

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA**

**Fakulta životního prostředí**

**Katedra biotechnických úprav krajiny**



Studie vybraných vodohospodářských a půdně  
ochranných opatření na zemědělském půdním fondu  
(retence a akumulace vody v krajině)

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: doc. Ing. Jakub Štibinger, CSc.

Diplomant: Bc. František Čapek

2018

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. František Čapek

Voda v krajině

Název práce

**Studie vybraných vodohospodářských a půdně ochranných opatření na zemědělském půdním fondu (retence a akumulace vody v krajině)**

Název anglicky

**A study of water management and soil protecting measures on agricultural areas (retention and accumulation of water in landscape)**

---

### Cíle práce

Cílem práce je popis a vyhodnocení účinných opatření vhodných k ochraně půdy a úpravě vodních režimů na zemědělských půdách. Problematika je v první části práce popsána formou rešerše. Praktická část se věnuje posouzení vybraného povodí a návrhem možných biotechnických a organizačních opatření.

### Metodika

Rešeršní část práce shrnuje obecný vztah k vodě na zemědělském půdním fondu z hlediska ČR a její historie. Dále popisuje vhodná opatření a přístup za účelem retence a akumulace vody v krajině a ochrany vodních zdrojů.

Praktická část se věnuje metodice zpracování dat ČÚZK, georeferenci mapových podkladů a vymezení sub-povodí v prostředí ArcGIS. Je popsán výpočet přímého odtoku metodou CN křivek a způsob určení potřebných výpočtových charakteristik. Dále je popsána interpolace návrhových srážkových dat.

Ve výsledné části práce je posouzeno řešené území z hlediska některých srážko-odtokových poměrů, stavu říční sítě a erozní ohroženosti a jsou navržena možná opatření zlepšující stávající poměry.

### Doporučený rozsah práce

40 stran textu + výpočty a mapové výstupy

### Klíčová slova

CN křivky, zemědělská půdy, půdní celky, eroze, retence, akumulace, hospodaření s vodou v zemědělství, protierozní ochrana, přímý odtok, drenážní systémy

---

### Doporučené zdroje informací

- JANEČEK, M. a kol. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Metodika. Praha: Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, 2012.
- KOVÁŘ, P. – KŘOVÁK, F. *Possibilities to increase ecological stability, retention and accumulation of water in landscape = Možnosti zvyšování ekologické stability, retence a akumulace vody v krajině*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Lesnická fakulta, Katedra biotechnických úprav krajiny, 2002. ISBN 80-213-1006-5.
- KULHAVÝ, Z. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Technická opatření pro zlepšení vodního režimu krajiny : předložený soubor vybraných vědeckých a odborných publikací [rukopis]*. Disertační práce. Praha: 2010.
- KULHAVÝ, Z. – ŠTIBINGER, J. *Úpravy vodního režimu půd odvodněním : monografie : uživatelský výstup projektu 2B06022*. V Praze: VÚMOP, 2010. ISBN 978-80-213-2132-8.
- Kulhavý, Z., 2016: Potenciál staveb zemědělského odvodnění s ohledem na požadavky zvyšování retence a akumulace vody v povodí. Vodohospodářské stavby – Stavební kniha, ČKAIT, Praha, str. 80-83.
- KVÍTEK, T. *Udržení, zlepšení a zakládání druhově bohatých luk*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 1997. ISBN 80-239-0145-1.
- 

### Předběžný termín obhajoby

2018/19 ZS – FŽP

### Vedoucí práce

doc. Ing. Jakub Štibinger, CSc.

### Garantující pracoviště

Katedra biotechnických úprav krajiny

### Konzultant

prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.

Elektronicky schváleno dne 4. 12. 2018

**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 4. 12. 2018

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 05. 12. 2018

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Jakuba Štibingera, CSc. a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

V Praze, dne 9. 12. 2018

Bc. František Čapek

### **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce doc. Ing. Jakubovi Štibingerovi, CSc. za cenné rady a vedení při zpracování diplomové práce. Dále prof. Ing. Tomášovi Kvítkovi, CSc. za odborné konzultace. Mé poděkování patří také mé rodině a blízkým přátelům za pomoc a podporu během studia.

## **Abstrakt:**

Diplomová práce se zabývá problematikou retence a akumulace vody v krajině. Popisuje specifika této problematiky v české krajině, a to zejména na zemědělském půdním fondu. Práce pokládá do souvislosti historický vývoj s dnešním přístupem ke konvenčnímu zemědělskému hospodaření a stavu krajiny. Blíže se pak práce věnuje problematice nadměrné vodní eroze a stavbám odvodnění. V této souvislosti jsou vysvětleny principy a základní funkce vybraných opatření zlepšující infiltrační procesy v krajině. Praktická část nejprve charakterizuje vybrané území, dále vysvětluje metodický postup za účelem zpracování dat ČÚZK, georeferenci mapových podkladů a vymezení sub-povodí v prostředí ArcGIS. Poté je popsán postup výpočtu přímého odtoku metodou CN křivek a interpolace srážkových dat. Výsledkem je posouzení a z něj vycházející studie návrhu možných opatření na vybraném sub-povodí za účelem zlepšení retence a akumulace vody v krajině.

**Klíčová slova:** hospodaření s vodou v zemědělství, protierozní ochrana, drenážní systémy, retence, akumulace

## **Abstract:**

This diploma thesis deals with problematics of retention and accumulation of water in landscape. In first part thesis describes specific problems of czech landscape, especially on its agricultural land fund. It puts history and development of conventional agricultural farming into context of its influence on landscape. More specifically thesis talks about excessive water erosion and drainage systems and then describes some of chosen measures which improves infiltration processes of water in landscape. Practical part of this thesis firstly explains characteristics of selected basin, and methodically describes work with data from ČÚZK, georeferencing and rendering of sub-basin in ArcGIS. Thesis also describes calculation of direct outflow by the CN curves method. The outcome of thesis is assessment and study of possible measures improving retention and accumulation of water on selected sub-basin.

**Keywords:** water management in agriculture, anti-erosion protection, drainage systems, retention, accumulation

# Obsah

1.	Úvod.....	11
2.	Cíle práce .....	12
3.	Literární rešerše .....	13
3.1	Historie melioračních staveb a zemědělské výroby.....	13
3.2	Současná problematika.....	15
3.3	Popis drenážních systémů: .....	19
3.3.1	Hlavní odvodňovací zařízení (HOZ) .....	19
3.3.2	Podrobné odvodňovací zařízení (POZ).....	20
3.3.3	Drenážní šachty.....	20
3.3.4	Drenážní výusti .....	20
3.4	Vybraná opatření podporující retenci a akumulaci vody v krajině.....	20
3.4.1	Opatření za účelem regulace odtoku na drenážních systémech....	21
3.4.1.1	Revitalizace koryt HOZ.....	21
3.4.1.2	Odkrytí zatrubněného HOZ.....	22
3.4.1.3	Kontrolované stárnutí drenáže.....	23
3.4.1.4	Eliminace drénu.....	24
3.4.1.5	Regulace na úrovni HOZ.....	24
3.4.1.6	Regulace na úrovni POZ .....	25
3.4.1.7	Tůň dotovaná drenážní vodou .....	26
3.4.1.8	Umělý mokřad .....	27
3.4.2	Protierozní opatření.....	28
3.4.2.1	Průlehy.....	28
3.4.2.2	Příkopy .....	29
3.4.2.3	Hrázky .....	30
3.4.2.4	Meze .....	30
3.4.2.5	Přehrážky v údolnicích.....	31

3.4.2.6	Ochranné zatravnění .....	31
3.4.2.7	Suché a polosuché nádrže.....	31
3.4.2.8	Protierozní sedimentační nádrže .....	32
3.4.2.9	Liniová zeleň a vegetační doprovod.....	32
3.4.2.10	Organizační opatření .....	33
4.	Charakteristika vybraného území .....	34
4.1	Základní údaje.....	34
4.2	Geologické a geomorfologické poměry povodí.....	36
4.3	Pedologické poměry povodí.....	36
4.4	Klimatické poměry povodí.....	37
4.5	Hydrologické podmínky v povodí .....	37
5.	Metodika .....	40
5.1	Zpracování dat katastru nemovitostí .....	40
5.2	Georeference mapových podkladů.....	41
5.3	Vymezení sub-povodí .....	41
5.3.1	Digitální model reliéfu.....	42
5.3.2	Bezodtokové oblasti.....	42
5.3.3	Směry odtoku.....	42
5.3.4	Upřesnění říční sítě .....	42
5.3.5	Vykreslení rozvodnice .....	43
5.4	Výpočet přímého odtoku metodou odtokových křivek CN.....	44
5.4.1	Čísla odtokových křivek CN.....	45
5.5	Určení potřebných výpočtových charakteristik .....	46
5.5.1	Druhy pozemků.....	47
5.5.2	Určení bonitované půdně ekologické jednotky .....	47
5.5.3	Hydrologické skupiny půd.....	47
5.5.4	Určení čísel odtokových křivek CN.....	47



5.5.5	Návrhový déšť .....	47
5.6	Sklonitost .....	48
5.7	Doplňující výpočty a vzorce .....	49
6.	Současný stav řešené problematiky .....	50
6.1	Analýza erozní ohroženosti.....	50
6.2	Výskyt staveb odvodnění .....	51
6.3	Stručný popis blíže řešené lokality .....	52
6.4	Posouzení vybraného sub-povodí .....	53
6.4.1	Druhy a využití pozemků.....	54
6.4.2	Hydro-pedologické poměry .....	55
6.4.3	Drenážní stavby .....	56
6.4.4	Reliéf a sklonové poměry .....	57
6.4.5	Erozní ohroženost .....	58
6.4.6	Přímý odtok.....	59
7.	Výsledky .....	61
7.1	Studie možných opatření pro vybrané sub-povodí.....	61
7.1.1	Sběrný průleh.....	61
7.1.2	Zatravněné údolnice.....	62
7.1.3	Zřízení umělého mokřadu.....	63
7.1.4	Odstranění a eliminace drénů a zřízení nových výustí .....	63
7.1.5	Odkrytí svodných drénů.....	64
7.1.6	Doplnění vegetace.....	64
7.1.7	Organizační a agrotechnická opatření.....	64
7.1.8	Zábor zemědělské půdy .....	65
7.1.9	Majetkové poměry a územní limity .....	65
8.	Diskuze .....	67
9.	Závěr .....	69

10.	Zdroje.....	70
11.	Přílohy.....	75

# 1. Úvod

Zemědělský půdní fond, respektive celková plocha zemědělské půdy v České republice má rozlohu přibližně 4 300 000 ha. Převážná část těchto pozemků si žádá dbát na interakci vodních procesů na její ploše. K těmto účelům slouží stavby pro úpravu vodního režimu. Jedná se o stavby odvodnění, závlah, protierozní ochrany, stavby pro ochranu podzemních zdrojů a stavby protipovodňové ochrany.

Jeden ze základních vodohospodářských principů při návrhu pohybu vody v krajině by měl být neškodný a nezávadný odtok z povodí i v případě extrémní srážkové události. K docílení tohoto „ideálního“ stavu je zcela zásadní přistupovat k melioračním stavbám (tzn. stavbám vylepšujících vodní režim daného území) jako k souhrnu komplexních opatření, které ve své kombinaci zaručují pozitivní vliv na srážkoodtokové procesy v krajině. Je potřeba eliminovat velikost kulminačních průtoků, míru erozního smyvu, zanášení vodních toků a nádrží (rychlý odtok vody z povodí) a zvyšovat infiltraci, retenci a akumulaci. V neposlední řadě je také důležité eliminovat šíření znečištění jež je spojeno s výše uvedenými negativními procesy. Je tedy potřebné vodu zachycovat a zpomalovat nejlépe v horních partiích povodí. Dále je důležité regulovat (v ČR hojné) drenážní odtoky a věnovat se rekonstrukcím těchto odvodňovacích systémů.

## 2. Cíle práce

Cílem práce je popsat a zhodnotit stav na zemědělském půdním fondu z hlediska retence a akumulace vody, a to jak z pohledu historického vývoje, tak současného stavu. Práce by měla představovat vybraná opatření za účelem zlepšení infiltračních procesů v krajině, zejména z hlediska regulačních zásahů na drenážních systémech a protierozních opatření. Dalším cílem je metodicky představit způsob práce s daty v geografickém informačním systému ArcGIS za účelem vyhodnocení vybraného území spolu s výpočtem přímého odtoku metodou CN křivek. Výchozím cílem je konkrétní posouzení a studie návrhu opatření zlepšující srážkoodtokové procesy ve vybraném sub-povodí. Tato studie má za úkol ukázat možná opatření řešící výše zmíněnou problematiku retence a akumulace vody v krajině.

## 3. Literární rešerše

### 3.1 Historie melioračních staveb a zemědělské výroby

Ve dvacátých letech se zemědělství ubralo spíše směrem hospodaření, které upřednostňuje produkci obilí nad pastvou (tzv. „holandský“ typ hospodaření). Dodnes je rozdíl mezi ornou půdou a travními porosty přibližně 10 %. Z doposud malých jednotlivě obhospodařovaných polí, kde se střídaly louky a orná půda doplněna typickými prvky jako remízky, meze a aleje, se pomalu začaly stávat velké celky.

Historicky se na naše území tato opatření dostala z již zavedené praxe v Anglii skrze německé sousedy, a to již v první polovině 19. století. Zejména se jednalo o prvky odvodnění, které umožňovaly využívání zamokřených pozemků (dosud málo nebo zcela neúrodných). V této době nebyl velký problém vodu uměle zadržet, protože v prostředí byly dominantní přírodní prvky retence. Avšak bylo zde povědomí o potřebě ovlivňovat vlhkostní půdní poměry z obou stran za pomoci technických opatření (Kvítek et al., 2016).

Následně od roku 1948, kdy došlo k postupnému zestátnění majetku a vzniku tzv. jednotných zemědělských družstev a státních statků, měl pokračující trend v produkci obilovin za následek ještě větší vytrácení krajinných prvků a defragmentaci krajiny na velké půdní celky (Kulhavý Z. et Pelíšek, 2017).

V letech 1949-53 došlo ke zpracování tzv. „Státního vodohospodářského plánu republiky Československé“ (Ministerstvo zemědělství, ©2018), ten měl mimo jiné za cíl odvodnit takřka 800 tis. ha půdy, zřídit zavlažovací systémy pro více jak půl milionu hektarů zemědělských ploch a upravit přibližně 10 000 km vodních toků. Tyto a další aktivity udávaly směr rozvoje tehdy socialistického zemědělství (Nocarová, 2012).

Velmi intenzivní období z hlediska „melioračních“ opatření nastalo v 60. letech minulého století. Program „Soběstačnost ve výrobě obilovin“ vedl k vybudování staveb odvodnění celkem na 1 065 000 ha zemědělské plochy, tato plocha je rovna čtvrtině rozlohy zemědělské půdy České republiky (Štibinger et Kulhavý, 2010). Nejednalo se pouze o samotné odvodňovací stavby, ale i další vodohospodářské a krajinnotvorné opatření za účelem intenzifikace zemědělské výroby.

Primární funkcí těchto staveb byla úprava vodního a vzdušného režimu půdy (přizpůsobení vláhových poměrů k potřebám rostlin, zhutnění půdního profilu za účelem užívání mechanizace). Takřka plošná aplikace těchto opatření v tuzemském morfoloogicky složitém prostředí vedla k úbytku biodiverzity a destabilizaci agro-ekosystémů. Masivní výstavba odvodňovacích staveb (často nesprávně označovaných pojmem „meliorace“) spojená se zvyšováním zemědělské produkce, měla za následek postupné rozorání 270 000 ha luk a pastvin, 145 000 ha mezí, desetitisíce ha remízků a hájků, odstranění tisíce km polních cest, a tisíce km liniové zeleně (Kvítek et al., 2016).

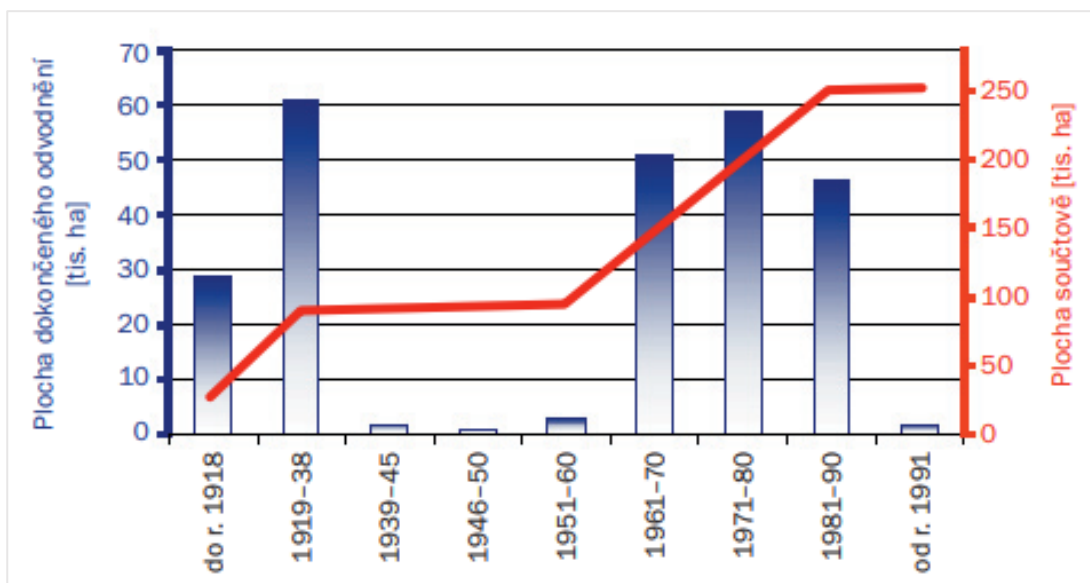
V tomto období se začala hojně používat těžká mechanizace k údržbě pozemků, docházelo tak k utužování povrchové a podpovrchové vrstvy, což má mimo jiné za následek horší infiltrační schopnosti obdělávané půdy. Krajina byla přizpůsobována velkoplošné zemědělské výrobě a voda byla co nejpřímější cestou odváděna z povodí. Toho bylo dosahováno napřimováním drobných i větších vodotečí, zřizováním hlavních odvodňovacích zařízení ve formě zahloubených opevněných kanálů či zatrubněných vodotečí a drenážními systémy (Kvítek, 2015). Například při porovnání s prvorepublikovým rejstříkem vodohospodářských a kulturně-technických činností vymizelo takřka 30 druhů běžně realizovaných staveb (rekultivace, zakládání pastvin, protierozní ochrana, hrazení bystřin apod.).

Vodohospodářská činnost se tak omezila na odvodnění drenážními systémy, stavby závlah a opatření pro zintenzivňování rostlinné produkce (Vašků, 2011). Rychlý odtok z povodí, nulová samočisticí funkce v krajině, zvýraznění dopadů sucha – to jsou následky absence retenčních prvků, napřimovaných vodotečí a neregulovaných drenážních odtoků (Kvítek et al., 2016). Souhra těchto faktorů měla nepochybně za následek zvyšování erozivity orné půdy. Docházelo tedy k úbytku půdního profilu, zhoršily se retenční i kvalitativní schopnosti půdy (Kvítek, 2015).

V 90. letech a na počátku 21. století se začaly hojně využívat pesticidy, ty mají špatný vliv na půdní faunu, jež má přirozeně pozitivní funkci na infiltraci (tvorba preferenčních cest). Na polích se upřednostnily zejména plodiny, jako jsou kukuřice, obilí a řepka. Omezily se pícniny a další plodiny které oproti výše zmíněným mají lepší protierozní účinky.

Co se týče závlah, v roce 1993 bylo zaznamenáno 154 tis. ha zavlažovatelných ploch. Dle statistiky z roku 2010 se tato plocha snížila na cca pětinu (30 tis. ha), z toho skutečně zavlažovaných bylo pouze 20 000 ha. Je třeba podotknout, že tyto

stavby byly již v této době budovány se státní podporou a cílily také na oblasti opakovaně zasahované suchem (Kulhavý F., 2016).



Obr. 1: Plocha dokončeného plošného odvodnění (tis. ha) v oblasti povodí horního a středního Labe po soutok s Vltavou (14,6 tis. km<sup>2</sup>) podle etap výstavby dle ÚIS ZVHS (Kulhavý, Z. et al., 2007).

### 3.2 Současná problematika

V současné době čelíme stále extrémnějším podmínkám, zejména náhlejšími suchům a povodněmi. Absence prvků pozitivně ovlivňujících vodní režim v krajině dostává pozornost zejména v posledních letech, kdy je evidentní nárůst srážkových výkyvů. Z dlouhodobějšího měření je patrné oteplení v průměru o 0,5 °C, a to zejména v zimním období. To má za následek vyšší výpar a větší povrchový odtok s menší infiltrací (Beran et al., 2016). Pro průměrný roční srážkový úhrn vykazují dlouhodobé odhady nárůst, jak poukazuje (Beran et al., 2016) na příkladu Karlovarského kraje. Tento nárůst je navíc rozdělován do méně srážkových událostí (které zpravidla posilují na intenzitě). Menší pravidelnost a větší srážková událost sebou nese větší potenciál k erozním procesům a posiluje projevy sucha i povodní zároveň. Přitom přírodní podmínky v ČR nejsou z hlediska retence vody v krajině příliš příznivé. Více jak polovina území pokrývají krystalinické horniny (Kvítek et al., 2012). Pahorkatiny a vrchoviny se střídajícími se údolími vodních toků s převládajícím půdním typem kambizemě, které se vyznačují malou infiltrační

schopností. Drtivá většina spadlých srážek odtéká z příslušných povodí a dále ven z našeho území (Kvítek, 2015).

Jak tedy vyplývá z výše stručně popsaného geomorfologického hlediska ČR a potenciálu klimatických změn. Voda v jakékoliv formě musí být vnímána jako strategická surovina velkého významu (Martinovský, 2009) a je třeba k výše zmíněné problematice hospodaření s vodou na zemědělské půdě přistoupit ke komplexním řešením vztáhnutých minimálně na měřítko malých povodí.

