

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra plánování krajiny a sídel



Určení záplavového území a hydrotechnické posouzení vodního toku Žejdlík

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Jan Petruš

Vypracoval: Bc. Tomáš Linhart

2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Tomáš Linhart

Krajinné inženýrství

Název práce

Určení záplavového území a hydrotechnické posouzení vodního toku Žejdlík

Název anglicky

Determination of floodplains and hydrotechnical assessment of Žejdlík water flow

Cíle práce

Cílem diplomové práce je vytvoření obecné rešerše literatury týkající se povodní, příčin jejich vzniku, protipovodňové ochrany a seznámení se s historií povodní ve zkoumané oblasti. Dále pak v praktické části vytvoření základní fyzicko-geografické analýzy vodního toku Žejdlík a jeho povodí, hydrotechnické posouzení vodního toku, a následně vytvoření hydrodynamického modelu ve vybrané části vodního toku Žejdlík a určení záplavového území pro N-leté průtoky.

Metodika

Na základě zadání diplomové práce vytvoří diplomant hydrodynamický model ve vybrané části vodního toku Žejdlík a určí záplavové území pro N-leté průtoky.

Studie této problematiky bude obsahovat především:

- podrobnou literární rešerši studované problematiky z dostupných zdrojů
- fyzicko-geografickou charakteristiku řešeného území
- hydrotechnické posouzení vodního toku
- tvorbu hydrodynamického modelu
- vytvoření map záplavových území a vyhodnocení výsledků
- fotodokumentaci

Doporučený rozsah práce

dle nařízení děkana č.02/2020 – Metodické pokyny pro zpracování diplomové práce na FŽP

Klíčová slova

HEC-RAS, digitální model terénu, povodně, průtok, příčný profil

Doporučené zdroje informací

- Ackerman C. T., 2012: HEC-GeoRAS, GIS Tools for Support of HEC-RAS using ArcGIS User's Manual. US Army Corps of Engineers, Davis, 242 s.
- BRUNNER, G. W., 2010: HEC-RAS River Analysis System, User's Manual Version 4.1, HEC, Davis, 766 s.
- HRÁDEK, F. – KUŘÍK, P. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Hydrologie*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2008. ISBN 978-80-213-1744-4.
- KOVÁŘ, P. – VYSOKÁ ŠKOLA ZEMĚDĚLSKÁ V PRAZE. AGRONOMICKÁ FAKULTA. *Využití hydrologických modelů pro určování maximálních průtoků na malých povodích*. Praha: Vysoká škola zemědělská v Editpressu MON, 1990. ISBN 80-213-0088-4.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Jan Petrů

Garantující pracoviště

Katedra plánování krajiny a sídel

Elektronicky schváleno dne 26. 9. 2022

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 31. 10. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 16. 03. 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Určení záplavového území a hydrotechnické posouzení vodního toku Žejdlík vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji závěrečnou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním závěrečné práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzi tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze, dne 25.3.2023

.....

Linhart Tomáš

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé práce panu Ing. Janu Petřů, za věcné rady, ochotu, trpělivost a jeho odborné vedení při tvorbě této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Filipu Urbanovi z firmy Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s., za cenné konzultace a poskytnutí svých dlouholetých odborných zkušeností. V neposlední řadě děkuji své rodině za trvalou podporu během celého studia.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zaměřuje na problematiku povodní a dává si za hlavní cíl sestavit hydrodynamický model na vodním toku Žejdlík ř. km 0,000 – 14,126, který je levostranným přítokem Ohře. Práce je rozdělena na literární rešerši a praktickou část. Literární rešerše pojednává o povodních, příčinách jejich vzniku, ochraně před nimi nebo o jejich historii ve zkoumaném území. V praktické části pak byla řešena fyzicko-geografická charakteristika území za pomoci vytvořených map, byl vytvořen hydrodynamický model v programu HEC-RAS, došlo k hydrotechnickému posouzení vodního toku a vyhodnocení map záplavových území.

Klíčová slova:

HEC-RAS, digitální model terénu, povodně, průtok, příčný profil

Abstract

This diploma thesis focuses on the issue of floods and has the main goal to compile a hydrodynamic model of the water course Žejdlík of the river kilometer 0.000 – 14.126, which is a left-handed inflow of the Ohře river. The work is divided into a literary research and a practical part. The text summary deals with floods, their causes, protection against them or their history in the researched area. The practical part deals with physical-geographic characteristics of the territory, with the help of created maps, constructions of mathematical model is the HEC-RAS program, assessment of the hydrotechnical state of the river, creation and evaluation of maps of floodplains.

Keywords:

HEC-RAS, digital terrain model, floods, flow, cross profile

Seznam použitých zkratk:

AOPK	Agentura ochrany přírody a krajiny
CEVT	Centrální evidence vodních toků
ČHMÚ	Český hydrometeorologický úřad
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DMT	Digitální model terénu
DMR	Digitálního modelu reliéfu
DMR 5G	Digitálního modelu reliéfu České republiky 5. generace
HEC-RAS	Hydrologic engineering center, River analysis system
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
TIN	Nepravidelná trojúhelníková síť
.shp	Shapefile
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
SPA	Stupně povodňové aktivity
QGIS	Quantum geographic information systém
TIN	Triangulated Irregular Network
VÚV T.G.M.	Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka
ZABAGED	Základní báze geografických dat
PF	Příčný profil
Q _N , N-letý průtok	N-letá povodeň jejíž kulminační průtok je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen jedenkrát za N let (N-letý průtok)
Q ₅	Pětiletá povodeň jejíž kulminační průtok je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen jedenkrát za 5 let (pětiletý průtok)
Q ₂₀	Dvacetiletá povodeň jejíž kulminační průtok je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen jedenkrát za 20 let (dvacetiletý průtok)
Q ₁₀₀	Stoletá povodeň jejíž kulminační průtok je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen jedenkrát za 100 let (stoletý průtok)
Q ₅₀₀	Pětisetletá povodeň jejíž kulminační průtok je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen jedenkrát za 500 let (pětisetletý průtok)

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Cíle práce	12
3	Povodně	13
3.1	Povodně v České republice a jejich typy.....	14
3.2	Faktory ovlivňující průběh povodní	16
3.3	Stupně povodňové aktivity (SPA).....	19
3.4	Povodňové plány	21
3.5	Ochrana před povodněmi za pomoci povodňových opatření	22
3.6	Záplavová území	23
3.7	Historie povodní	24
4	Matematické modely.....	27
4.1	Základní klasifikace matematických modelů	27
5	Použité programy	31
5.1	QGIS.....	31
5.2	HEC-RAS	31
5.3	Excel.....	32
6	Fyzicko-geografická charakteristika území	33
6.1	Vymezení zájmového území	33
6.2	Hydrologie řešeného úseku a jeho popis	34
6.3	Geologické a půdní poměry	36
6.4	Land cover	38
6.5	Klimatické podmínky	39
7	Metodika	41
7.1	Podkladová data	41
7.1.1	Výškopisná data	41
7.1.2	Hydrologická data	42
7.1.3	Hydrotechnická data.....	42

7.1.4	Podkladové mapy	43
7.2	Postup zpracování 1D modelu.....	43
7.2.1	Tvorba digitálního modelu terénu	43
7.2.2	Dopočet hydrologie	45
7.2.3	Tvorba příčných profilů	47
7.2.4	Tvorba říční geometrie	50
7.2.5	Vložení vrstev z QGIS do HEC-RAS	51
7.2.6	Příčné profily v HEC-RAS.....	52
7.2.7	Vytváření mostů a dalších objektů v programu HEC-RAS	53
7.2.8	Břehové linie (Bank Lines)	56
7.2.9	Zadání průtokových dat.....	57
7.2.10	Zadání drsností	58
7.2.11	Spuštění ustáleného proudění.....	59
7.3	Postup zpracování 1D2D modelu.....	60
7.4	Tvorba 1D2D modelu.....	61
7.4.1	Zadání průtokových dat do 2D modelu.....	63
7.4.2	Nastavení výpočtů 1D/2D modelu	64
7.5	Generování výsledků a postprocessing	65
7.6	Hydrotechnické posouzení objektů	66
8	Výsledky	67
8.1	Vyhodnocení výsledků záplavových území	67
8.2	Výsledky hydrotechnického posouzení vodního toku.....	71
9	Diskuse.....	72
10	Závěr	74
11	Přílohy.....	75
12	Citace	91

1 Úvod

Díky zjevným klimatickým změnám se v přírodě mnohem častěji projevují hydrologické extrémy, mezi které řadíme sucho a různé druhy povodní. Ty v podmínkách České republiky mohou nastat téměř v jakémkoli období a nesou s sebou jak riziko vysokých škod na majetku a přírodě, tak i riziko ztráty na životech. Bohužel se povodním v mnoha případech nedá zamezit, jedná se totiž o přirozený přírodní jev, který tu s námi byl již od nepaměti. Dá se však určitými kroky snižovat jejich riziko nebo aspoň dopady těchto hydrologických událostí.

Jelikož se systém předpovídání povodní neustále vyvíjí a zlepšuje, nejnebezpečnější konsekvence povodně, tedy riziko ztráty lidského života nebo dokonce životů, se daří snižovat až eliminovat. Nicméně povodně často páchají nemalé škody na majetku i na přírodě. Pro zmírnění těchto následků může sloužit vymezení záplavového území, vytváření protipovodňových opatření, předpovídání počasí, úprava či zkapacitnění koryt atd.

Na větších vodních tocích se pro zvládnání povodní mohou budovat například přehradní nádrže, velké ochranné hráze atd. Nicméně na povodích menších rozměrů na takovéto zásahy není prostor nebo nejsou finance. O to více jsou tato území odkázána na vymezení záplavových čar a celkových přípravných povodňových opatření. Tyto informace pak mohou sloužit jako podklad pro další opatření v území nebo pro lepší ochranu obyvatelstva a jejich příbytků.

Právě přípravnému opatření, vymezení záplavového území, se tato diplomová práce věnuje. A to za pomoci využití matematických modelů. Určení inundačního území pro jednotlivé N-leté průtoky pomáhá odhalit nebezpečná místa za povodňových událostí, přispívá k pochopení chování povodňové vlny a umožňuje tak lépe se připravit, případně do jisté míry předejít, rizikům spojených s tímto hydrologickým extrémem.

2 Cíle práce

Diplomová práce se soustřeďuje na řešení těchto stěžejních cílů:

- vytvořit obecnou rešerši literatury zabývající se povodněmi, příčinami jejich vzniku, protipovodňovou ochranou a historií povodní ve zkoumané oblasti,
- vymezení zkoumané oblasti a utvoření analýzy fyzicko-geografických vlastností za pomoci geografických informačních systémů,
- vytvoření hydrodynamického modelu vybrané části vodního toku Žejdlík a určení záplavového území pro N-leté průtoky, následné vyhodnocení výsledků,
- hydrotechnické posouzení vodního toku se zaměřením se na průtočnost skrze objekty.

Přínosem této práce je poukázat na problematické části v povodí během N-letých průtoků, vytvoření prvního hydrodynamického modelu na tomto vodním toku a upozornit na objekty, kterým hrozí během povodní nebezpečí kvůli nízké průtočné kapacitě těchto staveb.

3 Povodně

Mezi hlavní projevy hydrologických extrémů řadíme velký nadbytek vody či naopak její nedostatek. Tyto hydrologické extrémy poté vyvolávají povodně, v případě velkého nadbytku vody, či sucho, pokud je vody nedostatek.

Povodně mohou být zapříčiněny různými faktory, především jsou však způsobeny meteorologickými činiteli. Mezi takovéto činitele řadíme například extrémní srážky, rychlé tání sněhu způsobené zvýšenými teplotami vzduchu, delší období sucha, a tím menší schopností retence vody půdou atd. Velkou roli zde však hrají i jiné faktory, jako jsou zejména fyzicko-geografické podmínky oblasti zasažené povodněmi, kam můžeme zařadit reliéf přírody, sklony svahů, land cover... Značný vliv na průběh či vytvoření povodní může mít i člověk a jeho zásahy do přírody, které mohou mít kladný i záporný efekt na vytvoření a průběh povodní. Lidským počínáním může dojít ke změně vodního toku, jeho narovnávání či dokonce zatrubnění. Svými činy může pozměnit vzhled okolní krajiny a pozměnit její land cover apod. Často se stává, že různá opatření, která jsou proti povodním vytvářena, musí být navrhována jenom kvůli nevhodným zásahům do režimu vodního toku z předešlých let. Gordon a kol. (2004) pak souhrnně uvádí, že povodňová událost je ovlivňována klimatickými faktory (evapotranspirace, charakteristiky srážek), počátečními podmínkami v povodí (kam řadí vláhovou nasycenost půdy, retenční schopnost území, teplota půdy a vzduchu, vegetační kryt) a fyzicko-geografickými faktory (charakter hydrografické sítě, tvar povodí, sklon a expozice svahů, geologie, pedologie lokality, využití území).

Brázdil a kol. (2004) pak uvádí, že na vznik povodní může mít do jisté míry vliv dopad globálního oteplování. Tento aspekt a míra jeho vlivu je však stále těžký na posouzení. Nicméně je známo, že na našem území se mění roční rozložení srážek, kdy přibývá suchých dnů a zároveň přibývá dnů s náhlými a rychlými srážky. Na to poukazuje Folland a kol. (2002), který říká, že už ve 20. století došlo o k nárůstu teploty vzduchu i výskytu srážek.

Během povodní dochází k relativně velkému zvýšení průtoků během krátké časové periody. To může zapříčinit vylití vody ven z koryta, škody na majetku a v neposlední řadě i ztráty na životech. Tyto škody nemusí způsobovat pouze vyběřená voda, ale například i nečistoty a materiály unášené ve vodě. Vodní zákon č. 254/2001 Sb. (vodní zákon), definuje povodeň jako stav, kdy dojde k výraznému

zvýšení průtoků v tocích či zvýšení hladiny v povrchových vodách, což má za následek vyběžení vody do přilehlého nechráněného území a tím poškození komunikací, staveb, zhoršení hygienických podmínek a škody na životním prostředí. Tato definice do značné míry připouští, že povodeň jako taková je především problémem pro člověka, pokud zvýšené průtoky vody způsobují škody člověku. Na to poukazuje i Slavíková (2007), která říká, že potíže nepředstavuje povodeň jako taková, ale problém nastává, když se vodě postaví do cesty člověk a jeho majetek.

Příčemž jev, při kterém dochází k vyběžení vody z koryta během povodně, se nazývá inundace. Inundační území pak představuje území, které je během povodně zaplavováno.

3.1 Povodně v České republice a jejich typy

V České republice byly hydrologické extrémy známy především důsledkem poměrně častých povodní. Od prvního osídlování území dnešní České republiky se kvůli fyzicko-geografickým faktorům krajiny lidé usazovali především v okolí vodních toků. Proto povodně často způsobovaly ztráty na životech i na obydlích. I souhrnně ve střední Evropě historicky docházelo a dochází k povodním oproti suchu poměrně často, skoro každý rok. Brázdil (2005) říká, že v přírodních podmínkách střední Evropy jsou povodně běžným jevem.

Díky geografické poloze České republiky, která se nachází ve středu Evropy, a také kvůli členitosti místnímu reliéfu zde má mnoho řek své prameniště. Proto je též Česko známé pod přívlastkem „střecha Evropy“. To má za důsledek, že na mnoho místech naší krajiny horní a střední úseky vodních toků překonávají značně rychle nadmořské výšky. Tyto sklony řek jsou jednou z příčin, proč jsou zde povodně tak časté.

Co se týče typů povodní, lze je na území České republiky rozdělit do dvou hlavních kategorií, a to na přirozené povodně a zvláštní povodně. Tyto kategorie dále dělíme. Danou kategorizaci uvádí například Čamrová et Al. (2006), která uvádí, že přirozené povodně jsou způsobeny především dešti a táním sněhu, zatímco zvláštní povodně vznikají v důsledku nějaké technické závady či havárie na vodním díle.

Na přirozené povodně, jak již z jejich názvu vyplývá, nemá nikterak vliv člověk a jsou způsobeny přirozenými přírodními faktory a činiteli. Podle toho, jaké faktory mají hlavní zásluhu na vzniku povodní, dělíme přirozené povodně na:

- Povodně způsobené **prudkým táním sněhové pokrývky** – dochází k nim především v jarním období či v zimních měsících v důsledku oblev. Přičemž dost často je rychlé tání sněhu podpořeno i srážkovými úhrny. Tyto povodně se vyskytují převážně v podhorských oblastech a mohou zasáhnout i níže položená místa.
- Povodně způsobené **dlouhotrvajícími dešti** – jsou známé také pod názvem „letní povodně“. Vznikají totiž především v letních měsících, po několikadenních intenzivních deštích. Při těchto deštích dochází k takovému nasycení půdy vodou, že půda není schopna zadržet další úhrny srážek, a proto poté dochází ke vzniku povodní. Tento typ povodní postihuje především středně velké a velké toky.
- Povodně způsobené **přivalovými dešti** – také někdy známé pod názvem bleskové povodně. Jsou důsledkem krátkodobého velice intenzivního deště doprovázeného často bouřkami. V důsledku tohoto deště není půda schopna infiltrovat vodu ze srážek a vznikají tak povodně. Tento typ povodní může způsobovat značné majetkové škody. Jak píše ČHMÚ (2005), i když zasažená plocha většinou není velká, voda proudí velmi rychle, má velkou ničivou sílu a způsobuje tak značné škody.
- Povodně způsobené **ucpáním vodního toku** – tzv. ledové povodně způsobené plujícími krami a zamrzající vodou v korytech. Vyskytují se především v zimě či na jaře. Zamrzlá voda a vzniklé kry mají vliv na průtočný profil, který je jejich působením zmenšen. Může tedy dojít k vyhlížení vody z koryta, doprovázeného unášením ledových ker. Čamrová et al. (2006) říká, že může docházet k tvoření tzv. ledových bariér, pokud se unášené ledové kry hromadí v místech s mělkým dnem či v zúženém korytě.

Zvláštní povodně jsou způsobeny jinými než přírodními činiteli. Do značné míry na ně má vliv člověk, jelikož vznikají poruchou nebo havárií vodních děl. Mohou být i cíleně vyvolané člověkem, například cílenému rychlému vypuštění vodní nádrže, ke kterému dochází ve snaze zamezit vzniku větší katastrofy. Jak uvádí Brázdil a kol. (2005), tímto způsobem dochází k nouzovému řešení kritické situace na vodním díle. ČHMÚ (2005), rozlišuje tři základní typy těchto povodní:

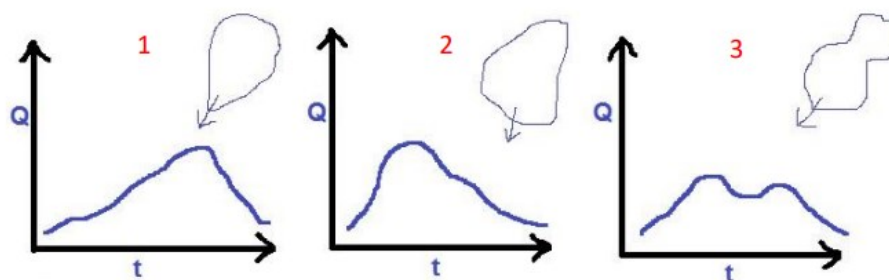
- **první typ** nastává při protržení vodní nádrže,
- **druhý typ** vzniká při poruše vodního díla, kdy může dojít k poruše či ke ztrátě funkčnosti vypustných nebo bezpečnostních zařízení,
- **třetí typ** nastává, při již zmiňovaném nuceném zásahu člověka, kdy je nutné vypustit vodní nádrž za účelem zmírnění nebo předejití katastrofy, například vypuštěním nádrže zamezit protržení vodního díla.

3.2 Faktory ovlivňující průběh povodní

V kapitole o typech povodní jsou do značné míry vysvětleny faktory ovlivňující vznik povodní. Jelikož jsou jednotlivé typy povodní nazvány podle převládajícího faktoru jejich vzniku. Na průběh povodně má bezesporu vliv mnoho proměnných a bylo by velice složité popsat všechny činitele a jejich procentuální podíl na průběhu povodní. Musíme si i uvědomit, že v různých oblastech mohou mít faktory různě velký vliv na povodně. Proto je v následujících odstavcích nastíněno pouze to nejdůležitější.

Podstatný faktor ovlivňující průběh povodně je povodí a jeho charakteristika, kam můžeme začlenit geometrické charakteristiky, orografické charakteristiky, geologické a půdní poměry. Dále pak vegetační pokryv povodí, říční síť v povodí či antropogenní činnost v povodí nebo i vliv změny klimatu. Dalšími důležitými faktory jsou pak meteorologické a hydrologické charakteristiky v dané oblasti, které patří i do faktorů ovlivňujících vznik povodní a byly již popsány výše.

Mezi geometrické faktory ovlivňující průběh povodní lze řadit tvar nebo velikost povodí. Tyto faktory mají vliv na dobu soustředění vody v povodí a její množství. Hrádek (2008) říká, že tvar povodí ovlivňuje dobu, za kterou se soustředí odtok z celé plochy povodí v uzávěrovém profilu povodí. Tvar i velikost povodí také značně ovlivňují odtokové poměry (viz obrázek č. 1). Z obrázku č. 1 lze vyčíst závislost tvaru povodí na hydrogramu. Přičemž hydrogram nám znázorňuje tvar povodňové vlny (Kemel 1991). Hydrogram tak stanovuje průběh povodně, aneb jak je závislý průtok na času v průběhu povodňové události. Z hydrogramu tak lze vyčíst komplexní reakce povodí na vstup neboli transformační funkci, podle níž se mění efektivní déšť na povrchový odtok (Kovář, 1990). Povodí 1 a 2 z obrázku č. 1 mají menší protáhlost, a tak průtoky v uzávěrovém profilu dosahují větších maxim než u posledního povodí z obrázku, který má tvar protáhlý.



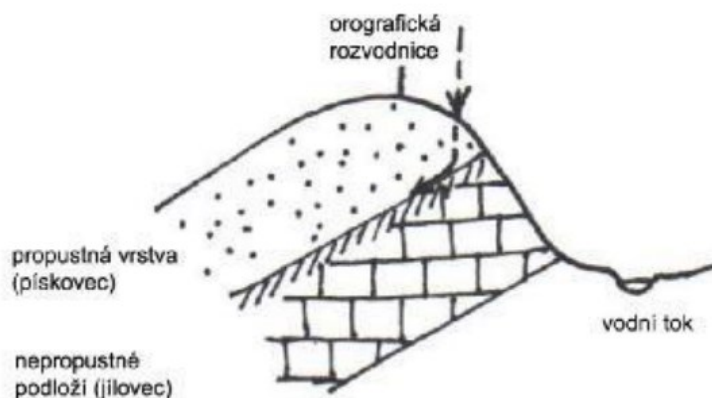
Obrázek 1: Vliv tvaru povodí na odtokové poměry (Kocum 2019)

Do orografických faktorů ovlivňující průběh povodní řadíme především sklon vodního toku v jednotlivých částech nebo převýšení od nejvyššího místa povodí po uzávěrový profil. Za uzávěrový profil bereme místo či bod v povodí, kterým protéká veškerá voda z povodí. Při vyšších sklonech je odtok vody z povodí výrazně rychlejší než při sklonech mírných. To může způsobovat vyšší průtoková maxima a rychlejší dosažení průtokových maxim v uzávěrovém profilu. Voda při vyšších rychlostech odtoku tak má výrazně méně času na retenci. To může mít značný vliv na povodňová maxima, kdy tyto faktory mohou způsobovat větší a ničivější povodně.

Půdní poměry mají výrazný vliv na vsak vody do půdy, jelikož půda má společně s krajinným pokryvem výrazný podíl na retenci srážkové vody a na akumulaci vláhy. Záleží tak na půdním druhu, který určujeme podle textury půdy, tedy podle velikosti půdních částic. S texturou půdy je též spojena pórovitost půdy, tzv. celkový objem pórů v půdě. Tyto a další vlastnosti nám určují, jak rychle a do jaké míry je půda schopna zadržet vodu. Pokud mají půdy malou pórovitost, jejich retenční schopnosti jsou sníženy, a tak způsobují nebezpečnou odtokovou odezvu v povodí. Jak uvádí Kravka (2009), množství a intenzitu průsaku vody určují i půdní poměry, ze kterých jsou nejdůležitější půdní typy a druhy, jejich mocnost, struktura, propustnost a vlhkost. Jde tedy o velice složitý a komplexní problém, který podléhá mnoha parametrům. Například černozemě jsou poměrně schopné zadržet a akumulovat vodu. Jak uvádí Vopravil (2009), jeden hektar hluboké černozemě může akumulovat až 3500 m³ vody. Černozemě však nemusí mít vždy takto dobré vlastnosti akumulace. Kučera (2021) říká, že při intenzivním využívání zemědělské půdy může docházet k degradačnímu působení vodní i větrné eroze, která ochuzuje půdu o organickou hmotu a jemnozrné částice, poutající a zadržující srážkovou vodu. Dalším půdním typem, který má poměrně dobré retenční schopnosti, mohou být kupříkladu kambizemě. Wang (2023) uvádí, že kambizemě a černozemě, vzhledem

k dobré infiltraci, jsou půdy s malým rizikem během povodní. Naopak fluvizemě mohou být během těchto hydrologických extrémů řazeny jako velice rizikové (Wang 2023).

Geologické poměry mohou mít vliv jak na akumulaci vody, průsak vody během srážkové události, tak na velikost povodí. Tyto faktory pak také mohou do značné míry ovlivňovat průběh povodní. Dle geologických poměrů totiž dělíme povodí na orografické a hydrogeologické. Podle Kocuma (2019) je orografické povodí vymezeno rozvodnicí, která probíhá přes nejvyšší kóty, mezi nimi ležícími hřebeny a sedly v bezprostřední blízkosti sledovaného vodního toku až k jeho uzávěrovému profilu. U hydrogeologického povodí však nemusí být rozvodnice vždy kolmá na vrstevnice, jako to je v případě orografického povodí. Záleží na geologické stavbě a vodě, která by teoreticky měla odtékat do daného povodí, může odtékat na druhou stranu do úplně jiného povodí (viz obrázek č. 2). Tourková (2004) dělí stupně propustnosti horniny do tří skupin: horniny propustné, horniny polopropustné a horniny nepropustné. Tento typ hornin má vliv na množství vody, jaké je možné za určitý časový interval propustit, a tak působí jak na rychlou odtokovou odezvu, tak na pomalou odtokovou odezvu, tzv. základní odtok.



Obrázek 2: Orografická vs. Hydrogeologická rozvodnice (Kocum 2019)

Jak již bylo zmíněno, i vegetační pokryv má také do značné míry vliv na průběh povodní, jelikož ovlivňuje rychlost i procentuální množství přímého odtoku z celkového objemu srážky. Vegetační pokryv má totiž vliv na retenční schopnosti a schopnosti zpomalovat povrchový odtok. Gerrits (2010) uvádí, že velikost intercepce závisí na charakteru vegetace (listnaté nebo jehličnaté stromy, křoviny, traviny atd.), vlastnostech srážek a na podmínkách výparu. Povodí s velkým množstvím vegetačního pokryvu, například plochy s lesy či louky, tak kladněji ovlivňují průběh

povodňové vlny než povodí s malým vegetačním pokryvem, například pole či zastavěné území.

I říční síť má vliv na povodně. Jde především o hustotu říční sítě a celkové uspořádání říční sítě v rámci povodí. Je však důležité si uvědomit, že každé povodí je svým způsobem jedinečné. A tak se může stát, že dvě sousedící povodí, která byla zasažena povodní, s podobnými přírodními vlastnostmi, lišícími se pouze v hustotě nebo uspořádání říční sítě, nakonec mohou mít stejný průběh povodňové vlny.

Vliv změny klimatu může mít ovlivnit jak na průběh povodně, tak jejich vznik. To, že se klima mění, je nepopíratelně viditelné na meteorologických a hydrologických jevech. V naší klimatické oblasti jsme svědky častějších přivalových dešťů nebo delších období sucha. Všechny tyto okolnosti mají vliv nejenom na vznik povodní, ale i na další faktory, které mohou ovlivňovat vznik i průběh povodní. Například delší období sucha má vliv na půdní vlastnosti a může tak do značné míry ovlivnit infiltrační schopnosti půd, vegetační pokryv v povodí atd.

Do faktorů ovlivňující průběh povodně nepopíratelně patří i člověk a jeho antropogenní činnost, jelikož svými zásahy jsme schopni do určité míry pozměnit všechny ostatní výše uvedené faktory. Konvička (2002) se domnívá, že oteplování klimatu je způsobeno lidskou činností. Člověk svými aktivitami může do značné míry zasahovat do celého koloběhu vody v přírodě, pozměňovat říční koryta i inundační území atd. Stavbami v záplavových území nebo výstavbou objektů nacházejících se přímo na vodním toku, mohou být významně narušeny či pozměněny odtokové poměry během povodní, může docházet k větším rozlivům, zpětnému vzduť atd. Cílek a kol. (2003) pak tvrdí, že se nacházíme v tzv. období povodňových a teplotních extrémů, která by měla trvat dalších padesát let, což je do značné míry je to způsobeno lidskými zásahy do přírody.

