

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

**Faktory a opatření ovlivňující retenci vody v české krajině
Bakalářská práce**

Zuzana Vondrášková

Veřejná správa v zemědělství a krajině

prof. Ing. Václav Hejnák, Ph.D.

© 2021 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Faktory a opatření ovlivňující retenci vody v české krajině“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 16.04.2021

Poděkování

Děkuji prof. Ing. Václavu Hejníkovi, Ph.D., za vedení mé bakalářské práce a cenné rady, dále děkuji Ing. Markétě Mihálikové, Ph.D., za to, že mi doporučila relevantní odbornou literaturu. V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině za podporu při studiu, zejména svému otci za jeho rady a nekonečné povzbuzování při psaní této práce.

Faktory a opatření ovlivňující retenci vody v české krajině

Souhrn

Tato práce se zabývá faktory a vlivy, které mají potenciál ovlivnit retenci vody v krajině. Cílem práce bylo zhodnotit míru retence vody v české krajině a ukázat změny, které ovlivňují retenci vody a možnosti řešení negativních změn. Práce má formu rešerše odborné literatury a článků od českých i zahraničních autorů. Vědecké zdroje byly vyhledávané na Web of Science, Scopus, Google Scholar či v knihovně České zemědělské univerzity.

Bakalářská práce obsahuje několik částí. Na začátku je popsáno hospodaření s vodou a její primární využívání na našem území z historického hlediska. Důležitým hlediskem je i geografická specifikace České republiky. Variabilní reliéf v kombinaci s půdními fondy, geografickými a klimatickými podmínkami vytváří z hlediska retence vody specifický prostor s typickým povodím. V další části jsou zpracovány extrémní klimatické výkyvy a rizika, které je doprovázejí. Nejde pouze o ohrožení životů a majetku, ale i zhoršení retence vody v krajině. Následuje rozbor jednotlivých faktorů, které ovlivňují stav vody v zemi, a jsou představeny jednotlivé možnosti, jak se měří půdní vlhkost. Nechybí ani základní chemické a fyzikální principy, včetně vlivu degradace půdy.

Ke zhodnocení aktuálního stavu akumulace vody bylo zpracováno několik krajinných prvků. Všechny posuzované prvky, vodní plochy, les, zemědělské plochy a urbanizovaná území mají značný vodohospodářský potenciál. Všechna typická negativa v podobě narovnaných toků, smrkové monokultury, plošné meliorace a nízká retence zastavěných prostor mají svá řešení. Mezi nejzákladnější patří zvyšování biodiverzity v lesích, návrat krajinných prvků do přírody, šetrné obhospodařování zemědělských ploch, rozšiřování zelených ploch ve městech a využívání dešťové vody jsou ty nejzákladnější. Jako velmi nadějný projekt k udržení krajiny před hydrologickými extrémy se jeví projekt *Chytrá krajina*. Spojuje všechna vhodná opatření s moderní technologií. Je potřeba vyčkat co nám tento nový projekt přinese. V závěrečné části bakalářské práce jsou uvedené příklady hospodaření s vodou v Izraeli a Nizozemsku. Nechybí ani příklad nesprávného hospodaření v podobě Aralského jezera.

Základní přístup při řešení globálních hydrologických problémů spočívá v jejich eliminaci na území jednotlivých zemí. Při hospodaření s vodou je důležité respektovat přirozené chování vody v krajině.

Klíčová slova: Retence vody, česká krajina, zemědělství, půdní fond a jeho využití, klimatické podmínky.

Factors and Arrangements Influencing Natural Water Retention in the Czech Republic

Summary

This thesis is dealing with factors and impacts that have the potential to influence natural water retention. The aim was to evaluate the extent of retention in the Czech countryside and to show changes that affect water retention and ways to prevent negative changes. The thesis has the form of a research in technical literature and articles both by Czech and foreign authors. The sources were searched out on Web of Science, Scopus, Google Scholar or in the library of the Czech University of Agriculture.

This Bachelor thesis consists of several parts. It starts with water management description and its primary use at the Czech territory from the historical point of view. The important point here is also the geographical position of the Czech Republic. From the water retention point of view the varying relief together with soil types, geographical and climatic conditions make a specific space with characteristic river basin. The next part describes extreme climatic deviations and accompanying risks. It is not just the danger to people's lives or property but also deteriorated natural water retention. All this is followed by analysis of factors that influence amount of water in the soil offering individual options for soil humidity measurements. There are also described basic chemical and physical principles including soil degradation impact.

To evaluate current water accumulation status the author composed several landscape elements. All considered elements like bodies of water, forest, agricultural and built-up areas are of significant water management importance. Any typically negative aspect such as straightened watercourses, spruce monocultures, soil amelioration and low retention capacity of built-up areas can be solved. Increasing biodiversity of woods, returning of landscape elements into the nature, environment-friendly farming, extending green areas in the cities and using of rainwater are some of the basic measures. The project Clever Landscape seems to be very promising in terms of landscape protection against hydrological extremes. It connects appropriate arrangements with modern technology. It is necessary to wait for the results of this new project. The final part of the thesis shows some examples of water management in Israel and the Netherlands. It also shows an example of bad management in the Aral Sea.

The basic approach to settle global hydrological challenges is to eliminate them at national levels. When performing water management, it is important to respect natural behaviour of water in the landscape.

Keywords: Water retention, Czech countryside, agriculture, soil and its utilization, climatic conditions.

Obsah

1 Úvod	- 1 -
2 Cíl práce	- 2 -
3 Literární rešerše	- 3 -
3.1 Vodohospodářství v historii	- 3 -
3.1.1 Dolování rud v Čechách	- 5 -
3.1.2 Těžba dřeva v Čechách.....	- 6 -
3.1.3 Rybníkářství v Čechách	- 8 -
3.2 Česká krajina	- 11 -
3.2.1 Geografické podmínky České republiky	- 11 -
3.2.2 Klimatické podmínky.....	- 14 -
3.2.3 Půdní fond.....	- 16 -
3.2.4 Povodí	- 20 -
3.3 Hrozby při výkyvech vody v přírodě	- 23 -
3.3.1 Sucho.....	- 23 -
3.3.2 Povodně	- 27 -
3.4 Voda v souvislosti s různými faktory	- 30 -
3.4.1 Zadržování vody v půdě	- 30 -
3.4.2 Zadržování vody v krajině	- 38 -
3.4.3 Zadržování vody v lese	- 41 -
3.4.4 Vliv antropogenní činnosti	- 46 -
3.4.5 Vegetace a voda.....	- 51 -
3.5 Opatření k zajištění větší retence vody v české krajině	- 52 -
3.5.1 Technická řešení	- 52 -
3.5.2 Krajinné úpravy	- 53 -
3.5.3 Standardy dobrého zemědělského a environmentálního stavu	- 55 -
3.5.4 Chytrá krajina.....	- 55 -
3.6 Řešení v jiných zemích	- 57 -
3.6.1 Izrael.....	- 57 -
3.6.2 Nizozemsko	- 58 -
3.6.3 Aralské jezero.....	- 59 -
3.6.4 Závěr	- 61 -
4 Závěr	- 62 -
5 Literatura	- 65 -
6 Internetové zdroje	- 77 -

1 Úvod

Tématem této bakalářské práce jsou faktory a opatření ovlivňující retenci vody v české krajině. V dnešní době naše krajina postrádá schopnost retence a infiltrace vody do půdy. Na tuto změnu mají vliv klimatické podmínky, agrotechnické postupy a lidská činnost.

Většina populace si postupně uvědomuje potenciální hrozby, které vyplývají z nepatrných změn vodního režimu v přírodě nebo na vlastní zahradě. Postupně se totiž zvětšují, popř. významně mění svůj charakter. S postupem času stále více lidí vnímá neudržitelnost současného stavu.

Tato nelehká doba nás nutí se zamyslet, jak nejlépe navrátit naší krajině akumulační schopnosti, protože pokud se tak nestane, hrozí nám v nejbližší době extrémní sucha nebo povodně z přívalových dešťů. Tato situace se však bude nadále vyvíjet a bude zasahovat do všech odvětví našeho života. Negativně ovlivní kvalitu života na Zemi zejména v oblasti nedostatečné biodiverzity v přírodě, ale také prostřednictvím ohrožení extrémními přírodními živly.

Je dobře, že se jako společnost začínáme tomuto problému věnovat. Kdybychom ho totiž ignorovali, mohl by mít až katastrofické následky nejen pro naši lidskou společnost, ale i pro celou planetu. Musíme si ovšem položit otázku, zda deklarované společenské ideály opravdu nacházejí pevné základy v každém z nás. Naše kroky ke zlepšení této situace začaly jako malé bezbolestné krůčky, ale postupem času se budou zvětšovat a dotýkat se zájmů každého člověka. Je tedy čas ukázat všem, že už nám osud naší krajiny nemůže být lhostejný.

2 Cíl práce

Cílem této práce je pokud možno co nejkomplexnější zhodnocení míry retence vody v české krajině. Nejprve se autorka věnuje problematice retence vody v krajině z historického hlediska, tedy od doby, kdy jsme jako lidská společnost začali vodní hospodářství využívat, až po současnost, kdy si začínáme uvědomovat, že návrat k původnímu stavu je v určitých oblastech nevyhnutelný. Z tohoto hlediska jsou pak cíle této práce řešeny takto:

- Řešení problematiky malých vodních nádrží, mokřadů a údolních niv, včetně jejich hydrologických dopadů.
- Rozpracování způsobů, jak posílit a prohloubit vodohospodářské funkce lesních porostů.
- Stanovení dostatečně šetrných agrotechnických postupů, které vedou k udržení kvality zemědělské půdy.
- Zhodnocení potencionálu technických opatření s využitím přirozené retence na obdělávaných půdách.
- Pohled na řešení vodohospodářských postupů v zahraničí.

3 Literární rešerše

3.1 Vodohospodářství v historii

Z podstaty fungování lidského těla se už od počátku musel člověk naučit hospodařit s vodou. A protože vodu potřebují všechny organismy, měli lidé v blízkosti vody i hojnost potravy. Není tedy divu, že si za tak dlouhé spolužití vybudoval člověk myšlení, které mu pomáhalo v okolí vodních toků přežít. Voda asistovala i při rozvoji naší civilizace. Ne nadarmo se první společenské útvary vyvinuly na březích řek, které dokázaly jarními záplavami zúrodnit půdu a udržet dostatečnou hladinu podzemní vody. Jedině pravidelně plodící půda mohla dát společenství takovou stabilitu, že mohl vzniknout první společenský řád. Ale nebylo to vždy harmonické soužití. O tom svědčí mnoho dnes už neznámých civilizací, nad jejichž pozůstatky vyvstávají podobné otázky. Například: Proč byl jejich zánik tak rychlý? I když tuto otázku dnes už asi nikdo spolehlivě nezodpoví, je zřejmé, že se nabízí jednoduchá odpověď: nezvládnuté vodní hospodářství (Hrkal 2018).

Jak autorka výše zmínila, první osadníci měli z přílehlých toků vody dostatek. S rozvojem zemědělství však nastal problém, který bylo možné vyřešit jen pomocí zavlažovacích systémů. A v této chvíli začal člověk cíleně hospodařit s vodou. Jarní voda byla zachycována do rozsáhlých sítí kanálů, odkud se v době potřeby dostávala na suchá pole. S rozvojem technologií se dala voda přečerpávat – přišla doba akvaduktů, které umožnily zavlažovat stále širší prostor. Skvělý cit pro hospodaření tak projevili především Egypťané, kteří asi před čtyřmi tisíci lety vymysleli a zrealizovali projekt, který do dnešních dní nemá obdoby. Vybudovali v místě bývalého jezera zásobník na vodu, který představoval 15 kilometrů dlouhý a pět metrů hluboký kanál. Během povodní se díky němu vytvořila nepředstavitelná zásoba 13 miliard kubíků vody, které postačovaly pokrýt potřeby zemědělců v době sucha (Hrkal 2018).

Naši předci si ale dokázali poradit i na místech bez vodních toků. Systém takzvaných *kanátů* je snad ještě obdivuhodnější, protože je celý pod zemským povrchem. Celý transport vody vykazuje oproti pozemním kanálům minimální ztráty. Řešení spočívá v systému studní, který zasahuje pod hranici spodní vody, a následném propojení mírně skloněným tunelem, který vyváděl vodu do místa určení. V podstatě šlo o první drenážní systém, který navíc nepotřeboval k přepravě vody žádnou energii. O to více energie si vyžádala jeho realizace. Znalosti jeho stavebníků jsou pro naši dobu zhýčkanou zázraky geofyzikálních věd přímo neuvěřitelné. Aby Peršané zabránili erozi, museli dodržet přesnost maximálního sklonu jeden metr na kilometr a půl délky. Nejdelší známý kanát je dlouhý 270 kilometrů. Na příkrých úsecích Peršané vystavěli mlýny a u ústí větracích šachet měli své domy klimatizovány systémem takzvaných větrných věží, které snižovaly teplotu až o patnáct stupňů (Šrámek 2017).

Nové sídelní aglomerace, které už pozbývaly zemědělský charakter, si začaly uvědomovat potřebu nových systémů. Důležitým faktorem už nebyly jen akvadukty, které vodu přiváděly,

ale i funkční systém k odvodu splaškové vody, který průkazně používala už minojská civilizace na Krétě. Starověká řecká Alexandrie přišla s potrubím umožňujícím rozvod tlakové vody. Tento vynález značně přispěl k rozvoji měst. Opravdového vrcholu dosáhli Římané. Jejich systémy už nesloužily zemědělství, ale zajišťovaly životní úroveň obyvatel měst. První vodovod byl postaven sice až roku 312 před Kristem, ale další brzy následovaly. Římané už používali oddělené vodovodní systémy na základě kvality. Odděleně byly plněny pitné kašny, zvláště lázně a nejproblematičtější voda plnila víceúčelové nádrže. Vzhledem k životnímu stylu se stal dostatek vody naprostou nezbytností. V Římě byla koupel společenskou událostí – četlo se tam, diskutovalo, jedlo i pilo. Vlastnit svůj přívod vody znamenalo prestižní společenské postavení. Spotřeba vody vycházela z dodnes známého hesla „Chléb a hry“. V praxi se jednalo o uspokojení hmotných i duchovních potřeb. Za tímto účelem byly vodovody podřízeny třem kurátorům a jejich aparátu, kteří zajišťovali provoz vodovodů i dohled nad množstvím využívané vody. V Římě byl totiž velmi rozšířen nešvar nepovolených připojení k vodovodům (Hrkal 2018).