Pro ovlivnění kvalitativních vlastností vody je vhodné akumulovat vodu v nádržích nebo uměle zřízených mokřadech. Vhodně povrchově zachycená voda nejenže zvyšuje složku výparu, zlepšuje mikroklima a zvyšuje biodiverzitu, ale také se nechá zasakovat do hydrogeologických struktur podzemních vod (Kvítek, 2016). Akumulovaná voda se také může nabízet k dalšímu využití v rámci zavlažování, rekreace, rybářství apod.

Dále je dobré nezapomínat na biotechnická, organizační a agrotechnická opatření sloužící převážně k protierozní ochraně. Mezi ně patří například průlehy, retenční nádrže, orba podél vrstevnic, přerušovací pásy, setí do mulče nebo bezorebné techniky (Novotný et al., 2014). Tato opatření však ze své podstaty vyžadují trvalý zájem ze strany zemědělce – vlastníka / nájemníka.

Této problematice se neodmyslitelně týkají stávající odvodňovací systémy, jež byly navrženy k odvádění přebytku vody z pozemku – čili jednoúčelově. Vzhledem k výskytu již výše zmíněných větších hydrologických extrémů (Beran et al., 2016) je tato funkce často nedostačující až nežádoucí. Velké procento odvodňovaných půd totiž vyžaduje odvádění vody například pouze v jarních měsících, poté by bylo výhodné půdní vodu dále neodvádět a předcházet tak případným výskytům agronomického sucha (Kulhavý Z., 2015). Pozitivní aspekt z hlediska regulace drenážních odtoků je také ochrana kvality těchto vod, kdy při používání dnes běžných zemědělských postupů jsou aplikována minerální hnojiva, často ve velké míře odváděna právě spolu s drenážním odtokem (Povodí Vltavy s. p., ©2017).

Návrh vhodných opatření na zemědělských systémech odvodnění vedoucí k oboustranné manipulaci s vodním režimem může výrazně přispět k vyvážení bilance vody v krajině se současným zlepšením jakosti vod. Díky těmto možnostem se pak stávají tato opatření výhodnou investicí, a to z hlediska vodohospodářského, zemědělského i environmentálního (Kulhavý Z., 2016).



Jak se zmiňuje Kvítek et al. (2016), je zapotřebí zacílit na prosazení celostátního dlouhotrvajícího programu při obnově retenčních a akumulčních procesů v krajině. A mělo by jít zejména o ochranu kvality a kvantity povrchových a podzemních vodních zdrojů, výstavbou a zřizováním podpůrných opatření a údržbu těch stávajících.

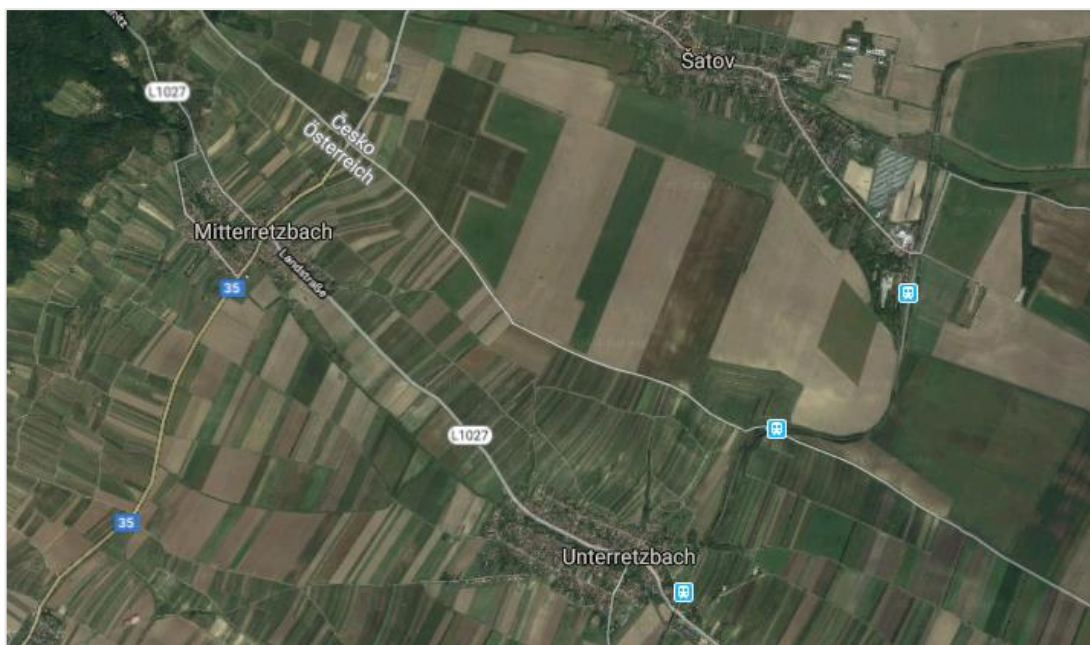
Z finančního hlediska považuje Kvítek et al. (2016) za velmi podstatné, aby finanční zdroje (poskytnuté dotace apod.) z příslušných programů pro akumulaci a retenci vody v krajině směřovaly přímo k investorovi čili zemědělcům. Zemědělský subjekt by měl pak být dále motivován a částečně donucen tato opatření realizovat, udržovat a dbát na vodní režim na jím obhospodařované půdě. Tento zájem by se měl stát neoddelitelnou složkou zemědělství jako komplexního managementu zemědělského půdního fondu. Tyto výše načrtnuté mechanismy by měly spadat pod dohled stávajících nebo do budoucna nově zřízených organizací (Kvítek, 2015).

S motivací zemědělců souvisí také u nás velmi specifická tuzemská problematika vlastnických poměrů. V případě, že vlastník půdy své pozemky pronajímá zemědělskému subjektu, a to většinou dlouhodobě, je motivace k jakýmkoliv investicím a vůbec zájmu o vodní režim na dotčených pozemcích výrazně oslabena. Toto lze řešit řízeným vykoupením ze strany nájemce (Kvítek, 2015). Poměr pronajatých pozemků spravovaných často středním až větším zemědělským družstvem a vlastníky, kteří sami na svých pozemcích hospodaří je totiž ve výrazném nepoměru k vlastníkům.

Důvody tohoto stavu jsou zřejmé a vyplívají z přístupu k zemědělství a majetkoprávním vztahům za komunistického režimu ve 40. až 90. letech minulého století. Půda byla státem vyvlastněna a dále spravována řízenými družstvy. Ohled byl brán zejména na efektivitu práce a zemědělské výroby. K pozemkům navráceným po revoluci neměli většinou dotyční vlastníci vyžadující prostředky ani osobní vztah k zahájení zemědělské činnosti. Také vzniklo veliké rozdrobení pozemků z hlediska katastrálního. Nově vzniklé pozemky tak byly špatně přístupné a postrádaly potřebnou infrastrukturu. Situace je v nynější době taková, že v ČR hospodaří zemědělci na pronajaté půdě v průměru z 80 %. Tento údaj je po Slovensku největším v EU (Fučík, 2016).

Velké zemědělské celky jsou mimochodem jedním z hlavních problémů při porovnání například se sousedním Rakouskem. Můžeme pozorovat jejich negativní

vliv oproti pestře fragmentované krajině. Tento rozdíl samozřejmě spočívá v absenci krajinných prvků jako jsou remízky, meze, háje a líniová zeleň.



Obr. 2: Rozdíl půdních celků v ČR a Rakousku (Google.cz, 2018)

Zahraniční zkušenosti, jak se zmiňuje Fučík et al. (2016) prokazují, že znalosti a zkušenosti zemědělců mohou být přínosné v otázce managementu krajiny a povodí. Z dotazníkového šetření ve čtyřech krajích (kraj Vysočina, kraj Středočeský, kraj Pardubický a kraj Jihomoravský) plyne, že sami zemědělci rádi podpoří činnosti související s ochranou životního prostředí. Také vyplývá že tento zájem a celkové povědomí ubývá s rostoucí výměrou půdních bloků a velikostí zemědělského subjektu. Ochota zemědělců tuto problematiku řešit souvisí také s již výše zmíněnými vlastnickými vztahy.

Další dotazníkové šetření (Fučík et Kulhavý Z., 2013) ukazuje zájem a povědomí zemědělců o stavby odvodnění na své půdě. Čtyřicet procent dotazovaných hospodařilo na plochách v rozmezí od jednoho do dvou tisíc hektarů. Všichni dotazovaní projeví znalost odvodňovacích staveb na spravovaném území a takřka 50 % dotazovaných zná podrobnosti projektové dokumentace těchto staveb. Více jak polovina respondentů je pak také obeznámena s problémy a případnými poruchami drenážních systémů a projeví zájem o finanční podporu na údržbu a opravy. Vhodné je taky doplnit, že podobná problematika se týká také eroze zemědělské půdy a na ni reagující realizace protierozních opatření.

V současné době zde fungují některé dotační tituly a podpůrné programy – zejména se jedná o Operační program Životního prostředí zřizovaný Státním fondem životního prostředí ČR za přispění strukturálních a investičních fondů EU, kdy pro období 2014-2020 je poskytnuta podpora výše zmíněných opatření v prioritních osách 1 a 4 (Státní fond životního prostředí ČR, ©2018). Tato opatření mohou být realizována také v rámci komplexních pozemkových úprav v rámci plánu společných zařízení.

### **3.3 Popis drenážních systémů:**

Pro popis regulačních opatření na stávajících drenážních systémech je nezbytný stručný popis těchto staveb neboli staveb sloužících k odvodnění zemědělských půd. Pozornost je věnována systematické trubkové drenáži.

Tyto stavby slouží k úpravě vodního a vzdušného režimu na požadované podmínky potřebné k zemědělské produkci. Primárně odvádí přebytečné povrchové a podzemní vody přirozeně se vyskytující nebo vstupující na zemědělskou půdu. Dělí se na stavby hlavního a podrobného odvodnění, ke kterým také patří další doplňující prvky.

K níže popsanému rozdělení na hlavní odvodňovací (HOZ) a podrobné odvodňovací zařízení (POZ) došlo vlastnický po roce 1991 a určuje financování konkrétních částí stavby. HOZ spadá pod státní správu (obce, vodní družstvo, Povodí, Lesy ČR, SPÚ). POZ pak patří a je financováno vlastníkem pozemku. Tímto rozdělením zde dochází k rozkolu komplexnosti péče o stavbu jako celek. Návaznost POZ na HOZ je zcela jasná (Tlapáková et al., 2015). Dalším problémem je také malé nebo vůbec žádné značení objektů na drenážní soustavě, a to zejména výustí. Toto může mít například za následek ucpání a poškození při údržbě pozemních komunikací.

#### **3.3.1 Hlavní odvodňovací zařízení (HOZ)**

Liniové prvky a objekty, jenž slouží k odvodu drenážních vod z dotčených ploch. Jedná se zpravidla o otevřená zpevněná či zatravněná koryta, svodné a záchytné kanály, příkopy, popřípadě také suché nádrže a přehrážky. Může se jednat také o trubní řešení, pakliže je DN větší nebo rovno 300 mm. Funkčností se HOZ

podobá drobným vodním tokům (DVT), avšak vlastnický spadá k odvodněnému pozemku.

### **3.3.2 Podrobné odvodňovací zařízení (POZ)**

Slouží k manipulaci s vodním režimem půdy a přizpůsobuje ho ke konkrétní zemědělské výrobě, upravuje vláhové poměry. POZ je v podmínkách ČR nejčastěji realizováno jako horizontální drenáž tvořena sběrnými a svodnými drény. Sběrný drén tvoří hlavní hydraulickou funkci. Sběrné drény jsou zaústěny do drénů svodných, jenž odtékají dále do HOZ. Ke správné funkci celého drenážního systému se také dále využívají další typy drénů (větrací, zasakovací, záchytné, regulační). Materiál těchto drénů je většinou pálená hlína, pakliže se jedná o stavbu novějšího data je hojně využívaným materiálem PVC a PE (typickým průměrem je DN 50 mm). Jejich uložení v půdě se pohybuje zpravidla 0,8 – 1,3 m hluboko (dodržení nezamrzlé hloubky a respektování zemědělské manipulace jako je např. orba).

### **3.3.3 Drenážní šachty**

Šachty jsou osazeny na svodných drénech a slouží k údržbě a kontrolním činnostem. Jsou zpravidla v místech změny směru či sklonu, při styku více svodných drénů (šachtice normální). Kontrolní šachtice slouží pro kontrolu funkčnosti systému. Současně mohou najít uplatnění při některých regulačních opatření na drenážních systémech, jenž budou popsány níže.

### **3.3.4 Drenážní výusti**

Odvádí drenážní vody do recipientu. Stejně jako u šachtic je u výustí nutná pravidelná údržba jako je ochrana před zarůstáním vegetací a následným zanášením sedimenty. Výusti jsou vždy vyvedeny kolmo na recipient.

## **3.4 Vybraná opatření podporující retenci a akumulaci vody v krajině**

V této části práce je přehled vybraných ochranných opatření s uplatněním zejména na zemědělských půdách za účelem posílení infiltračních procesů.

### **3.4.1 Opatření za účelem regulace odtoku na drenážních systémech**

V této podkapitole jsou stručně popsána některá vybraná opatření za účelem regulace odtoku v odvodňovacích systémech za účelem zlepšení infiltračních procesů v krajině. Pro realizaci většiny níže uvedených opatření je zapotřebí řídit se platnými legislativními normami, zejména tedy ČSN 75 4210 Hydromeliorace – Odvodňovací kanály, ČSN 75 4200 – Úprava vodního režimu zemědělských půd odvodněním, TNV 75 4221 – Regulace a retardace odtoku na zemědělských pozemcích odvodněných trubkovou drenáží a TNV 75 4922 – Údržba odvodňovacích zařízení.

#### **3.4.1.1 Revitalizace koryt HOZ**

Otevřená koryta na úrovni HOZ v souvislosti s odvodňovacími systémy byla zpravidla zřízena z původních drobných vodních toků, či byla částečně zřízena zcela nově. Hlavními zásadami byl efektivní odvod drenážních odtoků ze zemědělských ploch. Za tímto účelem byla koryta často zahlobena, narovnána a opevněna do geometricky pravidelných příčných profilů za pomoci kamenné dlažby či prefabrikovaných betonových bloků (výusti POZ, získání větší obdělávatelné plochy, zrychlení odtoku).

Revitalizace HOZ tedy spočívá takřka ve stejných zásadách jako revitalizace drobných vodních toků (dále DVT). K těmto zásadám bezesporu patří mírnější podélné sklony, změna trasy koryta (často lze za vzor brát stav DVT před narovnáním), umístění příčných objektů (při dodržení migrační prostupnosti dotčených živočichů) jako jsou skluzy, prahy, stupně nebo zřizování přidružených tůní a mrtvých ramen.

K revitalizačním prvkům neodmyslitelně patří například doplnění okolí toku vhodnou vegetací, rozšíření zaplavitelné nivy, přírodní tvary příčných profilů dimenzovaných na menší návrhové průtoky a remeandrování.

Výše uvedené revitalizační prvky mají pak za následek větší začlenění toku do krajiny, zvyšují zadržení vody, zlepšují jakost vody, vytvářejí příznivý biotop a naplňují vyšší biologickou funkci, podporují větší rozliv a následnou retenci vody v krajině při vyšších průtocích, či zpomalují rychlost proudění, což vede ke snížení erozních sil a vymílání koryta toku (Just, 2003).

Při revitalizaci HOZ do formy DVT je nutno však dbát na stávající funkce odvodňovacího zařízení, a to zejména na plošný rozsah a napojení POZ, kdy se často dostává do sporu zmírnění podélného sklonu a změna trasy koryta s hloubkou těchto výústí nebo dochází k narušení funkce přímo jednotlivých svodných či sběrných drénů. Je tak potřebné zvážit případný dopad na funkci těchto částí POZ a řešit tak např. regulační opatření v detailu POZ zřízením nových svodných drénu, či provést změnu způsobu zaústění. V úvahu přichází několik možných variant, jako zřizování přehloubených tůní, vybudování svodného drénu v původní trase koryta, či volný výtok drenážní vody v bocích nivy, potažmo na kraji potočního pásu s napojením na DVT (Kulhavý, 2015).

Dále je nutno s touto případnou revitalizací brát v potaz možné zaplavování přilehlých pozemků a jejich zábor novou trasou DVT – čili úbytek zemědělské plochy nebo zhoršení přístupu zemědělské techniky. Nutné je také zvážit protipovodňová rizika přilehlých intravilánů, zanášení koryta splaveninami (nutná údržba).

#### **3.4.1.2 Odkrytí zatrubněného HOZ**

Jak již bylo výše zmíněno hlavní odvodňovací zařízení (HOZ) slouží k odvodu drenážního odtoku z POZ. Zpravidla se upřednostňovalo řešení HOZ jako otevřeného koryta. Jsou ale také časté případy, a to zejména z důvodu zachování velkých zemědělských celků, kdy zatrubnění HOZ řešilo například jednoduší pojezd zemědělské techniky. Rozdíl mezi sběrným drénem a HOZ je pak definován zpravidla světlostí průřezu, kdy se za HOZ zpravidla považuje DN větší jak 300 mm (Kulhavý Z., 2015).

Toto opatření spočívá v odkrytí zatrubněné trasy HOZ a vytvoření drobného vodního toku. Tvorba podoby nově vzniklého otevřeného koryta DVT je pak vhodná podřídit revitalizačním zásadám. Nutno je také dodržení nutných souvislostí s propojením POZ, již uvedeno výše (viz. kap. 3.4.1.1 – Revitalizace koryt HOZ). V případě absence trvalého průtoku lze také zřídit koryto formou svodného průlehu.

Trasa zatrubněného HOZ nebyla zpravidla situována v nejnižším místě údolnice, a to z důvodu zmenšení rizik vodní eroze. Toto hledisko je třeba brát v potaz při vytyčování nové trasy (následné nutné prošetření vlastnických práv dotčených pozemků).

Výhody tohoto opatření jsou v mnohém shodné jako v předcházející kapitole. Otevřením HOZ dochází ke snížení velikosti přímého odtoku, posílí se filtrační procesy a však do podzemních vod. Revitalizovaná koryta mohou tak utvářet příznivé biotopy například často chybějícího lučního či mokřadního typu (Kulhavý Z., 2015).

Zatrubněné trasy HOZ často posilují erozní procesy na přilehlých pozemcích, a při svém zanesení mohou vytvářet podzemní kaverny. V souvislosti s těmito aspekty odpadá také nutný monitoring spojený s údržbou a opravami (Ministerstvo zemědělství, ©2016).

### **3.4.1.3 Kontrolované stárnutí drenáže**

Odvodňovací systémy jako každá stavba takového charakteru přirozeně ztrácí časem svou životnost. Jednotlivé objekty, jako jsou například kontrolní šachty či drenážní výustě, vykazují přirozeně svou poruchovost, a to často v důsledku zanedbané kontroly a údržby spojené s finančními prostředky. Předpokládaná doba životnosti zejména u plošné systematické drenáže je zhruba 30-50 let. Tudíž vezmeme-li v potaz, že velká část těchto staveb byla realizována od 60. do 70. let minulého století, je právě nyní, v první čtvrtině 21. století, doba vypršení původně zamýšlené životnosti.

Snižování funkčnosti drenážních systémů se tak děje zejména z následujících důvodů: zanášení drénů zemitými částicemi, chemická inkrustace (často díky výskytu železitých látek odváděných vod), biologické zarůstání, dopady erozních či povodňových jevů. K degradaci funkčnosti také často dochází díky mechanickému poškození či záměrnému odstranění viditelných prvků na zemědělských plochách.

Je-li záměrem vyřadit drenážní systém ze své primární funkce, je nutné stav tohoto systému monitorovat a eliminovat negativní projevy. Těmi mohou často být například objevující se bodové vývěry způsobující erozi.

Z hlediska retence a akumulace vody je ideálním výsledkem docílení stejného stavu jako před výstavbou odvodnění, kdy se zvýší hydromorfismus půdního prostředí a dojde k častějšímu zamokření a vývěrům podzemních vod. Je však nutné respektovat nastolený režim a často probíhající intenzivní zemědělskou produkci na těchto plochách a také je důležité vzít na vědomí, že takového stavu nelze ve většině případech naprosto dosáhnout. I dosti přerušené či zanesené drény nadále odvádí vodu lépe než přirozené půdní prostředí.

Kontrolované stárnutí drenážních systémů lze chápat jako patřičný dohled a monitoring, kdy vynaložené náklady na opravu těchto systému souvisejí jen s předcházením možných škod. Je nutné znát momentální stav a seznámit se s dokumentací stavby. Proces upadání funkce se může pak projevit v míře znečištění povrchových vod a snižováním odtoku, což je možno monitorovat např. v místě vyústění POZ do HOZ (Povodí Vltavy s.p., ©2017).

#### **3.4.1.4 Eliminace drénu**

Cílem tohoto opatření je přerušení drenážního odtoku na sběrných, případně svodných drénech. Tato eliminace může být provedena jak lokálně, tak v plošném rozsahu. Důsledkem toho je pak zvýšení retence a akumulace vody v dotčeném půdním profilu a případné úplné zamezení drenážního odtoku. Díky tomu se pak prokazatelně zlepšuje kvalita vody v recipientu (Kulhavý Z., 2015).

Eliminace drénu lze nejlépe provést vyjmutím a následným zasypáním nebo vložением přerušovacího prvku ve formě záslepky či clony. Je třeba brát na vědomí, že v trase vedení eliminovaného drénu nadále může hydraulicky fungovat drenážní rýha.

Toto opatření by se zejména mělo výhodně projevit u drenážních staveb, kde se hladina podzemní vody (dále HPV) pohybuje po většinu roku pod úrovní uložení drénů a zemina má dostatečnou hydraulickou vodivost. Za těchto podmínek dochází k efektivnímu zasakování drenážní vody do půdního horizontu.

