

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STAVEBNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2020

**HANA
KLÍMOVÁ**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Klímová Jméno: Hana Osobní číslo: 468608

Zadávací katedra: Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství K143

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Srážko-odtokové procesy na povodí Želešského a Stružineckého potoka

Název bakalářské práce anglicky: Rainfall-runoff processes in catchment of Želešský and Stružinecký stream

Pokyny pro vypracování:

Náplní práce je analýza srážko-odtokových procesů dvou charakteristických území - povodí Želešského a Stružineckého potoka. Z dostupných datových podkladů zhodnoťte aktuální stav řešených území, doplňte o terénní průzkum. Pomocí ArcGIS nástrojů proveďte srážko-odtokovou analýzu reakce povodí na zasažení charakteristickými N-letými srážkami. Následně zjednodušenou formou navrhnete aplikaci ochranných opatření pro podporu retence vody v krajině a zejména jejich efektu na srážko-odtokové procesy pro charakteristická území či jejich části.

Seznam doporučené literatury:

Kavka P., Müller M. a kol.; Krátkodobé srážky pro hydrologické modelování a navrhování drobných vodohospodářských staveb v krajině, ČVUT v Praze, 2018

Janeček M. a kol.; Ochrana zemědělské půdy před erozí; ISV Praha, 2002

Janeček M. a kol.; Metodika ochrany zemědělské půdy před erozí; ČZU Praha, 2012

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Miroslav Bauer, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 25. 2. 2020

Termín odevzdání bakalářské práce: 17. 5. 2020

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Na úvod bych chtěla poděkovat panu Ing. Miroslavu Bauerovi, Ph.D., za pomoc při vytváření bakalářské práce. Jeho zkušenosti v dané problematice, cenné rady a připomínky byly nedílnou součástí při tvorbě této práce, za což mu patří obrovský dík.

Poděkování také rozhodně patří projektu Sasko-český management povodňových rizik II (STRIMA II) za možnost podílet se na projektu touto prací.

Děkuji také mé rodině a všem v okolí, kteří mě po celou dobu tvorby práce podporovali.

Hana Klímová

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vytvořila samostatně s použitím uvedené literatury a uvedených podkladů. Pro program ArcGIS byla využita školní licence.

Praha 14.5.2020

Hana Klímová

OBSAH

ANOTACE	1
KLÍČOVÁ SLOVA.....	1
ABSTRACT.....	2
1. CÍL PRÁCE	3
2. ÚVOD DO PROBLEMATIKY.....	4
POPISNÁ ČÁST	7
3. POPIS ZÁJMOVÉ OBLASTI.....	7
3.1. LOKALIZACE ÚZEMÍ.....	7
3.2. GEOLOGIE ÚZEMÍ.....	9
3.3. PŮDY	10
3.4. SRÁŽKY	11
3.5. POROVNÁNÍ POVODÍ ŽELEŠSKÉHO A STRUŽINECKÉHO POTOKA	11
4. TERÉNNÍ PRŮZKUM.....	12
4.1. SHRnutí TERÉNNÍHO PRŮZKUMU	22
5. VYUŽITÍ GIS PRO ANALÝZU POVODÍ.....	24
6. POPIS A VÝBĚR METODY ŘEŠENÍ	24
6.1. METODA CN KŘIVEK.....	24
6.2. DOBA DOBĚHU A DOBA KONCENTRACE	26
VÝPOČTOVÁ ČÁST	28
7. VSTUPNÍ DATA	28
7.1. MAPOVÉ PODKLADY	28
7.2. NÁVRHOVÉ SRÁŽKY	30
8. ANALÝZY	30
8.1. ANALÝZA VYUŽITÍ ÚZEMÍ.....	30
8.2. ANALÝZA HYDROLOGICKÝCH PŮDNÍCH SKUPIN	33

8.3.	ANALÝZA DRAH SOUSTŘEDĚNÉHO ODOTKU.....	35
9.	VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ.....	38
9.1.	OBJEM ODTOKU METODOU CN KŘIVEK.....	38
9.2.	STRUŽINECKÝ POTOK – OBJEM PŘÍMÉHO ODTOKU.....	40
9.3.	ŽELEŠSKÝ POTOK – OBJEM PŘÍMÉHO ODTOKU.....	43
9.4.	POROVNÁNÍ CELKOVÉHO ODTOKU Z OBOU ÚZEMÍ.....	45
9.5.	DOBA DOBĚHU A DOBA KONCENTRACE.....	46
10.	NÁVRH OPATŘENÍ.....	49
10.1.	STRUŽINECKÝ POTOK.....	50
10.2.	ŽELEŠSKÝ POTOK.....	52
11.	ZÁVĚR.....	54
12.	POUŽITÁ LITERATURA A PODKLADY.....	57

OBSAH OBRÁZKŮ

Obrázek 1- (Profimedia.cz, 2020).....	4
Obrázek 2- Lokalizace území na mapě ČR	7
Obrázek 3- Stružinecký a Želešský potok.....	8
Obrázek 4- Geologická mapa území (BOKR, 2016)	9
Obrázek 5- Terénní průzkum.....	12
Obrázek 6- Detail Želešského potoka.....	13
Obrázek 7- Želešský potok	13
Obrázek 8- Želešský potok	14
Obrázek 9- Detail Želešského potoka.....	15
Obrázek 10- Želešský potok.....	15
Obrázek 11- Želešský potok.....	16
Obrázek 12- Detail Želešského potoka	17
Obrázek 13- Želešský potok.....	17
Obrázek 14- Želešský potok.....	18
Obrázek 15- Stružinecký potok	19
Obrázek 16- Detail Stružineckého potoka.....	20
Obrázek 17- Stružinecký potok	20
Obrázek 18- Stružinecký potok	21
Obrázek 19- Stružinecký potok	22
Obrázek 20- Landuse Stružineckého a Želešského potoka.....	31
Obrázek 21- Graf využití území.....	31
Obrázek 22- Procentuální zastoupení využití území Stružineckého a Želešského potoka.....	32
Obrázek 23- BPEJ Želešský a Stružinecký potok.....	34
Obrázek 24- KPP Želešský a Stružinecký potok.....	35
Obrázek 25- FLOW DIRECTION	36
Obrázek 26- FLOW ACCUMULATION	37
Obrázek 27- Graf objemu přímého odtoku ze Stružineckého potoka	41
Obrázek 28- Podíl přímého odtoku u jednotlivých kategorií.....	41
Obrázek 29- Objem přímého odtoku Stružinecký potok.....	42
Obrázek 30- Graf přímého odtoku z Želešského potoka	43

Obrázek 31- Podíl přímého odtoku jednotlivých kategorií.....	44
Obrázek 32- Objem přímého odtoku Želešský potok	45
Obrázek 33- Porovnání celkového odtoku z území Stružineckého a Želešského potoka	45
Obrázek 34- Objemy přímého odtoku po návrhu opatření na Stružineckém potoce.....	51
Obrázek 35- Objemy přímého odtoku po návrhu opatření na Želešském potoce	53
Obrázek 36- Objem přímého odtoku Stružinecký a Želešský potok.....	54
Obrázek 37- Objem přímého odtoku na Stružineckém potoce	55

ANOTACE

V bakalářské práci „Analýza srážko-odtokových procesů na povodí Stružineckého a Želešského potoka“ se budeme věnovat reakci povodí na zasažení N-letými srážkami, a to metodou CN křivek. Nejprve zhodnotíme všechny dostupné podklady, poté provedeme podrobnou analýzu pomocí programu ArcGIS. Práce bude doplněna o fotografie a data z terénního průzkumu. Na závěr navrhne ochranné opatření napomáhající zadržovat vodu v krajině a mající pozitivní vliv na srážko-odtokové procesy na daném území.

Na dvou řešených územích, která jsou podobně veliká a mají výrazně odlišné zastoupení orné a lesní půdy se prokázala vazba odtoku na využití území. Nejvýraznější je při malých srážkách. Efekt navrhovaných opatření je vyšší na území Stružineckého potoka. Prezentovaná opatření mají výrazný vliv na srážko – odtokové charakteristiky.

KLÍČOVÁ SLOVA

CN křivky, srážka, odtok, malé povodí, scénář ochrany, využití území

CN curve method, rainfall, runoff, small watershed, scenario of protection, land use

ABSTRACT

In the bachelor's thesis "Analysis of precipitation- runoff processes in the Stružinecký and Želešský stream" we will focus on the response of the river basin to the impact of N-year precipitation using the CN curve method. We will first evaluate all available data, then perform a detailed analysis using ArcGIS. The work will be supplemented by photographs and data from field research. Finally, we propose protective measures to help retain water in the landscape and have a positive effect on precipitation- runoff processes in the area.

In the two solved areas, which are similarly large and have a significantly different representation of arable and forest land, the connection of runoff to the use of the areas was proved. It is most pronounced in small rainfall. The effect of the proposed measures is higher in the Stružinecký stream. The presented measures have a significant effect on precipitation- runoff characteristics.

1. CÍL PRÁCE

Práce si klade za cíl analyzovat srážko – odtokové procesy dvou charakteristických území, a to Želešského a Stružineckého potoka. Nejprve pomocí dostupných podkladů zhodnotíme a popíšeme aktuální stav. Poté bude následovat terénní průzkum doplněný fotografiemi a popisem aktuálního stavu. Dále pomocí programu ArcGIS provedeme srážko-odtokovou analýzu reakce povodí na zasažení charakteristickými N-letými srážkami. Následně navrhne zjednodušenou formou aplikaci ochranných opatření, která budou přírodě blízká, budou pomáhat zadržovat vodu v krajině a pomohou zmírnit přímý odtok, tedy podporují infiltraci (zadržují vodu v krajině) na území či jejich části.

2. ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Zadržování vody v krajině je v současné době velice aktuální téma, které je nutné řešit. Jednak je třeba se zamyslet nad špatným hospodařením s půdou, respektive na půdě, a zaměřit se na ně. Musíme si začít všimnout negativních efektů intenzivně obdělávaných svažitých pozemků, velkých půdních lánů, nebo rostoucích ploch některých erozně problematických plodin. To vše je ještě zesíleno špatnou péčí o půdu, nebo nevhodnými systémy hospodaření.

Druhým výsledkem je zvyšování četností extrémních meteorologických jevů, jakými jsou extrémní sucho, přívalové srážky, povodně. Krajina se s nimi nedokáže dostatečně vyrovnat. (Ústav výzkumu globální změny AV ČR, 2012)

Když se zamyslíme nad tím, jak vzniká sucho, tak je to v nejširším slova smyslu při nedostatku srážek v delším časovém období. Pro Českou republiku to je v řádu týdnů až měsíců. Sucho vede k nedostatku vody, a to jak už pro společnost, aktivity nebo životní prostředí. Jeho dopady způsobené menším množstvím srážek a nedostatek vody pro naši potřebu působí velké problémy. V České republice hlavně v zemědělství, vodním hospodářství a lesnictví.



Obrázek 1- (Profimedia.cz, 2020)

Půdní sucho se vyskytuje na 80 % území. Sucho extrémní nalezneme dokonce na 27 % území. V letech 2015 a 2018 bylo území zasažené suchem jen mírně vyšší. Extrémním suchem ale bylo zasaženo výrazně více území. Mezi nejvíce zasažené oblasti patří západ, jih a východ České republiky. (Rieder, 2020)

Za problémy se suchem si ale může z velké části populace sama. Přeměňujeme lesní půdu nebo travní porost na ornou půdu, nebo zastavěnou plochu. Už ale vůbec nedomýšlíme, že tyto typy území žádnou vodu nezachytí, dokonce z nich přímo odteče. V Česku došlo od roku 1990 k nárůstu zastavěné plochy o 26 %. Pokud dojde k poklesu zadržování vody v půdě, dochází současně k poklesu diverzity hmyzu a ptáků a narušení malého vodního cyklu. (De Luce kontra torrente, 2016)

Vznik povodní se také s tímto problémem velmi prolíná. Základ povodně vzniká tehdy, pokud voda dopadá na povrch terénu v takovém množství, že se nestačí vsakovat a začne odtékat po tomto povrchu pryč. Velmi závisí na tom, na jaký povrch déšť dopadá. Nejčastěji to bývá travní porost, les nebo orná půda. Les a louky mají oproti orné půdě nesrovnatelně lepší schopnost vodu zachycovat a držet. U orné půdy ještě závisí na tom, jak je pozemek svažitý, nebo jaká se na něm pěstuje plodina.

Povodně jsou stále velkou hrozbou. Když zapátráme v posledních pár letech, najdeme jich hned několik. Je to extrémní povodeň z roku 2002, kvůli které se muselo evakuovat 225 tisíc lidí. Následovali povodně v letech 2006, 2009, v roce 2010 povodně zasáhly Českou republiku dokonce třikrát a další byla v roce 2013. (Chvojková, 2015)

Tyto důvody nám jasně ukazují, že je nutné se suchem a nedostatkem vody zabývat. Téma zadržování vody v krajině, je tedy více než aktuální. Možností je rozhodně více. Jednou z nich je třeba pěstování víceletých píceň – jetelovin, drobným střídáním plodin nebo hnojením. Další možností může být snaha pestrého střídání různých typů území, které vodu dobře infiltrují. Jsou to například lesní porosty, nebo louky a travní porost.

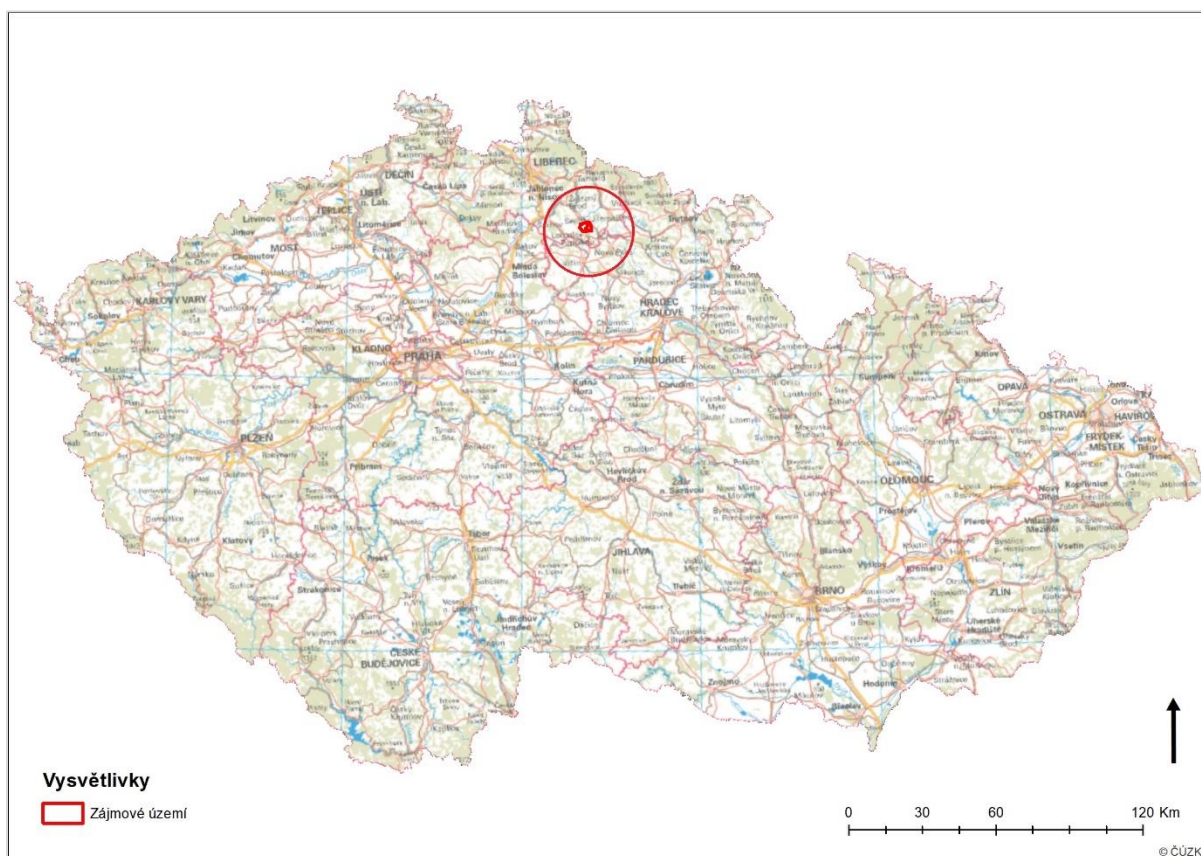
Jako téma bakalářské práce vybíráme analýzu srážko-odtokových jevů na povodí Stružineckého a Želešského potoka, kde v průběhu práce vypočítáme odtok z povodí pro n-leté deště. V poslední fázi práce navrhujeme změnu části orné půdy na travní porost a pokoušíme se tuto změnu zjednodušeně vysvětlit. Můžeme tím nastínit a ukázat výsledek a také to, jaký může mít takováto jednoduchá změna dopad na odtok z území.

POPISNÁ ČÁST

3. POPIS ZÁJMOVÉ OBLASTI

3.1. LOKALIZACE ÚZEMÍ

Zájmové území se nachází na severovýchodě Čech v jihovýchodním cípu Libereckého kraje. Zabývat se budeme konkrétně 2 odlišnými územími. Jedno bude povodí Želešského potoka. Druhé povodí Stružineckého potoka. Oba 2 toky ústí do říčky Olešky, která se v Semilech vlévá do řeky Jizery.