3.3 Stupně povodňové aktivity (SPA)

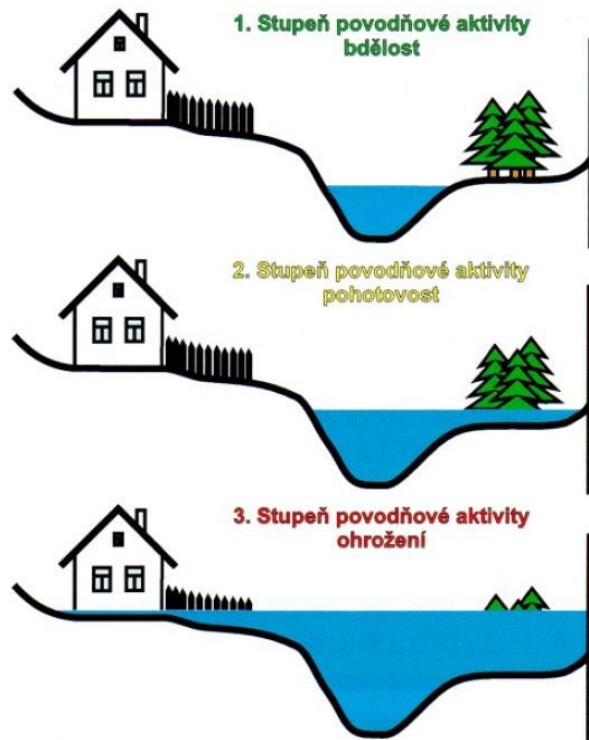
Stupně povodňové aktivity nám určují především míru povodňového nebezpečí při právě odehrávajícím se povodňovém stavu. Stupně povodňové aktivity (SPA) jsou ve většině případů navázány na směrodatné limity vodních stavů v hlásných profilech na tocích, které jsou uvedeny v povodňových plánech (Roub 2016). MŽP (2011) dále uvádí, že kromě směrodatných limitů se berou k úvaze i mezní

či kritické hodnoty dalších jevů. Do kterých se řadí například denní srážkové úhrny, hladiny vod v nádržích, pohyb ledů na vodním toku atd.

SPA mají 3 stupně nebezpečí a tyto kategorie jsou posuzovány v centimetrech vodního stavu. Pro jednotlivé třídy SPA mohou být rozlišná protipovodňová opatření, informovanost občanů atd. První stupeň nastává, zatímco ostatní dva stupně se vyhláší. Kategorie SPA rozlišujeme dle názvů na stav bdělosti, stav pohotovosti a stav ohrožení a jsou více popsány níže.

- 1. stupeň povodňové aktivity (bdělost)** – nastává při riziku přirozené povodně, tudíž pokud působí na povodí faktory, které by mohly způsobit povodeň. Zaniká pak při pomnutí těchto faktorů, a tudíž při pomnutí nebezpečí vzniku povodně. Během tohoto stupně tak nedochází k vybřežení vody z koryta vodního toku, nicméně dochází k navýšení průtoků. Jde tak především o upozornění na hrozící povodeň, a tak dochází ke zvýšenému hlídkování a kontrole vodního toku. Tento stupeň může nastat i dopředu, kdy ČHMÚ na základě svých předpovědních modelů může vydat výstrahu pro určité oblasti, a tím se uvede v činnost první stupeň povodňové aktivity. Již při tomto stupni, se dle ČHMÚ (2018a) nesmí provádět jakékoli aktivity v korytě i jeho blízkého okolí.
- 2. stupeň povodňové aktivity (pohotovost)** – vyhláší se v případě, pokud dojde již k vybřežení vody z koryta, avšak rozliv vody není velký a povodeň tak nepůsobí větší škody. Při tomto stupni tak bývají zaplavovány především okolní luky, pastviny, porosty či okolní komunikace. Přirozená povodeň tímto vybřežením přechází v samotnou povodeň. Tento stupeň se také vyhláší v případě překročení mezních hodnot sledovaných jevů a skutečností na vodním díle z hlediska jeho bezpečnosti (Zákon č. 254/2001 Sb.). Povodňové orgány při tomto stupni zahajují aktivní obranu proti povodni dle platného povodňového plánu. Dochází tak k cíleným krokům, které mají zmírnit průběh povodně.
- 3. stupeň povodňové aktivity (ohrožení)** – vyhláší se při stavu, kdy dochází k zaplavování rozsáhlejších území a k vzniku nebezpečí větších škod, či dokonce k ohrožení lidských životů. Nebo také při dosažení kritických hodnot sledovaných jevů a skutečností na vodním

díle z hlediska jeho bezpečnosti současně se zahájením nouzových opatření (Zákon č. 254/2001 Sb.). Společně se zabezpečovacími pracemi, platných dle protipovodňových opatření povodňových plánů, probíhají na základě současné situace také evakuace obyvatel a záchranné práce.



Obrázek 3: Stupně povodňové aktivity (ČHMÚ 2018b)

3.4 Povodňové plány

Povodňovým plánům se rozumí dokumenty, které mají za cíl předejít nebo alespoň zmírnit následky povodňové situace pro danou oblast. Tyto dokumenty dle Zákona č. 254/2001 Sb. obsahují informace o vývoji povodně, možnosti ovlivnění odtokového režimu, organizaci a přípravu zabezpečovacích prací, dále obsahují způsob zajištění včasné aktivizace povodňových orgánů, zabezpečení hlásné a hlídkové služby a ochrany objektů, přípravy a organizace záchranných prací a zajištění povodní narušených základních funkcí v objektech a v území a stanovené směrodatné limity stupňů povodňové aktivity. Vypracovávají se pro různé velké celky, a to od nemovitostí, po obce, obce s rozšířenou působností, až po kraje či pro celou Českou republiku. Ve své struktuře by na sebe měly navazovat. Plány by měly být každý rok hodnoceny, popřípadě upravovány a aktualizovány. Weyskrabová

(2011) dále uvádí, že by měly být prováděny jednou do roka povodňové prohlídky. Ty mají za cíl zjistit, zda se na vodním toku či v jeho okolí nevyskytují poruchy, které by mohly být nebezpečné.

Obsah povodňových plánů je dělen na tři části:

1. **věcná část** – řadíme zde informace potřebné k ochraně před povodněmi, například objektů nebo územních celků. Dále zde nalezneme hloubky hladin velkých vod a samotné limity pro vyhlášení SPA,
2. **organizační část** – jedná se především o jmenné seznamy a kontaktní údaje odpovědných osob, které jsou zodpovědné za ochranu před povodněmi. Dále zde lze naléznout jednotlivé úkoly těchto osob během povodně,
3. **grafická část** – sem se řadí především mapy a plány, které zobrazují oblasti záplavových území, záplavová území při různých N-letých průtocích, evakuační trasy, místa soustředění obyvatelstva při evakuaci, hlásné profily nebo informační místa.

3.5 Ochrana před povodněmi za pomoci povodňových opatření

Jedná se o takový souhrn opatření, která mají chránit před nebezpečím povodně jak majetek, tak lidské subjekty, životní prostředí atd. Jelikož se ve většině případů nedá povodni předejít, tato opatření mají za cíl především snížit škody působené povodněmi. Také se poučují již z předchozích povodňových událostí, a snaží se tak zmírnit škody pro budoucí hydrologické extrémny.

Povodňová opatření se podle zákona č. 254/2001 Sb. dělí do tří hlavních kategorií:

1. **Přípravná opatření** – které pokrývají období před povodněmi. Řadí se sem vymezení záplavových území a zhotovení povodňových plánů, určování směrodatných limitů SPA. Dle zákona č. 254/2011 Sb. sem dále patří provádění povodňových prohlídek, příprava předpovědní a hlásné služby, organizační a technická příprava atd.
2. **Opatření při nebezpečí a během povodně** – tato opatření zahrnují činnost hlásné a předpovědní služby během probíhající povodňové události. Patří sem práce jako jsou varování před povodní, evakuace

záplavových území, záchranné práce, zabezpečovací práce, řízení průtoků a odtoků, zajištění náhradních služeb v postižených oblastech,...

- 3. Opatření po povodni** – jedná se o opatření, která přichází na řadu po odeznění povodně. Zahrnuje práce na obnově škod způsobených povodněmi, posouzení povodňových škod, a s tím i spojenými evidenčními a dokumentačními pracemi.

Povodňová opatření lze také dělit na technická a netechnická opatření. Avšak Ústav územního rozvoje (2003) rozděluje opatření do tří kategorií, na technická, netechnická a přírodě blízká.

- 1. Technická opatření** – hlavním účelem technických opatření je zamezit nebo zmírnit povodňovou vlnu a držet ji tak dále od lidí. Do technických opatření řadíme ochranné hráze, poldry, regulace lesního hospodářství a zemědělské aktivity v oblasti, stabilizace koryt či zkapacitnění koryt, úprava příčného i podélného profilu vodního toku atd. Dávají si za cíl jak změnit chování povodí během povodně, tak ochranu povodí během povodňové situace.
- 2. Netechnická opatření** – na rozdíl od technických opatření, není účelem držet povodeň od lidí, ale naopak docílit toho, aby byli lidé dál od povodně. Dosahují toho vymezením záplavových území, informováním široké veřejnosti, zdokonalováním systémů zabývajících se prognózami povodní atd.
- 3. Přírodě blízká opatření** – zde jsou myšlena opatření jak na vodním toku, tak v celé ploše povodí. Jde o změny využívání pozemků, rostlinného pokryvu, zatravňování a zalesňování břehů a přirozených inundací, tvorba protierozních mezí a vegetačních pásů prováděné k zachycení vody v povodí a zpomalení jejího odtoku (MŽP 2000). Mají za cíl najít rozumnou rovnováhu mezi hospodařením a urbanizací a vytvářet přírodě blízká opatření, která nenarušují přirozený ráz krajiny.

3.6 Záplavová území

Záplavové území je oblast, která může být při povodni ohrožena rozlivem vody. Podle zákona č. 254/2001 Sb., se jedná o území administrativně určená, která

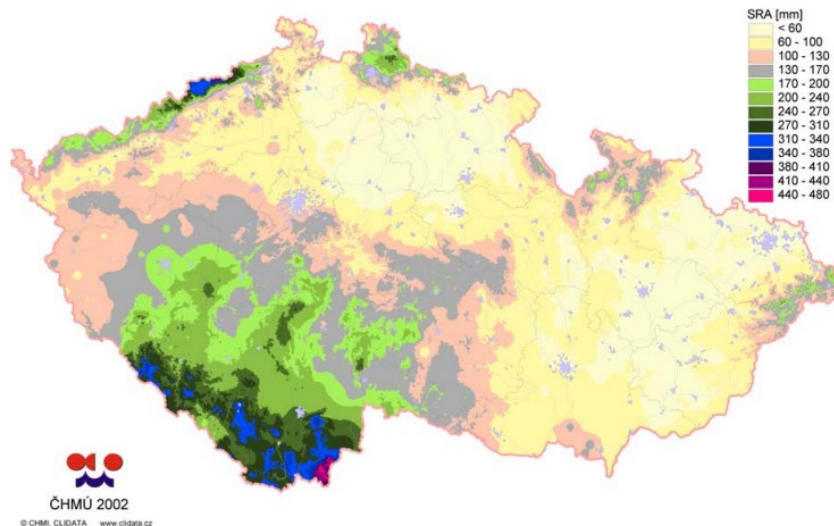
mohou být při výskytu přirozené povodně zaplavena vodou. Vlastník vodního toku si nechává zpracovat návrh záplavového území, který následně postupuje vodoprávnímu úřadu, jenž determinuje aktivní zónu záplavového území. Návrh záplavového území a aktivní zóny záplavového území se zpracovává dle vyhlášky MŽP č. 236/2002 Sb., o způsobu a rozsahu zpracování návrhu a stanovování záplavových území (vodní zákon). Přičemž aktivní zóna záplavového území se navrhuje dle nebezpečnosti průtoků během povodně.

V záplavovém území je nepřipustná výstavba škol, nemocnic, zdravotních a sociálních zařízení, čerpacích stanic, zřizování skládek komunálních odpadů a látek škodlivých vodám, stavby pro chov hospodářských zvířat a pozemků volně odplavitelných materiálů (Jílková, Roch a kol., 2006). Dále pak není možné pojistit objekty nacházející se v záplavovém území, nebo jsou ceny za pojištění mnohonásobně vyšší oproti pojištění objektů, které se nenachází v záplavové oblasti.

Pro správné určení záplavového území by neměly chybět tyto podklady: hydrologické údaje od Českého hydrometeorologického úřadu, digitální model terénu nebo digitální model reliéfu, podrobné geodetické zaměření koryta a objektů na vodním toku, historické záznamy o povodních, drsnostní koeficient, a nezbytný je taktéž terénní průzkum povodí a vodního toku.

3.7 Historie povodní

V rámci 21. století bylo zkoumaná povodí zasažena povodňovými událostmi několikrát. Nicméně Daňhelka a kol. (2014) uvádějí od roku 2000 tři velké povodně. Za první velkou povodeň lze brát tu z roku 2002. V tomto roce byla zasažena povodí Vltavy, Labe, Dyje i Ohře. Příčinou povodně byl průchod dvou tlakových níží s teplým a vlhkým vzduchem ze Středomoří do střední Evropy, kdy byly nejvíce zasaženy oblasti povodí Labe a Vltavy (Duchan et al. 2019). VÚV T.G.M. (2003) říká, že povodeň byla způsobena třídenními dešti a postihla především větší toky, ale projevila se i na malých povodích. Povodeň lze rozdělit do dvou fází, přičemž první započala 7. srpna a druhá 12. srpna. Na obrázku č. 4 pak je viditelné srážkové rozložení dešťů, které způsobily tuto povodeň. Jak si lze povšimnout, na naši zkoumanou oblast od 6. do 15. srpna dopadlo 100–200 mm.

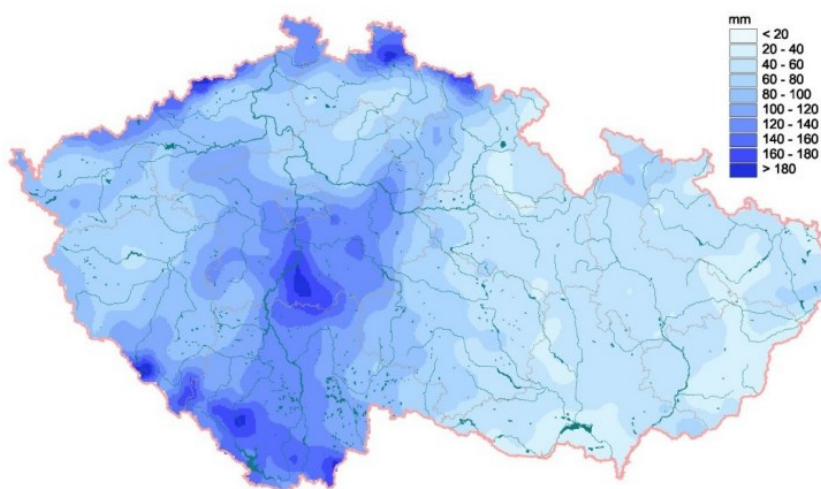


Obrázek 4: Mapa úhrnů srážek za období od 6. do 15. srpna 2002 (ČHMÚ 2002)

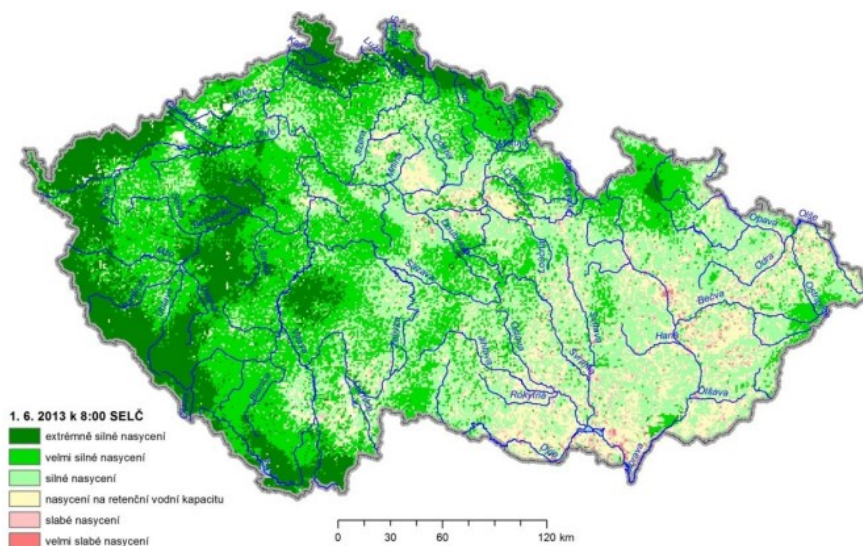
V roce 2006 zasáhla Českou republiku další povodeň značného rozsahu. Byla způsobena dvěma faktory, a to táním sněhu, které bylo způsobeno rychlým jarním oteplením, a vydatnými dešťovými úhrny (Daňhelka a kol. 2012). Nejvíce škod bylo napácháno v povodích Labe, Moravy a Lužnice, ale i ve zkoumaném povodí Ohře. Na majetku v péči s.p. Povodí Ohře vznikly škody, dle zjišťovacích protokolů, dosahující až 110 mil. Kč (Povodí Ohře, 2006). Přestože na některých místech dosahovala povodeň stejné intenzity jako v roce 2002, nezpůsobila tak veliké škody na majetku. A to z důvodů zlepšení protipovodňových opatření. Velmi pozitivně se uplatnila opatření ke zvýšení protipovodňové ochrany realizovaná na tocích, objektech a zařízeních Povodí Ohře po ničivé povodni z roku 2002 s využitím nejen vlastních finančních zdrojů podniku, ale v podstatné míře také zdrojů z dotačních programů zajištěných státem i z fondů EU (Povodí Ohře 2006). ČHMÚ (2006) tvrdí, že vlivem Nechranické nádrže na Ohři došlo ke zmenšení kulminačního průtoku povodňové vlny. Díky této vodní nádrži tak docházelo i k menším rozlivům Ohře na dolním toku Žejdlíku.

Povodeň v roce 2013 byla největší povodní od roku 2002. Tato povodeň měla 3 vlny. 1. vlna působila v období od 29. května do 5. června, 2. vlna od 10. do 12. června a 3. vlna od 24. do 27. června (Povodí Ohře 2013). Ve všech třech epizodách byla povodeň způsobena vydatnými úhrny srážek. Přičemž 1. vlna dosahovala nejvyšších kulminačních průtoků a 3. vlna měla již kulminační průtoky nejnižší. ČHMÚ (2014) udává, že byly zaznamenávány jak teplotní extrém, tak na četných místech vydatné srážky působící sněhové kalamity a na jaře a začátkem léta i povodně.

Povodeň tak byla způsobena mnoha meteorologickými anomáliemi, avšak hlavním faktorem byla bezesporu srážková činnost (viz obrázek č. 5). Na území celé ČR byl naměřen průměrný měsíční úhrn srážek 113 mm (ČHMÚ 2014). Dalším významným faktorem síly povodně byla nasycenost půd. Kvůli častým srážkovým úhrnům před povodněmi již byla půda i vegetace do značné míry nasycena vodou, a tak během povodně byla jejich infiltrační schopnost velice omezena (viz obrázek č. 6). Na veškerém území povodí vodního toku Žejdlík byl vyhlášen třetí stupeň povodňové aktivity.



Obrázek 5: Úhrn srážek od 29. 5. do 3. 6. 2013 na území ČR (ČHMÚ 2014)



Obrázek 6: Ukazatel nasycení k 1. 6. 2013 (ČHMÚ 2014)

4 Matematické modely

Matematické modely se snaží zjednodušeně pomocí matematických zákonů a rovnic popsat určitý reálný jev. Podle Dooge (1987) nám modely zjednodušeně reprezentují části přírodního nebo člověkem formovaného světa, která může reprodukovat některé z jeho charakteristik. Modely nám tak zjednodušeně reprezentují realitu v digitálním prostředí.

Ve vodním hospodářství se používají matematické modely, které popisují hydrologické jevy. Rodhe (2012) tvrdí, že hydrologický model je zjednodušení reálného hydrologického procesu (povrchové nebo podzemní vody), které pomáhají pochopit a předpovídat koloběh vody v přírodě. Důležité je si uvědomit, že zjednodušováním reality v modelech nastává riziko, a to že simulované jevy již nemusí plně korespondovat s realitou. Čím více se tak člověk snaží v modelu zjednodušit realitu, tím více se model může lišit od přirozených jevů v přírodě. V našem případě vytvořený model například naprosto opomíjí faktor infiltrace.

Tyto modely tak lze zařadit mezi nástroje, které usnadňují porozumění pro vybrané hydrologické procesy. V našem případě jsou využívány právě pro popsání povodní. Snaží se tak určitým způsobem popsat hydrologický systém a jeho proměnné. Přičemž hydrologický systém lze definovat jako schéma, které dává do vztahu vstup s výstupem (Dooge 2003). V situaci, která je popisována touto diplomovou prací, je vstupem myšlena voda, jež přitéká do povodí ať už z přítoků, tak z dešťových srážek či z tání ledu atd. Výstupem je pak voda, která opouští povodí. Společně tak vstup s výstupem ovlivňují změnu zásoby vody v povodí. Tyto modely tak často pracují se zákonem zachování hmoty. Kuráž (2017) popisuje tento zákon jako fundamentální fyzikální zákon, který posléze umožnil odvození řídicích rovnic pro řadu aplikací jako pohyb vody, tepla, látek – mísitelných a nemísitelných.

Tvorba těchto modelů má několik fází. Nejprve je potřeba vybrat správný model, jelikož je těchto modelů poměrně dost. Každý model má totiž určité kladné i záporné stránky.

4.1 Základní klasifikace matematických modelů

Jak už bylo popsáno výše, matematické modely jsou použity pro reprezentaci zjednodušené reality. Konkrétně jsou v této práci použity pro stanovení záplavových

území a hydrodynamického posouzení vodního toku. Becker a Serban (1990) poukazují na to, že modely lze klasifikovat dle různých aspektů do mnoha kategorií. Klasifikace modelů se u různých autorů liší, avšak všechna rozdělení vychází z všeobecně přijímaného schématu. Například Becker a Serban (1990) rozdělují matematické modely do tří skupin:

- **Stochastické modely** – v těchto modelech chybí vazba mezi příčinou a důsledkem. Zároveň jsou časově nezávislé. Snaha je zde pouze o pochopení závislosti mezi vstupními a výstupními daty.
- **Deterministické modely** – je zde časová závislost, zároveň jsou zde vztahy mezi vstupem a výstupem popisovány dle fyzikálních zákonitostí.
- **Smíšené modely** – jde o kombinaci výše zmíněných modelů.

Valenta (2005) pak dělí modely, které se zabývají hydrologickými procesy, do dvou základních skupin:

- **Srážko-odtokové modely (S-O modely)** – využívají se pro modelování transformace srážky na povrchový odtok. Jako vstupní parametr tudíž slouží srážka, která je transformována na povrchový odtok. S-O modelů je celá řada, jsou děleny dle různých kritérií do mnoha kategorií (viz obrázek č. 7). Existují tak jak stochastické, tak deterministické S-O modely.
- **Hydrodynamické modely (HD modely)** – na rozdíl od srážko-odtokových modelů, používají jako vstupní parametr určité množství vody proudící korytem vodního toku. HD modely podle Unucka (2010) využívají k modelování transformací vody v hydrologických objektech, jako jsou koryta vodních toků či vodní nádrže a následným rozlivem vody z koryt při vysokých vodních stavech v době povodní. Přičemž hydrodynamické modely vycházejí z matematických rovnic (algebraických, diferenciálních, integrálních) a ze schematizace reálného prostředí (Novák a kol. 2015). V této práci bylo pro modelaci hydrologických jevů využito HD modelů. I hydrodynamické modely se dále kategorizují dle různých parametrů. Například Bízek a kol. (2011) rozdělují hydrodynamické modely až do osmi kategorií. Základní rozdělení viz obrázek č. 7.



Obrázek 7: Rozdělení S-O a H-D modelů (Becker a Serban 1990)

Existuje mnoho programů, které se zabývají modelací povodní. Často tyto programy umí modelovat různé scénáře (viz obrázek č. 7). Jedním z nejvyužívanějších matematických modelů v hydrologii je program HEC-RAS. Ten umožňuje jak simulaci ustáleného proudění, tak simulaci neustáleného proudění. Jedná se o různé typy proudění s volnou hladinou v otevřeném korytě.

Ustálené proudění je počítáno na základě Bernoulliho rovnice (HEC-RAS 2019). Tato rovnice pracuje na základě rovnice zákona zachování hmoty. Proudění předpokládá konstantní rychlost průtoků v čase a pouze malé změny hloubek. Na rozdíl od ustáleného proudění, neustálené proudění tyto charakteristiky nemusí mít konstantní, a tak mohou výsledky z neustáleného proudění více korelovat s realitou. U neustáleného proudění se využívá rovnic hybnosti a spojitosti, přičemž zde dochází ke změnám rychlostí a hloubek v čase (Barnard et al. 2007).

V programu lze také využívat modely jiných dimenzí, a to 1D modely a 2D modely. 1D modely neboli jednorozměrné modely jsou mnohem jednodušší na náročnost výpočtů i vstupních dat. 1D model pracuje především s daty o terénu, která získává ze zaměřených příčných profilů. 2D model pracuje s celkovou oblastí a k výpočtu využívá digitální model terénu. Výpočty v programu jsou tak delší i náročnější, ovšem mnohem více odpovídají realitě. Reidinger a Levitus (2013) tak tvrdí, že jsou vhodné pro modelování v širokých, nepravidelných inundačních územích.

V této diplomové práci se zabýváme jak hydrodynamickým modelováním ustáleného proudění v otevřeném korytě, a to na 1D modelu, tak modelováním neustáleného proudění na 2D modelu, přesněji řečeno v kombinaci 1D/2D.

5 Použité programy

5.1 QGIS

QGIS neboli Quantum GIS je open source geographic information system, též nazývaný otevřený nebo svobodný systém, je tudíž komerční a zdarma dostupný. Program se využívá především pro práci s prostorovými/geografickými daty, pro reprezentaci dat v podobě datových modelů, analytickým zpracováním geodat a následnou vizualizací výsledků především s využitím kartografických map. Pro práci byla využita verze softwaru QGIS 3.24 Tisler a jednalo se o desktopovou verzi tohoto systému.

Jeho nesmírnou výhodou je, že se lze dostat k jeho zdrojovému kódování, a program tak lze upravovat a vymýšlet jeho různá zlepšení. Proto je možno pro program napsat různé skripty pro potřebné analýzy. Lze též instalovat dostupné pluginy, které přidávají další užitečné funkce do aplikace QGIS. Některé tyto pluginy byly využity pro diplomovou práci.

Primárně byl program využit pro vytvoření digitálního modelu terénu, práci se zaměřenými body a pro fyzicko-geografickou analýzu oblasti.

5.2 HEC-RAS

HEC-RAS je počítačový program, celým jménem známý jako Hydrologic engineering center, River analysis system. Díky němu lze modelovat hydrauliku proudění vody a provádět analýzu říčních systémů. Jak píše Ackerman (2012), nejčastější uplatnění nalezne HEC-RAS při tvorbě záplavových map. Software je vyvíjen společností Hydrologic Engineering Center US Army Corps of Engineers, která je vlastněna americkou armádou, a je volně dostupný na stránkách této společnosti.

Dlouhou dobu bylo v programu možné vytvářet pouze 1D modely, nicméně od roku 2015 již umožňuje i 2D modelování. Model HEC-RAS umožňuje simulace ustáleného proudění, simulace neustáleného proudění, transport sedimentu a analýzu kvality vody (Brunner 2010; HEC-RAS 2022). Významné jsou jeho možnosti výpočtu objektů na toku, příčných i podélných staveb. Pro práci byla využita verze softwaru HEC-RAS 5.3.1.

5.3 Excel

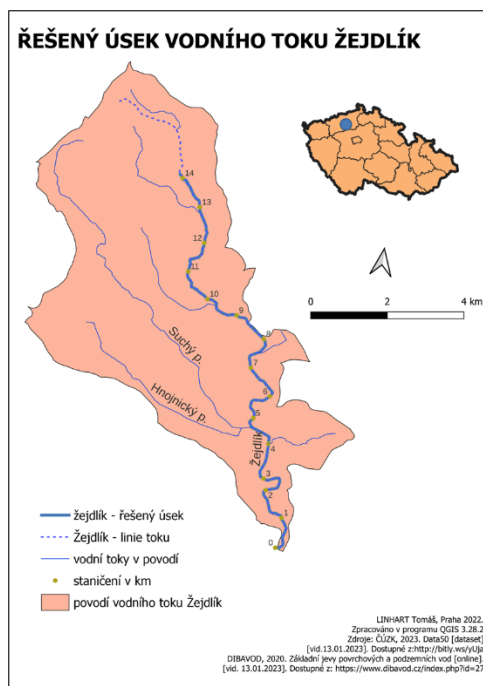
Jedná se i tabulkový program vytvořený společností Microsoft. Tento program posloužil pro vytváření přehledných tabulek, ale i pro interpolaci hydrologických dat.

