



## **Bakalářská práce**

# **Posouzení vhodnosti realizace retenčních malých vodních nádrží v krajině v závislosti na různých fyzicko-geografických podmínkách**

*Studijní program:*

B1301 Geografie

*Studijní obor:*

Aplikovaná geografie

*Autor práce:*

**Jakub Kunst**

*Vedoucí práce:*

RNDr. Jan Kocum, Ph.D.

Katedra geografie

Liberec 2023



## Zadání bakalářské práce

# Posouzení vhodnosti realizace retenčních malých vodních nádrží v krajině v závislosti na různých fyzicko-geografických podmínkách

<i>Jméno a příjmení:</i>	<b>Jakub Kunst</b>
<i>Osobní číslo:</i>	P20000555
<i>Studijní program:</i>	B1301 Geografie
<i>Studijní obor:</i>	Aplikovaná geografie
<i>Zadávající katedra:</i>	Katedra geografie
<i>Akademický rok:</i>	2021/2022

### Zásady pro vypracování:

#### Cíle:

1. Literární rešerše týkající se problematiky hydrologické bilance povodí, retenčního potenciálu krajiny a realizace malých vodních nádrží (MVN) v území v souvislosti se změnou klimatu.
2. Specifikace fyzicko-geografických faktorů ovlivňujících retenční potenciál krajiny se zaměřením na možnou realizaci MVN. Posouzení obecného vlivu MVN na schopnost retence vody v povodí.
3. Vytipování potenciálních lokalit v zájmovém území povodí horní Ploučnice s různými fyzicko-geografickými poměry pro možnou realizaci MVN a diskuze účinnosti jejich implementace.

#### Metody:

1. Podrobná literární rešerše studované problematiky z dostupných zdrojů.
2. Analýza dostupných mapových podkladů a vrstev GIS. Vlastní fotodokumentace.
3. Vyhodnocení a zpracování získaných dat.
4. Dotazník s otevřenými otázkami.

*Rozsah grafických prací:*

*Rozsah pracovní zprávy:*

*Forma zpracování práce:*

tištěná/elektronická

*Jazyk práce:*

Čeština

### **Seznam odborné literatury:**

- BARTOŠ, M., NĚMEC, J., KOPP, J. (eds.). Vodstvo a podnebí v České republice v souvislosti se změnou klimatu. Praha: Pro Ministerstvo zemědělství ČR vydal Consult, 2009, 255 s. ISBN 978-80-903482-7-1.
- CÍLEK, V. Zadržování vody v krajině od pravěku do dneška. Praha: Akademie věd ČR, 2021, 19 s.
- CÍLEK, V., KENDER, J. Voda v krajině: kniha o krajinnotvorných programech. Praha.
- HANEL, M., KAŠPÁREK, L., NESLÁDKOVÁ, M. Odhad dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a možná adaptační opatření. Praha: V.Ú.V. T.G.M., 2011, 107 s. ISBN 978-80-87402-22-1.
- Hospodaření vodou. Praha: ČKAIT, 2019, 128 s. Stavební kniha. ISBN 978-80-88265-15-3.
- JUST, T. Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi. Praha: Český svaz ochránců přírody, 2005, 359 s. ISBN 80-239-6351-1.
- Koncepce ochrany před následky sucha pro území České republiky [online]. Ministerstvo zemědělství ČR. Datum aktualizace 28. 4. 2020 [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/ministerstvo-zemedelstvi/koncepce-a-strategie/koncepce-na-ochranu-pred-nasledky-sucha.html>
- Revitalizace a rekultivace v regionálním rozvoji [online]. 15. 1. 2017 [cit. 2017-01-15]. Dostupné z: <https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/index.pl?cast=53222> .
- VRÁNA, K., BERAN, J. Rybníky a účelové nádrže. Vyd. 3. Praha: České vysoké učení technické, 2008, 150 s. ISBN 978-80-01-04002-7.
- KOPÁČEK, J., HEJZLAR, J., RULÍK, M. Vodní nádrže, jejich využití a řízení. In: Voda na Zemi. České Budějovice: Nakladatelství Jihočeské univerzity, 2020, s. 338-374. Episteme. Natura. ISBN 978-80-7394-834-4.
- KVÍTEK, T. Vodní režim krystalinika. In: Retence a jakost vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce: význam retence vody na zemědělském půdním fondu pro jakost vody a současně i průvodce vodním režimem krystalinika. 2. dopl. vyd. Praha: Povodí Vltavy, 2018, s. 174-242. ISBN 978-80-270-5244-8.

*Vedoucí práce:*

RNDr. Jan Kocum, Ph.D.

Katedra geografie

*Datum zadání práce:*

9. června 2022

*Předpokládaný termín odevzdání:* 28. dubna 2023

L.S.

prof. RNDr. Jan Pícek, CSc.  
děkan

doc. RNDr. Kamil Zágorský, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 18. prosince 2022

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

### **Poděkování:**

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce panu RNDr. Janu Kocumovi, Ph.D., který mi předával své cenné vědomosti a zkušenosti jak s daným tématem, tak s psaním práce. Především bych chtěl poděkovat za čas který mi věnoval. Velké poděkování patří také panu řediteli Photon Water technology RNDr. Petru Kvapilovi Ph.D. za rady a pomoc s tématem práce. Největší poděkování však patří mé rodině za podporu v mém studiu.

**Anotace:**

Tato bakalářská práce se zabývá velmi aktuálním tématem možného využití malých vodních nádrží v rámci komplexního systému adaptačních opatření v krajině v kontextu změny klimatu. Její hlavní ambicí je specifikovat hlavní fyzicko-geografické faktory, které jsou v současných měnících se přírodních podmínkách klíčové pro posouzení vhodnosti realizace tohoto typu opatření v konkrétní lokalitě a daném území. Práce s pomocí vybraných modelových lokalit poukazuje na zásadní roli konkrétních fyzicko-geografických specifik jednotlivých lokalit při úvahách o realizaci malé vodní nádrže či jejich systému v daném povodí. Důležitou a mnohdy klíčovou složkou vodní bilance území se přitom stává evapotranspirace, která v probíhající změně klimatu postupně nabývá na významu.

**Klíčová slova:**

retence vody, malé vodní nádrže, fyzicko-geografické faktory, adaptační opatření, hydrologické extrémy, povodeň, sucho, změna klimatu, Ploučnice

**Anotation:**

This bachelor thesis deals with the very topical topic of the possible use of small reservoirs within a complex system of adaptation measures in the landscape in the context of climate change. Its main ambition is to specify the main physical and geographic factors that are crucial in the current changing natural conditions for assessing the suitability of implementing this type of measures in a specific location and territory. Using selected model sites, the work highlights the crucial role of the specific physical-geographical characteristics of individual sites when considering the implementation of a small reservoir or a system of reservoirs in a given catchment. Evapotranspiration is becoming an important and often key component of the water balance of the area, which is gradually gaining importance in the ongoing climate change.

**Key words:**

water retention, small reservoirs, physical-geographical factors, adaptation measures, hydrological extremes, flood, drought, climate change, Ploučnice

# Obsah

<b>Seznam map, obrázků a tabulek</b> .....	10
<b>Seznam použitých zkratk a symbolů</b> .....	11
<b>Úvod</b> .....	12
Cíle práce .....	13
<b>1 Voda na Zemi</b> .....	14
1.1 Hydrologický cyklus – koloběh vody .....	14
1.2 Velký a malý hydrologický cyklus.....	15
1.3 Povrchová a podpovrchová voda .....	16
1.3.1 Povrchové vody – vodní toky.....	17
1.3.2 Podpovrchové vody.....	17
1.3.3 Interakce podzemní a povrchové vody.....	18
1.3.4 Velikost rezervoárů a zdržení podzemní vody .....	19
1.3.5 Hladina podzemní vody .....	19
1.3.6 Budoucnost podzemních vod .....	20
1.3.7 Průzkum podzemních vod v ČR.....	20
1.3.8 Prameny.....	20
1.4 Vodní bilance .....	20
1.5 Celkový odtok .....	21
<b>2 Hydrologické extrémny a změna klimatu</b> .....	22
2.1 Sucho.....	22
2.2 Povodně.....	23
2.3 Hydrometrie .....	23
2.3.1 Stručná historie pozorování.....	24
2.4 Projevy změny klimatu.....	24

2.5 Opatření hydrologických extrémů.....	25
<b>3 Retence vody .....</b>	<b>26</b>
3.1 Retenční schopnosti krajiny .....	26
3.2 Historie zadržování vody v krajině .....	27
3.3 Retence vody v půdním profilu.....	28
3.3.1 Infiltrace vody do půdy .....	29
3.4 Retence vody pomocí malých vodních nádrží .....	30
3.5 Obnova zaniklých malých vodních nádrží .....	30
<b>4 Malé vodní nádrže (MVN).....</b>	<b>32</b>
4.1 Rozdělení malých vodních nádrží .....	32
4.2 Typy a členění nadržného systému.....	33
4.2.1 Členění nádržného prostoru .....	34
4.3 Hráze a objekty malých vodních nádrží .....	35
4.4 Vodohospodářské a stavební řešení nádrží .....	35
4.4.1 Plánovací a návrhové podklady.....	36
4.5 Faktory ovlivňující retenci vody v MVN.....	37
4.5.1 Evaporace .....	37
4.5.2 Propustnost dna .....	39
4.5.3 Vegetace .....	40
4.6 Místa vhodná pro stavbu retenčních MVN .....	40
<b>5 Zájmové území .....</b>	<b>42</b>
5.1 Povodí vodoměrné stanice Brenná.....	42
5.2 Ploučnice .....	44
5.3 Historie rybníkářství v povodí Ploučnice.....	46
5.4 Sucho na území povodí Ploučnice .....	47
<b>6 Potencionální malé vodní nádrže .....</b>	<b>48</b>



6.1 Navržené malé vodní nádrže .....	48
<b>7 Výsledky dotazníků.....</b>	<b>52</b>
<b>Závěr .....</b>	<b>56</b>
<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>58</b>
Literatura .....	58
Internetové zdroje.....	60
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>66</b>
<b>Přílohy .....</b>	<b>67</b>

## Seznam map, obrázků a tabulek

### Mapy:

Mapa 1: Povodí vodoměrné stanice Brenná (DIBAVOD, ČHMÚ, ČÚZK, 2023, vlastní zpracování) 43

### Obrázky:

Obrázek 1: Oběh vody (USGS, 2017).....	15
Obrázek 2: Hydrologický cyklus dle Roberta E. Hortona (Daňhelka, ČHMÚ, 2017).....	16
Obrázek 3: Podzemní a půdní voda (USGS, 2014).....	18
Obrázek 4: Složky celkového odtoku (Slavík, 2007).....	21
Obrázek 5: Schéma rozložení jednotlivých prostor v nádrži (Povodí Ohře, 2023).....	35
Obrázek 6: Pramen Ploučnice (vlastní fotografie) .....	44
Obrázek 7: Mokřadní prameniště Ploučnice (vlastní fotografie) .....	45
Obrázek 8: Prameniště Ploučnice a část Jenišovského rybníka (vlastní fotografie) .....	45
Obrázek 9: Pramen Horní Ploučnice (vlastní fotografie) .....	46
Obrázek 10: Sucho na území ČR v roce 2018 (ČT24, 2018).....	47
Obrázek 11: Navržená retenční nádrž č. 1 (ČÚZK, ZABAGED, Ortofoto ČR, 2023, vlastní zpracování).....	49
Obrázek 12: Navržená retenční nádrž č. 2 (ČÚZK, ZABAGED, Ortofoto ČR, 2023, vlastní zpracování).....	50
Obrázek 13: Navržená retenční nádrž č. 3 (ČÚZK, ZABAGED, Ortofoto ČR, 2023, vlastní zpracování).....	51

### Tabulky:

Tabulka 1: Rozdělení malých vodních nádrží (ČSN 75 2410, 2011).....	33
Tabulka 2: Předpokládaný výpar ve vybraném území (Manipulační a provozní řád Hamerského rybníka na Ploučnici, 2011).....	39

## Seznam použitých zkratek a symbolů

ArcGIS Pro – program od společnosti Esri, určen pro práci s prostorovými daty, nástroj pro tvorbu a správu dat a databází, pro jejich prostorovou analýzu a vizualizaci

ČGS – Česká geologická služba

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

ČR – Česká republika

ČSN – Česká technická norma

ČÚZK – Český úřad zeměměřický a katastrální

DIBAVOD – Digitální báze vodohospodářských dat

DMR 5G – digitální model reliéfu 5. generace

EEA – European Environment Agency (Evropská agentura pro životní prostředí)

MVN – malá vodní nádrž

MŽP – Ministerstvo životního prostředí České republiky

ORP – Obec s rozšířenou působností

SVUČ – Studentská vědecko-umělecká činnost

USGS – United States Geological Survey (Geologická služba Spojených států amerických)

VÚMOP – Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy

## Úvod

Lidstvo je přímo spojeno s přírodou, jejími vlivy a koloběhy již od svého zrodu. Není tomu jinak ani u koloběhu vody, protože bez vody člověk nedokáže žít. Tato „fráze“ nabývá v posledních desetiletích v různých regionech světa na konkrétním významu. Nejen v rozvojových zemích řeší lidé problémy s pitnou vodou, ať už s jejím znečišťováním či jen přístupem k ní. S vodním stresem se dlouhodobě potýkají i země vyspělé. Hovoříme především o stále intenzivnějších a delších periodách sucha. Nesmíme přitom ale zapomínat na povodně, které i na území Česka způsobily v minulosti nemalé škody a oběti na životech. Tyto dva hydrologické extrémy ovšem nejsou protichůdnými jevy, ale těsně spolu souvisí. K narůstající extremitě hydrometeorologických jevů významně negativně přispívá také změna klimatu, a to především zvyšováním teploty vzduchu. Řešení těchto problémů či možností zmírnění jejich důsledků je mnoho, záleží však na daném území a charakteristice krajiny, ve které by rozmanitá opatření měla být implementována.

Nalezení vhodného řešení těchto problémů je zásadní pro zachování vhodných podmínek života v daném území do budoucna. Je však důležité přistupovat k těmto problémům komplexně. Klíčovou možností, jak pomoci dlouhodobě zlepšit hydrologickou situaci, je zvýšení retenčního potenciálu krajiny. Schopnost zadržet vodu v krajině se přitom v minulosti snižovala i v důsledku antropogenní činnosti. Tady je třeba zmínit především napřimování vodních toků, čímž docházelo k rychlejšímu odtoku vody z území, či nevhodné hospodaření na orné půdě, které se bohužel negativně projevuje v přirozené retenci půdy až do současnosti. Na území České republiky je nutno brát v potaz i fakt, že vzhledem k poloze naší země je jediným zdrojem voda spadlá na naše území v podobě srážek. Z tohoto důvodu jsme nuceni rozumně hospodařit jen s tou vodou, kterou nám přinesou srážky.

Opatření, které nám mohou pomoci zadržovat více vody na našem území a pozitivně tak přispívat naší krajině, je celá řada. Jedním z mnoha adaptačních řešení, a tedy jedním ze střípků celé mozaiky, je budování či obnova malých vodních nádrží (MVN), které mohou pomoci vodu zadržet v době jejího nadbytku, ale také tuto vodu využívat v době jejího nedostatku. Podstatné je ale uvědomit si, že na možnou implementaci takových opatření v území je důležité nahlížet individuálně, a brát v potaz veškeré fyzicko-geografické faktory dané lokality. Existují totiž také místa, kde je krajina schopna sama tomuto problému čelit, a není tedy nezbytně nutné chod narušovat. Klíčové je ovšem specifikovat potřeby daného území na základě dlouhodobého pozorování. Realizace některých nádrží totiž může způsobit následný nechtěný proces, kterým je zvýšený výpar. Ten se navíc bude v následujících dekádách velmi pravděpodobně zvyšovat.

Téma této bakalářské práce mě napadlo již při tvoření práce SVUČ, v rámci které jsem se zabýval Jabloneckou přehradou. V souvislosti s ní jsem narazil na opatření od společnosti Photon Water Technology, jež mě zaujala svými minulými i současnými projekty. Po konzultaci s ředitelem společnosti RNDr. Petrem Kvapilem, Ph.D. a potencionálním vedoucím práce RNDr. Janem Kocumem, Ph.D. vzniklo téma, které disponuje značným aplikačním rozměrem ve smyslu těsné spolupráce mezi akademickou a komerční sférou.

## **Cíle práce**

Cílem práce je literární rešerše týkající se koloběhu vody, interakce povrchových a podzemních vod, hydrologických extrémů, důsledků změny klimatu pro vodní bilanci území, retence vody v krajině a v neposlední řadě i MVN. Práce je zaměřena na roli těchto nádrží jakožto adaptačních opatření v rámci zvyšování retenčního potenciálu krajiny. Provedená rešerše by měla vyústit ve specifikaci hlavních fyzicko-geografických faktorů, které hrají klíčovou roli při posouzení obecného vlivu MVN na schopnost retence vody v povodí a nalezení všech aspektů, které je třeba brát v úvahu, a specifikované faktory a podmínky dále demonstrovat na vybraných lokalitách. Lokality budou vytipovány pomocí hydrologické analýzy odtoku v programu ArcGIS Pro s využitím potřebných vrstev. Bude vytvořen rovněž dotazník s otevřenými odpověďmi týkající se tohoto tématu, jež bude zaslán třem osobám, jednak odborníkovi z akademické sféry, odborníkovi ze sféry komerční a laikovi, který je podporovatelem opatření blízkých přírodě. Jejich odpovědi budou následně vyhodnoceny.

