

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

**Katedra vodního hospodářství a environmentálního
modelování**



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Hydrotechnické posouzení vodního toku Dědina

Vedoucí práce: Ing. Radek Roub, Ph.D.

Autorka: Julie Joudalová

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Julie Joudalová

Voda v krajině

Název práce

Hydrotechnické posouzení vodního toku Dědina

Název anglicky

Hydrotechnical assessment of Dedina water flow

Cíle práce

Hydrotechnické posouzení stávajícího stavu vodního toku a průtočnosti objektů.
Sestavení hydrodynamického modelu a vykreslení zátopových čar pro N-leté průtoky.

Metodika

1. Úvod
2. Určení cílů práce
3. Zpracování rešeršní části na téma povodně a matematické modelování
4. Charakteristika zájmového území a vodního toku
5. Sestavení hydrodynamického modelu
6. Vyhodnocení výsledků
7. Diskuse a závěr
8. Seznam použité literatury

Doporučený rozsah práce

Cca 60 stran

Klíčová slova

Průtok, HEC-RAS, vodní stav, povodeň, hydrodynamický model

Doporučené zdroje informací

Brunner, Gary N., 2010: HEC-RAS River Analysis System User's Manual. Online:

ftp://ftp.usace.army.mil/publiwr-hec-web/software/ras/documentation/HEC-RAS_4.1_Users_Manual.pdf.

Mareš K. 1997: Upravy toků- navrhování koryt, ČVUT, Praha

Warner J. C., Brunner G. w., Wolfe B. C. et Piper S. s. . 2010: HEC-RAS River Analysis System Applications Guide. Online: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documents/HEC-RAS_4.1_Applications_Guide.pdt

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FZP

Vedoucí práce

Ing. Radek Roub, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 9. 3. 2022

prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 12. 3. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 20. 03. 2022

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: ‚Hydrotechnické posouzení vodního toku Dědina‘ vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou 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 vědoma, že odevzdáním bakalářské 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 verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 06.03.2022

.....

Poděkování

Mé poděkování patří Ing. Radku Roubovi, Ph.D. za odborné vedení, praktické rady a čas, který mi poskytl při konzultacích a řešení dané problematiky. Dále bych ráda poděkovala své rodině za podporu, kterou mi při celém studiu poskytla.

V Praze dne 06.03.2022

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá sestavením hydrodynamického modelu vodního toku Dědina, který je přítokem řeky Orlice. Pro zpracování je zvolen úsek, kde Dědina protéká obcí Kounov, která byla v minulosti povodněmi ničivě postižena a dle dostupných informací zde nejsou zhotovena účinná protipovodňová opatření.

Hlavním cílem této práce je hydrotechnické posouzení stávajícího stavu toku, průtočnosti objektů a vykreslení zátopových čar pro jednotlivé N-leté průtoky. Vlastnímu zpracování předchází shromáždění poznatků v rešeršní části souvisejících s problematikou, jako oběh vody v přírodě, vlastnosti povodí, poznatky o povodních, hydrologických modelech a vodních stavbách. Proveden byl také terénní průzkum. Metodou k hledání odpovědi na problém je vytvoření matematického modelu pro zvolené N-leté průtoky. Model na řešeném úseku předpokládá ustálené říční proudění. K sestavení hydrodynamického modelu je použit program HEC-RAS 6.1. vyvinutý inženýrským centrem armády Spojených států.

Model ukazuje, že objekty na vodním toku nejsou dostatečně kapacitní, přestože pětiletý průtok dokáže převést deset z patnácti objektů, stoletý průtok jsou schopny převést pouze tři z patnácti posuzovaných. Po vykreslení zátopových území je zřejmé, že pro intravilán v okolí toku představuje nebezpečí již pětiletý průtok, území je povodněmi ohroženo. Přirozený rozliv toku do nivy je pozorován v nezastavěných územích. Diplomová práce by mohla sloužit jako podklad pro zpracování povodňového plánu, plánování protipovodňových opatření či informovanost obyvatel.

Klíčová slova: Průtok, HEC-RAS, vodní stav, povodeň, hydrodynamický model

Abstract

This thesis outlines the assembly of a hydrodynamic model of river Dědina, which is the inflow of the Orlice river. For the purpose of this research, the part of the river that flows through a town called Kounov was analyzed. Kounov suffers devastation from floods. According to available informations, there are still no effective flood barriers that protect Kounov.

The main goal of this thesis is an overall assessment of the hydrotechnical state of the river, the flow rate of its objects and the design of floodplains for N-year flow. Before the analytical research was completed, field research and data collection supporting the theoretical part of this paper, including the flow, characteristic of water in the environment, hydrological models and objects on river, was analyze. The method used to solve the problematic of the constructions of mathematical model for chosen N-year flow, which assumed steady flow. For the construction of hydrodynamic model is used a program HEC-RAS 6.1. developer by the United States Army Corps of Engineers.

Model shows that the objects on the water do not have the sufficient capacity, even through five year water flow can transfer ten out of fifteen objects. A hundred year water flow can transfer only tree out of fifteen. Based on the design of floodplains, it can be assumed that for urban area in the surroundings of water flow even five year flow represents danger. A natural floodplain is observed in unrestricted regions. This work could be used for planning and realization of inadequate flood protection or for informations for residents.

Key words: Flow, HEC-RAS, water level, flood, hydrodynamic model

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíle práce	2
3	Oběh vody v přírodě	3
3.1	Základní terminologie	4
3.1.1	Infiltrace	4
3.1.2	Odtok.....	5
3.1.3	Evapotranspirace	6
3.1.4	Intercepce	7
3.2	Typy srážek	7
3.2.1	Rozdělení dle skupenství.....	8
3.2.2	Rozdělení dle způsobu a místa vzniku	8
3.2.3	Rozdělení dle původu.....	9
3.2.4	Rozdělení dle délky trvání	9
3.3	Hydrologická bilance	10
4	Povodí a jeho vlastnosti	12
4.1	Základní charakteristiky	12
4.2	Typy otevřených koryt	14
4.3	Proudění.....	14
4.3.1	Typy proudění	14
4.3.2	Výpočty proudění v otevřeném korytě.....	16
5	Povodně	18
5.1	Rozdělení povodní.....	19
5.2	Historie povodní v ČR.....	21
5.2.1	Povodně dílčího povodí Horního a středního Labe.....	22
5.2.2	Povodně na vodním toku Dědina	22
5.3	Protipovodňová opatření	24

5.3.1	Stupně povodňové aktivity.....	24
5.3.2	Povodňové plány.....	25
5.3.3	Povodňové orgány a další účastníci.....	26
5.3.4	Opatření.....	27
6	Matematické modely ve vodním hospodářství.....	31
6.1	Základní klasifikace modelů.....	31
6.1.1	Hydrologické modely.....	34
6.1.2	Hydrodynamické modely.....	34
6.2	Popis vybraných modelů.....	35
6.2.1	HEC-RAS.....	35
6.2.2	HEC – GeoRAS.....	37
6.2.3	HEC-HMS.....	37
6.2.4	SACRAMENTO (SAC-SMA).....	38
6.2.5	MIKE – SHE.....	39
6.2.6	MIKE 11.....	39
6.2.7	DesQ – MaxQ.....	39
6.2.8	HYDROG.....	40
6.2.9	AquaLog.....	40
7	Vodní stavby.....	41
7.1	Hrazení bystřin.....	41
7.2	Úprava vodních toků.....	41
7.3	Objekty na toku.....	42
7.4	Evidence objektů.....	46
7.5	Revitalizace toků.....	46
8	Charakteristika studijního území.....	49
8.1	Charakteristika dílčího povodí Horního a středního Labe.....	49
8.1.1	Vymezení oblasti.....	49

8.1.2	Geomorfologické poměry	50
8.1.3	Geologické poměry	51
8.1.4	Hydrogeologické poměry	51
8.1.5	Hydrologické poměry	52
8.1.6	Pedologické poměry	53
8.1.7	Klimatické poměry	54
8.1.8	Využití území v oblasti	54
8.2	Charakteristika zájmového území vodního toku Dědina	56
9	Metodika	60
9.1	Vstupní data	60
9.2	Vytvoření geometrických dat	63
9.3	Vytvoření modelu v programu HEC-RAS	65
9.4	Výpočet modelu v programu HEC-RAS	69
9.5	Vyhodnocení simulací v programu ArcGIS	69
10	Výsledky	71
10.1	Posouzení objektů na vodním toku	71
10.2	Určení záplavového území	73
11	Diskuse	78
12	Závěr a přínos práce	82
13	Přehled literatury a použitých zdrojů	84
14	Seznam obrázků	92
15	Seznam tabulek	93
16	Seznam rovnic	93
17	Seznam příloh	94
18	Přílohy	95

1 Úvod

Vyhodnocením hydrologie toků se zabývá hydrologické modelování. Hydrologický model umožňuje realitu zjednodušeně a systematicky chápat či předpovídat. Znalostí vlastností a chování povodí je možné realizovat péči o povodí, jeho organizaci, ochranu přírodních podmínek a okolí. Komplexními opatřeními lze řešit protipovodňové, protieroční, ekologické, ochranné funkce a zvýšit schopnost povodí retence a infiltrace vody či zadržení povrchového odtoku a jeho zasáknutí.

Tématem práce s názvem ‚Hydrotechnické posouzení objektů na vodním toku Dědina‘ je zhodnocení stavu objektů na toku a stanovení záplavového území na zvolené části vodního toku. Řešeným zájmovým územím byl v této práci zvolen tok Dědina v Královéhradeckém kraji, který je významným přítokem řeky Orlice a spadá do povodí Horního a středního Labe. Konkrétně byl řešen úsek mezi 43. až 52. říčním kilometrem, který byl vybrán z důvodu historických ničivých povodní převážně v obci Kounov a stále chybějících, nedokončených protipovodňových opatření (Peláková a Kašpárek 2019). Vodní tok Dědina byl v minulosti ovlivněn napřimováním úseků toku, jejich zahloubením, intenzivním zemědělstvím v nivě a využíváním drenáží (Dobruška ©2021). Tyto faktory postupně snižovaly schopnost přirozeně udržet a zasakovat vodu, zvyšovaly rychlost povrchového odtoku a tím vznikalo větší ohrožení povodněmi a suchem. Motivací pro zvolení tohoto tématu bylo naučit se pracovat v programu HEC-RAS, porozumět problematice a posoudit vztah lidských zásahů do krajiny a přirozenosti či ekologie toku v souvislosti s revitalizacemi, zemědělstvím a zastavováním v blízkosti toku. Řešit toto téma je důležité pro kvalitní ochranu území a intravilánu před povodněmi, pro podklad k realizaci potřebných opatření nebo informovanost obyvatel o problematice.

Vlastní práci předchází zpracování rešeršní části, která shrnuje poznatky o charakteristikách povodí, povodích, objektech na vodních tocích a matematickém modelování. Vlastní část se zabývá sestavením hydrodynamického modelu, se kterým souvisí charakteristika zájmového území a vodního toku a terénní průzkum území. Cílem práce je vyhodnocení sestaveného modelu, vykreslení zátopových čar pro N-leté průtoky, hydrotechnické posouzení stavu vodního toku a průtočnosti objektů na vodním toce.

Pro jednotlivé N-leté průtoky byl sestaven hydrodynamický matematický model ustáleného proudění. Do modelu vstupovala data hydrotechnická, hydrologická a výškopisná. Ta byla poskytnuta Českým hydrometeorologickým ústavem, státním podnikem Povodí Labe a Českým úřadem zeměměřičským a katastrálním. Vlastní část práce byla zpracována v programu HEC-RAS 6.1, který byl vyvinut inženýrským centrem armády Spojených států, a v programu ArcMap 10.0.1.

Díky hydrodynamickému modelu je zřejmé, že intravilán v okolí řešené části je povodněmi ohrožen a že objekty z hydrotechnického hlediska pro stoletý průtok nejsou kapacitní. Práce by mohla sloužit jako podklad pro realizaci protipovodňových opatření na řešené části vodního toku Dědina, která by snížila rizika povodňových vln a ochránila zastavěné části území.

2 Cíle práce

Tato práce je soustředěna na následující cíle:

1. Hydrotechnické posouzení stávajícího stavu vodního toku a průtočnosti objektů.
2. Sestavení hydrodynamického modelu a vykreslení zátopových čar pro N-leté průtoky.
3. Zpracování rešeršní části na téma povodně a matematické modelování.
4. Ucelenost informací pro následné využití například obcí, správcem povodí, pro informovanost obyvatel.
5. Poukázat na problematiku řešeného území s cílem představit ohroženost lokality a případný návrh opatření.
6. Vlastním přínosem je práce v programu HEC-RAS, rozšíření znalostí.

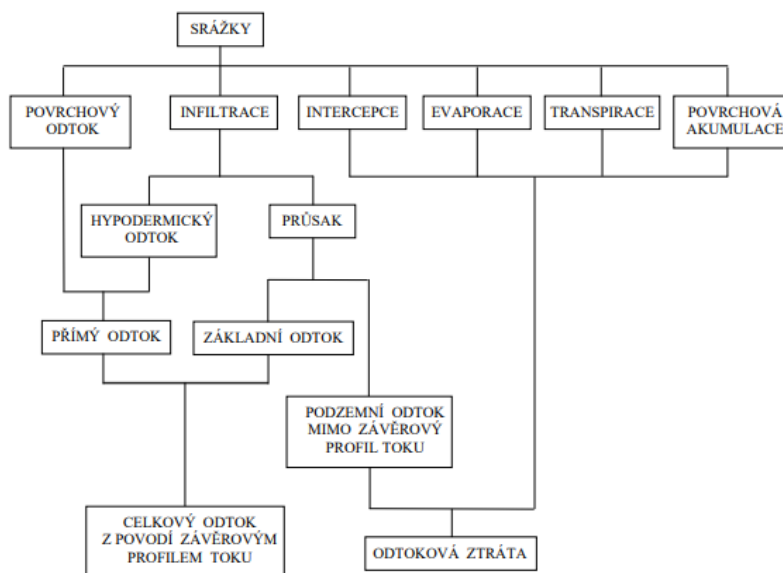
3 Oběh vody v přírodě

O původu vody na naší planetě existuje několik teorií, které jsou však nevyjasněnou vědeckou hádankou. Voda je obnovitelným přírodním zdrojem. Voda podmiňuje existenci živých organismů, fyziologické procesy, transport látek, ovlivňuje morfologické procesy a utváří krajinný reliéf. Vymezuje klimatické zóny, limituje způsoby využívání krajiny a diferencuje ekosystémy (Slavík a Neruda 2014). Na zemi je nejrozšířenější látkou, její objem je pokládán za stálý (Jandora 2005). Z celkové rozlohy země zabírají vodní plochy asi 71 %. Rozložení vody na planetě je nerovnoměrné, nejvíce vody je soustředěno v oceánech (70,8 % vodní plochy). Zásoba sladké vody se ze 77 % nachází v ledovcích, polárních a horských oblastech a z 22 % v kolektorech podzemních vod. Jezera, řeky a přehradní nádrže akumulují 1 % sladkých vod (Nace 1984). Zdroje sladké vody jsou však omezovány dostupností vod v místě potřeby, množství a kvalitě (Slavík a Neruda 2014).

Hydrologický cyklus neboli oběh vody, který je schematicky popsán na obrázku č. 1, probíhá nejen na globální úrovni, ale i v prostorově menších jednotkách, z nichž základní je povodí. Oběh vody je proměnlivý a pohyblivý v časových a prostorových měřítcích, v různých sférách zemského povrchu. Voda se na zemi nachází ve všech svých skupenstvích – pevném, kapalném a plynném (Slavík a Neruda 2014). Působením sluneční energie se voda nepřetržitě vypařuje, vypařená voda je transportována vzdušnými proudy. Vodní pára poté kondenzuje a na zem se opět dostane v podobě srážek. Vsakuje se do půdy, stéká po povrchu, koncentruje se a neustále se vypařuje, vzniká tak velký oběh vody-mezi oceánem a pevninou a malý oběh vody-mezi oceány či bezodtokými oblastmi pevniny. Koloběh vody je vyjadřován bilančními rovnicemi, popsáno v kapitole 3.2 (Jandora 2005). Hydrologický cyklus je složitý systém sestávající z dílčích cirkulačních subsystémů. Z výsledných zjištění je patrné, že do oceánu se vrací méně vody ve formě srážek v porovnání s množstvím odpařené vody. Oproti tomu na pevniny dopadá v porovnání s odpařenou vodou více vody ve srážkách. Také lze konstatovat, že rozdíl v hydrologické bilanci oceánu a pevniny je vyrovnán podzemním a povrchovým odtokem (Klabzuba a Kožnarová 2004).

Transformace srážek na odtok z povodí je jednou z nejzásadnějších otázek hydrologie. Základním vstupem do srážko-odtokového procesu jsou srážky, které dopadnou na povrch, dochází k jejich hromadění a následnému výparu nebo odtékají

přímo do vodního toku po povrchu země. Část srážek se vsakuje do půdy, v závislosti na charakteristikách podloží. Dále se srážky uchycují na vegetaci. Pomocí povrchového či podpovrchového odtoku se dostanou do vodního toku či se stanou součástí organické hmoty a jsou uvolňovány formou rostlinného dýchání (Brutsaert 2005).



Obr. č. 1: Schéma odtokového procesu (ČSN 75 0110, 2010)

3.1 Základní terminologie

Jak již bylo zmíněno, množství vody, které se vyskytuje v atmosféře, horninách a na povrchu země je přibližně konstantní. Voda přechází neustále z jednoho prostředí do druhého, tento pohyb se nazývá hydrologický cyklus. Zdrojem energie vody je sluneční záření, zemská gravitace, geochemická energie a zemská tepelná energie. Hydrologický cyklus je složen z několika hlavních částí, kterými jsou srážky, odtok, infiltrace a evapotranspirace (Pačes 1982).

3.1.1 Infiltrace

Vsakování vody ze srážek, povrchových vod či roztáhlého sněhu do půdy se nazývá infiltrace. Infiltrace je podmínkou pro vznik podzemní vody. Schopnost krajiny k vsaku významné části srážek do podzemních vod snižuje rizika povodňových situací. Dostatek podzemní vody pomůže překonat období sucha. Schopnost vody infiltrace do půdy závisí na srážkovém úhrnu a klimatických parametrech, antropogennímu využití územní člověkem, půdních poměrech, sklonu území a vyskytujících se horninách. V důsledku urbanizace jsou negativní dopady na vsak vody do půdy a vznik podzemních vod zvyšovány, proto je v dnešní době kladen důraz na zlepšení

přirozené infiltrace vod a její kvality. (Datel a kol. 2021). Infiltraci lze popsat dvěma faktory, kterými je rychlost infiltrace a celkové množství vsáklé vody. Dále se dělí na stacionární a nestacionární (Kutílek a kol. 1993).

Obsah vody v půdě ovlivňuje míru infiltrace. Čím víc je půda nasycená, tím se infiltrace snižuje a naopak. Vysoká nasycenost půdy představuje riziko vysokého povrchového odtoku při intenzivních srážkách (ČHMÚ ©2021 a). Schopnost infiltrace charakterizují hydrologické skupiny půd, označeny A-D, kde: skupina A – půdy písčité, štěrkové s vysokou schopností infiltrace ($>0,20$ mm/min), skupina B – půdy hlinitopísčité až jílovitohlinité se střední rychlostí infiltrace (0,10 až 0,20 mm/min), skupina C – půdy jílovitohlinité s nízkou schopností infiltrace (0,05 až 0,10 mm/min), poté skupina D – jílovité půdy a trvale zamokřená území s velmi nízkou schopností infiltrace ($<0,05$ mm/min) (Janeček a kol. 2008). V hydrologickém cyklu vzniká infiltrace díky srážkám a dále, dle již zmíněných podmínek, tvoří hypodermický odtok či průsak.

3.1.2 Odtok

Odtok je definován jako množství vody odtékající za určitý čas z povodí (Shaw 1994). Odtok vody z povodí závěrovým profilem je tvořen přímým odtokem, který se skládá z povrchového a hypodermického odtoku, a základním odtokem. Povrchový odtok vzniká díky srážkám, hypodermický díky srážkám infiltrovaným do půdy. Základní odtok je tvořen srážkami, které se infiltrují do půdy a prosáknou k hladině podzemní vody. Na povodí však vzniká také **odtoková ztráta**, kterou tvoří odtok podzemní vody mimo závěrový profil toku. Odtokovou ztrátu ovlivňuje také evapotranspirace, intercepce a povrchová akumulace (Janeček a kol. 2008). Odtok je ovlivněn celou řadou činitelů, například klimatickými podmínkami, reliéfem a sklony, tvarem a plochou vodního toku, geologickým podložím, využitím území a dalšími.

Přímý odtok zahrnuje odtok povrchový a hypodermický. Je hlavní příčinou zvýšených průtoků, vodní eroze či povodní (Brutsaert 2005).

Povrchový odtok

Ke zvýšenému povrchovému odtoku dochází, pokud jsou vysoké krátkodobé přívalové deště, jejichž úhrn a intenzita je vyšší než schopnost půdy vodu akumulovat či infiltrovat, nebo při jarním tání, kdy se voda nestačí vsakovat do

vodou nasycené či zmrzlé půdy. Voda odtéká plošně, poté se soustřeďuje v přirozených terénních rýhách, sníženinách a údolnicích (Janeček a kol. 2008).

Podpvrchový (hypodermický) odtok

Pokud voda infiltrovaná do půdy stéká po mělké, málo propustné vrstvě, nedosahuje hladiny podzemní vody a vyvěrá opět na povrch, vzniká odtok hypodermický (Janeček a kol. 2008).

Základní odtok je tvořen vodou, která infiltruje až k hladině podzemní vody. Je nazýván také podzemní odtok. Tento odtok nemá vliv na povodňovou vlnu z přívalových srážek (Janeček a kol. 2008). Je to část odtoku, která se s časem začne ukládat do podzemních vod. Měření a modelování základního odtoku se využívá pro předpověď průtokové rychlosti daného povodí. Tím lze předurčit chování toku při základním odtoku, při přívalové srážce, suchu či dlouhodobých deštích. Největší podzemní odtok bývá v lokalitách přirozeně zalesněných a v krasových oblastech. Podpvrchová voda je významná z hospodářského hlediska, protože má většinou lepší fyzikální a chemické složení než voda povrchová. Je tedy zdrojem vody pro obyvatelstvo (Brutsaert 2005).

3.1.3 Evapotranspirace

Evapotranspirace je sjednocujícím názvem pro evaporaci neboli vypařování, a transpiraci neboli předávání vody do atmosféry rostlinami. Tyto jevy lze od sebe těžce odlišit, jsou propojené (Pačes 1982). Evaporace tvoří 90 % vlhkosti v atmosféře Země, transpirace 10 %. K odpařování dochází především díky slunečnímu teplu, které ohřívá povrch země. Pokud je voda v kapalném stavu, molekuly vody se volně pohybují blízko sebe. Při ohřevu se prostor mezi molekulami zvětšuje, pohybují se rychleji, zvyšuje se kinetická energie, až molekuly unikají jako plyn. Tím se mírně ochlazuje povrch. Po odpaření stráví v atmosféře molekula vody ve stavu vodní páry přibližně deset dní. Tím, jak vodní pára stoupá atmosférou, dochází k jejímu ochlazení. Molekuly kondenzují, shromažďují se, vytvářejí mraky a následně srážky (National Geographic Society ©1996). Výrazný vliv na rychlost výparu má rychlost vzduchu, s rostoucí rychlostí se výpar zvětšuje. Intenzitu výparu ovlivňuje také velikost plochy, ze které se voda odpařuje, čím je plocha menší, tím je výpar efektivnější (Klabzuba a Kožnarová 2004).

Výpar je možné definovat jako množství vody, která se vypaří do ovzduší z volné hladiny vody, sněhové pokrývky, půdy za jednotku času (Klabzuba a Kožnarová 2004). Je ovlivněn klimatem, pokud jsou teploty vyšší, je výpar větší (Němec 1965). Pokud je voda po delší dobu akumulována, například zůstane v prohlubních terénu, může se výpar více uplatnit (Kemel 1996). Evaporace je označení pro výpar z půdy.

Transpirace je forma vypařování vody z listů, stromů či rostlin. Závisí na meteorologických a biologických faktorech, lokalitě, půdní vlhkosti (Serrano 1997). Je existenční podmínkou suchozemských rostlin, ochlazuje asimilační orgány a transportuje látky (Klabzuba a Kožnarová 2004). Druh vegetace a využití půd má na transpiraci značný význam. Rostliny s hluboko sahajícími kořeny dokážou transpirovat více, rostliny s menšími listy obecně transpirují méně. Byliny tedy transpirují méně než dřeviny, jehličnany více než listnaté stromy, zejména v období vegetačního klidu. Záleží i na růstové fázi rostliny (Swank a Douglass 1974).

3.1.4 Intercepce

Intercepce je proces, kdy je část srážkové vody zadržena na zemském povrchu. Jedná se o to, co po dešti zůstane mokré, tedy o vegetaci, střechy, komunikace, půdu, louže, tůňky v prohlubních skal či v pařezech. Tato voda není infiltrována do půdy a ani neodteče ve formě povrchového odtoku. Proto je množství těchto srážek, které jsou následně ze zemského povrchu vypařeny, v hydrologickém cyklu bráno jako intercepční ztráta (Brutsaert 2005). Hodnota intercepční ztráty závisí na trvání a intenzitě srážky, vegetaci a faktorech ovlivňující výpar. Podle Gerritse (2010) se zvyšujícím se větrem rychlost infiltrace klesá, dle Wanga a kol. (2007) se zvyšující intenzitou srážky klesá potenciál intercepce. U lesů je pro intercepci zásadní struktura a složení stromů. U listnatých stromů je důležitý typ listů, směr růstu a struktura. Na drsnější vegetaci se voda, než se vypaří, dokáže zachytit po delší dobu. Jehličnany díky přilnavosti jehlic mohou kapky zadržet déle než listnáče. Intercepce je v rámci hydrologického cyklu často zanedbávaná, avšak v určitých prostředích hraje zachycená voda na vegetaci významnou roli v celkové bilanci (Black 1996).

3.2 Typy srážek

Jednou z hlavních složek koloběhu vody v přírodě jsou srážky. Dle jejich průměrného množství a frekvence jsou charakterizovány přírodními oblastmi, spolu s teplotou vzduchu určují krajinný ráz. V přírodních podmínkách České republiky

má na stav množství vod vliv převážně srážková činnost, ochrana vod, racionální nakládání s vodami a vytváření podmínek pro vyšší akumulární schopnost krajiny (Starý 2005). Srážky jsou částice pevného či kapalného skupenství, které vznikly následkem kondenzace (srážení, zkapalňování par) či desublimace (přeměna plynného skupenství v pevné) vodní páry v ovzduší. Tyto jevy probíhají převážně v atmosféře, dále na povrchu země, rostlin či těles. Srážky jsou rozlišovány dle skupenství, původu, délky výskytu a příčiny vzniku (Kopáček a kol. 2020).

3.2.1 Rozdělení dle skupenství

Kapalné: Déšť jsou vodní kapky o průměru 0,5 mm a větším, která padají maximální rychlostí 4 m/s. Teplota je nižší než teplota okolního vzduchu přibližně o 3-5 °C. **Mrholení** je slabá stejnoměrná srážka, kdy hustě padající kapičky nepřesáhnou velikost 0,5 mm. V ovzduší klesají pomalu, rychlost je maximálně 4 m/s, pro malou tíhu jsou unášeny větrem. **Mžení** je popisováno jako mrholení za mlhy. **Rosa** jsou malé vodní kapky, které vznikají při teplotě povrchu předmětu nižší, než je rosný bod okolního vzduchu. Objevuje se ráno a večer, obvykle za bezvětřných dnů (Kemel 1996).

Pevné: Déšť se sněhem vzniká při teplotě 0 °C, kdy jsou na ledových krystalcích namrzlé vodní kapky. **Zamrzlý déšť** jsou zmrzlé vodní kapky kulového tvaru s průměrem 1-4 mm. Vyskytuje se v zimním období za mírného mrazu při zemi, obvykle padá na teplé frontě. **Kroupy** jsou velké ledové kapky kulového tvaru s průměrem 5-50 mm, vznikají v období letních bouřek. **Sněhové krupky** jsou bílé částičky s drsným povrchem a průměrem 2-5 mm. Zpravidla se vyskytují před sněžením nebo deštěm v teplotách kolem 0 °C. **Sníh** jsou částice hvězdicového tvaru tvořeny z nahodile uspořádaných krystalek ledu. Při teplotě okolo 0 °C vznikají větší a těžší vločky. Sněhová pokrývka je velmi důležitým přírodním činitelem, který má vliv na teplotu vzduchu, teplotu půdy pod sněhem a odrazuje teplo. Je zdrojem zimní vláhly a zásobárnou vody vodních toků při jarním tání. **Ledové jehlice** padají za silných mrazů, jsou to malé protáhlé ledové krystalky (Kemel 1996).

3.2.2 Rozdělení dle způsobu a místa vzniku

Horizontální srážky jsou tvořeny kondenzací vodních par přímo na povrchu země, rostlinách či předmětech. Lze je nazývat srážky usazené. Mezi ně se řadí například jinovatka, rosa, ledovka či námraza. Obvykle tyto srážky nelze zachytit

srážkoměrnými přístroji (Jandora 2005). Oproti vertikálním srážkám je množství horizontálních během hydrologického roku nízké. Jsou však velmi důležité pro zachování života rostlin v období, kdy je vertikálních srážek málo, protože jsou často schopny pokrýt minimální množství potřebné vody (jsou významné například pro zemědělství) (Kopáček a kol. 2020). Jejich vydatnost například u rosy činí 2-3 % ročních srážek (Jandora 2005).

Vertikální srážky vznikají ve volné atmosféře, záleží však na aktuálních meteorologických podmínkách, podle nichž vypadávají z atmosféry, například jako sníh, déšť nebo kroupy. Jsou srážkami padajícími z oblaků, přinášejí základní vláhu (Kopáček a kol. 2020).

3.2.3 Rozdělení dle původu

Orografické neboli terénní srážky mají dlouhou dobu trvání a nižší intenzitu. Vznikají při ochlazování vzdušných proudů, které jsou usměrněny horským reliéfem do vyšších vrstev atmosféry (Pavelková a Frajer 2013).

Cyklonální srážky neboli frontální, regionální, jsou spojeny s tlakovou níží. Na jednu stranu tlakové níže (cyklóny) se váže teplá fronta vzduchu, na druhou stranu studená fronta vzduchu. Mají trvalý charakter, jejich intenzita je závislá na vlhkosti vzduchu. V teplém období se vyskytují v podobě přeháněk (Pavelková a Frajer 2013).

Konvekční či termické srážky jsou charakteristické vysokou intenzitou a malou zasaženou plochou. Tvoří se při ochlazování teplých vzdušných proudů, které stoupají od zemského povrchu po dnu s vysokou denní teplotou a vysokým výparem. Projevují se často bouřkami, mají přehánkový charakter, nejčastěji jsou tvořeny velkými kapkami, kroupami (Pavelková a Frajer 2013).

3.2.4 Rozdělení dle délky trvání

Pro správnou představu o časovém průběhu srážek a jejich plošnému rozložení je nezbytné srážky měřit a získaná data zpracovávat. **Výška srážek** (v mm) je množství srážek (tloušťka vrstvy vody) na dané ploše bez odtoku, vsaku, výparu. **Srážkový úhrn** (v mm) je množství srážek, výška vrstvy vody, vypadlé v bodě (srážkoměrné stanici). **Intenzita** (v mm/min, mm/h) je podílem srážkového úhrnu a časového trvání deště. Na charakteristice intenzity deště je závislá odezva povodí, kdy vzniká povodňová vlna, která při dosažení kulminačního průtoku a určitého objemu může způsobit značné škody, proto má význam charakteristiky deště sledovat (Kemel

1996). Srážky závisí na přírodních podmínkách. Přesto, že jsou náhodnou veličinou, lze u nich pozorovat jisté zákonitosti a pravděpodobnost výskytu. Ty vychází z dlouhodobého pozorování. Úhrn srážek je měřen srážkoměrem neboli ombrometrem, na nepřístupných místech totalizátorem, časový průběh poté zaznamenává ombrograf. Dále jsou využívány impulzivní srážkoměry a meteorologické radary. Výška sněhové pokrývky je měřena sněhoměrnou latí. Srážkové poměry území charakterizují takzvané izohyety, což jsou čáry spojující místa se stejným srážkovým úhrnem (Jandora 2005).

Dle intenzity lze déšť dělit na: slabý (úhrn menší než 1 mm/h), mírný (úhrn 1-5 mm/h), silný (úhrn 5-10 mm/h), prudký (úhrn 10-15 mm/h), lijavec (úhrn 15-23 mm/h), přivalový (úhrn 23-58 mm/h), průtrž mračen (úhrn více než 58 mm/h). Srážky s rychle proměnlivou intenzitou se nazývají přehánky, mají nečekaný začátek a konec, který závisí na střídání oblaků o různé hustotě (Kemel 1996).

Dle délky trvání se srážky dělí na: dlouhodobé (neboli krajinné, regionální) a krátkodobé (neboli místní, přivalové). Dlouhodobé trvají několik hodin až dní, intenzita je plošně a časově proměnlivá, bývají méně intenzivní než krátkodobé, avšak celkové množství vypadlé vody je velké (Kemel 1996). Tyto deště doprovázejí oblast tlakové níže. V nízkých polohách nepřesahují 80 mm za den, avšak v horských oblastech může intenzita výrazně vzrůst (Jandora 2005). V rámci velkých povodí způsobují tyto deště povodně. Oproti tomu krátkodobé jsou charakteristické krátkou dobou trvání, velkou intenzitou a malou plochou, kterou zasáhnou (Kemel 1996). Svým zásahem prudce rozvodňují malé vodní toky a způsobují silnou vodní erozi. Intenzita krátkodobých dešťů postupně s časem klesá, na začátku je tedy nejsilnější. Čím je intenzita větší, tím je velikost zasažené plochy nižší. Přivalové deště jsou charakterizovány periodicitou, ta udává, kolikrát je déšť určité intenzity v rámci jednoho roku v průměru dosažen či překročen. Převrácenou hodnotou periodicity je průměrná doba opakování N, jež udává průměrný počet let, kdy je déšť určité intenzity dosažen či překročen (Jandora 2005).

3.3 Hydrologická bilance

Bilance vyjadřuje celkovou změnu zásob povrchové, půdní a podzemní vody na určité ploše za sledované období, z hlediska množství a jakosti vody. Plochou je míněno povodí, hydrogeologický rajon či vodní útvar. Hydrologickou bilanci každý rok vypracovává Český hydrometeorologický ústav či Výzkumný ústav T. G.

Masaryka. Podklady k vyhodnocení, údaje o vypouštění, odběrech, akumulaci vod, převodech vody mezi povodími, předkládají správci povodí. Stanovuje se pro každý měsíc a pro uplynulý hydrologický rok, po třech letech je posuzován dlouhodobý vývoj bilance. Řeší se pro různá období (vegetační, mimo vegetační) a pro mimořádné meteorologické situace (srážkový deficit, srážkový přebytek), díky výsledkům bilance je možné operativně regulovat vodní poměry v oblasti. Využívá se zejména pro plánování v oblasti vod, rozhodování vodoprávních úřadů, pro návrhy opatření proti nepříznivým stavům bilance (Slavík a Neruda 2014).

Vstupními parametry do hydrologické bilance pro řešenou plochu jsou zdroje vod (atmosférické srážky, přítoky povrchové a podzemní vody z jiných území či umělé přesuny vod) a ztráty vod (výpar z vodních ploch a povrchu, evapotranspirace, odtok a odběr vody z povodí, jímání vod povrchových a podzemních. Bilance je charakterizována bilanční rovnicí (Domenico a Schwartz 1998):

$$\Delta S = P - Q - ET,$$

Rovnice č. 1: Bilanční rovnice

kde: ΔS [mm] je změna zásob vody na sledované ploše, P [mm] je úhrn srážek, ET [mm] je evapotranspirace vody, Q [mm] je celkový odtok vody, tedy součet povrchového, podpovrchového a základního odtoku.

4 Povodí a jeho vlastnosti

Z hydrologického hlediska je Česko významnou evropskou pramennou oblastí, to především díky geologii území. Nachází se zde hlavní evropské rozvodí, které rozděluje republiku a tři části. Těmi jsou povodí Labe, s hlavními toky Vltavy a Labe a úmořím v Severním moři, dále povodí Odry, s hlavním tokem Odrou a Lužickou Nisou a úmořím v moři Baltském, a povodí Dunaje, s úmořím v Černém moři a hlavními toky Moravou a Dyjí. O správu povodí se v České republice starají státem zřízené organizace, kterými jsou Povodí Vltavy, Povodí Labe, Povodí Ohře, Povodí Moravy a Povodí Odry. Řeky v Česku tvoří asi 2% plochy z celkové rozlohy.

Znalost charakteristik, vlastností vodních toků, jejich propojení a znalost souvisejících jevů napomáhá nejen k pochopení přírody a udržení krajiny, revitalizaci a návratu toků k jejich přirozenému stavu, zlepšení kvality vody, zachování vodních organismů, ale i k ochraně obyvatel před negativními aspekty krajiny a tvorbě vhodných opatření jak pro obyvatele, tak pro nenarušený krajinný ráz.

4.1 Základní charakteristiky

Hydrografická síť je soustava vodních povrchových útvarů vyskytujících se na ploše povodí (Trizna 2007).

Povodí tvořeno vodními toky je základní prostorovou jednotkou hydrologie. Je to území, z něhož je odváděna voda ze srážek, ledu či sněhu k závěrnému profilu povrchovým, podpovrchovým či podzemním odtokem. Povodí jsou od sebe vymezena rozvodnicí, což je smyšlená hranice mezi sousedními povodími. V hydrologii je povodí bráno jako uzavřená jednotka. Délka povodí je přímočarou vzdáleností ústí od nejvzdálenějšího bodu povodí. Plocha povodí se nejčastěji odvozuje z mapového podkladu, jedná se o plochu půdorysného průmětu do vodorovné roviny. Reálná plocha je z důvodu členitosti terénu větší, proto je vhodné pro určení využít digitální modely terénu. Střední šířka povodí je poměr plochy povodí a délky vodního toku. Kvantitativní charakteristikou povodí je jeho tvar, kruhovitý nebo protáhlý, symetrický či asymetrický. Dále se určují výškopisné poměry povodí a jiné charakteristiky (Keml 1996).