6 Fyzicko-geografická charakteristika území

Na začátku je důležité vymezit zájmovou oblast, uvést základní informace o zkoumaném vodním toku a jeho povodí, dále pak uvést základní fyzicko-geografické charakteristiky území atd. To všechno pro pochopení jevů a jejich vzájemných souvislostí, co se týče vodního toku Žejdlík a jeho možného chování během povodní.

6.1 Vymezení zájmového území

Žejdlík je vodním tokem nacházejícím se v Ústeckém kraji rozprostírajícím se ve dvou okresech. Směr vodního toku je směrem od severu k jihu. Svým horním a středním úsek zasahuje do okresu Litoměřice, zatímco dolní částí toku zasahuje do okresu Louny. Celkem vodní tok zasahuje do devíti katastrálních území, jsou jimi Lukohořany, Dřemčice, Koštice, Vojnice u Koštic, Vojničky, Želevice, Solany, Staré a Třebívlice. Jedná se o levostranný přítok Ohře, do které ústí těsně pod obcí Koštice. Z velké části povodí Žejdlíku zasahuje svou severní částí do Chráněné krajinné oblasti České středohoří. Největším přítokem je Suchý potok, který je pravobřežním přítokem Žejdlíku. Lokalita vodního toku a vyobrazení jeho nejvýznamnějších přítoků viz obrázek č. 8.



Obrázek 8: Vymezení zájmového území

6.2 Hydrologie řešeného úseku a jeho popis

Jak již bylo zmíněno, tok se nachází v oblasti Českého středohoří a pramení severně od obce Dřevce v blízkosti vrcholu hory Ostrý, který dosahuje výšky 553 m n.m. Celková délka Žejdlíku je 17,110 km (CEVT, 2020). Plocha povodí v místě soutoku s Ohří je 46,6 km² (DIBAVOD 2022). Avšak řešený úsek se omezuje na spodních 14,126 km od ústí vodního toku, dle aktualizované osy toku. Výpočetní model tak zasahuje do tří obcí. Patří sem Košnice, Třebívlice a Děčany.

Řešený úsek Žejdlíku má proměnlivý podélný sklon, který lze rozdělit na tři charakteristické úseky. Podélný sklon se ve směru toku snižuje (viz tabulka č. 1). Trasa vodního toku je z velké části úseku upravená a napřímená. V okolí vodního toku se také nachází řada zaniklých rybníků.

Tabulka 1: Průměrné podélné sklony koryta

Úsek toku (ř. km)	Popis úseku	Průměrný podélný sklon úseku (%)
14,126 – 12,279	začátek úseku – mezi Třebívlicemi a Solany	3,3
12,279 – 8,587	mezi Třebívlicemi a Solany – nad rozdělovacím objektem do Rosovky	2,2
8,587 – 0,000	nad rozdělovacím objektem do Rosovky – ústí do Ohře	1,1
14,126 – 0,000	začátek úseku – ústí do Ohře	1,4

Inundační území Žejdlíku je v horním úseku údolí mírně sklonité. Níže po toku se inundační území stává plochým. V některých místech, vlivem úpravy koryta a jeho trasování, je inundační území níže položené než břehové hrany. V intravilánu obcí je tok z velké části lemován silničními komunikacemi a zástavbou, přičemž samotný vodní tok má koryto v intravilánu téměř všude napřímené a upravené. V těchto obcích je tok prakticky v celé délce lemován zástavbou, a to převážně obytnou. V extravilánu pak protéká převážně mezi poli, dále mezi louky a lesy. Narovnáním toku dochází k zvýšení průtokové rychlosti vody během povodně, což může mít ničivé následky povodní jak v takto upravených korytech, tak především ve spodnějších částech toku.

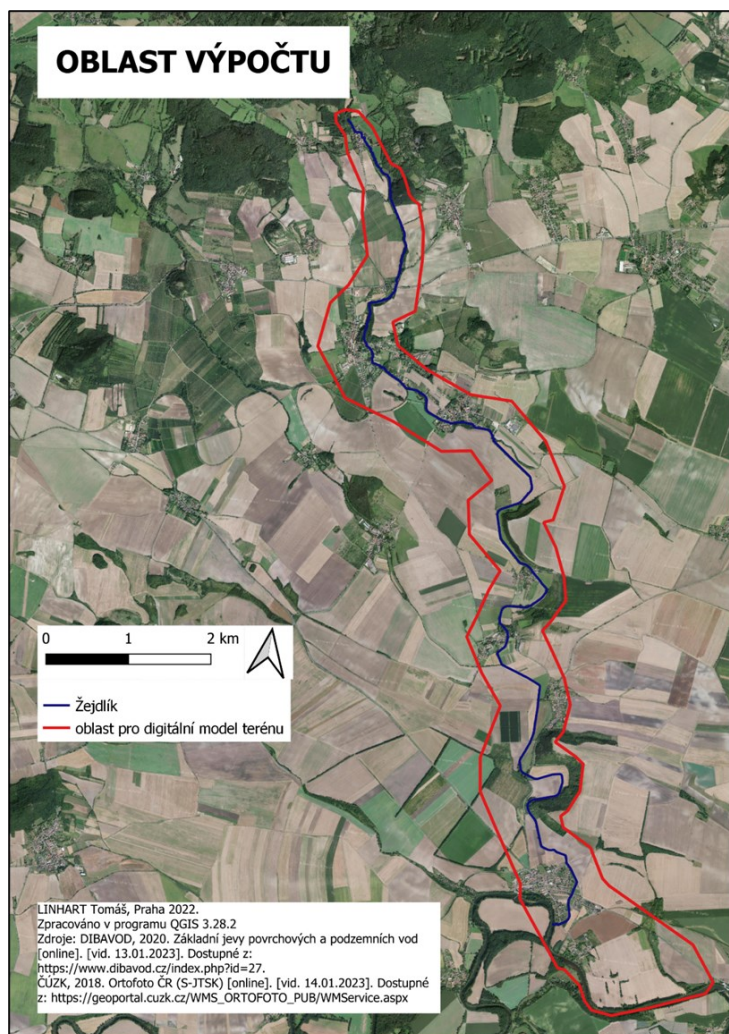
V řešeném úseku tok neprotéká žádnými vodními nádržemi. Nicméně se v přímé blízkosti vodního toku nacházejí dva rybníky u přírodní památky Kuzov, dva rybníky a jedno koupaliště v obci Třebívlice a dále pak malá vodní plocha u obce Vojničky. Historicky však Žejdlík protékal několika rybníky. Patrné to je z map 2. vojenského mapování (viz obrázek č. 9). Oproti historii došlo k významným změnám na vodním toku i v jeho povodí.



Obrázek 9: Rybník u obce Solany z 2. vojenského mapování (CENIA 2022)

Na samotném vodním toku se nachází mnoho objektů. Lze zde nalézt 30 mostů, vesměs železobetonové a dřevěné konstrukce, 14 lávek, také železobetonových či dřevěných, 4 stupně, 1 jez a 1 propustek. Všechny tyto objekty mohou ovlivňovat průběh povodní (viz kapitola č. 3.2) a byly tak zahrnuty do modelu.

Pro výpočetní model nebyla použita oblast celého povodí vodního toku, ale pouze okolí koryta, které by mohlo být během povodní zaplaveno (viz obrázek č. 10). Model totiž pracuje především s digitálním modelem terénu, zabývá se rozlivy z koryta řeky a inundačním územím, a tak širší okolí povodí je pro výpočetní schéma modelu méně podstatné. Zároveň platí, že čím menší model, tím rychlejší výpočty.



Obrázek 10: Oblast digitálního modelu terénu pro výpočet modelu

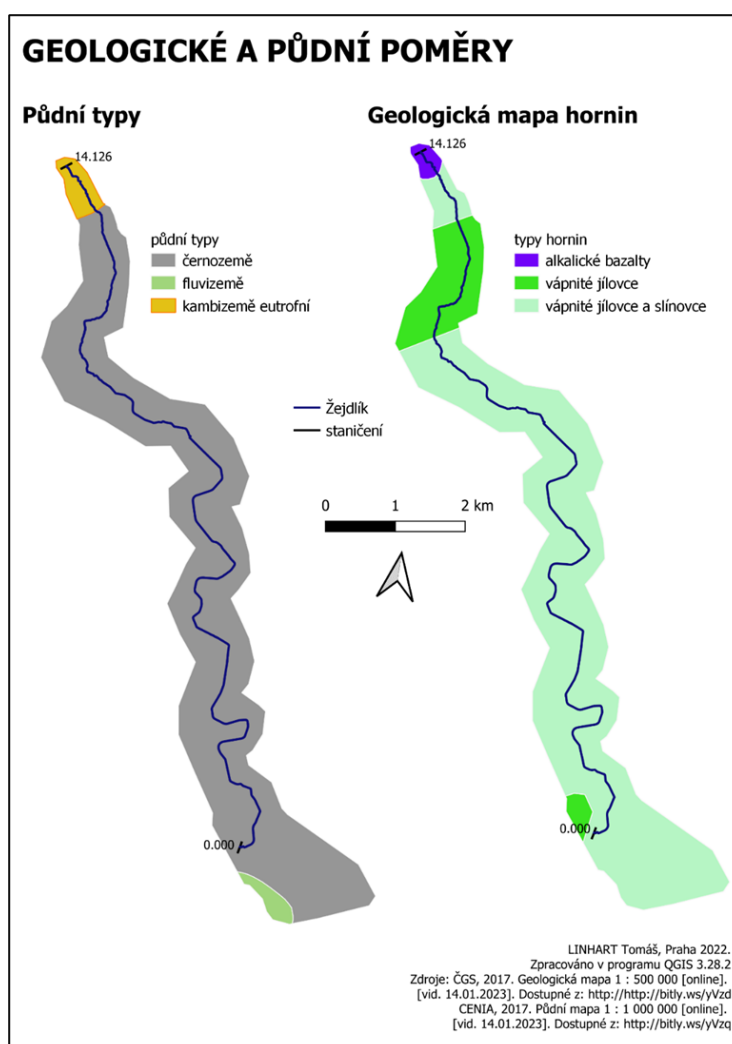
Co se povodní týče, během prohlídky toku nebyly na Žejdlíku zjištěny žádné povodňové značky, ani stopy po historických povodních. Pro zajištění archivních údajů byly v rámci studie osloveny dotčené obce Koštice, Třebívlice a Děčany, avšak žádné obce nedisponovaly dokumentací o povodňových událostech. Samozřejmě zde bylo v tomto století mnohem více menších povodní, avšak nedosahovaly takových rozměrů jako zmíněné povodně v kapitole č. 3.7.

6.3 Geologické a půdní poměry

Co se týče půdních poměrů, nejvíce se v oblasti vyskytují černozemě. V malé míře pak fluvizemě a kambizemě eutrofní (viz obrázek č. 11). Do jisté míry dané území zasahuje, nebo alespoň hraničí, s Polabskou nížinou. Jde tudíž o velice úrodnou oblast, na které se nachází mnoho zemědělských polí. I zmiňované kambizemě jsou zde vhodné pro zemědělské obdělávání. Jak uvádí AOPK (2023a), eutrofní

kambizemě zde mají vysoký obsah živin a často tvoří kombinace s lesními a jílovitými půdami. V zájmovém území se tak nachází jak půdy s velkým, tak půdy s malým rizikem během povodní (viz kapitola 3.2).

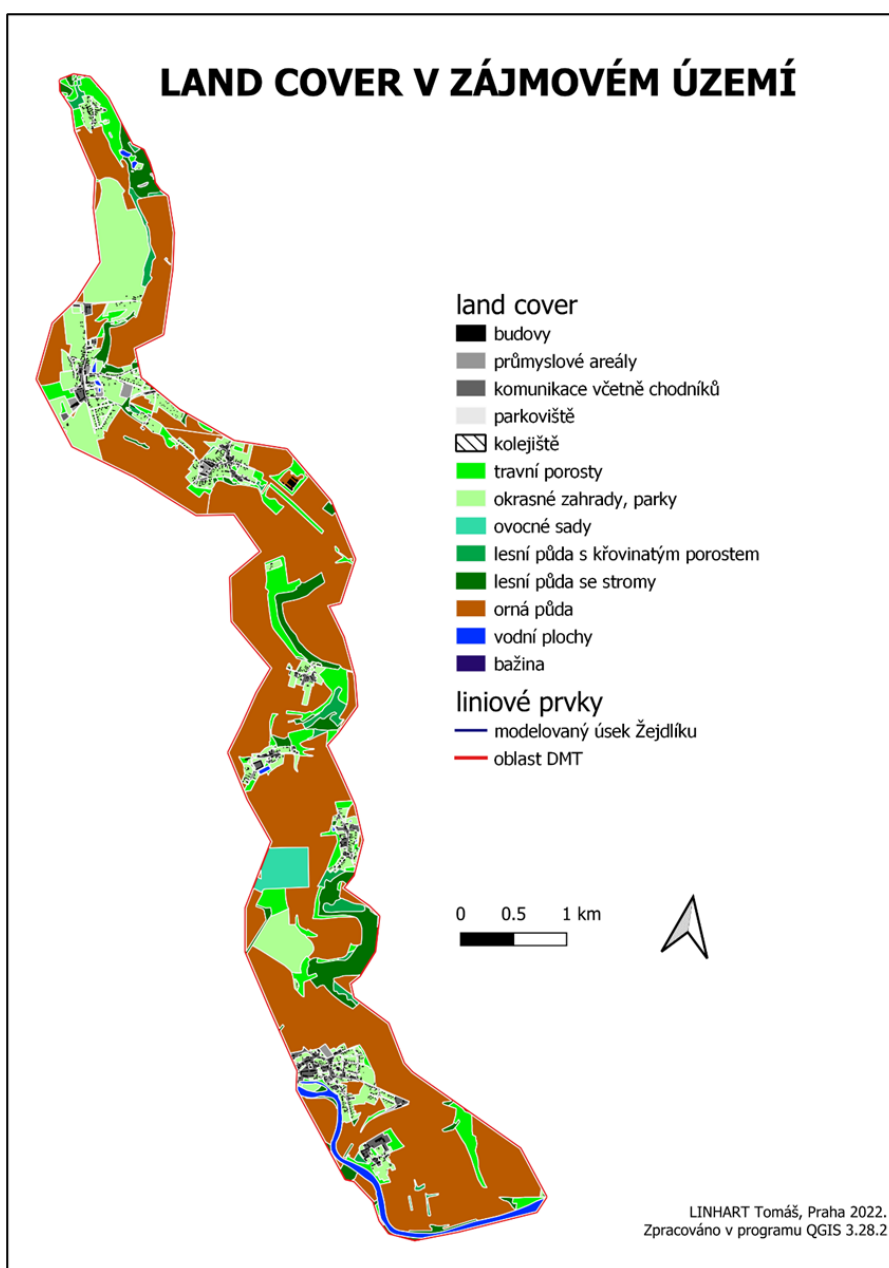
Z hlediska hornin se zde nachází především vápnné jílovce a slínovce, a poté v malé míře alkalické bazalty (viz obrázek č. 11). Vápnné jílovce a slínovce řadíme mezi usazené horniny, přičemž vznikaly usazováním materiálů ve vodním prostředí. Tyto horniny jsou důkazem existence pradávného mělkého moře (AOPK 2023b). Jedná se o třetihorní vulkanická pohoří nejčastěji tvořena čedičovými (téměř ze tří čtvrtin), trachytickými a andezitickými horninami (AOPK 2023b). Proto se alkalické bazalty nachází v severní části povodí, v okolí hory Ostrý.



Obrázek 11: Mapa geologických a půdních poměrů

6.4 Land cover

Lambin (2007) definuje land cover jako povrch planety Země (či přilehlé povrchy), který zahrnuje biotu, půdy, topografii, povrchovou a podzemní vodu, lidské (většinou zastavěné) struktury. Pro modelování chování řeky při hydrologických extrémech jako je povodeň, je velice důležité znát land cover zájmové oblasti, jelikož se z něj stanovují drsnosti, které se zadávají do modelu. Určujeme je jak pro koryto, tak pro celé inundační území. Vypracovanou mapu land cover zájmové oblasti lze najít v obrázku č. 12.



Obrázek 12: Land Cover zájmového území

Jelikož se jedná o zemědělsky využívanou půdu, zemědělské plochy s ovocnými sady tvoří až 68 % celkové plochy území. Dále pak zde najdeme travní porosty s 16 % zastoupení a lesy, které zabírají zhruba 9 % plochy (viz tabulka č. 2).

Dle land cover lze zjistit i vegetační charakteristiky v území, které nám také mohou ovlivňovat chování povodňové vlny. Díky vegetaci může dojít ke snížení rychlosti vody, která stéká ze svahů, ale může mít i vliv na intercepci srážky (viz kapitola č. 3.2).

Tabulka 2: Procentuální zastoupení land cover v zájmovém území

LAND COVER	Zastoupení v %
budovy	1,72 %
komunikace včetně chodníků	1,73 %
zástavba	0,66 %
průmyslové areály	0,38 %
parkoviště	0,01 %
kolejiště	0,04 %
travní porosty	16,02 %
okrasné zahrady, parky	0,46 %
ovocné sady	7,94 %
lesní půda s křovinatým porostem	2,04 %
lesní půda se stromy	7,04 %
orná půda	59,90 %
vodní plocha	1,79 %
bažina	0,26 %

6.5 Klimatické podmínky

Je velice důležité, z hlediska povodní, znát klimatické podmínky panující v oblasti povodí a jeho širšího okolí. A to z mnoha důvodů. Jedním z nich je predikce povodní, dále pak určení převažujícího typu povodní. Dle klimatických podmínek můžeme zjistit i jistou náchylnost území k vytvoření příležitostných podmínek pro tvorbu povodní atd.

Zájmová oblast byla klimaticky charakterizována dle Quittovy klasifikace z roku 1971. Podle Quitta (1971) lze rozdělit povodí Žejdlíku do čtyř klimatických

klasifikací. Přičemž tři ze čtyř klimatických oblastí se nachází v horních partiích toku a zaujímají malou část povodí, jejich změna je vyvolána především změnou v nadmořské výšce reliéfu a díky rozdílným teplotám v těchto oblastech. Jedná se o oblasti CH4, MT7 a MT5. Střední a dolní tok Žejdlíku se celý nachází v oblasti T4.

CH4 patří dle klasifikace do oblasti chladné a vyskytuje se ve vrcholových partiích vodního tok. Tuto oblast lze charakterizovat jako velice chladnou, zimy tu bývají dlouhé, zatímco léto je krátké a vlhké. Jaro a podzim bývají chladné. Mezi podstatné znaky této oblasti patří dlouhodobá přítomnost sněhové pokrývky.

S klesající nadmořskou výškou prochází oblastmi MT7 a MT5, které patří do oblastí mírně teplých, též nazývaných jako oblasti přechodné. Jejich rozloha v oblasti DMR je vyšší než u oblasti CH4. Tyto oblasti jsou známé krátkým jarem a podzimem, jejich léto a zima bývají suché.

T4 patří mezi teplé oblasti a rozprostírá se na největší části zájmového území. Tato kategorie je známá pro krátké jaro, dlouhé a teplé suché léto a krátký teplý podzim i zimu. Podrobnější klasifikace klimatických oblastí viz tabulka č. 3.

Díky poměrně velkým rozdílům v nadmořské výšce a vysokému počtu klimatických oblastí na relativně malou zájmovou sféru, tak může docházet k rychlému tání ledové a sněhové pokrývky a ke vzniku tzv. povodním způsobených prudkým táním sněhové pokrývky (viz kapitola č. 3.1).

Tabulka 3: Údaje o klimatických oblastech (Quitt 1971)

	chladné oblasti	mírně teplé oblasti		teplé oblasti
	CH4	MT7	MT5	T4
Počet letních dní	0–20	30–40	30–40	60–70
Počet dní s prům. teplotou 10 °C a více	80–120	140–160	140–160	170–180
Počet dní s mrazem	160–180	110–130	130–140	100–110
Počet ledových dní	60–70	40–50	40–50	30–40
Prům. lednová teplota	-6 až -7	-2 až -3	-4 až -5	-2 až -3
Prům. červencová teplota	12–14	16–17	16–17	19–20
Průměrný počet dní se srážkami 1 mm a více	120–140	100–120	100–120	80–90
Suma srážek celkem	1000–1200	650–750	600–750	500–650
Počet dní se sněhovou pokrývkou	140–160	60–80	60–100	40–50

7 Metodika

Prostudována odborná literatura, vypracována literární rešerše a vypracována fyzicko-geografická charakteristika zájmového území nám pomohla pochopit základní charakteristiky zkoumaného toku, seznámit se s problematikou povodní jak obecně, tak ve zkoumané oblasti, a mohlo tak dojít k pochopení základních hydrodynamických procesů. Po těchto krocích se mohlo přejít k tvorbě hlavního cíle této diplomové práce, čímž je určit záplavové území pro zadanou oblast.

Nicméně aby došlo k lepšímu seznámení se s oblastí, bylo nutné nejprve provést terénní průzkum lokality. Při této příležitosti byla zhotovena fotodokumentace objektů na vodním toku. Terénní průzkum i fotodokumentace nám byly nápomocny v mnoha dalších krocích i při validaci výsledků.

Pro správnou kalibraci modelů bylo nutné získat vstupní data a korektně s nimi pracovat v modelech určených pro modelaci hydrodynamických procesů. Přičemž čím více přesná jsou vstupní data, tím větší je pravděpodobnost korektnosti výsledků.

Tato metodika byla vypracována v rámci projektu „Zpracování podkladů pro stanovení záplavových území a map povodňového ohrožení v územní působnosti státního podniku povodí Ohře“ ve společnosti Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s., pod vedením Ing. Filipa Urbana. Veškerá data byla poskytnuta v rámci této studie.

7.1 Podkladová data

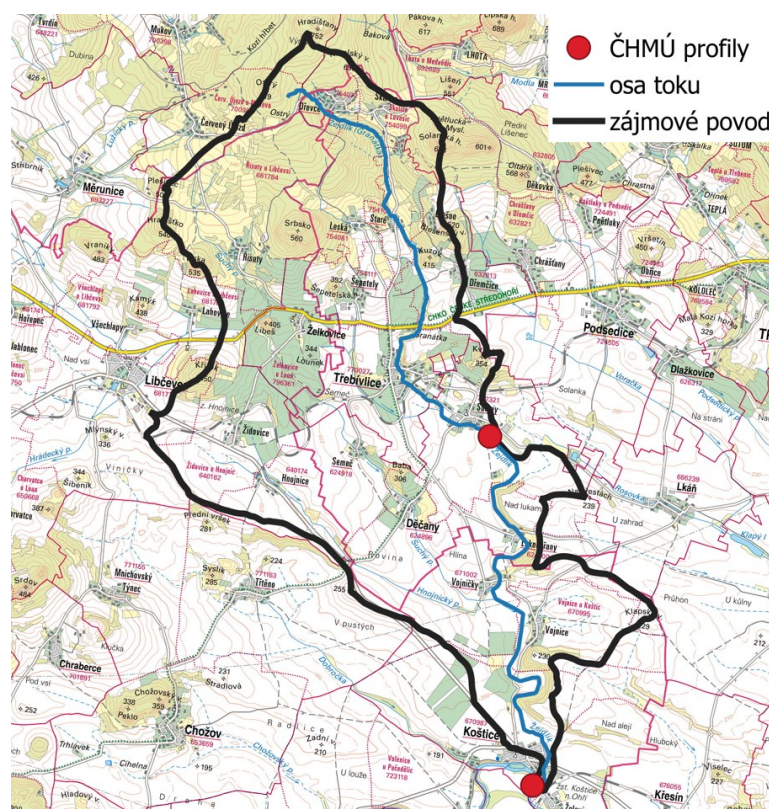
7.1.1 Výškopisná data

Výškopisná data slouží pro přesné určení digitálního modelu terénu. Pro tento účel jsme využili data Digitálního modelu reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G). Tato data poskytuje Český úřad zeměměřičský a katastrální (ČÚZK) a lze je dohledat online na jejich geoportálu, v datové sadě Základní báze geografických dat (ZABAGED), ve výškopisné skupině těchto dat. Bodová měření z DMR 5G představují nejpřesnější polohové a výškopisné informace, které se týkají celé plochy České republiky. Model vznikl metodou leteckého laserového skenování a byl dokončen roku 2016. Představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru, ve formě výšek diskrétních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN) bodů o souřadnicích X, Y, H (ČÚZK, 2016). Souřadnice X a Y představují informace o zeměpisné šířce a zeměpisné délce.

Souřadnice H poté představují informace o nadmořské výšce daného bodu a jsou spjaté s referenčním výškovým systémem Baltským po vyrovnání. Dle ČÚZK (2016) má úplnou střední chybovou výšku v rozmezí do 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu.

7.1.2 Hydrologická data

Pro naše účely bylo zapotřebí získat data N-letých průtoků zájmového území, a to pro Q_5 , Q_{20} , Q_{50} , Q_{100} a Q_{500} . Tyto informace byly poskytnuty Českým hydrometeorologickým úřadem v prosinci roku 2020, a to pro N-leté průtoky Q_1 , Q_2 , Q_5 , Q_{10} , Q_{20} , Q_{50} , Q_{100} a Q_{500} , v rámci zmiňované studie „Zpracování podkladů pro stanovení záplavových území a map povodňového ohrožení v územní působnosti státního podniku povodí Ohře“. Přičemž záplavová území se budou vypracovávat, jak je uvedeno výše, pro N-leté průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} , ostatní N-leté průtoky pro lepší verifikaci postupů i výsledků. Umístění těchto profilů viz obrázek č. 13.



Obrázek 13: Mapa lokalit hydrologických dat

7.1.3 Hydrotechnická data

Hydrotechnická data nám reprezentují údaje o zaměřených objektech, konkrétně o jejich polohových a výškopisných informacích. Ty byly k dispozici z geodetického zaměření toku firmou GEODEX Tomáš Rossiwal, geodetické práce

jsou z března roku 2021 a týkaly se všech objektů nacházejících se na zkoumané části vodního toku. Z geodetického zaměření byly též dostupné informace o korytě toku a jeho blízkého okolí, obsahují podrobné polohové informace o zaměření dna koryta, svahů a břehových hran.

7.1.4 Podkladové mapy

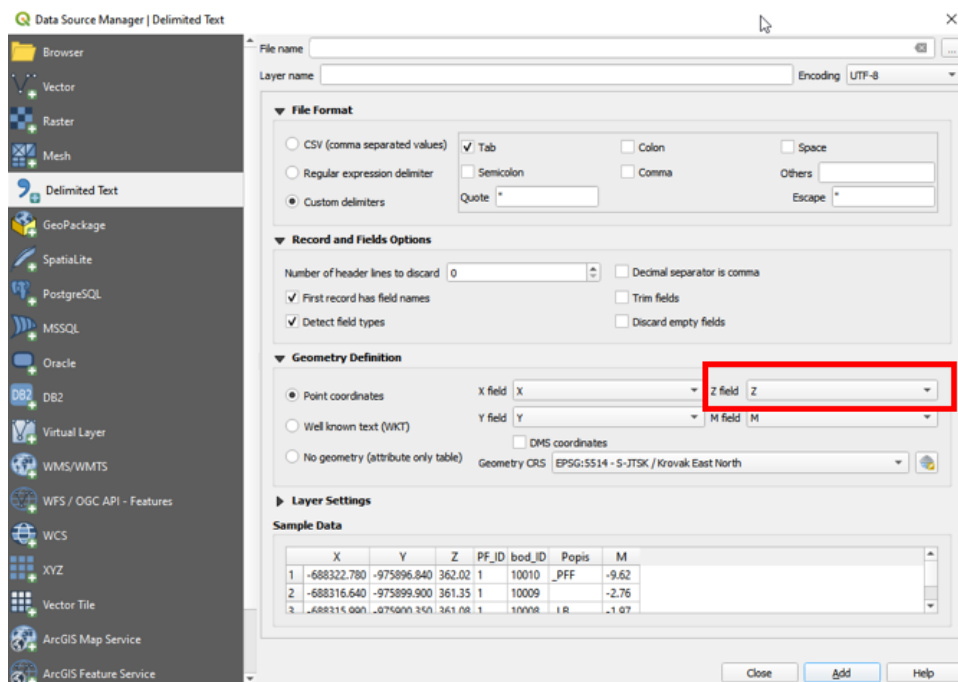
Nedílnou součástí pro správné určení polohy vodního toku a celkově pro kontrolu vstupních i výstupných dat, byly podkladové mapy. Jednalo se především o Základní mapu České republiky v měřítku 1 : 10 000, která patří mezi rastrová mapová díla. Dále pak barevné ortofoto snímky České republiky nesoucí název Ortofoto České republiky. Obě tato mapová díla byla získána z geoportálu ČÚZK a bylo pracováno s jejich verzí z roku 2019.