Co by nás mohlo ale v dnešní době překvapit, je skutečnost, že tehdy stavebníci neznali zařízení, jako je kohout, takže voda Římem protékala volně po celý den. Jedinými zařízeními, které alespoň částečně umožňovaly úsporu, byly zásobovací nádrže. Díky tomuto faktu však docházelo k dostatečnému ředění splašků, takže se u lidí neobjevovaly zdravotní problémy. Odpadní vody odváděla takzvaná Cloaca Maxima, původně otevřený odvodňovací kanál. Následně byl přestavěn na klenbou krytou, tři metry širokou a čtyři metry vysokou stoku, na kterou se postupně připojovaly další boční větve. Toto období nebylo z hlediska vodohospodářství po dalších téměř dva tisíce let překonáno. Musíme si kriticky přiznat, že i dnes existují města, která mají do římských standardů daleko (Hopkins 2007).

Nelze však říct, že by se od té doby na poli vodohospodářském nic zajímavého nedělo. Dodnes můžeme obdivovat vodní zahrady v Alhambře, poldry v Holandsku nebo základy někdejšího vládce moří – Benátek. České království také nezaostávalo. Sice ještě nemuselo řešit nedostatek vody, vodní zdroje zatím poskytovaly spíše ochranu hradišť, hradů a tvrzí. Brzy se ale začaly budovat první náhony k pohonu vodních kol, zádržné rybníky a začalo se i s úpravami vodních toků. Jednalo se sice ve světovém měřítku o nevýznamná díla, ale to neznamenalo, že se v hlavách našich předků nerodily projekty, které přesahovaly naši dobu i schopnosti. Samozřejmě se jedná o v dnešní době opět diskutovaný vodní koridor Dunaj–Odra–Labe. S touto myšlenkou přišel jeden z „největších Čechů“ Karel IV. Snažil se povznést české země prostřednictvím změn tras mezinárodního obchodu a vodní cesta Vltava–Dunaj byla jednou z možných variant. Přípravné práce v oblasti Lübecku záhy přinesly ovoce v podobě vodního kanálu Labe–Lübeck (Seibt 2003; Pavelková et al. 2014).

Přestože ideály našich předků byly více než velkorysé, můžeme dnes konstatovat, že v našich zemích vzniklo velké množství pozoruhodných vodních děl, která i dnes udivují svým provedením a ambicemi navyšovat retenční schopnost naší krajiny.

3.1.1 Dolování rud v Čechách

Voda a její obhospodařování je neodmyslitelnou součástí hornictví, zejména pak v jeho počátcích. Už první prospektoři se prodírali proti proudu vodních toků a snažili se odhalit rudná bohatství našich hor. Voda byla především nezbytná při rýžování jednotlivých minerálů. Následně – s postupem nových technologií – se začíná využívat i energetický potenciál k pohonu různých zařízení a strojů sloužících především k odčerpávání důlních vod, k drcení vytěženého materiálu a k úpravě a hutnickému zpracování rud. Nakonec voda posloužila i k dopravě dřeva z větších vzdáleností, k zajištění výztuží důlních děl, zabezpečení hojně rozšířeného dobývání zvaného „sázení ohněm“ a v neposlední řadě i k výrobě hornického nářadí. S postupem času začal platit nepsaný zákon, že jeden z nejdůležitějších faktorů úspěchu důlní činnosti je zabezpečení dostatečného objemu vody (Majer 1970).

Jako první na našem území se ještě před začátkem našeho letopočtu pustili do těžby Keltové. Ti dokázali naplno využít například zásobu zlata na našich tocích. I když se do dnešních dnů dochovalo jen velice málo dokladů o keltském rýžování, je naprosto zřejmé, že dokázali s pomocí vody v uložených sedimentech toků vyrýžovat cca 40 % veškerého zlata za celou historii této činnosti. Podle tohoto objemu je zřejmé, že se muselo jednat o manipulaci s celými toky. O těchto zásazích ale nezůstaly žádné doklady, neboť následná slovanská činnost na rýžovištích kompletně změnila celý jejich reliéf (Waldhauser a Frohlich 1990).

Jak lidé museli za rudou stále častěji pod zem, přisoudili vodě i další funkce. Už nestačilo pouze odklánět tok, ale nutné bylo přivádět vodu do oblastí, kde jí byl nedostatek. Vodní energie mohla pohánět kola důlních čerpadel, rudných stoup i mlýnů a samozřejmě také měchů důlních hutí. K těmto účelům v našich zemích začaly vznikat rozsáhlá vodní díla, která měla za úkol především dopravu energie skryté ve vodním živlu. Jako ukázkový příklad si můžeme uvést takzvanou Dlouhou stoku, která se vlní po vrstevnicích Slavkovského lesa. K systému patří několik vedlejších větví, zadržovacích rybníků a nádrží. Ve vrcholném stavu činila délka díla 24,2 km a s regulačními koryty a náhony až 50 km. Ve své době neměl tento vodní systém ve střední Evropě obdoby. Obdivuhodný je způsob provedení. Na počátečních 21 kilometrech připadá výškový rozdíl 75 metrů, což představuje 35 centimetrů na 100 metrů délky. Dlouhá stoka na své cestě překonávala různé překážky, proto se postavilo 35 mostů a 13 stavidel. Voda z tohoto díla následně putovala do dalších zádržných nádrží a rybníků v bezprostřední blízkosti důlních zařízení (Majer 1970).

Začalo to jako většina velkých věcí velmi nenápadně. Nedostatečná kapacita Slavkovského potoka, která stojí za více než šesti sty lety vývoje tohoto díla, přinutila místní obyvatele poohlédnout se po nových zdrojích. Už v roce 1408 existovala stoka minimálně v prostoru pod vrchem Králův kámen, kde po vrstevnicích obcházela hornickou obec Prameny. Rozsahem nevýrazné ložisko v okolí Pramenů intenzivní činností postupně ztrácelo na

významu a voda tedy mohla směřovat do Krásna. S jistotou můžeme o připojení Krásna hovořit až v roce 1499, kdy těžaři sjednali s vrchností písemnou smlouvu o používání vodního příkopu. Jižně od celé obce stál systém stavidel, jejichž prostřednictvím se s vodou hospodařilo. S postupujícím časem se ale ukázalo, že toto řešení nestačí. Bylo do něj nutné zapojit potoky a rybníky, které napájely takzvanou Puškařovskou strouhu. Ta končila zádržným rybníkem, jehož prostřednictvím se provádělo hospodaření s vodou. Roku 1530 vyvstala potřeba nejen dalšího množství vody, ale i dřeva. Proto byla vyjednána voda z Kladského rybníka a vyměřena trasa současného díla. Samotná realizace zabrala pouhých šest let a dokázala pokrýt potřebu dřeva a z velké části i vody. Další pokusy zvýšit objem vody ve strouze však narážely na nepřekonatelný odpor za strany vrchnosti a tepelského kláštera (Beran 1996).

Režim hospodaření s vodou podléhal přísným regulacím. Už samotný Báňský úřad reguloval množství zakládaných zařízení, aby případný nedostatek vodní síly neohrozil celou oblast. Také vrchnost měla právo uzavřít přívod z říčky Roty, pokud by to vyžadoval provoz panského mlýna. Samotný systém pak fungoval tak, že v pracovních dnech byla voda od sedmnácté do třetí hodiny ranní vpouštěna na rudní mlýny, kola čerpadel a k hutím v Seifertsgrünu. Po zbytek dne proudila voda k báňským a hutním provozům v Krásnu a Horním Slavkově. O víkendu se na Seifertsgrün pouštěla voda od 12. hodiny v sobotu do 14. hodiny v neděli, ve zbývajícím čase tekla do Krásna a Horního Slavkova. Podle odebrané vody se pak následně odvíjela čtvrtletní platba vodní dávky, ze které se financoval provoz a údržba celého kanálu (Majer 1970).

Podobný osud jako toto dílo měli i ostatní podobné přivaděče. Například Blatenský vodní příkop, který jímá vodu pod Božím Darem v Krušných Horách a zajišťoval provoz cínových dolů v Horní Blatné, náhon ve Zlatých Horách, kde voda pomáhala při těžbě zlata, nebo rantířovský náhon ve stříbrorudné Jihlavě. Za zmínku stojí i takzvaný Gangloffův náhon v Brdech, který byl nezbytný při těžbě a zpracování železné rudy. Všechny tyto přivaděče se skončením těžební činnosti brzy upadaly v zapomnění. Jejich dobové působení na retenci vody v krajině však povětšinou můžeme hodnotit kladně. Pro jejich fungování byla totiž potřebná především stabilita zdrojů, a proto byl celý systém opečováván tak, aby se schopnost retence zvyšovala (Zelenka a Živor 2019).

3.1.2 Těžba dřeva v Čechách

Plavení dřeva po našich tocích mělo opravdu dlouhou tradici. První písemná zmínka o něm se objevuje až v roce 1316, kdy panovníci v plavení objevují nový zdroj příjmů. Nejasné zprávy o této činnosti jsou však mnohem starší a je předpoklad, že stavební činnost v pražské oblasti se nemohla obejít bez splaveného dřeva už během 10. století. Karel IV. pak například stanovil normu propustí na jezích tak, aby nepřekážela plavení, a samozřejmě také určil místa celních poplatků. S postupně se prodlužujícími trasami vyvstala i potřeba upravovat stále delší úseky našich řek, což ale z hlediska retence vody nemělo žádný význam. Za tímto účelem

vznikala různá vodní díla na horních tocích řek, kde hospodaření s vodou bylo klíčovou podmínkou k přepravě dřeva do míst dostatečné splavnosti (Žemlička 2002).

Jako příklad systému vodních staveb, které byly budovány za účelem hospodaření s vodou, lze uvést způsob plavení dříví v oblasti Novohradských hor. Z velkého systému jsou dnes všeobecně známé už jen typické novohradské „rybníky“. Tyto nádrže byly budovány za účelem umělého zvyšování průtoku na místních potocích. Dohromady bylo postaveno osm takzvaných *klauzů*, jejichž celkový objem byl až 370 000 krychlových metrů vody. Mimo požadavku zadržet dostatečné množství vody musely klauzy oproti běžným nádržím dokázat naráz vypouštět velký objem vody (Scheufler a Šolc 1970).

Velké zásahy si vyžádala úprava potoků, kde bylo potřeba odstranit balvany, napřímit toky a zpevnit břehy pomocí pažení. Tyto úpravy se mimo jiné nepříznivě podílí na jejich retenčních schopnostech dodnes. Aby byla zajištěna dostatečná hladina, bylo také nutné upravit existující jezy, a to výstavbou vorových vpustí, ale rovněž vybudovat sedmnáct nových jezů. Na samotných vazišních tabulích byly zřizovány hrázky a na takto vzedmuté hladině byly kvůli nedostatku místa tabule vázány. Jako závěry jednotlivých úseků se budovaly takzvané *rechle*. Jednalo se o zádržný systém, který umožňoval shromáždit a zmanipulovat plavené dřevo. I přes všechna opatření mělo novohradské plavení mnoho typických znaků. Vázalo se na vodě, plavilo se špicemi dopředu a tabule mohly mít maximálně dva metry šířky. Pro plavbu po Malši a Vltavě pak byly převazovány na obvyklých pět metrů. Samotné plavení probíhalo zpravidla od dubna do května. Více hydrologické podmínky nedovolovaly. Výjimečně se plavilo i na podzim, když letní lijáky naplnily klauzy (Scheufler a Šolc 1970).

Plavení dříví probíhalo podle různých podmínek v mnoha našich pohorích. Ne všude bylo možné upravovat přirozené toky, a proto se hledaly jiné možnosti. Na území saské strany Krušných hor se kolem poloviny šestnáctého století rozmohl fenomén plavebních kanálů. Jednalo se o uměle vybudované koryto, které kopírovalo vrstevnice horských svahů. Nejstarší takové vodní dílo na našem území se nachází u obce Fláje. Jeho stavbu iniciovaly saské hutě a hamry kvůli potřebě dřeva. Proto dílo končilo naproti saského Niedermühle, kde ústilo do Freiberské Muldy. Samotná realizace díla započala v roce 1624 a mimo důkazů o zeměměřičském mistrovství jejich tvůrců je i důkazem, že se třicetiletá válka na tomto regionu ještě nepodepsala (Žemlička 2002).

Plavební kanál byl dlouhý 18,2 km a překonával výškový rozdíl 150 m. Šířka v horní části činila 280 cm, v dolní pouze 180 cm. Hluboký byl 120 cm. V některých úsecích byly stěny kanálu vyztuženy kameny a část před Českým Jiřetínem byla vytesána do skály. Polen měla plavební míru 127 cm. Voda v korytě tekla pouze v době plavení dřeva. Samotné plavení trvalo 8–14 dní a k udržení hladiny se záhy začala využívat sestava nádrží a rybníků na obou stranách hranice (Joza a Dvořák 2000).

