

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

**KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A
ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ**



**HYDROLOGICKÁ STUDIE POVODÍ VODNÍHO
TOKU DOBŘEJOVICKÝ POTOK**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Radek Roub, Ph.D.

Bakalant: František Holzhauser

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

František Holzhauser

Krajinářství
Vodní hospodářství

Název práce

Hydrologická studie povodí vodního toku Dobřejovický potok

Název anglicky

Hydrological study of Dobřejovický potok water flow basin

Cíle práce

Poloha povodí, vymezení lokality, expozice a řád vodního toku.

Odvození hydrologických charakteristik povodí.

Stanovení maximálních N-letých průtoků pomocí empirických vzorců.

Stanovení maximálních N-letých průtoků pomocí modelu DesQ-MaxQ.

Metodika

- 1) Úvod
- 2) Odvození charakteristik povodí
- 3) Výpočet N-letých průtoků pomocí empirických vzorců a matematického modelu DesQ-MaxQ
- 4) Diskuze a závěr

Doporučený rozsah práce

cca 30 stran + grafické přílohy

Klíčová slova

maximální průtok, hydrologické charakteristiky, DesQ-MaxQ, matematický model

Doporučené zdroje informací

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE, – HRÁDEK, F. – KUŘÍK, K. *Maximální odtok z povodí : teorie svahového odtoku a hydrologický model DesQ-MAX Q*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze ve vydavatelství Credit, 2001. ISBN 80-213-0782-.

HRÁDEK, F. – KUŘÍK, P. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ.

Hydrologie. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2008. ISBN 978-80-213-1744-4.

KREŠL, J. *Hydrologie*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2001. ISBN 80-7157-513-5.

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 21. 3. 2020

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 3. 2020

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou/závěrečnou práci na téma: „Hydrologická studie povodí vodního toku Dobřejovický potok“ vypracoval/a samostatně a citoval/a jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil/a a které jsem rovněž uvedl/a 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 Praze dne 30. 6. 2020

.....

František Holzhauser

Poděkování

Tuto část bych chtěl věnovat všem lidem, kteří mi pomohli s vypracováním této bakalářské práce. V první řadě bych chtěl poděkovat panu Ing. Radku Roubovi, Ph.D, za vedení bakalářské práce a pomoc při konzultacích a při řešení problémů. Také bych chtěl poděkovat paní Růženě Chaloupecké z ČÚZK a paní Zdeňce Vilhelmové z ČHMÚ za poskytnutí potřebných dat. Velké díky také patří celé mojí rodině a přítelkyni za psychickou podporu a pomoc s realizací této práce.

Abstrakt

Hydrologická studie se dá využít v mnoha oborech a využíváme je třeba pro protipovodňová opatření, protierozní ochranu, úpravy vodního toku nebo i pro zásobování vody. Tato bakalářská práce se zabývá hydrologickou studií Dobřejovického potoka. Ten pramení na louce u Chomutovic a na konci se vlévá do Botiče.

V první části zjišťujeme charakteristiky povodí a dále vytváříme digitální model terénu, který nám bude sloužit v další části. V druhé části se zaměříme na výpočty N-letých průtoků za pomoci empirických vzorců a softwaru DesQ-MAXQ. Tyto výpočty v závěru porovnááme s daty, které poskytl ČHMÚ.

Klíčová slova: maximální průtok, hydrologické charakteristiky, DesQ-MAXQ, povodí, matematický model

Abstract

Hydrological study can be used in many fields and we use them for flood control, erosion protection, water flow treatment or even water supply. This bachelor's thesis deals with the hydrological study of Dobřejovický creek. This creek springs at the meadow at Chomutovice and flows into Botič.

In the first part we identify characteristics of the basin and after that we create digital terrain model, which we are going to use later in another part. In the second part we focus on N-year flow calculations using empirical formulas and software DesQ-MAXQ. We compare these calculations in the conclusion to the data provided by ČHMÚ.

Key words: maximum flow, hydrological characteristics, DesQ-MAXQ, basin, mathematical model

Obsah

1. Úvod.....	- 8 -
2. Cíl práce	- 8 -
3. Literární rešerše.....	- 9 -
3.1 Hydrologické charakteristiky povodí	- 9 -
3.1.1 Fyzikálně – geografické vlastnosti povodí	- 10 -
3.1.2 Orografické vlastnosti povodí.....	- 15 -
3.1.3 Fyzikálně – geometrické vlastnosti povodí	- 18 -
3.1.4 Říční síť	- 20 -
3.2 N–leté průtoky	- 22 -
3.2.1 Empirické vzorce	- 22 -
3.2.2 Metoda CN křivek	- 29 -
3.2.3 Hydrologické modely	- 31 -
4. Metodika	- 32 -
5. Zpracování lokality	- 33 -
5.1 Poloha povodí.....	- 33 -
5. 2 Hydrologické charakteristiky povodí	- 33 -
5.2.1 Geometrické charakteristiky povodí.....	- 33 -
5.2.2 Orografické charakteristiky povodí	- 34 -
5.2.3 Geometrické charakteristiky povodí.....	- 34 -
5.2.4 Říční síť	- 37 -
6. Výpočet N-letých průtoků.....	- 38 -
6.1 Empirické vzorce.....	- 38 -
6.2 Model DesQ - MAXQ.....	- 39 -
7. Diskuze a závěr	- 40 -
8. Seznam literatury a internetových zdrojů	- 42 -
9. Přílohy.....	- 44 -

1. Úvod

Hydrologické studie povodí jsou podstatným přínosem pro přírodní bohatství naší planety. Díky nim jsme schopni zjistit mnoho informací o povodí daného toku a následně tento tok a jeho okolí zabezpečit nebo zajistit. Zásoba vody, protipovodňová opatření, ochrana živočichů a rostlin jsou jen některé z mnoha příkladů, kde se dá využít hydrologická studie. Jenomže máme mnoho vodních toků, kde hydrologické studie nebyly doposud provedeny. Jedná se hlavně o malé toky, jako je např. právě Dobřejovický potok, který je hlavním předmětem této bakalářské práce.

Jedním z hlavních problémů u nás v ČR je nedostatečná schopnost zadržování vody krajinou. V minulosti zde bylo mnoho lesů, které dokázaly zadržet velké množství vody díky své akumulární schopnosti. Ale postupem času se retence vody v krajině začala zhoršovat. Důvodem bylo kácení, výstavba měst nebo silnic a spousta dalších. Díky tomu začalo docházet také k častějším povodním. A právě v zajištění opatření proti povodním nám může pomoci hydrologická studie. Podstatným faktorem těchto opatření je maximální průtok, který slouží jako návrhový průtok. Tyto průtoky jsou jedním z hlavních cílů této bakalářské práce.

2. Cíl práce

Cílem této práce je zjištění hydrologických charakteristik povodí Dobřejovického potoka (orografické, geografické a geometrické charakteristiky) a dále je využít jako vstupní hodnoty pro výpočet N-letých průtoků za pomoci empirických vzorců a programu DesQ-MAXQ. Software ArcGIS nám pomůže k vytvoření digitálního modelu terénu, který použijeme k získání zbylých vstupních hodnot. V závěru budeme porovnávat zjištěné a spočítané hodnoty s daty od Českého hydrometeorologického ústavu.

3. Literární rešerše

3.1 Hydrologické charakteristiky povodí

Povodí je základní hydrologickou oblastí, kde zkoumáme odtokový proces a kde zjišťujeme vzájemný vztah bilančních prvků. Po hydrologické stránce je toto území uzavřené. Což znamená, že do něj nepřitéká žádná voda povrchová ani podpovrchová. A čára, která toto území ohraničuje, se nazývá rozvodnicí. (Jandora, 2005) Povodí povrchových vod je dáno jednoznačně profilem na vodním toku a rozvodnicí. Na druhou stranu se povodí podpovrchových vod většinou odlišuje od povodí povrchových vod vlivem různého uspořádání propustných a nepropustných vrstev. (Krešl, 2001)

Orografická rozvodnice, též rozvodnice povrchových vod, je imaginární čára v terénu, kterou označuje hranici mezi povodími. Rozhraní mezi povodími se nazývá rozvodí. Rozvodím také probíhá orografická rozvodnice. (Hrádek a Kuřík, 2008) Pokud chceme tuto čáru vykreslit, tak budeme předpokládat, že je spádnicí v povodí a je zároveň nejvýše položená. Tok nám protíná jenom v určitém profilu. Úlohu řešíme tak, že kreslíme kolmice na vrstevnici. Při zakreslování začínáme od závěrného profilu a postupujeme z jedné strany k nejvyššímu místu rozvodnice a následně pokračujeme z druhé strany. Z daného profilu spustíme kolmici na vrstevnici. Pata této kolmice se pro nás stává novým bodem, ze kterého spustíme další kolmici na vrstevnici a takto opakujeme dále. Předpokládáme, že rozvodnice prochází sedlem tak, že vytváří jeho osu. Pokud bude rozvodnice přecházet vrcholkem, tak musíme pokračovat z úpatí vrcholu, kde se nachází sedlo. Ze středu sedla se opět vracíme k vrcholu. (Krešl, 2001)

Rozvodnici, která ohraničuje povodí podpovrchových vod, nazýváme hydrogeologickou rozvodnicí. Její průběh závisí na geologické stavbě území a na uložení nepropustných vrstev. Pokud řešíme běžné hydrologické úlohy, tak předpokládáme, že se hydrogeologická rozvodnice ztotožňuje s orografickou rozvodnicí. Tyto dvě rozvodnice se od sebe mohou odlišovat svou velikostí. U menších povodí mohou být tyto rozdíly větší, zatímco u velkých povodí bývají naprosto zanedbatelné. Průběh rozvodnice podpovrchových vod můžeme zjistit hydrogeologickým průzkumem. To se děje jen v ojedinělých případech, většinou když chceme znát jednotlivé složky odtoku u experimentálních povodí. (Hrádek a Kuřík, 2008)

3.1.1 Fyzikálně – geografické vlastnosti povodí

Jednou z podstatných charakteristik povodí je zeměpisná poloha. Ta je udávána zeměpisnými souřadnicemi. Případně ji můžeme blíže specifikovat vzhledem k důležitému geomorfologickému celku. (Krešl, 2001) Za pomoci geomorfologie povodí a zeměpisné polohy je možné přibližně určit, jaké základní klimatické vlastnosti zde působí. (Hrádek a Kuřík, 2008)

Do této kategorie nám patří několik dalších vlastností. Mezi ně patří vlastnosti klimatické, půdní a geologické. Dále sem můžeme zařadit vegetační kryt, přirozenou retenci, antropogenní vlivy a případně i orografické poměry.

Klimatické poměry v povodí

Vlhkost vzduchu

Mění se s časem a prostorem a určuje nám, kolik vodních par je obsaženo ve vzduchu. Vlhkost vzduchu je dána vypařováním a kondenzací vodní páry, horizontálním prouděním vzduchu a transportem vodní páry vertikálním směrem. (Soukupová, 2012) Abychom vlhkost vyjádřili, tak využíváme tzv. vlhkostní charakteristiky. Mezi ně spadá tlak vodní páry, absolutní vlhkost vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, ekvivalentní vlhkost vzduchu, měrná vlhkost vzduchu, teplota rosného bodu a sytostní doplněk. (Hrádek a Kuřík, 2008) Na měření vlhkosti používáme přístroje, kterým se říká hygrometry (vlhkoměry). Ty můžeme dále rozdělit na vlhkoměry psychrometrické, deformační, absorpční a kondenzační. (Soukupová, 2012) Nejčastěji užíváme k měření psychrometry. V terénu měříme Assmanovým psychrometrem a na meteorologických stanicích používáme Augustův psychometr. Oba se skládají ze dvou teploměrů (suchého a vlhkého). (Krešl, 2001)

Teplota vzduchu

Udává nám tepelný stav ovzduší, tj. schopnost vzduchu přijímat, uchovávat a předávat tepelnou energii. Největším zdrojem je sluneční záření, které nám ohřívá zemský povrch a ten dále vyzařuje teplo, které nám ohřívá vzduch. Největší vliv na teplotu mají albedo, režim insolace a efektivní vyzařování zemského povrchu. Efektivní vyzařování zemského povrchu nám vyjadřuje ztrátu tepla zemského povrchu v noci. Je to rozdíl mezi vyzařováním zemského povrchu a zpětným zářením ovzduší. Měříme ho pyrgeometry. Režim insolace je množství slunečního záření, dopadajícího na plochu za jednotku času. Albedo je poměr odraženého množství záření k záření dopadajícího na určitý povrch. (Soukupová, 2012)

Průměrné hodnoty albeda	
Půda	0,08 – 0,30
Les	0,05 – 0,18
Sníh	0,46 – 0,81
Voda	0,04 – 0,39

Tabulka č. 1: Průměrné hodnoty albeda (Hrádek a Kuřík, 2008)

Hodnoty se mění podle intenzity slunečního záření. V průběhu jednoho dne se nám může změnit mnohonásobně. (Hrádek a Kuřík, 2008) K měření teploty vzduchu používáme teploměry. Máme několik druhů teploměrů – kapalinové, deformační, elektrické aj. Na meteorologických stanicích se můžeme setkat s termografem. Při zjišťování teploty vyhážíme ze dvou daných bodů. Jsou to bod mrazu a bod varu čisté vody za normálního atmosférického tlaku (1013,25 hPa). Používáme hlavně 3 teplotní stupnice. Celsiova má 100 dílků. Bod mrazu je tu 0 °C a bod varu 100 °C. Na 180 dílků je rozdělena Farenheitova stupnice, kde je bod mrazu označen 32 °F a bod varu 212 °F. Kelvinova stupnice je vlastně posunutá Celsiova stupnice tak, že 0 K je rovna teplotě -273,15 °C. Tomuto bodu říkáme absolutní nula. (Soukupová, 2012)