7.2 Postup zpracování 1D modelu

7.2.1 Tvorba digitálního modelu terénu

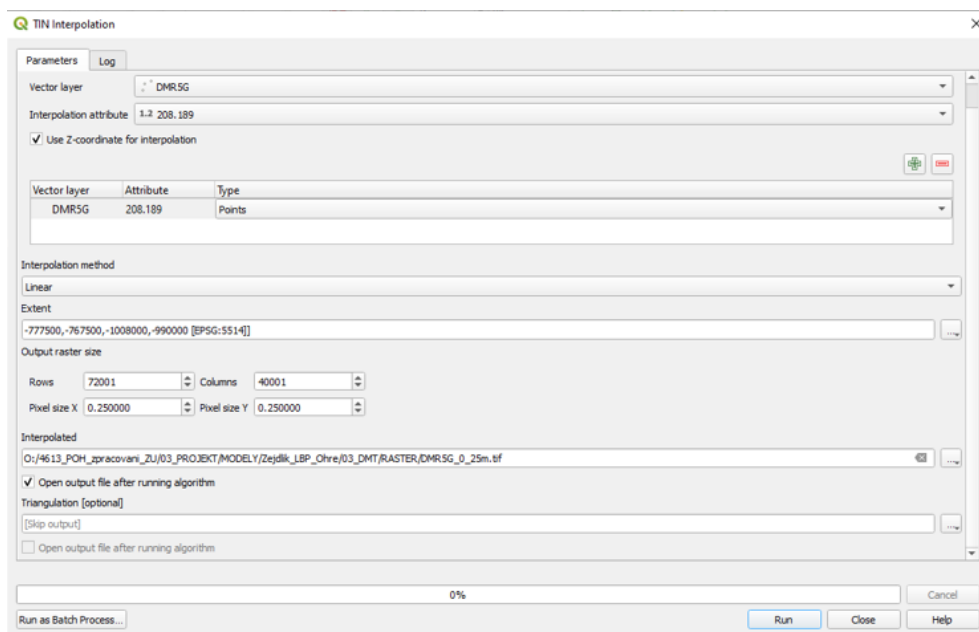
Data DMR 5G, která obsahovala body s nadmořskými výškami, byla poskytnuta v rámci kladů v textovém souboru, ty bylo zapotřebí spojit do jednoho. Bylo také potřeba si uvědomit, že poskytnuté body jsou v I. kvadrantu, kde jsou zeměpisné souřadnice v kladných hodnotách a bylo je tudíž potřeba převést do III. kvadrantu, kde jsou hodnoty již záporné. V III. Kvadrantu je také nutné mezi sebou vyměnit sloupce s nadmořskou výškou a šířkou. Tyto kroky byly vytvořeny v programu Excel, kde bylo přidáno zeměpisným souřadnicím záporné znaménko a poté byly pozměněny sloupce X a Y. Poté došlo k propojení kladů do jednoho textového souboru s názvem „DMR5G_merge_IIIkv“.

Tento textový soubor byl následně nahrán do programu QGIS prostřednictvím záložky *Data Source Manager* pomocí nástroje *Add Delimited Text Layer* (viz obrázek č. 14). V tomto nástroji se nahraje vytvořený soubor DMR5G_merge_IIIkv a určí se *Geometry Definition* dle souřadnic bodu. Důležité je nezapomenout na zadání nadmořské výšky bodu a nastavit správný souřadnicový systém, v našem případě se jedná o Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK). Výstupem je bodová vrstva ve formátu *shapefile (.shp)*.



Obrázek 14: Nastavení nástroje Add Delimited Text Layer v QGIS

Z této vrstvy se již vytvořil digitální model terénu, a to ve formátu *Triangulated Irregular Network (TIN)*. Tento krok se provedl pomocí nástroje *TIN interpolation* v programu QGIS (viz obrázek č. 15). V tomto nástroji byl *extent* zaokrouhlen na sudé celé metry, velikost pixelu pro vyšší přesnost byla nastavena pouze na 0,25 m. Výstupem je vrstva s názvem *DMR5G_0_25m.tif* a jedná se o nezahlužený model terénu. Jako interpolační metoda byla použita forma výpočtu *LINEAR*. Tento model TIN reprezentuje zemský povrch pomocí nepravidelné trojúhelníkové sítě.



Obrázek 15: Nástroj TIN Interpolation

Poté byla vytvořenému TINU určena barevná symbologie, především pro přehlednost digitálního modelu terénu. Celá vrstva byla též oříznuta, a to na území použité pro následný výpočet modelu (viz obrázek č. 10). Oříznutí bylo provedeno pomocí nástroje *Extract by Mask*, kdy byl zmíněný TIN zmenšen pomocí vektorové plošné vrstvy a bylo tak docíleno zredukování velikosti celého souboru. Tím se i docílilo výrazně lepší výpočetní rychlosti programu. Též nemělo smysl ponechávat ta místa digitálního modelu terénu, kde jsou tak velké rozdíly v nadmořských výškách, že zde nemůže dojít k rozlivům při povodních.

7.2.2 Dopočet hydrologie

Jak již bylo uvedeno výše, hydrologická data byla získána od ČHMÚ. V zájmové oblasti se však nevyskytuje hlásný profil, a tak jsou data od ČHMÚ vypočtena dle N-letých průtoků. Tato data řadíme do IV. třídy přesnosti, jejichž maximální průtoky jsou odvozené ze srážek. ČSN 75 1400 „Hydrologické údaje povrchových vod“ (1997) udává, že tato data mohou mít střední kvadratickou chybu u velkých průtoků až 50 %. Poskytnuty byly údaje pro dva zájmové body na vodním toku, a to pro hydrologický profil nad rozdělovacím objektem do Rosovky, a pro hydrologický profil při ústí toku do Ohře (viz obrázek č. 16 a tabulka č. 4).

Tabulka 4: N-leté průtoky Q_n pro hydrologické profily (ČHMÚ 2020)

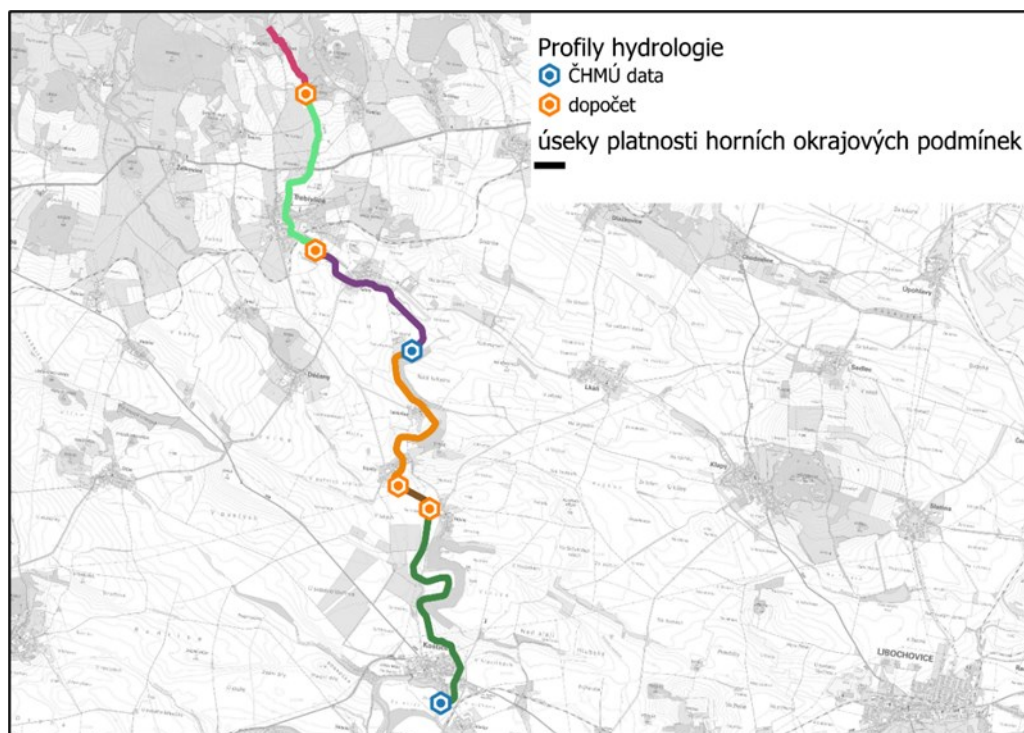
N-leté průtoky Q_n	Hydrologické profily	
	rozdělovací objekt do Rosovky	ústí do Ohře
Q_1 [m ³ /s]	4,01	6,19
Q_2 [m ³ /s]	6,41	9,89
Q_5 [m ³ /s]	10,40	16,10
Q_{10} [m ³ /s]	14,20	21,90
Q_{20} [m ³ /s]	18,00	28,70
Q_{50} [m ³ /s]	25,20	38,90
Q_{100} [m ³ /s]	31,10	48,00
Q_{500} [m ³ /s]	45,00	70,00

Pro přesnější analýzy jsme však přidali další čtyři profily v místech větších přítoků do zájmového vodního toku. Jedná se o profily s názvem: u Vojnic, nad Suchých potokem, mezi Třebílicemi a Solany a u Kuzova. Přičemž poslední dva naše zvolené profily se nachází mezi profily poskytnutými od ČHMÚ a první dva se nachází nad hydrologickým profilem rozdělovací objekt do Rosovky (viz obrázek č. 16 a tabulka č. 5).

Dopočet hydrologických profilů byl vytvořen na základě plochy povodí a známých N-letých profilů od ČHMÚ. Jelikož naše zájmové území je relativně malé a potřebujeme zjistit plochy povodí pouze pro čtyři hydrologické profily, došlo v aplikaci QGIS k dopočtení „ručně“. A to zjištěním plochy povodí z vrstevnic podkladové mapy. Tímto způsobem jsme pomocí *Editace* rozdělili naše zájmové povodí na více dílčích povodí, kde uzávěrovým profilem byl vždy zájmový hydrologický profil.

Tabulka 5: Dopotčet plochy pro hydrologické profily

Hydrologické profily	Úsek (ř. km)	Zdroj	Plocha povodí [km ²]
ústí do Ohře	0,000 – 4,084	ČHMÚ	46,600
u Vojnic	4,084 – 4,690	vlastní dopočet	40,911
nad Suchým potokem	4,690 – 8,573	vlastní dopočet	21,595
nad rozdělovacím objektem do Rosovky	8,573 – 10,037	ČHMÚ	16,430
mezi Třebílicemi a Solany	10,037 – 12,863	vlastní dopočet	11,351
u Kuzova	12,863 – 14,126	vlastní dopočet	5,414



Obrázek 16: Mapa profilů poskytnutých od ČHMÚ a profilů dopočítaných

Poté co jsme stanovili plochy povodí pro jednotlivé hydrologické profily, došlo k vypočítání jednotlivých průměrných povodňových průtoků. Ty byly dopočteny v aplikaci Excel, a to mezi profily ČHMÚ na základě mocninného trendu a nad profily ČHMÚ (v horních úsecích povodí) pomocí extrapolací metody trendu odmocnin ploch. Výsledky viz tabulka č. 6.

Tabulka 6: Průměrné povodňové průtoky pro hydrologické profily

Použitý profil	Plocha povodí (km ²)	Q ₁	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Zdroj
ústí do Ohře	46.600	6.19	9.89	16.10	21.90	28.70	38.90	48.00	70.00	ČHMÚ
u Vojnic	40.911	5.62	8.98	14.61	19.88	25.90	35.31	43.58	63.45	dopočet
nad Suchým potokem	21.595	4.24	6.77	10.99	15.00	19.11	26.61	32.85	47.58	dopočet
nad rozdělovacím objektem do Rosovky	16.430	4.01	6.41	10.40	14.20	18.00	25.20	31.10	45.00	ČHMÚ
mezi Třebivlicemi a Solany	11.351	3.33	5.33	8.64	11.80	14.96	20.95	25.85	37.40	dopočet
u Kuzova	5.414	2.30	3.68	5.97	8.15	10.33	14.47	17.85	25.83	dopočet

7.2.3 Tvorba příčných profilů

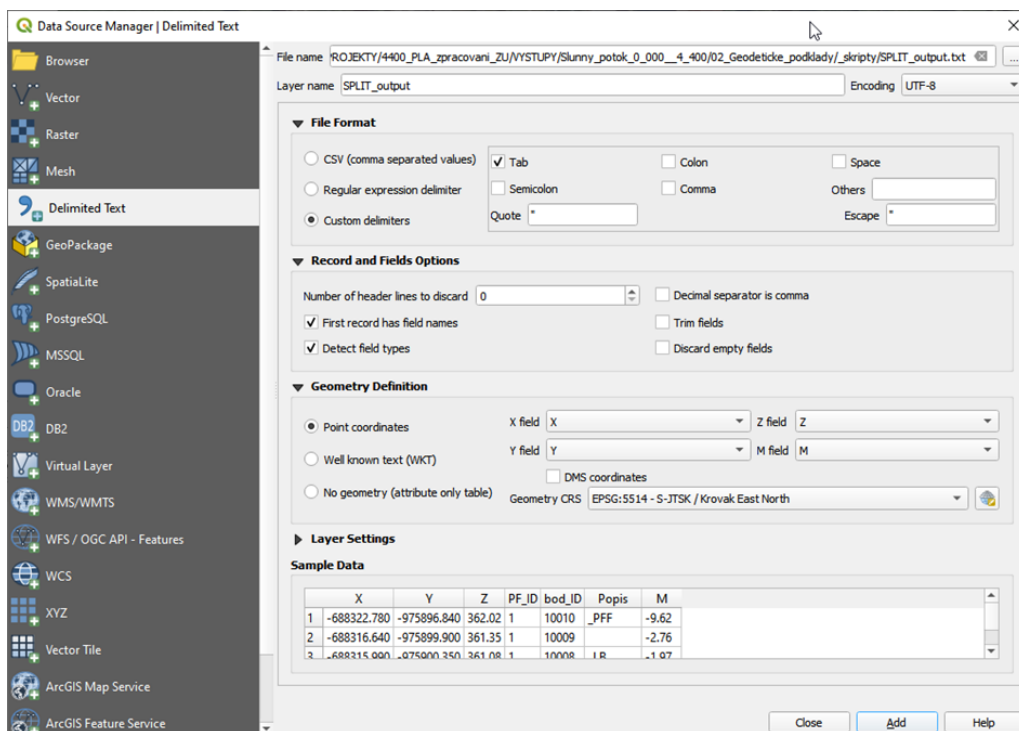
Z geodetického zaměření byly získány body jednotlivých příčných profilů. Celkem je těchto profilů 225, přičemž jsou zde řazeny i příčné profily jednotlivých

objektů na vodním toku. Příčné profily a objekty na vodním toku byly poskytnuty z geodetického zaměření v rámci dvou CSV dokumentů.

Tyto dokumenty obsahují informace o nadmořské výšce těchto bodů, zeměpisné délce a šířce, ID profilu a ID bodu, poznámce a kódu. Příčné profily byly k dispozici jak pro návodní, tak pro povodní stranu každého dotčeného objektu. V práci jsou označovány zkratkami PF. Každý profil, jak již bylo zmíněné výše, má svoje jedinečné identifikační číslo, přičemž čím výše od ústí, tím vyšší identifikační číslo profil nese. Profily, které charakterizují objekty, označuje na návodním profilu velkým písmenem. Přičemž L – lávka, M – most, J – jez a S – stupeň.

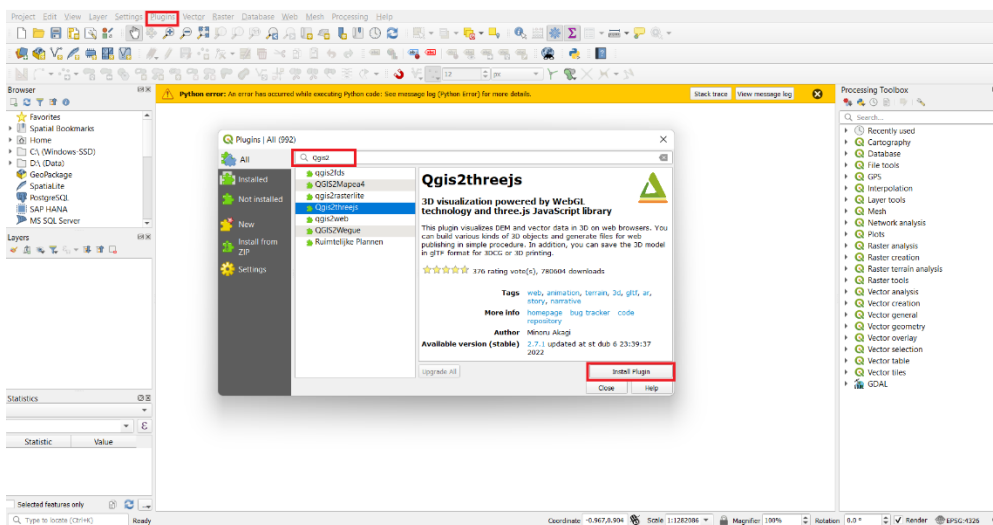
Polohopisné údaje poskytnutých bodů bylo nutné převést z prvního kvadrantu na kvadrant třetí. 3. kvadrant se od 1. kvadrantu liší tím, že obě souřadnice bodů se nachází v záporných hodnotách a sloupce se souřadnicemi X a Y jsou prohozeny. Převedení z prvního kvadrantu na kvadrant třetí proběhlo v programu Excel, poté došlo k aktualizaci dat (viz kapitola 7.2.1).

CSV formát byl následně nahrán do programu QGIS. A to přes **Open -> Data Source Manager -> Delimited Text** (viz obrázek č. 17). Zde jsme zadali zdroj CSV dokumentu a oddělovač sloupců byl zadán tabulátor. Dále jsme v **Geometry Definition** zkontrolovali správnost sloupců X field, Y field, M field a Z field (viz obrázek č. 17). Následně byl příkazem **Add CSV** soubor přidán do programu QGIS, avšak pouze jako formát .txt. Pro vytvoření shapefile vrstvy bylo nutné vrstvu uložit: **Export -> Save Feature As**.



Obrázek 17: Data Source Manager

Následně byla vytvořena zcela nová liniová vrstva s názvem *pricne_profily*, ve formátu .shp. Přes nástroj *Edit* v programu QGIS byly vytvořeny jednotlivé linie příčných profilů z geodeticky zaměřené bodové vrstvy. Přičemž bylo nutné a dbalo se na to, aby byly příčné profily vytvořeny z levého břehu na pravý, a to po směru toku zkoumaného vodního úseku. Pro vytváření těchto profilů a jejich následnou validaci nám pomohl jeden z dostupných *Plugins* pro QGIS s názvem *Qgis2threejs Exporter*, který umožňuje *3D zobrazování situace*. Ten byl v QGIS přidán přes záložku *Plugins*, kde byl vyhledán název pluginu a následně nainstalován (viz obrázek č. 18).



Obrázek 18: Instalace Plugins v QGIS

Jelikož byla dostupná data o zaměřených objektech v bodové vrstvě, která obsahovala i údaje o průběhu dna pod objekty, bylo možné získat příčné profily všech objektů, nacházejících se ve zkoumané oblasti. Postup byl stejný jako v případě tvorby již předešlých příčných profilů, data byla také poskytnuta stejnou formou (viz obrázek č. 19) a nově vzniklé profily byly přidávány do již vzniklé vrstvy *pricne_profily*.

Příčné profily nám poskytují informaci o průběhu hladiny koryta, břehů vodního toku a jejich okolí. A tak jsou velice důležité pro následný výpočet záplavového území.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Číslo bodu	Y	X	Z	Poznámka	Kód	Profil
2	1	771470.94	1004050.50	166.13			PF_1
3	2	771471.67	1004041.58	166.36	hrana	H	PF_1
4	3	771471.73	1004040.80	166.12	hrana	H	PF_1
5	4	771471.94	1004038.28	163.69	pata	P	PF_1
6	5	771472.03	1004037.15	163.37			PF_1
7	6	771472.14	1004035.74	163.81	pata	P	PF_1
8	7	771472.16	1004035.54	164.03	hrana	H	PF_1
9	8	771472.27	1004034.16	165.24	hrana	H	PF_1
10	9	771472.64	1004029.64	166.10	hrana	H	PF_1
11	10	771472.76	1004028.19	166.27	plot kovový	PLK	PF_1
12	11	771410.50	1004050.46	166.17			PF_2_MD
13	12	771416.00	1004039.78	166.25	hrana	H	PF_2_MD
14	13	771417.23	1004037.41	164.36	pata	P	PF_2_MD
15	14	771417.53	1004036.83	164.26			PF_2_MD
16	15	771417.95	1004036.01	164.30	pata	P	PF_2_MD
17	16	771418.04	1004035.84	164.55	hrana	H	PF_2_MD
18	17	771418.48	1004034.98	164.73	pata	P	PF_2_MD
19	18	771419.39	1004033.21	166.01	hrana	H	PF_2_MD
20	19	771419.67	1004032.67	166.19	plot kovový	PLK	PF_2_MD
21	20	771406.15	1004015.22	166.42			PF_2_MOST
22	21	771403.19	1004013.95	166.38			PF_2_MOST
23	22	771400.56	1004013.29	166.32			PF_2_MOST
24	23	771399.16	1004022.96	166.45			PF_2_MOST
25	24	771395.89	1004030.39	166.53			PF_2_MOST
26	25	771391.44	1004041.16	166.52			PF_2_MOST
27	26	771393.72	1004042.29	166.61			PF_2_MOST
28	27	771387.98	1004039.23	166.45			PF_2_MOST
29	28	771401.99	1004024.29	166.55	mosty viditelná část	MO MOA	PF_2_MOST
30	29	771401.99	1004024.28	166.35	mosty viditelná část	MOA	PF_2_MOST
31	30	771401.60	1004025.14	166.07	mosty viditelná část; hrana	MOA H	PF_2_MOST
32	31	771401.61	1004024.67	167.59	zábradlí	ZA	PF_2_MOST
33	32	771400.87	1004026.73	164.73	mosty viditelná část; pata	MOA P	PF_2_MOST
34	33	771400.90	1004026.67	165.86	mosty viditelná část	MOA	PF_2_MOST
35	34	771400.82	1004026.83	166.00	mosty viditelná část	MOA	PF_2_MOST
36	35	771400.34	1004027.88	164.58			PF_2_MOST
37	36	771399.93	1004028.78	164.66	pata	P	PF_2_MOST
38	37	771399.73	1004029.21	166.06	mosty viditelná část	MOA	PF_2_MOST
39	38	771399.67	1004029.34	165.90	mosty viditelná část	MOA	PF_2_MOST

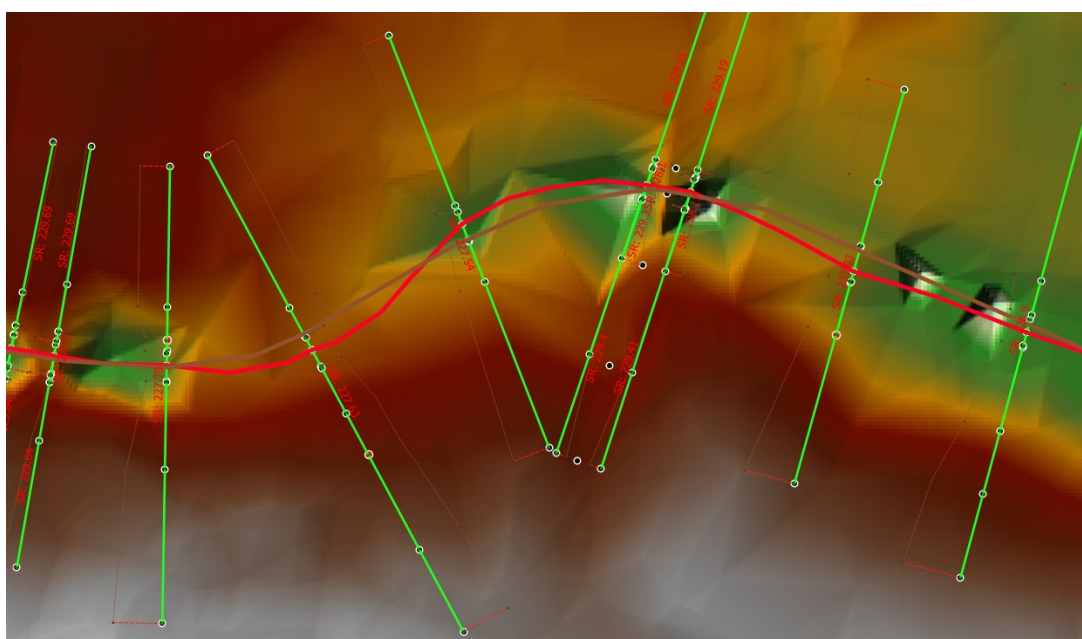
Obrázek 19: Vzor poskytnutých dat v CSV formátu ze zeměměřičského zaměření

7.2.4 Tvorba říční geometrie

Osa toku

Osa toku byla získána z volně dostupných dat z Centrální evidence vodních toků (CEVT). Pomocí funkce *Select by Attribute* byla získána pouze osa toku zájmového vodního toku, která byla dále oříznuta nástrojem *Clip* na zkoumanou část vodního toku.

Nicméně u takto získané vrstvy byla zapotřebí její aktualizace, a to dle skutečného stavu polohy vodního toku. K tomu nám dopomohla již vytvořená vrstva digitálního modelu terénu a linií příčných profilů v kombinaci s ortofotem ČR a terénním průzkumem lokality. Důležitá také byla vrstva zaměřených objektů, kdy bylo potřeba dohlížet na to, aby linie vodního toku procházela mezi patami mostovek. Linie vodního toku by také v ideálním případě, až na pár výjimek, měla procházet nejnižšími body příčných profilů. Viz obrázek č. 20, kde je vidět stav původní liniové vrstvy vodního toku z CEVT (hnědá linie) a již editované nové liniové vrstvy (červená linie).



Obrázek 20: Rozdíl mezi původní linií vodního toku a naší pozměněnou vrstvou

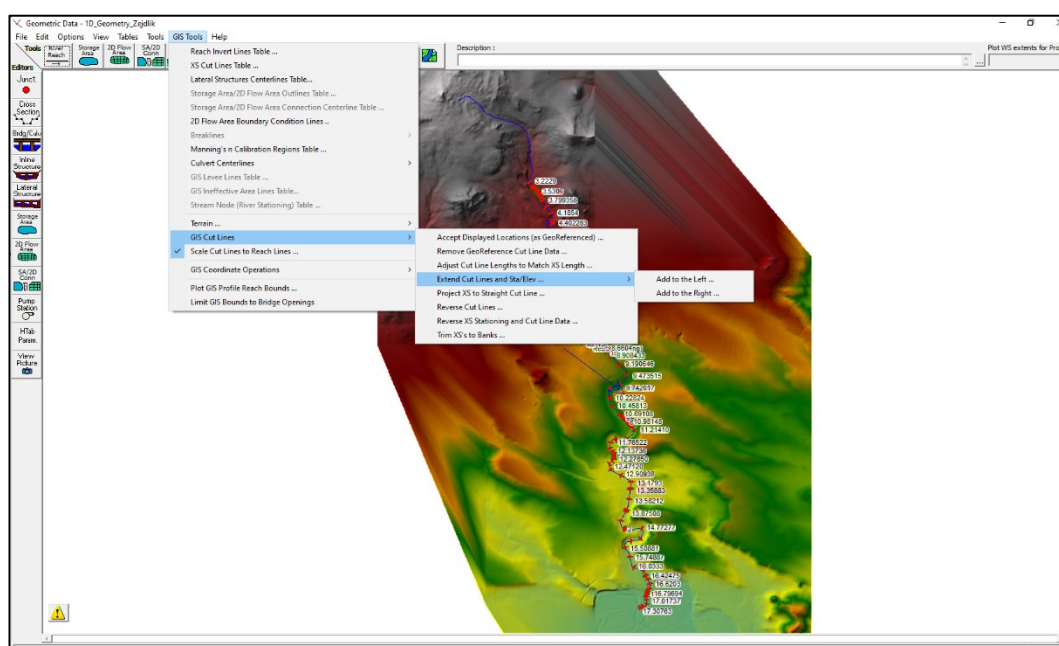
7.2.5 Vložení vrstev z QGIS do HEC-RAS

V programu HEC-RAS byl vytvořen nový projekt pod názvem *ID_Geometry_Zejdlík*. U něho nejprve došlo k nastavení souřadnicového systému a jednotek délky u staničení na kilometry, s třemi desetinnými čísly. Následně byl v programu otevřen nástroj *RAS Mapper*, do kterého byl nahrán digitální model terénu, tato vrstva byla nahrána do složky *Terrains* s názvem *Terrain*. V *RAS Mapper* byla zapnuta *Editace* -> *Import Features From Shapefile*. Do *Geometries* byly přidány vrstvy příčných profilů a osy vodního toku. Osy vodních toků do podsložky *Rivers* a příčné profily do podsložky *Cross Sections*.