Obrázek 2- Lokalizace území na mapě ČR

Želešský potok

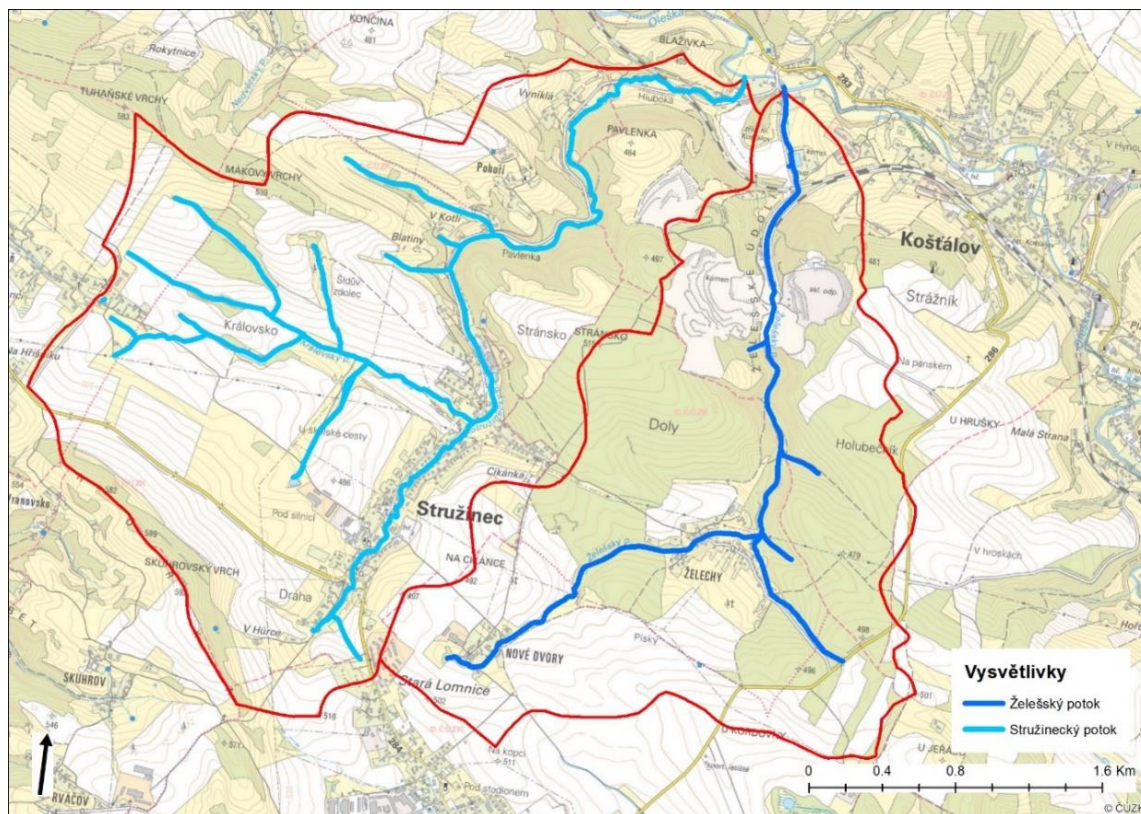
Potok pramení nedaleko obce Nové Dvory. Odtud se vine a meandruje převážně lesnatým územím. Na západní straně obce Košťálov se po 4,66 kilometrech vlévá do říčky Olešky.

Tok protéká lomem na svazích levého břehu Želešského potoka, 600 metrů od koupaliště v Košťálově. Lom je velký stěnový několikaetážový o rozloze nad 2,5 ha. Dosud je stále v provozu firmou Tarmac, a.s. Liberec. Celková plocha povodí Želešského potoka je 5,8 km².

(Vajskebrová, 2016)

Stružinecký potok

Potok pramení na okraji obce Stružinec. Na severní straně obce začíná les, který se táhne až k říčce Olešce. Stružinecký potok z větší části kopíruje západní stranu lesa až k obci Košťálov, na jejímž konci se vlévá do Olešky. Délka potoka je 5,4 kilometrů. Mezi jeho významný přítok patří Královský potok, který se do něj vlévá pár desítek metrů po opuštění obce Stružinec. Celková plocha povodí Stružineckého potoka je 7,9 km².

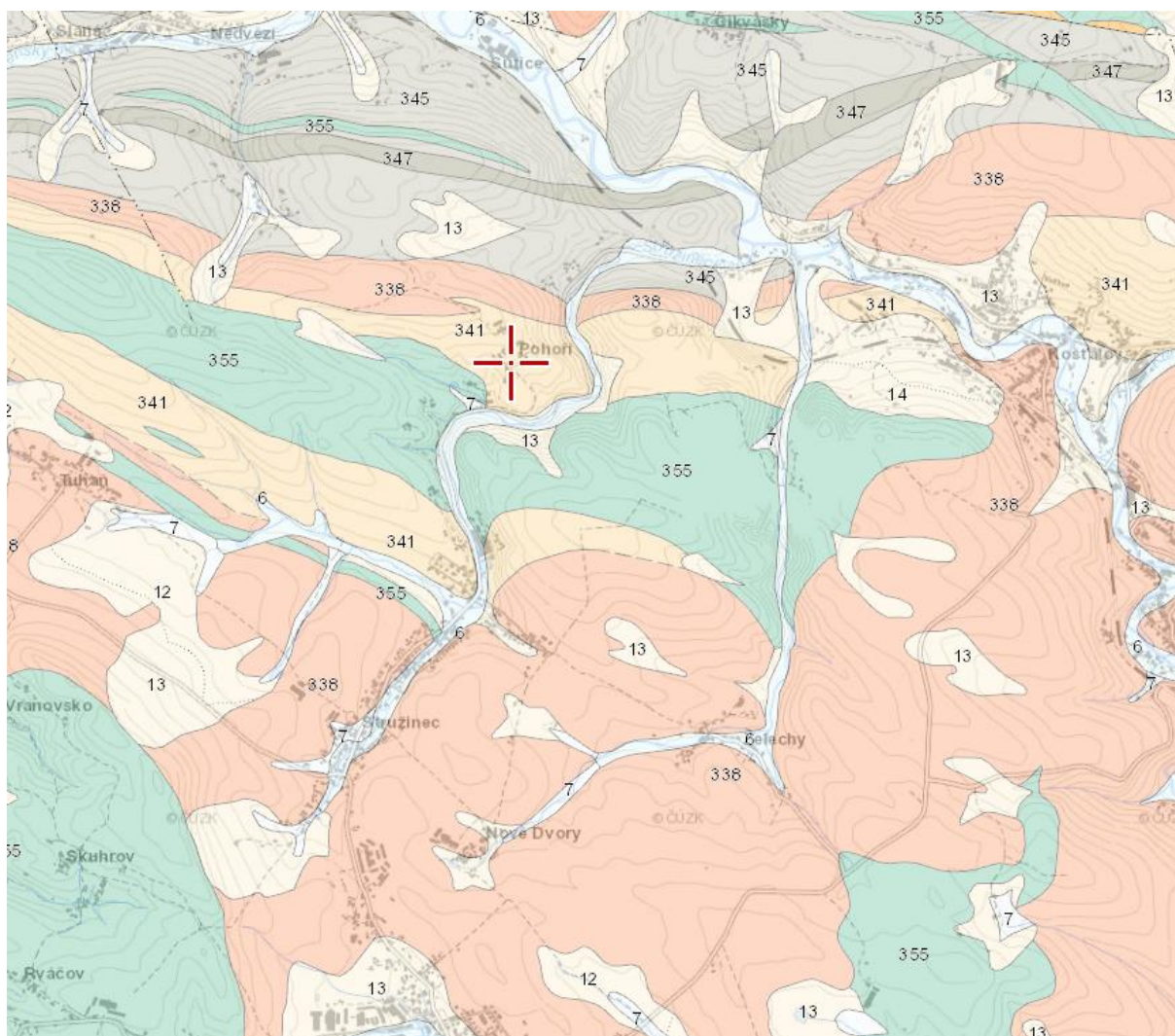


Obrázek 3- Stružinecký a Želešský potok

3.2. GEOLOGIE ÚZEMÍ

Oba toky mají velmi podobné geologické podloží. Pod korytem a v těsné blízkosti břehů nalezneme nivní sediment. U ústí do Olešky je převážně hlinito-kamenitý, balvanitý, až blokový sediment. U Stružineckého potoka můžeme dále u ústí s Oleškou najít zastoupení červenohnědých aleuropelitů, pískovců a slepenců, nebo polohy šedých a pestrobarevných aleuropelitů s tufity a silicity. Při postupu směrem proti proudu nalezneme zastoupení bazaltandezitů, andezitových tufů, tufických brekcií, aglomerátů nebo kamenitý až hlinito-kamenitý sediment.

V okolí obce Želechy, Nové Dvory a Stružinec pak už pískovce s polohami slepenců, nebo vložky aleuropelitů.



Obrázek 4- Geologická mapa území (BOKR, 2016)

3.3. PŮDY

Díky mapové vrstvě KPP (komplexní průzkum půd) mohlo být zjištěno a vykresleno zastoupení jednotlivých půd. Jako nejvíce zastoupenou jsme mohli vyčíst Kambizem, a to hned na obou územích. Dále jsme našli, hlavně na povodí Stružineckého potoka větší zastoupení půd, jako je Luvizem pseudoglejová nebo Glej. To lze jednoduše odůvodnit, protože území Stružineckého potoka má rozmanité zastoupení půdních jednotek. Nejprve protéká lesem, potom se klikatí na jeho kraji, až obcí dotéká a ústí do Olešky. Naopak území Želešského potoka je z větší části jen v lese, proto zde najdeme hlavně zastoupení půd Kambizemě.

U ústí obou potoků do Olešky můžeme ještě nalézt zastoupení Fluvizemě.

Kambizem: tato skupina zahrnuje převážně půdy na pevných horninách. Z této skupiny byly vyčleněny půdy silně skeletovité – mělké, silně sklonité a některé lehké i těžké půdy jako samostatné skupiny. Kambizemě jsou typické půdy pahorkatin a nižších a středních poloh vrchovin. (VÚMOP, 2020)

Luvizem: skupina půd s výrazným procesem illimerizace. Luvizemě mají pod ornicí plavý eluviální horizont sahající do hloubky 0,3-0,4 m. Přejídný horizont s poprašky často jazykovitě proniká do iluviálního horizontu. Připouští se jen slabý znak oglejení. Charakteristickým substrátem jsou sprašové pokryvy a svahoviny, většinou bezskeletovité, vyskytující se převážně v rovinatém reliéfu. (VÚMOP, 2020)

Fluvizem: půdy v rovinatém území na nevápnitých i vápnitých usazeninách podél vodních toků, včetně glejových a oglejených subtypů a variet. Vnitřní třídění je založeno na zrnitostním složení, na hloubce hladiny vody spojené s tokem a na výskytu v klimatických regionech. Jsou to většinou půdy bezskeletovité. (VÚMOP, 2020)

Glej: výskyt těchto půd je ve značně složitém reliéfu, proto bylo při vymezení HPJ použito kromě genetického třídění i třídění podle charakteru reliéfu. Vedle reliéfu je druhým nejdůležitějším znakem stupeň hydromorfismu.

(VÚMOP, 2020)

3.4. SRÁŽKY

Srážky byly získány z nejbližší srážkoměrné stanice, která se nachází v obci Libštát. Zjištěny byly pomocí softwaru DES- Rain. Program slouží k výpočtu výšek přívalových dešťů různých dob trvání s pravděpodobností opakování jednou za N let a náhradních intenzit těchto dešťů metodou redukce jednodenních maximálních srážkových úhrnů. (Vašová D., 2014)

N-letá srážka:

Návrhová srážka vyjadřuje hodnoty maximálních denních úhrnů srážek s pravděpodobností opakování za N let podle Gumbelovy statistiky extrémů (Šamaj a kol., 1985). Tyto hodnoty byly vytvořeny ze vstupního souboru dat denních úhrnů srážek za období 1901–1980 pro 579 stanic dnešní České republiky. Jak autoři (Šamaj a kol., 1985) uvádějí, časová řada nebyla vždy souvislá, kritériem bylo, aby v daném období bylo alespoň 50 let s dostupným měřením (bez požadavku na kontinuitu tohoto období).

3.5. POROVNÁNÍ POVODÍ ŽELEŠKÉHO A STRUŽINECKÉHO POTOKA

Z hlediska hydrologie jsou si obě povodí velmi podobná. Potoky mají přibližně stejnou délku, a to necelých 5 kilometrů. Vlévají se nedaleko sebe do říčky Olešky. Nemají žádné významné přítoky, jen pár menších potůčků, takže přítoky můžeme považovat za velmi podobné, ne-li totožné. Jelikož je nejbližší srážkoměrná stanice v Libštátu, který je blízko oběma povodím, využívali jsme i stejné hodnoty N-letých dešťů.

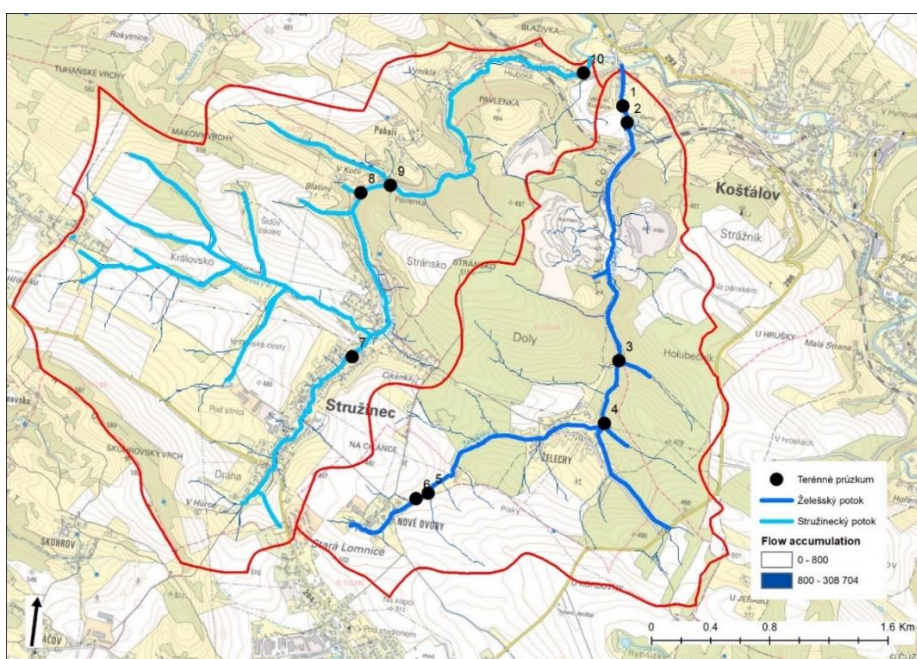
Z hlediska přírodních podmínek už se území trochu odlišují. Povodí Stružineckého potoka začíná před vesnicí Stružinec, tou protéká až se přiblíží k lesu. Od dosažení hranice s lesem ji potok věrně kopíruje až k samotnému ústí do Olešky.

Naopak Želešský potok pramení za obcí Nové Dvory, ale jakmile jí proteče a opustí, zamíří přímo do lesa, kterým se klikatí a prodírá až k Olešce. Cestou skrz les ještě zvládne protéct i místním lomem.

Geologické poměry můžeme také považovat za velmi podobné. Obě území jsou v těsné blízkosti, takže složení hornin je velmi podobné.

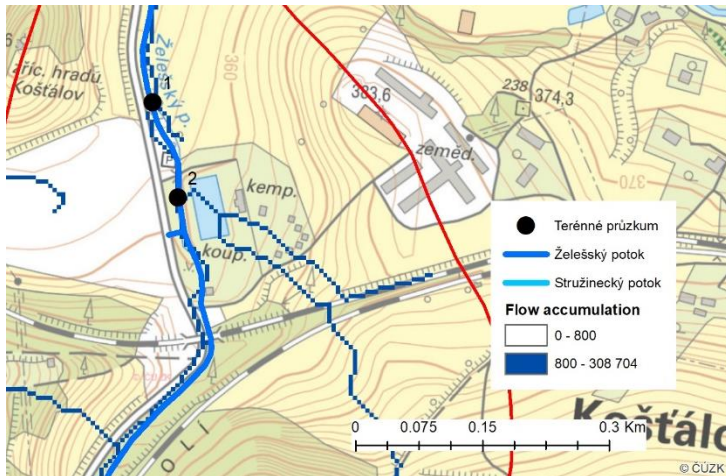
4. TERÉNNÍ PRŮZKUM

Terénní průzkum proběhl v sobotu 25. 4. 2020. Datum vybíráme takto z několika důvodů. Hlavním ale je, že to bylo již po dokončení výpočtové části bakalářské práce. Byla tedy možnost přímo v terénu lokalizovat a vytipovat místa dle GIS analýzy, jako například místa s nadměrnou koncentrací odtoku, nebo místa se zajímavými kombinacemi využití území. Mohli jsme i lokalizovat a navštívit nejrůznější atypická místa, nebo problematická místa z důvodu nedokonalostí datových podkladů.



Obrázek 5- Terénní průzkum

Jako první bylo navštíveno místo nedaleko ústí Želešského potoka do Olešky. Území, kterým protéká Želešský potok, je většinou lesnaté. Až v posledním úseku protéká skrz lom, ze kterého se klikatí pestrým složením využití území až po vtok do Olešky. První místo vybíráme právě v této pestré části.



Obrázek 6- Detail Želešského potoka

Můžeme zde vidět jednak typický tvar koryta v této poslední části toku, ale i pravděpodobný pravostranný přítok ze zdrojové plochy, kudy bude voda přitékat při velkých deštích. Na místě můžeme vidět nánosy, které sem byly pravděpodobně transportovány z pozemků vpravo od toku.