Riziko tohoto opatření pak vzniká za opačných podmínek než výše uvedených, kdy možnými důsledky mohou být bodové povrchové vývěry nebo snížení infiltračních schopností povrchu. Oba dva tyto důsledky mohou mít za následek nežádoucí erozi (Povodí Vltavy s.p., ©2017).

#### **3.4.1.5 Regulace na úrovni HOZ**

Drenážní systémy byly v minulosti navrhovány převážně s jednostrannou funkcí odvodnění. Tento návrh odvodnění sebou často nese několik negativních aspektů a nevyužívá plného potenciálu těchto staveb, tím je myšlena např. absence regulačních prvků jako jsou hradítka, regulační nádrže či přečerpávací systémy na úrovni objektů HOZ. Tato opatření totiž mohou sloužit k převodu vod, zpomalení odtoku, podpoře infiltrace, retenci či případné závlaze. Samozřejmě realizace regulačních opatření



přináší vždy s tím spojené investiční náklady a náročnější údržbu. Regulace drenážních systémů zpravidla probíhá lépe v rovinných územích říčních niv.

Negativní aspekty jednostranného fungování drenážních systémů mohou také kompenzovat opatření spojená s již výše uvedenými přístupy, myšlena je v tomto případě revitalizace HOZ, kdy dochází k posílení retence a akumulace vody v korytě a říční nivě spolu s přilehlým půdním profilem. Jako jeden z typických technických prvků možné regulace na úrovni HOZ lze uvést dřevěné hradítko s možností nastavení výšky zadržení.

Hlavním aspektem při zavedení regulačních prvků v HOZ je míra a způsob ovlivnění POZ. Konkrétně je důležité posoudit míru a výšku vzduť, která nastane vzhledem k výusti POZ. Důležitými aspekty jsou v tomto ohledu sklonové a výškové poměry v povodí a stav koryta HOZ (DVT). Účinnost tedy souvisí s mírou a plochou ovlivnění drenážní sítě a dodržováním vyžadované hladiny podzemní vody (dále HPV). S výškou hradicích a regulačních prvků je nutné manipulovat v závislosti na velikosti průtoku a požadované míry regulace odtoku a vždy dodržovat minimální průtoky v ovlivňované říční síti a respektovat zásady ochrany a tvorby životního prostředí. Tyto regulace sebou také nesou rizika spojená s možným zvýšením zatížení stavebních konstrukcí a břehů (Povodí Vltavy s.p., ©2017).

#### **3.4.1.6 Regulace na úrovni POZ**

Regulace drenážního odtoku souvisí, jak již bylo výše zmíněno, s úrovní hladiny podzemních vod. Regulačními prvky použitými na sběrných a svodných drénech či drenážních výustech je tedy zejména dosaženo větší nasycenosti půdního prostředí vodou. Již tento aspekt pozitivně podporuje samočistící procesy půdního profilu a dotuje podzemní vody. Nutno uvést že drenážní odtok vykazuje často velkou míru znečištění na plochách zemědělsky intenzivně využívaných.

Základem regulace drenážního odtoku na úrovni POZ je regulační prvek. Tento prvek může být nastavitelný z hlediska míry regulace. Manipulace s nimi může být pak prováděna automaticky či manuálně. Zde je třeba brát na zřetel, že pro dosažení ideálního efektu je třeba přistupovat ke každému půdnímu celku odlišně (půdní vlastnosti, kultura, pěstovaná plodina). Míra regulace se také může lišit v závislosti na ročním období a s ním spojených agronomických úkonech.

Při regulaci na výusti POZ je třeba dbát na umístění vzhledem k recipientu (zvýšený průtok, zachování případně vyžadovaného zůstatkového průtoku).

Regulace na těchto objektech je výhodná ve smyslu sdružování funkcí (Povodí Vltavy s.p., ©2017). Další výhodou je, že rozsah regulace dosahuje až k recipientu.

Forma regulace na drenážní výusti může spočívat například v hadicovém prvku navyšujícím výšku odtoku, hradítka či stavítka. Tato opatření lze aplikovat i v šachticích osazených na svodných drénech, kdy tyto regulační opatření vytváří kaskádovitý tvar HPV. Opět platí, že regulací na výusti je možno ovlivnit jen omezenou vzdálenost, kdy závisí zejména na sklonových poměrech.

Sběrnými drény lze regulovat funkci odvodnění za pomoci zásepky nebo clon (s úplným zaslepením či částečným zúžením průtočného profilu) vsunutých do profilu drénu v různých vzdálenostech. Míra regulace může být určena například provedením tohoto opatření na každém sudém drénu apod. (Ministerstvo zemědělství, ©2005).

#### **3.4.1.7 Tůň dotovaná drenážní vodou**

Tůň lze chápat jako určitou terénní depresi trvale nebo periodicky se zaplňující vodou o hloubce max. do 0,8 m. Tůň je zpravidla svou plošnou rozlohou i objemem podstatně menší než malá vodní nádrž. Tůň nemá hrázové těleso ani jakákoliv jiná technická opatření. Může být například násypem zeminy vzniklým jejím hloubením.

Tůně mohou být budovány jako průtočné či neprůtočné, kdy v případě větší dotace objemu vody převyšující objem tůně, dochází k volnému rozlivu v jejím bezprostředním okolí. Tůně tak mohou být budovány samostatně nebo ve vzájemně navazujících kaskádách. K navazujícím prvkům patří například zakládání travních pásů po obvodu břehové linie. Tento travnatý pás pomáhá zachytávat možné erozně plavené zemní částice spolu s dalším možným znečištěním. Travní pás lze také v jistém smyslu chápat jako litorální pásmo tůně o mírných sklonech. Dalším vhodným doplňujícím prvkem je výsadba vhodné vegetace.

Je-li řeč o tůních se zdrojem vody z drenážních systémů, může se jednat buď o kombinaci s dalším povrchovým zdrojem či pouze se zdrojem z drenážního odtoku. Způsob přítoku drenážní vody se pak může dělit na tůň zřízenou v místě vývěru drenážního systému nebo je drenážní voda do tůně přiváděna po povrchu.

Nutno podotknout že právě povrchové vývěry často nastávají v případě poruchy drenážního systému (zejména vlivem stárnutí), toto opatření pak následně může stabilizovat tuto poruchu. Tůně zamezují nežádoucí tvorbě zamokření na zemědělských půdách (odečteme-li tedy plochu zřízené tůně na úkor záboru

zemědělské plochy) a případné erozi. Za pomoci zřízení tůní, lze také stabilizovat místa drenážních výustí a napojení na HOZ. Dalším nezpochybnitelným benefitem tůní je pak zvýšení biodiverzity a přírodních procesů.

Toto opatření jako většina svého druhu vyžaduje jistou formu údržby. Mezi tu patří zejména odstraňování náletových dřevin a vzniklého sedimentu, nutné je pak sledovat, zda nedochází k omezování odtoku z výustí POZ.

#### **3.4.1.8 Umělý mokřad**

Za mokřad obecně je označován útvar mezi akvatickým a lučním prostředím. Hladina vody se může pohybovat nad nebo pod úrovní terénu. Mokřady jsou prostředím kde se přirozeně daří hydrofytní vegetaci. Mezi jejich pozitivní vlastnosti patří schopnost odbourávat dusíkaté látky formou denitrifikace. Dusík je tak eliminován a převáděn do organické hmoty. Stejně tak mokřadní systémy dokážou odbourávat fosfor a pesticidy. Jako další pozitivní efekty lze považovat zvyšující se biodiverzitu a zlepšení mikroklima.

Mokřady byly v historii často eliminovány, a to právě ve spojitosti se stavbami odvodnění. Mokřady tak byly často odvodněny a nahrazeny ornou půdou. Současný trend by však měl být k tvorbě a obnově těchto biotopů při nejmenším příznivý.

Vhodná místa pro vznik mokřadu jsou mrtvá ramena vodních toků, údolní nivy, nivní louky, zarostlé vodní nádrže, nefunkční místa a poruchy na odvodňovacích systémech apod. Spousta těchto mokřadních systémů vzniká nejen záměrným zřízením, ale i přirozeně, a to v důsledku nedostatečné údržby (Soukup, 2008).

Pro dostatečnou účinnost samočisticích procesů v mokřadu je zapotřebí dosáhnout dostatečně dlouhé doby zadržení zachycených průtoků, tato doba by měla být alespoň 20 hodin. Z tohoto hlediska i z hlediska dosáhnutí často potřebné retenční kapacity, kdy mokřad je situován např. ve spodní části řešeného sub-povodí a je předpokládána možná velká dotace z navazujících výše položených pozemků, je výhodné samotnému prostoru mokřadu předřadit retenční nádrž. Toto řešení má své opodstatnění zejména v případě, kdy je mokřad primárně dotován drenážním odtokem (Povodí Vltavy s.p., ©2017).

### 3.4.2 Protierozní opatření

Jakmile úhrn a intenzita srážkové události převyší infiltrační kapacitu půdního profilu, dochází k povrchovému odtoku. Povrchový odtok způsobuje povrchový smyv čili odnos půdních částic. Tento odnos má za následek úbytek svrchního horizontu obdělávaných zemědělských ploch (ornice), dále se vytvářejí erozní rýžky, rýhy, strouhy (Ministerstvo zemědělství, ©2005).

Protierozní opatření chrání zemědělské půdy před projevy erozních procesů, zejména spojených s tvorbou povrchového odtoku. V popisu vybraných opatření nefigurují opatření za účelem ochrany před erozí větrnou.

Opatření technického charakteru a schopností retence povrchového odtoku poskytují také často funkci protipovodňové ochrany.

#### 3.4.2.1 Průlehy

Podstata tohoto protierozního opatření spočívá v zachycení a vsaku či odvodu srážkové vody. Průleh naproti protieroznímu příkopu je terénní prohlubeň s mírnými sklony svahů max. 1:5 (až do 1:10) a menší hloubkou (od 0,4 do 1 m). Průleh tak může být průjezdný zemědělskou technikou a případně být obděláván konvenčním způsobem. Pochopitelně lepší funkci plní průlehy zatravněné. Zatravnění zapříčiňuje zpevnění povrchu, snižuje kinetickou energii a rychlost odváděného či infiltrovaného povrchového odtoku. Průlehy se realizují v co nejmenším podélném sklonu. Příčné profily mohou být zpravidla dvou typů, a to profil lichoběžníkový nebo profil parabolický.

Hlavní dělení dle funkce průlehu je na průleh vsakovací (záchytný), sběrný a svodný, kdy je doporučeno realizovat výše uvedené první dvě varianty v podélném sklonu do 3%, příčném sklonu pozemků do 15% (Janeček, 2012), jiné zdroje uvádějí max. do 8% (Kulhavý Z., 2015).

Průleh vsakovací (veden podél vrstevnic) má za úkol zachycenou vodu infiltrovat ve svém retenčním objemu, tedy pokud možno mít nulový podélný sklon. Měl by být vždy zatravněn a měl by být vyřešen stav případného přeplnění. Je možné ve dně průlehu zřídit svodný drén. Průleh by pro tyto případy měl mít zejména bezpečnostní přeпад ústící například do svodného průlehu či příkopu nebo zatravněné údolnice.

Při návrhu vsakovacího průlehu musí být zohledněny infiltrační schopnosti půdního prostředí. Přičemž příčný sklon pozemku by měl být maximálně do 4% (Kulhavý Z., 2015).

Naproti tomu průleh sběrný je možné realizovat do sklonu terénu až 15% (Janeček, 2012), jiné zdroje hovoří o svažitosti 12% (Kulhavý Z., 2015) či 10% (Novotný, 2017). Sběrný průleh může být často navržen v kombinaci s vlastnostmi průlehu vsakovacího.

Funkce sběrného průlehu lze připodobnit funkci sběrného drénu. Tedy sběrný průleh má za úkol povrchový odtok zachytit (přerušit tak dráhu odtoku) a dále srážku převést do svodného prvku (průlehu, příkopu, kanálu, údolnice).

Podélný sklon sběrných průlehů by měl být stanoven v závislosti na maximální přípustné rychlosti vody v zemním korytu (opět dosti závisí na půdních vlastnostech). Například pro málo odolné půdy proti erozi je udávána maximální střední profilová rychlost  $0,45 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Při zatravnění průlehu může být tato rychlost až  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (Kulhavý Z., 2015).

Svodné průlehy se navrhují pro bezpečný odvod vod přivedených zejména ze sběrných nebo vsakovacích průlehů. Jsou tedy spíše vedeny kolmo na vrstevnici, například v údolnicích, resp. v drahách soustředěného odtoku. Maximální střední profilová rychlost odtoku by neměla přesahovat  $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Nejvýhodnější příčný profil je parabolický. Opět nejlepší funkci bude svodný průleh vykonávat při osetí TTP.

Průlehy často tvoří soustavu, kdy vystihují přípustnou délku svahu a roznáší tak retenční kapacitu v řešeném povodí. Průlehy jsou dimenzovány na odvod objemu 24hodinového maximálního úhrnu deště pro N-letou dobu opakování. Pro zlepšení kvality vody je výhodné všem protierozním opatřením (dále PEO) tohoto typu předsadit pás TTP o minimální šířce alespoň 5 m, retenční prostor pak lze navýšit například mezí s využitím odtěženého materiálu při vlastní výstavbě průlehu. Pro správné dimenzování průlehů je potřeba znalosti hydrologických a hydraulických parametrů, na tomto základě se posléze stanovují průtočné plochy příčného profilu a případná potřeba opevnění.

#### **3.4.2.2 Příkopy**

Příkopy slouží k zachycení a odvodu vody, často jsou budovány podél cest. Příčný profil výkopu je zpravidla lichoběžníkový, hloubka 0,5 – 1,2 m a šířka ve dně

0,3 – 0,6 m, sklony svahů se pohybují od 1:1,5 do 1:2 (Povodí Vltavy s.p., ©2017). Preferováno je opevnění pouze zatravněním, což je posuzováno dle tečného napětí.

Příkopy se dělí na záchytné, sběrné a svodné.

Záchytné příkopy jsou budovány nad chráněným pozemkem, k zamezení přítoků z výše položených ploch.

Sběrné příkopy jsou stavěny přímo na erozně ohrožených plochách a snižují příliš velké délky pozemku po spádnicí. Tyto sběrné příkopy jsou pak svedeny do příkopů svodných (Janeček, 2012). Jejich podélný sklon by měl být do 3%.

Svodné příkopy jsou pak zřizovány ve větších podélných sklonech (dle sklonu terénu) než výše uvedené typy a bývají zpevněny (šterkový pohoz, gabiony, dlažba). Svodné příkopy odvádějí povrchový odtok do recipientu.

Příkopy mohou být doplněny sedimentačním pásem, pásem zatravnění či vegetačním doprovodem, například ve formě meze (Kulhavý Z., 2015).

#### **3.4.2.3 Hrázky**

Protierozní hrázky budované podél vrstevnic jsou situovány zejména na úpatí svahů. Jejich účel je především ochrana intravilánu či dalších objektů před přívalovými srážkami sebou nesoucími erozní smyvy (Kulhavý, 2015). Hrázky dosahují výšky až 1,5 m a jsou opatřeny výpustným zařízením s předsazenými česlemi. Postupem času (v závislosti na míře erozních smyvů) se dna hrázek usazují a výšku výpusti je nutné navyšovat stejně jako výšku koruny hrázky. Ochranné hrázky mohou být podle sklonu svahů přejezdné (sklon od 1:5) či nikoliv.

Dle svého účelu jsou dále děleny na záchytné či odváděcí, kdy záchytné je možné uplatnit na dobře propustných půdách a odváděcí na půdách těžších, s horšími infiltračními schopnostmi (Povodí Vltavy s.p., 2017).

Hrázky se dají kombinovat v navazujících soustavách s příkopy či průlehy. Dimenzují se obdobně jako výše uvedené retenční opatření na N-leté 24hodinové úhrny srážek (Janeček, 2012).

#### **3.4.2.4 Meze**

Meze jsou opatřením a historicky častým krajinným prvkem vymezující hranici pozemků. Lze si je představit jako nízké kamenné hrázky doplněné bylinnou, keřovou a stromovou vegetací (Novotný, 2017).

V současnosti se realizují meze společně s příkopy a průlehy, se snahou dodržet podélný sklon do 3%. Výška těchto objektů nepřesahuje zpravidla 1,5 m a sklony svahů se pohybují od 1:1,5 do 1:2 (Povodí Vltavy s.p., ©2017).

#### **3.4.2.5 Přehrážky v údolnicích**

Přehrážky lze osadit na svodných příkopech či průlehách, ve stržích či údolnicích. Tyto objekty slouží k zadržení části průtoku po úroveň přelivné hrany a usazení splavovaných půdních částic (Janeček, 2012).

Příčný sklon těchto objektů se pohybuje okolo poměru 1:2. Materiál pro tvorbu tohoto objektu je ideální kamenná rovnanina. Je nutné opevnit vývařiště pod tímto příčným objektem. Přirozeně se prostor před přehrážkou zanášá sedimentem, ten je možno pravidelně odstraňovat. Objekty jsou často tvořené v kaskádách, kdy vzájemnou vzdálenost určuje zejména sklonitost území a návrhová kapacita (Kulhavý Z., 2017).

#### **3.4.2.6 Ochranné zatravnění**

K ochrannému zatravnění trvalým travním porostem (TTP) se přistupuje v případech velké erozní ohroženosti, ochraně infiltračních oblastí z hlediska ochrany kvality vod či podél břehů vodních toků a nádrží. Osetí TTP se v souvislosti s protierozní ochranou také aplikuje v drahách soustředěného odtoku, v průlehách, údolnicích a dalších objektech (Novotný, 2017).

#### **3.4.2.7 Suché a polosuché nádrže**

Suchá nádrž slouží k zachycení přímého odtoku (zejména vznikající při přívalových srážkách). Často je toto opatření realizováno za účelem protipovodňové ochrany přilehlého intravilánu. Suchá nádrž musí odpovídat požadavkům a normám pro malé vodní nádrže a poldry (výpustné zařízení, bezpečnostní přepad). Retenční objem se dimenzuje na srážku s dobou opakování alespoň 20 let. Hrázové těleso je většinou zemní. Sypaná hráze je tvořena místní zeminou, avšak právě z důvodu pouze eventuálního zatopení, tudíž bez stálého režimu průsaku tělesem hráze, může být ovlivněna stabilita v případě náhlého zatopení. Je tedy nutno dbát na dostatečné a řádné zhutnění tělesa hráze (Soukup, 2008).

Nádrž je většinou průtočná a může také mít vymezený prostor stálého nadržení (polosuchá nebo retenční nádrž nebo například umělý mokřad). Nádrž tedy plní

funkci jak protipovodňové ochrany, tak protierozní, kdy zachytává se srážkou nesené splaveniny. Plocha retenčního prostoru pak může být zemědělsky využívána – spíše jako louka či pastvina (Povodí Vltavy s.p., ©2017).

#### **3.4.2.8 Protierozní sedimentační nádrže**

Sedimentační nádrže mají podobnou funkci jako nádrže suché (poldry) či retenční a polosuché. Mohou mít ale tu schopnost, že dokáží infiltrací převést část zadržené vody na podzemní odtok. To je však možné při vhodných infiltračních schopnostech půdy (písčitohlinité až písčité půdy). Sedimentační nádrže bývají zpravidla dimenzovány k zadržení menší návrhové srážky (5-10ti leté doby opakování), mají zřízeny opatření uzpůsobená k odtěžení usazovaných splavenin (zpevnění nájezdy apod.) a mohou být předřazovány právě suchým nádržím. Zpravidla mají stálou hladinu nadržení a svou sedimentační funkci splňují zpomalením odtoku.

#### **3.4.2.9 Liniová zeleň a vegetační doprovod**

Zeleň vytváří přirozený doprovod vodohospodářských staveb a staveb PEO, jako jsou nádrže, toky, poldry, tůňe, protierozní příkopy, meze, průlehy apod. Mimo jiných významných funkcí (retardace odtoku, evapotranspirace, zpevnění břehů, biodiverzita) plní tato opatření také funkci estetickou.

Při volbě jednotlivých druhů osazované zeleně je nutné dbát na stanovištní poměry, druhovou vhodnost z hlediska širšího řešeného území a prostorová omezení při odhadované expanzi vysazené vegetace. Je také dobré myslet na náročnost údržby.

Stanovištní poměry se vyjádří zejména na základě klimatických a půdních podmínek a vlhkostních poměrů.

Lze dělit na ochranné – břehové, které dokáží svým kořenovým systémem stabilizovat břehy nebo na doprovodné umístěné až za břehovou čarou. Základní dělení dle vzrůstu je pak na bylinné, keřové a stromové. Mezi stromovou vhodnou vegetaci podél toků na většině území v ČR lze například jmenovat olši lepkavou, olši šedou, jasan ztepilý, javor klen či topol černý. Za keřové porosty lze zmínit například celou paletu vrb, svídu krvavou či ptačí zob obecný.



Pro výsadbu je vhodné použít již odrostlé sazenice, a to staré 3-6 let. Řadovou výsadbu stromové vegetace je pak vhodné podmínit předpokládané šířce koruny a rozestupy tak volit od 0,8 do 1,5 m a více (Šimíček, 1999).

#### **3.4.2.10 Organizační opatření**

Pro předcházení zejména plošné a popřípadě rýhové erozi je možno na zemědělských půdách aplikovat poměrně širokou škálu agrotechnických a organizačních opatření.

Mezi základní organizační opatření patří orba po vrstevnici, včasný výsev plodin, bezorebně seté plodiny, fragmentace nadměrně velkých pozemků, zkracování délky svahů (Janeček, 2012).

