

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra biotechnických úprav krajiny



Diplomová práce

**Návrh souboru vodohospodářsky účinných opatření v dílčím
povodí Obrtky (okres Litoměřice)**

Bc. Daniel Matuška

© 2020 ČZU v Praze

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Daniel Matuška

Krajinné inženýrství
Voda v krajině

Název práce

Návrh souboru vodohospodářsky účinných opatření v dílčím povodí Obrtky (okres Litoměřice).

Název anglicky

Design of a water-efficient measures in the subbasin Obrtka (Litoměřice district).

Cíle práce

Cílem diplomové práce je pro dílčí povodí Obrtky (přítok Úštětského potoka v povodí Labe), kriticky hodnocené z hlediska záporné vodohospodářské bilance, provést územní analýzy, umožňující identifikovat kritické prvky území a navrhnout pro ně vhodná opatření, zvyšující retenci a akumulaci vody v krajině. Předmětem posouzení budou stávající drobná vodohospodářská díla i zemědělská a lesnická praxe.

Metodika

Pro vybranou oblast budou analyzovány přírodní a hospodářské poměry a budou popsány faktory, ovlivňující tvorbu odtoku i distribuci vody v krajině včetně místně vhodných nástrojů k její akumulaci (povrchové i podzemní) a k regulaci vybraných složek odtoku. Následně budou odhadnuty limity zájmového území a v nejkritičtějších částech povodí budou navrženy systémy zlepšující vodohospodářskou bilanci území. Zohledněny budou předpokládané dopady probíhající klimatické změny na stav současný a na situaci po realizaci navržených opatření.

Doporučený rozsah práce

70-100 stran včetně mapových příloh

Klíčová slova

vodohospodářská bilance, hydrologická bilance, retenční a akumulace vody, kategorizace území

Doporučené zdroje informací

KULHAVÝ Z., a kol. (2015): Opatření k posílení infiltračních procesů v krajině. Certifikovaná metodika. VÚMOP, v.v.i., ČZU v Praze, Agroprojekce Litomyšl, s.r.o., Aquion, s.r.o., 235 stran A 4, ISBN 978-80-87361-52-8

KVÍTEK T. a kol., (2018): Retenční a jakost vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce. Povodí Vltavy s.p., 488 stran, ISBN 978-80-270-5244-8

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. Ing. Zbyněk Kulhavý, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra biotechnických úprav krajiny

Elektronicky schváleno dne 20. 11. 2019

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 25. 11. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 06. 04. 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci " Návrh souboru vodohospodářsky účinných opatření v dílčím povodí Obrtky (okres Litoměřice)" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 29.6.2020

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval především svému vedoucímu doc. Ing. Zbyňku Kulhavému CSc. za jeho čas, ochotu, opravu gramatiky, odborné vedení a cenné rady, které mi pomohly tuto práci zkompletovat. Poděkování také patří mé rodině a přítelkyni, bez kterých bych tuto práci nemohl dokončit.

Návrh souboru vodohospodářsky účinných opatření v dílčím povodí Obrtky (okres Litoměřice)

Abstrakt

Diplomová práce řeší aktuální problém záporné vodohospodářské bilance v povodí Obrtky. Nejprve jsou popsány základní definice a oblasti, jimiž se práce zabývá. Dále jsou uvedeny principy retence a akumulace vod při eliminaci hydrologických extrémů a také faktory ovlivňující tvorbu odtoku a distribuci vody v krajině s rozdělením podle typu krajinného pokryvu. Před započítáním vlastního průzkumu oblasti jsou představena opatření, směřující ke zvýšení retence a akumulace vody v krajině. Vlastní práce obsahuje podrobný popis povodí Obrtky. Pomocí softwaru GIS byly provedeny územní analýzy identifikující kritické oblasti, pro které jsou navržena vhodná opatření zlepšující vodohospodářskou bilanci území. Na závěr je posouzena účinnost jednotlivých opatření a poté uvedeny pozitivní efekty celkového komplexu opatření.

Klíčová slova: vodohospodářská bilance, hydrologická bilance, retence a akumulace vody, kategorizace území

Design of a water-efficient measures in the subbasin Obrtka (Litoměřice district).

Abstract

This diploma's thesis deals with the current problem of negative water balance in the Obrtka river basin. Firstly, the basic definitions and topics of the thesis are described. Furthermore, the principles of water retention and accumulation in the elimination of hydrological extremes are presented, as well as factors influencing runoff generation and water distribution in the landscape, have been divided according to the type of landscape cover. Before starting the actual survey of the area, measures aimed at increasing the retention and accumulation of water in the landscape were presented. The thesis contains a detailed description of the Obrtka river basin. A territorial analysis has been carried out using GIS software to identify critical areas for which appropriate measures are proposed to improve the water balance of the area. Finally, the effectiveness of individual measures has been assessed and the positive effects of the overall set of measures are listed.

Keywords: water management balance, hydrological balance, water retention and accumulation, categorization of territory

Obsah

1	Úvod	12
2	Cíl práce a metodika	13
2.1	Cíl práce	13
2.2	Metodika	13
3	Teoretická východiska	14
3.1	Úvod do problematiky.....	14
3.2	Související základní terminologie	15
3.2.1	Hydrologie	15
3.2.2	Hydropedologie.....	15
3.2.3	Vodní hospodářství	15
3.3	Principy retence a akumulace vod při eliminaci hydrologických extrémů	16
3.4	Faktory ovlivňující tvorbu odtoku a distribuci vody v krajině	16
3.4.1	Lesní krajina.....	18
3.4.1.1	Vliv druhové skladby na retenci vody.....	20
3.4.2	Zemědělská krajina	21
3.4.3	Zastavěné území.....	21
3.5	Faktory ovlivňující distribuci vody v půdě, metody měření	22
3.5.1	Kategorie půdní vody.....	22
3.5.2	Retenční schopnost půdy	23
3.5.3	Infiltrace, propustnost	25
3.6	Typy přírodě blízkých opatření s vodohospodářským účinkem	27
3.7	Typy agrotechnických a organizačních opatření.....	31
3.8	Typy technických opatření s vodohospodářským účinkem	34
3.8.1	Odvodnění a závlahy.....	35
3.8.2	Opatření k regulaci odtoku vod.....	37
3.8.3	Protierozní opatření.....	39
3.8.4	Opatření ke zvýšení infiltrace	40
4	Vlastní práce	41
4.1	Popis zájmového území.....	41
4.1.1	Vymezení dle hydrologických a územně-správních kritérií	42
4.1.2	Způsoby zemědělského hospodaření	42
4.1.3	Způsoby lesního hospodaření.....	44
4.1.4	Existující vodohospodářské systémy	44
4.2	Přírodní podmínky	48
4.2.1	Geomorfologie	48

4.2.2	Klimatické podmínky.....	48
4.2.3	Krajinný pokryv	49
4.2.4	Geologie	50
4.2.5	Pedologie.....	51
4.3	Metodika	52
4.3.1	Realizace přípravných operací v GIS.....	52
4.3.2	Tvorba povodí nižšího řádu	52
4.3.3	Stanovení parametrů	53
4.3.4	Statistické operace (volba hranic tříd a sestavení histogramu četností) 54	
4.4	Klasifikační systémy pro výběr a zacílení navržených opatření.....	58
4.4.1	Vstupní podklady a data.....	58
4.4.2	Výsledky dílčích analýz provedených v GIS.....	58
4.4.3	Výsledná klasifikace povodí Obrtky.....	65
4.5	Koncepce návrhu opatření.....	68
4.5.1	Typy navržených opatření.....	68
4.5.2	Posouzení účinnosti navržených opatření	72
4.5.3	Efekty navrženého komplexu opatření	75
5	Výsledky a diskuse.....	76
6	Závěr	78
7	Seznam použitých zdrojů.....	79
8	Přílohy	85

Seznam obrázků

Obrázek 1	Retenční vodní kapacita půd ČR	25
Obrázek 2	Infiltrace a propustnost půd ČR.....	27
Obrázek 3	Revitalizace toku v Bavorsku	29
Obrázek 4	Revitalizovaný tok s plochými, bezpečnými sklony svahu koryta.....	30
Obrázek 5	Typy bočních tůní vlevo, tvorba klků vpravo	31
Obrázek 6	Vhodná realizace organizačních opatření.....	32
Obrázek 7	Příklad agrotechnického opatření - posklizňové zbytky Kukuřice Seté.	33
Obrázek 8	Vodní eroze způsobena vývěrem drenážních vod v místě poškození svodného drénu	37
Obrázek 9	Schéma suchého poldru	38
Obrázek 10	Schéma suchého poldru	38

Obrázek 11 Hydrologické členění.....	42
Obrázek 12 Pozemky určené k plnění funkcí lesa	44
Obrázek 13 Vodohospodářská situace povodí Obrtky.....	47
Obrázek 14 Reliéf povodí Obrtky	48
Obrázek 15 Klimatické regiony ČR dle Quittovi klasifikace	49
Obrázek 16 Geologická mapa (1:50 000)	51
Obrázek 17 Půdní typy povodí Obrtky	51
Obrázek 18 Výsledná klasifikace povodí Obrtky	67
Obrázek 19: Povodí Obrtky	85
Obrázek 20: Subpovodí č. 1	85
Obrázek 21 Subpovodí č. 2	86
Obrázek 22 Subpovodí č. 3	86
Obrázek 23 Subpovodí č. 4	86
Obrázek 24: Subpovodí č. 5	87
Obrázek 25: Subpovodí č. 6	87
Obrázek 26: Subpovodí č. 7	88
Obrázek 27: Subpovodí č. 8	88
Obrázek 28: Subpovodí č. 9	89
Obrázek 29: Subpovodí č. 10	89
Obrázek 30: Subpovodí č. 11	90
Obrázek 31: Subpovodí č. 12	90
Obrázek 32: Subpovodí č. 13	91
Obrázek 33: Subpovodí č. 14	91
Obrázek 34: Subpovodí č. 15	92
Obrázek 35: Návrh komplexu opatření	93
Obrázek 36: Zalesnění, zasakovací pás + retenční hrázky.....	93
Obrázek 37: Polní cesta s protierozní funkcí, terasy.....	94
Obrázek 38: Liniová zeleň, svodné a záchytné průlehy, polosuchá nádrž, zatravnění, svodný příkop.....	94
Obrázek 39: Zasakovací pás	95
Obrázek 40: Terasy, liniová zeleň.....	95

Obrázek 41: Svodné příkopy a průlehy, záchytný průleh, mokřad, retenční hrázky

.....96

Seznam tabulek

Tabulka 1 Třídy propustnosti půdního profilu (dle metodiky PEO).....	26
Tabulka 2 Krajinný pokryv povodí Obrtky.....	49
Tabulka 3 Hydrologická charakteristika zemědělských půd ve vztahu k BPEJ dle infiltrace a retence.....	57
Tabulka 4 Podklad pro výpočet indexu zornění.....	58
Tabulka 5 Stanovení intervalů indexu zornění	59
Tabulka 6 Klasifikace indexu zornění	60
Tabulka 7 Indexy infiltrace jednotlivých subpovodí	61
Tabulka 8 Stanovení intervalů indexu infiltrace	62
Tabulka 9 Klasifikace indexu infiltrace	62
Tabulka 10 Indexy sklonitosti jednotlivých subpovodí	63
Tabulka 11 Stanovení intervalů indexu sklonitosti.....	64
Tabulka 12 Klasifikace indexu sklonitosti.....	65
Tabulka 13 Výsledná klasifikace povodí Obrtky.....	66
Tabulka 14: Nástroj hodnocení efektivnosti opatření	74

Seznam grafů

Graf 1 Krajinný pokryv povodí Obrtky	50
Graf 2 Histogram četnosti indexu zornění	59
Graf 3 Histogram četnosti indexu infiltrace.....	61
Graf 4 Histogram četnosti indexu sklonitosti	64

Seznam rovnic

Rovnice 1 Výsledná klasifikace povodí Obrtky	56
--	----

1 Úvod

Voda je základem života na zemi. Pro lidský život se řadí do esenciálních prvků, bez kterých bychom nedokázali přežít. Zaujímá zvláštní a jedinečné místo mezi jinými přírodními zdroji. Její kvantita či kvalita se mění vlivem nejen přírodních procesů, ale i vlivem člověka. Znečištěná voda, její přebytek či nedostatek působí na Zemi smrt, nemoci a defekty životního prostředí. Například již před více než třemi tisíci lety, civilizace v Údolí Indu zanikla z důvodu vykácení lesa. Tento zásah do přírodního ekosystému zcela změnil krajinný ráz natolik, že vodní režim povodí zdecimoval tamní obyvatelstvo (Ponting, 1991). Během posledních let se ukázalo, že vodní zdroje jsou omezené a měly by se racionálně využívat za účelem rozvoje a zdraví lidské společnosti, naplnění požadavků, jak současné tak budoucí generace a udržení kvalitního životního prostředí (Shiklomanov, 2003).

Dlouhodobým globálním pozorováním průměrných teplot vzduchu a oceánů, rozsáhlého tání sněhu či ledu, nebo zvyšování hladin moře, je už teď zřejmé, že naše planeta se bezesporu otepluje.

Změna klimatu je jedním z hlavních faktorů, jež utváří prostředí současného i budoucího života na zemi. Od toho se odvíjí závažnost změny klimatu jako politického problému na globální, regionální i národní úrovni. Vodní hospodářství je oblast, která činností klimatických změn může být nejvíce zasažena, a proto by mu měla být věnována podstatná část pozornosti. Klimatická změna a její důsledky pro jednotlivé složky Země včetně vodních zdrojů představuje v posledních několika letech nemalou hrozbu. Jedná se především o stále častější výskyt povodní a extrémně suchých období. Zvyšující se frekvence hydrologických extrémů, vyžaduje naléhavou potřebu řešení v podobě protipovodňové ochrany a na druhé straně extrému opatření ke zvýšení vodnosti v periodách minimálních průtoků (Metelka a Tolasz, 2009).

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Cílem diplomové práce je pro dílčí povodí Obrtky (přítok Úštěckého potoka v povodí Labe), kriticky hodnocené z hlediska záporné vodohospodářské bilance, provést územní analýzy, umožňující identifikovat kritické prvky území a navrhnout pro ně vhodná opatření, zvyšující retenci a akumulaci vody v krajině. Předmětem posouzení budou stávající drobná vodohospodářská díla i zemědělská a lesnická praxe.

2.2 Metodika

Pro vybranou oblast budou analyzovány přírodní a hospodářské poměry a budou popsány faktory, ovlivňující tvorbu odtoku i distribuci vody v krajině včetně místně vhodných nástrojů k její akumulaci (povrchové i podzemní) a k regulaci vybraných složek odtoku. Následně budou odhadnuty limity zájmového území a v nejkritičtějších částech povodí budou navrženy systémy zlepšující vodohospodářskou bilanci území. Zohledněny budou předpokládané dopady probíhající klimatické změny na stav současný a na situaci po realizaci navržených opatření.

3 Teoretická východiska

3.1 Úvod do problematiky

Vzhledem k poloze České republiky jsou vodní zdroje závislé převážně na množství atmosférických srážek. Z tohoto důvodu naprostá většina vodních zdrojů závisí na retenci a akumulaci vody v krajině. V poslední době se stále více hovoří o problémech extrémního sucha či povodní. Infiltrační a retenční schopnost půdy napomáhá zmírňovat tyto důsledky střídání ročního období, či jinak nepříznivá období.

Ovšem tato schopnost půdy je v posledních letech značně omezována vlivem antropogenní činnosti. Zastavěná území či jinak utužené půdy nejsou schopny vodu zadržet nebo ji zasáknout do půdy. Veškerá voda je sváděna přímo do vodotečí, tím dochází k urychlení odtoku, zvýšení povodňové vlny a poté ke vzniku povodní (Vopravil a kol., 2011). Dalším významným problémem byla kolektivizace, kdy se pozemky scelovaly do velkých lánů, které narušují variabilitu a návaznost krajiny. V druhé polovině 20. století se budovaly odvodňovací meliorační systémy, které se projevují rychlým odvedením vody do hydrografické sítě, tudíž není možnost s vodou jakýmkoliv způsobem hospodařit.

Regulační opatření, umožňující podle potřeby s vodou nakládat (např. na drenážní síti), mohou být nápomocna, neboť omezují nepříznivé důsledky systematického odvodnění krajiny. Cílem opatření je taktéž zvýšení retence vody v krajině a zároveň vyšší odolnost vůči hydrologickým extrémům.

Bohužel širší uplatnění těchto regulačních opatření je velice náročné z hlediska řešení majetkových vztahů na pozemcích. Komplexní a integrovaný způsob, jak dosáhnout optimalizace vodního režimu v krajině, lze docílit realizací kombinace technických či přírodně blízkých opatření na vodních tocích a jejich nivách v součinnosti s opatřeními na celé ploše problematického povodí.

3.2 Související základní terminologie

Pro objasnění problematiky je zapotřebí definovat základní pojmy a oblasti, jimiž se práce zabývá.

3.2.1 Hydrologie

Hydrologie je v překladu nauka o vodě. Zkoumá procesy s ní spojenými a to ve všech skupenstvích. Neexistuje jednotná definice, která by vymezovala přesný obsah slova hydrologie a zkoumané předměty s tím spojené. Dle české definice je hydrologie vědní obor zabývající se zákonitostmi časového i prostorového rozdělení a oběhu vody na Zemi, jakož i jejími fyzikálními, chemickými a biologickými vlastnostmi (Slavík a Neruda, 2007). Ovšem hydrologie má velice široké spektrum působnosti, a tak se setkává s několika dalšími vědami zkoumající sféry krajinné, biologické, půdní plynné a mnoho dalších. Například v poslední době jsou stále častější výskyty extrémních hydrologických jevů a tím se tento vědní obor střetává se sférou sociálně geografickou.

3.2.2 Hydropedologie

Hydropedologie je kapitola vědního oboru pedologie, která se zabývá přítomností a pohybem vody v půdním prostředí. Jde o vztah vody, půdy ale i rostlin v rámci hydrologického cyklu krajiny. Zkoumá hydrodynamiku vody v nasyceném a nenasyčeném půdním prostředí. Hydropedologie monitoruje vodní režim půd a její charakteristiky, jako je například vlhkost, stanovení hydrolimitů, retenční křivka, hydraulická vodivost a podobně. Speciální odvětví je pak půdní fyzika zabývající se vyloženě pohybem roztoků půdním profilem v závislosti na vlastnostech půdy (Kutílek et.al., 2000; Pachepsky et. al., 2004).

3.2.3 Vodní hospodářství

Rozlišujeme hydrologickou bilanci a vodohospodářskou bilanci. Hydrologická bilance porovnává přírůstky a úbytky vody a změny vodních zásob povodí, území nebo vodního útvaru za daný časový interval. Vodohospodářská bilance porovnává požadavky na odběry povrchové a podzemní vody a vypouštění odpadních vod s využitelnou kapacitou vodních zdrojů z hledisek množství a jakosti vody a jejich ekologického stavu.

Činnost vodního hospodářství lze tedy členit na činnost využívání vod (účel zásobování pitnou vodou), její ochranu jako složku životního prostředí, nebo ochranu před nepříznivými účinky povodní a sucha (ustanovení § 22 odst. 1 vodního zákona).

3.3 Principy retence a akumulace vod při eliminaci hydrologických extrémů

Skleníkový efekt je hlavní příčinou neustálého oteplování klimatu. Ovšem v současné době existuje řada studií, jež naznačují, že vysoký obsah oxidu uhličitého v ovzduší není jedinou příčinou oteplování. Projevuje se malé procento pokrytí zemského povrchu rostlinami a nedostatečná retence vody krajině. To jsou další důležité faktory, které ovlivňují zemské klima. Území pokryté vegetací a stromy poskytuje jisté ochlazení klimatu v letním období. Bohužel v urbanizovaném prostředí je zemský povrch pokryt převážně silniční sítí a domy, jež tuto klimatizační vlastnost nemají. Tento antropogenní vliv má za následek selhání klimatizace kontinentů v letních měsících a tím se narušuje přísun srážkové vody z oceánů na pevninu, což vygraduje v hydrologické extrémy, střídání suchých období s přívalovými povodněmi (Westlake et al., 1998, Kravčík et al., 2001).

Důležitým aspektem širokého komplexu opatření vedoucího k eliminaci hydrologických extrémů je postupné zvyšování retenční a akumulační schopnosti krajiny. Při pohledu na horní či dolní část toku jsou jednotlivá opatření k eliminaci hydrologických extrémů docela rozdílná. Ovšem při návrhu těchto opatření a jejich účincích je velice důležité uvažovat o daném povodí jako o celku a neupřednostňovat lokální či regionální zájmy (Jánský, 2006).

3.4 Faktory ovlivňující tvorbu odtoku a distribuci vody v krajině

Hydrologická bilance je vyjádření všech vstupů a výstupů vody z povodí a jejich změn v zásobách (ΔS). Vstupy představují především srážky (P), výstupy poté evaporaci (E), transpiraci (T) někdy souhrnně označenou jako evapotranspiraci (ET) a celkový odtok (Q_c). Základní rovnice hydrologické bilance zní následovně:

$$P - ET - Q_c = \Delta S$$

Celkový odtok je možné diferencovat na odtok přímý (povrchový a hypodermický odtok) a základní odtok (odtok podzemní) (Domenico and Schwartz, 1998).

- Přímý odtok je souhrnné označení povrchového a hypodermického odtoku.
- Povrchový odtok vzniká odtokem srážkové vody z celkového povrchu povodí, kde se dále napojí do hydrografické sítě. Nicméně do této odtokové kategorie je možné tedy zařadit pouze tu část srážkové vody, která se nevsákla do půdního prostředí. Vznik povrchového odtoku je tedy možný pokud intenzita srážek je vyšší, než rychlost infiltrace.
- Hypodermický odtok je složka odtoku, která představuje odtok prosakující gravitační vody ve vrchní (mělké) podpovrchové vrstvě půdy nebo podloží do toku, aniž by se dostala k hladině podzemní vody. V porovnání s povrchovým odtokem je hypodermický odtok pomalejší. Souhrnné označení povrchového a hypodermického odtoku je přímý odtok.
- Základní (podzemní) odtok je vyvolán výtokem vody z vodonosných pater povodí, které jsou hydraulicky propojené s tokem. Zjednodušeně řečeno je to tok podzemních vod vyúsťující do povrchových toků (Dub, Němec, 1969).

Všechny tyto vyjmenované kategorie odtoků jsou funkcí níže uvedených proměnných:

- klimatické poměry – jedná se především o účinek srážek, jejich intenzitu, četnost a časové rozložení. Dále sehrávají roli teplotní poměry lokality a charakter ročních období. Tyto počáteční podmínky dávají za vznik dalším jevům s nimi spojenými: evaporace, transpirace a intercepce (spolu s krajinným pokryvem).
- geomorfologické poměry – poloha, délka, sklon či orientace svahů, ovšem i tvarové struktury povodí, drsnost povrchu apod. Tyto faktory mohou vytvářet zásobní/akumulační prostory v povodí. U tohoto funkčního činitele lze dále diferencovat geomorfologické faktory, které udávají konkrétně charakteristiky koryta. Jsou to především hydraulické vlastnosti, kapacita koryta a další vlastnosti jako délka, sklon či rozměry a tvar příčného profilu. Takto klasifikovaná charakteristika je ovšem zčásti problematická, neboť

spousta výše uvedených činitelů je závislá jeden na druhém (Wen Te Chow, 1988).

- pedologické a geologické poměry – do půdních poměrů se řadí zejména zrnitost, pórovitost, struktura nebo obsah humusových látek, což lze shrnout do skupiny fyzikálních vlastností půd. Další skupina vlastností související s pedologickými činiteli jsou vlhkostní poměry půd. Sem patří hydraulická vodivost (nasyčená a nenasycená), počáteční půdní vlhkost, sací tlak nebo výška hladiny podzemní vody. Důležité je také zmínit vliv kořenového systému a edafonu, jenž vytváří v půdním substrátu preferenční cesty ovlivňující vývoj a intenzitu infiltrace srážek (Strudley et al., 2008). Geologie povodí pak určuje distribuci propustných a nepropustných podloží (Daňhelka, 2007).
- krajinný pokryv – rozdílné využití území má nemalý vliv na odtok a distribuci vody v krajině. V České republice je evidováno 4,22 milionů hektarů půdy, z toho 2,99 milionů hektarů zaujímá rozloha orné půdy. Lesy zaujímají 2,67 milionů hektarů. Využití krajiny má tudíž nemalý vliv na to, v jaké míře bude půda schopna zasáknout a zadržet vodu. Například rozdíl retenční schopnosti orné půdy a trvalých travních porostů činí přibližně 7-10 %. Evapotranspirace, infiltrace, intercepce, to jsou proměnné, které přímo závisí na krajinném pokryvu. V následujícím textu budou podrobně popsány účinky jednotlivých typů povrchů na infiltrační a retenční schopnost krajiny.

3.4.1 Lesní krajina

Lesy jsou velice výrazným činitelem v procesu vodní retence. Pokrývají přibližně třetinu plochy České republiky. Nacházejí se převážně na horských a podhorských územních celcích. Vyšší nadmořská výška se vyznačuje také větším procentem výškové členitosti. Srážkový gradient v těchto polohách je podstatně vyšší (přibližně o polovinu), než-li tomu tak je v nížinách (Kantor a Šach, 2002). To je příčinou, proč spadne většina atmosférických srážek v horských lesích České republiky, a proto je třeba klást podstatný důraz na význam horských lesů pro retenci vody v krajině.