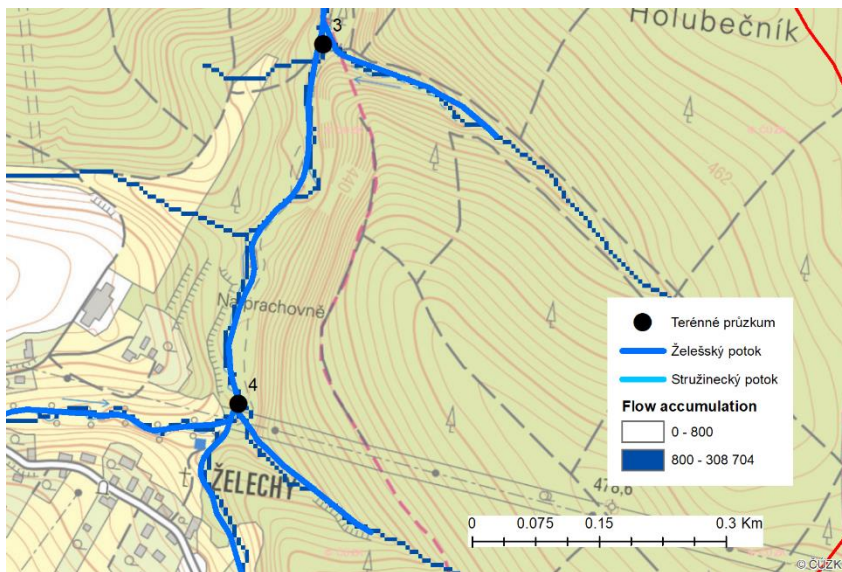
Obrázek 7- Želešský potok

Druhým navštíveným místem byl pravostranný břeh potoka hned vedle koupaliště. Na obrázku 8 můžeme vidět, že koupaliště je umístěné o něco výše než potok. Spadlá srážka bude tedy nejspíše odtékat po příjezdové cestě na plovárnu a z ní steče přímo do potoka. To pravděpodobně v místě pořízeném na fotografii. Můžeme tu vidět slehlou trávu a sesypané kameny. Pravděpodobně se tudy již nějaké voda valila.



Obrázek 8- Želešský potok

Průzkum pokračoval přesunem k obci Želechy. Tato vesnice se nachází zhruba v polovině toku. Je obklopena lesem, tedy potok vytékající z ní se klikatí lesem až k lomu a z něj přímo do Olešky. Zajímavá místa volíme právě na severu Želech, první místo – bod 3, vybíráme kousek dál od vesnice cestou po proudu v lese. Druhé hned za vesnicí na hranici s lesem.



Obrázek 9- Detail Želešského potoka

První fotografie je pořízena na bodu 3, můžeme na ní vidět pravý břeh s místem, kudy bude voda s největší pravděpodobností proudit. Soudíme tak podle našich výsledků analýzy, která nám toto místo přesně vypočítala jako rizikové. Dále také podle svahu, ze kterého je jasně vidět, že tudy již voda proudila. Usuzujeme tak podle rýh vymletých od vody v kopci, nebo sesutých větví, mechů a kamenů po stranách rýh.



Obrázek 10- Želešský potok

Na obrázku 11 můžeme vidět vymletý pravostranný přítok. Nachází se v místě s větší koncentrací srážkových vod. Při větší srážce dochází k formátování koryta a postupnému vymílání. V bezdeštném období (jako při průzkumu) bylo bez stálého průtoku. Během srážky se bude voda transportovat přímo do Želešského potoka.



Obrázek 11- Želešský potok

Odtud se přesunujeme do Nových Dvorů, což je malá obec, kterou potok protéká a kousek nad ní i pramení. Jako zajímavé místo a úsek vybíráme část, kde můžeme vidět pravděpodobný směr přítoku srážky při větším dešti.



Obrázek 12- Detail Želešského potoka

Jde konkrétně o vymleté koryto přírodního charakteru na pravé straně toku. Nachází se v místě s větší koncentrací srážkových vod. Za větší srážky se koryto začne formátovat a postupně vymílat. Během průzkumu bylo bezdeštné období, a proto nebylo koryto naplněno vodou. Na fotografii také můžeme vidět, že koryto už je značně menší a tok slabší než v předešlých úsecích.



Obrázek 13- Želešský potok

Poslední fotografie ukazuje tvar koryta ještě kousek dál proti proudu, tedy v poslední části Želešského potoka. Jelikož je to zhruba 600 metrů od pramene, můžeme pozorovat, že potok je o dost slabší a koryto menší.



Obrázek 14- Želešský potok

Odsud se přesunujeme na druhé povodí, a to Stružinecký potok. Ten protéká pestřejším a rozmanitějším územím. Pramení nedaleko obce Stružinec. Pravděpodobně začíná přítokem z drenáží (odvodnění) zemědělských pozemků na začátku povodí. Poté ho můžeme vidět v korytu, které přesně kopíruje hlavní silnici táhnoucí se celým Stružincem. Na fotografii můžeme vidět typický tvar koryta v této počáteční části toku. Pro srovnání s Želešským potokem je Stružinecký už v této první části větší a transportuje více vody.



Obrázek 15- Stružinecký potok

Další zajímavé místo je v okolí obce Pohoří na bodu 8. Nachází se na levém břehu potoka, můžeme ho vidět vlevo Obrázek 17- Stružinecký potok. Můžeme vidět, že voda bude pravděpodobně proudit po hranici lesa a pak se přes silnici vlije přímo do potoka. Jako zajímavou vyvozujeme na tomto místě i pravou stranu potoka. Tu můžeme vidět na pravém obrázku.



Obrázek 16- Detail Stružineckého potoka

Hned od toku se zvedá strmý kopec pokrytý pásmem lesa, z něj se do toku bude voda dostávat pravděpodobně místy vyfocenými na fotografii. Soudíme tak podle pohledu a průzkumu terénu. Nacházíme se v místě s větší koncentrací srážkových vod. Při větší srážce dochází na svahu k formátování drobných koryt a rýh a postupnému vymílání. V bezdeštném období (jako při průzkumu) byl svah a rýhy bez stálého průtoku

Můžeme vidět, že místem už se určitě nějaká srážka valila přímo do potoka. Dokazuje to například slehlá tráva na svahu, nebo spousty větví sesunutých k těsné blízkosti potoka.



Obrázek 17- Stružinecký potok

Další zajímavé místo vybíráme taktéž blízko obce Pohoří, a to bod 9. Můžeme tu krásně vidět údolnici, mezi dvěma vršky. Přesně skrz ni voda při velké srážce poteče. Naše výpočetní analýza odtoku ze zdrojové plochy nám toto místo vypočetla jako velký pravostranný přítok do potoka. To nám fotografie Obrázek 18- Stružinecký potok přesně potvrzuje. Při průzkumu terénu jsme mohli více prozkoumat i konkrétní místo, kdy byla vidět v místech slehlá tráva, polámané větve a stromy a připojení do Stružineckého potoka bylo zanesené větvemi a drobnějšími kameny. Je to i krásně vidět na fotografii.



Obrázek 18- Stružinecký potok

Jako poslední navštívíme místo, které je v konečné části toku, nachází se zhruba 100 metrů od ústí do Olešky. Na pravém břehu můžeme vidět cestu, po které bude voda velice pravděpodobně přitékat do toku. Na fotografii je vidět místo, ve kterém se přítok z cesty nejspíše připojuje do toku. Dále také můžeme vidět profil typického koryta v této poslední části toku. Je vidět, že tok už přibral na síle a koryto je tedy širší a více naplněné.



Obrázek 19- Stružinecký potok

4.1. SHRUTÍ TERÉNNÍHO PRŮZKUMU

Podle mapových podkladů jsou si obě území velmi podobná. Želešský potok protéká více lesnatým územím, oproti tomu Stružinecký potok hlavně ornou půdou a pestrým zastoupením typů území. Tím, že má Stružinecký potok více přítoků, je o dost více vodnatý už i v začátečních fázích toku.

Výpočty pomocí GIS programu ve většině případů naprosto seděly. Je ale důležité zmínit, že podklady byly pouze morfologické. Víme tedy kudy a kam voda teče na základě morfologie a zdrojové plochy, neznáme ale objemy odtoku. Pár menších výjimek, kdy výpočty přesně neseseděly, jsme také vysledovali, ale zaměřili jsme se primárně na správné výsledky a zajímavá místa.

Želešský potok

Tok rozdělíme na 3 části – první od ústí do Olešky po kamenolom, druhé od kamenolomu po Želechy a třetí od Želech po pramen.

První část toku už je vodnatější, koryto je přírodní a až v posledních pár metrech, kdy potok protéká Košťálovem, je koryto upravené a obložené kameny. V tomto upraveném úseku má koryto šířku zhruba 1 metr a je hluboké zhruba 20 cm. Aktuální stav vody považujeme za normální, nebo spíše nízký, protože koryto je opevněné do výšky asi 100 cm, takže v současnosti rozhodně není jeho kapacita naplněna.

V druhé části se tok vlní lesnatým územím. Koryto je ryze přírodní. Široké je stále zhruba 100 cm, ale je mělké. Hloubku odhadujeme zhruba na 10 cm.

V poslední části je tok už velmi slabý a koryto je tvarované také jen přírodními silami. Šířka koryta je zhruba 30 cm a hloubka 10 cm.

Stružinecký potok

Tok rozdělujeme na 3 části. První od ústí do Olešky po vesnici Pohoří. Druhou část od Pohoří po obec Stružinec a třetí od Stružince po pramen toku. Stružinecký potok je vodnatější než Želešský už od samého pramene. Tok ještě více zesílí po připojení Královského potoka.

První část toku je ryze přírodní a koryto velmi vodnaté. Šířku odhadujeme zhruba na 1,5 metru a hloubku zhruba 20 cm. Aktuální stav vody považujeme za normální, nebo spíše nízký. Koryto je opevněné do větší výšky a většina postranních přítoků je podél délky potoka vyschlých, nebo téměř bezvodných.

V druhé části je koryto také přírodní, mělké a hodně otevřené. Šířku stále odhadujeme na 1,5 metru a hloubku zhruba na 20 cm.

V třetí části, kdy potok protéká Stružincem, můžeme vidět hezky upravené koryto. Jelikož je tu velmi malý sklon a uprostřed Stružince rybník, který vodu zadržuje a pomáhá udržet v potoce požadovanou hloubku, je koryto v této části široké zhruba 1 metr, ale hluboké dokonce až 30 cm.

V posledních pár metrech před pramenem tok ani nelze pozorovat, začíná totiž pravděpodobně přítokem z drenáží ze zemědělských pozemků.

5. VYUŽITÍ GIS PRO ANALÝZU POVODÍ

ArcGIS je geografický informační systém určený pro práci s prostorovými daty. S pomocí programu je možné data vytvářet a spravovat, ale především je dokáže analyzovat, najít v nich nové vztahy a vše přehledně vizualizovat. Výsledky lze poté sdílet nejen ve formátu tradiční mapy, ale i jako interaktivní aplikace či přehledné reporty. (ARCDATA, 2010)

Pro účely této bakalářské práce, využíváme právě program ArcGIS 10.7.1. Díky němu můžeme na základě nahrených mapových podkladů doplněných o jednotlivá data z tabulek vykreslit a vypočítat směry a velikost odtoků z jednotlivých částí území při použití daných N-letých dešťů.

6. POPIS A VÝBĚR METODY ŘEŠENÍ

Hydrologické podklady pro návrh protipovodňových opatření s případným protierozním efektem by se měly stanovovat na základě dlouhodobě sledovaných průtoků v uzávěrovém profilu. Tyto informace ale nejsou ve spoustě případů k dispozici. Konkrétně u malých povodí zřídka kdy. Z tohoto důvodu většinou stanovujeme návrhové parametry pomocí nepřímých metod. Ty jsou založeny na charakteristikách povodí. Jednou z nich je třeba metoda CN křivek nebo hydrologické simulační modely. Metoda CN má výhodu, že je poměrně jednoduchá, ale zároveň i dostatečně přesná. To je také jeden z hlavních důvodů, proč ji volíme.

6.1. METODA CN KŘIVEK

Metoda CN křivek určuje objem přímého odtoku na základě předpokladu, že poměr objemu odtoku k úhrnu přívalové srážky se rovná poměru objemu vody zadržené při odtoku k potenciálnímu objemu, který může být zadrženo. Odtok začíná po počáteční ztrátě, která je součtem intercepce, infiltrace a povrchové retence. Tato počáteční ztráta byla stanovena na základě experimentálních měření na 20 % potenciální retence ($I_a = 0,2A$) (Janeček, 2007)

Základní vztah pro určení přímého odtoku H_o je dán vztahem:

$$H_o = \frac{(H_s - 0,2 A)^2}{(H_s + 0,8 A)}$$

Rovnice 1- Základní vztah pro určení přímého odtoku

(Janeček, 2007)

H_s je úhrn přívalové (návrhové) srážky (mm)

A je potenciální retence

Výpočet potenciální retence A je dán vztahem:

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

Rovnice 2- Výpočet potenciální retence

(Janeček, 2007)

Objem přímého odtoku O_{ph} je dán vztahem:

$$O_{ph} = P_p * H_p / 1000 \text{ (m}^3\text{)}$$

Rovnice 3- Objem přímého odtoku

(Janeček, 2007)

Kde: P_p je plocha povodí (m^2)

6.2. DOBA DOBĚHU A DOBA KONCENTRACE

Doba doběhu (T_t) je čas, který potřebuje voda k přemístění z jednoho místa povodí na jiné. Je to část doby koncentrace (T_c), jež je časem, který je potřebný pro odtok z hydraulicky nejvzdálenějšího bodu v povodí do uzávěrového profilu povodí. Počítá se jako součet dílčích dob doběhu ve zvolené odtokové dráze. Doba koncentrace ovlivňuje tvar a kulminaci hydrogramu odtoku. Intenzifikace zemědělského využití pozemků v krajině obvykle zkracuje dobu koncentrace, čímž se zvyšuje vrcholový průtok. (Janeček, 2007)

Plošný povrchový odtok

$$T_{ta} = \frac{0,007 * \left(\frac{n * l}{0.3048}\right)^{0.8}}{\left(\frac{H_{s2}}{25.4}\right)^{0.5} * s^{0.4}}$$

Rovnice 4- Plošný povrchový odtok

(Janeček, 2007)

Kde:	T_{ta}	je doba doběhu (h)
	n	Manningův součinitel drsnosti
	l	délka proudění (m)
	H_{s2}	úhrn 24 hod. deště s dobou opakování 2 roky (mm)
	s	hydraulický sklon povrchu ($m * m^{-1}$)

Soustředěný odtok o malé hloubce

$$T_{tb} = \frac{l}{3600 * v}$$

Rovnice 5- Soustředěný odtok o malé hloubce

(Janeček, 2007)

Kde:	T_{tb}	je doba doběhu (h)
	l	délka proudění (m)
	v	průměrná rychlost ($m * s^{-1}$)
		pro nezpevněný povrch $v = 4.918 * s^{0.5}$
		pro zpevněný povrch $v = 6.196 * s^{0.5}$
	s	sklon odtokového prvku ($m * m^{-1}$)

Otevřená koryta

$$v = \frac{l}{n} * R^{\frac{2}{3}} * s^{\frac{1}{2}}$$

Rovnice 6- Otevřená koryta

(Janeček, 2007)

Kde: v	průměrná rychlost (m* s ⁻¹)
R	hydraulický poloměr (m)
F	plocha příčného profilu (m ²)
O	omočený obvod (m)
s	sklon odtokového prvku (m* m ⁻¹)
n	Manningův součinitel drsnosti pro průtok otevřeným korytem

Doba doběhu se vypočte podle vztahu:

$$T_{tc} = \frac{l}{3600 * v}$$

Rovnice 7- Doba doběhu

(Janeček, 2007)

Celková doba koncentrace povrchového odtoku (T_c) je součtem doby doběhu pro různé po sobě následující úseky proudění.

$$T_c = T_{ta} + T_{tb} + T_{tc}$$

Rovnice 8- Celková doba koncentrace povrchového odtoku

(Janeček, 2007)

VÝPOČTOVÁ ČÁST

7. VSTUPNÍ DATA

7.1. MAPOVÉ PODKLADY

- **ZABAGED** – Základní báze geografických dat České republiky je komplexní digitální geografický model území České republiky, který je spravován Zeměměřickým úřadem ve veřejném zájmu. Je využíván jako základní informační vrstva v územně orientovaných informačních a v řídicích systémech veřejné správy ČR. Je také hlavním zdrojem informací pro tvorbu základních map ČR měřítek 1:10 000 až 1:100 000. (ČÚZK, 2010) Pro účely práce ho využíváme jako základní podklad pro analýzu využití území. Pokrývá totiž celé území, i když nemusí být úplně aktuální. To právě doplňujeme daty z LPIS.
- **LPIS** - Je geografický informační systém (GIS), který je tvořen primárně evidencí využití zemědělské půdy. Hlavním účelem registru půdy je ověřování údajů v žádostech o dotace poskytovaných ve vazbě na zemědělskou půdu, a to bez ohledu na to, zda jde o dotace financované ze zdrojů EU nebo o národní dotační programy. (Ministerstvo zemědělství, 2009) Pro účely práce jsou důležité aktualizované kategorie zemědělské půdy (travní porost, orná půda, sady, apod.).
- **DMR 4G** (Digitální model reliéfu České republiky 4. generace) představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskrétních bodů v pravidelné síti (5x5m) bodů o souřadnicích X,Y,H, kde H reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání s úplnou střední chybou výšky 0,3 m v odkrytém terénu a 1m v zalesněném terénu. (ČÚZK, 2010) Pro účely této práce jsou důležité podrobné údaje o morfologii pro další analýzy odtoku.