Také náš nejslavnější plavební kanál měl za úkol přepravovat dříví za hranice, a to ze Šumavy až do Vídně. Jednalo se opravdu o impozantní dílo v celkové délce 44,4 kilometrů se spádem 135 m. Na trase je vybudován jedinečný plavební tunel, který je dlouhý 419 m, vysoký 2,5 a široký 2,7 m. Samotný kanál uvnitř je široký 1,43 m a asi 80 cm hluboký. V tunelu je 1,27 m široký chodník ke kontrole plaveného dřeva. Dílo bylo budováno po jednotlivých etapách. O jeho rozsahu svědčí skutečnost, že jako napájecí zdroje bylo využíváno 27 potoků. Vybudovány byly i dvě splavovací nádrže. Aby se dalo manipulovat s odtokem, muselo se upravit i Plešné jezero (Štenberk 2013).

Plavení dříví se začínalo na jaře, když voda naplnila dostatečně přítoky kanálu. I když kanál měl na horní hraně kolem čtyř metrů, musela být pečlivě sledována kapacita. Dohlíželo na ni asi 200 lidí. Plavení bylo ukončeno, pokud proplulo veškeré připravené dříví nebo pokud vyvstal nedostatek vody. Další plavení umožňovaly pouze vydatné deště (Vondruška 2014).

Dalším pozoruhodným šumavským dílem je Vchynicko-tetovský kanál. Cílem tohoto díla bylo umožnit plavení na modravských potocích a také obchvat nesplavné části Vydry. První část problému řešilo vybudování deseti plavebních nádrží zvaných jako *švele*. Jejich celkový objem činil 90 000 m³ a umožňovaly plavení po potocích až k hradlovému mostu na Vydře, který dřevu bránil pokračovat do nesplavné části. Od tohoto mostu byl zbudován kanál, který spojil Vydru s Křemelnou. Kanál byl dlouhý 14,4 km a překonával výškový rozdíl 243 m. Šířka koryta kolísala mezi 1–5 m. Na jeho trase byly tři prudké části (tzv. skluzy) a posledním z nich kanál končil. Na konci skluzu byla vybudována dřevěná rampa, která vyhazovala dříví do středu Křemelné tak, aby docházelo k co nejmenšímu poškození (Blažková 2014).

Plavení probíhalo jen 20–30 dní, a to především v jarních měsících. Po zbytek roku bylo koryto bez vody, s výjimkou několika smluvně zajištěných zavlažování pozemků v okolí kanálu. Kanál též disponoval bočními stavidly, která sloužila jako ochranný systém proti riziku přelití. Přiváděla tak vodu do systému zavlažování. Kanál nebyl přizpůsoben k plavení klád. Ty byly převáženy na volských potazích a u Otavy byly vázány do vorů, na které byla skládána polena z kanálu. Vše se potom plavilo až na pražský trh (Vondruška 2014).

3.1.3 Rybníkářství v Čechách

První doklady o zakládání rybníků staré více než čtyři tisíce let pocházejí z Číny. 700 let před naším letopočtem se objevují v Palestině a Egyptě a v prvním století budovali Římané nádrže s mořskou vodou. Do české kotliny se výstavba rybníků dostala pravděpodobně z Bavorska, kde je doložena už v polovině osmého století. Z jižní a západní Evropy totiž do naší kotliny přicházeli příslušníci řeholních řádů, kteří přinášeli nejen znalosti, ale i do té doby nadstandardní spotřebu ryb, které se staly hlavním postním jídlem. Záhy se začaly množit i první zprávy o tom, že byly darovány pozemky a rybníky klášterům, což dokazuje, že se stavění rybníků postupně ujímalo (Šarapatka et al. 2014; Rozkošný et al. 2015).

Během třináctého století se rybníky stávají běžnou součástí nejen církevních majetků, ale i feudálních panství a vlastnictví měst. Během vlády Jana Lucemburského se dokonce rozmohla společenská potřeba každé vesnice mít svůj rybník. Jednalo se však o díla nevelkých rozsahů, přiměřených době i poměrům. Vláda Jana Lucemburského přinesla našim zemím i nové znalosti v oblasti rybníkářství, které přinesli účastníci králových rytířských výprav. Tento potenciál však využil až jeho syn Karel IV., který pojímá rybníky jako významný hospodářský zdroj. Vznikají první opravdu velká díla, jako je například dnešní Máchovo jezero. Dokonce se objevuje první uměle vybudovaný kanál, jenž zásobuje vodou systém rybníků – náhon Alba. Karel také nařizoval stavět rybníky městům i šlechtě tak, aby byl dostatek ryb pro obyvatelstvo. Odhad plochy rybníků v té době činí 75 000 ha (Andreska 1997; Rozkošný et al. 2015).

Během patnáctého století přechází rybníkáři k třístupňové metodě chovu ryb a jejich zisky závratně stoupají. Během poslední čtvrtiny 15. století a první čtvrtiny 16. století probíhá téměř „zlatá rybníční horečka“. Za padesát let je postaveno okolo 2 500 rybníků. K vytváření ucelených rybníčních soustav se využívaly všechny příhodné toky. Ale toto neuvěřitelné množství zákonitě naráželo na prostorové limity, a tak bylo nutné přijít s novými technologickými postupy, které zpřístupnily doposud nevyužitelné prostory. Takovým řešením byl vodní přivaděč, který mohl napájet celou soustavu nových rybníků (Andreska 1997; Rozkošný et al. 2015).

Nově se tak stalo krajem rybníků Pardubicko. V roce 1495 byl vybudován Počápeľský kanál, který měl za úkol přivést kvalitní vodu z říčky Loučná do systému sádek. Voda byla rovněž využívána k pohonu pardubických mlýnů, protože přirozené toky Labe a Chrudimky neměly dostatečnou sílu. Kanál byl dlouhý asi 10 km a o kvalitě měřičských prací svědčí to, že na celé délce je pouze 50 cm spádu a tok kanálu míjí Labe ve vzdálenosti pěti metrů s rozdílem hladin osm metrů. Na toku byl zbudován i jeden akvadukt. Roku 1513 byly zahájeny práce na Opatovické stoce. Kanál tvořil přeponu pardubického oblouku Labe, byl dlouhý 34,4 km, hluboký 1–2 m a průtok činil až 3 m³/s. K překonání potoků byly také vybudovány dva akvadukty. Mimo napájení soustavy rybníků bylo navíc na březích kanálů postaveno 32 mlýnů. Na poděbradském panství byla zbudována 16 km dlouhá Lánská strouha. Vedla vodu z Cidlina, kopírovala tok Labe a ústila do Mrliny. Sloužila k napájení rybníční soustavy a poháněla tři mlýny. Zajímavostí této soustavy byl historicky největší, dnes už neexistující rybník Blato s rozlohou 990 ha. K zajímavým dílům patří i Dvakačovický kanál, který spojoval říčku Novohradku s Loučnou. Napájel čtyři rybníky a poháněl tři mlýny. Měří 11,5 km a výškový rozdíl činil 12 metrů. Na jeho toku bylo nutné také zbudovat akvadukt, jehož kapacita činila kolem 200 l/s. Známý byl i Tuněchodský kanál a mnoho dalších kanálů zásobovalo vodou jednotlivé rybníky (Rozkošný et al. 2015).

Všechna tato díla v okolí Labe byla inspirací pro rybníkáře v jižních Čechách. Zde se nacházela oblast neprostupných močálů, které přímo vybízely k jejich přetvoření. K odvodnění

močálů a udržení stabilní hladiny byly vybudovány rozsáhlé sítě melioračních sítí a odvodňovacích kanálů, které udržují krajinu dodnes (Andreska 1997).

Roku 1506 předložil mladý talentovaný fišmistr Štěpánek Netolický vrchnosti plány značně nadčasového díla. Navržená soustava nových rybníků měla být napájena z Lužnice 45 km dlouhou stokou. Vodu také využívalo několik pil, ke kterým se po kanálu plavilo dříví. Nemohly chybět ani mlýny. Navíc voda z kanálu zásobovala několik měst i obcí a plnila obranný příkop kolem Třeboně. Samotný kanál – v současnosti známý jako Zlatá stoka – začínal na dnes nechvalně známém jezu Pilař a ústil zpět do Lužnice pod Vlkovem. Byl široký 2–4 a hluboký 1,5 m, průtok činil kolem 1 m³/s a celkový spád měl 33,5 m, z toho přes 19 m připadalo na přepady čtyřech mlýnů. Kanál byl povětšinou vyhlouben v terénu, ale v některých částech byl veden na umělém zemním valu, pečlivě upraveném proti pronikání vody. V současné době se většina funkcí kanálu stala bezpředmětnou, ale bez zásobování a odvodňování místních rybníků by nebylo možné hospodářské využití (Šarapatka et al. 2014; Rozkošný et al. 2015).

Po šesti letech stavebního úsilí 800 lidí byl nakonec v roce 1590 byl postaven rybník Rožmberk. Jeho hráz o délce 2430 m byla u paty 55 m a v koruně 13,5 m široká. Její stavba představovala přesun 750 000 m³ zeminy. Přehradila celý tok řeky Lužnice a po naplnění zadržela šest milionů m³ vody. Rybník měl vedle hlavní výpusti i vedlejší. Z této výpusti vycházela stoka zvaná Potěšilka. Ta napájela další řadu rybníků. Rybník měl i dostatečné retenční oblasti a velkoryse řešený, 56 m široký přeliv. O jejich funkčnosti jsme se mohli v nedávné době přesvědčit. Přesto si jeho stavitel Jakub Krčín velmi dobře uvědomoval, že hráz nemůže odolat velké povodni. Proto jako další bezpečnostní opatření byla vybudována Nová řeka. Podstatou tohoto opatření byla skutečnost, že na dvou nedalekých tocích Lužnici a Nežárce nedocházelo k pravidelným jarním a podzimním kulminačním průtokům současně. Bylo tak možné příhodně manipulovat s průtokem na Lužnici tak, aby nedošlo k ohrožení Rožmberku, popř. Veselí nad Lužnicí jako v roce 2010, kdy se povodeň valila Nežárkou a bylo nutné snížit odtok do Lužnice. Samotný kanál je 13,5 km dlouhý a až 20 m široký, s průměrným průtokem 5,75 m³/s. Jako stoletá voda je uváděn údaj 113 m³/s. O významu tohoto díla vypovídá i to, že zatímco běžná hladina kanálu je kolem 85 cm, tak při povodních v roce 2002 se vyrovnal i s 340 cm (Šarapatka et al. 2014; Rozkošný et al. 2015).

Tím však rozmach našeho rybníkářství skončil. Stav, kdy se během vlády Rudolfa II. nacházelo v Čechách 180 000 ha rybníků, se dlouhodobě nepodařilo udržet. Třicetiletá válka nám zachovala pouhých 80 000 ha. Napoleonské války byly další ranou, po které zbylo pouhých 50 000 ha. Josefínské reformy, které vysušovaly hlavně polabské rybníky, snížily rozlohu rybníků už jen na 46 000 ha. Tento stav přetrval staletí. Mírné zlepšení přineslo až 20. století. V šedesátých letech se hospodařilo na 55 000 ha rybníků, ale porevoluční údaje naznačují opět snížení na 52 000 ha (Andreska 1997; Šarapatka et al. 2014; Pavelková et al. 2014).

Musíme přiznat, že současný stav je už pouze odlesk zašlé slávy. Přitom samotné rybníky mají nejen retenční schopnosti, ale mnoho dalších pozitivních vlivů na přirozené udržování stavu a koloběhu vody v přírodě. Připomeňme jen jejich schopnost udržovat dostatečnou hladinu spodní vody, vliv na čištění vody, vyšší vlhkost, menší teplotní výkyvy nebo vytváření prostředí pro mnoho druhů vodních živočichů, hmyzu i ptáků. Významným způsobem zpomalují toky při zvýšených průtocích, což zachraňuje životy i majetky při povodních a v neposlední řadě tu vyvstává otázka hospodářského využití. Není tedy divu, že v současné době dochází k tomu, že se státní orgány snaží podporovat nejen výstavbu rybníků, ale na příhodných místech i mokřadů (Hule 2003; Rozkošný et al. 2015).

3.2 Česká krajina

3.2.1 Geografické podmínky České republiky

Česká republika vznikla 1. ledna 1993 rozdělením České a Slovenské federativní republiky a navázala tak na historii české státnosti, které se s různými překážkami podařilo překonat už více než tisíc let. V současné době je členským státem Evropské Unie a Severoatlantické aliance. Je vnitrozemským státem a jeho hranice nejsou ani vnějšími hranicemi Evropské unie. Na jihu má společné hranice s Rakouskou republikou, na západě se Spolkovou republikou Německo, na severu s Polskou republikou a východě se Slovenskou republikou. Státní hranice vede historicky tradičními pohořími, kterými jsou Krušné hory, Krkonoše, Orlické hory, Javorníky, Bílé Karpaty, Novohradské hory, Šumava a Český les. Další částí našich přirozených hranic jsou řeky Dyje, Morava a na Ostravsku řeka Olše. Linii hranic poněkud narušuje šest výběžků. Na západě je to Ašský výběžek, na severu pak Šluknovský a Frýdlantský výběžek, následují Broumovský, Rychlebský a Osoblažský výběžek. Česká republika má rozlohu 78 866 km² (Demek et al. 2006; Diestler 2017).

Stát se rozkládá na území tří historických zemí. Největší z nich jsou s rozlohou přes 52 000 km² Čechy, následuje Morava s více než 22 000 km² a poslední je Slezsko, ze kterého je v České republice jen malá část o velikosti kolem 4 500 km². Unikátní tvar Čech vytváří hydrografický celek, který je lemován vysočinami a pohořími tak, že až na drobné výjimky je povodím řeky Labe. Navíc v centru české kotliny se nachází i hlavní město, které je už více než tisíc let centrem českého společenského i hospodářského vývoje. Také Morava a česká část Slezska mají unikátní průchodní strukturu, ve které je centrální sníženina moravských úvalů sevřena na východní straně Karpaty a na východě české vrchoviny. Tento celek je rozdělen do dvou povodí. Větší část je povodí řeky Moravy a menší Odry (Cílek 2013).