Srážky

Padající sněhové nebo dešťové srážky vznikají tak, že některé jednotlivé oblačné kapky (případně ledové částice) začnou růst na úkor ostatních. Srážky ve smíšených oblacích se vytvářejí díky ledovým částicím v oblaku. K nárůstu těchto částic dochází při teplotách nižších než 0 °C. Pokud v tuto chvíli obsahuje část přechlazených vodních kapiček vhodná kondenzační jádra, tak se přemění na ledové krystalky, které potom narůstají desublimací vodní páry a jakmile dosáhnou kritické velikosti, tak začnou padat. Ve vodních oblacích nám dochází k tzv. koalescenci. Při tomto procesu dochází ke splývání srážejících se kapek a následně nám mohou vzniknout tropické lijáky. (Soukupová, 2012)

Srážky můžeme dělit několika způsoby. Podle skupenství dělíme na srážky kapalné (déšť), tuhé (vločky) a smíšené. Podle původu rozlišujeme srážky vertikální (padající) a horizontální (usazené). Další dělení se zabývá délkou trvání srážek, kde je můžeme rozdělit na srážky trvalé a na přeháňky. Posledním dělením je dělení podle příčin vzniku. Mohou nám vznikat uvnitř vzduchových hmot (nefrontální) a dále mohou být frontální a orografické. (Soukupová, 2012) Srážek v podobě deště se využívá hlavně u odvozování povodňových vln, protože jsou jednou z hlavních příčin velkých průtoků. Srážky měříme hlavně srážkoměrem nebo ombrografem. Důležitými charakteristikami jsou objem srážek, úhrn srážek, průměrná výška srážek na povodí, doba trvání a intenzita deště. (Hrádek a Kuřík, 2008)

Vegetační pokryv

Abychom zjistili zastoupení různých druhů krytu, tak se můžeme podívat na různé druhy map (topografické, lesnické, fenologické). Nejpodstatnějšími druhy krytů jsou pro nás zalesněné plochy, dále plochy polí a luk, zastavěná území apod.. Zastoupení jednotlivých druhů udáváme v procentech celkové plochy povodí. Vegetační pokryv nám ovlivňuje svým charakterem plošný odtok (rychlost stékání vody po svazích) a také evapotranspiraci, tj. výpar z půdy a rostlin. Také nám slouží k zachycování určitého množství srážek (intercepce). Intercepce je část srážek, která se poutá povrchovým napětím na listové plochy rostlin a předmětů. Tato část se nám tedy nedostane na povrch půdy. K výparu této vody dochází během dešťů. Působení větru a kinetická energie dešťových kapek nám může srazit zadržovanou vodu z rostlin. Teoreticky je možné intercepce vyjádřit následujícím vztahem (Hrádek a Kuřík, 2008):

$$I = A + E \quad (\text{rovnice č. 1})$$

A ... Zadržovaná voda na vegetaci a předmětech

E ... Vypařená voda z listové plochy a předmětů

I ... Intercepce

Lesnatost povodí

Jednou z nejdůležitějších charakteristik vegetačního pokryvu je plošný podíl zastoupení lesů, tj. lesnatost. Zastoupení lesů je velmi důležitým činitelem, protože nám ovlivňuje hydrologický režim. (Pavelková Chmelová a Frajer) Lesní porost nám většinou reguluje povrchový odtok příznivě, ale to závisí na jeho druhové skladbě a na situování lesa v povodí. Pro zadržení velkého množství vody nám nejlépe poslouží smíšený les se správným zastoupením dřevin, protože má dostatečně mocnou vrstvu humusu. Tímto se nám sníží kulminační povodňové průtoky. Hydrologicky nejúčinnější les se nachází v horní části povodí. Ve spodní části povodí dochází k pozdějšímu tání sněhu a v době jarního tání nám může les nepříznivě ovlivnit kulminační průtoky. (Hrádek a Kuřík, 2008) Lesnatost spočítáme vzorcem (Krešl, 2001):

$$L = \frac{F_{pL}}{F} \cdot 100 \quad (\text{rovnice č. 2})$$

F_{pL} ... Plocha povodí pokrytá lesem [km²]

F ... Plocha povodí [km²]

L ... Lesnatost [%]

Geologické a půdní poměry

Vlastnosti půd jsou ovlivňovány geologickými poměry. Z hlediska pronikání vody do spodních vrstev je velmi podstatný způsob uložení vrstev. Horniny dělíme podle stupně propustnosti do 3 skupin (propustné, polopropustné, nepropustné). Geologické poměry nám také ovlivňují úroveň hladiny podzemní vody a celkovou zásobu. Zjišťujeme je průzkumem či z podrobných geologických map. Značný význam toto má až na velkých povodích, jelikož odtok podzemní vody je důležitou součástí u hydrologické bilance. (Blažková, 2014)

Půdní poměry určují intenzitu a velikost infiltrace, čímž určují rozložení odtoku na povrchový a podpovrchový. Zjišťujeme je z podrobných pedologických map či hydrologických výzkumem. (Pavlů, 2018)

Půdy, které mají drobtovitou strukturu, umožňují rychlejší vsakování srážkové vody. Na povrchu bezstrukturních půd se vytvoří nepropustný škraloup zabráňující infiltraci srážkové vody. To zapříčiňuje extrémní povrchové odtoky z přívalových dešťů na malých povodích. Strukturní půda shromažďuje dočasně vodu a pomalý odtok podpovrchové vody srovnává kolísání srážek a poskytuje zásobení rostlin vodou v době bez srážek. (Kutílek a kol., 2004)

K tomu, abychom udělali zrnitostní rozbor, využíváme několika metod. Mezi ně patří metoda vyplavovací, metoda dekatanční, metoda pipetovací, hustoměrná metoda a jiné. Hustoměrnou metodou se měří hustota suspenze v určitých časových intervalech. Jelikož vlivem rozdílné sedimentační rychlosti klesá hustota suspenze, je možné pomocí nomogramu či jednoduchého programu a výpočtu určit velikost částic a jejich procentuální zastoupení. Na základě procentuálního zastoupení jednotlivých frakcí se slovně pojmenuje půdní druh. Ke klasifikaci půdního druhu (textury, zrnitosti) slouží závazné tabulky. (Kutílek a kol., 2004)

Antropogenní vlivy

Skoro všechny vlastnosti přirozeného povodí můžeme změnit antropogenní činností. Spadají sem různé technické zásahy do povodí. Jsou řízené lidmi a zaměřují se na využívání zdrojů pro lidský prospěch. Díky lidskému vlivu se přirozené prostředí může měnit na umělé. Veškeré technické úpravy by se měly řešit tak, aby neměly moc velký negativní dopad na životní prostředí. (Hrádek a Kuřík, 2008)

Velmi podstatně jsou ovlivňovány klimatické poměry a to spíše negativně. Prašné částice a chemické látky z emisí nám znečišťují atmosféru a případně i ničí ozonovou vrstvu. Teplota zemského povrchu se zvyšuje důsledkem skleníkového efektu. Ten je způsoben zvýšenou koncentrací CO₂ v atmosféře. Přispívá tomu také větší požadavek na výrobu energií. Pokud nebudeme chránit kvalitu srážek, tak můžeme přijít o velmi cenný zdroj vody. S tímto souvisí i kyselá dešť, které nám poškozují lesní porosty. (Hrádek a Kuřík, 2008)

Odvodňováním a zemědělským zásahem přeměníme půdní poměry. Orografické poměry lze změnit např. těžbou v povodí. Pokud např. odvedeme vodu z horního povodí, tak můžeme změnit plochu povodí. Tvar povodí je často vymezen hony osevních polí. Vegetační kryt můžou lidské úpravy ovlivnit velmi drasticky, ať jde o kácení nebo výsadbu lesů, zabírání plochy na výstavbu nebo třeba vysazování určitých zemědělských plodin. Akumulaci vody upravíme např. výstavbou nových nádrží, změnou vegetace nebo rušením rybníků. Úpravou tras toků můžeme zase změnit říční síť. (Hrádek a Kuřík, 2008)

3.1.2 Orografické vlastnosti povodí

Orografické poměry nám představují výškové a sklonové poměry. Nejdůležitějšími charakteristikami pro nás jsou nadmořská výška uzavírajícího profilu povodí a nejvyšší kóty v povodí (nejčastěji na rozvodnici). Dále nás také zajímá průměrná nadmořská výška v povodí a střední sklon svahů. Tyto charakteristiky zjišťujeme z topografických (také vrstevnicových) map. (Beran, 2009)

Výškové a sklonové poměry mají vliv hlavně na meteorologické a klimatické vlastnosti. Mezi ně nám patří například srážky, výpar, teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, sloučení záření a mnoho dalších. Rychlost dobíhání vody do hlavního toku a uzavírajícího profilu nám primárně ovlivňují sklonové poměry. (Hrádek a Kuřík, 2008)

Hypsografická křivka nám zobrazuje výškové poměry v povodí. K jejímu sestrojení potřebujeme znát nadmořské výšky a plochy uzavřené vrstevnicí a rozvodnicí, které jim odpovídají. Na vodorovnou osu vynášíme plochy a na svislou osu nadmořské výšky. Po vynesení spojíme body a vznikne nám křivka, ze které můžeme odečítat průměrnou nadmořskou výšku a také minimální a maximální nadmořské výšky v povodí. (Hrádek a Kuřík, 2008)

Průměrná nadmořská výška povodí \bar{H}

Můžeme ji přibližně určit jako aritmetický průměr minimální a maximální výšky v povodí. A nebo ji stanovíme přesněji jako aritmetický střed nadmořských výšek a jejich příslušných ploch omezených dvěma sousedními vrstevnicemi a rozvodnicí. (Krešl, 2001)

1. způsob

$$\bar{H} = \frac{H_{max} + H_{min}}{2} \quad (\text{rovnice č. 3})$$

H_{max}	... Maximální nadmořská výška v povodí	[m]
H_{min}	... Minimální nadmořská výška v povodí	[m]
\bar{H}	... Přibližná průměrná nadmořská výška v povodí	[m]

2. způsob

$$\bar{H} = \frac{\sum_i^n H_i F_i}{F} \quad (\text{rovnice č. 4})$$

H_i	... Aritmetický střed z příslušných nadmořských výšek	[m]
F_i	... Plochy příslušné k nadmořským výškám	[m ²]
F	... Celková plocha	[m ²]

Také můžeme průměrnou nadmořskou výšku odvodit z hypsografické křivky. Toho docílíme, pokud převedeme plochy ohraničené osami x , y a hypsografickou křivkou na obdélník, který odpovídá celkové ploše povodí. Tu zjistíme planimetrováním. Jeho základnu tvoří x a výška obdélníka y určuje na ose souřadnic průměrnou nadmořskou výšku. (Hrádek a Kuřík, 2008)

Střední sklon svahů v povodí I_{sv}

Střední sklon svahů potřebujeme znát, protože máme v povodí nejednotné sklonové poměry. Můžeme ho stanovit zjednodušeným způsobem nebo vztahem dle Herbsta. (Hrádek a Kuřík, 2008) Nejlepší představu nám udává mapa sklonitosti, kam se zakreslí plochy o stejném sklonu a jsou dané určitým intervalem. Pak můžeme střední sklon počítat jako všeobecný aritmetický střed (Krešl, 2001):

$$I_{sv} = \frac{\sum_i^n I_i F_i}{F} \quad (\text{rovnice č. 5})$$

I_i	... Střední volených intervalů sklonu	
F_i	... Plochy jednotlivých dílčích plošek se sklony I_i	[m ²]
F	... Plocha povodí	[m ²]
I_{sv}	... Střední sklon svahů v povodí	

Zjednodušený vztah:

$$I_{sv} = \frac{H_{max} - H_{min}}{\sqrt{F}} \cdot 100 \quad (\text{rovnice č. 6})$$

H_{max}	... Maximální nadmořská výška v povodí	[m]
H_{min}	... Minimální nadmořská výška v povodí	[m]
F	... Plocha povodí	[m ²]
I_{sv}	... Střední sklon svahů v povodí	[%]

Vztah dle Herbsta

a) Při $\Delta h = \text{konst.}$:

$$I_{sv} = \frac{\Delta h \cdot \sum l_{si}}{F} \cdot 100 \quad (\text{rovnice č. 7})$$

b) Při různé volbě Δh :

$$I_{sv} = \frac{\sum (l_{si} \cdot \Delta h)}{F} \cdot 100 \quad (\text{rovnice č. 8})$$

Δh	... Zvolený výškový interval mezi vrstevnicemi	[m]
l_{si}	... Průměrná délka vrstevnic v i-tém intervalu	[m]
F	... Plocha povodí	[m ²]
I_{sv}	... Střední sklon svahů v povodí	[%]

Absolutní spád povodí ΔH

Informativní charakteristika, která nám udává rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší kótou v povodí. (Hrádek a Kuřík, 2008)

$$\Delta H = H_{max} - H_{min} \quad (\text{rovnice č. 9})$$

H_{max}	... Maximální nadmořská výška v povodí	[m]
H_{min}	... Minimální nadmořská výška v povodí	[m]
ΔH	... Absolutní spád povodí	[m]

Průměrný sklon údolnice I_u

U malých a velmi malých povodí je průměrný sklon údolnice velmi podstatnou charakteristikou sklonových poměrů. (Hrádek a Kuřík, 2008)

$$I_u = \frac{H_{max,u} - H_{min,u}}{L_u} \cdot 100 \quad (\text{rovnice č. 10})$$

$H_{max,u}$... Maximální nadmořská výška údolnice	[m]
$H_{min,u}$... Minimální nadmořská výška údolnice	[m]
L_u	... Délka údolnice	[m]
I_u	... Průměrný sklon údolnice	[%]

3.1.3 Fyzikálně – geometrické vlastnosti povodí

Základními geometrickými charakteristikami povodí jsou plocha povodí a tvar povodí. Mají vliv hlavně na průběh odtoku vody z povodí. (Beran, 2009)

Plocha povodí F

Definujeme ji jako plochu průmětu půdorysu povodí do vodorovné roviny. Její jednotkou jsou kilometry čtvereční. Určujeme ji planimetrováním z mapových podkladů v mapovém měřítku 1 : 25 000. v dnešní době využíváme GIS (Geografický informační systém) a software, který je na to určen (ArcGIS, QGIS,...). (Hrádek a Kuřík, 2008) Pokud použijeme jiné podklady, tak to musíme uvést zvlášť. Doporučuje se ověření v terénu, jelikož mohlo dojít k umělým zásahům do povodí a tím se mohl změnit průběh rozvodnice, který jsme zjistili z mapových podkladů. (Beran, 2009)

Toky v povodí mají podstatný vliv na soustředování odtoku v závěrném profilu. Tyto toky nazýváme hydrografickou sítí. Pokud chceme vidět nárůst plochy od ostatních přítoků do hlavního toku, tak vykreslíme graf vývinu povodí. (Frajer a Chmelová, 2020):

Součinitel asymetrie a

Ve směru toku nám údolnice rozdělí povodí na dvě části – levou a pravou. (Krešl, 2001) Povodí může být symetrické, ale velmi často bývá asymetrické. A tuto míru asymetrie nám právě vyjadřuje součinitel asymetrie a (Beran, 2009):

$$a = \frac{F_L - F_P}{F_L + F_P} = \frac{F_L - F_P}{F} \quad (\text{rovnice č. 11})$$

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

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

F ... Celková plocha povodí [km²]

Tvar povodí

Dobu soustředování povrchového odtoku z povodí do závěrného profilu ovlivňuje právě tvar povodí společně se sklonovými poměry. Většinou je povodí nejvíce rozšířeno ve střední části a zužuje se ve směru k prameništi. Tvar velmi malých povodí nejčastěji ovlivňují lidské zásahy, nejvíce vyčlenění honů osevních postupů, oddělených polními cestami s odvodňovacím účinkem.

