

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE



FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ

OBOR VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ

**TECHNICKÁ OPATŘENÍ A ÚPRAVY VODNÍCH TOKŮ LABE
A HARTSKÝ POTOK NA ÚZEMÍ MĚSTA DVŮR KRÁLOVÉ NAD LABEM**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Radek Roub, Ph. D.

Bakalant: Adam Reil

PRAHA, 2011

Prohlášení

Prohlašuji, že bakalářskou práci „Technická opatření a úpravy vodních toků Labe a Hartský potok na území města Dvůr Králové nad Labem“, jsem vypracoval samostatně na základě obstarané literatury a ostatních uvedených zdrojů.

V Praze dne 28. 4. 2011

.....
Adam Reil

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Radku Roubovi, Ph. D. za odborné vedení bakalářské práce a pomoc při jejím zpracování.

Dále děkuji panu Ing. Josefu Mokrému z ředitelství státního podniku Povodí Labe za poskytnuté informace a cenné rady.

Abstrakt

V bakalářské práci jsou řešena technická opatření a úpravy na vodních tocích. Tyto opatření a úpravy jsou v práci popsány nejprve v obecné rovině a dále jsou vztaženy ke konkrétní části toku Labe a k povodí Hartského potoka na území města Dvora Králové nad Labem. Zpracování zájmového území je rozděleno na dvě části.

V první části se práce zabývá obecnou charakteristikou řešeného úseku toku Labe a popisem technických opatření a úprav na něm.

Druhá část práce se zabývá povodím Hartského potoka. Povodí je nejdříve charakterizováno obecně a poté jsou konkrétně popsána opatření a úpravy.

Pro povodí Hartského potoka byly stanoveny základní geografické a hydrologické charakteristiky. Dále byl pro toto povodí zpracován digitální model terénu pomocí softwaru ArcGIS[®] 9.3. Základem pro vytvoření digitálního modelu terénu byla data (vrstevnice ZABAGED[®]) získaná z Českého zeměměřičského a katastrálního úřadu. Nakonec byl proveden výpočet stoletého průtoku v uzávěrovém profilu povodí Hartského potoka. Výpočet byl zpracován pomocí matematického modelu v programu DesQ – MaxQ verze 5.2.

Klíčová slova: Labe, povodeň, Hartský potok, vodní tok

Abstract

The bachelor thesis deals with technical measures and adjustments on water courses. These measures and adjustments are firstly described in general and consequently they are applied to a particular part of the upper reaches of the Elbe river and the Hart stream basin in the territory of Dvůr Králové nad Labem. The processing of the target area is divided into two parts.

In the first part the thesis concerns with the general characteristics of the Elbe water course stretch that is dealt with and then concerns with the description of technical measures and adjustments on that water course.

The second part is concerned with the Hart stream basin. Firstly the drainage basin is characterized in general and then measures and adjustments are described in particular.

For the Hart stream basin the basic geographical and hydrological characteristics were determined. Then a terrain digital model for this drainage basin was created using the ArcGIS[®] 9.3 software. The terrain digital model was based on the data (contour lines ZABAGED[®]) obtained from the Czech geodetical and cadastral office. Eventually the calculation of a centenary flow volume in the closure profile of the Hart drainage basin was performed. The calculation was processed using a mathematical model in the DesQ – MaxQ programme, version 5.2.

Key words: the Elbe, flood, the Hart stream, water course

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíle práce	2
3. Literární rešerše.....	3
3.1 Povodí a jeho charakteristiky	3
3.1.1 Povodí	3
3.1.2 Toky v povodí	3
3.1.3 Geometrické charakteristiky povodí	4
3.1.4 Zeměpisná poloha povodí	5
3.1.5 Výškové poměry povodí	5
3.1.6 Sklonové poměry povodí	5
3.1.7 Geologické a půdní vlastnosti povodí	7
3.1.8 Vegetační pokryv povodí	8
3.1.9 Akumulace vody v povrchových depresích, nádržích a bažinách	9
3.2 Úpravy vodních toků	11
3.2.1 Opevnění dna a břehů na tocích.....	11
3.3 Objekty na vodních tocích.....	15
3.3.1 Objekty zajišťující stabilní dno.....	15
3.3.2 Spádové objekty	15
3.3.3 Objekty zajišťující přístup	16
3.3.4 Přehrážky.....	16
3.3.5 Vzdouvací vodní díla	17
3.3.6 Soustředovací stavby	21
3.3.7 Křížení toku s komunikacemi	22
4. Metodika	23
4.1 Vytvoření digitálního modelu terénu	23
4.2 Stanovení stoletého průtoku Q_{100} matematickým modelem.....	23
4.3 Průzkum území.....	24
5. Charakteristika zájmového území	25
5.1 Labe na území Dvora Králové nad Labem.....	26
5.1.1 Popis toku Labe.....	26
5.1.2 Objekty a úpravy na Labi ve Dvoře Králové nad Labem	27

5.2	Povodí Hartského potoka	31
5.2.1	Popis povodí.....	31
5.2.2	Geologické a půdní poměry v povodí	31
5.2.3	Popis objektů a úprav na Hartském potoce	32
6.	Výsledky práce.....	35
6.1	Zpracování povodí Hartského potoka	35
6.1.1	Identifikace povodí.....	35
6.1.2	Geometrické charakteristiky povodí	35
6.1.3	Výškově poměry povodí	36
6.1.4	Sklonové poměry povodí	36
6.1.5	Ostatní charakteristiky povodí	37
6.2	Určení stoletého průtoku matematickým modelem.....	38
6.2.1	Hodnoty N – letých průtoků stanovené pomocí programu DesQ	38
6.2.2	Hodnoty N – letých průtoků poskytnutých Povodím Labe s.p.	38
7.	Závěr a diskuse.....	39
8.	Seznam literatury a použitých zdrojů:.....	41
9.	Seznam příloh.....	43

1. Úvod

Téměř veškerý život na naší planetě je úzce svázán s vodou. Voda je podmínkou pro život a nenahraditelnou součástí životního prostředí. Již od dávných dob docházelo k zakládání sídel v blízkosti vodních zdrojů, které znamenaly především dostatek obživy, ale také nebezpečí povodní, či záplav. Na našem území máme povodně v živé paměti a víme, co vše se může stát při dlouhých a vydatných deštích, či při tání velkých ploch sněhové pokrývky. Povodním se nedá úplně zabránit, ale jejich účinky je možné ovlivnit protipovodňovými opatřeními a tím snížit škody na lidských životech i na majetku. Nástrojem pro zmírnění účinků povodní jsou protipovodňová opatření, která spočívají především v úpravách vodních toků, hlásných a předpovědních službách, ale i v zřizování povodňových plánů a integrovaných záchranných systémů.

Tato bakalářská práce se zabývá především úpravami toků a objekty, které jsou na vodních tocích budovány s rozličnými účely. Objekty a úpravy na tocích jsou v této práci řešeny jak obecně, tak konkrétně aplikací na povodí Hartského potoka a část toku Labe v území města Dvůr Králové nad Labem. Ve Dvoře Králové nad Labem nejsou povodně neznámým pojmem. Město jim v minulosti čelilo mnohokrát, přičemž poslední a jednou z největších byla ta z 9. března roku 2000. Následky povodně byly kritické, a proto byla v roce 2004 provedena údržba koryta především v nábrežní části města. Od roku 2000 nebyla na území zaznamenána žádná významná povodňová událost.

2. Cíle práce

Povodně se na území města Dvora Králové nad Labem vyskytují poměrně často. Cílem této bakalářské práce je shrnout a popsat objekty ovlivňující povodňové situace ve městě. Dále práce poskytne informace týkající se úprav Labe a Hartského potoka ve městě a jeho okolí.

Dalším cílem práce je sjednocení a popis základních hydrologických charakteristik povodí. Tyto charakteristiky jsou aplikovány na povodí Hartského potoka, který protéká městem. Pro povodí byl vytvořen digitální model terénu a vypočten stoletý průtok Q_{100} pomocí matematického modelu.

3. Literární rešerše

3.1 Povodí a jeho charakteristiky

3.1.1 Povodí

Základní hydrologickou oblastí, na které zjišťujeme vzájemný vztah bilančních prvků a zkoumáme odtokové procesy, je povodí. Je to území vztažené k určitému profilu na toku a je vymezené rozvodnicí. Rozvodnice je myšlená čára, která vymezuje plochu daného povodí, prochází jeho nejvyššími místy a také od sebe odděluje sousední povodí. Podle toho jestli jde o povodí povrchových, nebo podpovrchových vod, rozlišujeme rozvodnici orografickou a hydrogeologickou. *Orografická rozvodnice* je pomyslná čára v terénu určená z vrstevnicových map. Značí hranici mezi povodími, probíhá rozvodím, které je přirozeným rozhraním mezi povodími. *Hydrogeologická rozvodnice* ohraničuje povodí podpovrchových vod, její průběh je závislý na uložení nepropustných vrstev a na geologické stavbě území. Uzávěrový profil je místo, kde protéká všechen odtok z povodí. Jedná se zpravidla o nejnižší místo údolnice hlavního toku v povodí. (Kemel, 1994)

3.1.2 Toky v povodí

Vodní toky odvodňují jenom určitou část území vymezenou rozvodím. Každého toku lze přiřadit jeho řád. Řád toku je číslo udávající počet posloupných zaústění od moře. Hydrologické pořadí toku spočívá v řazení toků postupně od pramene po proudu, od toku nižšího řádu k vyššímu. Hlavním tokem nazýváme tok nejvyššího řádu v daném povodí. Ten spolu se svými přítoky tvoří říční soustavu a říční soustavy v uvažovaném území vytvářejí říční síť. Oblast, ze které může voda povrchově odtéci do moře, se nazývá úmoří. (Sommer, 1985)

Hustota říční sítě r se určí jako podíl všech toků v povodí (ΣL) a plochy povodí. (Hrádek et Kuřík, 2008)

$$r = \frac{\Sigma L}{F}$$

(4.1)

3.1.3 Geometrické charakteristiky povodí

Délka hlavního toku L_{HT} [km] je délka hlavního toku od jeho pramene až po soutok s tokem o řád vyšším.

Délka údolnice L_U [km] je délka hlavního toku včetně délky jeho prodloužení až na rozvodnici.

Délka rozvodnice R [km] vyjadřuje obvod povodí.