# 1 Voda na Zemi

Veškerá voda na Zemi tvoří pouze 0,024 % hmotnosti Země (Kopáček, 2020). I tak je to nesrovnatelně více než na jiných planetách sluneční soustavy. Voda v plynném a kapalném skupenství se začala objevovat přibližně před čtyřmi miliardami let. Voda na Zemi pochází z několika zdrojů. Hlavním zdrojem byl tepelný rozklad hydratovaných minerálů a výsledek chemické reakce při formování hornin. Dalším, veřejnosti známějším zdrojem vody jsou asteroidy a ledové komety, které dopadli z vesmíru na planetu Zemi (Kopáček, 2020). Přesný zdroj a množství vody na Zemi však dodnes není jistě zodpovězen. Některé zdroje však odhadují celkový objem vody na Zemi na 1 360 tis. km<sup>3</sup> (Kopáček, 2020). Od doby, kdy se voda na Zemi objevila, jí je víceméně konstantní množství (Cílek, 2004). Je však velmi nerovnoměrně rozložena. Z celkového množství vody na zemském povrchu je 97 % slaná voda, která připadá především mořím a oceánům. Ta se rozkládá na 360,7 mil. km<sup>2</sup>, tj. 70,7 % povrchu Země (Blažek, 2006). Zbylé 3 % sladké vody jsou rozložena mezi všechna ostatní prostředí. Největší část, zhruba 77 % sladké vody je poutáno ve formě pevninských ledovců a sněhu, 22 % sladké vody se nachází ve formě podpovrchové vody. Většina zásob podpovrchové vody se nachází ve větších hloubkách než 800 m pod povrchem. Necelé 1 % patří vodě povrchové. Zanedbatelné množství vody se nachází také v atmosféře (Blažek, 2006).

## 1.1 Hydrologický cyklus – koloběh vody

První živé organismy se vyvinuly ve vodě. Voda byla a stále je nezbytnou podmínkou pro zachování všech forem života známých na Zemi.

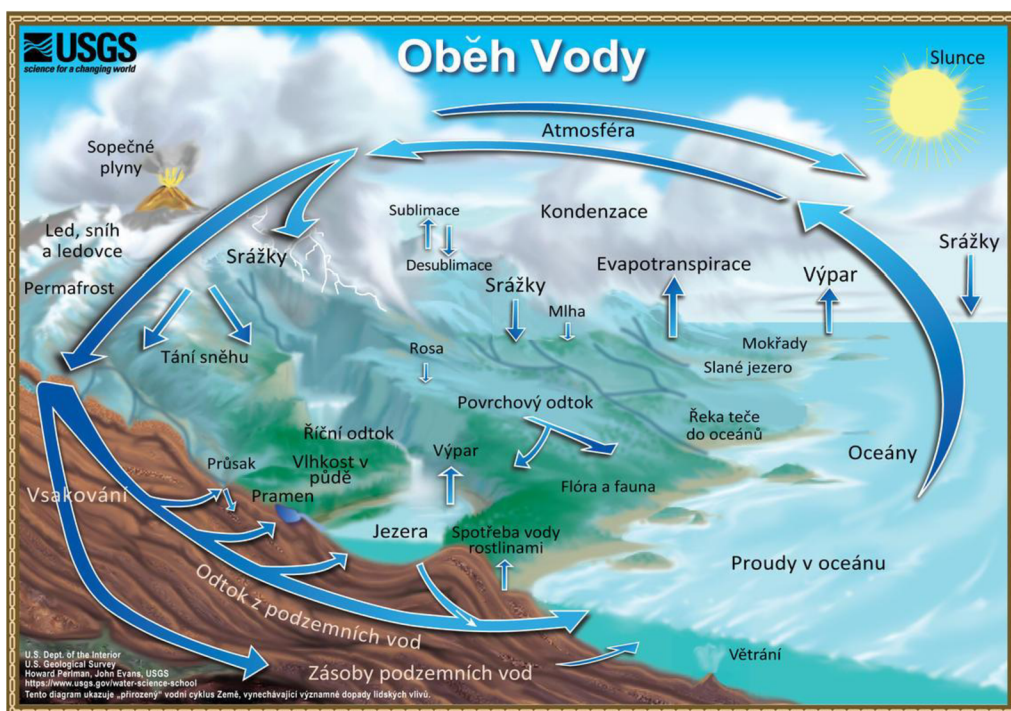
Hydrosféra označuje veškerou vodu na Zemi ve všech skupenstvích. Voda je na Zemi rozložena velmi nerovnoměrně, najdeme ji v oceánech, mořích, atmosféře, povrchové vodě a v ledu. Voda je neustále v pohybu v rámci globálního hydrologického cyklu putuje mezi oceány, atmosférou, zemským povrchem a zónami s výskytu podzemní vody. Jedná se o největší pohyb nějaké látky na Zemi. Iniciátorem pohybu vody je energie zářená ze Slunce, která způsobuje výpar vod ze všech míst výskytu. Celkový objem vypařené vody je asi 577 000 km<sup>3</sup>, přičemž převládá výpar z oceánu díky jeho větší ploše: 505 000 km<sup>3</sup> ku 72 000 km<sup>3</sup> z pevniny, zejména z půdy (Gleick, 1993). Všechna čísla, kterými je popisován hydrologický cyklus, jsou expertními odhady a liší se podle různých autorů. Voda v plynném skupenství je poté transportována ve vyšších vrstvách atmosféry, díky vzdušenému proudění na jiné místo. Za určitých podmínek voda kondenzuje a v podobě srážek dopadá zpět na povrch Země. Pokud dopadne na pevninu, vsákne se do půdního profilu, zásobí podzemní vody, nebo doplní řeky, jezera či ledovce. Zpět na hladinu oceánu spadne 458 000 km<sup>3</sup> srážek, na pevninu potom ve formě deště a sněžení celkem 119 000 km<sup>3</sup> srážek. Při pohledu na výše uvedené

číslo je zřejmé, že nad pevninou выпадává více srážek, než se z ní vypaří vody. Tento přebytek (47 000 km<sup>3</sup>) je umožněn atmosférickým prouděním směřujícím z oceánu nad pevninu. Z pevniny odtéká zpět do oceánu 45 000 km<sup>3</sup> vody formou povrchového odtoku, 2 000 km<sup>3</sup> vody odtéká ve formě podzemního odtoku (Chahine, 1992). Stejně tak platí, že značná část srážek nad pevninou se tvoří z místního výparu.

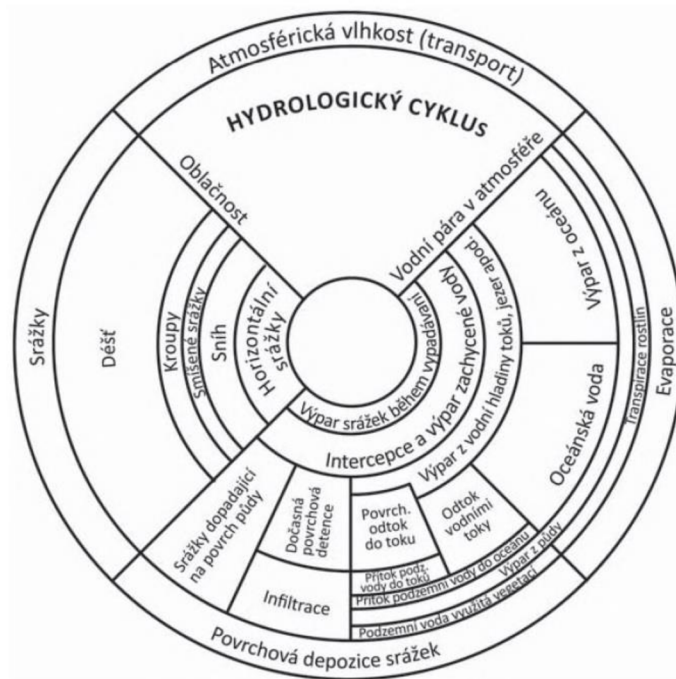
Tímto se různým tempem voda opět dostává do moří a oceánů. Během této cesty se však opět odpařuje. Tím vzniká stále se opakující cyklus koloběhu vodních mas.

## 1.2 Velký a malý hydrologický cyklus

Hydrologické cykly rozlišujeme na malý a velký. Velký hydrologický cyklus probíhá v plném systému: oceán – atmosféra – pevnina – oceán. Malý hydrologický cyklus probíhá ve dvou možných formách: oceán – atmosféra – oceán, přičemž výpar z oceánu spadne ještě před přenesením zpět do oceánu, nebo pevnina – atmosféra – pevnina, kde je vypařená voda opět přenesena na jiné místo na pevnině. Do malého hydrologického cyklu patří také bezodtoková území. Vazba je však mezi oběma cykly velmi silná z důvodu nejasné cesty vody v podzemních cestách (Kopáček, 2020). První představa o oběhu vody byla publikována v roce 1674 francouzským přírodovědcem Pierrem Peraultem (Bartoš, 2009).



Obrázek 1: Oběh vody (USGS, 2017)



Obrázek 2: Hydrologický cyklus dle Roberta E. Hortona (Daňhelka, ČHMÚ, 2017)

### 1.3 Povrchová a podpovrchová voda

Tyto vody, které spolu úzce souvisí, jsou hlavním tématem této práce. Budeme se zabývat vodami na území České republiky. Zdrojem veškeré povrchové a podpovrchové vody jsou atmosférické srážky, případně tání sněhu. V rámci koloběhu vody jsou tyto vody velmi propojené v rámci vsakování a zpětnému vývěru v podobě pramenu či odpaření. Pokud zanedbáme minimální přítok v rámci řek na naše území (Ohře, Lužnice), můžeme konstatovat že jsme odkázáni pouze na srážky z atmosférické vody. Z toho důvodu se musíme více zaměřit na její udržení na našem území. Výdaje vody na našem území probíhají formou výparu a odtoku. Dalším důkazem toho, že bychom se měli zaměřit na retenci a zabránění výparu je fakt, že dlouhodobá roční bilance těchto výdajů je zapsaná v rovnici takto:

Průměrné roční srážky v ČR (685 mm) = výpar (488 mm) + odtok (197 mm) (Blažek, 2006). Tyto bilance jsou však velmi proměnlivé v průběhu let. Část odtoku se také podílí na dotaci podzemních vod.



### 1.3.1 Povrchové vody – vodní toky

Tímto termínem se označuje tekoucí voda v korytě odvádějící srážkovou, tavnou i pramenitou vodu z daného území (povodí). Část vody, dopadá na zemský povrch v podobě atmosférických srážek, stéká působením gravitace ve směru největšího sklonu. Nejprve je to na krátkou vzdálenost v tenké vrstvě – roně, poté v četných stružkách, které se postupně spojují do větších rozměrů, vzniklých buď tektonicky, nebo dynamickým působením (vodní eroze, eolická činnost, ledovce). Někdy to může být i chemickou korozi, například v krasu (Farský, 2005). K přihlídnutím na téma práce je dobré zmínit nevhodné úpravy potočních a bystřinných koryt provedených pouze s ohledem na antropogenní funkce. Byla napřimována trasa toku, volena velká hloubka koryta a koryta byla většinou opevňována dlažbou. Voda byla rychle a přímo přesouvána níže v povodí. To zabraňovalo přirozené infiltraci do půdy, přirozenému rozlivu v případě naplnění koryta a sekundárně tvorbě biodiverzity. Proto má prioritu při úpravách toků jejich revitalizace (Slavík, 2007).

### 1.3.2 Podpovrchové vody

Nazýváme vody nacházející pod povrchem země a to ve dvou pásmech. V pásmu půdní vláhy, tzv. v zóně aerace, kde se nachází v propustných materiálech, která většinou nebývá zcela nasycena. A v zóně tzv. saturace (Kopáček, 2020), kde se nachází v zónách podzemních otvorů a pórů kompletně nasycenými vodou. Polovina všech zásob podzemní vody se nachází v hloubkách 800 m pod povrchem (Blažek, 2006).

Podpovrchová voda je součástí koloběhu vody, pod povrchem ji najdeme v různém skupenství od par, půdní vlhkosti, gravitačně tekoucí vody, adsorpční vody pevně vázané na povrchu pevných částic, geotermální a ropné vody až po led v permafrostu (Kopáček, 2020). Dělí se na vodu půdní (aerace), která nemá souvislou hladinu a vodu podzemní (saturace), která souvislou hladinu má.

#### 1.3.2.1 Půdní voda (zóna aerace)

Nejsvrchnější částí zemské kůry je nejčastěji tvořena půdou. Ta je tvořena směsí pevných částic a prostorů mezi nimi (póry), těmi prochází voda díky působení gravitace. Část této vody se cestou zadrží na povrchu půdních částic, tu nazýváme obalová (adsorpční, adhézní) (Farský, 2005). Póry v této části jsou z částí tvořené rostlinami či živočichy. Mnoho pórů je vyplněno vzduchem, který půdu provzdušňuje, proto ji nazýváme nenasyčená. Další část vody, která projde níže se uchytí v dlouhých pórech (kapilárách) (Kopáček, 2020). Výskyt této vody zde však není stabilní, protože se může díky malým průměrům kapilár pohybovat i vzhůru, voda vzlíná. Čím je kapilára užší, tím je výška vzlínání větší. Většina vod v kapilárách se ztratí využitím rostlin či výparem. Pokud

se kapilární voda dostane do spojitosti s vodou podzemní, hromadí se tu a nebo doplňuje její množství.

### 1.3.2.2 Podzemní voda (zóna saturace)

Pod touto nenasycenou zónou půdní vody se nachází nasycená zóna podzemní vody (tzv. vodonosná vrstva, zvědeň, akvifer) (Kopáček, 2020). V této části jsou póry plně nasyceny vodou. Jedná se o materiál schopný vodu obsahovat a vést ji, tuto část nazýváme kolektor (propustná hornina). Materiál, který není schopný vodu vést a propouštět ji, nazýváme izolátor (Fárský, 2005). Při střídání těchto vrstev může vzniknout několik zvodní nad sebou. Vodě v první z nich říkáme mělká voda (freatická) (Fárský, 2005). Čím větší je hloubka výskytu podzemní vody, tím je její pohyb pomalejší a voda tu déle setrvává. Z hydrogeologického hlediska se podzemní voda dělí na průlinovou, která vyplňuje póry hornin s přímou propustností (písky, náplavy, erozní horniny), a vodu puklinovou, která se pohybuje v puklinách nepropustného podloží. Vody, které vyplňují krasové dutiny, nazýváme krasové (Kopáček, 2020).



Obrázek 3: Podzemní a půdní voda (USGS, 2014)

### 1.3.3 Interakce podzemní a povrchové vody

Podzemní vody jsou velmi významnou složkou oběhu vody v přírodě. Jsou ve velmi úzké interakci s vodou povrchovou. Vzájemně se v rámci morfologických, geologických a klimatických podmínek ovlivňují. V minulosti se řešili odděleně, v rámci řešení extrémních hydrologických situací je však důležité pozorovat tyto složky jako celek. Zásoby podzemních vod stabilizují odtok z území.

Hlavně v bezesrážkových obdobích jsou povrchové toky dotované z podzemních vod. Podzemní voda proudí z oblastí infiltrace do oblastí odvodnění. Systémy podzemních odtoků se liší velikostí a hloubkou, mnoho systémů se však může překrývat a může docházet k proudění vody mezi nimi navzájem. Režim podzemních vod v mělkých zvodni je velmi dynamický a mezi nimi a povrchovými toky je největší výměna vody (Brázdil, 2015).

#### **1.3.4 Velikost rezervoárů a zdržení podzemní vody**

O množství vody rozhoduje velikost pórů a celkový objem zvodně, velikost jednotlivých rezervoárů se na Zemi pohybuje od několika m<sup>2</sup> až po miliony km<sup>2</sup>. Doba držení vody se pohybuje od dnů až po miliony let. Největší zdroje podzemní vody v České republice se nachází v české křídové pánvi v severozápadním území mezi Labem a Jizerou (Kopáček, 2020). V půdním profilu na území ČR je ve 100 cm mocné povrchové vrstvě na ploše 1 km<sup>2</sup> obsaženo zhruba 300 000 m<sup>3</sup> (Blažek, 2006). Na množství obsažené vody v půdní profilu záleží na typu půdy na daném území. Hlavním faktorem pro velikost doplňování zásob podzemní vody jsou atmosférické srážky zmenšené o výpar (Brázdil, 2015).

#### **1.3.5 Hladina podzemní vody**

Velikost zvodně určuje hloubka, ve které se nachází izolátor, voda se nad ním hromadí buď k dalšímu izolátoru nebo k horní volné hladině. Voda tedy může mít volnou hladinu nebo se nacházet i pod tlakem, viz. napjatá hladina.

Volná hladina je volná plocha zvodně, která není uzavřena izolátorem, je zde stejný tlak jako atmosférický tlak. Voda se může volně pohybovat a její sklon je shodný se směrem pohybu vody z infiltrace do oblasti odvodnění (Fárský, 2005). Úroveň volné hladiny můžeme zjistit vrtem, kde se z údajů tvoří mapa izochar – hydroizohyps (Fárský, 2005). Pro zjištění hladiny podzemní vody nám stačí znát výšku hladiny alespoň ve 3 bodech. Podzemní voda proudí ve směru hydraulického sklonu který je kolmý k hydroizohypsám (Slavík, 2007). Hydroizohypsy jsou v hydrogeologii důležité pro určení regionálního proudění a jímání podzemní vody (Šilar, 1996).

Napjatá hladina se nachází v místech, kde je voda sevřena z obou stran izolátorem. Ve zvodni je tedy větší tlak, než je atmosférický. Určitý typem těchto zvodni je artézská voda, která potřebuje specifické geologické poměry. Tato voda je uložena s jednostranným ukloněním, kde hmotnost nahromaděné vody vytvoří přetlak. Pokud se poruší stěna této zvodně, voda se pod tlakem dostává ven na povrch (Fárský, 2005).

### **1.3.6 Budoucnost podzemních vod**

Podzemní vody, jsou brány jako významná složka vodního bohatství ČR. Jsou také řešeny v zákoně o vodách č. 254/2001. U podzemních vod je potřeba kvalitu a fungování podzemních vod chránit a zamezit nejen chemickému znečištění, které se skrz půdu může dostat do velkých rezervoárů, kde naruší kvalitu vody na dalších mnoho let. Ale také odebírat vodu z těchto zásob v takovém množství, jaké je příroda schopna obnovit, aby nedošlo k narušení zvodně (Blažek,2006). Na mnoho místech po celém světě však dochází k nadměrnému čerpání a hloubení vrtů, které může přinést rostoucí salinitu, koncentraci nebezpečných látek, sesedání půdy nebo kolapsy zvodní (Kopáček, 2020). V nedaleké vzdálenosti od našeho zkoumaného území dochází k ovlivnění podzemních vod povrchovou těžbou hnědého uhlí v Dolu Turów. Kritika rozšíření dolů ze strany Česka i Německa přišla hned po jeho oznámení. Obcím na obou stranách hranic vadí, že těžbařská činnost ohrožuje vodní zdroje v jejich okolí (MŽP, 2023).