Studiem sedimentů v ledovcových jezerech a v nivách evropských řek se potvrdilo, že první rozsáhlejší povodně se objevily až v období raného středověku. Důvodem záplav bylo právě odlesnění v horských oblastech za účelem vzniku nové zemědělské půdy. Odhady procenta zalesnění zhruba před tisíci lety vystoupaly až k 90 %. Ovšem dnešní lesy nejsou tak diverzifikované jako lesy tehdejší. V mnoha případech se jedná o kulturu stejného druhu. Nejčastěji se u nás vyskytuje smrk nebo borovice. Problém je, že jehličnaté stromy nemají takovou retenční schopnost, jako listnaté stromy (viz následující kapitola).

Odtok vody z českých hor se pohybuje okolo $10-40 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^2$. Odtokový proces z lesního krajinného pokryvu závisí na mnoha přírodních faktorech. Kromě atmosférických srážek, na nichž je Česká republika nejvíce závislá, je to také vliv geologické stavby, geomorfologií krajiny, hydropedologických a hydrogeologických vlastností, nebo vliv vegetačních poměrů. Dalším podstatným důvodem, proč mají lesy důležitý význam při retenci, je vysoká intercepce neboli schopnost zachycovat srážkovou vodu na rostlinách. Literatura uvádí, že lesy jsou schopny pojmout 8-18 % z celkového množství spadlých srážek (Kantor a Krečmer, 2003). Dalším významným faktorem souvisejícím s intercepcí je výskyt mechů a lišejníků, jež dokáží absorbovat velké objemy vody (Krešl, 1999).

Bohužel na přirozeném vodním cyklu se už v minulosti podílela antropogenní činnost. Jejím vlivem nyní srážková voda odtéká rychleji do řek a moří, odkud se vrací až ve formě ovzdušných srážek. Dále se v krajině snížil objem malého koloběhu vody (vodního cyklu): výparu a lokálních srážek, ubylo i mlh a rosy. To je důvod, proč jsou období mezi velkými dešti tak suchá. Za doprovodu extrémních teplot ničí trvalou vegetaci a tím snižuje i odolnost stromů vůči chorobám. Tento problém ještě více graduje v souvislosti s aktuální kůrovcovou kalamitou, při které jsou lesy ohroženy na stovky tisíců hektarů.

Jak je známo, v lesích panuje mikroklima o vyšší vlhkosti a nižší teplotě z důvodu zastínění slunečního záření korunami stromů, což se pozitivně projevuje na evaporaci a vysychání horní vrstvy půd (Kantor a Krečmer, 2003). Tento fakt vlhčího mikroklimatu v lesní krajině přispívá k posílení takzvaného malého vodního cyklu.

Dalším důležitým faktorem, jenž přispívá k retenci vody v lesní krajině je přítomnost padlých kmenů a mrtvého tlejícího dřeva, kolem kterého se hromadí opad a organická hmota, která se postupně mění v humus. Tato organická hmota má schopnost vázat nemalé objemy vody.

Míra schopnosti absorpce vody závisí velikosti a stáří rozkládajících se dřevin. Ve většině případů obsah vlhkosti se v průběhu času zvyšuje. Pokročilé stadium rozkladu obsahuje až 250% vody v porovnání se suchým stadiem (Stevens, 1997). Velkým přínosem spadlého tlejícího dřeva není jen absorpce vody. Mohutné kmeny tvoří překážky, jež chrání před vznikem strží a půdních erozí. Také správným umístěním dřeva způsobíte zpomalení povrchového ronu a voda bude mít delší čas na infiltraci. Na přirozených lesních vodotečích dokáže bariéra tvořená mrtvým dřevem, zpomalit kinetickou energii vody a tím napomáhat ke vzniku rozlivů, kde se voda dokáže držet i v období sucha. Navíc v průběhu přívalových srážek nedochází k zákalu vody ani k nárůstu průtoků (Poštulka, 2002). Bohužel v podmínkách intenzivního obhospodařování v druhově jednotných lesích, typických pro Českou republiku, je zásoba humusu a mrtvého dřeva značně omezena a tak jsou lesy často erodované až na matečnou horninu.

V současnosti se problémy lesních a zemědělských povodí s destabilizovaným vodním režimem řeší zejména kapacitními úpravami a stavbami na vodohospodářsky významných vodních tocích. Zmenšená retenční schopnost lesů a rozvrácený vodní režim zemědělské krajiny jsou příčinami enormních investic do technické protipovodňové ochrany a následků povodní.

Pokud stát významně nepodpoří obnovu lesů, může mít tak rozsáhlé náhlé odlesnění bez dostatečné náhrady lesa ve střednědobém horizontu extrémně závažné dopady na vodní režim v krajině.

3.4.1.1 Vliv druhové skladby na retenci vody

Jednotlivé druhy dřevin jsou z hlediska retence a protierozního účinků velice odlišné (Simon a Sucharda, 2004). Stanovištní podmínky udávají přirozenou druhovou skladbu porostů. Ovšem postupem času byly určité druhy dřevin vytlačovány ze svých přirozených stanovišť dřevinami, které jsou produkčně výnosnější. To se samozřejmě odrazilo na vodohospodářské a půdoochranné funkce. V podmínkách České republiky lze porovnat retenci u dvou typů lesů. Původní listnaté či smíšené lesy a dnes převládající smrkové monokultury.

Navzdory faktu, že listnaté stromy vlastní větší specifickou plochu, je zajímavé, že intercepce smrkových monokultur je ve srovnání například s bukovými monokulturami výrazně větší (Krešl, 1999). Ovšem intercepce v průběhu povodňové srážky takřka ztrácí

svou efektivitu. Množství odtékající vody sice nepatrně sníží, ale při povodňových stavech nemá nijak výrazný vliv. Významnou vlastností z hlediska retence je působení na půdu. Pro efektivitu dané dřeviny je důležitý faktor její kořenový systém, konkrétně na směru růstu resp. tvaru kořenového balu a na hloubce prokořenění (Jařabáč et al., 2002).

Tento vliv s hloubkou půdy dále narůstá, je to dáno již zmíněnými hlubšími kořeny většiny listnatých stromů oproti smrkům; tyto kořeny umožňují vodě vtok i do hlubších vrstev, což je u smrkových monokultur ztíženo (Válek, 1977). Navíc okyseluje půdu, čímž ji degraduje, a urychluje záchyt kyselé depozice z ovzduší (Hruška et Ciencala, 2001).

3.4.2 Zemědělská krajina

Dnešní systém obhospodařování zemědělské půdy činní svrchní vrstvu ornice ještě více nepropustnou. S příchodem těžké mechanizace byly povrchové i podpovrchové vrstvy půdy čím dál více utužovány. Na tento problém se následně vztahuje i eroze půdy. Odnoš půdy zapříčinila, že mocnost půdního profilu významně poklesla a snížila i retenční kapacita půdy.

Další antropologickou zátěží je aplikace hnojiv, herbicidů a pesticidů. Při kontaminaci půdy může dojít k narušení základních funkcí půdy jako je inhibice mikrobiální činnosti a procesů humifikace. Také pronikání kontaminantů do hlubších vrstev půdy až k podzemní vodě. Kontaminované splachy z polí se povrchovým ronem (nesoustředěné srážkové vody) mohou dostat až do vod povrchových, kde ohrožují životní podmínky ekosystému. Aplikace pesticidů má také negativní vliv na edafon, který vytvářením preferenčních cest v zemi, kypří a provzdušňuje půdu a umožňuje tak snazší infiltraci srážek (Kvítek, 2012).

Pěstované plodiny nebo metoda agrotechnického obhospodařování půdy může mít také za následek negativní vliv na retenční schopnost oblasti (Soukup, Hrádek, 1999). Součet výše uvedených problémů má za následek rychlý odtok vody. Mnohé protesty a námitky zemědělců na suché počasí, nedostatek vláhy či půdní erozi si z velké části zapříčinili vlastním nakládáním.

3.4.3 Zastavěné území

Úprava či úplná změna krajinného pokryvu samozřejmě značně ovlivní i hydrologické charakteristiky. Podstatná negativní změna je redukce časového prodlení a

zároveň zesílení kulminačního průtoku. Zastavěná území nejsou nic jiného než pro vodu nepropustný povrch, tudíž schopnost infiltrace je zde nulová. Tím pádem se zvyšuje celkové odtokové množství a snižuje se podíl infiltrované vody, což má za následek pokles hladiny podzemní vody. Ke změnám nedochází pouze v rámci množství srážkových vod, ale také v její kvalitě (Leopold, 1968).

Další důležitou oblastí, jež urbanizované území ovlivňuje, je morfologie říčního toku. Toky jsou narovnávané a tím se jejich celková délka zkracuje. Pokud jsou takto narovnané toky ještě vydlážděny nebo zatrubněny, drsnostní součinitel se výrazně zmenšuje a neklade průtoku vod prakticky žádný hydraulický odpor, tudíž problém výše zmíněných hydrologických charakteristik ještě vygraduje (Paul a Meyer, 2001). Urbanizace je druh krajinného pokryvu, u kterého dochází k největším změnám v rámci hydrologických procesů.

3.5 Faktory ovlivňující distribuci vody v půdě, metody měření

Půdní voda se může vyskytovat ve všech třech skupenstvích. Samozřejmě nejdůležitější je kapalná forma. Její existence v půdě dává za vznik mnoha fyzikálních, chemických či biologických procesů. Zdrojem půdní vody jsou především atmosférické srážky a její následná distribuce je ovlivněna několika faktory: sklonitostí a reliéfem krajiny, půdními vlastnostmi, vegetačními či antropogenními faktory (Smolíková, 1988).

3.5.1 Kategorie půdní vody

Jak již bylo zmíněno, voda je v půdě obsažena nejen ve skupenství kapalném. Dále je možné vodu v půdě diferencovat do kategorií, zdali se v půdě vyskytuje ve formě volné či pohyblivé, nebo ve formě vázané. Voda adsorpční interaguje pomocí vazebných sil s částicemi hornin. Takzvaná hygrokopická forma je voda, která je pevně fixována na povrch půdních částic. Je to určitý druh adsorpční vody. Číslo hygrokopicity nám udává množství vodních par, jež je půdní systém schopný pojmout při maximálním nasycení vzduchu vodními parami. Voda se v takovém případě pohybuje velmi pomalu. Gravitační voda je ta část půdní vody, jenž se pohybuje pouze pomocí gravitačních sil. Hydraulicky jednotná souvislá akumulace gravitační vody se nazývá zvedeň. Poslední kategorie je voda

kapilární, která vyplňuje půdní póry a je vázána kapilárními silami. Nachází se v nenasyčené zóně, tedy nad hladinou podzemní vody. (Šarapatka, 2014).

3.5.2 Retenční schopnost půdy

Tato kapitola popisuje faktor, který působí na vodní režim půdy a ve výsledku produkuje odtok z povodí. Objem vody v půdě je tedy nestacionární jev. Zvyšuje se infiltrací srážek, klesá výtokem do spodních vrstev, odběrem rostlin za účelem transpirace, výparem z povrchu půdních částic nebo dalšími ztrátami (odtokem mimo bilancovaný profil atd.) V podstatě lze vodní režim půd rozdělit na dvě fáze: akumulární a perkolační (Tesař et al. 2001). Během první fáze se srážková voda postupně vsakuje a vytváří v půdním profilu zásoby pro rostliny, jimiž jsou spotřebovány pro účely transpirace. Jestliže objem srážkové vody je pro potřebu transpirace nedostačující, dosáhne spodního limitu, kdy rostliny nejsou schopny svou sací schopností na vodu „dosáhnout“ a proces transpirace se přerušuje. Pokud však nastane inverzní proces, kdy objem srážkové vody se dlouhodobě akumuluje, tak při překročení limitní hodnoty, půda již nedokáže vodu v půdě dále uchovávat a tak protéká níže do podloží. Půdní vrstva disponuje jen s omezeným množstvím vody, které dokáže udržet a být tak k dispozici pro rostliny. Tato fáze se nazývá perkolační. Doba trvání této fáze závisí převážně na faktoru srážek a na počátečním objemu vody a tak lze předpokládat, že doba trvání se může pohybovat v rámci hodin až několik týdnů. Ve chvíli, kdy se objem vody v půdě dostane zpět pod horní hranici, proudění do podloží ustane. Pokud od sebe odečteme horní a spodní hranici, tak tento rozdíl se rovná maximální retenční kapacitě. Půdní masu lze tedy chápat jako jistou nádrž s určitou objemovou kapacitou, která je v porovnání s objemem vody ve vodních nádržích a tocích značně vyšší (Kutílek, 1978).

Je několik způsobů, jak lze změřit retenci vody v půdě. Existují metody přímého měření a metody nepřímého měření. Při metodě přímého měření se zjišťuje konkrétní množství vody v půdě a při metodě nepřímé se měří jiné fyzikální veličiny, které se následně převedou na půdní vlhkost (Kutílek et. al., 2000).

Retenční kapacitu půdy je možné zjistit s využitím následujících postupů:

- Laboratorní měření retenčních křivek

Retenční křivka popisuje vzájemný vztah objemové vlhkosti a kapilárního sacího tlaku. Její průběh závisí na zrnitostním a mineralogickém složení, obsahu humusu, výměnných kationtech, struktuře a objemové hmotnosti. Retenční křivka je považována jako určité zobrazení kumulativní distribuční funkce rozdělení velikosti pórů. Stanovení retenční křivky nevychází z tohoto rozdělení velikostí pórů, ale ze známé retenční křivky je možné po odvození určit rozdělení velikostí pórů (strmá retenční křivka představuje hrubozrnné materiály). Pokud vycházíme z předpokladu, že retenční křivka je kumulativní distribuční funkce, pak její derivací lze získat hustotu pravděpodobnosti rozdělení velikostí pórů. Derivací retenční křivky poté získáme právě retenční vodní kapacitu (Kuráž, 2014).

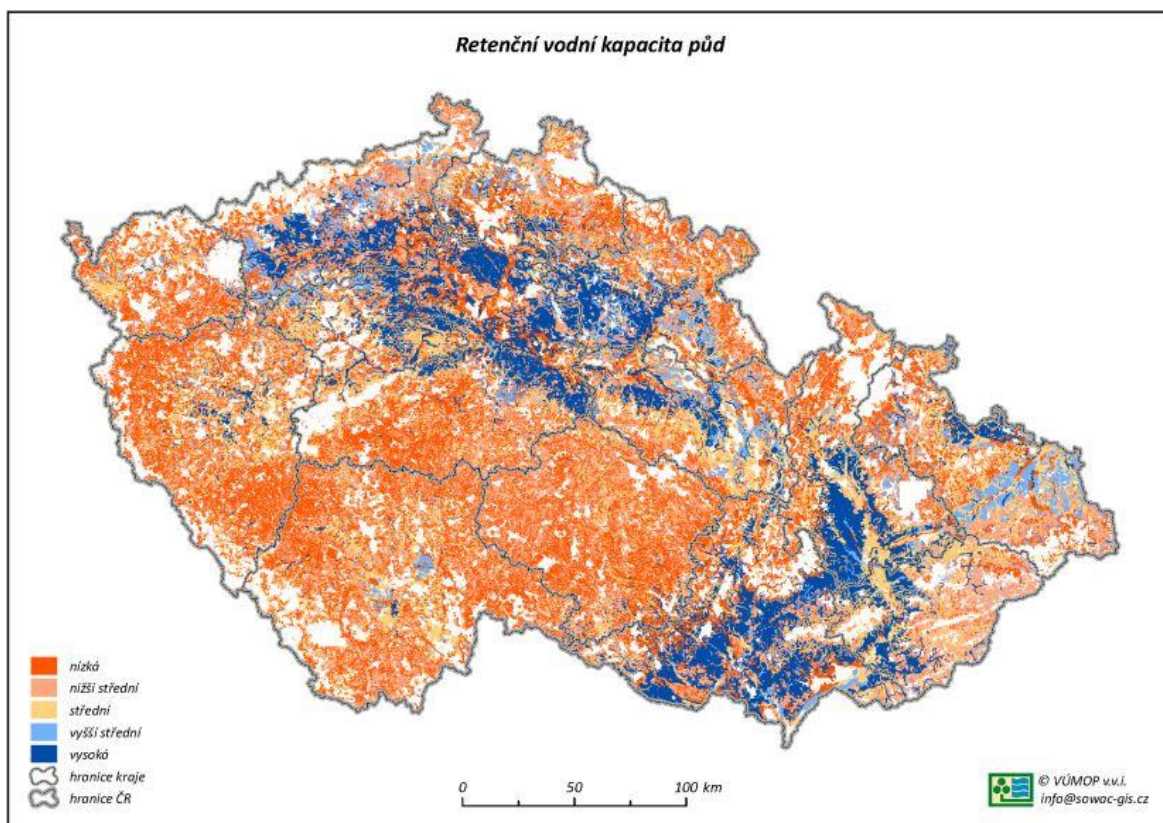
Samotnou retenční křivku lze stanovit například pomocí podtlakového přístroje. Na začátku měření musí být půdní vzorek plně nasycen. Poté je vložen na membránu podtlakového přístroje. Vlivem určitého podtlaku se uvolní ze vzorku kapalina. Poté se vzorek zváží a zjistí se jeho aktuální vlhkost. Tento proces je proveden opakovaně a tím se získá několik hodnot retenční křivky.

- Tenzometrický monitoring vodního režimu půd

Tenzometrická metoda je závislá na vodním potenciálu (sacím tlaku) půdy. Sací tlak je možné změřit půdním tenzometrem. Je to jednoduché zařízení, které se sestává z trubice, jejíž spodní konec je opatřen porézním tělískem a opačný konec je opatřen manometrem. Trubice je naplněna tekutinou, tudíž porézní tělísko na jejím konci je plně nasyceno. Z důvodu uzavřeného horního konce trubice manometrem je tekutině zabráněn její výtok. Pokud je tenzometrický přístroj umístěn do nenasyceného prostředí (např. půdní prostředí), začnou prázdné kapiláry působit na kapalinu v nasyceném porézním tělísku kapilární vztlakovost. Tyto kapilární síly vyvolají v kapalině jisté napětí, které lze změřit manometrem na opačném konci trubice. Tento způsob je úzce spjat s předchozí metodou, která je na bázi stanovení půdní vlhkosti.

- Měření srážek a odtoků v povodňových situacích
- Simulace infiltrace vody do půdy

Obrázek 1 Retenční vodní kapacita půd ČR



Zdroj: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy

3.5.3 Infiltrace, propustnost

Infiltrace a propustnost jsou dva rozdílné pojmy. Infiltrace je definována jako průtok vody skrze topografický povrch níže do půdního prostředí. Vzdálenost, kterou voda vlivem gravitace urazí za časový údaj, nazýváme rychlost infiltrace. Takovýto proces vsaku do půdy je významnou součástí vodního cyklu v krajině a má vliv na vodní režim půdy, intenzitu povrchového ronu, nebo pro lidstvo důležité zásoby podzemní vody.

Rychlost vsaku do půdy je ovlivňována mnoha činiteli: aktuální půdní vlhkostí, vegetačním pokryvem, zrnitostí, strukturou či hloubkou půdního profilu, množstvím organických látek, nebo samotnou intenzitou a trváním srážek. Schopnost rychlého vsaku do půdy je důležitá především při přívalových srážkách. V případě že půda má nízkou infiltrační schopnost, tak se při srážkách o vyšší intenzitě tvoří povrchový odtok, jenž může představovat za daných okolností (např. širokořádkové plodiny ve svažité oblasti) riziko vodní eroze půdy, nebo dokonce riziko povodní (Vopravil et.al., 2011).

Infiltrace se zjišťuje terénní zkouškou například pomocí dvouválcového infiltrometru. Tato metoda se dá využít při návrhu rozchodů drénů, sportovišť, nebo izolačních vrstev skládek komunálního odpadu jako nepřímá metoda stanovení propustností půdních vrstev. Dle názvu se přístroj skládá ze dvou válců, které je třeba zatlouci do země. Samotné měření se provádí ve vnitřním válci. Vnější válec je potřeba k udržení svislosti proudnic pod vnitřním válcem. Vnitřní válec je ještě opatřen perforovanou deskou s hroty (jeden větší a druhý menší) sloužící k odečítání poklesu hladiny a k zabránění úniku rozplavené zeminy při doplňování vody. Poté, co se válce zatlučou do země, vloží se perforovaná deska s hroty a do obou válců současně se postupně lije voda, dokud nedosáhne hranice s vyšším hrotem na kruhové desce. Ve chvíli, kdy voda dosáhne této hranice, se spustí časomíra a měří se čas, za který hladina vody poklesne z horního hrotu na úroveň dolního hrotu. Za tento časový úsek se vždy zasákne určité množství vody. Když hladina dosáhne hranice dolního hrotu, odečte se čas a znovu se voda doplní k hornímu hrotu (Parr and Bertrand, 1960).

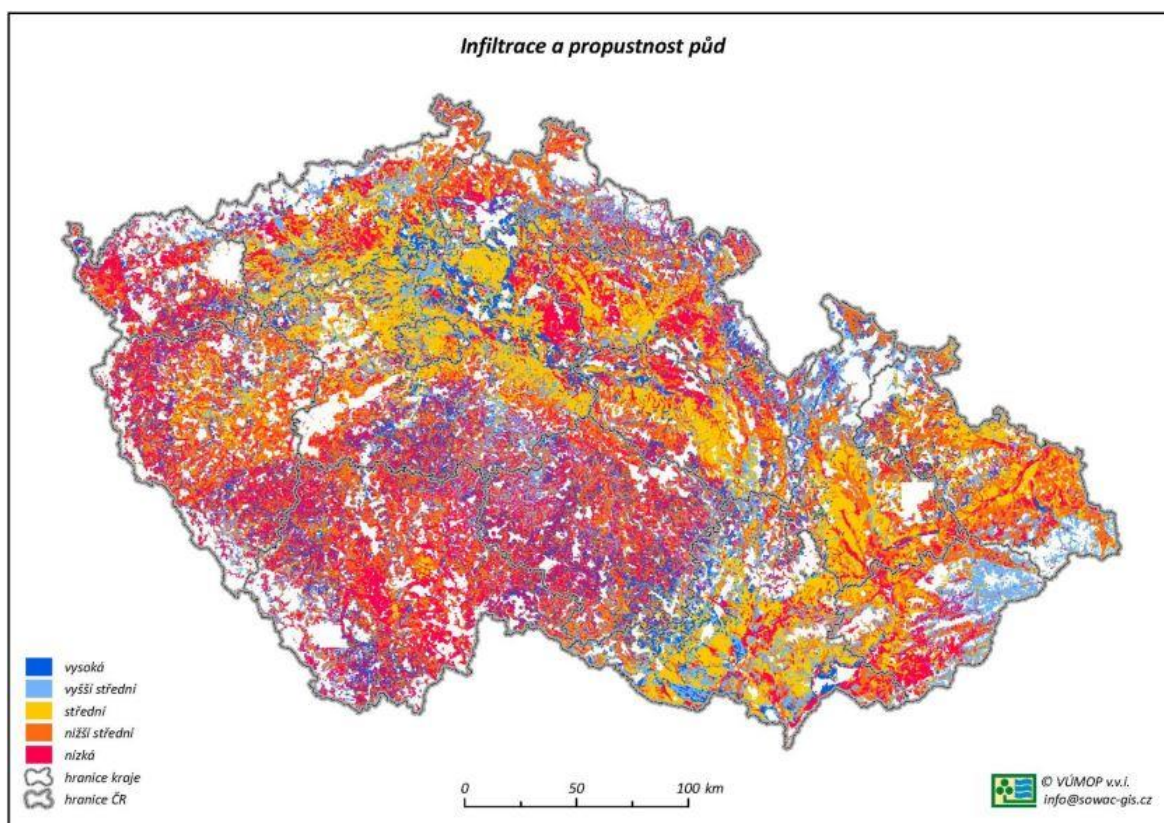
Propustnost je charakterizována jako vlastnost půdy nebo horniny propouštět kapalinu. Jednotlivé druhy půd a jejich charakteristiky jsou zobrazeny v tabulce č. 1. Jiní autoři používají jiné kategorie tříd – např. dle Němce apod. (viz. Kutílek, 1978).

Tabulka 1 Třídy propustnosti půdního profilu (dle metodiky PEO)

Třída propustnosti	Propustnost	Charakteristika půdy	Poznámky
1	Velmi vysoká > 2,5 mm.min ⁻¹	Hluboké, dobře odvodněné pisky, některé černozemě ze spraší.	Půda zůstává po nasycení vodou vlhká pouze několik hodin.
2	Vysoká 0,83–2,5 mm.min ⁻¹	Strukturní písčité hlína až hlinitý písek, černozemě a hnědozemě ze spraší.	
3	Střední 0,25–0,83 mm.min ⁻¹	Podorniči s výraznou strukturou nebo tvořené hlinou.	Půda zůstává po nasycení vodou vlhká několik dní.
4	Mírná 0,08–0,25 mm.min ⁻¹	Středně propustná svrchní vrstva půdy je uložena na jílovité hlíně se slabě vyvinutou kostkovitou nebo polyedrickou strukturou.	
5	Nízká 0,025–0,08 mm.min ⁻¹	Pod svrchní propustnější vrstvou je kompaktní jíl nebo jílovitá hlína.	Půda zůstává po nasycení vodou vlhká déle než týden.
6	Velmi nízká < 0,025 mm.min ⁻¹	Tvrdé kompaktní jily.	