Velikost plochy povodí F [km²] je určována z map vhodného měřítka planimetrováním. Norma definuje plochu povodí, jako plochu půdorysného průmětu povodí do vodorovné roviny. Určuje se zpravidla zvlášť pro levou a pravou část povodí rozděleného údolnicí. (Kemel, 2000)

Součinitel asymetrie povodí a [-] udává, jakou měrou jsou svahy nalevo a napravo od hlavního toku asymetrické.

$$a = \frac{F_L - F_P}{F_L + F_P} = \frac{F_L - F_P}{F} \quad (4.2)$$

F_L je plocha vlevo od hlavního toku [m²]

F_P je plocha vpravo od hlavního toku [m²]

F je celková plocha povodí [m²]

Tvar povodí patří mezi podstatné charakteristiky ovlivňující dobu, za kterou se soustředí voda z celé plochy povodí v uzavírajícím profilu. Nejpoužívanější charakteristikou tvaru povodí je součinitel tvaru povodí α , který vyjadřuje poměr mezi střední šířkou povodí B [m] a délkou údolnice L_U [m].

$$\alpha = \frac{B}{L_U} \quad (4.3)$$

Střední šířka povodí B :

$$B = \frac{F}{L_U} [m] \quad (4.4)$$

Dále vyjádříme α z rovnic (4.3) a (4.4) :

$$\alpha = \frac{F}{L_U^2} \quad (4.5)$$

Tato definice vychází z idealizovaného tvaru povodí na obdélník. Vzhledem k rozmanitým tvarům povodí je nutné pro výpočet vždy zvolit geometrický obrazec, jehož rozměry lze odvodit z definovaného součinitele tvaru povodí dle rovnice (4.5). (Hrádek et Kuřík, 2008)

Povodí o velikosti 5 – 50 km² se podle hodnoty součinitele tvaru povodí dělí na:

- protáhlá $\alpha < 0,24$
- přechodného typu $\alpha = 0,24 - 0,26$
- vějířovitá $\alpha > 0,26$ (Hrádek et Kuřík, 2008)

3.1.4 Zeměpisná poloha povodí

Zeměpisnou polohou jsou dány klimatické poměry v povodí, jež zásadně ovlivňují i hydrologické poměry. Je dána zeměpisnými souřadnicemi, mezi kterými se povodí nachází. Poloha se často udává vzhledem k významným geomorfologickým celkům (např. horským masivům apod.). (Kemel, 1994)

3.1.5 Výškové poměry povodí

Nadmořské výšky v povodí lze znázornit hypsografickou křivkou, která udává závislost mezi zvolenou nadmořskou výškou a plochou povodí. Nebo je možné pomocí příslušného softwaru vytvořit výškový digitální model terénu. V obou případech lze odečíst maximální a minimální nadmořské výšky.

Průměrnou nadmořskou výšku povodí \bar{H} [m n. m.] můžeme získat odvozením z hypsografické křivky, nebo ji lze vypočítat pomocí vhodného softwaru.

3.1.6 Sklonové poměry povodí

Absolutní spád povodí ΔH [m] je pouze informativního charakteru a udává rozdíl mezi maximální a minimální nadmořskou výškou v povodí.

$$\Delta H = H_{max} - H_{min} [m] \quad (4.6)$$

Střední sklon svahů I_{sv} [%] se zjišťuje z důvodu různorodých sklonových poměrů v povodí. Běžně se vyjadřuje pomocí zjednodušeného vztahu. Pokud chceme dosáhnout lepších výsledků, je nutné použít jeden ze vztahů dle Herbsta, nebo provést výpočet náležitým softwarem.

Zjednodušený vztah pro výpočet středního sklonu svahů:

$$I_{sv} = \frac{H_{max} - H_{min}}{\sqrt{F}} \cdot 100 \text{ [%]}$$

(4.7)

H_{max}	maximální nadmořská výška v povodí	[m n. m.]
H_{min}	minimální nadmořská výška v povodí	[m n. m.]
F	plocha povodí	[m ²]

(Kemel, 1994)

Přesnější způsob stanovení středního sklonu svahů dle Herbsta:

- když Δh bude konstantní

$$I_{sv} = \frac{\Delta h \cdot \Sigma l_{si}}{F} \cdot 100 \text{ [%]}$$

(4.8)

- když Δh volíme

$$I_{sv} = \frac{\Sigma(l_{si} \cdot \Delta h)}{F} \cdot 100 \text{ [%]}$$

(4.9)

Δh	volený výškový interval mezi vrstevnicemi	[m ²]
l_{si}	průměrná délka vrstevnic v i - tém intervalu	[m]
F	plocha povodí	[m ²]

(Hrádek et Kuřík, 2008)

Průměrný sklon údolnice I_u [%] je významnou charakteristikou hlavně malých a velmi malých povodí.

$$I_u = \frac{H_{max,u} - H_{min,u}}{L_u} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (4.10)$$

H_{max}	maximální nadmořská výška údolnice	[m n. m.]
H_{min}	minimální nadmořská výška údolnice	[m n. m.]

(Hrádek et Kuřík, 2008)

3.1.7 Geologické a půdní vlastnosti povodí

Geologické a půdní poměry mají výrazný vliv na vývoj skladby terénu, rychlost zvětrávání i na míru propustnosti horninových vrstev. Tím nepřímo ovlivňují odtokový proces z povodí a objem vody vsakující do spodních horizontů, ze kterých jsou dotovány toky v daném území. Pokud jsou v oblasti více propustné horniny, tak dochází při vydatnějších deštích ke snižování kulminačních průtoků a v období sucha naopak disponují vyššími minimálními průtoky oproti málo propustným podložím. Významnou roli mají geologické poměry také na celkovou zásobu vody a úroveň hladiny podzemních vod. (Sommer, 1985; Kemel, 2000)

Půdní poměry (půdní druh, struktura, vlhkost) se zjišťují hydro-pedologickým průzkumem nebo z podrobných pedologických map. Zásadně ovlivňují intenzitu a velikost infiltrace, na které závisí velikost i rozložení hypotermického a povrchového odtoku. (Sommer, 1985)

Skupiny hornin podle stupně propustnosti:

- 1) Propustné horniny
 - rozrušené horniny, úlomkovité sedimenty, některé celistvé i pórovité vyvřeliny zkrasovatělé horniny
 - kvartérní fluviální sedimenty: aluviální, diluviální a preluviální náplavy
 - eolické sedimenty: vložky štěrku a písku v nepropustných sedimentech
 - rozrušené a zkrasovatělé karbonické horniny ze starších útvarů: vápence a dolomity

2) Polopropustné horniny:

- hlinité písky, pískovce, rašeliny, spraše, slepence a jemně rozrušené vápence

3) Nepropustné horniny

- celistvé nerozrušené horniny: žuly, porfyry, syenity, diabasy, znělce, čediče, krystalické a jílovité břidlice, nerozrušené vápence, jíly, slíny.

(Hrádek et Kuřík, 2008)

3.1.8 Vegetační pokryv povodí

Vegetační kryt má značný vliv na režim průtoků a odtok vody z povodí. Zachycuje určitou část spadlých srážek (intercepce), ovlivňuje výpar z rostlin (evapotranspirace) a působí také na rychlost plošného odtoku vody po svazích. Podle druhové skladby může mít vegetační pokryv kladný, ale i záporný charakter. Druhy rostlinstva zjišťujeme z vegetačních map. A z topografických, lesnických a fenologických map lze získat údaje o zastoupení a umístění ploch lesů, polí a luk, či zastavěného území. Výskyt jednotlivých druhů pokryvu se nečastěji udává v procentech z celkové plochy povodí. (Kemel, 2000)

Důležitou vegetační úlohu plní soustavy lesů, které mají příznivý vliv na vláhovou bilanci, odtok vody a je vyrovnaný stav. Při porovnávání různých povodí se často udává údaj o míře zalesnění nebo koeficient lesnatosti K , který je definován jako podíl součtu zalesněných ploch ΣP_l na povodí a celkové plochy povodí F .

$$K = \frac{\Sigma P_l}{F} \cdot 100 [\%] \quad (4.11)$$

Vztah pro vyjádření intercepce

$$I = A + E \quad (4.12)$$

- I intercepce – obvykle se její velikost vyjadřuje v [mm]
A zadržaná voda na vegetaci a předmětech
E vypařená voda z listové plochy a předmětů

Důležité vlastnosti lesních porostů:

- akumulační schopnost
- retenční schopnost
- intercepce
- zvyšování intenzity infiltrace

(Sommer, 1985; Hrádek et Kuřík, 2008)

3.1.9 Akumulace vody v povrchových depresích, nádržích a bažinách

Akumulovaná voda v povrchových depresích, nádržích, jezerech a bažinách ovlivňuje mikroklimatické poměry, ale hlavně velikost a průběh povrchového odtoku.

Povrchovými depresiemi rozumíme prohlubně, či brázdy, které mohou nabývat různých objemů. Voda ze spadlých srážek se v nich během deště zadržuje, vsakuje do půdy a po dešti se dále také odpařuje. Množství vody, které jsou povrchové deprese schopny zadržet, závisí na charakteru povrchu a sklonu svahů. K poměrně velké akumulaci dochází v případě, že jsou na povrchu brázdy orané po vrstevnicích. (Broža et al., 1998)

Nádrž je omezený prostor pro akumulaci vody a pro její pozdější využití, či k zachycení povodňových průtoků. Vodní nádrže mohou mít jednu i více funkcí (např. ochranná, záchytná, rekultivační, rybochovná, rekreační atd.). Z hlediska zásobování vodou dělíme nádrže na průtočné a neprůtočné. Neprůtočné nádrže zadržují zčásti povrchový odtok, který zmenšuje množství vody přiváděné do příslušného toku. Zároveň dochází ke snižování průtoku v toku. Průtočné nádrže navíc umožňují regulaci odtoku, ale často trpí zanášením sedimenty. Regulační schopnost nádrže se odvíjí od jejího umístění na toku. Větší regulační schopnost má nádrž v dolní části toku, protože je do ní sváděna voda z většího území. (Broža et al., 1998; Hrádek et Kuřík, 2008)

Plochy nádrží a jezer v povodí se vyjadřují součinitelem jezernatosti j .

$$j = \frac{F_N}{F} \quad (4.13)$$

F_N součet zatopených ploch nádrží a jezer v povodí

F plocha povodí

(Hrádek et Kuřík, 2008)

V povodí se mohou vyskytovat také bažiny, u kterých pozorujeme velkou schopnost akumulace srážkových vod. Výpar z bažin je často větší než výpar z volné hladiny. Poměrem plochy bažin v povodí a celkovou plochou povodí získáme součinitel bažinatosti obdobně jako v rovnici (4.13) pro nádrže a jezera. (Kemel, 2000)

3.2 Úpravy vodních toků

Tok je hlavní vodohospodářskou jednotkou a organickou součástí krajiny. Plní funkci recipientu povrchového a hypotermického odtoku a zároveň slouží jako krajino tvorný činitel. V okolí toků se soustřeďuje mnohem více rostlinných a živočišných společenství včetně lidské společnosti, nežli v krajině chudé na vodní toky a vodu celkově. Právě vodní toky byly od dávných dob zdrojem energie potřebné pro pohon mlýnů a hamrů, ale také zajišťovaly lodní dopravu, dostatek vody pro hospodaření na polích a pro chov zvířat, či alespoň základní hygienu. V dnešní době se budují na tocích například vodní elektrárny, průmyslové a potravinářské závody, čistírny odpadních vod apod. Samozřejmě život v blízkosti řek a potoků měl a dodnes má i své stinné stránky v podobě záplav přilehlých území, které narušovaly zemědělství, bydlení a v neposlední řadě měli za následek šíření nebezpečných nemocí.