Rozvodnice, jak již bylo zmíněno, je smyšlená čára mezi povodími. Rozlišuje se orografická rozvodnice – jedná se o hřbetnici, vymezuje povodí povrchové vody,

vede od závěrného profilu po nejvyšších bodech na povodí. Poté rozvodnice hydrogeologická, vymežující povodí podpovrchových vod, která závisí na geologické stavbě, střídání propustných či nepropustných vrstev, kdy může podzemní voda odtékat do jiného povodí než povrchová voda vymezená orografickou rozvodnicí. Délka rozvodnice se rovná obvodu povodí (Hrádek a Kuřík 2008).

Uzávěrový profil je místem, kde odtéká všechna voda z povodí. V tomto místě bývá měřen odtok a s tím určovány charakteristiky povodí (Hrádek a Kuřík 2008).

Údolnice je čára, která spojuje uzávěrový profil, pramen hlavního toku a od něj pokračuje k rozvodnici. Délka údolnice se měří jako součet délky hlavního toku a délky prodloužení od pramene hlavního toku až k rozvodnici (Ruda 2014).

Pramen je přirozený vývěr soustředěné podzemní vody na zemský povrch. Za příznivých podmínek se od pramene tvoří vodní tok, který vyvěrající vodu vede do říční sítě. V ČR existuje pozorovací síť pramenů, u nichž je měřena teplota, pH a vydatnost. Dle způsobu vývěru jsou rozlišovány na prameny sestupné, přelivné a výstupné (Netopil a kol. 1984).

Ústí je místem, kde se vodní tok vlévá do moře, jezera, jiného toku (Netopil a kol. 1984).

Vodní tok je definován jako útvar, který se vyznačuje stálým či dočasným pohybem vody v korytě ve směru celkového sklonu a je napájen z vlastního povodí či jiného vodního útvaru. Vodní toky se dělí na stálé, občasné a podzemní. Počátek vodního toku je v hydrologicky určeném pramenu a konec je zaústění toku do toku vyššího řádu (Linhartová a kol. 2006).

Hlavní tok je nejdelším tokem v povodí, jehož směr je stejný jako směr povodí a míří k rozvodnici. Jeho délka se měří od pramene po soutok s tokem vyššího řádu (Krešl 2001).

Hustota říční sítě je celkovou délkou vodních toků na jednotku plochy území, povodí. Vliv na uspořádání sítě má geologické podloží povodí. Pro malá povodí je důležitá dočasně se soustřeďující voda v erozních rýhách, kterými odtéká voda při povrchovém odtoku. Malá povodí s jedním tokem mají velmi jednoduchou říční síť, oproti tomu velká povodí tvoří rozsáhlé soustavy různých tvarů, například vějířovité, stromovité, pérovité (Krešl 2001).

Hydrologické pořadí dle vyhlášky č. 393/2010 Sb., určuje zařazení vodních toků podle příslušností k povodí na území ČR. Je to devítimístné číslo sestaveno z pěti skupin: X–XX–YY–ZZZ/0. První skupina X určuje příslušnost do povodí hlavního toku I. řádu, tedy: 1 – Labe, 2 – Odra, 3 – Dunaj. Druhá skupina XX určuje příslušnost do dílčích povodí hlavního toku. Třetí skupina YY udává hydrologické pořadí dalšího dělení dílčích ploch povodí hlavního toku na jednotlivé přítoky a čtvrtá skupina ZZZ určuje pořadí detailních plošek povodí v rámci dílčích ploch povodí. Skupina pátá 0 je využívána, pokud jsou děleny detailní plošky povodí v rámci dílčích ploch povodí (Linhartová a kol. 2006).

4.2 Typy otevřených koryt

Otevřená koryta (s volnou hladinou) mohou být **přírodní** či **umělá**. Přírodní lze dále rozdělit na přirozená a upravená. Přirozená jsou charakteristická nepravidelným geometrickým průřezem, mají erodovatelné břehy a pohyblivé dno. Upravená mají většinou opevněné pouze břehy, nikoli dno a mají spíše pravidelný průřez, většinou lichoběžníkový. Přirozená lze najít spíše v extravilánu, v intravilánu upravené. Oproti tomu umělá koryta se vyznačují většinou pravidelným geometrickým průřezem, lichoběžníkovým, obdélníkovým. Dno a břehy jsou opevněny. Typem umělého přímého koryta je takzvané prizmatické, u kterého jsou tvar průřezu, drsnost omočeného obvodu a sklon dna neměnné po celé délce koryta (Sturm 2001).

4.3 Proudění

Dle způsobu chování toku v čase je tok popisován jako ustálený nebo neustálený. Proudění je ovlivňováno charakterem a intenzitou srážek, rozdělením srážek na plochu povodí v čase, teplotou, charakteristikami povodí či zásobou podzemní vody (Dvorský 2018).

4.3.1 Typy proudění

Pokud je v daném časovém intervalu průtok konstantní, proudění je považováno za ustálené. To se poté rozděluje na rovnoměrné (průřezová rychlost je konstantní, prizmatická koryta), nerovnoměrné (průřezová rychlost je proměnná). Pokud dochází ke změně průtoku, průřezové rychlosti či se mění hladina, chování proudění v toku je neustálené. V přírodě se vyskytuje povětšinou proudění neustálené, pokud je ustálené tak nerovnoměrné. V praxi je za stabilní tok považován takový, jehož rychlost a hloubka kolísá rovnoměrně mírně kolem konstantní hodnoty (Smith 1975). Spojnice

bodů s nejrychlejším pohybem v korytě toku se nazývá proudnice. Voda se však téměř vždy vyznačuje turbulencí, což znamená, že se pohyb mění každým okamžikem a částice se nepohybují po rovnoměrných cestách, proudnice je tedy vyjádření průměrného vzorce pohybu. Příčný profil toku, což je plocha svislého řezu tokem ke směru k proudnici, se skládá z plochy, kde proudí voda – takzvaný průtočný profil a z mrtvého prostoru, kde jsou rychlosti velmi malé a neměřitelné. O změnách sklonu dna od pramene k ústí informuje spádová křivka, která souvisí s podélným profilem toku, určuje proměnlivost procesů odehrávajících se v toku, které se v jednotlivých částech (pramen, horní tok, střední tok, a další) od sebe liší (Gordon a kol. 2004).

Existují dva odlišné režimy proudění kapaliny, které svými pokusy popsal Osborne Reynolds. Ty se nazývají laminární (viz. lamina = vrstva) a turbulentní (viz. turbulentus = neuspořádaný) (Mattas 2014). Při laminárním typu se molekuly kapaliny pohybují v plynulých a navzájem rovnoběžných drahách, zatímco při pohybu turbulentním mají částice kapaliny nepravidelné dráhy a rychlosti pohybu (Chow 1959). Při proudění s volnou hladinou v praktických příkladech se obvykle vyskytuje turbulentní proudění. Základem rozlišení těchto režimů je Reynoldsovo číslo:

$$Re = \frac{vl}{\nu}$$

Rovnice č. 2: Reynoldsovo číslo

kde: v je střední průřezová rychlost proudění, l je charakteristický rozměr – pro otevřená koryta hydraulický poloměr či střední hloubka) a ν kinematická viskozita kapaliny (Henderson 1966).

Pro otevřená koryta odpovídá horní hranice laminárního proudění podmínce $Re \sim 580$. Plně turbulentní pohyb je pro otevřená koryta při $Re > 3450$. Mezi laminárním a turbulentním pohybem se nachází takzvaná přechodná oblast pohybu (Mattas 2014).

Dle hodnoty Froudova čísla je proudění rozlišováno na řící (podkritické), $Fr < 1$; kritické, kdy $Fr = 1$; bystřinné (nadkritické), kdy $Fr > 1$. Froudovo číslo je parametr, který popisuje vztah, jak rychle proudí tekutina vzhledem k rychlosti šíření vlny, kdy:

$$Fr = \frac{v}{c}$$

Rovnice č. 3: Froudovo číslo

kde v je střední rychlost proudění v daném příčném řezu, c je rychlost šíření vlny závislá na tíhovém zrychlení a hydraulické výšce.

Pokud vznikne vlna na neproudící vodě, šíří se rovnoměrně všemi směry. Pokud vznikne na proudící vodě, při podkritickém proudění ($v < c$) se bude šířit i proti proudu, naopak při nadkritickém proudění ($v > c$) je vlna unášena a proti proudu nešířena. Při kritickém proudění ($v = c$) zůstává vlna stacionární (Çengel a Cimbala 2017).

Na vodní tok a proudění vody mají vliv splaveniny a plaveniny. Splaveniny se pohybují po dně a plaveniny jsou unášeny ve vodním proudu. S charakterem proudění se mění tvar, zrnitost a pohyb dnových útvarů. Dle proudění, rozměrů koryta, sklonu a sedimentačních rychlostí jsou tvořeny formy útvarů na dně, například duny, tůňe, vrásky a další. Pokud je zvětšena drsnost vlivem dnových útvarů, je zvětšena hloubka vody. Voda může nízkou rychlostí protékat splaveninovými útvary v aluviálním dnu, které je tvořeno naplaveninami. Naplaveniny ovlivňují turbulenci a odpor vody, s časem se mění hloubka vody. Transport splavenin zmenšuje rychlost vody. Pokud je tedy dno toku zbaveno splavenin, lze očekávat větší průtokové rychlosti a větší odnos splavenin (Dvorský 2018).

4.3.2 Výpočty proudění v otevřeném korytě

Rovnice kontinuity je rovnicí vyjadřující zákon zachování hmoty, popisuje vztah mezi rychlostí proudění v a obsahem průřezu S v jednom místě uzavřené trubice při ustáleném proudění ideální kapaliny (Chow 1959):

$$Q_v = S * v = \frac{\Delta V}{\Delta t} = konst..$$

Rovnice č. 4: Rovnice kontinuity

Chézyho rovnice je dle současného poznání nejpoužívanější rovnicí pro výpočet rychlosti proudění v [m/s] v tocích. Byla sestavena francouzským hydrologem Antionem de Chézým. Výpočet vychází z předpokladu, že se voda pohybuje v korytě jako tuhé těleso, předpokládá rovnoměrný pohyb a také to, že tření působí jen na styku vody a omočeného obvodu. Je v ní využit Chézyho rychlostní součinitel C [m^{0.5}/s], hydraulický poloměr R [m] a i sklon čáry energie (Chow 1959):

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

Rovnice č. 5: Chézyho rovnice

Manningova rovnice pro výpočet průtoku vody v říčním korytě, sestavena 1889 inženýrem Robertem Manningem, využívá Manningův drsnostní koeficient (neboli Ganguillet-Kutterův součinitel drsnosti) Dnes patří k nejpoužívanějším (Mattas 2014). Znění Manningovy rovnice je:

$$v = \frac{1}{n} * R^2 * i^{\frac{1}{2}},$$

Rovnice č. 6: Manningova rovnice

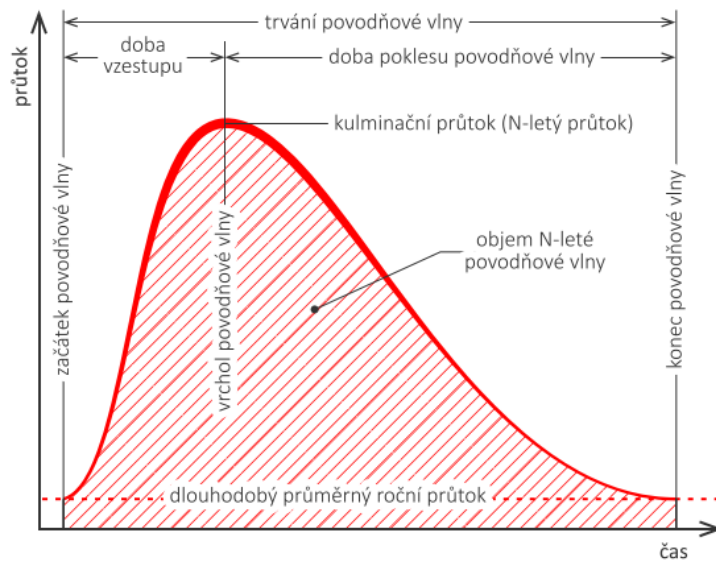
kde v [m/s] je rychlost proudění, n součinitel drsnosti, R [m] hydraulický poloměr a i [-] sklon dna (Chow 1959). Součinitel drsnosti vyjadřuje odpor koryta působící na proudící vodu. Na velikost drsnosti má vliv povrchová drsnost koryta, vegetace, půdorys koryta, nepravidelnosti koryta, překážky, zanášení a vymílání, splaveniny, sezónnost, vodní stav a průtok. Na odvození parametru existuje spousta metod, jeho určení je však ne vždy zcela jasné a přesné. Pro výše uvedené rovnice je však jeho hodnota velmi důležitá (Mattas 2014).

5 Povodně

V případě, kdy je trvání a intenzita srážky tak vysoká, že krajina není schopna zadržet vodu, dochází k povodni. Velikost povodně souvisí s retenční kapacitou povodí, na délce a intenzitě srážky, na rychlosti odtoku vody z povodí, na době koncentrace. Zákon o vodách č. 254/2001 Sb. dle § 64 rozumí povodněmi dočasné markantní zvýšení hladiny vodních toků či jiných povrchových vod, kdy voda přesahuje koryto toku a záplavou území způsobuje škody. Povodeň může způsobit neschopnost vody přirozeně odtékat, nebo může dojít k zaplavení soustředěným odtokem srážkových vod.

Charakteristikou povodně je povodňová vlna, která je popsána objemem, kulminačním průtokem a tvarem – neboli dobou vzestupu a poklesu (Obr. č. 2). Jinými slovy je povodňová vlna vlnou průtokovou, která ukazuje dočasné zvýšení vodního stavu a jeho následný pokles, což může být způsobeno například srážkami, táním sněhu či uměle. Celkové množství vody, které proteče profilem během povodně se nazývá objem povodňové vlny. Důležitou popisnou charakteristikou povodně je doba opakování neboli počet let (označeno N), kdy byl největší průtok povodňové vlny, takzvaný kulminační průtok, dosažen či překročen v dlouhodobém průměru jednou. N -letý průtok je nahodilý, k jeho opakování může dojít i několikrát v krátkém časovém intervalu. Je určován analýzami na základě dlouhodobého měření průtoků, závisí na změně klimatu či využití území. Tvar povodňové vlny ilustruje hydrogram (Kemel 1991).

Povodňovou událost ovlivňují klimatické faktory (evapotranspirace, charakteristiky srážek), počáteční podmínky v povodí (vláhová nasycenost půdy, retenční schopnost území, teplota půdy a vzduchu, vegetační kryt) a fyzicko-geografické faktory (charakter hydrografické sítě, tvar povodí, sklon a expozice svahů, geologie, pedologie lokality, využití území) (Gordon a kol. 2004). Záplavy se v nadmořských výškách liší kvůli odlišnému reliéfu svahů. Na místech, kde nemá voda možnost efektivního rozlivu do nivy, dochází ke smyvu materiálu z okolních svahů. Odnos sedimentů po proudu může vést k vytvoření zátaras, které tok přehradí a voda se kumuluje. Pokud se bariéra uvolní, může dojít k extrémnímu uvolnění energie a poškození koryta (Comiti a kol. 2008). Důsledkem povodně mohou vzniknout erozní prvky (výmoly, vymleté tůně, podélné rýhy), může být rozšířeno/zaříznuto koryto či vzniknout odstavená ramena (Wohl 2010).



Obr. č. 2: Charakteristiky povodňové vlny (Kemel 1991)

5.1 Rozdělení povodní

Existuje několik typů povodní. Různé příčiny jsou tvořeny odlišnými typy vodních toků, odtokovými režimy, způsoby využití půd související s geografii místa.

Zákon o vodách č. 254/2001 Sb. dle § 64 dělí povodně na:

- 1.) Přírozené – způsobují je přírodní jevy, tání sněhu, dešťové srážky, chody ledů;
- 2.) Zvláštní – těmi jsou zejména poruchy vodního díla, jeho havárie, nouzová řešení kritických situací na vodní stavbě.

Podle SIVS – Systému integrované výstražné služby (ČHMÚ ©neuvedeno), poskytované Českým hydrometeorologickým ústavem ve spolupráci s meteorologickou službou armády ČR jsou druhy povodní v ČR následující:

- 1) Jarní z tání sněhu – každoroční povodně, nejčastěji v březnu až dubnu, ale i při oblevách prosinec až únor. Část sněhové pokrývky akumulované v tocích roztají, zásadními faktory jsou vodní hodnota sněhu, intenzita srážek, teplota vzduchu v období tání, silný vítr, souběžné ledové povodně (například jarní povodně 2006);
- 2) Ledové – pokud došlo k zámrazu hladin vodních toků, při oteplení se led naruší, kry jsou vrstveny do ledových bariér, přehrazují koryta, vzdouvají vodu nad sebou – akumulovaná voda se rozlévá a zaplavuje pozemky v okolí toku. Pokud je bariéra ledových ker protržena, vzniká povodňová vlna

z akumulované vody (v minulosti často, Vltavě od nich pomohla Vltavská kaskáda);

- 3) Letní z trvalých dešťů – dlouhotrvající intenzivní srážky, kdy setrvává tlaková níže nad střední Evropou, návětrný efekt pohoří intenzitu zvyšuje. Srážky mají velký plošný rozsah, pokud je povodí předem nasyceno vodou, nastává problém (například katastrofální povodně červenec 1997 Morava a Slezsko, Čechy srpen 2002, červen 2013);
- 4) Přívalové – neboli bleskové, způsobují je přívalové srážky – silné několikaminutové deště, bouřkové lijáky. Pokud trvá déšť déle než hodinu, nastává významný povrchový odtok, závislý na hydrologických podmínkách povodí. Za minutu spadne 1 až 2 mm srážek. Následuje krátkodobé prudké rozvodnění malých toků, na protipovodňová okamžitá opatření tedy není čas. Vyskytují se v období květen až srpen (například historická povodeň 25.5. 1872 na Berounce);
- 5) Zvláštní – vzniklé haváriemi hydrotechnických zařízení, charakteristické rychlým vývojem, přílivovou destrukční silnou vlnou, nevyskytují se často (například havárie na Bílé Desné 1916);
- 6) Ostatní druhy – možné teoreticky, nevyskytují se v našich zeměpisných šířkách, (například protržení hráze přirozeného jezera, přehrazení toku ledovcem či lávou).

Dle Zevenbergena a kol. (2010) lze faktory způsobující povodně v zastavěných částech obecně rozdělit na šest skupin:

- 1.) Vliv silných, teplých jarních dešťů na zimní sníh v horských oblastech, způsobující rychlé tání;
- 2.) Rozsáhlé silné deště na velkých úsecích řek způsobené působením vysokého tlaku na regionální počasí;
- 3.) Bleskové povodně v podhorských a horských oblastech;
- 4.) Krátkodobé silné lokální záplavy vyvolané bouřkami na malých tocích v městských oblastech;
- 5.) Vztlak podzemní vody, při vydatných silných deštích, dle geologických podmínek;
- 6.) Přetížení či ucpání kanalizací, příčinou jsou často malé kanalizace, tímto trpí převážně zástavby v nízkých nadmořských výškách.

Dále jsou Zavenbergenem a kol. (2010) povodně popisovány jako:

- 1) Regionální – záplavy způsobené dlouhotrvajícím silným deštěm, kdy je půda nasycena, propustnost je snížena, voda tedy není schopna kvůli přesycení vsaku. Srážky za těchto podmínek okamžitě vyvolávají náhlý zvýšený odtok, který vede k záplavě;
- 2) Přívalové – jsou nerovnoměrně rozmístěny v prostoru a čase, vznikají v podhorských oblastech, suchých lokalitách a zastavěných částech s chybějícími zasakovacími prvky. Způsobují je krátké silné přívalové deště. Jsou ovlivněny nevhodným využitím krajiny.

5.2 Historie povodní v ČR

Povodně v Česku datuje již kronikář Kosmas ve 12. století, konkrétně v Praze, kdy voda strhla několik mostů v roce 1118 (Bobíková 2020). Samozřejmě, země se přirozeně s povodněmi potýkala vždy. Lidé si však začali stavět sídla v údolích řek, kde se zdály být ideální podmínky pro zemědělství, sociální život nebo rybolov. Nacházeli čím dál větší využití vody a její energie. Postupně však začali zjišťovat negativní vlivy, jako povodně či nedostatek vody a časem začali řeky ovládat. Od té doby se v kronikách nacházely povodňové záznamy. Nejsilnější ze zaznamenaných povodní jsou uvedeny níže.

Mezi největší povodně patří ve 13. století ledová povodeň roku 1272 v Praze, kdy byl Juditin most poškozen. O století později byl most znovu poškozen roku 1342 a byl nahrazen Karlovým mostem. Ve století 15. roku 1432 by při jarních deštích zničen náplavou dřeva Karlův most a opravován několik let (Bobíková 2020). Roku 1655 přišla do Prahy povodeň z jarního tání s odhadovaným průtokem 4000 m³/s. Ve století 18. byla zaznamenána povodeň v Písku roku 1768, kdy se zřítíl hlavní městský most, poté byla zaznamenána povodeň na Labi roku 1774 a 1799 a na Vltavě 1784. V 19. století bylo zaznamenáno několik velkých povodní, 1824 a 1830 na Vltavě, 1845 jedna z historicky největších na Vltavě, kdy byl průtok 4500 m³/s v Praze, dále roku 1862 na Labi, 1872 byla ničivá povodeň na Berounce, 1876 na Labi, 1888 bylo zasaženo okolí toků jižních Čech, 1890 a 1893 na Vltavě a opět poničen Karlův most. Ve 20. století byla zaznamenána povodeň 1915 na Vltavě, 1940 na Vltavě a Labi, 1954 v červenci povodni na Vltavě pomohla ke zmírnění Vltavská kaskáda, která zabraňovala průchodu ledových ker, 1966 zaznamenány ničivé povodně na Slezsku, 1970 a 1985 zasažena Jižní Morava, 1981 dlouhodobé

povodňové stavy na Berounce, 1997 ničivě zasažena Morava a Slezsko – to pomohlo k transformaci havarijních plánů, 1998 zasažen Královehradecký kraj (iDNES.cz 2006). 21. století si také stihlo vyžádat několik povodňových obětí, 2002 největší změřené letní povodně v Čechách na Labi a Vltavě, 2006 byli jarní povodně na více řekách, 2009 jarní povodně na Moravě, Slezsku a jižních Čechách, dále 2010 velké povodně v Libereckém kraji, také Zlínském, Moravskoslezském, Olomouckém a Jihočeském kraji, a naposledy velká povodeň 2013 na celém povodí Labe a Vltavy (Daňhelka a kol. 2012).

5.2.1 Povodně dílčího povodí Horního a středního Labe

Velká historická povodeň na Labi byla v březnu **1845**, data jsou pouze ze středního Labe, kdy bylo od soutoku s Vltavou ke Kolínu poničeno několik obcí. Méně ničivá povodeň v září **1890** zničila oblast Horního a středního Labe. Roku **1897** v červenci se v Severních Čechách přehnala ničivá povodeň, dle dat ČHMÚ povodeň tisíciletá, kdy v Jizerských horách ve stanici Nová Louka byl zaznamenán nejvyšší denní srážkový úhrn v ČR 345 mm. Červencová povodeň roku **1997** zasáhla východní Čechy, kdy se nejprve zvedly hladiny horských a podhorských toků, poté toky nižších poloh. Například Úpa a Metuje dosáhly 50letých průtoků, Stěnova či Tichá Orlice 10 - 30letých průtoků. O tři dny později dosáhla Tichá Orlice stoletého kulminačního průtoků. Díky vodním nádržím na tocích byly průtoky zmenšeny. O rok později, **1998** byla ničivá povodeň na Rychnovsku, kdy extrémní srážky výrazně zvýšily hladiny vodních toků Orlických hor a zapříčinily silné povodně na řece Bělé a Dědině. Dále byly silné povodně na Jizeře, horním Labi a Divoké Orlici v březnu **2000**, které vznikly kombinací silného větru, intenzivních srážek a vysoké teploty vzduchu, průtoky kulminovaly v 50 - 100letých průtokách. Na přehradě Pastviny a Les Království byly zaznamenány největší povodně v jejich historii. Okrajově bylo povodněmi zasaženo povodí Jizery a Lužické Nisy v červenci **2002**. Oproti tomu významným se stal rok **2006** pro oblast Horního a středního Labe, kdy zimní povodeň zasáhla takřka celé území, 100leté průtoky dosáhlo povodí Mrliny, 20 - 50letých povodí Desné, Loučné a Bystřice. Toho roku silně zasáhly povodně v srpnu na povodí horního Labe, horní Jizery, Úpy a Stěnavy (Hydroprojekt CZ, a.s. 2014).

5.2.2 Povodně na vodním toku Dědina

V červenci **1998** vyvolaly přívalové srážky silné intenzity, které spadly na návětrné straně Orlických hor v průběhu noci, extrémně náhlé a prudké vzestupy hladin

vodních toků. V důsledku vznikla strhující přívalová povodeň na vodním toku (Hydroprojekt CZ, a.s. 2014). Srážka na povodí Dědiny po profil Chábory byla 162 mm na ploše povodí 75 km². Na povodí Dědiny byla velmi silná odtoková odezva. V Cháborech byl kulminační průtok 270 m³/s, přesáhl hodnotu tisíciletého průtoku. V obci Mitrov byl kulminační průtok 116 m³/s, který překročil stoletý průtok. Byly ucpány a zničeny mosty, propustky. Největší katastrofy pocítili obyvatelé Chábor, Hluků, Dobrušky, Pulic, Českého Meziříčí či Třebechovic pod Orebem, Kounova, okolních osad (Peláková a Kašpárek 2019). Následky povodně si vyžádaly 1,8 mld. Kč a bohužel šest obětí (MŽP a MZ ©2020).

V březnu **2000**, kvůli intenzivním srážkám posílněným návětrným efektem a táním sněhu, byly zasaženy toky Orlických hor, povodí Divoké Orlice. Maximální průtok na profilu Mitrov v dolní části toku Dědiny měl dobu opakování 2–5 let. V březnu **2006** způsobila řeka svému okolí škody, kdy na profilu Chábory dosáhla 5 – 10letému kulminačnímu průtoku, na profilu Mitrov 2–5letému. Tyto povodně zapříčinily vysoké sněhové pokrývky v zimních měsících, oteplení v březnu a následné intenzivní srážky. V červenci roku **2011** nastal na Dědině významnější vzestup průtoků, způsoben tlakovou níží, náhlým poklesem teplot a vydatnými srážkami. Pro profil Mitrov byl zjištěn 2 - 5letý kulminační průtok, v profilu Chábory byl kulminační průtok 10 - 20letý. V obci Kounov byly porušeny břehy toku (Povodí Labe 2020).

Dle Plánu pro zvládnání povodňových rizik v povodí Labe je Dědina ohrožena povodněmi na úseku Třebechovice až Dobruška, mezi 0.00–28.00 ř. km (MŽP a MZ ©2020). Problémem mohou být chybějící opatření sloužící jako prevence proti povodním. Břehy řeky Dědiny zarůstají, spadané dřevo nikdo neodklízí, obyvatelé se bojí, že by nevhodná a zanedbaná péče mohla způsobit další povodně (Tůmová 2014). Překážkou opatřením je však ochrana přírody, na Dědině je vyhlášena evropsky významná lokalita a přírodní památka chráněných živočichů mihule potoční a vranky obecné. Zásahy do koryta by měly být velmi omezeny (ŠINDLAR s. r. o. 2013). O pozemky v blízkosti toku by se měly starat jejich vlastníci, kteří péči často neobstarávají. Suchá nádrž v Mělčanech by měla být vystavěna pro ochranu dolního toku Dědiny, kvůli vlastnickým vztahům a projednáním s orgány ochrany přírody byla výstavba odsouvána. V některých obcích se nacházejí ochranné varovné systémy varující proti povodním, kde jsou sirény napojeny na srážkoměrné stanice.

Ty se nachází například v Kounově, Podbřezí či Opočně, měly by nebezpečí hlásit s dvouhodinovým předstihem (Tůmová 2014). Území obce Kounova a přilehlých místních částí jsou pravidelně ohrožovány povodňovými událostmi, intravilán je ohrožen převážně přivalovými dešti v období tání sněhu v období jara a v období kdy nejsou zemědělské pozemky porostlé plodinami. Povodně jsou způsobeny převážně vybrežením toků Dědina a Hluky v okolí nekapacitních mostů (Dobruška ©2021).

5.3 Protipovodňová opatření

Ochrana před povodněmi je soubor činností a opatření, které vedou k předcházení riziku povodní v ohroženém území, řeší prevenci a operativní opatření. Zvládání povodňových rizik má za cíl zmírnit nepříznivé účinky na životní prostředí, kulturní dědictví či hospodářskou činnost. Mapy povodňových rizik a povodňového nebezpečí nebo plány pro zvládání povodňových rizik se zpracovávají pro území, kde bylo předběžně vyhodnoceno povodňové riziko. Mapy povodňových rizik vyznačují nepříznivé následky, které by potenciálně mohli nastat. Oproti tomu mapy nebezpečí určují území s využitím stanovených záplavových území, která by mohla být zaplavena. Plány pro zvládání povodňových rizik jsou nedílnou součástí plánování v oblasti vod. Neopomínají hlediska jako průběh, rozsah, náklady, rozsah povodně, retenční schopnost území, cíle ochrany vod, hospodaření s půdou či vodními zdroji. Dále hledí na územní plánování, využití území či ochranu přírody. Zabývají se všemi aspekty řešení rizik povodní a kladou důraz na prevenci, připravenost a ochranu, včetně předpovědí, včasného varování a dále (Vyhláška č. 24/2010 Sb.).

5.3.1 Stupně povodňové aktivity

Stupně povodňové aktivity je jinými slovy míra povodňového nebezpečí vázaná na limity jako vodní stavy, průtoky v hlásných profilech vodních toků či mezní nebo kritické hodnoty jevů uvedených v povodňovém plánu území. Dle Zákona č. 254/2001 Sb. se podle dané situace se rozlišují tři stupně povodňové aktivity (SPA):

1. stupeň povodňové aktivity neboli stav bdělosti (1.SPA)

Stav bdělosti je vyhlášen při hrozbě přirozené povodně a pokud nebezpečí pomine, je stav zrušen. Pokud je vydaná výstražná informace od povodňové služby, tento povodňový stupeň taktéž nastává. 1.SPA upozorňuje na věnování dostatečné pozornosti vodnímu toku či zdroji nebezpečí, vyhlášení zahajuje

hlídková a hlásná služba. Na vodním díle nastává tento stav, pokud sledované jevy dosáhnou mezních hodnot a bezpečnost díla je ohrožena.

2. stupeň povodňové aktivity neboli stav pohotovosti (2.SPA)

Pokud nebezpečí povodně přirozené přerůstá v povodeň, ale stále nedojde k větším rozlivům a navazujícím škodám, je vyhlášen tento stupeň. Pokud jsou překročeny mezní hodnoty sledovaných jevů a skutečnosti na vodním díle jsou z hlediska bezpečnosti ohroženy, je tento stav taktéž vyhlášen. Jsou aktivovány povodňové orgány, účastníci ochrany, v pohotovosti jsou zabezpečovací prostředky. Jsou prováděny opatření ke zmírnění průběhu povodně, přičemž je nahlíženo k povodňovému plánu. Vyhláší a odvolávají ho povodňové orgány ve svém území.

3. stupeň povodňové aktivity neboli stav ohrožení (3.SPA)

Stav ohrožení nastává při bezprostředním nebezpečí či pokud vznikají škody velkého rozsahu. Dochází k ohrožení životů a majetku. Jsou zahajovány nouzové opatření pro řešení povodní, dosaženy kritické hodnoty sledovaných jevů, skutečnosti na vodním díle nejsou bezpečné. Jsou prováděny zabezpečovací opatření dle povodňových plánů. Může dojít i k evakuaci. Vyhláší a odvolávají ho povodňové orgány ve svém území.

5.3.2 Povodňové plány

Povodňové plány jsou dokumenty podle zákona č. 254/2001 Sb., ve kterých je obsažen způsob zajištění informací o vývoji povodně. Informují o možnostech ovlivnění povodně nebo odtokového režimu, o přípravě a organizaci náležitých prací. Dále zajišťují aktivní včasnou účast povodňových orgánů, ochranu objektů, zabezpečení hlásné služby. Plány mají věcnou, organizační a grafickou část. Dle územních celků plány zpracovávají příslušné orgány: plány obcí – orgány obcí, plány obcí s rozšířenou působností – obce s rozšířenou působností, plány správních obvodů krajů – orgány krajů ve spolupráci se správcem povodí. Povodňový plán celé republiky vypracovává Ministerstvo životního prostředí. Vlastníci staveb, které by mohly zhoršit průběh povodně či jsou umístěny v záplavovém území, spolu s povodňovým orgánem zpracovávají plány pro tyto stavby, o náležitostech rozhodne vodoprávní úřad. Ten může dát vlastníkům pozemků v záplavových území povinnost zpracovat povodňový plán. Pro územní celky by měly být plány každoročně prověřeny.

Povodňové prohlídky následně zkoumají, zda nejsou na vodních tocích, záplavových území nebo vodních stavbách poruchy, které by mohly zapříčinit nebezpečí. Jsou prováděny jednou ročně (Weyskrabová 2011).

5.3.3 Povodňové orgány a další účastníci

Povodňové orgány se řídí povodňovými plány. V normálním období, kdy není povodeň, se dle Zákona č. 254/2001 Sb. mezi povodňové orgány řadí:

- Ministerstvo životního prostředí a Ministerstvo vnitra (pro přípravy záchranných prací)
- Krajské úřady
- Obecní úřady obcí s rozšířenou působností
- Úřady městských částí hlavního města Prahy
- Orgány obcí

Pokud nastane doba povodní, mezi orgány se řadí:

- Ústřední povodňová komise
- Povodňové komise krajů
- Povodňová komise městských částí hlavního města Prahy
- Povodňová komise obcí

Ty v případě povodně vydávají příkazy a opatření i nad rámec povodňových plánů, mimořádnou schopnost dostávají při vyhlášení druhého nebo třetího stupně povodňové aktivity, končí jejich odvoláním. Aktuální operativní opatření se případně zapisují do povodňové knihy. Pro nezbytné zabezpečovací práce jsou pověřené osoby orgánů oprávněny vstupu na cizí pozemky. Orgány státní správy a jiné mají povinnost pomoci na výzvu povodňových orgánů. Orgány nižšího stupně mají možnost požádat orgán vyššího stupně o pomoc či převzetí řízení.

Dalšími účastníky jsou:

- Správci povodí
- Správci vodních toků
- Vlastníci vodních děl
- Vlastníci pozemků, staveb, které se nacházejí v záplavovém území či zhoršují povodňový průběh

Český hydrometeorologický ústav spolu se správcem povodí zabezpečuje **předpovědní službu**, která informuje povodňové orgány a další účastníky před

rizikem povodně nebo o jejím vývoji, také o srážkách a vodních stavech. Povodňové orgány obcí a povodňové orgány pro správní obvody obcí s rozšířenou působností organizují **hláskou povodňovou službu**, která informuje a varuje obyvatelstvo v lokalitách, kde je povodeň očekávána. Informuje také povodňové orgány a další účastníky, předává hlášení o průběhu a vyhodnocení či řízení opatření pro ochranu. V případě potřeby je zorganizována hlídková služba k zabezpečení hláské povodňové služby. Pokud je riziko na vodním díle, jejich vlastníci mají povinnost oznámit nebezpečí povodňovým orgánům, hasičskému záchrannému sboru (Zákon č. 254/2001 Sb.).

5.3.4 Opatření

Protipovodňová opatření se dělí na technická a netechnická, mohou být také přírodě blízká (Ústav územního rozvoje 2003):

1.) Netechnická

- Žádná opatření:

Vychází ze zkušeností lidí, nestaví se sídla tam, kde se niva pravidelně rozlévá, obyvatelé by si měli pamatovat, jak byla povodeň silná a měli by informovat další generace, informovanost veřejnosti. Dle Galia (2017) je údolní niva plocha v oblasti koryta, která je relativně plochá a dochází zde k pravidelným záplavám. Šířka nivy se s rostoucí vzdáleností od pramene zvyšuje.

- Definování záplavové zóny, právní zajištění záplavové zóny:

Definování záplavového území na základě Zákona č. 254/2001 Sb., návrhy na periodicitu Q_5 , Q_{10} , Q_{100} let přirozené povodně, vymezení území záplavovou čarou dle vyhlášky MŽP č. 236/2002 Sb.

- Předpovědní a varovné systémy:

Zabezpečení hláské a předpovědní povodňové služby, definování stupňů povodňové aktivity, určení hláských profilů.

- Osvěta veřejnosti:

Je zabezpečena Českým hydrometeorologickým úřadem ve spolupráci se správci povodí, výstražné informace, předpovědi, vývoj povodní.

2.) Technická

- V ploše povodí:

Zvýšení retence vody v ploše povodí, zpomalení odtoku a protierozní opatření (agrotechnická, biotechnická, organizační).

○ Na vodních tocích:

Zkapacitnění koryt toků, údržba toků, čištění toků, zmírnění boční a hloubkové eroze, vytvoření retenčních prostorů v údolních nádrží a poldrech, budování ochranných hrází.

3.) Přírodě blízká

○ V ploše povodí:

Mezi ně se řadí snížení eroze (agrotechnická, organizační, biotechnická protierozní opatření), retence vody či zpomalení povrchového odtoku.

○ Na vodních tocích:

Těmito opatřeními jsou revitalizace koryt a jejich kapacity v intravilánu, podpora přirozeného rozlivu v nivě a zpomalení povodňové vlny, obnova potočních a říčních pásem přirozených při povodni, tvorba ochranných přírodě blízkých koryt pro vedení povodňových průtoků, podpora retence v nivách vytvářením sníženin, tvorba suchých a polosuchých nádrží, usměrňování rozlivu a zpomalení průtoku zemními valy, odstranění povodňových překážek, eliminace nepříznivých technických opatření na vodním toku a jejich revitalizace za účelem přirozenosti koryta.