Zdroj: Janeček et. al., 2002

Obrázek 2 Infiltrace a propustnost půd ČR



Zdroj: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy

3.6 Typy přírodě blízkých opatření s vodohospodářským účinkem

Pokud je retenční schopnost v krajině nedostatečná, je třeba zvažovat návrh opatření, která zvyšují retenční schopnost dané oblasti. Vybrané společenské aktivity či jejich zájmy, jako například zemědělství, doprava, průmysl, zpravidla nemohou být v harmonii s přírodou a vedou tak povětšinou ke snížení retenční schopnosti krajiny. Ačkoliv aktuální problémy nevyhovující retenční schopnosti se vyskytují často pouze bodově, je přesto nutné pojímat navrhovaná opatření v širším měřítku celého povodí a v nejlepším případě jej diverzifikovat dle relevantní charakteristiky území (Jánský, 2006). Často se stává, že navržená opatření, pojatá v užším měřítku bez uvážení širších vazeb vedou spíše ke gradaci aktuálního problému. Například pokud zanedbáme protierozní ochranu, může dojít k degradaci půdy, zanesení rybníků a jezer či ucpání koryta. Zvyšování retence vody a zároveň ochrana půdy před erozí musí probíhat vzájemnou kombinací organizačních, agrotechnických či biotechnických opatření, jejichž úkolem je

infiltrace vody do půdy, její zadržení či bezpečné odvedení přebytků vod, nebo redukce soustředěného odtoku (Soukup, 2006).

Opatření zvyšující retenci vody zpravidla také přispívají ke zvládnání hydrologicky extrémních jevů. Vodohospodářský účinek podpoří následné lepší nakládání s infiltrovanými vodami – pro obyvatelstvo, zemědělství či průmysl, ale i pro environmentální účely. Rozdíl mezi přírodě blízkým a technickým opatřením je v tom, co v opatření převažuje – zdali tam je více technických prvků (beton, železo)- taková opatření vytváří potřebu provést důkladné hydrotechnické posouzení kapacity, případně s nutností vytvoření bezpečnostních přelivů a podobně, neboť účinnost technických opatření bývá řádově vyšší, nebo zdali opatření supljuje přirozené chování krajiny, zpravidla s menší místní účinností, avšak při rozložení na větší plochu s podobnými efekty; často je k realizaci přírodě blízkých opatření využíváno přednostně z přírodních prvků (dřevo, šterk).

Následující řádky jsou zacíleny k vytvoření přehledu a stručné charakteristiky opatření, jež podporují zadržení vody v krajině. Jelikož nápravná opatření mají mít pozitivní vodohospodářský účinky především s efektem zvyšování schopnosti infiltrovat povrchovou vodu do půdy, jsou v úzké vazbě s protierozními opatřeními. Následující přehled se tedy může prolínat s opatřeními z kategorií protierozních a vodohospodářských.

Přírodě blízká opatření se mohou týkat samotného vodního toku a jeho nivy. Důležitou součástí je kromě dosažení protipovodňové ochrany také udržet kvalitní ekologický stav vodního toku a nivy. Komplexní revitalizace koryta vodního toku tedy můžeme zařadit do kategorie přírodě blízkých opatření. Hlavní předností je obnova přirozených hydrologických funkcí říční nivy do volné inundace a tudíž i dosahující zmírnění povodňové vlny. Úpravy v české říční krajině akcelerují odtok a nepodporují zasakování. Retenční schopnost je na nízké úrovni z důvodu nedostatečného využití říční nivy (ta je často přespříliš chráněna – neadekvátně se uplatňuje ochrana majetku bez respektování přírodních predispozic pozemku, daných situováním pozemku vůči toku).

Ukázková revitalizace se uskutečnila v Bavorsku začátkem 21. století. Účelem její realizace byla protipovodňová ochrana obce Pfatter. Přírodě blízké koryto a dostatečně široká říční niva pro přirozené rozlivy účel skutečně splnily. Grafické znázornění lze vidět na obrázku č. 3. (Just et. al., 2005).

K posílení protipovodňového účinku a retenční schopnosti povodí je vhodné navrhovat při revitalizaci utváření postranních tůní a tzv. klků. Typy postranních tůní a říční klky jsou znázorněny na obrázku č...

Zdrsnění koryta patří určitě také k revitalizačním opatřením. Spousta přirozených vodních toků byla v minulosti narovnána, zahlobena a opevněna. Studie ze severní Ameriky a západní Evropy prokázaly, že akumulace druhých usazenin a mrtvého dřeva má pozitivní vliv na hydrologické, hydraulické a morfologické vlastnosti říčních koryt (Foster et. al., 1995).

Díky lidskému negativnímu faktoru, konkrétně pak vinou zemědělců, kteří intenzivně obdělávají půdu až k hranici břehové linie vodních toků, se důsledkem toho zvyšují plošné i břehové erozní projevy, zrychluje se povrchový odtok, naopak se snižuje infiltrační schopnost, nebo se oblast zanášá sedimenty či chemickými látkami. Následně se díky smyvům z polí akumulují ve vodních útvech živiny a podporují tak eutrofizaci. Určité řešení odkazující na tento problém tkví ve zřizování zasakovacích pásů podél vodních toků, napomáhající zachytit sedimenty, živiny a hnojiva z polí. Účinek zasakovacích pásů je zejména protierozní, retardační a vsakovací. Nejčastěji se navrhují na území s vyšším sklonem a podél vrstevnic, nebo souběžně s vodními toky či nádržemi (Kulhavý et.al., 2015).

Obrázek 3 Revitalizace toku v Bavorsku



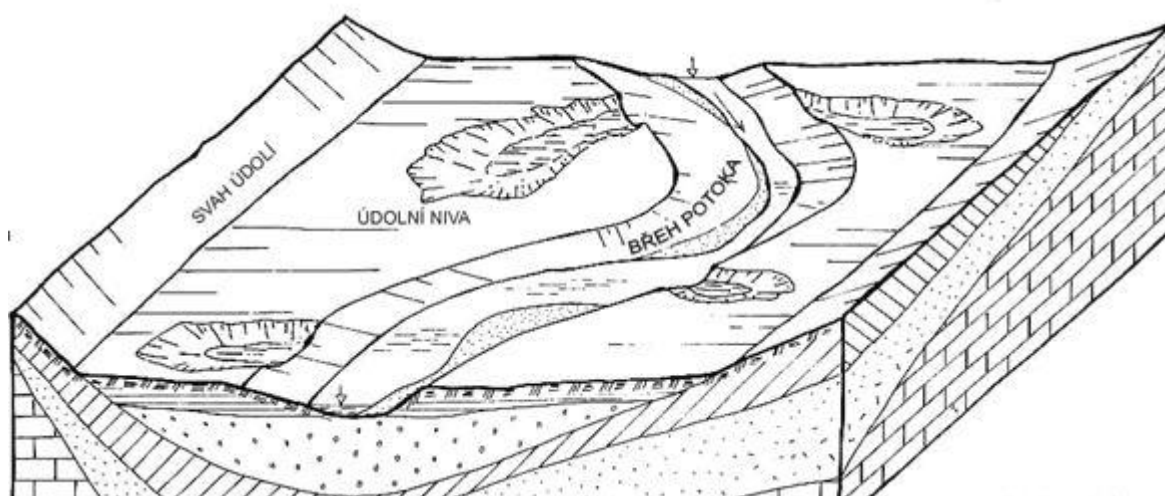
Zdroj: Just et.al., 2005

Dalším environmentálně zajímavým řešením, je zřizování mokřadů. Mokřadní oblasti jsou známé svou rozmanitou biodiverzitou a produkční schopností. Typické mokřadní rostliny jsou domovem pro tisíce druhů organismů. Poskytují útočiště mnohým

vzácným druhům rostlin a živočichů, které se v jiných typech ekosystémů nevyskytují (Němec et.al., 2012). Díky takto vysoké biodiverzitě vlastní i obrovskou zásobárnu genetického materiálu. Mokřady dokáží redukovat teplotní rozdíly mezi dnem a nocí. V letních horkých dnech se voda z mokřadů vypařuje a tím ochlazuje tamní mikroklima. V noci se pára vlivem ochlazení sráží a uvolňuje se tak teplo. Mají také vliv na koloběh vody a živin a tvoří přirozenou zásobu vody v krajině. Mokřady dotují spodní vodu, které lze posléze využít jako zdroj pitné vody. Je také třeba zmínit jejich samočisticí a retenční schopnost. Uvádí se, že dokáží zadržet až 500 l.m² (Seják, 2010). Mokřady se mimo jiné uplatní i v ekonomickém sektoru. Určité druhy organismů jsou zdrojem potravin a léčiv. Světoznámá mokřadní rostlina Kolokázie jedlá (*Colocasia esculenta*) je konzumována prakticky po celém světě. V poslední řadě je na místě uvést i jejich potenciál k energetickému využití ve formě rašeliny a celkový estetický krajinný význam.

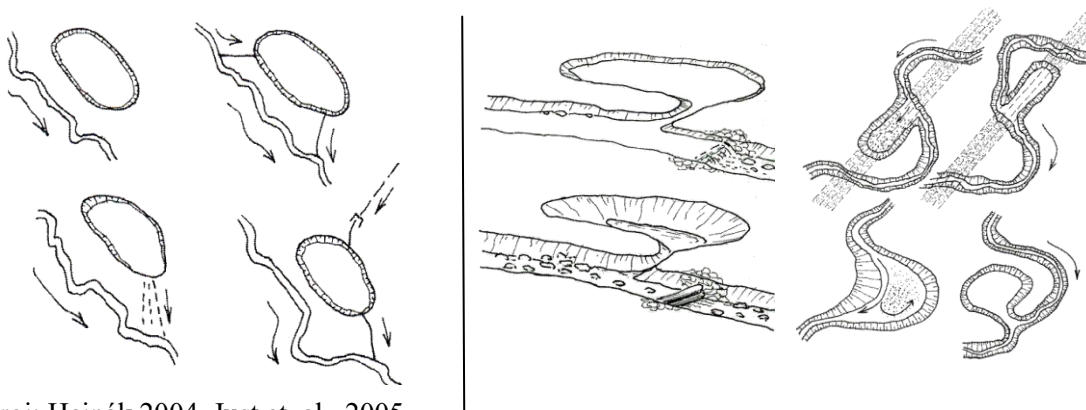
Velice účinný a jednoduchý člen, řadící se do opatření přírodě blízkých, je průleh. Účel průlehu je zachytit, eventuálně vsáknout a při tvorbě povrchového ronů bezpečně odvést srážkovou vodu z území. V podstatě jde o mělký a široký příkop s tím rozdílem, že průleh je přejezdný těžkou mechanizací a často i snadno obdělávatelný. Průleh má nejvíce uplatnění ve svažitém území, pokud je potřeba snížit kinetickou energii stékající vody, zredukovat její množství a nejlépe ji převést do podzemních zásob. Průlehy se pro vyšší efektivitu infiltrace často zatravnují. Dle jejich účelu je dělíme na průlehy vsakovací, sběrné a svodné.

Obrázek 4 Revitalizovaný tok s plochými, bezpečnými sklony svahu koryta



Zdroj: Hejnák, 2004

Obrázek 5 Typy bočních tůní vlevo, tvorba klků vpravo



Zdroj: Hejnák 2004, Just et. al., 2005

3.7 Typy agrotechnických a organizačních opatření

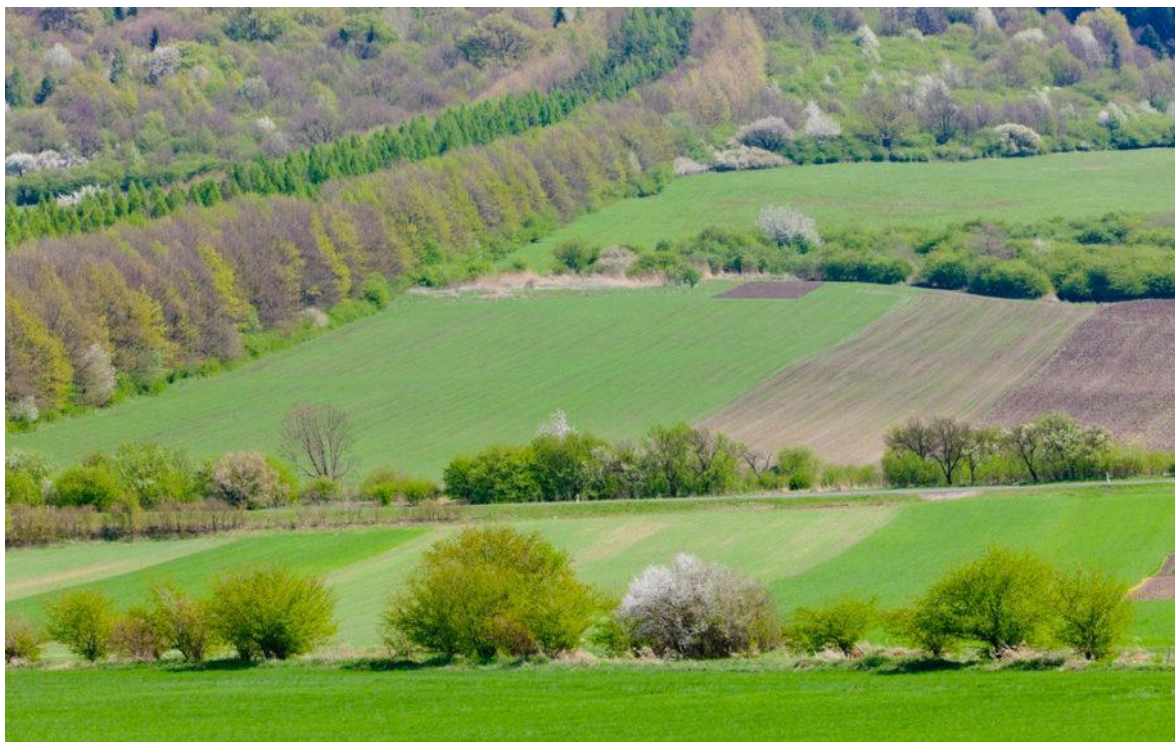
Princip organizačních opatření spočívá v celkové organizaci krajiny převážně s využitím ochranného účinku vegetačního pokryvu. Části rostlin na zemědělské půdě snižují kinetickou energii srážek a tvoří také určitou bariéru tvorby a rozvoji povrchového odtoku. Také jejich kořeny mají pozitivní vliv na půdní vlastnosti (Konečná et al., 2014). Tento typ opatření není nijak nákladný.

Velmi známý typ organizačního opatření je vrstevnicové obdělávání půdy. Tento způsob je dle Soukupa (2006) velice účinný v rámci ochrany půdy před erozí.

Dalším druhem opatření je volba vhodné velikosti a tvaru pozemku. Zde se naráží na problém, protože z ekonomického hlediska jsou samozřejmě daleko výnosnější velké půdní bloky, ovšem vliv menších půdních bloků je pro přírodu a PEO daleko příznivější. Ideálním řešením je umístění pozemků v pásovém uspořádání za sebou. V oblasti s poměrně rovinným terénem jsou doporučeny pozemky o maximální velikosti 50 hektarů. V oblasti více členitém se doporučuje velikost pozemků zredukovat alespoň na polovinu. Dalším pozitivní příspěvek ve sklonité oblasti je zachování mezí a teras, jež se za totality ve velké míře likvidovaly. Dále je doporučeno při existenci velkých půdních bloků zvyšovat diverzifikaci pěstovaných druhů plodin. Ochranné zatravnovací pásy či zalesnění umísťovat tam, kde existence orné půdy zvyšuje zranitelnost oblasti z hlediska eroze nebo retence vod (podpora infiltrace atd.). Vhodné k zalesnění jsou prudké svahy, jelikož tyto svahy dřeviny svými kořeny zpevňují. Trvalé travní porosty je vhodné umísťovat podél

vodotečí, nebo sledovat dráhy soustředěného odtoku, které současně mohou plnit funkci biopásů a svou zasakovací schopností tak mohou napomáhat i k retenci a akumulaci vody v krajině. Šířka těchto pásů by měla být přibližně od 20 do 40 metrů. (Janeček et al., 2012).

Obrázek 6 Vhodná realizace organizačních opatření



Zdroj: Profimedia.cz

Agrotechnická opatření užíváme ke zvýšení infiltrační schopnosti půdy s využitím principu zvyšování drsnosti povrchu půdy. Současně jde o to, dosáhnout nejkratší možné doby, kdy je půda bez vegetačního pokryvu. V době po sklizni lze například využít ponechání posklizňových zbytků plodin a biomasu meziplodin. Tím docílíme vyšší odolnosti vůči erozi. Vyšší odolnost vůči erozi je významná v období přívalových srážek, zejména tam, kde se nachází širokořádkové plodiny jako je například kukuřice, jež svým způsobem vzrůstu dosti málo kryje půdu (Janeček et. al., 2012). Pokud zemědělec plánuje na svém poli zasít kukuřici, užitečný způsob jak zlepšit fyzikální vlastnosti půdy, snížit riziko vodní eroze a zlepšit hospodaření s vodou, je setí kukuřice do mulče. Mulč je v podstatě odumřelá biomasa. Sláma, seno rostlinné ostatky či spadlé listí, to všechno posiluje infiltraci, snižuje tak povrchový odtok a současně snižuje evaporaci. Tím se také zkvalitní produkční i mimoprodukční funkce půdy (Vopravil, 2011).

Velmi účinnými opatřeními je také uplatnění ochranného zpracování půdy. Je upřednostňována technologie mělkého kypření půdy namísto tradiční orby, nebo i prokypření hlubší části ornice bez obracení zpracovávané vrstvy půdy. Způsob obdělávání závisí samozřejmě na samotných mechanizačních prostředcích. Technologie ochranného zpracování půdy, hrázkování, důlkování, mulčování, zatravnění či krátkodobé porosty v meziřadí a setí krycích plodin patří do kategorie agrotechnických opatření (Podhrázská a Dufková, 2005).

Obrázek 7 Příklad agrotechnického opatření - posklizňové zbytky Kukuřice Seté



Foto: Václav Brant, 2020

3.8 Typy technických opatření s vodohospodářským účinkem

Technická opatření jsou charakterizována zejména tím, že jsou schopna omezit a zadržet povrchový odtok, čímž poskytují dostatečnou dobu pro infiltraci srážkové vody. Správně navržená technická opatření mají velice pozitivní vodohospodářský účinek. Vedle jejich základní funkce může působit také protierozní odolností, nebo spolu s doprovodnou vegetací má nemalý význam i v rámci krajinné ekologie (Podhrázká a Dufková, 2005).

K technickým opatřením se řadí velké množství prvků. Nejznámější z nich jsou limanové zdrže, svodné záchytné či vsakovací příkopy a pásy, retenční hrázky, meze, přehrážky, terasy, větrolamy, stabilizace dráhy soustředěného odtoku, poldry, retenční nádrže a podobně. Jak již bylo zmíněno v předchozích odstavcích, technická opatření jsou odlišována svým složením od opatření přírodě blízkých. Jelikož technických opatření s vodohospodářským účinkem je velké množství, zaměřím se v diplomové práci na popis jen těch nejúčinnějších opatření, které se buď nejvíce aplikují, nebo jsou navrhovány v této práci. Opatření v dalších kapitolách se mohou často ve svých účincích prolínat.

Meze hrázky a příkopy se navrhuje za účelem umožnění regulace odtoku z povodí o menší rozloze a převádí jej tak na odtok bezpečný. Za tímto účelem se navrhuje převážně poblíž intravilánu. Ačkoliv je příkop pro těžkou mechanizaci spíše negativní prvkem v krajině, má výrazně menší zábor půdy než průleh. Pozitivní vliv na krajinný ráz se zvyšuje, pokud je kombinován osázením vegetací.

Retardační prvky, jako jsou hrázky či přehrážky, se používají spolu s průlehem či příkopem coby příčné objekty a slouží ke zpomalení odtoku a zadržení sedimentu. Opatření pro retenci vody v krajině a následné využití či cílené zasakování pro dotaci podzemních vod je vhodné kombinovat (Kulhavý et al., 2015). Opatření z již zmiňovaných kategorií se tak střetávají a tvoří komplexní ochranu při hydrologických extrémeh. Například umístění přehrážek či retenčních hrázek v zatravněné údolnici doprovázené dřevinnou vegetací, kdy při nižším povrchovém odtoku se voda zdržuje před hrázkou a při vyšším povrchovém odtoku voda přetéká přes korunu hrázky či teče skrze její propustní materiál. Přebytečnou vodu lze pak svést svodnými příkopy a průlehy.

3.8.1 Odvodnění a závlahy

Závlahové systémy mají vedle zemědělských přínosů také vodohospodářský účinek, kterým se zvyšuje úrodnost půd, upravuje mikroklima krajiny zvyšováním relativní vlhkosti vzduchu a snížením teploty vzduchu. Oblasti s vysokým deficitem vodních srážek se bez závlah prakticky neobejdou. Celková výměra závlah, v minulosti vybudovaných v České Republice se odhaduje na 155 tisíc hektarů zemědělské půdy. Aktuálně se však využívá kolem 60 tisíc hektarů (Novák et. al., 2016). Rozmístění závlah závisí tedy především na srážkovém faktoru - řada závlah je rozmístěna ve srážkovém stínu na Žatecku, nejvíce pak v Polábí a na Jižní Moravě. Vlna největšího rozvoje závlah byla ukončena v devadesátých letech minulého století (Rožnovský, 2010).

V případě nadměrného zamokření či pravidelného zaplavování se v praxi využívá odvodnění za účelem meliorace půd pro stavby či vyšších zemědělských výnosů. Také odvádějí přebytečnou vodu z území, zadržují ji v podrobných sítí a dále svádějí do hlavních odvodňovacích kanálů. Při výstavbě odvodnění je důležité se zaměřit na několik důležitých faktorů: klimatické, hydrologické, hydrogeologické podmínky, nebo půdní vlastnosti. Obecně je známo, že výstavba odvodnění urychluje odtok, ovšem kvantita srážkové vody zůstává v podstatě stejná (Červený et.al., 1984). Odvodnění výrazně tedy ovlivňuje vodní a dokonce i vzdušný režim (optimalizace vlhkosti a provzdušenosti půd v rámci pěstovaných rostlinných nároků). Mění se vodní bilance saturované a nesaturované zóny, průběh povrchového, hypodermického i podzemního odtoku a to i z hlediska hydrochemie. V rámci dlouhých pozorování se mění také některé vlastnosti půd a tím i další složky životního prostředí (Fučík et al., 2010; Doležal a Kvítek, 2004).

V České Republice je odvodněno přibližně čtvrtina výměry zemědělských půd, což je asi 13 % celkové rozlohy (Kulhavý et. al., 2007). Nejvyšší intenzita plošného odvodnění se nachází v okrese Hradec Králové, kde se vyšplhala až na 34,5 %.

Existují dva typy odvodnění. První způsob je spíše biologického rázu, kdy se pro méně zamokřené oblasti upravují vlastnosti půdní struktury nebo se sází do oblasti porosty s velkou transpirační schopností. Druhý způsob technického rázu se používá pro půdy více zamokřené a to pomocí technických úprav či staveb, jako například úpravy vodních toků, odvodňovací kanály, příkopy či drenáže.

Ovšem v dnešní době bývají objekty odvodnění v mnoha případech poškozené či zanedbané. Nejčastěji se jedná o ucpané drény a výustě, zazemněné a porouchané šachtice.

Důvody mohou být různé: stárnutí, mechanické poškození či zanedbání údržby. Spousta zemědělců v mnoha případech ani neví, že na svém či pronajatém obhospodařovaném pozemku se nachází odvodňovací systém, nebo se změnou vlastníků či zemědělců se mění uživatelské nároky na půdu, tím pádem nejsou respektovány projektované parametry systému a ten pak neplní správně svoji funkci. To samozřejmě působí mnohdy značné problémy v podobě vyvěrání vody na půdní povrch (Vopravil, 2011).

Bohužel se v minulých letech odvodňovací systémy navrhovaly pouze z jediného účelu: odvést přebytečnou vodu z pozemku. Avšak s příchodem extrémních výkyvů počasí, zejména pak dlouhá suchá období, se stává odvodňovací systém jako velice nežádoucí prvek. Jeho hlavní účinnost tkví v odvedení přebytečné množství zimních srážek a poté co zemědělci ukončí jarní práci na polích, se systém stává zcela zbytečný až kontraproduktivní. Po odvedení přebytečné vody v období jarního tání je prioritou spíše vytvářet zásoby pro čím dál častější suchá období.

