

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE



FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

**KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIROMENTÁLNÍHO
MODELOVÁNÍ**

OBOR VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ



**HYDROLOGICKÁ STUDIE POVODÍ VODNÍHO TOKU
KŘENOVKA**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

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

Bakalant: Jaroslav Domas

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jaroslav Domas

Krajinářství
Vodní hospodářství

Název práce

Hydrologická studie povodí vodního toku Křenovka

Název anglicky

Hydrological study of Křenovka watercourse basin

Cíle práce

Odvození hydrologických charakteristik povodí

Vytvoření digitálního modelu terénu v prostředí GIS

Stanovení N-letých průtoků pomocí vybraných empirických vzorců

Stanovení N-letých průtoků pomocí hydrologického modelu DesQ – MaxQ

Metodika

1) Úvod

2) Popis povodí

3) Určení a odvození hydrologických charakteristik povodí

4) Výpočet N-letých průtoků pomocí empirických vzorců.

5) Výpočet N-letých průtoků pomocí hydrologického modelu DesQ – MaxQ

5) Závěr a diskuse

Doporučený rozsah práce

cca 35 stran

Klíčová slova

Křenovka, hydrologické charakteristiky, povodí, vodní tok, průtok, DesQ-MAXQ

Doporučené zdroje informací

Hrádek F., Kuřík P., 2008: Hydrologie, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha

Kemel M., 1994: Hydrologie, České vysoké učení technické v Praze, Praha

Soukupová J., 2009: Atmosférické procesy (základy meteorologie a klimatologie), Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha

ŠILAR, J. *Hydrologie v životním prostředí*. Ostrava: Centrum pro otázky životního prostředí UK, 1996. ISBN 80-7078-361-3.

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Radek Roub, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 17. 3. 2020

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 17. 3. 2020

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 26. 03. 2020

Prohlašuji, že jsem bakalářskou/závěrečnou práci na téma: HYDROLOGICKÁ STUDIE POVODÍ KŘENOVKY vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

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

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

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

V Křeseticích dne 26.6.2020

.....

Jaroslav Domas

Poděkovat bych touto cestou chtěl svému vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Radku Roubovi, Ph.D., za vedení a pomoc při zpracování bakalářské práce, dále pak paní Růženě Chaloupecké z ČÚZK, za ochotu poskytování potřebných dat. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat také své rodině.

Abstrakt

Výsledky hydrologické studie povodí, které jsou zpracovány v této bakalářské práci, tvoří důležité podklady pro téměř všechny vodohospodářské odvětví. Jsou využívány především pro správné dimenzování vodohospodářských staveb na vodních tocích.

V bakalářské práci jsou vypracované hydrologické charakteristiky povodí Křenovky od jejího pramene až po hráz rybníka Veselováku.

V první části bakalářské práce je úkolem zjistit geometrické a orografické charakteristiky povodí a vytvoření digitálního modelu reliéfu.

Druhá část práce je zaměřena na výpočty stoletých průtoků pomocí známých empirických vzorců a hydrologického modelu DesQ – MAXQ. V závěru jsou vypočítané průtoky porovnány s daty poskytnutými ČHMÚ.

Klíčová slova: Křenovka, vodní tok, povodí, průtok, hydrologická studie povodí, N-letý průtok, DesQ-MAXQ

Abstract

The results of the hydrological study of the catchment area, which are processed in this bachelor thesis, form an important basis for almost all water management sectors. They are mainly used for the correct dimensioning of water management buildings on watercourses.

In the bachelor thesis there are elaborated hydrological characteristics of the Krenovka basin from its source to the dam of Veselovak pond.

In the first part of the bachelor thesis, the task is to find out the geometric and orographic characteristics of the catchment area and create a digital model of relief.

The second part of the thesis focuses on the calculation of centenary flows using known empirical formulas and hydrological model DesQ - MAXQ. In the end, the calculated flow rates are compared with the data provided by the CHMU.

Keywords: Krenovka, waterfluac, catchment, flow, hydrological basin study, N-year flow, DesQ-MAXQ

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Cíle práce	10
3	Literární rešerše.....	11
3.1	Popis a charakteristika toku říční soustavy	11
3.1.1	Základní pojmy	11
3.1.2	Hustota říční sítě	14
3.1.3	Značení vodního toku.....	14
3.2	Popis a charakteristika povodí.....	15
3.2.1	Základní pojmy	15
3.3	Geometrické charakteristiky povodí	16
3.3.1	Zeměpisná poloha a orografické poměry povodí.....	20
3.3.2	Geologické a půdní poměry v povodí	22
3.3.3	Rostlinná pokrývka povodí	24
3.3.4	Akumulace vody v jezerech, nádržích a bažinách	25
3.3.5	Klima v povodí.....	26
3.3.6	Antropogenní činnost v povodí.....	28
3.4	Maximální průtok na povodí	29
3.4.1	Základní pojmy	29
3.4.2	Odvozování N-letých průtoků.....	30
3.4.3	Empirické vzorce	30
3.4.4	Vzorce objemové	32
3.4.5	Vzorce intenzivního typu dle Hrádek & Kuřík, 2008	36
3.4.6	Matematické modely	39
4	Metodika	41
5	Zpracování zájmové lokality.....	42
5.1	Popis a charakteristika povodí.....	42

5.2	Říční síť v povodí.....	43
5.3	Geometrické charakteristiky povodí	44
5.4	Orografické charakteristiky povodí.....	45
5.5	Geologické a půdní poměry v povodí	46
5.5.1	Geologické poměry v povodí.....	46
5.5.2	Půdní poměry v povodí	46
5.6	Vegetační pokryv v povodí	48
5.7	Klimatické poměry v povodí.....	48
5.8	Antropogenní činnost	48
5.9	Výpočet N-letých průtoků	49
5.9.1	Empirické vzorce	49
5.9.2	Vzorce objemové	49
5.9.3	Vzorec intenzivního typu	51
5.10	Výpočet DesQ - MAXQ	52
6	Diskuze a závěr	55
7	Seznam literatury a použitých zdrojů.....	58
7.1	Seznam obrázků	60
7.2	Seznam tabulek.....	60
7.3	Seznam grafů.....	61
8	Přílohy.....	62

1 Úvod

Voda je součástí životního prostředí a lze ji považovat za přírodní zdroj, který je nezbytný k životu. Se současnou změnou klimatu je v posledních letech možné pozorovat nedostatek vody během suchých měsíců. Suché období často doprovází mohutné přívalové deště, při kterých se voda promění v živel, který ničí vše, co se jí postaví do cesty. Proto je důležité, aby se koryta vodních toků dimenzovala na správný průtok, který vodu bezpečně a s minimálními škodami odvede. Kulminační průtok se na nepozorovaných profilech počítá z hydrologických charakteristik povodí. Spočítaný průtok se poté využívá téměř u všech vodohospodářských staveb, které se na vodním toku budují.

Bakalářská práce vznikla právě za účelem zjištění hydrologických charakteristik, geologických, půdních, klimatických a vegetačních poměrů, a také antropogenních činností v povodí Křenovky. Hydrologická charakteristika povodí se využije pro výpočet kulminačních průtoků pomocí známých empirických vzorců a hydrologického modelu DesQ – MAXQ

2 Cíle práce

Cílem bakalářské práce je vymezení lokality – polohy povodí, expozice a řádu vodního toku. Odvození hydrologických charakteristik povodí – geometrických a orografických charakteristik, vytvoření digitálního modelu terénu v prostředí GIS, stanovení N-letých průtoků pomocí vybraných empirických vzorců, stanovení N-letých průtoků pomocí hydrologického modelu DesQ – MaxQ. Závěrem bakalářské práce bude porovnání výsledných průtoků s průtoky, které poskytl Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ).

3 Literární rešerše

3.1 Popis a charakteristika toku říční soustavy

3.1.1 Základní pojmy

Působením zemské gravitace stéká část srážek ve směru nejvyššího sklonu. Z počátku dochází k odtoku vody ze svahu v tenké vrstvě tzv. ronů, které jsou v malé vzdálenosti od rozvodnice. (Hrádek & Kuřík, 2008) Poté voda teče ve stružkách, které se postupně spojují a nabírají na síle. Nakonec se soustřeďují v lineárních sníženinách, které vznikly tektonickou činností, nebo působením erozní vody. Koryta řek se poté vytváří v těchto sníženinách, ve kterých proudí voda. (Kemel & Kolář, 1980) Díky síle vodního toku se začne erodovat materiál a vznikají koryta potoků a řek. Většinou nejmohutnější tok, tzv. hlavní tok, tvoří spolu se svými přítoky říční soustavu. Tato říční soustava odvodňuje příslušné území, tzv. povodí. Říční síť krajiny je tvořena jednotlivými říčními soustavami. (Pokorná & Zábranská, 2007)

Popis a charakteristika toku

V každém správně vypracovaném projektu významnějšího hydrologického díla je třeba v jeho hydrologické části, kromě dat o srážkách, průtocích, teplotách apod., vypracovat výstižnou a přesnou charakteristiku příslušného povodí a říční soustavy zájmové krajiny. (Kemel, 1996)

Pramen je místo, kde podzemní voda přirozeně vyvěrá na povrch. Nasycené (zvodnělé) pásmo zde vystupuje na zemský povrch, a to soustředěně či rozptýleně. (Šilar, 1996) Vzniká v místech, kde se zvodnělá vrstva protíná s terénem, zpravidla v místech dvou vrstev s rozličnou propustností. Pramenů máme několik typů - vrstvený, přelivný, vzduť, suťový, výstupný, periodický. (Pokorná & Zábranská, 2007) Obecně může být za pramen považován také ledovec, jezero nebo bažina ze kterých řeka vytéká. (Kemel & Kolář, 1980) Základní charakteristikou je jejich vydatnost a stálost. Čerpací zkouškou měříme vydatnost pramenů. Podle poměru mezi největší a nejmenší vydatností, které jsou naměřeny za určité období, se posuzuje stálost pramene, která je závislá na ročním období a množství srážek. (Pokorná & Zábranská, 2007)

Vodní tok je útvar, ve kterém se soustřeďuje a z kterého gravitačně odtéká voda celoročně nebo po větší část roku. Pokud vodní tok protéká korytem trvale, zpravidla nevysychá ani v období malé vodnosti a je hydraulicky spojen s podzemní vodou, nazývá se stálý vodní tok. Vodní tok s většími průtoky a velkou plochou povodí se nazývá řeka. V případě, že vodní tok vzniknul technickým zásahem, jako např. náhony, odpady, průplavy apod., jedná se o umělý vodní tok. Umělý vodní tok je opak přirozeného vodního toku. (Hrádek & Kuřík, 2008)

Ústím toku je myšleno místo, ve kterém se tok vlévá do moře, jezera či jiného toku. Ústí-li řeka deltou, za konec řeky se považuje rameno nejdelší nebo nejvodnatější. (Hubačíková, 2002) V krasových nebo v klimaticky aridních (suchých) oblastech se voda v toku ztratí dříve, než dosáhne některého z recipientů. (Kemel & Kolář, 1980)

Délka toku je měřená délka střednice toku od pramene až k ústí. Za počátek toku uvažujeme ústí, od kterého je také měřené staničení. Střednice toku, délka a staničení se mění. Vliv na změnu těchto charakteristik má především antropogenní činnost člověka, ale také přirozený vývoj toku. Mnohdy dochází k podstatné změně délky toku. (Kemel, 1996)

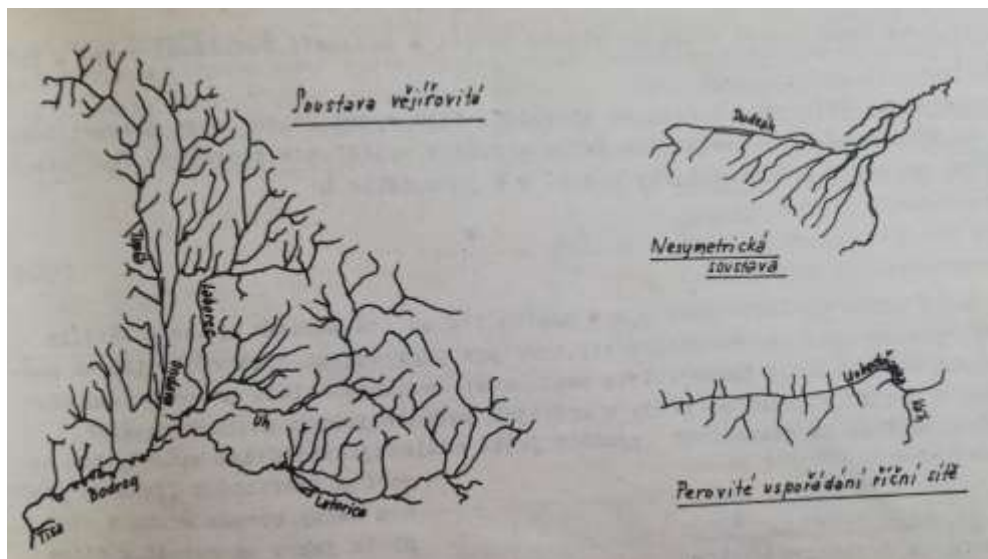
Stupeň vývinu toku je poměr délky spojnice dvou profilů na toku, počátečního a koncového, k délce střednice mezi těmito dvěma profily. Nejpresnější zjištění délky je skutečným měřením v terénu. Přibližně lze tuto vzdálenost odhadnout z mapy. (Hubačíková, 2002)

Podélný profil toku je v hydrologické dokumentaci často používán. Z podélného profilu jsou patrné levé a pravé přítoky, staničení, zaústění jednotlivých přítoků a je zde vynesena nadmořská výška pramenů jednotlivých toků říčního systému. (Hrádek & Kuřík, 2008)

Říční síť vzniká kombinací horotvorných procesů a erozní činností. Při této činnosti se vytváří reliéf s hlavními podélnými a podružnými šikmými sníženinami, kterými proudí voda. Nejjednodušším typem říční soustavy je soustava, které se nejvíce nachází na malých povodí. Je to soustava s jedním tokem, který tvoří podélnou osu povodí. Na větších povodích vznikají daleko složitější říční soustavy, které tvoří hlavní tok s mnohými přítoky.

Pojmenování *hlavní tok* není zcela vymezen. Pro určení hlavního toku se používají následující kritéria. Za hlavní tok se zpravidla považuje ten, který si v místě soutoku převážně zachovává svůj původní směr, jehož dno je v místě soutoku níže než dno přítoku, a který je vodnatější v místě soutoku. (Pokorná & Zábranská, 2007)

Uspořádání říční sítě má velký vliv na průběh povodňové vlny. Máme několik základních uspořádání říční sítě. Stromkovitá soustava, symetrická stromkovitá soustava, nesymetrická stromkovitá soustava, vějířovitá soustava a soustava perovitá. Obvyklé uspořádání říční soustavy je stromkovité. Jednotlivé přítoky svírají s hlavním tokem ostrý úhel. Při pravidelném střídání levých a pravých přítoků se jedná o uspořádání symetrické. Při nepravidelném střídání přítoků hovoříme o soustavě nesymetrické. V oblasti pahorkatin a na úpatí pohoří je typická soustava perovitá. Přítoky do hlavního toku přitékají paralelními údolními a svírají s hlavním tokem pravý nebo jemu blízký úhel. (Kemel & Kolář, 1980) Pro vznik velkých povodní je nejvíce nebezpečná soustava vějířovitá. Důvodem vzniku nebezpečných povodí je, že se na soutoku steče několik toků, které jsou přibližně stejně dlouhé a mají přibližně stejnou doběhovou dobu. Na soutoku i v úseku pod ním je při zasažení celého povodí deštěm velké nebezpečí vzniku povodňových škod. (Kemel, 1996)



Obrázek 1 - Uspořádání říční sítě v povodí (Kemel, Kolář, 1980)

3.1.2 Hustota říční sítě

Hustota říční sítě je charakteristika, které popisuje říční síť. Četnost toků je výsledkem faktorů, které do značné míry ovlivňují povrchový odtok. Těmito faktory jsou srážkové úhrny, intenzita dešťů, intenzita vsakování, spádové poměry na příslušném povodí, propustnost půdy, druh a plocha rostlinného pokryvu, geologické poměry apod. Při přetrvávání stejných podmínek lze předpokládat, že menší hustota říční sítě dokládá větší propustnost půdního horizontu. Z tohoto předpokladu se dá usuzovat větší dotace podzemních vod v povodí, ustálený průtok a jeho vydatnost během roku. (Pokorná & Záborská, 2007)

Výpočet hustoty říční sítě představuje poměr mezi celkovou délkou všech toků v uvažovaném povodí a jeho plochou. (Kemel, 1996)

$$h_{rs} = \frac{\sum l}{F}$$

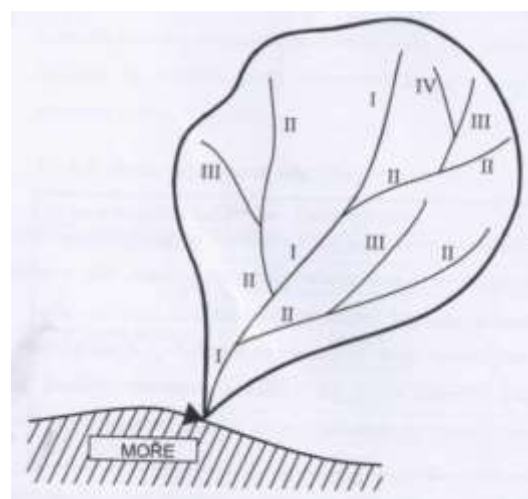
Rovnice č. 1

l ...celková délka toku zkoumaného povodí [km]

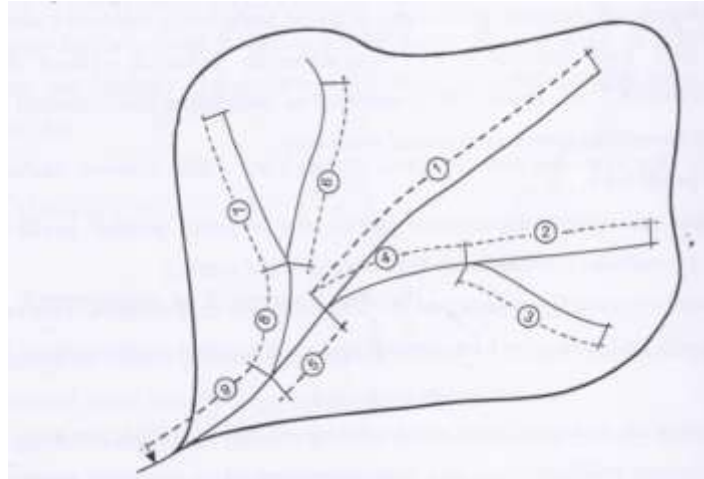
F ...plocha povodí [km²]