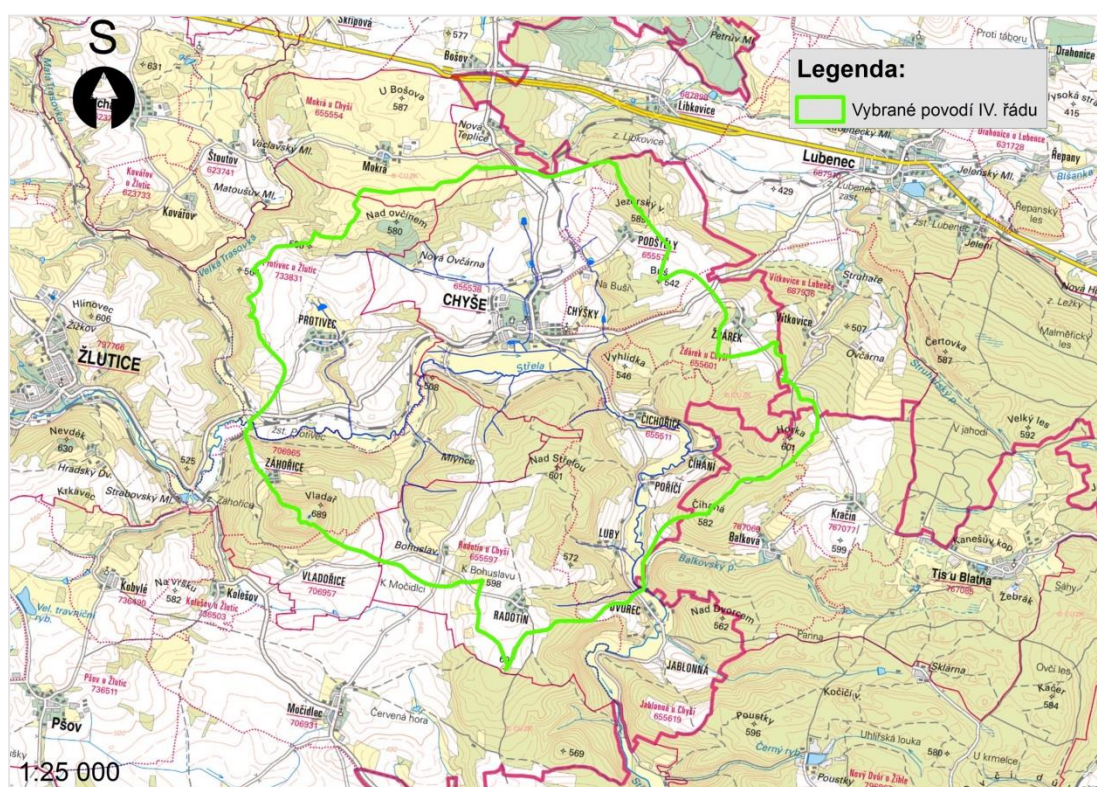
Z hlediska vhodného umístění pěstovaných plodin je doporučeno podél vodních toků a v drahách soustředěného odtoku preferovat osev TTP. Plochy se sklonem do 3 stupňů není zpravidla nutné podřizovat žádnému omezení, kdežto pozemky se sklonem do 7 stupňů je vhodné osévat plodinami více odolnými vůči erozi. Na pozemcích se sklonem do 12 stupňů lze pěstovat plodiny pouze při upraveném osevním postupu. Plochy nad 17 stupňů je doporučeno vždy zatravnit či zalesnit (Ministerstvo zemědělství, ©2005).

Pásové střídání plodin je pak další organizační opatření, které může pomoci do velké míry v protierozní ochraně. Dochází tak ke střídání plodin s lepšími a horšími erozními vlastnostmi. Výhodné může být například střídání okopanin a pícnin či ozimých obilovin. Šíře jednotlivých pásů jsou závislé na sklonu pozemku (páso vedené co nejvíce podél vrstevnic).

Mezi agrotechnická opatření lze zařadit ponechávání posklizňových zbytků či mulče na pozemku – to souvisí se zásadou co nejvíce se snažit pokrýt povrch půdy a ochránit jí tak před tvorbou eroze. Uplatnit lze také zařazení meziplodin do osevních postupů (zejména u řepky a kukuřice).

## 4. Charakteristika vybraného území

K vyhodnocení současného stavu a návrhu PEO a melioračních opatření na blíže určeném sub-povodí bylo vybráno povodí IV. řádu s číslem hydrologického pořadí (dále jen čhp) 1-11-02-0330 (Výzkumný ústav vodohospodářský, v.v.i., ©2018). Území bylo vybráno po konzultaci s jednatelem zemědělského podniku Statek Chyše s.r.o., jenž na tomto území výhradně hospodář a projevil zájem o tuto problematiku.



Obr. 3: Mapový výstup - Přehledná situace (vlastní tvorba)

### 4.1 Základní údaje

Území se nachází v Západních Čechách, okres Karlovy Vary, v těsné blízkosti obce Chyše. Území je součástí Žlutické vrchoviny, krajina je mírně zvlněná. Na ráz krajiny má zásadní vliv údolní niva řeky Střely, která prochází skrze celé vybrané území. Z hlediska krajinného rázu lze povodí rozdělit na severozápadní a jihovýchodní část.

Severozápadní část vykazuje výrazně menší poměr zalesnění oproti zemědělskému využití. Jsou zde pro intenzivně zemědělsky využívanou oblast typicky velké půdní celky, a to zejména ve své severní části svažující se k obci

Chyše směrem do údolní nivy řeky Střely. Pěstovanými plodinami je zde výhradně řepka a pšenice.

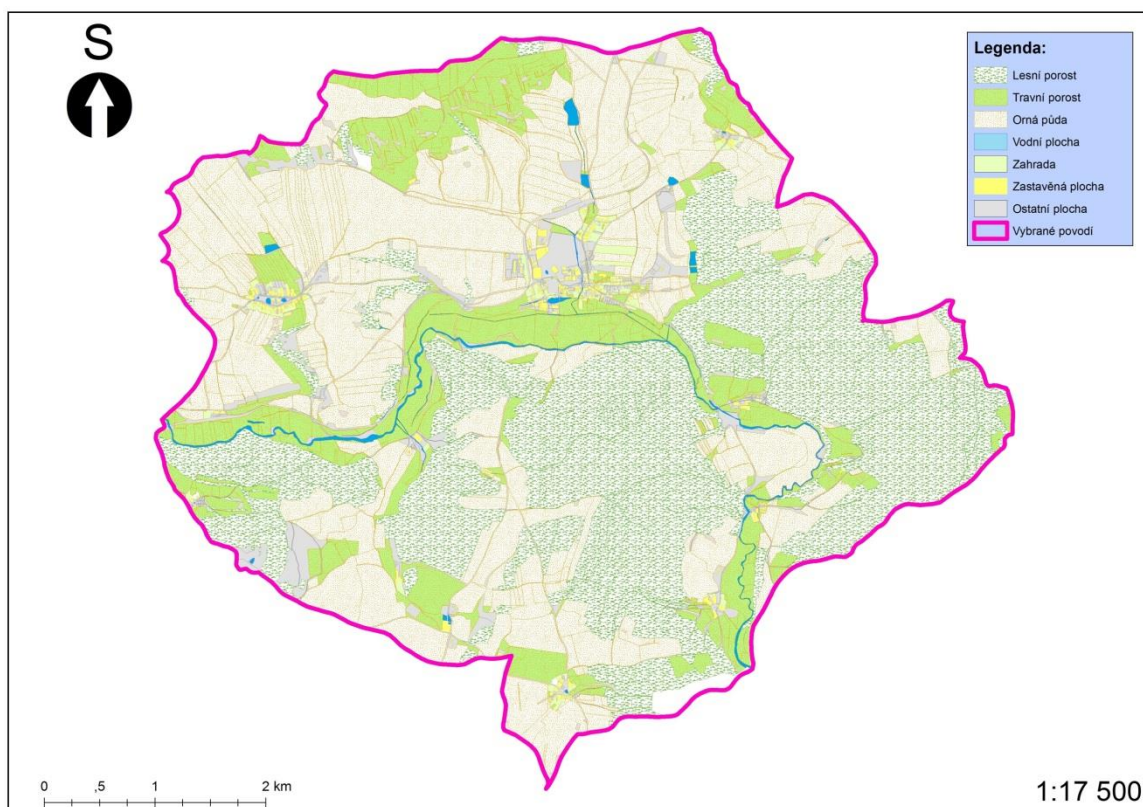
Jihovýchodní část povodí je zdatně více zalesněna, a to jak listnatými porosty, tak smrkovou monokulturou. Krajina je zde dosti zvlněná se spousty strmých svahů a prudkého převýšení. Zemědělská produkce je tak v této části povodí spíše upozaděna, je zde určité zastoupení pastvin.

Průměrná nadmořská výška vybraného povodí je 500 m.n.m. Celková plocha povodí je 3235 ha. Katastrálně spadá zájmové území do katastrů těchto obcí: Chyše, Podštěly, Protivec, Kračín, Balkova, Záhořice, Vladořice, Vítkovice, Žďárek, Radotín, Mokrá, Čichořice.

Plošné zastoupení druhů pozemků je následující (viz. Tab. 1 a Obr. 4 – Druhy pozemků):

<b>Druh pozemku</b>	<b>Počet parcel</b>	<b>Výměra [ha]</b>	<b>Zastoupení [%]</b>
Orná půda	466	1289,9	39,9%
Lesní porosty	406	1118	34,6%
Travní porosty	510	513,8	15,9%
Vodní plochy	56	27,6	0,9%
Zahrada	268	24	0,7%
Zastavěná plocha	612	26,6	0,8%
Ostatní plochy	1244	235,6	7,3%
<b>Celkem</b>	<b>3562</b>	<b>3235,4</b>	<b>100,0%</b>

Tab. 1: Výměry druhů pozemků ve vybraném povodí čhp 1-11-02-0330 (vlastní tvorba)



Obr. 4: Mapový výstup – druhy pozemků (vlastní tvorba)

## 4.2 Geologické a geomorfologické poměry povodí

Lokalita svými geologickými poměry spadá pod Žlutickou a Tepelskou vrchovinu. Žlutická vrchovina je tvořena pararulou a svory s příměsí granodioritu. Také se zde nachází v hojné míře čedičovité vulkanity. Území je silně děleno hlubokým údolím s nivními sedimenty – řeka Střela v území tvoří hydrografickou osu. Tepelská vrchovina je zase složena převážně z krystalických břidlic, granitoidů a neovulkanitů (Demek, 1987).

## 4.3 Pedologické poměry povodí

Mezi hojně se vyskytující půdní jednotky od severu směrem na jih dominuje zejména eutrofní kambizem přecházející do kambizemě modální. Jižněji do modální kambizemě zasahují ostrůvky luvické hnědozemě a modální gleje. V údolní nivě řeky Střely táhnoucí se skrz celé povodí je dominantní jednotkou modální fluvizem. Jižní část povodí pak tvoří zejména směs kambizemí (dystrická, mesobazická). Tyto jednotky také dále převládají v severozápadní části povodí

(Česká geologická služba, ©2018). Z hydroopedologického hlediska se v území vyskytují převážně půdy kategorie B – půdy se střední rychlostí infiltrace.

#### 4.4 Klimatické poměry povodí

Oblast spadá pod klimatický region MT2 - mírně teplý, mírně vlhký (Quitt, 1971). Průměrná roční teplota je 7 - 8 °C s průměrným ročním úhrnem 550-650 mm. Dle kódů bonitovaných půdních ekologických jednotek (dále BPEJ) pro jednotlivé půdní bloky převažuje na tomto území klimatický region č. 5 (VÚMOP, ©2018).

Klimatická oblast	Mírně teplá
Klimatický region	MT2
Počet letních dní	40 – 50
Počet dní s teplotou alespoň 10°C	140 – 160
Počet mrazových dní	110 – 130
Počet ledových dní	30 – 40
Průměrná teplota v lednu	-3°C – -4°C
Průměrná teplota v dubnu	6°C –7°C
Průměrná teplota v červenci	17°C – 18°C
Průměrná teplota v říjnu	7°C –8°C
Počet dnů se srážkami alespoň 1 mm	100 – 120
Srážkový úhrn ve vegetačním období	400 – 450 mm
Srážkový úhrn v zimním období	250 – 300 mm
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	60 – 80
Počet jasných dní	120 – 150
Počet zatažených dní	40 – 50

Tab. 2: Charakteristika klimatického regionu MT2 (Quitt, 1971)

#### 4.5 Hydrologické podmínky v povodí

Povodí (čhp 1-11-02-0330) se nachází v širším povodí řeky Střely, jež přímo přes celé území protéká. Vodní tok Střela spadá do povodí Berounky a dále pak do povodí Vltavy.

Řeka Střela s délkou téměř 102 km a plochou povodí 922 km<sup>2</sup> pramení poblíž obce Toužim na území Tepelské vrchoviny. Jejím největším přítokem je Manětínský



potok, největší vodní plochou na toku je Žlutická přehrada (142 ha). Žlutická přehrada je výhradně využívána k vodárenským účelům (ÚV Žlutice), toto vodní dílo se nachází přibližně 9 km proti toku od zájmového území (Výzkumný ústav vodohospodářský, v.v.i., ©2018).

Hydrologické údaje volně poskytované z nejbližší vodoměrné stanice právě na odtoku ze Žlutické přehrady jsou níže uvedeny v tabulce č.3 (Povodí Vltavy s.p., ©2018).

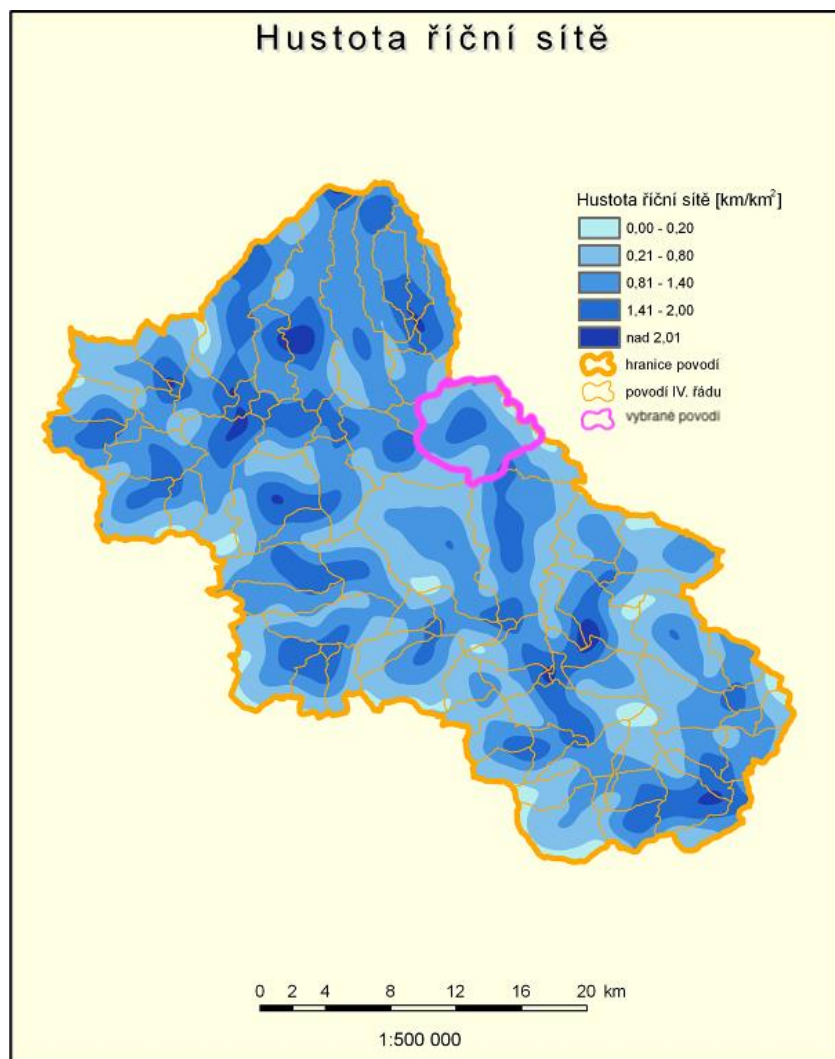
M-denní průtoky	Q <sub>355</sub>						
[m <sup>3</sup> /s]	0,14						
N-leté průtoky	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>20</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>100</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	9	16	29	42	59	86	111

Tab. 3: Zůstatkové a návrhové průtoky na řece Sřele – stanice odtok VD Žlutice (Povodí Vltavy s.p., ©2018)

Délka toku Sřely na zájmovém území je přibližně 12 km (61. - 49. km). Široká niva tohoto toku s dostatkem vzrostlé vegetace zde tvoří ideální podmínky pro meandrující trasu tohoto toku s možností volného rozlivu v extravilánu.

Přítoky do Sřely tvoří bezejmenné drobné vodní toky. S tím, že v již zmíněné severozápadní části jsou tyto přítoky spíše umělého charakteru s narovnanou trasou a umělým korytem (až na drobný vodní tok přitékající od obce Protivec). To souvisí s hojnou výstavbou systematické drenáže v druhé polovině 70. let minulého století. Celkem se jedná o tři přítoky, kdy většina jejich tras je napřímena a zahloubena spolu s opevněným dnem, část těchto vodotečí je také zatrubněna.

Další přítoky v jihovýchodní části povodí tvoří zejména přírodní potůčky s náznaky meandrů s hojnou příbřežní vegetací procházející zalesněnými pozemky.



Obr. 5 - Hustota říční sítě (Výzkumný ústav vodohospodářský v.v.i., ©2018)

## 5. Metodika

Veškeré mapové výstupy (pokud není uvedeno jinak) byly zpracovány v softwarovém prostředí ArcGIS 10.4.1. od společnosti ESRI. Procesy sloužící k analýze a dále tvorbě výsledků uvnitř tohoto prostředí budou upřesněné níže v souvislosti s uvedenou metodikou.

Tabulky (není-li uveden jiný zdroj) a některé výpočty byly vyhotoveny v tabulkovém procesoru Microsoft Excel který je součástí balíku Microsoft Office.

### 5.1 Zpracování dat katastru nemovitostí

Data sloužící k tvorbě mapových podkladů týkajících se skladby druhů pozemků byla nejprve stažena ve formě shapefile z volně dostupné databáze poskytované ČÚZK a vložena do ArcGIS.

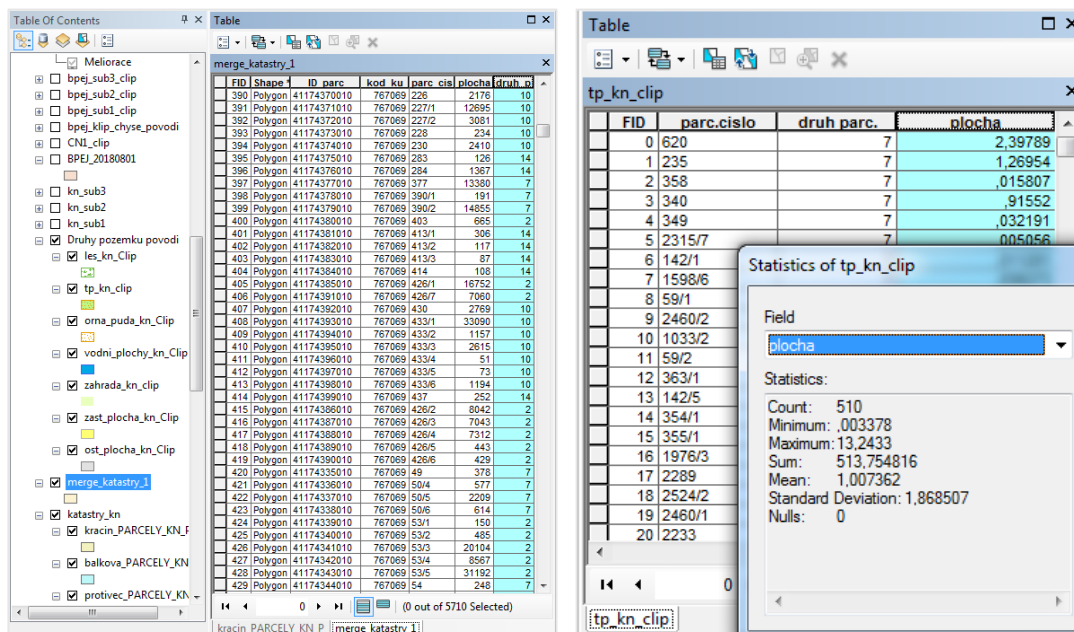
Po stažení vektorových dat pro jednotlivé katastry (vše katastry alespoň částečně spadající do vybraného povodí čhp 1-11-02-0330), došlo ke spojení pomocí funkce *Merge*. Princip této funkce spočívá ve spojení více vektorových vrstev stejného typu (polygony) do jedné. Funkce sjednocuje také atributy ve výsledné atributové tabulce.

Výsledná polygonová vrstva byla následně „oříznuta“ za pomoci funkce *Clip* podle rozvodnice vybraného povodí IV. řádu.

Díky zachování atributů ve sjednocené tabulce mohly být jednotlivé parcely výše zmíněné polygonové vrstvy rozčleněny na základě číselného údaje označujícího druh parcel (viz. Obrázek číslo x – Druhy parcel). Jednotlivé polygony parcel byly tak rozčleněny dle druhu za využití funkce *Export Data*. Takto upravená data posloužila k tvorbě mapového výstupu (viz Obr. 4 – Druhy pozemků).

Pro zjištění ploch jednotlivých druhů parcel bylo nadále použito funkce *Calculate Geometry*. Tato funkce umí na základě přiřazeného koordinačního systému určité vrstvy vygenerovat plochu pro každé parcelní číslo zároveň. Pak už jen stačí za pomoci funkce *Statistics* sumarizovat jednotlivé plochy (viz. Obr. 6).





Obr. 6: Plochy parcel (vlastní tvorba)

## 5.2 Georeference mapových podkladů

Mapové podklady obdržené z archivu povodí bylo zapotřebí dostat do elektronické (rastrové) podoby a následně georeferencovat v ArcGIS spolu s mapovými podklady. Výkresy melioračních staveb bylo možné vektorizovat (překreslit) do vlastní vektorové vrstvy a dále s nimi pracovat.

Georeferencing funguje na principu propojení rastrového dokumentu pomocí známých souřadnic. Jeden bod je zvolený ve stávajícím mapovém podkladu (např. ortofoto) a druhý bod je zvolený v georeferencovaném podkladu (v tomto případě výkresy staveb odvodnění). Je potřeba zvolit více bodů o známých souřadnicích s body v rastru.