Přípravná opatření, opatření realizována při nebezpečí povodně, za povodně a po povodni se souhrnně označují jako povodňová opatření (Weyskrabová 2011):

1) Přípravná

- Povodňové plány
- Povodňové prohlídky
- Vymezení limitů stupňů povodňové aktivity
- Určení záplavového území
- Realizace předpovědní a hlásné služby
- Organizační a technická příprava území
- Příprava orgánů a účastníků ochrany
- Vytváření hmotných rezerv

2) Při nebezpečí a za povodně

- Aktivní činnost předpovědní a hlásné povodňové služby
- Varování při nebezpečí
- Povolání hlídkové služby
- Řízené ovlivnění odtokových poměrů, odklizení záplavové zóny
- Zabezpečovací a záchranné práce

3) Po povodňová

- Evidence, vypracování příslušné dokumentace
- Vyhodnocení situace a vzniklých škod
- Obnova území, odstranění škod

Záplavovým územím je myšleno administrativně určené místo, které může být při povodni zaplaveno. Rozsah území stanovuje vodoprávní úřad. V aktivní zóně záplavových území není povoleno provádět stavby s výjimkou vodních děl, které upravují vodní tok, chrání před povodněmi či zlepšují odtokové poměry. Další výjimkou jsou stavby pro jímání vod, odvádění vod srážkových, odpadních a stavy nezbytné pro dopravní nebo technickou infrastrukturu. Poté se v této zóně nesmí těžit zeminu a nerosty a provádět změny terénu zhoršující odtok povrchových vod. Nesmí se na území shromažďovat materiál, který by mohl být odplaven. Omezení platí pro ploty či živé ploty a podobné překážky. Území není určeno pro dočasná ubytovací zařízení (Ústav územního rozvoje 2003).

Dále existují území, která jsou pro rozliv povodně určena. **Území k řízenému rozlivu** jsou pozemky pro vzdouvání, akumulaci povrchových vod veřejně prospěšnými stavbami (Zákon č. 254/2001 Sb.).

Při riziku povodně či za povodně mohou následky zmírnit technická opatření neboli **zabezpečovací práce**. Zajišťovány jsou správci toků, vlastníky dotčených pozemků. Mezi ně patří převážně (Zákon č. 254/2001 Sb.):

- Opatření proti přetržení či přelití ochranné hráze či hráze vodních děl
- Odstranění překážek v korytě vodního toku, v profilu objektů, hromadících se ledových ker
- Ochrana proti znečištění vod
- Instalace zábran proti povodním, uzavírka protržených hrází, zamezení vzduší vody, stabilizace před sesuvy

Na vodním toku se nachází **hlásný profil** neboli místo, které slouží ke sledování průběhu povodně. Typy hlásných profilů jsou (Zákon č. 254/2001 Sb.):

- Kategorie A: základní, zřizovány a provozovány státem, ČHMÚ nebo podniky povodí
- kategorie B: doplňkové, zřizovány krajskými úřady
- kategorie C: pomocné, zřizovány účelově obcemi nebo vlastníky ohrožených nemovitostí

6 Matematické modely ve vodním hospodářství

Matematické modely jsou využívaným nástrojem ve vodohospodářství. Jedná se o zjednodušený popis, který má vystihnout důležité charakteristiky sledovaného procesu. Mezi základní fáze modelování patří **volba modelu** nebo případně jeho konstrukce, dále **kalibrace**, tedy optimalizace parametrů modelu pro vstupní data a pozorované výstupy, následuje **verifikace** neboli srovnání výstupů modelu s pozorovanými výstupy s použitím statistických testů, konečným krokem je **aplikace** modelu (Daňhelka a kol. 2003).

6.1 Základní klasifikace modelů

Matematických modelů je spousta, lze je rozdělit do tří hlavních skupin (Becker a Serban 1990):

- **Statistické modely**

Proměnné v modelu jsou nahodilé veličiny, mají pravděpodobnostní rozdělení, nejsou časově závislé. Dělí se na stochastické, pravděpodobnostní, regresní a korelační. U stochastických modelů v rámci popisovaného systému chybí vazba mezi příčinou a důsledkem hydrologického jevu. Pravděpodobnostní jsou reprezentovány hydrologickými funkcemi s pravděpodobnostním rozdělením, ty jsou charakteristické základními statistickými údaji

- **Deterministické**

Proměnné jsou spojovány s časovými proměnnými, prostorová závislost se zanedbává, neplatí pro ně pravděpodobnostní rozdělení, nejsou náhodné, vzájemné vztahy jsou příčinné. Časová závislost se vyjadřuje diferenční rovnicí. Popisovaný fyzikální systém závisí na kvalitě dat.

Jsou rozlišovány na **hydrologické** a **hydrodynamické**.

- **Smíšené**

Překrývání deterministických a stochastických modelů, slouží ke zlepšení a zdokonalení modelů.

Modely lze rozdělit do jednotlivých kategorií dle odlišných pojetí či účelu. Následující klasifikace modelů vychází rozdělení dle WMO – World Meteorological Organisation (Becker a Serban 1990).

Dle účelu:

- Operativní (využívané pro krátkodobé předpovědi, modelování postupu povodňové vlny)
- Aplikované v projekční činnosti (řešení vodní bilance, protipovodňové ochrany)
- Experimentální (popis a studium dílčích hydrologických jevů pro vývoj modelů)
- Výukové (využívané k environmentální edukaci)

Dle linearity:

- Lineární (popsán lineární diferenciální rovnicí, mezi vstupy a výstupy linearita)
- Nelineární (popsán nelineární diferenciální rovnicí)

Dle principu modelování:

- Fyzikální (struktura odpovídá realitě, náročné rovnice a dlouhé výpočty)
- Matematické (transformace vstupu na výstup, rychlý výpočet, operativní účely)

Dle výstupů:

- Bilanční (výstupem složky vodní bilance)
- Srážko – odtokové (výstupem vodní stav a průtok)
- Modely proudění podzemní vody (výstupem hladina a průtok)
- Modely kvality vody (výstupem pH, iontové složení, teplota)
- Modely půdní vody (výstupem vlhkost a pohyb vody půdou)

Dle uvažovaného času a prostoru:

- Kontinuální (simulace delšího, víceletého období)
- Epizodní (popis jednotlivé situace, extrémních období, povodně a sucha)

Hydraulické výpočty, které určují charakteristiky povodňového nebezpečí jsou určovány dle 1D, 2D nebo 3D modelů. Přístupují k modelování pomocí prostorového hlediska.

- 1D modely

Jednorozměrné modely představují modelovanou oblast jako sestavu příčných profilů, kdy se předpokládá, že proudění vede ve směru spojnic mezi příčnými profily. Proudění v profilu je poté možné popsat dle polohy

hladiny a průřezové rychlosti ve směru osy koryta. Tyto modely je vhodné používat omezeně, nejvhodnější je aplikace, pokud proudění vykazuje jednorozměrný charakter. 1D modely předpokládají konstantní hladinu ve vodorovném profilu, použití průměrné rychlosti proudění v příčném profilu, svislé a příčné složky rychlosti jsou v porovnání s podélnými zanedbatelné. 1D modely jsou nenáročné na vstupní data, jsou jednoduché, výpočet je rychlý, modely snadno dostupné. Vychází z Bernoulliho rovnice, rovnice spojitosti, Saint-Venantovy rovnice (VÚV T.G.M. neuvedeno).

Výstupem je okraj hladiny v místě zaměřených profilů, u zaměřených příčných a údolních profilů úroveň hladiny, průřezová rychlost a střední hloubka. Výstupem může být také časová závislost průtoku a úroveň hladiny vody v zaměřeném místě. 1D modely je vhodné využít pro transformace povodňových vln, pro určení záplavového území a výpočet hladiny v podélném profilu toku. Mezi tyto modely patří například MIKE 11 či HEC-RAS (Balvín a kol. 2009).

Speciálním případem 1D modelů jsou 1.5D modely, které řeší komplikovanou prostorovou geometrii modelované oblasti (VÚV T.G.M. neuvedeno).

- **2D modely**

Dvourozměrné modely počítají dvě složky rychlosti, podélnou a příčnou, proto se nazývají 2D modely. Výpočet probíhá ve výpočetní síti. Tyto modely prostorově reprezentují koryto a záplavové území pomocí spojitého digitálního modelu terénu a detailně popisují různorodý charakter proudění v obtížných prostorových podmínkách. 2D modely jsou ideální pro široká inundační území s terénními odlišnostmi, pro urbanizovaná území. Jsou složitější než 1D modely a mají vyšší nároky na vstupní data. Výchozím předpokladem je zanedbatelnost svislé složky rychlosti v porovnání s podélnými nebo příčnými, proudění mělké vody a použití průměrné svislicové rychlosti. Řídícími rovnicemi je rovnice spojitosti a pohybové rovnice. Numericky je možné řešit metodou konečných diferencí, konečných objemů a konečných prvků. 2D modely lze využít pro výpočet ustáleného i neustáleného proudění v rozsáhlých/komplikovaných inundačních území. Výhodou je snadný a stabilní výpočet, přesné modelování objektů (VÚV

T.G.M. neuvedeno). Mezi tyto modely se řadí MIKE 21 či FESWMS (Balvín a kol. 2009).

- **3D modely**

Trojdimenzionální modely lze využít k modelaci prostorového proudění v lokalitách se složitým terénem. Nejlépe lze s nimi modelovat obtékání středových či břehových podpěr mostních objektů a propustků, kdy je nutné zjistit, jestli dojde k překročení vymílacích rychlostí. Jedná se například o software COMSOL Multiphysics (Balvín a kol. 2009).

6.1.1 Hydrologické modely

Hydrologický model reprezentuje hydrologický cyklus. Je řešením soustavy rovnic, které popisují chování či strukturu povodí během **srážko odtokového procesu** (Clarke 1973).

Konceptuální– grey box

Jedná se o deterministický model. Dělí se na bilanční a epizodní. Konceptuální modely popisují části hydrologického cyklu nebo celý cyklus, vychází z přírodních jevů. Předpokládá, že k prostorovým změnám stavových veličin dochází pouze v reprezentativních bodech, vylučuje prostorovou souřadnici. Spojitý dynamický systém mění na nespojitý v prostoru. Popisují povrchové, podpovrchové a korytové procesy. Těmito modely jsou například SACRAMENTO, SMAR, BILAN, HYDROM (Kulhavý a Kovář 2000).

Kybernetické – black box

Zkoumá průběh procesu z hlediska transformace systému, nezajímají ho změny stavových veličin a struktura modelu. Známé jsou vstupní údaje a z části i výstupní. Mezi tyto modely, které se řadí pod deterministické, lze zařadit například Model maticové inverze MATRIX, modely aproximace měřených časových řad srážek a odtoků řadami Fourierovými (FOURIER) a další (Kulhavý a Kovář 2000).

6.1.2 Hydrodynamické modely

Slouží k numerickému řešení pohybu vody v korytech a technických objektech. Mohou řešit rozsahy záplavových území, určit chování povodňové vlny a stanovit zátopové čáry v závislosti na průtoku. Využívají geografické informační systémy. Hydrodynamické modely popisují pouze odtok.

Fyzikálně založené – white box

Představují hydrodynamické modely, základem zachování hmoty, hybnosti a energie. Vycházejí ze skutečných fyzikálních zákonů. Řadí se pod deterministické modely (Xu 2002). Popisují realitu nejpřesněji, respektují zachování hmoty, energie a hybnosti. Komponentní hydrodynamické modely popisují dílčí hydrologické procesy, komplexní hydrodynamické modely řeší veškeré procesy. Parametry mají geometrické rozdělení, nutné pro model jsou počáteční a okrajové podmínky. Strukturu systému modelů popisují diferenciální rovnice. Model je složen ze tří procesů – produkce, transformace, translace. Modelován nejen povrchový odtok, ale i dílčí procesy. Například je mezi tento typ řazen model SHE, MIKE-11, HEC-RAS, AQUALOG (Kulhavý a Kovář 2000).

6.2 Popis vybraných modelů

V této kapitole byly vybrány nejčastěji používané matematické modely, jednotlivě byly charakterizovány. Pro praktickou vlastní část této práce byl poté použit zde popisovaný model HEC-RAS a extenze HEC-GeoRAS.

6.2.1 HEC-RAS

V roce 1964 bylo za účelem institucionalizace technických znalostí založeno Středisko pro hydrologické inženýrství US Army Corps of Engineers. Díky třem hlavním představitelům začal vývoj později známé rodiny softwaru CEIWR-HEC, kde byly prvními softwarovými balíčky: HEC-1, hydrologie povodí, HEC-2, říční hydraulika, HEC-3, analýza nádrží pro ochranu, HEC-4, program generování stochastického proudění. V průběhu let se CEIWR-HEC vyvíjel, zabýval se řadou technologií hydrologického inženýrství a plánovacích analýz, rodina softwaru se rozrostla na více než 20 hlavních částí softwaru, jsou podporovány GIS. Mezi nejvýznamnější nedávné úspěchy patří vývoj nové generace nástupnického softwaru CEIWR-HEC (HEC-RAS, HES-HMS, HEC-FDA, HEC-ResSim), dále vedení při analýzách rizik jako základní technologie pro plánování a analýzu snižování povodňových škod a vývoj dalších systémů (US Army Corps of Engineers 2021 a).

Software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center River Analysis System) slouží k modelování ustáleného jednorozměrného proudění, jedno či dvourozměrné výpočty neustáleného proudění, výpočty transportu sedimentu, modelování kvality a teploty vody. Pomáhá při analýze průtoků v korytech a určování záplavových území, umístění objektů na toku či modifikacím koryta. Výsledky modelu lze aplikovat pro

management inundačních území a povodňového pojištění. Klíčovým je, že všechny komponenty, ke kterým program slouží, mohou využívat společná geometrická data a také geometrické a hydraulické výpočetní rutiny. Systém neobsahuje pouze dílčí kroky pro analýzu řeky, ale i prvky pro hydraulické návrhy, které lze využít po vypočítání základních parametrů vodní hladiny. HEC-RAS primárně předpokládá k výpočtu ustálené proudění, které se postupně mění (US Army Corps of Engineers 2021 b).

Jednotlivé komponenty:

1. Profily s ustáleným prouděním

Tato část slouží k výpočtu profilů vodních ploch pro ustálené, postupně se měnící proudění. Lze modelovat podkritické, nadkritické či smíšené režimy proudění toků. Lze to použít v situacích, kdy se tok rychle mění, režim proudění je smíšený, pro hydrauliku mostů a vyhodnocování soutoků řek (US Army Corps of Engineers 2021 b). Výpočet je založen na řešení energetické rovnice, který říká, že celková energie v kterémkoliv místě podél proudu je součtem potenciální energie a kinetické energie. Změna energie mezi dvěma průřezy se nazývá tlaková ztráta. Ztráty jsou závislé na tření, proto do výpočtu vstupuje Manningův drsnostní součinitel. V úsecích s rychlou změnou průtočného profilu je použita rovnice hybnosti. Cílem metody je vypočítat nadmořskou výšku vodní hladiny a průtok v bodě vzhledem k sousednímu. Jak probíhá výpočet závisí na režimu toku. K charakteristice proudění se používá bezrozměrné Freudovo číslo ($Fr < 1$ podkritické proudění – říční, $Fr > 1$ nadkritické – bystřinné, $Fr = 1$ kritické) (Tate 1999).

2. Jednorozměrná a dvourozměrná simulace neustáleného proudění

Tento komponent lze použít pro otevřené kanály a jejich systémy, účelně má být používán pro říční proudění. Výstupy jsou například simulace převýšení hladiny koruny hráze, čerpadla a tlakové potrubní systémy či protržení přehradní hráze. Výpočty pro mosty, hráze nebo příčné profily byly použity z předchozího modelu pro ustálené proudění (US Army Corps of Engineers 2021 b).

3. Výpočty transportu sedimentů

Pro výpočet jednorozměrného transportu sedimentů slouží tato komponenta. Transport splavenin závisí na velikosti a frakci zrn, jejich tření. Model by měl co nejlépe simulovat sedimentaci v dlouhodobém časovém úseku a pohyb částic dle

změn průtoků či geometrie v korytě. Modeluje ukládání sedimentů, které pomáhá návrhu změn koryta, předpovídání vlivu rychlosti sedimentace a jejího vlivu na tok (US Army Corps of Engineers 2021 b).

4. Analýza kvality a teploty vody

Tento modul umožňuje provádět analýzy o kvalitě vody v toce. Lze modelovat i teplotu vody. Řešení spočívá v numerické jednorozměrné advekčně disperzní rovnice pomocí objemu vody a tepelné energie. Pro kvalitu vody v HEC-RAS lze zjistit rozpuštěný dusík, rozpuštěný fosfor, řasy, rozpuštěný kyslík a biologickou spotřebu kyslíku (US Army Corps of Engineers 2021 b).

6.2.2 HEC – GeoRAS

Program HEC-GeoRAS obsahuje sadu procedur, kterými lze zpracovávat geoprostorová data v prostředí ArcGIS díky grafickému uživatelskému rozhraní. Jedná se o přípravu geometrických dat a následný import do HEC-RAS či zpracování výsledků simulací vzniklých v HEC-RAS. V programu lze vytvořit geometrická data jako středovou linii toku, plochy rozlivu a další, a to dle digitálního modelu terénu. Je využíván pro analýzu a mapování záplavových oblastí, stanovení povodňových škod, revitalizaci a obnovu ekosystémů či varovnou činnost a připravenost před povodňovými událostmi (US Army Corps of Engineers 2021 c).

6.2.3 HEC-HMS

HEC-HMS neboli Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System, je modelem vyvinutým z HEC-1, který vznikl od 60. let pod vývojem armády USA. Jde o velmi využívaný srážko-odtokový model pro řady hydrologických úkonů. Jedná se o model celistvý se soustředěnými parametry, avšak jeho postupný rozvoj cílí ke komponentám modelu s distribuovanými parametry. Možnosti uplatnění modelu jsou větší díky rozvoji GIS a společnému propojení.

Model obsahuje několik komponent, které slouží k výpočtu objemu odtoků – Runoff-Volume Model (zjištění z SCS CN křivek, z konstantní infiltrace, exponenciálního poklesu a další), dále výpočtu přímého odtoku – Direct-Runoff Model (využívá metody jednotkového hydrogramu a jeho modifikace), podzemního odtoku – Baseflow Model (model lineární nádrže, konstantního odtoku či exponenciálního poklesu), zjištění korytového odtoku – Routing Model (simulace odtoků dle více modelů, simulace v uzávěrovém profilu, vstupem průtok v horním profilu – okrajová

podmínka, jedná se o řešení aproximovaných rovnic proudění v otevřeném korytě, tzv. St. Venantovy rovnice). Model není náročný na vstupní data, využívá však pro CN křivky půdní typy, jejich databáze byla pro Českou republiku vytvořena dle hodnoty CN, jenž je vztažena k hlavní půdní jednotce dle BPEJ (US Army Corps of Engineers 2021 d).

6.2.4 SACRAMENTO (SAC-SMA)

SACRAMENTO (SAC-SMA) model je kontinuálním, deterministickým, nelineárním modelem vlhkosti půdy s prostorovými parametry, který simuluje odtok vody z povodí (Koren a kol. 2000). Model spočívá v rozdělení povodí na spodní a horní zónu, které mají zásobníky volné vody v různých hloubkách, a v následném určení distribuce vlhkosti, která se rozděluje na složky vody hnané difúzí, evapotranspirací a složky vody hnané gravitačními silami. Dešťové srážky nejprve zaplní horní zónu, objem srážek přesahující kapacitu vrstvy se přesune do zásobníku volné vody, odkud prosakuje do spodní zóny či vytéká jako meziproud. Po naplnění kapacity se vytváří povrchový odtok (Ajami a kol. 2004).

Model využívá několik parametrů, kterými jsou proměnné srážek a teplot, stav vlhkosti půdy, relativní propustnost povodí s odhadem množství vstupující vody, která se akumuluje a opouští povodí. Využívá dlouholeté záznamy. Model je schopen odhadovat procesy jako evapotranspiraci, perkolaci, proudění a formy odtoku z povodí, které jsou v hydrologii klíčové. Dokáže modelovat i účinky zmrzlé půdy na proces dešťových srážek a odtoků. SAC-SMA model využívají především aplikace soustředující se na předpověď toku/odtoku řek, zásobování vodou, odhady hydrologických rizik či vyhodnocení klimatických změn povodí. Ideální je pro velká povodí. Je klíčovým pro americkou předpověď National Weather Service River Forecast System (Smith a kol. 2004). Výhody modelu: vstupní srážky lze upravit, lze využít účinky zmrzlé půdy, zohledňuje prostorové změny, jedná se o souhrnný modelovací systém schopný modelovat dílčí povodí velkého povodí jednotlivě, mnoho případových studií. Nevýhodami je: neefektivní model pro malá povodí, vyžaduje znalost problematiky a povodí, ke kalibraci nutná několikaletá řada záznamů (The World Bank Group ©neuveдено).

6.2.5 MIKE – SHE

Jedná se o propracovaný, srážko-odtokový model, který je spojením několika dílčích fyzikálních modelů pro nenasycené proudění, proudění podzemní vody, povrchové proudění, proudění v uzavřených korytech a dalších. Pochází z dánské firmy Danish Hydraulic Institute. Jedná se o komplexní systém, proto je model často používaný. Patří mezi koncepční, distribuované modely, může simulovat kontinuálně i epizodně. MIKE – SHE umožňuje zapojení více komponent, které jsou schopny vypočítat objem a pohyb vody pro jednotlivé fáze odtokového procesu, jako evapotranspiraci, zavlažování, tání sněhu a kvalitu vody, transport sedimentů. Díky vazbě na program GIS dokáže řešit širokou hydrologickou škálu, jako plánování a řízení v oblasti vodních zdrojů či řešení technických zásahů v povodí. Model využívá data, která jsou pro tyto typy modelů běžná. Model pomáhá komplexně přiblížit aspekty ekohydrologie, co nejlépe porozumět pohybu vody v prostředí, vyhodnotit modelované procesy (DHI 2021).

6.2.6 MIKE 11

MIKE 11 je hydrodynamický model vyvinutý dánským Hydraulickým Institutem. Tento model popisuje neustálé proudění v otevřených korytech a přilehlých inundačních území. Model je strukturován do jednotlivých modulů vzájemně spojených datovými soubory. Je nenáročný na systémové prostředky, lze ho kombinovat s ostatními modely, je propojený se softwarem GIS. Řeší transporty sedimentů, kvalitu vody a stabilitu koryt vodních toků. Nevýhodou je cenová dostupnost. Je využíván podniky Povodí. MIKE 11 složí pro jednorozměrné simulace kvality vody a hydrodynamiky ve vodním toku, MIKE – SHE je využíván pro simulace proudění vody (Hrnčíř 1997).

6.2.7 DesQ – MaxQ

DesQ – MaxQ je hydrologickým modelem vyvinutým prof. Ing. Františkem Hrádkem, DrSc. roku 1997. Jedná se o deterministický model. Je používán k určení návrhových charakteristik povodňových vln v nepozorovaných profilech povodí malých toků, které jsou vyvolené přívalovými dešti a vypočítává, jak se změnou charakteristik povodí změny maximální průtoky a objemy povodňových vln (Program DesQ – MaxQ, 2021). Je vhodný pro malá povodí do velikosti 10 km², využitelný pro samostatný svah i povodí s údolnicí. Zkratka DesQ označuje návrhový průtok,

MaxQ maximální průtok, které souvisí s průchodem povodňových vln. K použití nejsou potřeba měřená data či údaje o průtocích, vodních datech. Model je vhodný pro výpočet maximálních návrhových N-letých průtoků a objemů povodňových vln, vyvolaných přívalovými dešti, dále pro výpočet maximálních průtoků a objemů povodňových vln, vyvolaných dešti dané doby a intenzity. Díky modelu lze odvodit tvar povodňových vln, jejich časové řady a ohodnotit dopady hospodářské činnosti v povodí a využití území na srážko-odtokové procesy (Hrádek a Kuřík 2001).

6.2.8 HYDROG

Model HYDROG, jehož autorem je prof. Miloš Starý, je srážkoodtokový distributivní model určený především pro operativní hydrologickou prognózu, simulaci, predikci a optimalizaci odtoků, řízení vodohospodářských soustav za povodňových situací (Hysoft Brno 2021). Vstupem jsou údaje o průtocích, řízených odtocích z vodních nádrží a srážkách, v zimě údaje o výšce sněhu a teplotě. Mezi výhody modelu patří kalibrační koeficienty a automatická kalibrace, rychlost výpočtu či řízení vodohospodářských soustav. Nevýhodami je obtížná schematizace povodí, model není napojen na programy softwaru GIS. Dle ČHMÚ se využívá pro povodí Odry, Bečvy, horní Moravy a Dyje (ČHMÚ ©2006).

6.2.9 AquaLog

Hydrologický předpovědní systém AquaLog byl vyvinut pro ČHMÚ mezi lety 1999 až 2001 a je inspirován systémem National Weather Service River Forecasting System americké National Weather Service. Používá se pro povodí Labe a skládá se z několika modulů simulujících jednotlivé procesy povodí. Těmito moduly jsou: model sněhu, srážkoodtokový model (využívá model SACRAMENTO), model nádrží a modely pohybu vody korytem. Standartně jsou jím předpovědi počítány jednou denně a základem je zpracování vstupních dat (ČHMÚ ©2006).

7 Vodní stavby

Historicky vodní toky umožňovaly vznik osad a měst, rozvoji zemědělství, později průmyslu. Představovali klíčový zdroj obživy, dopravu, zdroj energie a ochranu sídla. Zápavy však přinášely negativní vlivy, rozvoj nemocí, narušení obdělávání půdy, zničení domů. Proto se rozvinula úprava vodních toků s cílem změnit odtokové poměry, chránit objekty a plochy v okolí toku. To zahrnovalo změnu odtokových režimů, splaveninových režimů, stabilizaci koryta, odběr vody, úpravu vodního režimu na přilehlých pozemcích a další. Úpravy by měly respektovat přírodu a ekologii toku a jeho okolí (Broža a kol. 1985).

7.1 Hrazení bystřin

Bystřina je značena jako přírodní tok s malým povodím. Má výrazné, náhlé změny průtoků, strmé průtokové vlny, které přemísťují splaveniny, podemílají svahy či prohlubují dno. Hrazení bystřin je lesnicko-technickým opatřením, které účelně, preventivně a postupně mění genezi odtoků z povodí usměrňováním hospodářských aktivit. Souběžně s tím by měla být zvyšována retence vody, vsak a retardace odtoku. K hrazení patří udržení vhodné vegetace, ustálení kryta k vhodnému neškodnému průtoku povodně, umožnění života živočichům v toku při suchých obdobích a zabránění eroze půd. Zahrazením bystřiny je povrchový odtok soustředěn do koryta bystřiny, je upraven podélný svah toku a zpevněn průtočný profil. Na zemědělských půdách v okolí bystřiny jsou navrhovány organizační a agrotechnická protierozní opatření. Při vložení prahů, snížení sklonu nivelety dna příčnými objekty, opevněním koryta, zvýšením drsnosti dna se odolnost koryta zvyšuje. Jako příčné stavby v bystřině jsou využívány stupně, prahy, skluzy, přehrážky (Macura 1966).

7.2 Úprava vodních toků

Hlavním účelem úpravy vodních toků je ochrana před povodněmi, úprava splaveninového a odtokového režimu, odběr vody, využití toků či stabilizace koryta. Úpravu podstupuje tok ale i jeho přilehlé okolí. Jedná se o lesnické, zemědělské a vodohospodářské soubory opatření. Pro návrh a úpravu je nutné mít vodohospodářský plán a směrný územní plán, dále vodohospodářskou studii oblasti, projektové dokumentace úprav, hydrologické údaje, biologické podklady, zemědělské podklady, údaje o hydromelioracích v území či o podzemních stavbách. Přípravné práce spočívají v průzkumu území, studiu realizovaných prací a zaměření.

Úpravy vodního toku vycházejí z účelu, který má splňovat vodní tok. Řeší se trasa toku, příčný profil sklon koryta, dimenze kynety a další (Rybníkář a kol. 1994).

7.3 Objekty na toku

Jezy

Jezy jsou vzdouvacím zařízením v korytě toku a jejich funkcí je trvale či dočasně vzdouvat vodu k vodohospodářským účelům. Jezy zajišťují hloubku potřebnou k odběru vody (pro zemědělské, protipožární účely), zajišťují plavební hloubku, tvoří spád pro energetické účely, umožňují gravitační odběr vody, regulují hladinu vody podzemní v blízkém říčním údolí v souladu s potřebou vody zemědělských a lesních kultur, vyrovnávají spádové poměry, vytváří rekreační plochu. Pro stavbu jezů jsou důležité předchozí průzkumy, zaměření území, geologie, hydrologie lokality a vodního toku, klima a také stanovení chemismu vod (Broža a kol. 1985).

Dle konstrukce se rozlišují na pevné a pohyblivé. Jezy pevné jsou tvořeny pevnou stabilní hradicí konstrukcí, půdorys je přímý, šikmý či zakřivený, výška vzduť vody nad jezem je závislá na průtoku v řece. Pevné jezy neumožňují plynulou regulaci a jsou navrhovány zřídka. Mohou být dřevěné, zděné (Broža a kol. 1985).

Jezy pohyblivé mají spodní část pevnou a hradicí jezové uzávěry pohyblivé, ty umožňují regulaci výšky hladiny vody nad jezem. Při velké vodě se hradicí konstrukce pohybuje a umožní regulovaný průchod vody. Dělí se dle konstrukce na jezy hradidlové, hradlové, pokloповé, hydrostatické, válcové, stavidlové, segmentové, klapkové, vakové, kombinované nebo speciální (Broža a kol. 1985).

Rybí přechody

Pro tah ryb jsou na vodních tazích navrhovány takzvané rybí přechody. Jsou jimi doplňovány především jezy. Dělí se na přechody komůrkové, které tvoří několik komor nad sebou v kaskádě a žlabové, které tvoří nakloněný žlábek a příčky, díky kterým se zmírňuje rychlost (Šálek a kol. 2001).

Vodní nádrže

Vodní nádrž je prostorem k hromadění vody pro pozdější využití vody, zachycení vysokých průtoků, ochranu lokalit pod nádrží a k umělému vytvoření vodní plochy. Většinou je nádrž budována s jedním hlavním a několika vedlejšími účely. Nádrže se dělí dle vzniku na přirozené a umělé. Poté na protékané a neprotékané. Umělé nádrže vzniklé záměrem člověka se rozdělují na údolní (vytvořené přehrazením údolí

přehradou), boční (vytvořeny oddělením a uzavřením části území vedle toku obvodovou hrází), vyhloubené (vznikají vyhloubením terénu), vrcholové (vytvořené v oblasti pramene na rozvodí řek), postranní a podzemní (na přítoku, přivádí se do nich voda z toku hlavního). Dále se dělí dle řízení odtoku na denní, týdenní, roční, víceletý a sezónní cyklus řízení.

U nádrží je nutné vymezit nádržní prostory a charakteristiky, jako celkový prostor nádrže, celkový ovladatelný prostor nádrže, mrtvý prostor nádrže, ochranný prostor, prostor stálého nadržení a akumulací prostor. U jednotlivých parametrů se vymezuje hladina prostorů (Kazda 1978).

Přehradý

Přehradý se neobejdou bez objektů jako přehradní hráz, výpustná a odběrná zařízení, bezpečnostní přeliv. Přehrada je vzdouvací příčnou stavbou, která přehradí údolí toku, vytvoří umělou nádrž a její uzavírací prostor se využívá k řízení odtoků. Slouží k rekreaci, rybolovu, zásobování vodou, výrobě energie, ochraně před povodněmi. Přehradý lze dělit dle stavební konstrukce či použitých materiálů na stavbu. Dle materiálu se dělí na: hráze z nesoudržných materiálů (zemní, kamenité, heterogenní a homogenní hráze) a hráze ze soudržných materiálů (betonové, zděné, ocelové, dřevěné, kombinované) (Kazda 1978).

Odběrné objekty slouží k odebrání a vedení vody k vodárenským, energetickým a závlahovým účelům. Liší se dle odběru vody gravitačně nebo čerpáním, s odebíraným množstvím vody konstantně či nekonstantně, odběry regulované nebo neregulované. Regulační šoupátko a odběrné potrubí jsou součástí objektů (Šálek a kol. 2001).

Bezpečnostní přelivy jsou k řízenému neškodnému převedení velkých vod přes přehradní těleso. Přelivy jsou korunové, postranní, boční, šachtové, žlabové, kašnové či násoskové, nehrazené nebo hrazené. Přelivy jsou doplňovány stavidly, pohyblivou hradicí konstrukcí, klapkami a sektory. Při jímání povrchových vod slouží bezpečnostní přelivy k neškodnému převedení průtoků a budují se nehrazené. Kapacita je navrhována na Q_{100} a retenční kapacita nádrží není brána v potaz (Šálek a kol. 2001).

Výpusti mají potrubní charakter, jsou umístěny ve štole nebo zabudované do tělesa hráze. Jsou v mírném sklonu, patří k nim hrubé česle na jejich návodní stranu. Na

potrubní výpusti jsou revizní uzávěry a dva provozní uzávěry, sloužící k regulaci odtoků či dočasnému uzavření průtoků (Šálek a kol. 2001).

Plavební komory

Plavební komory jsou objektem na vodních cestách umožňující výškový přechod lodí přes zdrže. Velikost komor závisí na třídě neboli velikosti proplavovaných lodí. Dělí se na jednoduché, zdvojené, jedno a vícestupňové, jednolodní a vlakové. V bezprostřední blízkosti se umísťují **rejdy**, sloužící jako manipulační prostory k proplavení lodí. K překonání velikých výškových rozdílů slouží **lodní železnice a lodní zdvihadla** (Pivoda a Šálek 1984).

Lodní mosty

Používají se při křížení plavebního kanálu s vodním tokem nebo jinými překážkami mimo úroveň vody. Mají tvar velkého akvaduktu (Pivoda a Šálek 1984).

Přístavy

Přístavy tvoří dopravní uzly, umožňují napojení na jiné druhy dopravy, umožňují snadné vyplutí, manévrování, vykládání a nakládání. Mohou být osobní, obsahující staniční budovy a sociální zařízení nebo pokladnu, dále obchodní, obsahující sklady nebo zařízení na vykládání zboží, poté průmyslové přístavy, ochranné. Je vhodné je umísťovat tam, kde se kříží pozemní komunikace a vodní cesty (Pivoda a Šálek 1984).

Provozní objekty

Provozní objekty na vodních cestách tvoří výhybny lodí nebo jejich obratiště, napouštěcí a vypouštěcí objekty, čerpací stanice nebo bezpečnostní vrata (Pivoda a Šálek 1984).

Objekty zajišťující přístup k vodě

Přístup k vodě je důležitý pro hospodaření s vodou v tocích, splavnost, rekreační možnosti. K tomu se budují schodiště, která by neměla bránit přirozenému toku vody v toku a neměla by být širší 80 cm. Dále náplavky, což jsou větší plošiny u břehu pro zajištění kontaktu vody s přívozem nebo překládání materiálu. Poté se staví rovnoběžně s proudnicí, od břehu směrem ke dnu koryta rampy, pro lepší dostupnost vody a břehu (Thoř 1981).

Odběrné objekty

Odběrné objekty slouží k odběru vody z vodního toku, rozlišují se dle odběru čerpáním a gravitačního odběru. Dále se dělí dle konstrukce na přímé odběry z vodních toků, odběry z bystřin a odběry z jezových zdrží. Konstrukce odběrného zařízení je sestrojena podle charakteru vodního toku, kolísání hladiny vody, množství odebírané vody, možnosti stavebního provedení. K přívodu vody do odběrných objektů jsou konstruována usměrňovací zařízení, jako například směrovací křídla, která od objektu odhánějí splaveniny (Čábelka a Kunštátský 1966).

Objekty pro využití vodní energie

K nejstarším patří vodní kolo, kterým se zprvu čerpala voda, později pohánělo mlýny nebo pily. Vodní turbíny byly vynalezeny v 18. století, z nich potom vznikly postupem času vodní elektrárny. Voda se v současnosti využívá jako přírodní zdroj pro výrobu elektrické energie. Mezi tyto objekty se řadí vodní motory, vodní turbíny, jezové vodní elektrárny (nízkotlakové elektrárny, krátké přivaděče a odpady), vodní elektrárny u přehrad (středo až vysokotlakové, na středních úsecích vodních toků), vodní elektrárny s derivací (na řekách s větším sklonem toku), přečerpávací vodní elektrárny (umožňují trojí hydraulickou akumulaci energie), přečerpávací elektrárny s umělou akumulací (mají koloběh vody uzavřen, pro větší spády) (Vobořil 2016).

Pokud se kříží vodní tok s komunikací, například železniční nebo silniční, či náhonem nebo průplavem, křížení je mostem, propustkem, shybkou, brodem. Při jejich návrhu by nemělo dojít ke změně režimu proudění (Šálek a kol. 2001).

Mosty

Jedná se o větší objekty s jedním či více poli. V místě mostu je přerušen šikmý sklon ohrazování komunikace, hladina při maximálním průtoku nemůže dosahovat spodní části vodorovné konstrukce mostu. Je nutné dbát na to, aby most nebyl zanesen sedimenty či plovoucími částmi a aby nebyl zmenšován a zahrazován profil. Mosty mohou být objekty o jednom poli, více polích či objekty zvláštními. Objekty o jednom poli jsou buď s pilíři, které zasahují do průtočného profilu – počítáno jako otevřené koryto, nebo s pobřežními pilíři, které nezasahují do průtočného profilu a neovlivňují proudění, průtok je počítán jako dokonalý nebo nedokonalý přepad. Objekty o více polích jsou počítány jako profil složený dle postupného využívání polí od kynety toku. Zvláštní mosty jsou používané v armádě, jedná se o ponořené

mosty, výpočet je v kombinaci výpočtu průtoku otvorem a přepadu (Šálek a kol. 2001).

Propustky

Jde o objekty potrubního charakteru, kruhového, čtvercového nebo obdélníkového profilu. Jedná se o menší objekty (Šálek a kol. 2001).

Shybky

Jedná se o potrubní objekty, mají kruhový průřez a sestupnou větev v přítokové části, vzestupnou větev v části na odtoku za vodotečí (Šálek a kol. 2001).