3.1.3 Značení vodního toku

Řádem toku označujeme vodní toky v říční soustavě. Číslování vodních toků má svou posloupnost. Tok I. řádu se vlévá do moře. Přítok I. řádu je tok II. řádu, jeho přítok je tok III. řádu a to postupně pokračuje. Vyšší řád je označován nižší římskou číslicí. (Hrádek & Kuřík, 2008)



Obrázek 2 – Řád toků v říční soustavě (Hrádek & Kuřík, 2008)



Obrázek 3 - Hydrologické označení toků (Hrádek & Kuřík, 2008)

Hydrologické pořadí řadí toky v povodí postupně od pramene po proudu, od toku nižšího řádu k vyššímu. Hydrologické pořadí označuje toky dle smluveného systému, který se často využívá při hydraulických, matematických modelech odtokového procesu. Hydrologické údaje jsou řazeny právě podle hydraulického pořadí. (Hrádek & Kuřík, 2008)

3.2 Popis a charakteristika povodí

3.2.1 Základní pojmy

Povodí

Je území, které je vodním tokem a soustavou jeho přítoků soustředěně odvodňováno. (Šilar, 1996) Povodí je základní hydrologickou oblastí, ve které zkoumáme odtokový proces a zároveň zjišťujeme vzájemný vztah bilančních prvků. Nepřitéká do něj žádná voda po povrchu ani pod povrchem. Jedná se o území po hydrologické stránce uzavřené a je ohraničeno rozvodnicí. (Hrádek & Kuřík, 2008)

Rozvodnice

Rozvodnice odděluje povodí od povodí sousedního. (Šilar, 1996) Orografická vrstevnice se vykresluje v topografické mapě, probíhá po vrcholech, hřebenech, sedlech a ostatních nejvyšších topografických útvarech jedná se o povodí orografické. (Hrádek & Kuřík, 2008) Hydrogeologická vrstevnice se vykresluje v povodí s propustným povrchem. Skutečné povodí toku zasahuje za hranice orografického povodí, protože infiltrací se voda ze srážek dostává

do vodního toku i z území ležící za orografickou rozvodnicí. (Šilar, 1996) Rozlišuje se tedy povodí povrchových vod, které je ohraničeno orografickou rozvodnicí a povodí podpovrchových vod, které je ohraničeno rozvodnicí hydrogeologickou. Povodí povrchových a podpovrchových vod se může svou velikostí od sebe lišit. Rozdíly u velkých povodí bývají většinou zanedbatelné, u malých povodí mohou být relativně větší. (Dub & kol., 1969) V praxi se většinou zjišťuje pouze průběh orografické rozvodnice. V odůvodněných případech, například u experimentálních povodí, se zkoumají jednotlivé složky odtoku. Na těchto povodích se studují změny v hydrologickém oběhu vody vlivem zásahů do přírodního či životního prostředí, jsou na nich důkladně zkoumány prvky hydrologických procesů. Zjišťuje se na nich průběh hydrogeologické rozvodnice podpovrchových vod hydrogeologickým průzkumem daného povodí. Na toku, ve kterém je více uzávěrových profilů, se plocha mezi dvěma uzavírajícími profily nazývá mezipovodí. (Hrádek & Kuřík, 2008)

Uzavírající profil

Povodí je jednoznačně dáno uzavírajícím profilem, jedná se o nejnižší místo na toku, ke kterému se rozvodnice vykresluje. Do uzavírajícího profilu se voda dostává povrchovým i podpovrchovým odtokem. Odtok tvoří srážky spadlé v povodí. Při vykreslování rozvodnice se postupuje od uzavírajícího profilu povodí zvoleným směrem. Uzavírající profil se určuje v místech, ve kterých potřebujeme znát průtok vody, např. u mostů, hrází rybníků, vyústění ČOV, propustků, před soutokem dvou toků atd. (Ředinová & kol., 2009).

3.3 Geometrické charakteristiky povodí

Při studii povodí patří k základním vlastnostem povodí jeho geometrické charakteristiky, které formulují transformační funkce. Geometrické charakteristiky povodí se používají pro získání ucelené představy chování vodního toku a transformační funkce povodí. Podle této charakteristiky se mění efektivní déšť na odtok z povodí. (Kovář, 1990) Tvar povodí a uspořádání říční sítě ovlivňují časový průběh odtoku z povodí, což je významné zejména v době regionálních dešťů, kdy koncentrace odtoků může způsobit vznik povodní. (Šilar, 1996)

Plocha povodí

Plocha povodí je plocha půdorysného průmětu povodí do vodorovné roviny. Jednotkou plochy povodí je km^2 . (Hrádek & Kuřík, 2008) Plochu povodí určíme planimetrováním z map v měřítku 1 : 25000. Planimetrování provádíme ve vrstevnicové mapě tak, že z místa, které na vodním toku povodí uzavírá uzavírající profil, vynášíme postupně na obou březích čáru, která je kolmá k vrstevnicím a která postupně přechází na hřbety vyvýšenin, jež povodí omezují. Při správném vynášení čáry (rozvodnice) musí vzniknout uzavřený polygon. Je-li plocha povodí zjištěna z jiných podkladů, musí to být zvlášť uvedeno. V současné době je nejrozšířenější metodou využití GIS softwarů pro zjištění plochy povodí. (Šilar, 1996) Ve speciálních případech se doporučuje, zejména u malých povodí, překontrolování rozvodnice, vykreslené pomocí map, obchůzkou v terénu. Průběh rozvodnice zjištěný z mapových podkladů bývá často odlišný od skutečností v terénu, a to v důsledku umělých zásahů člověkem do přirozeného prostředí povodí, např. vybudováním či rekonstrukcí cestní sítě, odvodňovací soustavy, železničního tělesa apod. (Hrádek & Kuřík, 2008)

Tvar povodí

Povodí vzniká přirozenými procesy. Vznik a tvar povodí je závislý na topografii terénu a geologické skladbě podloží. Tvar povodí a uspořádání říční sítě může být různý. (Šilar, 1996) Povodí, které vzniklo přirozenou cestou a je bez umělých zásahů, má nejčastěji podobu symetrického či nesymetrického protáhlého listu. (Pokorná & Záborská, 2007) Obvykle platí, že nejširší místo má ve své střední části, proti proudu se zužuje. Na tvar malých povodí má vliv antropogenní činnost, zejména liniové stavby s odvodňovacími účinky, vyčlenění honů osevních postupů, ad. Tvar povodí a sklonové poměry ovlivňují dobu soustřeďování odtoku z povrchu povodí. Jednou z nejdůležitějších charakteristik je tvar povodí, který přímo ovlivňuje dobu, za kterou se voda z celé plochy soustředí v uzavírajícím profilu. Součinitel tvaru povodí je nejpoužívanější charakteristikou tvaru povodí. Rovnice vyjadřuje poměr průměrné šířky povodí a délky údolnice. Rovnice ovšem vychází z idealizovaného tvaru povodí, kterým je obdélník, strany

tohoto obdélníka jsou průměrná šířka povodí a délka údolnice. Plocha povodí se pak rovná idealizované ploše obdélníka. (Hrádek & Kuřík, 2008)

Rovnice tvaru povodí (Hrádek & Kuřík, 2008)

$$\alpha = \frac{B}{L_U}$$

Rovnice č. 2

B ...střední šířka povodí [km]

L_U ...délka údolnice [km]

Střední šířka povodí (Hrádek & Kuřík, 2008)

$$B = \frac{F}{L_U}$$

Rovnice č. 3

F ...celková plocha povodí [km²]

L_U ...délka údolnice [km]

Dle předchozích rovnic vyjádříme

$$\alpha = \frac{F}{L_U^2}$$

Rovnice č. 4

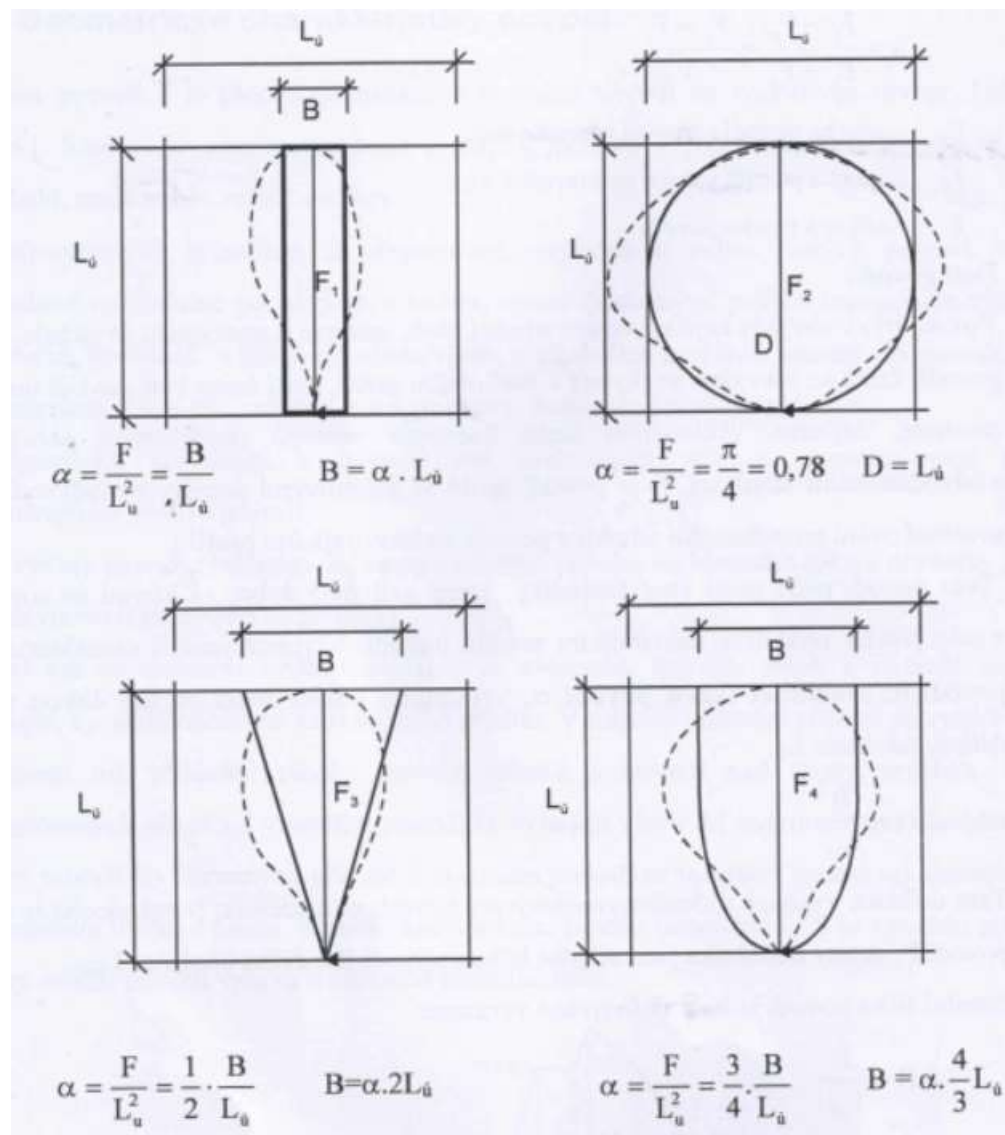
F ...celková plocha povodí [km²]

L_U ...délka údolnice [km]

Obecně tedy platí, že **součinitel tvaru povodí** se počítá jako podíl plochy povodí a druhé mocniny délky údolnice. Nahrazení tvaru povodí idealizovaným obdélníkem nebývá vždy vhodné. To především díky velké rozmanitosti tvaru povodí, proto je možné použít pro idealizování tvaru povodí i jiných geometrických obrazců. Rozměry geometrických obrazců lze odvodit z definovaného součinitele tvaru povodí. Pro nahrazení tvaru povodí

se nejvíce využívají geometrické obrazce - obdélník, trojúhelník, kruh a obrazce omezené parabolickou křivkou, jejíž vrchol je v uzavírajícím profilu. Tvar povodí se rozděluje dle součinitele tvaru povodí na protáhlá povodí, přechodného typu a vějířovitá povodí. Náhradními geometrickými obrazci se tvar povodí nahrazuje při popisu povodí a při analýze povrchového odtoku. (Hrádek & Kuřík, 2008)

Schematizace tvaru povodí (Hrádek & Kuřík, 2008)



Obrázek 4 – Schematizace tvaru povodí (Hrádek & Kuřík, 2008)

Asymetrie povodí

Součinitel asymetrie vyjadřuje míru asymetrie povodí. (Hrádek & Kuřík, 2008) Součinitel asymetrie tedy číselně vyjadřuje, do jaké míry jsou pravá a

levá povodí souměrná neboli udává, zda je větší levá či pravá strana povodí. Strany povodí na levou a pravou stranu dělí údolnice. Výsledkem je bezrozměrná jednotka. (Němec, 1965)

$$a = \frac{F_L - F_P}{F_L + F_P} = \frac{F_L - F_P}{F}$$

Rovnice č. 5

F_L ...plocha povodí vlevo od hlavního toku [km²]

F_P ...plocha povodí vpravo od hlavního toku [km²]

F ...celková plocha povodí [km²]

3.3.1 Zeměpisná poloha a orografické poměry povodí

Mezi základní vlastnosti, které je nutné popsat, patří zeměpisná poloha, orografické poměry, geologické a půdní poměry, rostlinná pokrývka, klimatické poměry, množství nádrží v povodí a odtok z povodí, který je značně ovlivněn antropogenní činností. V každé hydrologické studii je nutné detailně popsat tyto základní vlastnosti, protože mají rozhodující vliv na intenzitu, plošné a časové rozdělení srážek a odtok povrchové vody z povodí. (Kemel & Kolář, 1980) Orografické poměry velkou měrou ovlivňují velmi složitý proces odtoku vody z povodí. Strmé a dlouhé svahy musí být pokryty vhodnou, odolnou vegetací. Voda stékající za svahů má velkou unášecí sílu, která způsobuje erodování půdy a odnášení horních vrstev půdy. Výsledkem je plošná a rýhová eroze. V konečném důsledku dochází k devastaci krajiny a hospodářskému znehodnocení zemědělské oblasti. (Kemel, 1996)

Zeměpisná poloha je přesně určena zeměpisnou délkou a zeměpisnou šířkou, mezi kterými povodí leží. Uzavírající profil příslušného povodí je přesně určen zeměpisnými souřadnicemi. Umístění povodí v terénu se také vztahuje k význačným horským masívům. Základní klimatické charakteristiky povodí lze přibližně stanovit podle zeměpisné polohy a geomorfologických útvarů v povodí. (Hrádek & Kuřík, 2008)

Orografické vlastnosti povodí se nejlépe zjišťují z vrstevnicových map. Jedná se o výškové a sklonné poměry v povodí, které mají vliv na teplotu a vlhkost vzduchu, srážkové úhrny, výpar, sluneční záření, vsak a odtok

povrchové vody apod. Z vrstevnicové mapy určujeme místa s nejvyšší nadmořskou výškou, nadmořskou výšku uzavírajícího profilu, popisujeme orientaci hlavních horstev vůči světovým stranám apod. (Pokorná & Zábranská, 2007)

Hypsografická křivka popisuje výškové poměry v povodí. Udává závislost plochy povodí a nadmořské výšky. Hypsografickou křivku sestrojíme planimetrováním z vrstevnicové mapy, kde určíme plochy, na kterých je dosažena, případně překročena určitá nadmořská výška. Hypsografickou křivku lze také vytvořit z digitálních dat pomocí vhodných počítačových programů. Z křivky lze odečíst extrémní hodnoty výšek na povodí, velikost plochy povodí pro zvolenou nadmořskou výšku, plochu povodí vztaženou k uzávěrovému profilu. Tvar křivky vypovídá o charakteru povodí, zda se jedná o povodí nížinné nebo povodí s náhorní plošinou. Průměrnou nadmořskou výšku v povodí zjistíme převedením plochy na půdici. (Kemel, 1996)

Sklonové poměry v povodí - vzhledem k různým sklonovým poměrům v povodí se zjišťuje střední sklon svahů v povodí jako charakteristika povodí. (Hrádek & Kuřík, 2008)

Absolutní spád povodí, udává rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším místem v povodí. Jedná se o informativní charakteristiku sklonových poměrů. (Hrádek & Kuřík, 2008)

$$\Delta H = H_{\text{MAX}} - H_{\text{MIN}}$$

Rovnice č. 6

ΔH	...absolutní spád povodí	[m]
H_{MAX}	...maximální nadmořská výška v povodí	[m]
H_{MIN}	...minimální nadmořská výška v povodí	[m]

Střední sklon svahů v povodí vyjádřený zjednodušeným vztahem. (Hrádek & Kuřík, 2008)

$$I_{SV} = \frac{H_{MAX} - H_{MIN}}{\sqrt{F}} * 100$$

Rovnice č. 7

H_{MAX}	...maximální nadmořská výška v povodí	[m]
H_{MIN}	...minimální nadmořská výška v povodí	[m]
F	...plocha povodí	[m ²]

Průměrný sklon svahů povodí významnou měrou ovlivňuje soustředování vody v povodí. Při výpočtech sklonů svahů se musí dbát na to, aby se příliš nezkrasila topografie terénu. (Hrádek & Kuřík, 2008)

U malých povodí je významnou charakteristikou sklonových poměrů průměrný sklon údolnice. (Hrádek & Kuřík, 2008)

$$I_U = \frac{H_{MAX, U} - H_{MIN, U}}{L_U} * 100$$

Rovnice č. 8

I_U	...průměrný sklon údolnice	[%]
$H_{MAX, U}$...maximální nadmořská výška údolnice (na rozvodnici)	[m]
$H_{MIN, U}$...minimální nadmořská výška údolnice (uzavírající profil)	[m]

3.3.2 Geologické a půdní poměry v povodí

Geologické a půdní poměry nepřímo ovlivňují samotný proces odtoku vody z povodí. Rozdělují odtok na povrchový a podpovrchový. Dobře propustnými horninami se povrchová voda vsakuje do spodních horizontů a tím se v těchto povodích snižují kulminační průtoky v tocích. V období dlouhého sucha se vyznačují vyššími minimálními průtoky. (Hrádek & Kuřík, 2008) Povodí s nepropustnými nebo málo propustnými vrstvami podloží se při stejných klimatických podmínkách jeví jako méně vodné. V případě přesného stanovení geologických podmínek je nutné provést geologický průzkum, což je velmi nákladné, a proto se tyto podmínky stanovují z podrobných

geologických map. Ve studiích ekologického či vodohospodářského charakteru je nesmíme opomenout popsat. Půdní poměry vycházejí z geologického podloží a rozhodují o množství a intenzitě vsaku vody spadlé ze srážek a tím mají veliký vliv na časové a plošné rozdělení odtoku. (Pokorná & Zábranská, 2007)

Podpovrchové vody se vytvářejí infiltrací vody, spadlé ze srážek, pod zemský povrch. (Dub & kol., 1969) Podle propustnosti povrchové vody do spodních vrstev horizontu se horniny rozdělují do třech skupin. (Pokorná & Zábranská, 2007)

- Propustné horniny jsou pórovité vyvřeliny, rozrušené a zkrasovatělé horniny, vápence, dolomity, úlomkovité sedimenty, vložky štěrku a písku v nepropustných sedimentech, náplavy apod.