Součinitel tvaru povodí α je nejpodstatnější charakteristikou tvaru povodí. Vyjadřuje poměr mezi střední šířkou povodí a délkou údolnice (Hrádek a Kurík, 2008):

$$\alpha = \frac{B}{L_U} \quad (\text{rovnice č. 12})$$

B ... Střední šířka povodí [km]

L_U ... Délka údolnice [km]

Střední šířka povodí se vypočítá ze vztahu (Hrádek a Kurík, 2008):

$$B = \frac{F}{L_U} \quad (\text{rovnice č. 13})$$

F ... celková plocha povodí [km²]

L_U ... Délka údolnice [km]

Po vyjádření z rovnic dostaneme:

$$\alpha = \frac{F}{L_U^2} \quad (\text{rovnice č. 14})$$

F ... celková plocha povodí [km²]

L_U ... Délka údolnice [km]

Tento vztah se využívá při idealizaci tvaru povodí na obdélník, jehož plocha je rovna ploše povodí F a jeho strany jsou střední šířka povodí a délka údolnice. Pro idealizování tvaru povodí se doporučují i jiné geometrické obrazce, protože nahrazení plochy obdélníkem může být nevhodné (tvar povodí mohou být velmi rozmanité a obdélník nemusí vždy vyhovovat jako náhrada). (Hrádek a Kuřík, 2008)

Nejobvykleji nahrazujeme povodí obdélníkem, trojúhelníkem, kruhem a obrazcem omezeným parabolickou křivkou s vrcholem v závěrném profilu povodí. Když chceme zohlednit vliv tvaru povodí na soustředování vody v závěrném profilu, tak použijeme schematizaci náhradními geometrickými útvary. (Hrádek a Kuřík, 2008) Pokud mají povodí velikost 5 – 50 km², tak se podle hodnoty součinitele tvaru povodí α rozdělují na povodí (Frajer a Chmelová, 2020):

- a) Protáhlá ... $\alpha < 0,24$
- b) Přejířivá ... $\alpha = 0,24 - 0,26$
- c) Vějířovitá ... $\alpha > 0,26$

3.1.4 Říční síť

Povrchová voda ze srážek nám skončí ve vodním toku. Vodní tok je vodní útvar, kde se soustřeďuje voda a odkud nám dále odtéká. Vodní tok můžeme rozdělit na tok přírodní nebo umělý. Přírodní tok nám začíná v nejhořejší části povodí. Tuto oblast nazýváme pramenná oblast a může to být například vývěr, bažina, ledovec, jezero atd. (Kunštátský a Patočka, 1971) Umělý tok je tok, který nám vznikl technickým zásahem do přírody. Jsou to různé průplavy, náhony, odpady apod. Dále můžeme vodní toky rozdělit na stálé a občasně. Korytem občasného vodního toku neprotéká voda v nějakém delším časovém úseku a není obvykle zásobován podzemní vodou. Naopak stálým vodním tokem rozumíme tok, který je spojen s podzemní vodou a nevysychá ani v obdobích sucha. (Hrádek a Kuřík, 2008)

Říční sítí (soustavou) nazýváme hlavní tok s jeho veškerými přítoky. Každý vodní tok značíme řádem toku. Přítok do toku I. řádu označujeme řádem o stupeň vyšším (II.). Tok s nejvyšším řádem nazýváme hlavní tok. Dále jsou toky řazeny podle hydrologického pořadí. To je označováno od pramene k proudu a od toku nižšího řádu k toku s vyšším řádem. (Jandora, 2005)

U malých povodí je podstatná nejen rozvinutá říční síť se stálým průtokem, ale také například erozní rýhy při povrchovém odtoku dešťových vod. Geologická stavba povodí a stadium vývoje jeho reliéfu velmi úzce souvisí s uspořádáním říční sítě. Nejjednodušší síť se většinou nachází v horní části pramenné oblasti malého povodí, které odvodňuje pouze jeden tok a jehož údolí tvoří osu povodí. Pokud je síť složena z více dílčích povodí, tak se nám vytváří složitější říční soustava. Ta může mít různé tvary např. stromovitý se symetrickým nebo nesymetrickým uspořádáním, pérovitý aj. (Krešl, 2001)

Hustota říční sítě

Abychom posoudili říční síť, tak využíváme hlavně této charakteristiky. Vypočítáme ji podle vzorce (Krešl, 2001):

$$r = \frac{\sum L}{F} \quad (\text{rovnice č. 15})$$

L	... Celková délka toků v povodí	[km]
F	... Plocha povodí	[km ²]
r	... Hustota říční sítě	[km/km ²]

Koryto toku

Příčnými řezy tokem ve vybraných místech charakterizujeme koryto. Kapacitu (průtočnost) nám ovlivňuje několik faktorů. Patří mezi ně rozměry koryta, které udávají průtočnou plochu, dále drsnost koryta a sklonové poměry nivelety dna. Průtočnost koryta je průtok, který proteče daným profilem, aniž by se nám vylila voda z koryta. Jednotkou jsou $[m^3 \cdot s^{-1}]$. (Hrádek a Kuřík, 2008)

Podélný profil toku

Podélný profil je rozvinutý řez svislou plochou, kterou vedeme osou navržené trasy upravovaného toku. Řešíme v tomto výkresu podélný sklon dna (dílčích úseků dna) a výškovou polohu navrhovaného dna. Při návrhu výškové polohy musíme dávat pozor, abychom zabezpečili dostatečnou úroveň podzemních vod v nejbližším okolí. Také musíme brát ohledy na úroveň dna toku na začátku a na konci úpravy toku. Dále můžeme mít problém s rychlostí vody, pokud snížíme drsnost koryta opevněním některého z úseků. Musíme také zajistit, aby správně fungovaly vodohospodářské stavby a zařízení, pokud budeme měnit jejich výškovou polohu. (Beran, 2009)

3.2 N–leté průtoky

N-letý průtok Q_N můžeme definovat jako největší kulminační průtok, který je jedenkrát za N let dosažen či překročen. Např. Q_{100} je kulminační průtok, který je průměrně dosažen nebo překročen jednou za 100 let. (Kunštátský a Patočka, 1971) U povodí velmi drobných vodních toků využíváme pro odvozování charakteristik N-letých povodňových vln nepřímé metody. Největší vliv na výběr metody má velikost plochy povodí. Velikost plochy povodí nám pomáhá rozlišovat 3 kategorie povodí: povodí velmi malá, povodí malá a povodí velká. Velmi malá a malá povodí můžeme popsat jako povodí malých toků s málo rozvinutou říční sítí, na nichž přívalové deště vyvolávají maximální průtoky. Podle maximální plochy, která může být zasažena deštěm, můžeme stanovit mezní hranice mezi kategoriemi. Mezi malým a velkým povodím se udává mezi 30 až 250 km² a mezi malým a velmi malým obvykle 5 km². (Hrádek a Kuřík, 2008)

3.2.1 Empirické vzorce

Pro výběr správného vzorce musíme zvážit všechny předpoklady jeho platnosti (velikost povodí, charakter povodí aj.). Rozlišujeme 3 základní typy empirických vzorců (Hrádek a Kuřík, 2008):

- Vzorce oblastní (regionální)
- Vzorce objemové
- Vzorce intenzitního typu

Vzorce oblastní

$$Q_N = A \cdot F^{1-n} \quad (\text{rovnice č. 16})$$

$$q_N = \frac{Q_N}{F} = A \cdot F^{-n} \quad (\text{rovnice č. 17})$$

A, n	... Oblastní parametry	[-]
F	... Plocha povodí	[km ²]
Q_n	... Maximální průtok	[m ³ .s ⁻¹]
q_n	... Maximální specifický průtok	[m ³ .s ⁻¹ .km ⁻²]

Vzorec byl upraven pro kategorii velmi malých a malých povodí:

$$Q_N = A \cdot (F + c)^{1-n} \quad (\text{rovnice č. 18})$$

c ... Opravný součinitel

Parametry A , n byly odvozeny pro určité oblasti. Tabulka odvozených parametrů je dále uvedena v příloze. Pro výpočty je doporučeno určit platnost parametrů A , c pro dobu opakování $N = 100$ let. Využití parametru c je pro drobné toky velmi problematické, a proto nebyly vydány žádné spolehlivé podklady. (Hrádek a Kuřík, 2008)

Vzorce objemové

S pomocí odhadu objemu povodňové vlny a tvaru hydrograf můžeme vypočítat kulminační průtok. Tvar povodňové vlny si představujeme jako trojúhelník. Objem povodňové vlny vypočítáme vzorcem (Hrádek a Kuřík, 2008):

$$W_{PV} = \varphi \cdot S \quad (\text{rovnice č. 19})$$

$$\varphi = \frac{S}{W_{PV}} \quad (\text{rovnice č. 20})$$

S	... Redukce objemu návrhového deště	$[\text{m}^3]$
φ	... Objemový součinitel	$[-]$
W_{PV}	... Objem povodňové vlny	$[\text{m}^3]$

Po dosazení této rovnice dostaneme obecný tvar objemové vzorce, který vypadá:

$$Q_N = k \cdot \frac{2\varphi \cdot i_N \cdot t_d}{t_c} \quad (\text{rovnice č. 21})$$

k	... Rozměrový součinitel	$[-]$
φ	... Objemový součinitel	$[-]$
i_N	... Náhradní intenzita výpočtového deště zvolené doby opakování a trvání	$[\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$
t_c	... Celková doba trvání povodňové vlny	$[\text{h}]$
t_d	... Doba trvání výpočtového deště	$[\text{h}]$
Q_N	... Maximální průtok	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$

Je velmi mnoho upravených objemových vzorců od různých autorů. Rozdíly mezi nimi tvoří hlavně metodika odvození hodnot parametrů a zavedení doplňujících parametrů. Vzorce Sokolovského a Čerkašina jsou v České republice nejznámější a nejvyužívanější. (Starý, 2005)

Sokolovského vzorec

$$Q_N = \frac{k \cdot H_{s,N} \cdot \varphi \cdot F}{t_k} \cdot f \quad (\text{rovnice č. 22})$$

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

Odvození hodnot parametrů vzorce (Hrádek a Kuřík, 2008):

- Doba koncentrace t_k

$$t_k = \frac{L}{3,6 \cdot v} \quad (\text{rovnice č. 23})$$

L	... Délka údolnice	[km]
v	... průměrná rychlost stékání vody	[m.s ⁻¹]

Doporučené hodnoty rychlosti v jsou vidět na Obr. č. 1.

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

Obr. č. 1 – Doporučené hodnoty rychlosti v (Dub, Němec a kol., 1969)

- Doba trvání výpočtového deště t_d

$$t_d = t_k \cdot (t_k + 1)^{-0,20} \quad (\text{rovnice č. 24})$$

- Výška výpočtového deště $H_{s,N}$

Odvodíme ho pro dobu trvání výpočtového deště t_d . K tomu můžeme využít několika metod, např. metoda redukce maximálních jednodenních úhrnů srážek, výpočtem dle Čerkašina aj. Výpočet dle Čerkašina vypadá takto:

$$H_{s,N} = 14,5 \cdot t_d^{\frac{1}{3}} \quad (\text{rovnice č. 25})$$

- Objemový součinitel odtoku φ

Můžeme ho zjistit výpočtem známé velikosti infiltrace a celkové retence povodí (dále u vzorců intenzitního typu), metodou CN nebo z map izolinií.