Z geologického hlediska tvoří plochu republiky dva typy zemské kůry. Starší Český masiv a mladší Západní Karpaty (Hrnčiarová et al. 2009).

Český masiv je 300 milionu let starý pozůstatek prvohorního hercynského vrásnění, který prodělal další dramatický vývoj. V období starohor došlo v mořském prostředí k vrásnění

s deformacemi vrstev a tlakovým přeměněm hornin. Začátek prvohor je typický rozsáhlou transgresí, kdy povrch republiky pokrývala mělká teplá moře. Při dalším variském vrásnění se budoucí republika přesunula na severní polokouli a při přechodu rovníku se Český masiv stal souší, která byla moři zaplavována pouze krátkodobě. Vlhké klima umožnilo vznik ložisek černého uhlí a průniky četných plutonických těles do svrchní části zemské kůry daly základ pro další vývoj nerostného bohatství. V období druhohor došlo k rozpadu Pangey, ale Český masiv je už pevnou částí Evropy. V období křídý došlo k výraznému vzestupu hladiny moří a v nižších polohách k rozsáhlým sedimentačním procesům. Třetihory (neogén, paleogén) byly významně ovlivněny tektonikou, kterou vyvolalo alpínské vrásnění. Vznikly významné zlomy v Podkrušnohoří a labská linie. V oblastech zlomů vystoupilo magma až k zemskému povrchu a vznikly vulkanické oblasti Doupovských hor a Českého středohoří. Český masiv se posouvá do mírného pásu a povrchové vody směřují do uhlotvorných močálů v oblasti oherského riftu. Voda v jižní části směřovala k alpskému podhůří a Metuje s Úpou k jihovýchodu. Významnou událostí byl rovněž pád tektitů, dnes známých jako vltavíny. Čtvrtohory jsou primárně obdobím střídání glaciálů a interglaciálů. Navzdory relativně krátké době je to období dynamické. V období glaciálů se pohybují teploty ve střední Evropě maximálně kolem 0 °C, zatímco během interglaciálů to bylo i 10 až 15 °C. Docházelo k dramatickým změnám hladin oceánů, rostlinných i živočišných společenstev. Dochází také k častému mrazovému zvětrávání. Oblast republiky byla v případě dvou glaciálů zasažena pevninským ledovcem. Přesto se vždy nacházela v těsném objetí kontinentálního zalednění ze severu a alpského zalednění z jihu (Demek et al. 2006; Cílek 2013; Diestler 2017).

Prostot Západních Karpat má poněkud kratší vývoj. Během druhohor v období jury docházelo k ukládání vápnatých sedimentů teplých a mělkých korálových moří, které se během křídý mění v typické flyšové sedimenty. Ty byly nakonec vyzdvíženy laramijskou ortogenezí. Během středního miocénu (třetihory, neogén) byl v prostoru Moravy ukončen mohutný střížný posun severozápadním směrem, při kterém došlo přesunutí až o 30 km. Vzniklé bradlové pásmo tak dalo vzniknout oblasti Vnější Západní Karpaty (Demek et al. 2006).

Česká vysočina má velmi pestrou geologickou stavbu a člení se na sedm celků. Šumavská soustava se nachází jihozápadě ČR a táhne se po hranicích od Novohradských hor až po Český les. Nejvyšším bodem na našem území je Plechý (1378 m n. m.). Šumavská soustava je typická výrazným podhůřím, postupně se svažujícím k severu. Nalézají se zde několik ledovcových jezer jako důsledek horského zalednění. Krušnohorská soustava se nachází na severozápadě ČR. Jižně od hraničních Krušných hor leží původně sopečné Doupovské hory a České středohoří. Nejvyšším bodem je Klínovec (1244 m n. m.). Typické zlomové pohoří Krušných hor zvolna klesá na saské straně, na jihu prudce padá do hnědouhelných pánví, za nimiž se nalézá náš největší vulkán. Na severu pak Labe protéká Bránou Čech, aby opustilo naše území na nejnižším místě republiky (115 m n. m.). Krkonoško-jesenická soustava leží na severní hranici a táhne se od Lužických hor až po Nízký Jeseník. Nejvyšším bodem je Sněžka, která podle nejnovějších měření má na české straně

výšku 1603,2 m n. m. a je tak nejvyšším bodem ČR. Soustava má pestrý charakter skalní hradby, táhlé, místy ploché hřbety a hluboká údolí, modelovaná horským i pevninským zaledněním. Nechybí i krasové jezero a sopečné vrchy. Česko-moravská soustava je rozsáhlou oblastí jihovýchodních Čech, která přechází na jižní Moravu. Středočeská pahorkatina navazuje na Českomoravskou vrchovinu s nejvyšším bodem Javořice (837 m n. m.). Představuje geologicky nejstarší vrchovinu a pahorkatinu. Z poměrně jednotvárného reliéfu vystupují pouze ploché sníženiny jihočeské pánve a Brněnská vrchovina s krasovou oblastí. Poberounská soustava se táhne po stranách řeky Berounky s jediným významnějším pohořím, které jsou Brdy s nejvyšším bodem Tok (865 m n. m.). V původně zarovnaném povrchu byl erozí vymodelován pahorkatinný reliéf a výrazné krasové území. Česká tabule je charakteristická centrální nížina s nejvyšším bodem Ralskem (696 m n. m.). Osu tvoří údolí řeky Labe, na kterou se napojují neckovitá údolí jednotlivých přítoků. Plochý povrch tabule narušují neovulkanické vyvýšeniny a zvětráváním a odnosem pískovců vznikla skalní města (Demek et al. 2006; Hrnčiarová et al. 2009; Diestler 2017).

Západní Karpaty zasahující na území České republiky procházejí napříč územím ve směru severovýchod–jihozápad. Na Českou vysočinu navazuje Vněkarpatskými sníženinami, které rozdělují pohoří do jednotlivých částí. Jihomoravské Karpaty oddělené Věstonickou branou jsou typické vápencovými bradly. Středomoravské Karpaty s charakteristikou nízkého pohoří jsou odděleny Napejedelskou branou od zbytku, který se postupně zvedá do rozsahu středních hor s výrazně členitým terénem. O rozmanitosti Západních Karpat svědčí i to, že rozdíl mezi nejvyšším bodem Lysá Hora (1324 m n. m.) a nejnižším (160 m n. m.) činí 1164 metrů (Cílek 2013).

I přes značnou geologickou pestrost má Česká republika značně omezené zásoby nerostných surovin. Jedním z důvodů je i skutečnost, že během naší historie došlo k jejich vytěžení. Mezi hlavní těžené suroviny patří uhlí. Z nalezišť černého uhlí v pánvích plzeňsko-manětínská, kladensko-slánská, žacléřsko-svatoňovická a rosicko-oslavanská je využívána už pouze ostravsko-karvinská. Také těžba hnědého uhlí v pánvích pod Krušnými horami prodělává masivní útlum a revitalizaci těžebních jam. I těžba lignitu na jižní Moravě byla ukončena. Těžba ropy a zemního plynu v okolí Hodonína pokrývá pouhých 3 % celospolečenské potřeby. Malá část zásob, doposud nevyužívaných, se nachází i v oblasti Moravskoslezských Beskyd (Hrnčiarová et al. 2009).

Na mnoha místech naší republiky probíhala intenzivní těžba zlatých, stříbrných, cínových i železných rud. Všechna tato naleziště však byla buď těžbou vyčerpána, nebo vzhledem k nízkému obsahu kovu opuštěna. Stejně dopadly i zásoby uranové rudy na Jáchymovsku, v Příbrami a Dolní Rožínce. Také těžba grafitu v oblasti jižních Čech musela být kvůli nerentabilitě ukončena. Pro výrobu vápna a cementu se v oblastech Český kras, Horažďovice, Moravský kras a Hranický kras těží vápenec. Nejvyšší surovina na území České republiky je kaolin. Největší zásoby leží v okolí Znojma, Plzně, Podbořan, Kadaně

a Karlových Varů. V současné době vyvstala otázka možnosti těžby lithia v Krušných horách, průzkumné práce však prozatím nemají jednoznačné výsledky (Demek et al. 2006; Diestler 2017).

Krajina České republiky nese známky dlouhodobého osídlení a hospodářského využití, Pouze některé partie hraničních hor ukazují menší známky lidské činnosti. Přirozený vegetační kryt prodělal výrazné plošné i druhové změny. Původní listnaté smíšené lesy, které pokrývaly 90 % území, se změnilly na převážně smrkovou monokulturu se 30 % plochy. A i když poloha ve střední Evropě je příhodná k šíření druhově rozmanitých rostlinných druhů, je přibližně 20 % rostlinných druhů nepůvodních. Této situaci odpovídá i stav fauny. Na území republiky je doloženo okolo 40 000 živočišných druhů, z čehož je 550 obratlovců a pouhých 87 savců. Za výsledek snahy po navrácení původního stavu může být považován nedávný návrat vrcholných predátorů do některých regionů (Demek et al. 2006; Diestler 2017).

S více než 10,5 milionu obyvatel má Česká republika nadprůměrnou hustotu zalidnění 134 obyvatel na km². Je to podmíněno především dostupností pracovních příležitostí. Oblast nejmenší hustoty zalidnění tak tvoří pás příhraničních okresů na jihozápadní hranici, počínaje okresem Tachov a Jindřichovým Hradcem konče. Naopak nejvyšší průměr mimo čtyři městské okresy mají Ústí nad Labem, Teplice, Most, Kladno, Jablonec nad Nisou a Karviná (přes 200 obyvatel/km²). Celkově ve městech žije okolo 71 % české populace. Roku 2018 zde bylo 6 258 obcí, 606 měst, z toho 227 městysů a 27 statutárních měst. Nejvyšší počet obyvatel v Česku mají Praha (1,3 milionu), Brno (381 000), Ostrava (289 000) a Plzeň (172 000). Praha má též nejvyšší přírůstek, když mezi lety 1993 a 2018 přibýlo 92 000 obyvatel. Pokles počtu obyvatel naopak zaznamenala Ostrava (−37 000). Mezi zajímavosti patří rovněž skutečnost, že Česká republika má čtyři obce s nulovým počtem obyvatel (Březina, Boletice, Hradiště a Libavá) (Diestler 2017).

3.2.2 Klimatické podmínky

Území České republiky se nachází v mírném podnebí, které v západovýchodním směru postupně přechází z oceánského charakteru do kontinentálního. Ve směru jihoseverním nedochází k výrazným změnám teplot vzhledem ke skutečnosti, že rozdíl zeměpisné šířky nejnižšího a nejsevernějšího bodu republiky není výrazný. Typickým projevem klimatu je pravidelné střídání čtyř ročních období a určujícím ukazatelem pro rozložení teplot je nadmořská výška. Vzhledem k rozmanitému reliéfu se uvádí průměrná roční teplota v rozmezí 5,5 °C až 9 °C, která je pouze orientační. Nejvyšší průměrná roční teplota byla naměřena v Hodoníně (+9,5 °C), v pražském Klementinu (+10,8 °C) a nejnižší na Sněžce (+0,2 °C). V průběhu roku je nejchladnějším měsícem leden, během kterého klesá průměrná teplota pod nulu i v nížinách. Oproti tomu nejteplejším měsícem roku je červenec, po němž následuje srpen a září. Proměnlivý charakter je způsoben poměrně častými přechody frontálních systémů a občasnými vpády arktického a tropického vzduchu. Počasí narušuje i několik povětrnostních singularit, historicky známých jako Medard, „ledoví muži“, babí léto a jiné. Na

základě statistického rozboru dat v rozmezí 1961–2002 bylo prokázáno 45 takovýchto singularit (Tolasz 2007; Zárybnická et al. 2018).

Během dlouhodobých měření bylo prokázáno, že Slunce svítí nejvíce hodin na jižní Moravě (1840 h Velké Pavlovice). Nejméně svítí na horách (Krušné hory, Krkonoše cca 1400 h), protože je zde více oblačnosti, a tak statistiku nezvrátí ani občasné inverze. V nejteplejších nížinách může nastat v průměru až dvanáct tropických dnů. Zato tropická noc se v průběhu mnoha let nevyskytne vůbec. Ledové a arktické noci se vyskytují pouze v nejvyšších partiích našich hor. Arktické dny se vyskytují pouze na severovýchodě, které je často ovlivněno kontinentálním prouděním. Za rok se vyskytnou jeden až dva arktické dny na horách a až kolem šesti v mrazových oblastech. Ledové dny se vyskytují i v nižších partiích v četnosti až třicet dní za rok, na horách pak až šedesát dní (Tolasz 2007).

Vertikální teplotní gradient činí průměrných 0,6 °C/100 m. Na základě tohoto faktu můžeme rozlišit na území republiky tři klimatické oblasti. V nížinách dolního Povltaví a Poohří, Polabí, Moravských úvalů a Dyjskosvrateckého úvalu se nachází teplé oblasti s průměrnou roční teplotou nad 8 °C. Chladné oblasti s průměrnou roční teplotou pod 5 °C se nalézají v partiích příhraničních hor a ve vyšších polohách Českomoravské vrchoviny. Mírně teplé oblasti se rozkládají na zbývající ploše pahorkatin a vrchovin. Nejvyšší teplota na území ČR byla naměřena v Dobřichovicích (40,4 °C, 20. 8. 2012) a nejnižší v Litvínovicích u Českých Budějovic (-42,2 °C, 11. 2. 1929). Na tak proměnlivém reliéfu musí zákonitě docházet k místním anomáliím (Český hydrometeorologický ústav et al. 2005; Zárybnická et al. 2018).