- **DIBAVOD (Digitální Báze VOdohospodářských Dat)** je pracovní označení návrhu katalogu typů objektů jako tematické vodohospodářské nadstavby ZABAGED. Je to referenční geografická databáze vytvořená primárně z odpovídajících vrstev ZABAGED a cílově určená pro tvorbu tematických kartografických výstupů s vodohospodářskou tematikou a tematikou ochrany vod nad Základní mapou ČR 1:10 000, resp. 1: 50 000, včetně Mapy záplavových území ČR 1:10 000, a dále pro prostorové analýzy v prostředí geografických informačních systémů a zpracování reportingových dat podle Rámcové směrnice 2000/60/ES v oblasti vodní politiky. (Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, 2017). Pro naše účely využíváme povodí IV. řádu.
- **BPEJ (Bonitovaná půdně ekologická jednotka)** slouží k hodnocení absolutní i relativní produkční schopnosti zemědělských půd a podmínek jejich nejúčelnějšího využití. BPEJ je charakterizována pětimístným kódem. První číslice vyjadřuje příslušnost ke klimatickému regionu. Druhá a třetí číslice určuje zařazení půdy do hlavní půdní jednotky klasifikační soustavy (HPJ). Čtvrtá stanovuje stupeň sklonitosti a příslušnou expozici ke světovým stranám ve vzájemné kombinaci, pátá číslice vyjadřuje hloubku půdy a skeletovitost půdního profilu ve vzájemné kombinaci. Základní soustava vymezuje 2140 BPEJ, pro které jsou k dispozici i ekonomické charakteristiky a nově vymezených 138 kódů, pro které je nutné nejprve ekonomické charakteristiky vyhodnotit. Dohromady tedy 2278 kódů BPEJ. (VÚMOP v.v.i., 2019)
- **KPP (Komplexní průzkum půd)** byl prvním moderním soustavným průzkumem půd, během kterého bylo na území bývalé ČSSR od roku 1960 do roku 1972 na ploše 7,2 milionu ha zemědělské půdy vykopáno cca 700 000 sond a provedeno cca 2 000 000 půdních rozborů. Na ČR připadá celkem 386 615 sond. (VÚMOP v.v.i., 2017)
- **Landuse (vrstva využití území)** - získán kombinací map ZABAGED a LPIS. Jejich sloučením vzniká mapa, ze které následně dokážeme vyvodit, jakým způsobem je požadované území využíváno.

7.2. NÁVRHOVÉ SRÁŽKY

Srážky byly získány z nejbližší srážkoměrné stanice, která se nachází v obci Libštát. Zjištěny byly pomocí softwaru DES- Rain. (Vašová D., 2014)

Tabulka 1- N-leté srážky pro území (stanice Libštát)

Stanice	Libštát [mm]
N = 2 roky	37.9
N = 5 let	50.7
N = 10 let	58.9
N = 20 let	67.4
N = 50 let	77.8
N = 100 let	86.0

(Kovář P. Heřmanovská D. Sůva M., 2015)

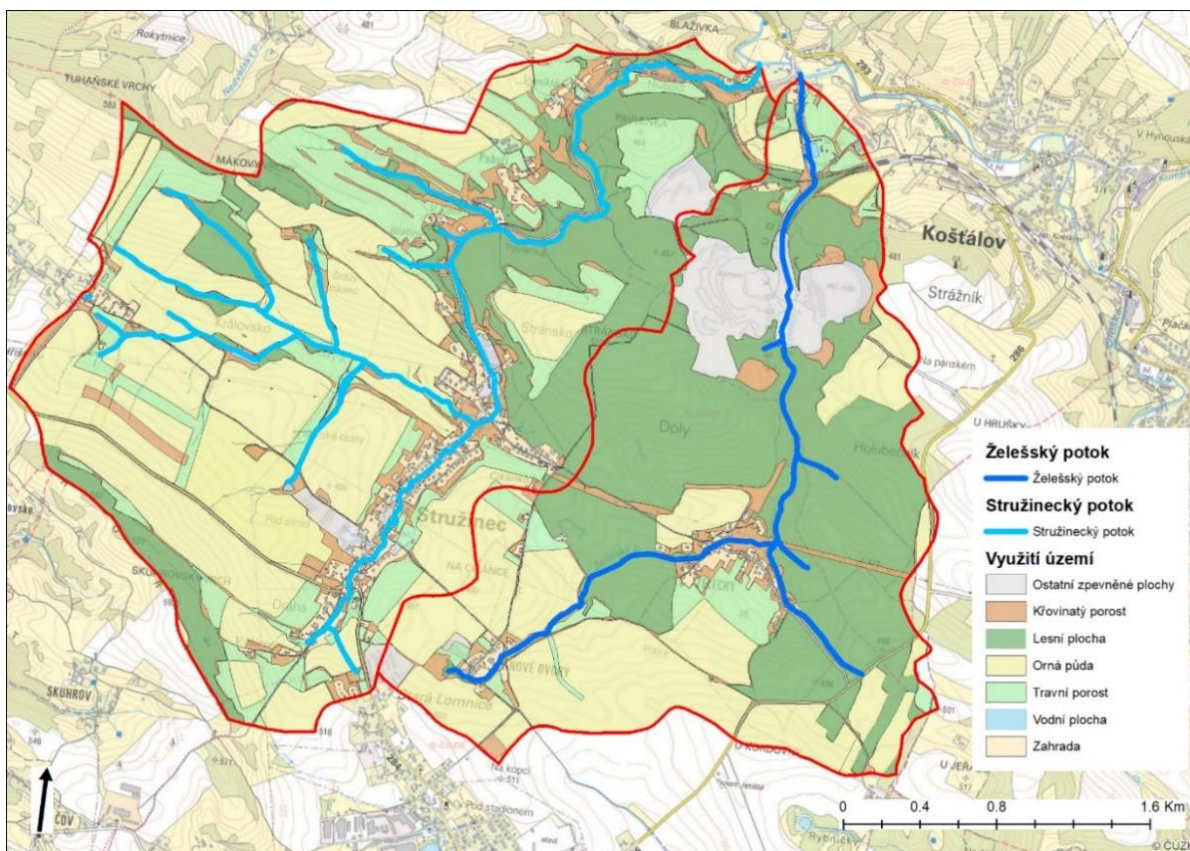
8. ANALÝZY

8.1. ANALÝZA VYUŽITÍ ÚZEMÍ

Do programu GIS byla nahrána vrstva využití území. Ta byla následně oříznuta na území pro povodí Stružinekého a Želešského potoka. Území je rozděleno celkem do 7 kategorií, přičemž:

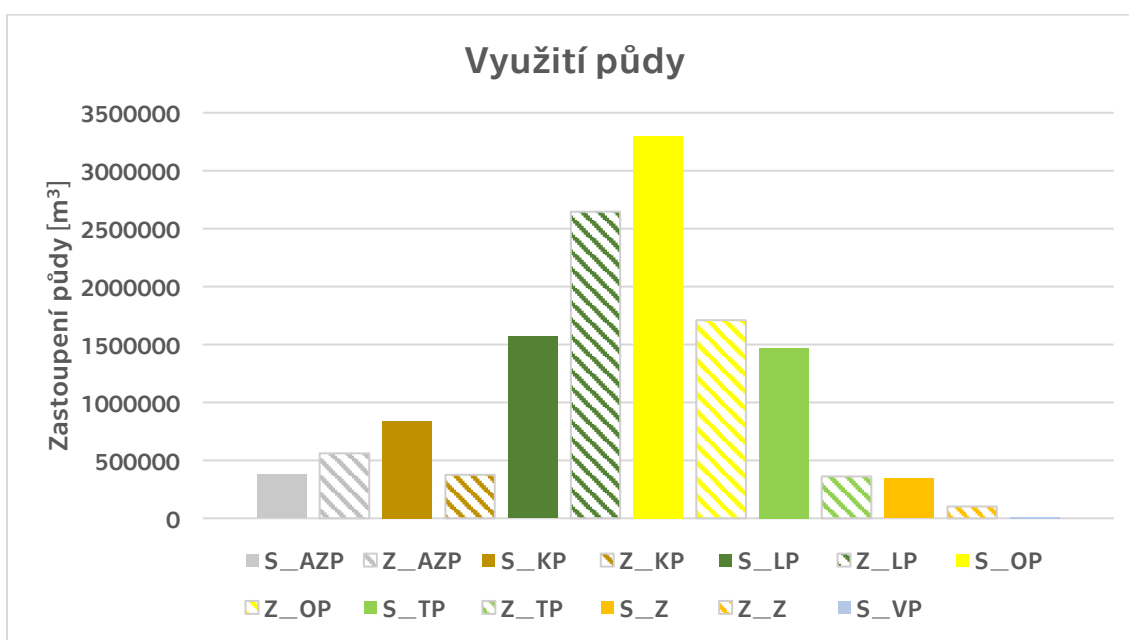
Tabulka 2- Typy využití území

AZP	Antropogenní a zpevněné plochy
KP	Křovinatý porost
LP	Lesní porost
OP	Orná půda
TR	Travní porost
VP	Vodní plocha
Z	Zahrada



Obrázek 20- Landuse Stružineckého a Želešského potoka

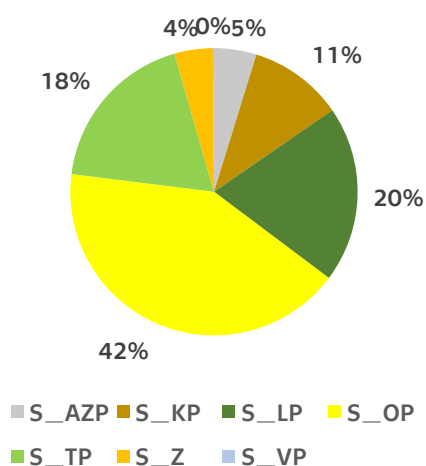
Pro přehlednost zastoupení jednotlivého využití půdy byl pro povodí Stružineckého i Želešského potoka vytvořen graf, ze kterého můžeme vyčíst hodnoty a lépe se orientovat a pracovat v dalších krocích výpočtu.



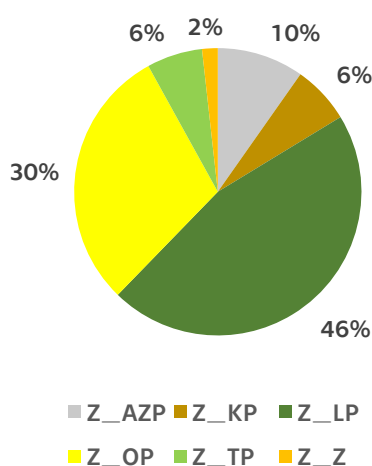
Obrázek 21- Graf využití území

Z grafů (Obrázek 21- Graf využití území sloupcový, Obrázek 22- Procentuální zastoupení využití území Stružineckého a Želešského potoka) můžeme vidět různorodost obou území a porovnat je. U Stružineckého potoka se nám potvrzuje velká rozmanitost jednotlivých zastoupení typů území. Nejvíce zastoupená je orná půda, která zabírá skoro polovinu území. Zbylé typy využití území jsou zastoupené dost podobně. Trochu více je zastoupen lesní porost, který mají společný se Želešským potokem.

Využití půdy Stružinecký potok



Využití půdy Želešský potok



Obrázek 22- Procentuální zastoupení využití území Stružineckého a Želešského potoka

Naopak u Želešského potoka můžeme vidět jako nejvíce zastoupenou složku lesní porost. Ten totiž zabírá většinu území. Jako druhou hodně zastoupenou složku vyčteme ornou půdu, která se vyskytuje na většině okolního území. Ostatní typy využití území jsou zastoupeny už jen v menší a dost podobné míře.

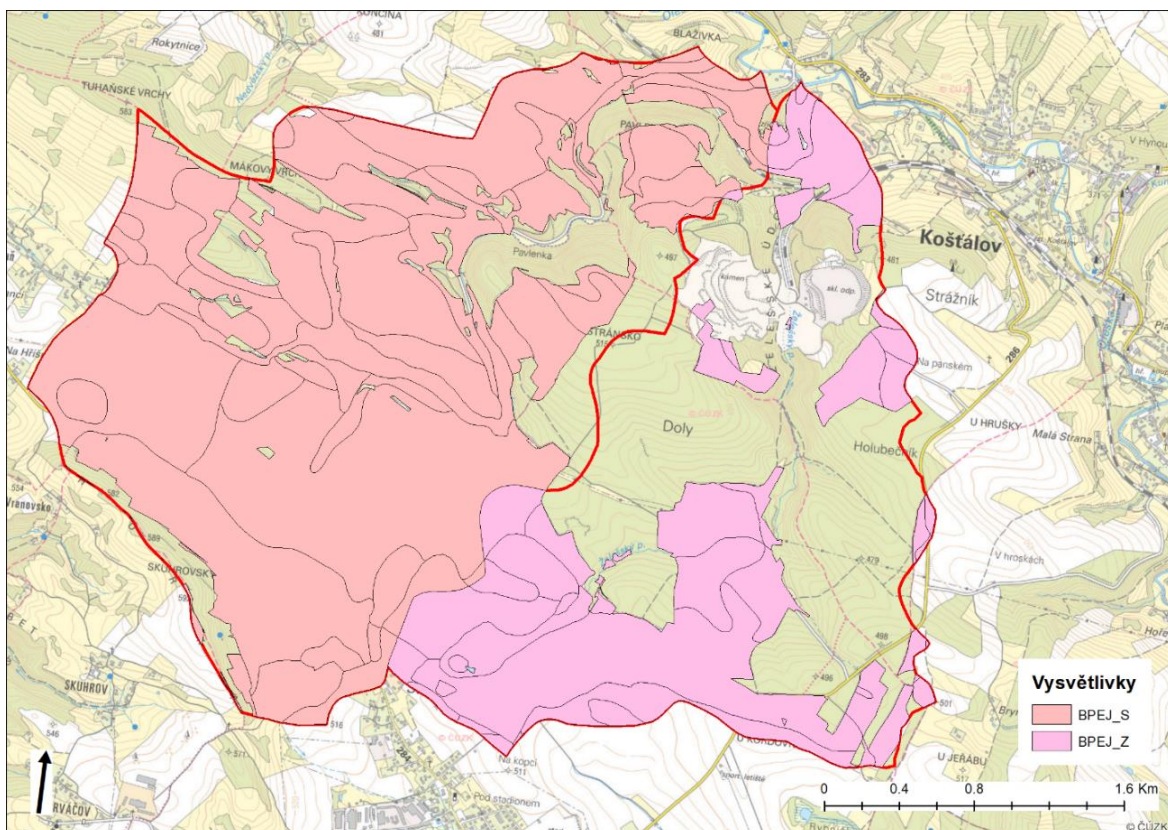
8.2. ANALÝZA HYDROLOGICKÝCH PŮDNÍCH SKUPIN

Podobným způsobem jako při vytváření analýzy využití území byla nahrána i nová vrstva s mapou BPEJ. Tuto mapu charakterizuje pětimístný kód. Pro nás jsou stěžejní hlavně hodnoty hlavních půdních jednotek, což jsou druhá a třetí číslice v rozmezí 01-78. Na základě kódu určíme hydrologickou půdní skupinu pomocí tabulky Hydrologické skupiny zemědělských půd podle BPEJ.

Podle Janečka (2007) můžeme rozlišit základní 4 hydrologické skupiny.

Tabulka 3- Hydrologické skupiny půd (Janeček, 2007)

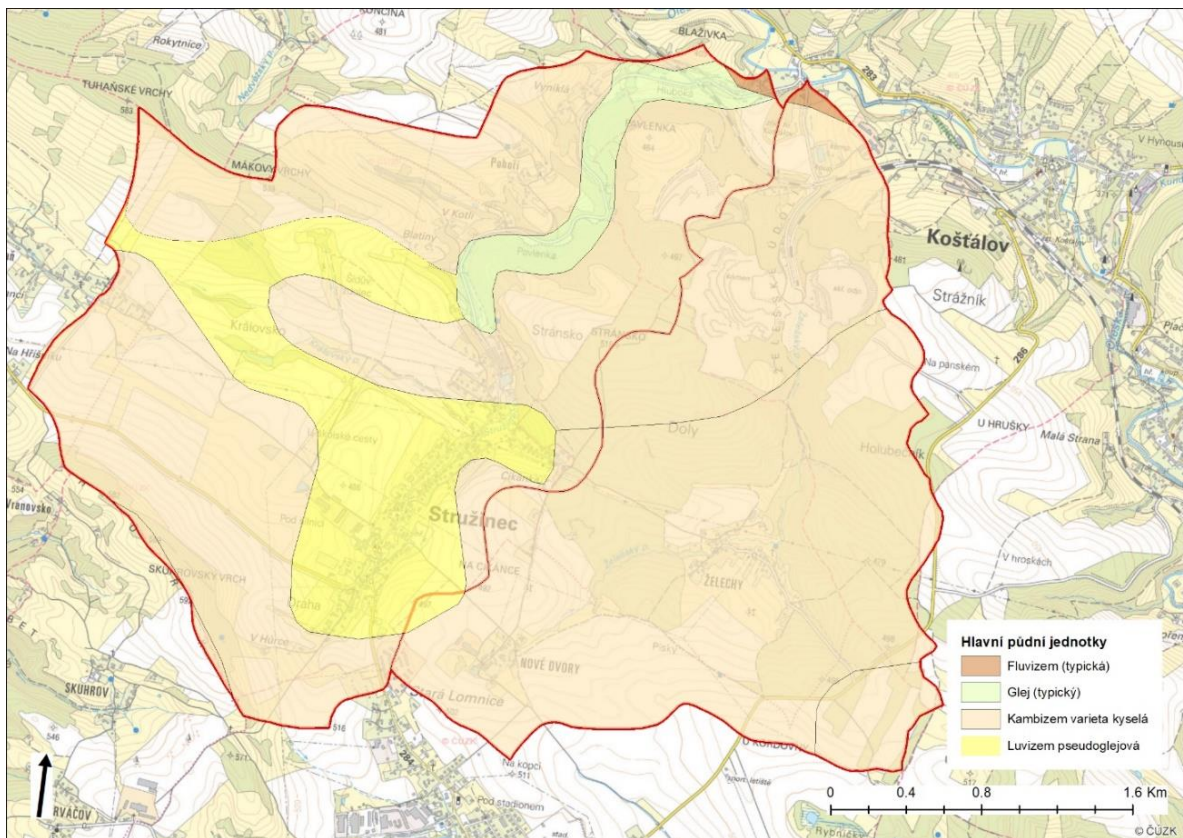
Hydrologická skupina	Charakteristika hydrologických vlastností půdy
A	Půdy s vysokou rychlostí infiltrace ($> 0,12 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) i při úplném nasycení, zahrnující převážně hluboké, dobře až nadměrně odvodněné písky nebo štěrky
B	Půdy se střední rychlostí infiltrace ($0,06 - 0,12 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře 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.