Čerkašinův vzorec

$$Q_{100} = \frac{24,7 \cdot \varphi \cdot v_s^{\frac{2}{3}} \cdot F}{p \cdot L_u^{\frac{2}{3}}} \quad (\text{rovnice č. 26})$$

φ	... Odtokový součinitel	[-]
v_s	... Střední rychlost dobíhání vody	[m.s ⁻¹]
F	... Plocha povodí	[km ²]
L	... Délka údolnice	[km]
p	... Součinitel vyjadřující vliv tvaru povodí na Q_{100}	[-]
Q_{100}	... Maximální průtok – doba opakování 100 let	[m ³ .s ⁻¹]

U tohoto vzorce není vyžadováno stanovení hodnot charakteristik návrhové deště. Vzorec je ideální pro Čechy a Moravu, kde povodí nepřekračuje plochu 300 km². (Hrádek a Kuřík, 2008)

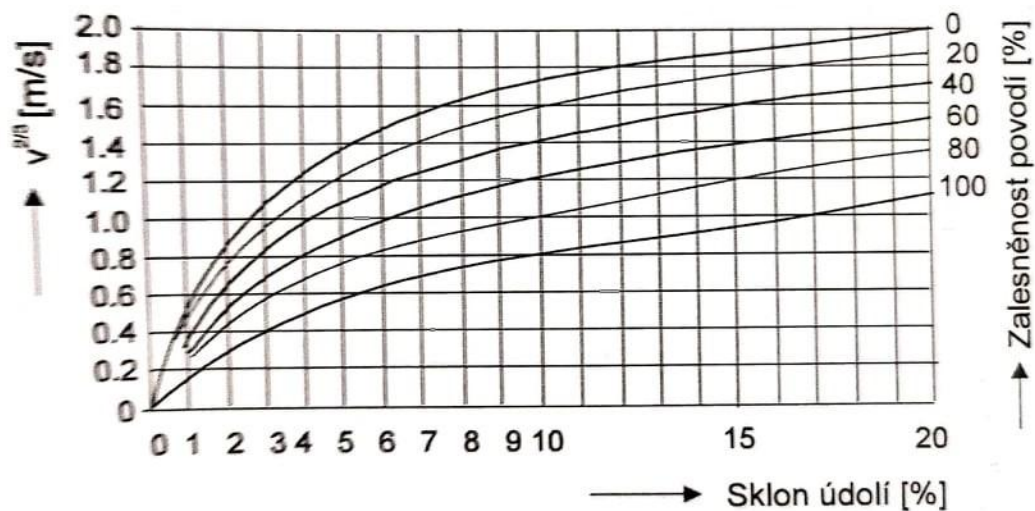
Odvození hodnot parametrů vzorce (Hrádek a Kuřík, 2008):

- Objemový součinitel odtoku φ

Můžeme ho zjistit výpočtem známé velikosti infiltrace a celkové retence povodí (dále u vzorců intenzitního typu), metodou CN nebo z map izolinií.

- Průměrná rychlost dobíhání vody v povodí v_s

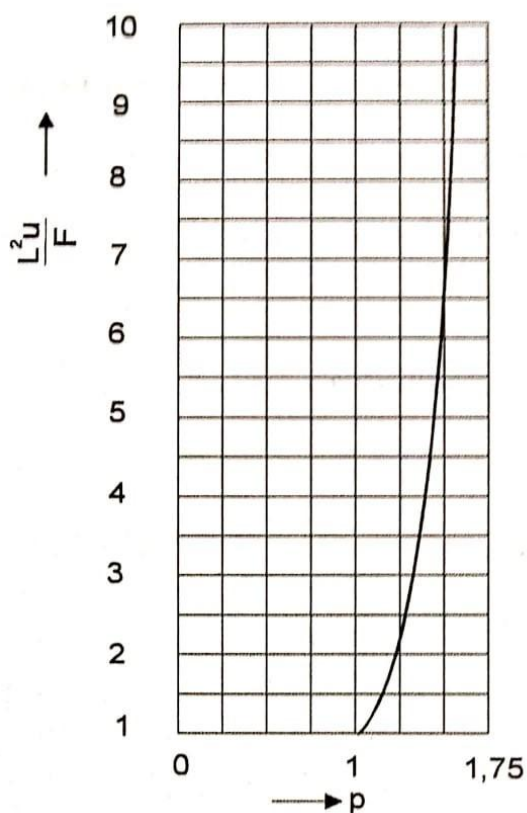
Hodnota $v_s^{2/3}$ se odečte přímo z grafu, který můžeme vidět na Obr. č. 2. Tuto hodnotu určíme podle průměrného sklonu údolí a míře zalesnění povodí. Uvedené hodnoty rychlosti v_s se ideálně používají pro větší povodí, protože jsou relativně vysoké.



Obr. č. 2 – Průměrná rychlost dobíhání vody v povodí (Hrádek a Kuřík, 2008)

- Koeficient tvaru povodí p

Tento koeficient v závislosti na součiniteli tvaru povodí se také odečte z grafu na Obr. č. 3. Součinitel tvaru povodí je vyjádřen podílem $\frac{L_u^2}{F}$.



Obr. č. 3 – Vliv tvaru povodí na Q_{100} (Hrádek a Kuřík, 2008)

Vzorce intenzitního typu

Původně se tyto vzorce využívaly při návrhu stokových kanalizačních sítí. (Hrádek a Kuřík, 2008)

$$Q_N = k \cdot i_N \cdot C_n \cdot F \quad (\text{rovnice č. 27})$$

i_N	... Náhradní intenzita výpočtového deště zvolené doby opakování a trvání	[mm.min ⁻¹]
F	... Plocha sběrné plochy	[km ²]
C_n	... Vrcholový součinitel odtoku	[-]
k	... Rozměrový součinitel, $k = 16,67$	[-]
Q_N	... Maximální průtok	[m ³ .s ⁻¹]

V tabulce č. 2 jsou uvedeny hodnoty součinitele C_n . Tyto hodnoty byly stanoveny v roce 1950 Vyhláškou ministerstva techniky.

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 odtokových součinitelů mají platnost pro půdu střední propustnosti. U propustné půdy (písek) se zmenšují o 10%, při nepropustné (jíl, skála) se zvyšují o 10%.

Tabulka č. 2: Hodnoty odtokového součinitele C_n (Starý, 2005)

Náhradní intenzitu i_N odvodíme pro dobu trvání výpočtového deště t_d . K tomu můžeme využít několika metod, např. metoda redukce maximálních jednodenních úhrnů srážek, výpočtem dle Čerkašina aj. Výpočet dle Čerkašina vypadá takto:

$$i_{100} = 14,5 \cdot t_d^{\frac{2}{3}} \quad (\text{rovnice č. 28})$$

Objemový součinitel odtoku φ odvodíme dle metody CN nebo počtem podle vzorce (Hrádek a Kuřík, 2008):

$$\varphi = \frac{H_{s,N} - V_T - R}{H_{s,N}} \quad (\text{rovnice č. 29})$$

$H_{s,N}$... Výška výpočtového deště, doby trvání t_d ,
doby opakování N , $H_{s,N} = t_d \cdot i_N$ [mm]

V_T ... Velikost infiltrace za dobu trvání $T = t_d$, na
základě Tabulky č. 4 určíme z Obr. č. 4 [mm]

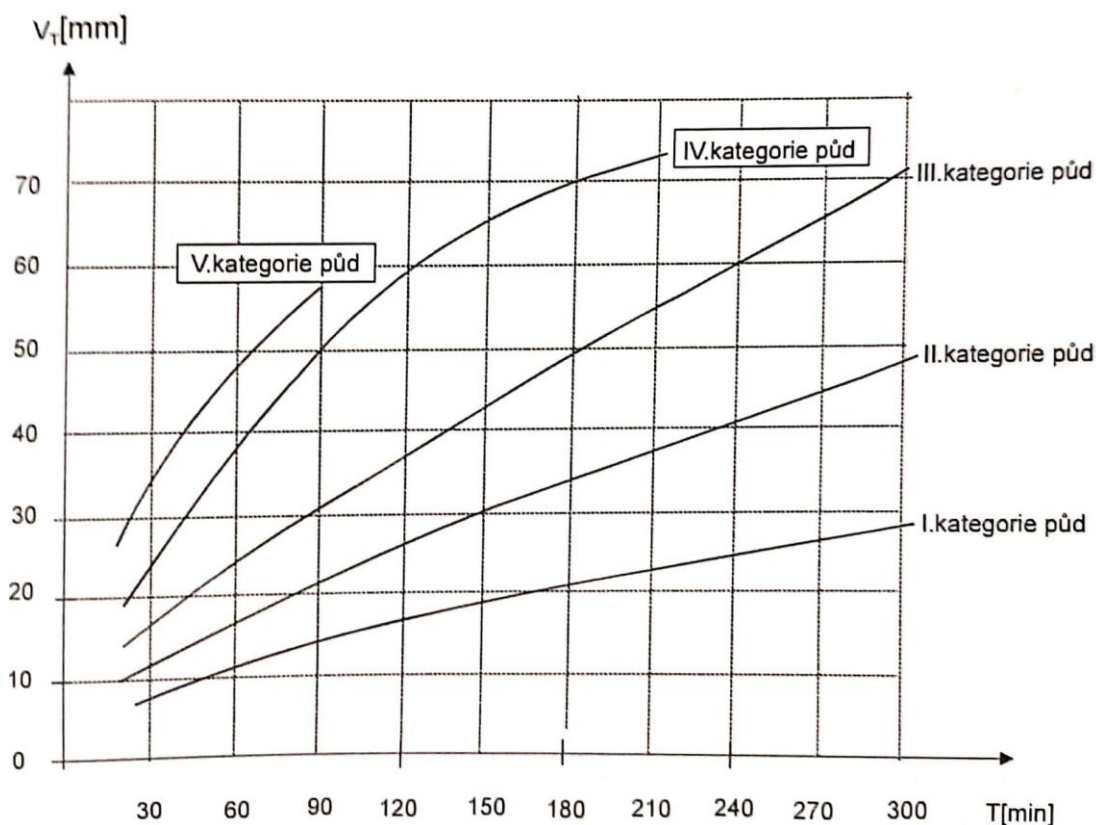
R ... Celková retence povodí, tab. [mm]

Skupina povrchu	Charakter povrchu	R [mm]	Průměr R [mm]
A	Holý povrch, slabě porostlý vegetací	2 - 4	3
B	Pole	6 - 8	7
C	Louky	10 - 18	14
D	Vypělé jehličnaté porosty s vrstvou humusu	12 - 25	19
E	Vypělé listnaté porosty	6 - 12	9
F	Mladé lesní porosty	6 - 12	8
G	Rašelina, bažiny	30 - 36	33
H	Mech	40 - 45	43

Tabulka č. 3: Celková retence povodí (Hrádek a Kuřík, 2008)

Makrostruktura	Půdní typ	Kategorie půd				
		jílovitá	hlinitá	písčito-hlinitá	hlinito-písčitá	písčitá
velmi vodostálá	černozemě	III	IV	V		
méně vodostálá	jemnozrnné podzol. lesní půdy, tmavošedé, tmavokaštanové půdy	I-II	II-III	III-IV	IV-V	
nevodostálá	podzoly, lesní půdy světlé šedé, světlekaštanové	I	II	III	IV	V

Tabulka č. 4: Kategorie půd dle Armanda (Hrádek a Kuřík, 2008)



Obr. č. 4 – Velikost infiltrace dle Armanda (Hrádek a Kuřík, 2008)

3.2.2 Metoda CN křivek

Metoda čísel odtokových křivek CN byla zavedena v USA Službou na ochranu půdy. Jde o primitivní model, který se dá použít k výpočtu charakteristik povrchového odtoku. Základním vstupem je srážkový úhrn, u kterého předpokládáme, že je rovnoměrně rozložen v povodí. (Hawkins et al., 2008)

Touto metodou můžeme zjistit objem přímého odtoku, pokud dodržíme určitý předpoklad. Základ předpokladu je, že poměr objemu odtoku k úhrnu přívalové srážky se rovná poměru objemu vody zadržené při odtoku k potenciálnímu objemu, který může být zdržen. (Starý, 2005) Po počáteční ztrátě (součet intercepce, infiltrace a povrchové retence) nám začíná odtok. Za pomoci experimentálních měření byla počáteční ztráta stanovena na 20% potenciální retence, tedy (Janeček, 2008):

$$I_a = 0,2A \quad (\text{rovnice č. 30})$$

Po odečtení této ztráty od srážky dostaneme vzorec:

$$H_o = \frac{(H_S - 0,2A)^2}{A + (H_S - 0,2A)} \quad (\text{rovnice č. 31})$$

H_S	... Úhrn návrhového deště	[mm]
A	... Potenciální retence	[mm]
H_o	... Přímý odtok (výška odtoku)	[mm]

Potenciální retenci A vyjádříme pomocí CN křivek:

$$A = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (\text{rovnice č. 32})$$

Objem přímého odtoku poté vypočítáme vzorcem:

$$O = 1000 \cdot F \cdot H_o \quad (\text{rovnice č. 33})$$

F	... Plocha povodí	[km ²]
H_o	... Přímý odtok (výška odtoku)	[mm]
O	... Objem přímého odtoku	[m ³]

O průměrnou hodnotu úhrnu návrhového deště můžeme požádat ČHMÚ nebo můžeme využít zpracované N -leté jednodenní srážkové úhrny, které se blíží hodnotám nám potřebným (Janeček, 2008).

Čísla odtokových křivek CN určujeme podle (Janeček, 2008):

- vlhkosti půdy

Určuje se na základě indexu předchozích srážek IPS (pětidenní úhrn předcházejících srážek). IPS máme ve 3 stupních. IPS I odpovídá takovému minimálnímu obsahu vody v půdě, který je stále vhodný pro orbu a obdělávání. IPS II se uvažuje pro návrhové účely (střední nasycení půdy vodou. IPS III je půda přesycená.

- hydrologických vlastností půd

Jsou rozděleny do 4 skupin (A, B, C, D) na základě minimální rychlosti infiltrace vody do půdy bez pokryvu po dlouhodobém sycení. Abychom správně zařadili, tak můžeme využít 2. a 3. číslici 5-ti místného kódu BPEJ (HPJ).

Hydrologická skupina	Charakteristika hydrologických vlastností půd
A	Půdy s vysokou rychlostí infiltrace ($> 0,12 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$) i při úplném nasycení, zahrnující převážně hluboké, dobře až nadměrné odvodněné písky nebo štěrky
B	Půdy se střední rychlostí infiltrace ($0,06 - 0,12 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře až odvodněné hlinitopísčité až jílovitohlinité
C	Půdy s nízkou rychlostí infiltrace ($0,02 - 0,06 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité
D	Půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace ($< 0,02 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$) i při úplném nasycení, zahrnující převážně jíly s vysokou bobtnavostí, půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody, půdy s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod ním a mělké půdy nad téměř nepropustným podložím

Tabulka č. 5: Hydrologické skupiny půd HSP (Hrádek a Kuřík, 2008)

- využití půdy

3.2.3 Hydrologické modely

K odvození velikosti N-letých průtoků můžeme využít několika matematických hydrologických modelů. Modely jsou založeny na základních fyzikálních principech, které ale mohou být ovlivněny různorodostí okolních podmínek. (Hrádek a Kuřík, 2001)

Model DesQ funguje v závislosti na odvození charakteristik maximálního odtoku z povodí, který byl vyvolán přívalovými dešti. DesQ je založen na principu CN – křivek a máme 3 různé varianty výpočtu. (Hrádek a Kuřík, 2001)

- Varianta I – maximální průtok vyvolaný deštěm kritické doby trvání.
- Varianta II – maximální průtok při zadané době trvání deště a době opakování deště.
- Varianta III – maximální průtok při zadané době trvání deště a intenzitě deště.