Základními požadavky na vodní tok je hlavně přijatelný režim průtoků, vodních stavů, stabilita koryta v půdorysu a podélném řezu, přístup a doprava. Právě proto, že většinou tok tyto požadavky nesplňuje, se na něm provádějí úpravy. Cílem těchto úprav je zvýšení jeho užitečnosti, použitelnosti a omezení jeho nežádoucích a škodlivých účinků. Úpravy toků lze provést opatřeními technickými, biologickými a biotechnickými, tedy kombinací obou předchozích. Mezi technická opatření řadíme úpravy podélného i příčného tvaru koryta, jeho hloubka, sklon dna a opevnění proti vymílání. V některých situacích se navrhuje i úplně nová koryta. Nejčastějším biologickým opatřením je vegetační opevnění svahu, které zvyšuje jeho odolnost. (Patočka et al., 1989)

Zásady úpravy toku vycházejí z účelu, jaký má vodní tok splnit, tj. odstranění záplav a břehových nátrží, směrové stabilizaci vodního toku, úpravě hladiny podzemní vody v přilehlém území, umožnění odběru vody, odstranění hygienických závad, zaústění přítoků, dešťové kanalizace, odpadů, odvodňovacích zařízení a plavby. Při úpravě vodního toku se musí vyřešit odtokové poměry v údolní nivě, trasa vodního toku, podélný sklon, niveleta dna, příčný profil koryta, režim odtoku splavenin, vlivy zaústění, opevnění koryta a objekty na toku. (Milerski et al., 2005)

3.2.1 Opevnění dna a břehů na tocích

Opevnění se navrhuje pro zajištění stability a odolnosti koryta. Koryto by mělo být odolné proti mechanickým a chemickým účinkům vody, pohybu

splavenin, či ledu a jiných předmětů. V místech, kde přirozená odolnost koryta nevyhovuje, je nutno provést přiměřené opevnění. Podstatným aspektem je volba vhodného druhu opevnění, kde se musí vzít v úvahu kromě stability a odolnosti také začlenění stavby do okolí, biologický život, rekreace a finanční náklady na pořízení a údržbu stavby. (Raplík et al., 1989)

Opevnění dna

Opevnění dna se navrhuje převážně jen v určitých úsecích jako například kolem mostních pilířů, u vyústění odpadů, v zastavěných územích atd. Dlouhé opevněné úseky jsou budovány v městských oblastech a v místech kde je žádoucí provést průtok korytem s co největší účinností, tedy s malými ztrátami.

Nejběžnějšími způsoby opevnění dna jsou *betonové dlažby a dlažby z lomového kamene*, které se nejčastěji používají v městských a horských úsecích toků k dosažení nízké drsnosti. Počátek a konec opevnění dlažbou musí být náležitě zajištěn a to jak podélně, tak příčně. Dále se používají kamenné pohozy a záhozy.

Kamenný pohoz se používá běžně v extravilánu, kde by úprava původního materiálu byla nedostačující z hlediska odolnosti.

Kamenný zához je často vytvářen jako přetvárný prvek mezi přechodem uměle vzniklého opevnění a přirozeným materiálem koryta. Slouží k opevnění dna u jezů, stupňů a dalších objektů. (Thoř, 1981; Patočka et al., 1989)

Opevnění břehů a svahů

Břehy a svahy jsou opevňovány proto, aby byly potlačeny účinky vodní i větrné eroze a narušování povrchu živočichy včetně člověka. Narušování břehů vodou není způsobeno pouze proudem vody v toku, ale i podzemní vodou vytékající z břehových svahů a také vodou ze spadlých srážek. Proto je důležité vybrat vhodný druh opevnění. Zpravidla se jedná o vegetační, nevegetační a kombinované opevnění. (Raplík et al., 1989)

Vegetační opevnění

Travní opevnění je nejběžnějším a nejrozšířenějším vegetačním opevněním. Travní porost se zakládá osetím, osetím postřikem, drnováním, či položením travního koberce. Využívá se k opevnění nad hladinou vody a to u berm, návodního i vzdušního svahu hrází apod.

Opevnění vrbovým porostem je odolnější než například drnování. Kořeny vrb tvoří bohatý systém, který účinně zpevňuje nejen povrch svahu. Svůj účel plní hlavně na nárazových konkávních březích. Také je možné dodat vrbové řízky například do záhozů, pohožů a rovnanin, kde oživují nevegetační opevnění. U těchto vrbových opatření dochází postupem času k omezování průtočného profilu, proto je nutná údržba. Nejvhodnějšími druhy vrb jsou: košíkářka, nachová, popelavá, červená a americká. (Raplík et al., 1989)

Vrbové rohože se vyrábějí strojním splétáním nevětvených vrbových prutů o průměru 1 – 2 cm. Rohože se pak rozbalí na urovnaném povrchu svahu a upevní se pomocí kolíků. Na závěr se na ně rozprostře 3 cm vysoká vrstva humózní zeminy. U tohoto opevnění nedochází ani po delší době k vyššímu vzrůstání, naopak porost spíše zhoustne a tudíž není potřeba časté údržby. (Patočka et al., 1989)

Zápletové plůtky zajišťují paty svahů. Jsou tvořeny kůly, které jsou přibližně 0,6 m vzdáleny od sebe. Mezi kůly se proplétají pruty z různých dřevin, ale upřednostňují se především pruty vrbové. Podle výšky profilu se tyto plůtky mohou budovat ve více řadách nad sebou.

Laťové plůtky jsou tvořeny z latí umístěných nad sebou postupně do svahu. Jsou připevněné ke kůlům, aby nedošlo k jejich posunu. Rozestupy mezi latěmi jsou 2 – 4 metry. Nejčastěji se mezi ně umísťuje vrbová krytina o mocnosti až 8 cm a na ni se položí přibližně 5 cm silná vrstva humusové zeminy. (Thoř, 1981)

Haťové povázky jsou drátem svázané vrbové pruty o průměru až 3 cm. Samotné svazky mají průměr až 12 cm. Slouží k vázání haťových konstrukcí, nebo se z nich dělají povázkové rošty.

Haťové válečky a válce konstrukčně odpovídají povázkám. Průměr válečků (válců) je až 20 (100) cm. Většinou fungují jako prvek k zajištění paty svahů, kde jsou drženy pomocí kůlů nebo se přivazují k pilotám. Je možné jimi nahradit plůtky, nebo jsou součástí haťových staveb. (Veselý, 1956)

Nevegetační opevnění

Pohoz je poddajným druhem nevegetačního opatření a měl by být upřednostňován před ostatními opevněními tohoto druhu. Kamenné pohozy se používají na svazích o sklonu maximálně 1:2,5. (Patočka et al., 1989)

Zához patří mezi velmi odolná opevnění. Je budován z lomového kamene o velikosti alespoň 30 cm, nebo z betonových bloků. Používá se především ke zpevnění ohrožených břehů a také se jím zajišťují patky dlážděných svahů. (Veselý, 1956)

Kamennou dlažbou se břehy opevňují obdobně jako dno, tedy v blízkosti různých objektů.

Kamenná rovnanina se používá v namáhaných úsecích, zpravidla v okolí objektů. Provádí se z neopracovaných kamenů. (Kovář et Křovák, 2002)

Drátokamenné konstrukce jsou tvořeny z drátěných splétaných, nebo svařovaných konstrukcí, které jsou vyplněny kamenem nebo štěrkem. Slouží k opevnění koryt, spádových stupňů a často se z nich staví opěrné zdi podél silničních komunikací. (Raplík et al., 1989)

Ochranné sítě a textilie se kombinují s travním porostem nebo s kamenivem. Používají se také jako filtry mezi různými druhy materiálů. Vyrábějí se z drátů, nebo z plastů. (Patočka et al. 1989)

Nábřežní zdi jsou nejnákladnějším opevněním. Staví se hlavně v zastavěném území, ve stísněných podmínkách a tam, kde je na břehy vyvíjeno nadměrné zatížení. Jejich příčný profil má většinou tvar lichoběžníku a jsou usazeny na bezpečně dimenzované základové patce. Pro výstavbu nábřežních zdí je možné použít opracované kameny, prostý beton, železobeton, nebo prefabrikáty. Nejčastěji ve městech a průmyslových oblastech se betonové zdi obkládají kamenem. (Veselý, 1956; Raplík et al., 1989)

Kombinovaná opevnění

Kombinace vegetačních a nevegetačních opevnění obvykle spojuje jejich výhody a potlačuje nevýhody. Vytváří se oživením některých nevegetačních opevnění. (Kovář et Křovák, 2002)

Kamenné pohozy jsou běžně kombinovány s travním porostem, nebo vrbovými řízkami.

Kamenné záhozy se oživují vrbovými pruty.

Polovegetační tvarovky se používají převážně k opevnění v litorárním pásmu koryta pod úrovní samostatného travního porostu. Oživení otvorů v tvarovkách se provádí vhodným druhem travního porostu, nebo jiným druhem vegetace. (Patočka et al., 1989)

3.3 Objekty na vodních tocích

Na vodních tocích můžeme zaznamenat objekty různého charakteru, účelu a provedení.

3.3.1 Objekty zajišťující stabilní dno

Jedná se o objekty budované napříč toku, které brání prohlubování koryta, stabilizují niveletu dna, zachycují splaveniny a optimalizují podélný sklon toku. Nejčastěji se setkáváme s pásy a prahy.

Pásy leží v úrovni dna, které rozdělují na kratší úseky a tím zabrání erozi a poskytnou oporu splaveninám. Nejčastěji jsou budovány z betonu, dřeva, kamenné rovnaniny, kamenného zdiva a gabionů.

Prahy oproti pásům vystupují nad dno do maximální výšky 0,3 m. U prahu není potřeba stavět vývar, protože stačí opevnit dopadiště. Práh se zavazuje do břehu a neměla by pod ním protékat voda. Pro výstavbu se používají stejné materiály jako u stavby pásů. Dopadiště se zpravidla opevňuje dřevem, kamením a klestem. (Kovář et Křovák, 2002)

3.3.2 Spádové objekty

Tyto objekty jsou prostředkem ke snížení a vyrovnání podélného sklonu dna. Řadíme se sem stupně ve dně, skluzy a balvanité skluzy.

Stupeň je příčný přelivný objekt, který zajišťuje překonání rozdílu výšek dna a zmenšení jeho podélného sklonu. Jsou vyšší než 0,3 m a nejsou opatřeny záchytným prostorem. Jejich konstrukce musí být zavázána tak hluboko do břehu, aby okolo tělesa nepronikala voda. Návodní strana stupně je svislá a u vzdušné stěny se uvažuje sklon 5:1 až 10:1. Dle použitých materiálů dělíme stupně na dřevěné, kamenné, drátokamenné, betonové, zděné, prefabrikované a kombinované. K odvedení vody z návodní strany se u betonových a zděných stupňů ponechávají potřebné otvory. (Patočka et al., 1989; Kovář et Křovák, 2002)

K utlumení kinetické energie, která vzniká přepadáním vody přes přelivnou hranu, jsou stupně opatřeny dopadištěm. To je řešeno dle charakteru proudění vývarem, nebo opevněným spadištěm. Nejmenší hloubka vývaru je 0,3 m. Konec dopadiště je obvykle opatřen stabilizačním prahem. Pro vysokou drsnost se k opevňování dopadiště a dna používá kamenná dlažba, kamenný zához, nebo rovnanina. Nad dopadištěm se břehy opevňují většinou kamennou dlažbou.