- Polopropustné horniny - mezi ně se řadí jemně rozrušené vápence, slepence, spraše, hlinité písky, pískovce apod.

- Nepropustné horniny - jedná se o celistvé neporušené horniny jako jsou žuly, nerozrušené vápence, jílovité břidlice, diabasy, porfyry, syenity, znělce, krystalické břidlice apod.

Z hlediska propouštění vody do spodních vrstev je kromě propustnosti hornin také důležitý sklon těchto vrstev. (Hrádek & Kuřík, 2008)

Podpovrchová voda je voda vsáklá pod zemský povrch, kde se nalézá ve všech formách a skupenstvích. Podzemní voda vyplňuje dutiny zvodnělých hornin v podzemí a zpravidla vytváří zvodnělou hladinu, které se také říká nasycené prostředí. Podzemní voda je v maximální míře také zásobárna pitné vody a zdrojem vodnosti řek. (Pokorná & Zábranská, 2007) O množství vody, která se prosákne do spodních vrstev rozhodují i půdní poměry. Na intenzitě a množství vsáklé vody má vliv půdní druh, struktura vrchního horizontu, propustnost a vlhkost půdy. Bezstrukturní půdy vytváří na svém povrchu škraloup, který zabraňuje vsakování vody do půdy. Půdy s hrudkami a drobovitou strukturou mají lepší potenciál pro vsak vody z přívalových dešťů. Půdy s dobrou strukturou akumulují vodu a pomalým odtokem dotují vodní zdroje v období sucha. (Hrádek & Kuřík, 2008) Spodní voda, která je bohatá

na rozpuštěné látky, může způsobovat zasolení půdy. Podzemní voda velmi ovlivňuje vláhové poměry v půdě. Vysoký obsah vody v půdě vede k fyzikálně-chemickým změnám půdy. Podle ovlhčení půdy při genezi hovoříme o půdách, které lze zařadit podle stupně vlhkosti na tři kategorie. A to na anhydromorfní, semihydromorfní a hydromorfní. (Tomášek, 2007) Půdní voda je důležitá pro transport rozpuštěných minerálů v půdním prostředí. Rozpuštěné látky v půdní vodě jsou důležité pro výživu a růst rostlin. (Pavlásek, Jačka, 2014) Pro podzemní zásobu vody jsou geologické poměry významné. Zjištění geologických poměrů je důležité především na velkých povodích, kde má podzemní odtok velký vliv na celkovou hydrologickou bilanci. (Hrádek & Kuřík, 2008)

3.3.3 Rostlinná pokrývka povodí

Vegetační kryt má vliv na odtok vody z povodí. Rostlinná pokrývka zachytí množství srážek na tělech rostlin (intercepce), ovlivňuje výpar z vegetace a půdy (evapotranspirace). Rostlinná pokrývka reguluje množství vody vsáklé do půdy, rychlost odtoku povrchové vody po svazích apod., takže předurčuje a příznivě ovlivňuje proces odtoku vody z povodí. Navíc vegetační pokryv chrání půdu před erozí. (Kemel, 1996) K zjištění zastoupení a umístění zalesněných ploch, ploch polí a luk apod., využíváme topografické, fenologické a lesnické mapy. Důležité faktory jsou rozloha, stáří a druhová skladba porostu. (Kemel & Kolář, 1980) Zastoupení druhů v povodí se převážně vyjadřuje v % k celkové ploše povodí. (Hrádek & Kuřík, 2008) Zdravý, vyspělý, smíšený les se správným zastoupením dřevin, který má správnou tloušťku humusu, je schopen zachytit velké množství povrchové vody. Tuto vodu akumulovat a se zpožděním postupně tok touto vodou zásobovat. Tento typ lesa je hydrology všeobecně uznáván jako les, který má regulující vliv na odtokový proces. (Pokorná & Zábranská, 2007) Průběh povodňové vlny je většinou příznivější v zalesněném povodí nežli v oblastech nezalesněných. V případě částečně zalesněné oblasti značně záleží, v jaké části povodí je les situován. Při špatném umístění zalesněné oblasti v povodí může být vliv lesa na kulminační průtok nepříznivý. K nepříznivému odtoku může dojít v období jarního tání, kdy je les situován do spodní části povodí. V tomto lese dochází k zastínění sněhových zásob před slunečním zářením,

čímž se zpožďuje tání sněhu a v případě “příznivých“ okolností se mohou střetávat odtoky z horní nezalesněné a spodní zalesněné oblasti. Výsledkem jsou vysoké kulminační průtoky v profilech, které se nacházejí pod těmito oblastmi. (Kemel, 1996) Část srážek, která se nedostane na povrch půdy a je zadržena na rostlinách a předmětech v povodí se nazývá intercepce. Tato voda je poutána povrchovým napětím na povrchu rostliny a předmětů. Po skončení deště se z ploch listů vypaří, případně může být za určitých podmínek přijímána i povrchem rostlin. Velikost intercepce se vyjadřuje v *mm* a je závislá na formě a charakteru deště, faktorech ovlivňujících výpar a vegetačním stadiu rostlin. Potenciální intercepce je maximální množství, které dokáže vegetační kryt zadržet. Potenciální intercepce bývá dosažena krátce po začátku deště. Největší potenciální intercepce mají jehličnaté stromy, až 60 % objemu spadlého deště. (Hrádek & Kuřík, 2008)

3.3.4 Akumulace vody v jezerech, nádržích a bažinách

Akumulace vody v povodí ovlivňuje hydrologickou bilanci a průběh povrchového odtoku. K akumulaci vody na povrchu dochází v prohlubních, brázdách, nádržích, jezerech a bažinách. Voda se v povrchových depresích v průběhu deště zadržuje, částečně infiltruje do půdy a po dešti se vypařuje do ovzduší. Množství vody, které se zadrží na povrchu, je závislé na charakteru tohoto povrchu a sklonu svahů. V případě zadržení vody na polích je důležité, jak je pole obděláváno. Zda je povrch bez brázd nebo povrch s brázdami po vrstevnici. Orba po vrstevnici (brázdy po vrstevnici) akumuluje poměrně velké množství vody. Se vzrůstajícím sklonem objem akumulace v povrchových depresích klesá. V empirických vzorcích pro výpočet povrchového odtoku se uvažuje závislost na využití pozemku a způsobu obhospodařování. (Hrádek & Kuřík, 2008)

Vodní nádrže mají přírodní nebo umělý charakter, dělí se na průtočné a neprůtočné. Z hydrologického hlediska mají také svůj význam v akumulaci vody v povodí. Vodní nádrže zachytí část vody a regulují tím průtok ve vodním toku. Vodní nádrže příznivě ovlivňují kulminační průtok, který díky své retenci sníží a posunou v čase. Vodní nádrže regulují průtok v době povodní, kdy akumuluji vodu, kterou v době sucha musí vypouštět. Díky tomu mají vodní toky stabilnější průtoky. (Kemel, 1996) Vodní nádrže také

vytvářejí mikroklima, které příznivě ovlivňuje okolí těchto nádrží. Velké nádrže ovlivňují klima celé přilehlé oblasti. Velikost nádrže má nepochybně vliv na regulující účinek. Z hlediska regulačního účinku je důležité, zda je nádrž na horním toku nebo v dolní části povodí, kde má větší ochranou funkci. (Kemel & Kolář, 1980)

Součinitel jezernatosti dává informace o charakteru povodí a o hydrologickém významu existujících nádrží na povodí. (Kemel & Kolář, 1980)

$$K = \frac{\sum f}{F}$$

Rovnice č. 9

K	...součinitel jezernatosti	
F	...Celková plocha povodí	[km ²]
f	...součet ploch jezer a nádrží	[km ²]

Bažiny mají podobný režim odtoku jako vodní nádrže. Bažiny jsou schopné pojmout velké množství vody. Za normálních okolností touto vodou dotují tok, ale v oblastech suchého klimatu působí nepříznivě. To díky tomu, že podobně jako houba vodu vážou a neuvolňují. Nevýhoda je také ztráta výparem, která je větší než u vodních nádrží a jezer. (Hubačiková, 2002)

3.3.5 Klima v povodí

Srážky

Mezi klimatické činitele v povodí patří srážky, vlhkost vzduchu, druh a velikost výparu. Pro hydrologickou studii potřebujeme především znát druh, množství, časové a prostorové rozložení srážek. Atmosférická voda je veškerá voda obsažená v ovzduší, a to ve všech skupenstvích (pevné, kapalné, plynné). (Hubačiková, 2002) V první řadě se srážky dělí podle skupenství na kapalné (déšť, rosa) a pevné (sníh, kroupy). Srážky vznikají kondenzací (přeměna skupenství plynného v kapalné) nebo desublimací (přeměna skupenství plynného v pevné) v atmosféře. (Tamassy & kol., 1965) Vzhledem k tomu, kde srážky vznikly, dělí se na horizontální nebo vertikální. Horizontální srážky vznikají bezprostředně nad povrchem nebo přímo na

povrchu země kondenzací vodních par. Horizontální srážky jsou mlha, rosa, jinovatka či námraza. Vertikální srážky vznikají ve volné atmosféře a padají gravitační silou na zemský povrch. Vertikální srážky jsou déšť, kroupy, sníh. Při hydrologické studii jsou důležité vertikální srážky. Množství horizontálních srážek je oproti vertikálním srážkám zanedbatelná a má význam pouze ve velmi suchých (aridních) oblastech nebo v zemědělství. (Hubačíková, 2002) Množství srážek, které spadly na zem vyjadřujeme výškou vrstvy vody v mm. Množství pevných srážek se posuzuje stejně, jen se bere výška sloupce přeměněné vody. Délka deště neboli trvání deště se uvádí v minutách. Podíl těchto dvou charakteristik je intenzita deště. Intenzita deště je výška deště spadlá za časovou jednotku. Podle původu vzniku dešťů, který poměrně dobře určuje jejich charakter, rozeznáváme deště z tepla, deště orografické, deště cyklonální apod. Charakter deště má významný vliv na odtok z povodí, proto jim v hydrologii věnujeme velkou pozornost. Pro hydrologii je důležité pečlivé měření srážek. Pro posouzení deště je důležité znát jeho časové a prostorové rozložení, které zjišťujeme měřením. (Dub & kol., 1969)

Teplota vzduchu

Teplota ovzduší v povodí závisí na množství a intenzitě slunečního záření a charakteru zemského povrchu. Zemský povrch je ohříván slunečním zářením. Vzduch se ohřívá teplem, který vyzařuje zemský povrch, a to z toho důvodu, že vzduch nedokáže zachytit krátkovlnné sluneční záření. Vzduch ohřeje až dlouhovlnné záření, které vyzařuje ohřátý zemský povrch. Teplota vzduchu ovlivňuje pohyb vzduchu, jak vzestupné, tak sestupné proudy. Změna teploty vzduchu je přibližně 1 °C na 100m výšky. (Hrádek & Kuřík, 2008)

Albedo je poměr mezi množstvím odraženého tepelného záření k množství dopadajícímu záření. Hodnoty albeda se liší podle toho, co se nachází na zemském povrchu. (Hrádek & Kuřík, 2008)

Tlak vzduchu je vyvolaný jeho tíhou, která působí na veškeré předměty, jenž se nacházejí v atmosféře. Tlak vzduchu se vyjadřuje v pascálech. (Hrádek & Kuřík, 2008)

Výpar

Výpar neboli evaporace je proces, kdy dochází k přeměně z pevného nebo kapalného skupenství na plynné. Výpar je voda vyjádřená objemem nebo výškou, která se vypaří z určité plochy za určitý časový interval. (Hrádek & Kuřík, 2008) K výparu dochází z volné vodní hladiny, z holé půdy, ze zarostlé vodní hladiny, z půdy porostlé vegetací a z povrchu rostlin. Výpar je celkové množství vypařené vody. Transpirace je množství odpařené vody, zachycené na povrchu rostlin a odebrané z půdy kořenovým systémem. Transpirace je neodmyslitelná vlastnost rostlin. (Hubačíková, 2002) Stanovení výparu z vodní hladiny se provádí přímým měřením výparoměry. Výpar se může i vypočítat z vodní bilance nádrže. (Dub & Němec a kol., 1969) Z pevného skupenství (ledu či sněhu) dochází k přeměně do plynné fáze přímo (sublimace). Nejvyšší výpar je u sněhu při teplotách blízkých 0 °C okolního vzduchu. Ve většině případů je výpar z ledu větší než výpar ze sněhu. (Krešl, 2001).

3.3.6 Antropogenní činnost v povodí

Antropogenní činností se rozumí zásahy člověka do přirozeného povodí, které slouží k využití přírodních zdrojů pro uspokojování potřeb společnosti. V důsledku technických zásahů se mění přirozená geografie prostředí na antropogenizovanou (umělou). (Hrádek & Kuřík, 2008) Antropogenní činností člověka dochází ke změně povrchového odtoku a celkové hydrologické bilance. Na tyto změny má vliv zemědělství, lesní hospodářství, výstavba cest, budování měst a sídlišť, dobývání nerostných surovin apod. Člověk odvodňuje dosud zatopené plochy, upravuje směry toků, buduje umělé kanály. Tyto jednotlivé činnosti urychlují odtok vody z krajiny a tím vzniká negativní účinek na povodí. Tento účinek se zvláště projevuje v době sucha, kdy voda spadlá na povrch rychle z povodí odteče a nedochází k její retenci. (Dub & kol., 1969) Veškeré úpravy v povodí musejí být prováděny komplexně. Jedině správná organizace činností na povodí jako jsou pozemkové úpravy, meliorační zásahy, obnova a ochrana lesních porostů, ochrana vodních zdrojů, zemědělská činnost apod, povede k příznivějšímu vlivu oběhu vody v přírodě. Technické zásahy člověka, které nepříznivě ovlivňují prostředí, by se měly v maximální míře omezit. (Hrádek & Kuřík,

2008) Povinností vodohospodářského inženýra je, aby všechny vlivy na životní prostředí pečlivě zvážil. Aby negativní vliv na prostředí eliminoval a využil příznivá opatření pro životní prostředí a trvale udržitelnou krajinu. (Dub & kol., 1969)

3.4 Maximální průtok na povodí

3.4.1 Základní pojmy

Krátký a intenzivní déšť může na povodí vyvolat povodňovou vlnu, a to za předpokladu příznivého působení faktorů ovlivňujících povrchový odtok. Dopadem je rychlé zvyšování průtoku a s tím spojený vzestup vodní hladiny. Vzestup hladiny může být také způsoben ucpáním koryta toku nebo propustku na vodním toku. Povodňová vlna vzniká v případě dosažení mimořádného kulminačního průtoku. Jedná se o povodňovou vlnu s charakterem povodně. (Pokorná & Zábranská, 2007)

Průtoková vlna je prudký nárůst průtoku a následný pokles, který je vyvolaný deštěm, táním sněhu, popřípadě umělým zásahem (rychlé upouštění přehrad apod.) (Hrádek & Kuřík, 2008)

Povodeň je výrazné zvýšení vodní hladiny toku, které je důsledkem zvýšení průtoku nebo dočasným ucpáním koryta toku. Povodně rozeznáváme dešťové, sněhové a smíšené. Povodeň zpravidla způsobuje hospodářské škody. (Pokorná & Zábranská, 2007)

Povodňová vlna je charakterizována objemem, kulminačním průtokem, tvarem hydrogramu. Objem průtokové vlny je objem vody, který proteče zkoumaným profilem od začátku do konce povodňové vlny. (Pokorná & Zábranská, 2007)

N-letý průtok je určený kulminačním průtokem, který byl dosažen nebo překročen v dlouhodobém průměru pozorování jednou za N-let. N-letý průtok se značí Q_N a udává se v m^3/s . (Hrádek & Kuřík, 2008). Nejobjektivnější způsob, jak vyhodnotit kulminační průtok, udává matematická statistika. Matematická statistika hodnotí, s jakou pravděpodobností lze očekávat dosažení nebo překročení kulminačního průtoku. Například stoletý průtok se nemusí vyskytnout ani jednou za sto let, ale může se během sto let vyskytnout třeba dvakrát. Matematická statistika říká, že se v dlouhodobém průměru

vyskytne jednou za sto let, což znamená, že stoletý průtok nastane v průměru desetkrát během tisíce let. Český hydrometeorologický ústav určuje Q_N průtoky pro dobu opakování 1, 2, 5, 10, 20, 50 a 100 let. Projektant pak podle úvahy a předpisů vybírá dobu opakování pro správné dimenzování vodních staveb. (Pokorná & Zábranská, 2007)

3.4.2 Odvozování N-letých průtoků

V případě drobných vodních toků se odvození charakteristik N-letých průtoků stanovuje obtížně. Důvodem je, že nejsou k dispozici dostatečně dlouhé řady pozorování srážek a jimi vyvolané průtoky, které umožňují odvození N-letých průtoků. U drobných povodí se proto využívá nepřímé metody stanovení N-letých průtoků: empirické vzorce, metoda čísel odtokových křivek (CN), metoda jednotkového hydrogramu, hydrologické modely a regionální regresní analýza. (Hrádek & Kuřík, 2008)