Jako vstupní data pro model používáme (Hrádek a Kuřík, 2001):

- délku údolnice
- sklon údolnice
- 1-denní maximální srážkové úhrny
- plocha pravého a levého svahu
- sklon pravého a levého svahu
- drsnost pravého a levého svahu
- typ křivky CN pro pravý a levý svah
- čísla křivek CN pro pravý a levý svah
- doplňující údaje (doba trvání deště, intenzita deště)

4. Metodika

Pro vypracovávání této bakalářské práce jsem musel nejprve vyhledat a prostudovat odbornou literaturu.

Dále došlo na terénní pochůzku povodí, při které jsem získal představu o využití území a vegetačním pokryvu. Pořídil jsem fotodokumentaci povodí a objektů na hlavním toku.

Dalším krokem byla získání podkladů pro bakalářskou práci, které nejsou volně dostupné na internetu. Musel jsem si tedy data objednat u úřadů. Použitá data DMR 5G poskytl Český úřad zeměměřičský a katastrální (ČÚZK), hodnoty N-letých průtoků pak Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ).

Na výpočty a odvození hydrologických charakteristik byl použit software ArcGIS. V tomto softwaru byl také vytvořen digitální model reliéfu terénu. Hydrologické charakteristiky sloužily dále pro výpočet N-letých průtoků. Ty byly vypočítány pomocí nejčastěji používaných empirických vzorců v České republice. Jako poslední byl použit matematický model DesQ - MAXQ. Tyto výsledky pak byly zhodnoceny a porovnány v diskuzi spolu se získanými daty z ČHMÚ.

5. Zpracování lokality

5.1 Poloha povodí

Povodí Dobřejovického potoka se rozkládá ve Středočeském kraji. Dobřejovický potok je pravostranný přítok Botiče a je téměř stejně vodný jako Botič a proto ho značně posiluje. Soutok Botiče a Dobřejovického potoka se nachází v Průhonickém parku, který je Národní kulturní památkou a také památkou UNESCO.

Potok pramení na rozmezí malé louky a pole. Prameniště najdeme na východ od obce Chomutovice v okrese Praha-východ. Dále nám protéká obcí Doubravice a pokračuje přes Modletice do Dobřejovic a nakonec do Průhonického parku, kde se vlévá do Botiče. Na vodním toku jsou situovány dva rybníky. První z nich je rybník Skalník, který byl v posledních 5 letech opraven a upraven, aby mohl sloužit jako místo pro relaxaci. Druhý rybník se jmenuje Nový rybník. Oba rybníky nalezneme v obci Dobřejovice.

5.2 Hydrologické charakteristiky povodí

5.2.1 Geometrické charakteristiky povodí

Geometrické charakteristiky zájmového území byly zjištěny za pomoci programu ArcGIS s využitím dat od ČÚZK a dat DIBAVOD. Zbytek byl dopočítán podle vzorců z kapitoly 3.1.3 a jsou v tabulce č. 6.

Plocha povodí F	12,94 km ²
Plocha levého svahu F_L	8,49 km ²
Plocha pravého svahu F_P	4,45 km ²
Délka údolnice L_U	8,4 km
Délka hlavního toku L_H	8,24 km
Délka ostatních toků L_O	11,92 km
Střední šířka povodí B	1,540 km
Součinitel tvaru povodí α	0,183
Míra asymetrie a	0,312

Tabulka č. 6: Geometrické charakteristiky povodí

Součinitel tvaru povodí má hodnotu 0,183, což značí, že povodí je protáhlé. Hodnota míry asymetrie vyšla 0,312, což znamená, že levá strana povodí je téměř dvakrát větší než pravá. Pokud by se hodnoty více přiblížily ke krajním hodnotám (1 a -1), tak by to znamenalo značnou převahu jedné strany povodí nad druhou.

5.2.2 Orografické charakteristiky povodí

Orografické charakteristiky zájmového území byly zjištěny za pomoci programu ArcGIS s využitím dat od ČÚZK, díky kterým jsme si vytvořili Digitální Model Reliéfu (dále DMR). Zbytek byl dopočítán podle vzorců z kapitoly 3.1.2 a jsou v tabulce č. 7.

Maximální nadmořská výška H_{max}	495 m.n.m
Minimální nadmořská výška H_{min}	295 m.n.m
Průměrná nadmořská výška \bar{H}	382 m.n.m
Výška UP H_{UP}	295 m.n.m
Maximální nadmořská výška údolnice $H_{max,u}$	428 m.n.m
Absolutní spád povodí ΔH	200 m
Střední sklon povodí I_{sv}	5,56 %
Průměrný sklon údolnice I_u	1,58 %
Sklon levého svahu I_L	6,86 %
Sklon pravého svahu I_P	6,30 %

Tabulka č. 7: Orografické charakteristiky povodí

5.2.3 Geometrické charakteristiky povodí

Klimatické charakteristiky

Za rok 2019 se v zájmovém území průměrná roční teplota vzduchu pohybovala mezi 9 a 11 °C a průměrná roční relativní vlhkost vzduchu zde byla kolem 70%. Průměrný roční úhrn srážek v povodí byl v rozmezí 600 – 700 mm. Na vodoměrné stanici Průhonice byla zjištěna dlouhodobá průměrná roční výška srážek s přesnější hodnotou a to 617 mm. Data poskytl Český hydrometeorologický ústav v Praze.

Vegetační pokryv

Největší část území je využívána jako zemědělská orná půda. Nejčastěji se zde pěstují obilniny a brukev řepka. Lesů je zde velmi malé množství. Jeden z nich se nachází na jihu u obce Nebřenice a druhý je součástí Průhonického parku, do kterého povodí zasahuje na severu. V této části parku je velmi rozmanitá biodiverzita, ale převažují zde jehličnany, hlavně borovice. Z listnatých stromů jsou to hlavně duby. V lese u obce Nebřenice jsou lesy smíšené a převažují zde smrky a duby. Lesnatost byla spočítána podle vzorce č. 2:

Lesnatost povodí L	6,23 %
----------------------	--------

Tabulka č. 8: Lesnatost povodí

Z podkladů Corine Land Cover a za pomoci terénního průzkumu byla v softwaru ArcGIS vytvořena mapa využití území v povodí. Tato mapa následně sloužila jako podklad pro získání hodnot čísel CN při výpočtu maximálních průtoků v modelu DesQ – MAXQ.

Antropogenní vlivy

První půlka toku je téměř neupravená. Koryto je zde velmi zarostlé a protéká soustavou polí. Ve chvíli, kdy nám tok vstoupí do zastavěných oblastí, tak začíná být koryto upravované a případně i opevněné. Ze zastavěných oblastí je do toku svedena kanalizace dešťových vod. Někteří lidé nerespektují ochranu životního prostředí a vypouští do toků nelegálně svoji kanalizaci, což má velmi nepříznivý dopad na okolí a povodí vodního toku. Na toku se nachází několik objektů, které pomáhají s regulací vodního toku. Nejvíce jsou to propustky pod komunikací, ale také stupně nebo mostky.

Většina plochy povodí je využívána jako zemědělská plocha. To nám způsobuje, že se nám zvyšují kulminační průtoky. Zástavba také zabírá docela podstatnou část plochy povodí. Problémem je, že v zastavěných plochách odtečou veškeré srážky a neodchází k žádnému vsaku, protože je zástavba tvořena nepropustnými plochami.

Na toku leží dva rybníky, které slouží jako retenční nádrže, které nám shromažďují vodu a zároveň také zvyšují biodiverzitu v povodí. Oba slouží také jako rybochovné nádrže. Je snaha o to, aby byl tok revitalizován a aby se trochu více přiblížil přirozené podobě. Ovšem v několika místech v zastavěných oblastech také velmi erodují břehy, což vyžaduje lidský zásah.

Geologické poměry

Celé povodí Dobřejovického potoka leží v oblasti Českého masívu. Ten je pozůstatkem evropského variského neboli hercynského vrásnění. Zahrnuje území Čech a západní Moravy. Celé povodí se nachází v neoproterozoiku (doba trvání neoproterozoika je 1 000 – 542 mil. let), takže nejsou zde velmi rozmanité geologické poměry. Nejvíce typické horniny, které zde můžeme najít, jsou břidlice, droby a slepence. Tato oblast spadá do Štěchovického souvrství. Na východní straně povodí dále nalezneme také neoproterozoikum, které je ale tvořeno hlavně tmavými břidlicemi a silicity. Na jihu od obce Chomutovice se zde nachází kamenolom, který je zaměřen na těžbu stavebního kamene, přesněji rohovce.

Půdní poměry

V povodí Dobřejovického potoka máme největší zastoupení skupinou, která se nazývá luvisoly, konkrétně nejvíce hnědozem a dále luvizem. Dále jsou tu zastoupeny kambisoly a to půdním typem, který se jmenuje kambizem.

Hnědozem

Hnědozemě se vytvořily hlavně v rovinatém či mírně zvlněném reliéfu ze spraší, prachovic a polygenetických hlín. Ornice zemědělsky využívaných půd se vytvořila z horizontů akumulace humusu a slabě eluviovaného horizontu. (<https://klasifikace.pedologie.cz/>) Illimerizace je hlavní půdotvorný proces, kde vrchní část profilu přichází o jílnaté součástky, které jsou díky zasakující vodě přemísťovány do hlubších půdních horizontů. Hnědozemě spadají do půd středně těžkých a těžších půd. Nejsou tak bohaté na humus jako černozemě, ale stále mají dostatek humusu, aby se daly považovat za velmi hodnotnou zemědělskou půdu. Najdeme je u nás v okrajových částech nížin a na pahorkatinách. Vznikaly hlavně pod listnatými lesy. (Kutílek a kol., 2004)

Luvizem

Tyto půdy se vytvářejí hlavně v rovinách a v mírně zvlněném reliéfu (jinak by podlehly erozi). Vytvářejí se z prachovic, polygenetických hlín, místy i z lehčích, eolickým materiálem obohacených substrátů. (<https://klasifikace.pedologie.cz/>) Hlavním půdotvorným procesem je také illimerizace, stejně jako u hnědozemí. Jsou to zpravidla středně těžké půdy. Mají značně nižší kvalitu pro zemědělství, ale stále jsou využitelné díky nízkému obsahu skeletu. Nejčastějším porostem byly nejspíše doubravy a bučiny. (Pavlů, 2018)

Kambizem

Půdy se vytvářejí hlavně ve svažitých podmínkách pahorkatin, vrchovin a hornatin, v menší míře (sykové substráty) v rovinatém reliéfu. Vznik těchto půd z tak pestrého spektra substrátů podmiňuje jejich velkou rozmanitost z hlediska trofismu, zrnitosti a skeletovitosti. (<https://klasifikace.pedologie.cz/>) Patří do hnědých půd. Bývají střední až nižší kvality a jsou velmi skřetovité. Dají se využít pro pěstování brambor a obilovin. Hlavním procesem je zde intenzivní vnitropůdní zvětrávání, při kterém se uvolňují hydráty Fe_2O_3 . Jsou u nás nejvíce rozšířené a vznikaly hlavně pod listnatými lesy. (Kutílek a kol., 2004)

5.2.4 Říční síť

Hydrologické pořadí

Číslo hydrologického pořadí povodí Dobřejovického potoka po soutok s Botičem je **1-12-01-0170-0-00**. (ČHMÚ, 2020)

Řád vodního toku

Dobřejovický potok je v absolutní řádovosti tokem 4. řádu. Dle Strahlera je Dobřejovický potok až k soutoku s pravostranným bezejmenným potokem v obci Doubravice je tokem 1. řádu, odtud až k soutoku s Chomutovickým potokem (levostranný přítok) v obci Modletice tokem 2. řádu a až do uzávěrového profilu v Průhonickém parku tokem 3. řádu. Zde se vlévá do Botiče jako jeho pravostranný přítok a ten pak dále pokračuje až do Vltavy. (VÚV, 2020)

Hustota říční sítě

Hustota říční sítě byla vypočítána podle rovnice z kapitoly 3.1.4.

Hustota říční sítě r	1,56 km/km ²
------------------------	-------------------------

Tabulka č. 9: Hustota říční sítě

6. Výpočet N-letých průtoků

6.1 Empirické vzorce

Oblastní vzorce

Parametry:	$A = 4,4$
	$n = 0,38$
Maximální průtok:	$Q_N = 25,52 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Specifický maximální průtok:	$q_N = 1,66 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$

Vzorce objemové

dle Sokolovského

Objemový součinitel odtoku (zjištěno z mapy izolinií):	$\varphi = 0,4$
Průměrná rychlost stékání vody v povodí:	$v = 1,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Doba koncentrace:	$t_k = 2,33 \text{ h}$
Doba trvání výpočtového deště:	$t_d = 1,83 \text{ h} = 110,04 \text{ min}$
Výška výpočtového deště:	$H_{s,N} = 69,48 \text{ mm}$
Maximální průtok:	$Q_N = 25,89 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

dle Čerkašina

Objemový součinitel odtoku (zjištěno z mapy izolinií):	$\varphi = 0,4$
Střední rychlost dobíhání vody v povodí:	$v_s = 1,31 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Součinitel vlivu tvaru povodí na Q100:	$p = 1,47$
Maximální průtok:	$Q_{100} = 25,20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

6.2 Model DesQ - MAXQ

Maximální průtoky Q_N z povodí byl vymodelován také pomocí softwaru DesQ v 5.2. Vstupní hodnoty do programu byly zjištěny z předchozích výpočtů a dat získaných pomocí softwaru ArcGIS. Zvolil jsem variantu II výpočtu. Ta popisuje maximální průtok při zadané době trvání deště a době opakování deště. Model vypočítá maximální průtoky Q_N pro $N = 5, 10, 20, 50$ a 100 . Pro jednotlivé poloviny povodí bylo nutno odvodit křivky CN. Odvození CN křivek bylo provedeno podle hodnoty infiltračního součinitele a pokryvu krajiny v programu DesQ. Vstupní hodnoty a výsledky jsou v tabulkách č. 10 a č. 11.