### **1.3.7 Průzkum podzemních vod v ČR**

Jen málo zemí na světě je tak dokonale hydrogeologicky prozkoumáno pomocí vrtů jako naše území. Za to vdčíme především prof. Ottovi Hyniemu, který se v 50.-80. letech 20. století jako průkopník hydrogeologie v ČR zasloužil o získání prostředků ze státního rozpočtu na tento průzkum (Blažek,2006).

### **1.3.8 Prameny**

Pramen je místo, kde se podzemní voda dostává ven na povrch přirozenou cestou. Pramen buď vyvěrá přímo nebo nepřímo na větší ploše, kde dochází k velkému zamokření díky prosakování vody z podzemí. Prameny se nacházejí buď na náhodných místech, nebo na tektonických zlomech v řadě za sebou podél pramenné linie (Fárský, 2005). Pramen se může vyskytovat přímo na povrchu, nebo může vyvěrat na dně jezera či rybníka. U pramene můžeme změřit množství vytékající vody, většina pramenů má svůj režim, který ovlivňuje prostředí, ve kterém pramen vodu sbírá (Fárský, 2005). Prameny mají rozdílnou, často kolísavou vydatnost. Periodické, občasně prameny vyvěrají v intervalech s denní nebo sezónní periodičností, případně v nepravidelných obdobích podle různého výskytu srážek (Fárský, 2005).

## **1.4 Vodní bilance**

Podle §22 vodního zákona vodní bilance sestává z hydrologické bilance a vodohospodářské bilance. 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. Obsah vodní bilance a způsob jejího sestavení stanoví Ministerstvo zemědělství ve spolupráci s Ministerstvem životního prostředí vyhláškou. (Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách: §22 (1) odstavec, ročník 2001)

Hydrologickou bilanci v povodí lze vyjádřit rovnicí:

$$H_s + H_p - H_o - H_e = \Delta H_r$$

kde:

$H_s$  = úhrn přirozených srážek

$H_p$  = úhrn přítoku povrchové a podzemní vody

$H_o$  = úhrn odtoku povrchové a podzemní vody

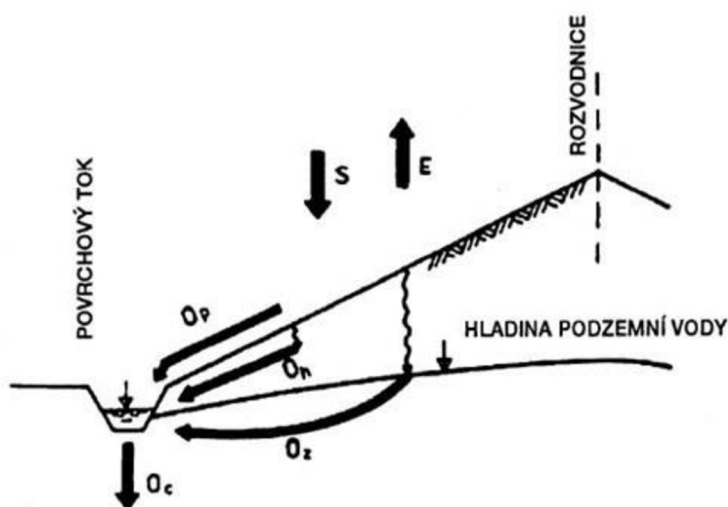
$H_e$  = hodnota evapotranspirace (celkový výpar ze zemského povrchu do atmosféry)

$H_r$  = celková změna zásob povrchové a podzemní vody na ploše povodí za daný časový interval (Slavík, 2007)

Časovým intervalem je nejčastěji hydrologický rok. Je to období 12 měsíců se začátkem tohoto roku tak, aby spadlé sněhové srážky, v daném období také odtekly. V České republice začíná hydrologický rok 1. listopadu a končí 31. října následujícího kalendářního roku (Slavík, 2007).

## 1.5 Celkový odtok

Celkový odtok je souhrn všech složek odtoku procházejícího závěrečným profilem toku za daný časový interval (Slavík, 2007).



$S$  = celkové množství srážek

$E$  = evapotranspirace

$O_c$  = celkový odtok

$O_p$  = povrchový odtok

$O_h$  = podpovrchový odtok  
z půdy

$O_z$  = podzemní odtok

z podzemních vod

Obrázek 4: Složky celkového odtoku (Slavík, 2007)

## 2 Hydrologické extrémy a změna klimatu

V České republice i ve světě stále přibývá hydrologických extrémů, ty největší v posledních dekádách na našem území proběhly v letech 1997 a 2002 v rámci povodňových pohrom, rok poté v roce 2003 proběhlo opačně drastické sucho. Výpisem dalších pohrom bychom mohli pokračovat. Dosud nepadl jasný důkaz zda jde o důsledky změn klimatu či přirozenou variabilitu počasí. Poměrně velká skupina vědecké komunity v rámci výzkumných aktivit se domnívá, že na změnách fyzikálního klimatu Země se podstatně podílí antropogenní činnost (Bartoš, 2009). Zatím se však nepovedlo předložit jasný důkaz, že tomu tak opravdu je. Druhá skupina se domnívá, že jde o normální přírodní disturbance (Bartoš, 2009), které se v minulosti vyskytovali a zřejmě se i v budoucnu vyskytovat budou. Ať tak či onak, je důležité se těmito nebezpečnými přírodními jevy zabývat a brát zřetel na jejich dopady. V rámci pochopení vzniku hydrologických extrémů se musíme zabývat meteorologickým a hydrologickým pozorováním.

V době, kdy nastanou nepříznivé meteorologické podmínky, které se výrazně odlišují od dlouhodobého klimatického normálu, zejména při přebytku či nedostatku srážek, výskytu dlouhodobých mrazových teplot vzduchu nebo výskytu letních až tropických teplot, se vždy projeví v hydrologických jevech na ploše povodí a následně v tocích (Slavík, 2007). Právě kvůli změně klimatu tyto situace nastávají častěji. Při extrémních stavech těchto jevů mohou nastat velmi škodlivé důsledky.

### 2.1 Sucho

Stav sucha je vyjádřen pasivní hydrologickou bilancí. Zásoba vody ve vodních útvech se snižuje. K poklesu zásob povrchových a podzemních vody dochází za podmínek, kdy je nedostatek příjmových složek bilance, na našem území, přirozených srážek, které nekryjí ztrátové složky zejména výpar vody z povrchu půdy, z vodních ploch i ze zastavěných pozemků, další složkou je také transpirace rostlinných společenstev (Slavík, 2007).

Vznik období sucha je zapříčiněn několika vlivy: přirozenou klimatickou variabilitou, antropogenními vlivy na klima a také charakterem krajiny, často nevhodně upravovanou (Brázdil, 2015). Tedy, mění se režim srážek, prodlužují se období bez dešťů a schází sníh vlivem klimatických příčin. Krajina přišla o meze, remízky, vsakovací strouhy, rozšířila se plocha měst a komunikací, toky jsou narovnané a umožňují rychlý odvod vody. Půda, která mohla pojmout vodu a postupně ji uvolňovat, je ničena erozí nebo má degradovanou organickou složku vlivem špatných zemědělských technik (Čilek, 2021).

## 2.2 Povodně

Povodeň je situace při níž množství protékající vody překročí z různých příčin průtočnou kapacitu koryta, většinou se tak stává při náhlém a rychlém zvětšení průtoku z důsledku srážkové činnosti nebo při zmenšení průtočnosti koryta (zablokování překážkou). V moment kdy se voda vyleje z koryta do záplavového území, začíná být škodlivým živlem (Blažek, 2006). U nás často dochází k povodním při náhlém, rychlém tání sněhu způsobené vysokou teplotou. Velmi záleží na velikosti zasažené plochy, vydatná srážka na relativně malé ploše může změnit horský potok v bystřinu, zatímco obdobná srážková situace na korytě větších řek se na vodním stavu téměř neprojeví. Na malém povodí je pravděpodobnost vzniku povodně větší, protože má větší specifický odtok (Fárský, 2005). Proto i tvorba retenčních MVN má smysl pouze v horních částech povodí.

Z pozice ekologických přístupů k ochraně před povodněmi platí, že musíme umožnit co největší prostor pro říční rozliv. Říční nivy obhospodařovat a udržovat průtočné kapacity koryt toků. Základem je zvýšení retenčních prostorů na celé ploše povodí. Teprve po zajištění těchto přirozených způsobů lze zavádět technické protipovodňové opatření (Slavík, 2007).

## 2.3 Hydrometrie

Hydrologická pozorovatelská služba se většinou uskutečňuje ve vodoměrné stanici. Na tomto místě je možné kontinuálně sledovat hydrologický režim na řece. Většina stanic je vybavena vodočtem (vodoměrná lať), limnigrafem (přístroj, který graficky zaznamenává stav vodní hladiny v průběhu času) (Slavík, 2007) a ostrohrannými přelivy (stěna opatřená výřezy s ostrými hranami, kterými přepadává voda) (Slavík, 2007). Ty, které ještě nejsou, se předělávají tak, aby automaticky dálkově posílali zapsané data do kanceláří ČHMÚ. Vodoměrné stanice se zřizují pro: pravidelné pozorování vodních stavů, sledování průtoků na řekách, předpovědní a hlásnou povodňovou službu a získání údajů pro vodohospodářskou bilanci (Návojková, 2002). Pro pozorování podzemních vod a zjišťování stavu jejich režimu je nutné sledovat hladinu podzemních vod a vydatnost pramenů. Sleduje se i teplota a kvalita vody. Zde se jedná o pozorovací objekty v podobě vrtů, studní nebo přímo pramenů. Dlouhodobá pozorování se provádějí v základní pozorovací síti, která monitoruje stavy podzemních vod na velkém území (povodí, kraj, stát). V případě potřeby se zřizuje účelová pozorovací síť, která pracuje na menším zájmovém území. Pro měření hladiny podzemních vod se používají upravené limnigrafy (Fárský, 2005).

### 2.3.1 Stručná historie pozorování

Prvními záznamy pozorování na našem území jsou zápisy z kronik, které se objevují na konci 11. století, záznamy jsou však sporadické a zabývají se jen blahodárnými či ničivými účinky. Pozornost byla upřena na významné kolísání vodních stavů na řekách a množství spadlých srážek. Rozvinutější pozorování začalo až v polovině 16. století, a to kvůli stavbě rybníků, provozu vodních mlýnů, dopravě po vodě, apod. Předpovědi počasí se řídili především astro-meteorologickou prognostikou (Bartoš, 2009), předpověď počasí byla především v zájmu zemědělců. V oblasti meteorologie byl barokním dědictvím 17. století tzv. stoletý kalendář, který byl používán po několik staletí pro předpověď počasí v celé střední Evropě (Bartoš, 2009). Systematičtějšímu měření přispěl vývoj meteorologických měřicích zařízení (tlakoměr, teploměr, větroměr, dešťoměr, aj.). V 18. století začaly vznikat meteorologické stanice, byli však nesystematické a nejednotné. První místo ve střední Evropě kde se začalo pravidelně a systematicky měřit bylo pražské Klementinum v roce 1752 pod vedením J. Steplinga, který i vydal návod a instrukce k meteorologickému měření. Až do roku 1919 se měřilo neorganizovaně jednotlivými stanicemi, stanice se stavěli zejména v povodí větších řek. Probíhali rozbory dosavadních katastrof. O rozvoj hydrometeorologie a snahu o výstavbu sítě měřicích stanic na našem území se zasloužil prof. F. Augustin, který mimo jiné podporoval návrh na zřízení společného ústavu pro meteorologii a hydrologii.

Pod vedením státu začalo měření v roce 1919, kdy byl zřízen Státní útvar meteorologický s celostátní působností a Státní útvar hydrologický. Během této doby docházelo k pravidelnému, systematickému a celoplošnému měření a zaznamenávání. Během německé okupace v roce 1940 došlo ke sloučení těchto dvou útvarů a k odtržení okrajové části Čech, tím došlo k přerušení pozorovacích řad (Bartoš, 2009). V roce 1954 došlo ke sloučení všech stávajících útvarů společně se sítí všech stanic a byl vytvořen Hydrometeorologický ústav (později Český Hydrometeorologický ústav – ČHMÚ). Od této doby se ústav dotvářel do podoby v jaké ho známe dnes (Bartoš, 2009).

*„S délkou pozorování se zvyšuje úroveň poznání, tzn. že podíl neurčitosti spojené s odhalováním příčin vzniku katastrof a s modelováním jejich vývoje, lze s přibývajícím variacemi dějů, které příroda postupně inscenuje, sice pomalu, ale stále zmenšovat.“ (Bartoš, str. 68, 2009).*

### 2.4 Projevy změny klimatu

Hlavním prvkem změny klimatu je dopad na koloběh vody na planetě, který zrychluje cestu vody z našich oceánů do atmosféry, která se zpět dostává na pevninu. Změna klimatu zvyšuje míru



vodní páry v atmosféře a znesnadňuje predikci dostupnosti vody. To na našem území může způsobit sucho, či vyšší četnost bouří. Mění se i vzorce srážek, které obecně přináší větší vlhko do vlhkých krajin a větší sucho do suchých krajin. Extrémní projevy počasí nabývají na četnosti a intenzitě (EEA, 2021).

**Tyto změny vyžadují přizpůsobení se, najítí vhodnějšího hospodaření s vodou, snížení dopadu záplav a využívání vody tak, aby udržela život i v době sucha (EEA, 2021).**

## **2.5 Opatření hydrologických extrémů**

V rámci modelování dopadů klimatické změny na území České republiky se předpokládá častější výskyt přívalových povodní (přívalová povodeň je způsobená především náhlými, krátkodobými a vydatnými srážkami) (CHMI, 2022) a dlouhotrvajícího sucha. Problematika povodní i sucha je zakotvena v legislativě ČR v zákoně č. 254/2001 Sb. (povodňová opatření, záplavová území, stupně povodňové aktivity, stupně ohrožení suchem, plán pro zvládnání sucha a stavu nedostatku vody, atd.). Ještě do nedávna však legislativa pojednávala jen o problematice povodní (Bartoš, 2009). V rámci zájmu o ochranu obyvatel a zmírnění nebo odvrácení škod při povodních existují povodňové plány pro daný územní celek (obec, ORP, kraj, ČR) (MZP, 2023). Jedná se o organizační a technická opatření (zabezpečovací práce, záznam průběhu povodně, organizace povodňových orgánů a záchranných prací) (Bartoš, 2009). V případě sucha a stavu nedostatku vody existují plány, které mají za cíl zajistit dostatek vody pro základní lidské potřeby a minimalizovat dopady sucha a nedostatku vody v hospodářství a v životním prostředí (MZP, EAGRI, 2023).

### 3 Retence vody

Retence vody je definována ČSN 75 0101 jako dočasné přirozené nebo umělé zadržení vody na povrchu terénu, v půdě, v korytě vodního toku, vodní nádrži apod. Obecně jde o rozdíl přítoku do prostoru a odtoku z něho za časovou jednotku. Celková přirozená retence vody v určitém povodí se skládá ze složky povrchové, půdní, podzemní a evapotranspirační (Kvítek, 2018).

#### 3.1 Retenční schopnosti krajiny

Vodní režim v současné krajině je jiný než je jeho přirozený. Snížila se retenční schopnost krajiny, půdy, snížila se plocha mokřadů a omezila se retenční funkce přirozených inundačních (Slavík, 2007) (území přilehlá k toku, zaplavované v případě vylití) prostor. Změnil se původní vegetační kryt na hospodářské, převážně intenzivní využívání půdního fondu s malou retenční schopností. Tím se snížila infiltrační schopnost půdního povrchu převádět srážkovou vodu z povrchového do podpovrchového odtoku. Nevhodným provedením úprav toků jsme vyloučili možnosti inundace v nivách rychlým odvedením vody do nížin. Nápravná, adaptační opatření by mohla pomoci opravit vodní režim, který by mohl být odolnější vůči hydrologickým extrémům. Tím by se snížily škody které tyto živly způsobují. Nevhodně upravené vodní toky ztratily své přirozené funkce. Byly zrušeny výmoly a tůňe, dno a břehy se opevnili a tím zabránili přirozené niveletě toku, snížila se hloubka vody v korytě atd. (Slavík, 2007). Výrazně se změnil i biotop, který brání tvoření přirozenému ekosystému. Výsledky průběžného hodnocení vodních režimů, vykazují potřebu úprav prvků, které narušují normální vývoj hydrologických a ekologických poměrů (Slavík, 2007).

Nejen v České republice se nyní vyskytuje mnoho půd s nepříznivými fyzikálními vlastnostmi, tzv. deficitní půdy, mají narušený vodní režim. Nepříznivý je proces infiltrace, šíření a akumulace vody v půdním profilu. Jedná se o půdy s extrémním obsahem solí a jiných cizorodých látek, s extrémní zrnitostí složením, půdy písčité a jílovité, půdy s obsahem skeletu, půdy se zhuštěnou vrstvou nebo vysokou objemovou hmotností. Nevhodně také působí používání chemických prostředků, hnojením průmyslovými hnojivy. V poslední době se snižuje obsah humusu v půdě, protože se omezilo hnojení organickými látkami a nerespektuje se střídání plodin. Je potřeba tyto nedostatky odstranit, zavést odpovídající soustavu hospodaření na půdě (Slavík, 2007).

Tyto negativní vlivy ovlivňují půdní vlastnosti, zejména infiltrační a retenční schopnosti půdy. Infiltrační schopnost je schopnost pohlcovat vodu ze srážek, rychlost průtoku vody do půdy je tedy rychlost infiltrace vody. Optimální je střední až vysoká infiltrační schopnost, při které se minimalizuje odtok vody z povrchu a zároveň zvyšuje šance na vytvoření rezervy půdní vody pro případ příchodu

období sucha (Brázdil, 2015). Není však vhodné přílišné nasycení půdy, tím by mohlo v případě dlouhodobých srážek dojít k rychlému odtoku vody a tím pomoci vzniku povodní. Vysoká infiltrační schopnost také může způsobit vyplavování živin a polutantů (Brázdil, 2015) do podloží a podzemních vod.