Obrázek 23- BPEJ Želešský a Stružinecký potok

Jelikož ale mapy BPEJ neobsahují hydrologickou vlastnost půdy na území tvořenými lesy, doplňujeme tuto hodnotu pomocí mapy KPP. Tyto mapy byly vytvořeny během let 1960 až 1972. Mají sice hodnoty hydrologické skupiny pro celou ČR, ale jelikož mapy BPEJ jsou o dost mladšího data a jsou daleko podrobnějšího měřítka a vzorkování, na území, kde je možnost, volíme data BPEJ, a kde nejsou, tak data KPP. Data BPEJ nalezneme na všech místech kromě lesního porostu (a antropogenních ploch).

Data KPP využívají stejné hydrologické skupiny jako mapy BPEJ ve škále A-D.

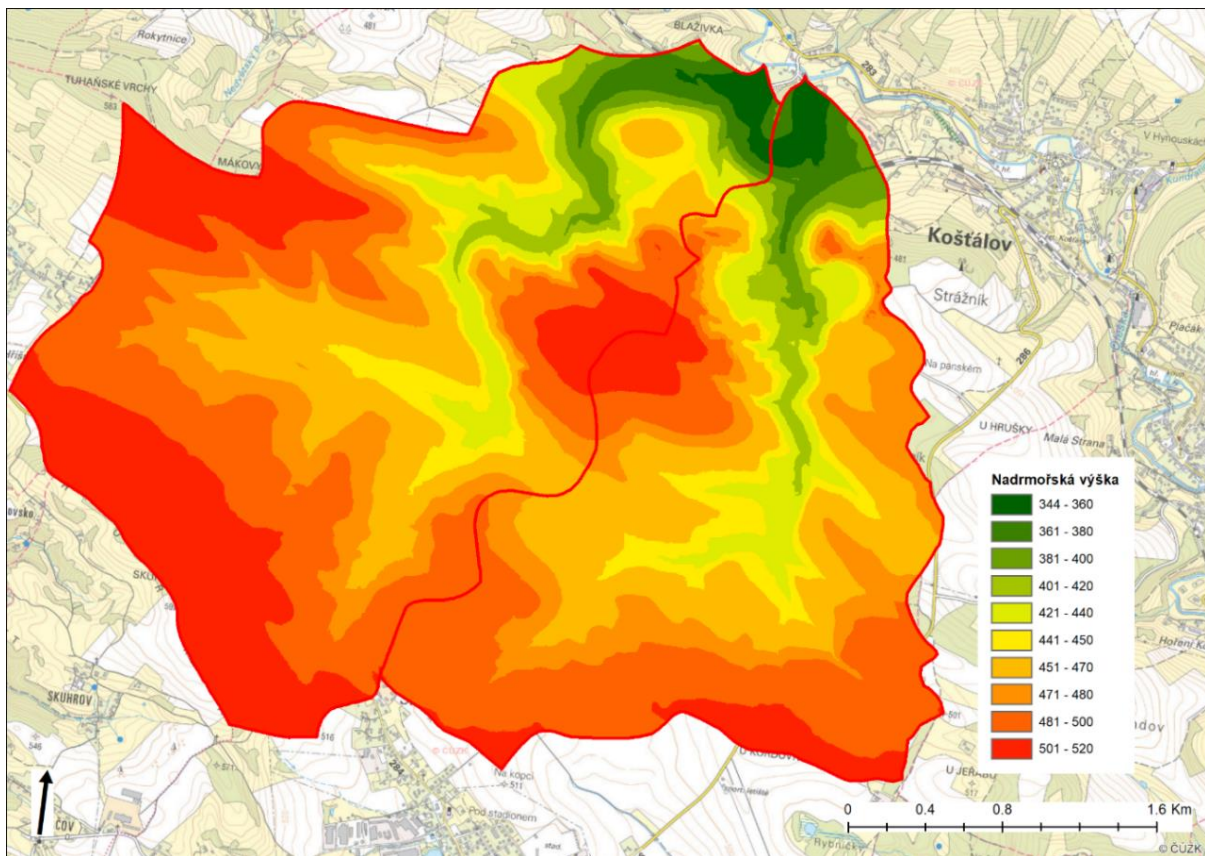


Obrázek 24- KPP Želešský a Stružinecký potok

8.3. ANALÝZA DRAH SOUSTŘEDĚNÉHO ODOTKU

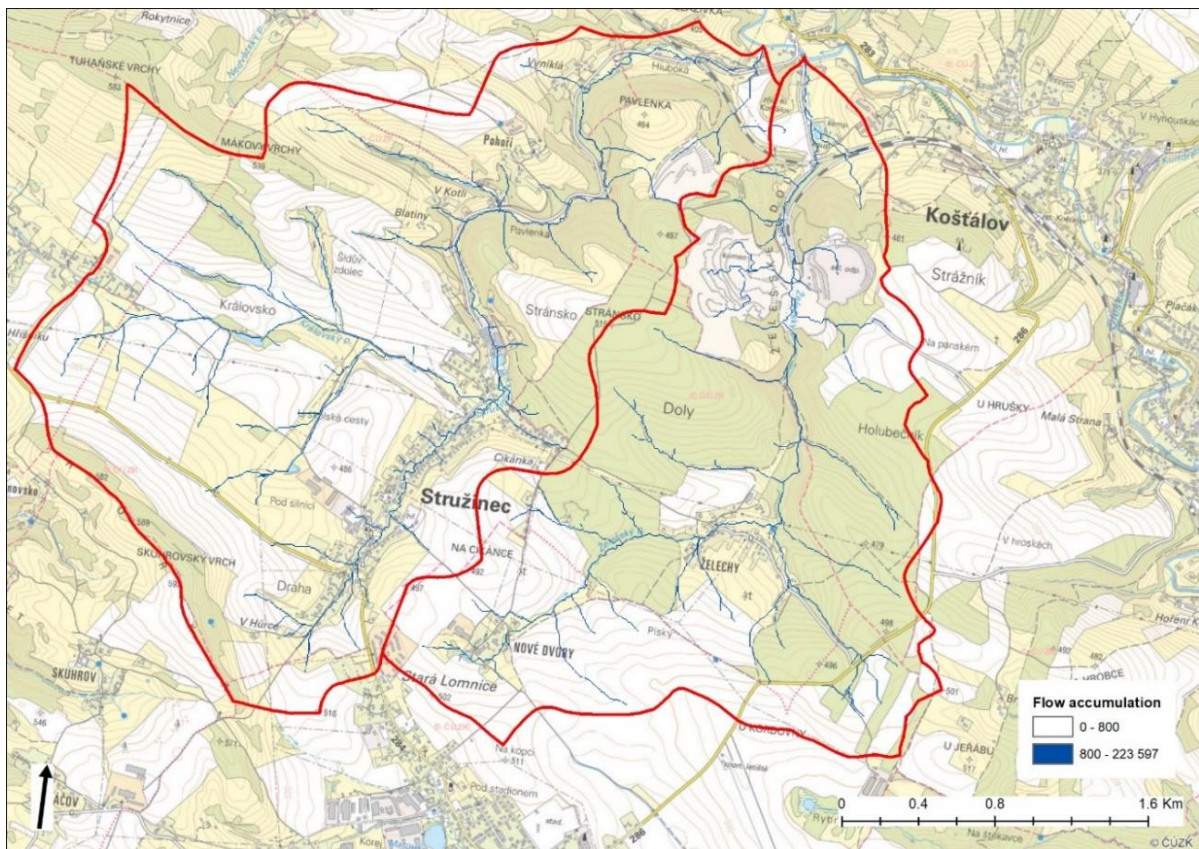
Tato mapa nám vykresluje a ukazuje velikost přímého odtoku pro jednotlivá místa. Pomocí tří jednoduchých kroků byla v programu GIS vytvořena mapa akumulovaného odtoku, ze které můžeme vyčíst odtoky a směry odtoků z daných míst.

Nejprve bylo potřeba nahrát mapu digitálního modelu terénu (DMT). Následně byla oříznuta na území povodí Stružineckého a Želešského potoka. Pomocí použití nástroje FILL, do kterého nahráváme mapu DMT, odstraňujeme bezodtoké deprese. Výsledkem je hydrologicky korektní model terénu.



Obrázek 25- FLOW DIRECTION

Následně tuto upravenou mapu nahrajeme do nástroje FLOW DIRECTION, který nám pomocí rychlého výpočtu ukáže směry odtoku v každém místě povodí. Posledním krokem je využití funkce FLOW ACCUMULATION. Pole s vysokými hodnotami vytvářejí síť akumulace odtoku, naopak pole s nízkými hodnotami okolní hřebeny. Pole s vysokými hodnotami mají velkou přispívající plochu, je tam tedy velká akumulace, tedy velký potenciál pro nebezpečí přívalové srážky. Naopak malé hodnoty mají malou přispívající plochu s malou akumulací a malým potenciálem pro nebezpečí přívalové srážky.



Obrázek 26- FLOW ACCUMULATION

V mapě vidíme dvě území, povodí Stružineckého a Želešského potoka. Tato území bere funkce FLOW ACCUMULATION jako zdrojové plochy. Můžeme si je tedy vyfiltrovat podle našich potřeb. Jelikož je pro nás dobré vidět výrazné údolnice, volíme zobrazení větší než 2ha (tedy $2 \times 100 \times 100 \text{ m}^2$). V našem případě tedy rozlišení 1 pixel = 5x5 metrů. Z toho vyplývá výpočet $2 \times 100 \times 100 / 5 / 5 = 800$. V symbologii vrstev tedy nastavujeme zobrazení dvou zdrojových ploch, a to 0-800 a větší než 800. Plochu od 800 výše si vykreslíme tmavomodrou barvou a plochu 800 a méně necháváme bezbarvou. Díky tomu se nám krásně vykreslí požadované trasy rizikového odtoku. Ty dále porovnáváme s trasami vodních toků.

Z mapy vidíme, že nám poslední použitá funkce vykreslila trasy rizikového odtoku velmi podobné trasám toku obou povodí. Mimo to ale i směry otoků z nejrůznějších pozemků v okolí povodí a v místa, kde se budou zhruba napojovat na Stružinecký či Želešský potok. To je velice zajímavé a důležité.

Může nám to pomoci třeba při navrhování protipovodňových opatření nebo úprav toku. Budeme vědět, v jakých místech je tok během deště nejvíce zatížen, a opatření budeme navrhovat s ohledem na to.

9. VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ

9.1. OBJEM ODTOKU METODOU CN KŘIVEK

Pomocí příkazu Union vznikla nová vrstva obsahující informace nejen z map BPEJ, KPP, ale i z mapy využití území. Díky tomuto propojení všech dat, bylo možné z tabulky Průměrných čísel odtokových křivek – CN pro IPS ve skriptech Ochrana zemědělské půdy před erozí získat jednotlivé hodnoty CN.

Konkrétní pěstované plodiny a jejich procentuální zastoupení bylo prodiskutováno s panem Sedláčkem, který je agronomem firmy ZEOS Lomnice a.s. Ta právě hospodaří na popisované orné půdě v celých dvou povodích. Tento zdroj pochází z veřejně dostupných informací z databáze LPIS. Váženým průměrem docházíme k přesnému číslu CN křivky pro orné půdy.

Také jsme hovořili o osevních postupech, nástrojích, které používají, a místních hydrologických podmínkách. ZEOS Lomnice a.s. má 2 střediska s celkovou výměrou zhruba 14 000 ha. Z toho tvoří louky a trvalé travní porosty 500 ha a zbylých 900 ha orná půda. Zjišťujeme, že z plodin, které pěstují, jsou všechny, až na kukuřici, úzkořádkové. Kukuřice je širokořádková. U osevních postupů se dozvídáme, že se snaží jednotlivé plodiny dost pestře střídat. Snaží se nedávat po sobě nikde více jak 2 obiloviny. Mezi jednotlivé plodiny vhodně vkládají jetel. Hnojení je zajištěno pomocí živočišné kejdy.

Tabulka 4- Čísla odtokových křivek CN

Plodiny	%	Způsob obdělávání	Hydrolog. podmínky	Využití půdy	A	B	C	D
Ozimá pšenice	20	Př	Stř	úzkoroádkové	64.0	75.5	83.5	87.5
Řepka	15	Př	Stř	úzkoroádkové	64.0	75.5	83.5	87.5
Kukuřice	15	Př	Stř	širokoroádkové	69.5	89.5	86.5	90.0
Mák	10	Př	Stř	úzkoroádkové	64.0	75.5	83.5	87.5
Jetele	10	Př	Stř	úzkoroádkové	64.0	75.5	83.5	87.5
Ostatní obiloviny	30	Př	Stř	úzkoroádkové	64.0	75.5	83.5	87.5
Výsledný vážený průměr					64.8	77.6	84.0	87.9

Pro ostatní typy využití území přebíráme hodnoty z níže zmíněné tabulky (Tabulka 5- Čísla odtokových křivek CN) ve skriptech Ochrana zemědělské půdy před erozí- Metodika. (Janeček, 2007)

Tabulka 5- Čísla odtokových křivek CN (Janeček, 2007)

Landuse	Landuse název	A	B	C	D
AZP	Antropogenní a zpevněné plochy	98	98	98	98
KP	Křovinatý porost	35	56	70	77
LP	Lesní porost	36	60	73	79
OP	Orná půda	65	78	84	89
TP	Travní porost	30	58	71	78
VP	Vodní plocha	100	100	100	100
Z	Zahrada	43	65	76	82

Díky číslům CN křivek můžeme vypočítat jednoduchými vzorci retenci půdy a výšku přímého odtoku (mm). Do výpočtů dosazujeme postupně N-letou srážku z obce Libštát pro 2, 5, 10, 20, 50 a 100 let. Pomocí hodnot výšky přímého odtoku a plochy povodí můžeme vypočítat objem přímého odtoku (m³).

Želešský potok:

Tabulka 6- Objem přímého odtoku z Želešského potoka

Využití území	2 letá srážka [m ³]	5 letá srážka [m ³]	10 letá srážka [m ³]	20 letá srážka [m ³]	50 letá srážka [m ³]	100 letá srážka [m ³]
AZP	18 151	25 255	29 825	34 570	40 384	44 973
KP	344	762	1 315	2 089	3 280	4 386
LP	2 896	10 806	18 023	26 968	39 638	50 774
OP	9 223	19 537	27 415	36 389	48 271	58 213
TP	1 002	1 153	1 505	2 052	2 944	3 800
VP	130	174	202	231	266	294
Z	225	597	915	1 298	1 830	2 291

Pomocí programu excel, do kterého si exportujeme výsledky výpočtů z tabulky v GISu, si můžeme jednotlivé položky seřadit podle dat využití území. Následně můžeme vypočítat celkový objem odtoku ze stejného typu území při využití srážky pro n let.