VSTUPNÍ VELIČINY		Povodí	Levý svah	Pravý svah	Jednotky
F	plocha povodí	12,94			[km ²]
F _s	plocha svahu		8,49	4,45	[km ²]
I _s	průměrný sklon svahu		6,9	6,3	[%]
g	drsnotní charakteristika		8,64	8,25	[sec]
L _u	délka údolnice	8,4			[km]
I _u	průměrný sklon údolnice	1,58			[%]
CN _{typ}	typ odtokové křivky(1,2,3)		2	2	[...]
CN	číslo odtokové křivky		69,3	78,1	[...]
N	doba opakování	5,10,20,50,100			[roky]
H _{1d5}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=5	52,7			[mm]
H _{1d10}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=10	61,8			[mm]
H _{1d20}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=20	71,2			[mm]
H _{1d50}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=50	82,7			[mm]
H _{1d100}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=100	91,9			[mm]

Tabulka č. 10: Vstupní veličiny v softwaru DesQ-MAXQ

N-leté maximální průtoky a objemy povodňových vln						Jednotky
N	5	10	20	50	100	[roky]
Q _N	6,55	10,2	14,9	22,1	28,8	[m ³ .s ⁻¹]
W _{PVT}	149	186	222	266	302	[10 ³ .m ³]
W _{PVT,1d}	237	291	333	371	404	[10 ³ .m ³]

Tabulka č. 11: Výsledné hodnoty ze softwaru DesQ-MAXQ

7. Diskuze a závěr

Prvním úkolem této bakalářské práce bylo popsání charakteristik povodí Dobřejovického potoka. Ke zjištění těchto charakteristik byl primárně použit software ArcGIS, ale také terénní průzkum, mapové podklady a vzorce z kapitoly 3.2. S pomocí těchto charakteristik byly vypočítány maximální N-leté průtoky. Jejich výpočet byl proveden několika empirickými vzorci a také pomocí matematického modelu v softwaru DesQ-MAXQ. Porovnání vypočítaných maximálních stoletých průtoků s průtoky poskytnutými ČHMÚ je uvedeno v tabulce č. 12.

Metoda	Q_{100} [m ³ .s ⁻¹]	chyba [%]
ČHMÚ	17,0	0
Oblastní vzorec	25,52	+50,12
Vzorec dle Sokolovského	25,89	+52,29
Vzorec dle Čerkašina	25,20	+48,24
DesQ-MAXQ	28,8	+69,41

Tabulka č. 12: Porovnání výsledků s daty ČHMÚ

Překvapivě největší odchylka vyšla u hydrologického modelu DesQ-MAXQ. Tento model by měl vycházet nejpřesněji, jelikož na rozdíl od empirických vzorců uvažuje v povodí půdní poměry, vegetační pokryv a úhrny srážek. Model je velmi citlivý na změnu hodnoty čísla CN a tudíž je možné, že jeho hodnota na základě podrobného průzkumu mohla být nadhodnocena, což by ve výpočtu způsobilo právě vyšší průtoky. Vybraný srážkoměr není umístěn přesně v zájmové lokalitě a tím tedy mohlo také dojít k určité odchylce od skutečnosti. Porovnání hodnot z modelu a hodnot, které poskytl ČHMÚ, je v tabulce č. 13.

	Q_5 [m ³ .s ⁻¹]	Q_{10} [m ³ .s ⁻¹]	Q_{20} [m ³ .s ⁻¹]	Q_{50} [m ³ .s ⁻¹]	Q_{100} [m ³ .s ⁻¹]
ČHMÚ	5,1	7,4	10,0	15,8	17,0
DesQ-MAXQ	6,6	10,2	14,9	22,1	28,8

Tabulka č. 13: Porovnání dat ČHMÚ s hodnotami ze softwaru DesQ-MAXQ

U oblastního vzorce se očekávala vysoká chyba. Tento vzorec se používá spíše pro velká povodí a pro použití v malém povodí není moc vhodný. Abychom měli přesnější výsledek, museli bychom znát opravný součinitel c .

Objemové vzorce se také velmi liší od hodnot, které poskytl ČHMÚ. U vzorce dle Sokolovského vybíráme hodnotu odtokového součinitele z map izolinií, tudíž nepopisuje dobře malá povodí. Tento problém nejspíše nastal i v případě vzorce dle Čerkašina, jelikož zde také používáme mapy izolinií.

Na povodích, která nebyla pořádně pozorovaná, je výpočet průtoků velmi nákladný a časově náročný. Pořádný terénní průzkum by byl nutností. Také by bylo zapotřebí podrobně prozkoumat vlastnosti dílčích povodí, ať už jde o geologická podloží, hydrologické vlastnosti půd nebo pořádné vyčíslení čísla CN křivek podle osevních postupů v daných lokalitách.

Cílem bakalářské práce byl popis povodí, zjištění charakteristik a výpočet maximálních odtoků z povodí. Výsledky kulminačních průtoků jsou porovnány v diskuzi.

Tuto práci je možno dále využít pro návrh úprav Dobřejovického potoka, při dimenzování protierozní ochrany nebo protipovodňových opatření. Tuto práci bych následně mohl využít jako předlohu pro diplomovou práci.

8. Seznam literatury a internetových zdrojů

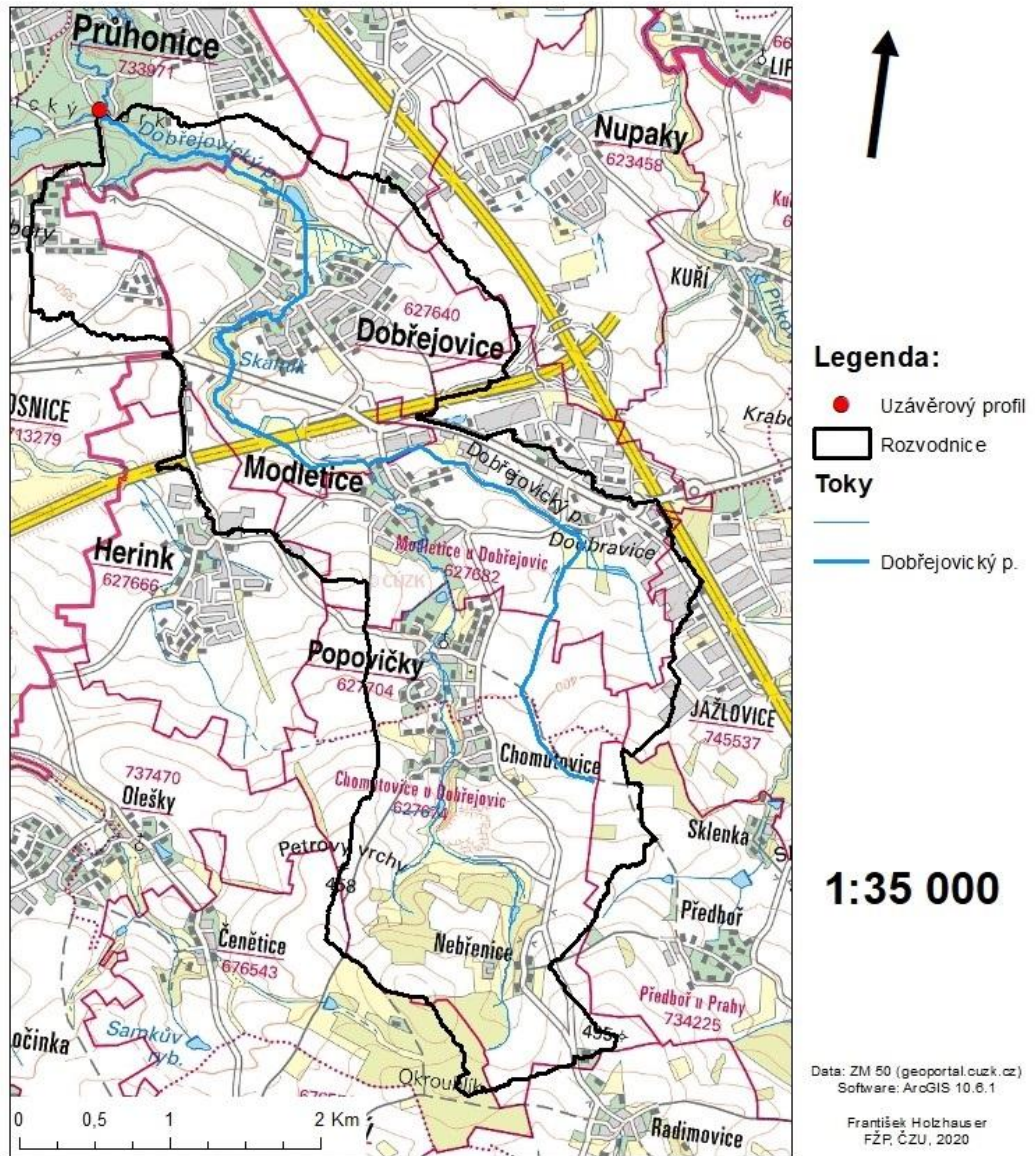
- BERAN J., 2009: *Základy vodního hospodářství*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, ISBN 978-80-213-1875-5
- BLAŽKOVÁ M., 2014: *Základy geologie*. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Ústí nad Labem, ISBN 978-80-7414-882-8
- ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA, 2020: *Geologie*. online: <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/wms>
- ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA, 2020: *Pedologie*. online: <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/wms>
- ČESKÁ PEDOLOGICKÁ SPOLEČNOST, 2020: *Elektronický taxonomický klasifikační systém půd ČR*, online: <https://klasifikace.pedologie.czu.cz/>
- ČHMÚ, 2019: *Průměrné roční teploty vzduchu v roce 2019*, online: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/images/T_2019.gif
- ČÚZK, 2018: *Digitální model reliéfu České republiky 5. generace*
- ČÚZK, 2020: *Geoprohlížeč*. online: <https://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/>
- DUB O., NĚMEC J. A KOL., 1969: *Hydrologie*. SNTL, Praha
- GEOPORTAL, 2020: *Cenia*. online: <https://geoportal.gov.cz/web/guest/wms>
- HAWKINS R. H. et al., 2008: *Curve number hydrology: State of the practice*. American Society of Civil Engineers, Reston, ISBN 9780784472576
- HRÁDEK F., KUŘÍK P., 2001: *Maximální odtok z povodí*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, ISBN 80-213-07182-X
- HRÁDEK F., KUŘÍK P., 2008: *Hydrologie*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, ISBN 978-80-213-1744-4
- CHMELOVÁ PAVELKOVÁ R., FRAJER J., 2020: *Základy hydrologie*. Univerzita Palackého v Olomouci, online: <https://docplayer.cz/17360586-Univerzita-palackeho-v-olomouci-katedra-geografie-zaklady-hydrologie-renata-pavelkova-chmelova-jindrich-frajer.html>
- JANDORA J., 2005: *Hydraulika a hydrologie*. Vysoké učení technické v Brně, Brno
- JANEČEK M., 2008: *Základy erodologie*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, ISBN 978-80-213-1842-7
- KREŠL J., 2001: *Hydrologie*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, ISBN 80-7157-513-5
- KUNŠTÁTSKÝ J., PATOČKA C., 1971: *Základy hydrauliky a hydrologie*. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha
- KUTÍLEK M., KURÁŽ V., CÍSLEROVÁ M., 2004: *Hydropedologie 10*. Vydavatelství ČVUT, Praha, ISBN 80-01-02237-4

- PAVLŮ L., 2018: *Základy pedologie a ochrany půdy*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, ISBN 978-80-213-2876-1
- SOUKUPOVÁ J., 2012: *Atmosférické procesy (základy meteorologie a klimatologie)*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, ISBN 978-80-213-2234-9
- STARÝ M., 2005: *Hydrologie*. Vysoké učení technické v Brně, Brno
- VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T. G. MASARYKA, 2020: online: <http://heis.vuv.cz/>
- VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T. G. MASARYKA, 2020: online: <http://www.dibavod.cz/>