Skluz je příčný objekt, přes který voda teče po šikmé rovině a nedochází zde k přepadu vody, protože se voda neodděluje od povrchu. Základ skluzu je betonový a vrchní skluzová plocha je opevněna stejně jako břehy kamennou dlažbou na cementovou maltu. Z důvodu snížení kinetické energie by měl být povrch skluzu opatřen výstupky, které zajišťují vyšší stupeň drsnosti povrchu. (Kovář et Křovák, 2002)

Balvanité skluzy byly odvozeny z přirozeně vzniklých větších sklonů dna, čímž dotvářejí přírodní vzhled úpravy toku. Jedná se o kratší úseky koryta, které mají větší sklon dna, a jejich opevnění je tvořeno velkými balvany. Kinetická energie je zde tlumena na skluzové ploše, ve zvlněném vodním skoku a ve výmolu pod skluzem. Balvanitými skluzy, které mají zpravidla podélný sklon 1:16 až 1:5, se překonávají rozdíly kót 1 – 2 m. Konstrukce těchto skluzů se sestává z přepadové hrany, skluzové plochy, vhodného navázání na dno pod skluzem a z odpovídajícího břehového opevnění. Přelivná hrana je vyvýšena nad dno, aby se zabránilo vymílání před skluzem. Balvanité skluzy jsou většinou budovány z lomového kamene uloženého volně v několika vrstvách, nebo je kámen skládán v jedné vrstvě. (Raplík et al., 1989; Kovář et Křovák, 2002)

3.3.3 Objekty zajišťující přístup

Přístupy k hladině vodních toků slouží k využití a odběru vody. Jsou stavěny hlavně v intrávilánu měst a obcí, kde není možný přístup přes opevnění břehů a svahů. Patří sem schodiště pro pěší, náplavky a rampy pro pěší a vozidla.

Schodiště jsou budována ze stupňů a schodnic zapuštěných do svahů tak, aby nebránily volnému odtoku říčním profilem. Šířka schodiště by měla být větší než 80 cm.

Náplavky jsou plošiny šířky cca 10 – 15 m a délky až 30 m. Plní funkci překladiště při lodní dopravě a často také fungují jako přístupy k přívozům.

Ve městech se ke komunikacím připojují pomocí ramp. *Rampy* se navrhují rovnoběžně s proudnicí tak, aby pokud možno nezasahovaly do průtočného profilu. Mají sklon maximálně 1:8 a opevňují se dlažbou. (Thoř, 1981)

3.3.4 Přehrážky

Přehrážky se budují zejména na tocích, nebo částech tocích bystřinného charakteru. Jsou to příčné objekty vystavěné nad úrovní dna a dosahují maximální

výšky 4 m. K zachycení splavenin slouží zdržný prostor nad přehrázkou. Jsou opatřeny přelivem a často také otvory v tělese stavby. Dle funkce a účelu rozlišujeme retenční a konsolidační přehrážky. Retenční přehrážky mají za úkol zdržovat plaveniny a nadržovat vodu. Jsou stavěny nad obcemi a také nad souvislými úpravami. Konsolidační přehrážky chrání v místě stavby dno toku proti vodní erozi, zachycují naplaveniny a slouží jako opora objektů umístěných nad nimi. Staví se z kamenné, betonové, železobetonové, drátokamenné a prefabrikované přehrážky. (Veselý, 1956; Kovář et Křovák, 2002).

3.3.5 Vzdouvací vodní díla

Jezy

Jsou to vzdouvací příčné stavby zvyšující trvale hladinu vodního toku. Jezy se liší od přehrad tím, že jimi vytvořená nádrž má malý objem a není jejich hlavním účelem. Primární funkcí jezů je vzdout hladinu a také ji udržet. Zajišťují dostatečnou hloubku pro odběr vody a slouží i k vyrovnání spádu dna, který je pak využitelný pro energetické účely. Jezy je možné rozdělit dle typu konstrukce na pevné a pohyblivé. Pevné jezy mají stabilní přelivné těleso, které je nepohyblivé. Pohyblivé jezy jsou vybaveny hradicím tělesem a uzávěry, díky kterým lze regulovat výšku vodní hladiny. Dále je konstrukce jezu tvořena z přelivné plochy a podjezí, ve kterém se buduje vývar a různé rozrážeče. Podjezí je zakončeno zpravidla prahem, nebo kamenným záhozem. Jezy jsou často vybaveny rybími přechody, které zajišťují překonání vzdouvacího objektu živočichům žijícím v toku. (Broža et Satrapa, 1997; Milerski et al., 2005)

Pevné jezy

Dřevěné jezy jsou jednou z nejstarších konstrukcí. Jejich životnost není vysoká, proto se dnes používají spíše jako dočasné stavby. Existují srubové jezy, u kterých je dřevěná kostra vyplněna lomovým kamenem. Dále dřevěné jezy s jednoduchou hradicí stěnou, nebo jezy s výplní.

Kamenné jezy jsou z hlediska konstrukce jednoduché. Někdy se vyztužují pilotami, nebo štětovou stěnou.

Betonové a zděné jezy jsou spolu s kamennými jezy nejrozšířenějšími jezovými konstrukcemi. Jejich část, na které dochází k přelivu, se zpevňuje kamennou dlažbou z opracovaného kamene. Nejběžněji se používají jezy s příčným

profilem proudnicového tvaru přelivné plochy. Dříve se stavěly strmé jezy, které se ovšem neosvědčily. (Broža et Satrapa, 1997)

Pohyblivé jezy

Pokloповé jezy jsou jedním z nejjednodušších a nejrozšířenějších pohyblivých jezů. Pohyblivá hradící konstrukce je zpravidla deskovitého tvaru. Tento poklop se otáčí kolem vodorovné osy, která může být umístěná na spodní stavbě, nad spodní stavbou, nebo nad hladinou vzduché vody. Pokud jde o konstrukci s osou na spodní straně, tak se jedná o klapku, což je nejběžnější typ pokloповého jezu. Klapka je ovládána táhlem a strojním mechanismem. (Maleňák et al., 2002)

Stavidlové jezy se vyznačují hradící konstrukcí tvořenou stavidly. Hradící stěna se při manipulaci pohybuje ve svislém směru v drážkách pilířů. Používají se jednoduchá, nebo dvoudílná stavidla, u kterých se dá lépe ovlivňovat režim proudění v okolí jezu. Průtok je u tohoto typu regulován přepadem, výtokem, nebo kombinací těchto způsobů. (Thoř, 1981)

Segmentové jezy mají pohyblivá hradící pole (segmenty) vyrobené z oceli. Osa, okolo které se pohybují, leží mimo hradící stěnu v pilířích. Zatížení vodním tlakem a samotnou konstrukcí segmentu je přenášeno přes hlavní nosníky do ramen ukončených čepy a do opěrného bloku na pilíři. Běžně používanými jsou segmenty zdvižné, spustné, dvoudílné a segmenty s klapkou pro jemnou regulaci. (Milerski et al., 2005)

Válcové jezy jsou opatřeny ocelovým pohyblivým válcem, který se odvaluje po ozubených kolejnicích v drážkách jezových pilířů. Jedná se o velmi tuhou konstrukci. Při návrhu jezů v České republice se již tento typ nepoužívá.

Hydrostatické jezy jsou vybaveny hydrostatickým uzávěrem. Pohybují se na základě hydrostatických sil, které působí v tlačné komoře jezu. Hydrostatický uzávěr je zvedán přetlakem horní vody, která je kanálem spojena s tlačnou komorou. Pokud tento kanál uzavřeme a otevřeme druhý kanál, který spojuje tlačnou komoru s dolní vodou, dojde k poklesu tlaku v tlačné komoře a hradící těleso se začne sklápět (Milerski et al., 2005). Pohyb jezu je tedy řízen jen otevíráním a uzavíráním těchto kanálů. Proto je často ovládání těchto jezů řízeno automaticky. Podle konstrukce se hydrostatické jezy dělí na pokloповé, tabulové, segmentové, a sektorové. (Thoř, 1981)

Vakové jezy jsou levným pohyblivým typem jezu. Používají se většinou v místech, kde postačí menší výška vzduť. Podstatnou částí konstrukce je vak z nepropustné textilie, který je přikotven k spodní stavbě jezu. Vak se plní vodou s mírným přetlakem o velikosti asi 1, 5 násobku hrazené výšky. Nevýhodou je možnost poškození vaku unášenými předměty, nebo obroušením splaveninami. (Broža et Satrapa, 1997)

Hráze

Ochranné hráze jsou hlavním prvkem technický opatření při ochraně proti povodním. Mají příčný profil lichoběžníkového tvaru. Staví se převážně v rovinných oblastech, kde hrozí nebezpečí, že dojde k vybřežení blízkého toku. Od ostatních vzdouvacích staveb se liší tím, že nejsou dlouhodobě zatěžovány vodou. Ochranné hráze jsou uzavřené a mají za úkol plošně chránit menší území, zpravidla menší obce, prostor různých provozů, nebo ohrožené významné stavby. Nevýhodou těchto hrází může být omezený přístup k únikovým komunikacím. Ochranná hráz musí být vybavena výpustným zařízením, pro případné vypuštění povodňové vody, která se dostala do prostoru chráněného hrází. (Raplík et al., 1989)

Inundační hráze jsou provedením podobné ochranným hrázím s rozdílem, že nejsou uzavřené. Staví se převážně v inundačních zónách podél toků. Jejich úkolem je zabránit rozliti vodních toků při povodních a omezit tak plochu záplavového území. Jsou celkem nízké a mohou dosahovat délky i několika stovek kilometrů. Nejčastěji se k jejich výstavbě používá místní materiál.

Boční ochranné hráze většinou chrání určitou stavbu v místech, kde je nemožné vybudovat uzavřenou ochrannou hráz. Nejčastěji se boční hráze budují ze třech stran okolo stavby a čtvrtá strana je chráněna svahem. (Thoř, 1981)

Obvodové a vedlejší hráze se zpravidla staví jako doplňkové hráze při výstavbě přehrad. Obvodové hráze se dají považovat za liniové stavby a jsou používány například při výstavbě umělých nádrží. Pokud by při stavbě přehrady hladina navrhované nádrže přesáhla výšku bočního údolí, je v tomto místě nutno vystavět vedlejší hráz. (Broža et al., 1998)

Přehrad

Přehrad jsou stavby napříč údolím vzdouvající vodu nad původní stav, čímž vytvářejí vodní nádrže. Přehrad mají za úkol zadržet vodu pro pozdější účely, zbránit povodním nebo vytvořit spád pro energetické účely. Výstavbou každé

přehrad a nádrže se výrazně naruší původní přirozené prostředí. To může mít za následek změnu druhového zastoupení rostlin i živočichů, teploty, vlhkosti i tvorbu mlh. Většina přehradních nádrží je používána jako víceúčelové vodní dílo. Volba vhodného typu přehrad pro danou lokalitu se posuzuje podle mnoha aspektů. Posuzují se geologické a geomorfologické podmínky, účel nádrže, výška nadřazení, dostupnost materiálů v místě stavby, bezpečnost, či doba výstavby. Přehrad se nejčastěji dělí dle hlavní stavební hmoty, nebo podle konstrukce a statického působení. (Ježdík et Votruba, 1957; Thoř, 1981)

Mezi příslušenství přehrad patří bezpečnostní přelivy, objekty pro odběr vody (nejčastěji věžové), spodní výpusti a technicky náročnější konstrukce rybích přechodů. (Broža et al., 1998)

Členění přehrad podle stavebních hmot:

Z místního materiálu:

Přehrad z místního materiálu se staví ze zeminy, šterků, kamenů a balvanů, které mají vhodné fyzikální, mechanické, geotechnické a chemické vlastnosti. Přehrad jsou ve většině případů tvořeny návodní a vzdušní stabilizační částí (těleso hráze), těsněním (zemním, betonovým, železobetonovým, asfaltobetonovým, plastovou fólií), ochrannými prvky a drenáží. (Broža et al., 1998)

Zemní přehrad jsou stavěny ze zeminy, která se těží blízko staveniště. Zemina se musí nejprve otestovat v laboratoři a následně se rozhodne o jejím použití. Pokud nevyhoví při ověření propustnosti, tak je nutné hráz opatřit těsněním.