Drenážní systémy v České Republice jsou tedy spíše jednoúčelové a nemají možnost regulovat odtok za účelem právě funkce protikladné a to vodu zadržet. Přebytek či nedostatek vody je tedy řešen zvlášť. Buď to odvodňováním, nebo závlahy. Ačkoliv v minulém století zde byla možnost použití regulace odtoku na drenážním systému, tak pro náročnější návrh, výstavbu, provoz i údržbu se na tuto metodu zanevřelo (Radčenko a Němec, 1980). Ovšem situace se změnila vzhledem k potřebě zadržovat vodu v krajině z důvodu strádání v letních měsících a to po Usnesení Vlády České Republiky z roku 2015.

Správně nastavená regulace odtoku může vytvářet optimální podmínky pro retenční, akumulární a infiltrační procesy. Další výhodou více účelového systému odvodnění je redukce ztrát vody zapříčiněna evapotranspirací při závlahách. Diverzita vodního režimu se také zvyšuje a tím pádem i podporuje biodiverzitu. Tato strategie se v našich aktuálních podmínkách velice vyplatí. Na požadavky evropských i národních předpisů na ochranu vod ohledně množství, kvality i celkového ekologického stavu, ale i na protipovodňovou ochranu a gradujících suchých období, se více účelový odvodňovací systém ukazuje jako vhodné řešení (Kulhavý et.al., 2015).

Obrázek 8 Vodní eroze způsobena vývěrem drenážních vod v místě poškození svodného drénu



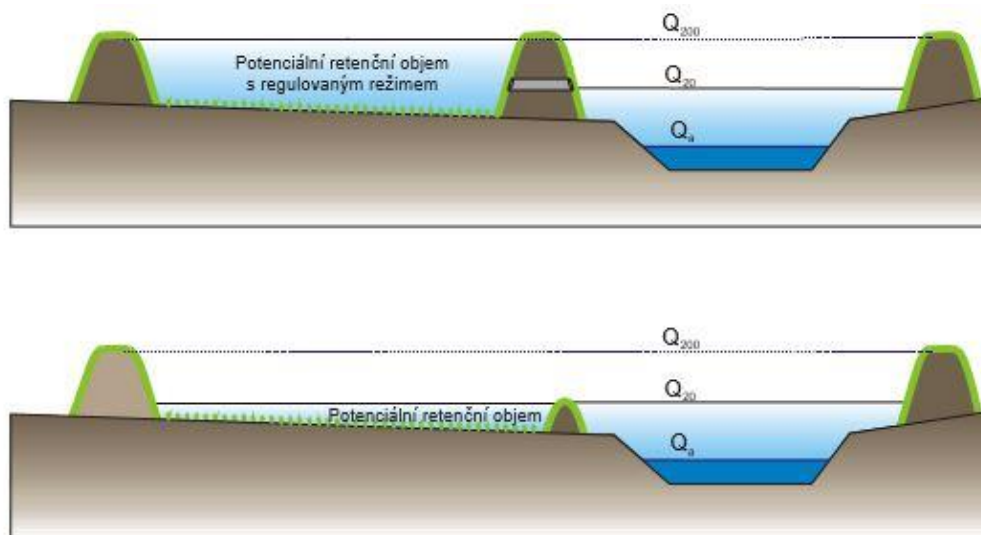
Zdroj: Kulhavý et.al., 2013 (Autor fotografie: Kulhavý Z.)

3.8.2 Opatření k regulaci odtoku vod

Opatření vždy technického typu jsou suché a polosuché nádrže (poldry), jež mají svůj retenční prostor pro zadržení nebo alespoň zmírnění povodňové vlny, tedy k určité regulaci odtoku vod. Zásobní prostory poldrů lze využívat například jako louky lužní lesy nebo mokřady přispívající ke zvyšování ekologické stability. Další velkou výhodou poldrů je možnost zachycení splaveného dřeva při povodňovém stavu a tedy i zmírnění povodňových škod (Janský, 2004). Poldry je možné rozlišovat podle toho, zda jsou nádrže průtočné či postranní, nebo zda jsou suché či polosuché. Poloha průtočného poldru je situována přímo na toku a díky tomu jsou k dispozici větší retenční prostory v nivě. K regulaci je na vodním toku instalována příčná hráz. Druhý typ poldru je od vodního toku situován po jeho straně a s vodním tokem je pojí kanály. K retenci a regulaci odtoku dochází tedy jen po dosažení určité hladiny za pomoci přelivů. Tento typ poldru se uplatňuje spíše na extrémní průtoky, kdežto poldr průtočný se uplatní i při menších povodních.

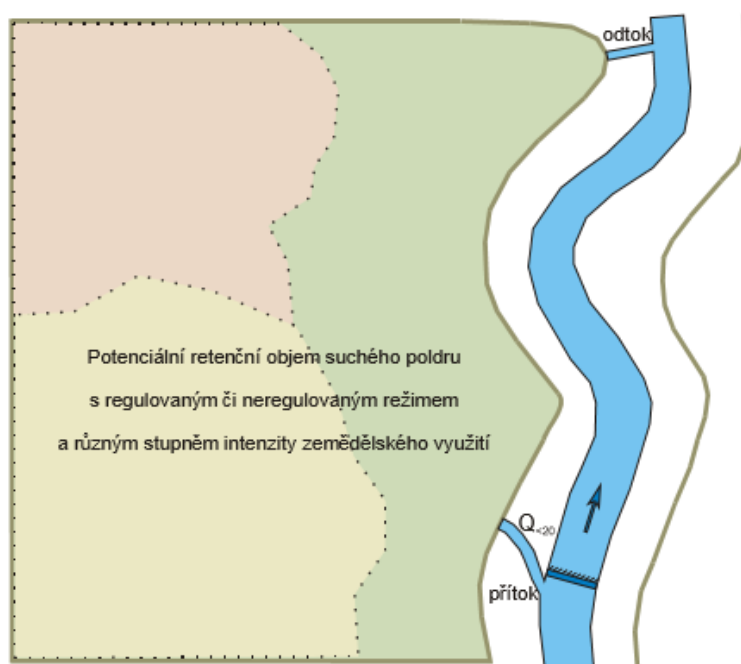
V ekologickém pojetí je polosuchý polder příznivější z důvodu stálého nadržení vody a tím pádem přispívá k ekologickému a krajinnému rozvoji. Důležité je také zmínit výhodu polosuchého poldru, jež eliminuje bezpečnostní riziko svým neustálým zvlhčováním paty hráze (Just et. al., 2005).

Obrázek 9 Schéma suchého poldru



Zdroj: Janský Bohumír (Kresba: J.Česák)

Obrázek 10 Schéma suchého poldru



Zdroj: Janský Bohumír (Kresba: J.Česák)

3.8.3 Protierozní opatření

Ztráta půdy při zemědělské činnosti je v posledních letech velkým problémem. Vznik erozních událostí předchází zejména při srážkách o velké intenzitě a zapříčiňuje tak odnos svrchní půdní vrstvy. Ztráta půdních částic pozměňuje půdní strukturu a tím značně redukuje retenční kapacitu a infiltrační schopnost. Tvorba nové půdy je proces opravdu dlouhý, tudíž je tento jev opravdu nebezpečný pro zemědělství. Proto je erozní problém často diskutovaným tématem dnešních zemědělců. Níže uvedená opatření snižující pravděpodobnost vzniku eroze se často prolíná s opatřeními s účinkem vodohospodářským. Zvýšit retenci vody v krajině a zabránit vzniku eroze lze také prostřednictvím protierozních opatření, které se v praxi nejvíce realizují v rámci komplexních pozemkových úprav (Kulhavý et.al., 2015).

Jako technická opatření zabraňující vzniku eroze se považují i meze, hrázky a příkopy. Tato opatření se často navrhují společně a zvyšují tak svoji účinnost. Meze byly budovány již v minulosti a sloužili jako hranice pozemků. Princip jejich skladby byly v podstatě jen na sobě naházené kameny. Postupem času však vytvořili nízké terasy. V současné době připomínají meze spíše nízké hrázky a povětšinou jsou doprovázeny právě příkopem, který se odkloňuje ze směru vrstevnic. Meze lze rozdělit na tři skladební části. Zasadovací pás nad mezí, vlastní těleso oné meze a odváděcí část, jako například průleh či příkop.

Hrázky se nejčastěji budují na úpatí svahů za účelem ochrany komunikací a intravilánu před přívalovými srážkami či zanesením naplavených sedimentů. Jsou stavěny z udusané zeminy, orné půdy a ozeleněním. V oblasti, kde se vyskytují půdy s vysokou infiltrační schopností, se používají vrstevnicové hrázky, jež zachycují povrchový odtok, který se následně infiltruje.

Příkopy jsou buďto s funkcí sběrnou, svodnou, nebo záchytnou. Sběrné příkopy přerušují dráhu povrchového odtoku a poté směřují do příkopů svodných. Pro vyšší stabilizaci se sběrné příkopy zatravnějí. Záchytné příkopy tvoří ochranu intravilánu před přítokem z výše situovaných oblastí. Svodné příkopy odvádí bezpečně nadbytečné množství srážek do hydrografické sítě. Rozlišujeme zpevněnou a nezpevněnou formu. Z důvodu vyššího podélného sklonu se navrhují častěji zpevněné svodné příkopy.

Protierozní meze, hrázky i příkopy vytvářejí velice důležité krajinné prvky, které v povodí o menší rozloze regulují odtok a zabraňují erozi.

Další možnost využití příkopů je kombinace s protierozní cestou. Asi nejznámější funkce cesty je funkce dopravní. Umožňují lepší přístup ke krajině, pozemkům a šetří náklady a energii každému uživateli. Ovšem je-li cesta správně navržena a doplněna určitými prvky, může plnit i funkci vodohospodářskou, protierozní či krajínovornou (Kulhavý et.al., 2015).

3.8.4 Opatření ke zvýšení infiltrace

Do této kategorie se řadí opatření zvyšující či udržující podmínky na kvalitu půdy. Infiltrační schopnosti půdy lze posílit aktivitou půdního edafonu. Jedním z proměnlivých faktorů infiltrace vody v podmínkách středně těžkých a těžkých půd je proces influkce vody, způsobený aktivitou žížal (Zeithaml, 2007). Ty vytvářejí spletitý systém půdních makropórů, jež provzdušňují půdní substrát a podporují vsak vody do spodních vrstev.

Většina opatření, které již byly zmíněny v předchozích kapitolách popisující přírodě blízká či technická opatření s vodohospodářským účinkem, mají tendenci podporovat vsak vody do půdy.

4 Vlastní práce

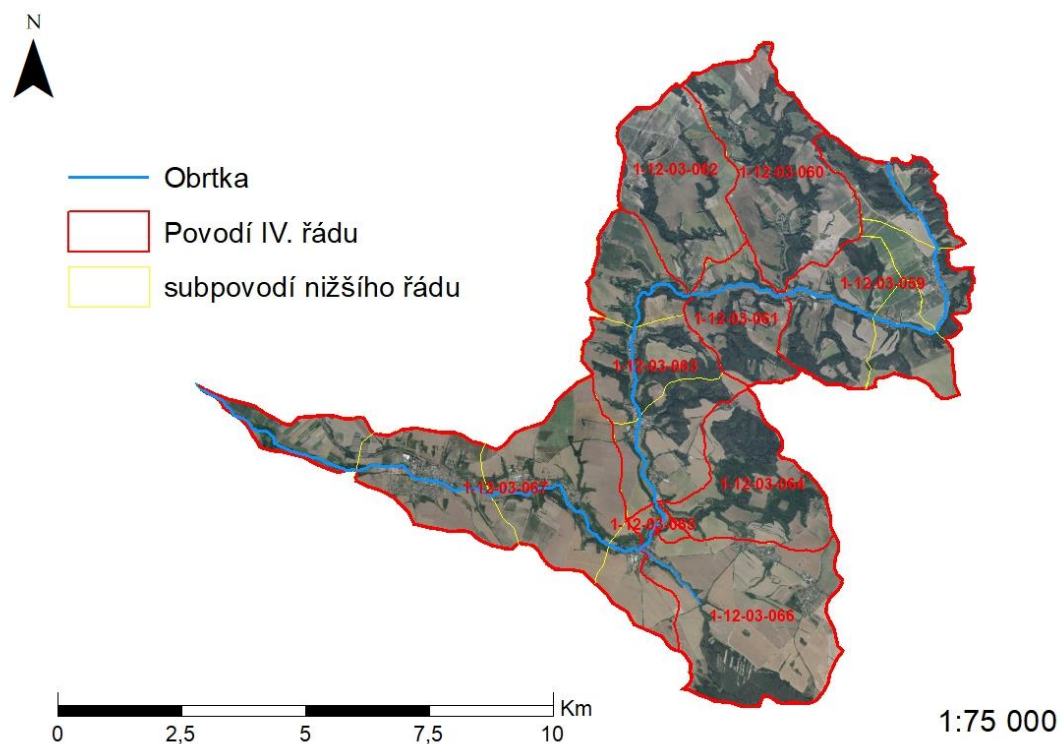
4.1 Popis zájmového území

Potok Obrtka (dříve Chablavka) pramení na západě chráněné krajinné oblasti Kokořínsko v obci Obrok. Teče jižním směrem přes obec Tuhaň a po necelých čtyřech kilometrech u obce Mošnice se Obrtka stáčí západním směrem a protéká obcemi Sukorady a Velký Hubenov. Ve Velkém Hubenově se nachází i malá vodní nádrž, za níž se tok upírá jižním směrem. Tímto směrem pokračuje několik kilometrů a protéká obcemi Střížovice, Snědovice a Křešov. V Radouni se opět stáčí směrem na severozápad přes obce Čakovice, Velešice, Hoštka a Polep zaústí do Úštěckého potoka. Celý tok Obrtky je dlouhý 29,5 km a povodí zaujímá plochu o rozloze 88,7 km². V horní části povodí se také nalézá pstruhový revír. Souběžně s tokem Obrtky prochází územím komunikace 3. třídy, na níž je právě umístěna i většina obcí v povodí. Obrtka má relativně úzkou údolní nivu, okolní kopce pískovcového základu vystupují a jsou rozbrázděny hlubokými stržemi.

Tok charakterizuje jisté specifikum. Vyskytují se zde příronové a ztrátové oblasti. Typicky ztrátová oblast náleží pro úsek Mošnice – Velký Hubenov, tudíž je po většinu roku suchý, ačkoliv nad či pod tímto úsekem je průtok trvalý.

4.1.1 Vymezení dle hydrologických a územně-správních kritérií

Obrázek 11 Hydrologické členění



Zdroj: vlastní zpracování

4.1.2 Způsoby zemědělského hospodaření

V zájmovém území se intenzivní zemědělská činnost provozuje spíše v dolní části toku, kde operují v z největší části tři hlavní zemědělské subjekty.

Agro Hoštka, s.r.o. má sídlo v obci Hoštka. Zabývá se pěstováním potravinářských plodin a vlastní ještě několik chmelnic. Podnik hospodaří významnou plochou v ochranném pásmu odběrů podzemních vod v povodí Obrtky. Z této skutečnosti vyplývá zásadní omezení využívání většiny chemických přípravků v zemědělství. Agro Hoštka, s.r.o. obhospodařuje půdu o rozloze celkem 2300 hektarů z toho 95 % se nachází v ochranném pásmu podzemních vod. V minulosti se firma zabývala především pěstováním chmele, ovšem s příchodem zákazu aplikací chemikálií, bez kterých se by se pěstování chmele neobešlo, se rozloha chmelnic zredukovala pouze na necelých 20 hektarů. Část této plochy je aktivně zavlažována. Zdrojem čerpané vody je řeka Labe.

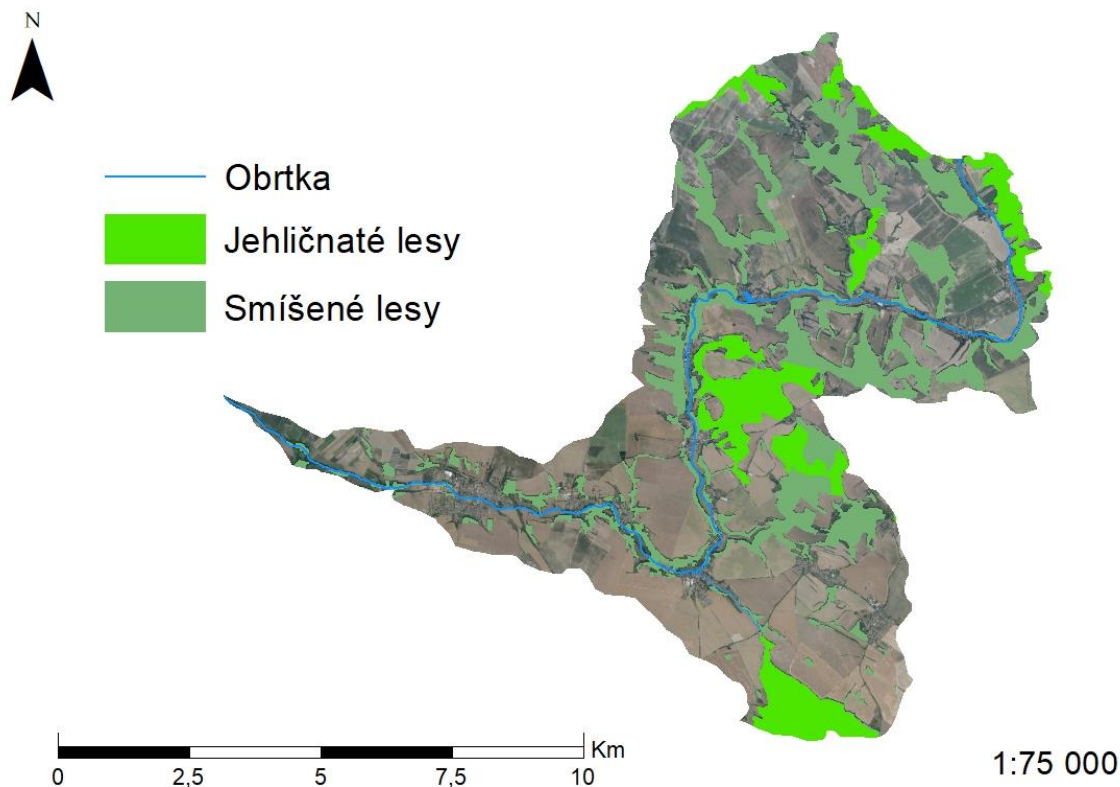
Problém pěstování chmele je zásadní v tom, že jeho produkce v našich podmínkách a bez závlahy je velice nízká. Navíc se nachází v ochranném pásmu a aplikace chemických prostředků je zde nemožná. Ostatní plodiny lze pěstovat v závislosti především na počasí.

Antonín Šťastný je obhospodařovatel celkem 1850 hektarů zemědělského půdního fondu, z toho je malá část zaujímají trvale travní porosty a zbytek tvoří právě orná půda. Soukromá společnost má sídlo v Julčíně. Zaměřuje se na potravinářské plodiny a energetickou kukuřici. Skladba plodin na orné půdě je cca 25 % pšenice ozimá, do 10 % ječmen jarní, 18 % řepka, 25 – 30 % kukuřice, zbytek pícniny. Kukuřice je pěstována jako energetická a je využívána ve vlastní bioplynové stanici v Julčíně. Podnik má ve vlastnictví určitou část orné půdy, která se nachází ve druhém vnitřním ochranném pásmu vodních zdrojů, tudíž i zde je jisté produkční omezení. Závlahový systém se zde nevyužívá. Předpokládá se, že odvodnění sice existuje, ale je nejspíš nefunkční. Údržba se neprovádí. Zamokření není problémem, stejně jako přesušení. O rušení ani budování dalšího odvodnění nemá podnik zájem.

Texal a.s. se zaměřuje na potravinářské a krmné plodiny. Sídlo společnosti je v Radouni. Podnik hospodaří na rozloze celkem 1940 hektarů zemědělského půdního fondu. Z toho jen 3,7 hektarů jsou trvale travní porosty, ostatní je orná půda. Skladba plodin je cca: pšenice ozimá 514 ha, ječmen ozimý 133 ha, triticales 138 ha – celkem obiloviny 800 ha. Kukuřice 560 ha, řepka 317 ha, zbytek – krmné plodiny. Produkce zaměřena na potravinářské a krmné plodiny, nikoliv energetické. V souvislosti s nitrátovou směrnicí je zde omezena aplikace zemědělské chemie, neboť se většina orné půdy nachází v ochranném pásmu podzemních vod druhého stupně. Podnik závlahový systém nevlastní. Ovšem na suchých písčitéch pozemcích poblíž Labe by závlaha byla jistě vítána, především pak v letních měsících. Ideální oblast pro závlahy je od obce Radouň a dále jihovýchodním směrem k obci Brocno. Bohužel zde není dostupný zdroj vody.

4.1.3 Způsoby lesního hospodaření

Obrázek 12 Pozemky určené k plnění funkcí lesa



Zdroj: cuzk.cz + vlastní zpracování

4.1.4 Existující vodohospodářské systémy

V současné době se v území nachází menší vodní nádrže. Na počátku 90. let byla vybudována vodní díla Mošnice, Velký Hubenov a Čakovice. Výstavba této soustavy nádrží byla uskutečněna z důvodu nadlepšení průtoků a zkvalitnění vodního režimu krajiny. Negativní dopad na vodní režim byl zapříčiněn vodárenskou exploatací v povodí Obrtky. Na území se rovněž nachází několik podzemních vodojemů, nebo objektů pro jímání podzemních vod. V poslední řadě je důležité zmínit, že prakticky celé povodí Obrtky se nachází v ochranném pásmu vodních zdrojů.

Vodní dílo Čakovice

Vodní nádrž v Čakovicích spravuje Povodí Ohře, ale jeho uživatelem je Český rybářský svaz pro Severočeské území. Účelem vodního díla je dle manipulačního řádu akumulace vody pro obnovu přirozeného vodního režimu krajiny a dále sportovní rybolov. Nádrž je průtočná, s bočním žlabovým bezpečnostním přelivem. Celkový ovladatelný prostor nádrže je 35 622 m³ při zatopené ploše 3,73 ha. Retenční prostor je 20 074 m³. Maximální hloubka dosahuje 2,05 m. Průtok $Q_{100} = 16,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{\text{MIN}} = 30,2 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. Bezpečnostní přeliv navržen na průtok 16,65 m³·s⁻¹ při maximální hladině. Délka přelivné hrany činí 24,57 m (Povodí Ohře, 2012).

Vodní dílo Mošnice

Správce vodního díla Mošnice je také státní podnik Povodí Ohře. Uživatel je také stejný, jako tomu bylo u předchozí vodní nádrže. Účelem vodního díla je dle manipulačního řádu akumulace vody pro obnovu přirozeného vodního režimu krajiny a dále sportovní rybolov. Přeliv je boční žlabový, délka přelivné hrany 16,9 m. Za přepadem je spadiště a skluz v celkové délce 50 m. Malá vodní nádrž na Obrtce vznikla rekonstrukcí starší nádrže na dolním okraji obce Mošnice. Nádrž je průtočná, účelem nádrže je snížení povodňových průtoků, vyrovnání odtoků a zvýšení retence území. Zásobní prostor nádrže je 16 580 m³ při zatopené ploše 1,72 ha a retenční prostor je 5 910 m³. Maximální hloubka je 1,64 metrů. Průtok $Q_{100} = 7,08 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{\text{MIN}} = 12,2 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. Bezpečnostní přeliv je navržen na průtok 7,36 m³·s⁻¹ při maximální hladině (Povodí Ohře, 2012).

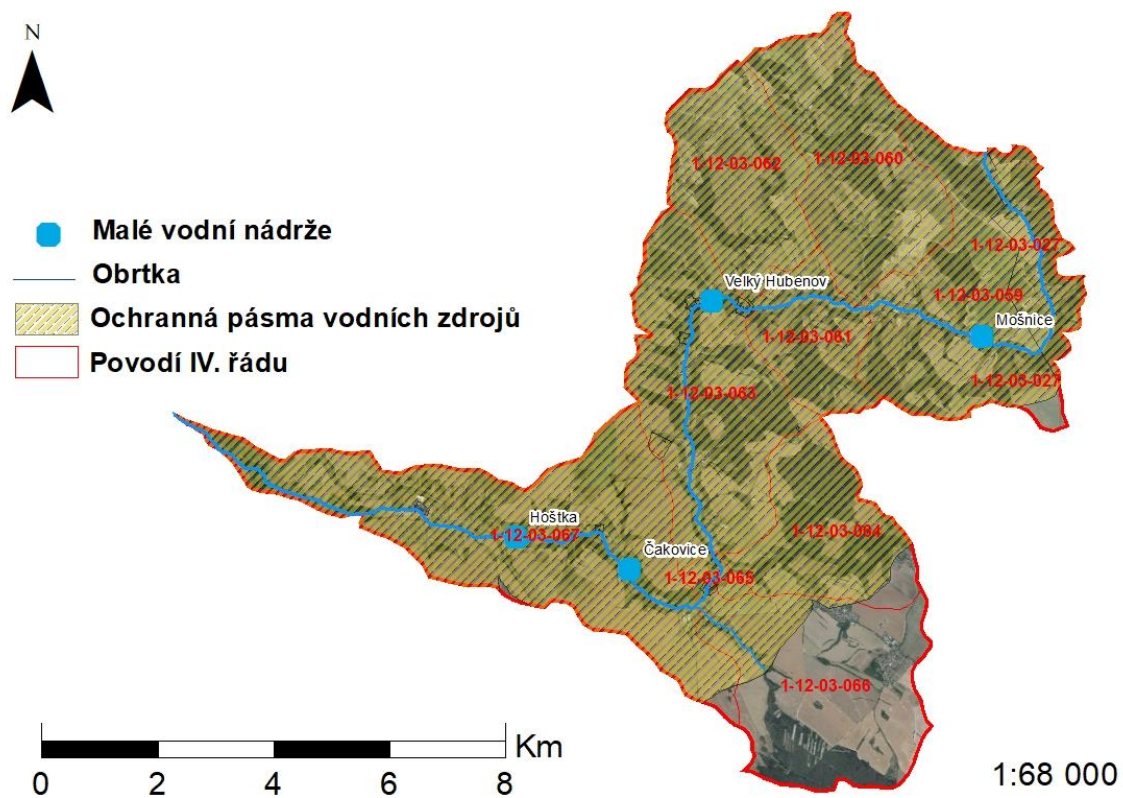
Vodní dílo Velký Hubenov

Správce vodního díla Velký Hubenov je opět státní podnik Povodí Ohře. Účelem vodního díla je dle manipulačního řádu akumulace vody pro obnovu přirozeného vodního režimu krajiny a dále sportovní rybolov. Malá vodní nádrž na Obrtce se nachází přibližně 500 m pod obcí Velký Hubenov. Nádrž je také průtočná a jejím účelem je snížení povodňových průtoků, vyrovnání odtoků a zvýšení retence vody v povodí. Celkový ovladatelný prostor nádrže je 12 325 m³ při zatopené ploše 1,66 ha, celkový retenční prostor činí 7 388 m³. Maximální hloubka je 1,52 m. Průtok $Q_{100} = 11,00 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{\text{MIN}} = 28,0 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. Bezpečnostní přeliv navržen na průtok 11,354 m³·s⁻¹ při maximální hladině (Povodí Ohře, 2012).