V oblastech největších měst, kde je vysoká intenzita zastavení a zároveň velká plocha asfaltových či betonových ploch, se projevuje typické mikroklima města, kde se během letních měsíců teplota výrazně zvyšuje. Zvětšení aktivní plochy a převaha její vertikální orientace vede ke zvýšení pohlceného krátkovlnného záření a k jeho mnohočetným odrazům. Navíc uzavřené prostory snižují proudění větru a ztrátu tepla. Značný podíl materiálů s velkou tepelnou kapacitou tak umožňuje rychlé pohlcování tepla a jeho pomalé uvolňování. V důsledku může tato specifická energetická bilance představovat v ročním přehledu například až šest tropických nocí (Zárybnická et al. 2018).

Opačným vlivem na mikroklima působí takzvané mrazové kotliny, kde vzhledem k modelaci terénu dochází ke kumulaci studeného vzduchu. V případě vhodně tvarovaného údolí dochází za jasných a bezvětrných nocí k takzvanému *kabatickému větru*, při kterém chladný vzduch stéká do doliny pouze za pomoci gravitační síly. Ve spojení se zápornou radiační bilancí povrchu, kdy více tepla vyzařuje, než přijímá, dochází k jeho dalšímu ochlazování. Tento jev je navíc umocňován, pokud na povrchu leží sněhová pokrývka. V takovýchto případech mohou teploty klesat i hluboko pod 30 °C. Nejznámější kotliny s vysokým efektem se nachází především na Šumavě, v Jizerských horách, Krušných horách a také v Adršpašsko-teplickém skalním městě. Podobných mikroklimat se slabším efektem je

však na území republiky mnohonásobně více (Český hydrometeorologický ústav et al. 2005; Zárybnická et al. 2018).

Česká republika je pod převážným vlivem proudění vzduchu od západu, které od Atlantského oceánu přináší vlhkost. Nejméně větrná oblast je v okolí Břeclavi, nejvíc větrů zaznamenává Milešovka s pouze osmi dny bezvětří v roce. Největší objem srážek připadá v rámci roku na červen a červenec. Oproti tomu nejméně srážek přichází v lednu a únoru. Během léta spadne přibližně 40 % z celkového ročního objemu srážek, zatímco v zimě je to jen 15 %. Rozdílný reliéf povrchu má výrazný vliv na proudění vlhkého vzduchu, a tudíž i distribuci srážek. I když statistické údaje vykazují jako průměrný úhrn ročních srážek 686 mm za rok, vzhledem k převládajícímu proudění jsou západní – návětrné strany pohoří – srážkově výrazně bohatší. U návětrných svahů Jizerských hor je objem 1700 mm, u Šumavy, Krkonoš, Hrubého Jeseníku a Moravskoslezských Beskyd 1500 mm. Ve srážkových stínech Krušných hor leží Mostecko, Žatecko a Kladensko s ročním objemem 450 mm a s nízkým objemem srážek se potýká i jižní Morava s 500 mm (Zárybnická et al. 2018).

Průměrně nejsušším místem ve srážkovém stínu Krušných hor jsou Libědice (410 mm). Naopak nejdeštivějším místem je Bílý Potok v Jizerských horách (1705 mm). Tomu odpovídají i roční statistiky, kdy nejmenší úhrn 247 mm byl naměřen ve Velkém Přítočně na Kladensku a nejvyšší 2202 mm v Kořenově v Jizerských horách. Významnou část srážek přinášejí i bouřky, které přichází od jihozápadu, a proto se vyskytují mnohem častěji v západní polovině republiky. Jejich výskyt v zimním období je ale výjimečný (Tolasz 2007; Zárybnická et al. 2018).

V zimních měsících se spolu s nadmořskou výškou zvedá i podíl sněhových srážek. Více než polovina sněhových srážek připadá na polohy nad 1000 m n. m. V nížinách se sníh zpravidla objevuje s první prosincovou dekádou, jeho pokryv je však značně nestabilní a doba nepřesahuje víc než 40 dní za rok. V našich nejvyšších partiích – Hrubém Jeseníku (na Ovčárně) a Krkonoších to však může dělat až 160 dní a první sníh se může objevit už během měsíce září (Český hydrometeorologický ústav et al. 2005; Zárybnická et al. 2018).

3.2.3 Půdní fond

Stejně jako na celém světě i na našem území je rozložení půd ovlivňováno mnohými faktory. Jedním ze základních činitelů půdotvorného procesu je složení mateční horniny, díky jejímuž rozpadu půda vzniká. Na základě tohoto zjištění můžeme konstatovat, že určitá půda může vzniknout pouze na určitých horninách. Dalším z výrazných faktorů je nadmořská výška a s ní přirozeně spojené složení a množství bioty, ale rovněž i sklon terénu, na kterém proces probíhá. V závislosti těchto podmínek pak můžeme půdy dělit na jednotlivé půdní typy podle shodnosti horizontálních struktur. A podle velikosti zrn půdy pak rozlišujeme půdní druhy (Němeček et al. 2011).

Půda jako přírodní útvar je vysoce dynamický živý systém, který vytváří podmínky pro život všech biologických společenstev. Samotný vznik půdy a její stavba i složení jsou výsledkem výše uvedených podmínek, podnebí, dostatku vody a působení živých organismů v půdě i na povrchu. Pod vlivem těchto faktorů tak na rozhraní atmosféry, litosféry, biosféry a hydrosféry vzniká půda. Vzhledem ke skutečnosti, že půda zahrnuje všechny tři fáze skupenství a mezi její složky patří nejen anorganické látky (štěrk, jíl a prach) ale i organické jako voda, plyny, živé organismy (hmyz, červi, bakterie, houby a řasy), probíhá zde neustále velké množství chemických, fyzikálních a biologických půdotvorných procesů. Na našem území – v prostředí mírného klimatického pásu – se jedná především o humifikaci (rozklad mrtvé organické hmoty, jehož výsledkem jsou dusíkaté látky, které tvoří podstatu humusu), eluviaci (ztráta látek v důsledku proplachování srážkovou vodou), iluviaci (obohacení látkami ve vodních roztocích), oglejení (snížený objem kyslíku v podmáčené půdě zpomaluje oxidační procesy a hromadí se organické látky v půdě dávají vzniknout železitomanganovým konkrecím) (Tomášek 1995; Brady 1999; Vopravil et al. 2010).

Na našem území je zastoupeno opravdu široké spektrum půd. Můžeme najít surové půdy v počátečních fázích vývoje, vyvinuté půdy a nachází se zde i reliktní půdy, které vznikaly v odlišných klimatických podmínkách. Na území České republiky se tak v průběhu věků pod vlivem půdotvorných procesů stabilizovaly tyto základní půdní typy. Mezi zonální typy patří černoze na jižní Moravě a Polabí, časté hnědozemě v jižní části České tabule, velmi časté hnědé půdy na Vizovické vrchovině a Středočeské pahorkatině, ilimerizované půdy v Moravská bráně a na Ostravské pánvi a horské podzoly v Beskydech, Jeseníkách, Českém středohoří, Šumavě a Krkonoších. Na území Českého a Moravského krasu se nachází i azonální typ půdy, takzvaný rendzin, a na našich horách azonální rašeliništní půda (Vopravil et al. 2010; Němeček et al. 2011).

Mezi reliktní půdy patří černoze, které se nachází v nejteplejších a nejsušších oblastech. Vznikaly ve velmi raném období interglaciálu v prostředí stepních a lesostepních společenstev. Mateční horninou, která podmiňuje vznik černoze, jsou ve většině případů spraše. Hlavní půdotvorný proces – humifikace – dokázal díky intenzivnímu působení pod lesostepní vegetací vytvořit opravdu mohutné tmavé humusové horizonty. Půdní horizont černoze neobsahuje vrstvu B a skládá se pouze z vrstev A (humusová vrstva) a C (půdotvorný substrát). V našem prostředí dosahuje horizont humusu až 70 cm s obsahem humusu 2–3 %. Typicky se nachází v Polabí a na jižní Moravě. Jsou to naše nejúrodnější oblasti a podle toho jsou i hospodářsky využívány. Takto intenzivně využívané černoze ohrožuje především riziko prosvětlování a náchylnost k vysoušení. Uchování černoze je tak závislé na odpovědném hospodaření (Brady 1999; Vopravil et al. 2010).

Mezi další velmi hodnotné půdy patří hnědozemě. Jejich výskyt je typický v oblastech nižších pahorkatin a při okrajích nížin. Půda vznikala během ledové doby v předpolí postupujících ledovců. Hlavním půdotvorným procesem byla ilimerizace, během které svrchní

část půdního profilu byla vymývána prosakující vodou a jílovité částice se tak posunovaly do hlubších horizontů. Celý proces probíhal na terénu spraší a různých polygenetických hlín, pod příkrovem listnatých lesů. Obsah humusu půdy je nižší – v průměru 1,8 %. Půdní horizont se skládá ze 30 cm hlubokého humusového horizontu a obdobně hlubokého obohaceného horizontu. Jedná se o hospodářsky hodnotnou půdu, která je v současnosti plně zemědělsky využívána. Oproti černozemím nepodléhá vysoušení. Udržitelnost intenzivního hospodářského využívání předpokládá pravidelné vápnění a kvalitní organické hnojení (Tomášek 1995; Němeček et al. 2011).

Na územích pahorkatin v nadmořských výškách do 700 m n. m se vyvíjely v chladnějším a vlhčím prostředí ilimerizované půdy, dnes označované jako luvizem. Tyto půdy oproti hnědozemím prodělaly mnohem intenzivnější ilimerizaci, pravděpodobně při mnohonásobném promrzání a rozmrzání ke konci glaciálů. Navíc vzhledem k postupnému nahromadění jílových částic v podorniční vrstvě docházelo k zamokření a následně i k dalšímu půdotvornému procesu – oglejení. Na profilu ilimerizované půdy nacházíme mezi A horizontem obohaceným humusovou půdou až několik decimetrů mohutnou ochuzenou vrstvu E. Obsah humusu v těchto půdách může dosahovat až 2 %, jedná se však o humus slabší jakosti. Fyzikálně i chemicky se jedná o půdy vhodné pro lesní hospodářství. V případě zemědělského obhospodařování jsou tyto půdy vzhledem ke svým hydrologickým vlastnostem nejčastěji melioračně upravovány. Jejich nižší úrodnost lze také zvýšit vápněním a hnojením (Tomášek 1995; Vopravil et al. 2010).

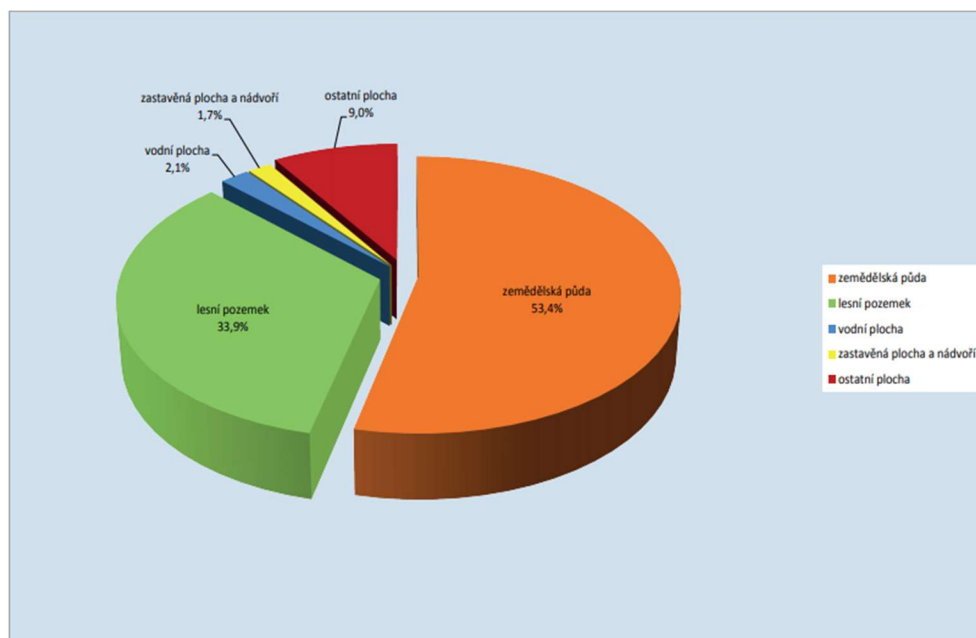
Ve vlhkém klimatu vyšších nadmořských výšek se nejčastěji nachází podzoly. Hlavním půdotvorným procesem pro vznik tohoto typu půdy je takzvaná podzolizace, která je závislá především na dostatku vody a nízkých hodnotách pH. Podzolizaci tak umocňují mimo intenzivního vyplavování i vegetace s kyselým opadem, působení některých hub, chladné klima a chudá mateční hornina. V takto okyselené půdě dochází k rozkladu prvotních minerálů a vyplavování oxidů železa a hliníku do nižších horizontů. K nejintenzivnějšímu procesu dochází v borových a smrkových porostech na podkladu pískovců, svorů nebo žul, které jsou chudé na minerály. V profilu se pod horizontem A nachází eluviální horizont plynule přecházející do iluviálního horizontu. Podzoly nevynikají úrodností. Při využití v lesním hospodářství a jako horské pastviny však mohou přinést hospodářský užitek. Nezastupitelná úloha podzolů spočívá ve vlivu na obnovu podzemních vod (Brady 1999).

