroji v prohlížeči ZABAGED – analýza výškopisu, kterou spravuje Český úřad zeměměřický a katastrální (dále jen ČÚZK). Dále byly využity datové vrstvy objektů digitální báze vodohospodářských dat (dále jen DIBAVOD) ve formátu ESRI shapefile. [22,23]

V následujících podkapitolách jsou uvedeny způsoby stanovení potřebných charakteristik povodí a říčních úseků.

5.1.3. Plochy povodí a délka říčních úseků

Pro potřeby stanovení ploch a délky údolnic, na jednotlivých subpovodí, byl využit software AutoCad, kde byl načten shapefile soubor hydrologických rozvodnic IV. řádu a vodních toků dostupných z portálu DIBAVOD. Pomocí nástrojů v softwaru AutoCad byly jednoduše odečteny plochy zvolených dílčích povodí a délky údolnic.

Tabulka 5: Stanovené plochy povodí a délky říčních úseků

| | Jednotky | Povodí 1 | Povodí 2 | Povodí 3 | Povodí 4 | Povodí 5 | Povodí 6 |
|------------------|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| plocha povodí | [km ²] | 37.9 | 25.4 | 17.1 | 38.9 | 26.9 | 5.9 |
| délka údolnice L | [m] | 7225 | 7492 | 9235 | 10630 | 8711 | 2314 |

5.1.4. Průměrný sklon povodí Y a sklon toku S_{10-85}

Průměrný sklon povodí Y a sklon toku S_{10-85} byl určen pomocí mapy s vyznačenými vrstevnicemi společně s nástroji v aplikaci ZABAGED. V případě průměrného sklonu povodí Y bylo vybráno několik charakteristických profilů v každém dílčím subpovodí a konečná hodnota sklonu povodí byla určena průměrem těchto hodnot. Sklon toku S_{10-85} je průměrný sklon nejdelší údolnice v povodí mezi 10 % a 85 % její délky ve stopách na míli. Sklon S_{10-85} byl zvolen i jako sklon vodního toku pro charakteristiku říčního úseku.



Tabulka 6: Hodnoty průměrného sklonu povodí a sklonu toku

| | Jednotky | Povodí 1 | Povodí 2 | Povodí 3 | Povodí 4 | Povodí 5 | Povodí 6 |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| průměrný sklon povodí Y | [%] | 5 | 5 | 7.2 | 6 | 7.5 | 5 |
| sklon toku S ₁₀₈₅ | [%] | 2.2 | 1 | 1.2 | 2.4 | 0.6 | 0.4 |
| | [ft/mil] | 116.06 | 52.75 | 63.30 | 126.61 | 31.65 | 21.10 |

5.1.5. Nepropustné plochy

Pro stanovení procenta nepropustných ploch jednotlivých povodí byl v softwaru AutoCad načten shapefile soubor nepropustných ploch, který je volně dostupný na stránkách ČÚZK, zde bylo pomocí nástrojů AutoCad zjištěna jejich plocha a následně byla přepočítána na procenta v závislosti na velikosti dílčích povodí.

Tabulka 7: Procentuální zastoupení nepropustných ploch na povodí.

| | Jednotky | Povodí 1 | Povodí 2 | Povodí 3 | Povodí 4 | Povodí 5 | Povodí 6 |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| nepropustné plochy | [%] | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1.5 |

5.1.6. Metoda CN křivek

Metoda CN křivek neboli metoda SCS – CN (Soil Conservation Service Curve Number) byla vyvinuta americkým ústavem pro ochranu půdy. Modelovací technika spočívá v separaci celkového srážkového úhrnu na ztráty (retenci) a efektivní déšť podle CN křivek, které vyjadřují vlastnosti povodí z hlediska půdních poměrů, typu krajinného pokryvu a vláhových podmínek. Pro srážkoodtokovou událost se u metody CN křivek předpokládá platnost vztahu [6]:

$$\frac{F}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} [mm] \quad (6)$$

A zároveň musí platit:

$$P = P_e + I_a + F [mm] \quad (7)$$



Kde P je celkový srážkový úhrn (mm), F je aktuální (skutečná) retence od doby počátku odtoku (mm), I_a je počáteční retence (ztráta) před začátkem odtoku [mm], P_e je efektivní srážkový úhrn (hodnota přímého odtoku) (mm) a S je potenciální maximální retence na povodí od doby počátku odtoku (mm).

Dosazením rovnice (7) do úvodní rovnice (6) získáme po úpravě následující tvar:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a} [mm] \quad (8)$$

Na základě experimentálního výzkumu SCS na menších povodí byl odvozen empirický vztah mezi počáteční retencí I_a a maximální retencí na povodí S , který říká že:

$$I_a = 0,2S [mm] \quad (9)$$

Hodnota přímého odtoku P_e je potom rovna:

$$P_e = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} [mm] \quad (10)$$

Hodnota potenciální retence S je dále stanovena na základě hodnoty CN :

$$S = \frac{1000 - 10 \cdot CN}{CN} [mm] \quad (11)$$

Metodika stanovení čísla CN vychází z kategorizace půdního pokryvu (LU – landuse) a hydrologických vlastností půd, které jsou rozdělené do 4 skupin, označené jako „A, B, C, D“, na základě minimálních rychlostí infiltrace, kdy v hydrologické skupině A jsou půdy s vysokou rychlostí infiltrace a ve skupině D půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace. Pro každou kategorii LU se určují celkem čtyři hodnoty CN na základě čtyř hydrologických skupin. [6,8]

Posledním parametrem při určování hodnoty CN je vlhkost půdy, která je určována na základě 5-ti denního úhrnu předchozích srážek, neboli indexu předchozích srážek (IPS). Stanovené hodnoty CN , dle výše uvedené metodiky, odpovídají průměrným vlhkostrním podmínkám IPS II. Tato hodnota CN je



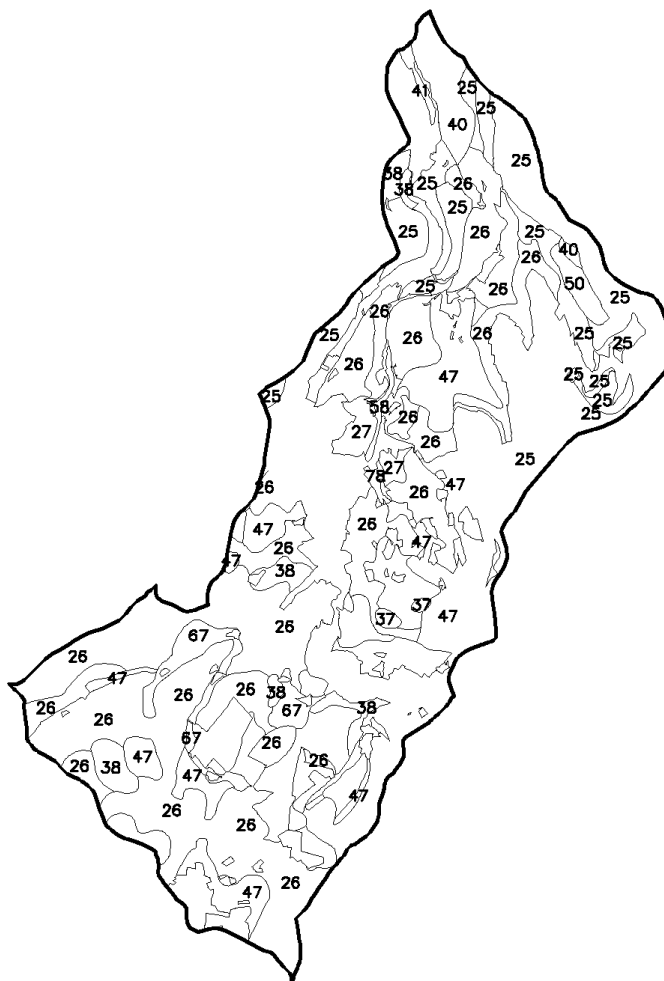
označována jako CN_{II} a je používána například při stanovování velikosti odtoku u teoretických povodňových vln. Pro nižší stupeň nasycení povodí (IPS I) a pro vysoký stupeň nasycení povodí (IPS III) je možné dopočítat hodnoty CN_I a CN_{III} pomocí nesledujících rovnic [6,8]:

$$CN(I) = \frac{CN(II)}{2,281 - 0,01281CN(II)} [-] \quad (12)$$

$$CN(III) = \frac{CN(II)}{0,427 + 0,00573CN(II)} [-] \quad (13)$$

5.1.7. Stanovení hodnot CN pro zvolené subpovodí

Vzhledem k různorodosti půd na jednotlivých subpovodí bylo v prvním kroku potřeba stanovit pro každé subpovodí jednotnou hydrologickou skupinu půd. Ta byla určena pomocí shapefile souboru mapy bonitované půdně ekologické jednotky (BPEJ), kde druhé a třetí číslo značí hodnotu hlavní půdní jednotky (HPJ). V softwaru AutoCad bylo zjištěno procentuální zastoupení jednotlivých ploch HPJ na dílčích subpovodí.



Obrázek 8: Mapa HPJ pro subpovodí 3

Každé kategorii HPJ byla přiřazena hydrologická skupina půd podle metodiky [8]. Pro výpočet jednotné hodnoty hydrologické skupiny půd byly hydrologickým skupinám přiřazeny jejich váhy (tabulka 8).

Tabulka 8: Přiřazená váha hydrologickým skupinám půd

| Hydrologická skupina půd | Váha |
|--------------------------|------|
| A | 1 |
| B | 2 |
| C | 3 |
| D | 4 |

Na základě procentuálního zastoupení HPJ na dílčích subpovodí a přiřazené váhy hydrologické skupiny, byly vypočítány váhy hydrologických skupin na dílčích subpovodích (tabulka 9).



Tabulka 9: Výpočet váhy hydrologických skupin na dílčích subpovodí.

| Kategorie v mapě HPJ | Hydrologická skupina | Zastoupení HPJ v % na dílčích subpovodí | | | | | | |
|---|----------------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | Váha | Povodí 1 | Povodí 2 | Povodí 3 | Povodí 4 | Povodí 5 | Povodí 6 |
| 19 | C | 3 | - | - | 0.6 | - | - | 6.5 |
| 20 | D | 4 | - | - | 19.1 | 2.4 | - | 2.6 |
| 22 | B | 2 | - | - | - | 0.4 | - | - |
| 25 | B | 2 | - | 2.4 | 65.4 | 41.7 | 13 | 64.1 |
| 26 | B | 2 | 1 | 12.6 | - | - | 56.8 | - |
| 27 | B | 2 | - | 0.1 | - | 0.7 | 1.3 | - |
| 29 | B | 2 | 9.1 | 24.8 | - | 10.5 | - | - |
| 32 | A | 1 | - | - | - | 0.4 | - | - |
| 34 | B | 2 | 30.5 | 2.6 | - | 1.7 | - | - |
| 37 | B | 2 | 3.3 | 9.8 | - | 7.4 | 1.1 | 6.1 |
| 38 | D | 4 | - | - | 0.1 | 2.7 | 3.1 | 1.1 |
| 40 | B | 2 | 0.2 | - | 10 | 1 | 3.6 | 0.4 |
| 41 | D | 4 | - | 0.2 | 1.2 | 1.2 | 0.3 | - |
| 47 | C | 3 | 1.3 | 23.6 | 0.4 | 7 | 12.8 | - |
| 48 | C | 3 | 2.3 | 0.2 | 1.1 | - | 1.9 | - |
| 50 | C | 3 | 43.8 | 18.3 | 1 | 12.3 | 2.6 | 2.4 |
| 54 | D | 4 | - | - | 1.1 | - | - | - |
| 56 | B | 2 | - | - | - | 0.1 | - | 4.2 |
| 58 | C | 3 | - | - | - | - | 0.3 | 12.6 |
| 64 | C | 3 | 1.2 | 0.2 | - | - | - | - |
| 66 | C | 3 | 1.8 | - | - | - | - | - |
| 67 | C | 3 | 1.6 | 0.2 | - | 7.7 | 2.8 | - |
| 68 | C | 3 | 0.1 | 3.9 | - | 2.8 | - | - |
| 70 | C | 3 | 0.7 | 1.1 | - | - | - | - |
| 73 | C | 3 | 0.7 | - | - | - | - | - |
| 74 | C | 3 | 2.4 | - | - | - | - | - |
| 78 | C | 3 | - | - | - | - | 0.2 | - |
| Váha hydrologické skupiny půd na dílčích subpovodí | | | 2.56 | 2.48 | 2.46 | 2.42 | 2.27 | 2.29 |

Dále byly podle metodiky [8] přiřazeny průměrná čísla odtokových křivek *CN* pro jednotlivé využití půd a hydrologické skupiny půd (tabulka 10).



Tabulka 10: Průměrná čísla odtokových křivek pro využití území.

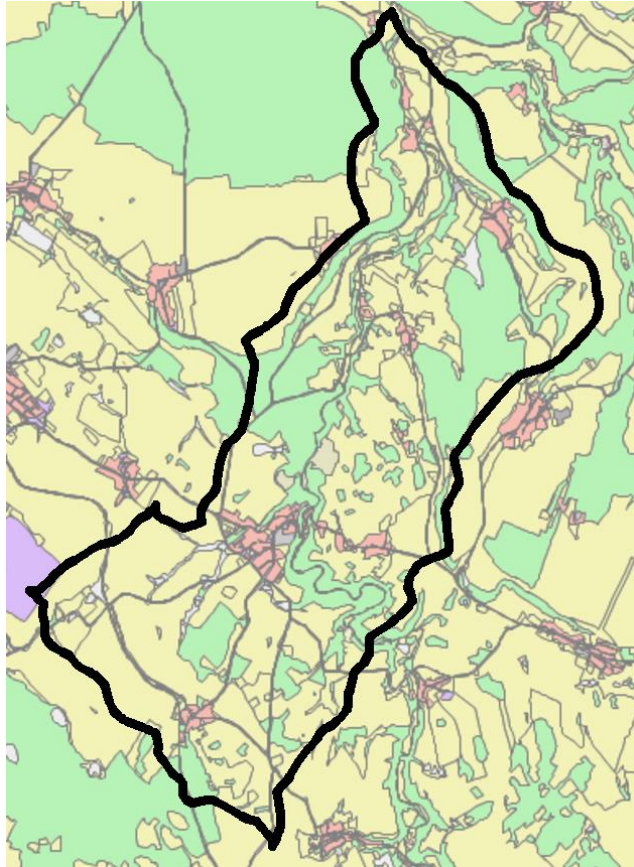
| Využití území | Skupina půd | | | |
|------------------------------------|-------------|-----|-----|-----|
| | A | B | C | D |
| Lesy | 36 | 60 | 73 | 79 |
| Orná půda | 68 | 79 | 86 | 89 |
| Louky/ Trvalý travní porost | 49 | 69 | 79 | 84 |
| Městská zástavba | 76 | 85 | 89 | 91 |
| Vodní plochy | 100 | 100 | 100 | 100 |

Pomocí váhy hydrologických skupin na dílčích subpovodích byly lineární interpolací dopočteny hodnoty průměrných čísel odtokových křivek *CN* pro jednotlivá subpovodí (tabulka 11).

Tabulka 11: Průměrná čísla odtokových křivek pro využití území s uvážením hydrologické skupiny.

| Využití území | CN [-] | | | | | |
|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Povodí 1 | Povodí 2 | Povodí 3 | Povodí 4 | Povodí 5 | Povodí 6 |
| Lesy | 67.3 | 66.2 | 66.0 | 65.5 | 63.5 | 63.8 |
| Orná půda | 82.9 | 82.4 | 82.2 | 81.9 | 80.9 | 81.0 |
| Louky/ Trvalý travní porost | 74.6 | 73.8 | 73.6 | 73.2 | 71.7 | 71.9 |
| Městská zástavba | 87.2 | 86.9 | 86.8 | 86.7 | 86.1 | 86.2 |
| Vodní plochy | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

V posledním kroku byly z mapy ZABAGED – využití území, dostupné na stránkách ČÚZK, zjištěny plochy jednotlivých území s různým využitím půd (obrázek 9).



Obrázek 9: Ukázka mapy landuse pro subpovodí 3

Pomocí váženého průměru byly dopočítány konkrétní hodnoty CN křivek pro jednotlivá subpovodí:

$$CN = \frac{\sum_{i=1}^n CN_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} [-] \quad (14)$$

Kde A_i je plocha území s různým využitím na příslušném povodí (m^2). V následující tabulce jsou uvedeny vypočtené hodnoty CN křivek pro zvolené subpovodí.



Tabulka 12: Plochy využití území pro jednotlivé povodí a hodnoty CN křivek.

| Využití území | Plocha [km ²] | | | | | |
|-----------------------------|---------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Povodí 1 | Povodí 2 | Povodí 3 | Povodí 4 | Povodí 5 | Povodí 6 |
| Lesy | 20.8 | 8.9 | 11.1 | 25.3 | 18.8 | 4.1 |
| Orná půda | 11.4 | 12.7 | 3.4 | 2.7 | 5.1 | 0.8 |
| Louky/ Trvalý travní porost | 2.7 | 1.0 | 1.7 | 8.9 | 0.8 | 0.6 |
| Městská zástavba | 1.9 | 1.3 | 0.3 | 0.8 | 1.9 | 0.2 |
| Vodní plochy | 1.1 | 1.5 | 0.2 | 0.4 | 0.3 | 0.1 |
| Celková plocha | 37.9 | 25.4 | 17.1 | 38.9 | 26.9 | 5.9 |
| CN | 74.5 | 77.7 | 69.4 | 67.9 | 69.0 | 67.5 |

Na základě známé hodnoty *CN* bylo možné dále dopočítat potenciální maximální retenční kapacitu *S* pomocí rovnice 11 a hodnota počáteční ztráty *I_a* pomocí rovnice 9.

Tabulka 13: Hodnoty maximální retenční kapacity *S* a počátečních ztrát

| | Jednotky | Povodí 1 | Povodí 2 | Povodí 3 | Povodí 4 | Povodí 5 | Povodí 6 |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| potenciální max. ret. kapacita <i>S</i> | [mm] | 3.42 | 2.87 | 4.41 | 4.73 | 4.49 | 4.81 |
| hodnota počáteční ztráty <i>I_a</i> | [mm] | 0.68 | 0.57 | 0.88 | 0.95 | 0.90 | 0.96 |

5.1.8. Metoda jednotkového hydrogramu

Metoda jednotkového hydrogramu, popsána Shermanem v roce 1932, využívá konvoluce k vyjádření vztahu mezi srážkou a odtokem. Jako transformační funkce, která vyjadřuje rozdělení jednotkových objemů odtoku v závislosti na vlastnostech povodí, je používán okamžitý jednotkový hydrogram. [6,14]

Hlavní předpoklady pro aplikace metody:

- Povodí se chová jako lineární systém.
- Transformační funkce je invariantní
- Příčinná srážka zasahuje rovnoměrně celé povodí.

Obecný princip této metody je podrobně popsán v literatuře, například [6]. Dnes existují různé formy jednotkového hydrogramu. Pro potřeby této diplomové



práce byla zvolena metoda Clarkova dvouparametrického jednotkového hydrogramu, shodně jako v metodickém postupu ČHMÚ [5,13]. Pro její použití v prostředí *HEC-HMS* je třeba znát tyto parametry [4]:

- Doba koncentrace T_c [hod]
- Retenční koeficient R [hod]

Doba koncentrace T_c značí časový úsek, za který se částice vody dostane z nejvzdálenějšího místa povodí k uzávěrovému profilu povodí. Čas koncentrace se podle SCS odhaduje jako 1,67násobek doby doběhu $tLAG$ [4]:

$$T_c = 1,67 \cdot tLAG \text{ [hod]} \quad (15)$$

Kde $tLAG$ je doba doběhu, který značí časový posun v hodinách mezi kulminací příčinné srážky, dopadající na povodí a kulminací odtoku v koncovém profilu povodí. Hodnota $tLAG$ byla vypočtena pomocí vzorce SCS [4]:

$$tLAG = \frac{L^{0,8} \cdot (S + 1)^{0,7}}{1900 \cdot \sqrt{Y}} \text{ [hod]} \quad (16)$$

Kde L je maximální délka údolnice (stopy), Y je průměrný sklon povodí (%), S je potenciální maximální retenční kapacita povodí (mm).