Výběr vhodné metody pro výpočet se odvíjí od velikosti plochy povodí. Povodí se dle velikosti dělí na velmi malá, malá a velká. Jednotlivé kategorie nemají jednoznačně určenou velikost. Velmi malé povodí mívá výrazněji vyvinut pouze tok v údolnici. Maximální odtok tvoří především svahový odtok. Malé povodí je povodí malých vodních toků. Kulminační průtoky jsou vyvolány přívalovými dešti, které většinou zasáhnou celé povodí. Jejich charakteristickým znakem je malá rozvinutost říční sítě. Hranice mezi malým a velkým povodím je někdy označována jako maximální plocha, která může být zasažena přívalovým deštěm. Ovšem přibližná hranice mezi malým a velkým povodím se většinou udává 5 km². Velká povodí mají vyvinutou říční síť, hlavní tok má významné přítoky. Srážky povětšinou nezasahují celé území. U velkých toků se průtoky měří přímo ve vodoměrných stanicích. Může se využít i nepřímých metod jako je metoda jednotkového hydrogramu, hydrologické modely nebo regionální regresní analýza. (Hrádek & Kuřík, 2008)

3.4.3 Empirické vzorce

Výběr vhodného vzorce pro výpočet Q_{max} , je velmi obtížný. Při výběru je nutné zvážit rozsah jeho platnosti. Vliv na výběr vzorce má regionální oblast, velikost povodí, charakter povodí apod. Je nutné správně ohodnotit

povrchový odtok v povodí. V odborné literatuře je uváděno mnoho vzorců pro výpočet Q_{\max} . Používají se tři základní typy empirických vzorců, které mají velké množství úprav. (Hrádek & Kuřík, 2008)

Základní typy empirických vzorců: *Vzorce oblastní (regionální)*

Vzorce objemové

Vzorce intenzivního typu

Vzorce oblastní (regionální)

Oblastní vzorce vyjadřují vztah maximálního specifického průtoku na ploše povodí. Se zvětšující se plochou povodí narůstá kritická doba deště a v tomto důsledku klesá jeho intenzita. (Kemel, 1996) Oblastní vzorce dle Hrádek & Kuřík, 2008.

$$Q_N = A \times F^{1-n}$$

Rovnice č. 10

$$q_N = \frac{Q_N}{F} = A \times F^{-n}$$

Rovnice č. 11

Q_N	...maximální průtok	$[m^3 \times s^{-1}]$
q_N	...maximální specifický průtok	$[m^3 \times s^{-1} \times km^{-2}]$
F	...plocha povodí	$[km^2]$
A, n	...oblastní parametry	$[-]$

Vzorec byl upraven pro velmi malá povodí na tvar:

$$Q_N = A \times (F + c)^{1-n}$$

Rovnice č. 12

c	...opravný součinitel	$[-]$
-----	-----------------------	-------

Hodnoty parametrů A , n byly odvozeny pro jednotlivé části ČR a SR, uvedené v příloze č. 1. Platnost parametrů je doporučena pro dobu opakování sto let. Pro parametr c nebyly publikovány spolehlivé podklady. (Hrádek & Kuřík, 2008)

3.4.4 Vzorce objemové

Výpočet kulminačního průtoku vychází z odhadu objemu povodňové vlny a tvaru hydrogramu. Tvar povodňové vlny se schematicky převede na tvar trojúhelníka, pomocí vzorce se vypočítá objem povodňové vlny, ze které vychází kulminační průtok při povodni. (Dub & kol., 1969) Obecný tvar objemového vzorce má řadu úprav. Autoři přidávali do vzorce upřesňující parametry pro přesnější výsledek. Mezi dva základní objemové vzorce, které se v České republice užívají patří vzorec dle Sokolovského a Čerkašinův vzorec. (Hrádek & Kuřík, 2008)

Vzorec dle Sokolovského (1946) (Hrádek & Kuřík, 2008)

$$Q_N = \frac{k \times H_{s,N} \times \varphi \times F}{t_k} \times f$$

Rovnice č. 13

Q_N	...maximální N-letý průtok	$[m^3 \times s^{-1}]$
$H_{s,N}$...výška výpočtového deště, doby trvání td, doby opakování N [mm]	
φ	...objemový součinitel odtoku	[-]
F	...plocha povodí	$[km^2]$
t_k	...doba koncentrace	[h]
f	...součinitel tvaru povodňové vlny	[-]
$f = n_h = 0,6$		[-]
$k = 0,28$...rozměrový součinitel	[-]

Parametry Sokolovského vzorce

Doba koncentrace

$$t_k = \frac{L}{3,6 \times v}$$

Rovnice č. 14

t_k	...doba koncentrace	[h]
L	...délka údolnice	[km]

v ...průměrná rychlost stékání vody v povodí [$m \times s^{-1}$]

V tabulce jsou uvedeny doporučené hodnoty pro výběr vhodné rychlosti stékání vody v povodí.

Charakter povodí	rovinné	slabě členité	kopcovité	podhorské	horské
	střední sklon svahu [%]				
	0,5	2	5	10	30
močálovité	0,07	0,15	0,3	-	-
zalesněné	0,12	0,2	0,5	0,8	1,2
travnaté pastviny	0,2	0,5	0,8	1,2	2,0
pozvolné údolí	0,4	0,7	1,0	1,6	2,5
strmé údolí	-	-	1,2	2,2	4,0
skalnaté prudké svahy	-	-	-	3,0	5,0

Tabulka 1 – Průměrná rychlost stékání vody v povodí (Dub & kol., 1969)

Doba trvání výpočtového deště

$$t_d = t_k \times (t_k + 1)^{-0,20}$$

Rovnice č. 15

t_d ...doba trvání výpočtového deště [h]

t_k ...doba koncentrace [h]

Náhradní intenzita deště

Němec odvodil z materiálů Trupla závislost náhradní intenzity přívalového deště na době trvání deště a pravděpodobnostní opakování. Náhradní intenzita výpočtového deště se počítá buď podle Němce (*Vzorce intenzivního typu*) nebo metodou redukce maximálních 1- denních srážkových úhrnů. (Hrádek & Kuřík, 2008)

Náhradní intenzitu přívalového deště lze také vypočítat dle analytického vztahu Čerkašina: (Ředinová & kol., 2009)

$$i_{100} = 14,5 \times t_d^{-2/3}$$

Rovnice č. 16

t_d ...doba trvání výpočtového deště [min]

Výška výpočtového deště se poté spočítá ze vzorce

$$H_{s,N} = t_d \times i_N$$

Rovnice č. 17

$H_{s,N}$...výška výpočtového deště	[mm]
i_N	...náhradní intenzita přivalového deště	[mm x min ⁻¹]
t_d	...doba trvání výpočtového deště	[min]

Čerkašinův vzorec (1963) (Dub & kol., 1969)

Čerkašinův vzorec se využívá při výpočtu maximálního odtoku z povodí do velikosti povodí 300km².

$$Q_{\max} = \frac{24,7 \times C_{\text{obj}} \times \sqrt[3]{v^2 \times S_p}}{p \times \sqrt[3]{L^2}}$$

Rovnice č. 18

Q_{\max}	...maximální stoletý průtok	[m ³ x s ⁻¹]
C_{obj}	...objemový součinitel	[-]
v	...průměrná rychlost dobíhání	[m x s ⁻¹]
p	...součinitel závislý na tvaru povodí	[-]
L	...délka údolí	[km]
S_p	...plocha povodí	[km ²]

Parametry Čerkašinova vzorce

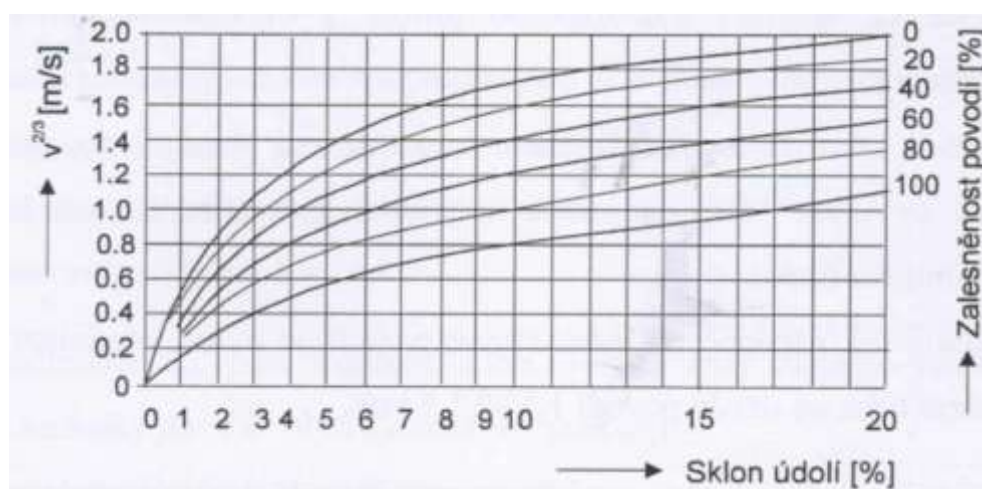
Objemový součinitel

Objemový součinitel se odvodí z mapy izolinií, dle metody CN či pomocí výpočtu, díky známé velikosti infiltrace a retence příslušného povodí. V případě, že se v povodí vyskytují rybníky, zmenšuje se součinitel odtoku o

$\frac{1}{2}$ až $\frac{1}{3}$. Obdobně se postupuje v případě propustného podloží. (Kemel, 1996)

Průměrná rychlost dobíhání vody v povodí

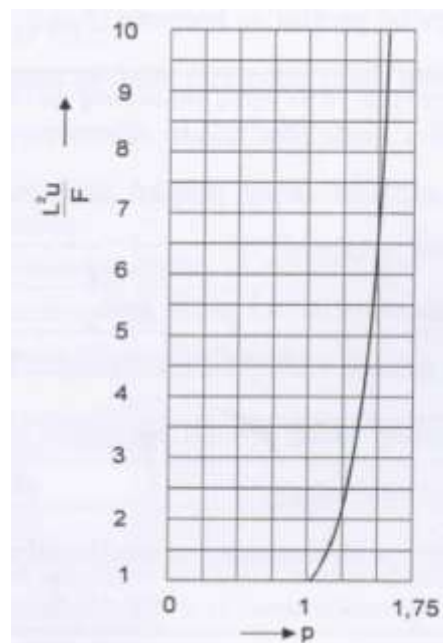
Průměrná rychlost dobíhání závisí na průměrném sklonu údolí a zalesněnosti povodí. Hodnota se odečítá z *grafu č. 1*. Hodnoty uvedené v grafu se využívají spíše pro velká povodí s vyvinutým tokem. Pro malá povodí se spíše využívá *tabulka č. 1*. (Hrádek & Kuřík, 2008)



Graf 1 – Průměrná rychlost dobíhání vody v povodí (Hrádek & Kuřík, 2008)

Koeficient tvaru povodí

Koeficient tvaru povodí vyjadřuje závislost Q_{max} na tvaru povodí a odečte se z *grafu č. 2*. Pro odečtení je nutné znát součinitel tvaru povodí, který je vyjádřený podílem délky údolnice a plochy povodí.



Graf 2 – Vliv tvaru povodí na Q_{100} (Hrádek & Kuřík, 2008)

3.4.5 Vzorce intenzivního typu dle Hrádek & Kuřík, 2008

Vzorce intenzivního typu se ve vodohospodářské praxi využívají při dimenzování kanalizačních sítí. (Čížek, 1957)

$$Q_N = k \times i_N \times C_N \times F$$

Rovnice č. 19

Q_N	...N-letý maximální průtok	$[m^3 \times s^{-1}]$
i_N	...náhradní intenzita výpočtového deště zvolené doby trvání a periodicita [mm x min ⁻¹]	
F	...plocha sběrné plochy (povodí)	$[km^2]$
C_N	...vrcholový součinitel odtoku	[-]
K	...rozměrový součinitel, $k = 16,67$	[-]

Parametry intenzivního vzorce

Vrcholový součinitel odtoku

Hodnoty vrcholového součinitele odtoku se odečtou z tabulky příloha č. 2. Hodnoty byly předepsány vyhláškou ministerstva techniky v roce 1950 a do dnešní doby se stále využívají a jsou platné. (Hrádek & Kuřík, 2008)

Náhradní intenzita výpočtového deště

Němec odvodil z materiálů Trupla závislost náhradní intenzity přívalového deště na době trvání deště a pravděpodobnosti opakování. Platí pro stanovení intenzity přívalového deště na vybrané stanice povodí Labe. Při stanovení deště, který není v blízkosti stanice, využívá se aritmetického průměru tří nejbližších stanic. Parametry pro výpočet příloha č. 3. (Hrádek & Kuřík, 2008)

$$i_N = \frac{(a \times \log t + b) \times N^c}{t}$$

Rovnice č. 20

i_N	...náhradní intenzita přívalového deště pravděpodobnosti opakování 1x za N let [mm x min ⁻¹]	
a, b, c	...parametry pro příslušnou srážkoměrnou stanici	[-]

t	...doba trvání deště	[min]
N	...pravděpodobnost opakování deště	[roky]

Určení kulminačních průtoků s dobou opakování menší než sto let

Určení průtoků s periodicitou opakování méně než sto let v nepozorovaných profilech lze řešit díky poznatkům Bratránka, Duba, Čermáka. Statistickou analýzou kulminačních průtoků podle typu povodí se určí součinitel a_N .

$$a_N = \frac{Q_N}{Q_{100}}$$

Rovnice č. 21

Užívá se pro zjištění průtoků, který je menší než sto letý průtok. Nejdříve zařadíme zkoumaný tok dle tabulky *příloha č. 4*, ze které odečteme hodnotu a_N . Průtok Q_{100} vypočítáme dle předchozích vzorců (Čerkašina, Sokolovského, objemové vzorce, apod.). Příslušné Q_N dopočítáme z rovnice č. 20. (Kemel, 1996)

Metoda čísel odtokových křivek – CN (Kemel, 1996)

Metoda čísel odtokových křivek - CN (Curve Number Method) byla zavedena v Americe službou pro ochranu půd. (Hrádek & Kuřík, 2008) Jedná se o model vhodný pro odvození povrchového přímého odtoku způsobený přívalovým deštěm na povodí o velikosti od 5 do 10 km². Vstupy do modelu jsou jednoduše dosažitelné. Přímý odtok je odtok povrchový a hypodermický. Čísla odtokových křivek – CN hodnotí podíl hypodermického a povrchového odtoku. Hypodermický odtok nastává tehdy, když se voda infiltruje jen do malé hloubky a voda vyvěrá zpět na povrch. Základní odtok je takový, kdy se voda infiltruje až k hladině podzemní vody. Základní odtok se vyskytuje jen zřídka a dochází k němu po delší době a většinou nemá vliv na velikost povodňové vlny. Čím je číslo CN vyšší, tím je pravděpodobnější, že dochází k odtoku povrchovému. Základním vstupem pro výpočet objemu odtoku pomocí metody CN je srážkový úhrn. Výpočet počítá s tím, že odtok začíná po počáteční ztrátě, která byla stanovena na 20% potenciální retence půdy. (Janeček, 2008)

Počáteční ztráta

$$I_A = 0,2 \times A$$

Rovnice č. 22

I_A ...počáteční ztráta [mm]

A ...potenciální retence [mm]

Výška přímého odtoku

$$H_O = \frac{(H_S - 0,2 \times A)^2}{(H_S + 0,8 \times A)}$$

Rovnice č. 23

H_O ...přímí odtok [mm]

H_S ...úhrn návrhového deště [mm]

A ...potenciální retence [mm]

Potenciální retence

$$A = 25,4 \times \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

Rovnice č. 24

A ...potenciální retence [mm]

CN ...čísla odtokových křivek

Objem přímého odtoku

$$O_{pH} = 1000 \times P_p \times H_O$$

Rovnice č. 25

O_{pH} ...objem přímého odtoku [m³]

P_p ...plocha povodí [km²]

H_O ...přímý odtok [mm]

Pro odhad přímého odtoku lze využít N-leté jednodenní srážkové úhrny. Tyto srážkové úhrny mají podobný úhrn srážek, jako přívalové deště, které převážně způsobují erozi půdy. (Hrádek & Kuřík, 2008)

Určení čísel odtokových CN křivek podle:

Hydrologických vlastností půd

Hydrologické vlastnosti půd se dělí na 4 skupiny označené: A, B, C, D. Pro přibližné zařazení půdy do hydrologické skupiny lze využít kód BPEJ. Pomocí tabulky *příloha č. 5* a druhého a třetího čísla BPEJ můžeme přibližně zařadit půdu do hydrologické skupiny. (Hrádek & Kuřík, 2008)

Vlhkost půdy

Vlhkost půdy se určuje pomocí IPS neboli indexu předchozích srážek, který se dělí do třech skupin podle nasycenosti půdy. IPS I. skupina obsahuje takový obsah vody, který umožňuje uspokojivé obdělávání zemědělské půdy. Oproti tomu IPS III. skupina odpovídá půdě, která je přesycena vodou. IPS II. je střední nasycení půdy vodou a využívá se pro návrhové účely. Tabulka pro určení IPS je *příloha č. 6*. (Hrádek & Kuřík, 2008)

Využití půdy

Určuje se na základě využití zemědělské půdy, zda se využívají protierozní opatření, jaký je způsob obdělávání půdy a jaký vegetační pokryv se na zemědělském pozemku vyskytuje. Tabulka pro určení *příloha č. 6*. (Janeček & kol., 2008)

3.4.6 Matematické modely

Matematické modelování hydrologických procesů

Při matematickém modelování hydrologických procesů v povodí musíme předpokládat jistou aproximaci kvantitativních charakteristik. Charakteristiky, které nemají vliv na změnu modelu, se úplně zanedbávají. Pomocí matematického modelování chceme vyjádřit vztah časové a prostorové závislosti veličin. Matematické modelování se využívá pro modelování hydrologických situací, což slouží k prognózám a k návrhovým účelům. Nejvíce používanými matematickými modely jsou modely založené

na deterministických principech. Tyto modely využívají dvou základních přístupů: komponentní modelování a konceptuální modelování (Hrádek & Kuřík, 2008). Matematické modely přeměňují fyzikální procesy v povodí na vstupní data, které přemění na výstupní veličiny. Výstupní veličiny se dále využívají. (Kulhavý & Kovář, 2000)

Matematický model DesQ – MAXQ

Hydraulický model byl odvozen prof. Hrádkem. Využívá se na malých nepozorovaných povodích pro odvození N letých průtoků (Jeníček, 2011). Využívá hydrologicko-hydraulické závislosti odtoku povrchové vody ze svahu. Model se využívá na malých nevyvinutých povodích pro výpočet maximálního průtoku v údolnici a také pro výpočet objemu povodňové vlny, které jsou vyvolané dešti za dané doby a příslušného úhrnu. Pro rozvinutá povodí se využívá kombinace modelu DesQ – MAXQ pro výpočet maximálního průtoku v kombinaci s modely, které počítají neustálené proudění v toku – např. HEC – RAS (Hrádek & Kuřík, 2001).