K vyšší retenci vody v krajině můžeme dojít i cestou bez stavebních úprav. Pokud zvýšíme rozlohu lesů a lučních porostů oproti orné půdě, na té je důležité vhodné hospodaření. Retenční schopnost krajiny představuje součet retenční schopnosti geologického podloží, půd, lesů, luk, polí, vodních ploch a mokřadů. Propustné geologické podloží ji zvyšují, nepropustné podloží ji snižuje. Totéž platí o půdách. Lesy také zvyšují retenční schopnost krajiny, nejvíce lesy lužní, kde musí být přítomnost vodního toku nebo vysoké hladiny podzemní vody. Významnou složkou retenčních účinků jsou rozlivy do krajiny (inundace) (Cílek, 2004) povodňových vod v záplavových území. Tyto rozlivy zpomalují výšku a prodlužují délku povodňové vlny (Cílek, 2004). Důkazem, že úpravy opravdu fungují, je například úprava přítoku Holubího potoka Od lesa v Raspenavě. Zde se koryto v roce 2009 zasypáním upravilo v meandrující tok s několika tůněmi. S odstupem let je zřejmé, že je úprava úspěšná. Vytvořilo se zde stabilní prostředí pro několik živočišných druhů. Pro téma zajímavějším aspektem je možnost neškodného rozlití vody do krajiny. Důkazem je povodňový průtok ze srpna 2010, který protekl bez významných škod na majetku (Fárský, 2013).

Existují způsoby pro zlepšení retence vody, při kterých je zpravidla nutné provést stavební úpravy. Nemělo by však docházet ke změnám v přirozeném vodním režimu krajiny. Opatření mají za cíl umožnit co nejdelší zadržení povrchové vody a tím umožnit více času infiltraci vody do půdy. Nezadržená voda by měla dále bezpečně pokračovat do recipientu (Bartoš, 2009). Tyto opatření jsou navrhována a prováděna v rámci pozemkových úprav. V těchto návrzích a realizacích adaptačních opatření ve vodním hospodářství hraje klíčovou roli územní plánování. Daná opatření je možné realizovat v případě, že je k dispozici daný pozemek. Je potřeba vytvářet a zachovávat stavební uzávěry na místech, kde v budoucnosti může nastat potřeba tyto stavby vytvářet (Bartoš, 2009). Na Českém území se již mnoho stavebních úprav uskutečnilo, většina však jen chrání před povodněmi (přehrady, ochranné hráze), jen málo z nich je však určeno ke zvýšení retence vody (Cílek, 2004).

### **3.2 Historie zadržování vody v krajině**

Již od doby začátku zemědělství se začali objevovat první snahy o zadržování vody a hospodaření s vodou. Na mnoho místech ve světě, i v částech se špatnými srážkovými podmínkami, se objevili prostředky, kterými se snažili zvýšit efektivitu zemědělství. Vytvářela se polička obklopená vodními kanály a aplikovaly se postupy tzv. stanovištního managementu (Cílek, 2021). Příkladem

mohou být kruhová pole v Amazonii nebo nivy velkých řek, kde se jiné plodiny pěstují na vyvýšených terasách, jiné na svazích a v úrovni nivy. V suchých oblastech amerického jihozápadu Zuniové zachytávali občasný déšť pomocí běžných agrárních teras, ale používali i jednoduché zábrany z kamenů a větví keřů. V roce 1938 americký antropolog Leo W. Simons získal informace o hospodaření s vodou přímo od indiána z kmene Oraibi v Arizoně. Kmen se řídil několika zásadami, jak zacházet s vodou v suché krajině: proud vody je nutný zpomalit příčnými překážkami, rozšířit do co největší plochy, aby se mohla voda vsáknout a zbylou vodu zachytit v nádržích (Cílek, 2021). Tyto základní zásady se od té doby téměř nezměnily. Je však důležité chápat rozdíly v hospodaření na základě charakteristiky území. V oblasti Blízkého a Středního východu v době zhruba před 9000 lety se začali objevovat důmyslnější stavby, nejznámějším jsou kanáty (Cílek, 2021), podzemní chodby, které přivádějí vodu z hor, kde více prší, do oblastí větších center, které by bez vody nebyli schopny uživit tolik obyvatel. Tyto chodby měly délku několika kilometrů. Později se přidala vylepšení v podobě jakčálů (budovy sloužící k ochlazení vzduchu) (Cílek, 2021), a bočních kanálů, které měly pomáhat vsakování vody. V Evropě aplikovali systém tzv. údolíček, jedná se o systém vsakovacích rýh podél vrstevnic (Cílek, 2021). Většina výše uvedených technik je založena na zachycování vody na místě a uložení do půdy. Musíme si však uvědomit, že tyto techniky a systémy nelze efektivně využít na větších plochách, jedná se spíše o lokální farmářské techniky.

### 3.3 Retence vody v půdním profilu

Retence vody v půdním profilu je velmi významným činitelem ovlivňující celkový hydrologický režim na území. Závisí na:

- Fyzikálních a chemických charakteristikách jednotlivých půdních horizontů (textuře a struktuře půdních částic, na objemu, tvaru a propojenosti půdních pórů, mineralogickém složení). Hrubozrnné materiály umožňují rychlé proudění směrem dolů, zatímco jemnozrnné proudění zpomalují, nebo mu brání.
- Prostorových charakteristikách (topografie a klon svahu, mocnost jednotlivých půdních horizontů i celého půdního fondu).
- Vegetaci, která přímo ovlivňuje vsakování vody do půdy (zakrytím povrchu a také kořeny).
- Využití půdy (zemědělská půda - zhutněna stroji, orba, růst plodin).
- Možnosti odtoku vody (propustnost a sklon hlubších vrstev, existence přírodních či umělých struktur – preferenční cesty, kanály, aktuální hloubka podzemní vody) (Kvítek, 2018).

Schopnost půdy zadržovat vodu je skvělým prostředkem k retenci vody v krajině. Z důvodu antropogenních narušení je však její schopnost slabší než dříve. Schopnost půdy zadržovat vodu se liší podle typu půdy. Záleží na různých faktorech, jako je textura půdy, struktura, obsah organické hmoty a množství a velikost pórů. Kromě toho další faktory, jako je zhutnění, eroze a způsoby hospodaření, také mohou ovlivnit zadržovací kapacitu půdy.

V současnosti je přibližně 52 % zemědělské půdy ohroženo vodní a dalších 14 % větrnou erozí. Značná část vody, která by se mohla vsáknout a doplňovat zásoby podzemních vod či částečně eliminovat dopady sucha postupným uvolňováním do vodních toků, odtéká po povrchu půdy pryč (Kovářová, 2019). Dále pak schopnost retence vody v půdě zvyšují travní porosty, neboť rozdíl mezi ornou půdou a travními porosty je v retenční schopnosti asi 7-10 %. Travní porost také výrazně omezuje erozi půdy, zlepšuje jakost zadržené vody a snižuje odtok vody po povrchu půdy (Kvítek, 2017).

### **3.3.1 Infiltrace vody do půdy**

Při dopadu se část srážek zachytí na povrchu vegetace (intercepce), část stéká či dopadá dál na povrch, v případě nízké teploty se může akumulovat ve formě sněhu. Voda na povrchu se buď vsakuje do půdy nebo stéká dále dle sklonu povrchu. Rychlost vsakování závisí na hydraulických charakteristikách povrchových a podpovrchových vrstev a na aktuálním nasycení půdy (množství volných pórů) (Kvítek, 2018). Je-li množství vody větší, než je aktuální vsakovací kapacita půdy, odtéká dále do prohlubně, toku či se po této cestě vsákne do půdy. Přírodní prostředí (půda, skelet, podloží) je velmi heterogenní a jeho vlastnosti značně variabilní v prostoru (Kvítek, 2018).

Půdy podle svých hydrologických vlastností rozdělujeme do 4 skupin: A, B, C, D na základě minimální rychlosti infiltrace vody do půdy:

Skupina A: Půdy s vysokou rychlostí infiltrace ( $>0,20$  mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně hluboké, dobře až nadměrně odvodněné písky a šterky.

Skupina B: Půdy se střední rychlostí infiltrace ( $0,10 - 0,20$  mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité.

Skupina C: Půdy s nízkou rychlostí infiltrace ( $0,05 - 0,10$  mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité.

Skupina D: Půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace ( $< 0,05$  mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně jíly s vysokou bobtnavostí, půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody, půdy s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod ním a mělké půdy nad téměř nepropustným podložím. (VÚMOP, 2023)

Dalším zásadním faktorem je retenční vodní kapacita půd. Jedná se o množství vody, které je půda schopna zadržet v kapilárních pórech (VÚMOP, 2023).

### **3.4 Retence vody pomocí malých vodních nádrží**

V rámci zlepšení situace vodního hospodářství a hospodaření s vodou v období sucha nebo povodní, lze aplikovat mnoho opatření a úprav krajiny vodního prostředí. Jednou z nich je retence vody v krajině v rámci malých vodních nádrží. V rámci využití MVN lze při nadbytečných srážkách a průtocích vodu zadržovat a následně využívat při suchých periodách k nadlepšování průtoků vodních toků a dotování podzemních vod (Kočíb, 2022). Kromě hydrologické funkce slouží tato regulace také v rámci ekologické funkce k zachování fauny a flóry vázané na vodní prostředí. MVN neslouží jen k regulaci a zadržování na konkrétním místě, ale může zasahovat do širokého okolí. Především v letních měsících dochází k vysoké evaporaci vody z nádrže, to pomáhá k ochlazení vzduchu v okolí, to zlepšuje životní podmínky fauny i flóry, ale i člověka (Kočíb, 2022). Je důležité brát v ohled i negativní vlivy budování stálých nádrží na vodních tocích. Po vybudování dojde k velké změně přirozeného ekosystému. Dochází ke zhoršení kyslíkových poměrů a kvality vody v řadě ukazatelů (Jánský, 2006). Pravděpodobně dojde v nádržích k rozvoji řas a sinic. Zhoršení kyslíkových poměrů způsobují rozkladné procesy biomasy a živin, které se v nádrži hromadí. Musíme brát v ohled i fakt, že vytváříme překážku dynamice transportu plavenin. U toků, který mají horší jakost vody, se nedoporučuje výstavba nádrží z důvodu očekávání eutrofizace (Jánský, 2006). Eutrofizace je proces obohacování vod o živiny, zejména dusík a fosfor (Wikipedia, 2023), jejímž důsledkem je přemnožení planktonu a sinic.

### **3.5 Obnova zaniklých malých vodních nádrží**

Obnova zaniklých MVN může pro mnoho lidí vypadat jako skvělá myšlenka, protože může přispět retenci vody v krajině i bez staveb nových MVN. Nicméně, v mnoha případech nemusí být obnova vhodná a její snaha o obnovu může způsobit další problémy. Jedním z hlavních důvodů může být změna vydatnosti zdroje vody či její využití jiným způsobem. Pokud by tedy začala obnova nádrže, mohlo by dojít k vysušení zdrojů vody či nadcházející toku a to by mohlo vést k závažnějším

problémům se zásobováním vodou či zničení života v korytě řek (Fér, 2015). Ke změnám vodních zdrojů může docházet i z důsledků změn klimatu.

Některé zaniklé MVN je dobré obnovovat pokud jejich zásobování nenaruší a neohrozí jiné místa, kde je voda potřeba a pokud je místo k retenci vody opravdu vhodné vzhledem k faktorům, které retenci ovlivňují.

## 4 Malé vodní nádrže (MVN)

Vodní nádrž je vodní útvar vzniklý akumulací vody určitou stavbou ve vodním toku, využitím přírodní nebo umělé prohlubně na povrchu, která tvoří základ nádrže. Podmínkou vodní nádrže je možnost manipulace s vodou dle potřeby (Slavík, 2007).

Malé vodní nádrže jsou definované normou (ČSN 752410 Malé vodní nádrže):

Norma omezuje objem nádrže po hladinu ovladatelného prostoru, který nesmí být větší než 2 miliony km<sup>3</sup> a zároveň hloubka nesmí být větší než 9 metrů.

Malé vodní nádrže tvoří v krajině významný krajinný prvek její ekologické stability. Výstavba nových a obnova bývalých nádrží je efektivním revitalizačním opatřením v krajině. Jsou důležitým prvkem retence vody v povodí (Slavík, 2007).

### 4.1 Rozdělení malých vodních nádrží

Možným způsobem rozdělení MVN je dle jejich zásobení vodou:

- Dešťové (nebeské) nádrže – odkázané na přítok vody z dešťů nebo tajícího sněhu, zachycují přívalové deště, bez stálého průtoku vody, snaha o snížení ztráty vody průsakem či výparem
  - Pramenné nádrže – zásobené vývěry podzemní vody ve dně či z břehu, záleží na vydatnosti pramene, také částečně zachytávají dešťovou vodu
  - Říční (potoční) nádrže – budují se buď přímo na toku či jako rameno, plněné vodou z řek, regulují tok na řece
- (Jůva, 1980)

MVN můžeme také rozdělit dle polohy:

Poloha nádrže značně ovlivňuje její přítok i kvalitu vody. S pohledem na retenci vody je zde hlavním faktorem typ půdy, na kterém se MVN nachází.

- Návesní – v obcích či na jejich okraji
  - Polní – v údolích obdělávaných polích
  - Luční – podobně jako polní, ale s menším zanesením
  - Lesní – pravidelná vydatnost pramenů
  - Rašelinné
- (Pavlica, 1964)



MVN plní různé funkce, které se často kombinují a doplňují. Vždy je ale jeden prioritní účel.

Tabulka 1: Rozdělení malých vodních nádrží (ČSN 75 2410, 2011)

Účel	Funkce
<b>Zásobní nádrže</b>	vodárenské, průmyslové, závlahové, energetické, kompenzační, zálohové, retardační, aktivizační
<b>Ochranné/retenční nádrže</b>	suché retenční – poldry, retenční nádrže s malým zásobním prostorem, protierozní, dešťové, vsakovací – infiltrační, nárazové
<b>Nádrže upravující vlastnosti vody</b>	chladicí, přehřívací, usazovací, aerobní biologické, anaerobní biologické, dočišťovací biologické
<b>Rybochovné nádrže</b>	výtěrové a třecí, plůdkové výtažníky, výtažníky, komorové nádrže, hlavní nádrže, speciální komory, karanténní nádrže, sádky
<b>Hospodářské nádrže</b>	protipožární, chov drůbeže, pěstování vodních rostlin, napájecí a plavící, výtopové zdrže
<b>Speciální účelové nádrže</b>	recirkulační, vyrovnávací, přečerpávací, rozdělovací, splavovací – klauzury, závlahové vodojemy
<b>Asanační nádrže</b>	záchytné, skladovací, otevřené vyhnívací, rekultivační, laguny
<b>Rekreační nádrže</b>	přírodní koupaliště, pro plavání a vodní sporty
<b>Nádrže krajinnotvorné a v obytné zástavbě</b>	hydromeliorační, okrasné, návesní, umělé mokřady
<b>Nádrže na ochranu bioty</b>	na ochranu flóry/fauny

Dle požadovaných potřeb je také vhodné vybudovat více různých účelově se doplňujících nádrží za sebou. Například 1. nádrž retenční, 2. požární a hospodářská, 3. rybochovná. Tato soustava je vhodná například v malých vesnicích v údolí (Jůva, 1980).

#### 4.2 Typy a členění nadržného systému

Dle účelu využívání, zásobení vodou a polohovým umístěním se malé vodní nádrže liší ve tvaru, objemu, hloubce i stavebním uspořádání nadržného prostoru (dno, břeh, hráz, hladina největšího vzduť vody:

- Zahloubená nádrž – nádržný prostor je zapuštěn pod úroveň okolního rovinného terénu

- Hrázová nádrž – nádržný prostor je vytvořen z části nebo zcela zemní hrází, vybudovanou po celém obvodu, dnem je pak původní terén
- Údolní nádrž – nádržní prostor vzniká přehrazením údolí čelní hrází, většinou se jedná o průtočné nádrže na toku  
(Jůva, 1980)

Dle potřeby a terénu se mohou tyto typy kombinovat.

#### 4.2.1 Členění nádržného prostoru

MVN můžeme ve vertikálním směru rozdělit do tří funkčně různých částí:

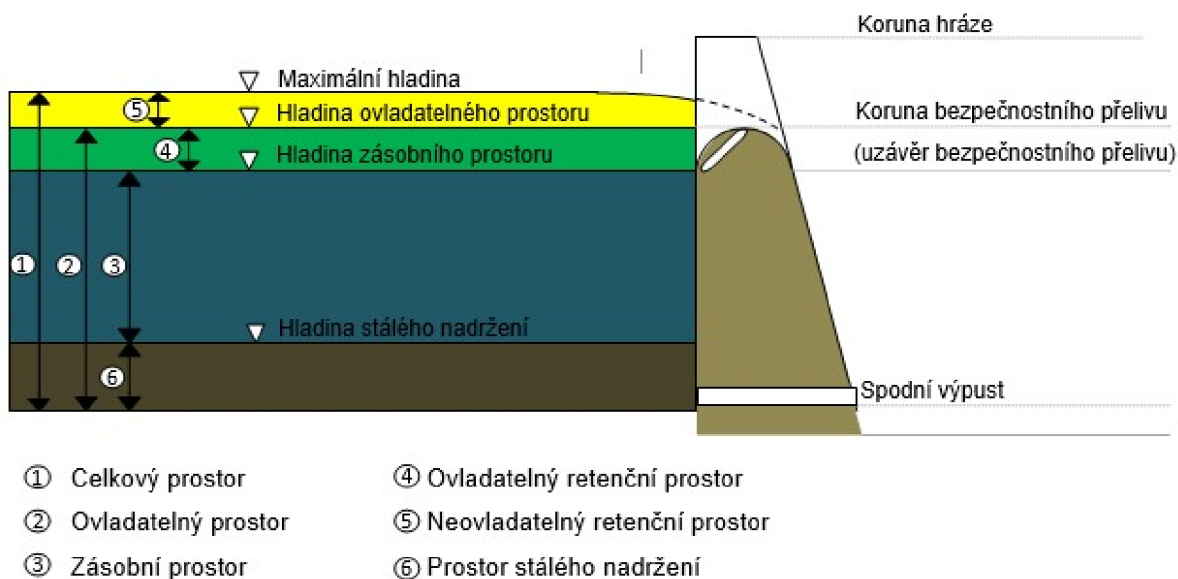
- prostor stálý (stálého nadržení)
- prostor zásobní (akumulační)
- prostor ochranný (retenční)  
(Jůva, 1980)

Poměr těchto částí se liší dle funkce nádrže:

Stálý prostor leží mezi dnem nádrže a nejnižší provozně přístupnou hladinou, voda v tomto prostoru se nevyužívá, případné zanešení splaveninami, které se mohou zanést především při přívalových deštích, nepoškozuje funkci nádrže.