Retenční koeficient R , též nazýván Clarkův transformační faktor, je ukazatelem doby zdržení vody v povodí, při jejím odtoku do uzávěrového profilu. Clarkův transformační faktor R byl stanoven na základě metodiky USGS [4]:

$$R = A \cdot L^B \cdot S_{10-85}^C \text{ [hod]} \quad (17)$$

Kde L je maximální délka toku v povodí (míle), S_{10-85} je průměrný sklon nejdelší údolnice (ft/míle). A , B , C jsou koeficienty, jejichž velikost odvodil ČHMÚ pro Českou republiku jako $A = 80$, $B = 0,342$, $C = -0,79$.



V následující tabulce jsou uvedeny parametry jednotkového hydrogramu vypočítané pomocí výše uvedených postupů.

Tabulka 14: Parametry Clarkova dvouparametrického okamžitého jednotkového hydrogramu.

| | Jednotky | Povodí 1 | Povodí 2 | Povodí 3 | Povodí 4 | Povodí 5 | Povodí 6 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| tLAG | [hod] | 2.11 | 1.97 | 2.46 | 3.14 | 2.32 | 1.03 |
| doba koncentrace T_c | [hod] | 3.51 | 3.29 | 4.10 | 5.23 | 3.87 | 1.71 |
| koeficient R | [hod] | 3.13 | 5.90 | 5.49 | 3.33 | 9.30 | 8.14 |

5.1.9. Muskingum – Cunge

Pro výpočet postupu vlny v korytě byla použita Metoda Muskingum – Cunge. Ta je založena na lineární aproximaci rovnice kontinuity a rovnice hybnosti v difúzním tvaru. [4,6] V případě použití této metody v prostředí *HEC – HMS* je třeba zadat tyto parametry pro říční úsek:

- Délka říčního úseku.
- Sklon říčního úseku.
- Charakteristický příčný profil říčního úseku.
- Manningův součinitel drsnosti.

Délka a sklon říčních úseků byly uvažovány shodně s hodnotami nejdelších říčních úseků povodí, jejichž způsob stanovení byl uveden v předchozích kapitolách.

Tabulka 15: Délky a sklon říčních úseků.

| | | Krounka_1 | Krounka_2 | Novohradka_1 | Novohradka_2 |
|--------------|-----|-----------|-----------|--------------|--------------|
| délka | [m] | 7492 | 9235 | 8711 | 2314 |
| sklon | [-] | 0.011 | 0.012 | 0.005 | 0.005 |

5.1.10. Charakteristické příčné profily říčních úseků

Charakteristické příčné profily byly do modelu zadávány pomocí osmi - bodové metody, která vyžaduje zadání 8 souřadnic (x,y), model tak předpokládá rozdělení příčného profilu koryta na kynetu a bermu. Pro určení souřadnic byla využita aplikace na stránkách ČÚZK – ZABAGED analýza



výškopisu, zde se pomocí nástrojů vykreslení profilů byl proveden výpočet několika profilů na říčních úsecích, ze kterého se potom odvodil charakteristický příčný profil pro daný výpočetní říční úsek.

Tabulka 16: Souřadnice charakteristických příčných profilů pro výpočetní říční úseky.

| Bod | Říční úsek | | | | | | | |
|-----|------------|-------|-----------|-------|--------------|-------|--------------|-------|
| | Krounka_1 | | Krounka_2 | | Novohradka_1 | | Novohradka_2 | |
| | x [m] | y [m] | x [m] | y [m] | x [m] | y [m] | x [m] | y [m] |
| 1 | 0.0 | 0.6 | 0.0 | 1.1 | 0.0 | 0.7 | 0.0 | 1.2 |
| 2 | 0.5 | 0.4 | 8.7 | 0.6 | 2.8 | 0.6 | 3.4 | 0.8 |
| 3 | 1.3 | 0.2 | 11.3 | 0.3 | 5.4 | 0.2 | 5.2 | 0.4 |
| 4 | 2.0 | 0.0 | 14.9 | 0.0 | 7.1 | 0.0 | 6.9 | 0.0 |
| 5 | 8.0 | 0.0 | 17.0 | 0.0 | 8.1 | 0.0 | 8.7 | 0.0 |
| 6 | 8.8 | 0.2 | 21.6 | 0.3 | 9.1 | 0.1 | 11.8 | 0.4 |
| 7 | 9.6 | 0.5 | 24.2 | 0.6 | 12.0 | 0.6 | 14.6 | 0.8 |
| 8 | 10.0 | 0.6 | 33.0 | 1.1 | 15.4 | 0.7 | 16.9 | 1.2 |

5.1.11. Manningova drsnost říčních úseků

V případě použití osmi-bodové metody, při zadávání charakteristik říčních úseků do modelu, je dále třeba zvlášť určit Manningovu drsnost pro bermu a kynetu. V případě bermy byla zvolena konstantní hodnota Manningova součinitele, pro říční úseky Novohradka_2, Krounka_1 a Krounka_1, o velikosti 0,08, která odpovídá inundačnímu území přirozených vodních toků se střední až velkou hustotou křovin. Pro říční úsek Novohradka_1 byla tato hodnota stanovena na velikost 0,07 z důvodu nižší hustoty křovin v daném úseku. Pro kynetu byla hodnota Manningova součinitele určena shodně pro všechny říční úseky o velikosti 0,04, která odpovídá střední hodnotě pro přirozené vodní toky se zakřivenou trasou obsahující čisté koryto s tůněmi a peřejemi.

Tabulka 17: Manningova drsnost pro jednotlivé říční úseky.

| Manningova drsnost | Kyneta Berma | [-] | Krounka_1 | Krounka_2 | Novohradka_1 | Novohradka_2 |
|--------------------|-----------------|-----|-----------|-----------|--------------|--------------|
| | | | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| | | | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.07 |



5.1.12. Odvozené parametry říčních úseků

V následující tabulce jsou souhrnně uvedeny zjištěné hodnoty parametrů říčních úseků, jejichž způsob odvození byl popsán v předchozích kapitolách.

Tabulka 18: Zjištěné hodnoty parametrů říčních úseků

| | | Krounka_1 | Krounka_2 | Novohradka_1 | Novohradka_2 |
|--------------------|--------|-----------|-----------|--------------|--------------|
| délka | [m] | 7492 | 9235 | 8711 | 2314 |
| sklon | [-] | 0.011 | 0.012 | 0.006 | 0.005 |
| Manningova drsnost | Kyneta | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| | Berma | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.07 |

5.1.13. Odvozené fyzicko – geografické parametry dílčích výpočetních subpovodí

V následující tabulce jsou souhrnně uvedeny zjištěné hodnoty fyzicko – geografických parametrů dílčích subpovodí, jejichž způsob odvození byl popsán v předchozích kapitolách.

Tabulka 19: Zjištěné hodnoty fyzicko – geografických parametrů dílčích povodí.

| | Jednotky | Povodí 1 | Povodí 2 | Povodí 3 | Povodí 4 | Povodí 5 | Povodí 6 |
|----------------------------------|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| plocha povodí | [km ²] | 37.9 | 25.4 | 17.1 | 38.9 | 26.9 | 5.9 |
| délka údolnice L | [m] | 7225 | 7492 | 9235 | 10630 | 8711 | 2314 |
| | [stopa] | 23689 | 24564 | 30279 | 34852 | 28561 | 7587 |
| | [mile] | 4.49 | 4.66 | 5.74 | 6.61 | 5.41 | 1.44 |
| průměrný sklon povodí Y | [%] | 5 | 5 | 7.2 | 6 | 7.5 | 5 |
| sklon toku S ₁₀₈₅ | [%] | 2.2 | 1 | 1.2 | 2.4 | 0.6 | 0.4 |
| | [ft/mil] | 116.06 | 52.75 | 63.30 | 126.61 | 31.65 | 21.10 |
| nepropustné plochy | [%] | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1.5 |
| hodnota CN | [-] | 74.5 | 77.7 | 69.4 | 67.9 | 69 | 67.5 |
| potenciální max. ret. kapacita S | [mm] | 3.42 | 2.87 | 4.41 | 4.73 | 4.49 | 4.81 |
| hodnota počáteční ztráty | [mm] | 0.68 | 0.57 | 0.88 | 0.95 | 0.90 | 0.96 |
| tLAG | [hod] | 2.11 | 1.97 | 2.46 | 3.14 | 2.32 | 1.03 |
| doba koncentrace Tc | [hod] | 3.51 | 3.29 | 4.10 | 5.23 | 3.87 | 1.71 |
| koeficient R | [hod] | 3.13 | 5.90 | 5.49 | 3.33 | 9.30 | 8.14 |



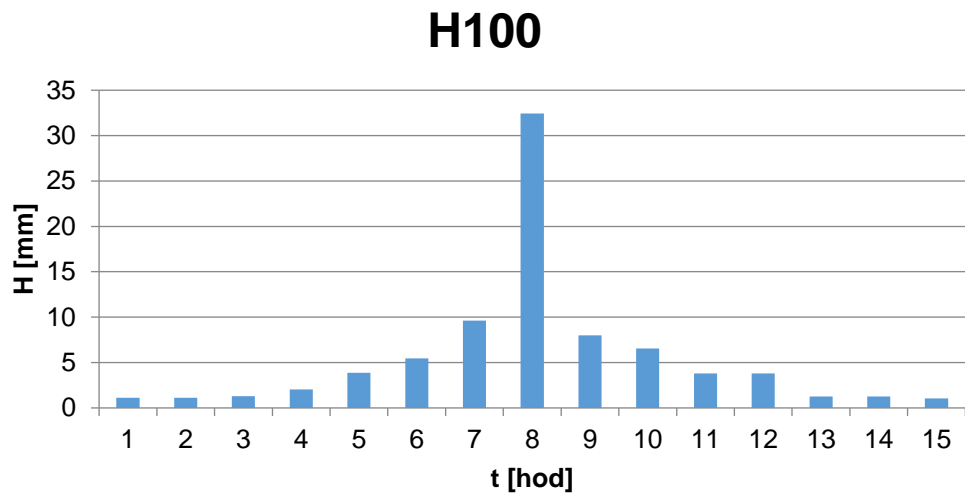
5.2. Návrhové hyetogramy

Návrhové hyetogramy řeší rozdělení maximální srážkové N-leté výšky do hodinových intervalů. Volba návrhového hyetogramu byla provedena na základě průběhu TPV_{100} a z hydrologické studie pro odvození TPV_{10000} , které byly v minulosti zpracovány ČHMÚ. V obou případech byla teoretická povodňová vlna odvozená deterministickým přístupem, kdy návrhový hyetogram byl určen z dvoudenní návrhové srážky regionálního charakteru. Tvar těchto teoretických povodňových vln potvrzují i povodně zaznamenaná ve stanici Luže z poslední doby, a to z let 2010 a 2013. Tyto povodně vznikly jako odtoková odezva na déletrvajících srážky regionálního charakteru, kdy během dvou dnů napršelo většinou od 80 do více než 100 mm srážek. [5,12,13]

Vedle tohoto typu povodně se na povodí řek Novohradky a Krounky historicky vyskytly také přívalová povodně, které vznikly z velmi intenzivních srážek kratší doby trvání, typické především pro letní období. Tento typ povodně byl naposled zaznamenán v povodí Krounky v roce 2014, kdy ve stanici Luže byl dokonce překročen 3. SPA. Během této epizody bylo zaznamenáno ve srážkoměrné stanici Svratouch téměř 78 mm srážek za 3 hodiny. [5,12]

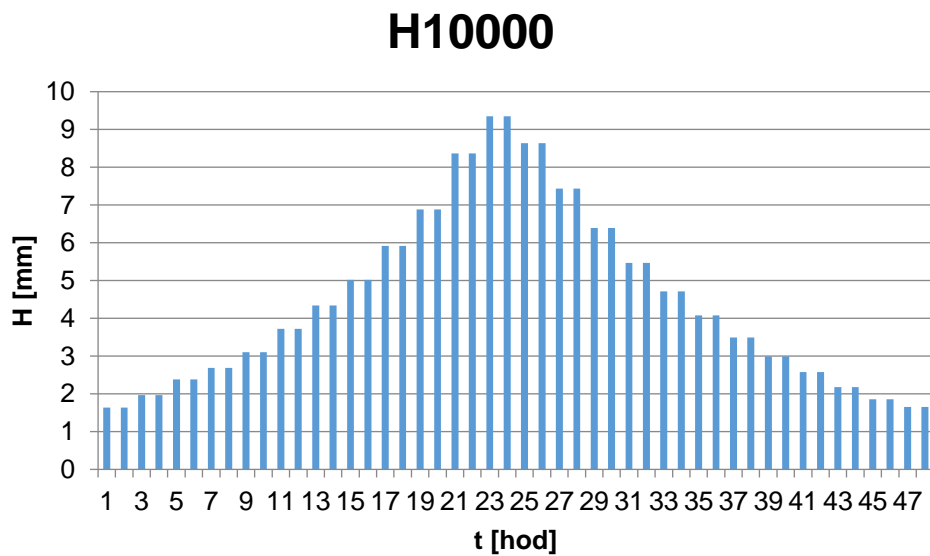
Je zřejmé, že pro oba typy povodně se bude odtoková odezva výrazně lišit jednak v tvaru a objemu samotné vlny ale také v hodnotě její kulminace. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto, že pro správné vyhodnocení řízení odtoku z vodního díla Kutřín zahrnující nejčastější povodňové scénáře, které mohou na povodí Krounky a Novohradky nastat, bude tato diplomová práce zpracována pro varianty přívalových povodní, tzv. **bleskových** a povodní vzniklých z déletrvajících srážek tzv. **regionálních**.

Pro odvození teoretických povodňových vln typu **bleskových** s dobou opakování $N=2$ až $N=100$ let byla volba návrhového hyetogramu provedena na základě metodiky ČHMÚ. [13] Tvar návrhového hyetogramu pro bleskové povodně je patrný z obrázku 10.



Obrázek 10: Typ návrhového hyetogramu pro bleskové povodně.

Pro odvození teoretických povodňových vln typu **regionálních** byl převzat 2 - denní návrhový hyetogram z hydrologické studii ČHMÚ vyvinutý ústavem fyziky atmosféry AV ČR [5]. Tvar návrhového hyetogramu je patrný z obrázku 11.



Obrázek 11: Typ návrhového hyetogramu pro regionální povodně.

5.1. Návrhové maximální N-leté denní srážkové úhrny

Pro návrhové srážky byly uvažovány hodnoty maximálních denních úhrnů srážek s pravděpodobností opakování N let podle Gumbela odvozeny za období 1901–1980 převzaty z publikace [11].

K dispozici byly data ze srážkoměrných stanic Skuteč a Milovy pro 1-denní srážkovou událost:

Tabulka 20: Hodnoty maximálních 1-denních úhrnů srážek pro stanici – Skuteč

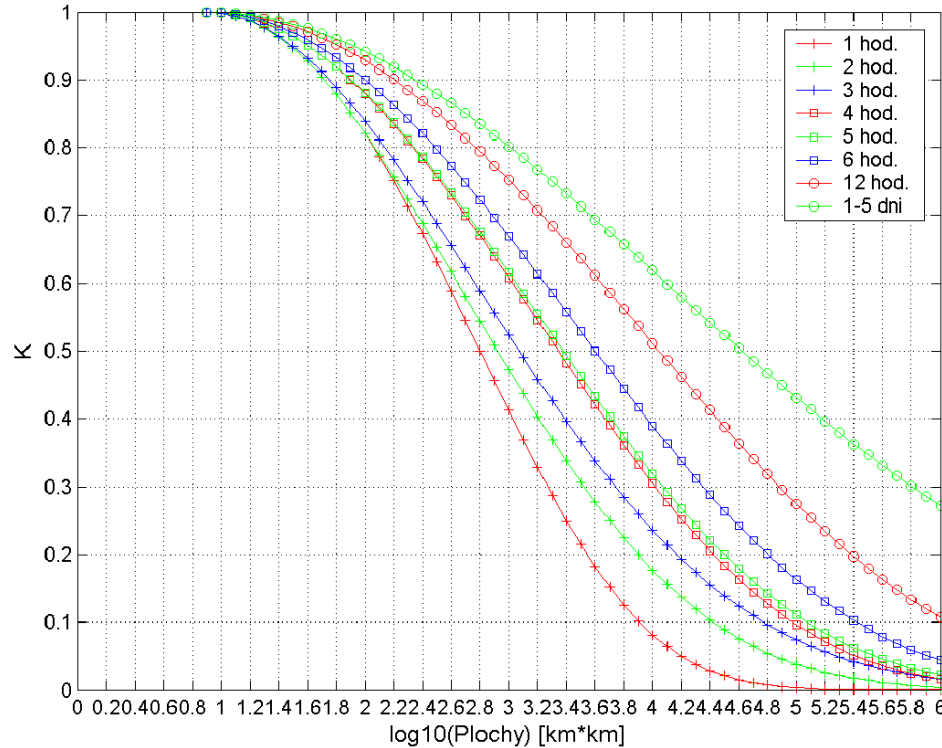
| Hodnoty maximálních 1-denních úhrnů srážek pro stanici – Skuteč | | | | | | |
|--|----|----|------|------|------|------|
| N [let] | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| H [mm] | 39 | 51 | 58.8 | 66.8 | 76.7 | 84.4 |

Tabulka 21: Hodnoty maximálních 1-denních úhrnů srážek pro stanici – Milovy

| Hodnoty maximálních 1-denních úhrnů srážek pro stanici – Milovy | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|-----|
| N [let] | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| H [mm] | 43.6 | 60.9 | 72.1 | 83.7 | 97.9 | 109 |

Srážkoměrná stanice Milovy se nachází v pramenné oblasti řeky Krounky, z tohoto důvodu návrhové srážky uvedené v tabulce 21 byly přisuzovány subpovodí 1. Ostatním subpovodím byly přisuzovány srážkové úhrny z tabulky 20.

V případě bleskových povodní je však vzhledem k velikosti jednotlivých povodí malá pravděpodobnost, že by bylo zasaženo celé povodí Novohradky stejně intenzivní přívalovou srážkou. Z tohoto důvodu je třeba zavést součinitel plošné korekce, kdy v závislosti na celkové ploše povodí se redukuje návrhové srážkové úhrny, uvedené v tabulkách 20 a 21, podle následujícího grafu (obrázek 12). [13]



Obrázek 12: Graf pro výpočet součinitele plošné redukce na základě velikosti povodí.

V tabulce 15 jsou uvedeny konkrétní hodnoty součinitele plošné redukce K pro jednotlivá povodí.

Tabulka 22: Vypočtené hodnoty součinitele plošné korekce

| | Redukce návrhové srážky | | | | | |
|----------------------------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Povodí 1 | Povodí 2 | Povodí 3 | Povodí 4 | Povodí 5 | Povodí 6 |
| A [km²] | 37.9 | 25.4 | 17.1 | 38.9 | 26.9 | 5.9 |
| log₁₀(A) | 1.58 | 1.40 | 1.23 | 1.59 | 1.43 | 0.77 |
| K | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 0.97 | 0.98 | 1 |

V případě odvození hydrogramů regionálních povodní nebyly k dispozici hodnoty maximální 2- denní srážkové N -leté výšky. Z tohoto důvodu musely být tyto hodnoty kalibrovány na základě jednodenní srážkové výšky a návrhového hyetogramu (obrázek 11).