Do programu byla vložena i bodová vrstva geodetického zaměření s názvem *Model_GEO_points_ALL*. *Map Layers -> Create a New RAS Layer -> Elevation Point Layer*. Ty nám společně s DMT pomohou v dalším kroku.

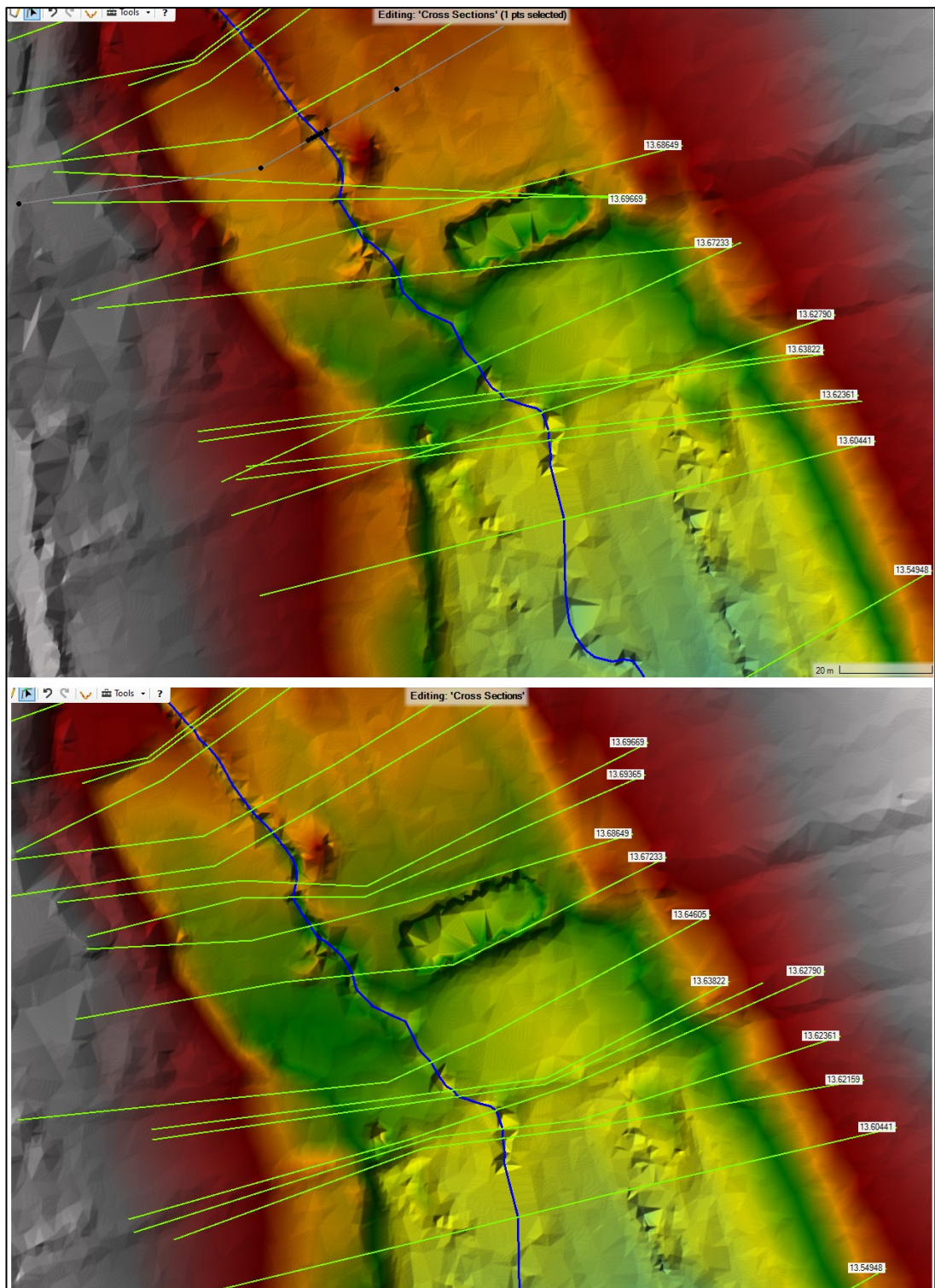
7.2.6 Příčné profily v HEC-RAS

Po vložení příčných profilů do HEC-RAS, bylo potřeba příčné profily rozšířit. V našem případě byly nejprve veškeré profily rozšířeny po levé i pravé straně o 50 metrů. V záložce *Geometric Data -> GIS Tools -> GIS Cut Lines -> Extend Cut Lines and Sta/Elev -> Add to the Left/Right*. Tímto způsobem byly všechny profily automaticky rozšířeny (viz obrázek č. 21).



Obrázek 21: Rozšíření příčných profilů v Geometric Data

Po tomto kroku se přešlo opět do prostředí *Ras Mapper*, kde byly pomocí *editace* dále upravovány příčné profily v podsložce *Cross Sections*. A to za pomoci podkladové mapy DMT. Nově rozšířené profily se dále upravovaly, buďto se zkracovaly nebo ještě více protahovaly, a to na základě DMT, kdy se uvažovalo, kam až by mohlo dojít k rozlivům během povodňových situací. Nesmírně důležité také bylo, aby se profily nepřekrývaly a aby se u profilů nezměnila poloha v zaměřených místech (viz obrázek č. 22). Po takto vytvořených úpravách došlo k dopočítání staničení a vzdálenosti jednotlivých profilů. *Cross Sections -> Update Cross Sections -> Reach Lengths/Bank Stations*.



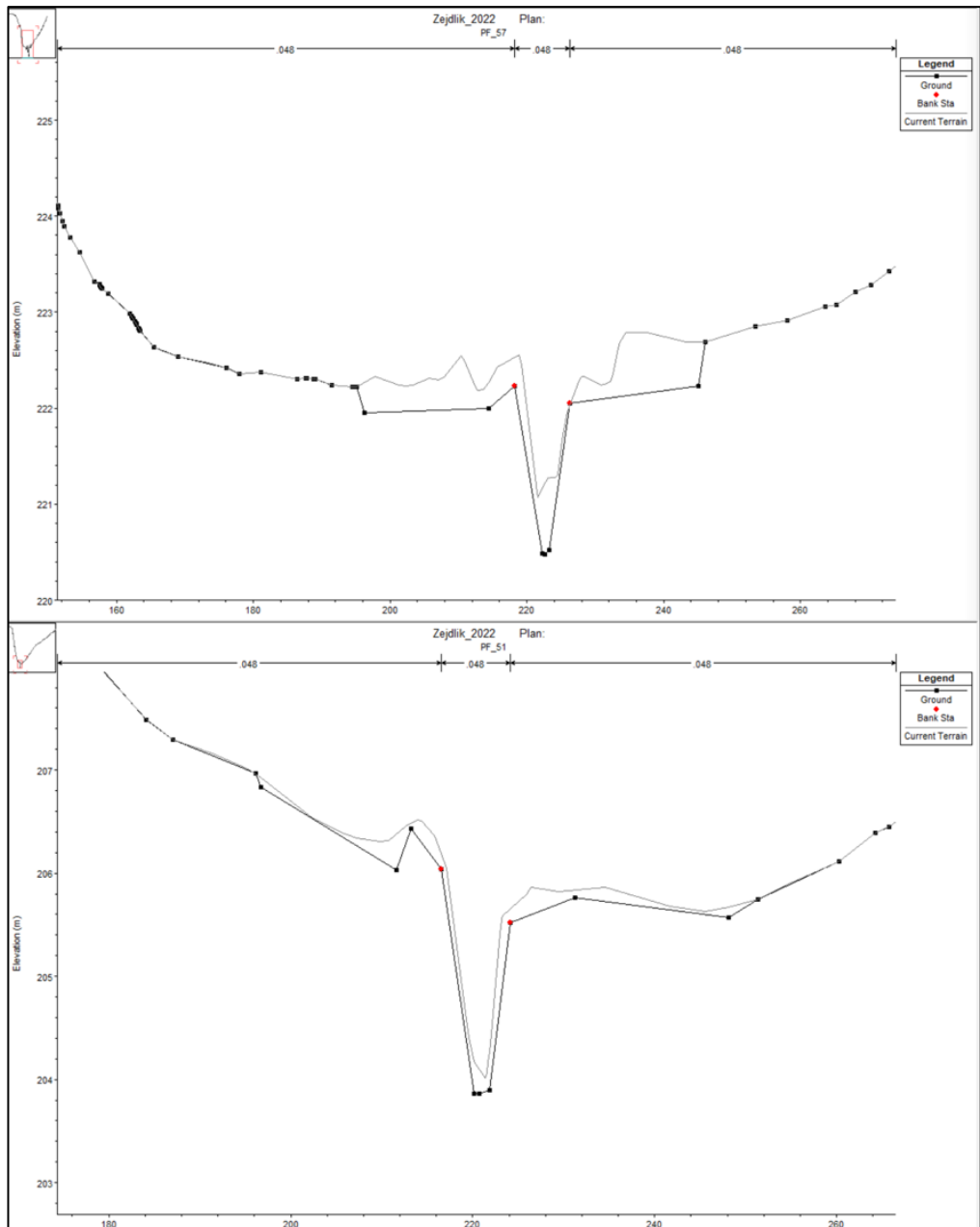
Obrázek 22: Úprava příčných profilů

7.2.7 Vytváření mostů a dalších objektů v programu HEC-RAS

V dalším kroku došlo za pomoci již výše zmíněných vrstev *Terrain* a *Model_GEO_points_ALL* k propsání přesných nadmořských výšek do příčných profilů. V *Cross Sections* -> *Update Cross Section* -> *Elevation Profiles from Points*. Tím se do liniové vrstvy příčných profilů, které protínají svá místa s vrstvou

Model_GEO_points_ALL, propsala nadmořská výška zaměřených bodů. V jiných místech se do příčných profilů propsaly informace o nadmořské výšce z digitálního modelu terénu. Tato změna je patrná z obrázku č. 23, kde je vidět rozdíl mezi nadmořskou výškou z DMR a nadmořskou výškou dostupnou z geodetického zaměření.

Poté, co došlo k propsání informací o nadmořské výšce do příčných profilů, se mohlo přejít k vytvoření objektů v prostředí *RAS Mapper* v rámci editoru geometrických dat. A to tak, že v *Geometric Data -> Bridge Culvert Data -> Options -> Add a bridge and/or Culvert...* Zde se při každém přidání objektu aplikace tázala na staničení objektu, které bylo vypočteno tak, že se sečetlo staničení mezi dvěma profily objektu a následně se vydělilo dvěma. Ke každému staničení se tak automaticky přiřadily dva profily, a to k povodní a návodní straně daného objektu. Poté jsme přešli již ke geometrii objektu, kterou je také nutné vyplnit u každého objektu. Jedná se o *Distance* – vzdálenost od výše položeného příčného profilu k návodní hraně objektu, *Width* – šířka objektu, *Weir coef* – součinitel přepadu (viz obrázek č. 24). Přičemž *Weir Coefficient* byl u mostů uvažován s hodnotou 1,4 a u ostatních objektů 1,77. Na obrázku č. 24 lze nalézt i informace o návodní a povodní straně objektu (*Upstream a Downstream*), a jejich horních a dolních nadmořských výškách (*high chord a low chord*). Ty byly také pro jednotlivé objekty kontrolovány, popřípadě pozměňovány, aby odpovídaly skutečnosti.



Obrázek 23: Rozdíl mezi DMR a geodetickým zaměřením

Deck/Roadway Data Editor

Distance	Width	Weir Coef
0.2	5.3	1.4

Clear Del Row Ins Row Copy US to DS

Upstream			Downstream			
	Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1	91.72	255.71				
2	94.99	255.69	254.94			
3	95.7	255.66	254.95			
4	101.37	255.63	254.94			
5	101.96	255.6	254.97			
6	105.01	255.55	255.2			
7	116.83	255.52				
8						

U.S Embankment SS: 0 D.S Embankment SS: 0

Weir Data
 Max Submergence: 0.98 Min Weir Flow El:

Weir Crest Shape
 Broad Crested
 Ogee

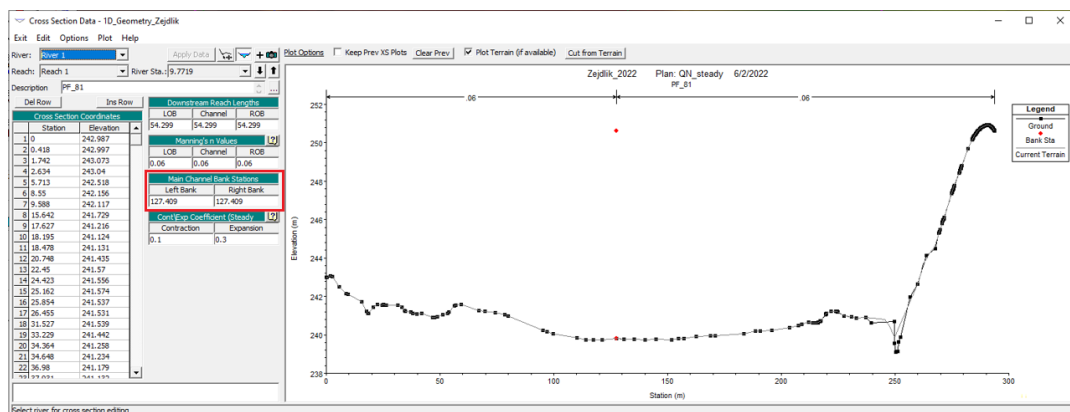
OK Cancel

Enter distance between upstream cross section and deck/roadway. (m)

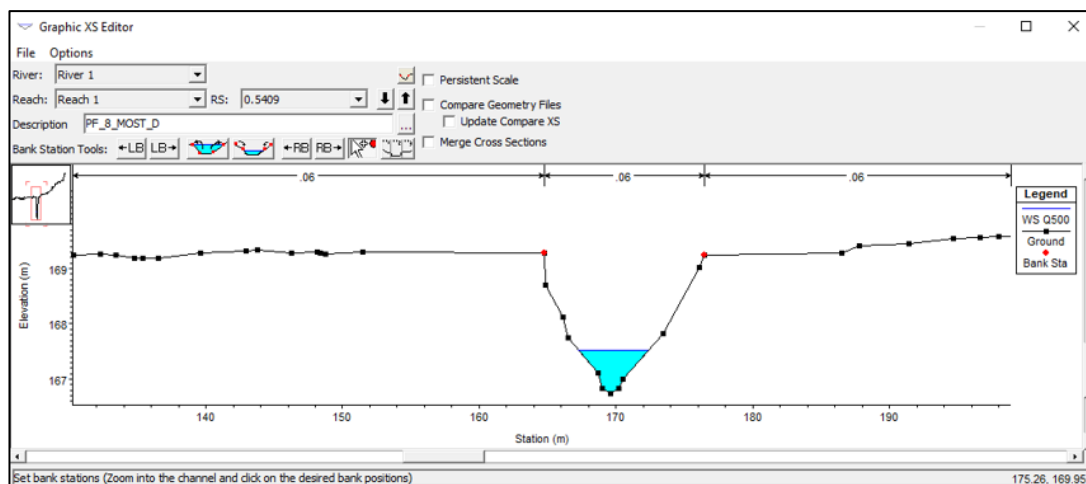
Obrázek 24: Příklad editace geometrických dat objektu v rámci prostředí RAS Mapper

7.2.8 Břehové linie (Bank Lines)

Nyní došlo v modelu TIN k vytvoření vrstvě břehových linií. U každého profilu na vodním toku byly zadány břehové body pro levý a pravý břeh, a to zadáním jejich staničení. V *Geometric Data -> Cross Section Data -> Main Channel Bank Stations*, byly vybírány údaje o *Left Bank* a *Right Bank* (viz obrázek č. 25). Byly tak vytvořeny po obou stranách vodního toku. Toto staničení však bylo přidáno graficky. A to přes funkci v *Cross Section Data -> Jump to the Graphical Cross Section Editor*. Tak se dostaneme do *Graphic XS Editor* (viz obrázek č. 26), kde staničíme *Left Bank* a *Right Bank* ručně, za pomoci *Set the Bank Station*. Břehové linie v modelu představují břehovou čáru, která má vliv na tvorbu koryta programem.



Obrázek 25: Břehové body - Left Banks a Right Banks



Obrázek 26: Břehové body – Graphic XS Editor

7.2.9 Zadání průtokových dat

Pro správnou simulaci povodňových průtoků bylo nutné přidat data o návrhových průměrných povodňových průtocích pro vybrané příčné profily. Pro dva profily byly tyto údaje získány od ČHMÚ a další čtyři byly vypočítány (viz kapitola 7.1.2).

Pro vložení údajů do Hec-Ras jsme v hlavním panelu aplikace přešli **nástroje View/Steady Flow Data - Edit**. Zde jsme v záložce **River sta.** vybrali požadovaný profil a přidali jej **přes Add a Flow Change Location**. Poté jsme k takto vytvořenému úseku vodního toku přidali známé informace o průtocích, a to z tabulky č. 6), a to pro Q_5 , Q_{10} , Q_{20} , Q_{50} , Q_{100} a Q_{500} . Výsledek lze nalézt na obrázku č. 27.

Dále zde byly zadány okrajové podmínky. A to přes **Reach Boundary Conditions**, kde byla okrajová podmínka vybrána jako typ **Critical Depth**, v překladu kritická hloubka. Tím bylo docíleno automatického dopočtu okrajové podmínky ze strany programu.

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates								
River	Reach	RS	Q1	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q500	
1	River 1	Reach 1	14.126	2.11	3.37	5.49	7.46	9.78	13.26	16.36	23.86
2	River 1	Reach 1	12.7129	3.06	4.88	7.95	10.81	14.16	19.20	23.69	34.55
3	River 1	Reach 1	9.6441	4.01	6.41	10.4	14.2	18	25.2	31.1	45
4	River 1	Reach 1	8.5875	4.49	7.18	11.66	15.91	20.34	28.24	34.85	50.53
5	River 1	Reach 1	4.4395	5.86	9.37	15.24	20.75	27.08	36.85	45.47	66.24
6	River 1	Reach 1	3.99	6.19	9.89	16.1	21.9	28.7	38.9	48	70

Obrázek 27: Zadání okrajových podmínek v nástroji Steady Flow Data

7.2.10 Zadání drsností

Tato proměnná nám v modelu udává jakýsi odpor pro rychlost proudění vody. Do Hec-Ras byla drsnost zadána pomocí tzv. Manningova součinitele drsnosti n . Přičemž na různých površích se tyto hodnoty liší. Platí, že čím vyšší odpor povrchu, tím vyšší číslo Manningova součinitele drsnosti n . Drsnosti byly zadány dvěma způsoby. A to jak pro koryto, tak pro inundační území. Drsnosti byly zadány s ohledem na nejvíce nepříznivý případ, tedy pro vegetační období.

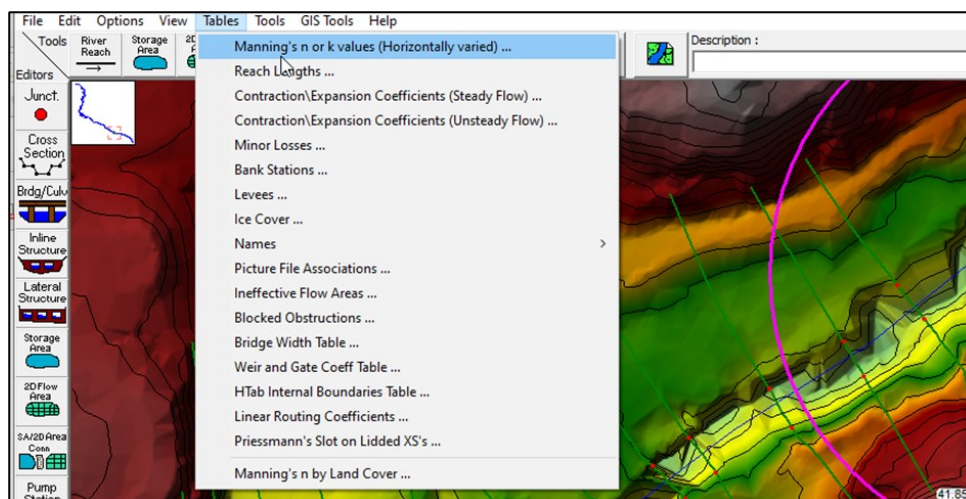
Pro inundační území a celé okolí vodního toku byly použity *shapefile vrstvy* drsnosti z mapy land cover (viz obrázek č. 12). Pro převod různých typů povrchů byla použita tabulka č. 7. V QGIS byly vytvořeny dle podkladových map *vrstvy land cover a budov*, následně jim byly přiřazeny hodnoty z tabulky č. 7 do nově *vytvořeného sloupce v atributové tabulce* s názvem *N_manning* a následně byly tyto vrstvy importovány do Hec-Ras. V *Rasmapper -> Map Layers -> Create a New Ras Layer -> Land Cover Layer*. V této záložce byla nejprve přidána vrstva land cover a poté vrstva budov. Pro obě vrstvy byly *nastaveny hodnoty* ze sloupce atributové tabulky *N_manning*.

Dále pak byly přidány hodnoty Manningova součinitele drsnosti n pro koryto řeky. Tyto drsnosti byly přidávány pro všechny profily dle fotodokumentace k příčným profilům a dle ortofota České republiky, a to také dle hodnot Manningova součinitele drsnosti – n z tabulky č. 7. V *Hec-Ras -> Geometry Data -> Tables -> Manning's n or k values (Horizontally varied)* (viz obrázek č. 28). Zde byly pro každý profil zadána data o drsnosti pro koryto, levý a pravý břeh.

Tabulka 7: Odhad drsností pro N-leté průtoky (Manningův součinitel drsnosti – n)

Odhad drsností pro N-leté průtoky (Manningův součinitel drsnosti – n)		
drsnost v korytě	Koryto upravené, přímé, kamenná dlažba	0,040
	Koryto upravené, přímé, betonová nesouvislá dlažba	0,040
	Koryto upravené, přímé zatravněné břehy	0,042
	Koryto upravené, přímé, zatravněné břehy s občasným křovím	0,044
	Koryto přirozené	0,048
drsnost v inundaci	Průmyslové areály	0,100
	Bažiny, močály	0,040
	Kolejiště	0,050
	Lesní půda se stromy	0,080
	Lesní půda s křovinatým porostem	0,100

Odhad drsností pro N-leté průtoky (Manningův součinitel drsnosti – n)		
	Okrasné zahrady, parky	0,060
	Orná půda	0,050
	Komunikace včetně chodníků	0,040
	Ovocné sady	0,060
	Parkoviště	0,035
	Travní porosty	0,050
	Vodní plochy	0,035



Obrázek 28: Manningův součinitel drsnosti pro koryto řeky

7.2.11 Spuštění ustáleného proudění

Poté, co byly všechny vrstvy připraveny a kroky z předchozích kapitol nastaveny, mohlo se přejít k výpočtu simulace ustáleného proudění. Tohoto kroku se docílí přes hlavní panel programu HEC-RAS, v záložce *Perform a steady flow simulation*. Tento panel nám otevře záložku s názvem *Steady flow Analysis*. Zde zvolíme složku s vybranou geometrií, v našem případě *1D_Geometry_Zejdlík*. Nadále je zapotřebí vybrat správný typ proudění. Nabízejí se 3 možnosti: *Subcritical* (pro bystřinné proudění), *Supercritical* (pro říční proudění) a *Mixed* (pro kombinaci předchozích typů). V našem případě byl zvolen typ *Mixed*, jelikož se jedná o úsek řeky, ve kterém se musí brát ohled jak pro bystřinné proudění v horních úsecích, tak pro říční proudění v dolních úsecích. Samotná simulace je spuštěna pomocí tlačítka *Compute*.

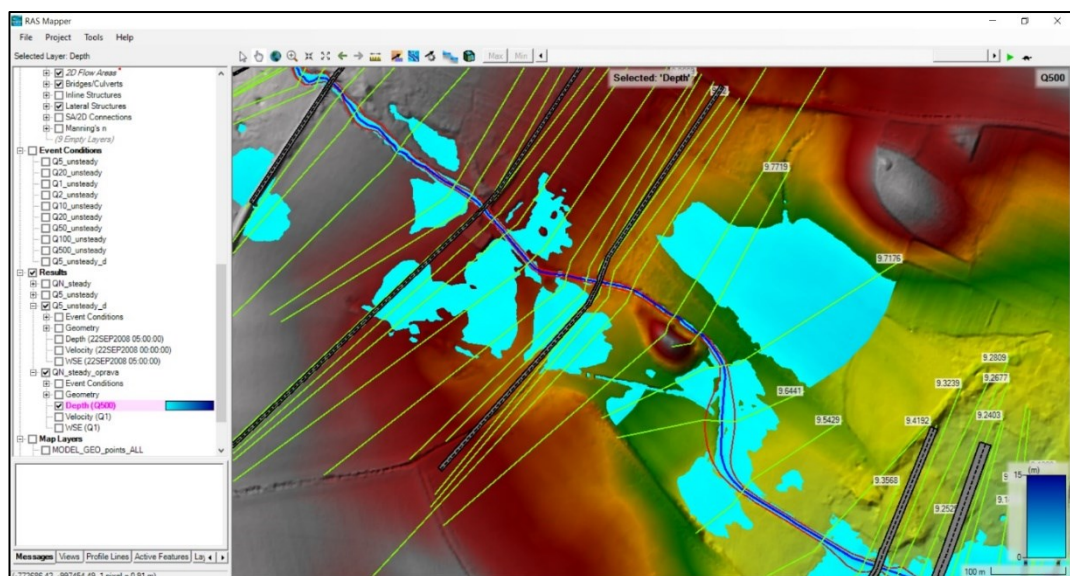
Často se při prvních testech výpočtů naráží na chybové hlášky. Například na upozornění, že příčné profily přesahují nejvyšší možný počet bodů, nebo má program například problém s velice blízkými hodnotami, které bere jako duplicitní. Dále pak má model často problémy se staničením u levé či pravé mostovky a je třeba

jej lehce zaokrouhlit. Všechny chybové hlášky bylo nutné vyřešit pro správný výpočet simulace. Výsledky lze následně najít v *Ras mapper*.

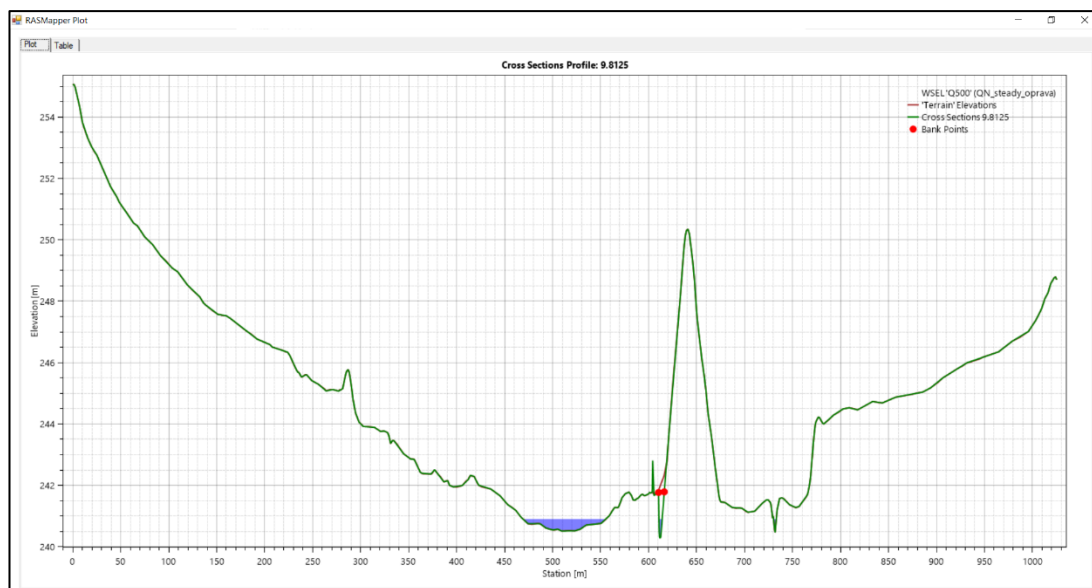
7.3 Postup zpracování 1D2D modelu

Problémem u 1D modelu je však to, že v některých místech dochází k zaplnění prohlubní v okolí vodního toku bez toho, aniž by došlo k vyběření povodně z koryta (viz obrázek č. 29 a obrázek č. 30). Proto byla také vytvořena kombinace 1D a 2D modelu, kdy nám 1D model sloužil jako zdroj dat a jeho výsledky sloužily také jako zdroj informací. Díky tomu byla vytipována místa, kde by bylo dobré nahradit 1D model 2D modelem, kvůli chybám v rozlivech u 1D modelu.