## 5.3 Vymezení sub-povodí

Aby mohlo být dále zpracováno bližší posouzení srážkoodtokových procesů a návrh příslušných zlepšujících opatření pro určitou oblast, bylo nutné vymezit konkrétní sub-povodí v již zmíněném povodí IV. řádu.

Pro vymezení rozvodnice tohoto sub-povodí byl zvolen postup pracující s funkcemi z volně dostupného rozšíření *Spatial Analyst*. Celý slet použitých funkcí a procesů v ArcGIS lze vidět na obrázku Obr. 9 – Model Builder 1 – Watershed.

### 5.3.1 Digitální model reliéfu

Jako první krok byl načten digitální model reliéfu (dále pouze DMR) 5. Generace. DMR zobrazuje zemský povrch v digitálním tvaru ve formě výškových bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN) ve výškovém systému Balt po vyrovnání (Bpv). Tento model byl pořízen pomocí leteckého laserového skenování nad územím ČR. Nepřesnost je uváděna pomocí střední chyby – cca 0,2m ve volném terénu a 0,3m v terénu zalesněném. Tento model je ideální při návrhu níže uvedených úprav a všech podobných krajinářských činnostech (ČÚZK, 2018).

### 5.3.2 Bezodtokové oblasti

DMR byl dále využit jako vstup do funkce *Fill*. Funkce *Fill* slouží k vyplnění bezodtokových oblastí v DMR. Je to nutná úprava modelu reliéfu při dalším modelování odtoku (ESRI, 2018).

### 5.3.3 Směry odtoku

Rastr získaný jako výstup z funkce *Fill* poslouží jako vstup do další funkce, tou je *Flow Direction* určující směry odtoku. Výpočet tohoto rastru probíhá na základě posuvného okna velikosti 3x3 buňky. Tímto procesem proběhne každá ze zpracovávaných buněk vloženého rastru (viz. obrázek č. 9 – Flow Direction a Flow Accumulation). Funkce tímto způsobem určí nejstrmější spád v okolí dané buňky, tak vznikne rastrová vrstva znázorňující směry odtoku ve zvoleném reliéfu (Lipl, 2009).

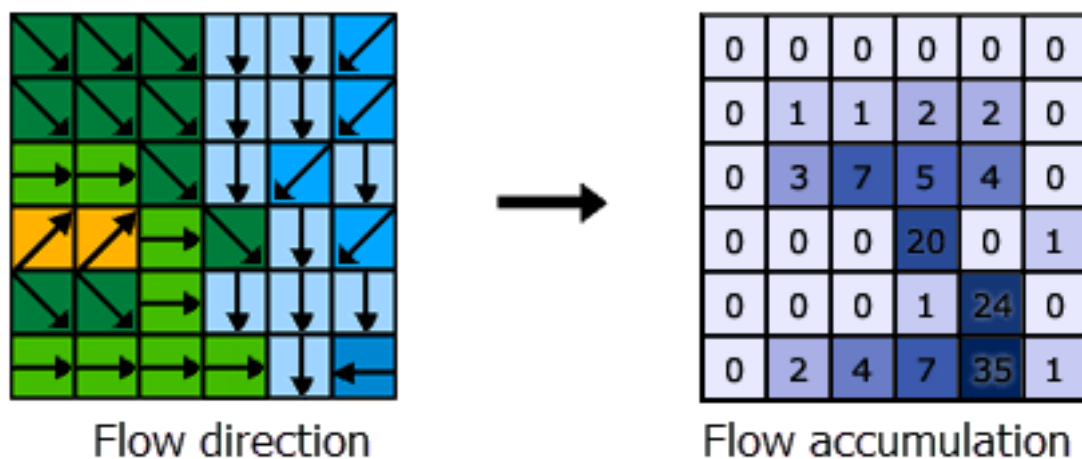
### 5.3.4 Upřesnění říční sítě

Jako další krok je nutné určit uzávěrové profily. Jelikož používaná vrstva říční sítě od DIBAVOD nemusí být vždy přesná a nemusí se shodovat s reálnými trasy říčních koryt, bylo zapotřebí zpracovat rastr směrů odtoků za pomoci funkce *Flow Accumulation*.

Výsledná hodnota každé buňky výstupového rastru z této funkce je počet buněk, ze kterých voda do konkrétní buňky přitéká (viz. Obr. 7 – Flow Direction a Flow Accumulation) (Jedlička a Štych, 2007).

Rastr této funkce tedy znázorňuje říční síť vycházející ze zpracovávaného DMR. Toto znázornění umožňuje často procesně přesnější umístění bodů uzávěrových

profilů / bodu uzávěrového profilu sloužícímu v dalším kroku pro vygenerování rozvodnice funkcí *Watershed* (viz. Obr. 8 – Umístění uzávěrového profilu). Avšak tento rastr nemusí vždy ukazovat reálné trasy říčních koryt, zpravidla se tak stává v případě budování umělých koryt, úpravy trasy toků a vedení HOZ staveb odvodnění. Je tedy nutné znát všechny pozměňující skutečnosti v daném území a korigovat tak volbu uzávěrových profilů.

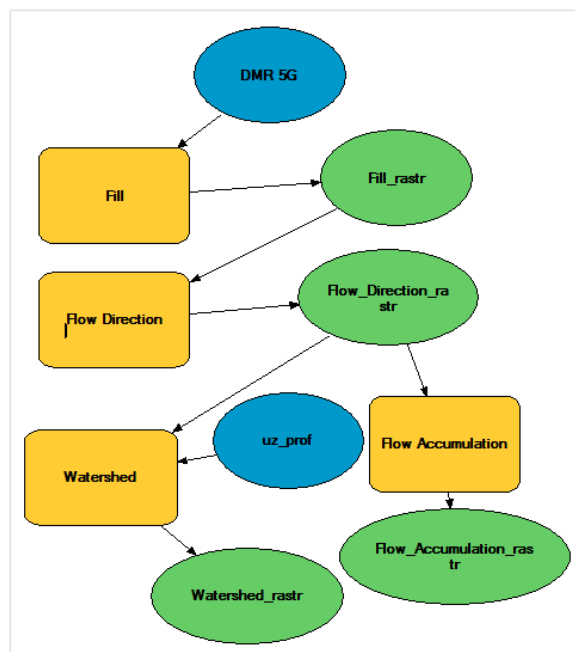
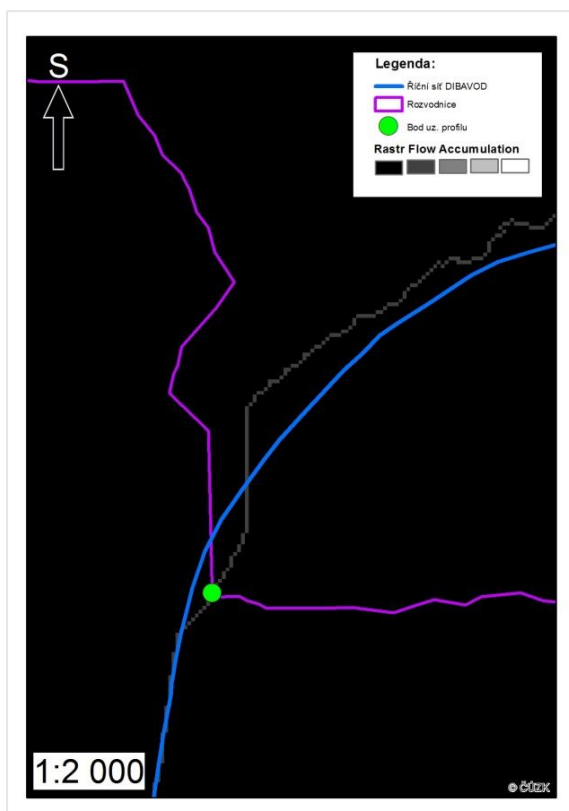


Obr.7: Flow Direction a Flow Accumulation (ESRI, 2018)

### 5.3.5 Vykreslení rozvodnice

Jako poslední krok v procesu vymezení sub-povodí následuje použití funkce *Watershed* (v překladu povodí). Určení uzávěrového profilu již bylo zmíněno výše, tedy vlastní bodová vrstva s polohou uzávěrového profilu je nezbytný vstup do této funkce. Druhým vstupem byl rastr směrů odtoku (*Flow Direction*). Funkce vygeneruje rozvodnici na základě těchto dvou vstupů pro území nad uzávěrovým profilem, do kterého spadnou všechny buňky (území) odtokově vztažené k uzávěrovému profilu.

Výstupem tedy byl rastr vymežující sub-povodí který byl pro další práci převeden do polygonové vektorové vrstvy.



Vlevo Obr. 8: Umístění uzávěrového profilu, vpravo Obr. 9: Model Builder 1 – Watershed (vlastní tvorba)

## 5.4 Výpočet přímého odtoku metodou odtokových křivek CN

Na vybraném území byl zvolen výpočet přímého odtoku metodou CN křivek. Tato relativně jednoduchá a svou přesností dostačující metoda stanovuje složku povrchového a přímého odtoku právě čísly odtokových křivek (Curve Numbers) CN (Janeček, 2012).

Předpoklad je, že čím větší je toto číslo, tím větší je složka odtoku povrchového vůči odtoku hypodermickému.

Jako podstatný vstup v tomto výpočtu slouží velikost srážkového úhrnu návrhového deště se zvolenou dobou opakování (např. 20 N-letý návrhový dešť). Úhrn těchto srážek je přetransformován na objem. K této transformaci slouží právě čísla odtokových křivek CN. Hodnoty těchto čísel závisí na vegetačním pokryvu, nepropustnosti ploch, intercepci, retenci a v neposlední řadě na hydrologických vlastnostech půd (Janeček, 2012).

Předpoklad této metody při určování objemu přímého odtoku spočívá v odečtení počáteční ztráty z objemu uvažované srážky právě v důsledku intercepce, infiltrace a povrchové retence. Hodnota této ztráty tvoří 20% z potenciální retence ( $I_a = 0,2A$ ).

Vzorec 1: Základní vztah pro výšku přímého odtoku je potom tedy:

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

$H_o$  ... přímý odtok (mm)

$H_s$  ... úhrn návrhového deště (mm)

$A$  ... potenciální retence (mm)

Vzorec 2: Výpočet potenciální retence

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

Vzorec 3: Vztah pro objem přímého odtoku:

$$O_{ph} = 1000 * P_p * H_o$$

$O_{ph}$  ... objem přímého odtoku ( $m^3$ )

$P_p$  ... plocha povodí ( $km^2$ )

#### 5.4.1 Čísla odtokových křivek CN

Čísla odtokových křivek CN jsou určována na základě:

**Hydrologických vlastností půd** rozdělených do čtyř skupin (viz. Tab.4) vycházejících z minimální rychlosti infiltrace po dlouhodobém sycení. Tyto skupiny lze určit na základě číselného kódu BPEJ, kdy druhá a třetí číslice označující hlavní půdní jednotku (HPJ) lze přiřadit do jedné z těchto čtyř skupin (viz. Příloha 1). Metodika určení HPS blíže popsána v kap. 5.5.3.

**Vlhkostních poměrů půdy** vycházející z pětidenního úhrnu předcházejících srážek. K tomu slouží index předchozích srážek (dále jen IPS). Tento index je rozdělen dále do 3 kategorií, kdy IPS I reprezentuje minimální půdní vlhkost umožňující běžné zemědělské obdělávání. IPS III označuje půdní prostředí přesycené předchozími srážkami. IPS II pak tedy charakterizuje průměr těchto dvou

vlhkostních stavů a je tak nejčastěji používaný pro návrhové výpočty. IPS II byl použit pro určení čísel CN v této práci.

**Dle využívání půdy**, kdy se užití dělí ze širšího hlediska na ornou půdu, lesy, pastviny, louky, nepropustné plochy apod. Pro zařazení do těchto základních skupin bylo využito dat ČÚZK a vlastního terénního průzkumu. Z užšího hlediska se pak jednotlivé skupiny liší dle agronomických a organizačních opatření, kdy k celkem podstatnému dělení dochází u orné půdy. Ta se dělí na širokořádkové či úzkořádkové plodiny, víceleté pícniny, luštěniny a úhor. Dále zde dochází ještě k užšímu dělení a to například z hlediska, zda je prováděna orba po vrstevnici, zda dochází k ponechávání posklizňových zbytků či jaké jsou hydrologické podmínky z hlediska možné infiltrace.

Všechny tyto charakteristiky způsobu využití spolu s čísly CN jsou uvedeny v tabulce uvedené v Příloze č.2.

Hydrologická skupina	Charakteristiky 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 nadměrně odvodněné písky nebo šterky
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.

Tab.4: Hydrologické skupiny půd (Janeček, 2012)

## 5.5 Určení potřebných výpočtových charakteristik

Ve vymezených sub-povodích se dále stanovili některé charakteristiky nezbytné pro výše uvedený výpočet přímého odtoku metodou čísel odtokových CN křivek.

### 5.5.1 Druhy pozemků

Území bylo třeba vymezit na základě jeho využití. Toho bylo docíleno rozdělením dle druhů pozemků podle dat ČÚZK, neboť od toho se dále odvíjelo určení čísel křivek CN. Tento proces byl proveden stejným způsobem popsáním v kap. 5.1.

### 5.5.2 Určení bonitované půdně ekologické jednotky

Pro celé řešené území bylo zapotřebí určit půdní charakteristiky vycházející z bonitované půdně ekologické jednotky (BPEJ). K tomu bylo využito volně dostupných dat Státního pozemkového úřadu (dále pouze SPÚ) ve formě shapefilové vrstvy dále zpracované v ArcGIS.

### 5.5.3 Hydrologické skupiny půd

Z údajů BPEJ bylo dále nutné vygenerovat hydrologickou skupinu půd (A-D). Toho bylo docíleno za pomoci atributové tabulky výše zmíněné vrstvy BPEJ, kdy se z pětimístného číselného kódu přiřadily tyto skupiny jako další atribut dle tabulky v Příloze 1.

### 5.5.4 Určení čísel odtokových křivek CN

Určení čísel odtokových křivek CN bylo určeno na základě protnutí hodnot dvou vrstev, a to druhů pozemků (*land use*) a HSP. Zde bylo využito funkce *Intersect*, jenž v přeneseném významu umožňuje právě protnutí dvou polygonových vrstev. Výsledkem je vrstva s atributovou tabulkou nesoucí potřebné informace jak o druhu pozemku, tak HSP. Na základě této vrstvy se dále kvantifikovaly plochy pro jednotlivá čísla CN. Následně se za pomoci váženého průměru dospělo k průměrnému číslu CN křivek.

Toto určení posloužilo pro již výše zmíněný výpočet přímého odtoku v dále vybraném sub-povodí, kdy čísla CN byla dále zpřesněna dle pěstovaných kultur a způsobu obdělávání na zemědělských plochách.

### 5.5.5 Návrhový déšť

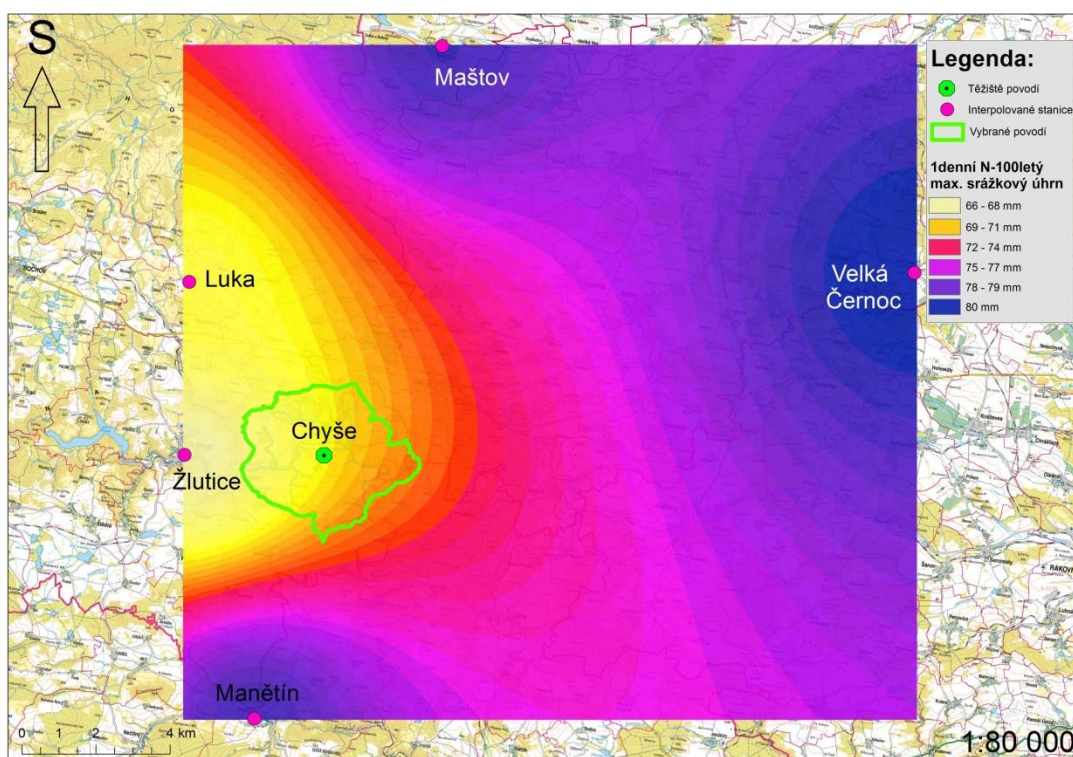
Hodnoty maximálních jednodenních návrhových dešťů byly čerpány z volně dostupného programu pro návrhové deště a jejich průběh DES-RAIN (Vaššová et



Kovář, 2011). Program DES-RAIN disponuje daty z takřka šesti-set srážko-měrných stanic na území ČR.

Bylo vybráno 5 nejbližších stanic od vybraného území. Tato data s návrhovými úhrny byla dále interpolována metodou IDW. Tato interpolační metoda (angl.: Inverse distance weighting) jak už název napovídá spočívá na principu přiřazení větší váhy bodům ležícím blíže u sebe a naopak (Křikavová, 2009).

K tomuto účelu byla využita funkce v prostředí ArcGIS, *IDW*. Vznikl rastr s interpolovanými hodnotami jednotlivých úhrnů a bylo zvoleno těžiště vybraného povodí IV. řádu (funkce *Zonal Geometry*). Pro tento bod byly odečteny návrhové úhrny při výpočtu přímého odtoku.



Obr.10: Mapový výstup – Interpolace sráž. dat metodou IDW (vlastní tvorba)

## 5.6 Sklonitost

Sklonitost hraje svou roli při návrhu jednotlivých opatření i při posuzování ohroženosti z hlediska eroze či tvorby povrchového odtoku. Za tímto účelem byl vyhotoven rastr znázorňující sklonitost pomocí funkce *Slope* z balíku *Spatial Analyst*. Jako vstup do této funkce posloužil již výše zmíněný DMR.



## 5.7 Doplnující výpočty a vzorce

Po výpočtu přímého odtoku byl jako doplňující ukazatel dále stanoven také odtokový součinitel, jenž udává poměr návrhové srážky  $H_o$  a přímého odtoku  $H_s$ .

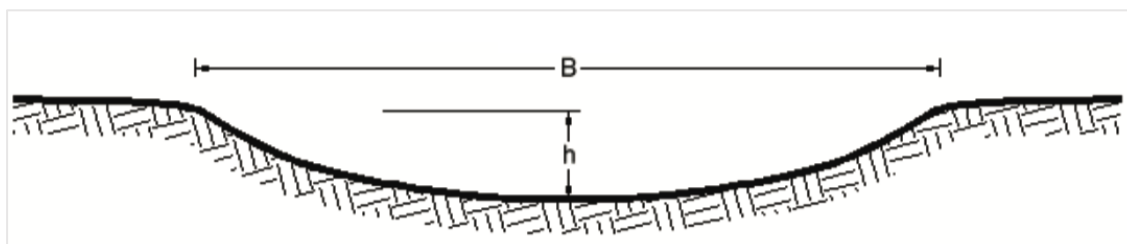
Vzorec 4: Vztah pro výpočet odtokového součinitele

$$\varphi = \frac{H_o [mm]}{H_s [mm]} [-]$$

Pro přibližné určení parametrů průlehu (v této studii zejména z hlediska záboru ZPF) byl zvolen zjednodušený výpočet, kdy se dle vzorce pro obsah parabolického příčného profilu vypočte retenční objem v závislosti na podélné délce, tento objem je stanoven tak aby pokryl objem povrchového odtoku návrhového deště.