Hodnoty maximálních 1-denních srážkových výšek, pro různé doby opakování, byly rozděleny podle návrhového hyetogramu, rozdělující srážku do

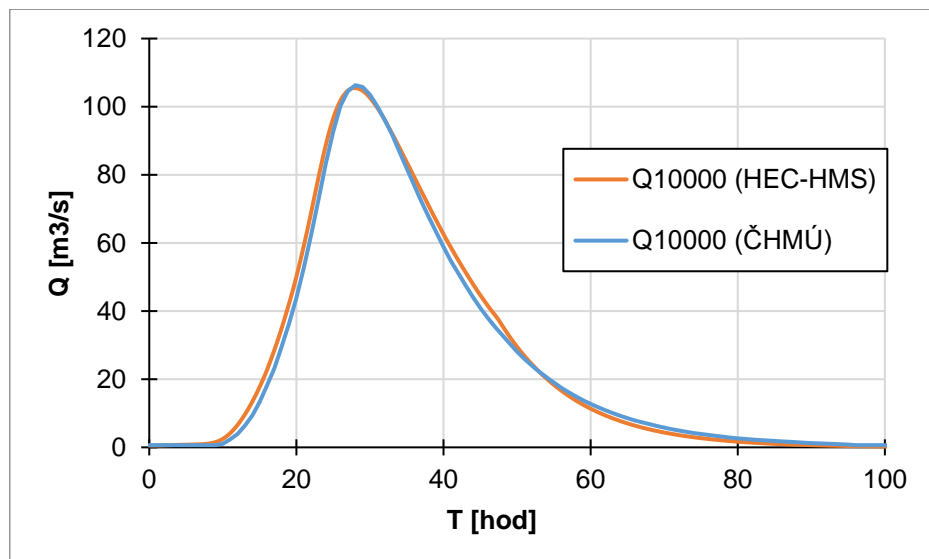
48 hodin, a následně byly lineárně navyšovány tak, aby bylo dosaženo hodnot známého N-letého průtoku v profilu VD Kutřín i v závěrovém profilu Luže.

5.2. Verifikace hydrologického modelu

Verifikace hydrologického modelu spočívala v ověření shody modelovaných hydrogramů se známými hydrogramy zpracovanými Českým hydrometeorologickým ústavem. V první fázi byla ověřena shoda pro teoretické povodňové vlny s dobou opakování $N=10000$ let, pro kterou byl znám srážkový úhrn a návrhový hyetogram z hydrologické studie. [5] Pro dosažení lepší shody byla optimalizována hodnota podzemního odtoku počítaná pomocí recesní metody. V rámci této metody byly ručně kalibrovány, za cílem lepší shody porovnávaných hydrogramů, následující parametry:

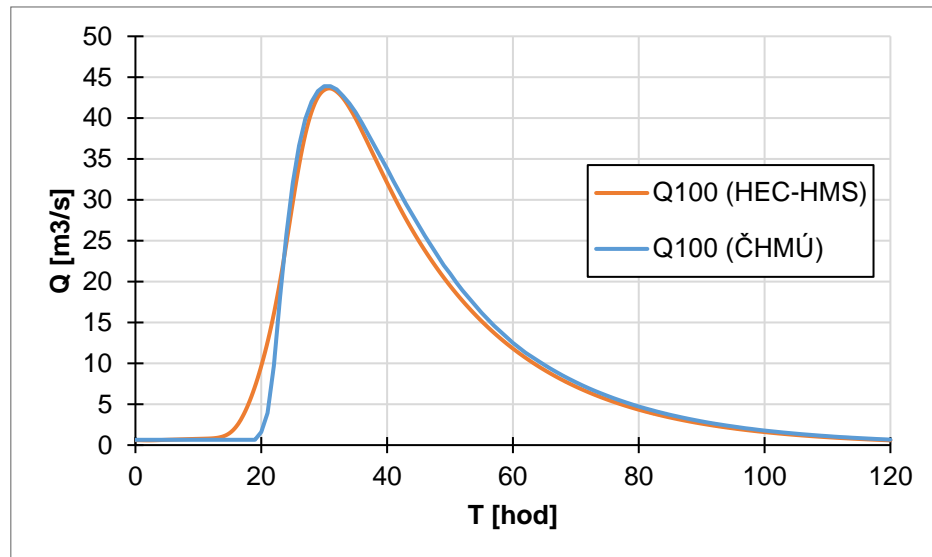
- 1 Recesní konstanta [-]
- 2 Konstanta ratio to peak [-]

Po provedené optimalizace podzemního odtoku již bylo dosaženo velice dobré shody. Výsledek ukazuje pouze nepatrný rozdíl mezi porovnávanými hydrogramy viz obrázek 13.



Obrázek 13: Porovnání modelované TPV Q10000 s TPV Q10000 od ČHMÚ pro profil poldru Kutřín.

V případě teoretické povodňové vlny s dobou opakování $N=100$ let odvozenou pro regionální srážkovou událost bylo možné ověřit shodu modelovaného hydrogramu v softwaru *HEC – HMS* s hydrogramem zpracovaným ČHMÚ – pobočka Hradec Králové. [7] Bylo dosaženo uspokojivé shody obou hydrogramů, kdy výsledek je patrný z obrázku 14.



Obrázek 14: Porovnání modelované TPV Q10000 s TPV Q10000 od ČHMÚ pro profil poldru Kutřín.

Výsledky verifikace ukazují na shodné stanovení fyzicko-geografických parametrů povodí jako bylo v případě hydrologické studie zpracovanou ČHMÚ.[6] Dále dávají dobrý předpoklad pro použití hydrogramů v rámci vodohospodářského řešení – optimalizace odtoku z VD Kutřín.

5.3. Dosažené výsledky hydrologického modelování

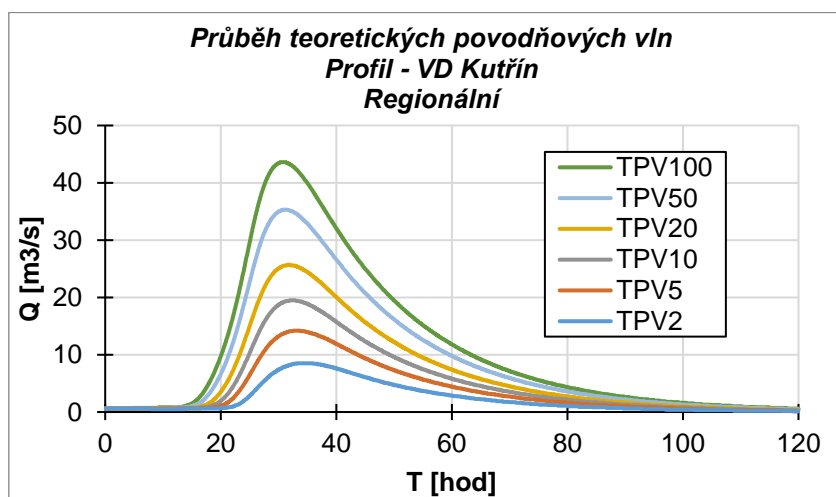
Výsledkem hydrologického modelování bylo určení neovlivněných hydrogramů v minutovém kroku pro zvolená výpočetní subpovodí s dobou opakování $N=2, 5, 10, 20, 50$ a 100 let odvozené z bleskových i regionálních srážkových událostí. Dále byly zjištěny dotokové doby v minutách mezi jednotlivými výpočetními profily.

Výsledek ukázal na velký rozdíl mezi oběma typy povodní. V případě povodňových vln, odvozených ze srážek regionálního charakteru, vycházela hodnota kulminace přibližně dvojnásobně nižší, a naopak objem samotné vlny

dvojnásobně vyšší než v případě bleskových povodňových vln. To dává předpoklad i rozdílného řešení operativního řízení při povodni pro oba typy povodní.

5.3.1. Regionální povodně

Pro odvození povodňových vln typu regionálních byl zmapován průběh povodňových událostí ve všech profilech soustavy s ohledem na kalibraci N - Letých průtoků v profilu VD Kutřín a průtokoměrné stanice Luže. Výsledkem byla téměř identická shoda mezi modelovanými hodnotami N-letých průtoků modelem *HEC – HMS* a známými N - letými průtoky dle ČHMÚ uvedených v tabulkách 23 a 24. Na obrázku 15 je ukázka získaných průběhů TPV s různou dobou opakování pro výpočetní profil VD Kutřín.



Obrázek 15: Průběh TPV typu regionálních pro profil VD Kutřín.

Tabulka 23: Porovnání hodnot N-letých průtoků pro profil VD – Kutřín

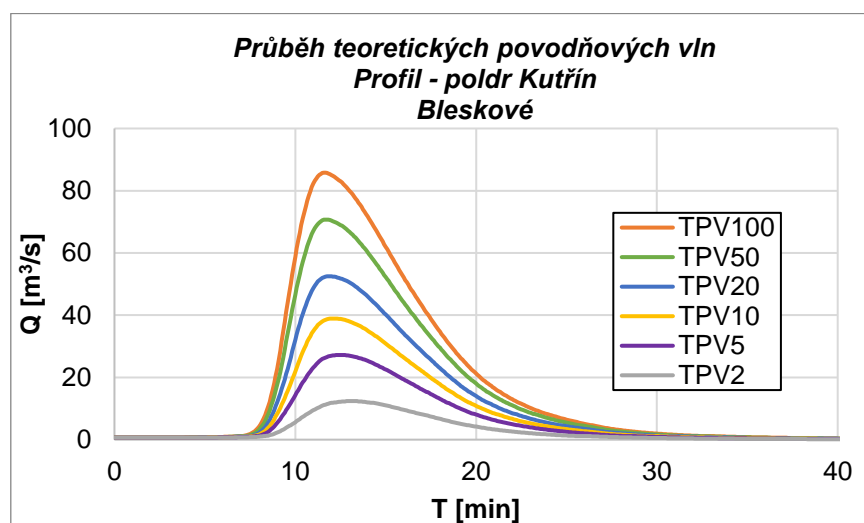
| Profil – VD Kutřín | | | | | | |
|--------------------------------------|--------|------|--------|--------|------|--------|
| N [let] | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| $W_{PV; N}$ [tis. m ³] | 1004.6 | 1623 | 3815.9 | 2874.2 | 3927 | 4833.3 |
| $Q_{N; HEC-HMS}$ [m ³ /s] | 8.5 | 14.2 | 19.5 | 25.7 | 35.3 | 43.6 |
| $Q_{N; ČHMÚ}$ [m ³ /s] | 8.49 | 14.2 | 19.5 | 25.7 | 35.4 | 43.9 |

Tabulka 24: Porovnání hodnot N-letých průtoků pro profil VD – Kutřín

| Profil – Průtokoměrná stanice Luže | | | | | | |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|------|------|--------|
| N [let] | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| $W_{PV;N}$ [tis. m ³] | 1987.5 | 3047.8 | 3941.7 | 4980 | 6551 | 7883.3 |
| $Q_{N; HEC-HMS}$ [m ³ /s] | 16.6 | 26.1 | 34.2 | 43.6 | 57.7 | 69.7 |
| $Q_{N; ČHMÚ}$ [m ³ /s] | 16.7 | 26 | 34.3 | 43.7 | 57.8 | 69.7 |

5.3.2. Bleskové povodně

Hydrogramy bleskových povodní byly odvozeny na základě verifikovaného hydrologického modelu, s ponecháním všech fyzicko-geografických parametrů povodí, zvolených hodnot návrhové 1-denní srážkové výšky a návrhového hyetogramu. Byly tak zjištěny nové hodnoty N-letých průtoků odpovídající povodním vzniklých z velmi intenzivních srážek s kratší dobou trvání. Hodnoty jsou uvedeny pro výpočetní profily VD Kutřín a průtokoměrné stanice Luže v následujících tabulkách. Na obrázku 16 je ukázka získaných průběhů TPV s různou dobou opakování pro výpočetní profil VD Kutřín.



Obrázek 16: Průběh TPV typu regionálních pro profil VD Kutřín.

Tabulka 25: Hodnoty N-letých průtoků odpovídají bleskovým povodním pro profil VD – Kutřín

| Profil – VD Kutřín | | | | | | |
|--------------------------------------|------|-------|--------|--------|--------|--------|
| N [let] | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| $W_{pv;N}$ [tis. m ³] | 440 | 900.3 | 1253.4 | 1658.2 | 2193.5 | 2633.4 |
| $Q_{N; HEC-HMS}$ [m ³ /s] | 12.4 | 27.2 | 38.9 | 52.5 | 70.7 | 85.8 |



Tabulka 26: Hodnoty N -letých průtoků odpovídají bleskovým povodním pro profil Luže.

| Profil – Průtokoměrná stanice Luže | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| N [let] | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| $W_{pv;N}$ [tis. m ³] | 710.1 | 1478.6 | 2090.8 | 2806.2 | 3773.8 | 4583.3 |
| Q_N ; HEC-HMS [m ³ /s] | 17.9 | 40.1 | 58 | 79 | 107.6 | 131.7 |

5.3.3. Dotoková doba

Dalším důležitým výstupem hydrologického modelování byla analýza doby dotoku mezi jednotlivými výpočetními profily. Doba dotoku značí čas, který je potřeba k přesunu částice vody mezi vstupním a výstupním profilem uvažovaného říčního úseku. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 27: Doby dotoku.

| Název úseku | od | do | Délka [m] | Doba dotoku [min] |
|--------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------|-------------------|
| Krounka_1 | Průtokoměrná stanice Otradov | VD Kutřín | 7492 | 38 |
| Krounka_2 | VD Kutřín | Soutok Novohradky a Krounky | 9235 | 70 |
| Novohradka_1 | Průtokoměrná stanice Nové Hradky | Soutok Novohradky a Krounky | 8711 | 96 |
| Novohradka_2 | Soutok Novohradky a Krounky | Průtokoměrná stanice Luže | 2314 | 14 |



6. VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ – VARIANTA SUCHÁ NÁDRŽ

V této kapitole jsou popsány postupy a výsledky získané optimalizačním systémem, který byl sestaven v programovacím prostředí Matlab. Veškeré simulační programy byly v prostředí Matlab vytvořeny pouze za účelem zpracování této diplomové práce. Nejedná se tedy o již existující funkce, či programy softwaru Matlab.

Vytvořený simulační model řeší transformaci povodňové vlny v nádrži a říční síti. Je sestaven tak, aby umožnil simulovat průběh povodňové události v povodí Krounky a Novohradky, pro stav s VD Kutřín i bez, až do závěrového profilu průtokoměrné stanice Luže. Model dále umožňuje optimalizovat hodnotu odtoku z VD Kutřín na základě hydrologické situace na Krounce a Novohradce. V rámci celého optimalizačního systému je uvažován jeden výpočetní čas, tedy začátek příčinné srážky je pro všechna povodí stejný. Hydrologickou situace na Krounce a Novohradce reprezentují teoretické hydrogramy, jejich způsob odvození je popsán v předchozí kapitole.

Z výše uvedeného vyplývá, že model je schopen vyhodnocovat průtokové stavy v Luži i pro souběh povodňových vln, postupujících z řek Krounka a Novohradka, s různou dobou opakování. V takovém to případě model přisuzuje hydrogramy říčním úsekům podle následující tabulky:

Tabulka 28: Způsob přisuzování hydrogramů říčním úsekům.

| Krounka | Novohradka |
|----------------|-------------------|
| Povodi_1 | Povodi_4 |
| Povodi_2 | Povodi_5 |
| Povodi_3 | Povodi_6 |

V případě povodí_6 bylo rozhodnuto počítat se shodnou N-letou událostí, se kterou je uvažováno v povodí říčního úseku Novohradky. Tato varianta se jeví jako nejrealističtější, navíc hydrogram povodí 6 je velikostně pouze zlomkem



ostatních hydrogramů a z tohoto důvodu nenastane zásadní chyba ve výsledku. Předpoklad lze upravit.

6.1. Sestavení optimalizačního systému

Sestávaný optimalizační systém se řídí schématem hydrologického modelu (obrázek 7) a skládá se z dílčích programů, které řeší:

- 5.1.1 Transformaci povodňové vlny v nádrži **metodou Runge-Kutta 4. řádu**
- 5.1.2 Postup povodňových vln v říční síti **metodou LAG**
- 5.1.3 Optimalizaci neškodného odtoku z VD Kutřín

Pro výpočet vyžaduje sestavený optimalizační program zadat tyto vstupní údaje:

- Hydrogramy všech událostí, které jsou předmětem řešení, uložené do jedné proměnné, do tzv. datové struktury. Zvláště pro variantu regionálních a bleskových povodní.
- Měrnou křivku bezpečnostního přelivu.
- Měrnou křivku spodních výpustí
- Charakteristické křivky nádrže.

Průběhy povodňových událostí byly získány hydrologickým modelem a způsob jejich stanovení je popsán v předchozí kapitole. Měrná křivka BP a charakteristické křivky nádrže, které byly při řešení uvažovány, jsou uvedeny v kapitole 2.

Cílem je sestavit řídicí matice, které budou obsahovat optimalizovanou hodnotu neškodného odtoku na základě hydrologické situace na Krounce a Novohradce pro všechny možné kombinace uvažovaných N-letých povodňových epizod.



6.1.1. Transformace povodňové vlny v nádrži

Při transformaci povodňové vlny dochází v nádrži ke změně povodňového hydrogramu, kdy změna spočívá v jeho zploštění a snížení kulminačního průtoku za současného plnění ochranného prostoru nádrže. Výpočet transformace povodňové vlny je založen na numerické aproximaci (rovnice 19) základní diferenciální rovnice nádrže (rovnice 18), která je současně rovnicí kontinuity [1]:

$$\frac{dV}{dt} = P(t) - O(t) \quad (18)$$

$$\frac{dV(t)}{dt} = f(t, V(t)) \quad (19)$$

Kde V je aktuální objem vody v nádrži (m^3), $P(t)$ je přítok do nádrže v čase t (m^3/s), $O(t)$ je odtok z nádrže v čase t (m^3/s).

Pro řešení úlohy transformace povodňové vlny, kdy je hledán objem vody $V(t+\Delta t)$ v čase $(t+\Delta t)$, byla v prostředí Matlab použita a naprogramována metoda Runge-Kutta 4. řádu, která řeší diferenciální rovnice (18) následovně [1]:

$$V(t + \Delta t) - V(t) = \frac{K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4}{6} \quad (20)$$

Kde

$$K_1 = \Delta t [P(t) - O(V(t))] \quad (21)$$

$$K_2 = \Delta t \left[P\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) - O\left(V(t) + \frac{K_1}{2}\right) \right] \quad (22)$$

$$K_3 = \Delta t \left[P\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) - O\left(V(t) + \frac{K_2}{2}\right) \right] \quad (23)$$

$$K_4 = \Delta t [P(t + \Delta t) - O(V(t) + K_3)] \quad (24)$$

Vlna je v nádrži transformována v závislosti na nastavení spodní výpusti. To je v programu řešeno pomocí podmíněného pravidla typu IF – THEN. Podmínkou



je zde poloha hladiny v nádrži v určitém časovém kroku, kdy je posuzováno, zdali je hladina pod nebo nad úrovní horní hrany spodní výpusti, která je rovna kótě 425,55 m n.m.:

- V případě, že se hladina nachází pod úrovní horní hrany spodní výpusti, je odtok roven přítoku do nádrže.
- Ve chvíli, kdy je hladina nad úrovní horní hrany spodní výpusti, je odtok řízen na základě kapacitní rovnice spodní výpusti, která byla popsána v kapitole 3.1.4. Rovnice navíc obsahuje poměrné otevření obou výpustí v intervalu 0-1, kdy 1 značí plné otevření a 0 úplné uzavření spodních výpustí.

6.1.2. Postup povodňových vln v říční síti

Tento program simuluje průběh povodňových události v celém systému, kdy poskládá jednotlivé hydrogramy s ohledem na verifikaci srážko-odtokového modelu a zároveň spolupracuje s programem transformace (6.1.1.), který stanovuje hodnotu odtoku z vodního díla Kutřín. Umožňuje tak stanovit hodnotu průtoku v celém výpočetním systému v minutovém kroku. Program je založen na metodě LAG, která jako vstupní parametr používá dobu dotoku, převzatou z hydrologického modelu. Tato metoda nemění tvar mezi vstupním a výstupním hydrogramem, ale pouze vstupní hydrogram posouvá o známou hodnotu doby dotoku. [4]

6.1.3. Optimalizace neškodného odtoku z VD Kutřín

Program umožňuje optimalizovat hodnotu neškodného odtoku z VD Kutřín na základě hydrologické situace v říčním úseku Krounky a Novohradky. Za tímto účelem musely být všechny hydrogramy, získané hydrologickým modelem, uloženy do datové struktury, která tak tvoří jednu proměnnou vstupující do výpočetního modelu. Na základě vhodného indexování je algoritmus schopen vybrat odpovídající hydrogramy z datové struktury a vytvořit tak jednu povodňovou událost, která je kombinací různých povodňových vln postupujících z Krounky a Novohradky. Takto vytvořená povodňová událost dále vstupuje do optimalizační smyčky. V případě té je uvažována škála hodnot neškodného



odtoku z poldru Kutřín, pro které program napočítá maximální hodnotu průtoku v profilu města Luže pomocí programu – Postup povodňových vln v říční síti (6.1.2). Algoritmus vybere takovou hodnotu neškodného odtoku, která způsobí ve městě Luže nejmenší maximální průtok. Tímto způsobem propočítá veškeré uvažované kombinace povodňových vln jdoucí z Krounky a Novohradky a určí vhodnou manipulaci spodních výpustí na VD Kutřín.