Brody

Brody jsou budovány u malých vodních toků pro křížení s vozovkami a cestami nejnižšího řádu. Jedná se o mělký úsek na toku – na místech, která jsou takto toku přirozená, který lze překonat pěšky, na zvířeti či vozidlem. Představovaly místa, kde vznikaly první stezky (Pivoda a Šálek 1984).

7.4 Evidence objektů

Evidence objektů na vodních tocích probíhá ze zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a vyhlášky 252/2016 Sb., o rozsahu údajů v evidencích stavu povrchových a podzemních vod a o způsobu zpracování, ukládání a předávání těchto údajů do informačního systému veřejné správy. Evidovat je nutné příčné překážky vyšší než 1 m vyhodnocené v povodňových plánech podle vodního zákona, evidovat je nutné data o typu překážek, územní identifikaci a číselném identifikátoru. Dále se evidují stavby k pozorování stavu povrchových vod, přesněji jejich typ, územní identifikace a číselný identifikátor.

Údaje zpracovávají správci povodí, ukládají je do informačního systému veřejné správy. Český hydrometeorologický ústav a správci povodí zpracovávají data u staveb, se kterými hospodaří. Tyto údaje taktéž přenášejí do informačního systému.

7.5 Revitalizace toků

Dle Šindlara a kol. (2012) se ve vodohospodářské literatuře v letech 1870–1950 kladl důraz na klasické úpravy a popis toku bez snahy využít znalosti o přirozených procesech utváření koryt. Koncept úprav byl klasický, s pár motivy o přirozenosti toků a jejich zasazení do přírody. Bohužel převládalo hrazení toků, regulační, splavňovací a meliorační postupy. Od roku 1990 se v ČR díky Šindlarovi rozvíjí tlak

na využití poznatků o tocích a jejich okolní přírodě, ve vztahu k úpravám řek. V české republice je krajina zásadně proměněna, přirozené parametry vodních toků a niv jsou ovlivněny. Podíl upravených koryt lze zaznamenat již v mapách druhého vojenského mapování 1836–1852. Koryta bývají napřimena, přeložena, zúžena či zahloubena, trasa vede mimo údolnici. Městské řeky jsou opevněné, regulované, byly využívány pro odvod odpadních vod. Změnami je říční údolí degradováno. Hledání přirozeného stavu vodních toků je velmi složitým úkolem kvůli nacházení upravených koryt v historických mapách a záznamech (Šindlar a kol. 2012).

Krajina by měla být brána jako celek a řeka by měla být zasazena do systému, který je provázaný. Lidé pro své potřeby krajinou tvorbu a její dynamický vývoj přehlížejí, to vede ke změně charakteru a typologie krajiny, neprovázanosti krajiny, znečištění toků, úbytku živočichů, katastrofám, poničení sídel a vodních děl. Například provázanost mezi využitím standardních protipovodňových opatření a geomorfologickým korytotvorným procesem umožňuje zvýšit stupeň protipovodňové ochrany a zároveň nabídnout přírodě jí blízké revitalizované koryto zajišťující přirozený rozliv vody do krajiny. Jedná se o propojení hydrotechnické a ekologické stavby (Šindlar a kol. 2012).

Pozornost k revitalizaci vodních toků je v mnoha zemích stále větší. Jedná se o obnovu vody, vodních objektů v rámci udržitelného rozvoje území, který není možný bez řešení regionálních problémů, místní obnovy vodních toků a nádrží. Hlavními cíli revitalizací jsou ekologická funkčnost vodního toku jako ekosystému, zajištění protipovodňové ochrany, vyšší kulturní, estetická a rekreační hodnota, trvale udržitelné využití vodních toků a říčních údolí. Každá revitalizace má odlišný hlavní cíl dle funkce toku pro obyvatele a v krajině a jeho umístění – například navrátit původní živočichy, zvýšení ekologie, čistota vod, estetická hodnota, přírodní charakter toku. Revitalizace souvisí s územním plánováním, vodohospodářstvím a dalšími vědními obory, krajinou estetikou, informovaností obyvatel. Před zahájením projektu musí být provedeny rozbory území, plány a analýzy revitalizace, modelování změn do budoucna, zjištění přirozené morfologie toku, implementace do krajiny, zajištění prostředků pro financování a tak dále. Díky změnám ve společnosti jsou environmentální aspekty začleňovány více a více nejen do legislativ, právních programů, ale i povědomí lidí (Alokhina 2020).

Protipovodňová ochrana v rámci revitalizací:

- Přijetí myšlenky, že řeky potřebují prostor v terénu, nezastavovat blízkost vodního toku a aktivní záplavové zóny
- Zvýšení retenční schopnosti krajiny, přirozený rozliv, obnova mokřadů, implementace prvků ekologické stability
- Snížení přímého odtoku a zvýšení infiltrace do půdy, využití vody (dešťové) v domácnostech
- Retenční nádrže a suché poldry v údolích řek pro extrémní průtoky

Ekologické hledisko revitalizací:

- Obnova hydrodynamického režimu toku, zvýšení morfologické rozmanitosti, zlepšení dynamiky toku, úprava podélného profilu a sedimentačního režimu
- Odstranění kanálových úseků, podzemních úseků, navrácení meandrování koryta na rovné úseky dle historického vývoje, zabránit splavování materiálů
- Vylepšení kvality vody, obnova samočisticích procesů, vhodná vegetace, předčištění vody, která jde do toků, odstranění zdrojů znečištění
- Zvýšení biodiverzity, odstranění invazivních druhů a zachování původní vegetace a živočichů
- Migrační prostupnost, rybí přechody, použití vhodných příčných objektů a technických úprav pro prostupnost toku živočichům
- Poskytnutí přirozené úpravy a obnovy toku před technickými úpravami

Zvýšení estetické, kulturní, obytné a rekreační hodnoty v rámci revitalizací:

- Začlenit tok do města jako krajinářský prvek, rekreační místa v okolí
- Poskytnutí přístupu k tokům na bezpečných místech, volnočasové aktivity, místa pro rybolov
- Stezky podél toků, propojení města a okolní krajiny, naučné stezky, sportovní trasy, místa pro výstavy, naučné panely

Zajištění trvalého využití toků a jejich údolí pomocí revitalizace:

- Vypracování podrobných plánů k využití urbanizovaných území a zpracování potenciálních rizik
- Stanovení pravidel pro odběr vody, udržení dynamických režimů toků
- Minimalizace konfliktů řeky a infrastruktury
- Chytré plánování, implementace, vzdělání, financování a povědomí obyvatel (Alokhina 2020).

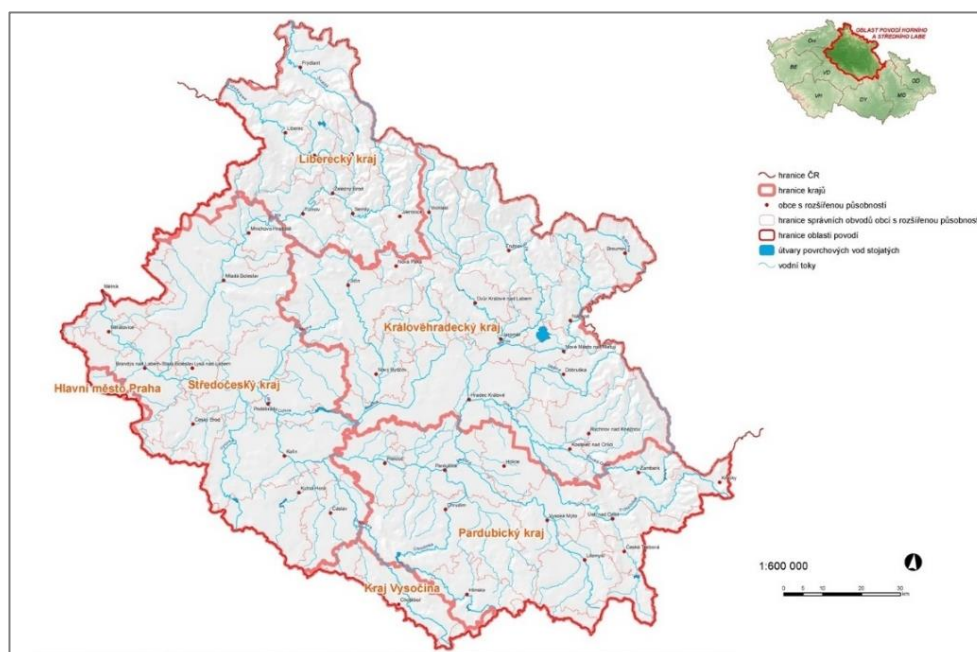
8 Charakteristika studijního území

Tato kapitola shrnuje poznatky o vodním toku Dědina v kontextu povodí Horního a středního Labe, jehož je součástí. Informace jsou nezbytnou součástí ke zpracování modelu a posouzení výstupů. Skládají se z poznatků z literatury, velkou součástí jsou informace získané od Povodí Labe a poznatky z terénního průzkumu.

8.1 Charakteristika dílčího povodí Horního a středního Labe

Pro metodickou část této práce byl vybrán vodní tok Dědina, který je součástí povodí Horního a Středního Labe. Pro ucelený kontext celé problematiky vybraného vodního toku byla charakterizována oblast povodí, do kterého tok patří.

8.1.1 Vymezení oblasti



Obr. č. 3: Vymezení oblasti povodí vzhledem ke členění ČR (Povodí Labe 2009 a).

Oblast povodí Horního a středního Labe je s plochou 14 735 km² nejrozsáhlejší z osmi oblastí povodí v České republice. Oblast se rozkládá v severovýchodních Čechách, v nadmořských výškách od 157 m n.m. až po 1602 m n.m. Na severu, severovýchodě a západě oblast vymezuje hřeben Krkonoš, Orlických a Jizerských hor. Tvoří také rozvodí oddělující úmoří Baltského a Severního moře. Na východě vede hranice povodí masívem Kralického Sněžníku. Jižní hranice prochází přes Českomoravskou vrchovinu. Oblast povodí Horního a středního Labe je dále rozdělena pro účely plánování v oblasti vod na šest subpovodí, kterými jsou Horní Labe, Orlice, Střední Labe 1, Střední Labe 2, Střední Labe 3, Lužická Nisa. Hlavními

toky povodí jsou Labe a jeho přítoky, tedy Úpa, Metuje, Jizerka, Orlice, Chrudimka. Vymezení oblasti povodí v rámci členění ČR lze vidět na obrázku č. 3 (Povodí Labe 2009 a).

Administrativně oblast spadá do Pardubického, Libereckého, Středočeského, Královéhradeckého a Středočeského kraje, okrajově sahá do kraje Vysočina a na území hlavního města Prahy (Tab. č. 1). Území zasahuje do správního území 55 obcí s rozšířenou působností (Povodí Labe 2009 a).

Kraj	Plocha oblasti povodí [km ²]	Podíl plochy kraje v oblasti povodí [%]	Podíl oblasti povodí v ploše kraje [%]
Hlavní město Praha	59,45	12,0	0,4
Středočeský	3882,83	35,2	27,0
Liberecký	2016,76	63,8	14,0
Královéhradecký	4759,26	100,0	33,1
Pardubický	3305,21	73,1	23,0
Vysočina	359,27	5,3	2,5

Tab. č. 1: Vymezení rozlohy povodí vůči krajům (Povodí Labe 2009 a).

8.1.2 Geomorfologické poměry

Morfologie a charakter území podstatně ovlivňuje odtok z povodí. Celé povodí Horního a středního Labe je tvořeno orografickou provincií České vysočiny. Dlouhotrvajícím destruktivním vývojem a tektonickými procesy byla ovlivněna její tvárnost, což se projevilo na uspořádání dnešního terénu s pohořími lemujícími území. Území povodí je rozděleno do tří orografických subprovincií odlišných svým charakterem. Nejvýznamnější je Sudetská (Krkonoško-jesenická) soustava, poté Česká tabule a soustava Českomoravská, Poberounská (Povodí Labe 2009 c).

V Sudetské soustavě jsou nadprůměrné srážky a odtoky, je významnou středoevropskou pramennou oblastí. Pokrývá 30% území. Pramení v ní Labe, Metuje, Orlice, Úpa a Lužická Nisa. V Sudetské oblasti se nachází nejvyšší pohoří oblasti povodí Krkonoše, s nejvyšším bodem České republiky Sněžkou a několik dalších vrcholů převyšujících 1500 m n.m. Dalším vysokým pohořím oblasti jsou Jizerské hory s vrcholem 1124 m n.m. a poté Orlické hory s vrcholem 1115 m n.m. 57 % celkové plochy povodí, tvořící jeho střední část, je v soustavě Česká tabule. Ta je charakteristická vydatnými zdroji podzemních vod a průměrnými hydrologickými hodnotami. Část území je tvořena nízkým reliéfem plošin a nízkých říčních teras Středolabské tabule, kde nejnižším bodem je soutok Labe a Vltavy ve výšce 157 m n.m. Další část tvoří pahorkatina Jizerské, Orlické a Východolabské tabule

s nejvyššími body v 400 m n.m. Ostatní území je v soustavě Českomoravské a Poberounské. Českomoravská subprovincie je tvořena Českomoravskou vrchovinou s nejvyššími místy Železných hor v 600 m n.m., nejnižší poté v Hornosázavské pahorkatině s hlubokými údolími. Skupinu subprovincií uzavírá do území nepatřičně zasahující rovinatá Poberounská provincie (Povodí Labe 2009 c).

Na území povodí převažují z hlediska typologického členění pahorkatiny pokrývající téměř 40 % území, roviny přes 22 % plochy. V pásmu do 200 m n.m. leží 6,6 % území, ve výškách 200–400 m n.m. 57 % území, poté v pásmu výšek 400–600 m n.m. 26,9 % území, v pásmu 600–800 m n.m. 6,1 % území a v nadmořských výškách nad 800 m leží pouze 3,4 % území (Povodí Labe 2009 c).

8.1.3 Geologické poměry

Dle geologie patří povodí do Českého masivu. Geologie povodí má vliv na řadu charakteristik a dějů v povodí, ovlivňuje tvar říční sítě a materiálů koryta, zvětrávání či chemismus vody. Český masiv zformovalo variské vrásnění před 380–300 miliony let, to stmelilo šest horninových oblastí paleozoického a prekambického stáří s rozdílným geologickým vývojem do jednoho pevninského bloku. Masiv je tvořen dvěma patry, kde spodním jsou krystalické jednotky masivu a starší zvrásněné paleozoikum stmelené hercynskou orogenezí, patrem horním jsou sedimenty křídly, terciéru a kvartéru. Mladší horninové jednotky Českého Masivu mají charakter platformy a většinou nejsou zvrásněny, ty tvoří střední část povodí. Spodní patro tvoří lem při severním, východním a jižním okraji plochy povodí (Povodí Labe 2009 c).

8.1.4 Hydrogeologické poměry

Česká křídlová pánev je lokalitou s největšími zásobami podzemních vod. Lokalita je rozdělena do 5 rajonů dle hydrogeologie, těmi jsou rajony kvartérní, terciální, křídlové, v krystaliniku a permokarbonu. Povodí má charakter kotliny, v jejímž středu se nachází křídlová pánev ohraničená horskými pásmy krystalinika a permokarbonské pánve. V krystalických masívech nedochází k akumulaci většího množství podzemní vody. To platí také pro permokarbonské sedimenty, které nejsou z vodohospodářského hlediska významné a nelze z nich ve velkém odebírat podzemní vody. Oproti tomu vrstvy se sedimenty svrchní křídly, které jsou nejrozsáhlejší geologickou jednotkou v povodí, uchovávají zvodnělé kolektory se

spojitými rozsáhlými nádržemi podzemních vod. V okolí dolního toku Orlice se nachází kvartérní fluviální sedimenty, které jsou významné dobrou propustností a schopností velkého zvodnění, což je významné z hlediska zásobování vody obyvatel. Na území se vyskytují také minerální vody, například kyselky v Poděbradech (Povodí Labe 2009 c).

8.1.5 Hydrologické poměry

Mezi hlavní toky v oblasti patří Labe a jeho přítoky, kterými je Úpa, Orlice, Metuje, Jizera či Chrudimka. Hustota vodní sítě je však pro plochu povodí nerovnoměrně rozložena. V povodí Horního a středního Labe se vyskytuje téměř 90 hlásných profilů ČHMÚ – Českého hydrometeorologického ústavu. Pro oblast Horního a středního Labe jsou charakteristické hydrologické údaje nejlépe zjišťovány dle profilu v Brandýse nad Labem, kde se nachází stanice ČHMÚ nejbližší závěrovému profilu v oblasti pod významnými přítoky. Na tomto místě byl určen dlouhodobý průměrný průtok Labe $101 \text{ m}^3/\text{s}$ pro plochu povodí $13\,111 \text{ km}^2$ v letech pozorování 1931–2000 (Povodí Labe 2009 a).

Dle hydrologického režimu a charakteristických průtoků je Labe řazeno mezi toky dešťovo-sněhového typu. Pro oblast povodí je typický režim zimních povodní, pouze u některých levostranných přítoků Labe a toky v severozápadních Jizerských horách převládá letní režim. Na horním toku Jizery se vyskytuje smíšený režim, jinými slovy zde mohou nastat letní i zimní povodňové vlny. Oblasti povodí byly v minulosti často zasaženy povodněmi. Platí, že v horských a podhorských oblastech povodí jsou časté regionální povodně z přívalových srážek. Srážky jsou na povodí nerovnoměrně rozloženy, což způsobuje odlišné specifické odtoky v dlouhodobém průměru. Ty jsou v nížinách mnohem nižší než v ostatních oblastech. Nížinné oblasti jsou taktéž vázány na odtoky z horských oblastí, kde je převážná část odtoků tvořena. V roce 2003 byla oblast povodí postižena významným suchem, kdy klesly průměrné hodnoty průtoků pod $Q_{355} - Q_{364}$ a některé z vodních toků zcela vyschly (Povodí Labe 2009 a).

Na Labi se nachází Labská přehrada, plní protipovodňovou funkci a má také vodárenský význam, odběr surové vody pro město. Druhou přehradou na Labi je Les Království, která taktéž chrání před povodněmi a slouží k výrobě elektřiny. Mezi tokem Úpa a Metuje leží přehrada Rozkoš, ta je využívána pro protipovodňovou ochranu a odběrům povrchové vody, chovu ryb a dříve hojně sloužila k rekreaci. Na

Divoké Orlici lze nalézt vodní dílo Pastviny, které nadlepšuje průtoky, plní protipovodňovou funkci, slouží k výrobě elektrické energie, rekreaci či rybaření, a vyrovnávací nádrž Pastviny II. Na řece Chrudimce se nachází několik nádrží, Hamry, Seč, Křižanovice a vyrovnávací nádrže Padrty a Práčov. Hamry slouží k vodárenským účelům, nadlepení průtoků a ochraně před povodněmi. Takové funkce má i nádrž Seč, která především akumuluje vodu pro vodárenské účely, slouží i k rekreaci a rybaření (Povodí Labe 2009 a).

8.1.6 Pedologické poměry

V oblasti jsou nejčastěji se vyskytujícím půdním typem půdy hnědé (38 %), hnědozemě (13 %), černozemní půdy (11 %), pseudogleje a gleje (9 %), nivní půdy (6 %), podzoly (6,5 %), dále rendziny a parendziny (8,5 %) a další. Hnědé půdy mají výrazné zastoupení především v subpovodí Horního Labe, Orlice, Chrudimky, Tiché Orlice a Stěnavy. Jedná se o hlinité, hluboké půdy, u nichž s nadmořskou výškou stoupá hloubka půdy a roste obsah humusu, avšak větší množství srážek způsobuje vysoké vymývání. Další typ hnědozemě, který lze nalézt okolo černozemních půd a terénu nízkých pahorkatin, vzniká ze sprašových hlín a spraší. Tento typ se vyskytuje především v oblasti dolní Jizery či v povodí Bystřice. Černozemě lze nalézt podél střední části Labe a povodí Chrudimky. V povodí Orlice a Středního Labe se nacházejí nivní půdy. V povodí Lužické Nisy se nachází pseudogleje a gleje, charakteristické vysokou vlhkostí povrchovou a spodní vodou. Parendzimy se vyskytují pouze v některých z dílčích povodí Horního a Středního Labe. Podzoly se poté nachází v horských oblastech. Erozi ze zmíněných půdních typů dobře odolává černozem, poté hnědozem a nejméně podzol (Povodí Labe 2009 a).

Půdní druhy v oblasti povodí Orlice a Středního Labe jsou nejčastěji hlinité, v okrajových oblastech povodí písčitohlinité a hlinitopísčité. Hlinité půdy, tvořící asi 40 % plochy povodí jsou náchylné vodní erozi, mají průměrnou schopnost infiltrace, obsahují vyšší podíl prachových částic, který má za následek menší soudržnost, větší transportovatelnost. 16 % plochy povodí poté tvoří jílovité půdy a jíly, ty jsou méně náchylné k erozi, soudržnost půd je vyšší, avšak schopnost infiltrace nízká. Písčitohlinité půdy zabírají 15 % plochy povodí a jsou typické menší náchylností k erozi (Povodí Labe 2009 a).

Oblast je významná pro minerální obsah půd. Velmi bohaté oblasti na minerály pokrývají nížinné oblasti středního Labe, to je přibližně 23 % území. Středně bohaté

půdy zabírají téměř polovinu území, chudé až velmi chudé potom necelou třetinu plochy (Povodí Labe 2009 a).

8.1.7 Klimatické poměry

Povodí horního a středního Labe se nachází v oblasti klimatického mírného pásu s pravidelným střídáním ročních období. Na většině územní jsou průměrné roční teploty vyšší než 6 °C, v horských oblastech je roční průměr nižší než 4 °C. Pro celé povodí byla určena průměrná roční teplota 7,5 °C. Množství srážek je na území velmi ovlivněno orografickým členěním a nadmořskou výškou, srážky na povodí jsou tedy nerovnoměrné. V nejvyšších místech povodí, Krkonoš a Jizerských hor, dosahují ročního průměru až 1400 mm, v Orlických horách 1000–1200 mm, oproti tomu v nízkých oblastech 600 mm. Průměrná roční hodnota výparu z vodní hladiny byla pro povodí vypočtena na 534 mm. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 2 níže (Povodí Labe 2009 c).

	Průměrné teploty ve °C (1961 – 1990)	Průměrné srážky v mm (1961 – 1990)	Průměrný výpar z vodní hladiny v mm(1992 – 2002)
Horní Labe	6,6	832,0	501,0
Orlice	7,1	753,7	538,0
Střední Labe 1	7,8	633,2	589,0
Střední Labe 2	8,3	607,5	565,0
Střední Labe 3	7,4	742,4	531,0
Lužická Nisa	6,8	849,8	508,0
Horní a střední Labe celkem	7,5	705,0	534,0

Tab. č. 2: Průměrné srážky a teploty na povodí (Povodí Labe 2009 c).

8.1.8 Využití území v oblasti

Využití území a krajinný ráz má vliv na jakost vody, znečištění a odtokové poměry. Orná půda na území zabírá téměř 50 %, lesy a polopřírodní vegetace 30 %. Smíšené zemědělské oblasti potom zaujímají 9 %, uměle přetvořené plochy 7 %, travní porosty 5 %. Velmi malé zastoupení (>1 %) plochy mají kategorie trvalé plodiny, vody, těžební, stavební, skládky, mokřady. Rozloha orné půdy a trvalých plodin je při porovnání s ostatním územím ČR nadprůměrná (CENIA ©2019).

Lesy mají v povodí Horního a středního Labe zastoupení pod celostátním průměrem, zalesněno je méně než 30 % plochy. Lesní porosty a vhodná druhová skladba jsou zásadní pro hydričké funkce, retenci vody, udržení průtoků při nízkém úhrnu srážek a pro půdoochrannou funkci. Souvislé lesní porosty se nacházejí zejména v podhorských či horských lokalitách. Nejčastěji jsou zastoupeny dubobukové

porosty, dále jedlobukové nebo bukové. Významné jsou horské lesy buko-smrkové, smrkové, klečové. Dominantní jsou však v současné době jehličnany, zabírající 77 % lesů, z listnatých stromů má hlavní zastoupení buk a dub druhová skladba neodpovídá přirozenému stavu. To ohrožuje funkce lesa, k čemuž nemálo přispívá ohrožení porostů imisemi, klimatem či okusem zvěří (Povodí Labe 2009 a).

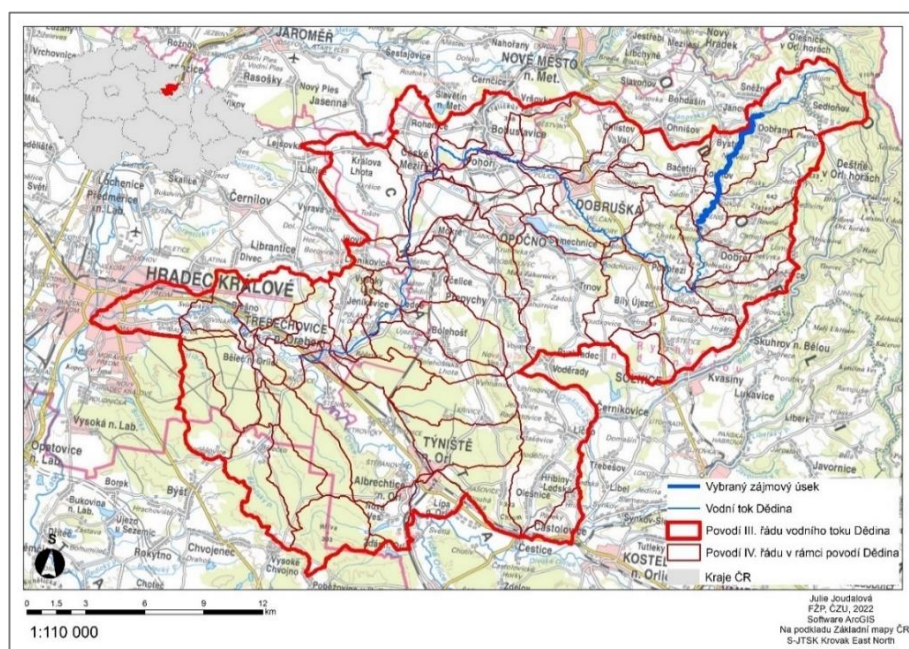
V oblasti povodí se nachází 1 národní park – KRNAP, 8 chráněných krajinných oblastí, 15 národních přírodních rezervací, 129 přírodních rezervací, 15 národních přírodních památek, 187 přírodních památek, 21 přírodních parků. Chráněná území zabírají přes 20% celkové plochy povodí. V oblasti jsou také území Natura 2000, ptačí lokality, evropsky významné lokality, územní systémy ekologické stability (CENIA, ©2019).

Rozložení obyvatel a sídelní struktura je v oblasti nerovnoměrné, lidé jsou koncentrováni ve větších městech, kterými jsou Liberec, Hradec Králové, Pardubice, Chrudim či Náchod. Oproti tomu horské a podhorské oblasti jsou velmi málo osídleny, sídla jsou rozdrobena (ČSÚ ©2021). Na celém území povodí se nachází přes 1400 obcí. Díky rekreaci zde dochází k sezónní nerovnoměrné potřebě zásobení vodou a čištění vod odpadních, či využití horských oblastí či vodních nádrží. Rozložení a struktura sídel souvisí s množstvím zdrojů znečištění v oblasti (Povodí Labe 2009 a).

Ve spojitosti s nerovnoměrnou sídelní strukturou lze předpokládat nerovnoměrnost dopravní infrastruktury. Ta velmi dobře spojuje města na hlavních tazích, rozsáhlé venkovské oblasti mají horší dopravní obslužnost. Dopravu obstarávají také železniční koridory, lze zde najít menší mezinárodní a vnitrostátní veřejné letiště či letiště vojenské. Labská vodní cesta zajišťuje vodní dopravu z Mělníka do Chvaletic, cesta je zařazena do transevropské sítě vodních cest kategorie E (Povodí Labe 2009 a).

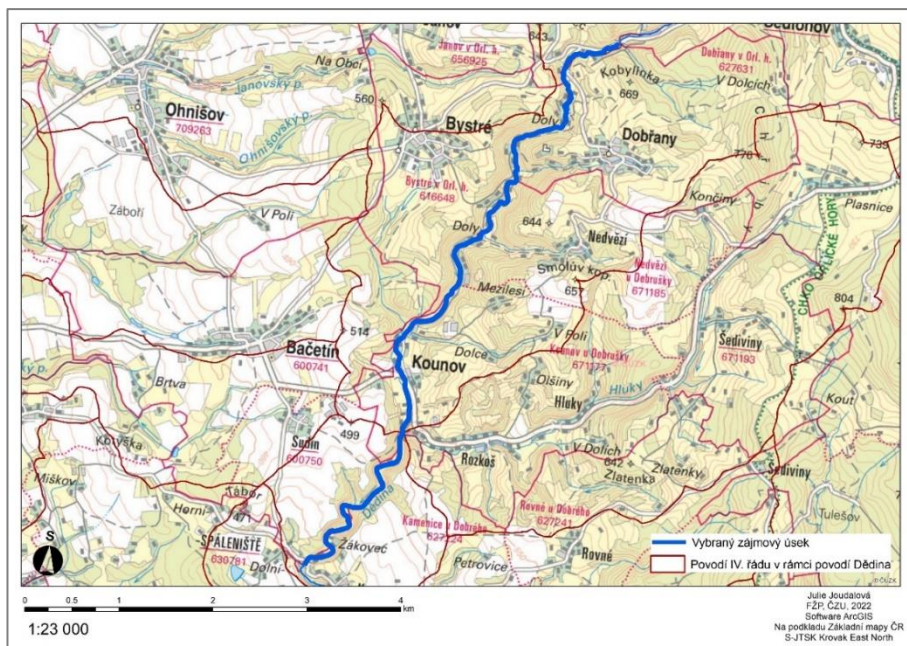
Zemědělsky je lokalita využita hlavně k rostlinné výrobě, pěstovány jsou plodiny jako řepka, obiloviny, cukrovka, píce, kukuřice, hojně je zapojeno ovocnářství. Nejvýznamnější zemědělskou lokalitou s příznivými přírodními podmínkami je polabská nížina. Vrchovinné oblasti se značí množstvím pastvin a luk a s tím související vyšší živočišnou výrobou. Průmysl v oblasti je soustředěn v linii velkých měst, jedná se především o automobilový, strojírenský, chemický, sklářský, v minulosti textilní (Povodí Labe 2009 a).

8.2 Charakteristika zájmového území vodního toku Dědina



Obr. č. 4: Poloha zájmového území na podkladu Základní mapy ČR (ČÚZK)

Vodní tok Dědina se nachází v povodí Horního a středního toku Labe, v subpovodí Orlice. Řeka Orlice s plochou povodí 2036 km² se do Labe vlévá v Hradci Králové. Orlice vzniká ze dvou zdrojnic, Divoké a Tiché Orlice. Divoká Orlice s plochou povodí 807 km² pramení v polských Orlických horách v nadmořské výšce 790 m n.m. V Polsku teče 5,7 km a poté tvoří 36 km česko-polskou hranici, u Zemské brány se směřuje do vnitrozemí. Orlice Tichá o ploše povodí 755 km² pramení taktéž v Orlických horách v nadmořské výšce 760 m n.m. Po soutok řek má Divoká Orlice délku 103 km a Tichá Orlice 104,5 km, od soutoku protéká Orlice nížinou východně od Hradce Králové, do Labe se vlévá po 32,7 km od soutoku v nadmořské výšce 225 m n.m., je jeho levostranným přítokem (Povodí Labe 2009 b). Dle profilu ČHMÚ Tyníště nad Orlicí je dlouhodobý průměrný průtok Orlice pro roky 1931–2000 19,1 m³/s, kdy plocha povodí je 1591 km². Na řece Divoká Orlice lze nalézt vodní dílo přehradu Pastviny a také vyrovnávací nádrž Pastviny II (Povodí Labe 2009 a).



Obr. č. 5: Vymezení zájmového úseku na podkladu Základní mapy ČR (ČÚZK)

Řeka Dědina je tokem IV. řádu, ID toku je 10100054. Řešený úsek spadá v rámci povodí Dědina do povodí s označením 1-02-03-008 a 1-02-03-010. Zájmovou oblast ukazuje obrázek č. 4 a obrázek č. 5. Dědina je jedním ze dvou nejvýznamnějších přítoků Orlice, která je tokem III. řádu s označením 1-02-03 (VÚV T.G.M. 2022). Délka toku Dědina je 59,7 km, plocha povodí 333,2 km². Pramení v nadmořské výšce 784 m n.m. na území Orlických hor (Vlček a kol. 1984). Od pramene teče jihozápadním směrem, pramení v obci Sedloňov, kde v jihozápadní části tvoří hranici s obcí Sněžné, poté je severozápadní hranicí obce Dobřany, rozděluje obce Bystré a Kounov, poté v obci Bílý Újezd stáčí směr toku severozápadně, dále protéká obcí Pobřeží a Dobruška, odkud teče západně do Českého Meziříčí. Od pramene do této obce je tok v relativně přírodě blízkém stavu, v minulosti však došlo ke změně trasy a napřimění toku. Od obce Chábory byla vedle původní větve vybudována větev umělá (nazývána zlatý potok či Opočenský náhon). Umělá větev slouží k napájení rybníků a proti povodním, větve se opět setkávají u Meziříčí. Niva toku je vysoce zemědělsky využívána. Na některých místech jsou systematické drenáže, to spolu s napřiměním a zahloubením koryta vede ke snížené schopnosti retence krajiny, odvodnění nivy a vyššímu odtoku. Od Meziříčí se stáčí směrem na jih do území Hradce Králové, kde se v Třebechovicích pod Orebem v nadmořské výšce 235 m n.m. vlévá do Orlice na jejím 15 ř. km jako její pravostranný přítok. V tomto úseku je koryto téměř po celé délce upraveno (Dobruška ©2021).

Jejím levostranným přítokem v obci Sedloňov je Zlatý potok, mezi obcemi Kounov a Dobré potok Hluky, v obci Dobré Kamenický potok, dále Jalový potok, Hlinecký, Osečnický či potok Hat'ský. Pravostranným přítokem je v Dobrušce Brtevský potok, dále Halínský potok u Pulic. Před Třebechovicemi pod Orebem se nachází umělý kanál Alba, který spojuje řeku s řekou Bělá (Dobruška ©2021).

Ke sledování a zabezpečení povodně slouží hlásný profil kategorie C Žákovec ve správě státního podniku Povodí Labe u obce Žákovec. Ten slouží pro pozorování první třetiny toku – hodnoty jsou platné po obec Pobřeží, přesněji plochu povodí 37,52 km². O tomto profilu nejsou dostupné podrobnější informace na stránkách ČHMÚ. Dalším je profil Chábory (na 30,7 ř. km, v nadmořské výšce 305,03 m n.m.) kategorie B ve správě ČHMÚ, nachází se na pravém břehu. Pod Chábory je režim vody ovlivněn průtoky Zlatého potoka, k převodu vod se zde nachází rozdělovací objekt, množství vody, kterou lze převést je stanoveno manipulačním řádem dle průtoků zjištěných v Cháborech (Dobruška ©2021). Dalším hlásným profilem je Mitrov, kategorie A ve správě ČHMÚ (na 3,9 ř. km, nadmořské výšce 240,28 m n.m.). Hodnoty dostupné na webových stránkách ČHMÚ zobrazuje tabulka č. 3 (ČHMÚ ©2021 b).

Profil	Vodní tok	ČHP	nejvyšší zaznamenaný vodní stav	Průtok [m ³ /s]	N [roky]	Datum	Kateg. profilu
Chábory	Dědina	1-02-03-016	442 cm			23.7.1998	B
			190 cm			5.7.1958	
			190 cm			17.7.1965	
			188 cm			1.4.1962	
			180 cm			19.8.1948	
			150 cm	22	5 - 10	31.3.2006	
Mitrov	Dědina	1-02-03-048	365 cm			24.7.1998	A
			278 cm	31	2 - 5	30.3.2006	
			275 cm			3.1.2003	
			275 cm			12.8.1964	
			271 cm			25.12.1967	
			266 cm			6.7.1958	

Tab. č. 3: Vodní stavy vodního toku Dědina (ČHMÚ ©2021 b)

Na území je vyhlášena evropsky významná lokalita Dědina u Dobrušky, jejíž hlavním předmětem ochrany je populace ohrožené mihule potoční (*Lampetra planeri*) a vranky obecné (*Cottus gobio*) a jejich biotopu. Dědina u Dobrušky je pro svou meandrující nivou chráněna jako přírodní památka. Území se nachází v oblasti černýšových dubohabřin dle potenciální vegetace ČR, typickým zachovalým porostem toku jsou jasanovo-olšové luhy. Břehové porosty jsou chudé na flóru, pestré na keřové patro, bohaté na stromové patro (ŠINDLAR s.r.o. 2013).

V povodí vodního toku Dědina lze nalézt přes 350 vodních toků, většina z nich jsou však velmi malé. V povodí řeky se nachází rybník Broumar a Semechnický rybník

na Zlatém potoce, dále Podchlumský rybník na Ještětickém potoce a rybník Drnov na bezejmenném toce. Energii vodního toku využívají 4 malé vodní elektrárny (Dobruška ©2021).

Řešené území se nachází v klimatickém regionu méně chladném, vlhkém. Území je poměrně svažité, expozice převážně severní. Skeletovistost je převážně střední až silná. Půdními typy vyskytujícími se na řešené lokalitě jsou kambizem, rankery, litozemě, gleje, podzoly. Půdy nejsou významně produkční, vodní erozí ohroženy, větrná eroze je na území zanedbatelná. Hydrologické skupiny půd na lokalitě jsou převážně A, poté B a mírně se vyskytuje D. Využitelná vodní kapacita půd je vysoká (VÚMOP 2022). Hydrogeologický rajon, do kterého oblast spadá do základní vrstvy v horninách krystalinika, proterozoika a paleozoika. Kolem vodního toku se rozkládá územní systém ekologické stability, regionální biokoridor a biocentrum (CENIA ©2019). Charakteristiky území v příloze č. 2 – geologické poměry, v příloze č. 3 – půdní typy, v příloze č. 4 – využití území.

9 Metodika

V metodické části byl sestaven hydrodynamický model, jehož cílem bylo určit a posoudit záplavové území, které bylo vyhodnoceno v další kapitole 10 Výsledky. Dále byl vyhodnocen vliv záplav na objekty nacházející se na vodním toku. Zpracováváný zájmový úsek se nachází mezi 43. a 52. říčním kilometrem řeky Dědina. Celková délka úseku je 8389,75 metrů. Na tomto úseku se nachází obec Kounov, která byla i s okolními osadami v minulosti povodněmi postižena.