Nejčastější půdou na našem území je kambizem, známá jako hnědá půda. Z hlediska vývoje se jedná o mladou půdu, která v delším časovém horizontu, podle přírodních podmínek a bez zásahu člověka přejde v podzoly, ilimerizované půdy či hnědozemě. Kambizem se prostírá na poměrně variabilním reliéfu. Rozmanitá byla i biota, pod kterou dosavadní vývoj probíhal, v nižších polohách to byly bukové a dubové lesy, ve vyšších pak smrčiny. Také škála matečních hornin je značně široká, vždy však platí podmínka dostatku materiálu ke zvětrávání a uvolňování dostatku minerálních látek. U kambizemě dochází ke dvěma půdotvorným

procesům – k silnému vnitřnímu zvětrávání, ve kterém je půda obohacována o jílu a primární minerály se mění v sekundární, a k braunifikaci, kdy je půda typicky zabarvována sloučeninami železa. Kambizemě patří k hlubokým půdám a jejich profil vykazuje vysokou proměnlivost. Tvoří až 45 % zemědělské půdy. Vzhledem k limitům kvality této půdy je její hospodářské využití efektivní pro pěstování brambor nebo lnu. Vzhledem k častým polohám ve svazích je tato půda často ohrožována erozí a je jí také potřeba vápnit (Brady 1999; Němeček et al. 2011).

V České republice vzhledem k značně variabilnímu povrchu i geologii se nachází mnoho variant těchto základních typů půd. Můžeme najít i několik dalších typů, na jejichž vývoj mělo vliv především množství vody. Můžeme tedy najít vodou přesycené černice, smolnice, glejové a rašeliništní půdy. Naopak v suchých a krasových oblastech se objevují arenosoly, penosoly a rendziny. Jejich procentuální zastoupení je však nevýznamné (Tomášek 1995; Vopravil et al. 2010).

Jak už bylo zmíněno, půda má rozhodující vliv na udržitelnost životního prostředí. V naší republice je také významným hospodářským činitelem, čemuž odpovídá velmi intenzivní zemědělství. Podle statistik je cca 87 % plochy využíváno v zemědělském nebo lesním hospodářství (vi. obrázek 1). S tím přichází riziko půdní eroze. Narušování přirozeného pokryvu vede k stále častějšímu negativnímu působení vody a větru. Eroze pak způsobují v našem časovém horizontu nenahraditelné ztráty na nejurodnějších humusových partiích půd, jejichž obnova se pohybuje řádově až ve stovkách let (Tomášek 1995; Vopravil et al. 2010).



Obr. 1 – Podíl zemědělské plochy a nezemědělské plochy
(Zdroj ČÚZK 2017)

3.2.4 Povodí

Specifický reliéf a poloha České republiky na hlavním evropském rozvodí dává našemu území z hlediska hydrologie určitý monotematický charakter. Naprostá většina našich vodních toků u nás i pramení. Jejich vody jsou tedy přímo závislé na množství srážek dopadajících na našem území. Celá plocha České republiky patří k úmoří Atlantského oceánu, ale vody odtékají do Černého, Baltského a Severního moře. Po hřebenech českých příhraničních hor se tak od Českého lesa po Beskydy táhne hlavní evropské rozvodí. V pohoří Králického Sněžníku se nachází vrchol Klepáč, který je na této linii hranicí všech tří českých úmoří. Koncentrický tvar Čech s lemem příhraničních hor zajišťuje téměř dokonalé odvodňování prostřednictvím povodí řeky Labe. Pouze okrajové části hor patří k povodí Dunaje (Šumava, Český les) a k povodí Odry (Šluknovský, Frýdlantský a Broumovský výběžek). Přechodný a průchozí reliéf Moravy a Slezska je oproti tomu odvodňován směrem k jihu povodím řeky Moravy a severním směrem povodím řeky Odry. I zde však části území patří k povodí Dunaje prostřednictvím slovenské řeky Váh (Bílé Karpaty a Jablůnkovské mezihoří) (Křivánek et al. 2014).

Porovnáním ploch jednotlivých povodí zjistíme, že největším podílem – 62,7 % – je zastoupeno povodí Labe. Povodí Moravy představuje 27,4 % a povodí Odry pouhých 9,3 %. Zbývající plocha 0,6 % představuje toky povodí Dunaje, které nejsou součástí povodí Moravy. Plocha našeho území podél rozvodí značně omezuje potencional říční sítě. Slabá vodnost našich toků významně limituje jak hydroenergetický potenciál, tak i potenciál v oblasti říční přepravy. Jak jsem už uvedla, statistické údaje vykazují průměrný úhrn ročních srážek ve výši 686 mm za rok. Při aplikaci tzv. třetinového pravidla, kdy se tyto srážky rovnoměrně rozdělují mezi zasáknutí, vypaření a vodní toky, to znamená, že odečte ročně 15 mld. m³ vody. Vzhledem ke značným klimatickým výkyvům můžeme v nedávné době sledovat značný rozptyl těchto hodnot. Zatím co v letech s větším množstvím vody se tento údaj pohybuje okolo 19 mld. m³, v nejsušších letech se tento údaj pohybuje okolo 8 mld. m³ (Křivánek et al. 2014).

Režim jednotlivých toků se výrazně mění podle jednotlivých ročních období. V běžném celoročním chodu vodních průtoků a stavů se objevují dvě relativně stabilní maxima. V průběhu tání sněhové pokrývky od března do května dochází v závislosti na nadmořské výšce k postupným kulminacím vysokých jarních průtoků směrem od nížin k horským partiím našich toků. Druhým vrcholem jsou intenzivní letní srážky, které většinou způsobují lokální kulminace. Oproti tomu v letním období dochází často k opačnému jevu. Například náš největší vodní tok Labe na hlásném profilu č. 236 v Ústí nad Labem ve svém evidenčním listu uvádí jako průměrný roční průtok 296 m³/s. Není ovšem výjimkou, že v letních měsících tento průtok klesá až ke kritické hranici 100 m³/s. V tomto objemu hladina Labe neumožňuje ani rekreační plavby. Pod tuto hranici však už dnes neklesá. Díky průtokovým dotacím prostřednictvím vltavské kaskády a za účelem záchrany vodního života ohroženého nedostatkem kyslíku ve vodě se už nemůže opakovat situace ze suchého roku 1947 (Křivánek et al. 2014).

Naše současná říční síť představuje cirká 76 000 kilometrů upravených i přirozených vodních toků. Celkový charakter říční sítě je ve vysoké míře ovlivňován lidskou činností. Přirozený autoregulační systém říční sítě na našem území skončil během 12. století. Zpočátku se jednalo o nevýrazné úpravy, které odpovídaly energetickým schopnostem tehdejší společnosti. Byly tedy zakládány rybníky, přehrazovány toky a budovány náhony i kanály. Následný rozvoj průmyslu dal společnosti možnost napřimovat celá koryta řek, odvádět vodu do zavlažovacích systémů a během poválečné euforie druhé poloviny 20. století došlo i k výstavbě značného počtu velkých přehradních nádrží a především na Labi ke splavnění 303 km toků. V těchto velkých budovatelských ideálech a hospodářských úspěších se pak poněkud ztrácela realita mizení drobných toků, ztráta 4 500 km říční sítě za období 200 let a kompletní regulace průtoku větších řek spolu s narušením biologických procesů řek a potoků. V současné době se postupně rozvíjí činnost na podporu obnovy přirozeného režimu vodních toků, z nichž je nejviditelnějším výsledkem budování rybích přechodů a návrat meandrů do vyšších partií našich řek (Němec et al. 2006).

Vzhledem k rozmanité geomorfologické stavbě vykazuje rozmanitost i říční síť. I když převládají příklady stromovité říční sítě, například u Labe se jedna asymetrickou variantu. V oblasti Plzeňské kotliny se nachází typická vějířovitá říční síť. Ukázkou radiální říční sítě jsou Doupovské hory, kde se z jejich svahů rozbíhají vodní toky rovnoběžně od centrálního stratovulkánu do všech směrů. Příkladem tektonicky ovlivněné pravouhlé říční sítě je řeka Odra s jejími kolmými levostrannými přítoky (Němec et al. 2006).

Nejdelší a nejvýznamnější českou řekou je Vltava. Jako Teplá Vltava pramení na Šumavě 1315 m n. m. Vzniká pak soutokem Teplé a Studené Vltavy U Černého kříže. Svůj jihovýchodní tok obrací pod Vyším Brodem na severní a pokračuje napříč Českobudějovickou pánví, kde nabývá ráz nížinného toku. Prostupuje hlubokým údolím Středočeské pahorkatiny, protéká hlavním městem a v Mělnické kotlině v nadmořské výšce 155 m n. m. ústí do Labe. Zde – ač o polovinu vodnatější a o 173 km delší – končí svůj tok. Mezi nejvýznamnější přítoky z levé strany patří Otava a Berounka, z pravé strany je to Lužnice a Sázava. Její tok byl přehrazen systémem takzvané vltavské kaskády. Jedná se o devět vodních nádrží budovaných od roku 1930 do roku 1992. Jejich účel je nejen energetický, vodohospodářský a rekreační, ale jedna z hrází slouží i jako zdroj vody pro jadernou elektrárnu Temelín. Kaskáda přímo ovlivňuje nejen průtok, ale i teplotní režim (Heřman 2013; Křivánek et al. 2014).

Největší řeka, která z našeho území odvádí vodu, je Labe. Vytéká z rašeliniště na Labské louce v Krkonoších v nadmořské výšce okolo 1400 m n. m. O množství vodopádů a kaskád svědčí spád, který činí 37 %. Labe se line Krkonošským podhůřím až k Jaroměři, odkud je jeho tok typicky nížinný. Pokračuje napříč Českou tabulí a před Pardubicemi mění směr svého toku z jižního na západní. U Staré Boleslavi se směr mění na severozápadní, aby pak otočilo tok severním směrem u Litoměřic a takzvanou Portou Bohemickou prošlo Českým středohořím. Hlubokým kaňonem v Labských pískovcích v Hřensku opouští v nadmořské výšce 115 m n. m.

naše území. Mezi hlavní toky, které Labe na svém toku přijímá z pravé strany, patří Úpa, jež pramení nedaleko Sněžky o cca 25 m výše než Labe. Dalšími významnými přítoky jsou Metuje, Orlice, Chrudimka, Vltava, Ohře a Bílina. Z levé strany přitéká Cidlina, Jizera, Ploučnice a Kamenice. Na horním toku jsou vybudovány nádrž Labská (1916) a Les Království (1920), Primárním účelem byla ochrana proti povodním, až mnohem později byly dobudovány i vodní elektrárny. Na dolním toku byla vybudována celá řada zdymadel, které primárně slouží k zajištění plavby, sekundárně však umožňují i odběry povrchové vody a energetické využití. Labe je v evropském měřítku 12. nejdelší řekou (Štefáček 2008; Křivánek et al. 2014).

Největší na moravském území a třetí největší českou řekou je Morava. Pramení ve stráních Králického Sněžníku v nadmořské výšce 1380 m a její jméno dalo název prostoru, jímž jako hydrologická osa jižním směrem protéká. V horních partiích horský potok rychle mohutní v říčku, která záhy v prostoru Mohelnické Brázdy přechází v nížinný typ s charakteristickými meandry. Řeka postupuje následně úvaly až k Hodonínu, odkud tvoří státní hranici mezi Českou a Slovenskou republikou. Tento úsek byl za tímto účelem prohlubován a narovnáván. Morava opouští republiku v nadmořské výšce 160 m n. m. soutokem s Dyjí. Stejně jako v případě Vltavy i zde se vodnatější a o 16 km delší Dyje nedokázala prosadit proti historickým stereotypům. Bečva, Olšava a Myjava jsou významné pravostranné přítoky, z levé strany jsou významné Haná a Dyje. Tok řeky kopíruje také unikátní Bařův plavební kanál, který by se v budoucnosti měl stát významným objektem stavby kanálu DOL (Štefáček 2008; Křivánek et al. 2014).

Slezskou část našeho území odvodňuje řeka Odra. I když se na našem území nachází pouze 113 km toku, jedná se o řeku evropského významu. Řeka pramení v 633 m n. m. v Oderských Vrších a její tok pokračuje severním směrem, aby se náhle stočil k jihovýchodu a hlubokým údolím u městečka Odry postupovala dále Moravskou bránou severovýchodním směrem. Zde také ztrácí charakter horského toku a nastupuje typické nivní prostředí s charakteristickými meandry. Ojedinele zachovaný přírodní ráz řeky až k Ostravě je díky každoročním jarním záplavám opravdovým živým organismem, který neustále mění profil toku. V této části je Odra i zdrojem vody pro několik rybníčních soustav. V závěrečných osmi kilometrech tvoří řečiště státní hranici s Polskou republikou. Koryto zde meandruje a průtoky jsou značně rozkolísané s výskytem povodní. Dochází tak k pravidelným změnám v trase i charakteru toku. Na samotném toku Odry neleží žádná nádrž, ale na přítocích devět údolních nádrží, které mají vodohospodářské ambice s cílem ovlivnit dynamiku průtoků v dolních partiích řeky. Mezi hlavní přítoky z pravé strany můžeme zařadit Ostravici a Olši, z levé strany to je Opava (Štefáček 2008; Křivánek et al. 2014).

Jezera jsou na našem území vzhledem k malé četnosti chráněnými oblastmi. Nejznámějších je pět hrazených karových jezer na Šumavě. Přirozené hráze – tzv. morény – byly v minulosti navýšeny a osazovány výpustěmi, aby zajistily vodu k plavení dřeva. Pro jezera jsou typická stejně jako stísněnost vysokými jezerními stěnami. Na nejvýše položeném

a nejmenším jezeru Laka (1085 m n. m.) probíhá pozvolná proměna v slat. Na hladině se pohybují plovoucí ostrůvky, které poklesem na dno proměnu urychlují. Zajímavé jsou i Černé a Čertovo jezero, jejichž kary jsou vyhloubeny do Jezerní hory, která je součástí rozvodí. Čertovo jezero tedy patří k dunajskému povodí, zatímco Černé k labskému. Velmi zajímavé hrazené jezero s částečně antropogenním původem vzniklo vlivem těžby pískovce, stavby železniční trati a vydatných dešťů na Mladotickém potoce. Sesuv podmáčeného svahu dal roku 1872 vzniknout Odlezenskému jezeru i vodopádům. Ještě mladší jsou fluviální jezera, která vznikají a zanikají erozním působením toku, popř. vlivem člověka. V současnosti jsou významná i jezera antropogenního původu, která řeší důsledky těžební činnosti v severních Čechách. Nejnověji je to jezero Most s rozlohou 311 ha. Raritou tohoto druhu jezer je Hromnické jezírko, jehož voda je roztokem kyseliny sírové (Němec et al. 2006; Křivánek et al. 2014).