Zásobní prostor je nad stálým prostorem a nejvyšší provozní hladinou neboli hladinou zásobního prostoru. Voda v tomto prostoru je určena k hospodaření, zadržuje se zde ve vodním nadbytku, a vypouští při vodním deficitu.

Ochranný prostor leží nad zásobním prostorem a je omezen maximální hladinou nádrže. Tento prostor slouží k zadržení a zploštění nečekaných povodňových vod. Odtok těchto vod zajišťuje bezpečnostní přeliv, který rozděluje tento prostor na 2 části: ovladatelný a neovladatelný prostor (Jůva, 1980).



Obrázek 5: Schéma rozložení jednotlivých prostor v nádrži (Povodí Ohře, 2023)

### 4.3 Hráze a objekty malých vodních nádrží

MVN se člení na hráz, zdrž (území zatopené vodou zadržené hrází) a ostatní funkční objekty, které umožňují řádný provoz a využívání nádrží (bezpečností přelivy, výpustné zařízení, odběrné zařízení, atd.) (Slavík, 2007). Hráz je nejdůležitější částí nádrže, vytváří nebo dotváří nádržný prostor. Hráz může být buď čelní, nebo obvodová (Jůva, 1980). Hráze MVN jsou většinou sypané – zemní hráze. Konstrukce hráze závisí na půdně mechanických vlastnostech použité zeminy, podloží hráze a účelu hráze (Slavík, 2007).

### 4.4 Vodohospodářské a stavební řešení nádrží

U MVN, které mají zpravidla sypanou hráz nesmí hladina vody dojít k takové výšce, aby povodňová vlna dosáhla koruny hráze, nebo aby dokonce přetekla přes hráz. Každá nádrž musí být bezpečnostně zabezpečena za účelem neškodného odvedení velkých vod. Cílem je tedy aby voda za žádných okolností nedosáhla takové výšky, aby ohrozila bezpečnost samotné nádrže (Vlčko, 1965). Při řešení projektu nádrže je třeba řešit mimo vodohospodářských a technických otázek i nepříznivé důsledky výstavby: dopady na ekologickou stabilitu území, vliv na ekologický stav funkčnosti povodí (migrační propustnost říční sítě, transport splavenin, průtokový a teplotní režim, kvalitu vody), zatopení okolí při nadměrném rozlivu a sociální dopady (vysídlování, hospodaření) (Kopáček, 2020).

V naší práci se budeme zajímat o ochranné – primárně retenční vodní nádrže. Ochranné (retenční) nádrže se zřizují hlavně na horních úsecích toků a fungují několika způsoby (Jůva, 1980).

Čím výše na toku jsou, tím větší délku toku a povodí chrání, čím níže na toku jsou, tím větší množství vody můžou omezit (Pavlica, 1964). Důležitý je výběr správného místa pro stavbu nové MVN, nádrž musí být významným vodohospodářským opatřením v povodí, kterým bude možné efektivně zachytit nadměrnou vodu (tání sněhu, vysoký výskyt srážek), akumulovat ji a v suchých obdobích využívat pro dotování podzemních vod a průtoků v tocích (Slavík, 2007). Výstavbou MVN na menších (místních) tocích můžeme také docílit místní ochraně proti povodním. Regulací zabráníme ničení koryt těchto toků a také ochraně pozemků v okolí, budov na nich stojících a také místních můstků a lávek. Chráníme nejen před samotnou vodou, ale také před zeminami, které voda nese z podemletých břehů či polí a vším dalším co voda s sebou vezme (Pavlica, 1967).

#### 4.4.1 Plánovací a návrhové podklady

Pro návrh stavby malé vodní nádrže musí být zpracováno mnoho podkladů. Podklady slouží k posouzení vhodnosti záměru z různých institucí, a také k minimalizování vzniklých problémů po dokončení stavby (špatná funkčnost, atd.)

Potřebné podklady:

- přírodní podklady
- klimatické podklady – srážky, teploty vzduchu, vítr, průměrné počty letních, mrazových a ledových dnů, sluneční radiace, apod.
- hydrologické podklady – plocha povodí, průměrné průtoky, povodňové režimy
- geomorfologické podklady – správné umístění nádrže, objem nádrže
- geologické podklady – vlastnosti a povaha hornin v podloží nádrže
- pedologické podklady – fyzikální vlastnosti půdy, (hydrogeologie – podzemní vody)
- vodohospodářské podklady
- vodní zdroje MVN – údaje o plánovaném odběru vody, hydrologické údaje o vodním zdroji
- jakost vody vodních zdrojů – vlastnosti vody
- geodetické podklady
- mapové podklady – zátopové území, plány stavby
- měřičské podklady – geodetické terénní měření a vytyčení polygonů
- fytoecologický a zoocenologický průzkum – biodiverzita v okolí, kulturně přírodní průzkum
- pásma hygienické ochrany  
(Jůva, 1979), (Kočib, 2022)

Po úspěšném návrhu přichází plánovací příprava a návrhová dokumentace MVN (např.: investiční záměr, projektová dokumentace, rozpočet stavby, povolení stavby, odborné zajištění výstavby, apod.) Po realizaci stavby přichází zkušební provoz a manipulační a provozní řád, na stavbách je nutné provádět údržby dle charakteristik nádrže (Jůva, 1979).

## **4.5 Faktory ovlivňující retenci vody v MVN**

Retenční MVN jsou skvělým prostředkem pro zlepšení retence vody v povodí. Tyto nádrže však mohou vykazovat značné ztráty vody v důsledku odpařování a průsaků, což může snížit nebo omezit jejich užitečnost či záměr. Pro zajištění dlouhodobé udržitelnosti malých nádrží je důležité porozumět různým faktorům, které ovlivňují jejich schopnost zadržovat vodu. Po jejich nalezení a najití propojení mezi nimi, budeme schopni odhadnout, simulovat chování vody v nádržích a posoudit jejich účinnost.

### **4.5.1 Evaporace**

Evaporace označuje množství vypařené vody za určitý časový interval. Evaporace je jedním z procesů, díky kterému se propojuje vodní cyklus. Velikost výparu se dá měřit přímo – pomocí výparoměru, nebo nepřímo – výpočtem empirickými vzorci pro jednotlivé druhy výparu. Výpar z volné vodní hladiny, je nejjednodušším případem evaporace (Houdek, 2012). Velikost odparu z hladin vodních nádrží závisí na teplotě, relativní vlhkosti vzduchu a intenzitě větru (Kopáček, 2020). Velkou roli hraje také vegetační pokryv, který chrání povrch před sluneční energií, teplem. Při MVN je však důležité porovnat množství ušetřené vody krytím plochy nádrže vegetací a velikostí znečištění zejména dna nádrže spadlým listím a větvemi. To může narušit žádaný průsak dnem a průtok nádrží. Velikost odparu je významným faktorem při řešení MVN, například dává důležité rozhodnutí na místech, kde je půda velmi nasycena. Zda nechat vodu přirozeně plynout v půdních profilech, kde je odpar nižší, či ji zadržovat v nádržích, ale čelit nežádoucímu odparu. Z otevřené vody se obvykle odpaří více vody než z nasycené půdy. Je to proto, že otevřená voda má větší povrch vystavený vzduchu, což umožňuje většímu množství molekul vody unikat do vzduchu ve formě páry (Brutsarert, 2005). Navíc pohyb vzduchu nad povrchem vody může přispět ke zvýšení rychlosti odpařování. Naproti tomu nasycená půda zadržuje tolik vody, kolik jen může, a molekuly vody jsou pevně vázány na půdní částice. Proto je zapotřebí více energie k přerušení těchto vazeb a uvolnění molekul vody do vzduchu ve formě páry. Kromě toho je plocha povrchu půdy vystavená působení vzduchu obecně mnohem menší než plocha povrchu otevřené vody, což dále snižuje rychlost vypařování (Todd, 2004).

Faktory ovlivňující evaporaci vody v MVN obecně:

- Teplota vzduchu – vyšší teploty vzduchu obvykle znamenají vyšší rychlosti evaporace, protože teplo způsobuje, že molekuly vody se více pohybují a odpařují rychleji.
- Relativní vlhkost vzduchu – vyšší relativní vlhkost vzduchu znamená nižší rychlosti evaporace, protože vzduch je již nasycen vlhkostí.
- Rychlost větru – silný vítr může způsobit, že se vodní pára odnáší rychleji pryč od nádrže, což zvyšuje rychlost evaporace.
- Povrchová teplota vody – teplejší voda obvykle způsobuje vyšší rychlosti evaporace
- Hladina vody v nádrži – vyšší hladina vody v nádrži může způsobit, že se více vodního povrchu vystaví vzduchu, což zvyšuje rychlost evaporace.
- Koncentrace solí a dalších látek v nádrži – některé látky mohou snížit rychlost evaporace, zatímco jiné mohou ji zvýšit.
- Sluneční záření – sluneční záření může způsobit vyšší rychlosti evaporace tím, že zahřívá vodu a povrch nádrže.

Tyto faktory se mohou vzájemně ovlivňovat a mohou být různě důležité v závislosti na konkrétní situaci.

Ztrátu vody výparem je možné přibližně určit pomocí průměrných měsíčních hodnot tlaku vodních par a průměrných měsíčních teplot vzduchu. Hodnoty se počítají z nejbližší meteorologické stanice (Beran a Vrána, 1998). Vzhledem k malé velikosti MVN a specifiky daných lokalit je při rozhodování výstavby lepší měřit výpar na konkrétním místě.

**V posledních letech, kdy převažují vyšší teploty a průměrně nižší úhrny srážek, nabývá výpar z vodní hladiny na důležitosti. Navíc s predikcí důsledků klimatické změny se bude výpar ještě navyšovat.**

Měření výparu je značně náročné na obsluhu a údržbu, proto výparoměry nejsou standartní výbavou meteorologických stanic, většinou tedy bývá výpar počítán pomocí rovnice. Případné přímé měření výparu pomocí výparoměrných zařízení (GGI, Class-A-Pann aj.) je také složitější, protože udává výparnost, množství vody, které by bylo schopné prostředí vypařit za daných geofyzikálních podmínek. Jedná se tedy o potenciální výpar (Šuhájková, 2019). Zatímco výpar je skutečné množství odpařené vody. Při nedostatku vody se tedy hodnoty mohou značně lišit, při dostatku vody je výpar roven výparnosti (Novák, 1995). Z tohoto důvodu je výpar na vodních nádržích odhadován

na základě tabulkových hodnot podle nadmořské výšky, nebo určován z matematických vzorců, které obsahují snadněji měřitelné veličiny, které mohou být teplota vzduchu v nižších výškách, relativní vlhkost vzduchu, rychlost větru a globální sluneční radiace (Šuhájková, 2019).

Pro zjištění přibližného výparu v našem území jsme získali data z Hamerského rybníka, který leží na toku Ploučnice. Poloha rybníka je přibližně ve střední části našeho území. Musíme brát v potaz rozlohu rybníka, a fakt že je téměř celá část vodní hladiny po celý den vystavena přímému slunečnímu svitu. Data jsou vyhodnoceny dle ČSN 75 2405 Vodohospodářská řešení vodních nádrží. Data jsou z Manipulačního a provozního řádu Hamerského rybníka na Ploučnici z roku 2011.

Tabulka 2: Předpokládaný výpar ve vybraném území (Manipulační a provozní řád Hamerského rybníka na Ploučnici, 2011)

Období	v mm	v l.s <sup>-1</sup>
<b>V ročním úhrnu:</b>	750	11,19
<b>V jednotlivých měsících:</b>		
leden	7	1,23
únor	15	2,89
březen	45	7,91
duben	68	12,36
květen	90	15,83
červen	105	19,08
červenec	120	21,1
srpen	113	19,87
září	82	14,9
říjen	52	9,14
listopad	38	6,9
prosinec	15	2,64

#### 4.5.2 Propustnost dna

Propustnost dna se zkoumá již od začátku přípravy stavby hráze. Na vzorkách zeminy z vyvrtaných sond se zkouší průsak daných zemin nacházejících se na dně nádrže. U určitých nádrží se měří i průsak svahů (stran) nádrže. Zjistíme-li komplexním průzkumem propustnost, určíme zda je vhodná pro daný účel nádrže a zda nevyžaduje umělé těsnící úpravy. Propustnost dna je třeba pro každý případ řešit individuálně. Musíme plánovat i přirozené samotěsnění dna v průběhu používání hráze, které vzniká usazováním kalů, biologická a biochemická činnost na dně vytváří vrstvu, která může snižovat průsak dna (Pavlica, 1964). Průsak dnem nesmí dosáhnout hodnot nebezpečných pro stabilitu dna nebo hráze. Voda prosáklá dnem odtéká po nepropustných vrstvách

různou rychlostí. Tyto rychlosti nesmějí překročit mez, při které se přeskupují půdní částice v podloží. Prosakuje-li voda rovnoměrně, znamená to, že se hladina podzemní vody rovnoměrně zvedne, není průsak nebezpečný. Dojde-li ale různou propustností zemních vrstev v podloží nebo zvlnění nepropustného podloží k soustředění odtoku, může odtok podzemní vody překročit kritickou rychlost. Voda začne postupně od nejmenších po největší přeskupovat půdní částice. Průtok vody se koncentruje, až vytvoří proud. Nadloží nad kanálem se může propadnout a proud se spojí s vodou v nádrži. Pokud je proud veden po hrázi, dochází k nebezpečné situaci (Pavlica, 1976). Velmi důležité je také zmapovat podzemní vody v okolí potencionální nádrže, situace podzemních se zjišťuje pomocí hydrogeologických sond. Zde je důležité rozhodnout, zda spojit propustnost dna nádrže a dotaci podzemních vod z nádrže, či se naopak snažit o co nejmenší průsak. Pokud jsou místní podzemní vody vydatné i v suchých obdobích, není důležité je z nádrže dotovat. Záleží také na objemu nádrže, zda by propuštěný objem vůbec ovlivnil vydatnost podzemních vod.

### **4.5.3 Vegetace**

Vnější vegetace také může ovlivnit retenci vody, buď kladně, pomáhat absorbovat a zadržovat vodu nebo negativně, spotřebou velkého množství vody z nádrže (Jůva, 1980). Vegetace také může zmírňovat zásadní faktor – výpar. Vegetace může ovlivňovat mikroklima zchlazením, tím snižuje výpar, je však důležité brát v potaz zanesení nádrže spadlým listím a větví, které může značně snižovat propustnost dna a objem nádrže. Vegetace ve vodě v nádrži pomocí fotosyntézy nebo jiných chemických procesů zásadně ovlivňuje kvalitu vody a kyslíkové poměry (Kovář, 2011). V neposlední řadě vegetace podporuje biodiverzitu, nabízí různé typy úkrytů a potravy, což může vést k rozmanitosti druhů v nádrži.

## **4.6 Místa vhodná pro stavbu retenčních MVN**

Při budování retenční nádrže je třeba zvážit několik faktorů, které zajistí její účinnost dle záměru a dlouhou životnost. Na místo je nutno pohlížet individuálně, mít jasně definovaný cílový výsledek ovlivnění funkce MVN a řešit, zda je to nejlepší řešení pro daný cíl.

- **Topografie:** Poloha místa je důležitým faktorem při určování vhodnosti místa pro retenční nádrž. Nádrž by měla být vybudována na místě, kde se voda přirozeně hromadí a kde se okolní pozemky svažují směrem k nádrži (odtokový model).
- **Typ půdy:** Typ půdy v oblasti by měl být posouzen, aby se zajistilo, že je vhodný pro výstavbu. Půda by měla být schopna unést hmotnost nádrže a měla by být schopna zadržet vodu bez výrazného nežádoucího úniku. Pokud se jedná o místo, kde je potřeba vodu zastavit



a dotovat ní podzemní vody, je naopak žádoucí, aby propustnost dna, byla co největší, nikoli však taková, aby ohrozila bezpečnost stavby. Pokud je na potencionálním místě pravidelně půda téměř plně nasycena vodou a zároveň její objemové limity stačí na pobrání většiny vody, pokud je primárním účelem retence vody, je vhodnější najít jiné místo pro stavbu. Výpar, kterému by byla voda vystavena, je větší, než když je voda uložena v půdním profilu.

- Hydrologie: Velikost nádrže bude záviset na velikosti odvodňované oblasti a očekávaném objemu zadržované vody ze srážek, tajícího sněhu či pramene.
- Životního prostředí: Umístění nádrže by nemělo mít nepříznivý vliv na citlivé ekologické oblasti nebo stanoviště. Kromě toho by výstavba nádrže neměla narušit ani ohrozit žádné kulturní nebo historické památky.
- Místní předpisy: Je třeba zkontrolovat místní předpisy, aby bylo zajištěno, že stavba nádrže splňuje všechny požadované normy a povolení.

Vzhledem k toku, je vhodné budovat MVN na těchto místech:

- Pramenné oblasti: Na začátku toku se nachází místo, kde voda poprvé vstupuje do říčního systému, zde je vhodné vybudovat MVN pro regulaci toku. Retence může také pomoci znovuvrácení vody do podzemních zvodní.
- Koryta s nízkým průtokem: Koryta s nízkým průtokem jsou úseky toku, kde se v období sucha snižuje průtok vody či dochází k úplnému vyschnutí. Zde lze vybudovat malé retenční nádrže, které pomohou dotovat tok v suchých epizodách.
- Záplavová území: Záplavová území jsou oblasti přiléhající k toku, které jsou pravidelně zaplavovány. Zde mohou být vybudovány malé retenční nádrže, které pomáhají zmírnit účinky povodní dočasným zadržováním přebytečné vody během velkých průtoků.

## 5 Zájmové území

### 5.1 Povodí vodoměrné stanice Brenná

Zájmovým územím práce je část povodí horního toku Ploučnice. Jedná se o povodí vodoměrné stanice Brenná, která leží v obci Zákupy v ORP Česká Lípa, jedná se o stanice kategorie C. Plocha tohoto povodí je 396,7 km<sup>2</sup>. Povodí této vodoměrné stanice zasahuje i do zahraničí. Z důvodu složitosti práce se zahraničními daty modelu reliéfu jsem toto území omezil o zahraniční část, která je 3,1 km<sup>2</sup>. Tudiž plocha upraveného území povodí je 393,6 km<sup>2</sup>. Toto omezení při práci si mohu dovolit, protože tato část minimálně ovlivní vykonávanou hydrologickou analýzu a nezmění výsledky, které z této práce vychází.