Součástí vlastní části této práce byl terénní průzkum, který spočíval ve zmapování koryta, břehů a inundačních prostorů, v ověření a zmapování polohy a parametrů objektů na vodním toku. Při průzkumu byla pořízena fotodokumentace, která byla přidána do příloh práce. Pro model byla získána data od Českého hydrometeorologického ústavu, Povodí Labe a Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního. Hlavními vstupy do modelu byla hydrologická data N-letých průtoků, výškopisná data neboli digitální model terénu a hydrotechnická data o objektech na toku. Sestavení modelu, jehož postup je podrobněji popsán níže, bylo zpracováno v programu ArcMap 10.0.1, programu HEC-RAS 6.1 a extenzi HEC-GeoRAS.

9.1 Vstupní data

Hydrologická data

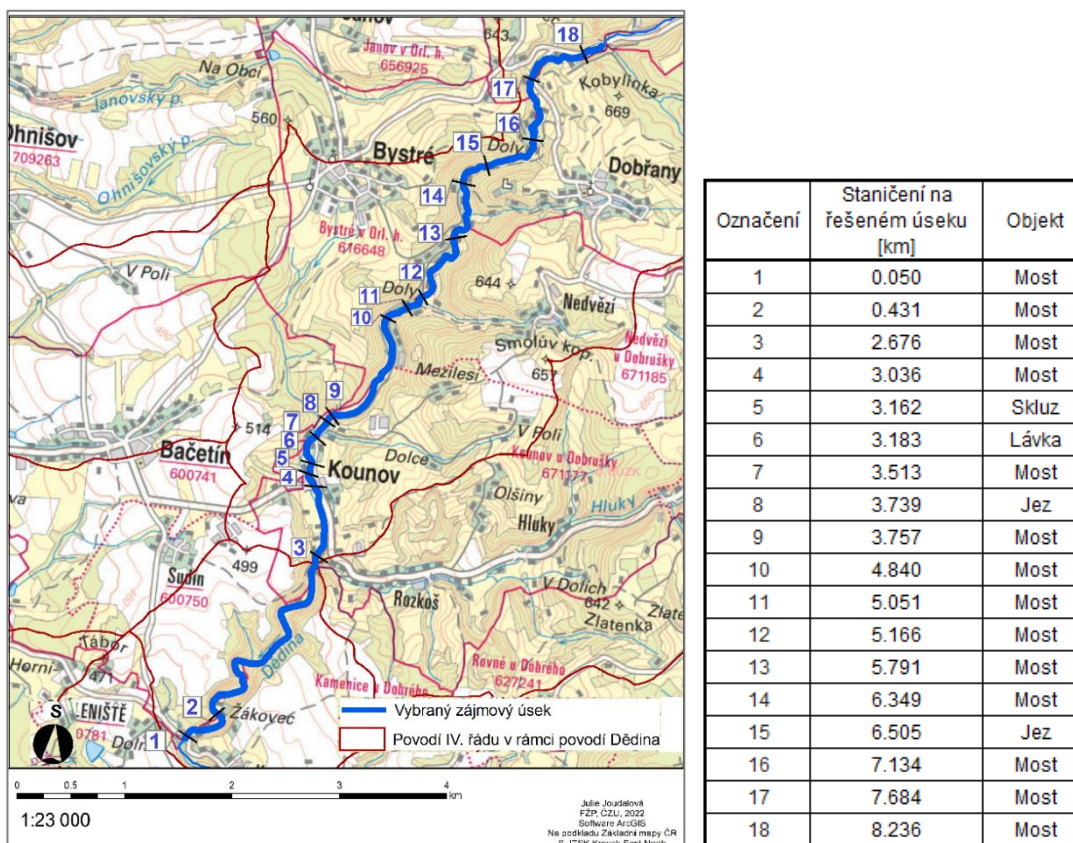
Hydrologická data neboli hodnoty N-letých průtoků (Q_N) pro vodní tok Dědina byla poskytnuta na žádost od Ing. Zdeňky Sedláčkové z oddělení hydrologie Českého hydrometeorologického ústavu. Hodnoty průtoků v m^3/s jsou uvedeny pro hlásný profil Povodí Labe Žákovec, kdy plocha povodí je $37,52 \text{ km}^2$. Jednotlivé hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 4.

N [roky]	$Q_N [m^3/s]$
1	5,88
2	9,54
5	16,40
10	23,10
20	31,40
50	44,90
100	57,20

Tab. č. 4: Hodnoty N-letých průtoků (Poskytnuto od Ing. Sedláčkové Z., ČHMÚ, oddělení hydrologie)

Hydrotechnická data

Polohopisné a výškopisné zaměření objektů, které se nacházejí na toku, bylo poskytnuto také Státním podnikem Povodí Labe. Na řešené části toku se nachází 18 objektů, z toho 3 jezy a 15 mostů, zobrazeno na obrázku č. 6 a v tabulce č. 5. Při terénním průzkumu bylo ověřeno umístění a parametry objektů, provedená fotodokumentace objektů pořízena v terénu se nachází v příloze práce č. 5.



Obr. č. 6: Objekty na řešeném úseku, graficky na podkladu Základní mapy ČR (ČÚZK)

Tab. č. 5: Objekty na řešeném úseku toku se staničením v rámci úseku

Výškopisná data

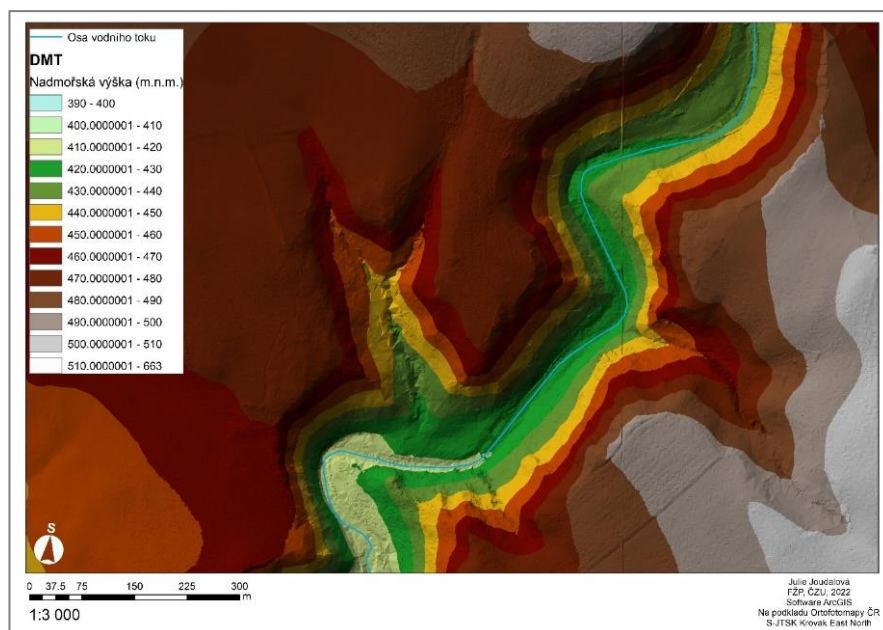
Základním podkladem pro zpracování modelu byla výškopisná data. Těmi byla data ZABAGED®, zakoupená od Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního. Jedná se konkrétně o 4 mapové listy Digitálního modelu reliéfu ČR 5. generace.

Pro vytvoření digitálního modelu terénu (ukázka Obr. č. 7, celkový pohled příloha č. 1), který je nedílnou součástí pro sestavení hydrodynamického modelu a prezentaci výsledků, byl použit program ArcMap 10.8.1. – prostředí ArcGIS a program QGIS 3.20.0. Podkladovými daty ke zpracování byla zakoupená data digitálního modelu reliéfu České republiky (DMR 5G), který zobrazuje zemský povrch v digitálním

tvaru ve formě výšek diskrétních bodů uspořádaných v nepravidelné trojúhelníkové síti bodů o souřadnicích x, y, h (TIN - Triangulated Irregular Network). Data pro model vznikla leteckým laserovým skenováním výškopisu v letech 2009-2013, pro celou ČR byl model dokončen v roce 2016. DMR 5G je vhodný pro analýzy lokálního rozsahu (ČÚZK ©2022). Práce je zpracována v souřadnicovém systému S-JTSK / Krovak East North (5514), definováno od nultého poledníku Greenwich.

Data byla poskytnuta ve formátu *.xyz v ASCII kódování, byla převedena na textový soubor (*.txt). V programu ArcMap byla v ArcCatalogu použita funkce *Create Feature Class – From X, Y Table*, která data převedla na bodovou vrstvu. Následně byla na tuto vrstvu použita funkce na vytvoření TIN – *Create TIN* a poté byl vytvořen digitální model reliéfu (DMR) ve formátu rastrových dat funkcí *TIN To Raster* o velikosti buňky 1 m. Takto byly vytvořeny 4 rastry pro 4 zakoupené mapové listy. Následně byly spojeny do jednoho DMT funkcí *Mosaic To New Raster*.

Spojením mapových listů vznikly na spojích viditelné chyby, které však obsahují již zakoupená data. Na těchto místech výšková data neodpovídají realitě, nejsou souvislá s okolním terénem, to může být způsobeno nedostatkem naměřených dat, interpolační metodou či rozdělováním do mapových listů a tak dále. V simulaci by se tato chyba mohla odrazit, proto byl model reliéfu upraven v programu QGIS nástrojem *Serval*, který umožňuje změnu výškové hodnoty chybných pixelů. Tento nástroj byl použit i v místech vodního toku. Na místech, kde jsou na vodním toku objekty (mosty) či blízká hustší zástavba letecké laserové skenování zaznamenalo výšku objektů místo vodního toku. Z důvodů hydrodynamické simulace byla v linii toku na místech překryvu – kde zcela chyběla výšková data vodního toku v důsledku zastínění vyššími objekty – změněna hodnota některých pixelů. To umožní modelu vnímat tok u objektů tak, že je voda schopna stále protékat a místa nebudou působit jako překážka toku a proudění vody. Takto vytvořený a upravený digitální model reliéfu byl použit pro následné analýzy.



Obr. č. 7: Detail digitálního modelu terénu ve formátu TIN

9.2 Vytvoření geometrických dat

Geometrickými daty toku je osa toku, jeho břehové linie, proudění vody a příčné profily. Tato data byla vytvořena v prostředí ArcGIS jako nedílná součást pro vytvoření modelu v programu HEC-RAS. V programu ArcMap vznikly díky doplňkové extenzi HEC-GeoRAS, kterým lze následně přímo exportovat vytvořená geometrická data do programu HEC-RAS. Geometrie byla vytvořena pro řešenou část toku Dědina. Tvorba probíhala na podkladu již vytvořeného digitálního modelu terénu. Pro zhotovení geometrie byly vytvořeny RAS vrstvy v sadě nástrojů HEC-GeoRAS funkcí *RAS Geometry – Create RAS Layers*. Vytvořením vrstev vznikla geodatabáze, kam jsou vzniklá geometrická data uložena (Merwade 2016).

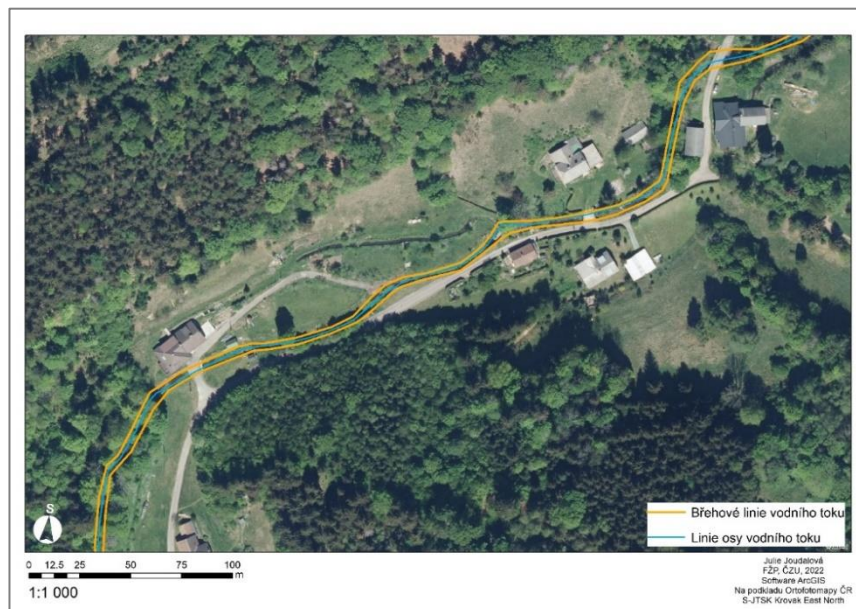
Osa toku

Nejprve byla vytvořena vrstva, která je osou zájmové části vodního toku Dědiny. Tato vrstva sloužila k založení a ukotvení sítě toku. Tvorba *Geometry – Create RAS Layers – Steam centerline*. Následuje zapnutí editace vrstvy a vektorizace linie toku pomocí podkladu digitálního modelu reliéfu v ose toku, po směru vodního toku. Řešená část je v práci jedním úsekem. Následně byla část pojmenovaná použitím nástroje *Assing RiverCode and ReachCode to River*.

Břehové linie

Následovně byla vytvořena vrstva břehových linií *Geometry – Create RAS Layers – Bank lines*. Ty mají za účel odlišit hlavní koryto a nábřežní záplavové linie,

informace související s polohami břehů jsou využívány pro přiřazení vlastností průřezům. Břehové linie byly vytvářeny po obou stranách osy toku, není však žádné pravidlo, jak je tvořit. Linie byly tvořeny po směru toku, na podkladu modelu terénu, nejprve levý, poté pravý břeh. Detail linií zobrazen na obrázku č. 8.



Obr. č. 8: Detail břehových linií toku a linie osy toku na podkladu Ortofotomapy ČR (Esri ArcGIS Server)

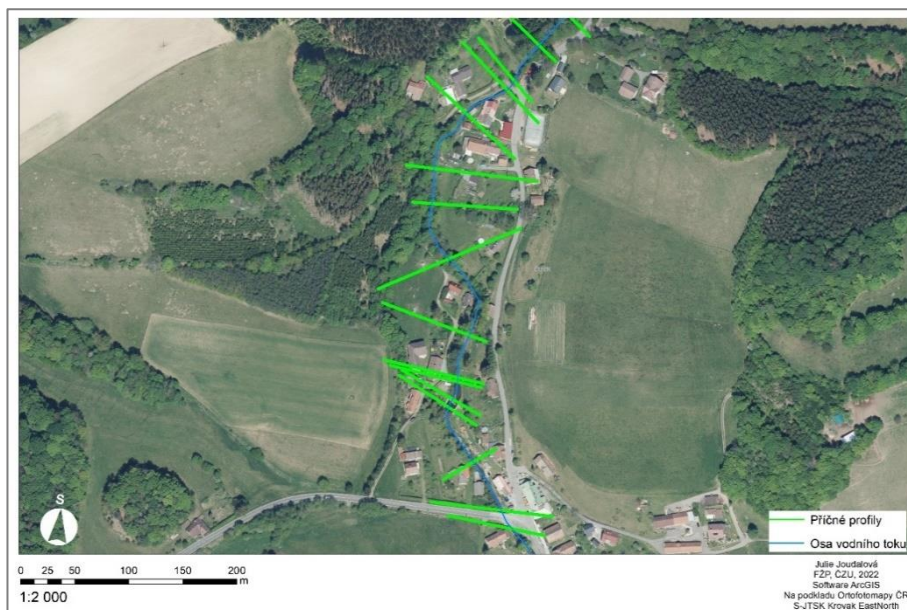
Proudění vody

Dále byla vytvořena vrstva proudění vody, jejíž funkce je rozlišit proudění uvnitř a vně koryta. Použita byla funkce *Geometry – Create RAS Layers – Flow Path Centerlines*. K vytvoření geometrie proudění uvnitř toku byla zkopírována linie osy toku. Pro rozlišení proudění vně za levým či pravým břehem vodního toku byla použita funkce *Select flowpath and Assign Line Type Attributes*.

Příčné profily

Příčné profily (ukázka na obr. č. 9) jsou klíčovým vstupem do HEC-RAS modelu. Používají se k extrahování údajů o nadmořské výšce z terénu k vytvoření profilu terénu napříč tokem kanálu. Průsečík vrstvy příčných profilů a ostatních vytvořených geometrických vrstev se využívá k výpočtům prováděným v HEC-RAS. Dostatečné množství příčných profilů zajistí dobrý model koryta a záplavového území. Linie profilů musí být tvořeny kolmo ke směru toku, ve směru zleva doprava (při pohledu po proudu), musí také pokrývat modelovaný rozsah povodně. Měly by vystihnout geometrii toku a nekřížit se. Mezi jednotlivými profily by měly být konzistentní rozestupy. U objektů na toku by měly být příčné profily po i proti proudu konstrukce,

nejlépe ve vzdálenosti do 5 m. Celkem bylo nakresleno 157 profilů. K vytvoření byla použita funkce *Geometry – Create RAS Layers – XS Cut Lines*.



Obr. č. 9: Detail příčných profilů na podkladu Ortofotomapy ČR (Esri ArcGIS Server)

Posledním krokem před exportem dat bylo vytvoření 3D vrstvy funkcí *Geometry – XS Cut Line Attributes – All*. Tato funkce přiřadila příčným profilům atributy, jako informace o výškopisu, staničení.

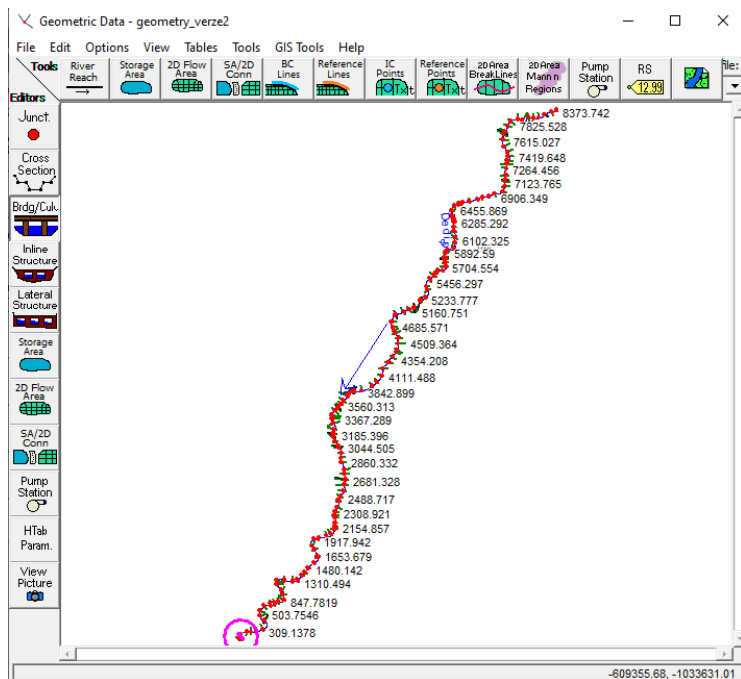
Následoval export vytvořených geometrických dat do programu HEC-RAS. Export byl proveden funkcí *Geometry – Export RAS Data*.

9.3 Vytvoření modelu v programu HEC-RAS

V programu HEC-RAS 6.1 následovalo vytvoření hydrodynamického modelu (US Army Corps of Engineers 2021 e). Nejprve byl v programu vytvořen projekt (*File – New Project – *.prj*) a nastaveny jednotky SI (*Options – Unit System – System International*).

Import geometrických dat vytvořených v programu ArcMap pomocí extenze HEC-GeoRAS

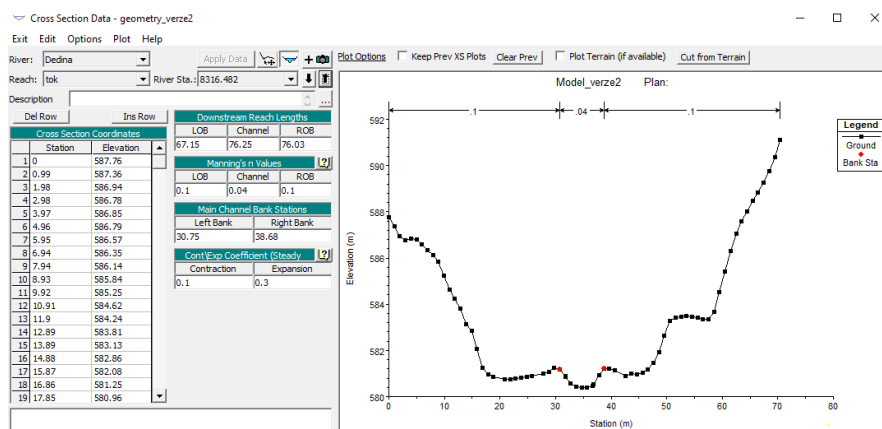
Do programu byla přidána vytvořená geometrická data pomocí *Edit – Geometric Data – File – Import Geometry Data – GIS Format*. Ukázka geometrie v programu na obrázku č. 10 níže.



Obr. č. 10: Program HEC-RAS po vložení vytvořené geometrie

Úprava břehových linií

Pomocí grafického editoru byly po konzultaci upraveny příčné řezy korytem, konkrétně posunuty břehové linie. Břehové linie byly vytvořeny v programu ArcGIS, na některých místech však nebyly zvektorizovány dle digitálního modelu správně, proto byly upraveny pomocí *Cross Section – Jump to the Graphical Cross Section Editor – Set the Bank Stations*. Ukázka příčného řezu korytem na obrázku č. 11.



Obr. č. 11: Ukázka příčného řezu v programu HEC-RAS

Hodnoty Manningova drsnostního součinitele

Dále byly zadány hodnoty Manningova drsnostního součinitele pro řešený úsek. Součinitel drsnosti (označováno n) charakterizuje odpor koryta působící na proudící vodu, působí na něj povrchová drsnost, vegetace, půdorys a velikost koryta, sedimentace, vodní stav a průtoky. Existuje několik způsobů, jak ho lze určit.

Zájmový úsek toku byl rozdělen na několik částí, dle morfologie koryta a vlastností pravého a levého břehu a jejich okolí. Hodnoty Manningova drsnostního součinitele byly pro rozdělené úseky přiřazeny podle krajinného pokryvu, zrnitosti a sedimentaci, opevnění koryta, stavu koryta a stavu inundace. Jednotlivé hodnoty byly zjištěny pomocí terénního šetření, ortofotomap, vlastností území, a přiřazeny dle vlastního odhadu z tabulky v manuálu programu HEC-RAS (US Army Corps of Engineers 2021 e).

Hodnoty drsnostního součinitele se pro inundační prostory pohybovaly v rozmezí 0.030 – 0.100. Inundační prostory v úseku jsou převážně pokryty lesem, rozptýlenými stromy, křovinami či pastvinami a loukami nebo ornou půdou. Hodnoty drsnostního součinitele pro koryto se pohybovaly v rozmezí 0.027 - 0.060. Koryto je na vybraném úseku převážně přirozené, s materiálem hrubým šterkem a oblázky, na některých místech až balvany. V místech zástavby je koryto a břehy zpevněno kamennou rovnaninou či zdívkou.

Dle jednotlivých úseků byly v editoru geometrických dat programu HEC-RAS vyplněny hodnoty drsnostního součinitele pro všechny příčné profily. Použitou funkcí byla *Edit – Geometric Data – Tables – Manning n or k values (Horizontally varied)*. Jednotlivé hodnoty pro úseky, koryto a pravou a levou inundaci jsou v tabulce č. 6 níže, v příloze č. 6 jsou doplněny o fotografie charakterizující jednotlivé úseky a popis. Hodnoty Manningova drsnostního součinitele vycházely z ‚expertního‘ úsudku a konzultace s vedoucím práce.

Označení úseku	Rozdělení úseku [říční km]	Levá inundance [n]	Koryto [n]	Pravá inundance [n]
1	0 - 0.250	0.030	0.040	0.080
2	0.250 - 0.423	0.080	0.048	0.030
3	0.423 - 0.560	0.030	0.045	0.080
4	0.560 - 2.308	0.100	0.027	0.100
5	2.308 - 2.965	0.035	0.040	0.040
6	2.965 - 3.048	0.030	0.033	0.035
7	3.048 - 3.190	0.080	0.055	0.080
8	3.190 - 3.460	0.030	0.027	0.080
9	3.460 - 3.530	0.060	0.048	0.060
10	3.530 - 3.740	0.050	0.031	0.070
11	3.740 - 3.820	0.060	0.055	0.100
12	3.820 - 4.475	0.100	0.055	0.100
13	4.475 - 5.560	0.030	0.030	0.100
14	5.150 - 6.000	0.100	0.060	0.050
15	6.000 - 6.040	0.035	0.030	0.035
16	6.040 - 7.000	0.100	0.060	0.100
17	7.000 - 7.300	0.030	0.045	0.030
18	7.300 - 8.390	0.100	0.040	0.100

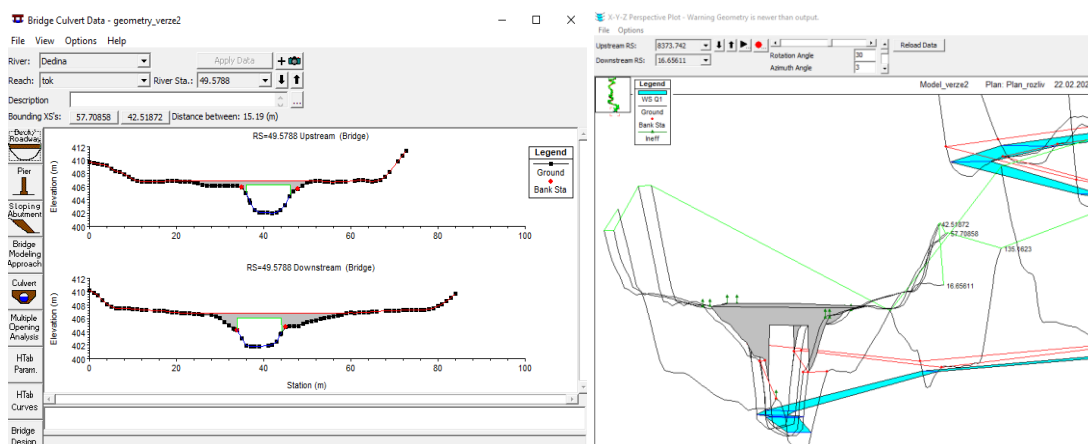
Tab. č. 6: Hodnoty součinitele drsnosti pro úseky řešeného části toku

Vložení objektů na vodním toku

Na řešeném úseku vodního toku se nachází 18 objektů, 15 mostů a 3 jezy. Pro hydrotechnické posouzení objektů byly mosty postupně zadány do programu pomocí *Edit – Geometry Data – Bridge Culvert Data* a jezy pomocí *Edit – Geometry Data – Inline Structure Data*.

Mosty byly nejprve zadány dle staničení na úseku toku, dále byly přidány parametry charakterizující šířku a délku mostu, výšku mostovky, vzdálenost mezi nosníky, výšku mostovky od vodní hladiny a vzdálenost mostu od nejbližšího příčného profilu nad objektem. Pro jezy bylo taktéž zadáno staničení objektu, výška, šířka. Po zadání program objekty vykreslil mezi nejbližšími příčnými profily, které byly pod a nad objektem. Tyto příčné profily by měly být od objektu vzdáleny nejlépe 3-5 metrů. Ukázka vykresleného mostu na obrázku č. 12.

Na místa zúžení průtočného profilu toku před a pod mosty byly definovány **neefektivní průtočné plochy**, které namodelovaly úplavy u zúžení místa. Neefektivní plochy proudění *Ineffective flow areas* byly umístěny pomocí grafického okna. Tato plocha definuje místa, kde voda za normálních okolností neproudí efektivně, místa jsou pasivní, plocha není prouděním využívána. Pokud však průtok překračuje určitou výšku na definovaném místě, voda se na lokalitě začne rozlévat, proudit a plocha je efektivně využívána.

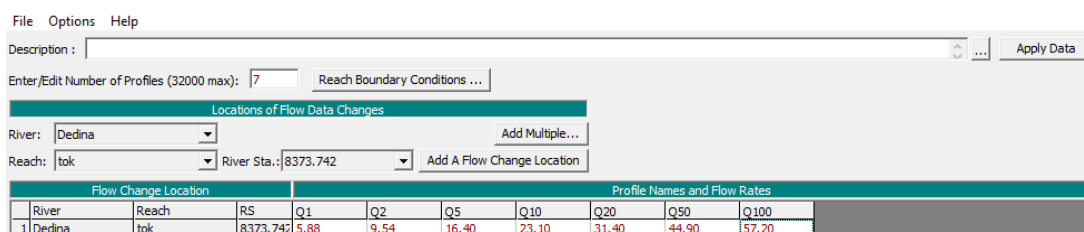


Obr. č. 12: Ukázka vykresleného mostu, vlevo příčný profil, vpravo prostorové zobrazení

Okrajové podmínky

Okrajové podmínky slouží k definování simulace proudění vody hydrodynamického modelu. Je předpokládáno ustálené proudění.

K vytvoření horní okrajové podmínky bylo použito *Edit – Steady flow data – Edit Number Of Profiles*. Nástrojem *Options – Edit Profile Names* byly sloupce přejmenovány (Q₁, Q₂, .. Q₁₀₀). Jednotlivé sloupce byly vyplněny hodnotami N-letých průtoku v jednotkách m³/s. N-leté průtoky jsou uvedeny v kapitole 8.1. a tvoří horní okrajovou podmínku pro ustálené proudění.



Obr. č. 13: Zadání horní okrajové podmínky pro ustálené proudění

Dolní okrajová podmínka pro ustálené proudění byla zadána jako podmínka kritické hloubky *Critical Depth* pomocí ikony *Reach Boundary Conditions*. Díky této podmínce program v modelu pro každý příčný profil vypočítá kritickou hloubku bez potřeby dalších údajů. Zadání hodnot do programu zobrazeno na obrázku č. 13 výše.

9.4 Výpočet modelu v programu HEC-RAS

Spuštění modelu proběhlo po zadání všech dat, geometrických parametrů, objektů v toku, hodnot drsnostního součinitele a okrajových podmínek. Ke spuštění výpočtu ustáleného proudění byla použita funkce *Run – Steady Flow Analysis – Compute*. V této funkci byl zvolen typ proudění na řešeném úseku vodního toku a to říční (*Subcritical*). Podélný profil vodního toku v programu HEC-RAS lze nalézt v příloze č. 12 až č. 15.

Po provedení modelu byly výsledky simulace pro všechny modelované profily a průtoky exportovány do prostředí ArcGIS funkcí *File – Export GIS Data*.

9.5 Vyhodnocení simulací v programu ArcGIS

Data simulací byla z programu HEC-RAS importována pomocí doplňkové extenze HEC-GeoRAS do programu ArcGIS.

Vzniklá data ve formátu *.sdf byla pro práci v GIS převedena do formátu *.xml funkcí *Import RAS SDF File – Convert RAS Export SDF to XML*.

Následně byly nastaveny parametry pro importované vrstvy a pro další zpracování výstupů. K tomu došlo funkcí *Ras Mapping – Layer Setup – Layer Setup for HEC-RAS PostProcesing*. Nastaven byl název analýzy, vložena cesta na složku, kam se

data exportují, vložena cesta na digitální model terénu ve formátu TIN a rozlišení rastru, který vznikne, na 1 m. Tímto vznikla vrstva v prostředí ArcGIS, která se v dalších krocích plnila postupně vzniklými vrstvami.

Data byla do programu importována funkcí *RAS Mapping – Import RAS Data*.

Po již provedených krocích mohlo dojít ke **stanovení záplavových ploch pro jednotlivé N-leté průtoky**. Nejprve byl vytvořen model, který zobrazuje pro jednotlivé příčné profily výšku vodní hladiny. Model byl ve formátu TIN, o velikosti buňky 1 m. Ten byl vytvořen pomocí funkce *RAS Mapping – Inundation Mapping – Water Surface Generation*. Dále byla vytvořena vrstva pro jednotlivé profily, která znázorňovala místa, kde byla výška vodní hladiny pro jednotlivé N-leté průtoky vyšší než terén. Tato vrstva zobrazuje záplavové území pro jednotlivé průtoky. Do nástroje *RAS Mapping – Inundation Mapping – Floodplain Delineation Using Rasters*, který byl použit, vstupoval TIN digitálního modelu terénu a TIN výšky hladiny vody pro jednotlivé N-letosti a jejich průtoky. Tyto TIN modely od sebe byly nástrojem odečteny.

10 Výsledky

1D matematický model ustáleného proudění sestavený v programu HEC-RAS vypočetl průběh hladiny v profilech vybraného úseku toku (43. až 52. říční kilometr) Dědina. Výpočet průběhu hladin mezi úseky (příčnými profily) vychází z Bernoulliho rovnice. Proudění na úseku bylo řešeno jako říční. Do výpočtu vstupoval digitální model terénu, objekty na vodním toku a hydrologické údaje.

Pro jednotlivé N-leté průtoky neboli největší hodnoty průtoku dosažené nebo překročené průměrně jednou za N let, byl sestaven hydrodynamický matematický model ustáleného proudění. Výsledné mapové a grafické výstupy byly vyhodnoceny pro definované 5-leté, 10-leté, 50-leté a 100-leté průtoky. Grafické výsledky pocházejí z programu HEC-RAS, mapové výstupy byly zpracovány programem ArcGIS. Byla vyhodnocena schopnost koryta převést stoletý průtok s důrazem na intravilán, díky mapovým výstupům byly znázorněny lokality, kde dochází k vybřežení vody a rozlivu mimo koryto. Výsledky jsou rozděleny do dvou kapitol, posouzení objektů na vodním toku a určení záplavového území.

Posuzovaný úsek řeky Dědina protéká intravilánem obce Kounov, osady Doly a zastavěnou částí obce Žákovec.

10.1 Posouzení objektů na vodním toku

Díky analýze hydrodynamického modelu byly objekty na řešené části toku posouzeny z hydrotechnického hlediska. Na vybraném úseku vodního toku byla posuzována kapacita patnácti mostů. Voda by u kapacitního objektu neměla sahat ke spodní hraně mostu.

Z patnácti posuzovaných dokáží pouze 3 z nich převést stoletou vodu bez vybřežení vody přes objekt, těmi jsou mosty v říčním km 0.050, 6.349, 7.684. 5 objektů, konkrétně v ř. km 2.676, 3.036, 5.166, 5.791, je ohroženo stoletou vodou, ostatní N-leté průtoky mosty neohrožují. Padesátiletý průtok a vyšší ohrožuje objekty ve staničení 0.431 a 8.236 ř. km. Objekt v ř. km 7.134 ohrožuje dvacetiletý průtok a vyšší. Od pětiletého průtoky je ohrožen most v ř. km 3.513, 3.757, 4.840. Již dvouletý průtok ohrožuje most v ř. km 5.051 a lávka v ř. km 3.183 je ohrožena již jednoletou vodou. Souhrnné výsledky lze nalézt v tabulce č. 7, ukázkou kapacitního a nekapacitního objektu na obrázku č. 14 a č. 15.

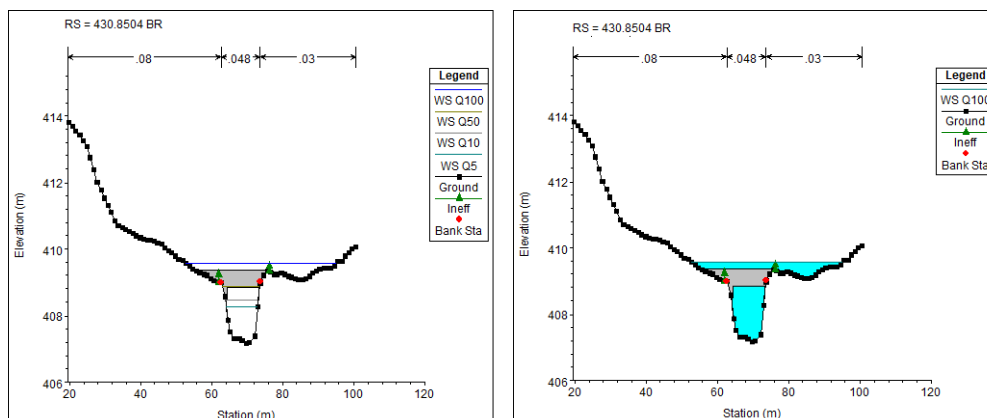
V intravilánu obce **Žákovec** 0.00 – 0.63 ř. km se nachází dva mosty, z nichž je ohrožen pouze jeden na 0.431 ř. km padesátiletým a vyšším průtokem, druhý na 0.050 ř. km je kapacitní pro stoletý průtok.

V intravilánu obce **Kounov** v úseku 2.40 – 3.76 říčních km se nachází mostů 5, z nichž jsou dva na ř. km 2.676 a 3.036 ohroženy stoletým průtokem, dva na 3.513 a 3.757 ř. km již pětiletým průtokem, poté se na úseku na 3.183 ř. km nachází lávka, která je ohrožena již jednoletým průtokem vody.

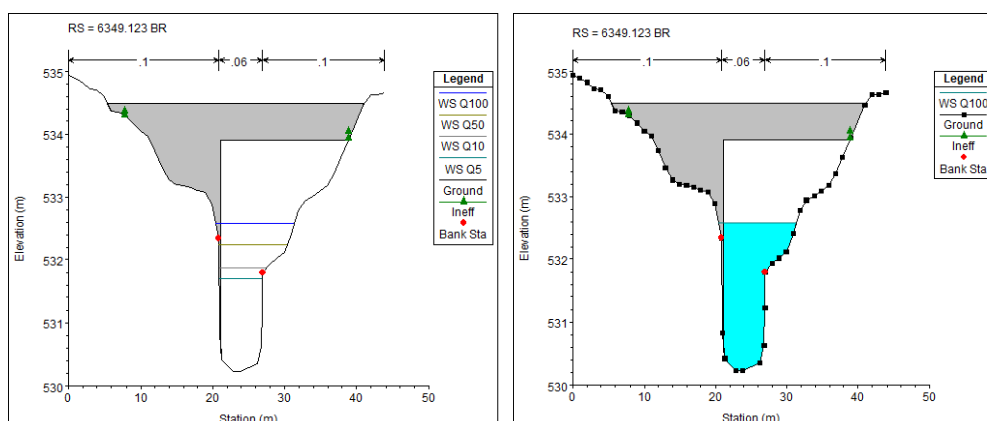
V zastavěné části území nazývaném **Doly** v úseku 4.42 – 6.40 ř. km se nachází 5 objektů, z nichž jeden na 6.349 ř. km není ohrožen a je kapacitní pro stoletou vodu, dva mosty v ř. km 5.166 a 5.791 však pro stoletou vodu kapacitní nejsou, objekt v ř. km 4.840 je ohrožen již pětiletým průtokem a objekt v ř. km 5.051 je ohrožen dvouletým průtokem. V intravilánu 6.90 – 7.40 ř. km se nachází 1 objekt na 7.134 ř. km, který je ohrožen již dvacetiletým průtokem. Na úseku části Doly 7.66 - 8.40 ř. km se nachází v zastavěné části obce dva objekty, z nichž jeden na 7.684 ř. km dokáže kapacitně převést stoletou vodu a objekt na 8.236 ř. km není kapacitní pro padesátiletý průtok a vyšší. Na území Doly je zástavba izolovaná, území je málo osídleno.