Rybníky a jejich soustavy tvoří typický ráz České republiky. Prakticky nelze nalézt obec, která by neměla alespoň rybníček na návsi. Naše nejzajímavější rybníční stavby jsou však díla ze 14. a 16. století. I když se od té doby řada rybníků zrušila, můžeme považovat Pardubicko, Jindřichohradecko, Třeboňsko, Novohradsko, Českobudějovicko a Vodňansko za rybníkářské oblasti. Velké soustavy rybníků se nachází ale i na severní a jižní Moravě. Výstavbu rybníků v 18. století vystřídaly vodní nádrže. Vznikaly sypané hráze k zajištění dostatku vody pro potřebu průmyslu. Jejich hráze však nevykazovaly vysokou spolehlivost, a tak první opravdové přehrady vznikaly až na počátku 20. století. V období první republiky bylo postaveno 16 přehrad, z nichž největší byla nádrž Vranov, která se stala s hrází vysokou 60 metrů největší přehradou Československa. Od roku 1945 do 1990 bylo postaveno 80 vodních nádrží. Na našem území tak není téměř žádný tok, jehož vody by nebyly přehrazeny. Většinu nádrží můžeme označit za polyfunkční. Nejčastěji jde o zdroje pitné a průmyslové vody. Nezanedbatelné jsou i regulační, ochranné a energetické funkce. A všeobecně uznávané jsou i rekreační a sportovní funkce. Ty však přinášejí i negativní vlivy (Němec et al. 2006).

Na území republiky je asi 350 lokalit s vývěrem minerálních vod. Nejrozsáhlejšími oblastmi jsou Poděbrady, Františkovy Lázně, Karlovy Vary, Teplice v Čechách a Mariánské Lázně. Nachází se zde prameny chladné, termální i vřídla v širokých variacích od sirných vod přes kyselky až po radioaktivní. Oproti minerálním vodám nejsou zásoby podzemních vod nijak výrazné. Významné zásoby puklinové podzemní vody jsou v Novohradských horách a Chebské pánvi, kde je však problém s vysokými obsahy minerálů. Lepší situace je v oblasti průlinové podzemní vody. Zde se nachází nejvýznamnější zdroje v České křídové tabuli, jihočeských pánvích, jihomoravských úvalech a ostravsko-opavské oblasti (Křivánek et al. 2014).

3.3 Hrozby při výkyvech vody v přírodě

3.3.1 Sucho

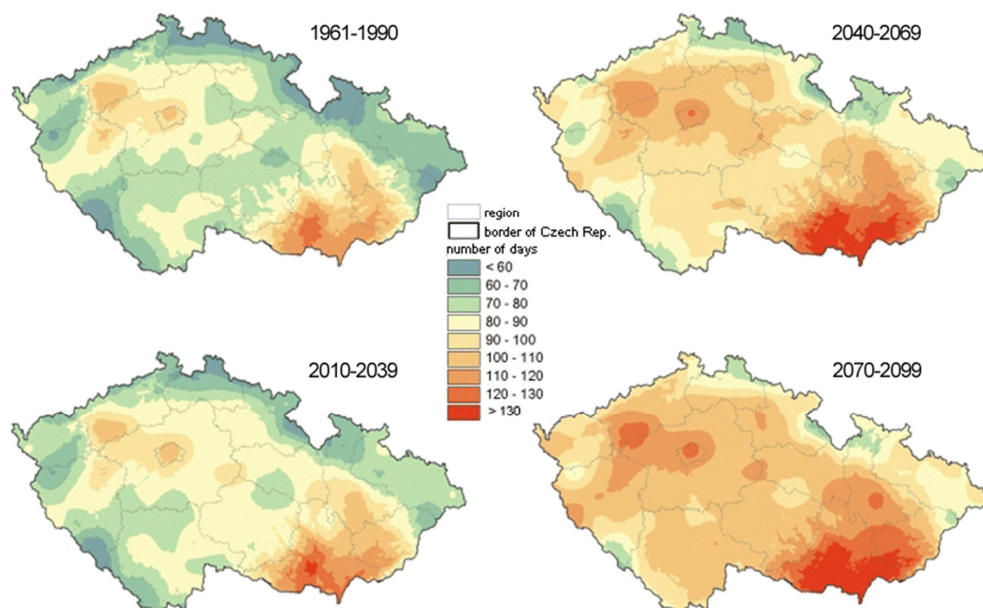
Definovat sucho není kvůli jeho přírodnímu původu jednoduché. Už Wilhite a Glanz (1985) našli 150 publikovaných definic sucha. Ať se zaměříme na jakoukoliv definici, vyplývá

z ní, že sucho je vnímáno jako nedostatek vody oproti průměrným hodnotám pro danou oblast a roční dobu. Toto množství definic se podařilo rozdělit na kategorii pojmových a kategorií funkčních definic. Kritériem pro pojmové definice byla jejich obecná rovina řešení problematiky, zatímco funkční definice obsahují zřejmé ukazatele k určení počátku, trvání a intenzity.

Sobíšek (1993) definoval sucho jako neurčitý, avšak často používaný pojem v meteorologii, který v zásadě znamená nedostatek vody v půdě, rostlinách nebo v atmosféře. Rožnovský (2014) prohlásil, že sucho bychom měli vnímat jako přírodní proces typický pro naše podnebí. A to s ohledem na rostoucí teploty vzduchu, které mají za následek zvýšení intenzity výparu a naopak.

V našich klimatických podmínkách je charakterizováno sucho jako určené časové období týdnů, měsíců či roků, kdy spadne mnohem méně srážek, než je příslušný dlouhodobý průměr, nebo po sobě jdoucích dní, kdy stanovený srážkový limit nebyl překročen. Na povrchových tocích se z hydrologického hlediska sucho definuje jako počet za sebou jdoucích měsíců s nižším průtokem než za normálních podmínek (Červený et al. 1984).

Je tedy zřejmé, že v současné době, kdy se objem ročních srážek nemění, ale dochází k nerovnoměrné distribuci (a navíc se projevují negativní tendence v oblasti teplotního režimu), musí zákonitě docházet k nárůstu výskytu sucha. Této realitě by měl odpovídat adekvátní přístup k industriálním zásahům, a to tak, aby nedocházelo k prohlubování negativních jevů (Řehoř et al. 2021) Na obrázku 2 můžeme vidět predikční model ALADIN-CLIMATE/CZ, který předpovídá budoucnost rostoucího sucha v období 2010–2100.



Obr. 2 – Predikční model budoucího rostoucího sucha v období 2010–2100

(Zdroj: Pretel et al 2011)

3.3.1.1 Typy sucha

Podle specifických následků můžeme sucho rozdělit do čtyř základních typů na meteorologické, zemědělské, hydrologické a socioekonomické sucho.

3.3.1.1.1 Meteorologické sucho

Meteorologické sucho se definuje jako nepříznivé období stavu atmosféry, kdy jsou snižené objemy meteorologických srážek oproti průměru na určitém místě a za určitý časový úsek. Na meteorologickém suchu nemají rozhodující vliv pouze srážky, ale významnou roli zde hrají i faktory, jako jsou teplota vzduchu, výpar, rychlost větru, vlhkost vzduchu nebo krajinné a půdní podmínky (Tate a Gustard 2000).

Meteorologické sucho však mohou vyvolat i přírodní jevy. Příkladem může být dlouhotrvající výskyt tlakových výší, které spolu s nedostatkem tlakových níží a s nimi spojených front přispívají k absenci srážek. Mezi nejzranitelnějšími kraji vůči meteorologickému suchu v České republice patří Jihomoravský, Středočeský a Ústecký kraj, především kvůli jejich negativní vodní bilanci (rozdíl ročního úhrnu srážek a potenciální evapotranspirace) (Hladný 2009).

3.3.1.1.2 Zemědělské sucho

Zemědělské neboli agronomické sucho se definuje nedostatkem vody v půdě, proto je někdy označováno jako půdní sucho. V tomto stavu se v půdě nenachází dostatečné množství vláhy pro rostliny. Faktory, které ovlivňují délku a intenzitu agronomického sucha, jsou dlouhodobé meteorologické sucho, neadekvátně zvolené agrotechnické postupy a hydrologické vlastnosti půdy (Hladný, 2009). Zemědělské sucho se dá označovat jako deficit půdní vláhy (soil moisture drought), pokud není vztahováno k plodině (Tallaksen a Lanen 2004; Trnka et al. 2020).

3.3.1.1.3 Hydrologické sucho

Hydrologické sucho můžeme definovat jako časový úsek s velmi vysokým poklesem hladiny povrchové i podzemní vody od průměrných stavů. Hydrologické sucho má pozdější nástup než meteorologické sucho a o to déle může přetrvávat (Janský, 2019). U výrazného a dlouhodobého hydrologického sucha hrozí ohrožení systému zásobování vodou. Povrchový deficit vody (streamwater drought) může přetrvávat v řádu dní až měsíců. Kdežto podzemní vodní deficit (groundwater drought) se převážně vyvíjí několik měsíců či let (Tallaksen a Lanen 2004; Trnka et al. 2020).

3.3.1.1.4 Socioekonomické sucho

Socioekonomické sucho představuje nevyrovnaný poměr poptávky a dodávky vody. Tento stav může zásadním způsobem ovlivňovat životní úroveň (Kiem et al., 2016). Primárním ohrožením je absence pitné vody, další riziko představuje průmysl ohrožený nedostatkem užitkové vody a vše podtrhují problémy energetických soustav s chybějícím výkonem hydroelektráren. Vznik socioekonomického sucha je podmíněn dlouhotrvajícím meteorologickým, agronomickým a hydrologickým suchem. Socioekonomické sucho je podobné ekologickému suchu, kdy nedostatečné množství vody ovlivňuje ekosystémy, rostliny i živočichy (Tallaksen a Lanen 2004; Hladný 2009).

3.3.1.2 Dopady sucha

Dopady sucha mají výrazně globální charakter napříč živou i neživou přírodou. Charakteristickým rysem dopadu je skutečnost, že suchem jsou omezováni nejméně ti, kteří nesou největší vinu za jeho prohlubující se projevy. Dělit dopady lze podle mnoha kritérií, ale pro potřeby této práce autorka rozdělila dopady sucha do tří základních částí (Trnka et al. 2020).

3.3.1.2.1 Dopady sucha v zemědělství

Negativní vlivy sucha se v zemědělství projevují především na rostlinné i živočišné produkci. V rostlinné produkci dochází při nedostatku vody k zavadnutí rostliny, tento nedostatek vody je velice závažný především v jarních obdobích. Takto oslabené rostliny později velmi obtížně odolávají chorobám a škůdcům. Ke konci léta nastává problém obhospodařování vyschlé půdy a na podzim suché období ovlivňuje především vyseté ozimy. V zimním období sucho ovlivňuje množství sněhové pokrývky. Při její absenci rostliny hůře snášejí mrazy a úspěšnost přezimování prudce klesá. V živočišné produkci sucho působí diskomfort hospodářským zvířatům. Snižuje se hmotnostní přírůstek, u krav se snižuje dojivost, reprodukce a zvyšuje výskyt mastitidy. Velmi nepříznivé účinky jsou pro akvakultury, které sucho výrazně ovlivňuje (Trnka et al. 2020).

3.3.1.2.2 Hydrologické a socioekonomické dopady sucha na lidskou společnost

Lidská společnost potřebuje pro život dostatek pitné vody. Jako následek sucha, kdy jsou její zásoby omezeny, tak dochází k nestandardním stavům. Výrazně je například ohrožena kvalita povrchové vody, dochází k situacím, kdy odpadní voda není dostatečně naředěna. Dalším následkem může být růst cen potravin a pitné vody. Proto jsou dopady sucha v rozvojových zemích daleko závažnější. Slabě rozvinuté vodní hospodářství nemá kapacity ani k zajištění už tak velmi nízkých potřeb. V takové situaci jsou lidé nuceni používat nedostatečně vyčištěnou vodu. Ve vodním hospodaření snížení vodní hladiny omezuje hydroelektrárny a průmysl zatěžuje potřeba nadměrného chlazení. I čerpání podzemní vody je problematické.

Čerpání z větší hloubky je finančně náročnější a také kvalita vody nemusí být odpovídající. Další zátěží je i obstarání cisteren pro možnost odběru pitné vody. Lidé mohou také negativně vnímat omezení vodních rekreačních objektů (Tallaksen a Lanen 2004; Bartoš et al. 2009; Trnka et al. 2020).

3.3.1.2.3 Dopady sucha na ekosystémy

V dnešní době jsou dopady sucha znásobeny skutečností, že už sedmý rok nás trápí větší či menší nedostatek vody. Absence pravidelné vláhy má nepříznivé účinky mimo jiné také na ekosystémy. Nedostatečné množství vody v půdě způsobuje nejen zasychání, ale v extrémních případech i odumírání rostlin. Pokud by sucho trvalo delší dobu, může dojít až k zániku některých druhů. Dalším fatálním scénářem mohou být obzvláště nebezpečné požáry. Snížením hladiny toků se také nedostatečně ředí znečištěná voda. Navíc se zvýšenou okolní teplotou zvedá i teplota vody a úměrně s tím vším se snižuje i podíl kyslíku ve vodě. Tato situace je velice nepříznivá pro vodní ekosystémy a může vyplýnout až ve fatální následky (Tallaksen a Lanen 2004; Trnka et al. 2020).