Průměrný roční průtok je 3,15 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>

N-leté průtok jsou:	Q1	Q5	Q10	Q50	Q100
(m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	28.6	59.1	74.6	115	135

(ČHMÚ,2023)

Zájmové území spadá do oblasti povodí Ohře a Dolního Labe, které se nachází v severozápadní části České republiky, rozloha povodí je 9 518,9 km<sup>2</sup> (Bartoš, 2009). Do oblasti patří povodí Labe od soutoku s Vltavou až po hranice s Německem, západní a severní hranice povodí je totožná se státní hranicí. Kromě Labe patří k významnějším tokům Ohře, Bílina, Kamenice a Ploučnice. Především oblast povodí Ploučnice je našim zájmovým územím. Odtokové poměry povodí Ohře a Dolního Labe jsou v závislosti na klimatických poměrech, geomorfologii území a hydrogeologických podmínkách velmi pestré. Oblasti s vysokým odtokem vody z návětrných poloh Krušných hor jsou v kontrastu s odtokově problematickou oblastí Žatecka (BARTOŠ, 2009).

Na zájmovém území se nachází několik Ochranných pásem vodních zdrojů (OPVZ), což jsou státem definovaná pásma hygienické ochrany zdrojů vod, většinou využívané k přípravě pitné vody (MZP,2023). Celé naše území leží také v Chráněné oblasti přirozené akumulace vod (CHOPAV), jedná se o území vyhlášené jako chráněné kvůli přírodním poměrům, díky kterým na něm ve významné míře dochází k přirozené akumulaci vody (Wikipedia,2023).

Zájmové území, z pohledu hydrogeologické rajonizace, se nachází na hlubinném rajonu 4720 – bazální křídový kolektor od Hamru po Labe, v rámci základních rajonů na rajonu 4640 - křída Horní Ploučnice (Geology, 2023).



Mapa 1: Povodí vodoměrné stanice Brenná (DIBAVOD, ČHMÚ, ČÚZK, 2023, vlastní zpracování)

## 5.2 Ploučnice

Prameny Ploučnice nalezneme hned dva. Jako hlavní pramen Ploučnice je udáváno vývěrové prameniště na okraji obce Janův Důl, tento pramen se nachází v nadmořské výšce 390 m. n. m. Druhé, udávané jako prameniště Horní Ploučnice najdeme na jz. svahu Ještědu v 654 m. n. m. Délka toku je od hlavního pramene je 106 km a končí v Děčíně, kde se v 122 m. n. m. vlévá zprava do Labe. Délka toku od pramene Horní Ploučnice je 112 km (Wikipedie, 2023). Na toku se nachází Hamerské jezero a vodní nádrž Stráž pod Ralskem. Hlavní prameniště Ploučnice je považováno ze jedno z nejvydatnějších pramenišť ve střední Evropě. Protože její vydatnost neklesá ani v období dlouhodobého sucha. Zhruba po 400 metrech toku je čerpací stanice pitné vody pro Osečnou a Lázně Kundratice. Její obvyklá vydatnost byla v letech 1970-1980 snížena zhruba o pětinu živelnou činností uranových dolů ve Stráži pod Ralskem, především vlivem velkého množství průzkumných hydrogeologických vrtů (Bartoš, 2009).

Oba prameny jsem osobně navštívil a pořídil fotografie z telefonu a dronu DJI Spark.



Obrázek 6: Pramen Ploučnice (vlastní fotografie)



Obrázek 7: Mokřadní prameniště Ploučnice (vlastní fotografie)



Obrázek 8: Prameniště Ploučnice a část Jenišovského rybníka (vlastní fotografie)



Obrázek 9: Pramen Horní Ploučnice (vlastní fotografie)

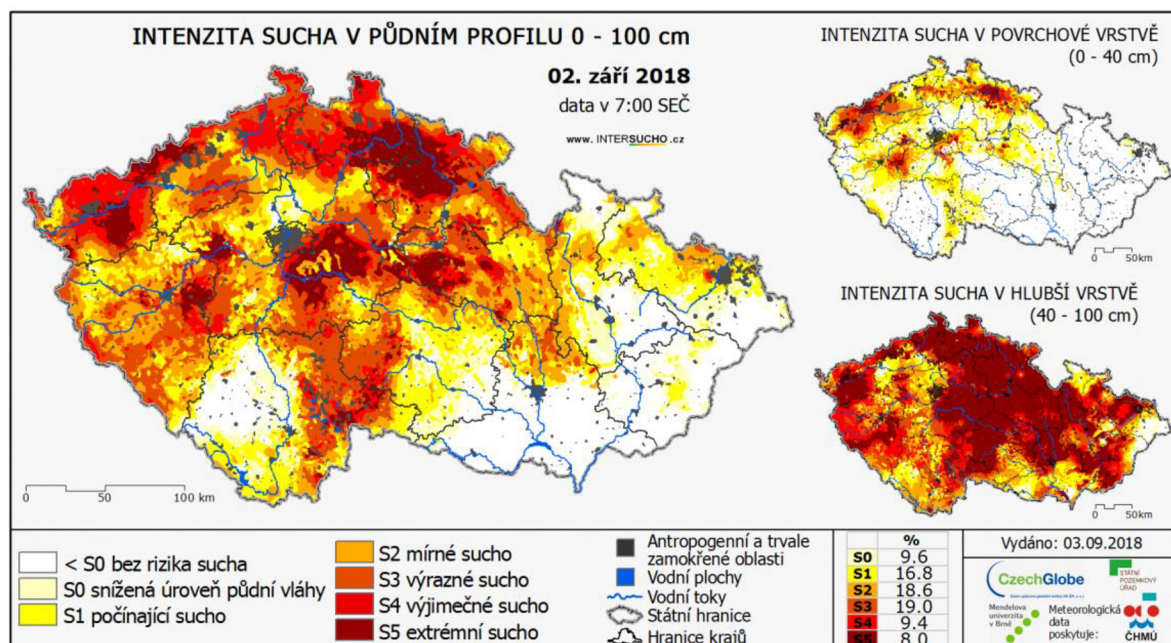
### 5.3 Historie rybníkářství v povodí Ploučnice

Oblast povodí Ploučnice se vyznačuje vcelku rozsáhlým rybníkářským systémem. V povodí Ploučnice se nachází bez mála tisíc MVN (Purm, 2019). Rybníkářství v této oblasti má bohatou historii sahající až do středověku. První písemná zmínka o rybníkářství v povodí Ploučnice pochází z roku 1352, kdy byl založen Hamerský rybník. Postupně se pak v této oblasti začaly zakládat další rybníky, které sloužily především k chovu ryb, ale také k hospodářským účelům jako například zásobování vodou pro potřeby mlynářství a hutnictví. Nejvýznamnějším rybníkem je Máchovo jezero, které bylo vybudované Karlem IV. v 70. letech 14. století. Na dobu, kdy probíhali výstavby rybníků, se používali sofistikované systémy napájení vodou. Například do Novozámeckého rybníka byli svedeny dva vodní toky pomocí průrvy, která byla uměle vysekaná do pískovcové skály. Další významnou soustavou je 23 Holanských rybníků, které se budovali během 14. a 15. století (Liebscher, 2010). V 19. století došlo v důsledku průmyslové revoluce k úpadku rybníkářství v povodí Ploučnice, kdy se zde začaly více využívat průmyslové zdroje energie jako například uhelné doly a továrny. Začali také přicházet problémy se znečišťováním vody z průmyslových podniků a také ze zemědělské činnosti. Významné znečištění přinesli textilní továrny, které vypouštěli odpadní látky do řek (Rybka, 2006). V období po odsunu německého obyvatelstva (1945) a návratu českých obyvatel nebyl stav rybníků ideální. Mnoho rybníků bylo důsledky války zničeno či zrušeno. V rámci obživy se začalo

mnoho lidí živit zemědělstvím, pro které je nezbytné zajistit dostatek vody. Začali se obnovovat MVN či stavět nové kaskádovité nádrže pro zadržení dešťové vody. Nadčasové myšlení a jednání obyvatel by se mělo aplikovat i dnes, např. obnovou zaniklých MVN či stavením nových. Povodí Ploučnice je náchylné na suché periody, z důvodu řídké říční sítě či zvyšováním průměrné teploty. Postupně se tato oblast změnila z významného rybníkářského území s dostatkem vody na oblast s vysychajícími rybníky a celkovým deficitem vodních zdrojů (Purm, 2019). Proto je toto území jedno z mnoha, kde je vhodné v zájmu zvýšení retence vody v krajině aplikovat způsoby, které do území navrátí dostatek vody. Vhodným řešením je právě obnova či výstavby MVN.

## 5.4 Sucho na území povodí Ploučnice

V České republice je známe že jižní oblasti republiky jsou obecně sušší oblasti, to je způsobeno nižším úhrnem srážek a vyšším výparem. Sucho však postihuje i jiné části republiky, Liberecký kraj je jedním z nich. V roce 2018 Česká republika zažila jeden z nejhorších období sucha v historii. Sucho bylo důsledkem neobvykle nízkých srážek v průběhu celého roku. Sucho přinášelo značné problémy do zemědělství, ale i obyvatelům, které museli omezit množství využívané vody. Ve zmíněný rok byl Liberecký kraj jedním z nejsušších oblastí ČR (intersucho.cz, 2018) . Z extrémních stavů, které zde byli je jednoznačné že i naše vybraná oblast je riziková z hlediska sucha a že je vhodné aplikovat opatření ke zmírněním důsledků sucha.



Obrázek 10: Sucho na území ČR v roce 2018 (ČT24, 2018)

## 6 Potencionální malé vodní nádrže

V zájmovém území jsem na základě hydrologické analýzy odtoku, typu půdy a charakteru lokalit navrhl 3 místa pro výstavbu retenčních MVN. Jednotlivá místa jsem navštívil, pořídil fotodokumentaci i pomocí dronu a hodnotil vhodnost lokality dle získaných faktů během vytváření práce.

Při hydrologické analýze odtoku v programu ArcGIS Pro jsem použil vrstvu digitální model reliéfu České republiky DMR 5G z dat ZABAGED, které zajišťuje ČÚZK. Z té jsem získal informace o toku vody v reliéfu v zájmovém území. Následně jsem porovnával tuto vrstvu s typy půd České republiky z půdní mapy od ČGS. Pro přesnější výsledky o podzemních vodách, by bylo nezbytné provést na daných lokalitách vrty, jejich absence je limitem vytypovaných míst. Dalším limitem je výpočet výparu na daném místě a zjištění průtoků potencionálních zdrojů MVN. I přes nedostatky se budu snažit hodnotit na základě vrstev které mám a zjištěných faktorech vhodnost realizace retenčních MVN. Plochy navrhovaných ploch jsou pouze orientační, jejich přesná plocha by byla upravena dle potřebné rozlohy a technického výpočtu. Dalším důvodem může také být vlastnictví ploch.

Jedná se pouze o návrhy v rámci bakalářské práce, absence dalších dat nezbytných pro simulaci a rozhodnutí o vhodnosti výstavby retenční MVN jsou důležité pro utvrzení funkčnosti nádrže.

### 6.1 Navržené malé vodní nádrže

Fotografie získané při terénním průzkumu míst jsou v příloze práce.

První navržená retenční nádrž se nachází mezi Jítravou a Rynolticemi na Panenském potoce a jeho levostranném přítoku. Plocha se nachází mezi kolejemi a silnicí hlavní třídy na současných zemědělských plochách. Nachází se zde fluvisoly z říčních sedimentů a luvisoly (ČGS, 2023). Značný vliv na kvalitu půdy mají přiléhající zemědělské plochy, ty mohou také potencionálně ohrožovat jakost vody. Jakost vody může být také ohrožena silnicí a kolejištěm v případě úniku provozních či přepravovaných kapalin. V okolí se nenachází žádná hustá vegetace, která by mohla snižovat vodní výpar z plochy nádrže. Stávající vegetace lemuje toky, při výstavbě nádrže by však museli být některé odstraněny. Sekundárními funkcemi této MVN by mohlo být využití vody v případě požáru v okolí, kolem plochy vede také cyklostezka, nádrž by tedy mohla sloužit jako rekreační zastavení pro cyklisty, ale také jako turisticky atraktivní lokality pro místní obyvatele či návštěvníky této oblasti. Turisticky by mohla navazovat na Bílé (Sloní) kameny, které leží nedalekého této lokality. Nádrž by také přispěla biodiverzitě okolí v rámci vytvoření prostředí pro živočišné i rostlinné druhy.





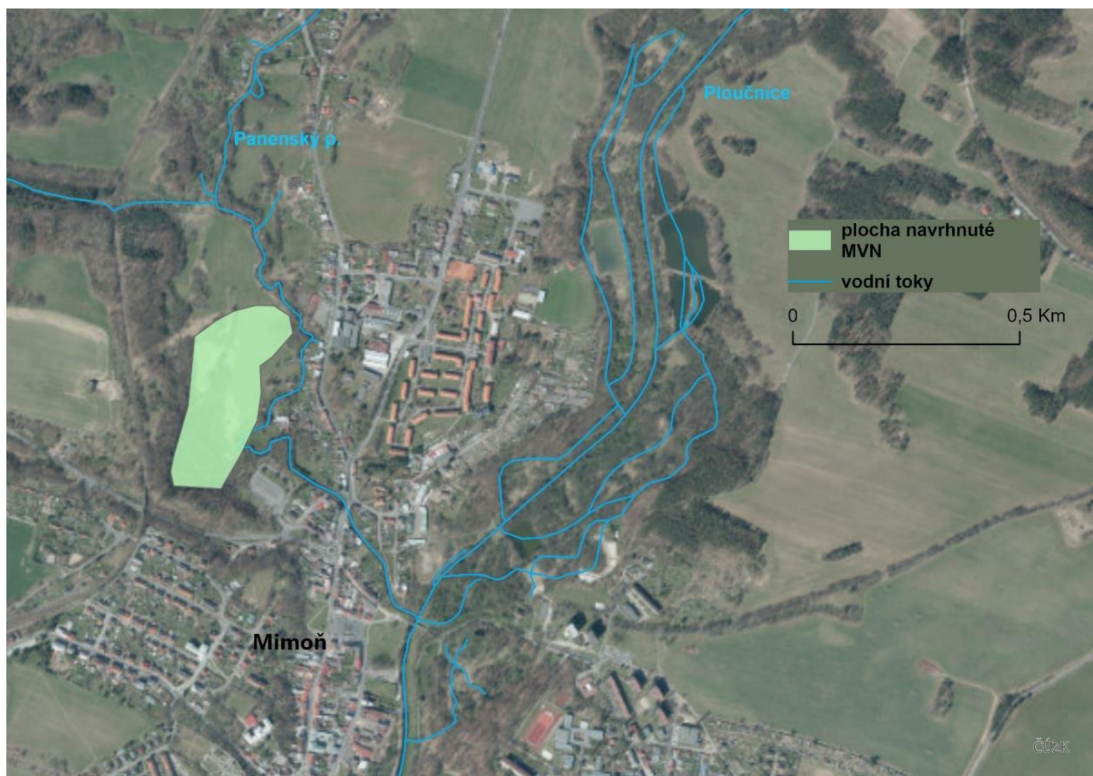
Obrázek 11: Navržená retenční nádrž č. 1 (ČÚZK, ZABAGED, Ortofoto ČR, 2023, vlastní zpracování)

Druhá navržená retenční nádrž se nachází mezi Žibřidicemi a Křížany na Druzcovském potoce. Plocha se nachází uprostřed luk v zalesněné mokřadní oblasti. Nachází se zde fluvisoly z říčních sedimentů a luvisoly (ČGS, 2023). Plocha se nachází v značně stromy zarostlé oblasti, obklopení nádrže stromy by mohlo po celý den vrhat na většinu plochy stín, kterým snížíme výpar. Snížení výparu je klíčovým faktorem pro udržení vody. Výpar je zásadním faktorem při rozhodování správnosti výstavby nádrže. Sekundárními funkcemi této MVN by mohlo být využití vody v případě požáru v okolí či jako rekreačně atraktivní lokalita. Nádrž by také přispěla biodiverzitě okolí v rámci vytvoření prostředí pro živočišné i rostlinné druhy. Plocha navrhnuté nádrže se nachází před soutokem Druzcovského potoku a Ještědského potoku, regulace toku by tedy mohla pomoci zabránit vyschnutí koryta Ještědského potoku v extrémních suchých epizodách.



Obrázek 12: Navržená retenční nádrž č. 2 (ČÚZK, ZABAGED, Ortofoto ČR, 2023, vlastní zpracování)

Třetí navržená retenční nádrž se nachází nad autobusovým nádražím v Mimoni na Panenském potoce. Plocha se nachází v zalesněné mokřadní oblasti. Nachází se zde glejosol, který vzniká dlouhodobým působením podzemní vody, jejíž hladina leží nehluboko v podzemí (ČGS, 2023). Plocha se nachází v značně stromy zarostlé oblasti, obklopení nádrže stromy by mohlo po celý den vrhat na většinu plochy stín, kterým snížíme výpar. Snížení výparu je klíčovým faktorem pro udržení vody. Výpar je zásadním faktorem při rozhodování správnosti výstavby nádrže. Sekundárními funkcemi této MVN by mohlo být využití vody v případě požáru v okolí či jako rekreačně atraktivní lokalita. Nádrž by také přispěla biodiverzitě okolí v rámci vytvoření prostředí pro živočišné i rostlinné druhy. Zde by bylo nutné zjistit hloubku podzemních vod a jejich vydatnost, dle toho hodnotit, zda je vodu vhodné získávat do nádrže, kde se voda dá regulovat nebo zda je lepší nechat vodu volně vyvěrat či nechat putovat dále podzemními proudy. Plocha se nachází před místem, kde se Panenský potok vlévá do Ploučnice. Úplná či částečná regulace toku by tedy mohla ovlivňovat tok Ploučnice v době hrožících povodní či období sucha.