Stružinecký potok:

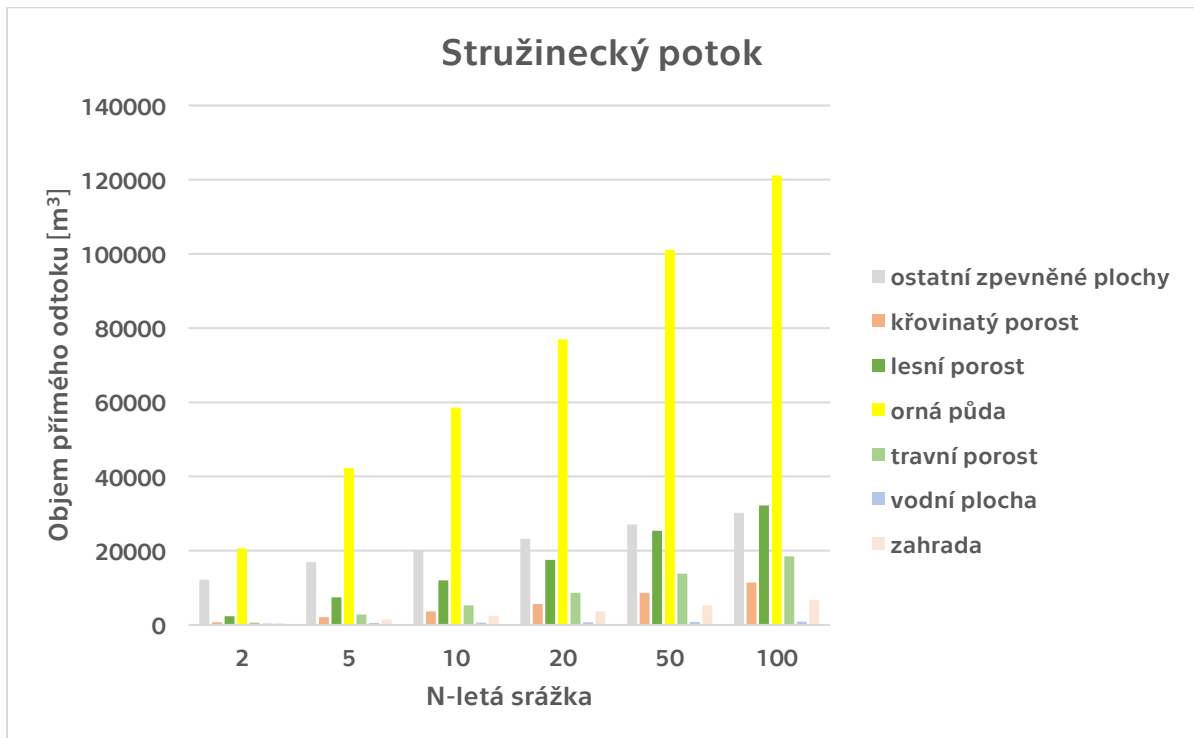
Tabulka 7- Objem přímého odtoku ze Stružineckého potoka

Využití území	2 letá srážka [m ³]	5 letá srážka [m ³]	10 letá srážka [m ³]	20 letá srážka [m ³]	50 letá srážka [m ³]	100 letá srážka [m ³]
AZP	12 182	16 950	20 017	23 202	27 104	30 183
KP	740	2 100	3 613	5 630	8 639	11 380
LP	2 328	7 442	11 982	17 545	25 356	32 180
OP	20 647	42 307	58 576	76 942	101 073	121 143
TP	615	2 750	5 256	8 654	13 780	18 482
VP	384	514	597	683	789	872
Z	451	1 499	2 444	3 611	5 258	6 703

9.2. STRUŽINECKÝ POTOK – OBJEM PŘÍMÉHO ODTOKU

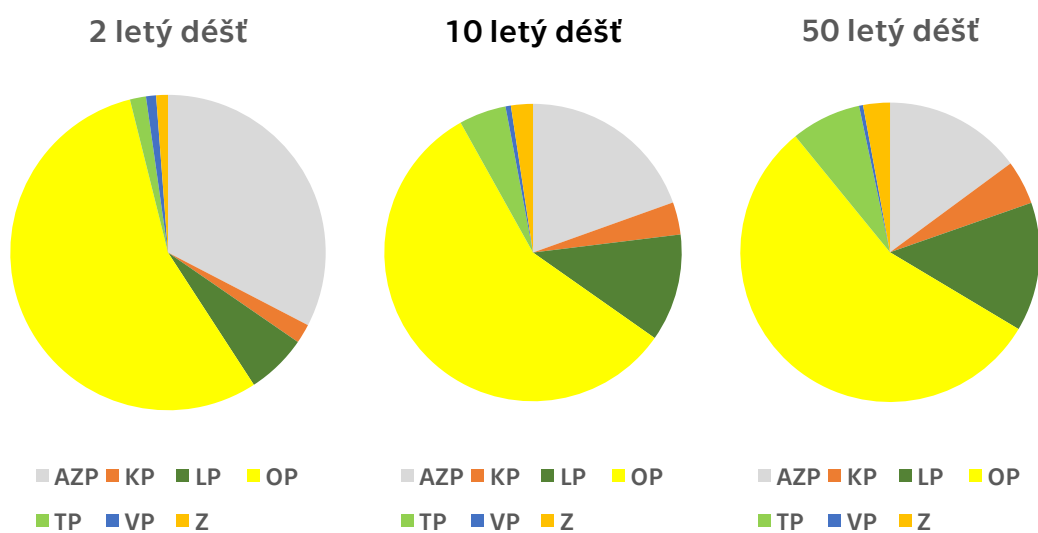
U Stružineckého potoka můžeme vidět, že jsou skoky pro odtoky z území mezi jednotlivými n-letými srážkami veliké. Největší mezi 2 a 5 letou srážkou, kde je objem odtoku přibližně dvojnásobný. Je to z důvodu, že právě mezi těmito srážkami dochází k překročení infiltrační kapacity. Konkrétně třeba u křovinatého porostu, lesního porostu nebo zahrady to je až trojnásobek. Jednoduše řečeno, dvouletá se většinou vsákne, pětiletá už nikoli.

S větší vydatností srážky se výsledky a rozdíly pomalu ustalují a objem odtoku úměrně narůstá.



Obrázek 27- Graf objemu přímého odtoku ze Stružineckého potoka

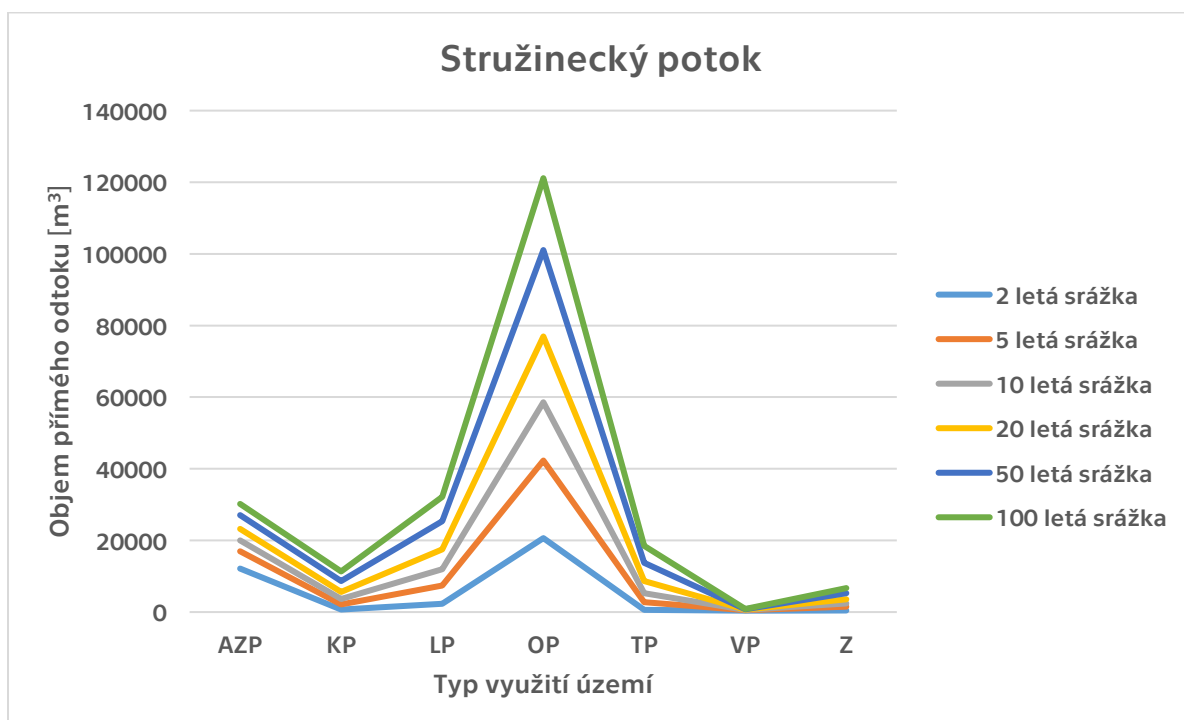
Lze to odůvodnit tím, že území je velmi rozmanité a jednotlivé typy území se tu pestře střídají. Srážka se tedy nestihne tak rychle zasáknout a odtéká.



Obrázek 28- Podíl přímého odtoku u jednotlivých kategorií

Na posledních třech grafech vidíme přehledně vykreslený podíl přímého odtoku jednotlivých kategorií na Stružineckém potoce. Také můžeme vidět, že čím větší přijde srážka, tím méně závisí na druhu využití území.

V porovnání s Želešským potokem můžeme vyčíst, že hlavní objem odtoku bude z orné půdy. To lze logicky odůvodnit tím, že na Stružineckém potoce je orná půda nejvíce zastoupeným územím. Druhou položkou, ze které odtéká nejvíce srážky, jsou antropogenní a zpevněné plochy. Ty sice nejsou na území tolik zastoupeny, ale voda se na nich prakticky nezasakuje a rovnou odtéká do potoka.



Obrázek 29- Objem přímého odtoku Stružinecký potok

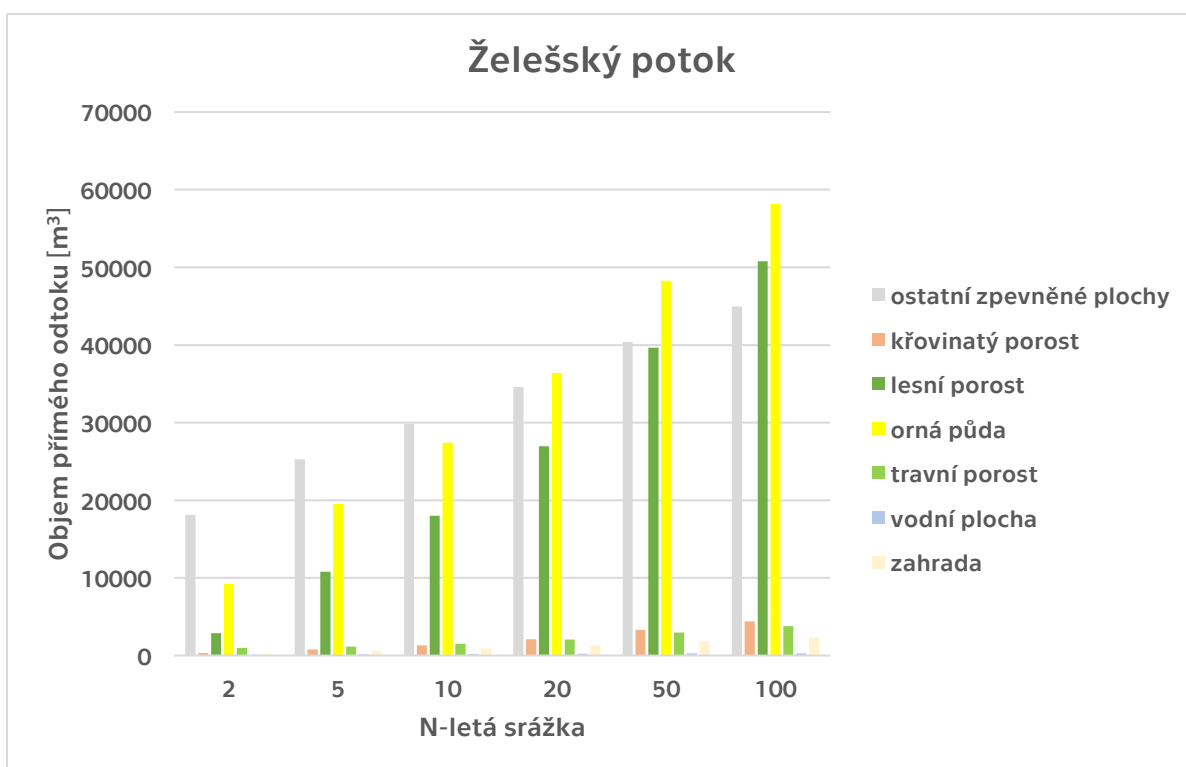
Na obrázku 29 můžeme vidět objem odtoku z jednotlivých typů využití území. Můžeme vidět, že třeba u orné půdy jsou skoky a reakce na n-letou srážku opravdu veliké. To je výsledkem toho, že v povodí Stružineckého potoka je orná půda hodně zastoupená, a to hlavně v místech v blízkosti vodního toku. To ještě napomáhá odtoku z orné půdy, který je přímo usměrněn od potoka. U zbylých typů využití území už nejsou skoky mezi reakcí na přímý odtok ze srážky tak veliké.

9.3. ŽELEŠSKÝ POTOK – OBJEM PŘÍMÉHO ODTOKU

Z výpočetní tabulky výsledků můžeme třeba vysledovat, že odtok z travního porostu se liší jen nepatrně. Z toho můžeme logicky usoudit, že se většina srážky vsákne do půdy a odtéká už jen minimum.

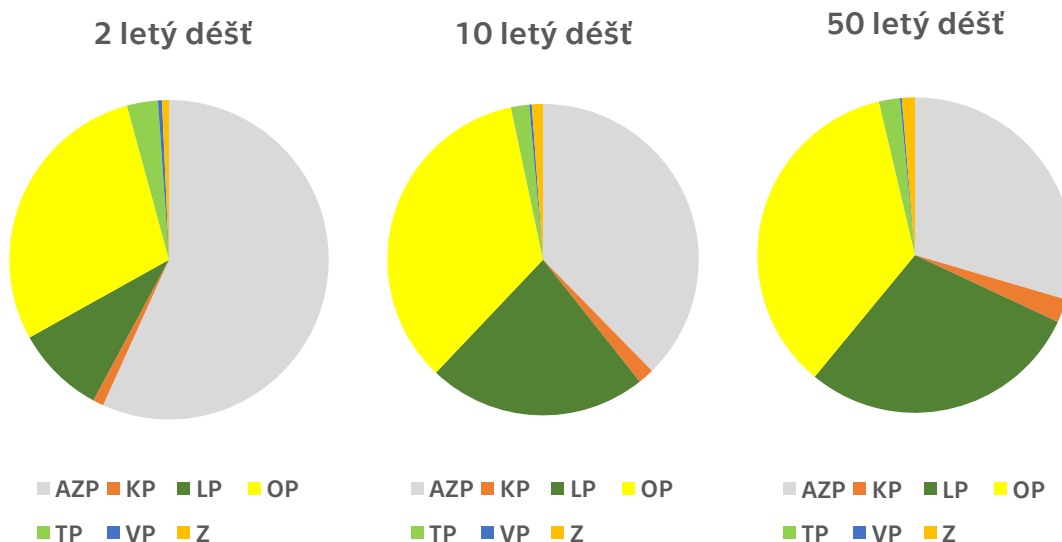
Naopak třeba u orné půdy, křovinatého porostu, nebo zahrady jsou skoky mezi jednotlivými n letými srážkami opravdu veliké. Většinou skoro dvojnásobné. Z toho usuzujeme, že voda se do půdy moc nevsakuje, ale naopak bude většinou odtékat po povrchu.

Největší skok je u lesního porostu a to mezi 2 a 5 letou srážkou. U následných srážek se skok pomalu snižuje až k tomu, že mezi 50 a 100 letou je už jen asi čtvrtinový.



Obrázek 30- Graf přímého odtoku z Želešského potoka

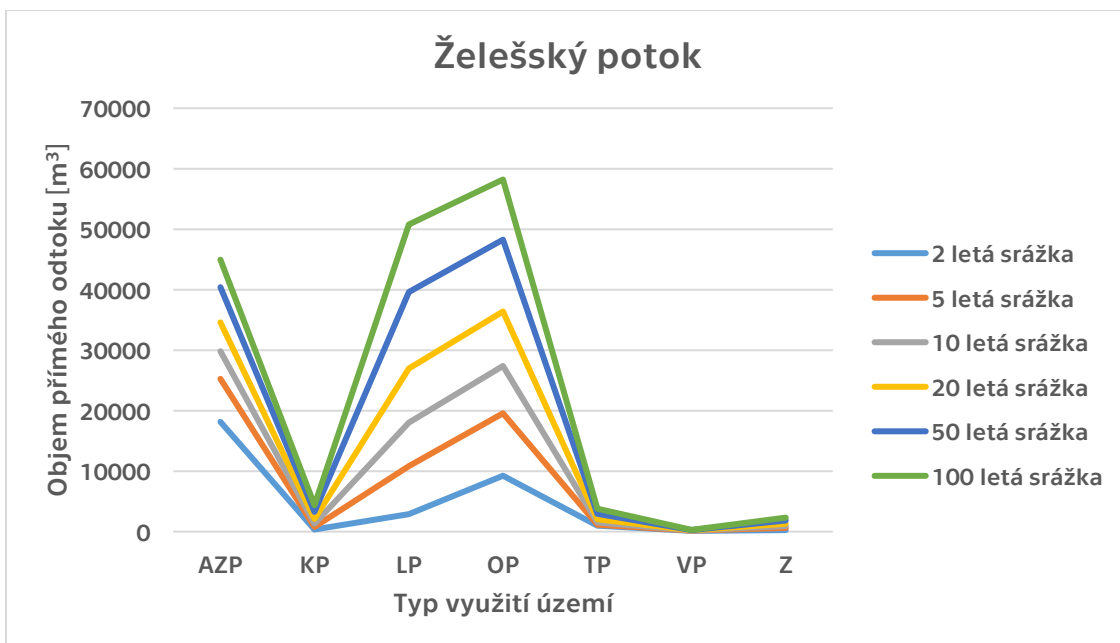
Tento výsledek ale lze odůvodnit. Většinu území Želešského potoka totiž zabírá les. Potok se jím klikatí skoro po celé délce. Největší skok mezi 2 a 5 letou srážkou je dán tím, že právě mezi těmito srážkami dochází k překročení infiltrační kapacity.



Obrázek 31- Podíl přímého odtoku jednotlivých kategorií

Na posledních třech grafech vidíme přehledně vykreslené zastoupení jednotlivých typů využití území. Také je vidět, že čím větší přijde srážka, tím méně závisí na druhu využití území. Respektive při velké srážce už je počáteční infiltrace zanedbatelná a má jen velmi malý podíl na celkovém odtoku.