Kamenité přehrad jsou stavěny zpravidla z kamene bez pojiva. Přehrad postavené z velkých kamenů se nazývají balvanité. Ideálním materiálem pro stavbu tělesa přehrad je pevný a odolný lomový kámen. Kamenité přehrad musí být vždy opatřeny těsněním.

Smíšené přehrad jsou tvořeny kombinací zemní a kamenité konstrukce. (Thoř, 1981; Broža et Satrapa, 1997)

Přehrad z umělých materiálů:

Přehrad zděné z lomového zdiva se na našem území přestaly budovat začátkem druhé světové války z důvodu náročnosti výstavby a vysokých nákladů na ni. Na druhou stranu se jich u nás stihlo postavit celkem velké množství. Vyzdívaly se z kvalitního lomového kamene vhodného tvaru, který byl dostatečně

pevný, neztvrdlý a mrazuvzdorný. Patří mezi nejhezčí vodní díla. (Ježdík et Votruba, 1957)

*Betonové přehrad*y jsou v dnešní době nejrozšířenější a také dosáhly největších výšek. Při jejich stavbě se mnohem více uplatní mechanizace, díky které se výstavba urychlí a zlevní. Moderní technologií je výstavba přehrad z válcovaného betonu, která je rychlejší a mnohem méně náročná na provedení, než klasická technologie betonové přehrad. Těleso je ve všech směrech celistvé a při provádění není potřeba používat bednění a těsnit dilatační spáry, protože žádné nejsou. (Broža et Satrapa, 1997)

Členění přehrad dle konstrukce:

*Přehrad*y s tížným účinkem odolávají silám vyvolaných tlakovým účinkem vody vlastní tíhou, tedy pomocí gravitace. Tyto síly jsou přenášeny do podloží přehrad.

*Přehrad*y klenbové svým upořádáním přenášejí převážnou část zatížení do boků údolí a část zatížení je překonána tížným účinkem tělesa přehrad.

*Členěné přehrad*y mají konstrukci, kterou je možné rozdělit na jednotlivé prvky s různými funkcemi. Hradíci prvky jsou většinou desky, klenby, nebo kupole. Z nich tvořená hradící stěna přenáší vodní zatížení na soustavu pilířů, které toto zatížení přenesou do podloží svým tížným účinkem. Jsou to maximálně vylehčené betonové přehrad.

*Přehrad*y zvláštní konstrukce jsou zpravidla modifikací výše zmíněných typů konstrukcí například doplněním konstrukce o další prvky (předpjaté kabely, kotvy), změnou, či úpravou použitého materiálu.

Samozřejmě se tyto konstrukce mohou různě kombinovat a prolínat. Vždy záleží na konkrétních požadavcích na výstavbu a propočtech konstrukce. (Thoř, 1981; Broža et al., 1998)

3.3.6 Soustředovací stavby

Soustředovací stavby se budují na tocích s nestálým korytem a velkým pohybem splavenin. Výška jejich koruny se navrhuje na průtok, při kterém začíná pohyb splavenin. Zároveň se výška koruny navrhuje nižší, než je hladina velké vody. Jejich účelem je zajistit usazení splavenin na vhodném místě a zmírnit unášecí schopnost proudu. Soustředovací stavby se dělí na příčné a podélné. (Thoř, 1981)

Příčné vycházejí z původního břehu a končí na úrovni nového břehu. Patří sem především výhony, které soustředí průtoky v korytě do jeho středu.

Podélné soustředovací stavby jsou hrázového charakteru a jsou vedeny v linii nového břehu. Prostor mezi novou stavbou a původním břehem je opatřen přepážkami a postupně se zanáší, až dojde k vytvoření nového břehu. (Maleňák et al., 2002)

3.3.7 Křížení toku s komunikacemi

Mosty budované k překlenutí vodních toků jsou navrhovány na určitý návrhový průtok. Spodní hrana mostní konstrukce musí být minimálně 0,5 m nad maximální hladinou, která je dosažena právě při návrhovém průtoku. Úhel křížení mezi mostem a tokem by neměl být menší než 60°. Pilíře mostu by neměly být umístěné do proudnice, protože by mohlo dojít k nadměrnému vymílání jejich základů. Před vymíláním se základy mostu chrání kamenným záhozem, hlubokým založením nebo vybudováním štětových stěn. (Thoř, 1981)

Propustky jsou menší objekty a slouží k odvedení vody (přemostění potoků, otevřených kanálů nebo odvedení srážkové vody z příkopů) přes násyp zemního tělesa. Mají nejčastěji kruhový, vejčitý, nebo pravoúhlý tvar průřezu. Propustky se dimenzují podle návrhového průtoku a podle sklonu dna. Nejvíce se používají trubní kruhové propustky o rozměru 600 až 2000 mm vyrobené z betonu, železobetonu, nebo oceli. Podle úhlu křížení propustku s násypem rozlišujeme kolmé a šikmé propustky. Kolmé jsou kratší, ale pokud dojde ke změně směru proudění vody, tak může docházet k jejich zanášení. (Thoř, 1981; Milerski et al., 2005)

4. Metodika

Tato bakalářská práce byla zpracována pomocí programové sady Microsoft Office 2007 (Word, Excel). Dále bylo použito softwarové vybavení ArcGIS[®] verze 9.3 pro tvorbu digitálního modelu terénu a program DesQ – MaxQ verze 5.2 (dále jen DesQ) pro výpočet stoletého průtoku v uzávěrovém profilu řešeného povodí.

4.1 Vytvoření digitálního modelu terénu

Pro vytvoření digitálního modelu terénu sloužila programová sada ArcGIS[®] verze 9.3 od společnosti ESRI. Jako základ byla použita vrstva vrstevnic ZABAGED získaná z Českého zeměměřičského úřadu (ČÚZK). Dalšími použitými vrstvami byla vrstva toků a povodí na území České republiky, které jsou volně dostupné z projektu DIBAVOD Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka. Po vymezení zájmového území nově vytvořenou polygonovou vrstvou byla vrstva toků oříznuta zájmovým územím. Dále byl určen uzávěrový profil povodí Hartského potoka a to na soutoku Hartského potoka a řeky Labe. Z vrstevnic byl vytvořen pomocí funkce *create TIN* vektorový triangulační model terénu TIN, který byl následně převeden do rastrové podoby funkcí *TIN to raster*. Tento rastr zaujímal větší část území než řešené povodí. Proto byl vytvořen z polygonu zájmového území nulový rastr funkcí *feature to raster*. Následně pomocí *raster calculatoru* byl rastrový model terénu oříznut právě nulovým rastrem a tím vznikl digitální model terénu pro zájmové území Hartského potoka (*Příloha č. 1*). Z tohoto modelu byl odvozen nástrojem *Slope* model sklonů v povodí (*Příloha č. 2*) a také model orientace svahů ke světovým stranám pomocí nástroje *Aspect* (*Příloha č. 3*). Dále byly zjištěny dotazem souřadnice uzávěrového profilu povodí v souřadnicovém systému S – JTSK.

4.2 Stanovení stoletého průtoku Q_{100} matematickým modelem

Pro výpočet stoletého průtoku Q_{100} matematickým modelem byl zvolen program DesQ. Program poskytl vedoucí práce výhradně pro účely této bakalářské práce. K výpočtu Q_{100} bylo potřeba nadefinovat vstupní parametry. Pro srážkové údaje byla zvolena srážkoměrná stanice Bílá Třemešná. Pomocí digitálního modelu terénu byla určena délka údolnice a její sklon, plocha pravého a levého svahu a průměrný sklon obou svahů. Pro oba svahy bylo nutné určit součinitel drsnosti ploch a hodnoty CN křivek. Drsnostní součinitel byl určen v závislosti na způsobu

využívání půdy a hydrologických podmínkách lesa. Hodnoty CN křivek byly vypočítány na základě plošného zastoupení hlavních půdních jednotek (HPJ) a způsobu využívání půd. Byl zvolen druhý typ CN křivky (vodou středně nasycená aktivní půdní zóna). Výsledkem je zjištění průtoků s dobou opakování $N = 5, 10, 20, 50$ a 100 . Vstupy a výstupy programu DesQ jsou uvedeny v *příloze č. 7*.

4.3 Průzkum území

Nedílnou součástí pro vypracování této bakalářské práce byl také terénní průzkum území. Pro seznámení se zájmovým územím, bylo uskutečněno několik pozorování. Pozorováno bylo zejména řešení objektů a opevnění koryta na zpracovávaných tocích. Během pochůzek byla pořízena kompletní fotodokumentace objektů. Fotodokumentace objektů je součástí *příloh č. 8 a 9* a psané podélné profily objektů jsou v *příloze č. 5 a 6*.

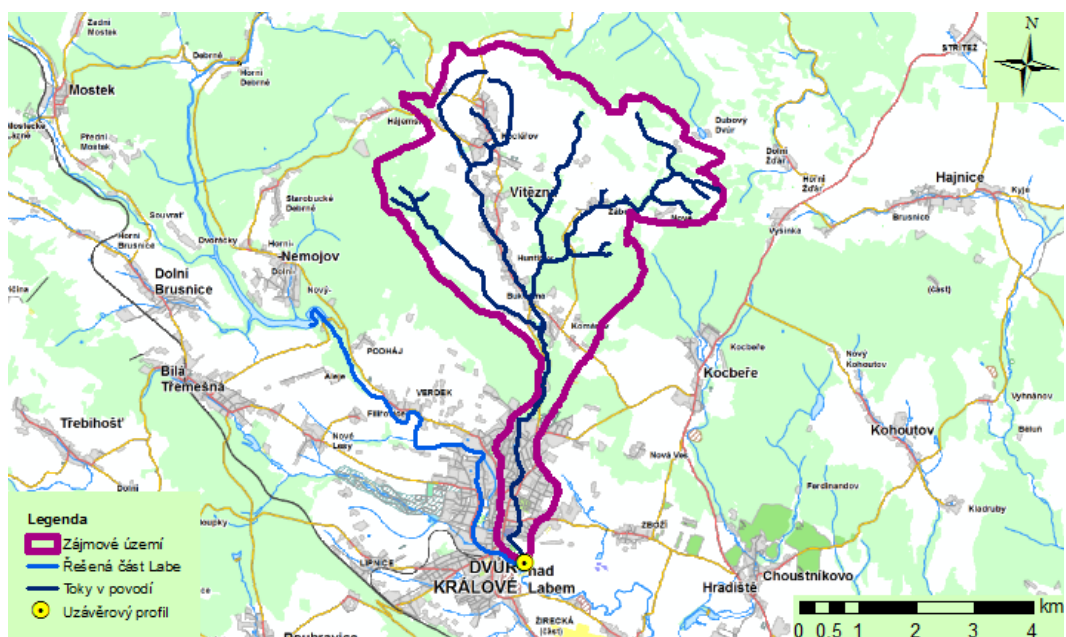
5. Charakteristika zájmového území

Z obrázku č. 1 je patrné, že zájmové území se nachází v Královéhradeckém kraji severně od města Hradec Králové a spadá do okresu Trutnov. Geografická poloha města Dvůr Králové nad Labem je určena souřadnicemi 50°26' severní zeměpisné šířky a 15°49' východní zeměpisné délky (souřadnicový systém WGS – 84).