Vodní dílo Hoštka

Malá vodní nádrž na Obrtce mezi obcemi Hoštka a Velešice je umístěna na pravém břehu toku, nad křížením silnice a železniční tratě. Správcem nádrže je město Hoštka a uživatelem je Český rybářský svaz. Účel nádrže je snížení povodňových průtoků, zrovnoměnění odtoků, zadržení vody v krajině a zlepšení mikroklimatických podmínek. Nádrž je boční, nátok krytý česlemi je zabezpečen nátokovým objektem na toku Obrtky. Obtokové koryto Obrtky je kapacitní, je schopno provést bezpečně Q_{100} . Do nádrže je možné v případě nedostatku vody v Obrtce čerpat vodu z podzemního vrtu. Ten byl historicky osazen čerpadlem s výkonem 10 l.s^{-1} . Čerpání dnes využíváno není, ale po rekonstrukci by bylo použitelné. Nádrž Hoštka by šla rovněž využívat jako cílová pro převod vody z Labe. Průtok $Q_{100} = 16,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{355} = 15 \text{ l.s}^{-1}$. Objem zásobního prostoru je $11\,700 \text{ m}^3$ a retenčního prostoru $18\,530 \text{ m}^3$. Maximální hloubka činí 1,75 m při normální hladině

Obrázek 13 Vodohospodářská situace povodí Obrtky

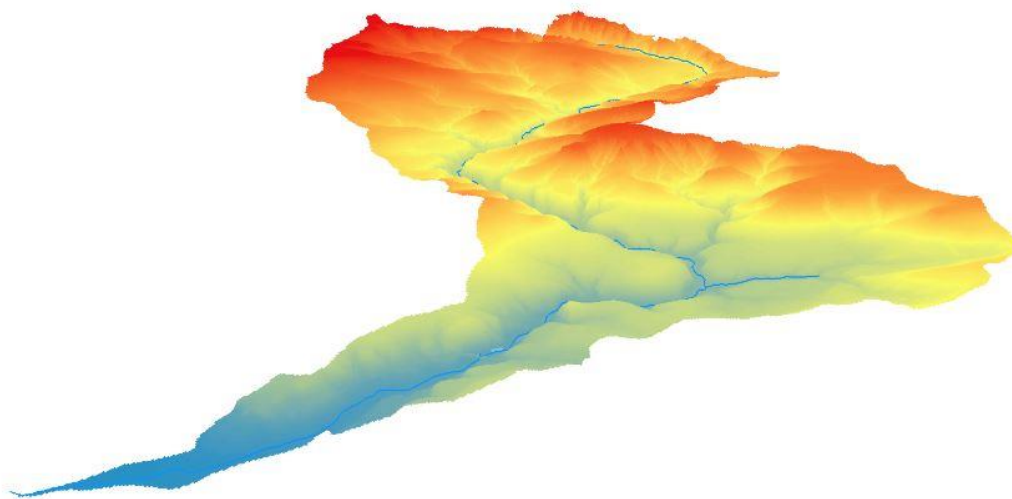


Zdroj: dibavod.cz + vlastní zpracování

4.2 Přírodní podmínky

4.2.1 Geomorfologie

Obrázek 14 Reliéf povodí Obrtky



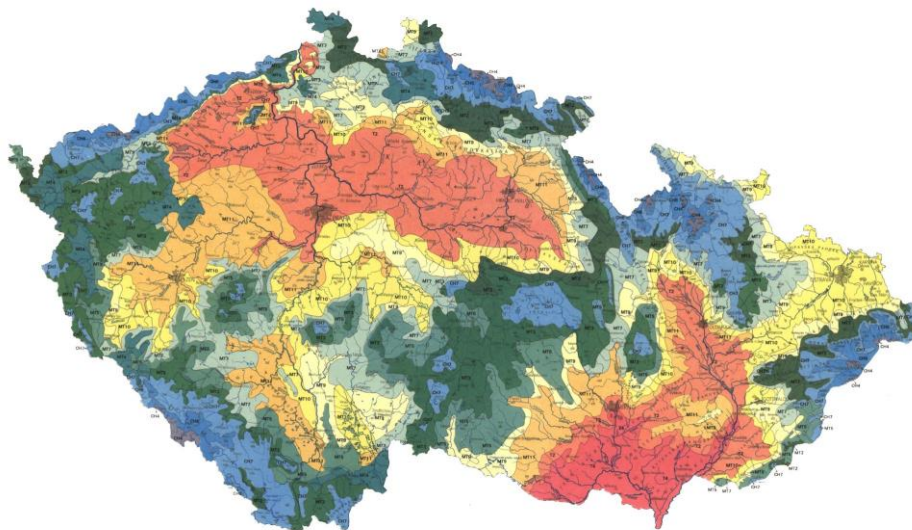
Zdroj: vlastní zpracování

4.2.2 Klimatické podmínky

Na zájmovém území se nacházejí dvě klimatické jednotky, které se obě řadí do teplé klimatické oblasti. Teplá klimatická oblast vlastní jen dvě jednotky v České Republice. Jednotka T2 se vyznačuje poměrně krátkým, teplým až mírně teplým jarem, léto je dlouhé, teplé a suché, podzim je celkem krátký, teplý až mírně teplý a zima je krátká, suchá až velmi suchá. Tato klimatická jednotka se nachází v Polabí, Poohří, na Žatecku a v Mostecké pánvi. Klimatická jednotka T4 se vyznačuje velmi krátkým a teplým jarem, léto je velmi dlouhé, velmi suché a velmi teplé, podzim je velmi krátký a teplý, zima je velmi krátká, teplá, suchá až velmi suchá (Quitt, 1961).

Tyto dvě klimatické jednotky jsou na našem území nejteplejší. Gradující dlouhá suchá období v posledních letech se obzvláště dotýkají zájmového území povodí Obrtky.

Obrázek 15 Klimatické regiony ČR dle Quittovi klasifikace



Zdroj: Quitt, 1961-2000

4.2.3 Krajinný pokryv

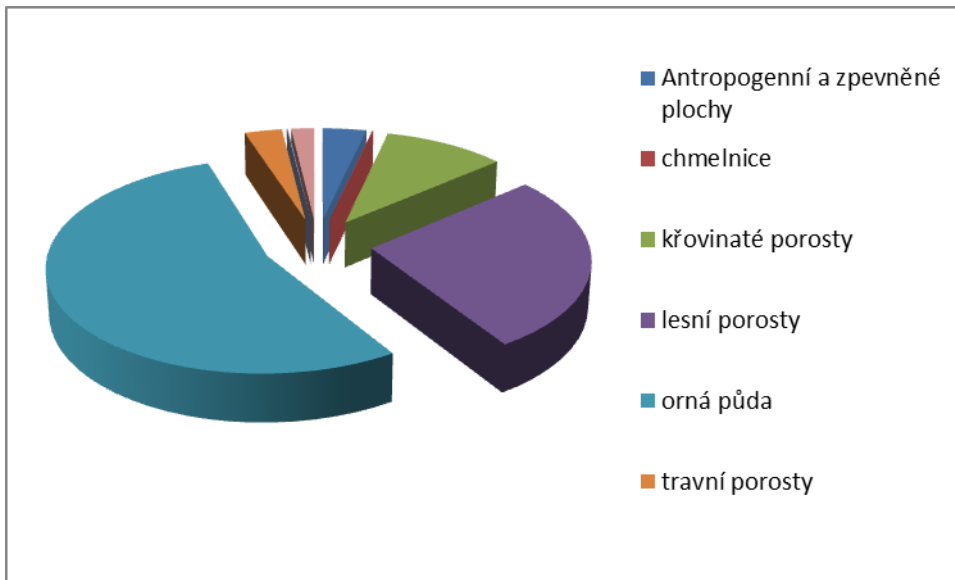
Jak lze vidět v následujícím grafu č. 1, více než na polovině území se rozléhá orná půda. Lesní porosty se vyskytují převážně v horní části povodí a zaujímají celkovou rozlohu 24,01 hektarů. Sady a vinice se v povodí nevyskytují. V povodí se vyskytují čtyři malé vodní nádrže a zaujímají tak jen desetinu procenta z celkového zastoupení krajinného pokryvu.

Tabulka 2 Krajinný pokryv povodí Obrtky

Krajinný pokryv povodí Obrtky	plocha [km ²]	plocha [%]
Antropogenní a zpevněné plochy	3,14	3,6
chmelnice	0,09	0,1
křovinaté porosty	8,92	10,1
lesní porosty	24,01	27,1
orná půda	47,74	54
sady	0	0
travní porosty	2,72	3,1
vinice	0	0
vodní plochy	0,11	0,1
zahrady	1,72	1,9
SUMA	88,45	100

Zdroj: Povodí Ohře





Graf 1 Krajinový pokryv povodí Obrtky



Zdroj: vlastní zpracování

4.2.4 Geologie

Geologické poměry jsou popsány v příloze č. 16. V těsné blízkosti vodního toku se vyskytují nivní usazeniny. Na pravé straně vodního toku převažují spíše spraše a sprašové hlíny. Na opačné straně pak převládají křemenné pískovce a podřízeně štěrkovité pískovce. Ojedinele se v blízkosti vodního toku nacházejí subvulkanické bazaltoidní brekcie

-  nivní sediment
-  spraš a sprašová hlína
-  subvulkanické bazaltoidní brekcie
-  pískovce křemenné, podřízeně štěrkovité pískovce

Obrázek 16 Geologická mapa (1:50 000)

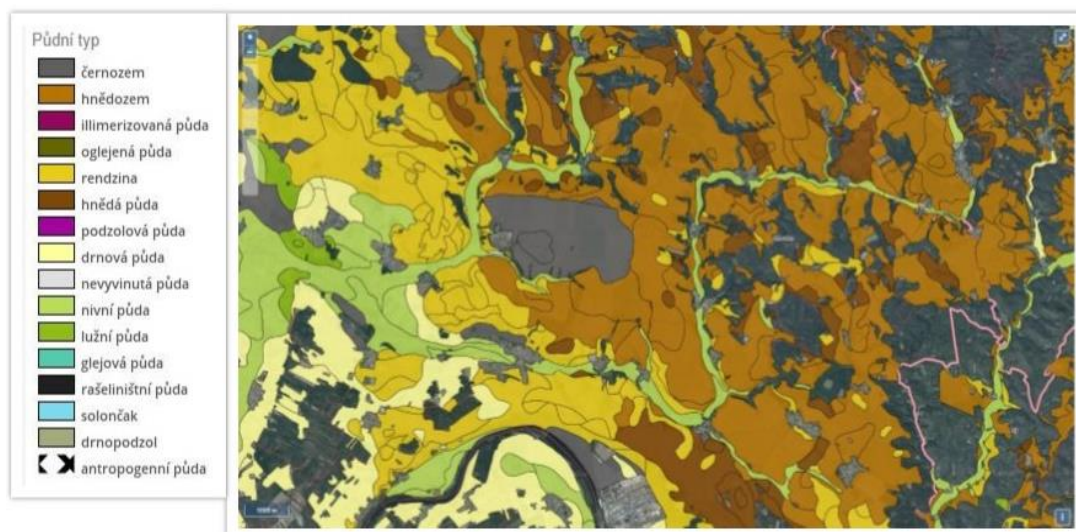


Zdroj: Česká geologická služba

4.2.5 Pedologie

V zájmovém území nejsou půdní typy nijak diverzifikované. Dominantní výskyt mají hnědozemě s doplněním hnědých půd. Podél vodního toku se po celé jeho délce vyskytují nivní půdy. V dolní části povodí, před soutokem s Úštěckým potokem se rozléhají rendziny.

Obrázek 17 Půdní typy povodí Obrtky



Zdroj: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy

4.3 Metodika

Zadržení vody v krajině je zcela zásadní v obou směrech – jak zdržení odtoků během povodňových stavů, tak zadržování vody v krajině pro snižování dopadů sucha. Jedná se tedy o systém opatření, fungujících v souladu s nejobecnějšími zájmy společnosti i v souladu se základní legislativou ČR. Tato kapitola popisuje metodický návod, jak identifikovat kritické lokality, v tomto případě subpovodí nižšího řádu, správně je kategorizovat dle stupně rizika a následně navrhnout v nejkritičtějších oblastech nápravná opatření ke zvýšení retence vody s dopady na bilanci celého povodí.

4.3.1 Realizace přípravných operací v GIS

Determinace kritických subpovodí je založena převážně na analýze vektorových dat v softwaru GIS. K řešení jsou potřeba následující vrstvy:

- Povodí IV. Řádu (dostupné ze serveru DIBAVOD)
- Digitální model reliéfu 5. generace (DMR5G)
- Vrstevnice oblasti (lze vytvořit z modelu terénu)
- Hydrografická síť a vodní plochy (dostupné ze serveru DIBAVOD)
- Využití území (podklady z fakulty životního prostředí ČZU)
- Databáze BPEJ (dostupné na webové adrese SPURCR)
- Ortofoto mapa (volně dostupné WMS)

Před samotnou analýzou byla výše zmíněná data kontrolována a v případě zjištění nepřesností byla opravena na pozadí mapy ortofoto. Převážně byly opraveny nedostatky vrstvy využití území, kde nebyly zohledněny menší zastavěné plochy, nebo bylo nutné doplnění vrstvy vodních ploch o chybějící malé vodní nádrže.

4.3.2 Tvorba povodí nižšího řádu

Pro počáteční fázi analýzy kritických oblastí bylo celé povodí Obrtky rozčleněno do menších územních celků – subpovodí V. a nižšího řádu. Tento krok obsahoval precizní

rozbor terénu. Pomocí rastrové sady DMT5G byla generována vektorová vrstva souřadnic. Zajímavým příspěvkem byla interpolační metoda *Topo to raster*, která byla speciálně vyvinuta pro modelování reliéfu. Jejím specifikem jsou hlavní vstupy do výpočtu. Zadáním vodních ploch, rastrové sady DMT5G, vodních toků, zájmového území a vrstevnic jakožto vstupní parametry, vznikne hydrologicky korektní terén, jenž ve výsledku demonstruje odtokové linie. Stanovením hydrografických rozvodnic za pomoci výše uvedených vstupních parametrů byla vytvořena vektorová vrstva jednotlivých subpovodí nižšího řádu (viz příloha č. 18).

4.3.3 Stanovení parametrů

Dalším podstatným krokem bylo stavení parametrů, na jejichž základech proběhne klasifikace jednotlivých subpovodí z hlediska schopnosti zadržovat vodu. Zde byl kladen důraz na vhodný výběr vzájemně nezávislých parametrů. Naprosto chybným postupem by zde proto byla například volba dvojice parametrů infiltračního koeficientu a retenční schopnosti půd daného subpovodí. Tyto dva parametry jsou v jistém smyslu na sobě závislé. Jejich korelace spočívá ve skutečnosti, že pokud určitý územní celek, přesněji půda má vysokou retenční schopnost, její schopnost infiltrace se značně snižuje (například jílovité půdy). V opačném případě pokud se půda vyznačuje nízkou retenční schopností, její schopnost infiltrace bude o to vyšší (například písčité půdy). Jako další nevhodný příklad volby parametrů lze uvést index zornění půdy a naproti tomu index vlivu lesních kultur či trvale travních porostů.

Jako vstupní parametry, na jejichž základě bylo klasifikováno celé povodí dle menších územních celků, byly tedy zvoleny:

- **Index zornění** – Klasifikace subpovodí na základě celkové plochy zemědělsky obdělávané půdy.
- **Index infiltrace** – Klasifikace subpovodí na základě infiltrace (tudiž i schopnosti retence vody).
- **Index sklonitosti** – Klasifikace subpovodí na základě celkové sklonitosti

Mezi takto stanovenými parametry se nevyskytuje korelace, jež by mohla významně ovlivnit výsledky klasifikace subpovodí.

4.3.4 Statistické operace (volba hranic tříd a sestavení histogramu četností)

Všechny statistické operace týkající se zvolených parametrů byly provedeny v programu Microsoft Excel. Ovšem ještě před samotnou analýzou dat byly provedeny následující úpravy. Pro hodnocení indexu zornění bylo nutné zjistit celkovou rozlohu jednotlivých subpovodí a v nich zastoupení orné půdy. Tato fáze byla snadnou operací v softwaru GIS, konkrétně pak operace s vrstvou využití území, jenž v sobě tuto informaci nese. Index zornění je tedy poměr plochy orné půdy a celkové plochy subpovodí. Podrobné informace indexů zornění jsou k dispozici v tabulce č. 4.

Pro parametr infiltrace byl využit obdobný postup. Webová adresa Českého statistického úřadu poskytuje volné stažení vektorové vrstvy bonitované půdně-ekologické jednotky (BPEJ), která byla základním podkladem pro tvorbu indexu infiltrace.

Bonitovaná půdně ekologická jednotka slouží k hodnocení produkční schopnosti zemědělských půd. Je charakterizována pětimístným číselným kódem. Každá kombinace z tohoto kódu popisuje odlišné charakteristiky zemědělské půdy. První číslice popisuje klimatický region, v němž se daná půdní jednotka nachází. Druhá a třetí číslice řadí půdy do hlavní půdní jednotky klasifikační soustavy. Čtvrtá stanovuje stupeň sklonitosti a expozici ke světovým stranám. Poslední číslo stanovuje hloubku a skeletovitost půdního profilu.

Nejdříve bylo nutné vytvořit průnik vrstev BPEJ a jednotlivých subpovodí. Poté nastala sumarizace jednotlivých hlavních půdních jednotek. Nástroj *Calculate geometry* vypočítal celkovou rozlohu jednotlivých půdních jednotek pro každé subpovodí. Další důležitou částí bylo stanovení kritických půdních jednotek z hlediska schopnosti infiltrace. Primárním zdrojem pro odvození infiltrace byla zrnitost půdy. Tabulku hydrologické skupiny pro každou půdní jednotku sestavili Kulasová, Šercl a Boháč v roce 2004. V této tabulce je také patrná již zmiňovaná korelace retenční vodní kapacity a infiltrační schopnosti. Možnost tedy zahrnout parametr retenční vodní kapacity namísto parametru infiltrace byl možný, ale zahrnout do klasifikace tyto parametry oba, by byla hrubá chyba. Z důvodu vysoké rychlosti infiltrace a tudíž i nízké retenční kapacity, byly označeny jako kritické takové půdní jednotky, jež spadají do zrnitostní kategorie písčité (p), hlinito-písčité (hp), písčito-hlinité (ph). Finální krok pro určení indexu infiltrace byl opět poměr rozlohy kritických půdních jednotek ku celkové rozloze jednotlivých subpovodí.

Třetí parametr, parametr sklonitosti byl klasifikován obdobně pomocí kódu BPEJ. Zde mi byla využita webová aplikace eKatalog BPEJ, která byla speciálně vyvinuta pro potřeby Ministerstva zemědělství České republiky. Z atributové tabulky vektorové vrstvy byla použita čtvrtá číslice pětičíselného kódu, jenž nese informaci o sklonitosti daného polygonu. Subpovodí ve kterém se nachází polygony s nejvyšší sklonitostí, jsou pro dané území nejrizikovější. Pro kontrolu a přesnější údaje vstoupila do této analýzy ještě funkce *slope*, jejímž podkladem je digitální model terénu. Rizikové území v tomto ohledu se rozumí takové území, které se vyznačuje sklonitostí 10 stupňů a více. Pro tuto podmínku byla použita funkce *greater than equal*. Výpočet celkového zastoupení těchto oblastí v plošných jednotkách musel být proveden pro každé dílčí povodí zvlášť. Funkce *Zonal statistict as table* dokázala vypočítat počet buněk, splňujících podmínku sklonu deseti stupňů. Pro převod na plošné jednotky stačilo jen poté vynásobit počet buněk a jejich velikost (cell size).

Další etapou prací bylo vymezení hranic tříd, pro zařazení výsledných indexů všech tří parametrů. K nastavení hranice tříd bylo využito základní statistické charakteristiky souborů a zákony rozdělení pravděpodobnosti. Výsledné indexy jsou hodnoty, které vycházejí z předpokladu, že mají charakter Gaussova normálního rozdělení pravděpodobnosti. Smyslem této aplikace je vyrovnání průběhu ve střední části a extrapolace do oblasti extrémních hodnot, kde se nachází ojedinělé hodnoty indexů. Metoda je založena na rozdělení výsledných indexů do intervalů, jež jsou dány počtem výskytů. Vznikl pak jistý histogram četnosti. Histogram byl rozčleněn do pěti intervalů obsahujících všechny výsledné indexy parametrů. K takto nastaveným intervalům jsou přiřazeny klasifikační třídy od jedné do pěti a k nim také slovní hodnocení (viz tabulka č. 5).

Celkový stupeň rizika daného subpovodí je dán aritmetickým průměrem všech tří dílčích stupňů rizika. Například pokud index zornění je dán hodnotou 0,55, náleží do třetího intervalu <0,51-0,70>. K tomuto intervalu je stanovena klasifikační třída 3 a slovní hodnocení střední rizikovosti. Infiltrační index je roven 0,2, a tudíž je k němu přiřazena 2. klasifikační třída. Poslední zkoumaný parametr je index sklonitosti - jeho hodnota je například rovna 0,15. Jeho příslušná klasifikační třída je 4 – velké riziko. Z toho plyne, že celkový součet všech tří dílčích klasifikačních hodnot je roven 9, a tudíž jeho aritmetický

průměr se rovná 3, tj.- střední riziko. Pokud nastane situace, kdy aritmetickým průměrem vznikne desetinné číslo, poté je výsledek zaokrouhlen na celé číslo.

Rovnice 1 Výsledná klasifikace povodí Obrtky

$$\mathbf{SRB = \frac{SR-I_{orna} + SR-I_{infi} + SR-I_{sklon}}{3}}$$

Zdroj: Povodí Vltavy, 2018

Výsledná klasifikace všech subpovodí je zobrazena v tabulce č. 13 a mapová situace na obrázku č. 18.

Z tabulky je tedy patrné, že dle výše popsané metodiky jsou nejkritičtější subpovodí v dolní části toku. Konkrétně pak subpovodí číslo 13,14 a 15. Z tohoto důvodu budou patřičná opatření, směřující ke zvýšení retence vody v povodí, navrhována zejména v této části toku.