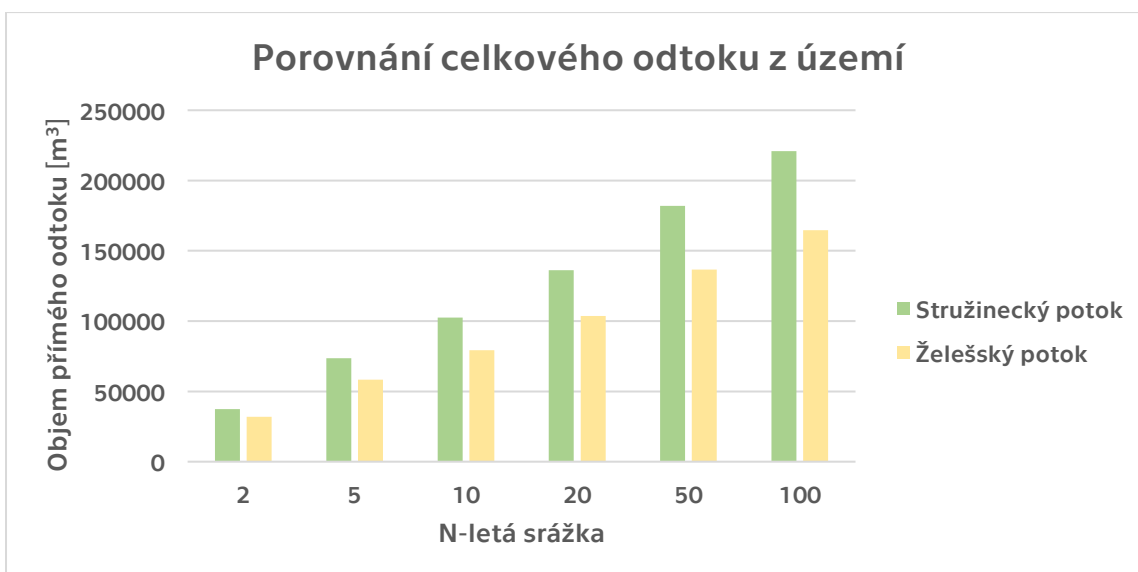
Můžeme vyčíst, že nejvíce vody odteče z antropogenních a zpevněných ploch. Ty sice nejsou na území tolik zastoupeny, ale voda se na nich prakticky nezasakuje. Odtéká tedy rovnou do potoka. Dalšími hodně zastoupenými územími jsou orné půdy a lesní porost. Konkrétně lesní porost je na Želešském potoce zastoupen ve velké míře. Voda se v něm ale docela dost, zvláště při nižších srážkách, zasakuje, proto nemá prvenství a největší pole v grafu. Orná půda je druhé nejvíce zastoupené území na povodí, což se i celkem shoduje s výsledkem odtoku.



Obrázek 32- Objem přímého odtoku Želešský potok

Z následujícího grafu můžeme vyčíst, jaké skoky budou mezi vsakem n-leté srážky, a také, z jakého typu využití území odečte kolik vody. Jsou vidět velké rozdíly u vsaku třeba orné půdy, lesního porostu nebo ostatních zpevněných ploch. Naopak u zbylých kategorií už tolik nezáleží na intenzitě deště, odtéká pořád zhruba stejné množství.

9.4. POROVNÁNÍ CELKOVÉHO ODTOKU Z OBOU ÚZEMÍ



Obrázek 33- Porovnání celkového odtoku z území Stružineckého a Želešského potoka

V Obrázku 33 můžeme vidět porovnání celkového odtoku z území Stružineckého a Želešského potoka. Obě povodí jsou si co se rozlohy týče velmi podobná. Želešský potok má rozlohu povodí 5,8 kilometru a Stružinecký 7,9 kilometru. I přes to, že jsou rozlohy velmi podobné, můžeme vyčíst, že například o 20 leté srážce je objem odtoku na Stružineckém potoce téměř o ¼ vyšší než na Želešském. To podtrhuje, že velmi záleží na managementu krajiny - co kde roste a jak se tam hospodaří.

Z grafu můžeme vyčíst, že ze Stružineckého potoka bude odtékat více srážek. Můžeme tak usuzovat třeba z toho, že většinu území tvoří orná půda, do které se srážka moc nevsákne. Stružinecký potok má také členitější povodí, ve kterém se vyskytuje více menších přítoků. Hlavním z nich je levostranný přítok Královský potok. Tím že voda do potoka přitéká spoustou menších přítoků, je i pro srážku spadlou na území jednodušší nějaký přítok najít a odtéct pomocí něj do hlavního potoka.

9.5. DOBA DOBĚHU A DOBA KONCENTRACE

Ve výpočtu hraje velmi významnou roli Manningův součinitel drsnosti pro plošný povrchový odtok (n). Ten přebíráme z tabulky ze skript Ochrana zemědělské půdy před erozí. (Janeček, 2007)

Tabulka 8- Manningův součinitel drsnosti pro plošný povrchový odtok (Janeček, 2007)

Popis povrchu	Manningův souč. drsnosti	
Hladný povrch (beton, asfalt, štěrk, holá půda)	0.011	
Úhor bez posklizňových zbytků	0.05	
Obdělávaná půda s posklizňovými zbytky pokrývající:		
<20% povrchu >20% povrchu	0.06	0.17
Travní porost: nízký, středně vysoký, hustý	0.15	0.24
Les s bylinným porostem – povrchový odtok do 3 cm:		
porost řídký, porost hustý	0.4	0.8

Stružinecký potok

Tok rozdělujeme na 3 úseky. Jako první úsek bereme část toku od pramene po konec obce Stružinec. Typický tvar koryta můžeme vidět na Obrázek 15- Stružinecký potok.

Jako druhý úsek bereme část toku od obce Stružinec po obec Pohoří. Typický tvar koryta můžeme vidět na obrázku 17. V tomto úseku již potok opustil obec a dostává se do pestrého složení využití území. Hlavní je ale lesní porost, jehož hranici věrně kopíruje.

Jako poslední volíme úsek od obce Pohoří po soutok potoka s Oleškou. Typický tvar koryta vidíme na Obrázek 19- Stružinecký potok. V tomto úseku už potok zcela opustil lesní území a skrz pestré složení využití území se vlévá do Olešky.

Tabulka 9- Doba dotoku na povodí Stružineckého potoka

Plošný povrchový odtok

n	0.05
l (m)	100.00
Hs ₂ (mm)	37.90
s (m*m ⁻¹)	0.029
Tta (h)	0.22

Soustředěný odtok o malé hloubce

v (m/s)	2.92
l (m)	200
Ttb (h)	0.16

Otevřená koryta

n	0.011	0.240	0.400
R (m)	0.19	0.16	0.16
F (m ²)	0.30	0.30	0.30
O (m)	1.60	1.90	1.90
s (m/m)	0.029	0.026	0.027
v (m/s)	5.07	0.20	0.12
l (m)	1600.00	1285.00	2515.00
Ttc (h)	0.09	1.82	5.82

celkový Tc (h)	7.73
----------------	-------------

Želešský potok

Tok rozdělujeme na 3 úseky. Jako první bereme úsek vyobrazený na Obrázek 14- Želešský potok. Místo se nachází asi 600 metrů od pramene a je to část povodí Želešského potoka, ještě před tím, než se dostane do lesa. Úsek je tedy od pramene, po obci Želechy.

Jako druhý úsek bereme od obce Želechy po kamenolom. Typický tvar koryta můžeme vidět na obrázku 10. Tento úsek povodí už je plně v lesním porostu.

Třetí úsek volíme od kamenolomu po soutok s Oleškou. Místo s typickým tvarem koryta můžeme vidět na Obrázek 7- Želešský potok, což je úplně na konci potoka, těsně před vlitím do Olešky. V tomto úseku se typy využití území hodně střídají, a i koryto už má jiný tvar.

Tabulka 10- Doba dotoku na povodí Želešského potoka

Plošný povrchový odtok

n	0.05
l (m)	100.00
Hs ₂ (mm)	37.90
s (m*m ⁻¹)	0.028
Tta (h)	0.22

Soustředěný odtok o malé hloubce

v (m/s)	2.94
l (m)	200.00
Ttb (h)	0.16

Otevřená koryta

n	0.15	0.40	0.15
R (m)	0.06	0.08	0.14
F (m ²)	0.03	0.10	0.20
O (m)	0.50	1.20	1.40
s (m/m)	0.028	0.030	0.026
v (m/s)	0.17	0.08	0.29
l (m)	2050.00	1135.00	1475.00
Ttc (h)	3.33	3.82	1.39

celkový Tc (h)	8.93
----------------	-------------

Vyhodnocení doby doběhu

Doba doběhu nám vychází u obou povodí velmi podobně. Počítali jsme ji velmi zjednodušenou formou, ale i tak nám vyobrazí alespoň přibližné výsledky. U obou povodí vyšla doba dotoku kolem 8 hodin, což znamená, že když má potok délku necelých 5 km, voda urazí 1 kilometr za zhruba 1,6 hodiny. Tento výsledek se dá považovat pro tento zjednodušený typ výpočtu za reálný, protože sklonitost terénu je v dané oblasti velmi malá, síla proudu je také malá, a ještě k tomu se proud musí prodírat lesním porostem a koryto je ve spoustě míst zanesené nebo ucpané.

10.NÁVRH OPATŘENÍ

Opatření můžeme v našem případě navrhovat dvěma různými způsoby.

Jednak by to mohla být opatření spojená s dobou doběhu. To by se jednalo o nejrůznější úpravy koryta, jako například jeho rozšíření, rozvolnění toku nebo třeba změnu drsnosti koryta. Většinou formou různých druhů revitalizací, respektive technických – nebo přírodě blízkou formou provedených technických opatření.

Druhý způsob jsou plošné změny využití území. Tato možnost simuluje změnu hospodaření a podporuje infiltrace i druhové rozmanitosti. Je přírodě blízká a nejedná se přímo o druh protipovodňové ochrany. Jde například o nepřímé ovlivnění srážko-odtokových poměrů podporou infiltrace, zadržením většího množství vody. Druhotný je také protierozní efekt, který snížením množství odtoku (případně koncentrované vody) zamezí odnosu jemných částic z pozemků dále do vodních toků.

Pro naše území vybíráme druhou možnost. Došlo k aplikaci teoretického scénáře přeměny orné půdy na travní porost. Necháme ji proběhnout ve 3 různých případech. V prvním přeměníme pouze 10% orné půdy na travní porost.

Tuto variantu považujeme za reálně možnou uskutečnit i s ohledem na vlastnické vztahy, na možnosti využití dotačních titulů. Velká část zemědělské půdy se nachází na nevhodně vysokých sklonech (nevhodné z pohledu ochrany půdního fondu). Lze tedy cíleně vytipovat lokality, na kterých není vhodné hospodařit. V druhém případě již přeměníme 20% orné půdy na travní porost. Tento případ už je trochu přísnější, obtížněji realizovatelný, ale stále v krajní možnosti proveditelný. Za extrémní považujeme třetí možnost a to přeměnu 30% orné půdy na travní porost. Tento případ už je hodně velkým zásahem do přeměny landuse, ale v tabulkách ho ukazujeme také jako jednu z možností. Lépe to dokreslí celou situaci.

10.1. STRUŽINECKÝ POTOK

Tabulka 11- Současný stav

LU	Oph_2 [m ³]	Oph_10 [m ³]	Oph_50 [m ³]
OP	20 646.94	58 576.27	101 073.35
TP	615.28	5 255.59	13 780.17

Tabulka 12- 1.změna 10% OP na TP

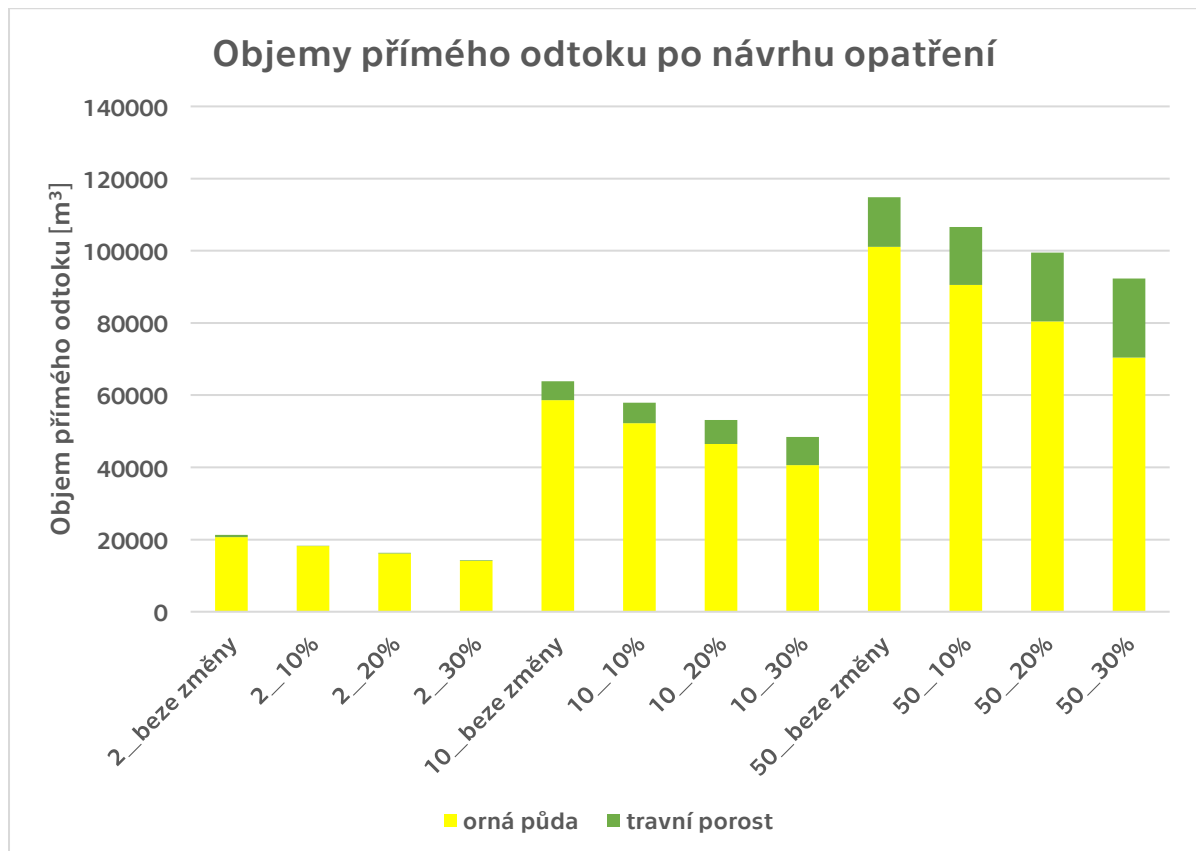
LU	Plocha [km ²]	Změna [km ²]	CN	A	Ho2 [mm]	Oph2 [m ³]	Ho10 [mm]	Oph10 [m ³]	Ho50 [mm]	Oph50 [m ³]
OP	3.30	2.97	78.4	69.8	6.1	18 150.3	17.6	52 250.0	30.5	90 526.3
TP	1.47	1.80	59.9	170.4	0.1	150.9	3.2	5 677.7	8.9	16 059.9

Tabulka 13- 2.změna 20% OP na TP

LU	Plocha [km ²]	Změna [km ²]	CN	A	Ho2 [mm]	Oph2 [m ³]	Ho10 [mm]	Oph10 [m ³]	Ho_50 [mm]	Oph50 [m ³]
OP	3.30	2.64	78.4	69.8	6.1	16 133.6	17.6	46 444.5	30.5	80 467.9
TP	1.47	2.13	59.9	170.4	0.1	178.6	3.2	6 718.8	8.9	19 004.7

Tabulka 14- 3.změna 30% OP na TP

LU	Plocha [km ²]	Změna [km ²]	CN	A	Ho2 [mm]	Oph2 [m ³]	Ho10 [mm]	Oph10 [m ³]	Ho50 [mm]	Oph50 [m ³]
OP	3.30	2.31	78.4	69.8	6.1	14 116.9	17.6	40 638.9	30.5	70 409.4
TP	1.47	2.46	59.9	170.4	0.1	206.3	3.2	7 759.8	8.9	21 949.4



Obrázek 34- Objemy přímého odtoku po návrhu opatření na Stružineckém potoce

Z výsledků můžeme vyzorovat, jak jednotlivé změny ovlivní odtok z území. Je krásně vidět porovnání jednotlivých odtoků jednak v závislosti na velikosti srážky, ale dále také na velikosti přeměny orné půdy na travní porost. U všech velikostí srážek můžeme pozorovat, jak se velikost odtoku s přibývajícím územím travního porostu snižuje. Z toho můžeme jednoduše usoudit, že takováto změna má smysl, protože odtok z území se sníží a více srážky se na něm zadrží.