Označení	Staničení na řešeném úseku [ř. km]	Objekt	Překročení kapacity objektů (N-letý průtok)
1	0.050	Most	kapacitní pro Q100
2	0.431	Most	Q50
3	2.676	Most	Q100
4	3.036	Most	Q100
6	3.183	Lávka	Q1
7	3.513	Most	Q5
9	3.757	Most	Q5
10	4.840	Most	Q5
11	5.051	Most	Q2
12	5.166	Most	Q100
13	5.791	Most	Q100
14	6.349	Most	kapacitní pro Q100
16	7.134	Most	Q20
17	7.684	Most	kapacitní pro Q100
18	8.236	Most	Q50

Tab. č. 7: Posouzení kapacity objektů pro jednotlivé N-leté průtoky na vybraném úseku



Obr. č. 14: Ukázka nekapacitního objektu, HEC-RAS, příčný profil v 0.431 ř. km



Obr. č. 15: Ukázka kapacitního objektu, HEC-RAS, příčný profil v 6.349 ř. km

10.2 Určení záplavového území

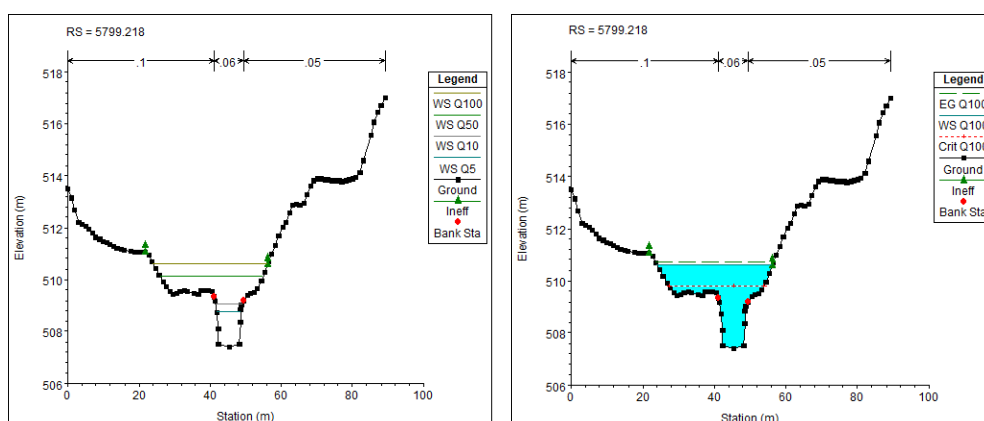
Zátopové čáry byly vyhodnoceny na základě zpracování dat z modelu HEC-RAS v programu ArcGIS díky extenzi HEC-GeoRAS, kde vznikly vrstvy zátop pro jednotlivé N-letosti, které popisují výšku hladiny záplavy vůči terénu a rozsah povodně. Výsledky byly zpracovány na podkladu Základní mapy ČR a Ortofotomapy. Posuzován byl rozliv pro 5-letý, 10-letý, 50-letý a 100-letý průtok. Na obrázku č. 19 a 20 je ukázka kapacitního a nekapacitního koryta, vykreslena v programu HEC-RAS pro příčný profil. Přílohy č. 7 až č. 11 zobrazují celkový rozliv na řešeném území pro Q_5 a Q_{100} .

Obec **Kounov** má 236 obyvatel (k roku 2021, zdroj: czso.cz) a její intravilán se rozkládá kolem vodního toku. Většina domů je toku velmi blízko, proto i většina z nich je povodněmi ohrožena. Intravilán v úseku 2,50-3,10 je ohrožen převážně vybřežením 100-leté a 50-leté vody. 100-letý průtok dle modelu mírně ohrožuje silnici lemující tok. V úseku 3,10-3,50 ř. km je intravilán silně ohrožen již pětiletým průtokem, voda zaplavuje i polní cestu. Kapacita koryta v Kounově není pro bezpečné převedené průtoků dostatečná (obr. č. 16).

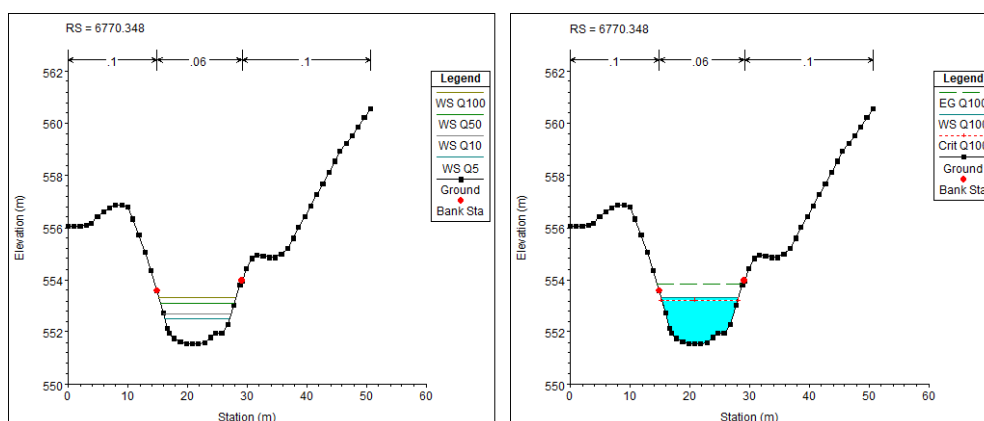
Na území osady **Doly** (zobrazeno na obrázku č. 17) se kolem vodního toku nachází rozptýlená, avšak četná zástavba, která je ohrožena v ř. km 4,68-5,10; 6,30-6,40 již pětiletým průtokem, již desetiletý průtok vybřežuje na 4,40-4,65 ř. km, 50-letým a 100-letým průtokem na úseku v ř. km 5,50-5,80; 6,90- 7,35; 8,2-8,3.

Koryto na území obce **Žákovec** (obr. č. 18) je málo kapacitní převážně pro 50-letý a stoletý průtok, který ohrožuje zástavbu v blízkosti toku a příjezdovou cestu, k rozlivu dochází v ř. km 0,06-0,24 a 0,46-0,52. K menšímu vybřežení dochází i při 5-letém a 10-letém průtoku, inundace však z intravilánu ohrožuje pouze zahrady.

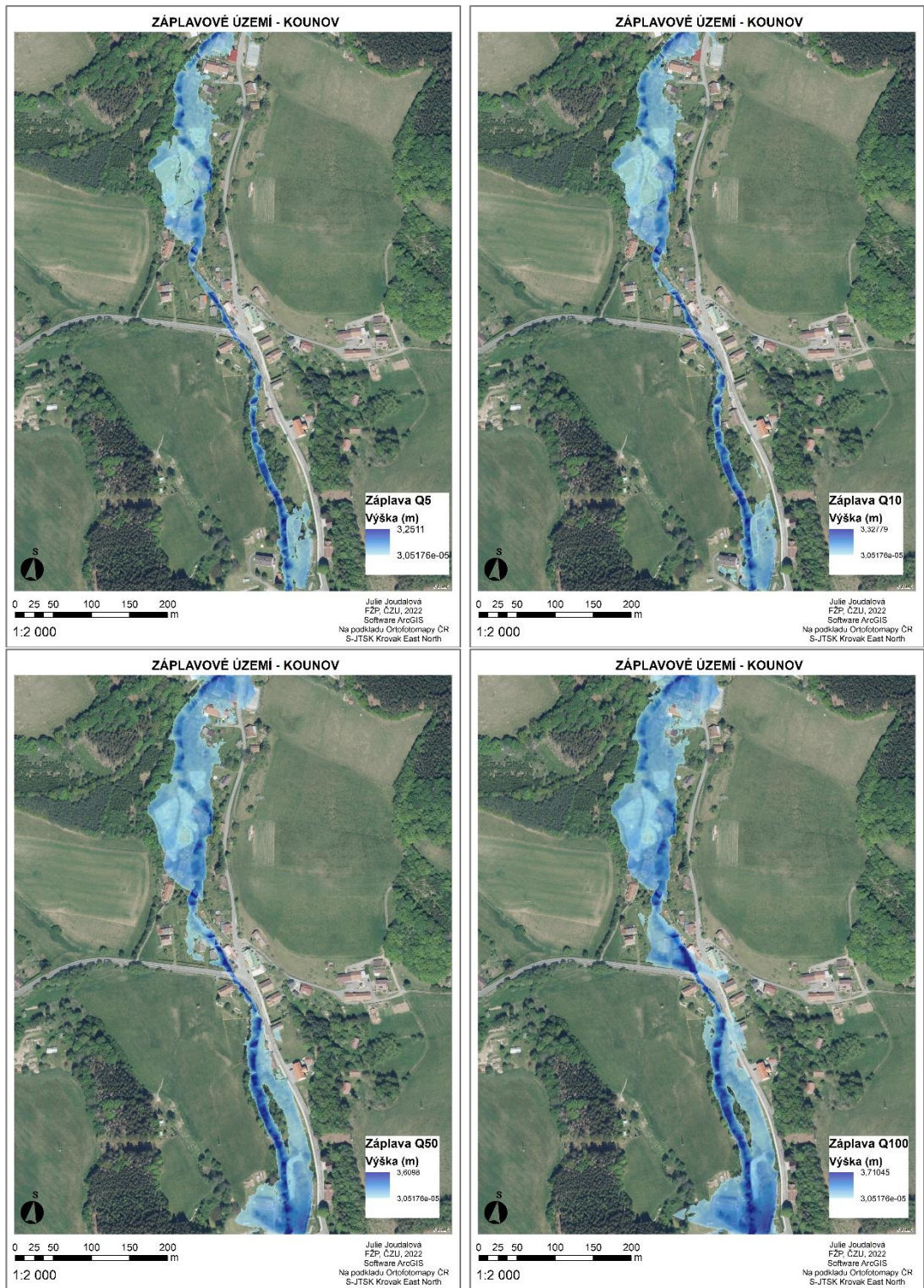
Mezi obcemi se převážně vyskytují lesy či pozemky s trvale travním porostem, voda se zde z vodního toku přirozeně rozlévá do nivy, není ohrožena zástavba. Louka je zaplavena například v ř. km 7,35-7,66 již pětiletým průtokem, rozliv do nivy v lese například ř. km 0,68-2,30 nebo 6,40-6,90. V úseku 7,82-8,66 ř. km se 50-letý a 100-letý průtok rozlévá přes silnici III. řádu vedoucí ze Sedloňova do Dobřan.



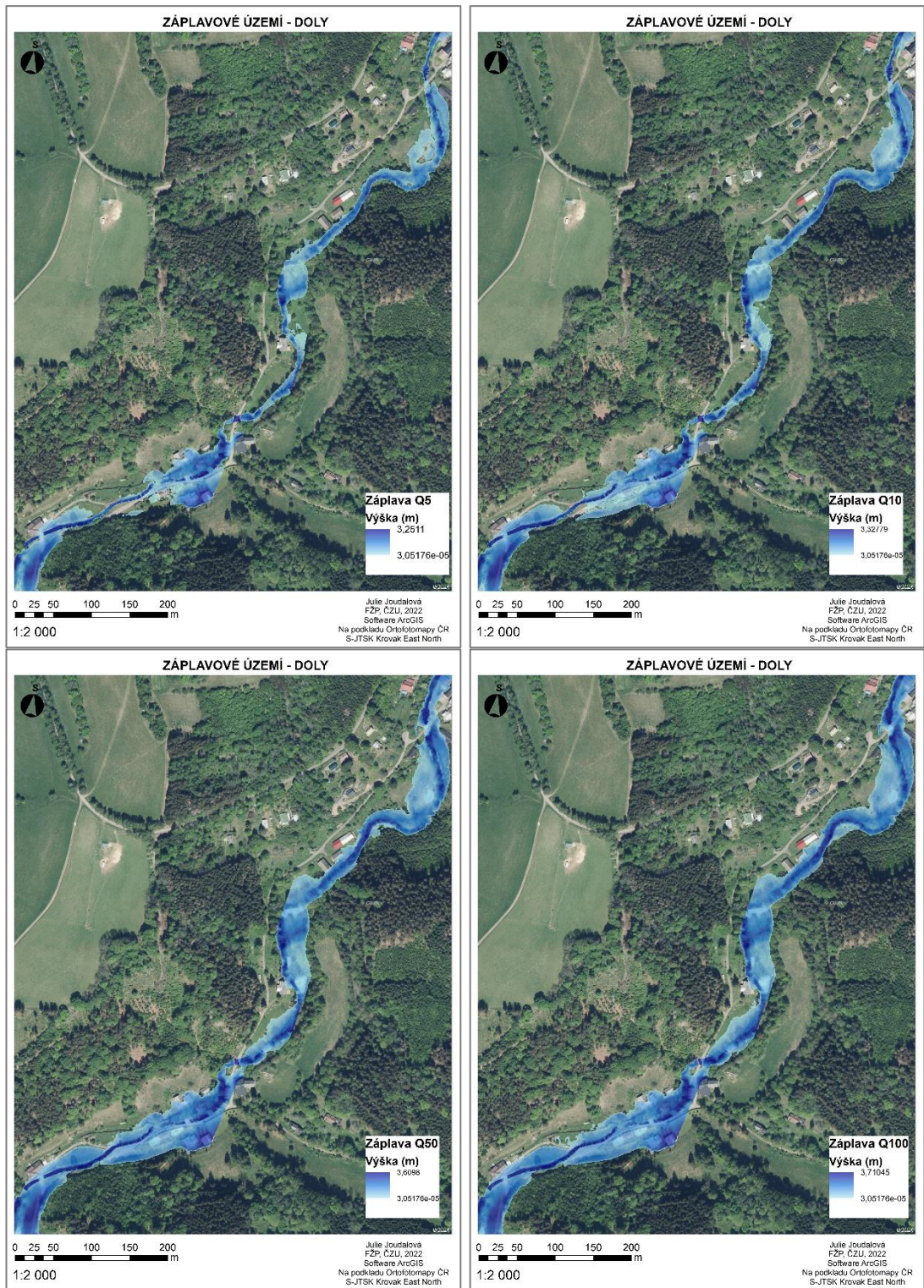
Obr. č. 16: Ukázka nekapacitního koryta na příčném profilu 5.799 ř. km, HEC-RAS



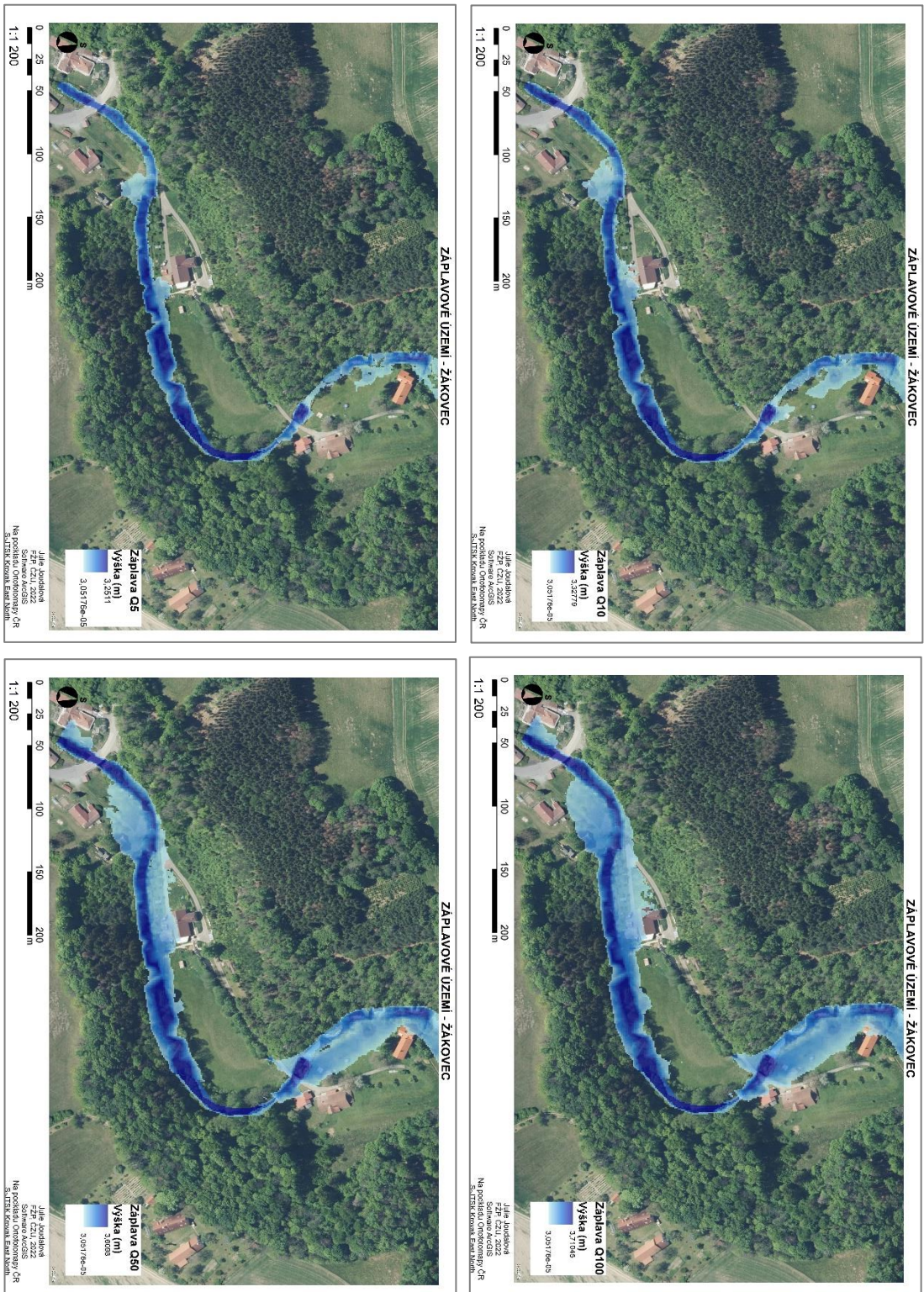
Obr. č. 17: Ukázka kapacitního koryta na příčném profilu 6.77 ř. km, HEC-RAS



Obr. č. 18: N-leté průtoky pro území obce Kounov na podkladu Ortofotomapy ČR (Esri ArcGIS Server)



Obr. č. 19: N-leté průtoky pro území osady Doly na podkladu Ortofotomapy ČR (Esri ArcGIS Server)



Obr. č. 20: N-leté průtoky pro území Žákovec na podkladu Ortofotomapy ČR (Esri ArcGIS Server)

11 Diskuse

O řešené problematice je obecně dostupné dostatečné množství informací a praktických zkušeností pro odborné řešení problémů. Znalost je nezbytná pro plánování krajiny, výstavbu a pojišťování staveb, ochranu obyvatel a jejich informovanost. Přesto však pro oblast, která je v této práci řešená, není pečlivě zpracovaný povodňový plán, namodelované jednotlivé N-leté průtokové události, dostupné informace a nejsou realizována protipovodňová ochranná opatření (Tůmová 2014). Proč opatření stále nejsou provedena je praktickou otázkou, důvodem můžou být opatření z hlediska ochrany přírody (ŠINDLAR r. r. o. 2013), finanční stránka a zájem obce investovat, menší počet obyvatel v oblasti, anebo zájem obyvatel.

Při modelování N-letých průtoků pro vybraný úsek toku Dědina bylo předpokládáno ustálené proudění. Dle Smitha (1975) se v přírodě většinou vyskytuje proudění neustálené. Vybraný úsek se nachází v horní až střední části toku, procesy v této části se budou lišit od procesů v dolní části, a to kvůli změně podmínek, změně podélného profilu a spádovosti (Gordon a kol. 2004). I přes tyto změny v jednotlivých částech toku se povodně projevují po celé délce toku a ohrožena je většina zastavěných částí, kterými Dědina protéká. Pro tuto práci bylo hlavním cílem namodelovat zátopové čáry v obci Kounov a jejím okolí, protože ostatní větší obce a města na toku mají zpracované povodňové plány a povodně se dle dostupných dat zdají být lépe namodelovány a intravilány více ohroženy (MŽP a MZ ©2020). Dle historických záznamů jsou nejčastějším faktorem povodní na Dědině povodně z přívalových letních srážek silné intenzity (Hydroprojekt CZ, a.s. 2014) či povodně z jarního tání sněhu spojených s intenzivními srážkami (Povodí Labe 2020).

Hlavním podkladem pro vytvoření modelu byl výškopisný digitální model terénu. Ten byl vytvořen z dat mapových listů digitálního modelu reliéfu 5. generace od Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního. Z dostupné bodové vrstvy byl vytvořen model metodou TIN o velikosti buňky 1 metr, která byla zvolena jako nejvhodnější interpolační metoda. Dle ČÚZK (©2022) je model páté generace vhodný pro lokální analýzy. Po spojení jednotlivých mapových listů modelu terénu byly na spojnicích viditelné chyby, které vycházely z nepřesnosti zakoupených dat, nejspíše vzniklé rozdělením dat na mapové listy či nedostatkem měřených dat. Na těchto místech data neodpovídala realitě a byla lokálně upravena. Model terénu

vychází z leteckého snímkování v roce 2016, na některých místech mohlo od té doby dojít ke změnám, model nevnímá budovy a objekty na toku. Pro co nejdokonalejší model terénu by bylo správné model překontrolovat s realitou a upravit, to je ale na některých lokalitách obtížné.

Dalším nedílným vstupem byla data hydrologická, na žádost poskytnuta od Českého hydrometeorologického ústavu pro hlásný profil Žákovec. Tento profil se nachází na konci řešeného úseku, data z něj však nejsou veřejně publikována. N-leté průtoky byly pro celou délku řešeného úseku jednotné. Po konzultaci ke změně průtoků pro jednotlivé úseky nedošlo, protože vzhledem k velikosti vodního toku, významnosti a hodnotám průtoků by byl vliv změny na model malý. Změna by znamenala mírné snížení nebo navýšení hodnoty pro úseky dle charakteristik koryta.

Posledním neméně podstatným vstupem byla data hydrotechnická o objektech vodního toku. Hydrotechnická data poskytnuta Státním podnikem Povodí Labe nejsou aktuálně geodeticky ověřena, pochází z roku 1999 a část úseku je vyhodnocena pouze fotogrammetricky. Z toho důvodu byla data v terénu ověřena, doplněna. Pro další řešení problémů lokality nebo sestavení povodňového plánu obce Kounov by mělo dojít k přeměření objektů geodety.

Vliv na výsledky mohlo mít zvolení Manningova drsnostního součinitele pro koryto a pravý, levý břeh. Hodnoty byly voleny dle vlastního ‚expertního‘ uvážení pomocí terénního průzkumu, dat o území a krajinném pokryvu, leteckých snímků, návodů k programu HEC-RAS a byly zkonzultovány s vedoucím práce. S volbou Manningova drsnostního součinitele koresponduje fotodokumentace v příloze.

Je nezbytné konstatovat, že model vychází z dostupných a poskytnutých dat. Podkladů ke kalibraci, verifikaci není dostatek, nebyly možné provést a po konzultaci a dohodě s vedoucím práce nebyly provedeny. Spoléhá se na dostupná data popsaná v práci a na ‚expertní‘ úsudek, terénní průzkum.

Výhodou pro zpracování byla řada volně dostupných informací o práci v programu HEC-RAS. Ke zpracování zátopových ploch bylo zvoleno použití extenze HEC-GeoRAS v programu ArcGIS, které mohlo být nahrazeno využitím RAS Mapper přímo v programu HEC-RAS. Díky dostupným návodům a vlastní znalosti programu ArcGIS byla zvolena extenze HEC-GeoRAS. Výsledky nejsou výběrem mezi RAS Mapper a HEC-GeoRAS ovlivněny.

Dle výsledků je ohrožení řešených lokalit jasné. Přesto, že osídlení není velké (ČSÚ 2021), by měli být obyvatelé a jejich majetek v bezpečí. Domy jsou stavěny velmi blízko toku. Ke zpomalení a zmírnění povodňové vlny přispívá rozsáhlá vegetace mezi zastavěnými lokalitami, o tyto lesy se však málo pečuje (Tůmová 2014). Problémem může být břehová vegetace, která se jeví jako chudá. Splavované staré dřevo může tok přehradit, zatarasit objekty a snížit průtočnost koryta, při velkém průtoku může naplavené dřevo poničit mosty (Galia 2017).

Dle hydrotechnického posouzení objektů dokáží stoletou vodu převést pouze tři objekty, č. 1 – 0,050 ř. km (hlavní cesta přes Žákovec), č. 14. – 6,349 ř. km a č. 17 – 7,684 ř. km (hlavní cesta do Dobřan). Objekt č. 1 a č. 14 jsou vysoko nad vodním tokem, u objektu č. 17 je kapacita koryta velmi rozšířená. Profil koryta u objektu č. 1 a č. 17 má mírný spád, u objektu č. 14 je spád prudší. Na stoletý průtok není kapacitní objekt č. 3 - 2.676 ř. km, č. 4 – 3.036 ř. km (hlavní cesta přes Kounov), č. 12 – 5.166 ř. km (hlavní cesta Doly-Kounov), č. 13 - 5.791 ř. km. U objektu č. 3 je koryto široké, neopevněné, voda se již při pětiletém průtoku rozlévá do nivy a okolí objektu, objekt není vysoko nad tokem. Objekt č. 4 je důležitým pro příjezd do Kounova, koryto v okolí je opevněné a zúžené, úsek koryta nad objektem není kapacitní. U mostu č. 12 je opevněné koryto, což snižuje inundační prostor, koryto by případně mohlo být zahloubeno nebo rozšířeno. Most č. 13 je poměrně vysoko nad tokem, koryto není opevněné, profil má charakter větší spádovosti. Pro padesátiletý a vyšší průtok není kapacitní objekt č. 2 – 0.431 ř. km, č. 18 – 8.236 ř. km. Objekty mají funkci přejezdu řeky k obydli, oba objekty by mohly být vyvýšeny. Objekt č. 2 je taktéž umístěn ve břehu, koryto má mírný sklon, je opevněné. Objekt č. 18 nemá v okolí opevněné koryto, je umístěn v korytě, a proto ho padesátiletý průtok ohrožuje. Pro dvacetiletý průtok již není kapacitní most č. 16 – 7.134 ř. km, kolem kterého je koryto neopevněné s možností bezpečného rozlivu do nivy, mostová konstrukce je do oblouku a zužuje průtočný profil, most není vysoko nad terénem. Již pětiletý průtok ohrožuje mosty č. 7 – 3.513 ř. km, č. 9 – 3.757 ř. km a č. 10 – 4.840 ř. km. Parametry těchto objektů jsou téměř totožné, u všech je koryto z obou stran opevněno. Profil je zúžený, koryto narovnáno, nemá možnost přirozené inundace do nivy. Pro dvouletý a jednoletý průtok není kapacitní most č. 6 – 3.183 ř. km a č. 11 – 5.051 ř. km. Objekt č. 6 je lávka, která je položená na břehu, voda tedy přeteče přes objekt, který však pro lidi ve vesnici není zvlášť důležitý. Most č. 11 je

přejezdem řeky k domu, měl by být lépe nadimenzován, koryto je v úseku opevněno a zúženo, čímž je kapacita koryta zmenšena.

Jako opatření, která by mohla Kounov a jeho okolí chránit, by mohlo být vhodné zvolit dimenzování a zkapacitnění koryta, jeho rozšíření a opevnění v intravilánu. Naopak v nezastavěných částech by mělo být koryto Dědiny v přírodním stavu, meandrující, neopevněné, což by zpomalilo povodňovou vlnu a vznikly by přirozené retenční prostory. Zásadní by bylo vymezit plochy pro rozliv vody, nejlépe v místech luk v rovinné poloze. Nad Kounovem v oblasti 3.6 ř. km by mohl vzniknout suchý poldr pro rozliv. Pomoci by mohla vhodná péče vlastníků pozemků, změna agrotechnických postupů na zemědělských svazích v ploše povodí, ze kterých voda stéká do údolnice, ve které se tok soustřeďuje. Pozemky by přes zimu neměly zůstat holé či neobdělané, mohly by pomoci zatravněné pásy či meze, které by rychle stékající povrchovou srážku zasakovaly a zpomalily. Dalším krokem by mohlo být odklizení splaveného dřeva a kvalitnější péče o břehový porost. Objekty by neměly bránit průtočnosti koryta a zároveň by neměly být zaplaveny. U nekapacitních objektů by mělo být zváženo jejich znovuposouzení a nadimenzování, některé mosty by mohly být vyvýšeny nebo rozšířeny.

12 Závěr a přínos práce

Tato práce se soustředovala na sestavení hydrodynamického modelu v prostředí HEC-RAS a vykreslení zátopových čar pro N-leté průtoky. Zájmovou oblastí byl úsek toku Dědina. Cílem bylo hydrotechnické posouzení stávajícího stavu toku a průtočnosti objektů. Pro posouzení byly objekty na vodním toku řešeny pro 1, 2, 5, 10, 20, 50 a 100-leté průtoky, zátopové čáry byly vykresleny pro Q_5 , Q_{10} , Q_{50} , Q_{100} .

Samotnému zpracování předcházelo shromáždění poznatků o problematice. O řešeném tématu je obecně dostupná spousta materiálů a literatury. Znalost je velmi důležitá pro plánování sídel a úpravu krajiny. Modelování povodňových událostí je nezbytné pro kvalitní ochranu území. Dostupných matematických modelů je mnoho a stále se vyvíjejí, výsledky závisí na podrobnosti zpracování, znalosti lokality a zvolené metodice. Modelování a následná ochrana před povodněmi jsou průběžně zlepšovány stále se zdokonalujícími technologiemi a dostupnými informacemi. Práce shrnuje informace o oblasti vodního toku. Nedílnou součástí byl terénní průzkum a provedení fotodokumentace. Dle terénního průzkumu je patrné, že technický stav objektů na toku je dobrý, v zastavěné části se domy nacházejí blízko toku, mimo intravilán je tok přirozený, místy zahloubený, na některých místech je břehová vegetace chudá.

Na vybraném úseku o délce 8,389 ř. km vodní tok Dědina protéká obcí Kounov, která byla hlavním předmětem zkoumání. Intravilán obce je ohrožen rozlivem již pětileté vody, na stoletý průtok koryto v úseku není kapacitní. Území Kounova je z celého modelovaného úseku nejvíce ohroženo. Dále na řešeném úseku tok protéká obcí Žákovec a osadou Doly. Zástavba v osadě Doly je rozlehlá v těsné blízkosti vodního toku, jehož koryto na modelované průtoky není kapacitní a voda obydlí ohrožuje. Taktéž je to i v Žákovci, kde však stoletá povodeň působí na intravilán nejmenší ohrožení z posuzovaných zastavěných částí. Přirozeně se voda rozlévá do nivy řeky mimo zastavěná území.

Na řešeném úseku se nachází 15 mostů, z nichž 3 jsou z hydrotechnického hlediska kapacitní pro bezpečné převedení stoletého průtoky, čtyři objekty jsou překročeny 100-letým průtokem, dva objekty jsou překročeny 50-letým průtokem, 20-letý průtok nedokáže převést jeden objekt, další tři mosty nejsou kapacitní pro 5-letý průtok, jeden objekt je nedostatečný již pro 2-letý průtok a lávka v Kounově je překročena

již 1-letým průtokem. Lze tedy konstatovat, že 7 z 15 posuzovaných objektů není ohroženo 50-letým průtokem, průtokem 5-letým je ohroženo 5 z 15 objektů.

Řeka Dědina při vysokých N-letých průtocích ohrožuje zastavěná území, kterými protéká. Voda se rozlévá do intravilánu, koryto po své délce není vhodně kapacitní, zátopové čáry ve většině případů zasahují do zástavby. Ohrožené jsou také objekty, které z hydrotechnického hlediska převážně nejsou kapacitní a voda přesahuje mosty. Obec Kounov, kterou vodní tok Dědina protéká, byla v minulosti již několikrát povodněmi postižena a poničena, stejně tak přilehlé osady. Mezi jednotlivými zastavěnými částmi, kterými vodní tok protéká, je poměrně hojně zastoupena vegetace lesa. Na těchto místech je rozliv řeky do nivy přirozený, stromy také dokážou povodňovou vlnu zpomalit a rozšířit retenční prostor. Vodní tok je soustředěn v údolnici, sklon toku je příkrý, což povodňovou vlnu zrychluje.

Dle sestaveného hydrodynamického modelu a dostupných informací o lokalitě je patrné, že na území neproběhla výrazná změna, protipovodňová opatření nejsou dostatečná a území není před vybřežením řeky zabezpečeno.

Tato diplomová práce by mohla být přínosem pro obec či správce povodí, mohla by sloužit jako podklad pro zpracování protipovodňových plánů, protipovodňových opatření. Díky grafickému zobrazení N-letých průtoků a zátopových čar může být práce přínosná pro obyvatele, konkrétně jejich lepší informovanost. Hydrotechnické posouzení řešeného úseku Dědiny může být přínosnou zprávou pro revitalizaci, úpravu koryta či budoucí zkapacitnění a dimenzování objektů na toku.

13 Přehled literatury a použitých zdrojů

Odborné knihy, monografie

Balvín P., Gabriel P., Bouška P., Havlík A., 2009: Hydrotechnické posouzení mostních objektů na vodních tocích. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.M., Praha, 95 s.

Becker A., Serban P., 1990: Hydrological models for water-resources systém design and operation. Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, 80 s.

Black P. E., 1996: Watershed hydrology. Ann Arbor Press, Chelsea, 449 s.

Broža V., Kazda I., Patera A., 1985: Vodohospodářské stavby. ČVUT Praha, Praha, 215 s.

Brutsaert W., 2005: Hydrology. Cambridge University Press, New York, 618 s.

Çengel Y., Cimbala J., 2017: Fluid mechanics: Fundamentals and applications. McGraw-Hill Education, Boston, 1056 s.

Clarke R. T., 1973: Mathematical models in hydrology (Irrigation and drainage paper). Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, 282 s.

Čábelka J., Kunštátský J., 1966: Jezy. SNTL, Praha, 555 s.

Daňhelka J., Elleder L. a kol., 2012: Vybrané kapitoly z historie povodní a hydrologické služby na území ČR. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 182 s.

Daňhelka J., Krejčí J., Šálek M., Šercl P., Zezulák J., 2003: Posouzení vhodnosti aplikace srážko-odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 214 s.

Domenico P. A., Schwartz F. W., 1998: Physical and chemical hydrogeology. Wiley, New York, 506 s.

Galia T., 2017: Fluviální Geomorfologie. Ostravská Univerzita, Ostrava, 186 s.

Gerrits A. M. J., 2010: The role of interception in the hydrological cycle. Delft University of technology, Delft, 126 s.

Gordon N. D., McMahon T. A., Finlayson B. L., Gippel Ch. J., Nathan R. J., 2004: Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists. John Wiley & Sons, Chichester, 446 s.

- Henderson F. M., 1966:** Open Chanel Flow. The Macmillan Publishing Co., New York, 273 s.
- Hrádek F., Kuřík K., 2001:** Maximální odtok z povodí. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 37 s.
- Hrádek F., Kuřík P., 2008:** Hydrologie. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 272 s.
- Chow V. T., 1959:** Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill Book Company, New York, 350 s.
- Jandora J., 2005:** Hydraulika a hydrologie – Modul 01. Vysoké učení technické v Brně, Brno, 188 s.
- Janeček M. a kol., 2008:** Základy erodologie. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 172 s.
- Kazda I., 1978:** Teorie přehrad – aplikace programových systémů. ČVUT, Praha, 128 s.
- Kemel M., 1991:** Hydrologie. České vysoké učení technické v Praze, Praha, 222 s.
- Kemel M., 1996:** Klimatologie, meteorologie, hydrologie. České vysoké učení technické v Praze, Praha, 290 s.
- Klabzuba J., Kožnarová V., 2004:** Aplikovaná meteorologie a klimatologie – VI. díl. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 40 s.
- Kopáček J., Bednář J., Žák M., 2020:** Jak vzniká počasí. Karolinum Press, Praha, 351 s.
- Krešl J., 2001:** Hydrologie. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 125 s.
- Kulhavý Z., Kovář P., 2000:** využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, 100 s.
- Kutílek M., Kuráž V., Císlarová M., 1993:** Hydropedologie 10. České vysoké učení technické v Praze, Praha, 176 s.
- Linhartová I., Zbořil A., Jakš M., Košut M., 2006:** Charakteristiky vodních toků a povodí ČR. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.M., Praha, 115 s.
- Macura L., 1966:** Úpravy tokov. SVTL, Bratislava, 739 s.