Obrázek č. 1; Zájmové území (zdroj: <http://geoportal.gov.cz>)

Zpracované území je určeno rozvodnicí povodí Hartského potoka a řešeným úsekem řeky Labe, který je vymezen přehradou Les Království a soutokem Hartským potokem. Řešené území je znázorněno v obrázku č. 2.



Obrázek č. 2; Detail zájmového území (zdroj: <http://geoportal.gov.cz>)

5.1 Labe na území Dvora Králové nad Labem

5.1.1 Popis toku Labe

Řeka Labe (německy Elbe) je v rámci střední Evropy třetí největší a nejdelší řekou. Pramení v Krkonoších na Labské louce v nadmořské výšce 1386 m n. m. Labe ústí do Severního moře ve Spolkové republice Německo nedaleko Cuxhavenu – Kugelbake. Celková plocha povodí je 148 268 km² a celková délka toku činí 1091, 5 km. Na území České republiky Labe zaujímá svojí plochou povodí 49 933 km² a délka toku je 368 km. Státní hranici z České republiky do Německa Labe přechází u Hřenska v nadmořské výšce 115 m n. m. (Němec et Hladný, 2006)

Labe má spolu se svými přítoky z hlediska vodnosti střeoevropský charakter. V měsících březnu až květnu je dotováno vodou z tajícího sněhu a dochází k výskytu velkých vod. Naopak v létě vodnost Labe klesá. K největšímu poklesu dochází na začátku podzimu.

Číslo hydrologického pořadí Labe (po Úpu) je 1 – 01 – 01. Horní bystřinný úsek v délce přibližně 25 km (po Vrchlabí) má sklon dna až 3,75 % a dále pokračuje přechodným úsekem v hlubokých údolích (Pejšek et Borovcová, 2010).

V horní části toku Labe odvodňuje Krkonoše, Orlické hory a jejich podhůří. Nejvýznamnějšími přítoky na horním toku jsou pravostranný přítok Olešnice a levostranné přítoky Bílé Labe, Malé Labe, Čistá, Pilníkovský potok a Hartský potok, který ústí do Labe v jihovýchodní části města.

Labe je největším vodním tokem v katastrálním území města Dvora Králové nad Labem. Do města přitéká od severozápadu a dále jím protéká jihovýchodním směrem. Na území města vstupuje v oblasti vodní nádrže a přehrady Les Království odkud dále pokračuje Královedvorskou kotlinou směrem do města. Průměrný roční průtok je 8,31 m³.s⁻¹ (v místě hlásného profilu A - Les Království) a neškodný průtok městem je 90 m³.s⁻¹. Průměrný sklon dna pod přehradou je 0, 5 %. (Pejšek et Borovcová, 2010)

Pravděpodobnost výskytu povodní na Labi je vysoká zejména v jarních měsících při prudkém tání sněhové pokrývky a v létě při dlouhotrvajících srážkách. Vzhledem k průtočnosti koryta nevznikají na Labi bouřkové povodně z přívalových dešťů. Pro ochranu města před povodněmi jsou na horním toku vybudovány dvě přehrady. Z hlediska povodňové ochrany města je nejdůležitější přehrada Les

Království, vybudovaná zhruba 5, 5 km severozápadně od města. Druhou přehradou je Labská přehrada ve Špindlerově mlýně.

Jednou z největších povodní na území města byla povodeň v noci z 29. na 30. červenec roku 1897, díky které bylo definitivně rozhodnuto o vybudování přehrady Les Království. Celé nábřeží ve městě bylo zatopeno, přičemž naštěstí nedošlo ke ztrátě na životech, ale škody na majetku byly dosti značné. Po výstavbě přehrady se vyskytla velká voda v letech 1946, 1948, 1997, 1981 a 2000. Z toho k největší a nejrozsáhlejší povodni došlo 9. března roku 2000, kdy následkem prudkého tání sněhu v podhůří Krkonoš a neustálého silného deště, byl průtok pod přehradou až $350 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Tento kulminační průtok byl téměř pětkrát vyšší než neškodný průtok městem a tak území pod přehradou nezůstalo bez následků. Mimo městskou zástavbu došlo k zatopení polí a lesů na okraji města, ze kterých Labe unášelo stromy, větve a zeminu. Následkem bylo zanesení a poškození průtočných profilů mostů a lávek na nábřeží, kde byly zaplaveny komunikace, domy, obchody a podniky. (Schwarz, 1997)

5.1.2 Objekty a úpravy na Labi ve Dvoře Králové nad Labem

(Fotodokumentace se nachází v příloze č. 8 a psaný podélný profil objektů v příloze č. 5)

(Staničení je převzato z Povodňového plánu města Dvůr Králové nad Labem)

ř. km 1041,433 Přehrada Les Království

Výstavba přehrady začala roku 1910. Počátkem první světové války byla stavba pozastavena a k dokončení došlo až v roce 1919. Z hlediska konstrukce se jedná o přehradu zděnou z kamene. V koruně hráze vede 3, 5 metru široká vozovka. Účel této přehrady je především ochránit obyvatele a majetek pod ní, ale také zajišťuje potřebný minimální průtok při nízkých stavech v suchých obdobích. Dále je zde vybudována průběžná vodní elektrárna. Pro měření a záznam spadlých srážek je tu umístěna srážkoměrná stanice. Přibližně 250 m pod hrází se nachází na levém břehu hlásný profil A, ve kterém jsou měřeny průtoky a stav hladiny.

N - leté průtoky	Q ₁	Q ₅	Q ₁₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
[m ³ .s ⁻¹]	52,4	105	138	238	294

Tabulka č. 1; N – leté průtoky v hlásném profilu pod přehradou (zdroj: <http://hydro.chmi.cz>)

Hráz je opatřena nehrazeným bezpečnostním přelivem, který tvoří pět přelivných polí, přičemž celková délka přelivné hrany je 54,70 m. Kóta přelivné hrany je v 324,00 metrech nad mořem. Jako odlehčovací zařízení jsou zde dále dva šachtové přelivy (pravý a levý) s přelivnou hranou ve výšce 323,40 metrů nad hladinou moře. Z obou šachtových přelivů je voda odváděna pomocí obtokových tunelů, které jsou zaústěny do toku na obou stranách pod hrází. Levý tunel je dlouhý 216 m a pravý 263,5 metrů. Hrází prochází základová potrubní výpusť o průměru 2 m a délce 30,44 m. (Pejšek et Borovcová, 2010)

Délka hráze v koruně	218 m
Šířka hráze v koruně	7,20 m
Kóta koruny hráze	327,31 m n. m.
Kóta zlomu vzdušného líce	310,81 m n. m.
Sklon návodního líce	0,14

Tabulka č. 2; charakteristiky hráze (Pejšek et Borovcová, 2010)

ř. km 1041,433 – 1036,920

Od přehrady Labe dále protéká úzkým zalesněným údolím v téměř přímé trase. Po 1 km se údolí postupně rozšiřuje. Nad levým břehem se rozprostírá obec Dvůr Králové nad Labem – Verdek a napravo je tok lemován poli a loukami, kde v případě vyšších vodních stavů dochází k jeho vybřežení. V 1039,654 ř. km je krytá dřevěná lávka pro pěší (Verdek – Filířovice) stojící na betonových pilířích. Její délka je 26 m a šířka 3 m. Je kryta střechou, která je přibližně 5 metrů vysoko nad mostovkou. Při vysokých průtocích hrozí její poškození, či zničení. V 1039,610 ř. km se nachází pevný kamenný jez široký 22 m a jeho přelivná plocha je 2,5 m široká. Břehy koryta jsou v okolí jezu opevněny kamennou dlažbou a dno je zajištěno kamenným pohozem. Na říčním kilometru 1038,647 je vybudován krytý dřevěný most pro pěší (Verdek – Borovičky) o délce 24 m a šířce 3 m, který může být při vysokých průtocích poškozen, nebo zničen. Dále po proudu stojí na 1037,390 ř. km ocelová lávka pro pěší a je navržena na větší průtok než Q_{100} . O 180 metrů dále po proudu na 1037,210 ř. km, se nachází ocelová lávka příhradové konstrukce sloužící pro přechod parovodního potrubí. Nachází se již na území města Dvůr Králové nad Labem a je rovněž navržena na vyšší průtok než Q_{100} . Od přehrady

až po říční kilometr 1036,860 je koryto Labe převážně nepravidelného tvaru (neprizmatické koryto) a břehy jsou opevněny vzrostlými stromy, které místy zasahují do průtočného profilu. Dno je zde kamenité a neupravené.

ř. km 1036, 920 – 1034,367

Od počátku tohoto úseku (ř. km 1036, 920), kde začíná souvislá městská zástavba, je koryto provedeno ve tvaru pravidelného lichoběžníku. Břehy jsou od tohoto úseku opevněny formou nábrežních zdí. Na 1036,890 ř. km se nachází pohyblivý segmentový jez s klapkou, který je často nazýván jako „Pušův splav“. Je široký 28 m a na pravém břehu je vybaven průtočnou malou vodní elektrárnou a rybím přechodem. Při vysokých průtocích je malá vodní elektrárna ohrožena. Břehy okolo jezu jsou opevněny zdí tvořenou z pískovcových kvádrů a dno pod jezem je zajištěné kamenným prahem a záhozem. Za jezem jsou břehy koryta vyzděny z tzv. „kyklopského zdiva“, což jsou větší kameny opracované do tvaru pěti až osmiúhelníku. Dno je opevněno kamennou rovnaninou. Dalším objektem po proudu je pevný kamenný stupeň na 1036,298 ř. km. Jeho délka napříč tokem je 20 m a výška 0,8 m. Na 1036,129 ř. km je vybudován silniční most Jana Palacha s nosností 26 t, jehož délka je 32 m a šířka 11 m (z toho vozovka má 7,8 m). Z konstrukčního hlediska se jedná o železobetonový klenbový most. Na spodní straně mostu vedou energetické sítě. Při povodňových průtocích hrozí poškození mostu a energetických sítí. Dále může být zmenšen průtočný profil plavenými předměty, zvláště kmeny a větvemi stromů. Následuje železobetonová lávka pro pěší na 1035,630 ř. km. Tato lávka nevyhovuje stoleté vodě a při vysokých průtocích hrozí její poškození až zničení. V říčním kilometru 1035,341 byl do roku 2004 pevný kamenný stupeň jako součást opevnění toku. V tomto roce byly provedeny úpravy koryta, při kterých byl tento stupeň odstraněn z důvodu optimalizace sklonových poměrů a hloubky v zaústění potoku Netřeba. Pravostranný přítok Netřeba ústí do Labe potrubím v nábrežní zdi. Po 141 metrech se nachází další železobetonová lávka v 1035,220 ř. km. Slouží jako přechod pro pěší a pro parovodní potrubí. Byla navržena na větší než stoletou vodu. V 1035,080 ř. km je postaven pohyblivý klapkový jez, který je znám jako „Teplárenský jez“. Je tvořen ze dvou ocelových polí o délce napříč tokem 2 x 9,92 m a výšce 0,7 m (Pejšek et Borovcová, 2010). Předposledním objektem na Labi na území Dvora Králové nad Labem je v 1035,003 ř. km silniční most Jana Opletala s nosností, až 80 t. Délka mostu je 33 m a šířka

17,10 m. Vozovka je zde široká 10,7 m. Tento most má železobetonovou klenbovou konstrukci a je usazen na betonových pilířích obložených pískovcem. V roce 2004 byla provedena rekonstrukce celé mostní konstrukce včetně nové vozovky. Na boku mostu jsou vedeny energetické sítě a parovodní potrubí. Při povodňových průtocích zde hrozí zanášení průtočného profilu a poškození energetických sítí. 70 metrů od mostu Jana Opletala po proudu dochází ke změně v opevnění břehů koryta. Nábřežní zdi pozvolna přecházejí v přirozené koryto, přičemž dno je zde opevněné kamenným pohozením a místy kamennou rovinou. Na 1034,570 ř. km je postavena ocelová lávka umístěná na betonových pilířích. Je na ni ukotveno vysokonapěťové vedení a vodovodní potrubí. U pilíře na pravém břehu hrozí nebezpečí jeho podemletí. V 1034,367 ř. km leží soutok Labe a Hartského potoka na Hrubých lukách.