4 Metodika

Pro správné vypracování bakalářské práce bylo nutné vyhledat a nastudovat odbornou literaturu, která se zabývá příslušnou problematikou. Důležité bylo také vybrat vhodný tok, který bude splňovat podmínky pro matematické výpočty popsané v nastudované literatuře.

Obchůzkou v terénu bylo nutné zjistit aktuální stav povodí. Pořídit fotodokumentaci významných míst a staveb na vodním toku. Pomocí dronu byly vyfoceny zaniklé i funkční vodní nádrže z ptáčích perspektivy.

Pro vytvoření digitálního modelu reliéfu bylo potřeba získat podklady od Českého úřadu zeměměřického a katastrálního. Od Českého hydrometeorologického úřadu bylo nutné získat hydrologická data pro zájmové povodí, aby se vypočtené N – leté průtoky mohly zkontrolovat a spočítat odchylky jednotlivých typů výpočtů N – letých průtoků.

Pomocí programu ArcisGIS byl vytvořen digitální model terénu, z něhož vychází většina mapových podkladů. Z tohoto programu byly odvozeny hydrologické charakteristiky povodí. Hydrologické charakteristiky byly využity při výpočtech pomocí empirických vzorců a při výpočtu N-letých průtoků pomocí hydrologického modelu DesQ - MAXQ, ale také při geometrické a orografické charakteristice povodí. Jednotlivé výsledky byly nakonec porovnány s daty od ČHMÚ.

Vzhledem k situaci rozložení vodních toků v povodí a lepším výsledkům při výpočtech bylo povodí rozděleno na povodí toku Křenovka a Ještěrného potoka *obrázek č. 6*. Hydrologické charakteristiky budou odvozeny pro jednotlivá povodí zvlášť. Výpočet N-letých průtoků pomocí hydrologického modelu bude proveden také pro obě povodí zvlášť a výsledné průtoky budou sečteny a porovnány s N-letými průtoky, které poskytl ČHMÚ. Při obchůzce v terénu a kontrole pomocí ortofoto mapy jsem usoudil, že bude lepší zvolit si jako hlavní tok v povodí Křenovky bezejmenný tok. Tento bezejmenný tok pramení nad vesnicí Krupá, viz *obrázek č. 6*.

5 Zpracování zájmové lokality

5.1 Popis a charakteristika povodí

Vodní tok Křenovka se nalézá na Kutnohorsku ve Středočeském kraji. Jeho počátek je asi pět kilometrů jižně od Kutné Hory v části Křesetic zvané Bykáneč. Jako pramen by se dal označit malý nebeský rybník, který leží při západním okraji vesnice. Směr toku je převážně severovýchodně od pramene. Vodní tok protéká obcí Křesetice, kde zásobuje vodou dva rybníky Petrovák a Veselovák. V rybníku Veselovák se stéká s Ještěrným potokem, který je jeho největším přítokem. Pod obcí Křesetice je do potoka zaústěna čistička odpadních vod s kapacitou 72 510 m³/rok. (VHS Kutná Hora, 2019). Mezi vesnicemi Perštejnec a Neškaredice je no toku vodní nádrž Neškaredice. Zhruba po jednom kilometru se nachází na toku poslední vodní nádrž Utopenec. Po dalších asi sto metrech se u obce Církvice tok vlévá do řeky Klejnárky. Délka vodního toku Křenovky činí 9,0 km. Plocha povodí je od pramene až po ústí do řeky Klejnárky 20,6 km² (VÚV, 2020). Vzhledem k velikosti povodí jsem pro bakalářskou práci zvolil pouze část povodí. Jako uzavírající profil jsem vybral hráz rybníka Veselovák, který leží na soutoku Křenovky a Ještěrného potoka. Plocha povodí k uzavírajícímu profilu je 7,42km² (ArcGIS). Ještěrný potok pramení asi čtyři kilometry jižně od Křesetic v obci Úmonín. V obci Úmonín protéká skrz zámecký park, kde zásobuje vodou okrasná jezírka. Po opuštění obce Úmonín teče potok asi dva kilometry dlouhým korytem, které prošlo v minulosti nevhodnou regulační úpravou. Potok je v této části napřímen a je tvořen jednoduchým lichoběžníkovým profilem. Materiál opevnění koryta je kamenná dlažba na cementovou maltu. V obci Chrást je návesní rybníček. Mezi obcemi Chrást a Křesetice je rybník Grauerák, který je vzdálen od rybníka Veselovák asi tři sta metrů.



Obrázek 5 – Umístění povodí Křenovky v rámci ČR (autor, 2020)

5.2 Říční síť v povodí



Obrázek 6 – Rozdělení povodí (autor, 2020)

Číslo hydrologického pořadí povodí potoka Křenovka po soutok s řekou Klejnárkou je 1-04-01-0190-0-00. (ČHMÚ, 2019)

Hustota říční sítě

Hustota říční sítě byla spočítána ze vzorce č. 1.

	Křenovka	Ještěrný	Jednotky
Hustota říční sítě r	1,14	1,01	Km/Km ²

Tabulka 2 - Hustota říční sítě

Řád vodního toku

Dle Strahlera je potok Křenovka rozdělen do několika řádů. Od pramene po rybník Petrovák je tokem 1. řádu. Od rybníku Petrovák po pravostranný bezejmenný přítok, tokem 2. Řádu. Bezejmenný přítok je tokem 1. řádu. Od soutoku s bezejmenným potokem až po ústí do řeky Klejnárky je tokem 3.řádu. Ještěrný potok je po celé své délce tokem 1. řádu. (VÚV, 2020)

5.3 Geometrické charakteristiky povodí

Geometrické charakteristiky povodí Křenovky byly zpracovány pomocí programu ArcGIS a vypočteny dle vzorců, které jsou zpracovány v kapitole 3.2.2. Výsledné hodnoty jsou zapsány v *tabulce č. 3*. Pro zjištění hodnot bylo využito digitálního modelu terénu, pro jehož vytvoření poskytl data Český úřad zeměměřický a katastrální, dále byla použita volně dostupná data.

	Křenovka	Ještěrný	Jednotky
Plocha povodí F (ArcGIS)	3,05	4,37	Km ²
Plocha pravého svahu Fp (ArcGIS)	0,71	1,36	Km ²
Plocha levého svahu FL (ArcGIS)	2,34	3,01	Km ²
Délka hlavního toku L (ArcGIS)	2,04	2,92	Km
Délka údolnice LÚ (ArcGIS)	2,43	4,38	Km
Střední šířka povodí B (rovnice č. 3)	1,25	0,99	Km
Součinitel tvaru povodí α (rovnice č. 4)	0,53	0,23	-
Míra asymetrie a (rovnice č. 5)	0,54	0,38	-

Tabulka 3 – Geometrické charakteristiky povodí

Součinitel tvaru povodí α vyjadřuje, jaký tvar má povodí. Pro hodnotu jedna má tvar čtverce, a čím menší hodnota je, tím je povodí protáhlejší. Pro povodí toku Křenovky je hodnota α 0,53. Tato hodnota značí povodí vějířovitá. Povodí Ještěrného potoka spadá díky hodnotě α 0,23 do povodí tvaru protáhlého, to je vidět na *obrázku č. 6*.

Pokud vodní tok neteče středem povodí, ale blíže k jedné z jeho stran (pravé nebo levé), jedná se o nesymetrické povodí.

Míra asymetrie vyjadřuje asymetrii mezi levou a pravou stranou povodí. Nabývá hodnot od jedné do mínus jedné a čím více se blíží krajním hodnotám, tím více je povodí nesymetrické. To je způsobeno tím, že vodní tok neteče středem povodí. Povodí Křenovky má zhruba třikrát větší levou stranu povodí než pravou stranu povodí. Povodí Ještěrného potok je o něco málo symetričtější, levá strana povodí je dvakrát větší než pravá strana povodí.

5.4 Orografické charakteristiky povodí

Orografické vlastnosti povodí byly zjištěny pomocí programu ArcGis z DMR nebo byly dopočítány pomocí vzorců z kapitoly 3.2.3. Z mapy sklonných poměrů v povodí *příloha č. 8* můžeme odečíst, že se v povodí nacházejí mírné sklony, větší sklony svahů jsou podél údolnice. Výškové poměry v povodí jsou zachyceny na mapě *příloha č. 9*. Na této mapě je vidět, jak se terén pozvolna směrem od uzavírajícího profilu zvedá. Nejnižší nadmořská výška v povodí, a to 286 m n.m., se nachází v místě uzavírajícího profilu a je shodná pro obě dílčí povodí. Nejvyšší bod je v povodí Křenovky v nadmořské výšce 393 m n. m. V povodí Ještěrného potoka je nejvyšší bod o jeden metr níže, tedy ve výšce 392 m n.m. Směr odtoků v povodí převažuje severním směrem dle mapy směry odtoků *příloha č. 10*.

	Křenovka	Ještěrný	Jednotky
Maximální nadmořská výška Hmax (ArcGIS)	393	392	m n. m.
Minimální nadmořská výška Hmin (ArcGIS)	286	286	m n. m.
Průměrná nadmořská výška Hp (ArcGIS)	342	343	m n. m.
Nadmořská výška uzavírajícího profilu (ČHMÚ)	286	286	m n. m.
Maximální nadmořská výška údolnice (ArcGIS)	363	365	m n. m.
Průměrný sklon údolnice lu (rovnice č. 8)	3,16	1,8	%
Absolutní spád údolnice (rovnice č. 6)	107	108	m
Střední sklon pravého břehu (rovnice č. 7)	10,2	8,92	%
Střední sklon levého břehu (rovnice č. 7)	6,99	6,11	%

Tabulka 4 – Orografické charakteristiky povodí

5.5 Geologické a půdní poměry v povodí

5.5.1 Geologické poměry v povodí

Zájmové území se nachází v Českém masívu a spadá do Kutnohorsko-svratecké oblasti. Horniny v Kutnohorsko-svratecké oblasti patří do oblasti vysoké metamorfózy. Kutnohorsko-svratecká oblast je petrograficky pestrá, vyskytují se zde dvojslídne ruly a svory, melakvarcity, amfibolity, erlany, červené ortoruly, migmatity a eklogity. Kutné hoře se říká město stříbra. Ve středověku zde byla velká naleziště stříbrné rudy, která se v celém okolí Kutné Hory těžila. V povodí Křenovky je údolí, které má místní název Doly. Podle legend se i zde ve středověku těžilo stříbro. (Mísař Z. & kol., 1983)

5.5.2 Půdní poměry v povodí

V zájmovém povodí je nejvíce zastoupen půdní typ hnědozem, který se táhne středem povodí, což je patrné na mapě *příloha č. 11*. V okolí pramene Ještěrného potoka se nachází pseudoglej. V nejvyšších místech, která jsou v povodí, přechází hnědozem do kambizemě. V povodí je v malé části zastoupen půdní typ luvizem. V blízkém okolí zájmového povodí se vyskytují černozemě. Půdy v zájmovém povodí a jeho okolí jsou zemědělsky hodnotné. Z tohoto důvodu se zde nevyskytují větší lesní komplexy, ale půda je především využívána pro zemědělskou produkci.

Hnědozem

Hnědozem patří do skupiny půd illimerických, které vytvářel hlavní půdotvorný proces illimerizace. Při něm dochází k přemísťování jílových částíček do hlubších půdních horizontů. Hnědozemě se převážně nachází

v rovinatém či mírně zvlněném terénu. Hnědozemě vznikaly převážně ze spraší, sprašové hlíny nebo smíšené svahoviny pod listnatými lesy. Roční srážkový úhrn je okolo 550 mm a průměrná roční teplota dosahuje 8.5 °C. (Pokorná & Zábranská, 2007)

Pseudoglej

Patří do skupiny hydromorfních půd. Tato skupina půd má hlavní půdotvorný proces oglejení, vedle kterého se uplatňuje illimerizace, která oglejení předchází. Největší zastoupení má okolo 800 m n.m. Typickými substráty jsou sprašové hlíny, hlinité a jílovité ledovcové uloženiny, jíly a odvápněné slínovce. Půdy jsou kyselé. Při zemědělském využití je nutné půdy odvodnit. (Tomášek, 2007)

Kambizem

V České republice se jedná o nejrozšířenější půdní typ. Řadí se do skupiny hnědých půd. Půdy s procesem hnědnutí, přeměny a intenzivním vnitropůdním zvětráváním. Výskyt kambizemě je převážně v pahorkatinách nebo v členitých reliéfech. Původní vegetací byly dubohabrové lesy. Kambizemě se využívají pro pěstování brambor a málo náročných obilovin. Průměrná roční teplota dosahuje 9 °C. (Pokorná & Zábranská, 2007)

Pararendzina

Patří do skupiny půd melanických. Jsou vázány na substráty vápnatých břidlic, pískovců, čedičů a pyroklastik. Půdotvorným procesem je zvětrávání a humifikace. Rozšíření v rámci terénního reliéfu je nezávislé. Půdy jsou výhradně lesními stanovišti. Půdy jsou náchylné na vysychání. (Tomášek, 2007)

Luvizem

Patří stejně jako hnědozemě do skupiny půd illimerických. Luvizemě jsou typické pro pahorkatiny a vrchoviny. Průměrné roční srážky se pohybují okolo 800 mm a průměrná roční teplota dosahuje 8 °C. Mateční substrát převážně tvořily sprašové hlíny, středně těžké glaciální sedimenty a smíšené svahoviny. V zemědělském využití nedosahují velkých výnosů. (Pokorná & Zábranská, 2007)

5.6 Vegetační pokryv v povodí

V lokalitě zájmového povodí se nacházejí poměrně kvalitní půdy, a právě díky tomu jsou půdy hojně využívány pro zemědělskou výrobu. Nejvíce pěstovanými plodinami jsou obiloviny, řepka ozimá a kukuřice, v malé míře jsou zastoupeny jeteloviny a pastviny. Větší komplex lesních porostů se v povodí nevyskytuje. Lesy jsou v povodí pouze jako malé plochy, a to na místech, která nemají zemědělské využití, například prudké svahy, kyselé půdy nebo skalnatá podloží. V zájmovém povodí jsou vesnice, které mají zastavěné plochy, kde je retence vody velmi nízká. V programu ArcGIS byla vytvořena přehledná mapa vegetačního pokryvu v povodí *příloha č. 12*. Mapa byla vytvořena z podkladů ortofoto map a důkladnou obchůzkou povodí. Data z mapy slouží pro odvození CN křivek při výpočtu N-letých průtoků pomocí hydrologického modelu DesQ – MAXQ. Povodí bylo rozděleno na levé a pravé svahy a jako u předešlých výpočtů na povodí Křenovky a povodí Ještěrného potoka. Výsledné využití území je zapsáno v tabulce *příloha č. 14* pro povodí Křenovky a v tabulce *příloha č. 13* pro povodí Ještěrného potoka.

5.7 Klimatické poměry v povodí

Podle kódů BPEJ je region zájmového povodí mírně teplý. Suma teplot nad deset stupňů je v rozmezí 2200–2500. Průměrná roční teplota se pohybuje okolo 7-8 °C. (VUMOP, 2020) Teplotní region mírně teplý je příznivý pro rostlinnou výrobu. Velmi důležitou hydrologickou charakteristikou povodí je dlouhodobá průměrná roční výška srážek, která je 611 mm (ČHMÚ, 2019).

5.8 Antropogenní činnost

V povodí toku Křenovky je hned u pramene návesní rybníček. Odtud voda teče přirozeným korytem. Při obchůzce v terénu je z patrných stop vidět, že v této části toku se v minulosti vyskytovaly dva rybníky, každý s rozlohou okolo 1,5 ha (ArcGIS), v současné době již zaniklé. Dále je na toku rybník Petrovák, který se zachoval do dnešních dnů a pod jehož hrází se nachází dvůr bývalého pivovaru, pod kterým teče tok v potrubí. V obci Křesetice je na toku požární nádrž a tok ve vesnici překonává čtyři propustky, nad nimiž vede komunikace. Nakonec se tok vlévá do rybníka Veselováku.

Ještěrný potok pramení nad obcí Úmonín, ve které teče přes zámecký park. Pod místním zámekem býval dříve rybník, jehož rozloha byla zhruba 3,5 ha (ArcGIS) a po kterém jsou zde stále patrné pozůstatky hráze. Vodní tok je mezi obcí Úmonín a obcí Chrást zregulován a napřímen. V Chrástě je návesní nádrž. Posledním rybníkem, který se na toku nachází, je rybník Grauerák o výměře asi 0,8ha (ArcGIS). Na soutoku Ještěrného potoka a Křenovky je rybník Veselovák, na jehož hrázi je uzavírající profil.