Škála hodnot neškodného odtoku je uvažována po 100 l/s od hodnoty minimálního zůstatkového průtoku pod VD Kutřín ($0,031 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) do hodnoty odpovídající návrhové kapacitě spodních výpustí ($19,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Celkem tedy optimalizační systém propočítá 195 variant hodnot neškodného odtoku pro každou posuzovanou událost. Posuzováno je vždy 36 variant, optimalizační systém tak provede 7020 dílčích výpočtů během jednoho výpočetního běhu.

Hodnota minimálního zůstatkového průtoku byla navržena v rámci diplomové práce dle metodického pokynu Ministerstva životního prostředí na základě M - denních průtoků. [16] Podle této metodika je hodnota MZP = $0.031 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

6.2. Dosažené výsledky pro variantu suché nádrže.

V následující kapitole jsou popsány výsledky získané optimalizačním systémem pro variantu suché nádrže. Výsledky ukazují na vhodný způsob manipulace spodních výpustí, při nástupu povodně, který zajistí nejnižší možnou kulminaci průtoku v profilu průtokoměrné stanice Luže.

Výsledky jsou ilustrovány prostřednictvím tabulek, kde jsou **zeleně** vyznačena pole, pro která platí, že při souběhu daných povodňových událostí z Krounky a Novohradky, nebude překročen neškodný průtok ve městě Luže odpovídající hodnotě $25,29 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. **Červeně** jsou vyznačena pole, pro která platí, že bude překročen neškodný průtok ve městě Luže.

6.2.1. Regionální povodně

Následující tabulka ukazuje hodnoty kulminace povodňových vln ve městě Luže bez zapojení poldru Kutřín. Z výsledků je patrné, že současná míra



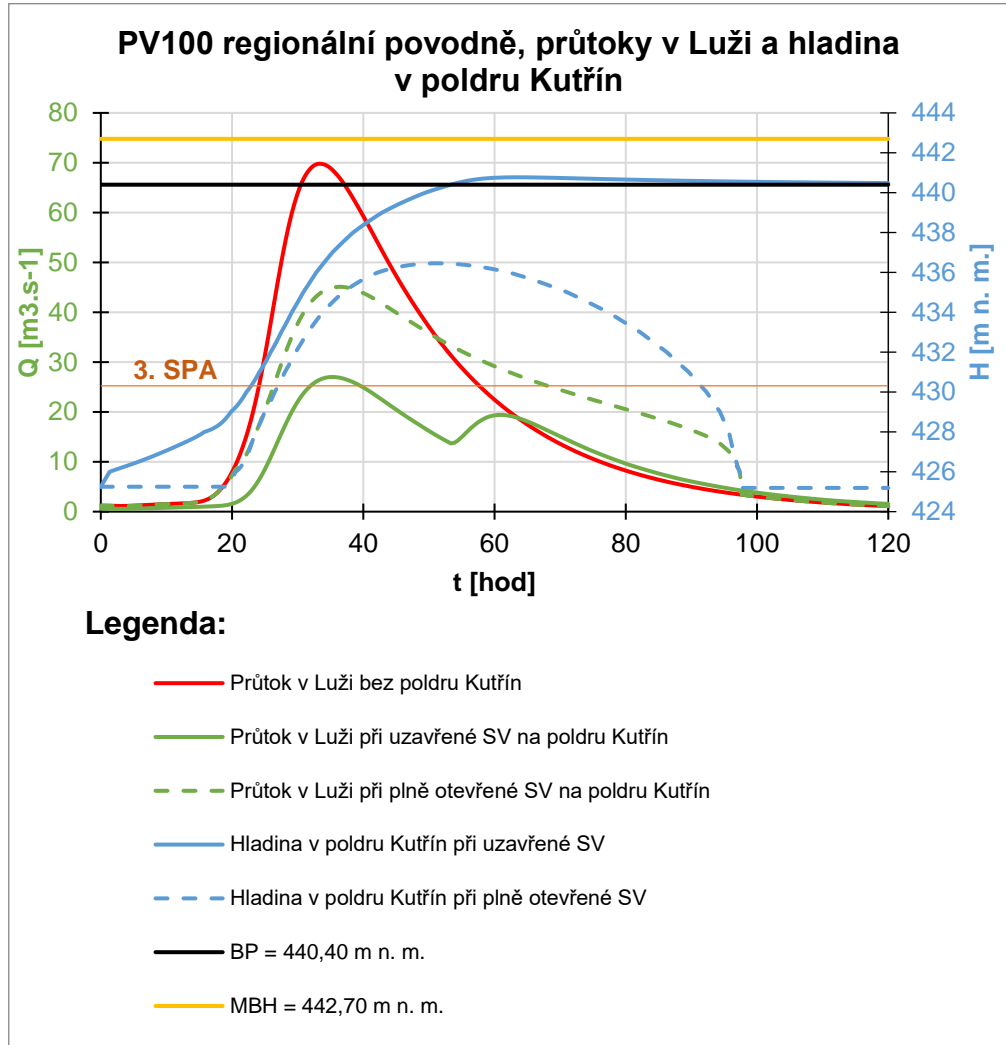
ochrany, pro řešený úsek Novohradky, je pouze na úrovni Q_2 , za předpokladu, že na Krounce a Novohradce postupuje povodňová vlna se shodnou dobou opakování. Ostatní scénáře jsou patrné z následující tabulky:

Tabulka 29: Maximální průtok v Luži pro stav bez poldru Kutřín v případě regionálních povodní.

| | | Q_{\max} v profilu Luže pro stav bez poldru Kutřín v případě regionálních povodní | | | | | |
|----------------|--------------|--|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | | Novohradka | | | | | |
| | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 |
| Krounka | PV2 | 16.6 | 19.9 | 22.2 | 24.8 | 28.6 | 31.7 |
| | PV5 | 22.8 | 26.1 | 28.5 | 31.2 | 35.0 | 38.1 |
| | PV10 | 28.5 | 31.8 | 34.2 | 36.9 | 40.8 | 43.9 |
| | PV20 | 35.1 | 38.4 | 40.8 | 43.6 | 47.4 | 50.6 |
| | PV50 | 45.4 | 48.7 | 51.1 | 53.9 | 57.7 | 60.9 |
| | PV100 | 54.3 | 57.6 | 59.9 | 62.7 | 66.6 | 69.8 |

Na základě navrženého konstrukčního řešení poldru Kutřín se jeví jako optimální manipulace pro regionální povodně taková, kdy je realizováno snížení odtoku z poldru Kutřín na minimum (MZP) pro každou povodňovou událost až do TPV100 na řece Krounce.

V následujícím obrázku je zobrazena nejnepříznivější posuzovaná varianta, kterou je souběh TPV100 z Krounky i Novohradky. Z grafu je patrné, že v případě uzavření spodních výpustí na poldru Kutřín hladina v nádrži nedosáhne MBH, tím je zaručena bezpečnost a stabilita vodního díla při povodni. [21] A zároveň v profilu průtokoměrné stanice Luže, je pouze mírně překročen neškodný průtok odpovídající $3 \cdot SPA = 25,29 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. To dává předpoklad skoro až 100-leté ochrany města Luže a dalších obcí na Novohradce po soutok s vodním tokem Žejbro podle platnosti uvedeného $3 \cdot SPA$.



Obrázek 17: Průběh povodně v Luži a hladina v poldru Kutřín při PV100 regionální povodně.



Následující tabulka poukazuje na hodnotu kulminace ve městě Luže v případě uzavření spodních výpustí na VD Kutřín pro ostatní kombinace souběhů povodňových vln:

Tabulka 30: Maximální průtok v Luži v případě uzavření SV v poldru – regionální povodeň.

| | | Q_{max} v profilu Luže při uzavřených SV v poldru Kutřín | | | | | |
|----------------|--------------|---|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | | Novohradka | | | | | |
| | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 |
| Krounka | PV2 | 8.2 | 11.4 | 13.7 | 16.3 | 20.1 | 23.1 |
| | PV5 | 9.0 | 12.2 | 14.5 | 17.2 | 20.9 | 24.0 |
| | PV10 | 9.6 | 12.8 | 15.1 | 17.7 | 21.5 | 24.6 |
| | PV20 | 10.2 | 13.4 | 15.7 | 18.4 | 22.2 | 25.3 |
| | PV50 | 11.1 | 14.3 | 16.7 | 19.3 | 23.1 | 26.2 |
| | PV100 | 14.7 | 15.7 | 17.4 | 20.1 | 23.9 | 27.0 |

V následující tabulce jsou uvedeny maximální polohy hladiny na VD Kutřín při uzavřených spodních výpustí. Tabulka mimo jiné poukazuje na skutečnost, že v případě 20-leté povodňové události a nižších, bude již celý objem PV postupující z Krounky zachycen v nádrži, jelikož hladina v nádrži nevystoupá ani nad kótu bezpečnostního přelivu 440,40 m n. m.:

Tabulka 31: Maximální hladiny na VD Kutřín v případě uzavření SV v poldru – regionální povodeň.

| | | H_{max} na VD Kutřín při uzavřených SV v poldru Kutřín | | | | | |
|----------------|--------------|---|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | | Novohradka | | | | | |
| | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 |
| Krounka | PV2 | 434.77 | 434.77 | 434.77 | 434.77 | 434.77 | 434.77 |
| | PV5 | 436.65 | 436.65 | 436.65 | 436.65 | 436.65 | 436.65 |
| | PV10 | 438.00 | 438.00 | 438.00 | 438.00 | 438.00 | 438.00 |
| | PV20 | 439.23 | 439.23 | 439.23 | 439.23 | 439.23 | 439.23 |
| | PV50 | 440.54 | 440.54 | 440.54 | 440.54 | 440.54 | 440.54 |
| | PV100 | 440.77 | 440.77 | 440.77 | 440.77 | 440.77 | 440.77 |

6.2.2. Bleskové povodně

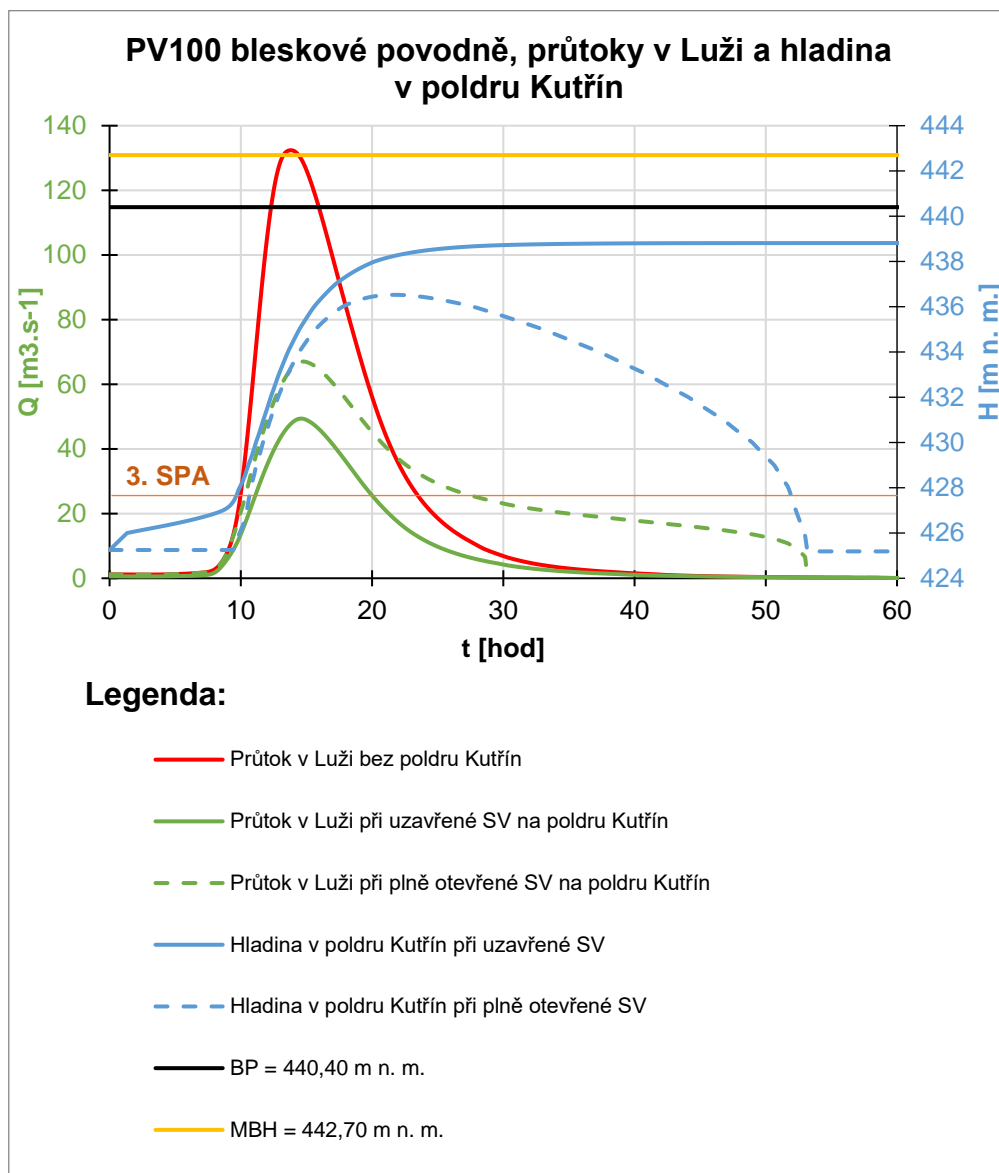
V případě bleskových povodní je současná ochrana řešeného úseku Novohradky zaručena pro ještě méně variant, než v případě regionálních povodní. Současná míra ochrany je pouze na úrovni Q_2 v případě souběhu povodňových vln na úrovni TPV2 z Krounky a Novohradky. Ostatní scénáře jsou patrné z následující tabulky:

Tabulka 32: Maximální průtok v Luži pro stav bez poldru Kutřín v případě regionálních povodní.

| | | Q_{\max} v profilu Luže pro stav bez poldru Kutřín v případě bleskových povodní | | | | | |
|---------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Novohradka | | | | | |
| | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 |
| Krounka | PV2 | 18.0 | 24.3 | 29.7 | 36.3 | 45.5 | 53.4 |
| | PV5 | 34.3 | 40.4 | 45.7 | 52.3 | 61.5 | 69.4 |
| | PV10 | 47.2 | 53.1 | 58.4 | 64.9 | 74.1 | 82.0 |
| | PV20 | 62.4 | 68.0 | 73.1 | 79.5 | 88.6 | 96.5 |
| | PV50 | 82.9 | 88.3 | 93.2 | 99.4 | 108.3 | 116.1 |
| | PV100 | 99.9 | 105.1 | 110.0 | 116.0 | 124.7 | 132.4 |

Z pohledu zvýšení ochrany řešeného úseku se jeví jako výhodné, shodně jako v případě regionálních povodní, snížení odtoku z poldru Kutřín na minimum (MZP).

Vzhledem k objemu nádrže je VD Kutřín schopno zachytit veškeré povodňové vlny typu bleskových jdoucích z Krounky až do TPV100. To potvrzuje i následující obrázek, kde je zobrazen průběh hladiny v poldru Kutřín, v případě uzavření spodních výpustí, při nejnepříznivější posuzované variantě a to 100-leté průtokové epizodě. Hladina se v tomto případě nedostane ani na úroveň kóty přelivné hrany bočního bezpečnostního přelivu. Obrázek dále ukazuje, že v případě souběhu povodňových událostí na úrovni TPV100 z Krounky a Novohradky je vysoce překročen 3. SPA i při uzavřených spodních výpustí na VD Kutřín.



Obrázek 18: Průběh povodně v Luži a hladina v poldru Kutřín při PV100 bleskové.



Následující tabulka zobrazuje scénáře při souběhu jednotlivých povodňových vln. Z pohledu ochrany řešeného úseku Novohradky je při uzavřených spodních výpustí zajištěna pouze 10-letá ochrana. Vyšší ochrana je zajištěna pouze podmíněně, jak ukazuje tabulka:

Tabulka 33: Maximální průtok v Luži v případě uzavření SV v poldru – blesková povodeň.

| | | Q_{max} na VD Kutřín při uzavřených SV v poldru Kutřín v případě bleskových povodní | | | | | |
|----------------|--------------|--|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | | Novohradka | | | | | |
| | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 |
| Krounka | PV2 | 5.7 | 12.0 | 17.4 | 23.9 | 33.1 | 41.0 |
| | PV5 | 7.3 | 13.6 | 19.0 | 25.5 | 34.7 | 42.6 |
| | PV10 | 8.6 | 14.9 | 20.3 | 26.8 | 36.0 | 43.9 |
| | PV20 | 10.1 | 16.4 | 21.8 | 28.4 | 37.5 | 45.4 |
| | PV50 | 12.3 | 18.5 | 23.9 | 30.5 | 39.7 | 47.6 |
| | PV100 | 14.2 | 20.3 | 25.7 | 32.3 | 41.5 | 49.4 |

Následující tabulka potvrzuje, že v případě uzavřených výpustí hladina v nádrži nedosáhne ani kóty bezpečnostních přelivu:

Tabulka 34: Maximální hladina na VD Kutřín v případě uzavření SV v poldru – regionální povodeň.

| | | H_{max} v profilu Luže při uzavřených SV v poldru Kutřín v případě bleskových povodní | | | | | |
|----------------|--------------|--|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | | Novohradka | | | | | |
| | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 |
| Krounka | PV2 | 432.18 | 432.18 | 432.18 | 432.18 | 432.18 | 432.18 |
| | PV5 | 434.37 | 434.37 | 434.37 | 434.37 | 434.37 | 434.37 |
| | PV10 | 435.61 | 435.61 | 435.61 | 435.61 | 435.61 | 435.61 |
| | PV20 | 436.75 | 436.75 | 436.75 | 436.75 | 436.75 | 436.75 |
| | PV50 | 437.98 | 437.98 | 437.98 | 437.98 | 437.98 | 437.98 |
| | PV100 | 438.82 | 438.82 | 438.82 | 438.82 | 438.82 | 438.82 |



6.3. Vyhodnocení služebnosti při povodni

Z uvedených skutečností vyplývá, že z pohledu ochrany města Luže a níže ležících obcí se jeví jako nejvýhodnější manipulace na vodním díle Kutřín snížení odtoku na hodnotu minimálního zůstatkového průtoku v případě bleskových i regionálních povodní. Tím je zajištěn nejnižší možný kulminační průtok v profilu průtokoměrné stanice Luže a zároveň není dosažena mezní bezpečná hladina v nádrži.

Dalším hlediskem, které vstupuje do rozhodnutí ohledně manipulací spodních výpustí na poldru Kutřín je tzv. služebnost pozemků. Ta vyplývá ze smlouvy o zřízení věcného břemene – pozemkové služebnosti mezi Povodím Labe a vlastníky pozemků v zátopě poldru Kutřín. Z pohledu této smlouvy mají vlastníci pozemků v zátopě nárok na náhradu škod, vzniklou na služebném pozemku řízeným rozlivem povodní. Určení výše škod se řídí nařízením vlády č. 203/2009 Sb., o postupu při zjišťování a uplatňování náhrady škody a postupu při určení její výše v územích určených k řízeným rozlivům povodní. [18]

Z výše uvedeného vyplývá, že z pohledu služebnosti pozemků nemusí být finančně výhodné ihned při nástupu povodně uzavírat spodní výpust na poldru Kutřín vzhledem k rychlejšímu plnění prostoru nádrže a tím i většímu množství zatopených ploch, a z toho dále vyplývající vyšší náhrady škod.