5.2 Povodí Hartského potoka

5.2.1 Popis povodí

Hartský potok je levostranným přítokem Labe. Jeho název vznikl podle polesí Harta, které se rozprostírá nad městem. Pramení v nadmořské výšce 507 m n. m. severně od Dvora Králové nad Labem a východně od obce Kocléřov. Dále jsou poblíž obce Bukovina, Huntířov, Záboří a Vítězná. Severní část povodí je tvořena plošinou známou jako „Království“. Na této plošině se nacházejí v blízkosti pramene vrchy Smrk, Červený vrch, Závora, Lysé vrchy a Větrník. Pravostrannými přítoky jsou Huntířovský a Kousecký potok. Jeho jediným levostranným přítokem je Zábořský potok.

Do katastrálního území města Dvůr Králové nad Labem vstupuje u Dolního Mlýna. Dříve se v těchto místech nacházel mlýn, který spolu s přivaděčem vody z potoka již zanikl. V městské části Podhart' napájí Podhart'ský rybník, který je vybudován jako boční nádrž s přepadem zpět do potoka.

Délka Hartského potoka je 9,017 km a plocha povodí 21,353 km². Zpočátku má tok bystřinný charakter a je regulovaný stupni, přehrázkami a kamennými přehradami. Regulace na toku byla započata na jaře roku 1923. Trasa potoka byla rozdělena na pět částí a ty byly postupně upraveny. Od vstupu do zastavěné části města je tok upravený, od mostu přes místní komunikaci na Hrubá luka je tok veden v přirozeném korytě až po soutok s Labem.

Průtočná kapacita koryta je dostatečná pro odvedení zvýšených průtoků z prudkého tání sněhu i přívalových dešťů. Při vysokých průtocích hrozí zacpání některých průtočných profilů splaveným dřevem z horního toku a zaplavení některých částí území, převážně mimo zastavěnou oblast. Podobná situace může nastat i při vzniku ledových bariér, vzhledem k průtokům je však málo pravděpodobná. (Pejšek et Borovcová, 2010)

5.2.2 Geologické a půdní poměry v povodí

Z geomorfologického hlediska patří území do Hercynského systému a jeho subprovincie Krkonošské podhůří. Podle geologické mapy je severní částí povodí tvořena permokarbonskými horninami (pískovce, jílovce a slepence). Ve střední a spodní části povodí se prolínají mezozoické (pískovce a jílovce) a kvartérní

horniny (hlíny, písky, spraše a šterky). Jedná se o propustné až polopropustné horniny. (<http://geoportal.gov.cz>)

Z hlediska pedologického se v severní části nacházejí kambizemě modální a kyselé. V okolí toků jsou pak fluvické gleje a luvické psudogleje. Ve střední oblasti povodí se v menší míře objevuje modální luvizem. (<http://geoportal.gov.cz>)

5.2.3 Popis objektů a úprav na Hartském potoce

(Fotodokumentace se nachází v příloze č. 9 a psaný podélný profil objektů v příloze č. 6)

(Staničení objektů je převzato a doplněno z Povodňového plánu města Dvůr Králové nad Labem)

ř. km 9,017 – 4,184

Od pramene teče potok ve volné trati. Obklopují ho zde pole a louky. Koryto je přirozené nepravidelného tvaru a dno je bahnitě. V 8,343 ř. km křižuje tok místní komunikace. Pod komunikací je potok veden propustkem, který je tvořen dvěma betonovými troubami. Odtud začíná být potok lemován vzrostlými stromy a tvoří pravidelné meandry. V bahnitě dně postupně přibývají kameny. Na 6,890 ř. km je vybudován propustek pro převedení místní cesty. Jedná se o zděný propustek z pískovcového kamene a je obdélníkového tvaru. V říčním kilometru 6,028 ústí do Hartského potoka jeho levostranný přítok Zábošský potok. V 5,298 ř. km zprava přitéká Huntířovský potok. Na 5,276 ř. km je Hartský potok přemostěn silniční trasou (Huntířov – Komárov). Je to most železobetonové konstrukce, který je umístěn na zděných pilířích. Průtočný profil mostu je obdélníkového tvaru. Koryto před mostem a za mostem je opevněné zdí z pískovcových kvádrů.

Bezprostředně za mostem se nachází hlásný profil C a je opatřen třemi značkami umístěnými na zdi (pro 1. až 3. stupeň povodňové aktivity). V úseku dále za mostem se nacházejí dvě boční malé vodní nádrže. První je umístěna na 5,027 ř. km a její plocha je 0,1433 ha. Druhá má výměru 0,65 ha a je situována v 4,937 ř. km. V obou případech je voda přiváděna uměle vytvořenými rameny. V 4,684 kilometru se přímo před klenbovým kamenným mostkem místní komunikace nachází soutok Hartského a Kouseckého potoka. Koryto je zde neupraveno a při zvýšených průtocích hrozí nebezpečí rozlivu obou potoků a zaplavení několika okolních usedlostí. Odtud začíná mít tok bystřínný charakter a dno je převážně kamenité, místy balvanité. Teče dál, kde mívá stavení bývalého

mlýna, nazývaného „Dolní Mlýn“ a dostává se zde do poměrně úzkého zalesněného údolí. Na 4,184 ř. km je postaven zděný silniční most – Dolní Mlýn (Dvůr Králové nad Labem – Huntířov), u kterého je dno zajištěné kamenným prahem. Most byl navržen na stoletou vodu.

ř. km 4,184 – 2,805

Trasa toku pokračuje zalesněným údolím. Na levém břehu vede silnice Dvůr Králové nad Labem – Huntířov. Je téměř 20 metrů vyvýšena nad tokem, takže při povodňových průtocích nehrozí její poškození.

Před vstupem toku do zastavěné části města bylo potřeba docílit hlavně lepších spádových poměrů, zajištění stability koryta včetně dna a zachycení splavenin. Proto byl tok v tomto bystřinném úseku před městem bohatě hrazen zejména kamennými přehradami (přehrázkami) a stupni. Největší kamenná přehrada je občany nazývána „sedmimetrovka“ a leží na 4,048 ř. km. Prostor nad hrází, který slouží k nadržení vody a k zachycení splavenin je téměř po korunu zaplněn sedimenty. Její dopadiště je zakončeno kamenným prahem. Břehy jsou odtud opevněny pobřežní zdí z opracovaného lomového kamene a tato zeď pokračuje ještě asi 80 metrů, kde přechází v přirozené opevnění. Dále po proudu je vybudováno dalších 13 kamenných přehrázek. Každá je opatřena dopadištěm ukončeným kamenným prahem a dále kamenným záhozem. Po obou březích pod přehrázkami jsou postaveny pobřežní kamenné zdi, které po 30 až 50 metrech přechází postupně v přirozený terén. Poslední se nachází v 2,805 ř. km, kde začíná souvislá městská zástavba. (Janoušek, 1997)

ř. km 2,804 – 0,540

Od vtoku Hartského potoka do zastavěného území až po 0,540 ř. km jsou jeho břehy opevněny téměř svislými pobřežními zdmi. Dno je z větší části opevněno kamennou dlažbou, nebo rovnaninou. Šířka koryta se pohybuje v rozmezí 4,5 – 6 m.

Na 2,621 ř. km se nachází silniční most v Nedbalově ulici. Jedná se o železný most uložený na pilířích vyzděných z pískovcových kvádrů. Jeho konstrukce nese vodovodní potrubí. Je široký 8 m a měl by odolat stoletému průtoku. Přibližně 2 metry před mostem jsou na levé zdi umístěny tři značky pomocného profilu C. (Pejšek et Borovcová, 2010)

O 104 metrů po proudu v 2,517 ř. km byl vystavěn kamenný stupeň vysoký 0,6 m. Hartský potok napájí na 2,361 ř. km Podhartský rybník (0,13 ha), který je situován vedle potoka na pravém břehu. Na 2,103 ř. km je postaven na zděných pilířích betonový most z Kotkovy ulice směrem ke garážím pod Bajarovým kopcem. Mezi tímto mostem a Podhartským rybníkem se nachází soustava pěti kamenných stupňů o výšce 0,5 m, které jsou od sebe vzdáleny přibližně 10 m. Další stupeň se nachází 1,5 m před mostem. 30 metrů za mostem jsou dva kamenné prahy vysoké 0,3 m, přičemž rozstup mezi nimi je cca 25 metrů. Silniční most ve Sladkovského ulici leží na 1,522 ř. km potoka. Z konstrukčního hlediska jde o klenbový most, jenž je vyžděn z pískovcového zdiva. Ze strany je k němu připevněno vodovodní potrubí a 1 metr po proudu od něj je samostatně umístěno parovodní potrubí. Dalším je most v Legionářské ulici, který byl v roce 2003 nově postaven na místě původního mostu. Staničení u tohoto mostu je 1,379 ř. km. Jedná se o 19 m široký železobetonový most, který je uložen na železobetonových pilířích, jež plynule navazují na kamenné pobřežní zdi. Od tohoto mostu vtéká Hartský potok do městského parku, kde pobřežní zdi mají přibližně poloviční sklon. V parku, který se rozprostírá po levém břehu, se nalézají dva mosty zejména pro pěší, ale v případě nutnosti po nich mohou přejet vozy. První z nich na 1,174 ř. km a druhý v 1,000 ř. km. Oba jsou vyhotoveny z železobetonu a leží na pilířích vyžděných z pískovcových kvádrů. Následuje silniční most na 0,918 ř. km v Dukelské ulici na trase Dvůr Králové nad Labem – Hradec Králové. Železobetonová klenbová konstrukce mostu je usazena na třech zděných pilířích, kde jeden je umístěn v ose toku a zbylé dva na březích. V blízkosti středového pilíře dochází k tvorbě nápěchů. Po obou stranách mostu jsou vedeny energetické sítě. Na 0,871 ř. km je situována železobetonová lávka. Posledním objektem na toku v 0,551 ř. km je most místní komunikace, za kterým ve vzdálenosti asi 11 m přecházejí pobřežní zdi v neupravené koryto.

ř. km 0,540 – 0,000

Na počátku tohoto úseku pokračuje tok v přírodním lichoběžníkovém korytě směrem z města. Na obou březích jsou vzrostlé stromy, které místy zasahují do průtočného profilu. Dříve tu stála dřevěná lávka pro pěší, která byla při povodních v roce 2000 zničena. Hartský potok ústí do Labe v jeho 1034,367 ř. km.