Vzorec 5: Vztah pro výpočet příčného profilu průlehu:

$$S = \frac{2}{3} * B * h ; B = 1,5 * \frac{S}{h}$$



Obr.11 – Parabolický příčný profil průlehu (Janeček, 2012)

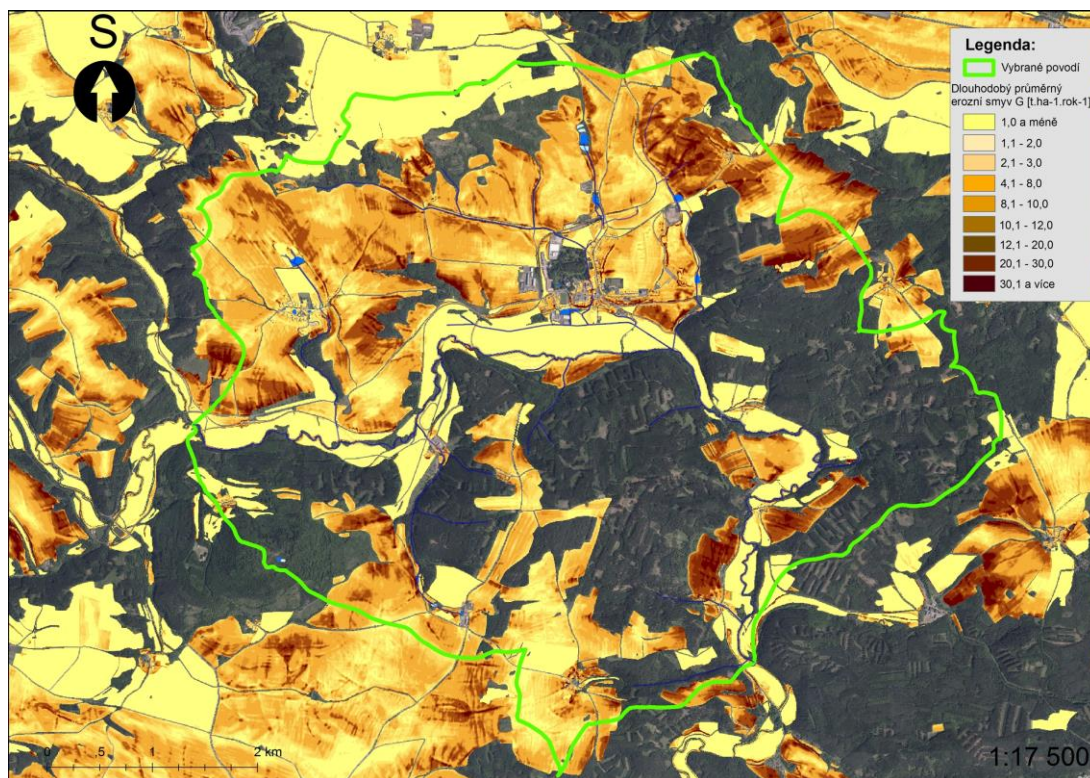
## 6. Současný stav řešené problematiky

V této kapitole je území podrobeno analýze erozní ohroženosti a výskytu staveb odvodnění. Díle je zde popsána blíže řešená lokalita vycházející z terénního průzkumu. Na základě toho je pak vybráno vhodné sub-povodí, které je blíže vyhodnoceno a je pro něj vytvořena studie možných zlepšujících opatření z hlediska retence a akumulace vody v krajině.

Tato kapitola slouží jako podklad pro následný návrh možných opatření řešící identifikované problémy z hlediska retence a akumulace vody v krajině.

### 6.1 Analýza erozní ohroženosti

V rámci vyhodnocení území z hlediska erozní ohroženosti, byla využita data z WMS serveru portálu veřejného registru půdy LPIS (Ministerstvo zemědělství, ©2018b). Na obrázku Obr. 11 lze vidět četná místa přesahující doporučenou přípustnou ztrátu půdy, která činí  $G_p \leq 4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  pro půdy středně hluboké až hluboké (Janeček, 2012). Nejvíce ohrožené lokality jsou místa velkých půdních celků s kritickými délkami odtokových linií. Žádná protierozní opatření vyjma částečné orby po vrstevnicích nebyla na zemědělských půdách identifikována.



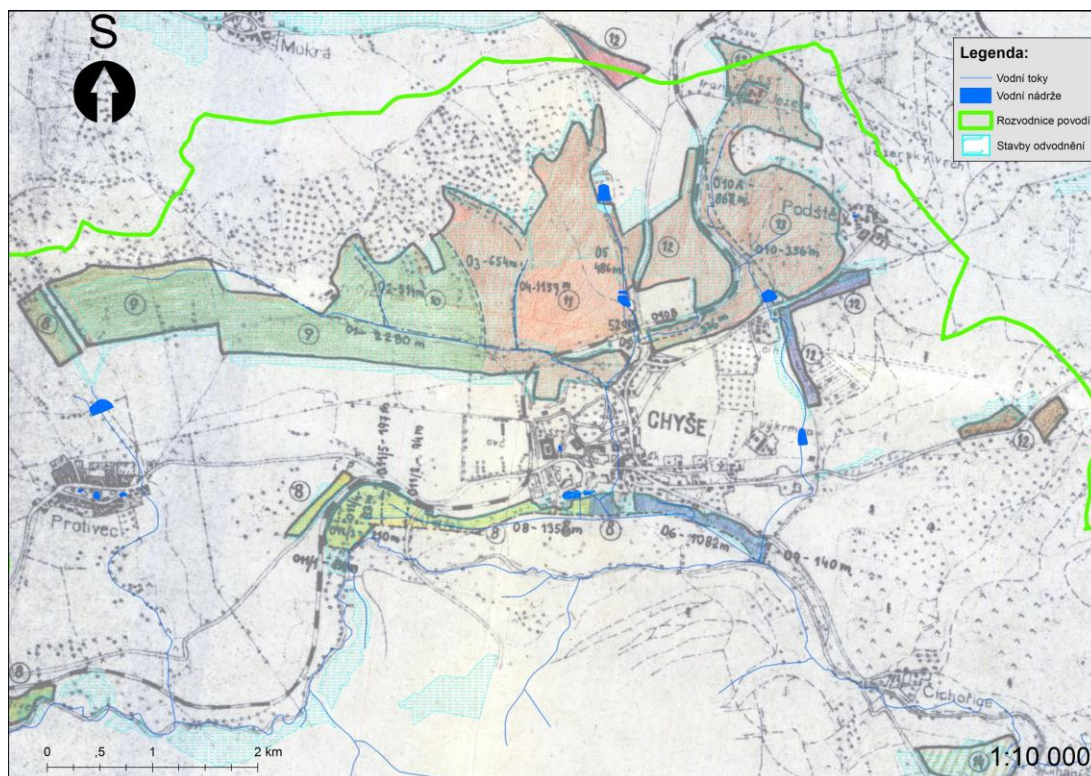
Obr.11: Mapový výstup - Erozní ohroženost území (vlastní tvorba)

## 6.2 Výskyt staveb odvodnění

Výskyt odvodňovacích staveb byl již patrný z volně stažitelných dat Ministerstva zemědělství (©2018b). Pro větší podrobnost a upřesnění provedení drenážních systémů byla získána částečná projektová dokumentace ze spisové a archivní dokumentace bývalých pracovišť Zemědělské vodohospodářské správy ve spisovně Povodí Vltavy, s.p. Získané dokumenty v papírové podobě byly převedeny do rastrové elektronické podoby a následně georeferencovány (viz. kap 5.2).

Výskyt těchto staveb je logicky nejintenzivnější v severní části povodí, kde probíhá zejména zemědělská aktivita. Na povodí se tedy nachází přibližně 350 ha plošného odvodnění z celkové plochy zemědělské půdy 1290 ha. Jedná se převážně o systematickou trubkovou drenáž z pálené hlíny.

Dle terénního průzkumu je patrná jistá zanedbanost a existence lokálních poruch. Velká část revizních šachtic byla nejspíše v minulosti zahrnuta. Některé drenážní výusti jsou pak zarostlé a projevují též absenci údržby. Trasy HOZ jsou také v dosti zanedbaném stavu, většina těchto vodotečí (severozápadní část povodí) byla vyschlá, či s malými průtoky. Nutno podotknout, že lokalita byla navštívena v letních měsících roku 2018, kdy zrovna panoval znatelný srážkový deficit.



Obr.12: Mapový výstup – Stavby odvodnění v povodí (vlastní tvorba)

### 6.3 Stručný popis blíže řešené lokality

Tato podkapitola se zabývá podrobnějším popisem již zmiňované severní části povodí, na které zejména probíhá zemědělská výroba a dle výše zmíněných bodů se zde střetává jistá míra erozní ohroženosti a hustota odvodněných ploch.

Území (severozápadní část povodí) na kterém se nachází dále vybrané sub-povodí je charakteristické pro velké zastoupení orné půdy s relativně velkými půdními celky, na kterých probíhá běžná konvenční zemědělská výroba – konkrétně úzkořádkových plodin, a to řepky a pšenice. Je zde patrná eliminace remízků, mezi a dalších bio-diverzifikujících prvků oddělující jednotlivé pozemky a nedostatečný výskyt přirozené vegetace, jenž by mohl dále napomáhat k zadržování vody.

Lokalita se rozkládá převážně v okolí obcí Chyšce, Podštěly a Protivec. Svažitost zemědělských ploch se postupně od extravilánu obce k rozvodnici zvedá od 2% do 15%. Na některých místech je patrná vodní eroze a tvorba soustředěného odtoku. Dle dat VÚMOP dochází na hojně části ploch k nadměrnému transportu půdních částic.

Patrná je zde také velká míra odvodňovacích staveb, konkrétně plošné systematické drenáže v historii navržené z důvodu pramenních vývěrů a částečného trvalého zamokření některých ploch.

Dnes se dá s určitou jistotou říci, že je tato odvodňovací síť předimenzována a dochází tak k nadměrnému odtoku ze zemědělských ploch a následnému nedostatku půdní vláhy, a to zejména v letních měsících, kdy zde dle slov majitele hospodařícího zemědělského subjektu byl tento vláhový deficit v předešlých sezonách znatelný i na výsledném výnosu.

Podrobná odvodňovací zařízení jsou zpravidla svedena do narovnaných bezejmenných vodotečí. Některé tyto drobné vodní toky, v souvislosti s odvodněním chápané jako HOZ příslušných odvodněných ploch byly zatrubněny, či opevněny betonovým korytem.

Trubní síť POZ je na tomto území navržena z pálené hlíny o průměrech DN 65 až DN 130 u svodných drénů (archivní dokumentace), s rozchodem drénů sběrných zpravidla 9 až 10 m. Většina kontrolních šachet byla v minulosti odstraněna a zasypána. Některá zaústění POZ je také ve špatném stavu a z některých podpovrchových vývěrů je patrná určitá míra poruchovosti drenážní sítě.

Jako pozitivní aspekt se dá vnímat celkem hojná existence malých vodních nádrží, přičemž v současné době zde probíhá výstavba dvou dalších nádrží. Dle



komunikace s převážným vlastníkem a uživatelem na tomto území (Statek Chyše s.r.o.) se jedná o obnovu MVN v místech své historické existence. Avšak dle stavu kvality vody ve výše již existujících zmíněných nádržích je patrné soustavné zanášení a eutrofizace vod spojená s rychlým odtokem a absencí infiltračních prvků.

## **6.4 Posouzení vybraného sub-povodí**

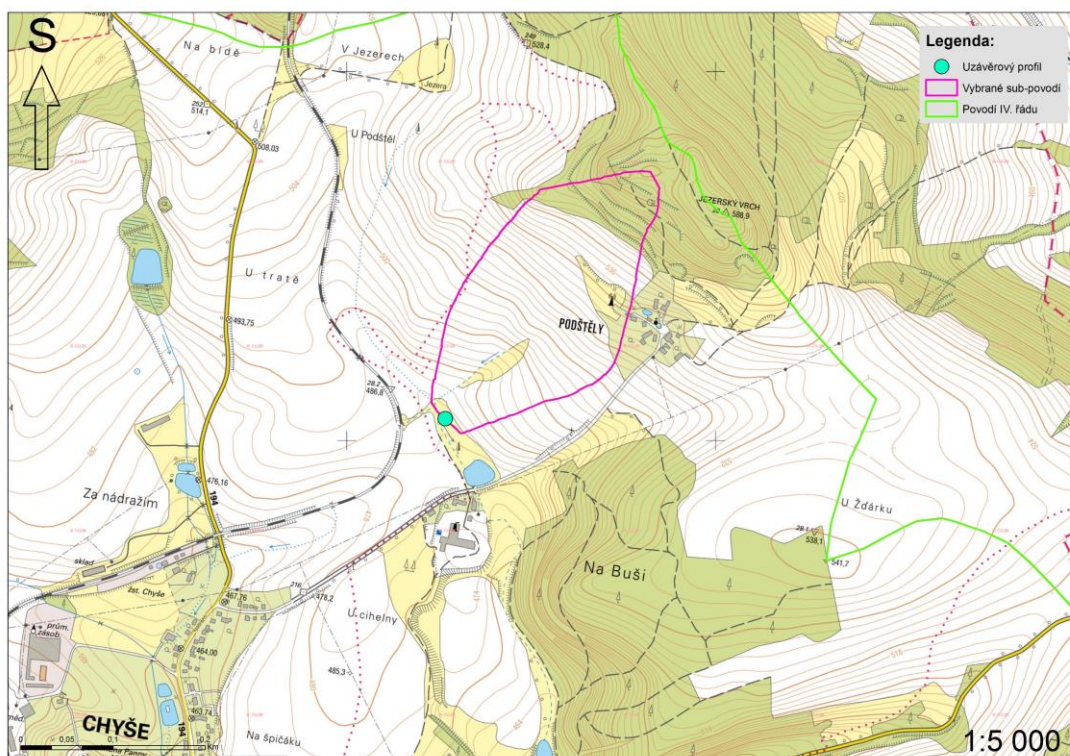
Toto sub-povodí se nachází západně od obce Podštěly v katastrálním území této obce. Dále je orientováno jihozápadním směrem podél místní komunikace propojující obec Chyše a Podštěly až takřka na úroveň železniční tratě na trase Žlutice – Lubenec. Plocha tohoto sub-povodí je 25,9 ha. Celkové převýšení sub-povodí od uzávěrového profilu (483 m.n.m) k vrcholu povodí (581 m.n.m.) je 98 metrů.

Uzávěrový profil je stanoven na předpokládaném průběhu svodného drénu drenážního systému na úrovni spodní části POZ cca 60 metrů před vyústěním do zatrubněného bezejmenného toku neboli HOZ - svádějící drenážní odtok z tohoto území do o 120 m níže položené vodní nádrže.

Sub-povodí je tvořeno takřka souvislým půdním blokem, je oseté stejným osevním postupem, vyjma vrchní části sub-povodí zde nejsou žádné krajinné prvky či známky fragmentace tohoto půdního bloku, vyjma níže zmíněné oblasti – zamokřené oblasti.

Ta se nachází nad uzávěrovým profilem cca 80 m po údolnici. Jedná se o trvalou oblast zamokření a podpovrchových vývěřů takřka uprostřed půdního bloku. Tato oblast je zde utvořena již patrně delší dobu, v zamokřené území se vytvořilo několik depresí nyní sloužících jako menší tůňky. Tento samovolně vzniklý prvek je vegetačně tvořen zejména trvalým travním porostem a jeho plocha je přibližně 0,9 ha.

Toto území je dále mimo jiné charakteristické velkým poměrem orné půdy a pokrytím drenážního systému.



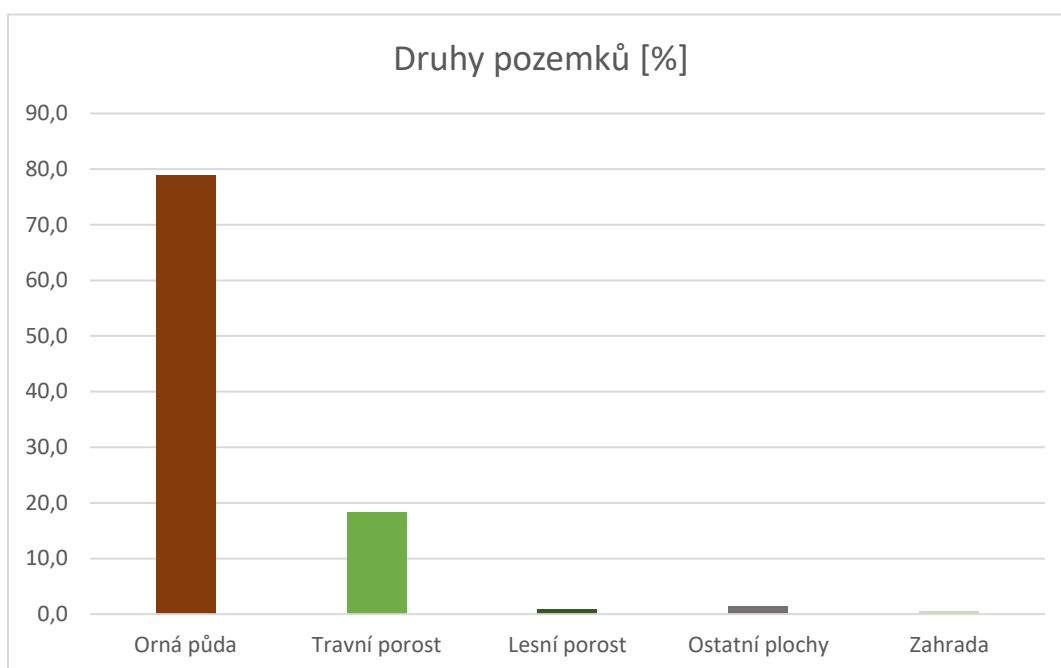
Obr. 13: Mapový výstup – Situace vybraného sub-povodí (vlastní tvorba)

#### 6.4.1 Druhy a využití pozemků

Území je převážně tvořeno ornou půdou (79%), momentálně sloužící pro pěstování řepky a pšenice vyjma oblasti trvalého zamokření s travním porostem. Ve vrchní části sub-povodí má své zastoupení trvalý travní porost s hojným zastoupením náletových křovin (18%) a nepatrně pak porost lesní, zahrada a ostatní plochy představující část intravilánu obce Podstěly.

Zastoupení pozemků		
Druh	Plocha [ha]	[%]
Orná půda	20,43	78,9
Travní porost	4,73	18,3
Lesní porost	0,22	0,8
Ostatní plochy	0,36	1,4
Zahrada	0,14	0,6
Celk. Plocha	25,88	100

Tab. 5: Zastoupení pozemků ve vybraném sub-povodí (vlastní tvorba)



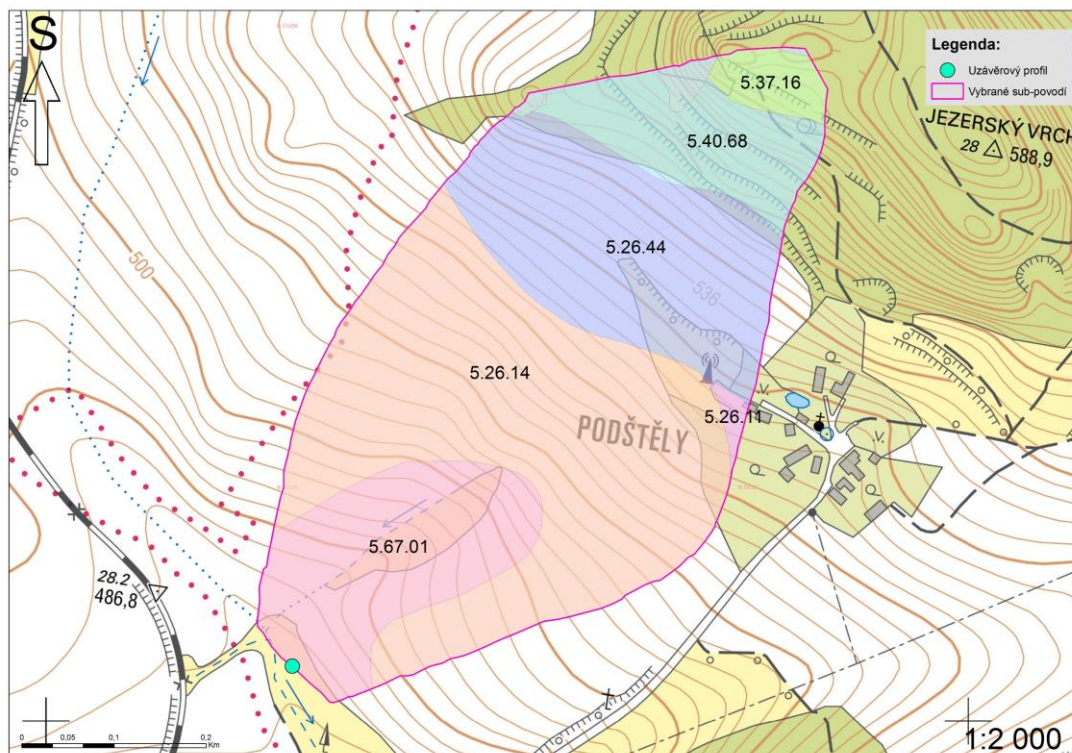
Graf 1: Zastoupení pozemků ve vybraném sub-povodí (vlastní tvorba)

#### 6.4.2 Hydro-pedologické poměry

Pedologicky je převážná část půd dle BPEJ kambizemě (modální a částečně litické) s doplňkovým zastoupením modální gleje. Hydro-pedologicky spadají půdy převážně do skupiny (HSP) B – půdy se střední rychlostí infiltrace.