Za tímto účelem byly v prostředí ArcGis analyzovány zatopené plochy jednotlivých pozemků v závislosti na výšce hladiny v nádrži. Takovýto podklad umožní stanovit velikost povodně, kterou je poldr Kutřín schopen převést, aniž by se musely platit náhrady škod, a zároveň nedojde k překročení neškodného průtoku v Luži.

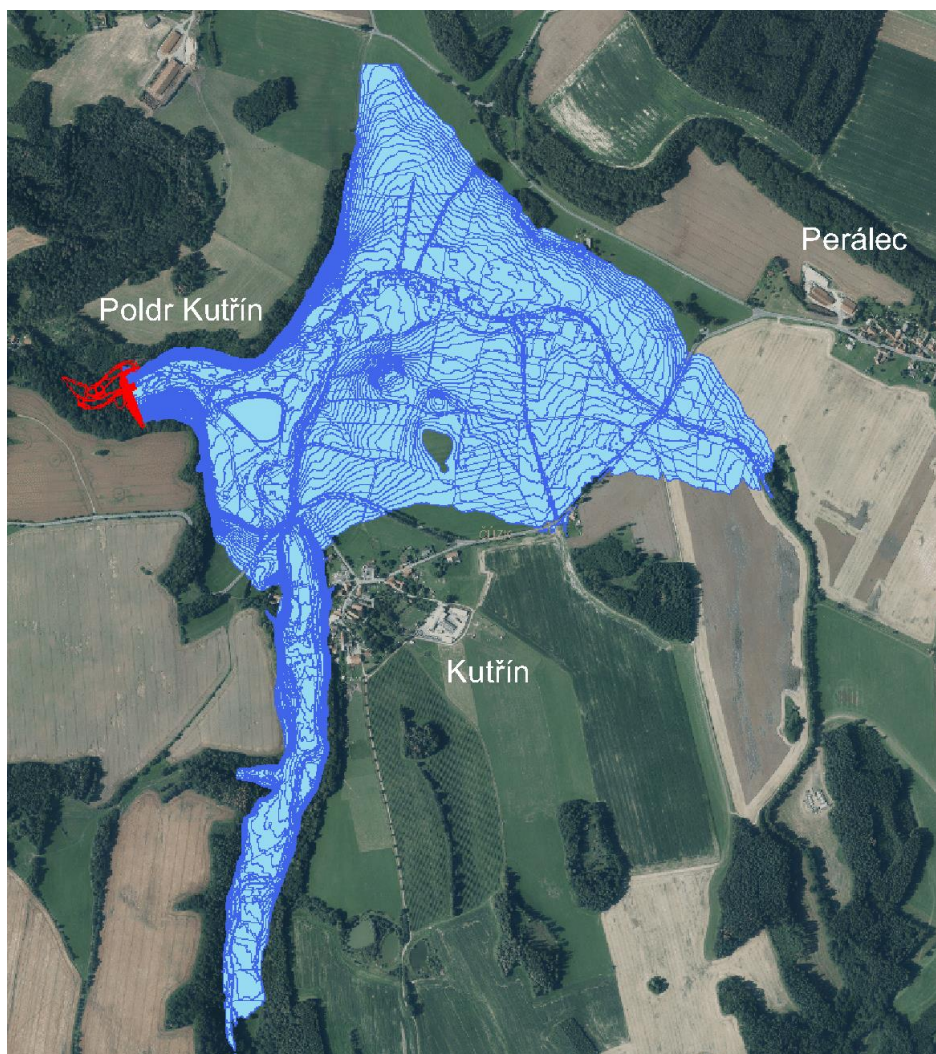
6.3.1. Sestavení modelu v prostředí ArcGis

K dispozici byly katastrální čísla pozemků, které jsou ve vlastnictví Povodí Labe. V prvním kroku bylo potřeba vytvořit podklad, který bude obsahovat hranici těchto pozemků. Za tímto účelem byly získány katastrální mapy ve vektorové formě volně dostupné na stránkách ČÚZK.[23] Dále již bylo možné vytvořit



Shapefile soubor v prostředí ArcGis s vrstvou katastru z dotčeného území, ve kterém jsou odděleny pozemky ve vlastnictví Povodí Labe a veškeré ostatní pozemky.

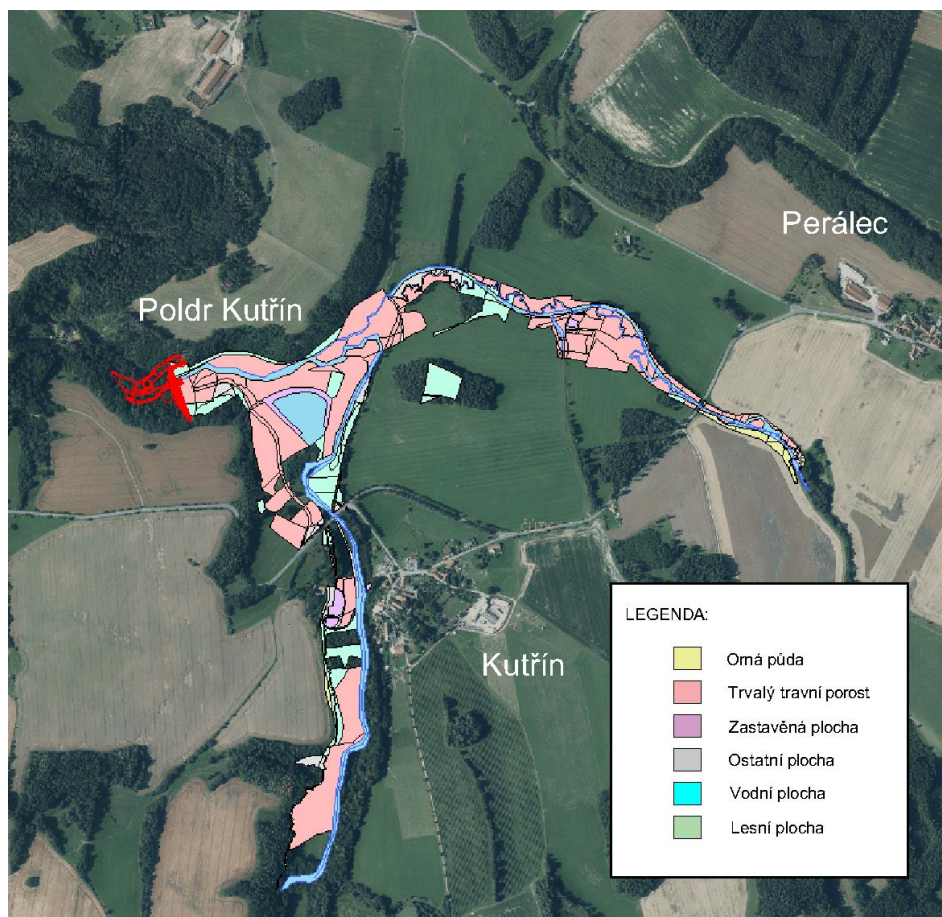
Jako rastrová vrstva byl použit digitální model reliéfu 5. generace v rozlišení 1 x 1 m pro oblast zátopy poldru Kutřín. Do rastrového modelu byly přidány vektorové polygony s krokem 0,5 představující vrstevnice, až do kóty koruny hráze 442,70 m n. m. Aby výsledky byly zobrazovány pouze pro oblast zátopy, musely být v dalším kroku vytvořené vrstevnice ořezány profilem hráze. Výstup je patrný z obrázku 19, kde je zobrazena zátopa s vyznačenými vrstevnicemi po kótu koruny hráze, osazena do ortofotomapy dotčeného území.



Obrázek 19: Mapa s vyznačením zátopy po kótu koruny hráze 442,70 m n. m.

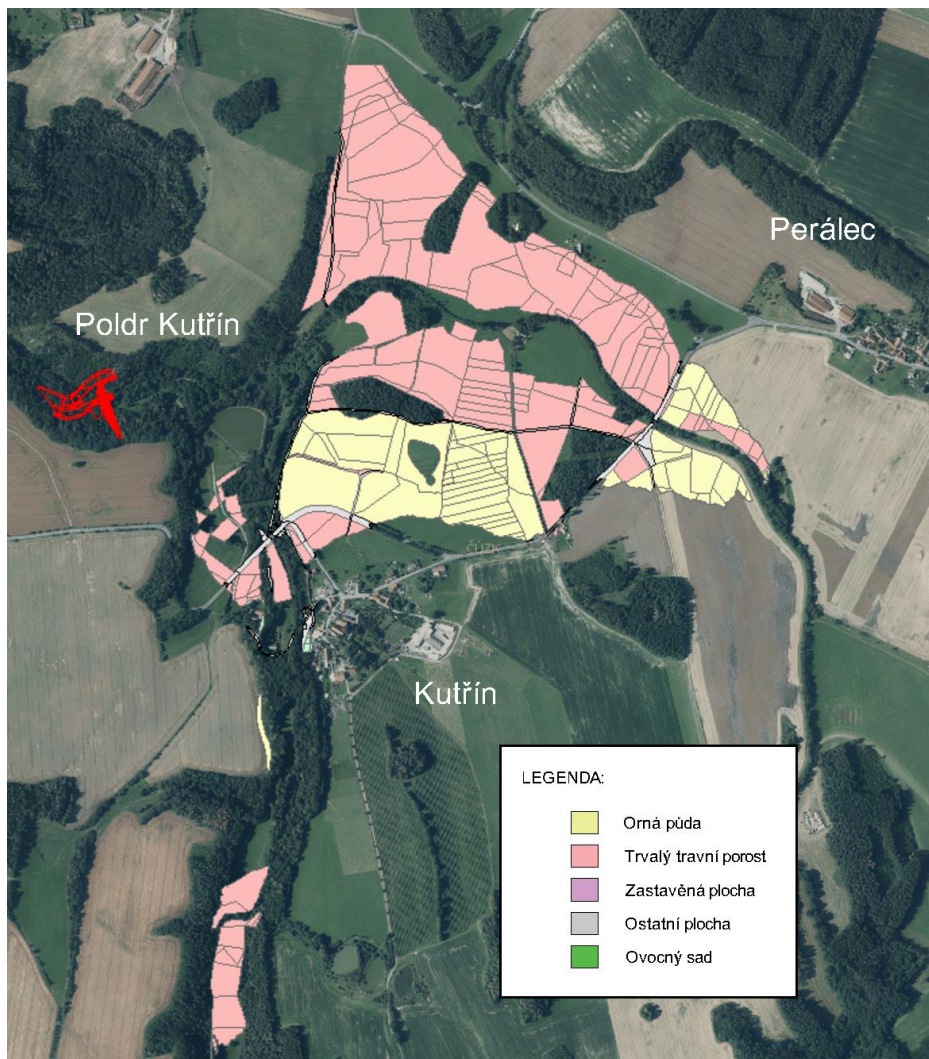


Takto připravený model již umožnil určit množství zatopených ploch mezi vytvořenými vrstevnicemi. Pro oblast zátopy byly prostřednictvím nástrojů ArcGis zvláště analyzovány pozemky ve vlastnictví Povodí Labe (obrázek 20) a zvláště služební pozemky.



Obrázek 20: Pozemky v zátopě ve vlastnictví Povodí Labe

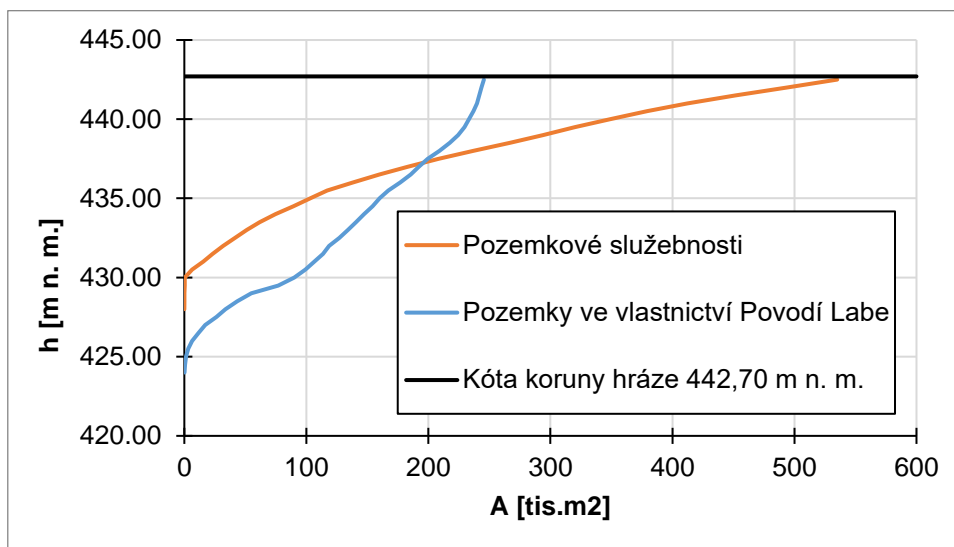
Vhledem k tomu, že k dispozici nebyla čísla pozemků, která jsou předmětem pozemkové služebnosti, byly do analýzy zohledněny pouze zemědělsky obhospodařované pozemky. Z tohoto důvodu v analýze nebyly uvažovány ty pozemky, jejichž způsob využití je vodní nebo lesní plocha. U všech ostatních typů využití se předpokládá, že budou vznikat v případě rozlivu náhrady škod. Pozemky jsou patrné z obrázku 21.



Obrázek 21: Pozemky v zátopě, které jsou předmětem pozemkové služebnosti.

6.3.2. Výsledky pro zohlednění služebnosti

Výsledkem analýzy bylo stanovení součtových čar zatopených ploch v závislosti na poloze hladiny viz obrázek 22. Výsledek poukázal na skutečnost, že od kóty 428,00 m n. m. vznikají první náhrady škod pozemků, které jsou předmětem pozemkové služebnosti. Na základě této kóty bylo posuzováno, které povodně je poldr Kutřín schopen převést, aniž by došlo k náhradám škod a zároveň nebyl překročen 3. SPA v Luži.



Obrázek 22: Součtové čáry zatopených ploch pozemků

Z výsledku mimo jiné vyplynulo, že pozemky v majetku Povodí Labe se nachází v dosahu přibližně dvou-leté povodně.

Následující tabulky zobrazují závislost nastavení spodní výpusti na poloze hladiny v nádrži a hodnotě kulminace v Luži, při souběhu povodňových vln z Krounky a Novohradky. V tabulce označeno jako $Q_{N;KROUNKA} - Q_{N;NOVOHRADKA}$. Červeně jsou vyznačena pole, při kterých je buďto překročen 3. SPA v průtokoměrné stanici Luže nebo hladina v nádrži vystoupá nad kótu 428,00 m n. m. Sloupec k vyjadřuje poměrné otevření spodních výpustí, kde 1 značí plné otevření a 0 úplné uzavření spodních výpustí.

Podle následující tabulky se jeví v případě regionálních povodní jako vhodná manipulace plné otevření spodních výpustí do dvou-leté povodně a nižší. Tuto manipulaci je možné držet až do chvíle, dokud z Novohradky nepostupuje směrem na Luži povodeň vyšší než Q_{20} . V takovém to případě by již došlo při ponechání otevřených spodní výpustí k překročení neškodného průtoku ve městě Luže.



Tabulka 35: Analýza závislosti otevření spodní výpusti na maximálním průtoku v Luži a poloze hladiny v Kutříně pro regionální povodně.

| Nastavení spodní výpusti | Maximální hladina v nádrži VD Kutřín a kulminační průtok v profilu Luže pro různé souběhy povodňových událostí typu regionálních (Krounka – Novohradka). | | | | | | | |
|--------------------------------|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Q2 – Q2 | | Q2 – Q20 | | Q2 – Q50 | | Q5 – Q5 | |
| | H _{max} | Q _{max} | H _{max} | Q _{max} | H _{max} | Q _{max} | H _{max} | Q _{max} |
| 0 | 434.77 | 8.22 | 434.77 | 16.32 | 434.77 | 20.06 | 436.65 | 12.22 |
| 0.1 | 433.04 | 9.66 | 433.04 | 17.71 | 433.04 | 21.44 | 435.20 | 13.81 |
| 0.2 | 431.95 | 11.00 | 431.95 | 19.00 | 431.95 | 22.72 | 434.21 | 15.33 |
| 0.3 | 431.06 | 12.23 | 431.06 | 20.20 | 431.06 | 23.90 | 433.36 | 16.77 |
| 0.4 | 430.27 | 13.35 | 430.27 | 21.27 | 430.27 | 24.97 | 432.61 | 18.13 |
| 0.5 | 429.56 | 14.33 | 429.56 | 22.27 | 429.56 | 25.96 | 431.96 | 19.42 |
| 0.6 | 428.97 | 15.18 | 428.97 | 23.06 | 428.97 | 26.73 | 431.33 | 20.61 |
| 0.7 | 428.31 | 15.80 | 428.31 | 23.75 | 428.31 | 27.44 | 430.77 | 21.70 |
| 0.8 | 427.77 | 16.27 | 427.77 | 24.20 | 427.77 | 27.86 | 430.23 | 22.74 |
| 0.9 | 427.20 | 16.42 | 427.20 | 24.40 | 427.20 | 28.07 | 429.74 | 23.57 |
| 1 | 426.76 | 16.52 | 426.76 | 24.54 | 426.76 | 28.23 | 429.26 | 24.35 |

V případě bleskových povodní, při plném otevření spodních výpustí, hladina v nádrži vystoupá na úroveň kóty 428,00 m n. m. i pro nejnižší posuzovanou velikost povodně Q₂, jak ukazuje tabulka. Aby náhrady škod byly co minimální, jeví se jako vhodná manipulace, stejně jako v případě regionálních povodní, plné otevření spodních výpustí do dvou-leté povodně a nižší. V případě bleskových povodní je však možné tuto manipulaci držet pouze do chvíle, dokud z Novohradky nepostupuje směrem na Luži povodeň vyšší, než je Q₅.

Tabulka 36: Analýza závislosti otevření spodní výpusti na maximálním průtoku v Luži a poloze hladiny v Kutříně pro bleskové povodně.

| Nastavení spodní výpusti | Maximální hladina v nádrži VD Kutřín a kulminační průtok v profilu Luže pro různé souběhy povodňových událostí typu bleskových (Krounka – Novohradka). | | | | | | | |
|--------------------------------|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Q2 – Q2 | | Q2 – Q5 | | Q2 – Q10 | | Q5 – Q5 | |
| | H _{max} | Q _{max} | H _{max} | Q _{max} | H _{max} | Q _{max} | H _{max} | Q _{max} |
| 0 | 432.2 | 5.70 | 432.2 | 12.02 | 432.2 | 17.41 | 434.4 | 13.58 |
| 0.1 | 431.3 | 7.02 | 431.3 | 13.32 | 431.3 | 18.70 | 433.7 | 15.09 |
| 0.2 | 430.9 | 8.28 | 430.9 | 14.56 | 430.9 | 19.92 | 433.3 | 16.56 |
| 0.3 | 430.4 | 9.48 | 430.4 | 15.76 | 430.4 | 21.11 | 433.0 | 18.00 |
| 0.4 | 430.1 | 10.63 | 430.1 | 16.90 | 430.1 | 22.24 | 432.6 | 19.42 |
| 0.5 | 429.7 | 11.74 | 429.7 | 18.00 | 429.7 | 23.33 | 432.3 | 20.80 |
| 0.6 | 429.3 | 12.80 | 429.3 | 19.01 | 429.3 | 24.31 | 432.1 | 22.16 |
| 0.7 | 429.0 | 13.72 | 429.0 | 19.92 | 429.0 | 25.21 | 431.8 | 23.47 |
| 0.8 | 428.6 | 14.55 | 428.6 | 20.77 | 428.6 | 26.07 | 431.5 | 24.74 |
| 0.9 | 428.3 | 15.34 | 428.3 | 21.57 | 428.3 | 26.89 | 431.3 | 25.98 |
| 1 | 428.0 | 16.10 | 428.0 | 22.31 | 428.0 | 27.56 | 431.0 | 27.18 |



7. VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ – VARIANTA VODNÍ NÁDRŽ

Vzhledem ke konstrukčnímu řešení hráze a objemu nádrže, kterým vodní dílo Kutřín disponuje, bylo přistoupeno k čistě teoretické úvaze v rámci diplomové práce, a to možnosti změny suché nádrže na vodní nádrž se zásobním objemem pro hospodaření s vodou. Ten by v budoucnu umožňoval například zajištění stálého nadlepšení průtoku v úseku Krounky pod profilem hráze, aniž by došlo k zásadní změně míry ochrany Luže a níže ležících obcí. Následující kapitola tak prověřuje čistě vodohospodářské řešení z pohledu řízení odtoku při povodni v případě, že by nádrž disponovala zásobním objemem.