Vliv na průtok v povodí má zastavěná plocha, ze které většina spadlých srážek odtéká okamžitě bez minimální retence do vodního toku. Vliv na zvýšení kulminačního průtoku mají také zemědělsky využívané pozemky, kterých je v povodí většina. Zaniklé rybníky dříve svojí retenční schopností přirozeně pomáhaly k rozložení povodňové vlny a zmírnění dopadů přívalových dešťů. Napřímená část Ještěrného potoka také nepřispívá k rozložení kulminačního průtoku

5.9 Výpočet N-letých průtoků

5.9.1 Empirické vzorce

Oblastní vzorce (regionální)

Q_N ...výpočet dle rovnice č.10

Vstupní parametry shodné

$A = 8,8$...dle (Hrádek & Kuřík, 2008)

$n = 0,78$...dle (Hrádek & Kuřík, 2008)

Plocha zájmového povodí (ArcGIS): $F = 7,42$ [km²]

Maximální N-letý průtok rovnice č.10: **$Q_{100} = 13,68$ [m³ x s⁻¹]**

5.9.2 Vzorce objemové

Dle Sokolovského

Q_N ...výpočet dle rovnice č.13

Vstupní parametry shodné

$f = 0,6$...dle (Hrádek & Kuřík, 2008)

$k = 0,28$...dle (Hrádek & Kuřík, 2008)

$\varphi = 0,3$...objemový součinitel odtoku (odečten z map izolinií) [-]

Výpočet průtoků pro povodí Ještěrného potoka

Plocha povodí Ještěrného potoka (ArcGIS): $F = 4,37$ [km²]

Délka údolnice Ještěrného potoka (ArcGIS): $L_U = 4,38$ [km]

Průměrná rychlost stékání vody v povodí zvolena z tabulky *tabulka č. 1*:

$v = 1,0$ [m x s⁻¹]

Doba koncentrace rovnice č.14: $t_k = 1,22$ [h]

Doba trvání výpočtového deště rovnice č.15: $t_d = 1,02$ [h] => 61,2 [min]

Náhradní intenzita výpočtového deště rovnice č. 20: $i_N = 0,84$ [mm x min⁻¹]

Výška výpočtového deště rovnice č.17: $H_{s,N} = 51,5$ [mm]

Maximální N-letý průtok rovnice č.13: $Q_{100} = 9,31$ [m³ x s⁻¹]

Výpočet průtoků pro povodí Křenovky

Plocha povodí Křenovky (ArcGIS): $F = 3,05$ [km²]

Délka údolnice Křenovky (ArcGIS): $L_U = 2,43$ [km]

Průměrná rychlost stékání vody v povodí zvolena z tabulky *tabulka č. 1*:

$v = 1,0$ [m x s⁻¹]

Doba koncentrace rovnice č.14: $t_k = 0,68$ [h]

Doba trvání výpočtového deště rovnice č.15: $t_d = 0,61$ [h] => 37 [min]

Náhradní intenzita výpočtového deště rovnice č. 20: $i_N = 1,22$ [mm x min⁻¹]

Výška výpočtového deště rovnice č.17: $H_{s,N} = 45$ [mm]

Maximální N-letý průtok rovnice č.13: $Q_{100} = 10,41$ [m³ x s⁻¹]

Výsledný průtok po sečtení dílčích průtoků pro zkoumaný uzavírající profil je **19,72 m³/s.**

Čerkašínův vzorec

Q_N ...výpočet dle rovnice č.18

Vstupní parametry shodné

$C_{obj} = 0,3$...objemový součinitel odtoku (odečten z map izolinií) [-]

Výpočet průtoků pro povodí Ještěrného potoka

Plocha povodí Ještěrného potoka (ArcGIS): $F = 4,37 \text{ [km}^2\text{]}$

Délka údolnice Ještěrného potoka (ArcGIS): $L_U = 4,38 \text{ [km]}$

Průměrná rychlost stékání vody v povodí zvolena z tabulky graf č. 1:

$v = 1,2 \text{ [m x s}^{-1}\text{]}$

Koeficient tvaru povodí graf č. 2: $p = 1,15 \text{ [-]}$

Maximální N-letý průtok rovnice č.18: $Q_{100} = 4,5 \text{ [m}^3 \text{ x s}^{-1}\text{]}$

Výpočet průtoků pro povodí Křenovky

Plocha povodí Křenovky (ArcGIS): $F = 3,05 \text{ [km}^2\text{]}$

Délka údolnice Křenovky (ArcGIS): $L_U = 2,43 \text{ [km]}$

Průměrná rychlost stékání vody v povodí zvolena z tabulky graf č. 1:

$v = 1,3 \text{ [m x s}^{-1}\text{]}$

Koeficient tvaru povodí graf č. 3: $p = 1,1 \text{ [-]}$

Maximální N-letý průtok rovnice č. 18: $Q_{100} = 6,43 \text{ [m}^3 \text{ x s}^{-1}\text{]}$

Výsledný průtok po sečtení dílčích průtoků pro zkoumaný uzavírající profil je **10,93m³/s.**

5.9.3 Vzorec intenzivního typu

Q_N ...výpočet dle rovnice č.19

Vstupní parametry shodné

$k = 0,6$...dle (Hrádek & Kuřík, 2008)

Výpočet průtoků pro povodí Ještěrného potoka

Plocha povodí Ještěrného potoka (ArcGIS): $F = 4,37 \text{ [km}^2\text{]}$

Náhradní intenzita výpočtového deště rovnice č. 16: $i_N = 0,84 \text{ [mm x min}^{-1}\text{]}$

Vrcholový součinitel odtoku tabulka příloha č. 2: $CN = 0,16$

Maximální N-letý průtok rovnice č.19: $Q_{100} = 9,79 \text{ [m}^3 \text{ x s}^{-1}\text{]}$

Výpočet průtoků pro povodí Křenovky

Plocha povodí Ještěrného potoka (ArcGIS): $F = 4,37 \text{ [km}^2\text{]}$

Náhradní intenzita výpočtového deště rovnice č. 16: $i_N = 1,22 \text{ [mm x min}^{-1}\text{]}$

Vrcholový součinitel odtoku tabulka příloha č. 2: $CN = 0,162$

Maximální N-letý průtok rovnice č.19: $Q_{100} = 10,1 \text{ [m}^3 \text{ x s}^{-1}\text{]}$

Výsledný průtok po sečtení dílčích průtoků pro zkoumaný uzavírající profil je **19,89 m³/s.**

5.10 Výpočet DesQ - MAXQ

Pomocí hydrologického programu DesQ – MAXQ byla zjištěna hodnota maximálního kulminačního odtoku ze zájmového povodí. Výpočet byl prováděn pro povodí Ještěrného potoka a povodí Křenovky zvlášť. Výsledný kulminační průtok byl sečten. V programu byly spočítané jednotlivé průtoky pro variantu II. - maximální průtok pro zadanou dobu trvání deště a danou dobu opakování. Délka údolnice byla zjištěna v programu ArcGIS. Sklon údolnice byl již spočítán v orografických vlastnostech povodí. Hodnoty maximálních 1 - denních srážkových úhrnů byly zvoleny pro nejbližší srážkoměrnou stanici v Kutné Hoře, která je vzdušnou čarou vzdálena od zájmového povodí 4 km. Hodnoty byly zvoleny pro dobu opakování N-let (5, 10, 20, 50, 100). Plocha svahu a sklon svahu jsou zapsány v *tabulce 3. a 4.* Drsnostní součinitel závislý na způsobu užívání půdy byl odvozen z tabulky, pro kterou se hodnoty zjistily z mapy využití půdy v zájmovém povodí *příloha č. 12.* Typ CN křivky byl zvolen 2, tedy předchozí vláhové podmínky

pro střední hodnotu. Číslo CN křivky bylo zvoleno podle druhého a třetího čísla kódu BPEJ. Výměry pro jednotlivé kódy byly zjištěny z mapy BPEJ a spočítány pomocí programu ArcGIS.

Vstupní parametry pro povodí Ještěrného potoka

VSTUPNÍ VELIČINY JEŠTĚRNÝ POTOK		Povodí	Levý svah	Pravý svah	Jednotky
F	plocha povodí	4,37			[km ²]
F _s	plocha svahu		3,01	1,36	[km ²]
I _s	průměrný sklon svahu		6	8	[%]
γ	drsnotní charakteristika		7,64	7,09	[sec]
L _u	délka údolnice	4,38			[km]
I _u	průměrný sklon údolnice	1,8			[%]
CN _{typ}	typ odtokové křivky(1,2,3)		2	2	[...]
CN	číslo odtokové křivky		75,1	75,3	[...]
N	doba opakování	5,10,20,50,100			[roky]
H _{1d5}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=5	49,9			[mm]
H _{1d10}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=10	58,4			[mm]
H _{1d20}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=20	67,2			[mm]
H _{1d50}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=50	78,1			[mm]
H _{1d100}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=100		86,5		[mm]

Tabulka 5 – Vstupní veličiny - Ještěrný potok

Výstupní hodnoty - Ještěrný potok

N-leté maximální průtoky a objemy PV		Povodí	Levý svah	Pravý svah	Jednotky	
N	doba opakování				[roky]	
5	Q _{max}	maximální průtok	2,74	1,2	1,54	[m ³ .s ⁻¹]
	W _{PVT}	objem povodňové vlny PV	44,2	30,4	13,8	[10 ³ .m ³]
	W _{PVT,1d}	objem PV vyvolaný H _{1d5}	79,6	54,7	24,9	[10 ³ .m ³]
10	Q _{max}	maximální průtok	4,37	1,92	2,45	[m ³ .s ⁻¹]
	W _{PVT}	objem povodňové vlny PV	55,9	38,4	17,5	[10 ³ .m ³]
	W _{PVT,1d}	objem PV vyvolaný H _{1d10}	97,7	67,2	30,6	[10 ³ .m ³]
20	Q _{max}	maximální průtok	6,5	2,91	3,59	[m ³ .s ⁻¹]
	W _{PVT}	objem povodňové vlny PV	68,8	47,3	21,6	[10 ³ .m ³]
	W _{PVT,1d}	objem PV vyvolaný H _{1d20}	112	77,1	35,1	[10 ³ .m ³]
50	Q _{max}	maximální průtok	9,5	4,79	4,71	[m ³ .s ⁻¹]
	W _{PVT}	objem povodňové vlny PV	88,4	60,7	27,7	[10 ³ .m ³]
	W _{PVT,1d}	objem PV vyvolaný H _{1d50}	126	86,6	39,5	[10 ³ .m ³]
100	Q _{max}	maximální průtok	12,2	6,43	5,76	[m³.s⁻¹]
	W _{PVT}	objem povodňové vlny PV	102	70,3	32,1	[10 ³ .m ³]
	W _{PVT,1d}	objem PV vyvolaný H _{1d100}	138	94,8	43,2	[10 ³ .m ³]

Tabulka 6 – Výstupní hodnoty - Ještěrný potok

Vstupní veličiny pro povodí Křenovky

VSTUPNÍ VELIČINY KŘENOVKA		Povodí	Levý svah	Pravý svah	Jednotky
F	plocha povodí	3,05			[km ²]
F _s	plocha svahu		2,34	0,71	[km ²]
I _s	průměrný sklon svahu		6	10,2	[%]
γ	drsnostní charakteristika		7,03	5,55	[sec]
L _u	délka údolnice	2,43			[km]
I _u	průměrný sklon údolnice	3,16			[%]
CN _{typ}	typ odtokové křivky(1,2,3)		2	2	[...]
CN	číslo odtokové křivky		75,2	76,5	[...]
N	doba opakování	5,10,20,50,100			[roky]
H _{1d5}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=5	49,9			[mm]
H _{1d10}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=10	58,4			[mm]
H _{1d20}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=20	67,2			[mm]
H _{1d50}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=50	78,1			[mm]
H _{1d100}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=100	86,5			[mm]

Tabulka 7 – Vstupní veličiny - Křenovka

Výstupní hodnoty - Křenovka

N-leté maximální průtoky a objemy PV		Povodí	Levý svah	Pravý svah	Jednotky	
N	doba opakování				[roky]	
5	Q_{max}	maximální průtok	1,64	0,559	1,08	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
	W_{PVT}	objem povodňové vlny PV	28,2	21,3	6,83	$[10^3 \cdot m^3]$
	$W_{PVT,1d}$	objem PV vyvolaný H_{1d5}	56,2	42,7	13,6	$[10^3 \cdot m^3]$
10	Q_{max}	maximální průtok	2,57	0,873	1,7	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
	W_{PVT}	objem povodňové vlny PV	35,3	26,7	8,57	$[10^3 \cdot m^3]$
	$W_{PVT,1d}$	objem PV vyvolaný H_{1d10}	69	52,4	16,7	$[10^3 \cdot m^3]$
20	Q_{max}	maximální průtok	3,77	1,28	2,49	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
	W_{PVT}	objem povodňové vlny PV	42,8	32,3	10,5	$[10^3 \cdot m^3]$
	$W_{PVT,1d}$	objem PV vyvolaný H_{1d20}	79,4	60,2	19,2	$[10^3 \cdot m^3]$
50	Q_{max}	maximální průtok	5,43	1,81	3,62	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
	W_{PVT}	objem povodňové vlny PV	51	38,5	12,6	$[10^3 \cdot m^3]$
	$W_{PVT,1d}$	objem PV vyvolaný H_{1d50}	89,4	67,6	21,8	$[10^3 \cdot m^3]$
100	Q_{max}	maximální průtok	6,91	2,27	4,64	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
	W_{PVT}	objem povodňové vlny PV	57,2	43,1	14,2	$[10^3 \cdot m^3]$
	$W_{PVT,1d}$	objem PV vyvolaný H_{1d100}	98	74	23,9	$[10^3 \cdot m^3]$

Tabulka 8 – Výstupní hodnoty - Křenovka

6 Diskuze a závěr

V první části bakalářské práce bylo úkolem stanovit základní hydrologické charakteristiky povodí, jak geometrické, tak orografické. Data byla převážně odvozena pomocí programu ArcGIS. V některých částech povodí byl proveden terénní průzkum, kterým se upřesnily vstupní parametry pro výpočty základních charakteristik povodí. Výpočty byly provedeny podle vzorců v kapitole 3.3. Hodnoty, které byly zjištěny v první části bakalářské práce, se využily při výpočtech maximálního kulminačního průtoku. Výpočet maximálního průtoku byl spočítán známými empirickými vzorci a také pomocí hydrologického modelu DesQ – MAXQ. Povodí bylo pro přesnější výpočet rozděleno na povodí Křenovky a povodí Ještěrného potoka. Výsledný průtok byl sečten a porovnán s poskytnutými daty od ČHMÚ. V tabulce č. 9 jsou hodnoty porovnané.

Hydrologický model DesQ – MAXQ vyšel s relativní chybou 31,2 %. Tento výsledek je poměrně nepřesný u tohoto modelu, kde jsem očekával přesný výsledek. Na výsledek má největší vliv typ CN křivky, který vychází z vegetačního pokryvu a typu půdy v povodí. Nepřesný výsledek je částečně způsoben neznalostí osevního postupu v povodí. Hydrologický model DesQ – MAXQ je určen pro malá až velmi malá povodí. Model pracuje se vstupními hodnotami jako jsou půdní poměry, vegetační kryt, sklonné poměry a srážkový úhrn. Srážkové úhrny jsou v programu zaneseny pro velké množství míst v České republice. Tyto vstupní hodnoty mají největší vliv na rychlost a množství odtoku ze zájmového povodí. V tabulce č. 10 je porovnaná řada kulminačních průtoků, vypočítaných pomocí programu DesQ – MAXQ, s daty od ČHMÚ.

	Q [m ³ x s ⁻¹]	chyba ± [%]
ČHMÚ	14,3	0
oblastní vzorec	13,68	4,3
Sokolovského vzorec	19,72	37,9
Čerkašinův vzorec	10,93	23,6
vzorec intenzivního typu	19,89	39,1
DesQ - MAXQ	19,1	31,2

Tabulka 9 – Výsledné hodnoty průtoku porovnané s daty od ČHMÚ

Překvapivě přesně vyšel oblastní vzorec, kde relativní chyba byla 4,3 %. Tento typ vzorce slouží spíše pro rychlý orientační výpočet průtoku. Vzorce objemového typu (Sokolovského a Čerkašinův vzorec) mají relativní chybu 37,9 % a 23,6 %. Na výsledek má velký vliv objemový součinitel odtoku, který byl stanoven pomocí mapy izolinií. Tento způsob stanovení součinitele odtoku je určen pro velká povodí a na malá povodí je příliš nepřesný. Vzorec intenzivního typu byl původně určen pro návrhové účely stokových sítí. Vzorec využívá součinitele odtoku CN, který je závislý na využití povrchu, sklonu a na úhrnu srážek. Výpočet kulminačního průtoku vzorec intenzivního typu měl relativní chybu 39,1 %.

Výpočty kulminačních průtoků na nepozorovaných profilech v povodí jsou pracovně velmi náročné. Pro správný výsledek je potřeba nutně mít kvalitní vstupní data.

N-let	5	10	20	50	100
ČHMÚ	4,29	6,01	8,15	11,3	14,3
DesQ - MAXQ	4,38	6,94	10,27	16,41	19,11

Tabulka 10 – Hodnoty ČHMÚ a hodnoty DesQ - MAXQ

7 Seznam literatury a použitých zdrojů

ČGS, ©2020: Česká geologická služba. Geologická mapa České republiky (online) [cit. 2020.02.08], dostupné z <http://www.geology.cz/extranet/vav/informacni-systemy/data/databaze-cgs>

ČHMÚ, ©2020: Český hydrometeorologický ústav. N-leté průtoky.

Čížek P., 1957: Hydrologie stokových sítí. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha.

ČÚZK, ©2020: Český úřad zeměměřický a katastrální: Základní báze geografických dat ZABAGED (online) [cit. 2020.01.04], dostupné z [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(wfgmhzy3obhes0od4qpxaux1\)\)/Default.aspx?head_tab=sekce-01-gp&mode=Mapa&menu=11&news=yes&side=prohlizet#](https://geoportal.cuzk.cz/(S(wfgmhzy3obhes0od4qpxaux1))/Default.aspx?head_tab=sekce-01-gp&mode=Mapa&menu=11&news=yes&side=prohlizet#).

Dub O., Němec J., a kol., 1969: Hydrologie. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha.

Hrádek F., Kuřík P., 2001: Maximální odtok z povodí. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Hrádek F., Kuřík P., 2008: Hydrologie. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Hubačíková V., 2002: Hydrologie. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno

Jeníček M., 2011: Přehled srážko-odtokových modelů. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, Praha. (online) [citace 2019.10.10], dostupné z <http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/download.php?akce=dokumenty&cislo=54>

Janeček M. [ed.], 2008: Základy erodologie. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Kemel M., 1996: Klimatologie, meteorologie, hydrologie. Vydavatelství ČVUT, Praha.

Kemel M., Kolář V., 1980: Hydrologie. České vysoké učení technické v Praze, Praha.

Kovář P., 1990: Využití hydrologických modelů pro určování maximálních průtoků na malých povodích, Vysoká škola zemědělská, Praha.

Krešl J., 2001: Hydrologie, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno. ISBN 80-7157-513-5

Kulhavý Z., Kovář P., 2000: Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha.

Mísař Z. [ed.], 1983: Geologie ČSSR. Státní pedagogické nakladatelství, Praha.

Němec J., 1965: Hydrologie, SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha.