Tento model tak počítá 1D model pro koryto, pro objekty na vodním toku a pro části inundačního území, které vychází správně. 2D model pak počítá inundační území, které vycházelo špatně z 1D modelu. Horní úsek toku tak byl vypočten pomocí 1D modelu. Od říčního kilometru 11,1408 až po ústí do Ohře, byla použita kombinace 1D/2D modelu, kdy velice převažoval 2D model.



Obrázek 29: Oblast chybové vybřežení u 1D modelu



Obrázek 30: Projekce chybového vyběžení 1D module u vybraného příčného profilu

Pro vytvoření 2D modelu byla převzata data z 1D modelu. A to tak, že data z **Geometry Data – 1D_Geometry_Zejdlík**, byly uloženy jako **1D2D_Geometry_Zejdlík**. Vznikla tak kopie dat z 1D modelu. Tato vrstva geometrických dat byla následně upravována.

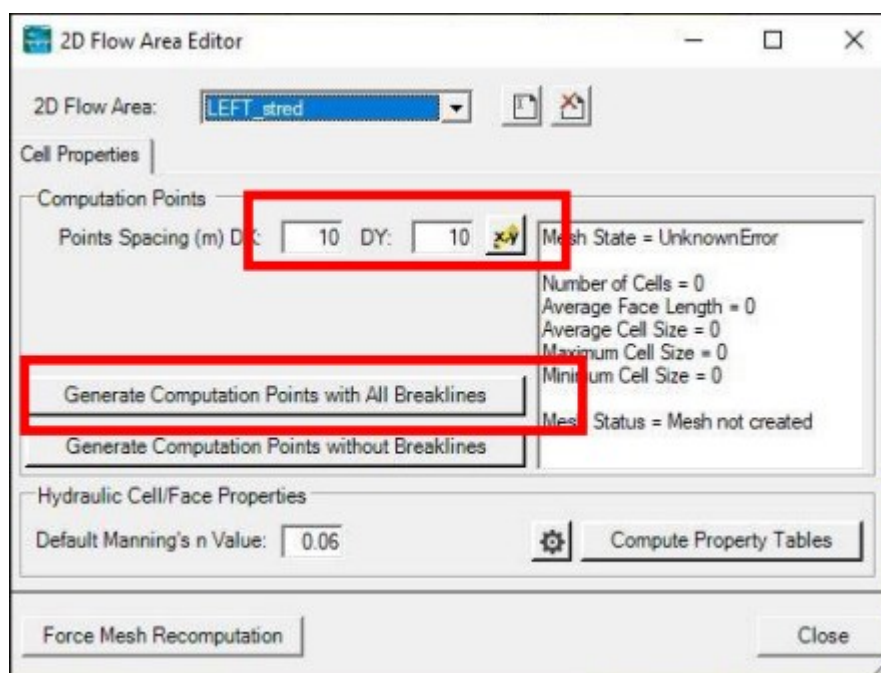
7.4 Tvorba 1D2D modelu

V místech, kde chceme vytvořit 2D model, došlo ke zkrácení příčných profilů. A to na nejvyšší místo v levém i pravém břehu řeky, maximálně na úroveň břehovek. V **Geometric Data -> Cross Section -> Jump to the Graphical Cross Section Editor -> Delete Objects**. Nebo v **Geometric Data -> Cross Section -> Cross Section Coordinates -> zde umazávat ručně**. Pro zkrácení profilů byly použity oba postupy.

V místech střetu 1D modelu s 2D modelem je třeba pro správný chod modelu nastavit propojení těchto modelů. A to prostřednictvím **Lateral Structure**, tzv. boční přeliv. Ty byly přidávány z **Ras Mapper -> 1D2D_Geometry_Zejdlík -> Edit -> Lateral Structures -> Add New Feature**. Kdy bylo zapotřebí tyto boční přelivy editovat po směru proudění vodního toku.

Po vytvoření **Lateral Structures** byly přidány 2D oblasti pro výpočet 2D modelu. Ty byly přidávány ručně tak, aby z jedné strany byly ohraničeny **Lateral Structures** a z druhé strany zasahují do míst, kde již nemůže dojít k rozlivu ani u Q_{500} . K vytvoření těchto oblastí došlo prostřednictvím: **Ras Mapper -> 1D2D_Geometry_Zejdlík -> Edit -> 2D Flow Areas -> Perimetres -> Add New**

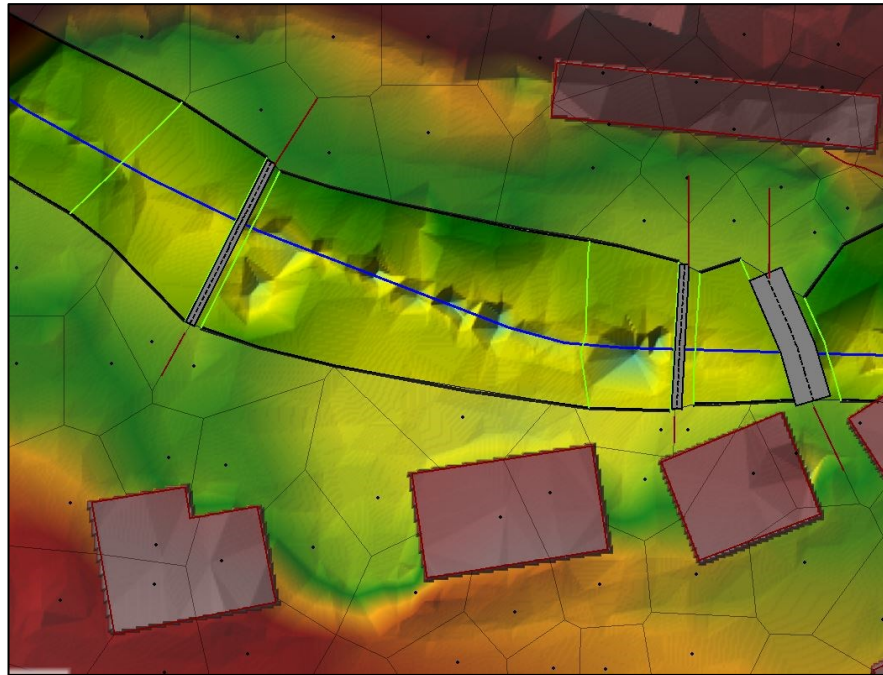
Features. Po vytvoření oblasti se nesmí zapomenout pojmenovat oblast a vygenerovat výpočetní body 2D sítě (tzv. **Computation Points**), jejichž rozmezí bylo nastaveno na 10 m. K tomuto nastavení došlo v dialogovém okně **2D Flow Area Editor**. Pro vygenerování sítě se zadá v **2D Flow Area Editor** -> **Generate Computation Points with All Breaklines** (viz obrázek č. 31).



Obrázek 31: Práce v 2D Flow Area Editor

V dalším kroku bylo potřeba v **Geometric Data** zadat informace, na jaké straně vodního toku se nachází **Lateral Structures**, a k jakým **2D Flow Areas** jednotlivé **Lateral Structures** patří. K nastavení výše zmíněného došlo v **Geometric Data** -> **Lateral Structure Editor**.

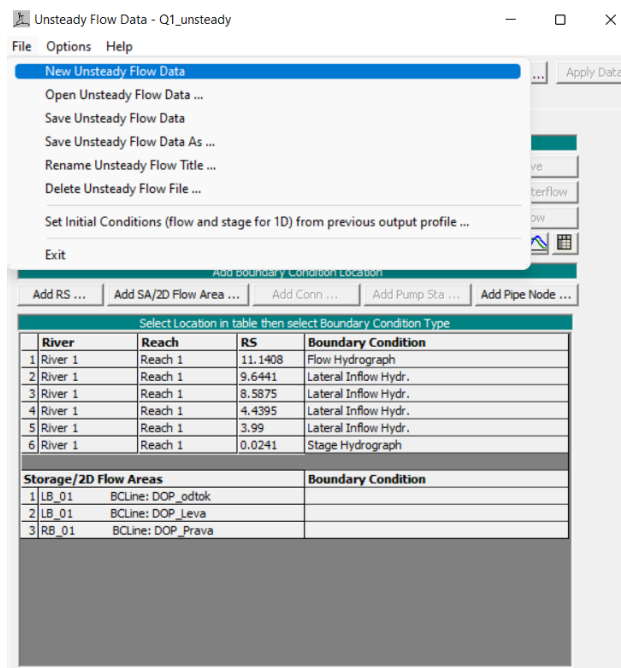
Dále pak byly vytvořeny tzv. **Breaklines**. Tyto liniové prvky při generování 2D sítě vždy rozdělí buňky (**Computation Points**) na dvě. Vytvářejí se především u cest, železnic, mostů, násypů atd. Důvodem je, aby 2D síť reflektovala tyto objekty a jejich nadmořskou výšku (viz obrázek č. 32). **Breaklines** se vytvořily v **Ras Mapper** -> **Geometries** -> **1D2D_Geometry_Zejdlik** -> **2D Flow Areas** -> **Breaklines** -> **EDIT**.



Obrázek 32: Nastavení Breaklines

7.4.1 Zadání průtokových dat do 2D modelu

U 2D modelu se zadávají data o průměrných průtocích odlišně, než jak tomu bylo u 1D modelu. Tato data se zadávají v záložce *Unsteady Flow Data*, a patří k takzvaným okrajovým podmínkám. Okrajové podmínky se vkládají pro jednotlivé scénáře zvláště' (Q_1 , Q_2 , Q_5 , Q_{10} atd.), a to pomocí záložky *File -> New Unsteady Flow Data*. Tímto způsobem vytvoříme celkem sedm scénářů (viz obrázek č. 33).



Obrázek 33: Vytvoření N-letých scénářů

V *Unsteady Flow Data* jsou zadávány profily, u kterých je potřeba vložit průtoková data, a to pomocí nástroje *Add RS ...* Narozdíl od *Steady Flow Data*, zde průměrné průtoky přičítáme tak, že počátečnímu profilu přiřadíme okrajovou podmínku s názvem *Flow Hydrogram*, v případě Q_5 je to $5,97 \text{ m}^3/\text{s}$. Poté se k tomuto „počátečnímu“ profilu přičítají hodnoty průměrných průtoků v místech, kde se síla povodně navyšuje (viz tabulka č. 8).

Na závěr se ještě zadává dolní okrajová podmínka, tzv. *Stage Hydrograph*. Jako dolní okrajová podmínka byla použita známá úroveň hladiny mezi dvěma profily na Ohři ze Studie záplavového území, úsek Křesín – Louny (Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s., 2018). Z této studie vyplývá, že dolní okrajová podmínka Žejdlíku pro průtoky Q_1 až Q_{50} , odpovídá úrovni hladiny v recipientu Ohři Q_1 . A dolní okrajová podmínka pro průtoky Q_{100} až Q_{500} , odpovídá úrovni hladiny v recipientu Ohři Q_5 (viz Tabulka 9).

Tabulka 8: Rozdíl v zadávání okrajových podmínek mezi *Steady Flow Data* a *Unsteady Flow Data* v programu *Hec-Ras*

Q ₅		
profily	Steady Flow Data (m ³ /s)	Unsteady Flow Data (m ³ /s)
u Kuzova	5,97	5,97
mezi Třebívlicemi a Solany	8,64	+ 2,67
nad rozdělovacím objektem do Rosovky	10,40	+ 1,76
nad Suchým potokem	10,99	+ 0,59
u Vojnic	14,61	+ 3,62
ústí do Ohře	16,10	+ 1,49

Tabulka 9: Úrovně hladin Ohře použité jako dolní okrajová podmínka Žejdlíku

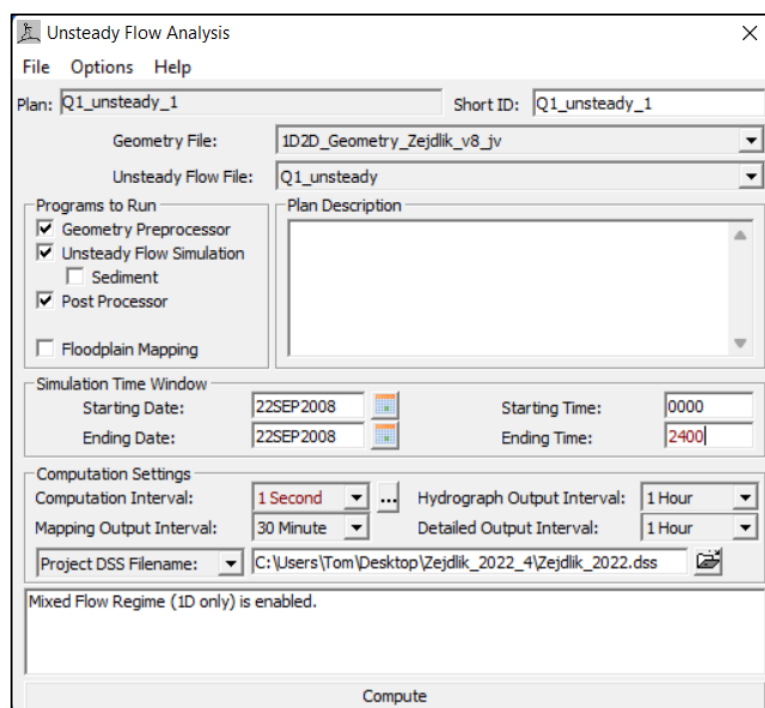
	Převzatá úroveň hladiny na Ohři (m n. m.)	
	Q ₁	Q ₅
Ústí do Ohře	166,28	167,22

7.4.2 Nastavení výpočtů 1D/2D modelu

Poté, co dojde k správnému nastavení všech předchozích kroků, může se přejít ke konfiguraci samotného výpočtu. Ten probíhá přes záložku *Unsteady Flow*

Analysis, tedy jako analýza simulace neustáleného proudění. Podle HEC-RAS (2019), se tento typ simulace neliší zásadně od simulace ustáleného proudění. Oba modely využívají stejné hydraulické výpočty, avšak jejich výpočetní rovnice jsou různé.

Jednotlivé N-letosti průtokových scénářů se počítají zvlášť, přičemž je ideální, aby všechny N-letosti měly nastaven stejný časový interval. Ten nastavíme ve sloupcích **Starting Time** a **Ending Time**. Přičemž výpočty byly nastaveny na 24 hodin (viz obrázek č. 34). Dále pak byl nastaven výpočetní interval procesů, které se mají programem vypočítat (viz obrázek č. 34). Ten by měl také splňovat Courantovy podmínky, při níž je základem to, že výpočetní interval by měl být stejný nebo kratší než čas, za který voda přejde z jednoho příčného profilu do druhého. Poté již došlo ke spuštění jednotlivých výpočtů.



Obrázek 34: Nastavení výpočtů Unsteady Flow Analysis

7.5 Generování výsledků a postprocessing

Vygenerování výsledků proběhlo v *Ras Mapper* -> *Tools* -> *Create MultipleMaps*. Zde byly vybrány výsledky výpočtů pro jednotlivé scénáře. Jak pro 1D model, tak pro 1D/2D model. Veškeré scénáře byly generovány pro stejný časový krok, přičemž došlo k vytvoření shapefile vrstev inundačního území.

Ty byly následně nahrány do programu QGIS, kde byly upravovány do finální podoby a následně kontrolovány. Došlo k propojení inundačního území 1D modelu

s 1D/2D modelem pro jednotlivé N-leté scénáře v profilu, nacházejícím se v říčním kilometru 11,1408. Poté bylo v QGIS využito nástroje na panelu *Advanced digitalizing toolbar*, který nám pomohl zaplnit určité díry v shapefile vrstvě rozlivů, spojit oblasti které by na sebe měly navazovat, zbavit se kostrbatých hran,... Důležité taky bylo verifikovat tzv. superpozici záplavových území, kdy se kontrolovalo, zda rozlivy nižších N-letostí nepřesahují rozlivy vyšších N-letostí. Těmito kroky došlo ke stanovení záplavových ploch pro jednotlivé N-leté průtoky.

7.6 Hydrotechnické posouzení objektů

Díky vyhodnocení simulací modelů pro jednotlivé N-leté scénáře, mohly být z hydrotechnického hlediska posouzeny objekty nacházející se na řešené části vodního toku. Díky hydrotechnickým výpočtům tak může dojít k hydrotechnickému posouzení objektů. Jak uvádí Zuna (2004), tyto výpočty patří mezi podklady pro projekty vodohospodářských staveb, pro posuzování bezpečnosti vodních děl, pro posuzování převedení povodňových průtoků přes objekty na vodních tocích, používají se jako podklad pro projektanty staveb ovlivňujících vodní tok, což jsou např. mostky, propustky, stavby v záplavových územích apod. Došlo tak k posouzení 30 mostů, 14 lávek a 1 propustek, a to z hlediska kapacity objektů při různě silných povodní.

Pokud výška hladiny N-letého průtoku dosáhne či přesáhne výšku spodní hrany objektu, jedná se o objekt nekapacitní. V takovém případě dochází k vybřežení vody přes objekt a může v místě problému dojít k velkým rozlivům, či může být poškozena statika objektu. ČSN 73 6201 „Projektování mostních objektů“ (2008) pak definuje největší průtok protékající profilem toku v místě mostního otvoru jako kapacitu mostního otvoru.

Data získaná z modelu byla následně upravena v excelu a vznikla přehledná tabulka, ve které lze najít především výšky jednotlivých hladin při N-letých povodních a spodní výšky konstrukcí objektů nacházejících se na vodním toku (viz příloha č. 1). Na základě těchto údajů byly následně vytvořeny pro pět vybraných objektů evidenční listy objektů (viz příloha č. 11 – příloha č. 20). Dále pak byla vytvořena přehledná tabulka s informacemi o jednotlivých objektech a jejich hydrotechnickém posouzení kapacity při Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} . Rozděleny byly do tří kategorií: kapacitní, zahlcený, zahlcený a přeléváný (viz příloha č. 2).

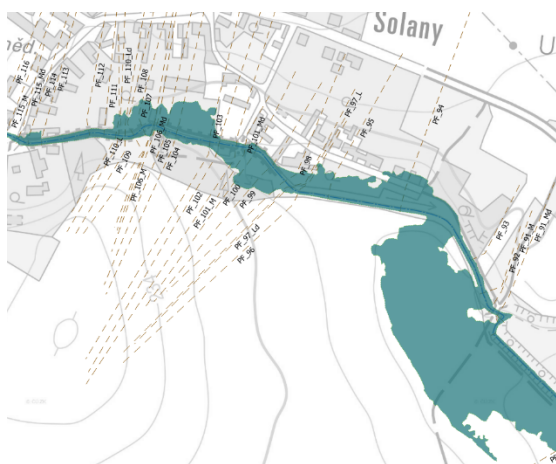
8 Výsledky

8.1 Vyhodnocení výsledků záplavových území

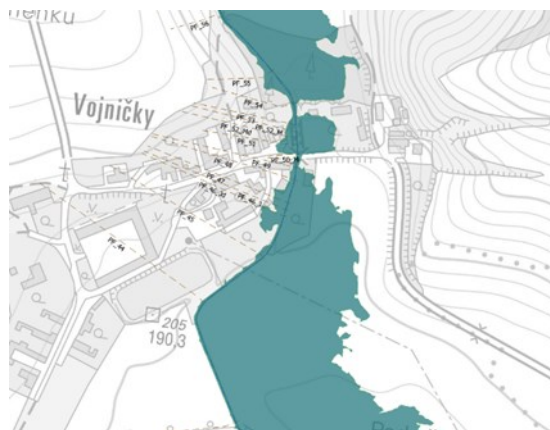
Za hlavní cíl si diplomová práce zadala stanovení záplavových čar, a tím vymezení záplavového území. A to na řešeném úseku 0,000 – 14,126 ř. km, pro N-leté průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} . Pro stanovení těchto výstupů bylo využito programů HEC-RAS a QGIS. Výsledné mapy jsou k dispozici v příloha č. 3 až v příloha č. 10.

Z těchto výsledků vychází, že při průtoku Q_5 nedochází k významnějšímu vybřežení v intravilánu. Povodní je ohroženo pouze pár budov, a to pouze lokálně. Zasaženy jsou především louky. I přes to již při Q_5 lze označit rozlivy na některých místech za poměrně rozsáhlé. Viz obrázek č. 35, který vyobrazuje rozliv povodně u obce Solany, v ř. km 9,160 – 8,390, kde dochází v intravilánu k vybřežení v těsné blízkosti koryta do místních zahrad. Pod obcí, kde koryto neprochází údolnicí, jsou rozlivy většího rozsahu. Zasaženy jsou však pouze luky a pole.

U obce Vojničky, v ř. km 5,290 – 4,730, jsou rozlivy při Q_5 také rozsáhlé, ale zasahují pouze do pozemků luk a polí (viz obrázek č. 36). Nad obcí rozlivy reflektují historický zaniklý rybník.



Obrázek 35: Rozlivy při Q_5 u obce Solany



Obrázek 36: Rozlivy při Q_5 u obce Vojničky

Při povodňových průtocích Q_{20} dochází k vybřežení již v horních úsecích modelované oblasti. Avšak k významným rozlivům dochází až u obce Třebívlice a Solany. Především v Solanech dochází k ohrožení značným množstvím budov. V ř. km 10,630 – 8,610 povodeň rozděluje povodňové průtoky na dvě hlavní proudnice, kdy jedna prochází upraveným korytem a druhá přirozenou údolnicí tvořenou zaniklým rybníkem v obci Solany (viz obrázek č. 37). U ústí do Ohře, v ř. km 0,890 – 0,000, je průběh povodně ovlivněn křížením s hlavní komunikací, kdy dochází ke vzduť hladiny a přelévání komunikace levým inundačním územím, kde je ohroženo několik nemovitostí (viz obrázek č. 38).



Obrázek 37: Rozdělení proudnice při Q_{20} u obce Solany



Obrázek 38: Rozlivy při Q_{20} u ústí do Ohře

Při průtoku Q_{100} dochází k vyběření v celém spodním úseku vodního toku. K významnému rozlívání dochází téměř ve všech zastavěných územích. Objekty na toku jsou z velké části nekapacitní, vlivem čehož voda proudí po přilehlých komunikacích. V obcích je zasaženo velké množství budov. Některé budovy jsou ohroženy již v horním úseku vodního toku. V popisovaném kritickém místě obce Solany je ohroženo až několik desítek budov (viz obrázek č. 39). Rozlívání v místech ústí do Ohře a odtokové poměry do značné míry korespondují s rozlíváním při průtoku Q_{20} .



Obrázek 39: Rozlivy při Q_{100} u obce Solany

Povodně Q_{500} se zásadně neliší způsobem rozlívání od povodní při Q_{100} , jejich území je ovšem větší a jsou nebezpečné pro více budov.

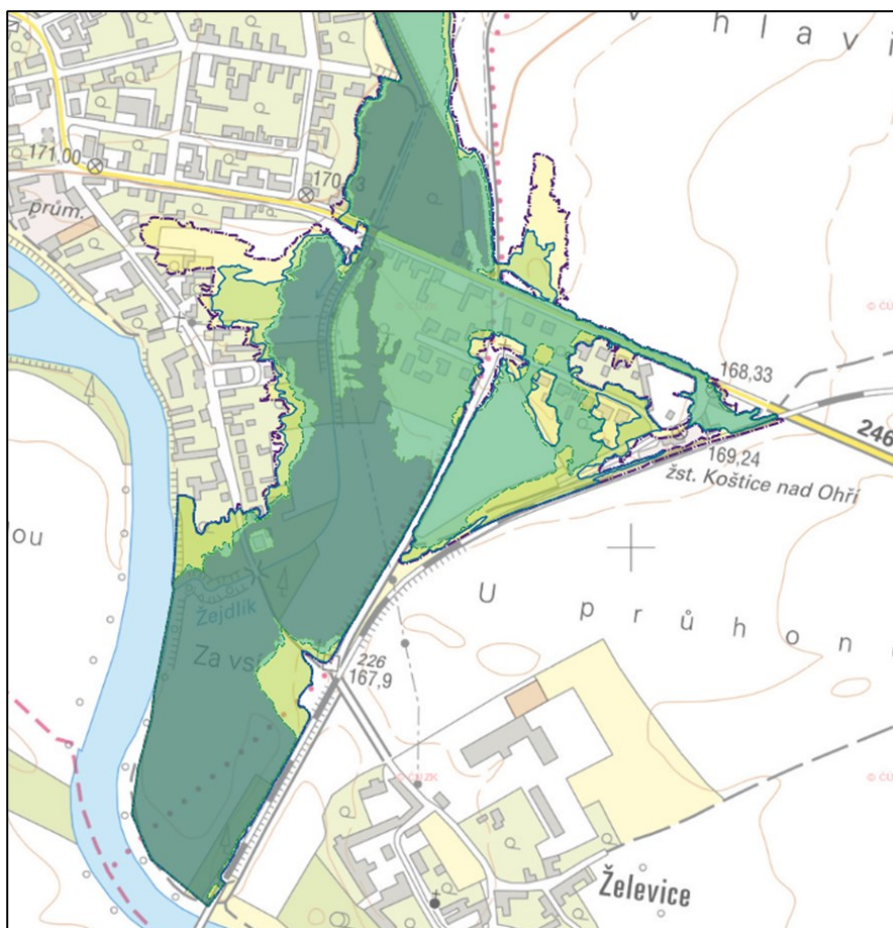
K jednomu z nejproblematictějších míst z pohledu průběhu povodně patří zmiňovaná obec Solany na ř. km 10,400 – 8,400. Zde dochází k rozdělení proudění povodňových průtoků a ohrožení značného území intravilánu zmiňované obce. Terén je zde téměř rovinný. Avšak trasování toku je oproti historickému upraveno a neprochází přirozenou údolnicí. Z podkladu 2. vojenského mapování je vidět historický zaniklý rybník a původní trasa koryta. S tímto pokladem korespondují rozsahy rozlivů do levého inundačního území (viz 6.2).

Dále pak v místní části Vojničky je nekapacitní silniční mostek (ř. km 5,102) a dochází zde k rozlivům již od Q₅. Rozliv se se propaguje již z nad obcí, kdy je zaplavena v podstatě celá šíře nivy. Jedná se o lokalitu bývalého rybníka (viz obrázek č. 40).

V lokalitě ústí dochází k výraznému ovlivnění rozlivů na vodním toku Žejdlíku vlivem vzduť recipientu Ohře. Díky tomu dochází již k rozlivům od Q₅ mimo koryto vodního toku. Od Q₂₀ dochází k výraznějším rozlivům do oblastí rezidenční zástavby, včetně lokality železniční stanice Košetice nad Ohří (viz obrázek č. 41).



Obrázek 40: Obec Vojničky z 2. vojenského mapování (CENIA 2022)



Obrázek 41: Rozlivy Žejdlíku v lokalitě ústím do recipientu Ohře, obec Košnice

8.2 Výsledky hydrotechnického posouzení vodního toku

Z výsledků studie dále vyplývá, že mnoho objektů na vodním toku je během povodní nekapacitních. A to i při Q_{20} nebo dokonce již při Q_5 . Často tak může v těchto lokalitách dojít vlivem vzduť k vybřežení vodního toku Žejdlík (viz příloha č. 2). V tabulce č. 10 pak lze najít objekty, které ovlivňující v řešeném úseku vodního toku, rozlivy nejvýznamněji.

Tabulka 10: Objekty, které významněji ovlivňují rozlivy

Staničení (ř. km)	ID objektu	Typ objektu
0,552	PF_14_M	most
0,943	PF_20_M	most
3,003	PF_31_M	most
5,102	PF_50_M	most
8,608	PF_90_S	vzdouvací a rozdělovací objekt
11,773	PF_178_M	most

9 Diskuse

Hlavním výstupem diplomové práce bylo stanovení záplavových území, tyto výsledky však mohou být ovlivněny mnoha faktory a mohou se tak lišit od reality. Tato kapitola se zabývá právě těmi činiteli, kteří mohou mít vliv na prezentované výsledky.

Největší vliv na výsledky mají bezesporu vstupní data. DMR 5G má střední chybovou odchylku 0,18 – 0,3 m. Tato možná odchylka v nadmořské výšce přilehlého okolí vodního toku může mít zásadní vliv při modelaci povodňové vlny.

I zaměřené objekty a příčné profily se mohou lišit od reality a způsobovat tak určité nepřesnosti. Vždy totiž platí, že čím více zaměřených bodů, tím více se zaměření shoduje s reálnou situací. Avšak nemůže být zaměřeno nekonečně mnoho bodů. Samozřejmě je mnohem přesnější mít příčné profily geodeticky zaměřené, než se spoléhat pouze na letecké laserové skenování. Například Paul a spol. (2020) uvádí, že i to je v některých případech možné, musí se však počítat se značnou chybovostí výsledků. V této práci však bylo použito přesnější varianty, a byly použity geodeticky zaměřené příčné profily.

Další chybovost výsledků mohou způsobovat vstupní hydrologická data. Ta mají IV. třídu přesnosti, a tudíž mohou mít vysokou chybovost. Pokud však bereme v potaz velikost vodního toku a s ním spojenou dostupnost dat, tak byly pro vstupní data využity ty nejlepší možné zdroje.