Pro zpracování úlohy byl použit optimalizační systém v prostředí Matlab, který je popsán v kapitole 6. Jediná úprava programu spočívala ve změně algoritmu, který řeší řízení odtoku při povodňových situacích (pro variantu suché nádrže popsán v kapitole 6.1.1.). Algoritmus byl sestaven tak, aby simuloval manipulace se spodními výpusti při povodni následovně:

- V případě plného zásobního prostoru nádrže je odtok roven přítoku do nádrže, tím je držena kóta zásobního objemu a ochranný prostor se tak neplní.
- Tato manipulace se udržuje do chvíle, kdy je hodnota přítoku menší než hodnota neškodného odtoku. Ve chvíli, kdy je přítok vyšší, je odtok z nádrže roven hodnotě neškodného odtoku a nádrž se tak začíná plnit.
- Ve chvíli, kdy přichází do funkce bezpečnostní přeliv, se spodní výpusti uzavírají tak, aby odtok nebyl větší než neškodný.
- Pokud již nelze zajistit žádnou manipulací neškodný odtok, uzavírají se spodní výpusti a povodňová vlna se transformuje čistě pomocí bezpečnostního přelivu. Nastává neovladatelný stav.
- V případě, kdy lze manipulací opět zajistit neškodný odtok, je nádrž pomocí něj prázdněna opět na kótu zásobního prostoru.



Tato manipulace je proveditelná vzhledem k velké kapacitě bezpečnostního přelivu, který je schopen samostatně převést až Q_{10000} . Z tohoto pohledu je možné, aby transformace povodňové vlny proběhla pouze bezpečnostním přelivem bez otevření spodních výpusti.

7.1. Dosažené výsledky pro variantu vodní nádrže

Pomocí optimalizačního modelu, popsaného v kapitole 6, byla stanovena optimální hodnota neškodného odtoku, v závislosti na hydrologické situaci na Novohradce a Krounce, která tak způsobí nejmenší maximální průtok ve městě Luže. Dále bylo posuzováno, jak se bude měnit míra ochrany řešeného úseku Novohradky v závislosti na kótě hladiny zásobního prostoru v nádrži a jaký zásobní objem by tím vznikl.

Způsob vyhodnocení byl totožný se způsobem pro variantu suché nádrže. Opět byly výsledky ilustrovány prostřednictvím tabulek, kde jsou **zeleně** vyznačena pole, pro která platí, že při souběhu daných povodňových událostí z Krounky a Novohradky, nebude překročen neškodný průtok ($25,29 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) v Luži a **červeně** jsou vyznačena pole, pro která platí, že bude překročen neškodný průtok ve městě Luže.

Výsledky byly zpracovány pro různé kóty zásobního objemu, kdy první uvažovanou variantou byla kóta zásobního objemu na úrovni kóty bezpečnostního přelivu 440,40 m n. m. Kóta byla snižována po 1 metru až do chvíle, kdy nádrž vykazovala stejné chování, z pohledu ochranné funkce, jako suchá nádrž.



7.1.1. Regionální povodně

V případě regionálních povodní by hodnoty neškodného odtoku pro kombinace povodňových vln a kótu zásobního objemu na úrovni 440,40 m n. m. vycházely následovně:

| | | O _{neš} z VD Kutřín pro H _z = 440.4 m n. m. | | | | | |
|---------|-------|---|------|------|------|------|-------|
| | | Novohradka | | | | | |
| | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 |
| Krounka | PV2 | 4.7 | 4.5 | 4.3 | 4.1 | 3.9 | 3.8 |
| | PV5 | 8.5 | 8.3 | 8.2 | 8.0 | 7.8 | 7.6 |
| | PV10 | 12.3 | 12.1 | 12.0 | 11.8 | 11.6 | 11.4 |
| | PV20 | 16.7 | 16.5 | 16.4 | 16.2 | 16.0 | 15.9 |
| | PV50 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 |
| | PV100 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 |

Těmto hodnotám odpovídá pak kulminační průtok v profilu Luže:

| | | Q _{max} V Luži pro H _z = 440.4 m n. m. | | | | | |
|---------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Novohradka | | | | | |
| | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 |
| Krounka | PV2 | 12.95 | 15.93 | 18.01 | 20.54 | 24.06 | 26.98 |
| | PV5 | 17.62 | 20.64 | 22.73 | 25.26 | 28.74 | 31.67 |
| | PV10 | 21.90 | 24.92 | 27.11 | 29.57 | 33.13 | 36.02 |
| | PV20 | 26.93 | 29.97 | 32.17 | 34.72 | 38.28 | 41.20 |
| | PV50 | 40.04 | 43.13 | 45.30 | 47.79 | 51.27 | 54.09 |
| | PV100 | 50.49 | 53.73 | 56.01 | 58.64 | 62.32 | 65.32 |

Pro takto zvolenou kótu zásobního objemu vychází maximální možná míra ochrany řešeného území přibližně na úrovni Q₅, za předpokladu shodných dob opakování povodňových vln. Oproti variantě suché nádrže by se tak efektivita ochranné funkce velice snížila.

Tímto způsobem bylo prověřeno několik variant úrovně kóty zásobního prostoru viz příloha 2. Výsledek ukázal, že od kóty zásobního objemu 432,40 m n. m. je VD Kutřín schopen zajistit stejnou míru ochrany jako případě suché nádrže (viz příloha 2.11. a tabulka 29). Pro úroveň této kóty vychází však malý zásobní objem. Podle charakteristických křivek přibližně 484.72 tis.m³ a to bez uvážení stálého prostoru nadržení. Zásobní objem by tedy byl ještě menší.



7.1.2. Bleskové povodně

Stejným postupem byla zpracována varianta bleskových povodní viz příloha 3. Výsledek poukazuje na hodnotu neškodného odtoku pro různé kombinace povodňových událostí v závislosti na poloze kóty zásobního objemu.

V případě bleskových povodní je již při kótě zásobního objemu na úrovni 436,4 m n. m. celý objem povodně zachycen v retenčním prostoru nádrže, a tedy je možné odpouštět úplné minimum (MZP). Nicméně vzhledem k vysokým hodnotám kulminace povodňových vln na Novohradce není možné zajistit, stejně jako v případě varianty suché nádrže, vyšší míru ochrany, než je Q_{10} .

7.1.3. Komentář k variantě vodní nádrže

V rámci diplomové práce byla provedena pragmatická úvaha ohledně volby kóty zásobního prostoru v závislosti na dostatečné míře ochrany řešeného území Novohradky a možnosti nadlepšování průtoku v Krounce pod VD Kutřín pomocí vzniklého zásobního objemu nádrže. Pro tyto potřeby byl stanoven tzv. poměrný zásobní objem β , který je dán poměrem objemu zásobního prostoru V_z a objemu W , který je stanovený z dlouhodobého průměrného ročního průtoku Q_a , a reprezentuje tak celkový průměrný roční objem vody proteklý daným měrným profilem. Koeficient β lze určit z následující rovnice [1]:

$$\beta = \frac{V_z}{W} = \frac{V_z}{Q_a \cdot t} [-] \quad (25)$$

Kde V_z je zásobní objem nádrže (m^3), Q_a je průměrný dlouhodobý průtok v profilu nádrže ($m^3 \cdot s^{-1}$), t je počet sekund za rok $31,5 \cdot 10^6$ (s).



Pro posuzované kóty zásobního objemu vychází objem vody v nádrži, míra ochrany řešeného úseku Novohradky a poměrný zásobní objem následovně:

Tabulka 37: Závislost kóty zásobního prostoru na míře ochrany, objemu nádrže a poměrném zásobním objemu.

| H_z | V | Míra ochrany – Regionální | Míra ochrany – Bleskové | β |
|----------------------|----------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|------------|
| [m n. m.] | [tis.m³] | [Let] | [Let] | [-] |
| 440.4 | 3613.52 | 5 | 5 | 0.25 |
| 439.4 | 2977.48 | 10 | 10 | 0.20 |
| 438.4 | 2417.86 | 20 | 10 | 0.16 |
| 437.4 | 1936.98 | 20 | 10 | 0.13 |
| 436.4 | 1531.44 | 20 | 10 | 0.10 |
| 435.4 | 1194.12 | 50 | 10 | 0.08 |

Standartně mají zásobní nádrže v České republice hodnotu parametru β na úrovni 0,7. [1] V případě VD Kutřín vychází tento parametr okolo 0,25 pro největší možný objem v nádrži a to bez uvážení objemu stálého nadržení. Z tohoto pohledu nelze zaručit možnost dlouhodobého nadlepšovacieho účinku nádrže. Varianta byla řešena pouze teoreticky a je doporučena k dalšímu detailnímu prošetření v případě budoucích úvah o variantě vodní nádrže Kutřín formou standardního vodohospodářského řešení zásobní funkce nádrže.



8. NÁVRH ZÁSAD PRO OPERATIVNÍ ŘÍZENÍ V REÁLNÉM ČASE PŘI POVODNI

Výsledky hydrologického modelu a optimalizačního systému dávají dobrý předpoklad pro jejich použití v rámci automatického řídicího systému. V dalším kroku by bylo potřeba převést takto připravený systém do online režimu, který by rozhodoval o velikosti vypouštěného odtoku z nádrže na základě aktuálního stavu povodí (monitorovací systém) a prognózy přítoku do nádrže pomocí numerických meteorologických modelů (např. ALADIN). [1]

Zmíněný systém by jako počáteční podmínku pro hydrologický model uvažoval aktuální stav povodí, okrajovou podmínkou by byla prognóza srážek, stanovená pomocí zmíněných meteorologických modelů. V rámci simulačního běhu by model potom umožňoval online výpočet odtokové odezvy. Ta by dále vstupovala do optimalizačního systému, který by rozhodl o manipulaci na vodním díle. Vzhledem k rozdílným výsledkům pro různé varianty jsou způsoby stanovení odtoku z nádrže popsány v následujících podkapitolách.

8.1. Varianta suché nádrže

V případě poldru Kutřín se na základě výsledků jeví jako optimální manipulace, pro ochranu města Luže a níže ležících obcí, snížení odtoku z poldru Kutřín na minimum pro každou povodňovou událost až do Q_{100} . Z tohoto pohledu je pouze nutné pomocí monitorovacího systému a modelů pro předpověď srážek identifikovat, zdali povodeň nastane či nikoli.

Při zohlednění služebnosti pozemků by automatický řídicí systém musel na základě prognózy zhodnotit, zda bude povodňová vlna z Krounky na úrovni Q_2 a nižší. V takovém to případě by AŘS ponechal otevřenou spodní výpust až do momentu, než by vyhodnotil, že z Novohradky postupuje povodňová vlna větší, než je TPV20 regionální nebo TPV5 blesková. Pak by už bylo nutné, vzhledem k ochraně řešeného úseku Novohradky, odpouštět pouze minimální zůstatkový průtok.



8.2. Varianta vodní nádrže

V případě varianty vodní nádrže by rozhodovací model mohl postupovat následovně:

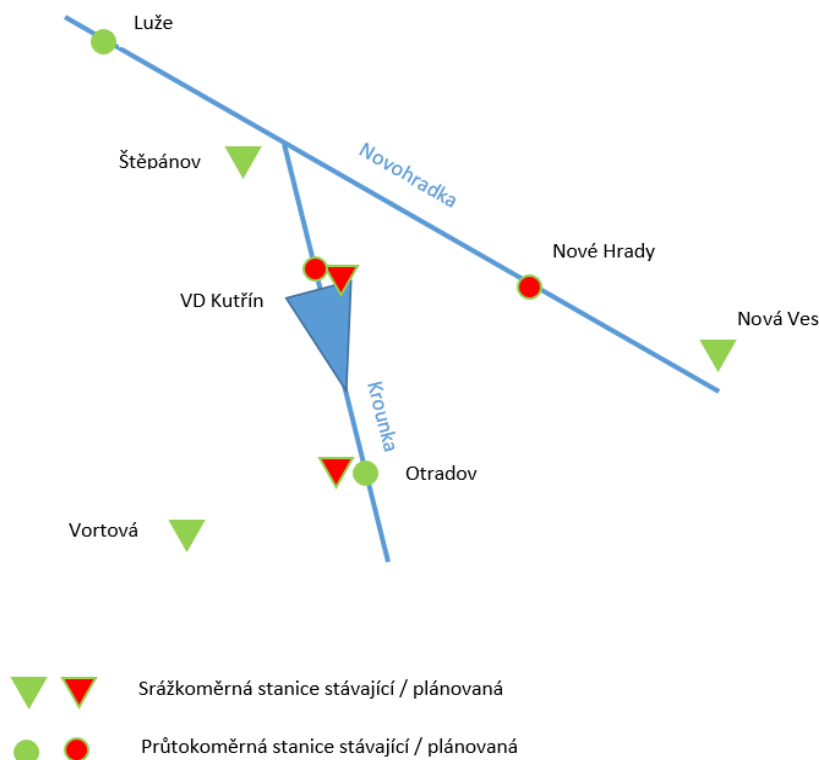
- Varianta A. První možností je využití sestavených řídicích matic. Na základě předpovědi by model určil, jaká povodňová událost pravděpodobně nastane na Krounce a Novohradce. Podle toho zvolí příslušnou hodnotu neškodného odtoku z vypočítané řídicí matice (příloha 2. a 3.).
- Varianta B. Optimální variantou by byl systém, který by pro odvozenou odtokovou odezvu přímo optimalizoval nastavení odtoku poldru Kutřín. Optimalizace by proběhla například pomocí algoritmu sestaveného v rámci této diplomové práce.

8.3. Komentář k monitorovacímu systému

Z výše uvedeného je zřejmé, že pro potřebu operativního řízení je nutné mít zmapovaný aktuální a minulý hydrometeorologický stav povodí Novohradky a Krounky, který bude v případě využití automatického řídicího systému tvořit počáteční podmínku simulačního modelu. Tedy je třeba znát aktuální srážky, průtoky a stupeň nasycení povodí.

Povodí Labe, státní podnik, jakožto správce vodního toku plánuje v rámci výstavby poldru Kutřín rozšíření stávajícího monitorovacího systému následovně:

VD Kutřín – schéma monitorovacího systému



Obrázek 23: Návrh Povodí Labe na rozšíření monitorovacího systému pro povodí řek Krounky a Novohradky. [19]

Povodí Labe, státní podnik plánuje realizovat výstavbu dvou průtokoměrných stanic, a to odtokového limnigrafu z VD Kutřín a nové stanice na Novohradce v profilu Nové Hrady. Monitorovací systém by měl být dále doplněn o srážkoměr na vodním díle Kutřín a stanici Otradov – Krounka.

Výše zmíněný návrh dává předpoklad plné informace ohledně aktuálního hydrometeorologického stavu na povodí Krounky a Novohradky a není potřeba jej dále rozšiřovat.

Možnost k prověření je zapojení již stávající srážkoměrné stanice Svratouch, která se nachází v pramenné oblasti Krounky, o její správu se stará Český hydrometeorologický ústav.



9. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo sestavení hydrologického modelu povodí Novohradky po uzávěrový profil průtokoměrné stanice Luže a optimalizace operativního řízení odtoku z VD Kutřín s ohledem na aktuální a prognózovaná hydrometeorologická data z monitorovacího systému. Současně bylo cílem posoudit a případně navrhnout rozšíření stávajícího monitorovacího systému povodí. Hlavním cílem byl návrh zásad pro řízení odtoku z VD Kutřín v závislosti na hydrologické situace na Krounce a Novohradce. V rámci diplomové práce bylo dospěno k těmto závěrům:

1. Vzhledem k historicky zaznamenaným povodním na území řek Krounky a Novohradky jsou výsledky diplomové práce zpracovány pro variantu regionálních a bleskových povodní. Veškeré výsledky byly posuzovány s ohledem na neškodný průtok $25,29 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (příloha 1) v profilu Luže, který odpovídá 3. SPA. Platnost uvedeného SPA je pro horní úsek Novohradky od města Luže až po soutok s vodním tokem Žejbro. Pro všechny uvedené výsledky platí, že nebyla překročena MBH (442,70 m n. m.) v nádrži. V rámci výsledků jsou pro úplnost vyhodnoceny průtokové stavy v Luži i pro souběh povodňových vln s různou dobou opakování až do Q_{100} . Vzhledem ke geografické podobnosti obou povodí lze s největší pravděpodobností očekávat kombinace povodňových epizod se shodnou dobou opakování, popřípadě lišící se o jeden řád.
2. V rámci diplomové práce byl sestaven srážkoodtokový hydrologický model který umožnil stanovit vstupy v podobě neovlivněných hydrogramů povodí a dotokových dob mezi výpočetními profily pro optimalizační systém sestavený v programovacím prostředí Matlab. Pomocí něj bylo možné stanovit zásady řízení odtoku z VD Kutřín, které jsou následující:
 - a. Pro variantu suché nádrže:
 - i. Z pohledu ochrany intravilánu města Luže a níže ležících obcí se jeví jako optimální manipulace snížení odtoku z VD Kutřín na hodnotu minimálního zůstatkového průtoku v případě bleskových i regionálních povodní až do Q_{100} . Taková to manipulace při povodňových stavech zajistí nejnižší možný kulminační průtok v profilu Luže.



- ii. V prostředí ArcGis byl v rámci diplomové práce sestaven model, který umožnil stanovit čáry zatopených ploch pozemků v majetku Povodí Labe, státní podnik a pozemků, které jsou předmětem pozemkové služebnosti. Při zohlednění služebnosti pozemků v zátopě se jeví jako účelné neuzavírat spodní výpust pro všechny typy povodně až do průtoku Q_2 . Při ponechání plně otevřených spodních výpustí tak nebudou zatopeny pozemky, které jsou předmětem pozemkové služebnosti. Tuto manipulaci je možné provést pouze za předpokladu, že na Novohradce nenastanou regionální povodně, jejichž doba opakování je vyšší než $N=20$ let, anebo v případě bleskových povodní vyšší než $N=5$ let. Pak už s ohledem na ochranu dolního toku Novohradky je vhodné odpouštět z VD Kutřín pouze minimální zůstatkový průtok.
 - b. Přestože je poldr Kutřín koncepčně řešen jako suchá nádrž, byla v rámci diplomové práce prověřena teoretická varianta změny suché nádrže na vodní nádrž se zásobním objemem pro hospodaření s vodou. Varianta byla prověřena pouze z pohledu změny řízení odtoku při povodňových stavech oproti variantě suché nádrže.
 - i. Pro tuto variantu byly přímo sestaveny řídicí matice, které obsahují hodnotu neškodného odtoku s ohledem na hydrologickou situaci na Krounce a Novohradce, pro různé kóty zásobního objemu. (Příloha č.2 a č.3)
 - ii. Následně byla provedena orientační úvaha ohledně stanovení optimální kóty zásobního objemu pomocí poměrného zásobního objemu β . Pro největší uvažovaný zásobní objem v nádrži byla vypočtena hodnota koeficientu 0,25. Standartně je hodnota koeficientu u zásobních nádrží v České republice okolo 0,7. Z tohoto pohledu nelze zaručit možnost dlouhodobého nadlepšovacího účinku nádrže. Varianta byla řešena pouze orientačně a je doporučena k dalšímu prošetření formou standardního vodohospodářského řešení zásobní funkce nádrže.
3. Výsledky hydrologického modelu a optimalizačního systému daly dobrý předpoklad pro jejich další použití v rámci automatického řídicího systému, který



je na VD Kutřín plánován. V dalším kroku by bylo potřeba převést takto připravený systém do online režimu. Ten by rozhodoval o velikosti vypouštěného odtoku podle výše popsaných zásad za předpokladu správné prognózy srážkoodtokové odezvy na Krounce a Novohradce.