Obrázek 13: Navržená retenční nádrž č. 3 (ČÚZK, ZABAGED, Ortofoto ČR, 2023, vlastní zpracování)

## 7 Výsledky dotazníků

V rámci řešení tématu jsem vytvořil otázky týkající se tématu a oslovil tři respondenty z různých odvětví, které se zabývají vodním hospodářstvím či přírodě blízkým opatřením v krajině. Jedná se o odborníka z akademické sféry, odborníkova ze sféry komerční a o laika, který je podporovatelem opatření blízkých přírodě.

Potencionální respondenti:

Prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc. – vysokoškolský pedagog, geograf, hydrolog, popularizátor vědy

RNDr. Petr Kvapil, Ph.D. – generální ředitel Photon Water Technology

Milan Dvořák MBA – bývalý starosta Hamru na Jezeře, podporovatel implementace přírodě blízkých opatření v krajině.

I přes veškerou mou snahu se mi bohužel podařilo získat pouze jeden vyplněný dotazník.

Vyplněný dotazník je od Ing. Hany Skalové, zástupce ředitele společnosti Photon Water Technology. Její odpovědi jsou dle mého očekávání velmi podobné názorům mým i mého vedoucího práce. To mě i vedoucího práce utvrzuje v dobře vybranou komerční firmu na spolupráci ve vztahu akademické a komerční sféry. Odpovědi také reflektují mnou získané informace a fakta z práce.

### **Dotazník s otevřenými otázkami**

Část bakalářské práce Jakuba Kunsta, vedoucí práce: RNDr. Jan Kocum Ph.D.

Respondent: Ing. Hana Skalová

### **Otázky:**

**1) Jaký je Váš názor na roli malých vodních nádrží (dále jen MVN) v rámci zvýšení retenčního potenciálu krajiny? Je jejich význam v odborné společnosti podceňovaný či nikoliv? A jak je tomu ve společnosti laické?**

Laická veřejnost, myslím, vnímá MVN poměrně jednoznačně, jako samozřejmou a potřebnou součást krajiny, nejen z hlediska akumulace a retence vody v krajině, ale i jako krajinotvorného až relaxačního prvku (pro potěchu ducha). Určitě vnímá i jejich roli v ochraně přírody, nebo

protipovodňové ochraně. Poslední dobou vstupuje do hry i stále horší kvalita povrchových vod, ať už z jakéhokoli důvodu, která mnohdy velmi kazí výsledný efekt po vybudování nebo obnovení MVN.

Co se týče odborné veřejnosti, tam se názory různí a vzhledem k velmi podstatnému efektu výparu není obnovování MVN jednoznačně vnímáno jako pozitivní. Podle nedávných výzkumů dopadů sucha, malé vodní nádrže umístěné na toku zhoršují ekologický stav toků podle Rámcové směrnice o vodách (2000/60/ES), působí negativně na biodiverzitu toků a dokonce prodlužují délku suché periody v tocích pod nádržemi. Argument, že výstavba nádrží má pozitivní vliv nadlepšováním průtoků pod nimi, tak rozhodně neplatí univerzálně, a naopak může být pro zadržení vody a ekologický stav vodních biotopů vyloženě kontraproduktivní.

## **2) Je implementace MVN žádoucí v otázce přizpůsobení se probíhajícím změnám klimatu ve středoevropském prostoru?**

Ano, podstatné je ale posouzení všech vlivů a dopadu vybudování MVN na celé povodí.

## **3) Jaký byl dle Vašeho názoru historický význam rybníkářství v povodí Ploučnice? Jedná se o oblast, kde je vhodné systematicky se věnovat obnově MVN? Co je této případné obnově největší překážkou?**

Popravdě neznám historický vývoj rybníkářství v povodí Ploučnice. Předpokládám, že stejně jako všude jinde, i tady bylo historicky mnohem více malých nádrží, rybníčků, mokřadů a tůní. Setkala jsem se v rámci svojí pracovní praxe s lokalitami, které byly původně odvodněné a díky postupnému rozpadání odvodňovacích systémů se zde začaly tvořit mokřady a nyní se uvažuje o výstavbě MVN, popř. soustavy tůní. Obnova vodních ploch má určitě velký význam, a i proto je na tuto problematiku zaměřeno stále více dotačních titulů. Jsou s tím spojené ale také velké finanční náklady a odpovědnost za další starost a péči, hospodaření na vodních plochách. Je třeba s tím dopředu počítat.

Největší překážkou jsou často majetkoprávní poměry, já bych každý projekt podmínila důkladným hydrogeologickým a hydrologickým průzkumem, abychom nebudovali nádrže bez vody.

## **4) Myslíte si, že je v současnosti populární přístup výstavby MVN "všude a za každou cenu" efektivní v otázce zvýšení schopnosti krajiny zadržet vodu?**

Není, vzhledem k narůstajícímu významu evapotranspirace. Je třeba zvážit každou lokalitu individuálně. Osobně preferuji spíše budování tůní a podporu mokřadů, které mají mnohem vyšší schopnost zadržení vody v krajině.

**5) Jaký je dle Vašeho názoru význam evapotranspirace v rámci malého hydrologického cyklu? Je v tomto smyslu věnován dostatečný prostor interakci povrchové a podpovrchové vody v krajině?**

Evapotranspirace je samozřejmou součástí vodní bilance malého hydrologického cyklu a v období klimatických změn, kdy jsou stále častější suché periody ještě nabývá na významu. Množství vody, které se odpaří do vzduchu z povodí v poslední době velmi narůstá a je ovlivněno rostlinným krytem a způsobem využití půdy. Zemědělské oblasti na jihu Moravy i jinde na našem území, se tak během velmi teplých letních období s nedostatkem srážek stávají vyprahlými, což bohužel zasahuje i do hlubších vrstev půdních horizontů. Dochází k vysychání pramenů i malých potůčků, ke snižování hladiny vody v domovních studích. Tyto jevy se v posledních letech projevují i zde v severních Čechách, množství přírodních pramenů se prokazatelně snížilo (viz projekt Atlas pramenů <https://prameny.tul.cz/>).

**6) Jaké další funkce kromě zadržení vody mohou MVN plnit v krajině? Měla by být výstavba, příp. obnova akumulčních či retenčních nádrží, v nezbytných případech povolena i v rámci chráněných území v Česku?**

Krajinotvornou, estetickou, relaxační, sportovní..... Může jít o nádrže revitalizační, s velkým ekologickým významem, na které je navázán určitý živočišný, nebo rostlinný druh. Takové nádrže samozřejmě mají své opodstatnění i v chráněných oblastech. Vzhledem k výraznému ovlivnění mikroklimatu se domnívám, že vodní nádrže a vodní plochy obecně jsou a měly by být samozřejmou součástí krajiny kdekoliv, tedy i v jakýchkoli CHU.

**7) Jaký je Váš názor na potřebu finanční podpory projektů MVN v rámci různých forem dotací?**

Jen houšť a větší kapky. Myslím, že podobných dotačních titulů je stále málo. Projekční příprava není levná záležitost, pokud je zpracovaná na základě všech potřebných průzkumů (Hydrologie, hydrogeologie, pedologie, ČHMU data, geodetické zaměření, biologické průzkumy...) a pro soukromníka i malé obce není snadné najít potřebné finance už jen na projekci, natož na následnou

realizaci akce. Z praxe preferuji menší dotační pobídky ze strany Kraje, které jsou finančně limitované, ale podstatně méně administrativně náročné a pro malé obce snáze využitelné.

## Závěr

Voda je nezbytnou podmínkou života na naší planetě. Distribuce vody na zemském povrchu se v souvislosti s probíhající změnou klimatu mění a velké množství regionů ve světě čelí významným problémům s vodou. Česko je zemí, která fatální důsledky zatím nepocituje. Díky své poloze je nicméně jakousi „střechou Evropy“ a k dispozici má proto pouze tu vodu, která ve formě srážek dopadne na její území. Účelnému, rozumnému a dlouhodobě udržitelnému hospodaření s vodou musí tedy být věnován dostatečný důraz, a to na základě dlouhodobého pozorování potřeb krajiny v daném území. V souvislosti se změnou klimatu bude totiž naše území stále citlivější na její projevy vč. rozmanitých disturbancí, které se budou v povodích našich řek stále častěji vyskytovat. Se stále intenzivnějšími extrémy, jako jsou povodně či suché periody, budou souviset například i požáry v lesních porostech, jejichž svědky jsme byli ve velmi nedávné minulosti. S postupně se zvyšující teplotou vzduchu souvisí i posilování role evapotranspirace, která byla navíc v minulosti v rámci hydrologického cyklu značně podceňována. Intenzita výparu se tak stává při řešení vhodnosti výstavby či obnovy malých vodních nádrží jedním z klíčových faktorů. Žijeme v době, kdy už si plně uvědomujeme budoucí vliv změny klimatu na naše vodní zdroje. Načase je ale tyto poznatky správně využít a aplikovat v praxi. Samotné zaměření i průběh práce byl proto konzultován i s ředitelem společnosti Photon Water Technology RNDr. Petrem Kvapilem, Ph.D. v rámci snahy o budoucí praktické využití výstupů práce. Na tuto práci by tak měla navazovat práce diplomová, kde bude téma náležitě rozpracováno. Součástí toho by měl být i terénní monitoring jednotlivých složek vodní bilance a výstupem jakási metodika pro posouzení vhodnosti dané lokality k realizaci či obnově malé vodní nádrže.

V rámci zvýšení retenčního potenciálu krajiny lze aplikovat několik řešení. Na každý jeden případ je ovšem naprosto klíčové pohlížet individuálně, mít jasně definovaný cílový výsledek a zjistit, jaká forma opatření bude pro danou lokalitu nejvhodnější. Při možné implementaci malých vodních nádrží je důležité brát v potaz všechny faktory, které přímo ovlivňují zadrženou vodu. Ne vždy je optimální vystavět na daném místě vodní nádrž tzv. „za každou cenu“, a to v případech, kdy o určitý objem vody tímto můžeme přijít. Povrchové a podpovrchové vody jsou úzce propojeny a vzájemně se ovlivňují. Zásadní je být schopen tuto interakci v konkrétním území pochopit a jednoznačně pojmenovat. Jen tak může být navržené opatření efektivní. Proto je nezbytné provést i hydrogeologickou analýzu dané lokality, simulovat změny směru proudění vody a zjistit, zda je lepší vodu nechat plynout pod povrchem, či ji zadržet na povrchu. Přitom je velmi důležité přijmout i faktor výparu, kvůli kterému o část vody přijdeme. K výparu dochází i v nasycené půdě, hodnoty jsou ale logicky značně nižší. Implementace některých nádrží tak může působit kontraproduktivně. Při dílčích analýzách je navíc rozhodující brát potaz i predikce budoucího vývoje změny klimatu v našich



zeměpisných šířkách. To vše znamená, že se jedná o velmi složitý systém procesů a jevů, které při úvaze o realizaci takových opatření hrají roli, do kterého je potřeba promítnout ještě predikce budoucího vývoje klimatu. Vytipované lokality je tedy potřeba detailně prozkoumat, navrhnout možná opatření a simulovat jejich případný vliv. V případě malých vodních nádrží je nutné se zaměřit především na faktory výparu, propustnosti dna a okolní vegetace. Neposledním, a v mnoha případech rozhodujícím faktorem pro budoucí realizaci, jsou majetkoprávní vztahy v dané lokalitě a schopnost zajistit potřebné množství finančních zdrojů.

Malé vodní nádrže, jako jedny z možných opatření v krajině, mají velkou výhodu v tom, že je u nich možné regulovat stav vodní hladiny a pracovat tak se zadrženou vodou. V případě extrémních hydrologických situací (období sucha či povodní), které se budou dle prognóz v budoucnu vyskytovat stále častěji, se dají využít pro snížení ničivých sil povodní zadržením nadměrné vody, nebo naopak dotovat toky a krajinu vodou v obdobích sucha. Tato výhoda může být v budoucnu důležitější než obava o vodu, o kterou přijdeme kvůli výparu v případě, že se rozhodneme nádrž vybudovat.

V práci bylo vytipováno a navrženo několik lokalit, u kterých byla snaha poznatky získané v rámci rešerše literárních a internetových zdrojů aplikovat. Limitem však byly chybějící informace o podpovrchových stavech vody a zjištění objemů, se kterými by se v průběhu roku dalo v nádržích pracovat. Analýza těchto chybějících informací představuje významný potenciál pro řešení této problematiky v rámci navazující diplomové práce. Práce také obsahuje odpovědi odborníka z oboru na mnou položené otázky přímo se týkající tématu práce.

Na úplný závěr je třeba zmínit, že není zcela jisté, zda budou v budoucnu určitá opatření dostačující, je ale nutné hájit (držet) potenciální místa pro možnou výstavbu akumulčních a retenčních nádrží, pro možnost budoucí potřeby tyto nádrže vystavět. Tento fakt představuje jednoznačné minimum, co můžeme v současné době v této věci udělat.

## Seznam použitých zdrojů

### Literatura

BARTOŠ, Michael, NĚMEC, Jan a Jan KOPP, ed. Vodstvo a podnebí v České republice v souvislosti se změnou klimatu. Praha: Pro Ministerstvo zemědělství ČR vydal Consult, 2009, 255 s. ISBN 978-80-903482-7-1.

BLAŽEK, Vladimír, NĚMEC, Jan a Josef HLADNÝ, ed. Voda v České republice. Praha: Consult, 2006, 253 s. ISBN 80-903482-1-1.

BRÁZDIL, Rudolf a Miroslav TRNKA. Historie počasí a podnebí v Českých zemích: minulost, současnost, budoucnost. Brno: Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, 2015. ISBN 978-80-87902-11-0.

CÍLEK, Václav a Jan KENDER. Voda v krajině: kniha o krajinotvorných programech. Praha: Consult, 2004, 207 s. ISBN 80-902132-7-8.

CÍLEK, Václav. Zadržování vody v krajině od pravěku do dneška. [Praha]: Středisko společných činností AV ČR, 2021. Věda kolem nás, 111.

FARSKÝ, Ivan. Obecná fyzická geografie: hydrogeografie. V Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, Ústav přírodních věd, 2005, 97 s. ISBN 80-7044-662-5.

FARSKÝ, Kamil a Petra MENCLOVÁ. Voda v krajině Jizerských hor a Frýdlantska. Liberec: DIAR ve spolupráci se Správou CHKO Jizerské hory, 2013, [30] s. (Brož.).

FÉR M., Problémy s obnovou malých vodních nádrží v ČR, Vodní hospodářství, č. 65, 2015, s. 237-243

GLEICK, Peter H. Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources. Oxford University Press, 1993. ISBN 9780195076288.

JŮVA, Karel, Antonín HRABAL a Rudolf PUSTĚJOVSKÝ. Malé vodní nádrže. Praha: Státní zemědělské nakl., 1980, 271 s. Lesnictví, myslivost a vodní hospodářství.

Kolektiv autorů, Hospodaření vodou. Praha: ČKAIT, 2019, 128 s. Stavební kniha. ISBN 978-80-88265-15-3.

KOPÁČEK, Jiří, Josef HEJZLAR a Martin RULÍK. Voda na Zemi. České Budějovice: Nakladatelství Jihočeské univerzity, 2020, 399 s. Episteme. Natura. ISBN 978-80-7394-834-4.

KVÍTEK, Tomáš. Retence a jakost vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce: význam retence vody na zemědělském půdním fondu pro jakost vody a současně i průvodce vodním režimem krystalinika. Druhé, doplněné vydání. Praha: Povodí Vltavy, státní podnik, 2018, 487 s. ISBN 978-80-270-5244-8.

LIEBSCHER, Petr a Jan RENDEK. *Ryby, rybníky, rybníkáři: [historie a tradice rybníkářství v Čechách]*. [Česko]: Matúšek, 2010, 207 s. ISBN 978-80-254-8246-9.

NÁVOJOVÁ H., Návod pro pozorování vodních stavů a teploty vody na povrchových tocích a pokyny pro pozorovatele, 2002, 51. str. Praha ČHMÚ

NOVÁK, Viliam. Vyparovanie vody v prírode a metódy jeho určovania. Bratislava: Veda, 1995. ISBN 80-224-0409-8.

PAVLICA, Jan. : Malé vodní nádrže a rybníky. Praha: SNTL, 1964, 196 s.

PAVLICA, Jan. Výstavba a využití malých vodních nádrží. Praha: SZN, 1967, 275, [5] s. Organizátorům zeměd. výroby.

RYBKA, Václav et al. Rybníky České republiky. Praha: Vodní zdroje Ekomonitor, 2006. ISBN 80-239-7759-9.

SLAVÍK, Ladislav a Martin NERUDA. Voda v krajině. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, 2007, 176 s. Skripta. ISBN 978-80-7044-882-3.

ŠANDA M. a kol. Vliv vegetace na výpar z nádrží. Vodní hospodářství, č. 53, 2003, 417-422.

ŠILAR J. Hydrologie a ochrana vod, 1996, skripta FŽP UJEP Ústí n. L.

VLČKO, Jozef, Viliam MASÁR a Anton ŠIMKOVIČ. Výstavba malých vodných nádrží: prednášky zo seminára v Modre konaného v dňoch 28.-29. septembra 1965. ČSVTS. Západoslovenská tlačiarne Nitra, 1967, 65 s.

VOTRUBA, Ladislav a Vojtěch BROŽA. Hospodaření s vodou v nádržích. 2. přeprac. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980.

VRÁNA, K., BERAN, J. (1998): Rybníky a účelové nádrže. České vysoké učení technické Praha, 150s., ISBN 80-01-01713-3.

### **Internetové zdroje**

AF MENDELU, Infiltrace, akumulace a retence vody [online]. 2023 [cit. 2023-03-26]. Dostupné z: [https://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty2/vseo/print.php?page=4008&typ=html](https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=4008&typ=html)

ALFIERI, L., BUREK, P., FEYEN, L., FORZIERI, G. (2015): Global warming increases the frequency of river floods in Europe. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19, 2247–2260, [cit. 2023-03-20], Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/hess-19-2247-2015>, 2015.