10.2. ŽELEŠKÝ POTOK

Tabulka 15- Současný stav

LU	Oph_2 [m ³]	Oph_10 [m ³]	Oph_50 [m ³]
OP	9 222.59	27 414.54	48 271.11
TP	1 002.08	1 504.69	2 943.54

Tabulka 16- 1.změna 10% OP na TP

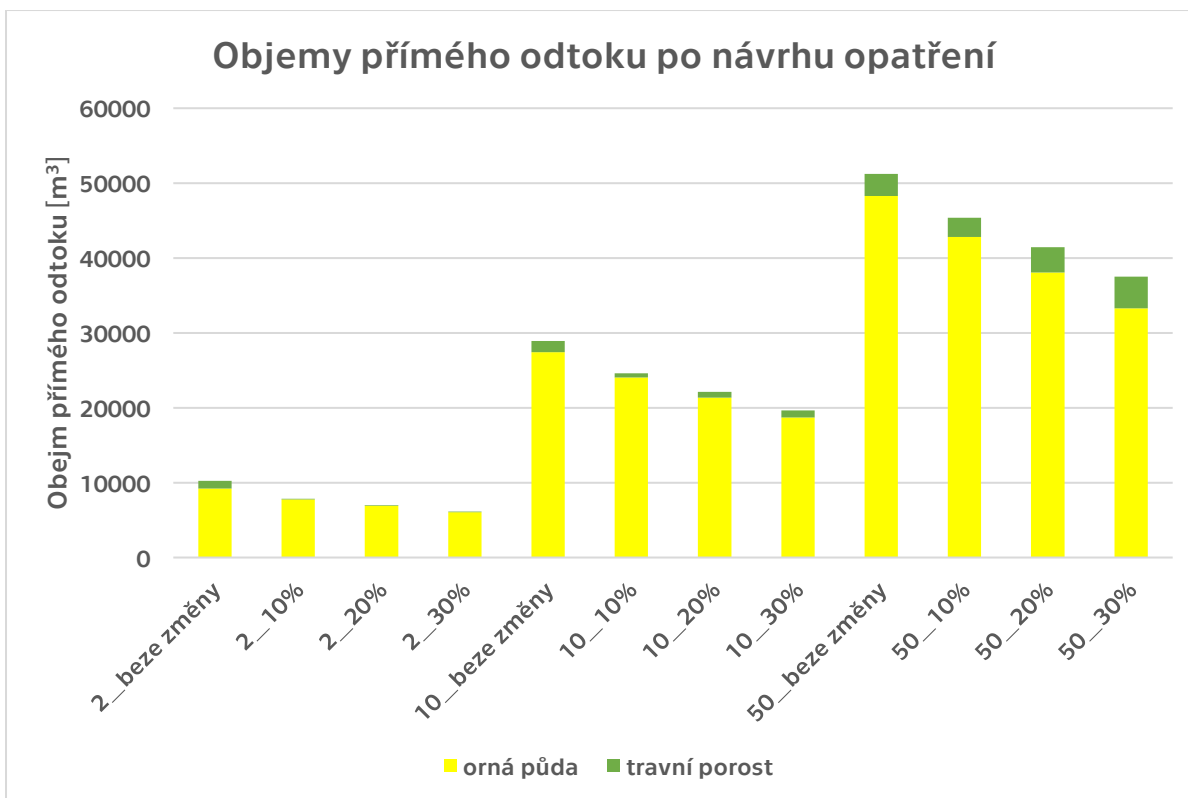
LU	Plocha [km ²]	Změna [km ²]	CN	A	Ho2 [mm]	Oph2 [m ³]	Ho10 [mm]	Oph10 [m ³]	Ho50 [mm]	Oph50 [m ³]
OP	1.70	1.54	76.7	77.3	5.0	7 760.8	15.6	24 034.2	27.8	42 804.2
TP	0.36	0.53	54.1	215.4	0.1	67.7	1.1	576.6	4.8	2 565.5

Tabulka 17- 2. změna 20% OP na TP

LU	Plocha [km ²]	Změna [km ²]	CN	A	Ho2 [mm]	Oph2 [m ³]	Ho10 [mm]	Oph10 [m ³]	Ho50 [mm]	Oph50 [m ³]
OP	1.70	1.37	76.7	77.3	5.0	6 898.5	15.6	21 363.7	27.8	38 048.2
TP	0.36	0.70	54.1	215.4	0.1	89.4	1.1	761.9	4.8	3 390.2

Tabulka 18- 3. změna 30 % OP na TP

LU	Plocha [km ²]	Změna [km ²]	CN	A	Ho2 [mm]	Oph2 [m ³]	Ho10 [mm]	Oph10 [m ³]	Ho50 [mm]	Oph50 [m ³]
OP	1.70	1.20	76.7	77.3	5.0	6 036.2	15.6	18 693.3	27.8	33 292.2
TP	0.36	0.87	54.1	215.4	0.1	111.1	1.1	947.2	4.8	4 214.8



Obrázek 35- Objemy přímého odtoku po návrhu opatření na Želešském potoce

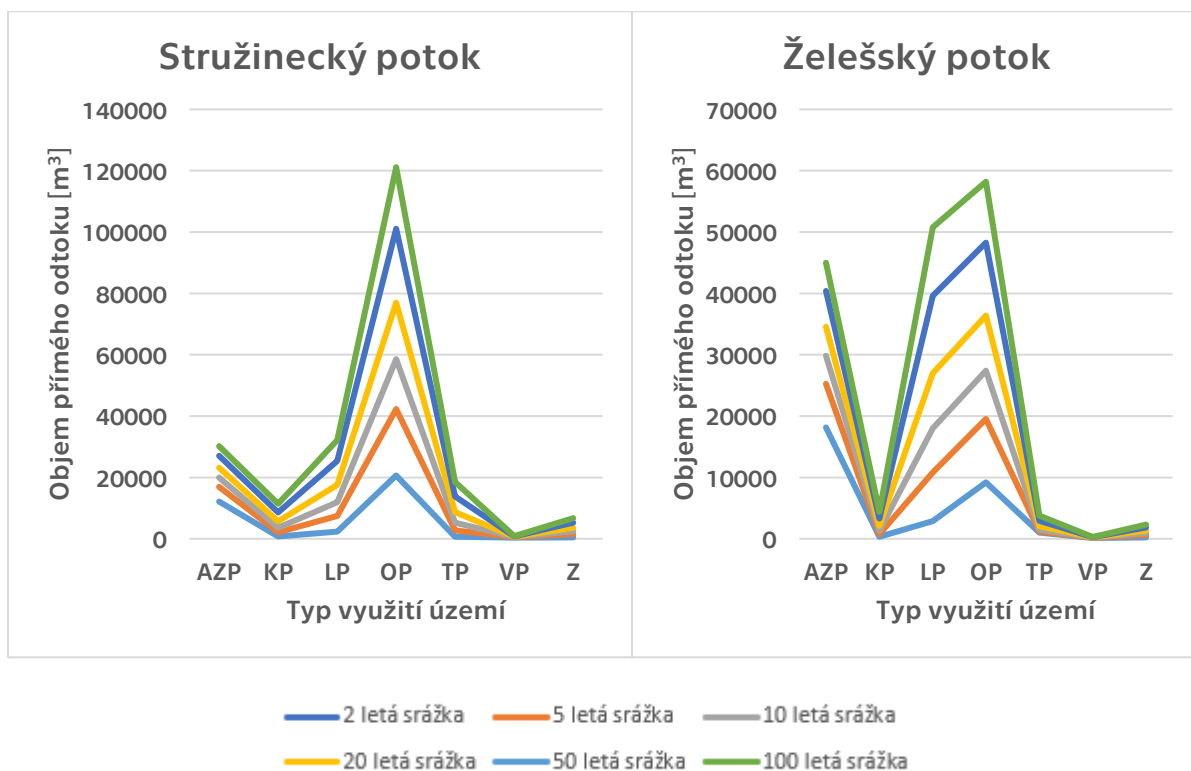
Z grafu můžeme vypočítat, jak se objem přímého odtoku snižuje v závislosti na změně přeměny orné půdy na travní porost.

U Želešského potoka se pohybujeme u objemu přímého odtoku v nižších číslech než u Stružineckého, což je ale dáno tím, že většina plochy území tvoří lesnatý porost. Z výsledků opět můžeme porovnávat, jak nám změna ovlivní odtok. Rozdíly už nejsou tak markantní jako u Želešského potoka, ale to je opět dáno tím, že orná půda ani travní porost nejsou nejdůležitějšími typy půdy zastoupení v povodí.

11. ZÁVĚR

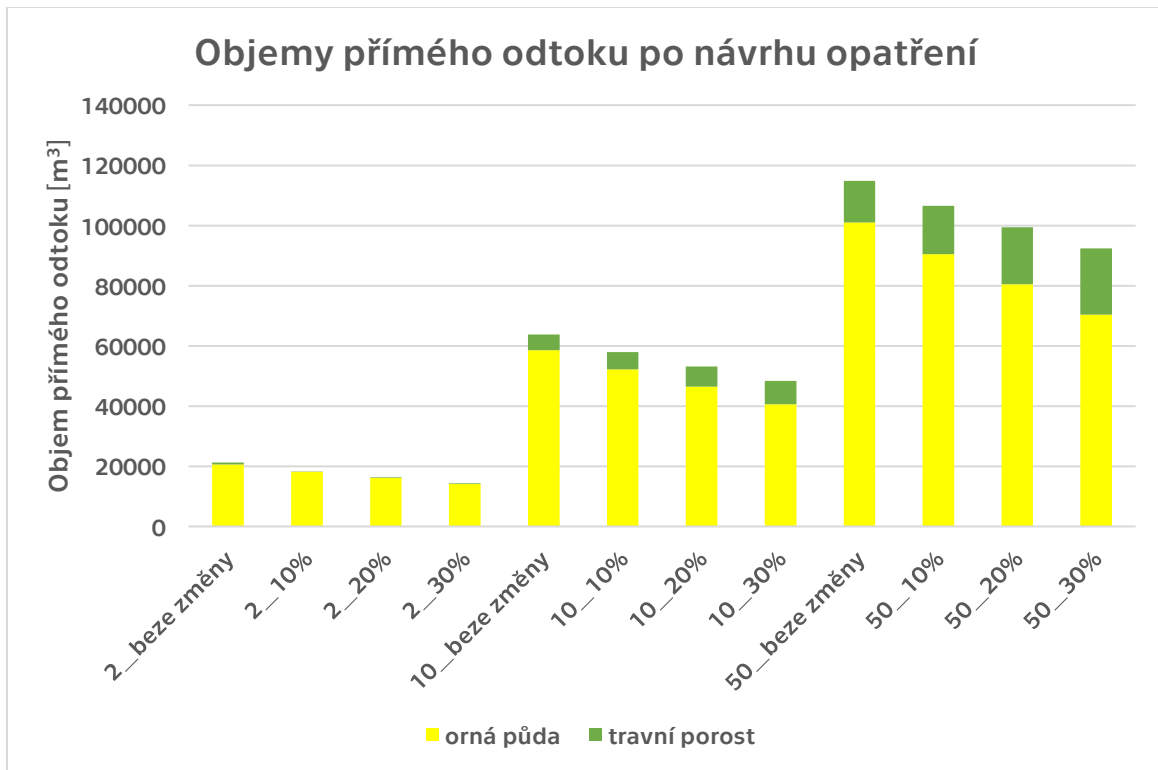
V práci byla provedena srážko-odtoková analýza na Stružineckém a Želešském potoce. V úvodu práce jsou shrnuta všechna dostupná data. Poté probíhal samotný výpočet v programu ArcGIS pomocí metody CN křivek. Řešená území si byla v mnoha parametrech podobná, a to třeba velikostí povodí, délkou toku nebo velikostí n-leté srážky. Lišila se ale ve využití území. U Želešského potoka byl hlavně zastoupen lesní porost. Naopak u Stružineckého potoka bylo zastoupení daleko pestřejší. Nejvíce zastoupená je orná půda.

Následoval terénní průzkum, který byl skvělou příležitostí podívat se na konkrétní místa a porovnat výsledky vypočtené programem ArcGIS s realitou. Výsledky ve většině případů naprosto seděly, což je zdokumentováno fotografiemi. Na mnoha místech jsme mohli vidět rýhy nebo menší koryta vytvarovaná během větší srážky pro odtok z území, nebo jen sesuny půdy, trav a kamenů směrem k toku.



Obrázek 36- Objem průměrného odtoku Stružinecký a Želešský potok

Z výsledků vyplývá, že velice záleží na vydatnosti srážky, ale také na typu využití území. Můžeme vidět, že konkrétně například z orné půdy odteče o hodně více vody než třeba z travního porostu. Je tedy nezbytné se v této problematice zabývat i typy využití území a podporovat typy využití půdy, které napomáhají infiltraci vody a zadržení vody v krajině.



Obrázek 37- Objem přímého odtoku na Stružineckém potoce

V grafu můžeme pozorovat, že když přijde 50letá srážka, z území beze změny odteče zhruba 1 150 000 m³ vody. Pokud ale aplikujeme změnu 30% orné půdy na travní porost, sníží se odtok zhruba o 200 000 m³. Ten samý odtok má dvouletá srážka beze změny území. Tím, že aplikujeme tuto jednoduchou změnu, odteče z území o 1/5 méně vody, ale hlavně, voda, která neodteče, se infiltruje a zůstane na území. Z toho vyplývá, že touto změnou dokážeme na území zadržet po každé 50leté srážce vodu o objemu 2 leté srážky.

Pro interpretaci výsledků je třeba zdůraznit, že metoda CN křivek pracuje pouze s objemem srážky, ale nikoli s časovým průběhem a tvarem návrhové srážky.

Tato metoda se dá dobře aplikovat pro velká území, třeba i desítky podobných povodí. Pro případné návrhy je nutné podrobné řešení podpořené modely a lokálními studii s podrobnými daty.

12. POUŽITÁ LITERATURA A PODKLADY

CHVOJKOVÁ, Libuše. 112. *Odborný časopis požární ochrany, integrovaného záchranného systému a ochrany obyvatelstva*. 2014, **2014(4)**, 72.

ARCDATA PRAHA [online]. Praha: ARCDATA, 2010 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/arccgis>

De Luce [online]. Praha: De Luce kontra torrente, 2016 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://voda235.webnode.cz/puda/>

EAGRI: Portál farmáře [online]. Praha: MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2009 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/farmar/LPIS/>

GAVRINĚV, Vojtěch a PROFIMEDIA.CZ. *Seznam zprávy* [online]. 4.5.2020 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/v-rekach-neni-ani-tretina-vody-obce-uz-omezuji-odber-103951>

Geologická mapa 1:50 000: Česká geologická služba: Mapová aplikace, verze 1B.2 [online]. Praha: Pavel Bokr, 2016 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50&y=669200&x=998700&r=3500&s=1&legselect=0

Geoportál ČÚZK: DMR 4G [online]. Praha: ČÚZK, 2010 [cit. 2020-05-14].

Dostupné z:

[https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(ao5zz3jkaw1ftjgzzbas001i\)\)/default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24](https://geoportal.cuzk.cz/(S(ao5zz3jkaw1ftjgzzbas001i))/default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24)

Geoportál ČÚZK: ZABAGED- polohopis- úvod [online]. Praha: ČÚZK, 2010 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z:

[https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(ao5zz3jkaw1ftjgzzbas001i\)\)/default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24](https://geoportal.cuzk.cz/(S(ao5zz3jkaw1ftjgzzbas001i))/default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24)

INTERSUCHO [online]. Praha: Ústav výzkumu globální změny AV ČR, 2012 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.intersucho.cz/cz/o-nas/o-projektu/>

JANEČEK, Miloslav. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. 1. Praha: ISV nakladatelství, 2005. ISBN 80-86642-38-0.

JANEČEK, Miloslav. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: Metodika*. 1. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2007. ISBN 978-80-254-0973-2.

KOVÁŘ, P., D. HEŘMANOVSKÁ a M. SŮVA. ČZU v Praze, Fakulta životního prostředí. *Software DES_RAIN_VARIABLE* [online]. Praha: ČZU v Praze, 2015 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.fzp.czu.cz/cs/r-6899-projekty-a-spoluprace-s-praxi/r-6924-aplikovane-vysledky/r-7329-software/des-rain-variable.html>

RIEDER, Martin. *ČHMÚ: Stav a vývoj sucha v Česku, Hodnotící zpráva k jednání Národní koalice pro boj se suchem* [online]. Praha, 2020 [cit. 2020-05-18].

Dostupné z:

http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove_zpravy/2020/Stav_a_vyvoj__sucha-kveten__2020.pdf

ŠAMAJ, Ferdinand, Šimon VALOVIČ a Rudolf BRÁZDIL. *Denné úhrny zrážok s mimoriadnou výdatnosťou v ČSSR v období 1901–1980*. 24. Bratislava: Zborník prác SHMÚ Bratislava, 1985.

VAJSKEBROVÁ, Markéta a Pavla TOMANOVÁ PETROVÁ. Česká geologická služba. *Geologické lokality* [online]. Praha, 2016 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <http://lokality.geology.cz/d.pl?item=7&id=262&Okres=SM&vyb=1&text=Lokality%20v%20okresu>:

VAŠOVÁ, D. a P. KOVÁŘ. FZP.CZU. *Autorizovaný software* [online]. Praha, 2014 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <http://r.fzp.czu.cz/vyzkum/software.html>

**VÚMOP, v.v.i., Ministerstvo zemědělství a Ministerstvo životního prostředí:
Protierozní kalkulačka [online]. Praha: VÚMOP, 2016 [cit. 2020-05-14].**

Dostupné z: <https://kalkulacka.vumop.cz/?core=account>

VÚMOP v.v.i., Půdní služba: eKatalog BPEJ [online]. Praha: VÚMOP, 2019 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://bpej.vumop.cz/>

VÚMOP v.v.i., Půdní služba: Komplexní průzkum půd [online]. Praha: VÚMOP, 2017 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://kpp.vumop.cz/?core=account>

VÚMOP, v.v.i.: Základní charakteristiky BPEJ [online]. Praha: VÚMOP, 2020 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://statistiky.vumop.cz/?core=popis>

**VÚV TGM: DIBAVOD [online]. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský
T.G.Masaryka, veřejná výzkumná instituce - Odbor ochrany vod a informatiky,
2017 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz/>**