- Pavlásek J., Jačka L., 2014: *Hydropedologie*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Pokorná D., Záborská J., 2007: *Hydrologie a hydropedologie*. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha.
- Ředinová J., Pavlásek J., Máca P., 2009: *Hydrologie, návody ke cvičením*, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha,
- Šilar J., 1996: *Hydrologie v životním prostředí*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Ostrava.
- Tamassy R., Kemel M., Komárek R., 1965: *Klimatologie a hydrologie*, Státní nakladatelství technické literatury, Praha.
- Tomášek M., 2007: *Půdy České republiky*. Česká Geologická služba, Praha.
- VHS Kutná Hora, ©2019: *Vodohospodářská společnost Kutná Hora*.
- VUMOP, ©2020: *Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy*. eKatalog BPEJ (online) [cit. 2020.02.06], dostupné z <<https://bpej.vumop.cz/>>
- VÚV, ©2020: *Hydrogeologický informační systém VÚV TGM. Vodní hospodářství a ochrana vod* (online) [cit. 2020.02.02], dostupné z <https://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp_heis_voda&TMPL=MA_PWND_MAIN>
- VÚV, ©2020: *Oddělení geografických a informačních systémů a kartografie VÚV TGM. DIBAVOD* (online) [cit. 2020.02.07], dostupné z <<http://www.dibavod.cz/index.php?id=27>>

7.1 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Uspořádání říční sítě v povodí (Kemel, Kolář, 1980)	13
Obrázek 2 – Řád toků v říční soustavě (Hrádek & Kuřík, 2008).....	14
Obrázek 3 - Hydrologické označení toků (Hrádek & Kuřík, 2008).....	15
Obrázek 4 – Schematizace tvaru povodí (Hrádek & Kuřík, 2008)	19
Obrázek 5 – Umístění povodí Křenovky v rámci ČR (autor, 2020)	43
Obrázek 6 – Rozdělení povodí (autor, 2020)	43
Obrázek 7 – Sklonné poměry v povodí Křenovky (autor, 2020).....	67
Obrázek 8 - Výškové poměry v povodí Křenovky (autor, 2020).....	68
Obrázek 9 - Směry odtoků v povodí Křenovky (autor, 2020).....	69
Obrázek 10 - Půdní typy v povodí Křenovky (autor, 2020).....	70
Obrázek 11 - Využití půdy v povodí Křenovky (autor, 2020)	71
Obrázek 12 - Fotodokumentace – rybník Veselovák (autor, 2020)	73
Obrázek 13 - Fotodokumentace – rybník Grauerák (autor, 2020)	73
Obrázek 14 - Fotodokumentace – zaniklý rybník pod obcí Krupá (autor, 2020).....	74
Obrázek 15 - Fotodokumentace – rybník Grauerák, (Ing. Tomáš Vlasák, 2020).....	74
Obrázek 16 - Fotodokumentace – rybník Petrovák (Jiří Pokorný, 2020)	75

7.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Průměrná rychlost stékání vody v povodí (Dub & kol., 1969) ..	33
Tabulka 2 - Hustota říční sítě	44
Tabulka 3 – Geometrické charakteristiky povodí	44
Tabulka 4 – Orografické charakteristiky povodí.....	46
Tabulka 5 – Vstupní veličiny - Ještěrný potok.....	53
Tabulka 6 – Výstupní hodnoty - Ještěrný potok	54
Tabulka 7 – Vstupní veličiny - Křenovka	54
Tabulka 8 – Výstupní hodnoty - Křenovka	55
Tabulka 9 – Výsledné hodnoty průtoku porovnané s daty od ČHMÚ.....	56
Tabulka 10 – Hodnoty ČHMÚ a hodnoty DesQ - MAXQ	57
Tabulka 11 - Parametry A, n regionálního vzorce pro výpočet Qmax, (Kemel, 1996).....	62
Tabulka 12 - Odtokový součinitel CN (Hrádek & Kuřík, 2008)	62

Tabulka 13 - Součinitel aN (Kemel, 1996)	63
Tabulka 14 - Parametry pro výpočet náhradních intenzit přívalového deště dle Němce (Hrádek & Kuřík, 2008).....	63
Tabulka 15 - Kategorie BPEJ a hydrologické skupiny půd dle BPEJ (Hrádek & Kuřík, 2008)	64
Tabulka 16 - Průměrná čísla odtokových křivek CN pro zemědělské pozemky (Janeček a kol., 2008).....	65
Tabulka 17 - Skupina předchozích vláhových podmínek (Hrádek & Kuřík, 2008).....	66
Tabulka 18 – Využití půdy - Ještěrný potok (autor, 2020).....	72
Tabulka 19 – Využití půdy - Křenovka (autor, 2020).....	72

7.3 Seznam grafů

Graf 1 – Průměrná rychlost dobíhání vody v povodí (Hrádek & Kuřík, 2008)	35
Graf 2 – Vliv tvaru povodí na Q100 (Hrádek & Kuřík, 2008).....	35

8 Přílohy

Příloha č. 1 Parametry A, n regionálního vzorce

Tabulka 11 - Parametry A, n regionálního vzorce pro výpočet Qmax, (Kemel, 1996)

Povodí	A	n
1.Labe po Loučnou a Úpa	88	0,78
2.Labe nad Vltavou	4,4	0,38
3.Metuže, Orlice, Chrudimka a Doubravka	8,8-14	0,50
4.Horní Jizera a Kamenice	38-40	0,56
5.Ohře nad Libavou a Rychnovský potok	1,0	0,17
6.Loučná	2,5	0,41
7.Vltava nad Otavou	3,6	0,33
8.Vltava pod Otavou	4,6	0,33
9.Vltava pod Volšovkou	6,9	0,39
10.Blanice a Mže	22-23	0,63
11.Odra nad Ostravicí	3,8	0,33
12.Opava	12	0,50
13.Ostravice nad Morávkou	39	0,50
14.Poprad	5,2	0,30
15.Morava a přítoky nad Bečvou	8,1	0,50
16.Bečva	6,6	0,33
17.Dyje a Svratka	9,2	0,50
18.Svitava	1,6	0,33
19.Jihlava a Oslava	1,6	0,25
20.Váh a toky z flyšového pásma Karpat (Torysa, Ondava, Laborec, Uh, Topľa)	18,3	0,43
21.Orava	8,9	0,33
22.Horní tok Nitry, Hornád	2,4-4,4	0,33
23.Dolní tok Nitry a Nitrica	10	0,50
24.Hron	2,0	0,27
25.Ipel	3,4	0,39
26.Slaná	3,0	0,39

Příloha č. 2 Odtokový součinitel CN

Tabulka 12 - Odtokový součinitel CN (Hrádek & Kuřík, 2008)

Číslo	Způsob zastavění a druh pozemku, příp. druh úpravy povrchu	Konfigurace území (průměrný sklon svahů)		
		do 1%	1-5%	nad 5%
I	Zastavěné plochy (střechy)	0,90	0,90	0,90
II	Asfaltové a betonové vozovky, dlažby se zálivkou spár	0,70	0,80	0,90
III	Obyčejné dlažby (pískové spáry)	0,50	0,60	0,70
IV	Štěrkové silnice, dlažba ze štěrkového kamene	0,30	0,40	0,50
V	Nezastavěné plochy	0,20	0,25	0,30
VI	Hřbitovy, sady, hřiště	0,10	0,15	0,20
VII	Zelené pásy, pole, louky	0,05	0,10	0,15
VIII	Lesy	0,00	0,05	0,10

Poznámka: V tabulce uvedení odtokový součinitel má platnost pro půdu střední propustnosti. U propustné půdy (písek) se zmenšují o 10 %, při nepropustné (jíl, skála) se zvyšují o 10 %.

Příloha č. 3 Parametry pro výpočet náhradních intenzit přivalového deště

Tabulka 14 - Parametry pro výpočet náhradních intenzit přivalového deště dle Němce (Hrádek & Kuřík, 2008)

Stanice	Parametry			Stanice	Parametry		
	a	b	c		a	b	c
Bakov	9,44	-0,43	0,27	Podbořany	8,1	3,65	0,23
Č.Budějovice	10,3	0,6	0,22	Poděbrady	7,26	5,31	0,22
Hamry u Seče	8,86	1,8	0,22	Pohoří-Šumava	11,1	0,55	0,20
Hradec Králové	7,67	3,04	0,20	Police	10,3	0,7	0,22
Kamenice n.L.	9,65	0,87	0,21	Polubný	13,9	-3,1	0,17
Kamýk	9,26	2,07	0,24	Praha Hostivař	10,4	2,25	0,21
Karlovy Vary	9,93	0,66	0,21	Praha-Podbaba	11,7	-1,2	0,22
Kladno	7,7	1,7	0,20	Roudnice	7,7	3,5	0,23
Lenešice	9,51	1,6	0,18	Seč	9,66	2,88	0,22
Mar. Lázně	11,5	0,17	0,20	Sedlice	7,26	5,71	0,24
Milovice	9,62	1,62	0,24	Semčice	7,51	2,60	0,23
Mimoň	11,7	1,28	0,20	Slaný	10,8	1,7	0,20
Mšeno	11,2	0,20	0,20	Špindl. Mlýn	11,1	0,55	0,20
Nezabudice	7,95	1,82	0,21	Štěchovice	10,1	1,6	0,24
N. Dvůr	10,7	0,36	0,24	Tábor	7,58	4,25	0,21
Orlík	11,0	-1,67	0,25	Třeboň	12,9	0,2	0,16
Padrt'	10,4	1,84	0,23	Turnov	12,1	-0,76	0,20
Pěčín	9,2	0,7	0,22	Týn n. Vlt.	10,0	3,0	0,22
Petrovice	8,02	3,20	0,26	Vodňany	9,64	0,47	0,19
Plzeň Doudlevice	6,43	6,00	0,25				

Příloha č. 4 Součinitel a_N

Tabulka 13 - Součinitel a_N (Kemel, 1996)

N	Strmá neza- lesněná povodi (extrémní podle Duba)	Částečně za- lesněná svažitá povodi	Zalesněná mírně svažitá povodi (60-80%)	Částečně zalesněná ní- žinná povodi (extrémní dle Bratránka)
1	0,006	0,10	0,14	0,18
2	0,08	0,15	0,21	0,29
5	0,13	0,23	0,33	0,44
10	0,21	0,33	0,45	0,55
20	0,34	0,47	0,60	0,67
50	0,62	0,70	0,81	0,84
100	1,00	1,00	1,00	1,00

Příloha č. 5 Kategorie BPEJ a hydrologické skupiny půd

Tabulka 15 - Kategorie BPEJ a hydrologické skupiny půd dle BPEJ (Hrádek & Kuřík, 2008)

Kategorie v mapě BPEJ	Půdní subtyp	Substrát	Hydrologická půdní skupina
01	ČMn,ČMk(ČM,ČMk)	spraš	B
02	ČMi(ČMd)	spraš	B
03	ČMč(ČMI)	spraš, spraš-slín	B (C)
04	ČMr(ČM)	lehké substráty	A
05	ČM	spraš/písek	B
06	ČMp,ČMpc	slín (vylehčení Ap)	C – D
07	ČMp,ČMpc,SMm, (ČM,ČMsm)	slín,slínitý jíl	D
08	ČM,HM smyté	sprašové mat.,(slín)	B (C)
09	ŠMn(ČMi)	spraš	B
10	HMm,HMč,HMg (HM)	spraš	B
11	HMm,HMg(HM)	spraš,hlína	B
12	HMm,HMg(HM)	polygenetická hlína	B
13	HM,IP	hlína – lehký mat.	B
14	IP,HMi, (g)	sprašová h. polygenetická hlína	B
15	IP,HMi,HP-HPi(g)	polygenetická hlína	B(C)
16	IP	zahliněné(šterko)pisky	B(A)
17	IP,(IP)	pisky(hlinité proplástky)	A(B)
18	RA,RAh	svahoviny vápenců,terrae	B-C
19	PR,PRh(RA,R th)	opuky, slínovce	B-C
20	PS,PSk(HP,RA)	slíny	D
21	HP,RGmPR(DA)	pisky	A
22	HP,PR(HP,RA)	zahliněné(šterko)pisky	A – B
23	Hpg	písek/jíl	A – B
24	HP,HPa,HPp(g)	svahoviny flyš S-tS	B – C
25	HP,HPa(g)	svahoviny,opuky S-(tS)	B(C)
26	HP,HPa(g)	svahoviny břidlic S - (TS)	B(C)
27	HP,HPa	svahoviny břidlic,drob., flyš IS	B
28	HP(g)	svahoviny břázk S	B
29	HP,HPa(g)	svahoviny eruptiv,metamorfik IS-S	B
30	HP,HPa(g)	svahoviny,permokarbon IS-S	B
31	HP,HPa	svahoviny pískovců IS-L	A(B)
32	HP,HPa	svahoviny eruptiv,metamorfik IS-L	A(B)
33	HP,HPa(g)	svahoviny,permokarbon S-tS	B – C
34	Hpa0, RZ	svahoviny eruptiv,metamorfy	B
35	Hpa0, RZ	svahoviny,sediment,hor.	B(A)
36	RZ,HPa0	svahoviny	B
37	málké lehké	rozpad hornin, svahoviny	B(A)
38	málké střední – těžké	rozpad hornin, svahoviny	C – D
39	rankry	rozpad hornin	
40	svažitě 12°	lehké až IS	B
41	svažitě 12°	střední – těžké	C – D
42	HMg	sprašová hlína	C
43	Hmig, IPg	sprašová hlína	C
44	PG(OG)	sprašová hlína	C
45	HMg	polygenetická hlína	C
46	Hmig, IPg	polygenetická hlína	C
47	PG(OG)	polygenetická hlína	C
48	Hpg, PG(OG)	svahoviny břidlic S	C
49	HPg,PG(OG)	svahoviny těžké tS - T	D
50	Hpg, PG(OG)	svahoviny eruptiv a metamorfik S-IS	C
51	HPg,PG(OG)	zahliněné šterkopisky	C
52	PH, Hpg (OG)	limnický terciér IS	C(D)
53	PG, Hpg (OG)	terciérní substr. S/T	C(D)
54	PG, Hppg (OG)	jíly	D
55	NP	lehké nívní sedimenty	A
56	NP	střední nívní sedimenty	B
57	NPp	těžké nívní sedimenty	C-D
58	NPG	střední nívní sedimenty	B-C
59	NPG	těžké nívní sedimenty	D
60	ČA(LP)	nívní, sprašové sedimenty S	B

Příloha č. 6 Průměrná čísla odtokových křivek CN

Tabulka 16 - Průměrná čísla odtokových křivek CN pro zemědělské pozemky (Janeček a kol., 2008)

Využití půdy	Způsob obdělávání	Hydrologické podmínky	Čísla odtokových křivek - CN pro hydrologické skupiny půd			
			A	B	C	D
Úhor	čerstvě zrypř.	-	77	86	91	94
	Pz	Šp	76	85	90	93
	Pz	Db	74	83	88	90
Širokořádkové plodiny (okopaniny)	Př	Šp	72	81	88	91
	Př	Db	67	78	85	89
	Př + Pz	Šp	71	80	87	90
	Př + Pz	Db	64	75	82	85
	Vř	Šp	70	79	84	88
	Vř	Db	65	75	82	86
	Vř + Pz	Šp	69	78	83	87
	Vř + Pz	Db	64	74	81	85
	Vř + Př	Šp	66	74	80	82
	Vř + Př	Db	62	71	78	81
	Vř + Př + Pz	Šp	65	73	79	81
	Vř + Př + Pz	Db	61	70	77	80
	Úzkořádkové plodiny (obilniny)	Př + Pz	Db	60	72	80
Vř		Šp	63	74	82	85
Vř		Db	61	73	81	84
Vř + Pz		Šp	62	73	81	84
Vř + Pz		Db	60	72	80	83
Vř + Př		Šp	61	72	79	82
Vř + Př		Db	59	70	78	81
Vř + Př + Pz		Šp	60	71	78	81
Víceleté pícniny, luštěniny	Vř + Př + Pz	Db	58	69	77	81
	Př	Šp	66	77	85	89
	Př	Db	58	72	81	85
	Vř	Šp	64	75	83	85
	Vř	Db	55	69	78	83
	Vř + Pz	Šp	63	73	80	83
Pastviny s pokryvem	Vř + Pz	Db	51	67	76	80
	< 50 %	-	68	79	86	89
	50 - 70 %	-	49	69	79	84
Louky	> 75 %	-	39	61	74	80
	sklizené	-	30	58	71	78
	< 50 %	-	48	67	77	83
Křoviny s pokryvem	50 - 70 %	-	35	56	70	77
	> 75 %	-	30	48	65	73
		Šp	57	73	82	86
Sady se zatravněným meziřádkům		Stř	43	65	76	82
		Db	32	58	72	79
		Šp	45	66	77	83
Lesy		Stř	36	60	73	79
		Db	30	55	70	77
		-	59	74	82	86
Zemědělské dvory		-	59	74	82	86
Komunikace s příkopy	dlážděné, živičné		83	89	92	93
	makadamové, štěrkové		76	85	89	91
	nezpevněné, hlíněné		72	82	87	89
Nepropustné plochy		98	98	98	98	

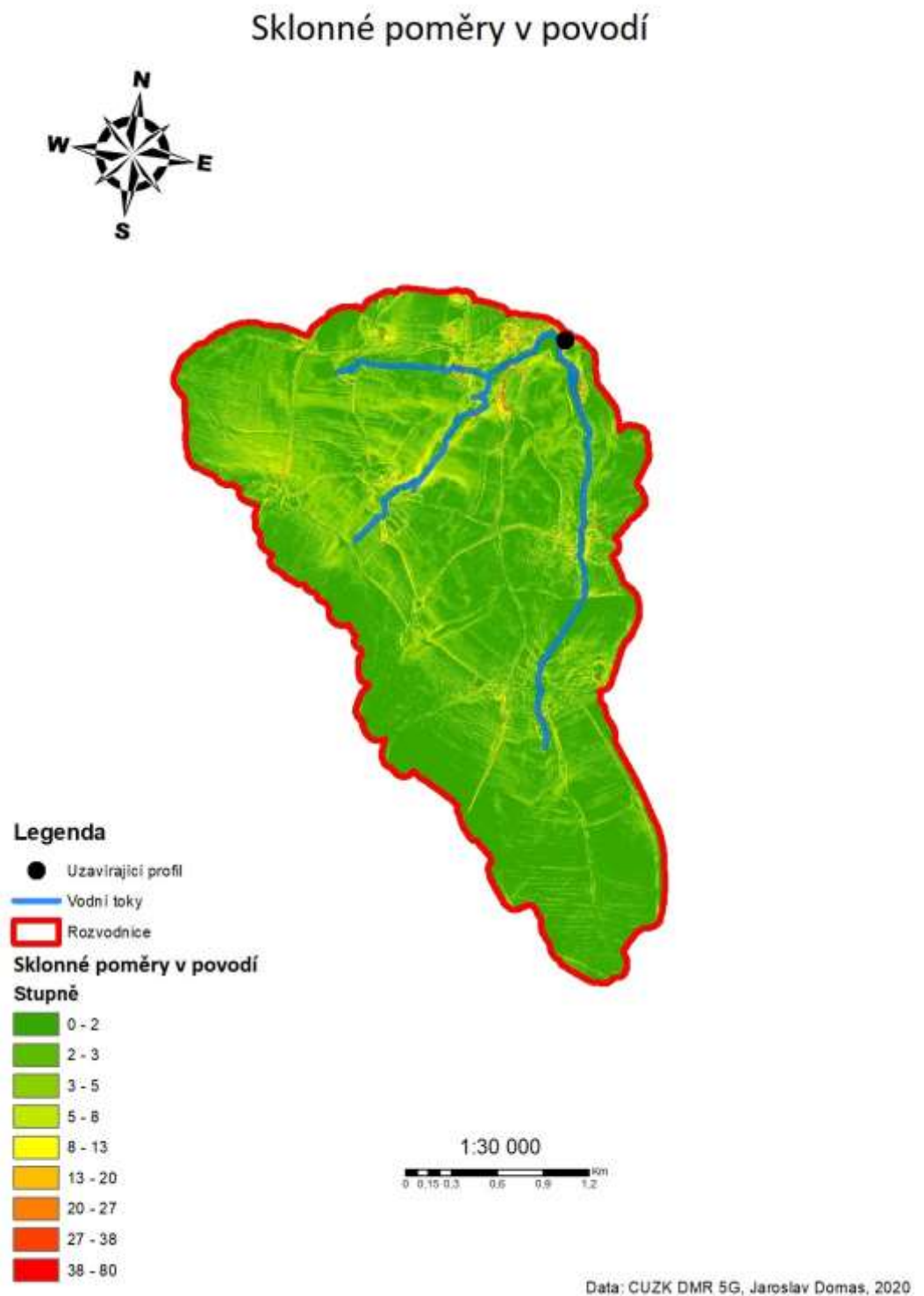
Příloha č. 7 Skupina předchozích vláhových podmínek