6. Výsledky práce

6.1 Zpracování povodí Hartského potoka

6.1.1 Identifikace povodí

Jsou zde uvedeny pouze toky s plochou povodí větší než 10 km².

Číslo hydrologického pořadí dle serveru <http://heis.vuv.cz>:

1-01-01-070/0	úsek od pramene Hartského potoka po soutok s Huntířovským potokem
1-01-01-071/0	Huntířovský potok
1-01-01-072/0	úsek Hartského potoka po soutok s Labem

6.1.2 Geometrické charakteristiky povodí

Výsledné charakteristiky byly vypočítány z digitálního modelu terénu.

Délka hlavního toku L_{HT} : $L_{HT} = 9,017$ km

Délka údolnice L_U : $L_U = 9,652$ km

Délka rozvodnice R : $R = 28,680$ km

Plocha povodí F : $F = F_L + F_P = 9,707 + 11,646 = 21,353$ km²

Součinitel asymetrie povodí a (4.2): $a = \frac{F_L - F_P}{F} = \frac{|9,707 - 11,646|}{21,353} = 0,091$

Střední šířka povodí B (4.4): $B = \frac{F}{L_U} = \frac{21,353}{9,652} = 2,212$ km

Součinitel tvaru povodí α (4.5): $\alpha = \frac{F}{L_U^2} = \frac{21,353}{9,652^2} = 0,23$

6.1.3 Výškově poměry povodí

Hodnoty byly získány z digitálního modelu terénu.

- Maximální nadmořská výška 580 m n. m.
- Minimální nadmořská výška 280 m n. m.
- Průměrná nadmořská výška 474, 25 m n. m.

- Maximální výška údolnice 552 m n. m.
- Minimální výška údolnice 280 m n. m.

6.1.4 Sklonové poměry povodí

Absolutní spád povodí ΔH (4.6): $\Delta H = H_{\max} - H_{\min} = 580 - 280 = 300 \text{ m}$

Střední sklonu svahů I_{sv} :

dle zjednodušeného vztahu (4.7): $I_{sv} = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{\sqrt{F}} \cdot 100 = \frac{580 - 280}{\sqrt{21353000}} \cdot 100 = 6,49 \%$

Tento vztah je spíše orientační, a proto byla hodnota středního sklonu svahů určena z digitálního modelu terénu:

$$I_{sv} = 6,10 \%$$

Dále byly z digitálního modelu terénu získány sklonové poměry levého a pravého svahu:

Pravý:

Max.: 49,33 %

Min.: 0,02 %

Průměr: 7,26 %

Levý:

Max.: 68,83 %

Min.: 0,01 %

Průměr: 5,14 %

Průměrný sklon údolnice I_u (4.10): $I_u = \frac{H_{\max,u} - H_{\min,u}}{L_u} \cdot 100 = \frac{552 - 280}{9652} \cdot 100 = 2,82 \%$

6.1.5 Ostatní charakteristiky povodí

Hustota říční sítě r (4.1):
$$r = \frac{\Sigma L}{F} = \frac{30,591}{21,353} = 1,43 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$$

Míra zalesnění povodí K (4.11):
$$K = \frac{\Sigma P_l}{F} \cdot 100 = \frac{5,79}{21,353} \cdot 100 = 27 \%$$

Souřadnice uzávěrového profilu jsou určeny v souřadnicovém systému S – JTSK:

-638,984

-1 018,470

6.2 Určení stoletého průtoku matematickým modelem

6.2.1 Hodnoty N – letých průtoků stanovené pomocí programu DesQ

N - leté průtoky	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
m ³ .s ⁻¹	9,34	15,7	23,1	33,4	42,8

Tabulka č. 3; N – leté průtoky stanovené matematickým modelem

(Kompletní údaje vstupů a výstupů pro Q₁₀₀ jsou uvedeny v příloze č. 7)

6.2.2 Hodnoty N – letých průtoků poskytnutých Povodím Labe s.p.

N - leté průtoky	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
m ³ .s ⁻¹	13	17,6	23	31,3	38,6

Tabulka č. 4; N- leté průtoky poskytnuté státním podnikem Povodí Labe

7. Závěr a diskuse

V práci byly popsány základní hydrologické charakteristiky vodních toků a jejich povodí. Následně byly aplikovány na konkrétní povodí. Například pro tvar povodí Hartského potoka byla stanovena hodnota součinitele tvaru povodí $\alpha = 0,23$, z čehož lze usuzovat, že se jedná o protáhlé povodí. Tvar povodí ovlivňuje dobu, za kterou se dostane voda z nejvzdálenějšího místa povodí do uzávěrového profilu. Čím je vzdálenost mezi nejvzdálenějším místem a uzávěrovým profilem menší, tím rychleji se voda koncentruje a vzniká povrchový odtok, který může při nepříznivých klimatických podmínkách dát za vznik nebezpečné povodňové vlně. I z tohoto důvodu není povodí Hartského potoka náchylné na bleskové povodně, nicméně jde hlavně o technická opatření a úpravy, díky kterým je koryto schopno bez větších škod pojmout i stoletou vodu. Nejpodstatnější pro ochranu Dvora Králové nad Labem bylo hrazení Hartského potoka v lese nad městskou zástavbou a bohatě dimenzovaný průtočný profil a opevnění koryta v intravilánu města. Na základě odtokových CN křivek byl pomocí programu DesQ stanoven stoletý průtok uzavírajícím profilem povodí Hartského potoka hodnotou $Q_{100} = 42,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Tento výsledek převyšuje hodnotu Q_{100} poskytnutou státním podnikem Povodí Labe o $4,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Rozdíl hodnot může být způsoben buď užitím odlišné metody při stanovení průtoků, nebo zvolenými parametry matematického modelu, zejména hodnotou CN křivek, drsnostních součinitelů, ale také volbou srážkoměrné stanice, která se nachází přibližně 5 km od řešeného povodí. Proto je vysoce pravděpodobné, že srážky dopadající na povodí, budou odlišné od těch, co spadnou v blízkosti srážkoměrné stanice. Ještě je nutno zmínit, že v povodí nebyl řešen koeficient jezernatosti a bažinatosti z důvodu zanedbatelných ploch nádrží a absence bažin.

Upravené koryto a objekty na Labi v zastavěné části města jsou dimenzovány na průchod stoleté vody. Musíme však mít na paměti, že Labem projde v těchto místech voda z mnohem větší plochy. Nejkritičtějšími obdobími bývá přelom zimy a jara, kdy se na území mohou objevovat vytrvalé deště, které ve spojení s tající sněhovou pokrývkou, mohou způsobit i přes všechna technická protipovodňová opatření silné zaplavení města a jeho okolí. V těchto kritických případech by měla

fungovat hlásná povodňová služba, díky které by měli být občané ohrožených území včas vyrozuměni o stavu situace a možném ohrožení.

Tato bakalářská práce shrnuje a popisuje opatření provedená na Labi a Hartském potoce ve Dvoře Králové nad Labem. Práce může být použita pro další případné zkoumání území, ale také poslouží jako zdroj informací ohledně řešené problematiky v tomto území.

8. Seznam literatury a použitých zdrojů:

BROŽA V. et SATRAPA L., 1997: *Hydrotechnické stavby 10*. Vydavatelství ČVUT, Praha, 170 s. ISBN 80 – 01 – 01581 – 5.

BROŽA V., ČIHÁK F. et SATRAPA V., 1998: *Hydrotechnické stavby*. Český svaz stavebních inženýrů, Praha, 196 s. ISBN 80 – 902460 – 5 – 2.

Český hydrometeorologický ústav, 2011, *Evidenční list hlásného profilu č. 8*. online: http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307037. cit. 16. 4. 2011.

FLEMING M. J., 2010: *Hydrologic Modeling System HEC-HMS – Quick start guide*. U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center – HEC, Davis, CA.

HRÁDEK F. et KUŘÍK P., 2008: *Hydrologie*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 280 s. ISBN 978 – 80 – 213 – 1744 – 4.

Hydroekologický Informační Systém VÚV T. G. Masaryka, 2011, online: <http://heis.vuv.cz/>. cit. 18. 4. 2011.

JANOUŠEK P., 1997: *HARTSKÝ POTOK a jeho hrazení*. Dvůr Králové nad Labem: Vlastivědné čtení o našem městě i jeho okolí: 17 – 21.

JEŽDÍK T. et VOTRUBA L., 1957: *Vodní inženýrství*. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, 287 s.

KEMEL M., 1994: *Hydrologie*. Vydavatelství ČVUT, Praha, 222 s.

KEMEL M., 2000: *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. Vydavatelství ČVUT, Praha, 289 s.

KOVÁŘ P. et KŘOVÁK F., 2002: *Hrazení bystrin*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 31 s. ISBN 80 – 213 – 0888 – 5.

MALEŇÁK J., PODSEDNÍK O. et ŠLEZINGR M., 2002: *Vodní stavby I*. CERM, Brno, 130 s. ISBN 80 – 214 – 2165 – 7.

MILERSKI R., MIČÍN J. et VESELÝ J., 2005: *Vodní stavby*. CERM, Brno, 164 s. ISBN 80-214-2896-1.

Národní geoportál INSPIRE, 2011, online: <http://geoportal.gov.cz/>. cit. 26. 4. 2011.

NĚMEC J. et HLADNÝ J. [eds], 2006: *Voda v České republice*. Consult, Praha, 253 s. ISBN 80 – 903482 – 1 – 1.

PATOČKA C., MACURA L. et al., 1989: *Úpravy toků*. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, 400 s. ISBN 04 – 735 – 89.

PEJŠEK M. et BOROVCOVÁ E., 2010: *Povodňový plán města Dvůr Králové nad Labem*. 65 s. nepublikováno,“ Dep.: Městský úřad ve Dvoře Králové nad Labem“

RAPLÍK M., VÝBORA P. et MAREŠ K., 1989: *Úprava tokov*. Alfa – Vydavatelství technické a ekonomické literatury, Bratislava, 640 s. ISBN 80 – 05 – 00128 – 2.

SCHARFFENBERG W. A. et FLEMING M. J., 2010: *Hydrologic Modeling System HEC-HMS – User's manual*. U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center – HEC, Davis, CA.

SCHWARZ J., 1997: *Labe jako přítel i nezkrotný živel v posledních 100 letech*. Dvůr Králové nad Labem: Vlastivědné čtení o našem městě i jeho okolí: 8 – 16.

SOMMER M., 1985: *Hydrologie*. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, 206 s.

THOŘ Z., 1981: *Vodohospodářské stavby*. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, 112 s. ISBN 04 – 817 – 81.

VESELÝ V., 1956: *Hrazení bystřin*. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, 277 s.

9. Seznam příloh

Příloha č. 1: **Výškový model terénu pro povodí Hartský potok**

Příloha č. 2: **Sklonové poměry v povodí Hartského potoka**

Příloha č. 3: **Orientace svahů v povodí Hartského potoka**

Příloha č. 4: **Záplavové území Q_{100} v centru Dvora Králové nad Labem**

Příloha č. 5: **Psaný podélný profil objektů na Labi**

Příloha č. 6: **Psaný podélný profil objektů na Hartském potoce**

Příloha č. 7: **Vstupy a výstupy programu DesQ – MaxQ verze 5.2**

Příloha č. 8: **Fotodokumentace objektů na Labi**

Příloha č. 9: **Fotodokumentace objektů na Hartském potoce**