BPEJ	Zastoupení [%]
5.26.11	0,7
5.26.14	45,2
5.26.44	24,1
5.37.16	2,7
5.40.68	9,2
5.67.01	18,2

Tab. 6: Zastoupení BPEJ ve vybraném sub-povodí



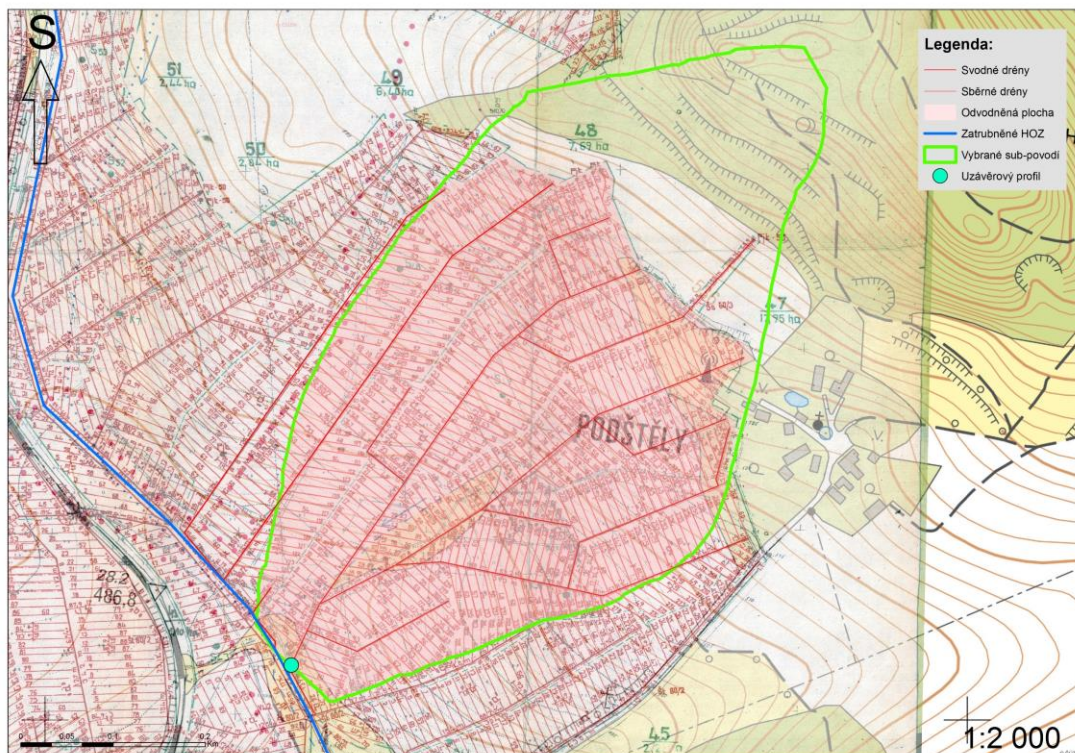
Obr. 14: Mapový výstup – BPEJ ve vybraném sub-povodí (vlastní tvorba)

### 6.4.3 Drenážní stavby

Míra pokrytí území systematickou drenáží je poměrně vysoká (70,8 % - 20,2 ha). Rozsah a poloha systematické drenáže lze vidět na obrázku Obr. 15. Sběrné drény mají dle získané archivní dokumentace DN 65 a svodné se pohybují pak v DN 65-130. Materiál použitý pro drény je pálená hlína. Revizní a soutokové šachty zakreslené v archivní dokumentaci jsou povětšinou patrně zlikvidované/zasypané a nebylo možné jejich osazení nijak lokalizovat až na soutokovou šachtici na místě předpokládaného vyústění POZ z vybraného sub-povodí do HOZ.

V kapitole uvedené výše (kap.6.4) byla již zmíněna terénním průzkumem odhalená plocha trvalého zamokření na zemědělské půdě ve spodní části sub-povodí. Příčina tohoto zamokření s projevy vývěřů je patrně způsobena poruchou svodného a některých sběrných drénu. Důvodem této poruchy může být zanesení svodného drénu níže pod zamokřenou oblastí po směru odtoku či mechanické porušení



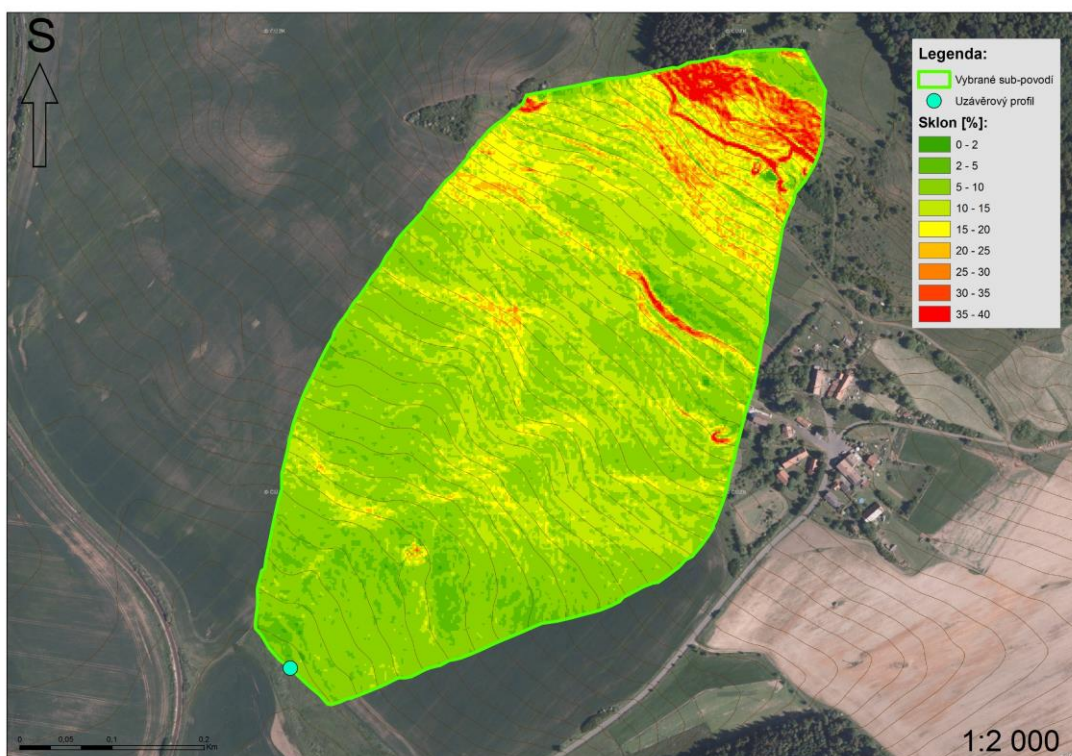


Obr. 15: Mapový výstup – Stavby odvodnění (vlastní tvorba)

#### 6.4.4 Reliéf a sklonové poměry

Území tvoří jeden takřka souvislý svah s jihozápadní expozicí s postupně se zvyšujícím stoupáním o převýšení 98 m mezi vrcholem rozvodnice a uzávěrovým profilem. Průměrný sklon území je přibližně 11 %, kdy spodní polovina území je o sklonu od 2 do 10 %, v horní polovině se sklonitost postupně zvyšuje a dosahuje v některých partiích u vrcholu rozvodnice až čtyřicet procent.

Toto sub-povodí je tvořeno jedním souvislým blokem orné půdy z takřka čtyř pětín, na němž jsou patrné dvě dráhy umožňující soustředěný odtok, dále se spojují do jedné údolnice ve spodní partii sub-povodí právě v oblasti trvalého zamokření.

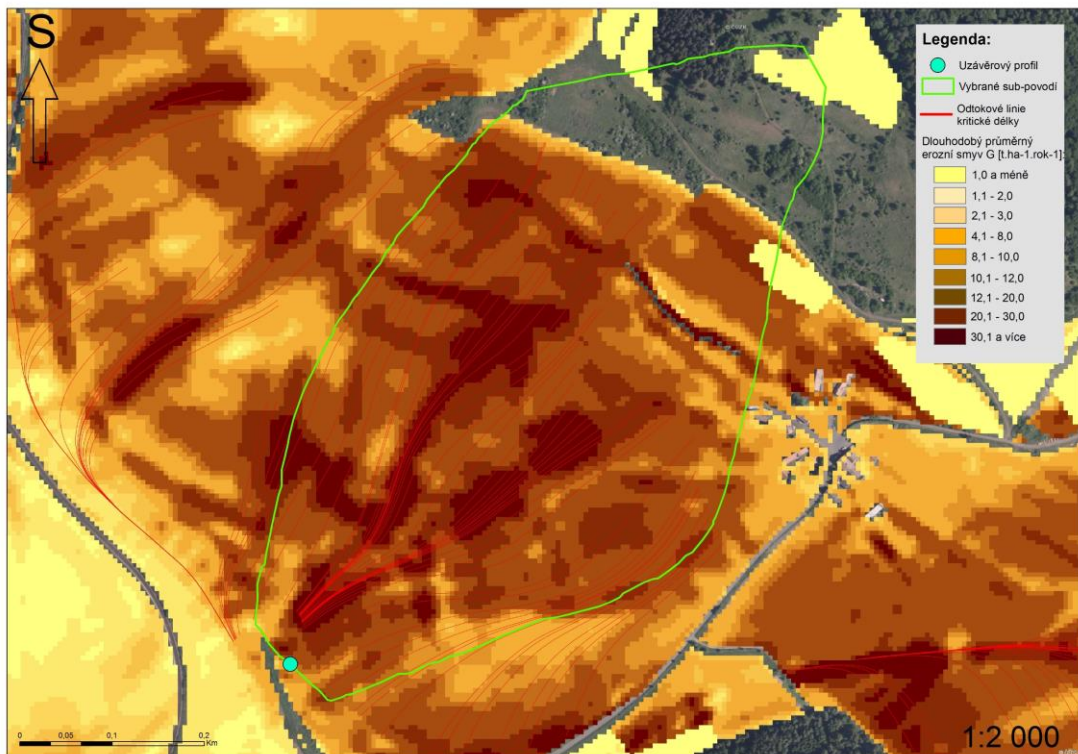


Obr. 16: Mapový výstup – Sklony ve vybraném sub-povodí (vlastní tvorba)

#### 6.4.5 Erozní ohroženost

Toto území na úkor velkého poměru plochy orné půdy oseté poměrně erozně náchylnými plodinami (řepka, pšenice) vykazuje celkem velkou míru erozní ohroženosti, což potvrzují data WMS serveru portálu LPIS – Erozní ohrožení (viz. Obr. 17), jež poukazuje na velkou plochu na tomto sub-povodí přesahující doporučenou dlouhodobou přípustnou ztrátu půdy ( $G_p$ ), která činí více jak  $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  pro půdy středně hluboké až hluboké. Letecké snímky (Ortofoto ČÚZK, ©2018) také poukazují na plochy se znatelným smyvem vrchního horizontu orní vrstvy. Náchylnost k tvorbě eroze potvrzují také rastr odtokových linií s kritickou délkou, jež se kumulují právě v rozpoznatelných údolnicích. Mimo orby po vrstevnicích zde nebylo při terénním průzkumu zaznamenáno žádné patrné protierozní opatření.





Obr. 17: Mapový výstup – Erozní ohroženost ve vybraném sub-povodí (vlastní tvorba)

#### 6.4.6 Přímý odtok

Výpočet přímého odtoku metodou čísel CN křivek vycházel z rozdělení ploch dle čísel CN křivek a ze samotného výpočtu (viz. kap. 5.4). Průměrné číslo CN křivek je 70,55. Celková plocha sub-povodí je 25,9 ha.

Rozdělení ploch dle CN		A	B	C	D
Orná půda	Plocha [ha]		15,76		4,67
	CN	63	74	82	85
Travní porost	Plocha [ha]		4,73		
	CN	30	48	65	73
Lesní porost	Plocha [ha]		0,22		
	CN	36	60	73	79
Celk. plocha [ha]	25,88				
CN průměr	70,55				

Tab. 7: Rozdělení ploch dle CN (vlastní tvorba)

N-let	Srážka Hs [mm]	Přímý odtok Ho [mm]	Celkový odtok [m <sup>3</sup> ]	Koeficient odtoku
2	29,4	0,59	152,0	0,02
5	40,7	3,03	785,3	0,07
10	45,5	4,53	1171,8	0,10
20	52	6,93	1793,3	0,13
50	60	10,39	2689,1	0,17
100	66,3	13,45	3481,8	0,20

Tab.8: Výpočet přímého odtoku pro vybrané sub-povodí č.1

## 7. Výsledky

V této kapitole jsou navržena opatření formou studie, jenž má za úkol nastínit možnosti realizace opatření za účelem zlepšení retence a akumulace na vybraném sub-povodí. Návrh je prezentován formou mapového výstupu s popisem a odůvodněním jednotlivých navržených opatření.

Pro rámcové stanovení plošného rozsahu těchto opatření byl použit výpočet přímého odtoku, kdy je výsledkem zábor zemědělské půdy, jako důležitého ukazatele pro na těchto půdách hospodařící zemědělský subjekt.

### 7.1 Studie možných opatření pro vybrané sub-povodí

Na tomto sub-povodí byla identifikována jak poměrně velká míra erozní ohroženosti, tak zjevná porucha na drenážní soustavě vytvářející plochu trvalého zamokření na jinak obhospodařovaném celku bez momentální možnosti zemědělského využití. Bylo tedy přistoupeno ke studii návrhu kombinace jak protierozních, tak regulačních opatření na stávajícím drenážním systému.

#### 7.1.1 Sběrný průleh

Jako vhodné technické protierozní opatření byl navržen sběrný průleh. Dle reliéfu území, odhadovaným hydro-pedologickým vlastnostem půd a svažitosti území (sběrný průleh by neměl být realizován na sklonech větších než 15 % - Janeček, 2012), bylo tedy přistoupeno k návrhu svodného průlehu v celé příčné délce řešeného sub-povodí (465 m). Návrh sběrného průlehu počítá s přerušením kritických délek odtokových linií a zamezí tak tvorbě povrchového odtoku při srážkových událostech, dále jeho zatravněním dojde také k částečnému zachycení nesených splavenin a živin nesených povrchovým odtokem.

Příčné sklony svahů průlehu by neměli být větší jak 1:5 (až do 1:10 dle sklonu terénu), tím je zajištěna stabilita svahů a také průjezdnost zemědělské mechanizace a případné obdělávání vlastního tělesa průlehu (doporučeno je však osetí TTP). Před samotným průlehem je vhodné doplnit zatravněný pás o šířce alespoň 5 m, toto opatření pomůže zachycovat splavený materiál a podpořit infiltraci. Spodní hranu průlehu je vhodné doplnit předhrázkou o výšce alespoň 0,2 m. Toto opatření zvýší dále retenční objem sběrného průlehu, pro jehož tvorbu může posloužit vytěžená zemina při tvorbě

samotného průlehu. Spodní hrany průlehu je výhodné případně osadit liniovou vegetací, avšak dodržet mírný sklon vzdušného líce za účelem průjezdnosti zemědělské techniky.

Podélný sklon průlehu by měl být veden v co nejmírnějším sklonu, maximálně však 3 %, tak aby docházelo k co největší infiltraci zachyceného odtoku. Zachycená voda, která se neinfiltuje ve sběrném průlehu by byla odváděna dále do dvou zatravněných údolnic. Tím pádem jsou podélné sklony navedeny směrem do těchto údolnic a v místech jejich napojení dojde ke snížení spodní hrany průlehu ve formě bezpečnostních přepadů.

Při zjednodušeném dimenzování průlehu na přímý odtok z výše položené zdrojové plochy na maximální denní srážkový úhrn, lze pro 10 ti-letý (zpravidla nejčastější návrhová srážka pro dimenzování průlehu) návrhový déšť určit zhruba rozměry příčného profilu – šířka 7 metrů a hloubka 0,4 m. Uvažován je tedy parabolický tvar příčného profilu. V níže uvedené tabulce jsou stanoveny parametry příčného profilu pro různé velikosti návrhových srážek.

N-let	Oph celkový odtok [m <sup>3</sup> ]	B	h	S [m <sup>2</sup> ]	L [m]	V [m <sup>3</sup> ]
2	98,7	1,2	0,3	0,2	465	111,6
5	509,8	5	0,35	1,2	465	542,5
10	760,7	7	0,4	1,9	465	868
20	1164,1	8	0,5	2,7	465	1240
50	1745,5	10	0,6	4,0	465	1860
100	2260,2	12	0,65	5,2	465	2418

Tab. 9: Rozměry průlehu pro N-leté max. denní úhrny

### 7.1.2 Zatravněné údolnice

Zatravněním údolnic se zajistí stabilita dráhy soustředěného povrchového odtoku, zabrání se vzniku rýhové eroze a následnému odnosu zeminy do vodních toků nebo vodních nádrží.

Na vybraném území jsou dle vrstevnic i kritických délek odtokových linií patrné dvě údolnice, jenž by bylo vhodné zatravnit, a to v šířce alespoň 10 m. Tyto údolnice by odváděly případný povrchový odtok z výše umístěných sběrných průlehu – zatravněné údolnice by tak plnily funkci svodného prvku, svádějící vodu k povrchové akumulaci a zlepšení její kvality v níže položeném navrženém mokřadu. Pro vlastní zatravnění je vhodné použít např. směs Kostřavy luční, Kostřavy červené,

Jílku vytrvalého a Lipnice luční. Průměrný sklon těchto údolnic je 7,4 % severní a 9,5 % jižní.

### **7.1.3 Zřízení umělého mokřadu**

Jako opatření za účelem akumulace a infiltrace vody je navrženo zřízení umělého mokřadu ve spodní části výše zmíněné oblasti trvalého zamokření s evidentním porušením a vývěry POZ.

Toto opatření by jednak zachycovalo vývěry drenážního a povrchového odtoku, akumulovalo jej a zlepšovalo kvalitu vody na svém výstupu. Umělý mokřad by také plnil funkci stabilního biotopu, zlepšoval místní mikroklíma, zvyšoval výpar a sloužil jako možné stanoviště pro širokou škálu živočichů.

Mokřadní oblast by měla být zahloblena v rozmezí 0,1 až 0,5 m pod stávajícím terénem s určitou mírou variability dna vytvářející členitost. Samotný prostor mokřadu je pak ponechán sukcesním procesům. V úvahu připadá pravidelná údržba spočívající v případném odtěžení přebytečných sedimentů a pravidelné prořezávce.

Spodní část nad uzávěrovým profilem by bylo vhodné opatřit hrázovým tělesem a výpustným zařízením regulující hladinu v mokřadu. V případě výskytu rizikových srážkových událostí by tak mokřad mohl plnit i jistou retenční funkci zabezpečující zachycení alespoň N-20letého návrhového deště. Regulace hladiny také umožňuje ovlivňovat dobu zdržení vody v mokřadu (alespoň 20 hodin), což přispívá k samočisticím funkcím tohoto biotopu (zejména vhodné pro drenážní vody). Ostatní břehové linie by měly mít pozvolný sklon a tvořit tak přechod mezi litorálním pásmem a rostlým terénem.

### **7.1.4 Odstranění a eliminace drénů a zřízení nových výustí**

Pro stabilizaci a odstranění poruchy části POZ je navrženo odstranění svodných a eliminace sběrných drénů. Tento návrh uvažuje s odstraněním části trasy třech svodných drénů, a to přibližně v délce 80, 200 a 70 metrů (odvíjí se od přesné lokalizace drénů) na odtoku z mokřadu. V místě tohoto přerušení následně zřídit vyústění formou přechodu do otevřeného koryta vzniklého namísto trasy svodných drénů (viz. níže). Sběrné drény by měly být odstraněny a vzniklá rýha zasypána vhodnou zeminou, popř. částečně využita při tvorbě otevřených koryt.

Sběrné drény napojené na svodné v trase jejich odstranění by bylo zapotřebí lokálně eliminovat. Funkce sběrných drénů v místě nově zřízeného mokřadu lze

eliminovat biologicky pomocí zarůstání kořenů rostlin. Technicky pak je navrženo eliminovat funkci sběrných drénů v původním terénu instalací zásepek s úplným zamezením průtočnosti profilu či mechanickým přerušením a zasypáním vhodnou zemínou. Toto opatření spočívá v přesné lokalizaci takto eliminovaných drénů.

### **7.1.5 Odkrytí svodných drénů**

V trase zrušení svodných drénů by bylo zřízeno otevřené koryto revitalizačního charakteru navazující na nově zřízené výusti z výše položeného POZ. Dle návrhu zde dochází k zaústění svodného drénu do těchto nově zřízených tras na dvou místech, to je důležitý aspekt při návrhu podélných sklonů a dodržení dostatečné hloubky dna koryta v místě tohoto zaústění, které by mělo být alespoň 0,2 m na dnem koryta. Alternativou je změna podélného sklonu tohoto drénu (z důvodu předejití velkého zahloubení nově zřízeného koryta). Forma tohoto zaústění lze obohatit například pomocí předsazené tůně.

Je vhodné navrhovat tato koryta s mělkým a členitým příčným profilem dovolující přelití větších průtoků, kapacitu koryta a přesnější parametry by poté určovaly bližší výpočty spojené se specifickým odtokem prováděných drenážních odtoků.

Tyto nově vzniklá krátká otevřená koryta by byla zaústěna do výše zmíněného mokřadu a dotovala by jej tak drenážním odtokem. Vhodno je břehovou linii zatravnit v šířce alespoň 2–3 m a osadit břehovou a liniovou vegetací.

### **7.1.6 Doplnění vegetace**

Pro celou revitalizovanou oblast stálého zamokření je navrženo osázení vhodnou vegetací dotvářející přírodní ráz tohoto biotopu a plnící některé ochranné a stabilizační funkce. Především je vhodné osadit břehové linie nově vzniklých vodních prvků.

### **7.1.7 Organizační a agrotechnická opatření**

Potřeba organizačních a agrotechnických opatření patří jak pro území vybraného sub-povodí tak další zemědělské půdní celky v rámci celého povodí. S aplikací výše navržených biotechnických opatření se samozřejmě tato potřeba snižuje, přesto by rozhodně byli vylepšeny srážkoodtokové procesy, zejména tedy z hlediska erozní ochrany.



Mezi organizační opatření vhodná k na tomto území zajisté patří zařazování bezorebně setých plodin a rozmístění plodin dle erozní ohroženosti, to vše nejlépe v kombinaci s pásovým střídáním plodin. Dále by bylo vhodné v drahách soustředěného odtoku a podél vodních toků a nádrží zřizovat ochranné pásy zatravnění a vytvářet tak takzvanou *buffer zónu*. V neposlední řadě by pomohla fragmentace těchto velkých půdních celků. Jde zejména o zkrácení délky pozemku po spádnici, toto se týká území se sklonitostí více jak 3 %. S fragmentací souvisí také zřizování mezí a výsadba liniové vegetace, tyto prvky jasně na tomto území chybí.

Účinnými agrotechnickými opatřeními při pěstování řepky ozimé je zejména setí do mulče, právě když předplodinou je obilnina (v tomto případě pšenice), dá se využít rozdrčené slámy a její rozptýlení po povrchu.

### **7.1.8 Zábory zemědělské půdy**

V této podkapitole jsou uvedeny uvažované zábovy zemědělské půdy. Nutno podotknout že v návrhu byla řešena již existující oblast trvalého zamokření, a tak nelze úplně například zřízení umělého mokřadu nebo otevřená koryta sběrných drénů považovat za přímý zábor ZPF.