Tabulka 3 Hydrologická charakteristika zemědělských půd ve vztahu k BPEJ dle infiltrace a retence

HSP	Skupina zemědělských půd	Rámcová zrnitostní charakteristika	HPJ	Infiltrace [mm.min ⁻¹]	HPJ	RVK [l.m ⁻²]
A	1	p, hp	04, 05, 17, 21, 31, 32, 55	Vysoká > 2,5	04, 17, 21, 31, 37, 38, 39, 40, 55	Nízká < 60
B	2	ph	13, 16, 22, 27, 29, 30, 34, 36, 37, 38, 40, 41	Vyšší střední 0,83 – 2,5	dtto	Nízká < 35
	3	h	01, 02, 08, 09, 10, 11, 12, 14, 15, 18, 19, 24, 25, 26, 28, 33, 35, 42, 43, 56, 60	Střední 0,08 – 0,83	05, 13, 18, 22, 23, 27, 29, 30, 32, 34, 36, 41, 48, 51	Nížší střední 60 - 140
C	4	jh	03, 06, 23, 39, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 52, 57, 58, 62, 64, 65, 75, 77, 78	Nížší střední 0,025 – 0,08	dtto	Nížší střední 35 - 80
D	5	ju, j	07, 20, 49, 53, 54, 59, 61, 63, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 76	Nízká < 0,025	01, 02, 03, 08, 09, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 26, 28, 33, 35, 42, 45, 46, 56	Vysoká 220 - 320

Zdroj: (Kulasová, Šercl, Boháč, 2004)

4.4 Klasifikační systémy pro výběr a zacílení navržených opatření

4.4.1 Vstupní podklady a data

- Digitální model reliéfu 5. generace (DMR5G)
- Vrstevnice oblasti (lze vytvořit z modelu terénu)
- Hydrografická síť a vodní plochy (dostupné ze serveru DIBAVOD)
- Využití území (podklady z fakulty životního prostředí ČZU)
- Databáze BPEJ (dostupné na webové adrese SPURCR)
- Ortofoto mapa (volně dostupné WMS)
- Studie vyhodnocení potenciálu vodních zdrojů v povodí Úštěckého potoka (podklady z povodí Ohře)

4.4.2 Výsledky dílčích analýz provedených v GIS

- a) Výsledky stanovení indexu zornění

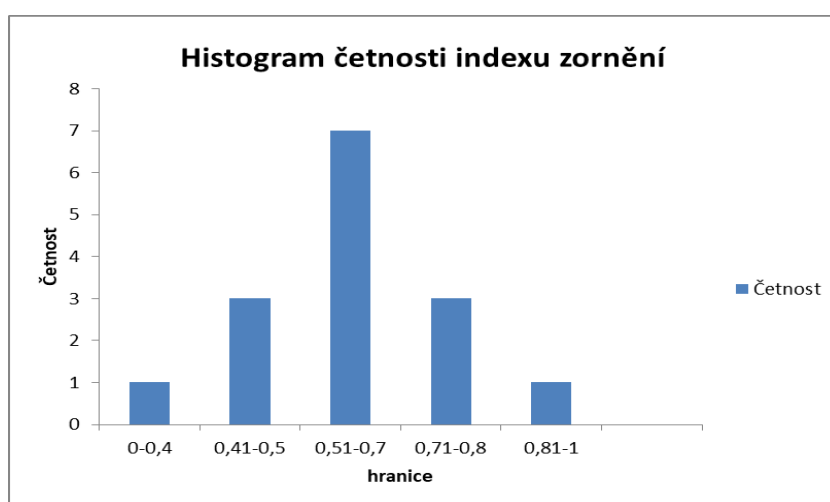
Tabulka 4 Podklad pro výpočet indexu zornění

č. subpovodí	plocha ornice [ha]	plocha subpovodí [ha]	index zornění
1	77,02	318,25	0,24
2	129,71	263,66	0,49
3	195,84	230,81	0,85
4	280,46	494,19	0,57
5	550,60	904,11	0,61
6	237,29	405,55	0,59
7	517,57	683,80	0,76
8	215,80	319,09	0,68
9	164,74	392,80	0,42
10	226,90	414,35	0,55
11	274,44	625,20	0,44
12	936,37	1339,71	0,71
13	579,66	752,69	0,77
14	313,91	483,16	0,65
15	191,57	242,92	0,79

Zdroj: vlastní zpracování

V předešlých odstavcích byl popsán postup, jakým byl index zornění vypočítán. Nejrozlehlejší část je subpovodí číslo 12 s 1339,71 hektary. Naopak nejmenší rozlohu má subpovodí číslo 3. Zastoupení orné půdy v dané části povodí je taktéž největší u čísla 12. Ovšem s ohledem na rozlohu subpovodí to není nejkritičtější povodí. Dle posledního sloupce tabulky je zřejmé, že nejvíce zasažená oblast zemědělskou činností je právě subpovodí číslo 3. Orná půda se rozkládá na 85% území. Nejméně postiženou oblastí je pak subpovodí 1, kde Obrtka pramení a vyznačuje se spíše lesnatou scenerií.

Graf 2 Histogram četnosti indexu zornění



Zdroj: vlastní zpracování

Histogram četnosti indexu zornění zcela připomíná Gaussovo normální rozdělení. Do extrémních hodnot na okraji grafu se zařadily pouze dvě hodnoty s nejnižší a nejvyšší hodnotou indexu zornění. Nejvyšší četnost dosahuje střední interval, jenž obsahuje téměř polovinu celku.

Tabulka 5 Stanovení intervalů indexu zornění

klasifikační třídy	Izor	Slovní hodnocení
I	<0-0,4>	Zanedbatelné riziko
II	<0,41-0,50>	Malé riziko
III	<0,51-0,70>	Střední riziko
IV	<0,71-0,80>	Velké riziko
V	<0,81-1,00>	Velmi významné riziko

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 6 Klasifikace indexu zornění

č. subpovodí	SR-I orna
1	1
2	2
3	5
4	3
5	3
6	3
7	4
8	3
9	2
10	3
11	2
12	4
13	4
14	3
15	4

Zdroj: vlastní zpracování

Výsledné hodnocení z prvního parametru vyšlo jako nejrizikovější subpovodí s označením 3. V oblasti je tedy zastoupení orné půdy nejvyšší a má negativní vliv na distribuci vody v povodí. Téměř bezproblémová se jeví pramenná oblast povodí Obrtky, jež je z větší části zalesněna. Pozitivní účinky lesní krajiny na retenci vody v krajině již byly popsány.

b) Výsledky stanovení indexu infiltrace

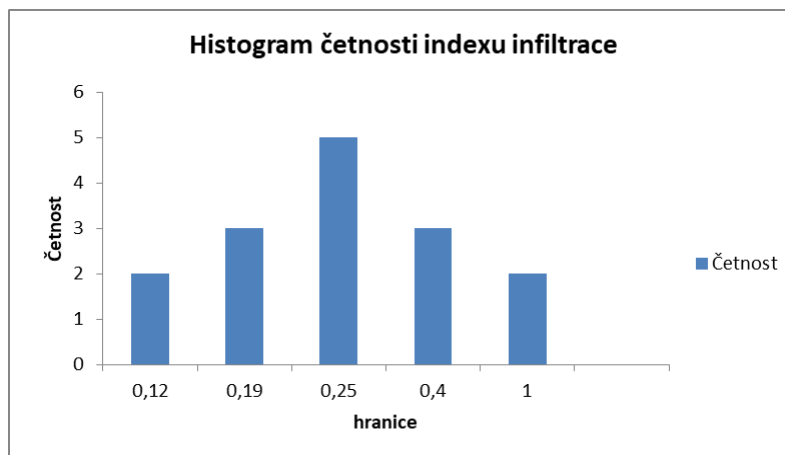
Tabulka 7 Indexy infiltrace jednotlivých subpovodí

č. subpovodí	I inf
1	0,129
2	0,097
3	0,126
4	0,260
5	0,203
6	0,229
7	0,196
8	0,163
9	0,182
10	0,215
11	0,207
12	0,326
13	0,294
14	0,468
15	0,441

Zdroj: vlastní zpracování

U druhého zkoumaného parametru jsou z důvodu vysoké infiltrační schopnosti kritická poslední dvě subpovodí v dolní části toku. Jejich schopnost zadržovat vodu je velice nízká. Zde se opět projevuje pozitivní účinek lesního hospodářství v horní části toku, kde index vychází velmi nízký.

Graf 3 Histogram četnosti indexu infiltrace



Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 8 Stanovení intervalů indexu infiltrace

klasifikační třídy	I INF	Slovní hodnocení
I	<0-0,126>	Zanedbatelné riziko
II	<0,127-0,19>	Malé riziko
III	<0,191-0,25>	Střední riziko
IV	<0,251-0,4>	Velké riziko
V	<0,41-1,00>	Velmi významné riziko

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 9 Klasifikace indexu infiltrace

č. subpovodí	SRI inf
1	2
2	1
3	1
4	4
5	3
6	3
7	3
8	2
9	2
10	3
11	3
12	4
13	4
14	5
15	5

Zdroj: Vlastní zpracování

Analýza druhého parametru odhalila, že z pohledu retenční schopnosti jsou riziková zejména subpovodí 14 a 15. Jejich zrnitostní charakteristika se vyznačuje tím, že oblasti se skládají převážně s půdy písčité, hlinito-písčité nebo písčito-hlinité.

c) Výsledky stanovení indexu sklonitosti

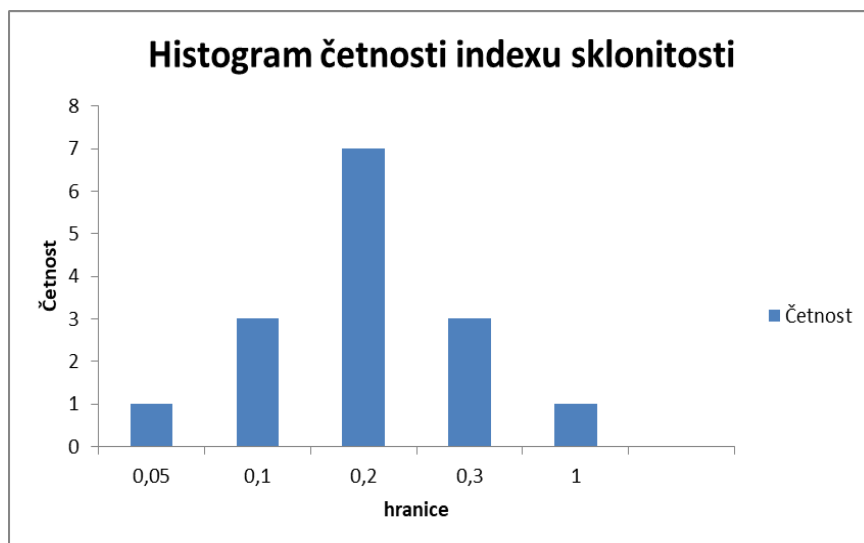
Tabulka 10 Indexy sklonitosti jednotlivých subpovodí

č. subpovodí	SRI sklon
1	0,311
2	0,138
3	0,155
4	0,098
5	0,144
6	0,220
7	0,095
8	0,149
9	0,280
10	0,198
11	0,249
12	0,054
13	0,112
14	0,118
15	0,022

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka č. 10 uvádí výsledné indexy sklonitosti. I zde posloužila vektorová data BPEJ kódů, jež v sobě nesou i také informaci o sklonitosti daného území. Pro přesnější výsledky vstoupila do této analýzy ještě funkce *slope*, která pracuje s daty digitálního modelu terénu. Rizikové území v tomto ohledu se rozumí takové území, které se vyznačuje sklonitostí alespoň 10 stupňů.

Graf 4 Histogram četnosti indexu sklonitosti



Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 11 Stanovení intervalů indexu sklonitosti

klasifikační třídy	I sklon	Slovní hodnocení
I	<0-0,05>	Zanedbatelné riziko
II	<0,051-0,1>	Malé riziko
III	<0,11-0,2>	Střední riziko
IV	<0,21-0,3>	Velké riziko
V	<0,31-1,00>	Velmi významné riziko

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 12 Klasifikace indexu sklonitosti

č. subpovodí	SRI sklon
1	5
2	3
3	3
4	2
5	3
6	3
7	2
8	3
9	4
10	3
11	4
12	2
13	3
14	3
15	1

Zdroj: Vlastní zpracování

Klasifikace posledního parametru řadí první subpovodí jako oblast s nejvyšším sklonem. I přes tento fakt, je toto dílčí povodí poměrně dosti zalesněno a tudíž nedochází k tak rychlému odtoku, jako by tomu tak bylo v případě orné půdy. Navíc lesní krajina má schopnost zpevňovat svahy. Další kritická dílčí povodí jsou s označením 9 a 11. V jedenáctém subpovodí jsou ovšem místa s největším sklonem také zalesněny.

4.4.3 Výsledná klasifikace povodí Obrtky

Jak je již popsáno v metodice, výsledná klasifikace se určí jako aritmetický průměr výsledků všech dílčích analýz. Na základě získaných výsledků (tabulka č. 13) budou veškerá vodohospodářská opatření navržena převážně v těchto kritických subpovodích.

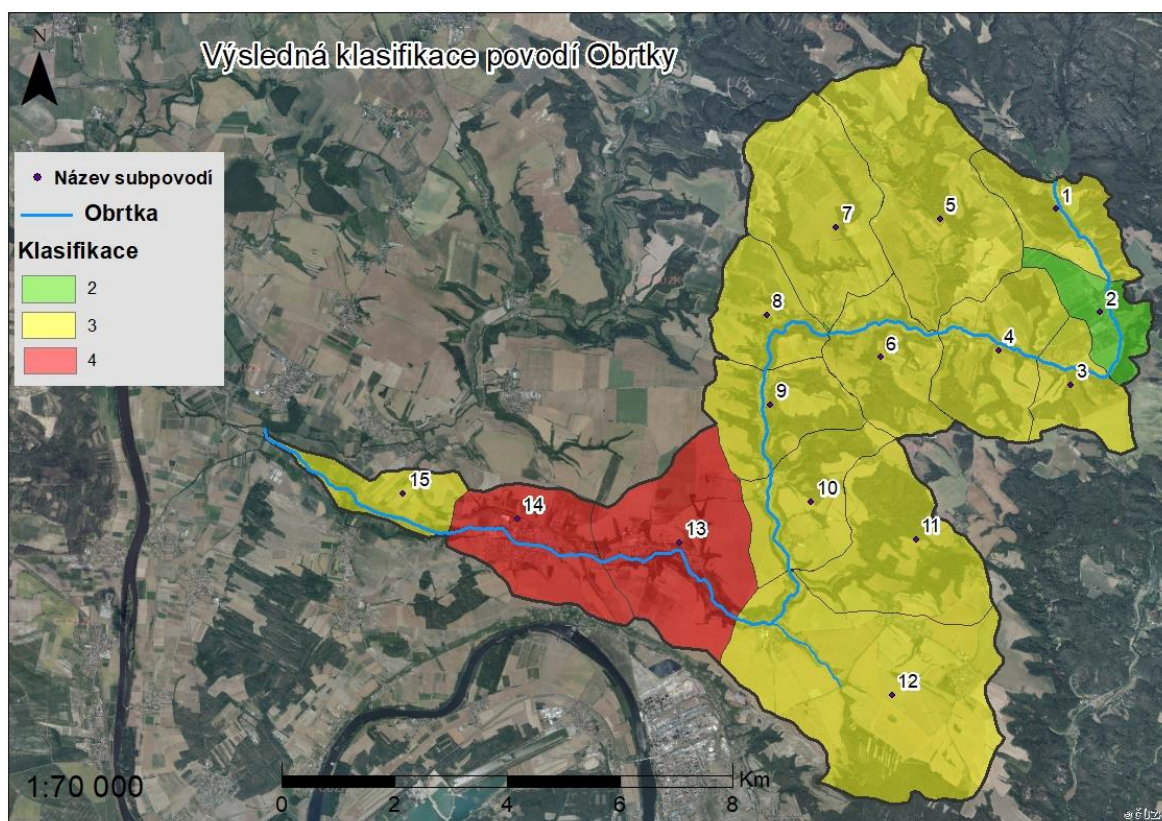
Tabulka 13 Výsledná klasifikace povodí Obrtky

č. subpovodí	SR-I orna	SR-I infiltrace	SR-I sklon	SRB
1	1	2	5	3
2	2	1	3	2
3	5	1	3	3
4	3	4	2	3
5	3	3	3	3
6	3	3	3	3
7	4	3	2	3
8	3	2	3	3
9	2	2	4	3
10	3	3	3	3
11	2	3	4	3
12	4	4	2	3
13	4	4	3	4
14	3	5	3	4
15	4	5	1	3

Zdroj: Vlastní zpracování

Metodika použitá pro jednoznačné určení rizikových dílčích povodí stanovuje jako riziková subpovodí s označením 13 a 14. U těchto povodí se nejčastěji vyskytuje kombinace nepříznivých hodnocení (kategorie 4 a 5). Tato oblast je z velké části pokryta zemědělskou půdou s průměrným faktorem sklonitosti. Ovšem nemalým problémem jsou hlavní půdní jednotky, které se na této oblasti vyskytují. Figurují ze převážně písčité, hlinito-písčité či písčito-hlinité půdy, jejichž schopnost zadržovat vodu je velice nízká.

Obrázek 18 Výsledná klasifikace povodí Obrtky



Zdroj: Vlastní zpracování

4.5 Koncepce návrhu opatření

V této části diplomové práce budou popsány a zdůvodněny typy navržených opatření. Následně bude rozebrána účinnost opatření z vodohospodářského hlediska, konkrétně pak přímý vliv zlepšení kvantity zadržování vody v krajině.

4.5.1 Typy navržených opatření

Průleh

Hlavní účel záchytného průlehu je snížit kinetickou energii a množství povrchové vody. Opatření je vhodně umístěno v poměrně svažité oblasti a díky mechanickému zpevnění půdy kořenovým systémem chrání cennou ornici před možnou erozí.

Dva retenční průlehy jsou navrženy podél vrstevnic a dva průlehy kopírují svážnice. Průlehy podél vrstevnic v subpovodí číslo 13 se nachází na území s maximálním sklonem 4-5 %. Oba průlehy ve svážnici jsou z důvodu vyšší sklonitosti zatravněny. Zatravnění sníží rychlost i energii tekoucí vody a podpoří infiltraci. Retenční průleh ve svážnici v subpovodí 12 je navržen v nejvíce příkrém území, tudíž bylo nutné jej opatřit retenčními hrázkami. Ty mají za účel zbrzdit povrchový odtok a poskytnout tak více času odtékající srážkové vodě se vsáknout. Retenční hrázky jsou navrženy tak, aby nadbytečná voda měla možnost odtékat do vedlejší dřevinné vegetace. Retenční průlehy navržené v subpovodí 13 vyúsťují do průlehů svodných.

Průlehy svodné bezpečně odvádějí vodu z průlehů sběrných či retenčních při intenzivních a přívalových srážkách. Jelikož je hlavní účel této práce srážkovou vodu v krajině zadržet, jsou všechny svodné průlehy zatravněny a některé z nich opatřeny retenčními hrázkami. Svodné průlehy v subpovodí 13 jsou navrženy z větší části na pozemcích určených k plnění funkcí lesa. V lesním porostu by bylo možné zvýšit retenci vody spolu s retenčními hrázkami ještě příčnými překážkami například v podobě mrtvého dřeva, jež má také značnou retenční schopnost. Odváděcí průleh se před vyústěním do polosuché nádrže větví a je přehrazen další retenční hrázkou. Poté končí v lesním porostu.

Díky mírným sklonům jsou průlehy přejezdné pro zemědělskou mechaniku. Hlavní výhodou je však transformace povrchového odtoku na podpovrchový, zadržení srážkové vody v krajině a podpora dlouhodobých zásob podzemních vod.

Svodný příkop

Svodné příkopy jsou navrženy pouze v subpovodí 12 a to zejména za účelem bezpečného odvedení vody. Příkop svodný lze vybudovat zpevněný i nezpevněný. Pověštinou mají lichoběžníkový tvar. Dva svodné příkopy jsou navrženy tak, aby odváděly srážkovou vodu z obcí Brocno a Chcebuz. Příkop situovaný na východní straně začíná přímo v intravilánu obce Brocno, poté prochází svážnicí zemědělské plochy až k dřevinné vegetaci, kterou asi 350 metrovou vzdálenost lemuje a následně je svodný příkop zaústěn do nově navrženého mokřadu. Další svodný příkop začíná pod obcí Chcebuz v lesním porostu. Příkop také prochází svážnicí a po celé jeho délce je z levé strany lemován lesním porostem. Následně také zaústuje do stejného mokřadu. Z tohoto mokřadu, jenž je dotován srážkovou vodou ze dvou odvodňovacích příkopů a jedním odváděcím průlehem, je dále navržen poslední svodný příkop. Ten odvádí podél polní cesty přebytečnou vodu z mokřadu a poté vyústuje do nově navrženého zatravněného retenčního průlehu, který je v jeho dolní části přehrazen dvěma retenčními hrázkami. Celý tento systém dotuje občasný tok z Radouňského dolu, který má v obci Radouň soutok s Obrtkou.

Mokřad

Jak již bylo v práci vysvětleno, mokřady značný potenciál při zadržování vody v místech, které mají přirozenou schopnost soustředování a zadržování vody, které jsou zpravidla nevhodné pro zemědělské hospodaření. Vedle zlepšení biodiverzity ovlivňují mikro klima (lokálně zvyšují evapotranspiraci a vázáním skupenského tepla tak snižují teplotu okolního vzduchu), zvyšují také infiltraci vody do přilehlé půdy a do nižších propustnějších půdních horizontů. Tím zvyšují akumulaci vody v krajině.

Návrh mokřadu o rozloze 2,3 hektarů se jeví jako dobrý způsob, jak podpořit zadržení vody v krajině. Mokřad je navržen nad lesním porostem, který má také výbornou retenční schopnost. Je umístěn pod poměrně strmým územím, které je využíváno převážně zemědělsky. Z této plochy bude pomocí odvodňovacích průleहů a příkopů svedena voda, jež bude dotovat navržený mokřad. Jelikož je výškové převýšení mokřadu přibližně 7 metrů, jsou do mokřadu umístěny přehrážky ve formě teras, které napomůžou redistribuci vody horních částí mokřadu. Přehrážky dávají možnost při delším srážkovém období či přívalových deštích převést vodu do lesního porostu, který je schopen přebytek vody dále zadržet a využít.

Mokřad dále posílí územní systém ekologické stability, jelikož se nachází v přímé blízkosti nadregionálního biokoridoru. Lesní zvěř může mokřad využívat jako zdroj vody. Mokřad byl navržen v dostatečné vzdálenosti od intravilánu, aby nepříjemný bodavý hmyz, jež se v mokřadní oblasti často vyskytuje, nijak neobtěžoval tamní obyvatele.

Je velice důležité zde nahlížet také na změnu vodního režimu, který nastane při zřízení mokřadu. Půdní profil ovlivněný mokřadem se vyznačují dobrou schopností vodu nejen dlouhodobě zadržovat/akumulovat, ale také ji postupně uvolňuje. Ovšem je-li mokřadní oblast trvale pod vodou, značně se tím snižuje retenční prostor půdních pórů (trvale zaplněných vodou) a ten pak již nedokáže zadržet další přitékající vodu během vydatných srážek. Mokřad je umístěn vedle lesního porostu, vyznačující se velkou retenční schopností. Z mokřadu vede příkop zaústěný do dalších navazujících retenčních opatření, takže má srážková voda dostatek času a prostoru infiltrovat do půdy, než se napojí do hydrografické sítě.

Zasakovací pás a retenční hrázky

Zasakovací pásy jsou navrženy v subpovodích 13 a 14. Jsou umístěny v mírné svážnici, kde se soustředí povrchový odtok. Zasakovací pás má sloužit jednak ke zpomalení soustředěného povrchového ronu, k zachycení sedimentů a jak je z názvu opatření jasné, k podpoře vsaku protékající srážkové vody. Zasakovací pás v subpovodí 14 je v průměru 30 metrů široký. Pro lepší účinnost opatření jsou k zasakovacím pásům přidány ještě retenční hrázky. Z důvodu strmější svážnice je zasakovací pás v subpovodí 14 opatřen celkem šesti hrázkami, které jsou pro případ intenzivních srážek nasměrovány do dřevinné vegetace. Zasakovací pás v subpovodí 13 je v průměru asi 65 metrů široký, ovšem je o něco kratší, než předchozí zasakovací pás. Je opatřen jen třemi retenčními hrázkami z důvodu menší sklonitosti. Retenční hrázky jsou také navrženy v dřevinné vegetaci, která lemují svážnici.

Výhodou zasakovacích pásů je jejich finanční nenáročnost. Nevýhodou v tomto případě je poměrně velký zábor půdy, který u zatravnění není tak radikální a trvalý, současně však zamezí vzniku erozních událostí. Navržený zasakovací pás v subpovodí 14 vyplňuje úzký prostor zemědělské půdy, který je vměstnán mezi pozemky určené k plnění funkcí lesa a je tak organicky včleněn do krajinné mozaiky.

Zalesnění

Proces záboru zemědělské půdy v rámci zalesnění může být dosti komplikovaný. Nicméně v tomto případě se nejedná o tak velký zábor zemědělského půdního fondu. V subpovodí 14 je návrh zalesnění uzpůsoben tak, že spojením dosavadních lesních pozemků v jeden celek se vytvořilo jisté biocentrum podporující územní systém ekologické stability a při srážkách o vyšší intenzitě napomůže lépe zachytit část odtékající vody z horní části půdního bloku. Další výhody zalesnění jsou již popsány v předcházejících kapitolách. Nejspíše by bylo vhodné vybudovat hned za železničním přejezdem vlevo příjezdovou cestu pro zemědělské stroje z důvodu snadnějšího přístupu. Po odečtení rozlohy již existujících lesních ploch, tak čistý zábor zemědělské půdy činí 5,3 hektarů.

Polní cesta s protierozní funkcí a liniová zeleň

Návrh polní cesty v obci Hoštka plní kromě lepší přístupnosti krajiny také funkci vodohospodářskou (příkopy sloužící k zachycení a neškodnému odvedení povrchového odtoku z přívalových srážek) a funkci protierozní. Vybudováním cesty dojde k významnému zkrácení linií drah odtoku povrchových vod a tím k prokazatelnému snížení erozního smyvu. Nebude tak docházet k odnosu ornice následkem vodní eroze, čímž se významně sníží v lokalitě její degradace. S doprovodem nově vysázené liniové zeleně může také plnit funkci větrolamu chránícího půdu před větrnou erozí, nebo také jako jistý biokoridor, či orientační prvek pro zvěř a samozřejmě plní také funkci estetickou. Polní cesta nebude zpevněna, ale spíše jen zatravněna, což umožní zadržení vody.