- Mattas D., 2014:** Výpočet průtoku v otevřených korytech. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.M., Praha, 110 s.
- Nace R., 1984:** Water of the World. U.S. Geological Survey, U.S. Government, Washington.
- Němec J., 1965:** Hydrologie. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 237 s.
- Netopil R., Brázdil R., Demek J., Prošek P., 1984:** Fyzická geografie. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 272 s.
- Pačes, T., 1982:** Voda a Země. Academia, Praha, 174 s.
- Pavelková Chmelová R., Frajer J., 2013:** Základy hydrologie. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 131 s.
- Pivoda B., Šálek J., 1984:** Čerpací stanice. SNTL, Praha, 295 s.
- Ruda A., 2014:** Klimatologie a hydrogeografie pro učitele. Fakulta informatiky Masarykovy Univerzity, Brno, 257 s.
- Rybníkář J., Šálek J., Svoboda F., 1994:** Vodní stavitelství. VUT, Brno, 164 s. Sciences, Uppsala, 168 s.
- Serrano E. S., 1997:** Hydrology for Engineers. HydroScience Inc. Lexington, Kentucky, 468 s.
- Shaw E. M., 1994:** Hydrology in Practice. Spon Press, London.
- Slavík L., Neruda M., 2014:** Hospodaření s vodou v krajině. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Ústí nad Labem, 108 s.
- Smith I. R., 1975:** Turbulence in Lakes and Rivers. Freshwater Biological Association, Ambleside, 79 s.
- Smith M., Koren V., Zhang Z., Reed S., Seo D., Moreda F., Kuzmin V., Cui Z., Anderson R., 2004:** Distributed Modeling. NOAA Technical Report NWS 51, Washington, 63 s.
- Starý M., 2005:** Hydrologie – Modul 02. Vysoké učení technické v Brně, Brno, 156 s.
- Sturm T. W., 2001:** Open Channel Hydraulics. McGeaw-Hill, New York, 500 s.
- Šálek J., Hlavínek P., Mičík J., a kol., 2001:** Vodní stavitelství. CERM s.r.o., Brno, 144 s.

Šindlar a kol. 2012: Geomorfologické procesy vývoje vodních toků – Část I. Typologie korytotvorných procesů. SINDLAR Group s.r.o., Hradec Králové, 148 s.

Thoř Z., 1981: Vodohospodářské stavby. Nakladatelství technické literatury, Praha, 107 s.

Trizna M., 2007: Meteorológia, klimatológia a hydrológia pre geografov. Geografika, Bratislava, 143 s.

US Army Corps of Engineers, 2021 e): HEC-RAS, River Analysis System, User's Manual. Hydrologic Engineering Center, California, 705 s.

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

Vlček V., Kestřánek J. a kol., 1984: Zeměpisný lexikon ČSR – Vodní toky a nádrže. Academia, Praha, 315 s.

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

Wohl E., 2010: Mountain river revisited. American Geophysical Union, Washington DC, 573 s.

Xu Ch., 2002: Hydrologic models. Uppsala University Department of Earth

Zevenbergen C., Cashman A., Evelpidou N., Pasche E., Garvin S., Ashley R., 2010: Urban flood management. CRC Press, Boca Raton, 338 s.

Články v odborném periodiku

Ajami N. K., Gupta H., Wagener T., Sorooshian S., 2004: Calibration of a semi-distributed hydrologic model for streamflow estimation along a river system. Journal of hydrology 298. S. 112-135.

Alokhina T., 2020: Rivers revitalisation: approaches to decision. E3S Web of Conferences 166. 8 s.

Comiti F., Andreoli A., Mao L., Lenzi M. A., 2008: Wood storage in tree mountain streams of the southern Andes and its hydro-morphological effects. Earth Surface Processes Landforms 33. S. 244-262.

Datel J. V., Hrabánková A., Strouhal L., 2021: Tvorba podzemní vody v okrajových částech Prahy. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace 2. S. 8-14.

Hrnčíř V., 1997: Matematický model pro řešení protipovodňové ochrany Prahy. Konference vodní toky 1997, Česká Vědeckotechnická vodohospodářská společnost. S. 49-54.

Koren V., Smith M., Wang D., Zhang Z., 2000: Use of soil property sata in the derivation of conceptual rainfall-runoff model parameters. 15 Conference on Hydrology, California. S. 103-106.

Peláková M., Kašpárek L., 2019: Největší povodně za 100 let. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace 5. S. 38-49.

Swank W. T., Douglass J. E., 1974: Steamflow sreatly reduced by converting deciduous hardwood stands to pine. Science, 185. S. 857-859.

Wang A., Diao Y., Pei T., Jin C., Zhu J., 2007: A semi-theoretical model od canopy rainfall interception for a broad leaved tree. HydrologicalProcesses 21. S. 2458-2463.

Legislativní zdroje

ČSN 75 0110: Vodní hospodářství – Terminologie a hydrogeologie. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2010. 98 s.

Vyhláška č. 24/2011 Sb., o plánech povodí a plánech pro zvládání povodňových rizik.

Vyhláška č. 393/2010 Sb., o oblastech povodí, v platném znění.

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

Online zdroje

Bobíková L., 2020: Praha pod vodou. Zápavy takřka biblické i ničivý únor 1784 (online) [cit.2022.02.07], dostupné z: <<https://www.novinky.cz/historie/clanek/praha-pod-vodou-zaplavy-takrka-biblicke-i-nicivy-unor-1784-40312968>>.

CENIA, ©2019: Národní geoportál INSPIRE – Mapy (online) [cit.2021.11.05], dostupné z: <<https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>>.

ČHMÚ, ©2006: Meteorologické a Hydrologické vyhodnocení jarní povodně 2006 na území ČR (online) [cit.2021.12.30], dostupné z: <<http://voda.chmi.cz/pov06/obsah.html>>.

- ČHMÚ, ©2021 a):** Indikátor přívalových povodní (online) [cit.2021.10.05], dostupné z: <https://hydro.chmi.cz/hpps/main_rain.php?mt=ffg&fbclid=IwAR0_u8Pw7nkiBmhr rQnZsqybDWLHK66uS-ZublMTDb7cUthzmUu2hGw87m4>.
- ČHMÚ, ©2021 b):** Hlásná a předpovědní povodňová služba [cit.2021.11.05], dostupné z: <<https://hydro.chmi.cz/hpps/>>.
- ČHMÚ, ©neuveđeno:** Systém integrované výstražné služby (SIVS) a související výstupy ČHMÚ online) [cit.2021.11.09], dostupné z: <<https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/om/sivs/sivs.html>>.
- ČSÚ, ©2021:** Osídlení v České republice (online) [cit.2021.11.05], dostupné z: <<https://www.czso.cz/csu/czso/domov>>.
- ČÚZK, ©2022:** ZABAGED® - výškopis: DMR 5G (online) [cit.2022.11.01], dostupné z: <[https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(c1u1ttu0nbu0yenu0runolln\)\)/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&mapid=8&menu=302](https://geoportal.cuzk.cz/(S(c1u1ttu0nbu0yenu0runolln))/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&mapid=8&menu=302)>.
- DHI, 2021:** MIKE SHE (online) [cit.2021.12.31], dostupné z: <<http://www.dhi.cz/>>.
- Dobruška, ©2021:** Povodňový plán města – hydrologické údaje (online) [cit.2021.11.05], dostupné z: <https://www.edpp.cz/dbrs_hydrologicke-udaje/>.
- Dvorský T., 2018:** Proudění v korytech (online) [cit.2021.10.19], dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/UT/chapter_2.html>.
- Hydroprojekt CZ, a.s., 2014:** Vyhodnocení protipovodňové ochrany královehradeckého kraje – Historické povodně (online) [cit.2021.11.08], dostupné z: <<https://mapy.kr-kralovehradecky.cz/ppo/index.html?dedina.htm>>.
- Hysoft Brno, ©2021:** HYDROG – základní informace (online) [cit.2021.12.30], <dostupné z: <http://www.hysoft.cz/index.php?id=zakladni-informace>>.
- iDNES.cz, 2006:** SPECIÁL: Největší povodně v České historii (online) [cit.2022.02.07], dostupné z: <[https://www.idnes.cz/zpravy/domaci/special-nejvetsi-povodne](https://www.idnes.cz/zpravy/domaci/special-nejvetsi-povodne-v-ceske-historii.A060331_114550_domaci_mr?r=prilohy https://www.idnes.cz/zpravy/domaci/special-nejvetsi-povodne)>.

Merwade V., 2016: Tutorial on using HEC-GeorAS with ArcGIS 10.x and HEC-RAS Modeling (online) [cit.2021.12.30], dostupné z: <<https://web.ics.purdue.edu/~vmerwade/education/georastutorial.pdf>>.

MŽP, MZ, ©2020: Plán pro zvládání povodňových rizik v povodí Labe pro období 2021–2027 (online) [cit.2021.10.05], dostupné z: <http://povis.cz/pdf/pzpr_2021/Labe_v1.pdf>.

National Geographic Society, ©1996: Evaporation (online) [cit.2021.10.06], dostupné z: <<https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/evaporation/>>.

Povodí Labe, 2009 a): Plán oblasti povodí Horního a středního Labe, Textová část A – Popis oblasti povodí (online) [cit.2021.10.28], dostupné z: <http://www.pla.cz/planet/projects/planovaniiov/files/navrhpop/A/1_TEXTOVA_CAST/A_TEXT.pdf>.

Povodí Labe, 2009 b): Plán oblasti povodí Horního a středního Labe, Vymezení oblasti povodí (online) [cit.2021.10.28], dostupné z: <http://www.pla.cz/planet/projects/planovaniiov/files/Oblast_povodi/2_1_Vymezeni_oblasti_povodi/Vymezeni_oblasti.pdf>.

Povodí Labe, 2009 c): Plán oblasti povodí Horního a středního Labe, Přírodní podmínky (online) [cit.2021.10.28], dostupné z: <<http://www.pla.cz/planet/projects/planovaniiov/hlavni.aspx>>.

Povodí Labe, 2020: Povodňové zprávy od roku 1995 (online) [cit.2021.11.14], dostupné z: <http://www.pla.cz/planet/webportal/internet/cs/obsah/povodnove-zpravy-a-zpravy-o-suchu_502.html>.

Program DesQ – MaxQ, 2021: Výpočet maximálních průtoků na malých povodí – Charakteristika programu (online) [cit.2021.12.30], dostupné z: <<http://www.desq-maxq.cz/index.html>>.

ŠINDLAR s.r.o., kolektiv autorů Zapletal J., Ležíková K., Schejbal J., 2013: Plán péče o přírodní památku Dědina u Dobrušky (online) [cit.2021.11.05], dostupné z: <<https://www.kr-kralovehradecky.cz/assets/krajsky-urad/ziv-prostredi-zemedelstvi/aktuality/ochrana-prirody/Plan-pece-Dedina-u-Dobrusky---F---7-3-2013.pdf>>.

Tate E., 1999: Introduction to HEC-RAS, Center for Research in Water Resources (online) [cit.2021.12.30] dostupné z:<

<https://www.caee.utexas.edu/prof/maidment/grad/tate/research/RASExercise/webfiles/hecras.html>>.

The World Bank Group, ©neuvedeno: Model Primer – Sacramento Soil Monsoon Accounting Model (SAC-SMA) (online) [cit.2021.12.30] dostupné z: <http://www.appsolutelydigital.com/ModelPrimer/chapter5_section10.html>.

Tůmová Š., 2014: Povodně na Dědině se mohou vrátit. Říčka se zanáší, zlobí se místní (online) [cit.2021.11.08], dostupné z: <https://www.idnes.cz/hradec-kralove/zpravy/povodne-na-dedine-na-rychnovsku-se-mohou-vratit.A140526_2067868_hradec-zpravy_tuu>.

US Army Corps of Engineers, 2021 a): About HEC – History (online) [cit.2021.12.30] dostupné z:< <https://www.hec.usace.army.mil/about/history.aspx>>.

US Army Corps of Engineers, 2021 b): HEC-RAS (online) [cit.2021.12.30] dostupné z:< <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/features.aspx>>.

US Army Corps of Engineers, 2021 c): HEC-GeoRAS (online) [cit.2021.12.30] dostupné z:< <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-georas/>>.

US Army Corps of Engineers, 2021 d): HEC-HMS (online) [cit.2021.12.30] dostupné z:< <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>>.

Vobořil D., 2016: Vodní elektrárny – princip, rozdělení, elektrárny ČR (online) [cit.2021.12.30], dostupné z: <<https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje-energie/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni>>.

VÚMOP, 2022: Půda v mapách (online) [cit.2022.03.05], dostupné z: <<https://mapy.vumop.cz/>>.

VÚV T.G.M., 2022: Struktura DIBAVOD (online) [cit.2022.03.05], dostupné z: <<https://www.dibavod.cz/27/struktura-dibavod.html>>.

VÚV T.G.M., neuvedeno: Mapy povodňového nebezpečí (online) [cit.2021.12.13], dostupné z: <https://www.dibavod.cz/data/poster_mapy_nebezpeci.pdf?PHPSESSID=b32f83c256d387bb29c>.

14 Seznam obrázků

Obr. č. 1: Schéma odtokového procesu (ČSN 75 0110, 2010)	4
Obr. č. 2: Charakteristiky povodňové vlny (Kemel 1991).....	19
Obr. č. 3: Vymezení oblasti povodí vzhledem ke členění ČR (Povodí Labe 2009 a).	49
Obr. č. 4: Poloha zájmového území na podkladu Základní mapy ČR (ČÚZK).....	56
Obr. č. 5: Vymezení zájmového úseku na podkladu Základní mapy ČR (ČÚZK)...	57
Obr. č. 6: Objekty na řešeném úseku, graficky na podkladu Základní mapy ČR (ČÚZK)	61
Obr. č. 7: Detail digitálního modelu terénu ve formátu TIN	63
Obr. č. 8: Detail břehových linií toku a linie osy toku na podkladu Ortofotomapy ČR (Esri ArcGIS Server).....	64
Obr. č. 9: Detail příčných profilů na podkladu Ortofotomapy ČR (Esri ArcGIS Server).....	65
Obr. č. 10: Program HEC-RAS po vložení vytvořené geometrie	66
Obr. č. 11: Ukázka příčného řezu v programu HEC-RAS	66
Obr. č. 12: Ukázka vykresleného mostu, vlevo příčný profil, vpravo prostorové zobrazení	68
Obr. č. 13: Zadání horní okrajové podmínky pro ustálené prodění	69
Obr. č. 14: Ukázka nekapacitního objektu, HEC-RAS, příčný profil v 0.431 ř. km	73
Obr. č. 15: Ukázka kapacitního objektu, HEC-RAS, příčný profil v 6.349 ř. km	73
Obr. č. 19: Ukázka nekapacitního koryta na příčném profilu 5.799 ř. km, HEC-RAS	74
Obr. č. 20: Ukázka kapacitního koryta na příčném profilu 6.77 ř. km, HEC-RAS ..	74
Obr. č. 16: N-leté průtoky pro území obce Kounov na podkladu Ortofotomapy ČR (Esri ArcGIS Server).....	75
Obr. č. 17: N-leté průtoky pro území osady Doly na podkladu Ortofotomapy ČR (Esri ArcGIS Server).....	76
Obr. č. 18: N-leté průtoky pro území Žákovec na podkladu Ortofotomapy ČR (Esri ArcGIS Server).....	77

15 Seznam tabulek

Tab. č. 1: Vymezení rozlohy povodí vůči krajům (Povodí Labe 2009 a).....	50
Tab. č. 2: Průměrné srážky a teploty na povodí (Povodí Labe 2009 c).	54
Tab. č. 3: Vodní stavy vodního toku Dědina (ČHMÚ ©2021 b).....	58
Tab. č. 4: Hodnoty N-letých průtoků (Poskytnuto od Ing. Sedláčkové Z., ČHMÚ, oddělení hydrologie)	60
Tab. č. 5: Objekty na řešeném úseku toku se staničením v rámci úseku	61
Tab. č. 6: Hodnoty součinitele drsnosti pro úseky řešeného části toku	67
Tab. č. 7: Posouzení kapacity objektů pro jednotlivé N-leté průtoky na vybraném úseku	72

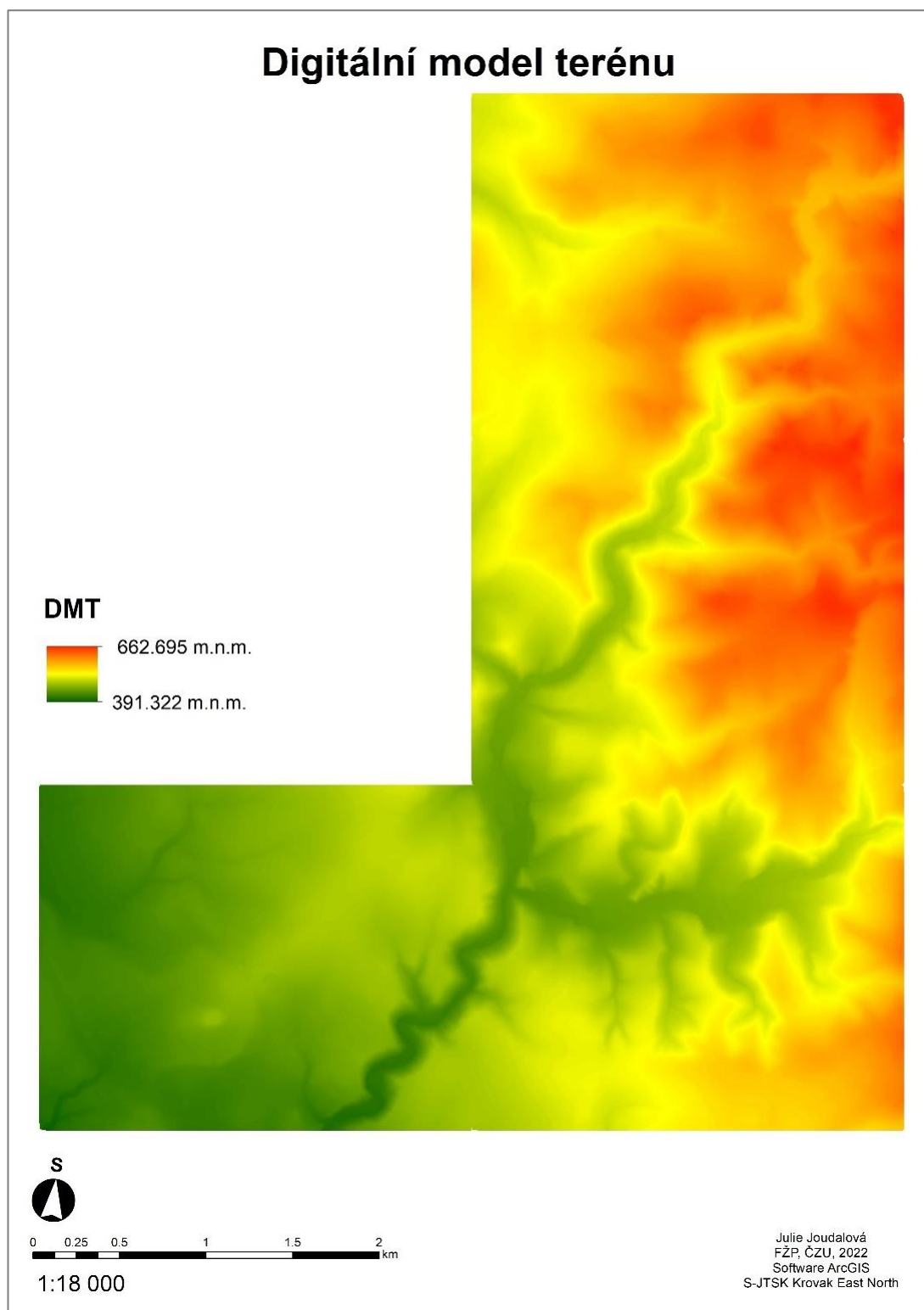
16 Seznam rovnic

Rovnice č. 1: Bilanční rovnice	11
Rovnice č. 2: Reynoldsovo číslo	15
Rovnice č. 3: Froudovo číslo	15
Rovnice č. 4: Rovnice kontinuity.....	16
Rovnice č. 5: Chézyho rovnice	16
Rovnice č. 6: Manningova rovnice	17

17 Seznam příloh

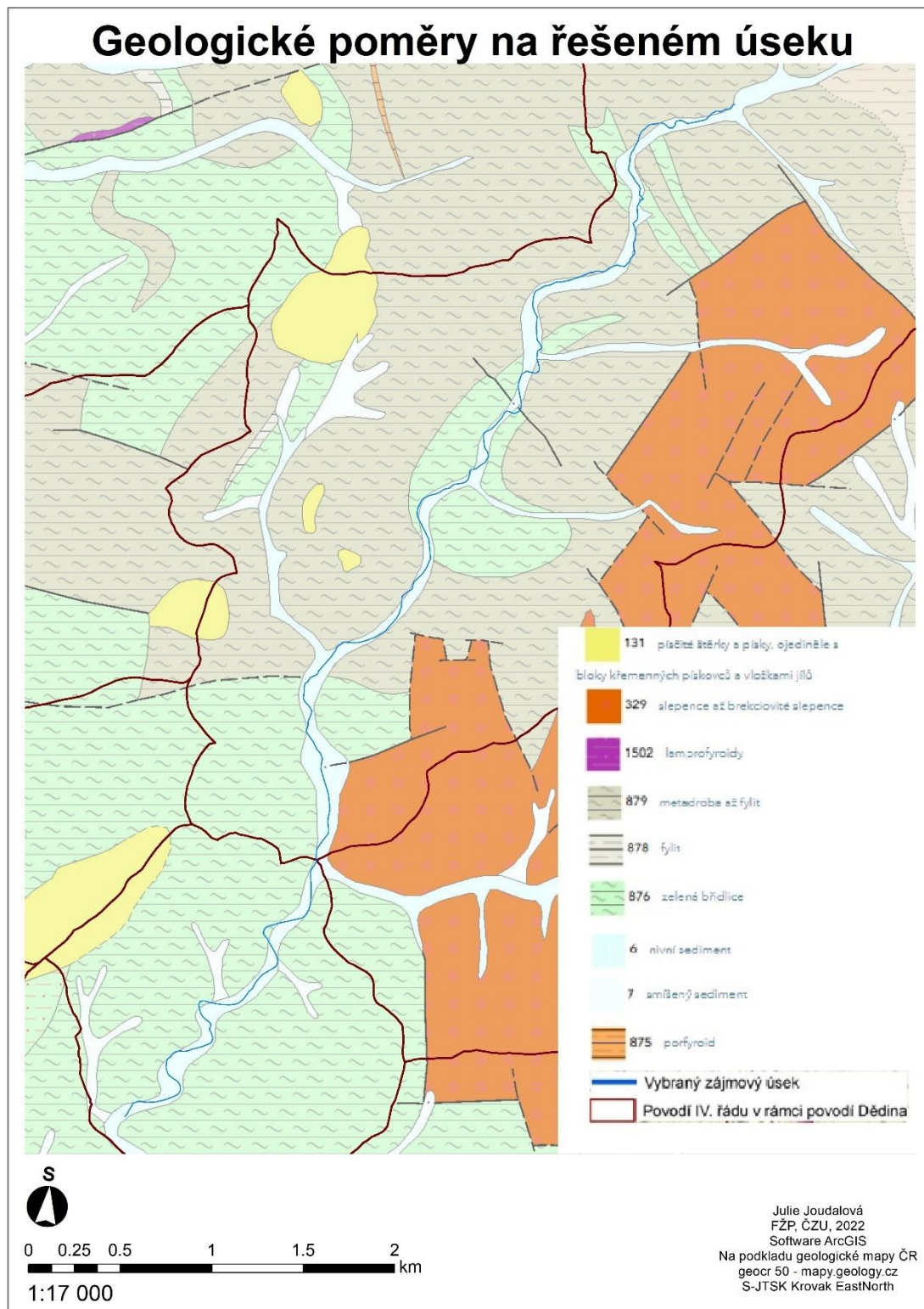
Příloha č. 1: Digitální model terénu zájmového území ve formátu raster	95
Příloha č. 2: Geologické poměry zájmového území na podkladu Geologické mapy (mapy.geology.cz).....	96
Příloha č. 3: Půdní typy na území na podkladu Půdní mapy (mapy.geology.cz/pudy)	97
Příloha č. 4: Využití území na podkladu Land Use mapy ČÚZK dle INSPIRE (ags.cuz.cz/geoprohlizec).....	98
Příloha č. 5: Objekty na řešeném úseku vodního toku Dědina, fotodokumentace pořizena při terénním šetření.....	101
Příloha č. 6: Fotodokumentace jednotlivých úseků související s volbou Manningova součinitele drsnosti.....	103
Příloha č. 7: Záplavové území celého řešeného úseku Dědina na podkladu Základní mapy ČR (ČÚZK).....	104
Příloha č. 8: Záplavové území úsek 0,000 - 2,275 ř. km na podkladu Základní mapy ČR (ČÚZK).....	105
Příloha č. 9: Záplavové území úseku 2,275 - 3,560 ř. km na podkladu Základní mapy ČR (ČÚZK).....	106
Příloha č. 10: Záplavové území úseku 3,560 - 6,401 ř. km na podkladu Základní mapy ČR (ČÚZK).....	107
Příloha č. 11: Záplavové území úseku 6,401 - 8,389 ř. km na podkladu Základní mapy ČR (ČÚZK).....	108
Příloha č. 12: Podélný profil z programu HEC-RAS, úsek 0,0 - 2,100 ř. km.....	109
Příloha č. 13: Podélný profil z programu HEC-RAS, úsek 2,100 - 4,200 ř. km.....	110
Příloha č. 14: Podélný profil z programu HEC-RAS, úsek 4,200 - 6,300 ř. km.....	111
Příloha č. 15: Podélný profil z programu HEC-RAS, úsek 6,300 - 8,400 ř. km.....	112

18 Přílohy



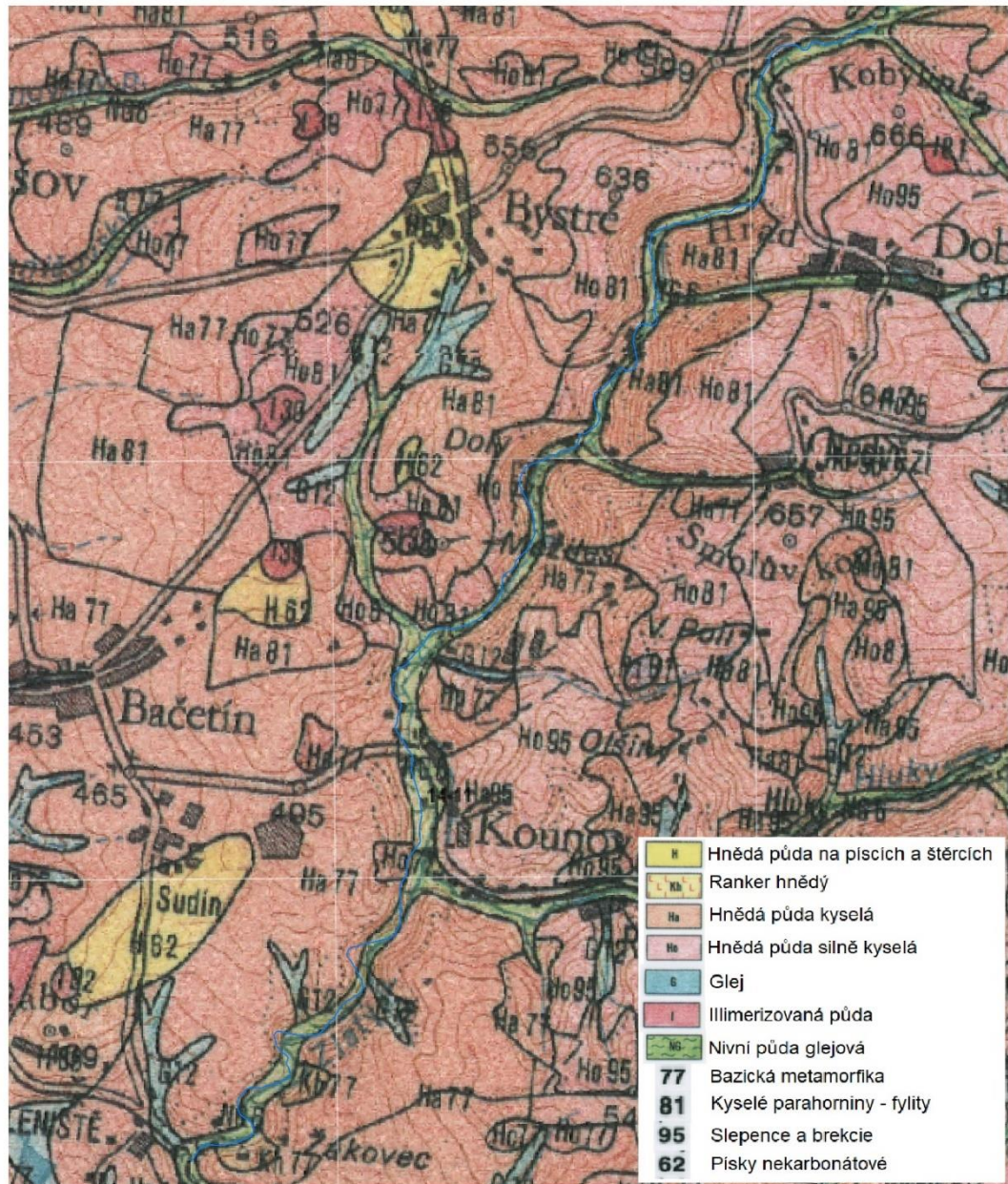
Příloha č. 1: Digitální model terénu zájmového území ve formátu raster

Geologické poměry na řešeném úseku



Příloha č. 2: Geologické poměry zájmového území na podkladu Geologické mapy (mapy.geology.cz)

Půdní typy na řešeném území



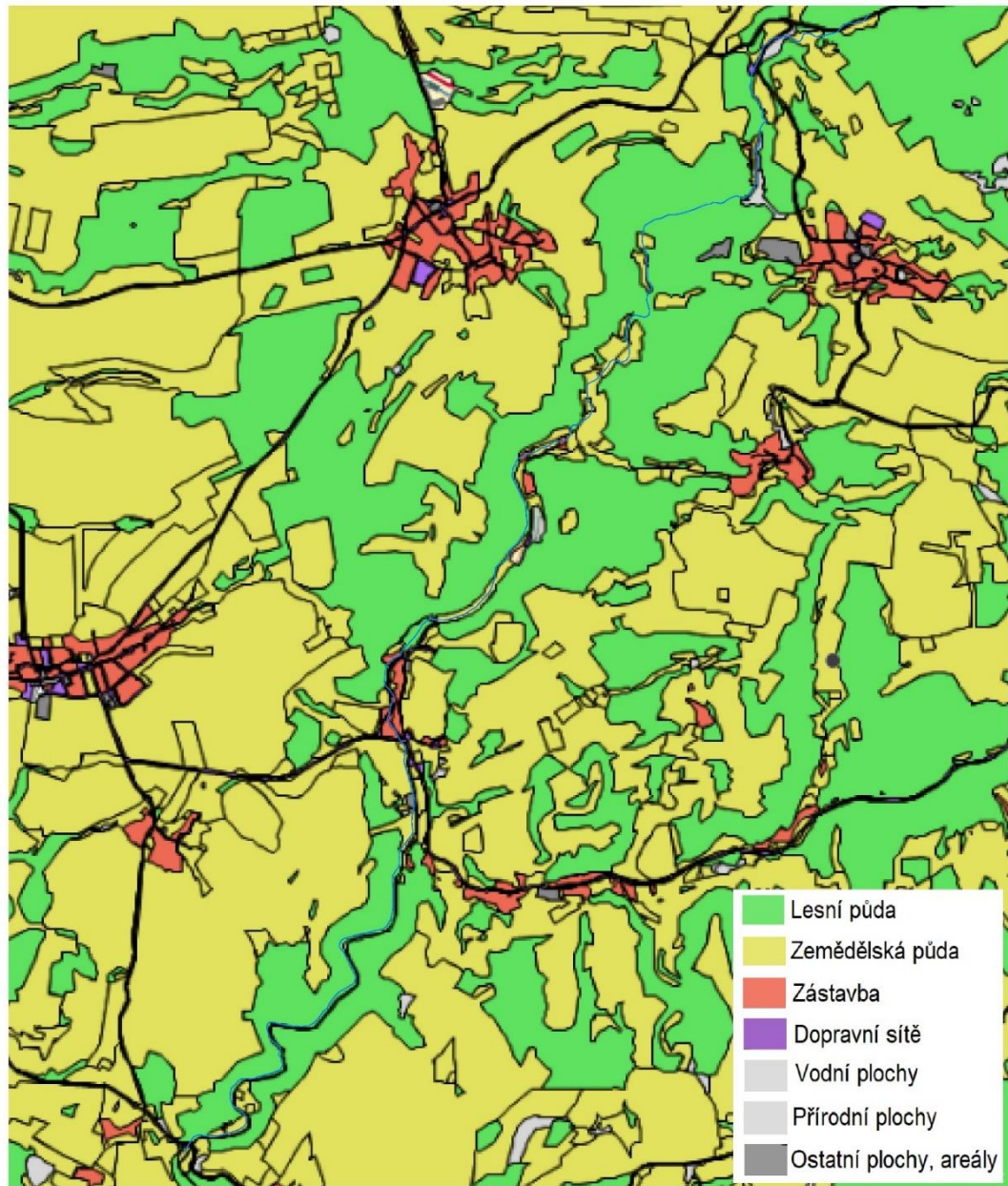
0 0.25 0.5 1 1.5 2 km

1:17 000

Julie Joudalová
FZP, ČZU, 2022
Software ArcGIS
Na podkladu Půdní mapy
zdroj: mapy.geology.cz/pudy
S-JTSK Krovak EastNorth

Příloha č. 3: Půdní typy na území na podkladu Půdní mapy (mapy.geology.cz/pudy)

Využití řešeného území



0 0.25 0.5 1 1.5 2 km

1:17 000

Julie Joudalová
FŽP ČZU, 2022
Software ArcGIS
Na podkladu mapy Využití území - INSPIRE
ČÚZK - ags.cuzk.cz/geoprohlizec
S-JTSK Krovak EastNorth

Příloha č. 4: Využití území na podkladu Land Use mapy ČÚZK dle INSPIRE (ags.cuzk.cz/geoprohlizec)



Objekt č. 1, staničení 0.050 ř. km, foceno po proudu



Objekt č. 2, staničení 0.431 ř. km, foceno po proudu



Objekt č. 3, staničení 2.677 ř. km, foceno proti proudu



Objekt č. 4, staničení 3.036 ř. km, foceno proti proudu



Objekt č. 5, staničení 3.162 ř. km, foceno proti proudu



Objekt č. 6, staničení 3.183 ř. km, foceno po proudu



Objekt č. 7, staničení 3.513 ř. km, foceno proti proudu



Objekt č. 8, staničení 3.739 ř. km, foceno proti proudu



Objekt č. 9, staničení 3.758 ř. km, foceno po proudu



Objekt č. 10, staničení 4.840 ř. km, foceno po proudu



Objekt č. 11, staničení 5.051 ř. km, foceno po proudu



Objekt č. 12, staničení 5.166 ř. km, foceno po proudu



Objekt č. 13, staničení 5.791 ř. km, foceno proti



Objekt č. 14, staničení 6.349 ř. km, foceno po proudu



Objekt č. 15, staničení 6.505 ř. km, foceno proti



Objekt č. 16, staničení 7.134 ř. km, foceno proti



Objekt č. 17, staničení 7.684 ř. km, foceno proti



Objekt č. 18, staničení 8.236 ř. km, foceno proti proudu

Příloha č. 5: Objekty na řešeném úseku vodního toku Dědina, fotodokumentace pořízena při terénním šetření



Úsek č. 1, foceno proti proudu;

Koryto: přirozený tok s kameny, štěrkové dno s oblázky, tůňky, křoviny a buřeň na březích;

Inundační prostory: levý – louky s nízkou trávou, orná půda, bez křovin, pravý – středně hustý les



Úsek č. 2, foceno po proudu;

Koryto: přirozený tok s kameny, dno štěrkové s oblázky, břehy, vegetační opevnění, křoviny na březích;

Inundační prostory: pravý – louky s nízkou trávou, orná půda, bez křovin, levý – středně hustý les



Úsek č. 3, foceno proti proudu;

Koryto: oblázkové dno, čisté, občasné tůně a mělčiny, křoviny mírně na březích, svah mírně opevněn kameny;

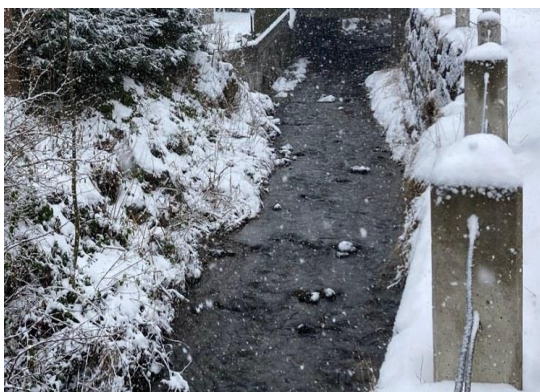
Inundační prostory: levý – louky s nízkou trávou, orná půda, bez křovin, pravý – středně hustý les



Úsek č. 4, foceno po proudu;

Koryto: přirozený tok, dno z přirozeného materiálu, hrubý štěrček až oblázky

Inundační prostory: hustý les, křoviny, občasné padlé stromy



Úsek č. 6, foceno proti proudu;

Koryto: upravené koryto, štěrkovité dno s kameny, břehy opevněné vegetací a kamenným zdivem;

Inundační prostory: levý – zástavba, zahrady, pravý – louky s nízkou trávou, křoviny



Úsek č. 7, foceno po proudu;

Koryto upravené, břehy opevněné vegetací a mírně kameny, dno hrubý štěrk;

Inundační prostory: zahrady a zástavba



Úsek č. 8, foceno proti proudu;

Koryto přirozené, dno hrubý štěrk, břehy vegetace, mírně křoviny;

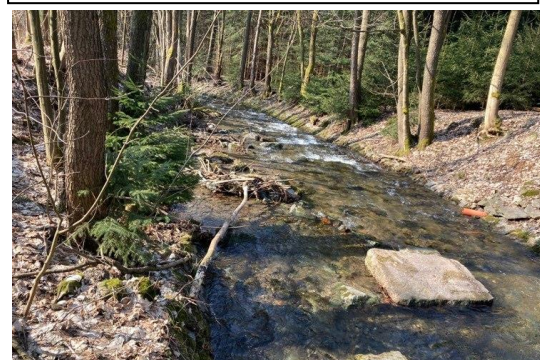
Inundační prostory: pravý – zástavba, křoviny, levý orná půda a louky, nízká tráva



Úsek č. 9, foceno proti proudu;

Koryto: upravené koryto, štěrkovité dno s kameny, břehy opevněné vegetací a kamenným zdivem;

Inundační prostory: levý – zástavba, zahrady, pravý – louky, nízká tráva, rozptýlená vegetace