4. Variantou je připravit rozhodovací systém, který by stanovil velikost vypouštěného odtoku na základě aktuálního stavu povodí a prognózy přítoku do nádrže v nejbližším čase. Takovýto systém by jako počáteční podmínku pro hydrologický model uvažoval aktuální stav povodí, okrajovou podmínkou by byla prognóza srážek, stanovena pomocí numerických meteorologických modelů (např. ALADIN). V rámci simulačního běhu by model potom umožňoval online výpočet odtokové odezvy. Následně by AŘS pomocí vytvořeného algoritmu v této diplomové práci optimalizoval hodnotu neškodného odtoku z VD Kutřín pro konkrétní napočítanou odtokovou odezvu.
5. Pro potřebu operativního řízení v reálném čase je nutné mít zmapovaný aktuální hydrometeorologický stav povodí. Povodí Labe plánuje v rámci výstavby poldru Kutřín rozšíření stávajícího monitorovacího systému. (obrázek 23) Návrh Povodí Labe na rozšíření stávajícího monitorovacího systému je plně dostatečný a není třeba ho nikterak upravovat. Možnost k prověření je zapojení již stávající srážkoměrné stanice Svratouch, která se nachází v pramenné oblasti Krounky, o její správu se stará Český hydrometeorologický ústav.



SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tabulka 1: Hydrologické údaje pro tok Krounka..... | 14 |
| Tabulka 2: Hydrologické údaje pro tok Novohradka v profilu průtokoměrné stanice Luže. | 15 |
| Tabulka 3: Řazení říčních úseků ve výpočetním modelu. | 19 |
| Tabulka 4: Řazení povodí ve výpočetním modelu..... | 19 |
| Tabulka 5: Stanovené plochy povodí a délky říčních úseků..... | 20 |
| Tabulka 6: Hodnoty průměrného sklonu povodí a sklonu toku..... | 21 |
| Tabulka 7: Procentuální zastoupení nepropustných ploch na povodí..... | 21 |
| Tabulka 8: Přiřazená váha hydrologickým skupinám půd..... | 24 |
| Tabulka 9: Výpočet váhy hydrologických skupin na dílčích subpovodí..... | 25 |
| Tabulka 10: Průměrná čísla odtokových křivek pro využití území. | 26 |
| Tabulka 12: Plochy využití území pro jednotlivé povodí a hodnoty CN křivek. | 28 |
| Tabulka 13: Hodnoty maximální retenční kapacity S a počátečních ztrát..... | 28 |
| Tabulka 14: Parametry Clarkova dvouparametrického okamžitého jednotkového hydrogramu. | 30 |
| Tabulka 15: Délky a sklon říčních úseků..... | 30 |
| Tabulka 16: Souřadnice charakteristických příčných profilů pro výpočetní říční úseky. | 31 |
| Tabulka 17: Manningova drsnost pro jednotlivé říční úseky. | 31 |
| Tabulka 18: Zjištěné hodnoty parametrů říčních úseků..... | 32 |
| Tabulka 19: Zjištěné hodnoty fyzicko – geografických parametrů dílčích povodí..... | 32 |
| Tabulka 20: Hodnoty maximálních 1-denních úhrnů srážek pro stanici – Skuteč..... | 35 |
| Tabulka 21: Hodnoty maximálních 1-denních úhrnů srážek pro stanici – Milovy..... | 35 |
| Tabulka 22: Vypočtené hodnoty součinitele plošné korekce..... | 36 |
| Tabulka 23: Porovnání hodnot N-letých průtoků pro profil VD – Kutřín..... | 39 |
| Tabulka 24: Porovnání hodnot N-letých průtoků pro profil VD – Kutřín..... | 40 |
| Tabulka 25: Hodnoty N-letých průtoků odpovídají bleskovým povodním pro profil VD – Kutřín..... | 40 |
| Tabulka 26: Hodnoty N-letých průtoků odpovídají bleskovým povodním pro profil Luže. | 41 |
| Tabulka 27: Doby dotoku..... | 41 |
| Tabulka 28: Způsob přisuzování hydrogramů říčním úsekům. | 42 |
| Tabulka 29: Maximální průtok v Luži pro stav bez poldru Kutřín v případě regionálních povodní..... | 47 |



| | |
|--|----|
| Tabulka 30: Maximální průtok v Luži v případě uzavření SV v poldru – regionální povodeň..... | 49 |
| Tabulka 31: Maximální hladiny na VD Kutřín v případě uzavření SV v poldru – regionální povodeň..... | 49 |
| Tabulka 32: Maximální průtok v Luži pro stav bez poldru Kutřín v případě regionálních povodní..... | 50 |
| Tabulka 33: Maximální průtok v Luži v případě uzavření SV v poldru – blesková povodeň. | 52 |
| Tabulka 34: Maximální hladina na VD Kutřín v případě uzavření SV v poldru – regionální povodeň..... | 52 |
| Tabulka 35: Analýza závislosti otevření spodní výpusti na maximálním průtoku v Luži a poloze hladiny v Kutříně pro regionální povodně..... | 58 |
| Tabulka 36: Analýza závislosti otevření spodní výpusti na maximálním průtoku v Luži a poloze hladiny v Kutříně pro bleskové povodně. | 58 |
| Tabulka 37: Závislost kóty zásobního prostoru na míře ochrany, zásobního objemu a koeficientu nadlepšení | 63 |



SEZNAM OBRÁZKŮ

| | | |
|---|---|----|
| Obrázek 1: Situace řešené úlohy. | 5 | |
| Obrázek 2: Stavba poldru Kutřín v prosinci 2021, Šilinkův důl. Autor DP. | 7 | |
| Obrázek 3: Vizualizace poldru Kutřín. Sdružení Kutřín 2016. [3]..... | 8 | |
| Obrázek 4: Měrná křivka bezpečnostního přelivu VD Kutřín. [2,3] | 10 | |
| Obrázek 5: Měrná křivka spodní výpusti VD Kutřín. | 13 | |
| Obrázek 6: Rozdělení řešené části povodí řeky Novohradky na dílčí výpočetní subpovodí a říční úseky. [21, 22] | 18 | |
| Obrázek 7: Hydrologický model povodí Novohradky po stanici Luže v softwaru HEC – HMS 4.8. | 19 | |
| Obrázek 8: Mapa HPJ pro subpovodí 3 | 24 | |
| Obrázek 9: Ukázka mapy landuse pro subpovodí 3 | 27 | |
| Obrázek 10: Typ návrhového hyetogramu pro bleskové povodně..... | 34 | |
| Obrázek 11: Typ návrhového hyetogramu pro regionální povodně.34 | Obrázek 12: Graf pro výpočet součinitele plošné redukce na základě velikosti povodí. | 36 |
| Obrázek 13: Porovnání modelované TPV Q10000 s TPV Q10000 od ČHMÚ pro profil poldru Kutřín. | 37 | |
| Obrázek 14: Porovnání modelované TPV Q10000 s TPV Q10000 od ČHMÚ pro profil poldru Kutřín. | 38 | |
| Obrázek 15: Průběh TPV typu regionálních pro profil VD Kutřín. | 39 | |
| Obrázek 16: Průběh TPV typu regionálních pro profil VD Kutřín. | 40 | |
| Obrázek 17: Průběh povodně v Luži a hladina v poldru Kutřín při PV100 regionálnípovodně. | 48 | |
| Obrázek 18: Průběh povodně v Luži a hladina v poldru Kutřín při PV100 bleskové. ... | 51 | |
| Obrázek 19: Mapa s vyznačením zátopy po kótu koruny hráze 442,70 m n. m. | 54 | |
| Obrázek 20: Pozemky v zátopě ve vlastnictví Povodí Labe | 55 | |
| Obrázek 21: Pozemky v zátopě, které jsou předmětem pozemkové služebnosti. | 56 | |
| Obrázek 22: Součtové čáry zatopených ploch pozemků | 57 | |
| Obrázek 23: Návrh Povodí Labe na rozšíření monitorovacího systému pro povodí řek Krounky a Novohradky. (1) | 66 | |



SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1 – Evidenční list hlásného profilu průtokoměrné stanice Luže.

Příloha č.2 – Řídící matice pro stanovení hodnoty neškodného odtoku v případě regionálních povodňových epizod.

Příloha č. 2.1. Řídící matice pro kótu zásobního objemu Hz = 440,40 m n. m.

Příloha č. 2.2. Řídící matice pro kótu zásobního objemu Hz = 439,40 m n. m.

Příloha č. 2.3. Řídící matice pro kótu zásobního objemu Hz = 438,40 m n. m.

Příloha č. 2.4. Řídící matice pro kótu zásobního objemu Hz = 437,40 m n. m.

Příloha č. 2.5. Řídící matice pro kótu zásobního objemu Hz = 436,40 m n. m.

Příloha č. 2.6. Řídící matice pro kótu zásobního objemu Hz = 435,40 m n. m.

Příloha č. 2.7. Řídící matice pro kótu zásobního objemu Hz = 434,40 m n. m.

Příloha č. 2.8. Řídící matice pro kótu zásobního objemu Hz = 433,40 m n. m.

Příloha č. 2.9. Řídící matice pro kótu zásobního objemu Hz = 432,40 m n. m.

Příloha č. 2.10. Řídící matice pro kótu zásobního objemu Hz = 431,40 m n. m.

Příloha č. 2.11. Řídící matice pro kótu zásobního objemu Hz = 430,40 m n. m.

Příloha č.3 – Řídící matice pro stanovení hodnoty neškodného odtoku v případě bleskových povodňových epizod.

Příloha č. 3.1. Řídící matice pro kótu zásobního objemu Hz = 440,40 m n. m.

Příloha č. 3.2. Řídící matice pro kótu zásobního objemu Hz = 439,40 m n. m.

Příloha č. 3.3. Řídící matice pro kótu zásobního objemu Hz = 438,40 m n. m.

Příloha č. 3.4. Řídící matice pro kótu zásobního objemu Hz = 437,40 m n. m.

Příloha č. 3.5. Řídící matice pro kótu zásobního objemu Hz = 436,40 m n. m.

Příloha č. 3.6. Řídící matice pro kótu zásobního objemu Hz = 435,40 m n. m.



POUŽITÉ ZDROJE

- [1] Patera A., Nacházel K., Fošumpaur P.:
Nádrže a vodohospodářské soustavy. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2002.
- [2] Fošumpaur P., Kašpar T., Králík., Zukal., *Krounka, Kutřín, výstavba poldru – Hydraulický výzkum bezpečnostního přelivu poldru Kutřín na fyzikálním modelu*. ČVUT v Praze, Fakulta Stavební. Praha, prosinec, 2018.
- [3] ŠINDLAR s.r.o. a HG partner s.r.o.: *Krounka, Kutřín, výstavba poldru. Dokumentace pro provádění stavby*. Hradec Králové, říjen, 2019.
- [4] ENGINEERS, U. S. ARMY CORPS OF. *HEC-HMS User's Manual*. Březen 29, 2021. Dostupné z:
<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/latest>
- [5] Pecha M., Tyl R.: *Hydrologická studie - Stanovení průběhu teoretické povodňové vlny TPV10000 v profilu poldru Kutřín - Krounka*. ČHMÚ - Praha - Komořany : úsek hydrologie - oddělení povrchových vod, únor, 2015.
- [6] Starý M.: *Hydrologie – Modul 02*. VUT v Brně, Fakulta stavební. Brno, 2005.
- [7] Sedláčková R.: *Hydrologická studie – Průběh návrhové povodňové vlny v profilu poldru Kutřín - Krounka*. ČHMÚ – Pobočka Hradec Králové, červen, 2009.
- [8] Janeček M. a kol.: *Metodika – Ochrana zemědělské půdy před erozí*. ČZU Praha, Fakulta životního prostředí, 2012.
- [9] Havlík V., Marešová I.. *Hydraulika 20*. Praha : Skriptum ČVUT, 2001.
- [10] Říha J., Sedláček M., Smrž P., Veselý R., Žatecký S.: *Návrh a realizace suchých nádrží z pohledu technickobezpečnostního dohledu*. Ministerstvo životního prostředí. Praha, 2014.
- [11] Šamaj F., Valovič Š., Brázdil R.: *Denné úhrny zrážek s mimoriadnou výdatností v ČSSR v období 1901-1980*. Publikace z roku 1985.
- [12] Kašpárek L.: *Zpracování N-letých ovlivněných průtoků Novohradky po výstavbě poldru Kutřín*. Praha : VÚV T. G. Masaryka, v.v.i., prosinec, 2015.



- [13] Kulasová B., Šercl P., Boháč M.: *Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní. Metodická příručka pro výběr a aplikaci vhodné metody k odvození hydrologických podkladů za účelem posouzení bezpečnosti vodních děl.* Praha : ČHMÚ - Oddělení povrchových vod, 2004.
- [14] Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W.: *Applied Hydrology, International Edition.* New York : McGraw-Hill Book Company, 1988. 0-07-100174-3.
- [15] ČSN 75 2935. *Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních. Leden, 2014.*
- [16] Ministerstvo životního prostředí. *Metodický pokyn odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích.*
Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/\\$file/metod.html](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/$file/metod.html)
- [17] TNV 75 2415 *Suché nádrže.* Ministerstvo zemědělství. Leden, 2013.
- [18] Směnná smlouva a smlouva o zřízení věcného břemene, číslo D994170436.
Hrádec Králové, Registr smluv. Dostupné z: https://smlouvy.gov.cz/smlouva/soubor/5373868/sml_65433_Registr_Smluv.pdf
- [19] Petr J.: Podklady OVHD pro GŘ k slavnostnímu zahájení stavby VD. 2021.
- [20] Tisková zpráva Povodí Labe: *Povodí Labe zahájilo stavbu poldru Kutřín.* Povodí Labe, státní podnik. Hradec Králové, 2021.
- [21] Vyhláška č. 590/2002 Sb. Vyhláška o technických požadavcích pro vodní díla. Ministerstvo zemědělství. Účinnost od 1.1.2003.
- [22] Dibavod. 2021. Oddělení geografických informačních systémů a kartografie. [Online] Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, 2021.
Dostupné z: <http://www.dibavod.cz/index.php?id=27>.
- [23] ČÚZK. 2021. Český úřad zeměměřický a katastrální. Státní správa zeměměřictví a katastru. [Online]
Dostupné z: <https://cuzk.cz/>



PŘÍLOHY

Příloha č.1 – Evidenční list hlásného profilu průtokoměrné stanice Luže.

| Evidenční list hlásného profilu č.38, Stanice kategorie : B | | | | | | | | | |
|---|--------------------------------|-----------------------------------|---|--|----------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------|
| Tok: | Novohradka | | | Stanice: | Luže | | | | |
| Kraj: | Pardubický kraj | | | ORP: | Chrudim | | | Obec: | Luže |
| Provozovatel: | ČHMÚ Hradec Králové | | | | | | | | |
| Centrum automatizovaného sběru dat: | RPP ČHMÚ Hradec Králové | | | | | | | | |
| Staničení: | 28.35 | [km] | Číslo hydrologického pořadí: | 1-03-03-060 | | | | | |
| Plocha povodí: | 152.45 | [km ²] | Zeměpisné souřadnice: | 16.0263417 v.d. 49.8871912 s.š. | | | | | |
| Nula vodočtu: | 291.95 | [m n. m.] | Procento plochy povodí toku: | 32.6 | | | | | |
| Stupně povodňové aktivity: | [cm] | [m ³ s ⁻¹] | Platnost SPA pro úsek toku: | | | | | | |
| 1.SPA (bdělost) | 120 | 11.826 | horní tok po Žejbro | | | | | | |
| 2.SPA (pohotovost) | 150 | 18.111 | Kritické místo: | | | | | | |
| 3.SPA (ohrožení) | 180 | 25.291 | Lozice, Jenišovice, Chroustovice | | | | | | |
| Průměrný roční stav: | 38 | [cm] | N-leté průtoky: | Q ₁ | Q ₅ | Q ₁₀ | Q ₅₀ | Q ₁₀₀ | |
| Průměrný roční průtok: | 1.22 | [m ³ s ⁻¹] | [m ³ s ⁻¹] | 10.9 | 26 | 34.3 | 57.8 | 69.7 | |
| Odesílatel zpráv: | Četnost hlášení SPA: | | I. | 2 x denně | | | | | |
| OÚ Luže | | | II. | 3 x denně | | | | | |
| | | | III. | 3hodinové hlášení | | | | | |
| Odesílatel podá zprávu: | Spojení na adresáta: | | Příjemce dále vyzoomí: | | | | | | |
| MěÚ Chrudim | 469645111 | | | | | | | | |
| OÚ Lozice | | | | | | | | | |
| OÚ Chroustovice | | | | | | | | | |
| VHD Povodí Labe Hradec Králové | 495088730 | | RPP ČHMÚ Hradec Králové | | | | | | |
| Nejvyšší zaznamenané vodní stavy: | | | Mapa v měřítku 1:50 000: | | | | | | |
| [cm] | V. - XI. | [cm] | XII. - IV. | | | | | | |
| 255 | 25.06.2013 | 158 | 05.03.2009 | | | | | | |
| 236 | 02.06.2010 | | | | | | | | |
| 175 | 22.05.2010 | | | | | | | | |
| Popis umístění profilu: | | | | | | | | | |
| most Luže - Zdislav, levý břeh | | | | | | | | | |
| 38 | | | | [Generováno : 13.09.2021] | | | | | |

Český hydrometeorologický ústav, Hlásná a přepovědní povodňová služba

Aplikace vyrobena firmou Hydrosoft Veleslavin s.r.o.



Příloha č.2 – Řídící matice pro stanovení hodnoty neškodného odtoku v případě regionálních povodňových epizod.