Liniová zeleň je navržena podél dvou polních cest. Návrh byl veden snahou o vhodné umístění stromů tak, aby nedocházelo k jejich poškození těžkou zemědělskou technikou (dostatečný odstup od krajnice vozovky) a také aby převládající stín z budoucí liniové zeleně padal právě na cestu a zamezil tak snížení úrodnosti sousedního pozemku. Liniové zeleně zde mohou působit jako jisté vsakovací pásy, které zadržují vodu v krajině a částečně mohou plnit i funkci větrolamů.

Polosuchý poldr

Polosuchá retenční nádrž (případně také nazývaná poldr) se řadí mezi malé vodní nádrže.

Svodné průlehy v subpovodí 13 jsou navrženy tak, že vyústí do poldru a budou tak udržovat přítok vod za běžných srážkových událostí a zajišťovat tak částečné stálé nadržení. Polosuchá nádrž je ekologicky výhodnější. Rozvíjí ekologické funkce biotopu a zlepšuje mikroklima. Z důvodu mělkého zatopení je nemožné zde chovat ryby. Ovšem toto opatření dává velice příznivé podmínky pro existenci obojživelníků či ptactva.

Polosuchý poldr je navržen tak, aby kontrolovaně odváděl vodu (pomocí pevného přelivu s funkcí bezpečnostního přelivu) nově vytvořeným svodným příkopem vedoucím jihozápadně podél statku přes komunikaci až s napojením na stávající výhon vodního toku. Rozloha poldru je 0,3 hektarů. Délka svodného příkopu je 325 metrů. Pravou stranu poldru lemuje přibližně 5 metrový zatravněný pás, který vytvoří záchytné/ochranné pásmo snižující splachy z přilehlého pole.

4.5.2 Posouzení účinnosti navržených opatření

Všechna tato navržená opatření zvyšují retenční schopnost krajiny při zadržování přívalových srážek a jejich infiltraci do půdy, na základě čehož dojde k prodloužení doby zdržení vody v půdním prostředí a k omezení dopadů zemědělského sucha.

Pro posouzení navržených opatření v povodí Obrtky byl zvolen metodický návod vytvořen Výzkumným ústavem vodohospodářským T. G. M. Metodický návod je převzatý, a proto obsahuje jen ta opatření, která jsou v povodí navržena. Metodika je komplexní a hodnotí daná opatření z více kritérií. Je strukturována tak, že každému kritériu je přiřazena určitá hodnota, která se poté pro lepší povědomí čtenáře reklasifikuje do škály od 1 do 10.

Jak je patrné z tabulky č. 14, nejefektivnější opatření je dle V. Ú. V. T. G. M. trvalé zalesnění či zatravnění. Nejvíce pozitivní dopady má opatření na kvalitu vody a na socioekonomický sektor. Po reklasifikaci hodnot ve výše zmíněných kritériích dosáhlo opatření typu zalesnění a zatravnění nejvyššího možného hodnocení, tedy 10. Významný pozitivní vliv se také odrazí na krajině a jejich suchozemských ekosystémech. Celková efektivita tohoto opatření činí 8,58 (na stupnici od 1 do 10).

Jako druhé nejúčinnější opatření z hlediska celkové efektivity je mokřad. Mokřadní biotopy, jak již bylo zmíněno, mají velice rozmanitou biodiverzitu, a proto dosahují

nejvyšší hodnoty v kritériích vlivu na vodní a vodu vázané organismy a vlivu na krajinu a suchozemské ekosystémy.

Retenční prvky a opatření typu hrázek, záchytných průlehu či zasakovacích pásů, jejichž účelem je zvyšování infiltrace vody do půdy, se ve výsledné tabulce posouzení účinnosti navržených opatření nachází lehce nad průměrem z hlediska celkové efektivity. Skupina těchto opatření má největší vliv na krajinu a suchozemské ekosystémy.

Jako nejméně účinná opatření jsou svodné příkopy a průlehy. Nicméně zde předložená diplomová práce byla vytvořena z důvodu klasifikace opatření, které mají zvýšit retenci a akumulaci vody v krajině. Svodné průlehy a příkopy se navrhuje zpravidla za účelem bezpečného odvedení vody. V této práci byly navrženy za účelem dotace mokřadu a polosuchého poldru a následného svedení přebytečné vody do Obrtky.

Tabulka 14: Nástroj hodnocení efektivity opatření

Typ opatření	Vliv na kvantitu vody		Vliv na hydromorfologii toku		Vliv na kvalitu vody		Vliv na vodní a vodu vázané organismy		Vliv na krajinu a suchozemské ekosystémy		Socioekonomický dopad		Celková efektivnost	
	hodnota	škálováno	hodnota	škálováno	hodnota	škálováno	hodnota	škálováno	hodnota	škálováno	hodnota	škálováno	hodnota	škálováno
Zalesnění / zatravnění	22,5	6,94	4,9	5,74	23,9	10	7,9	5,12	15	8,84	23,4	10	97,6	8,58
Záchytný průleh	18	5,48	4,9	5,74	9,4	3,7	7,9	5,12	12,8	7,86	10	3,5	63	5,41
Svodný průleh	1	0	-0,7	4,75	1,4	0,22	1,6	3,59	12,8	7,86	8,3	2,67	24,4	1,88
Svodný příkop	1	0	-0,7	4,75	1,4	0,22	1,1	3,47	8,8	6,07	7,1	2,09	18,7	1,36
Zasakovací pás	18	5,48	4,2	5,62	12,6	5,09	7,9	5,12	16	9,29	10,8	3,88	69,5	6,01
Retenční hrázky	19	5,81	4,9	5,74	9,4	3,7	7,9	5,12	11	7,05	9,3	3,16	61,5	5,27
polosuchý poldr	32	10	-19,2	1,48	15,8	6,48	10,8	5,83	7,6	5,54	6,9	1,99	53,9	4,58
Terasy	19,8	6,06	3,5	5,49	6,8	2,57	0	3,2	8	5,71	8,5	2,77	46,6	3,91
mokřad	8,85	2,53	7,8	6,25	21,4	8,91	24	9,03	15,8	9,2	9,8	3,4	87,65	7,67

Zdroj: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka , 2018 +vlastní zpracování

4.5.3 Efekty navrženého komplexu opatření

Posouzení jednotlivých opatření z hlediska jejich účinnosti zadržetí vody v krajině bylo již popsáno v předchozí kapitole. Již při návrhu jednotlivých opatření bylo nutné je pojímat v širším měřítku celého povodí a s ohledem na ostatní navrhovaná opatření (tj. jako systém vzájemně navazujících opatření, kdy se uplatní princip synergie dílčích efektů). Zvýšení retence a akumulace vody v povodí Obrtky lze dosáhnout pouze vzájemnou kombinací výše navržených opatření.

5 Výsledky a diskuse

V rámci této diplomové práce byla zpracována podrobná analýza povodí Obrtky za účelem stanovení kritických oblastí z hlediska retence a akumulace vody v krajině.

Nejprve byly uvedeny a zhodnoceny způsoby lesního a zemědělského hospodaření, popis existujících vodohospodářských systémů a také bylo pomocí softwaru GIS graficky zobrazeno vymezení dle hydrologických a územně správních kritérií. Ještě před samotnými statistickými operacemi byly shrnuty přírodní podmínky zájmové oblasti. Relevantním faktorem, ovlivňujícím tvorbu odtoku a distribuci vody, je krajinný pokryv. Z výsledného grafu krajinného pokryvu povodí Obrtky je zřejmé, že orná půda se rozkládá na více než 47 km², což činí 54% zastoupení z celkových 88,45 km².

Další problémy jsou absence krajinných prvků (například meze), zpomalující soustředěné odtoky, místa s vysokou pravděpodobností výskytu eroze a utužení zeminy těžkou mechanizací. Z těchto faktů lze usoudit, že v dané lokalitě je možnost zadržení vody v krajině a zvýšení zásob podzemních vod podstatně omezena.

Z důvodu poměrně velké rozlohy, by bylo v rámci diplomové práce obtížné navrhnout pro tak velké území adekvátní počet opatření posilujících retenci a akumulaci vody v krajině a tak bylo nutné, si povodí Obrtky rozčlenit do menších územních celků a teprve do těch částí, hodnocených jako aktuálně nejkritičtějších, byla opatření navrhována. Členění do menších územních celků neboli subpovodí proběhlo pomocí digitálního modelu terénu 5. generace a uplatněním několika dalších vstupních parametrů. Výsledkem tedy bylo 15 menších subpovodí.

Další úlohou byla tato subpovodí klasifikovat podle předem určených parametrů. Bylo velice důležité, aby mezi parametry neexistovala vzájemná souvislost. Korelace parametrů by negativně ovlivnila výsledek klasifikace. Do hodnocení subpovodí vstoupily tyto parametry: index zornění, index infiltrace a index sklonitosti. Většina statistických operací probíhala pomocí softwaru GIS a takto zpracovaná data se dále upravovala v programu Microsoft Excel. Výsledek prvního parametru určil subpovodí s nejvyšším relativním zastoupením orné půdy, což je subpovodí číslo 3. Další oblasti s vysokým relativním zastoupením orné půdy jsou subpovodí 7, 12, 13 a 15. Parametr infiltrace byl posuzován dle kódu BPEJ. Rizikové oblasti z hlediska retence vody jsou zpravidla půdy písčité, hlinito-písčité a písčito-hlinité. Analýza tohoto parametru proběhla opět v softwaru

GIS. Nejrizikovější oblastí je dolní část povodí Obrtky. Nejvyššího indexu infiltrace (tzn. nejvyšší riziko) dosahuje subpovodí 14. O pár setin méně má subpovodí 15. Jako poslední vstupní parametr hodnotil subpovodí z hlediska sklonitosti. Čím vyšší sklonitost, tím rizikovější oblast. Zde byla analýza provedena podobně jako u parametru infiltrace a to pomocí kódu BPEJ, konkrétně pak pomocí 5. Číslice, která vyjadřuje sklonitost daného území. Pro přesnější klasifikaci byla analýza provedena ještě v softwaru GIS. Z rastrové sady digitálního modelu terénu se vypočítal procentuální sklon pro každé subpovodí. Nejvyšší sklonitost má subpovodí 1, tudíž zaujímá ve výsledné klasifikaci nejrizikovější hodnocení. Ovšem fakt, že tato oblast je prakticky celá zalesněna, razantně ubírá na rizikovosti.

Výsledná klasifikace stanovila jako nejrizikovější subpovodí 13 a 14. Do této oblasti tedy byla zacílena většina opatření směřujících ke zvýšení retence a akumulace vody. Samotná projekce návrhu probíhala v prostředí GIS. Jednotlivá navržená opatření byla charakterizována popisem způsobu provedení, rozměrovými parametry a očekávanými efekty. Veškerá opatření včetně jejich krajinných a hydrologických účinků byla shrnuta v tabulce 14. Výrazný pozitivní vliv na retenci akumulaci vody v krajině má opatření typu mokřad, zalesnění či zatravnění.

6 Závěr

Dnešní krajinný systém se v závislosti na přírodních podmínkách a způsobu využívání vyznačuje určitou omezenou mírou schopnosti zadržet vodu. Retenční schopnost krajiny vyjadřuje úroveň zvládnutí přívalových srážek s potřebou snížit rizika poškození půdy vodní erozí a s potřebou v maximální možné míře dosáhnout transformaci povrchového odtoku na odtok podpovrchový. Naopak ke zmírnění dopadu sucha je třeba podporovat opatření, zvyšující v krajině akumulaci vody a její dlouhodobější zadržení. Především s uvážením gradace hydrologických extrémů je problematika retenční schopnosti krajiny velice aktuálním tématem. Cílem diplomové práce bylo v povodí Obrtky, kriticky hodnocené v rámci záporné vodohospodářské bilance, provést analýzu za účelem výběru nejrizikovějších subpovodí z hlediska retence a akumulace vody a navrhnout v těchto oblastech nápravná opatření. Dolní část povodí Obrtky by mohla být z hlediska schopnosti zadržení vody lépe ošetřena či využívána. Tato práce přispěla k poznání hydrologických poměrů krajiny povodí Obrtky, doplňuje tak přehled informací o této oblasti a může být nápomocná správci povodí při řešení aktuální kritické situace.

7 Seznam použitých zdrojů

BĚLSKÝ, Jiří, Milan JAŘABÁČ a Břetislav TUREČEK. Dřeviny tlumí povodňové škody, ale výjimečně mohou v tocích škodit. *Lesnická práce: časopis pro lesnickou vědu a praxi*. Lesnická práce: Kostelec nad Černými lesy, 2002, **81**(9), 414-415. ISSN 0322-9254.

BROUNS, Margo, Mieke VERLOO a Marianne GRUNELL. *Vrouwenstudies in de jaren negentig: een kennismaking vanuit verschillende disciplines*. Bussum: D. Coutinho, 1995. ISBN 9062839711.

ČERVENÝ, Jaroslav. *Podnebí a vodní režim ČSSR*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1984. Lesnictví, myslivost a vodní hospodářství.

DAŇHELKA, Jan. *Operativní hydrologie: hydrologické modely a nejistota předpovědi*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007. ISBN 978-80-86690-48-3.

DOLEŽAL, F., KVÍTEK, T. (2004): *The role of recharge zones, discharge zones, springs and tile drainage systems in peneplains of Central European highlands with regard to water quality generation processes*. *Physics and Chemistry of the Earth*, 29: 775–785. Dostupné také z: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2004.05.005>.

DOMENICO, P. A. a F. W. SCHWARTZ. *Physical and chemical hydrogeology*. 2nd ed. New York: Wiley, c1998. ISBN 0-471-59762-7.

DUB, Oto a Jaromír NĚMEC. *Hydrologie: Určeno [také] posl. vys. i odb. škol*. Praha: SNTL, 1969. Technický průvodce, Sv. 34.

FOSTER, Ian, A. M. GURNELL a Bruce WEBB. *Sediment and water quality in river catchments*. St ed. New York: Wiley, c1995. ISBN 0471957283.

FUČÍK, P., KAPLICKÁ, M., ZAJÍČEK, A., KVÍTEK, T. (2010): *Vyhodnocení monitoringu jakosti vod v malém zemědělsko-lesním povodí: diskrétní a kontinuální přístup*. *Vodní Hospodářství*, 8: 213–217. Dostupné také z: https://www.researchgate.net/profile/Petr_Fucik/publication/234404780_Evaluation_of_detailed_water_quality_and_quantity_monitoring_system_in_a_small_agricultural_catchment_-_discrete_vs_continuous_approach/links/53fb347a0cf20a45497054a5/Evaluation-of-detailed-water-quality-and-quantity-monitoring-system-in-a-small-agricultural-catchment-discrete-vs-continuous-approach.pdf.

GALLANT ,A. L. (2015): *The challenges of remote monitoring of wetlands*. *Remote sensing* 7:10938- 10950. Dostupné také z: <https://doi.org/10.3390/rs70810938>.

HEJNÁK, Josef. *Geologické podklady pro krajinotvorné programy*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2004. ISBN 80-7212-321-1.

CHOW, Ven Te, David R. MAIDMENT a Larry W. MAYS. *Applied hydrology*. New York: McGraw-Hill, c1988. ISBN:0-07-010810-2.

JANEČEK, Miloslav. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: ISV, 2002. Přírodní vědy (ISV). ISBN 80-85866-86-2.

JANEČEK, Miloslav. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika*. Praha: 2012. ISBN 978-80-87415-42-9.

JANSKÝ, B. *Water Retention in River Basins*. Acta Universitatis Carolinae – Geographica, 2006, roč. 39, č. 1, in print. Dostupné také z: http://web.natur.cuni.cz/ksgrrsek/acta/2003/AUC_2003_38_Jansky_Water_retention_in.pdf.

JARABÁČ, Milan a Jaroslav ZUNA. *Technická doporučení pro hrazení bystřin a strží*. Praha [i.e. Kostelec nad Černými lesy]: Vydalo Ministerstvo zemědělství v nakladatelství a vydavatelství Lesnická práce, 2002. ISBN 8086386295.

JUST, Tomáš. *Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi*. Praha: Český svaz ochránců přírody, 2005. ISBN 80-239-6351-1.

KANTOR, Petr. *Lesy a povodně: souhrnná studie*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2003. ISBN 80-7212-255-x.

KANTOR, Petr a František ŠACH. *Možnosti lesů při tlumení povodní*. Lesnická práce: časopis pro lesnickou vědu a praxi. Kostelec nad Černými lesy, 2002, **81**(11), 493-495. ISSN 0322-9254.

KRAVČÍK, M., HRONSKÝ, J., TESLIAR, J., ZVARA, R., 2001 : *New theory of global warming, Strategies and technologies for Agenda 21 Implementation*, Sustainable development international, ICG Publishing Ltd, p. 53–57.

KRAVČÍK, Michal, Jan POKORNÝ, Juraj KOHUTIAR, Martin KOVÁČ a Eugen TÓTH. *Voda pre ozdravenie klímy - nová vodná paradigma*. Žilina: Krupa Print, 2011. ISBN 978-80-969766-5-2.

Krešl, J.: *Vliv lesa na utváření odtoku při příválových a dlouhotrvajících deštích*, Lesnická práce 78, 501-502, 1999

KULHAVÝ, Zbyněk, Milan ČMELÍK, Jakub ŠTIBINGER, Lubomír MACEK a Jozef ŠKRIPKO. *Rekonstrukce staveb odvodnění s uplatněním principu regulace*

drenážního odtoku: metodika : uživatelský výstup projektu TAČR evid. č. TA02020384. Praha: VÚMOP, 2015. ISBN 978-80-87361-47-4.

KULHAVÝ, Zbyněk, Petr FUČÍK a Lenka TLAPÁKOVÁ. *Pracovní postupy eliminace negativních funkcí odvodňovacích zařízení v krajině: metodická příručka pro žadatele OPŽP*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2013. ISBN 978-80-7212-589-0.

KULHAVÝ, Zbyněk, Jakub ŠTIBINGER, František KŘOVÁK, et al. *Opatření k posílení infiltračních procesů v krajině: metodika*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2015. ISBN 978-80-87361-52-8.

KUTÍLEK, Miroslav. *Vodohospodářská pedologie: vysokoškolská učebnice. 2., přeprac. vyd.* Praha: SNTL, 1978. Řada stavební literatury.

KUTÍLEK, Miroslav, Václav KURÁŽ a Milena CÍSLEROVÁ. *Hydropedologie 10*. Vyd. 2. přeprac. Praha: České vysoké učení technické, 2000. ISBN 80-01-02237-4.

KVÍTEK, Tomáš, ed. *Modelování vlivu využívání půdy v geomorfologických zónách na odtok vody a koncentraci dusičnanů: metodika*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2012. ISBN 978-80-87361-17-7.

LEOPOLD, B. L. (1968): *Hydrology for Urban Land Planning – A Guidebook on Hydrological Effects of Urban Land Use*. In: Geological Survey Circular 554, Washington, 18 s. Dostupné také z: <https://pubs.usgs.gov/circ/1968/0554/report.pdf>.

METELKA, Ladislav a Radim TOLASZ. *Klimatické změny: fakta bez mýtů*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Centrum pro otázky životního prostředí, c2009. ISBN 978-80-87076-13-2.

PACHEPSKY, Y. a Walter J. RAWLS. *Development of pedotransfer functions in soil hydrology*. Boston: Elsevier, 2004. ISBN 0444517057.

PACHEPSKY, Y. a Walter J. RAWLS. *Development of pedotransfer functions in soil hydrology*. Boston: Elsevier, 2004. ISBN 0444517057.

PARR, J.R., a BETRAND, A.R. (1960) *Water infiltration into soils*. *Advances in Agronomy*, 12, 311-363. Dostupné také z: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60086-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60086-3).

PAUL, J., M., MEYER, L., J. (2001): *Streams in Urban Landscape*. In: *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 32, s. 333 – 365. Dostupné také z: https://www.researchgate.net/publication/226135308_Streams_in_the_Urban_Landscape.

PODHRÁZSKÁ, Jana a Jana KOZLOVSKY DUFKOVÁ. *Protierozní ochrana půdy*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2005. ISBN 80-7157-856-8.

PONTING, Clive a Clive PONTING. *A new green history of the world: the environment and the collapse of great civilizations*. Rev. ed. New York: Penguin Books, 2007. ISBN 0143038982.

RADČENKO, Igor a J. NĚMEC. *Regulační drenáž: studijní zpráva*. Praha: Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, 1980.

SEJÁK, Josef. *Hodnocení funkcí a služeb ekosystémů České republiky*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, 2010. ISBN 978-80-7414-235-2.

SEJÁK, Josef. *Hodnocení funkcí a služeb ekosystémů České republiky*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, 2010. ISBN 978-80-7414-235-2.

SHIKLOMANOV, I. A. a J. C. RODDA. *World water resources at the beginning of the twenty-first century*. New York: Cambridge University Press, 2003. ISBN 0521617227.

SIMON, Ondřej a Martin SUCHARDA. *Vliv hospodaření v krajině na průběh a účinek povodní: přehled problémů a doporučená opatření*. Brno: Hnutí Duha, 2004. ISBN 80-86834-04-2.

SLAVÍK, Ladislav a Martin NERUDA. *Voda v krajině*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, 2007. ISBN 978-80-7044-882-3.

SMOLÍKOVÁ, Libuše. *Pedologie*. I. 2. vyd., 1. vyd. v SPN. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1988. 129 s.

SOUKUP, Mojmír. *Opatření v zemědělské krajině pro zlepšení vodních útvarů*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha, 2006. ISBN 80-239-7643-5.

SOUKUP, Mojmír, František DOLEŽAL a Milan ČMELÍK, KULHAVÝ, Zbyněk, ed. *Zemědělské odvodnění drenáží: racionalizace využívání, údržby a oprav : uživatelský výstup projektu QF3095 Národního programu výzkumu TP3-DP6 priority 6*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2007. ISBN 978-80-254-0672-4.

SOUKUP, Mojmír a František HRÁDEK. *Optimální regulace povrchového odtoku z povodí*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 1999. ISBN 1211-3972.

STEVENS, Victoria. *The ecological role of coarse woody debris: An overview of the ecological importance of CWD in BC forests* [online]. Victoria, B.C.: British Columbia, Ministry of Forests, Research Program, 1997 [cit. 2020-03-14]. Working paper (British Columbia. Ministry of Forests. Research Branch), 1997/30.

STRUDLEY, M. W., GREEN, T. R., ASCOUGH, J. C. (2008): *Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science*. Soil and Tillage Research, 99(1), 4–48. Dostupné také z: https://www.academia.edu/11640528/Tillage_effects_on_soil_hydraulic_properties_in_space_and_time_State_of_the_science

ŠARAPATKA, Bořivoj. *Pedologie a ochrana půdy*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-3736-1.

VOPRAVIL, Jan. *Vliv činnosti člověka na krajinu českého venkova s důrazem na vodní režim a zadržování vody v krajině: (metodický postup)*. Praha: VÚMOP, 2011. ISBN 978-80-87361-06-1.

Voda v krajině: sborník příspěvků z konference : [Lednice ...]. Praha: Ministerstvo zemědělství, Celostátní síť pro venkov v nakl. Český hydrometeorologický ústav, 2010-. ISBN 978-8086690-79-7.

TESAŘ M., ŠÍR M., SYROVÁTKA O., PRAŽÁK J., LICHNER Ľ. & KUBÍK F., 2001: *Soil water regime in head water regions – observation, assessment and modelling*. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 49(6): 355–375., dostupné také z: http://dlib.lib.cas.cz/6162/1/2001_49_6_tesar_355.pdf

The Production ecology of wetlands: the IBP synthesis. New York: Cambridge University Press, 1998. ISBN 978-0-521-11330-4.

WESTLAKE, D. F., KVĚT, J., SZCZEPANSKI, A. (1998): *The production ecology of wetlands: the IBP synthesis*. Cambridge, University Press.

ZEITHAML, J. (2007): *Společenstva žížal (Lumbricidae) v ekotonu pole – les a jejich vliv na retenční potenciál půdy*. Autoreferát disertační práce. Praha: FŽP ČZU. 28s.