Úsek č. 10, foceno proti proudu;

Koryto: upravené, zpevněné kameny, hrubý štěrk až oblázky, místy kameny, nánosy dřeva;

Inundační prostory: levý – rozptýlená zástavba, řídká vegetace keřů, pravý – středně husté stromy a nízká tráva



Úsek č. 11, foceno proti proudu;

Koryto: upravené koryto, štěrkovité dno s kameny, břehy opevněné vegetací a kamenným zdivem;

Inundační prostory: levý – les, keře, pravý – rozptýlené stromy, louky, nízká tráva, keře, rozptýlená zástavba



Úsek č. 12, foceno po proudu;

Koryto: upravené koryto, oblázkové s kameny, břehy opevněné vegetací a kamenným zdívem;

Inundační prostor: pravý břeh – hustý porost stromů, levý – nízká tráva, rozptýlená zástavba, mírně křoviny



Úsek 11, foceno proti proudu;

Koryto: přírodní, dno hrubší štěrk, tůňky a stupně, břehy kamenité s vegetací;

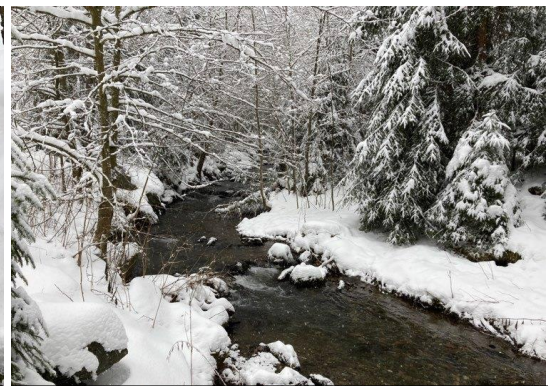
Inundační prostory: pravý břeh – orná půda, louky, nízký porost, levý – stromy v hustém porostu



Úsek č. 14, foceno proti proudu;

Koryto: upravené, dno kamenité, neudržované, balvanovité, břeh pravý opevněný zdívem, levý vegetací;

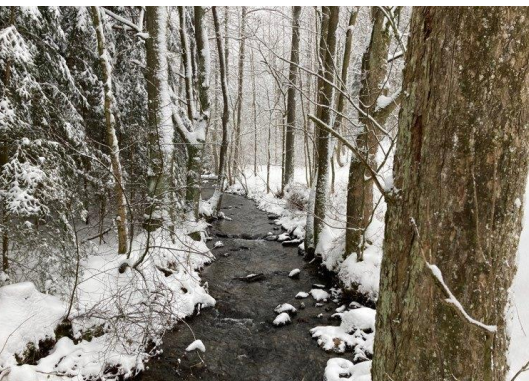
Inundační prostory: pravý – zástavba rozptýlená, řídké stromy a keře, levý – porost stromů



Úsek č. 16, foceno proti proudu;

Koryto: koryto přírodní, dno štěrkovité, místy kameny, tůňky a peřeje, břehy neupravené;

Inundační prostory: porost stromů a keřů



Úsek č. 17, foceno proti proudu;

Koryto: přirozené, štěrkovité, stupně, peřeje, tůňky, kameny, břehy neopevněné, břehová vegetace;

Inundační prostory: louky, vysoká tráva, rozptýlené stromy



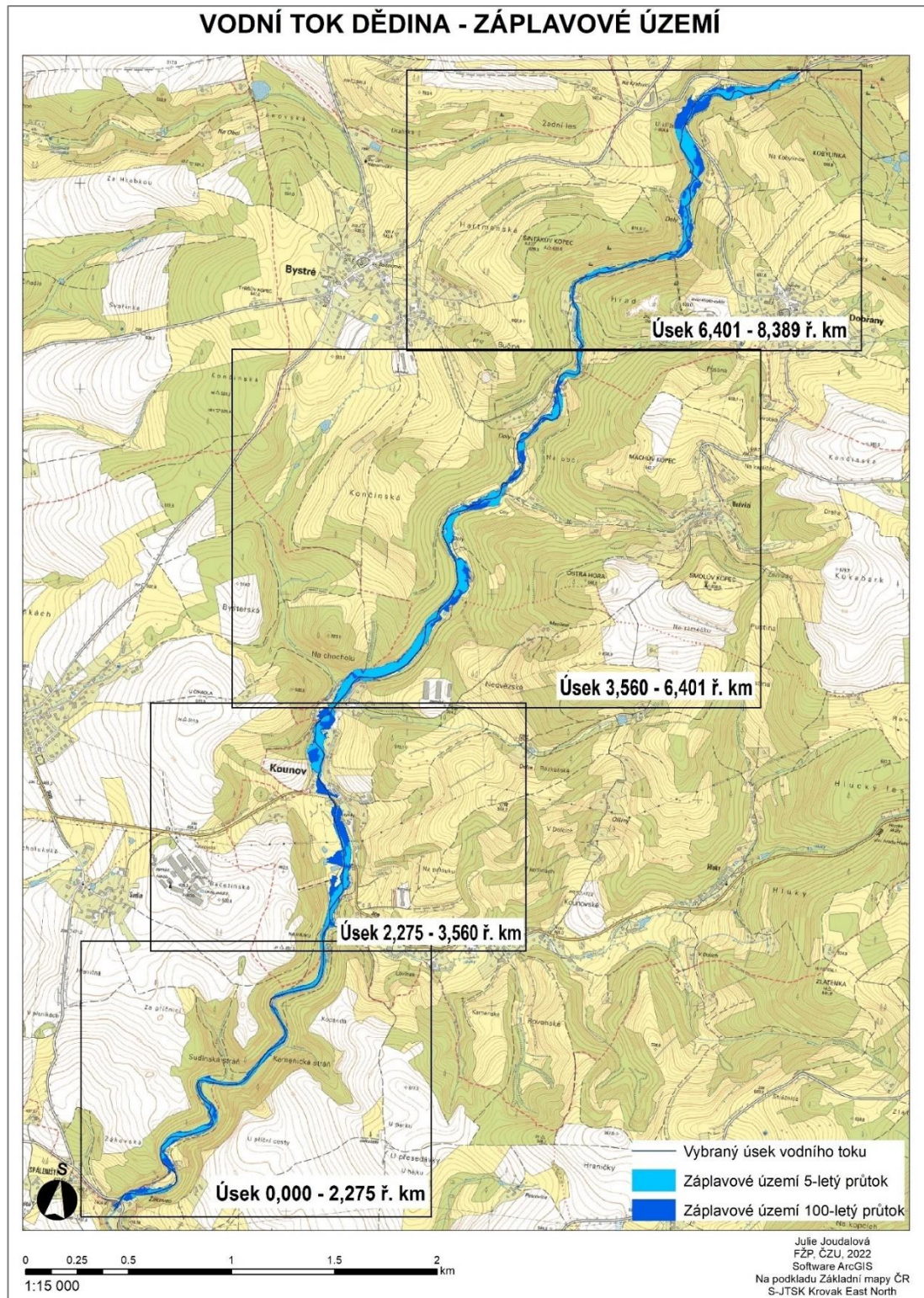
Úsek č. 18, foceno po proudu;

Koryto: přirozené, meandrující, neopevněné, hrubý štěrk;

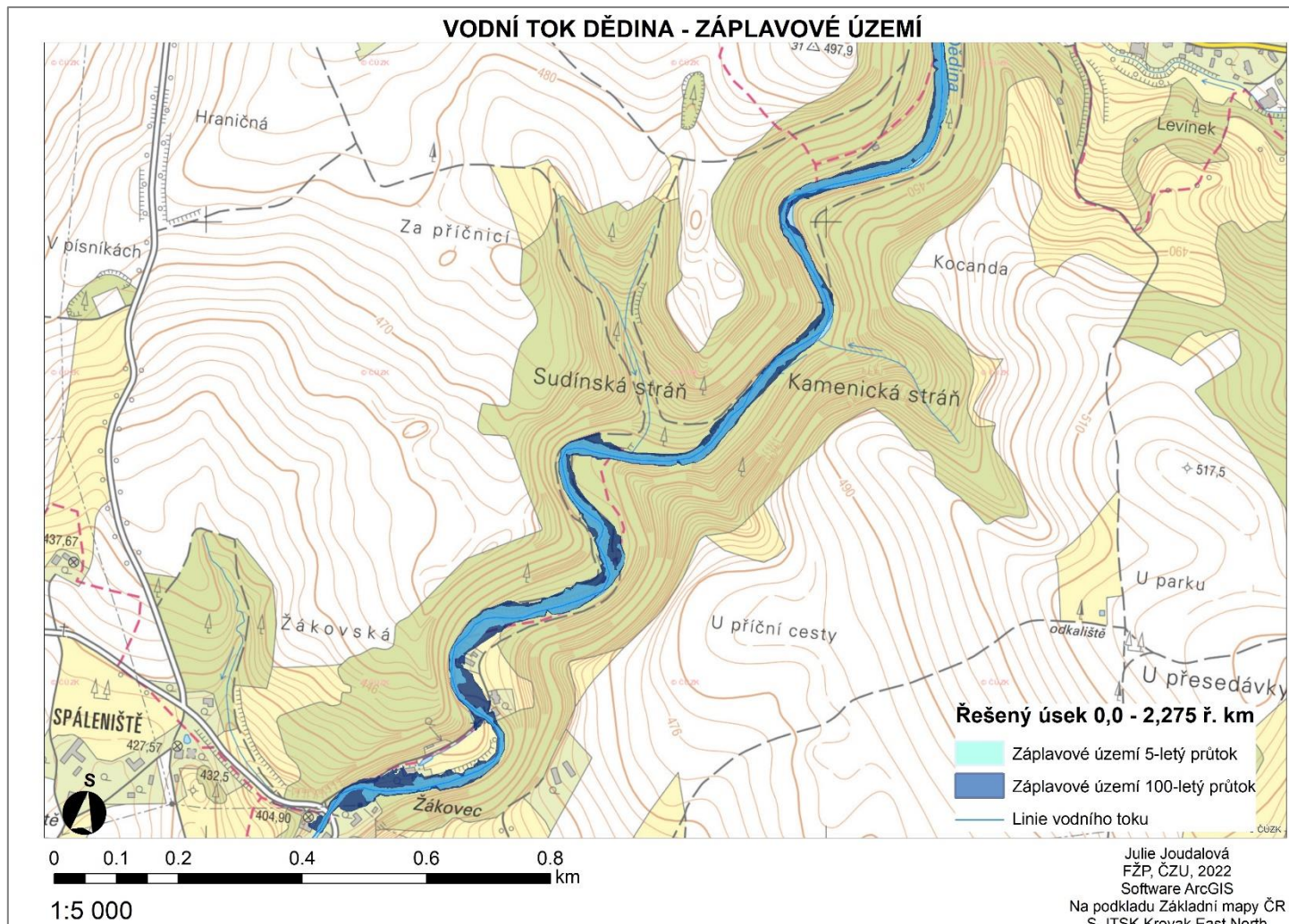
Inundační prostory: hustý porost stromů, keřů

Příloha č. 6: Fotodokumentace jednotlivých úseků související s volbou Manningova součinitele drsnosti

VODNÍ TOK DĚDINA - ZÁPLAVOVÉ ÚZEMÍ

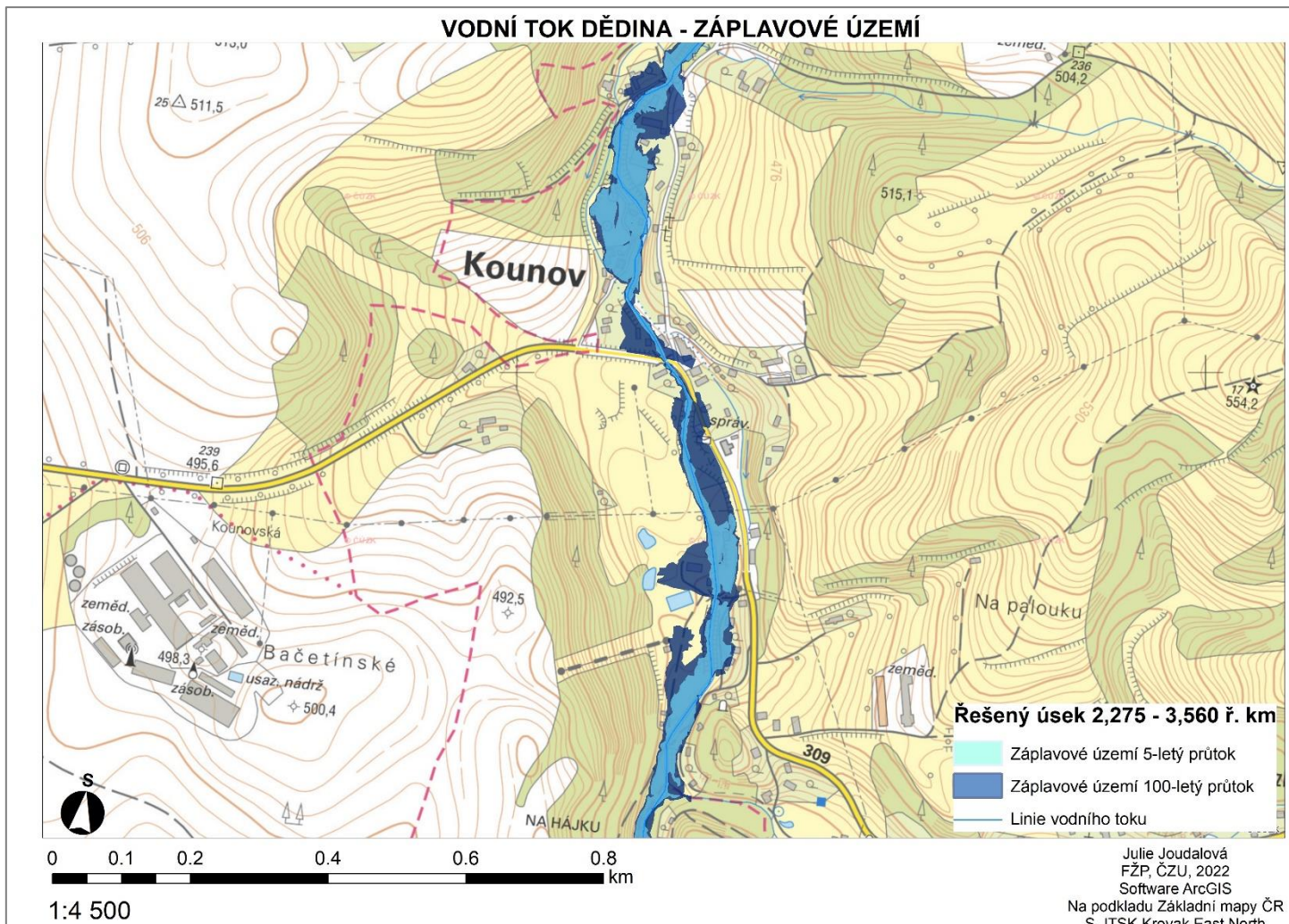


Příloha č. 7: Záplavové území celého řešeného úseku Dědina na podkladu Základní mapy ČR (ČÚZK)



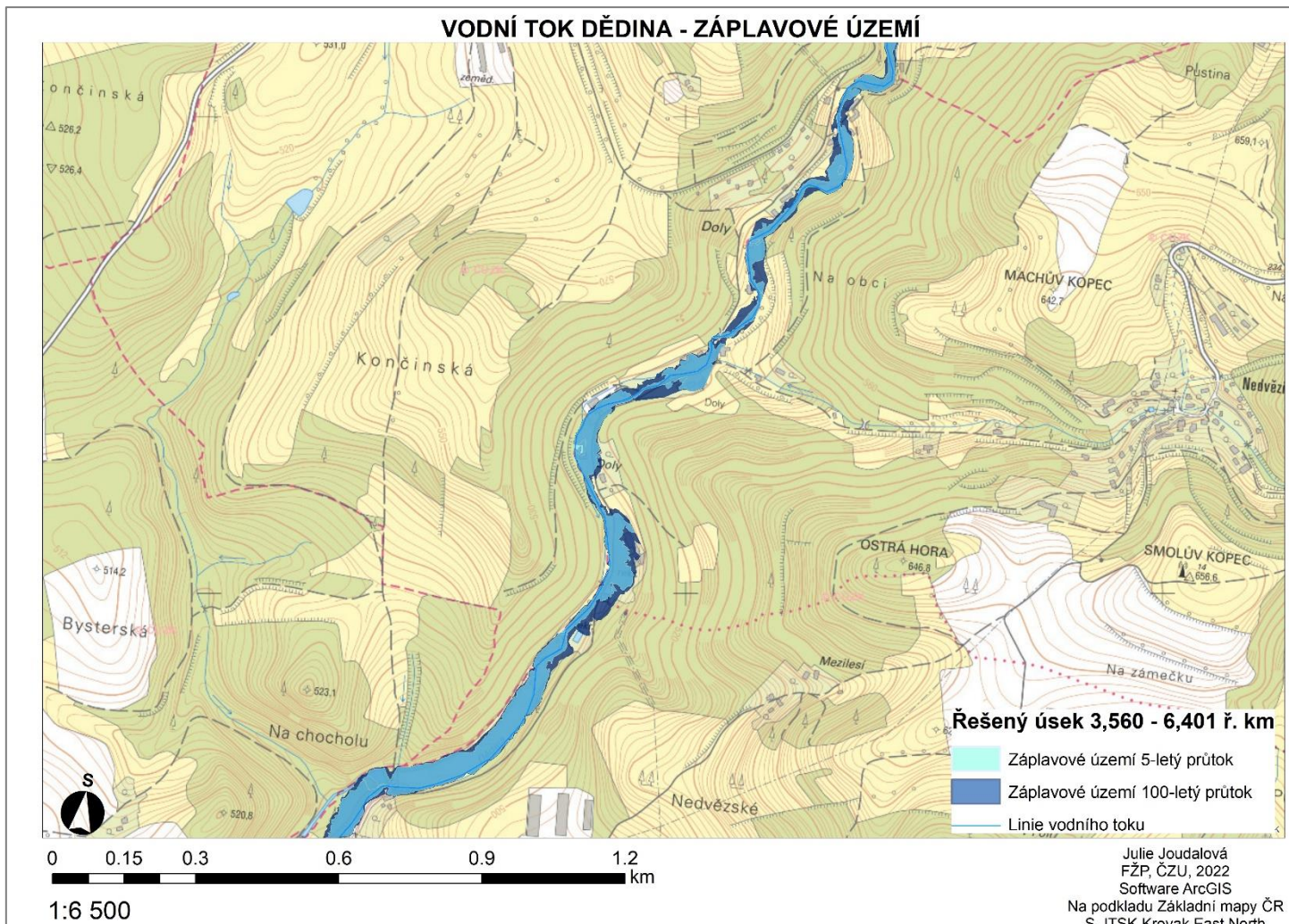
Příloha č. 8: Záplavové území úsek 0,000 - 2,275 ř. km na podkladu Základní mapy ČR (ČÚZK)

VODNÍ TOK DĚDINA - ZÁPLAVOVÉ ÚZEMÍ



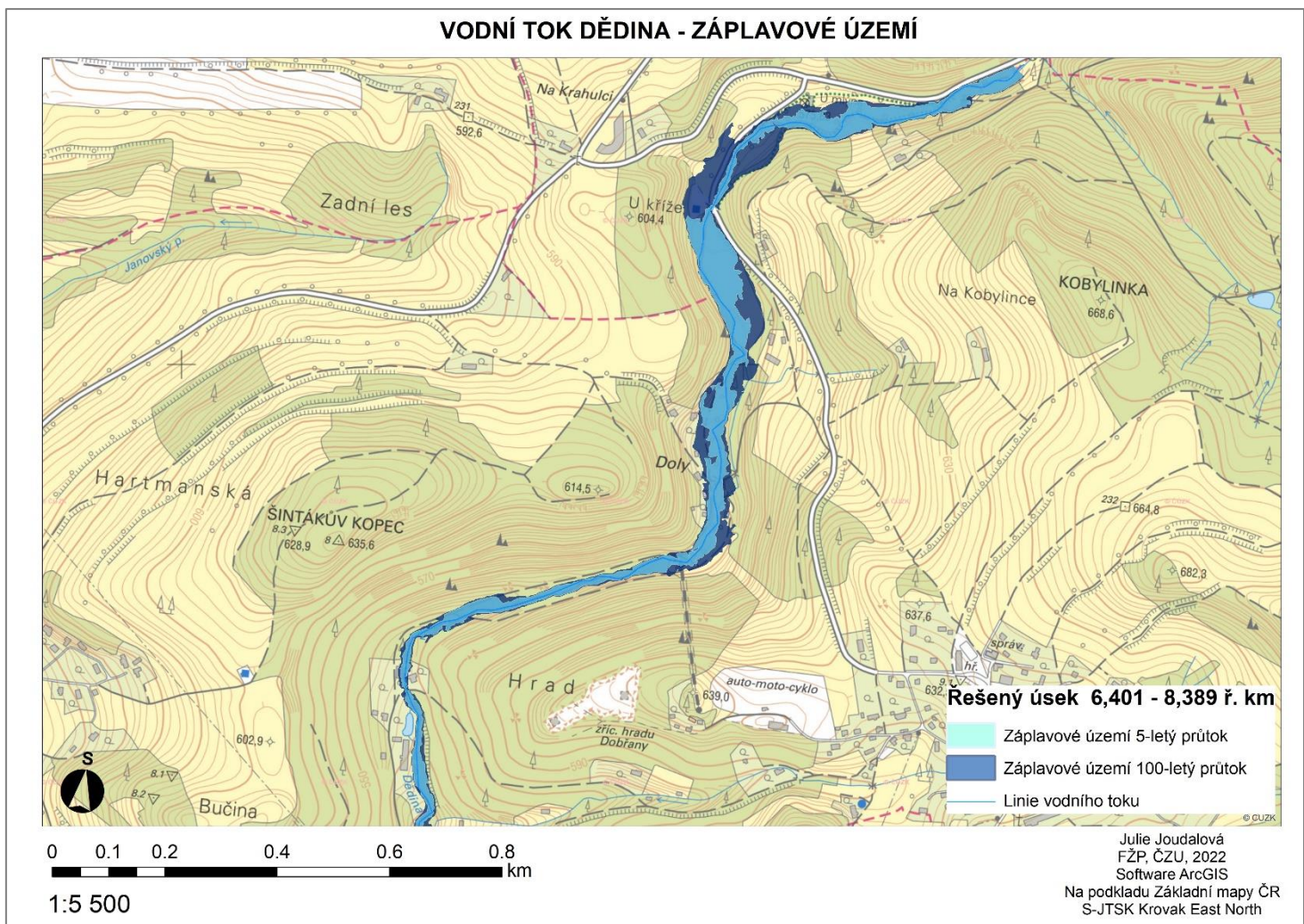
Príloha č. 9: Záplavové území úseku 2,275 - 3,560 ř. km na podkladu Základní mapy ČR (ČÚZK)

VODNÍ TOK DĚDINA - ZÁPLAVOVÉ ÚZEMÍ

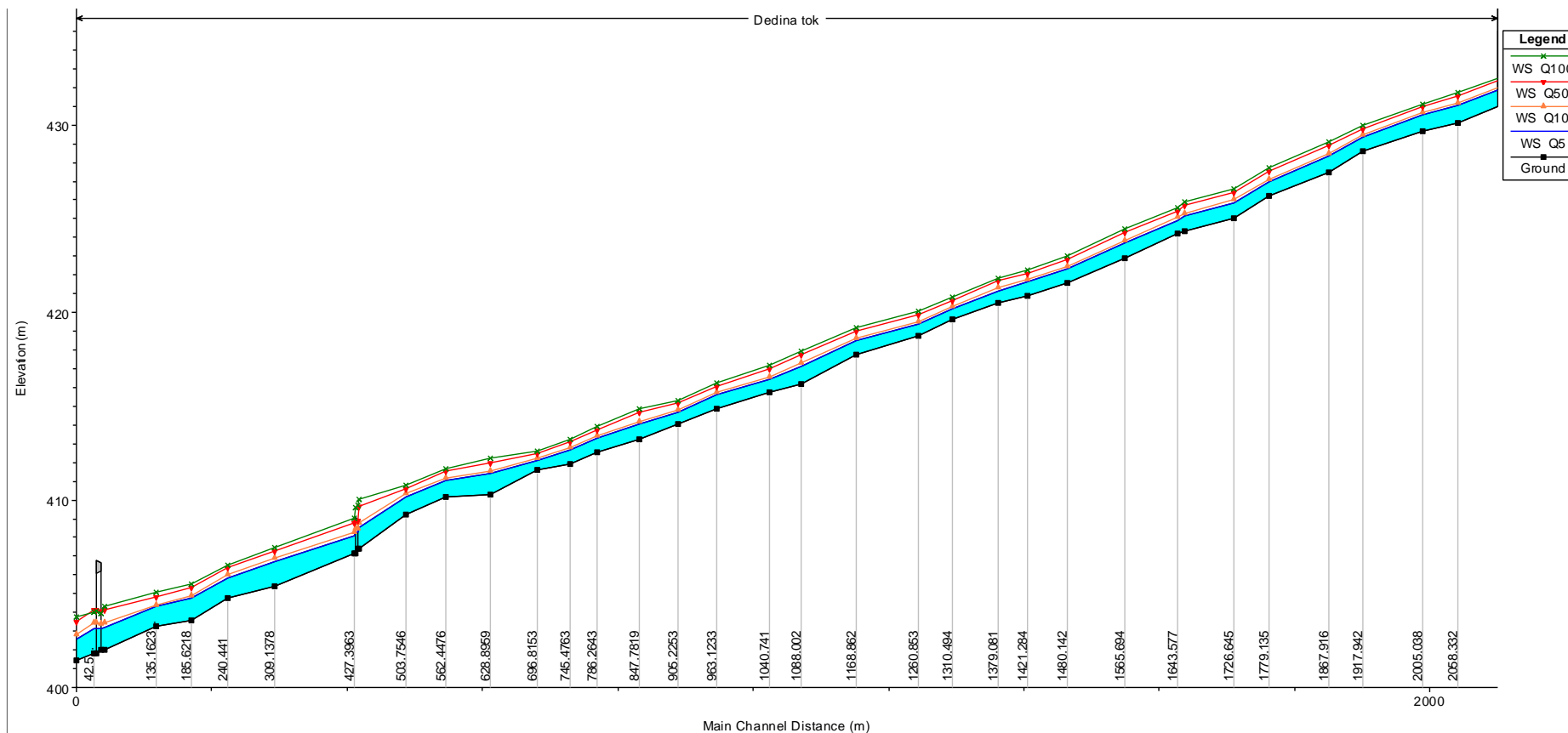


Příloha č. 10: Záplavové území úseku 3,560 - 6,401 ř. km na podkladu Základní mapy ČR (ČÚZK)

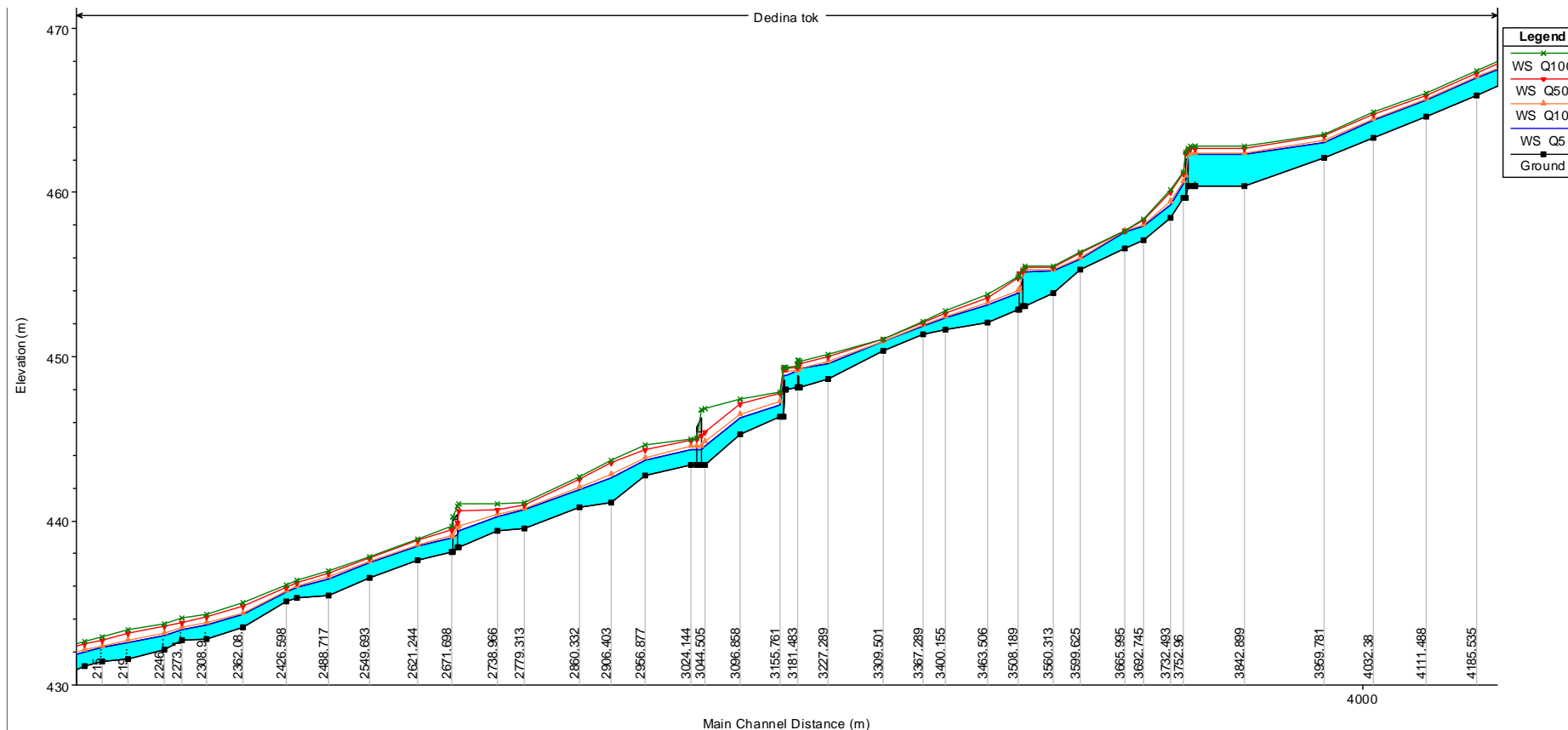
VODNÍ TOK DĚDINA - ZÁPLAVOVÉ ÚZEMÍ



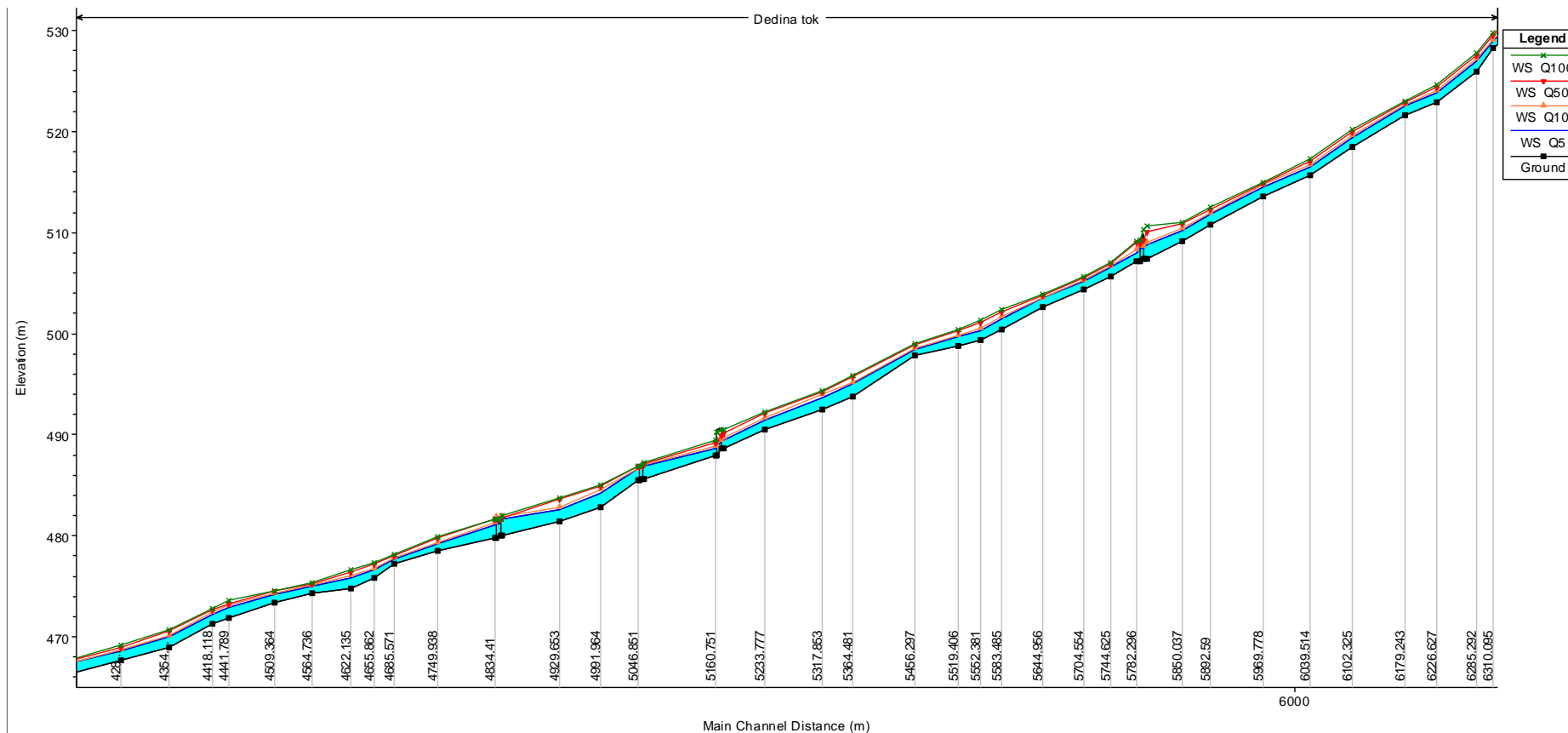
Příloha č. 11: Záplavové území úseku 6,401 - 8,389 ř. km na podkladu Základní mapy ČR (ČÚZK)



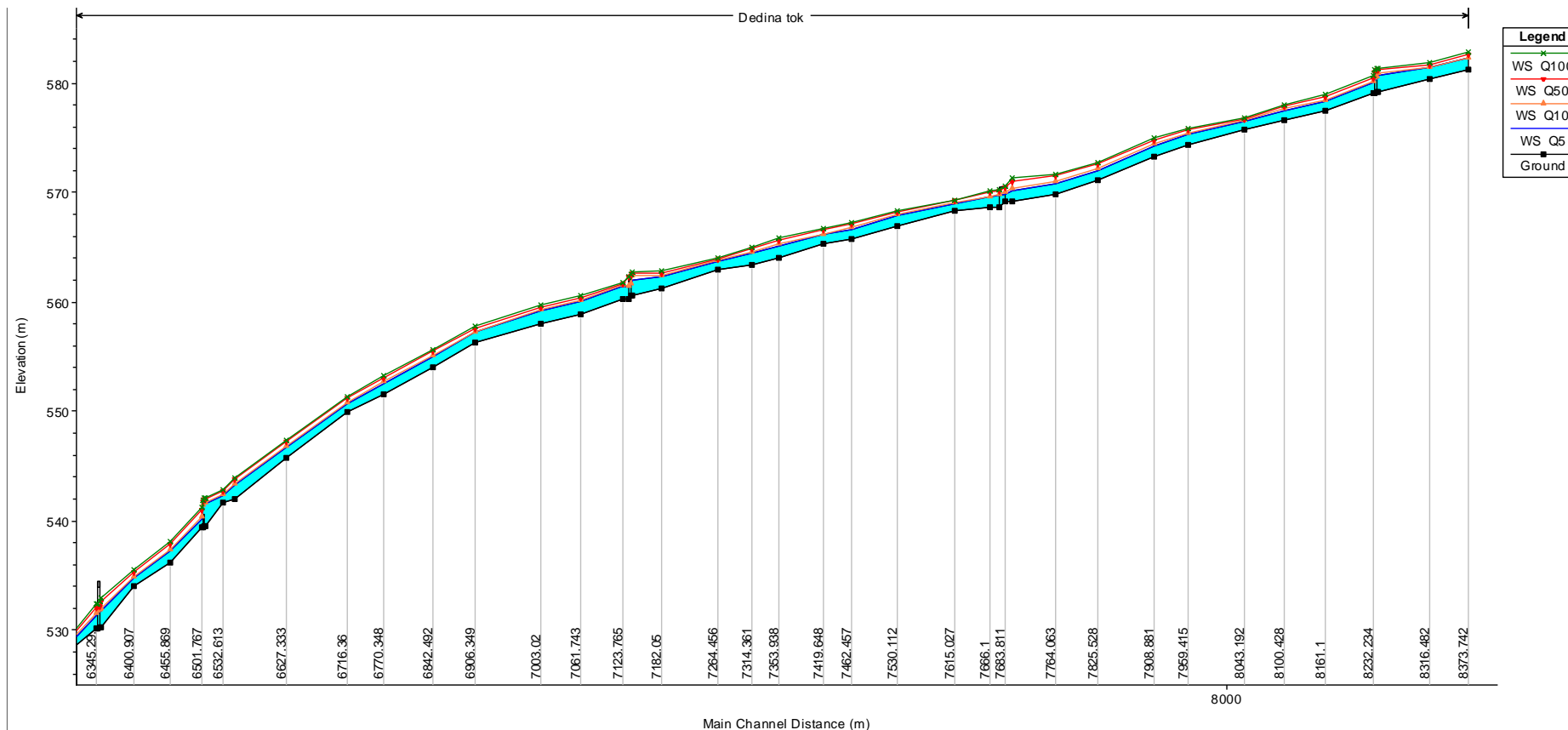
Príloha č. 12: Podélný profil z programu HEC-RAS, úsek 0,0 - 2,100 ř. km



Příloha č. 13: Podélný profil z programu HEC-RAS, úsek 2,100 - 4,200 ř. km



Příloha č. 14: Podélný profil z programu HEC-RAS, úsek 4,200 - 6,300 ř. km



Příloha č. 15: Podélný profil z programu HEC-RAS, úsek 6,300 - 8,400 ř. km