Sběrný průlehy N-10 .... 0,33 ha

Zatravnění údolnic ... 0,25 ha

Umělý mokřad ... 0,24 ha

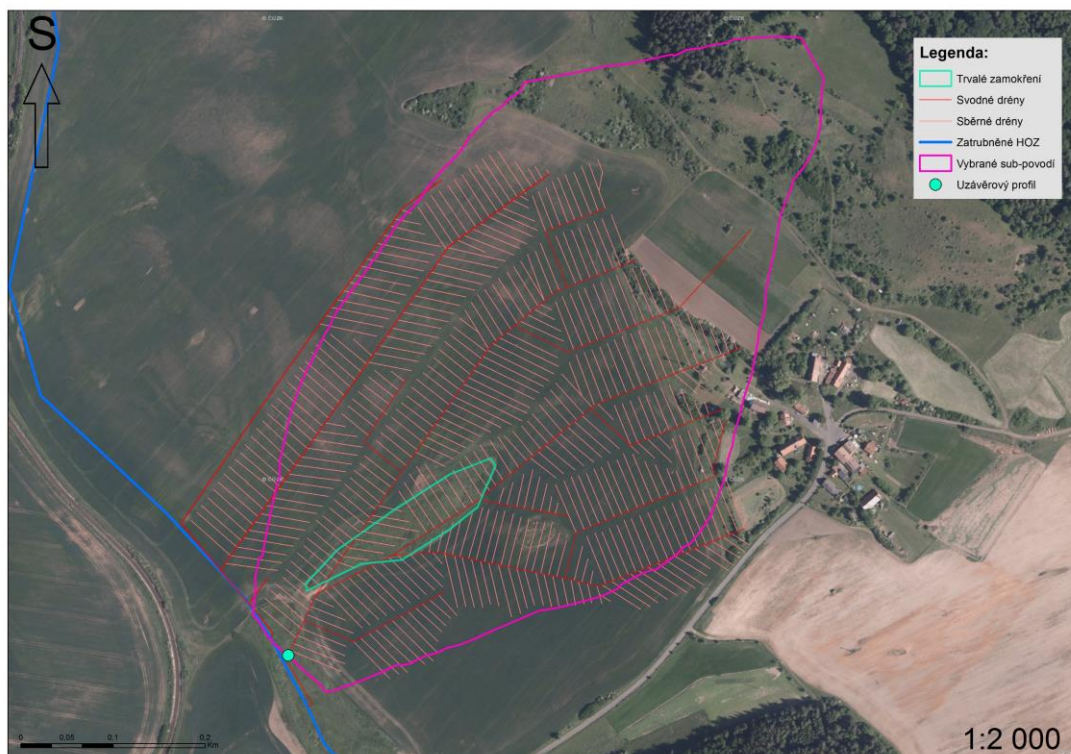
Otevřená koryta ... 0,27 ha

Ochranné pásy TTP ... 0,47 ha

Celkem ... 1,56 ha (6 %) z celkové plochy sub-povodí 25,9 ha

### **7.1.9 Majetkové poměry a územní limity**

Všechny parcely dotčené uvedeným návrhem jsou ve vlastnictví již výše zmíněné zemědělské společnosti Statek Chyšě s.r.o. či ve vlastnictví jednatelů této společnosti. Návrhem dále nejsou dotčena žádná ochranná pásma veřejné infrastruktury či jakoukoliv formou chráněné krajinné prvky.



Obr. 18: Mapový výstup – Stávající stav vybraného sub-povodí (vlastní tvorba)



Obr. 19: Mapový výstup – Návrh opatření ve vybraném sub-povodí (vlastní tvorba)

## 8. Diskuze

Z hlediska současné problematiky je důležité přemýšlet a zabývat se nad postupy, jak zlepšovat stav krajiny, zejména zemědělského půdního fondu. Rozhodně je zapotřebí oslabit monopol a volné ruce velkých zemědělských subjektů a vytyčit cíle k nastolení udržitelného rozvoje v odvětví zemědělské výroby. Zjevná je pak tato problematika v dotační politice, kdy finanční podporu prokazatelně získávají právě i velké subjekty provozující konvenční výrobu bez jakýchkoliv ohledů na udržitelnost jejich činnosti. Negativním aspektem samozřejmě nadále v této souvislosti zůstává poměr vlastněné a pronajímané půdy, kdy logicky hospodařící subjekt neprojevuje dostatečný zájem o udržitelnost hospodaření na pronajatém majetku. Zde musí jednoznačně zakročit státní aparát, přičemž prokazatelně nastávající změna klimatických poměrů tomuto jednání může nahrávat.

Je samozřejmě pochopitelné, že úhly pohledu jsou na realizaci opatření uvedených v této práci různé. Zejména se jedná o způsobený zábor zemědělské půdy a s ním vzniklé nejen ekonomické ztráty ze samotného odebrání plochy z příslušného ZPF, ale také určité narušení zaběhlého hospodaření. Avšak je velice důležité právě fragmentovat velké zemědělské půdní celky, stejně tak jako pracovat s nepřiměřenou funkcí odvodňovacích zařízení. A tím pádem je důležité se snažit prezentovat tato opatření jako investici zemědělce do svého majetku (v případě vlastnictví řešené půdy). V případě pronajatých pozemků je toto spíše na bedrech státu a v této věci činných orgánů.

Je důležité také zmínit, že opatření na drenážních systémech mají potenciál nejen vylepšovat kvalitu vody v celém komplexu říční sítě, ale i poskytnout možnosti z hlediska předcházení agronomického sucha a zajišťování půdní vláhy. Z tohoto pohledu by tato opatření měla být realizována ze strany zemědělce. Podobně se tak dá mluvit i o protierozní ochraně z hlediska udržitelné kvality zemědělské půdy.

Shodně se k řešení nedostatečné retence a akumulace na zemědělském půdním fondu vyjadřuje také Kulhavý, Z. (2016), tak Kvítek, T. et al. (2017) či Soukup, M. et al. (2008), kdy základním principem je potřeba zachytit vodu již na zemědělském pozemku, nejlépe v horních částech řešeného sub-povodí. Toho lze docílit za pomoci záchytných prvků liniového charakteru (příkopy, průlehy, travní pásy, meze) nebo pomocí retenčních a sedimentačních nadržů, hrázek, přehrážek a tůní. Tato opatření

pak musí poskytnout potřebnou dobu retence zachycené vody a umožnit sedimentaci a infiltraci.

Co se týče popisu vybraných opatření za účelem regulace drenážního odtoku a protierozních prvků, práce nepokrývá všechna možná opatření, jenž se v praxi realizují a existuje více možných přístupů právě za účelem retence a akumulace vody v krajině spolu s protierozní ochranou. Ucelený komplex opatření poskytuje například Kulhavý, Z. (2015) či katalogové listy Povodí Vltavy, s.p (2017). Komplexní soubor opatření za účelem protierozní ochrany pak bezpečně pokrývá například Janeček, M. (2012).

Dále je zřejmé, že studie návrhu opatření ve vybraném sub-povodí by pro svou případnou realizaci vyžadovala podrobnější hydrotechnické výpočty. Pro přesnější určení erozní ohroženosti a návrhu biotechnických protierozních prvků by mělo předcházet určení ohroženosti půdy vodní erozí pomocí rovnice USLE s následným posouzením účinnosti navrženého opatření (Janeček, 2012). Návrh sběrného průlehu by pak pro přesné stanovení svých parametrů vyžadoval výpočet kulminačního průtoku s posouzením kapacity (Kadlec, V. et al., 2014). Pro přesnější nadimenzování kapacity koryt navržených namísto porušené části POZ by bylo zapotřebí vypočítat specifický průtok nadřazené části drenážní soustavy v návaznosti na hydropedologické vlastnosti odvodňovaných půd (Štibinger J. et Kulhavý Z., 2010). Tyto výpočty byly však nad rámec stanoveného rozsahu práce.

## 9. Závěr

Tato diplomová práce ozřejmuje problematiku nedostatečné aplikace infiltračních procesů v české krajině. Dále pak metodicky popisuje způsob, jak analyzovat některé základní údaje o vybraném území. Tím bylo například vymezení sub-povodí či práce s BPEJ za účelem výpočtu přímého odtoku metodou CN nebo interpolace srážkových dat.

Práce ukazuje, jakým způsobem analyzovat území a odhalit tak nejvíce ohrožené území z hlediska nadměrné eroze a staveb odvodnění. Mimo jiné je pro toto posouzení a utvoření si co nejpřesnějšího obrazu zájmového území důležitý terénní průzkum a jak se ukázalo rozhodně konzultace se zemědělci.

Jako názorný příklad použití výše uvedených opatření a metodických postupů byla vyhotovena studie možných opatření na vybraném sub-povodí. Výsledná forma studie pro relativně malé sub-povodí slouží právě například zemědělci (jenž je v tomto případě také vlastníkem řešené půdy) k představě, jakým způsobem chránit své pozemky a zároveň přispívat ke kvalitě vod a zlepšení místního mikroklima.

Závěrem je dobré zdůraznit potřebu aplikace opatření za účelem retence a akumulace vod v české kulturní krajině a nastavení podmínek pro zachování udržitelnosti vztahu člověka k přírodě, zejména zemědělské půdě. Tato potřeba se dá s jistotou považovat za veřejný zájem nás všech. Doufejme tedy, že tento zájem bude nadále nabírat na síle.

## 10. Zdroje

Beran, A., Hanel, M. a Nesládková, M., 2016: Změny hydrologické bilance způsobené vlivem klimatických změn na území Karlovarského kraje. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, roč. 58, č. 5, str. 20–25.

Česká geologická služba, 2018: Mapové aplikace – Půdní mapa 1:50 000 (online)  
[cit. 22.9.2018], dostupné z <<https://mapy.geology.cz/pudy> >

Český úřad zeměměřičský a katastrální, 2018: Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (online)  
[cit. 21.9.2018], dostupné z <<https://geoportal.cuzk.cz>>

Český úřad zeměměřičský a katastrální, 2018: Prohlížeč služby – WMS (online)  
[cit. 21.9.2018], dostupné z <<https://geoportal.cuzk.cz/> >

Čmelík, M. et al., 2015: Rekonstrukce staveb odvodnění s uplatněním principu regulace drenážního odtoku, VÚMOP, Praha, 58 s.

Demek, J., 1987: Hory a nížiny. Zeměpisný lexikon ČSR. Academia, Praha, 584 s.  
ESRI Support Center, 2018: Hydrology. (online)  
[cit. 22.9.2018], dostupné z <<http://pro.arcgis.com/>>

Fučík, P. et al., 2016: Zemědělské hospodaření a ochrana životního prostředí – jak to vidí zemědělci. Vodní hospodářství, roč. 66: 1-5.

Fučík, P., Kulhavý, Z., 2013: Aktuální problémy zemědělského odvodnění. Informační listy č. 38, roč. 19, duben, VÚMOP, Praha, str. 11-18.

Janeček M. et. al., 2012: Ochrana zemědělské půdy před erozí. České zemědělská univerzita, Praha, 113 s.

Jedlička, J., Štych, P. Hydrologické modelování v programu ArcGIS. Praha: CITT Praha Akademie kosmických technologií, oblast Galileo, GMES, 2007. 62 s

Jenson, S. K., a J. O. Domingue, 1988: Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54 (11): 1593–1600

Just T., et. al., 2003: Revitalizace vodního prostředí. Agentura ochrany přírody České republiky, Praha, 144 s.

Kadlec V. et al., 2014: Navrhování technických protierozních opatření. *Metodika*. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. Praha, 100 s.

Katalog listů opatření, 2017. Povodí Vltavy s.p., Praha.

Katalog opatření – katalogové listy, 2005. Ministerstvo zemědělství, Praha.

Kovář P. a Štibinger J. et al., 2008: Metodika návrhu a výstavby optimální varianty protipovodňových a protierozních opatření (PPPO) pro zmírnění extrémních hydrologických jevů – povodní a sucha v krajině, Česká zemědělská univerzita, Praha, 77 s.

Křikavová L., 2009: Interpolace bodových dat v GIS. Bakalářská práce, České vysoké učení technické, Fakulta stavební, Praha, 55 s.

Křovák F a Kovář, P. Possibilities to increase ecological stability, retention and accumulation of water in landscape = Možnosti zvyšování ekologické stability, retence a akumulace vody v krajině. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Lesnická fakulta, Katedra biotechnických úprav krajiny, 2002. ISBN 80-213-1006-5.

Kulhavý F., 2016: Analýza proveditelnosti některých opatření k ochraně krajiny. *Vodní hospodářství*, roč. 66, 9: 24-27.

Kulhavý Z. a Pelíšek I., 2017: Postupy pro dosažení udržitelnosti hydromelioračních opatření v podmínkách České republiky. *Metodika*. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd. Praha, 90 s.

Kulhavý Z., Štibinger J., Křovák F., et. al., 2015: Opatření k posílení infiltračních procesů v krajině. Metodika. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, 236 s.

Kulhavý, Z. et al., 2007: Zemědělské odvodnění drenáží – racionalizace využívání, údržby a oprav, VÚMOP, Pardubice, 86 s.

Kulhavý, Z. et al., 2011: Metodická příručka pro žadatele OPŽP, VÚMOP, Praha, 27 s.

Kulhavý, Z., 2010. Technická opatření pro zlepšení vodního režimu krajiny : předložený soubor vybraných vědeckých a odborných publikací. Disertační práce. Praha.

Kulhavý, Z., 2016: Potenciál staveb zemědělského odvodnění s ohledem na požadavky zvyšování retence a akumulace vody v povodí. Vodohospodářské stavby – Stavební kniha, ČKAIT, Praha, str. 80-83.

Kvítek T. et al., 2016: Stanovisko k některým názorům a současným problémům vodního režimu české krajiny – stanovisko Odboru vodního hospodářství České akademie zemědělských věd (online)

[cit. 22.2.2018], dostupné z <<http://vodnihospodarstvi.cz/stanovisko-k-nekterym-nazorum-a-soucasnym-problemum-vodniho-rezimu-ceske-krajiny/>>

Kvítek, T. et al., 2012: Metodika modelování vlivu využívání půdy v geomorfologických zónách na odtok vody a koncentraci dusičnanů, VÚMOP, Praha, 89 s.

Kvítek, T., 1997. Udržení, zlepšení a zakládání druhově bohatých luk. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha.



Kvítek, T., 2015: Povodně, sucho, eroze, jakost povrchové a podzemní vody, hladiny podzemních vod a společný ukazatel – malá retence vody v krajině (online) [cit 2.3.2018]. dostupné z <<https://www.researchgate.net/>>

Kvítek, T. et al., 2017: Retence a jakost vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce. Povodí Vltavy s.p. Praha, 268 s.

Lipl, Jan, 2009. Hydrologické modelování v GIS. Diplomová práce. JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH. Zemědělská fakulta, Č. Bud.

Martinovský, P., 2009: Sekuritizace nedostatku vody v České republice, Univerzita obrany, Brno, 25 s.

Ministerstvo zemědělství, 2018: Veřejný registr půd LPIS (online) [cit. 25.9.2018], dostupné z <<http://eagri.cz/public/app/lpisext/lpis/verejny2/plpis>>

Ministerstvo zemědělství, 2018a: Historie plánování v oblasti vod (online) [cit. 3.12.2018], dostupné z <<http://eagri.cz/public/web/mze/voda/planovani-v-oblasti-vod/historie-planovani/statni-vodohospodarsky-plan-republiky.html>>

Nocarová H., 2012: Vliv drenážních systémů na vodní režim povodí. Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, České Budějovice. 47 s. (bakalářská práce).

Novotný I. et al., 2014: Příručka ochrany proti vodní erozi, Ministerstvo zemědělství, Praha, 73 s.

Novotný I., et. al., 2017: Příručka ochrany proti erozi zemědělské půdy. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. Praha. 88 s.

Povodí Vltavy s.p., 2018: Stavy a průtoky na vodních tocích (online) [cit. 24.9.2018], dostupné z: <<http://www.pvl.cz/portal/SaP/cz/pc/Mereni.aspx?id=STZC&oid=3>>

Quitt E., 1971: Klimatické oblasti Československa. Academia, Praha, 73s.

Ředinová J., Pavlásek J., Máca P., 2009: Hydrologie – Návody ke cvičením, Česká zemědělská univerzita, Praha, 78 s.

Soukup M., et. al., 2008: Biotechnická opatření v krajině pro zvýšení retence vody na odvodněných pozemcích v pramenných oblastech. Metodika. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, 82 s.

Státní fond životního prostředí ČR, 2018: Operační program Životního prostředí (online) [cit. 4.12.2018], dostupné z <<http://www.opzp.cz/o-programu/>>

Šimíček V., 1999: Břehové a doprovodné porosty vodních toků – součást lužních ekosystémů. Agrospoj, Praha, 102 s.

Štibinger, J. a Kulhavý, Z., 2010: Úpravy vodního režimu půd odvodněním. Monografie. Česká zemědělská univerzita. Praha. 108s.

Tlapáková, L., Čmelík, M., Kulhavý, Z., 2015: Příklady z praxe provozu a údržby staveb zemědělského odvodnění, VÚMOP, 15 s.

TNV 75 4922: Údržba odvodňovacích zařízení. Novela I. Ministerstvo zemědělství, Praha, 2016, 22 s.

Vašků, Z., 2011: Zlo zvané meliorace, Vesmír 90, 440, 2011/7.

Vaššová D. et Kovář P., 2011: Program „*DES\_RAIN*“. Česká zemědělská univerzita. Praha.

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2018: eKatalog BPEJ (online) [cit. 22.9.2018], dostupné z <https://bpej.vumop.cz>

Výzkumný ústav vodohospodářský, v.v.i. – Odbor ochrany vod a informatiky, 2017: Charakteristiky toků a povodí ČR (online) [cit. 4.11.2018], dostupné z <<http://www.dibavod.cz/24/charakteristiky-toku-a-povodi-cr.html>>

# 11. Přílohy

HPJ (2. a 3. č. BPEJ)	Hydrologická půdní skupina	HPJ (2. a 3. č. BPEJ)	Hydrologická půdní skupina	HPJ (2. a 3. č. BPEJ)	Hydrologická půdní skupina
1	B	27	B	53	D
2	B	28	B	54	D
3	C	29	B	55	A
4	A	30	B	56	B
5	A	31	A	57	C
6	C	32	A	58	C
7	D	33	B	59	D
8	B	34	B	60	B
9	B	35	B	61	D
10	B	36	B	62	C
11	B	37	B	63	D
12	B	38	B	64	C
13	B	39	C	65	C
14	B	40	B	66	D
15	B	41	B	67	D
16	B	42	B	68	D
17	A	43	B	69	D
18	B	44	C	70	D
19	B	45	C	71	D
20	D	46	C	72	D
21	A	47	C	73	D
22	B	48	C	74	D
23	C	49	D	75	C
24	B	50	C	76	D
25	B	51	C	77	C
26	B	52	C	78	C

Příloha č. 1 - Tabulka hydrologických skupin půd podle BPEJ (Janeček, 2012).

Využití půdy	Způsob obdělávání	Hydrologické podmínky	Čísla odtokových křivek – CN podle hydrologických skupin půd			
			A	B	C	D
Úhor, čerstvě kypřený	Pz	Šp	77	86	91	94
		Dp	76	85	90	93
			74	83	88	90
Širokořádkové plodiny (okopaniny)	Př	Šp	72	81	88	91
	Př	Db	67	78	85	89
	Př + Pz	Šp	71	80	87	90
	Př + Pz	Db	64	75	82	85
	Vř	Šp	70	79	84	88
	Vř	Db	65	75	82	86
	Vř + Pz	Šp	69	78	83	87
	Vř + Pz	Db	64	74	81	85
	Vř + Pr	Sp	66	74	80	82
	Vř + Pr	Db	62	71	78	81
	Vř + Pr + Pz	Šp	65	73	79	81
	Vř + Pr + Pz	Db	61	70	77	80
Úzkořádkové plodiny (obilniny)	Př	Šp	65	76	84	88
	Př	Db	63	75	83	87
	Př + Pz	Šp	64	75	83	86
	Př + Pz	Db	60	72	80	84
	Vř	Šp	63	74	82	85
	Vř	Db	61	73	81	84
	Vř + Pz	Šp	62	73	81	84
	Vř + Pz	Db	60	72	80	83
	Vř + Pr	Sp	61	72	79	82
	Vř + Pr	Db	59	70	78	81
	Vř + Pr + Pz	Šp	60	71	78	81
	Vř + Pr + Pz	Db	58	69	77	80
Víceleté píceřiny, luštěřiny	Př	Šp	66	77	85	89
	Př	Db	58	72	81	85
	Vř	Šp	64	75	83	85
	Vř	Db	55	69	78	83
	Vř + Pz	Šp	63	73	80	83
	Vř + Pz	Db	51	67	76	80
Pastřiny s pokryvem	< 50 %	-	68	79	86	89
	50 - 75 %	-	49	69	79	84
	> 75 %	-	39	61	74	80
Louky	Sklizené	-	30	58	71	78
Křoviny s pokryvem	< 50 %	-	48	67	77	83
	50 - 75 %	-	35	56	70	77
	> 75 %	-	30	48	65	73
Sady se zatravněným mezřadím		Šp	57	73	82	86
		Stř	43	65	76	82
		Db	32	58	72	79
Lesy		Šp	45	66	77	83
		Stř	36	60	73	79
		Db	30	55	70	77
Zemědělské dvory		-	59	74	82	86
Komunikace s přikopy	dlážděné, živěčné, makadamové, štěrkové,		83	89	92	93
	nezpevněné, hliněné		76	85	89	91
			72	82	87	89
Nepropustné plochy			98	98	98	98

Příloha č.2 - Průměrná čísla odtokových křivek CN pro IPS II (Janeček, 2012).





Příloha č.3: Fotografie – Podpovrchový vývěr v trvale zamokřené oblasti vybraného sub-povodí (datum pořízení: květen 2018)



Příloha č.4: Fotografie – Trvale zamokřená oblast s detailem porušeného POZ (datum pořízení – květen 2018)





Příloha č.5: Fotografie – Stávající soutoková a revizní šachta pod uzávěrovým profilem vybraného sub-povodí (datum pořízení: květen 2018)



Příloha č.6: Fotografie – Vyústění POZ do zatrubněného HOZ (datum pořízení: květen 2018)