Příloha č. 2.1. Řídící matice pro kótu zásobního objemu $H_z = 440,40$ m n. m.

| | | O _{nes} z VD Kutřín pro $H_z = 440.4$ m n. m. | | | | | | | | Q _{max} v Luži pro $H_z = 440.4$ m n. m. | | | | | |
|---------|-------|--|------|------|------|------|-------|---------|-------|---|------|------|------|------|-------|
| | | Novohradka | | | | | | | | Novohradka | | | | | |
| | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 | | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 |
| Krounka | PV2 | 4.7 | 4.5 | 4.3 | 4.1 | 3.9 | 3.8 | Krounka | PV2 | 12.9 | 15.9 | 18.0 | 20.5 | 24.1 | 27.0 |
| | PV5 | 8.5 | 8.3 | 8.2 | 8.0 | 7.8 | 7.6 | | PV5 | 17.6 | 20.6 | 22.7 | 25.3 | 28.7 | 31.7 |
| | PV10 | 12.3 | 12.1 | 12.0 | 11.8 | 11.6 | 11.4 | | PV10 | 21.9 | 24.9 | 27.1 | 29.6 | 33.1 | 36.0 |
| | PV20 | 16.7 | 16.5 | 16.4 | 16.2 | 16.0 | 15.9 | | PV20 | 26.9 | 30.0 | 32.2 | 34.7 | 38.3 | 41.2 |
| | PV50 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | | PV50 | 40.0 | 43.1 | 45.3 | 47.8 | 51.3 | 54.1 |
| | PV100 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | | PV100 | 50.5 | 53.7 | 56.0 | 58.6 | 62.3 | 65.3 |

Příloha č. 2.2. Řídící matice pro kótu zásobního objemu $H_z = 439,40$ m n. m.

| | | O _{nes} z VD Kutřín pro $H_z = 439.4$ m n. m. | | | | | | | | Q _{max} v Luži pro $H_z = 439.4$ m n. m. | | | | | |
|---------|-------|--|------|------|------|------|-------|---------|-------|---|------|------|------|------|-------|
| | | Novohradka | | | | | | | | Novohradka | | | | | |
| | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 | | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 |
| Krounka | PV2 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | Krounka | PV2 | 8.2 | 11.4 | 13.7 | 16.3 | 20.1 | 23.2 |
| | PV5 | 2.2 | 1.7 | 1.4 | 1.0 | 0.6 | 0.4 | | PV5 | 11.3 | 14.0 | 15.9 | 18.3 | 21.5 | 24.4 |
| | PV10 | 5.5 | 5.1 | 4.8 | 4.5 | 4.0 | 3.7 | | PV10 | 15.2 | 17.9 | 19.9 | 22.3 | 25.5 | 28.3 |
| | PV20 | 9.5 | 9.1 | 8.9 | 8.6 | 8.2 | 7.8 | | PV20 | 19.7 | 22.7 | 24.7 | 27.0 | 30.4 | 33.2 |
| | PV50 | 15.9 | 15.6 | 15.4 | 15.2 | 14.8 | 14.6 | | PV50 | 27.1 | 30.1 | 32.2 | 34.6 | 38.0 | 40.9 |
| | PV100 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | | PV100 | 38.1 | 40.7 | 42.5 | 44.6 | 47.5 | 49.8 |

Příloha č. 2.3. Řídící matice pro kótu zásobního objemu $H_z = 438,40$ m n. m.

| | | O _{nes} z VD Kutřín pro $H_z = 438.4$ m n. m. | | | | | | | | Q _{max} v Luži pro $H_z = 438.4$ m n. m. | | | | | |
|---------|-------|--|------|------|------|------|-------|---------|-------|---|------|------|------|------|-------|
| | | Novohradka | | | | | | | | Novohradka | | | | | |
| | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 | | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 |
| Krounka | PV2 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | Krounka | PV2 | 8.2 | 11.4 | 13.7 | 16.3 | 20.1 | 23.2 |
| | PV5 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV5 | 9.0 | 12.2 | 14.5 | 17.2 | 20.9 | 24.0 |
| | PV10 | 1.5 | 0.9 | 0.5 | 0.2 | 0.03 | 0.03 | | PV10 | 11.1 | 13.7 | 15.6 | 18.0 | 21.5 | 24.6 |
| | PV20 | 5.0 | 4.4 | 4.1 | 3.7 | 3.1 | 2.7 | | PV20 | 15.2 | 18.0 | 19.9 | 22.1 | 25.3 | 28.0 |
| | PV50 | 10.8 | 10.4 | 10.1 | 9.8 | 9.3 | 8.9 | | PV50 | 22.0 | 24.8 | 26.8 | 29.2 | 32.5 | 35.2 |
| | PV100 | 16.1 | 15.8 | 15.5 | 15.2 | 14.8 | 14.5 | | PV100 | 28.0 | 30.9 | 33.0 | 35.4 | 38.7 | 41.5 |

Příloha č. 2.4. Řídící matice pro kótu zásobního objemu $H_z = 437,40$ m n. m.

| | | O _{nes} z VD Kutřín pro $H_z = 437.4$ m n. m. | | | | | | | | Q _{max} v Luži pro $H_z = 437.4$ m n. m. | | | | | |
|---------|-------|--|------|------|------|------|-------|---------|-------|---|------|------|------|------|-------|
| | | Novohradka | | | | | | | | Novohradka | | | | | |
| | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 | | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 |
| Krounka | PV2 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | Krounka | PV2 | 8.2 | 11.4 | 13.7 | 16.3 | 20.1 | 23.2 |
| | PV5 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV5 | 9.0 | 12.2 | 14.5 | 17.2 | 20.9 | 24.0 |
| | PV10 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV10 | 9.6 | 12.8 | 15.1 | 17.8 | 21.5 | 24.6 |
| | PV20 | 1.9 | 1.2 | 0.8 | 0.4 | 0.03 | 0.03 | | PV20 | 12.1 | 14.7 | 16.6 | 18.8 | 22.2 | 25.3 |
| | PV50 | 7.2 | 6.7 | 6.4 | 5.9 | 5.3 | 4.9 | | PV50 | 18.4 | 21.1 | 23.1 | 25.3 | 28.5 | 31.2 |
| | PV100 | 12.2 | 11.7 | 11.4 | 11.1 | 10.5 | 10.1 | | PV100 | 24.1 | 26.9 | 28.9 | 31.2 | 34.5 | 37.2 |



Příloha č. 2.5. Řídící matice pro kótu zásobního objemu $H_z = 436,40$ m n. m.

| | | $O_{neš}$ z VD Kutřín pro $H_z = 436.4$ m n. m. | | | | | | Q_{max} v Luži pro $H_z = 436.4$ m n. m. | | | | | | | |
|---------|-------|---|------|------|------|------|-------|--|-------|------|------|------|-------|------|------|
| | | Novohradka | | | | | | Novohradka | | | | | | | |
| | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 | | |
| Krounka | PV2 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | Krounka | PV2 | 8.2 | 11.4 | 13.7 | 16.3 | 20.1 | 23.2 |
| | PV5 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV5 | 9.0 | 12.2 | 14.5 | 17.2 | 20.9 | 24.0 |
| | PV10 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV10 | 9.6 | 12.8 | 15.1 | 17.8 | 21.5 | 24.6 |
| | PV20 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV20 | 10.2 | 13.5 | 15.8 | 18.4 | 22.2 | 25.3 |
| | PV50 | 4.6 | 4.0 | 3.6 | 3.1 | 2.5 | 1.9 | | PV50 | 15.8 | 18.4 | 20.3 | 22.5 | 25.7 | 28.2 |
| | PV100 | 9.3 | 8.8 | 8.4 | 8.0 | 7.4 | 6.9 | | PV100 | 21.2 | 23.9 | 25.9 | 28.1 | 31.3 | 33.9 |

Příloha č. 2.6. Řídící matice pro kótu zásobního objemu $H_z = 435,40$ m n. m.

| | | $O_{neš}$ z VD Kutřín pro $H_z = 435.4$ m n. m. | | | | | | Q_{max} v Luži pro $H_z = 435.4$ m n. m. | | | | | | | |
|---------|-------|---|------|------|------|------|-------|--|-------|------|------|------|-------|------|------|
| | | Novohradka | | | | | | Novohradka | | | | | | | |
| | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 | | |
| Krounka | PV2 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | Krounka | PV2 | 8.2 | 11.4 | 13.7 | 16.3 | 20.1 | 23.2 |
| | PV5 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV5 | 9.0 | 12.2 | 14.5 | 17.2 | 20.9 | 24.0 |
| | PV10 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV10 | 9.6 | 12.8 | 15.1 | 17.8 | 21.5 | 24.6 |
| | PV20 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV20 | 10.2 | 13.5 | 15.8 | 18.4 | 22.2 | 25.3 |
| | PV50 | 2.7 | 2.0 | 1.6 | 1.0 | 0.4 | 0.03 | | PV50 | 13.8 | 16.5 | 18.3 | 20.4 | 23.6 | 26.3 |
| | PV100 | 7.1 | 6.5 | 6.1 | 5.6 | 5.0 | 4.5 | | PV100 | 19.0 | 21.6 | 23.6 | 25.8 | 28.9 | 31.5 |

Příloha č. 2.7. Řídící matice pro kótu zásobního objemu $H_z = 434,40$ m n. m.

| | | $O_{neš}$ z VD Kutřín pro $H_z = 434.4$ m n. m. | | | | | | Q_{max} v Luži pro $H_z = 434.4$ m n. m. | | | | | | | |
|---------|-------|---|------|------|------|------|-------|--|-------|------|------|------|-------|------|------|
| | | Novohradka | | | | | | Novohradka | | | | | | | |
| | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 | | |
| Krounka | PV2 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | Krounka | PV2 | 8.2 | 11.4 | 13.7 | 16.3 | 20.1 | 23.2 |
| | PV5 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV5 | 9.0 | 12.2 | 14.5 | 17.2 | 20.9 | 24.0 |
| | PV10 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV10 | 9.6 | 12.8 | 15.1 | 17.8 | 21.5 | 24.6 |
| | PV20 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV20 | 10.2 | 13.5 | 15.8 | 18.4 | 22.2 | 25.3 |
| | PV50 | 1.3 | 0.6 | 0.2 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV50 | 12.4 | 15.0 | 16.9 | 19.4 | 23.2 | 26.3 |
| | PV100 | 5.4 | 4.8 | 4.3 | 3.8 | 3.1 | 2.6 | | PV100 | 17.3 | 19.9 | 21.8 | 24.0 | 27.1 | 29.6 |

Příloha č. 2.8. Řídící matice pro kótu zásobního objemu $H_z = 433,40$ m n. m.

| | | $O_{neš}$ z VD Kutřín pro $H_z = 433.4$ m n. m. | | | | | | Q_{max} v Luži pro $H_z = 433.4$ m n. m. | | | | | | | |
|---------|-------|---|------|------|------|------|-------|--|-------|------|------|------|-------|------|------|
| | | Novohradka | | | | | | Novohradka | | | | | | | |
| | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 | | |
| Krounka | PV2 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | Krounka | PV2 | 8.2 | 11.4 | 13.7 | 16.3 | 20.1 | 23.2 |
| | PV5 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV5 | 9.0 | 12.2 | 14.5 | 17.2 | 20.9 | 24.0 |
| | PV10 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV10 | 9.6 | 12.8 | 15.1 | 17.8 | 21.5 | 24.6 |
| | PV20 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV20 | 10.2 | 13.5 | 15.8 | 18.4 | 22.2 | 25.3 |
| | PV50 | 0.3 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV50 | 11.4 | 14.4 | 16.7 | 19.4 | 23.2 | 26.3 |
| | PV100 | 4.1 | 3.4 | 3.0 | 2.4 | 1.7 | 1.1 | | PV100 | 16.0 | 18.6 | 20.5 | 22.6 | 25.6 | 28.2 |



Příloha č. 2.9. Řídící matice pro kótu zásobního objemu $H_z = 432,40$ m n. m.

| | | O _{neš} z VD Kutřín pro $H_z = 432,4$ m n. m. | | | | | | | | Q _{max} v Luži pro $H_z = 432,4$ m n. m. | | | | | |
|---------|-------|--|------|------|------|------|-------|---------|-------|---|------|------|------|------|-------|
| | | Novohradka | | | | | | | | Novohradka | | | | | |
| | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 | | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 |
| Krounka | PV2 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | Krounka | PV2 | 8.2 | 11.4 | 13.7 | 16.3 | 20.1 | 23.2 |
| | PV5 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV5 | 9.0 | 12.2 | 14.5 | 17.2 | 20.9 | 24.0 |
| | PV10 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV10 | 9.6 | 12.8 | 15.1 | 17.8 | 21.5 | 24.6 |
| | PV20 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV20 | 10.2 | 13.5 | 15.8 | 18.4 | 22.2 | 25.3 |
| | PV50 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV50 | 11.1 | 14.4 | 16.7 | 19.4 | 23.2 | 26.3 |
| | PV100 | 3.1 | 2.4 | 1.9 | 1.4 | 0.6 | 0.2 | | PV100 | 15.0 | 17.5 | 19.4 | 21.5 | 24.6 | 27.2 |

Příloha č. 2.10. Řídící matice pro kótu zásobního objemu $H_z = 431,40$ m n. m.

| | | O _{neš} z VD Kutřín pro $H_z = 431,4$ m n. m. | | | | | | | | Q _{max} v Luži pro $H_z = 431,4$ m n. m. | | | | | |
|---------|-------|--|------|------|------|------|-------|---------|-------|---|------|------|------|------|-------|
| | | Novohradka | | | | | | | | Novohradka | | | | | |
| | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 | | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 |
| Krounka | PV2 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | Krounka | PV2 | 8.2 | 11.4 | 13.7 | 16.3 | 20.1 | 23.2 |
| | PV5 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV5 | 9.0 | 12.2 | 14.5 | 17.2 | 20.9 | 24.0 |
| | PV10 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV10 | 9.6 | 12.8 | 15.1 | 17.8 | 21.5 | 24.6 |
| | PV20 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV20 | 10.2 | 13.5 | 15.8 | 18.4 | 22.2 | 25.3 |
| | PV50 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV50 | 11.1 | 14.4 | 16.7 | 19.4 | 23.2 | 26.3 |
| | PV100 | 2.3 | 1.6 | 1.1 | 0.6 | 0.03 | 0.03 | | PV100 | 14.2 | 16.7 | 18.6 | 20.7 | 23.9 | 27.0 |

Příloha č. 2.11. Řídící matice pro kótu zásobního objemu $H_z = 430,40$ m n. m.

| | | O _{neš} z VD Kutřín pro $H_z = 430,4$ m n. m. | | | | | | | | Q _{max} v Luži pro $H_z = 430,4$ m n. m. | | | | | |
|---------|-------|--|------|------|------|------|-------|---------|-------|---|------|------|------|------|-------|
| | | Novohradka | | | | | | | | Novohradka | | | | | |
| | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 | | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 |
| Krounka | PV2 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | Krounka | PV2 | 8.2 | 11.4 | 13.7 | 16.3 | 20.1 | 23.2 |
| | PV5 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV5 | 9.0 | 12.2 | 14.5 | 17.2 | 20.9 | 24.0 |
| | PV10 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV10 | 9.6 | 12.8 | 15.1 | 17.8 | 21.5 | 24.6 |
| | PV20 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV20 | 10.2 | 13.5 | 15.8 | 18.4 | 22.2 | 25.3 |
| | PV50 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV50 | 11.1 | 14.4 | 16.7 | 19.4 | 23.2 | 26.3 |
| | PV100 | 1.7 | 1.0 | 0.5 | 0.1 | 0.03 | 0.03 | | PV100 | 13.6 | 16.1 | 18.0 | 20.2 | 23.9 | 27.0 |



Příloha č.3 – Řídící matice pro stanovení hodnoty neškodného odtoku v případě bleskových povodňových epizod.

Příloha č. 3.1. Řídící matice pro kótu zásobního objemu $H_z = 440,40$ m n. m.

| | | O _{neš} z VD Kutřín pro $H_z = 440.4$ m n. m. | | | | | | | | Q _{max} v Luži pro $H_z = 440.4$ m n. m. | | | | | |
|---------|-------|--|------|------|------|------|-------|---------|-------|---|------|------|------|------|-------|
| | | Novohradka | | | | | | | | Novohradka | | | | | |
| | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 | | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 |
| Krounka | PV2 | 4.1 | 3.6 | 3.3 | 3.0 | 2.8 | 2.7 | Krounka | PV2 | 9.8 | 15.6 | 20.7 | 27.0 | 35.9 | 43.7 |
| | PV5 | 11.4 | 10.7 | 10.2 | 9.7 | 9.1 | 8.7 | | PV5 | 18.7 | 24.4 | 29.3 | 35.3 | 43.8 | 51.3 |
| | PV10 | 17.4 | 16.9 | 16.3 | 15.8 | 15.0 | 14.5 | | PV10 | 26.1 | 31.8 | 36.7 | 42.7 | 51.1 | 58.4 |
| | PV20 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | | PV20 | 40.1 | 45.5 | 50.1 | 55.6 | 63.3 | 70.0 |
| | PV50 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | | PV50 | 58.9 | 64.8 | 69.6 | 75.4 | 83.6 | 90.5 |
| | PV100 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | | PV100 | 74.2 | 80.3 | 85.3 | 91.3 | 99.6 | 106.7 |

Příloha č. 3.2. Řídící matice pro kótu zásobního objemu $H_z = 439,40$ m n. m.

| | | O _{neš} z VD Kutřín pro $H_z = 439.4$ m n. m. | | | | | | | | Q _{max} v Luži pro $H_z = 439.4$ m n. m. | | | | | |
|---------|-------|--|------|------|------|------|-------|---------|-------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Novohradka | | | | | | | | Novohradka | | | | | |
| | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 | | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 |
| Krounka | PV2 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | Krounka | PV2 | 5.73 | 12.05 | 17.44 | 23.96 | 33.11 | 40.99 |
| | PV5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | | PV5 | 7.28 | 13.61 | 19.02 | 25.56 | 34.72 | 42.60 |
| | PV10 | 4.0 | 2.7 | 1.6 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | | PV10 | 12.68 | 17.60 | 21.92 | 27.47 | 36.04 | 43.93 |
| | PV20 | 10.1 | 9.0 | 8.0 | 6.9 | 5.6 | 4.5 | | PV20 | 20.33 | 25.42 | 29.88 | 35.36 | 43.18 | 49.97 |
| | PV50 | 19.0 | 18.1 | 17.3 | 16.3 | 15.0 | 14.0 | | PV50 | 31.30 | 36.62 | 41.25 | 46.83 | 54.73 | 61.61 |
| | PV100 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | | PV100 | 49.86 | 54.62 | 58.53 | 63.23 | 69.80 | 75.48 |

Příloha č. 3.3. Řídící matice pro kótu zásobního objemu $H_z = 438,40$ m n. m.

| | | O _{neš} z VD Kutřín pro $H_z = 438.4$ m n. m. | | | | | | | | Q _{max} v Luži pro $H_z = 438.4$ m n. m. | | | | | |
|---------|-------|--|------|------|------|------|-------|---------|-------|---|------|------|------|------|-------|
| | | Novohradka | | | | | | | | Novohradka | | | | | |
| | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 | | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 |
| Krounka | PV2 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | Krounka | PV2 | 5.7 | 12.0 | 17.4 | 24.0 | 33.1 | 41.0 |
| | PV5 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV5 | 7.3 | 13.6 | 19.0 | 25.6 | 34.7 | 42.6 |
| | PV10 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV10 | 8.6 | 14.9 | 20.3 | 26.9 | 36.0 | 43.9 |
| | PV20 | 0.6 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV20 | 10.8 | 16.4 | 21.8 | 28.4 | 37.6 | 45.5 |
| | PV50 | 8.0 | 6.6 | 5.4 | 4.0 | 2.3 | 0.9 | | PV50 | 20.3 | 25.1 | 29.3 | 34.6 | 42.0 | 48.5 |
| | PV100 | 14.7 | 13.6 | 12.6 | 11.4 | 9.7 | 8.4 | | PV100 | 28.9 | 33.9 | 38.4 | 43.7 | 51.3 | 57.8 |

Příloha č. 3.4. Řídící matice pro kótu zásobního objemu $H_z = 437,40$ m n. m.

| | | O _{neš} z VD Kutřín pro $H_z = 437.4$ m n. m. | | | | | | | | Q _{max} v Luži pro $H_z = 437.4$ m n. m. | | | | | |
|---------|-------|--|------|------|------|------|-------|---------|-------|---|------|------|------|------|-------|
| | | Novohradka | | | | | | | | Novohradka | | | | | |
| | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 | | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 |
| Krounka | PV2 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | Krounka | PV2 | 5.7 | 12.0 | 17.4 | 24.0 | 33.1 | 41.0 |
| | PV5 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV5 | 7.3 | 13.6 | 19.0 | 25.6 | 34.7 | 42.6 |
| | PV10 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV10 | 8.6 | 14.9 | 20.3 | 26.9 | 36.0 | 43.9 |
| | PV20 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV20 | 10.1 | 16.4 | 21.8 | 28.4 | 37.6 | 45.5 |
| | PV50 | 0.4 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV50 | 12.7 | 18.5 | 23.9 | 30.5 | 39.7 | 47.6 |
| | PV100 | 6.1 | 4.6 | 3.3 | 1.8 | 0.2 | 0.0 | | PV100 | 20.3 | 24.9 | 29.1 | 34.1 | 41.7 | 49.4 |



Příloha č. 3.5. Řídící matice pro kótu zásobního objemu $H_z = 436,40$ m n. m.

| | | $Q_{neš}$ z VD Kutřín pro $H_z = 436.4$ m n. m. | | | | | | | | Q_{max} v Luži pro $H_z = 436.4$ m n. m. | | | | | |
|---------|-------|---|------|------|------|------|-------|---------|-------|--|------|------|------|------|-------|
| | | Novohradka | | | | | | | | Novohradka | | | | | |
| | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 | | | PV2 | PV5 | PV10 | PV20 | PV50 | PV100 |
| Krounka | PV2 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | Krounka | PV2 | 5.7 | 12.0 | 17.4 | 24.0 | 33.1 | 41.0 |
| | PV5 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV5 | 7.3 | 13.6 | 19.0 | 25.6 | 34.7 | 42.6 |
| | PV10 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV10 | 8.6 | 14.9 | 20.3 | 26.9 | 36.0 | 43.9 |
| | PV20 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV20 | 10.1 | 16.4 | 21.8 | 28.4 | 37.6 | 45.5 |
| | PV50 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV50 | 12.3 | 18.5 | 23.9 | 30.5 | 39.7 | 47.6 |
| | PV100 | 0.1 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | | PV100 | 14.3 | 20.3 | 25.8 | 32.3 | 41.5 | 49.4 |