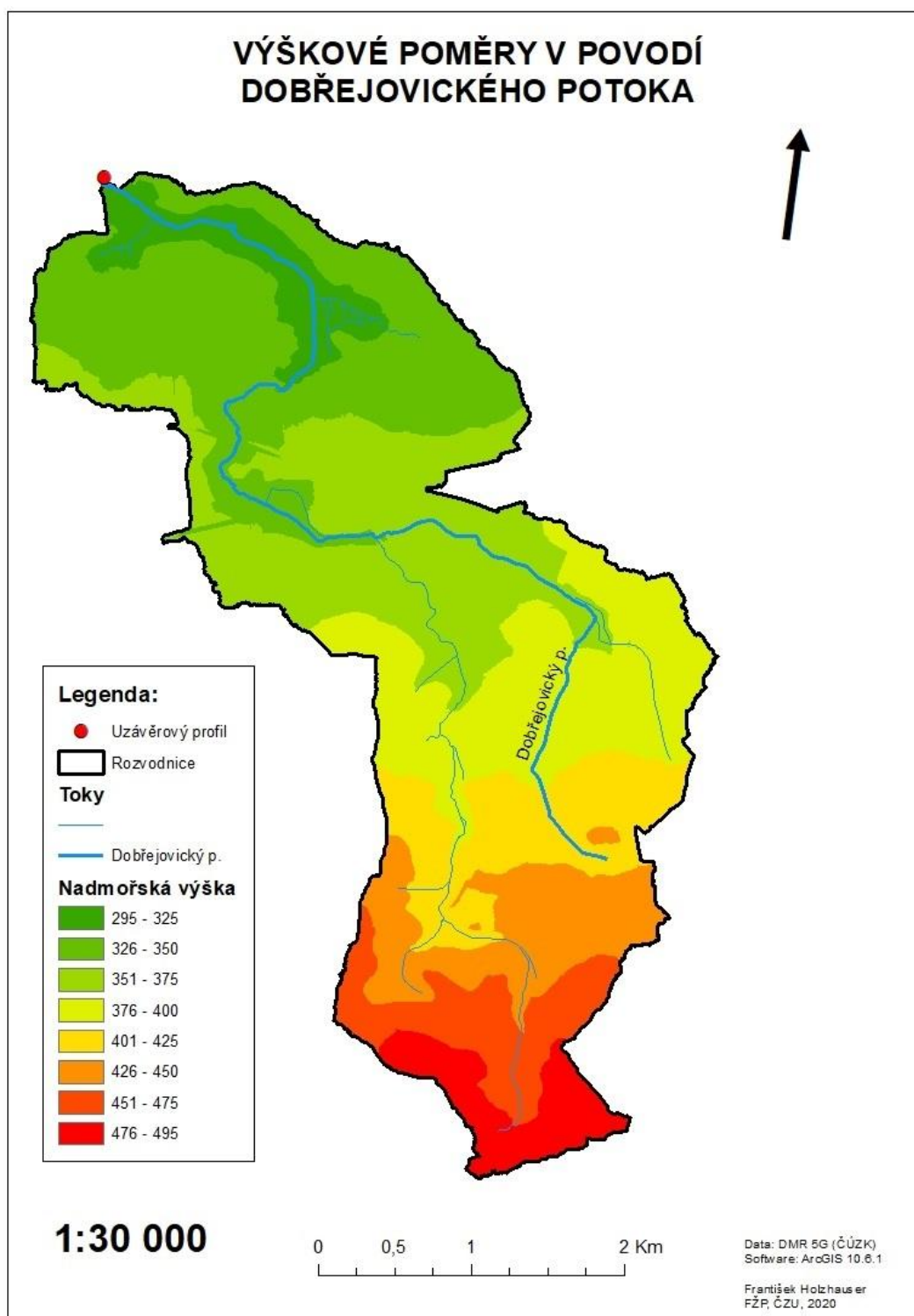
9. Přílohy

Příloha č. 1: Umístění povodí Dobřešovického potoka

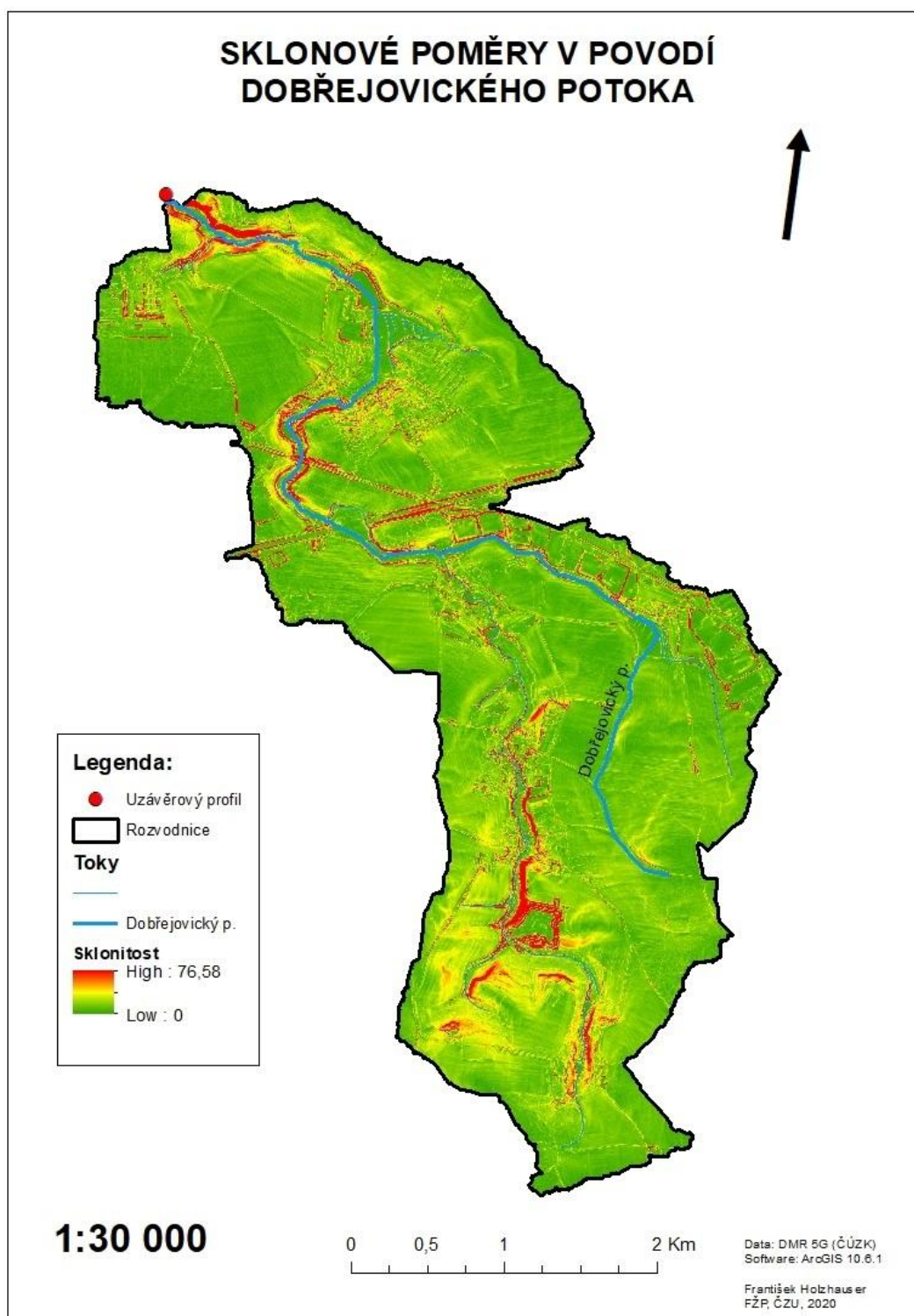
Umístění povodí Dobřešovického potoka



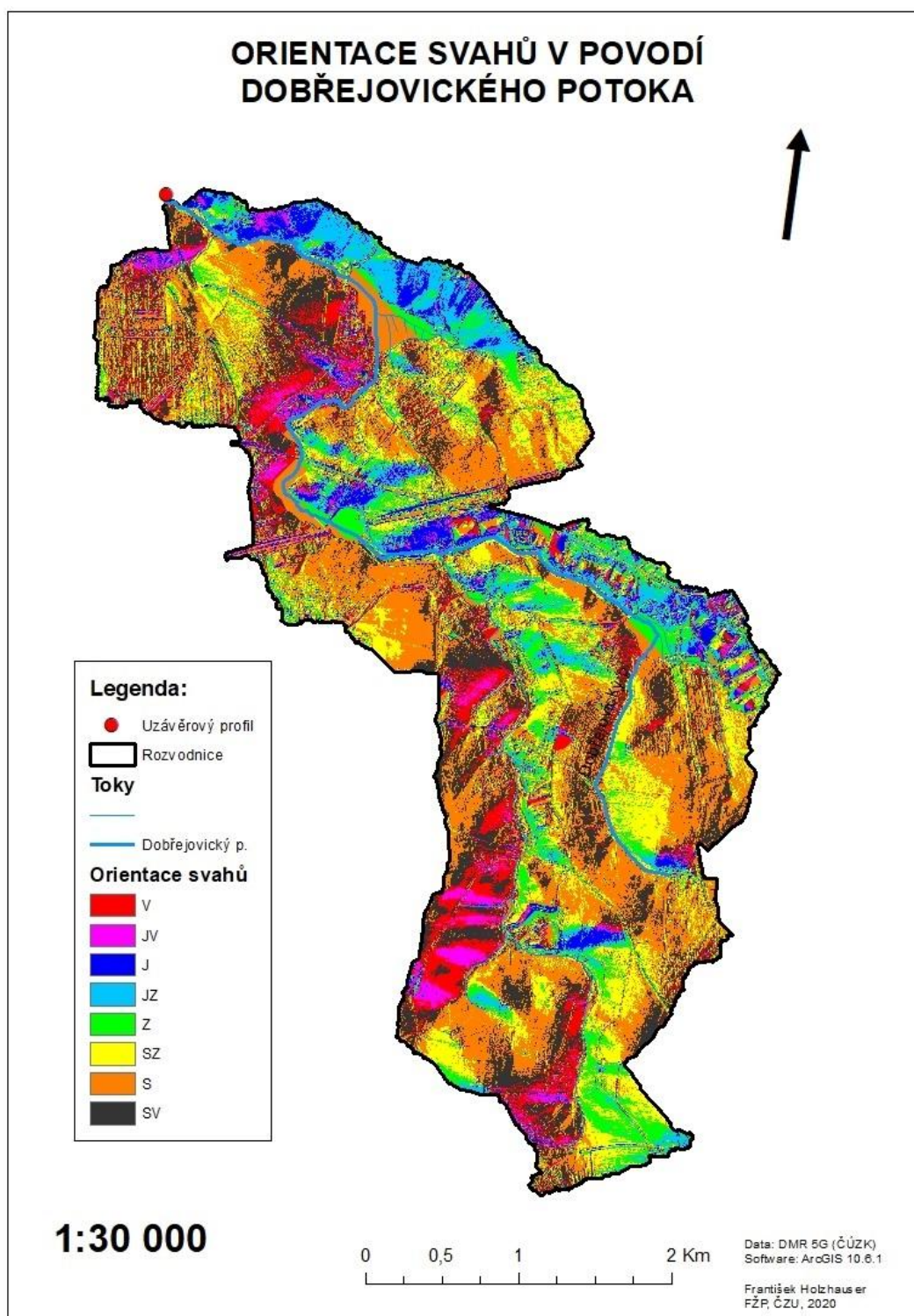
Příloha č. 2: Výškové poměry v povodí Dobřejovického potoka



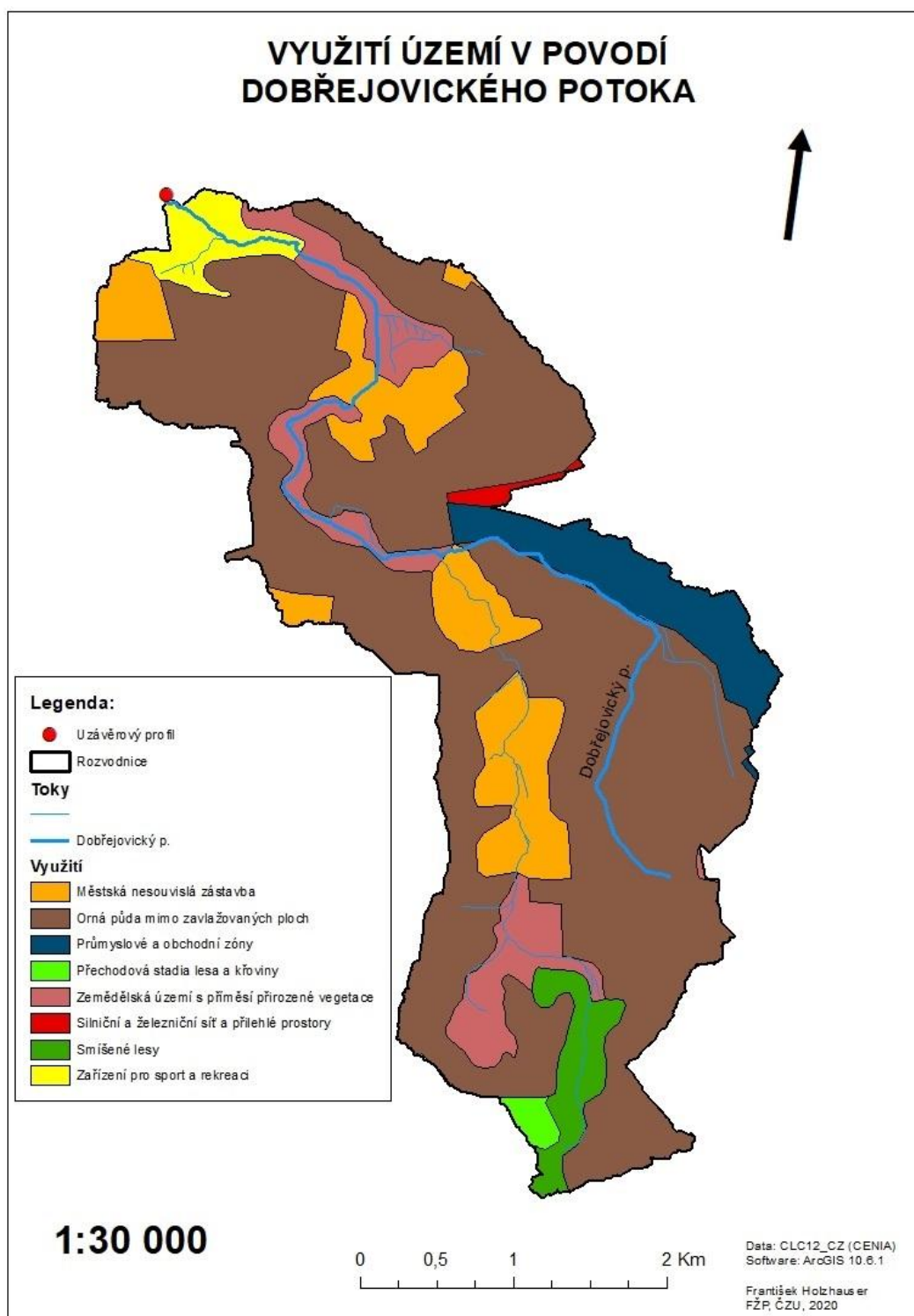
Příloha č. 3: Sklonové poměry v povodí Dobřejovického potoka