Tabulka 17 - Skupina předchozích vláhových podmínek (Hrádek & Kuřík, 2008)

Skupina PVP	Celkový úhrn předchozích srážek v [mm] za 5 dnů v období	
	mimovegetačním	vegetačním
I	< 13	< 36
II	13 – 18	36 – 53
III	> 28	> 53

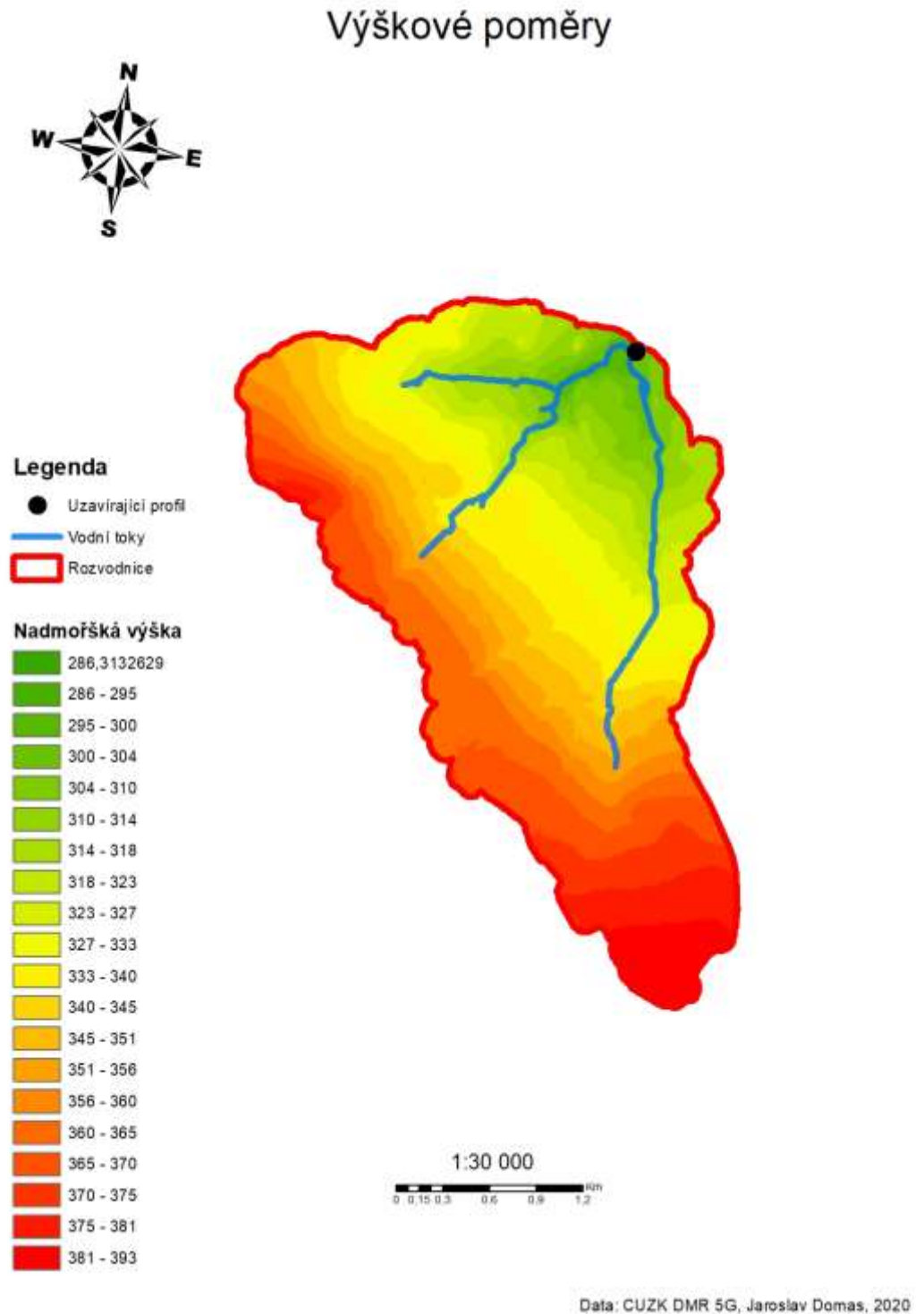
Příloha č. 8 Mapa - sklonné poměry v povodí

Obrázek 5 – Sklonné poměry v povodí Křenovky (autor, 2020)



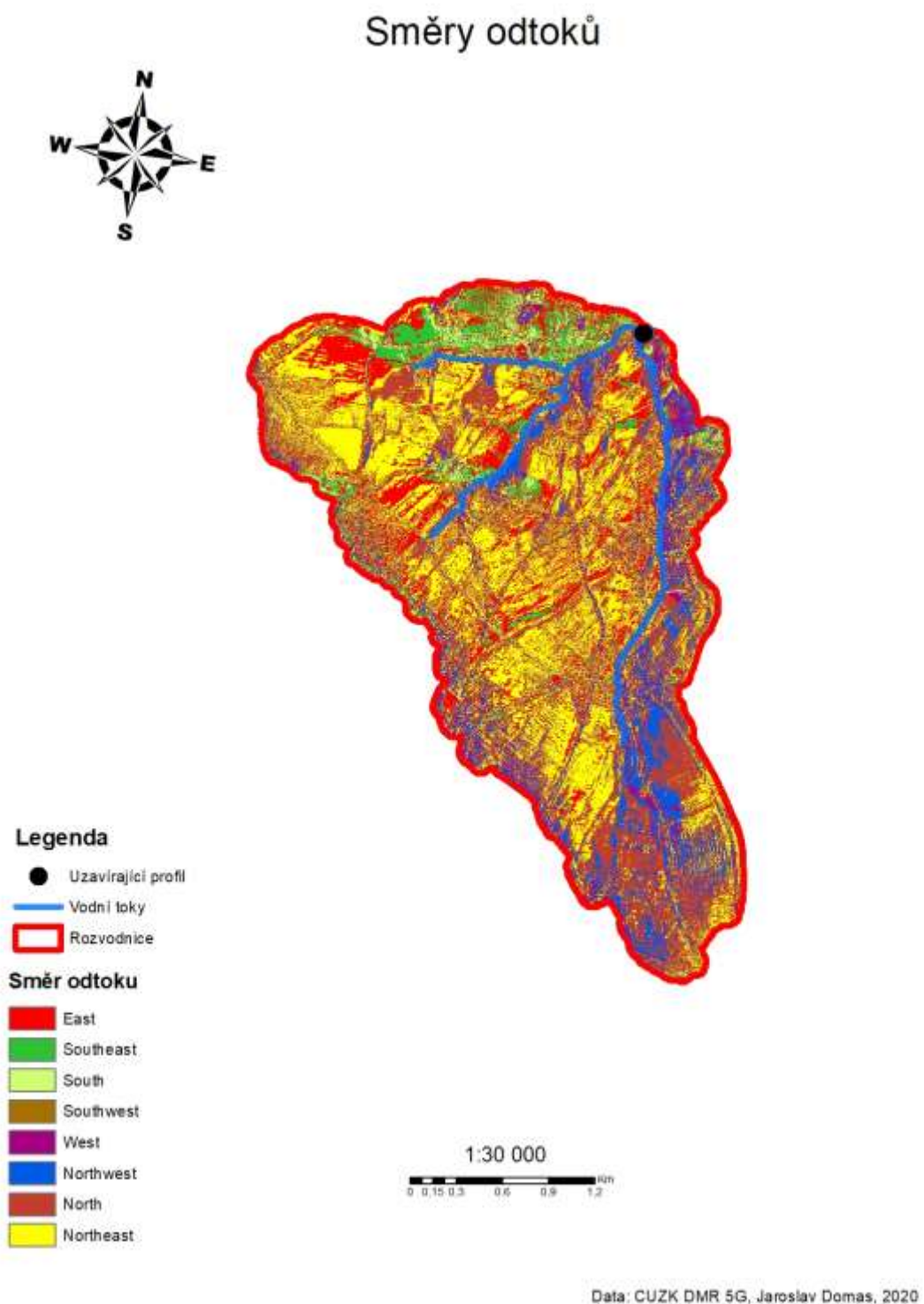
Příloha č. 9 Mapa - výškové poměry v povodí

Obrázek 6 - Výškové poměry v povodí Křenovky (autor, 2020)



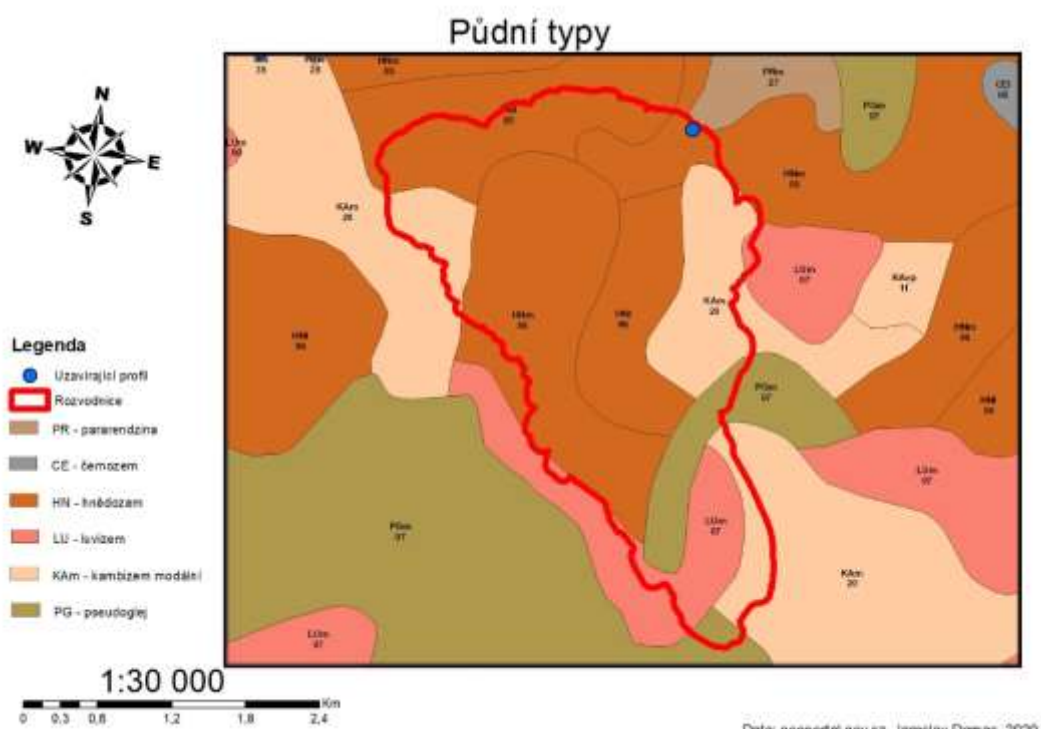
Příloha č. 10 Mapa - směry odtoků v povodí

Obrázek 7 - Směry odtoků v povodí Křenovky (autor, 2020)



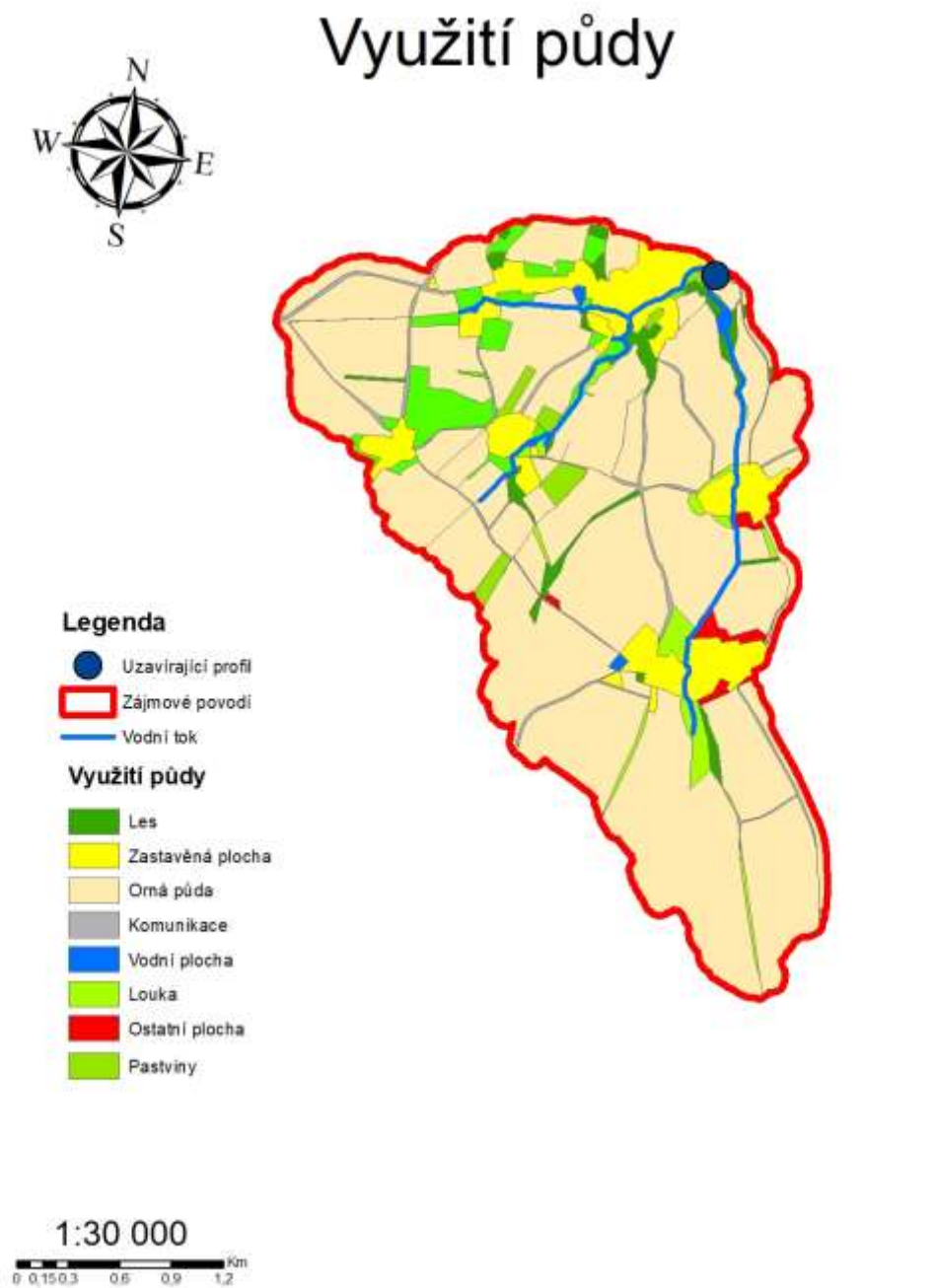
Příloha č. 11 Mapa - půdní typy v povodí

Obrázek 8 - Půdní typy v povodí Křenovky (autor, 2020)



Příloha č. 12 Mapa - využití půdy v povodí

Obrázek 9 - Využití půdy v povodí Křenovky (autor, 2020)



Příloha č. 13 Využití půdy

Tabulka 18 – Využití půdy - Ještěrný potok (autor, 2020)

Využití půdy - Ještěrný potok	levý svah	pravý svah	Jednotky
Les	0,063	0,047	Km ²
Zástavba	0,141	0,194	Km ²
Pole	2,888	1,143	Km ²
Cesta	0,063	0,042	Km ²
Voda	0,006	0,013	Km ²
Louka	0,105	0,045	Km ²
Pastviny	0	0	Km ²
Ostatní	0,004	0,065	Km ²

Příloha č. 14 Tabulka využití půdy

Tabulka 19 – Využití půdy - Křenovka (autor, 2020)

Využití půdy - Křenovka	levý svah	pravý svah	Jednotky
Les	0,041	0,061	Km ²
Zástavba	0,434	0,074	Km ²
Pole	1,669	0,479	Km ²
Cesta	0,075	0,009	Km ²
Voda	0,007	0,0015	Km ²
Louka	0,344	0,024	Km ²
Pastviny	0,034	0,082	Km ²
Ostatní	0	0	Km ²

Příloha č. 15 Rybník Veselovák

Obrázek 10 - Fotodokumentace – rybník Veselovák (autor, 2020)



Příloha č. 16 Rybník Grauerák

Obrázek 11 - Fotodokumentace – rybník Grauerák (autor, 2020)



Příloha č. 17 Zaniklý rybník pod obcí Krupá

Obrázek 12 - Fotodokumentace – zaniklý rybník pod obcí Krupá (autor, 2020)



Příloha č. 19 Rybník Grauerák

Obrázek 13 - Fotodokumentace – rybník Grauerák, (Ing. Tomáš Vlasák, 2020)



Příloha č. 20 Rybník Petrovák

Obrázek 14 - Fotodokumentace – rybník Petrovák (Jiří Pokorný, 2020)