ANDREINI Marc, SCHUETZ Tonya, HARRINGTON Larry, International Water Management Institute. (2016). Small Reservoirs Toolkit. [cit. 2023-03-15], Dostupné z: <http://www.smallreservoirs.org/full/toolkit/index.htm>

BERAN, Adam a Ladislav KAŠPÁREK. Ztráta vody výparem z volné vodní hladiny: VÚVTGM. 2019, [cit. 2023-02-12], Dostupné z: <https://www.vtei.cz/2019/08/ztrata-vody-vyparem-z-volne-vodni-hladiny/>

BRŮNA J. F.. Evaporace na území České republiky. *Ochrana přírody*, č. 6, 1981, [cit. 2023-03-05]

BRUTSAERT, Wilfried. *Hydrology: an introduction*. New York: Cambridge University Press, 2005. ISBN 9780521824798., [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/231222051\\_Hydrology\\_-\\_An\\_Introduction](https://www.researchgate.net/publication/231222051_Hydrology_-_An_Introduction)

ČGS, Česká Geologická Služba, Hydrogeologické rajony [online]. 2023 [cit. 2023-03-26]. Dostupné z: [https://mapy.geology.cz/hydro\\_rajony/](https://mapy.geology.cz/hydro_rajony/)

ČGS, Česká Geologická Služba, Půdní mapa [online]. 2023 [cit. 2023-03-26]. Dostupné z:  
<http://mapy.geology.cz/pudy/>

ČGS, Česká Geologická Služba, Rebilance zásob podzemních vod [online]. 2023 [cit. 2023-03-26].  
Dostupné z: <http://www.geology.cz/rebilance/vysledky>

ČHMÚ, Evidenční list operativního profilu, Brenná, ČHMÚ, [cit. 2023-03-15], Dostupné z:  
<https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download.php?seq=2601541>

ČHMÚ, Půdní druhy - klasifikace půd podle textury [online]. [cit. 2023-03-26]. Dostupné z:  
[https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/runoff\\_cz/navmenu.php\\_tab\\_1\\_page\\_4.1.0.htm](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/runoff_cz/navmenu.php_tab_1_page_4.1.0.htm)

ČHMÚ, Typy povodní [online]. [cit. 2023-03-26]. Dostupné z:  
<https://www.chmi.cz/files/portal/docs/ruzne/vyuka/HYDRO/14.pdf>

ČT24, Deště zmírnily extrémní sucho na povrchu půdy. Do hloubky se ale voda zatím nedostala,  
[online]. 2018 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/veda/2585482-deste-zmirnily-extremni-sucho-na-povrchu-pudy-do-hloubky-se-ale-voda-zatim-nedostala>

ČÚZK, Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G). 2023, Český úřad  
zeměměřičský a katastrální. [cit. 2023-03-26]. Dostupné z: <https://geoportal.cuzk.cz>

DAŇHELKA, Jan. Kapitoly z historie poznávání hydrologického cyklu, ČHMÚ [online]. 2017 [cit.  
2023-03-26]. Dostupné z: [http://www.cmes.cz/sites/default/files/CHMU\\_MZ\\_6-17\\_178-186.pdf](http://www.cmes.cz/sites/default/files/CHMU_MZ_6-17_178-186.pdf)

DOLEJŠÍ Z., PTÁČEK V., Vodní díla – TBD a. s., 2011, Manipulační a provozní řád Hamerského  
rybníka na Ploučnici, [cit. 2023-02-12], Dostupné z: <https://obechamr.cz/upload/2011/04/MPR-Hamerskeho-rybnika.pdf>

EAGRI, Voda, Plán pro zvládání sucha a stavu nedostatku vody [online]. [cit. 2023-03-26]. Dostupné  
z: <https://eagri.cz/public/web/mze/voda/zvladani-sucha-a-stavu-nedostatku-vody/plan-pro-zvladani-sucha-a-stavu/>

EEA. Změna klimatu a voda – teplejší oceány, záplavy a sucha: European Environment Agency [online]. 2021 [cit. 2023-03-24]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/cs/signaly/signaly-2018/clanky/zmena-klimatu-a-voda-2013>.

Fakta o Klimatu, Kolektiv autorů, Jak souvisí extrémní počasí v Česku s klimatickou změnou? [online]. 2022. [cit. 2023-03-26]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/explainery/vliv-klimatu-na-extremy-cesko>

HORÁČKOVÁ, J., Vliv vegetace na vodní režim a kvalitu vody v rybníku. Bakalářská práce, Mendelova univerzita v Brně, 2013, 6 [cit. 2023-02-12], Dostupné z: <https://is.mendelu.cz/lide/clovek.pl?id=207424;zalozka=13;studium=94474;zp=43331;lang=cs>

HOUDEK, Tomáš. Metody stanovení evapotranspirace a její hodnoty v České republice [online]. České Budějovice, 2012 [cit. 2023-03-05]. Bakalářská práce. Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce Ing. Václav Bystřický. Dostupné z: [https://theses.cz/id/sd6nl1/BP\\_Houdek.pdf](https://theses.cz/id/sd6nl1/BP_Houdek.pdf)

CHAHINE, M. The hydrological cycle and its influence on climate. Nature 359, [online]. [cit. 2023-03-16]. 373–380 (1992). Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/359373a0>

INTERSUCHO, intersucho.cz, Intenzita sucha, 19. srpen 2018, 2018, [online]. 2018 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://www.intersucho.cz/cz/mapy/intenzita-sucha/19-srpen-2018/>

JÁNSKÝ, Bohumír. RETENCE VODY V POVODÍ: PříF UK. : Katedra fyzické geografie a geoekologie [online]. 2006 [cit. 2023-03-16]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/1431/jaro2006/Z0120/jansky.pdf>

JENSEN, Marvin., Estimating evaporation from water surfaces. (2010). CSU/ARS Evapotranspiration Workshop. Dostupné z: Jensen, Marvin., Estimating evaporation from water surfaces. [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/265749992\\_Estimating\\_evaporation\\_from\\_water\\_surfaces](https://www.researchgate.net/publication/265749992_Estimating_evaporation_from_water_surfaces)

JURIK, Ľuboš, Dušan HÚSKA, Klaudia HALÁSZOVÁ a Anna BANDLEROVÁ. SMALL WATER RESERVOIRS – SOURCES OF WATER OR PROBLEMS?. Journal of Ecological Engineering [online]. 2015, 16, 22-28 [cit. 2023-03-20]. ISSN 2299-8993. Dostupné z: [doi:10.12911/22998993/59343](https://doi.org/10.12911/22998993/59343)

KOCUM, J., Retenční potenciál v pramenných oblastech řek jako nástroj integrované protipovodňové ochrany a řešení problému sucha. Závěrečná zpráva z projektu GA UK 2371/2007. PřF UK v Praze, 2010, Praha, 64 s., [cit. 2023-03-15], Dostupné z:

<https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/41624/140020743.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

KOČÍB, Jiří. Hydrologická studie potenciální obnovy zaniklé malé vodní nádrže v povodí Ploučnice v rámci eliminace dopadů hydrologického sucha. Praha, 2022. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie. Vedoucí práce Kocum, Jan., [cit. 2023-03-16]. Dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/177306>

KOVÁŘ, P., & KRIŠTŮFEK, V., 2011. Vliv vegetace na kvalitu vody a hydrologii nádrží. Vodní hospodářství, 61(5), 97-99, [cit. 2023-02-12], Dostupné z: <https://vodnihospodarstvi.cz/>

KOVÁŘOVÁ, Martina. RETENCE VODY V KRAJINĚ [online]. 2019 [cit. 2023-03-16]. Diplomová práce. Vysoká škola regionálního rozvoje a bankovní institut AMBIS, a.s. Vedoucí práce Mgr. Michael Pondělíček, Ph.D., Dostupné z: [https://is.ambis.cz/th/vy28t/?zoomy\\_is=1](https://is.ambis.cz/th/vy28t/?zoomy_is=1)

KVÍTEK, Tomáš, Povodně, sucho, eroze, jakost povrchové a podzemní vody, hladiny podzemních vod a společný ukazatel - malá retence vody v krajině [online], 2017, 1-6 [cit. 2023-02-12]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/314860324\\_Povodne\\_sucho\\_eroze\\_jakost\\_povrc\\_hove\\_a\\_podzemni\\_vody\\_hladiny\\_podzemnich\\_vod\\_a\\_spolecny\\_ukazatel\\_-\\_mala\\_retence\\_vody\\_v\\_krajine](https://www.researchgate.net/publication/314860324_Povodne_sucho_eroze_jakost_povrc_hove_a_podzemni_vody_hladiny_podzemnich_vod_a_spolecny_ukazatel_-_mala_retence_vody_v_krajine)

MIODUSZEWSKI, Waldemar. Small water reservoirs – their function and construction / Male zbiorniki wodne – ich funkcje i konstrukcje. Journal of Water and Land Development [online]. 2012, 17(1), 45-52 [cit. 2023-03-16]. ISSN 2083-4535. Dostupné z: doi:10.2478/v10025-012-0032-x

MŽP, Dohoda Turów [online]. 2023 [cit. 2023-03-26]. Dostupné z: <https://www.mzp.cz/cz/turow>

MŽP, Kolektiv autorů, Národní akční plán adaptace na změnu klimatu: Ministerstvo životního prostředí, Implementační dokument Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR (2015) [online]. [cit. 2023-03-26]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/narodni\\_akcni\\_plan\\_zmena\\_klimatu/\\$FILE/OEOK-NAP\\_cely\\_20170127.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/narodni_akcni_plan_zmena_klimatu/$FILE/OEOK-NAP_cely_20170127.pdf)

MŽP, Ochranná pásma vodních zdrojů [online]. 2023 [cit. 2023-03-26]. Dostupné z:  
[https://www.mzp.cz/cz/ochranna\\_pasma\\_vodnich\\_zdroju](https://www.mzp.cz/cz/ochranna_pasma_vodnich_zdroju)

MŽP, Povodňové plány [online]. [cit. 2023-03-26]. 2023 Dostupné z:  
[https://www.mzp.cz/cz/povodnove\\_plany](https://www.mzp.cz/cz/povodnove_plany)

OPZP, Operace programu životní prostředí, Adaptace na změnu klimatu [online]. [cit. 2023-03-26].  
Dostupné z: <https://opzp.cz/specificky-cil/klima/>

POVODÍ OHŘE, Podzemní vody [online]. 2023 [cit. 2023-03-26]. Dostupné z:  
<https://www.poh.cz/podzemni-vody/ds-1132>

PURM Marek, Zaniklé malé vodní nádrže v povodí Ploučnice, [online]. 2019 [cit. 2023-03-16].  
Bakalářská práce. Univerzita Karlova. Vedoucí práce RNDr. Jan Kocum, Ph.D., Dostupné z:  
<https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/109822>

SEDLÁČEK, Jan. Přirozená retence vody v krajině versus výstavba retenčních nádrží [online]. 2017  
[cit. 2023-03-16]. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce  
RNDr. Martin Hais Ph.D. Dostupné z: <https://theses.cz/id/2f19dn/?lang=en>

SINGH, V. P., GRUPTA, S. K., & KOTHYARI, U. C. (2015). Estimation of evaporation from soil  
and water surfaces. *Journal of Hydrology*, 523, 772-784., [cit. 2023-03-15] Dostupné z:  
<https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-hydrology/vol/528/suppl/C>

ŠOBR, Miroslav, Hydrologický cyklus, : Geografické rozhledy 26 (2016/2017), č. 2 [online]. [cit.  
2023-03-20, Dostupné z: <https://www.geograficke-rozhledy.cz/archiv/clanek/58>

ŠUHÁJKOVÁ, Petra, Roman KOŽÍN a Adam BERAN. Aktualizace empirických vztahů pro výpočet  
výparu z vodní hladiny na základě pozorování výparu ve stanici Hlasivo: VTEI, VÚVTGM. 2019.,  
[cit. 2023-02-12], Dostupné z: <https://www.vtei.cz/2019/08/aktualizace-empirickyh-vztahu-pro-vypocet-vyparu-z-vodni-hladiny-na-zaklade-pozorovani-vyparu-ve-stanici-hlasivo/>

TODD, D. K., & MAYS, L. W. (2004). *Groundwater hydrology*. John Wiley & Sons. ISBN-13: 978-  
0471463033, [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://old.amu.ac.in/emp/studym/99994128.pdf>



USGS, Oběh vody - The Water Cycle [online]. 2017 [cit. 2023-03-26]. Dostupné z:  
<https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/oobeh-vody-water-cycle-czech>

VUGLINSKY, V. S. EVAPORATION FROM OPEN WATER SURFACE AND  
GROUNDWATER [online]. Russian Federation, Russia, 2012 [cit. 2023-03-05]. State Hydrological  
Institute., Dostupné z: <https://www.eolss.net/sample-chapters/c07/E2-02-04-02.pdf>

VÚMOP, Hydrologické charakteristiky: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. [online]. In:  
[cit. 2023-03-16]. Dostupné z:  
[https://www.vumop.cz/sites/default/files/20130529\\_katalogmap\\_hydrologicke\\_charakteristiky.pdf](https://www.vumop.cz/sites/default/files/20130529_katalogmap_hydrologicke_charakteristiky.pdf)

WIKIPEDIE, Eutrofizace. [online]. 2023 [cit. 2023-03-26]. Dostupné z:  
<https://cs.wikipedia.org/wiki/Eutrofizace>

WIKIPEDIE, Chráněná oblast přirozené akumulace vod [online]. 2023 [cit. 2023-03-26]. Dostupné z:  
[https://cs.wikipedia.org/wiki/Chr%C3%A1n%C4%9Bn%C3%A1\\_oblast\\_p%C5%99irozen%C3%A9\\_akumulace\\_vod](https://cs.wikipedia.org/wiki/Chr%C3%A1n%C4%9Bn%C3%A1_oblast_p%C5%99irozen%C3%A9_akumulace_vod)

WIKIPEDIE, Ploučnice. [online]. 2023 [cit. 2023-03-26]. Dostupné z:  
<https://cs.wikipedia.org/wiki/Plou%C4%8Dnice>

## Seznam příloh

Příloha 1: Fotografie Panenského potoka před místem potencionální nádrže č. 1 (vlastní fotografie) .	67
Příloha 2: Fotografie potencionální lokality č. 1 (vlastní fotografie) .....	67
Příloha 3: Fotografie z dronu potencionální lokality č. 1 (vlastní fotografie) .....	68
Příloha 4: Fotografie potencionální lokality č. 2 (vlastní fotografie) .....	68
Příloha 5: Fotografie lesa obklopující potencionální lokalitu č. 2 (vlastní fotografie).....	69
Příloha 6: Fotografie potencionální lokality č. 3 (vlastní fotografie) .....	69
Příloha 7: Fotografie potencionální lokality č. 3 (vlastní fotografie) .....	70
Příloha 8: Fotografie z dronu potencionální lokality č. 3 (vlastní fotografie) .....	70
Příloha 9: Fotografie z dronu potencionální lokality č. 3 (vlastní fotografie) .....	71
Příloha 10: Fotografie z dronu, okraj potencionální lokality č. 3, tok Panenského potoka (vlastní fotografie).....	71

## Přílohy



Příloha 1: Fotografie Panenského potoka před místem potencionální nádrže č. 1 (vlastní fotografie)



Příloha 2: Fotografie potencionální lokality č. 1 (vlastní fotografie)



Příloha 3: Fotografie z dronu potencionální lokality č. 1 (vlastní fotografie)



Příloha 4: Fotografie potencionální lokality č. 2 (vlastní fotografie)



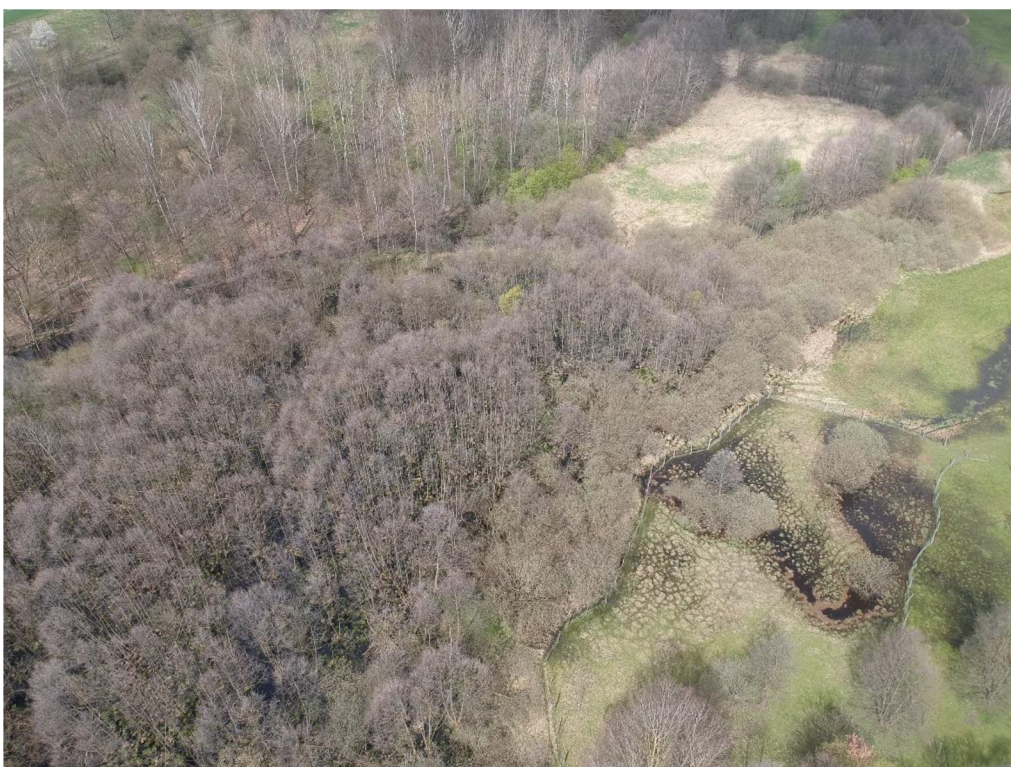
Příloha 5: Fotografie lesa obklopující potencionální lokalitu č. 2 (vlastní fotografie)



Příloha 6: Fotografie potencionální lokality č. 3 (vlastní fotografie)



Příloha 7: Fotografie potencionální lokality č. 3 (vlastní fotografie)



Příloha 8: Fotografie z dronu potencionální lokality č. 3 (vlastní fotografie)



Příloha 9: Fotografie z dronu potencionální lokality č. 3 (vlastní fotografie)



Příloha 10: Fotografie z dronu, okraj potencionální lokality č. 3, tok Panenského potoka (vlastní fotografie)