V neposlední řadě může být model ovlivněn lidským faktorem. Tím je myšlen samotný tvůrce modelu. Kdy platí, jako v mnoha jiných případech, že čím větší zkušenosti, co se týče práce s těmito modely, tím se zmenšuje pravděpodobnost tvorby určitých chyb, a tím pádem i docílení lepších výsledků.

Co se týče podobnosti zpracování, diplomová práce se odlišuje pouze minimálně. Studie záplavové území DHI a.s. (2021), studie Povodí Labe (2020) i studie od Hydrossoft Veleslavín s.r.o. (2020) se neliší od této práce, co se týče podkladových dat. Všechny tyto studie využívají jak DMR 5G, tak geodetické zaměření koryta a objektů na vodním toku. Hydrologická data mají ovšem v lepší třídě přesnosti, jelikož se v úsecích jejich studie nachází měřené hydrologické profily.

Studie Povodí Labe i studie DHI a.s. využívají pro modelaci povodní software Mike 21, zatímco diplomová práce a studie od Hydrossoft Veleslavín využívají

softwaru HEC-RAS. Nicméně výpočetní postupy se v zásadě neliší. Některé studie počítají 1D model, jiné zas 2D model, a to dle zadání objednavatele.

Je těžké určit, zda jsou výpočty a samotné výsledky u jednotlivých studií přesnější či s menší chybovostí, jelikož každá studie se zabývá jiným územím, a tak je nelze přímo porovnávat.

10 Závěr

Diplomová práce měla za cíl sestavit literární rešerši o povodních a jejich historii ve studované oblasti a vytvořit fyzicko-geografickou charakteristiku řešeného území. Pro fyzicko-geografickou charakteristiku byly zhotoveny a následně popsány mapy s různou tematikou o řešeném území.

Hlavními cíli práce pak bylo stanovit záplavové území na vodním toku Žejdlík, na ř. km 0,000 – 14,126. Následně pak hydrotechnicky posoudit objekty nacházející se ve zmiňovaném úseku. Pro tento účel byl sestaven hydrodynamický model v programu HEC-RAS. Jednalo se o kombinaci 1D/2D modelu, jelikož samotný 1D model vykazoval v nižších partiích vodního toku značnou nejistotu ve výsledcích. Byly tak vytvořeny přehledné mapy záplavového území pro N-leté průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} . Pro jednotlivé scénáře povodní byly vytipovány problémové lokality z pohledu průběhu povodně.

Na základě výsledků z modelu HEC-RAS pak došlo k posouzení průtočné kapacity objektů během různě velkých povodní. Přičemž z výsledků vychází, že mnoho objektů na vodním toku je nekapacitních již při malých průtocích.

Mezi přínosy diplomové práce tak patří pochopení základních příčin vzniku povodní na Žejdlíku a také pochopení chování vodního toku během těchto hydrologických extrémů. Jelikož se jedná o první vytvořený model na tomto vodním toku, tak je bezesporu zásadním přínosem této práce stanovení záplavového území pro jednotlivé N-leté průtoky i zmiňované hydrotechnické posouzení objektů.

Díky tomu může dojít k vypracování určitých protipovodňových opatření. Z hlediska možností protipovodňové ochrany je možné na základě diplomové práce lokálně uvažovat o individuální ochraně rezidenčních objektů, případně o lokálním zkapacitnění vodního toku, a to především v horních částech toků (ř. km 8,500 a výše), kde není vhodná morfologie pro větší retenční opatření. Naopak v nižších částech vodního toku (ř. km 8,500 a níže), lze uvažovat o možnosti retence vody v nivě formou soustavy retenčních průlehů, či suchých nebo víceúčelových nádrží. Pro návrhy retence mohou být posouzeny jednak lokality zaniklých rybníků, druhak lokality nové. Tyto podklady pak mohou sloužit k vymezení aktivní zóny záplavového území či k úpravě a zkapacitnění některých objektů na Žejdlíku.

11 Přílohy

Příloha 1: Hydrotechnické údaje objektů pro N-leté průtoky

Profil	Staničení (km)	Dno (m n. m.)	Hladina Q _s (m n. m.)	Průtok Q _s (m ³ /s)	Hladina Q ₅₀ (m n. m.)	Průtok Q ₅₀ (m ³ /s)	Hladina Q ₁₀₀ (m n. m.)	Průtok Q ₁₀₀ (m ³ /s)	Hladina Q ₅₀₀ (m n. m.)	Průtok Q ₅₀₀ (m ³ /s)	Sp. mostu (m n. m.)	Vrch mostu (m n. m.)	Poznámka
PE_3 M	0,132	164,60	166,76	16,10	166,88	28,70	167,26	48,00	167,30	70,00	166,10	166,60	ZLB silniční most
PE_8 L	0,413	165,14	167,23	16,10	167,35	28,70	167,51	48,00	167,63	70,00	166,90	167,18	Dvěřná lávka
PE_11 S	0,503	165,59	167,75	16,10	167,82	28,70	167,95	48,00	167,88	70,00	168,40	169,40	Kamenný slupen
PE_14 M	0,552	166,77	168,83	16,10	168,29	28,70	169,47	48,00	169,63	70,00	169,63	171,11	ZLB silniční most
PE_20 M	0,943	168,33	171,18	16,10	171,40	28,70	171,50	48,00	171,60	70,00	169,63	171,11	ZLB mostek
PE_31 M	3,003	180,47	182,33	16,10	182,87	28,70	183,22	48,00	183,34	70,00	183,10	183,72	ZLB silniční most
PE_35 M	3,494	183,25	184,17	16,10	184,39	28,70	184,58	48,00	184,75	70,00	183,92	184,50	ZLB mostek
PE_39 M	4,007	183,78	185,33	14,61	185,45	25,90	185,60	43,58	185,71	63,45	185,19	185,70	ZLB mostek
PE_46 J	5,033	189,57	190,77	10,99	190,81	19,11	190,87	32,85	190,96	47,58			Dvěřný jez
PE_50 M	5,102	190,10	191,82	10,99	192,40	19,11	192,50	32,85	192,52	47,58	191,55	191,95	ZLB silniční most
PE_52 M	5,130	190,36	191,99	10,99	192,42	19,11	192,53	32,85	192,55	47,58	191,31	191,75	ZLB mostek
PE_59 L	5,600	193,20	194,37	10,99	194,55	19,11	194,70	32,85	194,80	47,58	194,24	194,42	Dvěřná lávka
PE_64 M	6,262	199,40	200,77	10,99	201,00	19,11	201,40	32,85	201,50	47,58	200,97	201,44	ZLB mostek
PE_68 L	6,353	199,71	201,54	10,99	201,81	19,11	202,00	32,85	202,18	47,58	201,30	201,48	ZLB lávka
PE_72 M	6,437	200,05	202,23	10,99	202,56	19,11	202,87	32,85	203,10	47,58	201,53	201,99	ZLB silniční most
PE_75 P	6,511	200,25	202,50	10,99	202,73	19,11	202,97	32,85	203,18	47,58	201,29	201,69	ZLB propustek
PE_77 L	6,546	200,68	202,60	10,99	202,82	19,11	203,08	32,85	203,30	47,58	201,53	201,71	Dvěřná lávka
PE_82 M	7,106	206,20	208,34	10,99	208,40	18,00	208,43	32,85	208,52	47,58	207,25	207,72	ZLB mostek
PE_90 S	8,608	224,74	225,89	10,40	225,93	18,00	226,00	31,10	226,05	45,00			Betónový slupen
PE_91 M	8,629	224,65	226,12	10,40	226,17	18,00	226,25	31,10	226,30	45,00	226,14	226,69	ZLB most
PE_97 L	8,920	225,46	227,30	10,40	227,50	18,00	227,71	31,10	227,88	45,00	226,87	227,11	Železná lávka
PE_104 M	8,999	226,25	228,30	10,40	228,42	18,00	228,53	31,10	228,65	45,00	227,52	228,05	ZLB most
PE_106 M	9,095	227,34	229,82	10,40	230,02	18,00	230,12	31,10	230,22	45,00	228,34	229,34	Zelezný mostek
PE_110 L	9,141	227,97	230,27	10,40	230,41	18,00	230,50	31,10	230,55	45,00	229,34	229,62	Dvěřná lávka
PE_115 M	9,268	229,21	231,11	10,40	231,94	18,00	232,28	31,10	232,40	45,00	231,22	232,00	ZLB silniční most
PE_119 M	9,343	229,98	231,96	10,40	232,73	18,00	233,07	31,10	233,28	45,00	231,99	232,96	ZLB most
PE_129 M	9,926	241,97	244,04	8,64	244,16	14,96	244,20	25,85	244,22	37,40	243,46	243,55	ZLB most
PE_135 M	10,119	245,68	247,31	8,64	247,72	14,96	248,24	25,85	248,40	37,40	247,50	248,35	ZLB most
PE_141 M	10,387	252,17	253,09	8,64	253,24	14,96	253,40	25,85	253,53	37,40	254,95	255,60	Zelezobetonová lávka
PE_144 S	10,452	253,89	255,90	8,64	256,06	14,96	256,18	25,85	256,38	37,40			Kamenný slupen
PE_146 L	10,486	255,66	256,93	8,64	257,24	14,96	257,42	25,85	257,56	37,40	256,75	257,10	Železobetonová lávka
PE_150 M	10,556	256,97	258,32	8,64	258,65	14,96	258,88	25,85	259,06	37,40	258,80	259,08	ZLB most
PE_154 M	10,661	259,49	260,84	8,64	261,12	14,96	261,18	25,85	261,25	37,40	260,37	260,60	Dvěřný mostek
PE_159 M	10,841	263,08	264,94	8,64	266,80	14,96	269,54	25,85	267,80	37,40	265,30	267,20	ZLB silniční most
PE_163 L	10,960	267,30	268,22	8,64	268,58	14,96	269,54	25,85	269,75	37,40	268,66	268,90	Dvěřno-železná lávka
PE_168 L	11,073	269,69	270,85	8,64	271,04	14,96	271,25	25,85	271,41	37,40	270,54	270,83	Dvěřno-železná lávka
PE_173 L	11,337	276,19	277,53	8,64	278,14	14,96	278,48	25,85	278,85	37,40	277,64	277,84	Dvěřno-železná lávka
PE_178 M	11,773	289,33	290,74	8,64	291,39	14,96	292,05	25,85	292,16	37,40	290,80	291,78	ZLB silniční most
PE_182 L	11,810	290,71	292,16	8,64	292,63	14,96	293,00	25,85	293,10	37,40	292,25	292,40	Dvěřná lávka
PE_183 L	11,821	291,48	293,22	8,64	293,34	14,96	293,42	25,85	293,43	37,40	292,65	292,84	Dvěřná lávka
PE_189 M	12,065	298,67	300,38	8,64	300,50	14,96	300,67	25,85	300,80	37,40	299,41	300,09	Železo-betónový most s potrubím
PE_195 M	12,921	327,07	328,67	5,97	328,76	10,33	328,87	17,85	328,98	25,83	328,11	328,38	Betónový mostek
PE_204 M	13,624	352,13	353,00	5,97	353,12	10,33	353,17	17,85	353,28	25,83	353,41	353,41	ZLB mostek
PE_202 L	13,638	352,44	353,60	5,97	353,67	10,33	353,75	17,85	353,88	25,83	353,46	353,66	ZLB lávka
PE_208 M	13,697	353,82	355,30	5,97	355,48	10,33	355,50	17,85	355,52	25,83	354,68	355,25	Dvěřný mostek
PE_212 L	13,738	355,01	355,91	5,97	356,01	10,33	356,14	17,85	356,32	25,83	356,05	356,30	Dvěřná lávka
PE_217 M	13,849	357,35	358,70	5,97	358,83	10,33	359,00	17,85	359,12	25,83	358,53	358,72	ZLB mostek
PE_218 M	13,861	357,55	359,10	5,97	359,30	10,33	359,41	17,85	359,50	25,83	358,54	359,05	ZLB mostek
PE_220 M	13,897	358,51	359,49	5,97	360,08	10,33	360,56	17,85	360,70	25,83	359,74	360,31	ZLB silniční mostek
PE_221 S	13,908	358,54	360,22	5,97	360,30	10,33	360,59	17,85	360,72	25,83			ZLB slupen

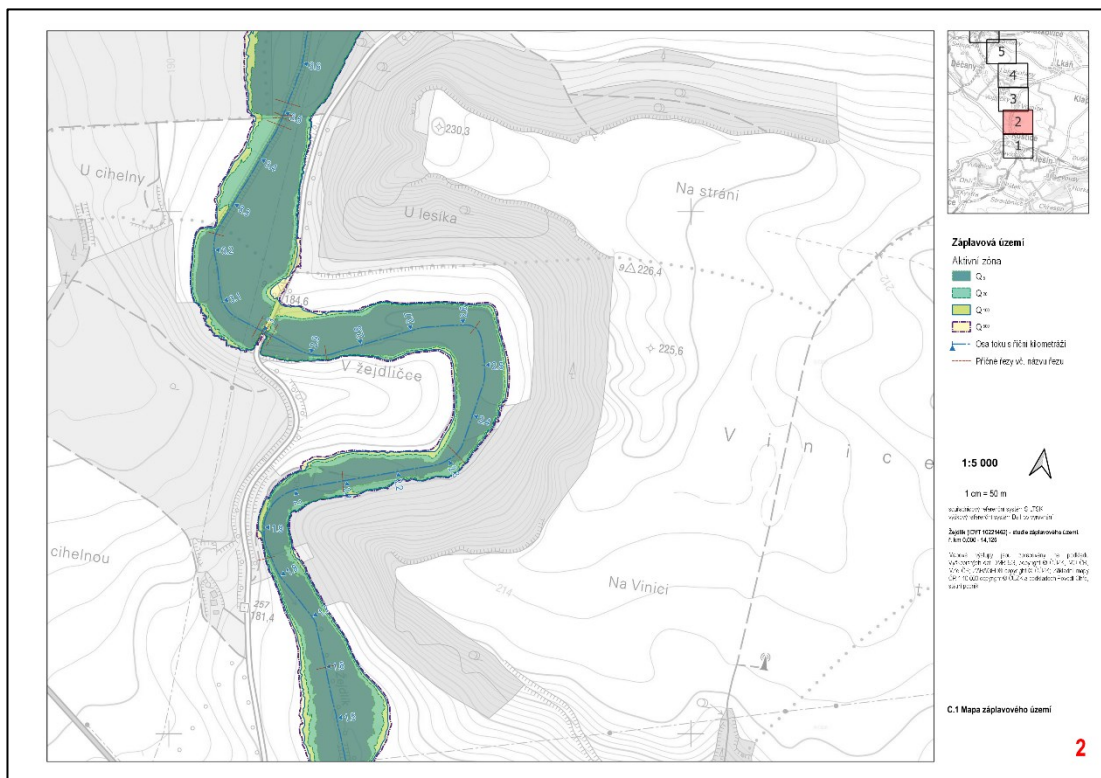
Príloha 2: Kapacitnosť objektů pro různé N-leté scénáře povodní

Profil	Typ objektu	Staničení (km)	Q5	Q20	Q100	Q500
PF_3_M	ŽLB silniční most	0,1315	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_8_L	Dřevěná lávka	0,4129	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_11_S	Kamenný stupeň	0,503	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_14_M	ŽLB silniční most	0,5519	zahloený	zahloený	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_20_M	ŽLB mostek	0,9433	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_31_M	ŽLB silniční most	3,0031	kapacitní	kapacitní	zahloený	zahloený
PF_35_M	ŽLB mostek	3,4944	zahloený	zahloený	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_39_M	ŽLB mostek	4,0071	zahloený	zahloený	zahloený	zahloený a přeléváný
PF_46_J	Dřevěný jez	5,0326	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_50_M	ŽLB silniční most	5,1015	zahloený	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_52_M	ŽLB mostek	5,1295	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_59_L	Dřevěná lávka	5,5995	zahloený	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_64_M	ŽLB mostek	6,2615	kapacitní	kapacitní	kapacitní	zahloený a přeléváný
PF_68_L	ŽLB lávka	6,353	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_72_M	ŽLB silniční most	6,4373	zahloený	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_75_P	ŽLB propustek	6,5111	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_77_L	Dřevěná lávka	6,5457	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_82_M	ŽLB mostek	7,1056	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_90_S	Betonový stupeň	8,6075	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_91_M	ŽLB most	8,6293	kapacitní	zahloený	zahloený	zahloený
PF_97_L	Železná lávka	8,9204	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_101_M	ŽLB most	8,9993	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_106_M	Železný mostek	9,0948	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_110_L	Dřevěná lávka	9,1412	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_115_M	ŽLB silniční most	9,2677	kapacitní	zahloený	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_119_M	ŽLB most	9,3432	kapacitní	zahloený	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_129_M	ŽLB most	9,9263	zahloený	zahloený	zahloený	zahloený a přeléváný
PF_135_M	ŽLB most	10,1189	zahloený	zahloený	zahloený	zahloený a přeléváný
PF_141_M	Železniční most	10,387	kapacitní	kapacitní	kapacitní	kapacitní
PF_144_S	Kamenný stupeň	10,4519	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_146_L	Železobetonová lávka	10,4856	zahloený	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_150_M	ŽLB most	10,5556	kapacitní	kapacitní	zahloený	zahloený
PF_154_M	Dřevěný můstek	10,6609	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_159_M	ŽLB silniční most	10,8407	kapacitní	zahloený	zahloený	zahloený a přeléváný
PF_163_L	Dřevěno-železná lávka	10,9603	kapacitní	kapacitní	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_168_L	Dřevěno-železná lávka	11,0729	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_173_L	Dřevěno-železná lávka	11,3374	kapacitní	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_178_M	ŽLB silniční most	11,7727	kapacitní	zahloený	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_182_L	Dřevěná lávka	11,8097	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_183_L	Dřevěná lávka	11,8207	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_189_M	Železo-betonový most s potrubím	12,0647	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_195_M	Betonový mostek	12,9208	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_202_M	ŽLB mostek	13,6236	kapacitní	zahloený	zahloený	zahloený
PF_204_L	ŽLB lávka	13,6382	zahloený	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_208_M	Dřevěný mostek	13,6967	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_212_L	Dřevěná lávka	13,7382	kapacitní	kapacitní	zahloený	zahloený a přeléváný
PF_217_M	ŽLB mostek	13,8493	zahloený	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_218_M	ŽLB mostek	13,8614	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_220_M	ŽLB silniční mostek	13,8972	kapacitní	zahloený	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný
PF_221_S	ŽLB stupeň	13,9078	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný	zahloený a přeléváný

Příloha 3: Mapa záplavového území – část 1



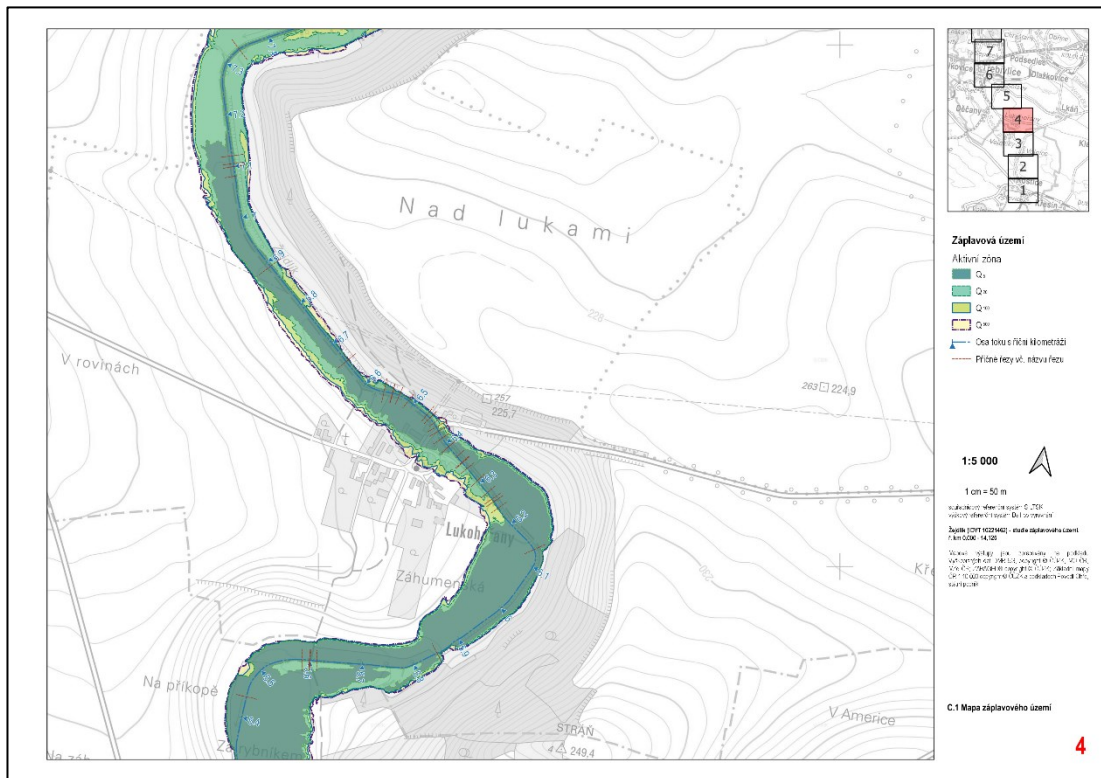
Příloha 4: Mapa záplavového území – část 2



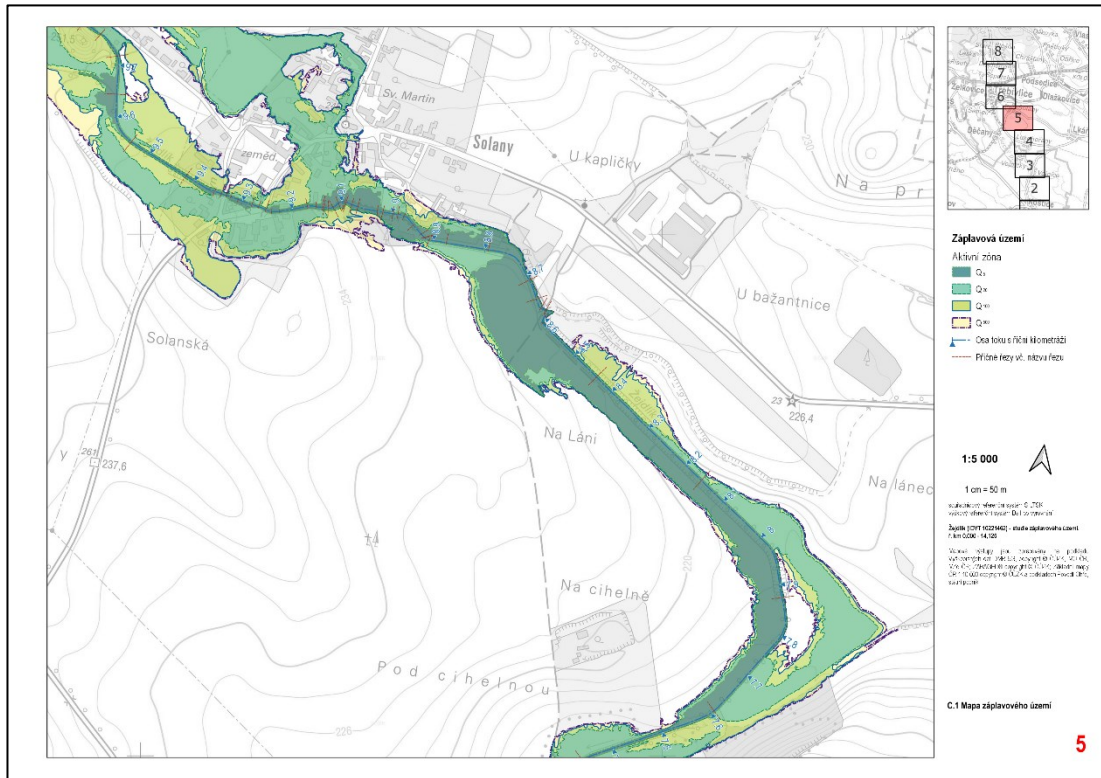
Příloha 5: Mapa záplavového území – část 3



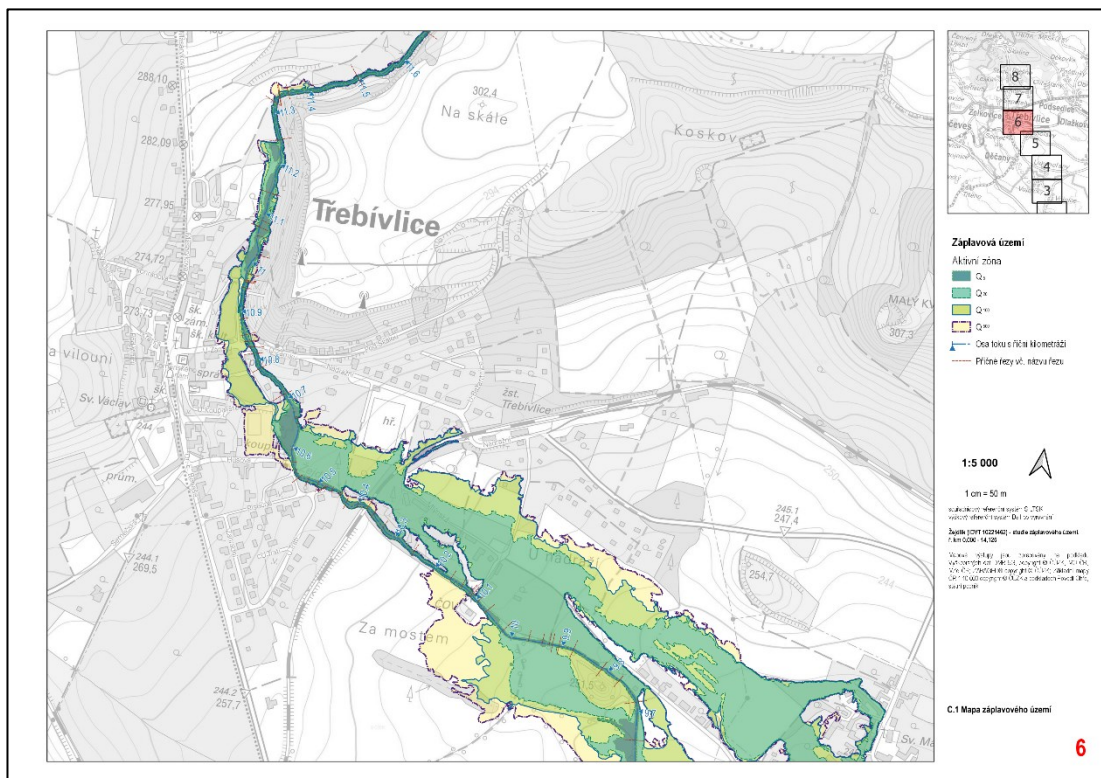
Příloha 6: Mapa záplavového území – část 4



Příloha 7: Mapa záplavového území – část 5



Příloha 8: Mapa záplavového území – část 6



Příloha 9: Mapa záplavového území – část 7



Příloha 10: Mapa záplavového území – část 8



Evidenční list objektu

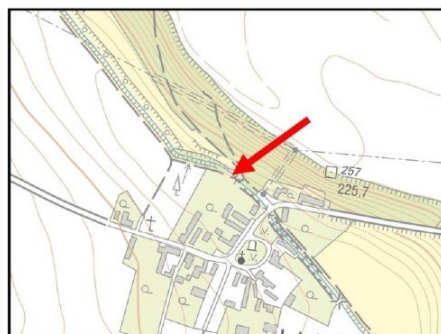
Příčný profil PF_75_P

ř. km 6,511

ŽLB propustek



Celkový pohled na objekt



Přehledná situace

Dno: 200,25 m n. m.

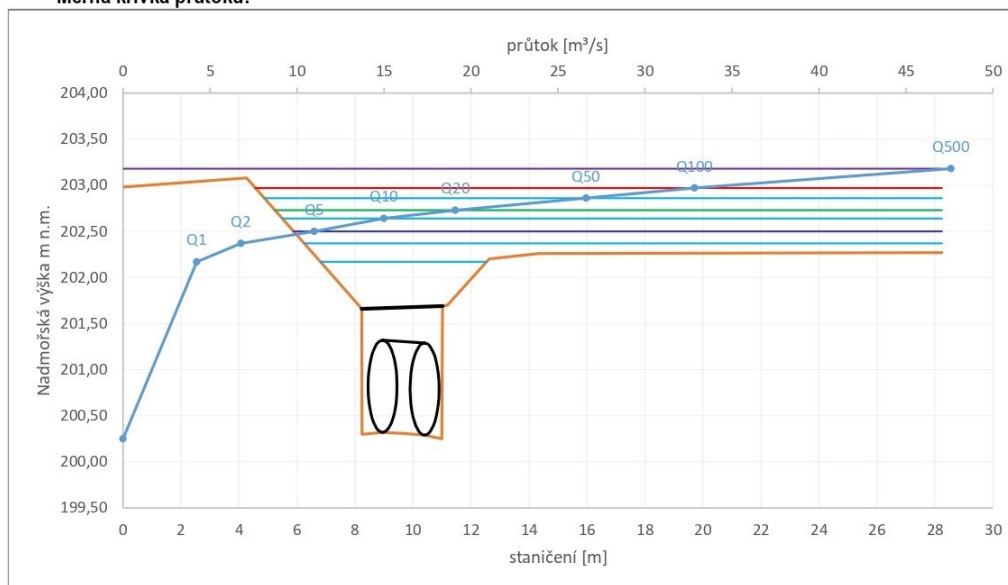
Spodní hrana mostovky: 201,29 m n. m.