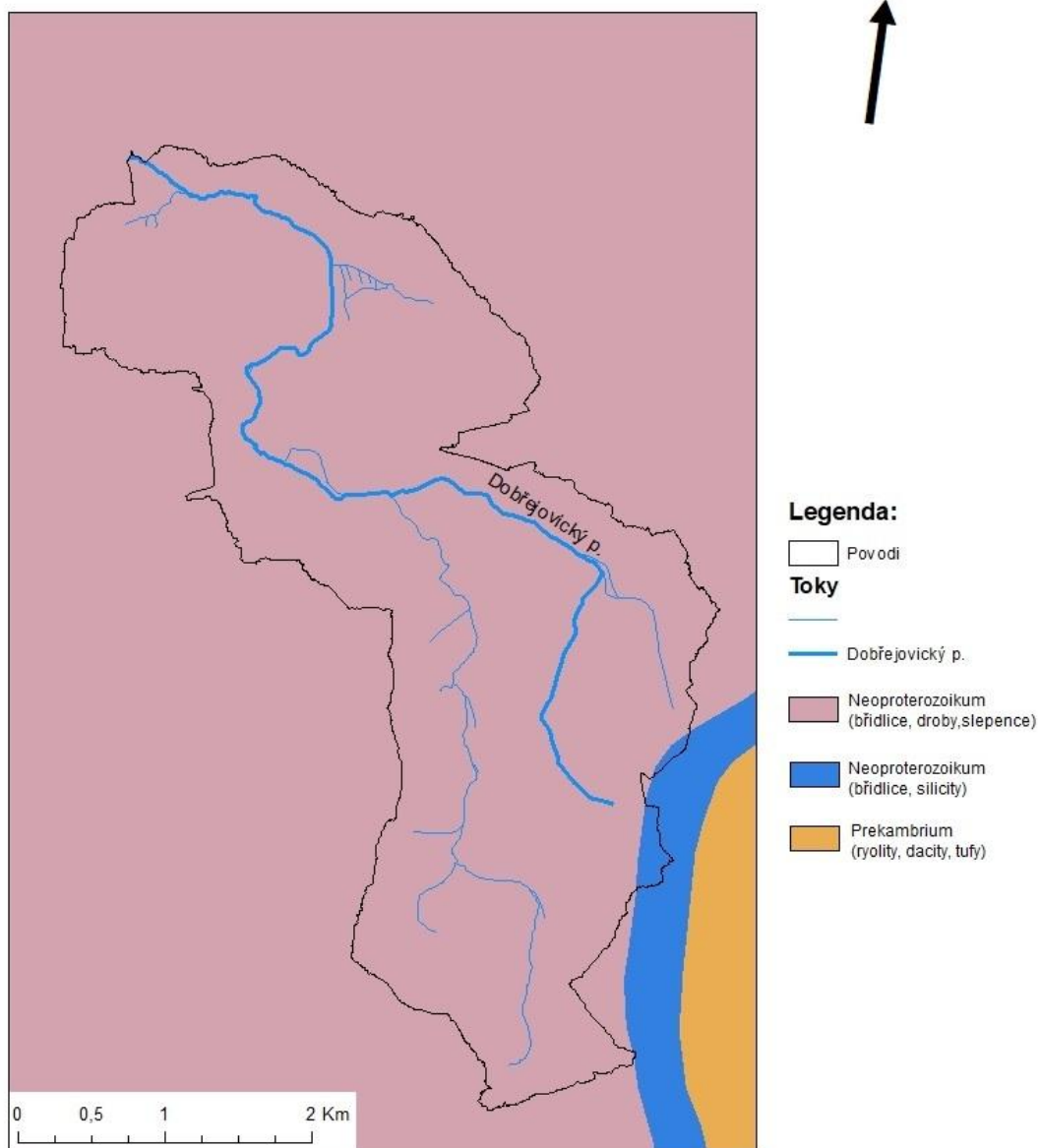
Příloha č. 4: Orientace svahů v povodí Dobřešovického potoka



Příloha č. 5: Využití území v povodí Dobřešovického potoka



GEOLOGICKÉ POMĚRY V POVODÍ DOBŘEŠOVICKÉHO POTOKA



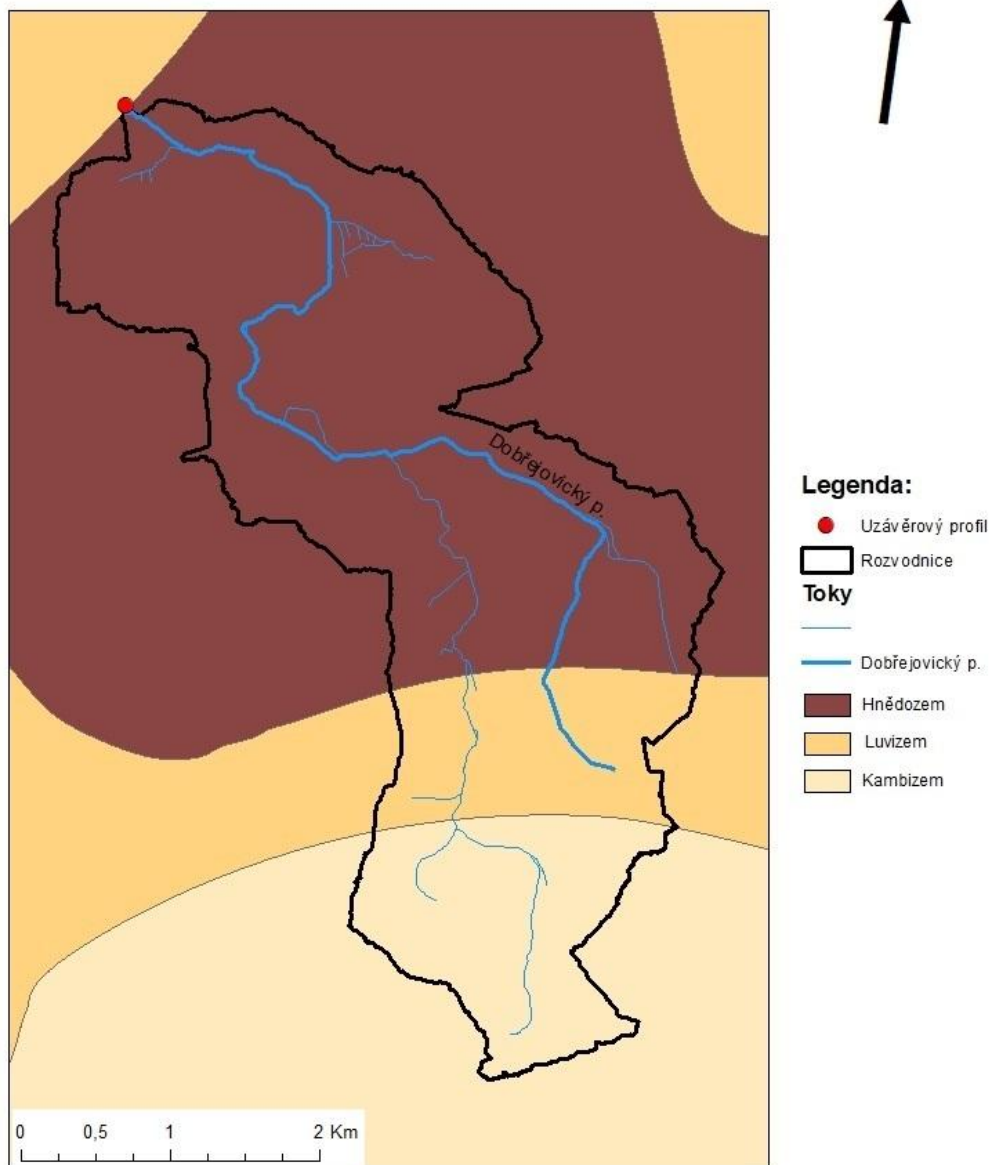
1:35 000

Data: Geologická mapa ČR 1:500 000 (geology.cz)
Software: ArcGIS 10.6.1

František Holzhauser
FŽP, ČZU, 2020

Příloha č. 7: Půdní typy v povodí Dobřešovického potoka

PŮDNÍ TYPY V POVODÍ DOBŘEŠOVICKÉHO POTOKA



1:35 000

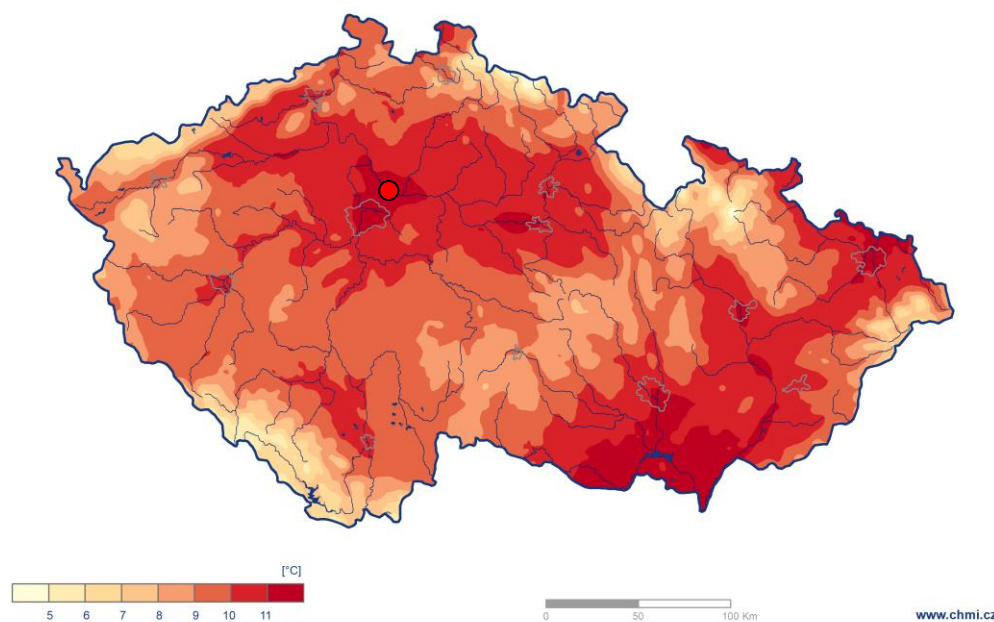
Data: Mapa půdních typů 1:50 000 (geology.cz)
Software: ArcGIS 10.6.1

František Holzhauser
FŽP, ČZU, 2020

Příloha č. 8: Průměrná roční teplota vzduchu v roce 2019 (ČHMÚ, 2019)

Průměrná roční teplota vzduchu v roce 2019

Český
hydrometeorologický
ústav



Příloha č. 9: Prameniště Dobřejovického potoka



Příloha č. 10: Propustek pod polní cestou kousek od pramene



Příloha č. 11: Propustek pod silnicí v obci Doubravice



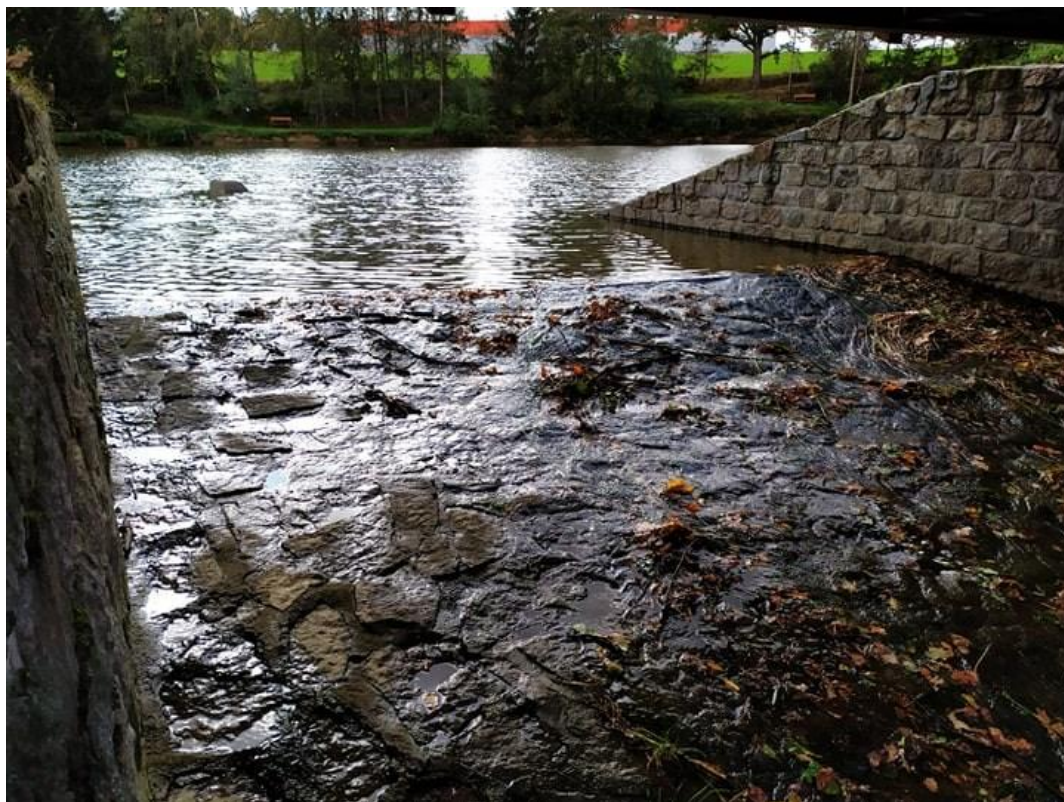
Příloha č. 12: Most v obci Modletice



Příloha č. 13: Soutok Dobřejovického potoka s Chomutovickým potokem



Příloha č. 14: Rybník Skalník



Příloha č. 15: Koryto potoka v obci Dobřejovice



Příloha č. 16: Nový rybník



Příloha č. 17: Data poskytnutá ČHMÚ

Vodní tok	Dobřejovický potok								
Číslo hydrologického pořadí	1-12-01-0170-0-00								
Profil	vodoměrná stanice Průhonice								
Souřadnice v S JTSK	x = -734357,0 m			y = -1054995,0 m					
Plocha povodí A ^{a)}	13,00							km ²	
<i>N</i> -leté průtoky Q _N m ³ .s ⁻¹									
1	2	5	10	20	50	100	200	500	Třída
1,40	2,70	5,10	7,40	10,0	15,8	17,0	/	/	II