Ostatní zdroje:

<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254#cast1>

<http://zitkrajinou.cz/voda-a-sucho/vodni-eroze-snizuje-vynos-plodin-az-75-se-branit/>

<https://is.muni.cz/el/1431/jaro2006/Z0120/jansky.pdf>

Manipulační řád vodního díla Čakovice, Povodí Ohře, 2012

Manipulační řád vodního díla Velký Hubenov, Povodí Ohře, 2012

Manipulační řád vodního díla Mošnice Povodí Ohře, 2012

Němec et.al., 2012 <https://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/fenomen-efemernich-polnich-mokradu-na-orne-pude.pdf>

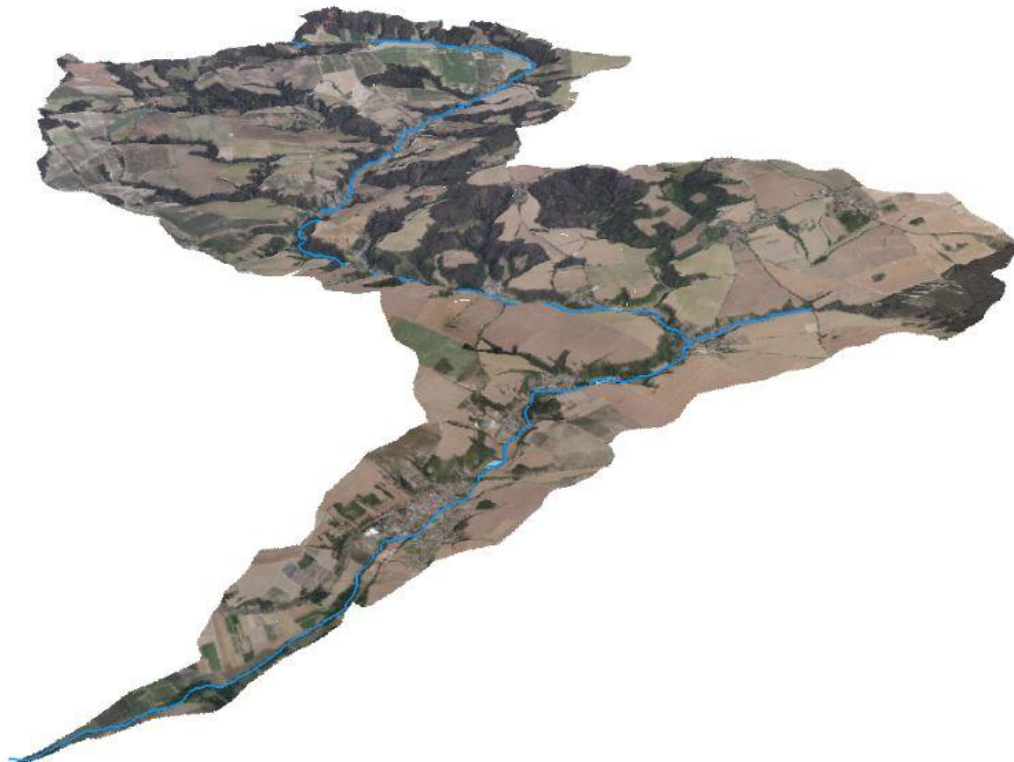
NOVÁK P. et al. (2016) *Příprava listů opatření typu A lokalit plošného zemědělského znečištění pro plány dílčích povodí - Etapa E*. Praha 5: Povodí Vltavy s.p., 2016.

Václav Brant (2020, dostupné z: <https://www.uroda.cz/tvorba-mulce-v-protieroznich-technologiech-u-kukurice/>)

Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, zadavatel: Ministerstvo životního prostředí. *Metodický návod na výběr vhodných opatření pro zadržetí vody v krajině*. Praha, 2018.

8 Přílohy

Obrázek 19: Povodí Obrtky



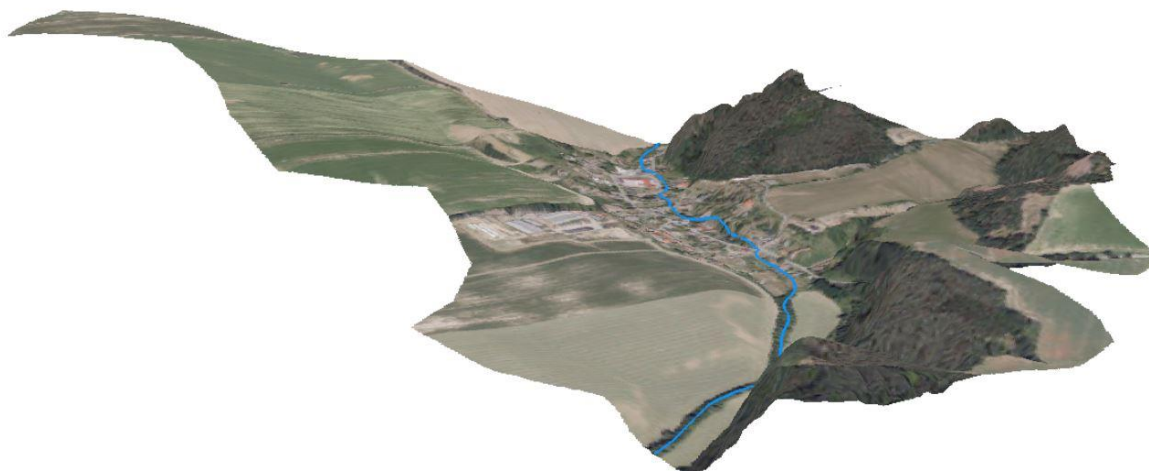
Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 20: Subpovodí č. 1



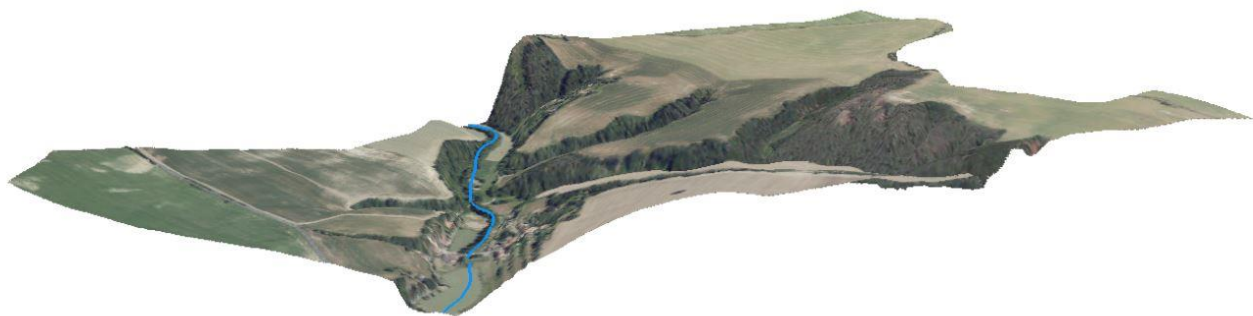
Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 21 Subpovodí č. 2



Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 22 Subpovodí č. 3



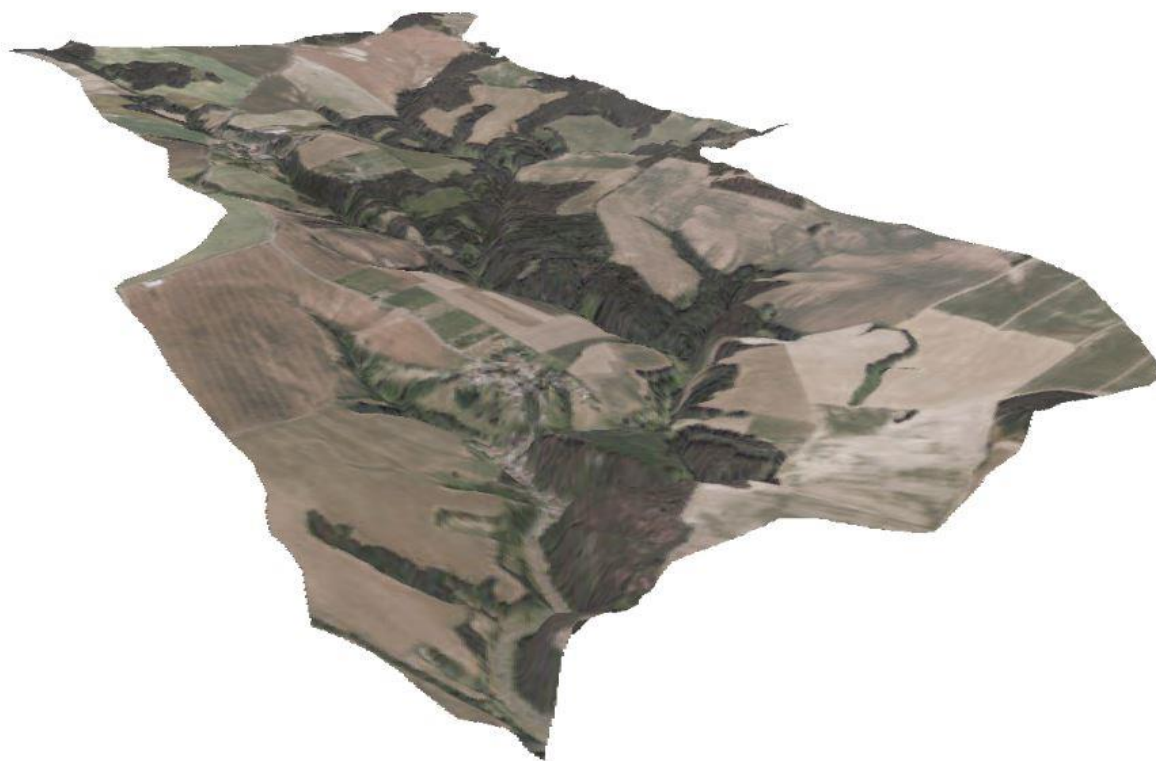
Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 23 Subpovodí č. 4



Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 24: Subpovodí č. 5



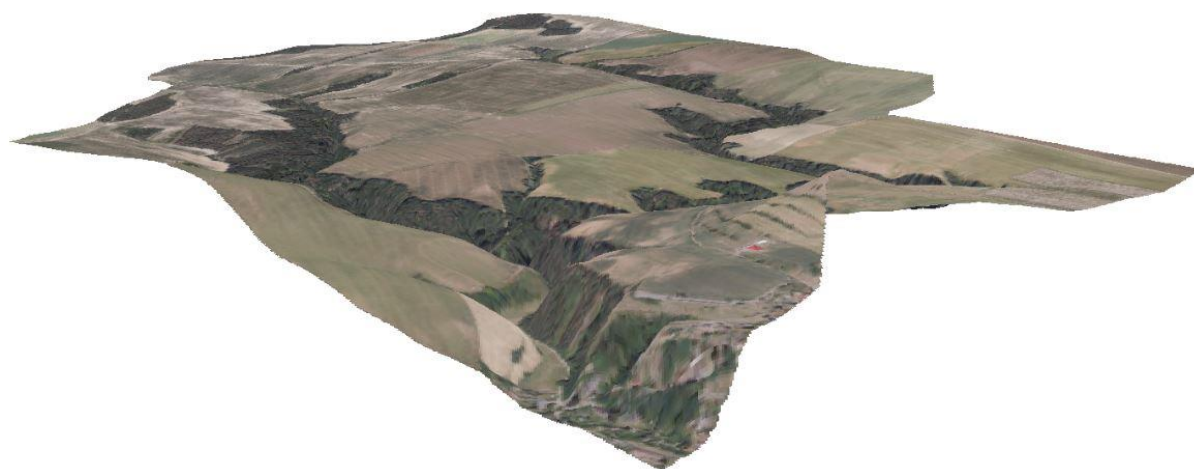
Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 25: Subpovodí č. 6



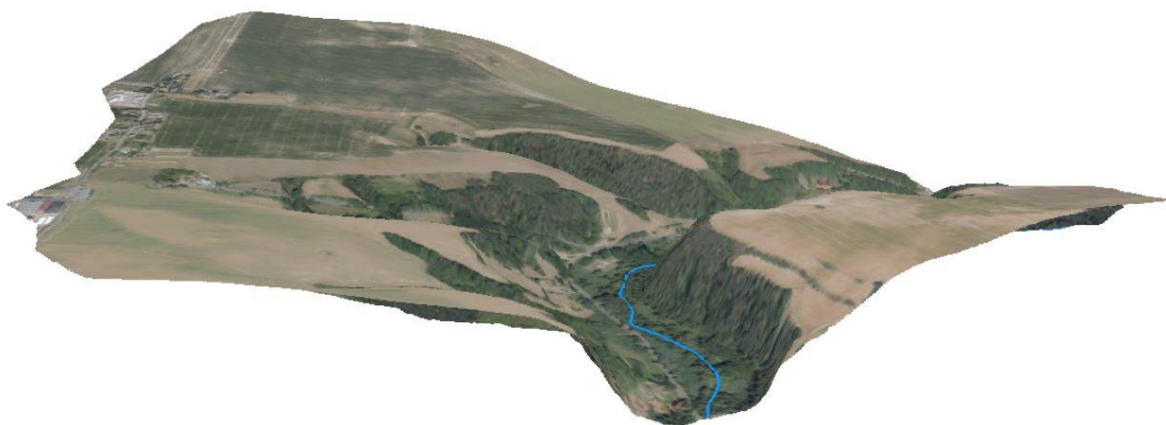
Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 26: Subpovodí č. 7



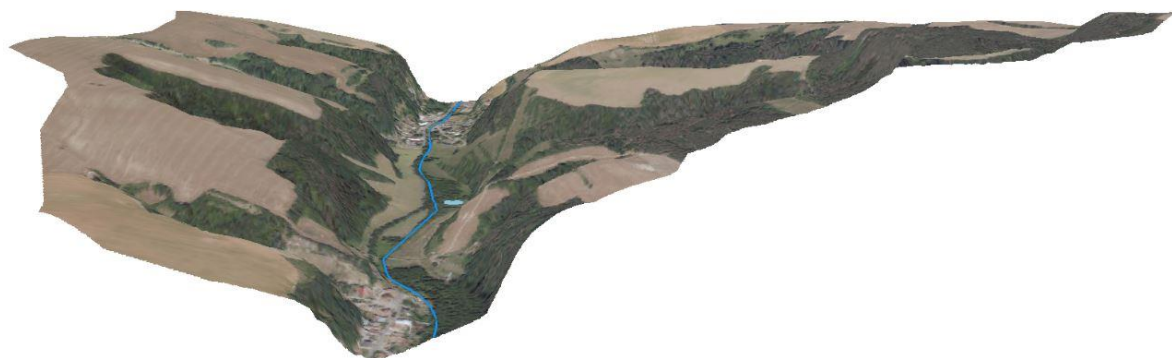
Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 27: Subpovodí č. 8



Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 28: Subpovodí č. 9



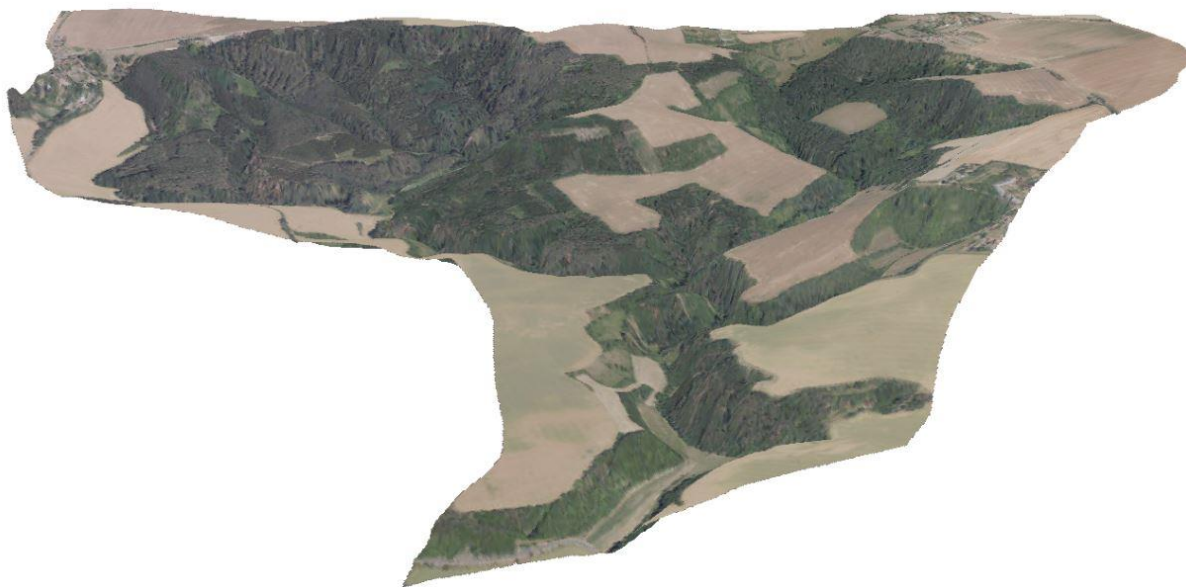
Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 29: Subpovodí č. 10



Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 30: Subpovodí č. 11



Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 31: Subpovodí č. 12



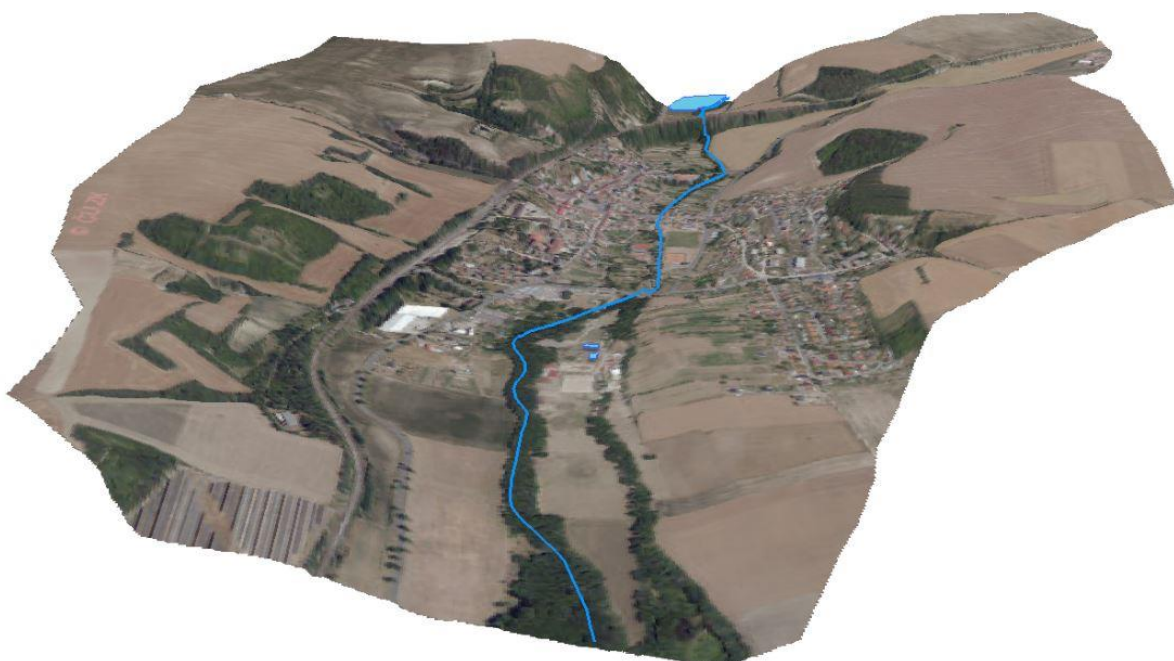
Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 32: Subpovodí č. 13



Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 33: Subpovodí č. 14



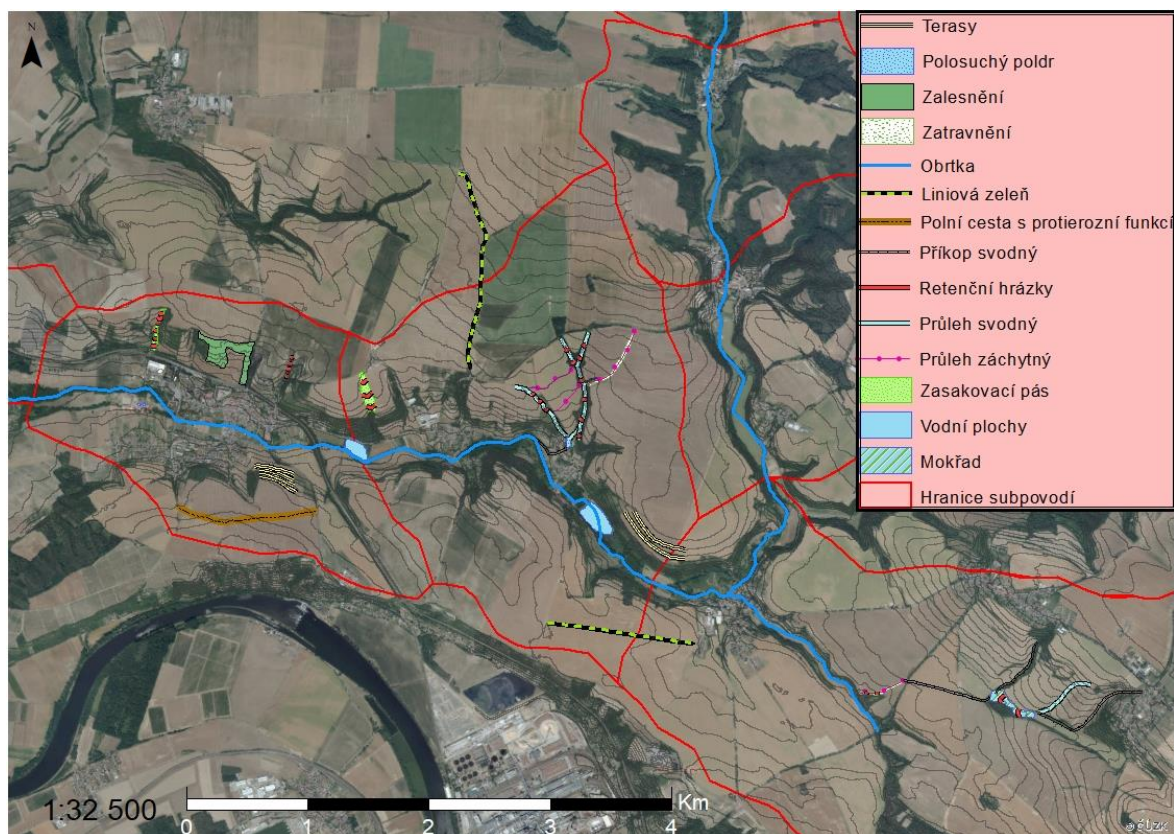
Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 34: Subpovodí č. 15



Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 35: Návrh komplexu opatření



Zdroj: Vlastní zpracování

Obrázek 36: Zalesnění, zasakovací pás + retenční hrázky



Zdroj: Vlastní zpracování

Obrázek 37: Polní cesta s protierozní funkcí, terasy



Zdroj: Vlastní zpracování

Obrázek 38: Liniová zeleň, svodné a záchytné průlehy, polosuchá nádrž, zatravnění, svodný příkop



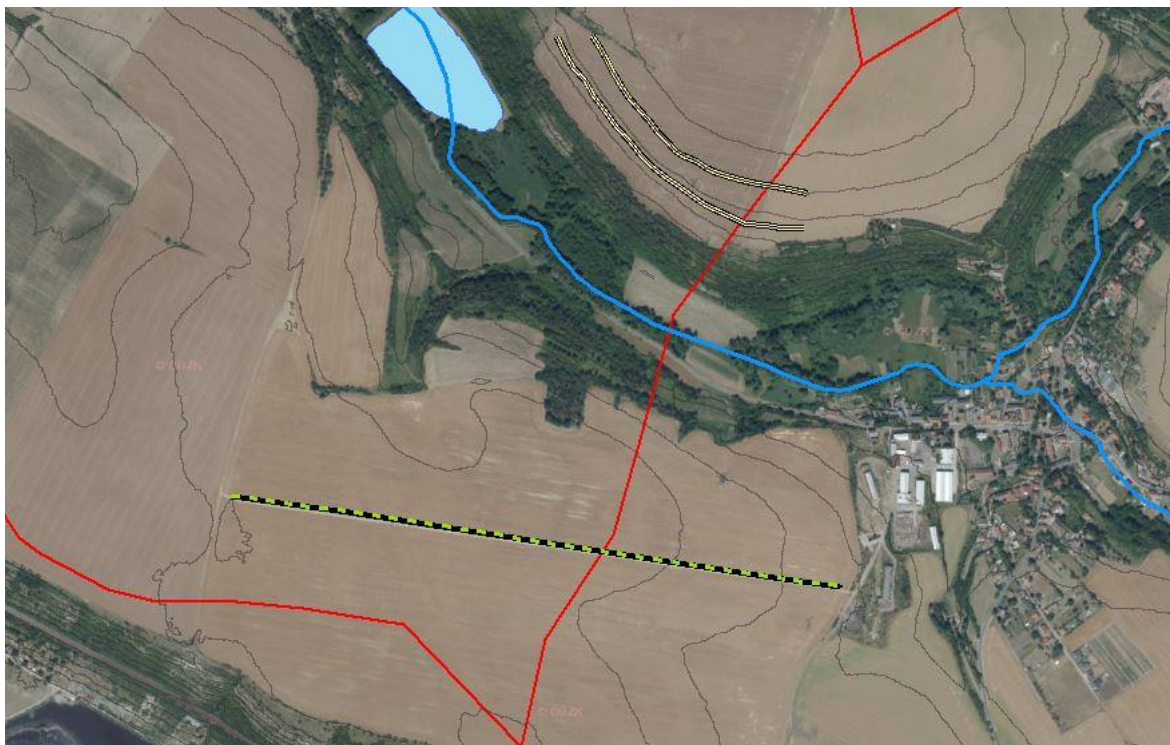
Zdroj: Vlastní zpracování

Obrázek 39: Zasadovací pás



Zdroj: Vlastní zpracování

Obrázek 40: Terasy, liniová zeleň



Zdroj: Vlastní zpracování

Obrázek 41: Svodné příkopy a průlehy, záchytný průleh, mokřad, retenční hrázky



Zdroj: Vlastní zpracování