Horní hrana mostovky: 201,69 m n. m.

Tabulka:

proudění	Q1	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q500
	(4,2 m ³ /s)	(6,8 m ³ /s)	(11,0 m ³ /s)	(15,0 m ³ /s)	(19,1 m ³ /s)	(26,6 m ³ /s)	(32,8 m ³ /s)	(47,6 m ³ /s)
Kóta hladiny horní vody	202,17	202,37	202,50	202,64	202,73	202,86	202,97	203,18
Kóta hladiny dolní vody	224,83	224,88	224,90	224,91	224,92	224,94	225,00	225,05
Vliv na proudění	zahlcený a přeléváný	zahlcený a přeléváný	zahlcený a přeléváný	zahlcený a přeléváný	zahlcený a přeléváný	zahlcený a přeléváný	zahlcený a přeléváný	zahlcený a přeléváný

Měrná křivka průtoků:



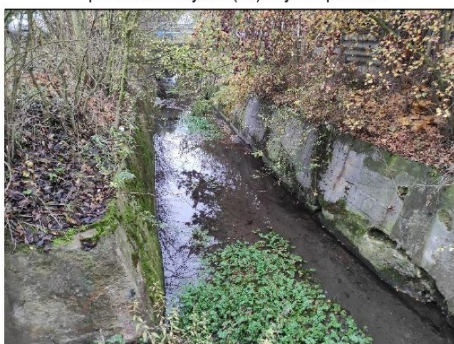
pohled z horní vody na objekt



pohled z dolní vody na objekt



pohled na koryto z (od) objektu po vodě



pohled na koryto z (od) objektu proti vodě



pohled do LB území



pohled do PB území



Evidenční list objektu

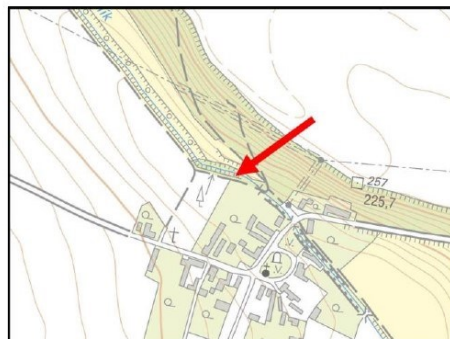
Příčný profil PF_77_L

ř. km 6,546

Dřevěná lávka



Celkový pohled na objekt



Přehledná situace

Dno: 200,68 m n. m.

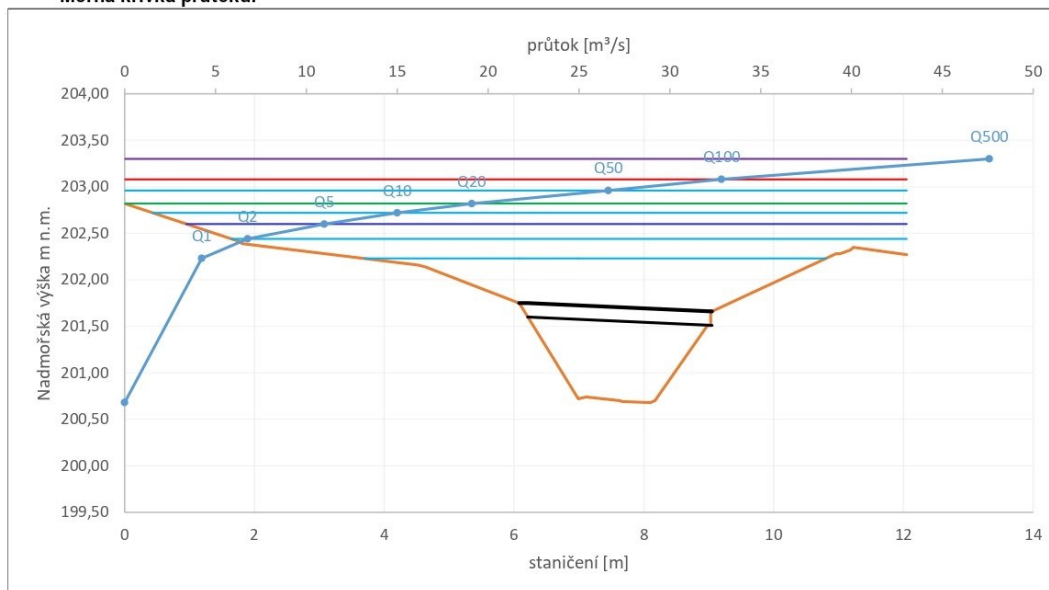
Spodní hrana mostovky: 201,53 m n. m.

Horní hrana mostovky: 201,71 m n. m.

Tabulka:

proudění	Q1	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q500
	(4,2 m ³ /s)	(6,8 m ³ /s)	(11,0 m ³ /s)	(15,0 m ³ /s)	(19,1 m ³ /s)	(26,6 m ³ /s)	(32,8 m ³ /s)	(47,6 m ³ /s)
Kóta hladiny horní vody	202,23	202,44	202,60	202,72	202,82	202,96	203,08	203,30
Kóta hladiny dolní vody	225,86	225,89	225,90	225,91	225,94	225,99	226,20	226,25
Vliv na proudění	zahlcený a přelévavý	zahlcený a přelévavý	zahlcený a přelévavý	zahlcený a přelévavý	zahlcený a přelévavý	zahlcený a přelévavý	zahlcený a přelévavý	zahlcený a přelévavý

Měrná křivka průtoků:



pohled z horní vody na objekt



pohled z dolní vody na objekt



pohled na koryto z (od) objektu po vodě



pohled na koryto z (od) objektu proti vodě



pohled do LB území



pohled do PB území



Evidenční list objektu

Příčný profil PF_178_M

ř. km 11,773

ŽLB silniční most



Celkový pohled na objekt



Přehledná situace

Dno: 289,33 m n. m.

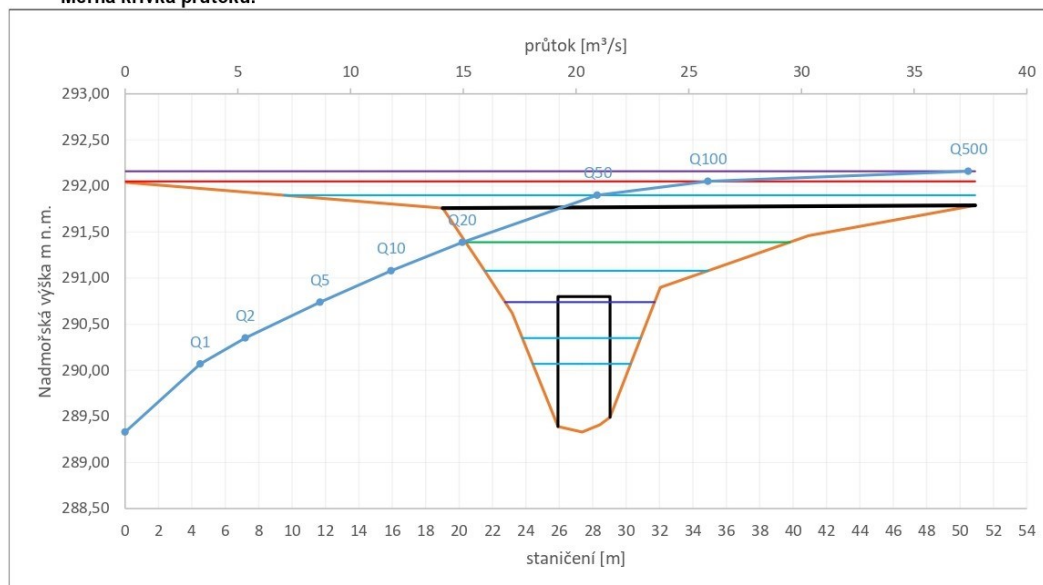
Spodní hrana mostovky: 290,80 m n. m.

Horní hrana mostovky: 291,78 m n. m.

Tabulka:

proudění	Q1	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q500
	(3,3 m ³ /s)	(5,3 m ³ /s)	(8,6 m ³ /s)	(11,8 m ³ /s)	(15,0 m ³ /s)	(20,9 m ³ /s)	(25,8 m ³ /s)	(37,4 m ³ /s)
Kóta hladiny horní vody	290,07	290,35	290,74	291,08	291,39	291,90	292,05	292,16
Kóta hladiny dolní vody	291,33	291,54	291,82	292,04	292,52	292,69	292,77	292,80
Vliv na proudění	kapacitní	kapacitní	kapacitní	zahlcený	zahlcený	zahlcený a přeléváný	zahlcený a přeléváný	zahlcený a přeléváný

Měrná křivka průtoků:



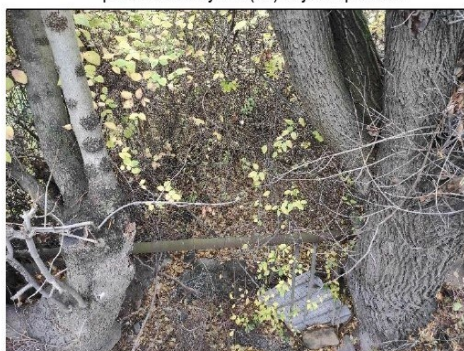
pohled z horní vody na objekt



pohled z dolní vody na objekt



pohled na koryto z (od) objektu po vodě



pohled na koryto z (od) objektu proti vodě



pohled do LB území



pohled do PB území



Evidenční list objektu

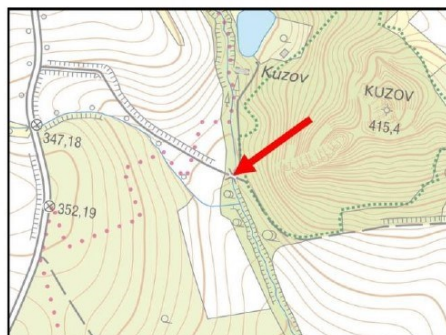
Příčný profil PF_195_M

ř. km 12,921

Betonový mostek



Celkový pohled na objekt



Přehledná situace

Dno: 327,07 m n. m.

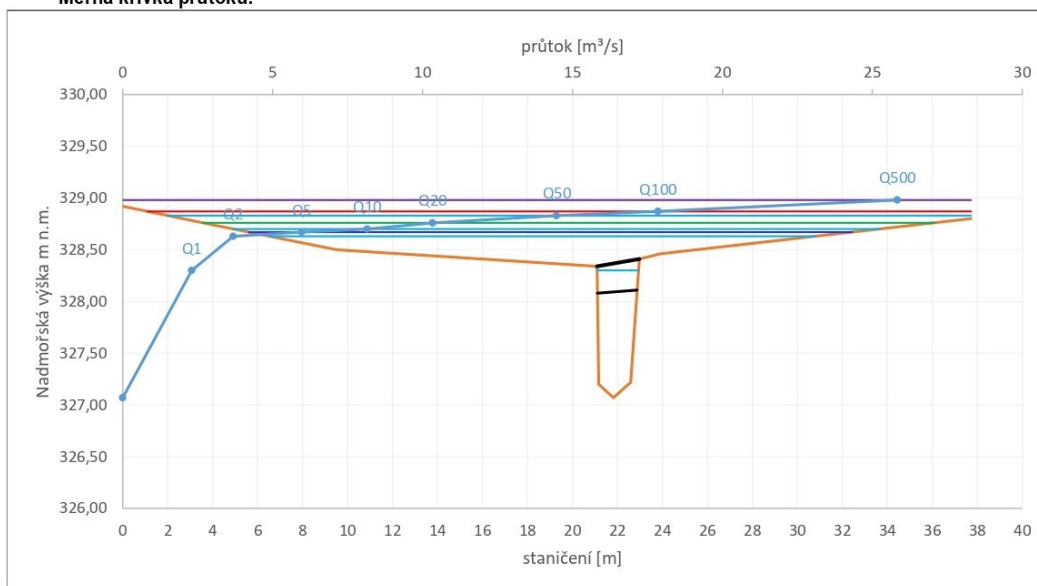
Spodní hrana mostovky: 328,11 m n. m.

Horní hrana mostovky: 328,38 m n. m.

Tabulka:

proudění	Q1	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q500
	(2,3 m ³ /s)	(3,7 m ³ /s)	(6,0 m ³ /s)	(8,2 m ³ /s)	(10,3 m ³ /s)	(14,5 m ³ /s)	(17,9 m ³ /s)	(25,8 m ³ /s)
Kóta hladiny horní vody	328,30	328,63	328,67	328,70	328,76	328,83	328,87	328,98
Kóta hladiny dolní vody	352,75	352,86	352,94	352,98	353,01	353,09	353,12	353,20
Vliv na proudění	zahlcený	zahlcený a přeléváný	zahlcený a přeléváný	zahlcený a přeléváný	zahlcený a přeléváný	zahlcený a přeléváný	zahlcený a přeléváný	zahlcený a přeléváný

Měrná křivka průtoků:



pohled z horní vody na objekt



pohled z dolní vody na objekt



pohled na koryto z (od) objektu po vodě



pohled na koryto z (od) objektu proti vodě



pohled do LB území



pohled do PB území



Evidenční list objektu

Příčný profil PF_220_M

ř. km 13,897

ŽLB silniční mostek



Celkový pohled na objekt



Přehledná situace

Dno: 358,51 m n. m.

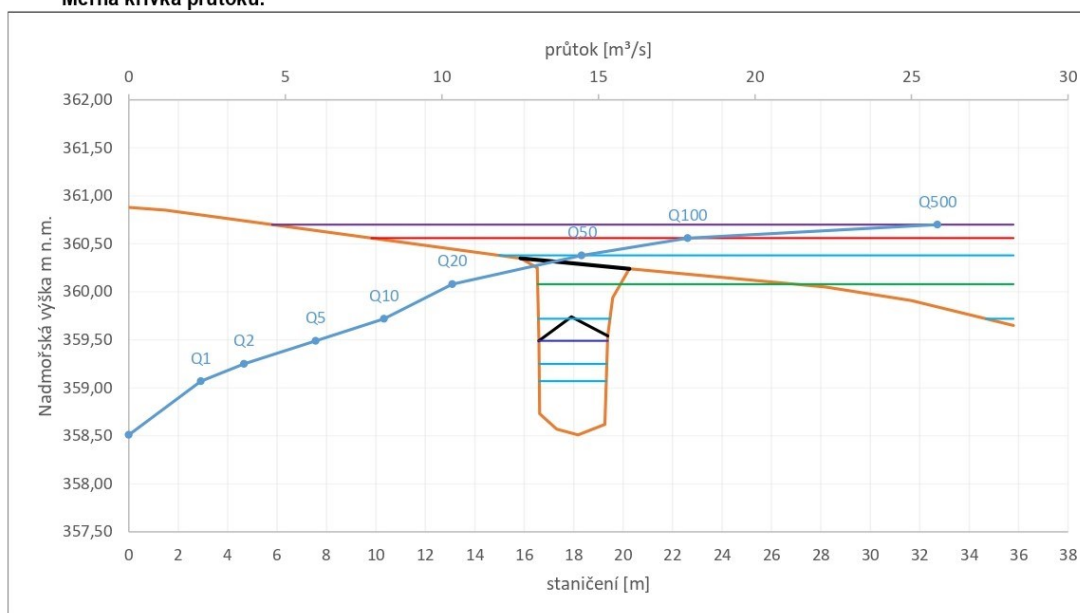
Spodní hrana mostovky: 359,74 m n. m.

Horní hrana mostovky: 360,31 m n. m.

Tabulka:

proudění	Q1	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q500
	(2,3 m³/s)	(3,7 m³/s)	(6,0 m³/s)	(8,2 m³/s)	(10,3 m³/s)	(14,5 m³/s)	(17,9 m³/s)	(25,8 m³/s)
Kóta hladiny horní vody	359,07	359,25	359,49	359,72	360,08	360,38	360,56	360,70
Kóta hladiny dolní vody	359,26	359,49	359,80	360,06	360,25	360,40	360,58	360,71
Vliv na proudění	kapacitní	kapacitní	kapacitní	kapacitní	zahlcený	zahlcený a přeléváný	zahlcený a přeléváný	zahlcený a přeléváný

Měrná křivka průtoků:



pohled z horní vody na objekt



pohled z dolní vody na objekt



pohled na koryto z (od) objektu po vodě



pohled na koryto z (od) objektu proti vodě



pohled do LB území



pohled do PB území



12 Citace

Odborné publikace:

Ackerman C. T., 2012: HEC-GeoRAS, GIS Tools for Support of HEC-RAS using ArcGIS User's Manual. US Army Corps of Engineers. Davis. 242 s.

BARNAR T., KUCH A., THOMPSON G.R., MUDALIA S., PHILLIPS B.C., 2007: Evolution of an Integrated 1D/2D Modeling Package for Urban Drainage. Journal of Water Management Modeling R227-18. P. 343-366.

BECKER, A., SERBA, P., 1990: Hydrological models for water – resources systém design and operation. Operational Hydrology Report No. 34. World Meteorological Organization, Geneva.

BÍZEK V. a kol., 2011: Aplikace modelů v oblasti životního prostředí. CENIA, Praha. 277 s. ISBN 978-80-85087-88-8.

BRÁZDIL, R. a kol., 2005: Historické a současné povodně v České republice. Masarykova univerzita v Brně, Český hydrometeorologický ústav v Praze. Brno – Praha. 369 s. ISSN 1210-3004.

BRUNNER, G. W., 2010: HEC-RAS River Analysis System, User's Manual Version 4.1. HEC. Davis. 766 s.

CÍLEK V. a kol., 2003: Velká kniha o klimatu zemí Koruny české. Regia. Praha. 654 s.

ČAMROVÁ L., JÍLKOVÁ J., 2006: Povodňové škody a nástroje k jejich snížení. Institut pro ekonomickou a ekologickou politiku Fakulty národohospodářské. Vysoká škola ekonomická v Praze. 1. vyd. Praha. 422 s. ISBN 80-86684-35-0.

ČHMÚ, 2014: Vyhodnocení povodní v červnu 2013. Český hydrometeorologický ústav. Praha. 257 s.

DAŇHELKA J. a kol., 2012: Vybrané kapitoly z historie povodní a hydrologické služby na území ČR. Český hydrometeorologický ústav. Praha. 182 s. ISBN 978-80-87577-12-7.

DAŇHELKA J. a kol., 2014: Povodně v České republice v červnu 2013. Český hydrometeorologický ústav. Praha. 85 s. ISBN 978-80-87577-41-7.

DOOGE J. C. I., 2003: Deterministic Methods in Systems Hydrology: IHE Delft Lecture Note Series. A A Balkema Publishers (1). 328 s. ISBN 9781315275123.

DOOGE J. C.I., 1986: Looking for hydrologic laws. Journal of Hydrology 96 (1). P. 3-4.

- DUCHAN, D., DRÁB, A., ŘÍHA, J., 2019: Flood Protection in the Czech Republic. Management of Water Quality and Quantity. Springer Nature Switzerland AG, Switzerland. P. 333-363.
- FOLLAND C.K. a kol., 2002: Observed climate variability and change. Weather Volume 57, Issue 8. P. 269-278.
- GERRITS A. M. J., 2010: The role of interception in the hydrological cycle. Delft University of Technology, Delft. 126 s.
- GORDON N. D. a kol., 2004: Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists. John Wiley&Sons. Chichester. 446 s.
- HRÁDEK F., KUŘÍK P., 2008: Hydrologie. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha. 272 s. ISBN 978-80-213-1744-4.
- JÍLKOVÁ, J., ROCH, I., DOLEŽELOVÁ, L., KLUVÁNKOVÁ-ORAVSKÁ, T., MORAVE, J., ČAMROVÁ, L., HROMÁDKA, P., POTLUKA, O., 2006: Povodně v území institucionální a ekonomické souvislosti. Eurolex Bohemia, Praha. 172 s. ISBN 80-7379-000-9.
- KEMEL M., 1991: Hydrologie. České vysoké učení technické v Praze, Praha, 222 s.
- KONVIČKA M., 2002: Město a povodeň: Strategie rozvoje měst po povodních. Era, Brno, 219 s.
- KOVÁŘ P., 1990: Využití hydrologických modelů pro určování maximálních průtoků na malých povodích. Vysoká škola zemědělská, Praha. 136 s. ISBN 80-2130-088-4.
- KRAVKA M., 2009: Základy lesnické a krajinářské hydrologie a hydrauliky. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno. 113 s. ISBN 978-80-7375-338-2.
- KUČERA J. a spol, 2021: Infiltration Properties of Soil on Erosion-Prone Land with Wide Row Crops Cultivation. Listy cukrovarnické a řepařské 3. P. 7-8. ISSN 1210-3306
- KURÁŽ M., BLOECHER J., 2017: Hydrodynamic of porous media. Czech University of Life Sciences Prague: Faculty Environmental Sciences, Praha. 127 s.
- MŽP, 2011: Metodický pokyn odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí k zabezpečení hlásné a předpovědní povodňové služby. Věstník Ministerstva životního prostředí, ročník XXI, částka 12/2011. MŽP, Praha.
- NOVÁK P., ROUB R., URBAN F., VYBÍRAL T., HEJDUK T., MAXOVÁ J., ZAJÍČEK A. a BUREŠ L., 2015: Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého

laserového skenování. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i., Praha. 50 s. ISBN 978-80-87361-49-8.

Paul, J. D., Buytaert, W., & Sah, N., 2020: A technical evaluation of lidar-based measurement of river water levels. Water Resources Research Volume 56, Issue 4. P. 1-9.

Povodí Ohře, 2006: Výroční zpráva. Státní podnik povodí Ohře, Chomutov. 33 s.

Povodí Ohře, 2013: Zpráva o povodni 6/2013. Státní podnik povodí Ohře: Vodohospodářský dispečink, Chomutov. 33 s.

RODHE A., 2012: Physical models for classroom teaching in hydrology. Hydrology and Earth System Sciences 16. P. 3075-3082.

SLAVÍKOVÁ L., 2007: Ochrana před povodněmi v urbanizovaných územích. IREAS, Praha, 82 s.

TOURKOVÁ J., 2004: Hydrogeologie. Vydavatelství ČVUT, Praha.

ÚSTAV ÚZEMNÍHO ROZVOJE, 2003: Protipovodňová ochrana v územních plánech obcí. Ústav územního rozvoje. Brno. 8 s.

VOPRAVIL, J. 2009: Půda a její hodnocení v ČR. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy v.v.i., Praha. 148 s. ISBN: 978-80-87361-02-3.

VÚV T.G.M., 2003: Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002. VÚV T.G.M., Praha.

WANG J., 2023: Exploratory regression modeling for flood susceptibility mapping in the GIS environment. Sci Rep 13, 247 (2023). 16 s. ISSN 20452322.

WEYSKRABOVÁ L., 2011: Protipovodňová opatření – Možnosti financování. FSv ČVUT v Praze. Praha. 14 s.

ZUNA J., 2004: Hydrotechnické posouzení objektů hrazení bystrin. České vysoké učení technické v Praze, Praha. 180 s.

Legislativní zdroje:

ČSN 73 6201: Projektování mostních objektů. Český normalizační institut, Praha, 2008. 76 s.

ČSN 75 1400: Hydrologické údaje povrchových vod. Český normalizační institut, Praha, 1997. 14 s.

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), v platném znění.

Zákon č. 254/2011 Sb., kterým se mění zákon č. 229/1991 Sb., o úpravě vlastnických vztahů k půdě a jinému zemědělskému majetku, ve znění pozdějších předpisů.

Internetové zdroje:

AOPK ČR, ©2023a: Správa CHKO České středohoří: Půdní poměry (online) [cit. 2023.01.22], dostupné z: <<https://ceskestredohori.nature.cz/pudy>>.

AOPK ČR, ©2023b: Správa CHKO České středohoří: Horniny (online) [cit. 2023.01.22], dostupné z: <<https://ceskestredohori.nature.cz/horniny>>.

CENIA, 2022: II. Vojenské mapování (online) [cit. 2023.02.10.], dostupné z: <<https://geoportal.gov.cz/web/guest/home>>.

CEVT, ©2020: Centrální evidence vodních toků (online) [cit. 2023.01.14], dostupné z: <<http://eagri.cz/public/web/mze/voda/aplikace/cevt.html>>.

ČHMÚ, ©2002: Hydrometeorologické vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002 (online) [cit. 2022.11.12], dostupné z: <<https://www.chmi.cz/files/portal/docs/hydro/povodne/pov02/index.html>>.

ČHMÚ, ©2005: Metodický pokyn MŽP pro zpracování plánu ochrany území pod vodním dílem (č. 9/2005) (online) [cit. 2022.08.16], dostupné z: <<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/ruzne/vystava/HYDRO/14.pdf>>.

ČHMÚ, ©2006: Meteorologické a hydrologické vyhodnocení jarní povodně na území ČR (online) [cit. 2023.01.01], dostupné z: <<https://www.chmi.cz/files/portal/docs/hydro/povodne/pov06/index.html>>.

ČHMÚ, ©2018a: Povodňové jevy (online) [cit. 2022.10.10], dostupné z: <<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/om/sivs/povodne.html>>.

ČHMÚ, ©2018b: Průvodce informacemi Hlásné a předpovědní povodňové služby ČHMÚ: SPA stupně povodňové aktivity (online) [cit. 2023.01.02], dostupné z: <https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/verejnost_povodnova_ochrana.html>.

ČÚZK, 2016. Základní báze geografických dat ZABAGED – výškopis: Digitální model reliéfu ČR 5. generace (DMR 5G) (online) [cit. 2022.10.15.], dostupné z: <[https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(vph4da4ptvliznmquc3igdr0\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24](https://geoportal.cuzk.cz/(S(vph4da4ptvliznmquc3igdr0))/Default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24)>.

DIBAVOD, ©2022: Základní jevy povrchových a podzemních vod (online) [cit.2023.01.20], dostupné z: <<https://www.dibavod.cz/27/struktura-dibavod.html>>.

HEC-RAS, 2019: HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER: software HEC-RAS a HEC-GeoRAS. US Army Corps of Engineers (online) [cit. 2015.12.01], dostupné z: <<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>>.

KOCUM J., 2019. Hydrometrie (online) [cit. 2022.12.12], dostupné z: <<https://docplayer.cz/18933562-Hydrometrie-rndr-jan-kocum-kocum1-natur-konzultacni-hodiny-dle-dohody-albertov-6-128-43-praha-2-tel-420221951350.html>>.

LAMBIN E., GEIST H. J., 2007: Cause o land use a land cover change, The encyclopedia of earth (online) [cit. 2023.01.12], dostupné z: <<http://www.eoearth.org/>>.

MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, 2000: Strategie ochrany před povodněmi v České republice (online) [cit. 2022.12.15], dostupné z: <[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/strategie_ochrany_povodne/\\$FILE/OOV_strategie_povodne_20000419.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/strategie_ochrany_povodne/$FILE/OOV_strategie_povodne_20000419.pdf)>.

REIDINGER, J., LEVITUS, V., 2013: Povodňový informační systém: Poster mapy povodňového nebezpečí (online) [cit. 2023.01.20], dostupné z: <http://www.povis.cz/mzp/poster_mapy_nebezpeci.pdf>.

ROUB R. a kol., 2016: Předpovědní profily pro záplavová území: Propojení předpovědních hlásných profilů na mapový sklad záplavových území (online) [cit. 2023.01.15], dostupné z: <<https://vodnihospodarstvi.cz/predpovedni-profil-y-pro-zaplavova-uzemi/>>.

UNUCKA J., 2010: Floreon – Infrastruktura, která předpovídá povodně (online) [cit. 2022.02.10], dostupné z: <<http://computerworld.cz/technologie/floreon-infrastruktura-ktera-predpovidapovodne-5432>>.

Ostatní zdroje:

ČHMÚ, 2020: Hydrologie SZU Ohře 2020. Český hydrometeorologický úřad, Ústí nad Labem.

DHI a.s., 2021: Záplavové území Zalužanského potoka ř.km 8,492 – 9,000. 15 s. Dep.: Státní podnik povodí Ohře.

Hydrosoft Veleslavín s.r.o., 2020: Ohře: studie záplavového území (ř.km 196,905 – 203,255), aktualizace. 19 s. Dep.: Státní podnik povodí Ohře.

Povodí Labe, 2020: Popis zpracování záplavového území včetně aktivní zóny záplavového území. Státní podnik povodí Labe, Ústí nad Labem. 68 s.

Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s., 2020: Studie záplavového území, úsek
Křesín – Louny, 75 s. Dep.: Státní podnik povodí Ohře.