3.3.2 Povodně

Meteorologický slovník (Sobíšek 1993) definuje povodeň jako přechodný a výrazný vzestup hladiny toku, zapříčiněný náhlým vzestupem průtoku nebo dočasným zmenšením průtočnosti koryta, nejčastěji způsobeným výskytem ledových jevů. Příčinou zvyšování průtoku v České republice jsou v současné době s naprostou převahou intenzivní dešťové srážky (krátkodobé či dlouhodobé), případně tání sněhové pokrývky. Možná je také kombinace srážek a tání. Podle příčin rozeznáváme několik základních druhů povodní: dešťovou, sněhovou nebo smíšenou. Dalším případným typem povodně v našich klimatických podmínkách je ledová, která vzniká ledovým nápěchem nebo zácpou.

3.3.2.1 Typy povodní

3.3.2.1.1 Dešťové povodně

Dešťové povodně můžeme rozdělit do dvou kategorií na základě intenzity a doby. Na dešťové povodně z dlouho trvajících srážek (Long-rain Floods) nebo dešťové povodně z přívalových srážek (Short-rain Floods) (Merz a Blöschl 2004).

Povodně z dlouho trvajících srážek jsou způsobeny srážkami v rozsahu týdnů až měsíců, i když s menší intenzitou. Půda je už plně nasycená vodou a dochází k povrchovému odtoku. Následné zvýšení průtoku má za následek vylití vody z koryta. Tento druh povodně může ohrozit velkou část území, řádově až stovky km². Nejčastěji se tyto srážky objevují v letních měsících (Merz a Blöschl 2004).

Povodně z přívalových srážek, všeobecně známé jako bleskové povodně (Flash floods), vznikají ze srážek, které mohou trvat jen několik desítek minut, maximálně několik hodin. Kvůli velmi silné intenzitě dopadá na zemský povrch několik desítek mm srážek za hodinu. Objem takového množství vody není půda schopná vsáknout a následně dochází k povrchovému odtoku. Často povrchový odtok působí velice agresivně, odnáší půdní částice a při nevhodných agrotechnických postupech vzhledem ke svažitosti terénu může docházet k plošnému znehodnocení ornice. Přívalové deště se na našem území vyskytují od jara do konce léta v podobě bouřek a přívalových dešťů (Merz a Blöschl 2004; Brázdil 2005).

3.3.2.1.2 Sněhové povodně (Snowmelt Floods)

V důsledku náhlého tání sněhové pokrývky, převážně na začátku zimy nebo na jaře, vznikají takzvané sněhové povodně. Sněhové povodně jsou ovlivněny množstvím sněhové pokrývky, rychlostí tání, stavu půdy, rychlostí větru či dalšími srážkami. Tento typ povodní vzhledem k jejich závislosti na nadmořské výšce, nebývá kritický jako ostatní druhy povodní. Jejich postupný průběh proti tokům totiž neumožňuje extrémní kulminace průtoků (Merz a Blöschl 2004; Brázdil 2005).

3.3.2.1.3 Ledové povodně

Zamrznutím koryta vodního toku se výrazně zužuje jeho profil. Postupným táním a lámáním ledu se proudem unáší velké množství ledových ker. Ty se v kritických partiích toků mohou hromadit a vytvořit ledovou hráz. Následkem je neúměrné zvýšení hladiny toku, který se může vylít do okolí. Protržením ledové hráze mohou vznikat velmi nebezpečné povodňové vlny. Ledové hráze by se měly eliminovat postupným upouštěním, jedině tak lze zabránit vzniku ledové povodně (Merz a Blöschl 2004).

3.3.2.1.4 Povodně smíšené (Rain of snow Floods)

Tyto povodně vznikají během náhlého tání sněhové pokrývky v kombinaci s dešťovými srážkami. Déšť způsobuje neúměrnou akceleraci sněhové pokrývky, která vzápětí spolu s dešťovými srážkami zapříčiní zrychlený odtok vody. K rychlejšímu tání sněhu výrazně přispívají povětrnostní podmínky, teplota vzduchu, zámrz půdy atd. (Merz a Blöschl 2004).

3.3.2.1.5 Povodně zvláštní

Posledním typem povodní jsou takzvané zvláštní povodně. Tento typ je způsoben neočekávanou havárií hydrotechnických zařízení. Nejčastější příčinou bývají závady na hrázi rybníků a nádrží. Jejich výskyt je sice výjimečný, ale o to ničivější. Při havárii vznikne silná a objemná povodňová vlna, která likviduje vše, co jí stojí v cestě. Pod nádržemi se často nachází zastavěné území, které nemá potenciál ustát ničivé účinky povodňové vlny. Roku 1916 byla protržena hráz doposud nenaplněné přehrady Bílá Desná. Povodňová vlna zaplavila

městečko Desná a Tanvald. Při této havárii zahynulo 62 lidí. O tom, že se v minulosti nejednalo o až tak výjimečné situace, mohou svědčit například havárie nádrží Pilská (1854) a Láz (1857). Oproti Desné se však naštěstí jednalo o havárie daleko menších rozsahů. A relativně nedávno jsme se stali svědky dalších havárií regulačních a protipovodňových hrází.

Podle charakteru situace, která může nastat, rozlišujeme tři typy zvláštních povodní (Hodovský 2005):

- Zvláštní povodeň typu 1 – je zapříčiněna protržením hráze vodního díla.
- Zvláštní povodeň typu 2 – je zapříčiněna neřízeným odtokem vody, a to kvůli poruše na hradicí konstrukci bezpečnostního nebo výpustného zařízení vodního díla.
- Zvláštní povodeň typu 3 – jde o nouzové řešení kritické situace, která ohrožuje bezpečnost vodního díla, a to mimořádným vypuštěním vody z vodního díla.

3.3.2.2 Následky

Následky kumulace průtoků jsou přímo závislé především na skutečnosti, zda byla zasažena urbanizovaná krajina. Škody povodní můžeme rozdělit do tří základních oblastí: ztráty na životech, ekologické škody a ekonomické škody.

3.3.2.2.1 Ztráty na životech

Příčinou ztrát na životech je v případě vyspělé technologické společnosti z větší části selhání informačních a varovných systémů. Další významnou příčinou je nedisciplinovanost a rizikové jednání jednotlivců. Při povodních v roce 1997 utonulo 60 osob, v roce 2002 povodně vzaly 19 životů. Významnou část těchto obětí můžeme přičíst následkům neopatrného jednání. Z hlediska rozsahu těchto událostí a ve srovnání se světem je však tento počet obětí relativně nízký. Od roku 1997 se u nás opatření na záchranu obyvatelstva výrazně zlepšila. Proto můžeme konstatovat, že i když nemůžeme nikdy zajistit stoprocentní bezpečnost, je systém varování obyvatel na území České republiky na vysoké úrovni (Hladný 2007).

3.3.2.2.2 Ekologické škody

Ekologické škody jsou přímo závislé na industrializaci zasaženého území. Samotné povodně v prostředí, které nezaznamenalo zásah člověka, nepředstavují ekologickou škodu, protože jsou součástí přírody. Větší nebezpečí představují urbanizované oblasti. Vzhledem k systémům našich kanalizačních svodů a umístění čističek může dojít k vyplavení těchto objektů a následné kontaminaci povrchových vod. Vzhledem k charakteru znečištění a značnému naředění nemají tyto škody významný dopad. Nejvyšší stupeň nebezpečí představují

průmyslové aglomerace. Narušení objektů chemického průmyslu nebo objektů, jejichž technologie zajišťují vodohospodářsky rizikové látky, může způsobit nevratné ekologické škody (Hladný 2007).

3.3.2.2.3 Ekonomické škody

Ekonomické škody jsou přímo závislé nákladech, které společnost vynaloží k zajištění obnovy do původního stavu. Nejedná se tak zdaleka pouze o majetek občanů a státu. Ekonomicky se tak vykazují i ztráty na vodní populaci, utonulá zvíř, úpravy toků, ale i kulturní ztráty (vyplavení archivů a muzejních depozitářů). Povodně tak svou ničivou silou ohrožují celou společnost. Proto závěrečné bilance šplhají do závrtných výšek. Například škody v roce 1997 dosáhly výše 63 miliard Kč a vyčíslení škod v roce 2002 se vyšplhalo na 73 miliard Kč (Čamrová et al. 2006).

3.4 Voda v souvislosti s různými faktory

3.4.1 Zadržování vody v půdě

Samotná pedosféra společně s biosférou tvoří subtilní hranici mezi masivní, dynamickou atmosférou a neméně objemnou, relativně stabilní litosférou. Půda se tak stává místem mnohých jevů spojených s vodou. Ze strany atmosféry se jedná především o vertikální srážky, ale nemalý vliv na udržování vlhkosti celého systému mají i ty horizontální. Velkou roli, jak kladnou, tak i zápornou, pak má na celý koloběh i teplotní proměnlivost atmosféry. Z opačné strany modulují celý proces hladiny spodních vod a jejich vývěry. To vše pak společně s vlastnostmi půdy ovlivňuje retenční schopnosti, které zajišťují příznivé životní podmínky. Na druhou stranu kombinací nepříznivého půdního profilu, rizikového reliéfu a nevhodné bioty mohou kvůli nedostatečné retenci vzniknout významné škody (Tomášek 1995; Vopravil et al. 2010; Skála et al. 2021).

Půda se skládá ze tří základních složek: pevné, kapalné a plynné. Pevná část půdy se rozděluje na anorganickou složku (jíl a písek) a na organickou složku (humus, odumřelé organismy a rostlinné zbytky). Do pevného podílu musíme započítat i skutečnost, že půda je plná života a nachází se v ní mnoho živočichů, kořenů rostlin a mikroorganismů, které se účastní na mnohých půdních procesech. Části půdy, kde se nalézají plynná nebo kapalná složka, se nazývají půdní póry. Tyto póry mají různé velikosti – od mikroskopických pórů po makroskopické trhliny. Mají i velmi rozličné tvary a původ – prostory zanechané po rostlinách či půdních živočiších (Tomášek 1995; Vopravil et al. 2010).

Hlavním zdrojem vody v půdě jsou atmosférické srážky, které infiltrují do půdy, a podpovrchová voda, která vzlíná vzhůru.

Voda v půdě se označuje jako půdní voda. Smolíková (1988) pojmem půdní voda označuje veškerou vyskytující se vodu v půdě ve všech třech skupenstvích. Dle Rejška a Váchy (2018) půdní vodu lze dělit do tří skupin:

- Gravitační – její pohyb je iniciován gravitací.
- Absorpční – koloidními silami je voda vázána k tuhým půdním částicím.
- Kapilární – jde o vodu vzlínající.

Bez působení vody by v půdě nemohly probíhat biologické, chemické či fyzikální pochody, pouze fyzikální rozpad. Vliv na hladinu vody v půdě mají atmosférické srážky, reliéf povrchu, svažitost terénu, vlastnosti substrátu, složení vegetace a samozřejmě činnost člověka. Ve vodním režimu půdy se střídají dvě fáze: akumulační fáze (při nižším matričním potenciálu) a perkolační fáze (při překročení určité hodnoty matričního potenciálu). V akumulační fázi půda vodu zadržuje v půdních pórech a téměř neodtéká do podloží (Cílek et al. 2017).

Množství vody není stálé, závisí na tom, zda převažuje sycení půdy atmosférickými srážkami nebo výdej vody na evapotranspiraci. V případě zvýšeného příjmu vody, které vede k překročení určité hodnoty matričního potenciálu, nastává perkolační fáze. Půda má schopnost tzv. vododržnosti (ta je závislá na obsahu humusu v půdě), při níž je navázáno velké množství vody na organické koloidy. Tato schopnost je ovlivněná strukturou půdy, zrnitostí a fyzikálně chemickými vlastnostmi (Tesař et al. 2001).

Při doplňování zásob pozemní vody je velmi důležitý průnik povrchové vody prostřednictvím infiltrace. Infiltrace vodních srážek či závlahy za pomoci gravitační a molekulární síly jsou ovlivněny složením mateční horniny, zrnitostí a strukturou půdy. Zvláště důležité je, na jaký povrch voda působí, zda na travnatý nebo lesní porost, zastavěný povrch či utuženou nebo zoranou půdu (Cílek et al. 2017).

Označení „voda zelená“ (vegetací využívanou) použil Cílek et al. (2007) pro vodu skrytou v půdních pokryvech. Také tvrdí, že v 1 m² půdního pokryvu je průměrně 150 až 300 litrů vody. V souši na Zemi se odhadem váže 60 000 km³ vody do půdy. Dále prohlásil, že půda je banka, do které ukládáme vodu.

Rychlost vstřebávání vody do půdy je veličinou, která přímo ovlivňuje zásoby podzemní vody. V případě situace, kdy atmosférické srážky jsou intenzivní a nestačí se infiltrovat do půdy, dochází k hortonovskému odtoku. Při tomto ději voda stéká po povrchu půdy. K hortonovskému odtoku dochází převážně ve vlhkých oblastech, kde hladina podzemní vody je vysoká, a proto se další voda nemůže vsakovat. Ale tento jev můžeme pozorovat i mimo vlhké oblasti na narušených půdách s intenzivním zemědělstvím kde je infiltrační schopnost snížena. Nenarušené půdy mají infiltrační kapacitu okolo 200 mm/hod. Tuto hodnotu

konvektivní deště nedosáhnou, proto na nenarušených půdách k hortonovskému odtoku nedochází (Batjes 1996).

Druhý druh odtoku probíhá pod povrchem půdy – nehortonovský odtok. Nastává při dosažení perkolační fáze, kdy se voda již v půdě nezadržuje. Na rozdíl od hortonovského odtoku stačí menší intenzita srážek. Jeho hodnota klesá pomaleji a pokračuje i po skončení srážek. Můžeme ho dále dělit na hypodermální odtok (probíhá v mělkých vrstvách, kde se ještě nacházejí vzduchové póry) a bazální odtok (probíhá ve vrstvách zcela nasycených vodou (Batjes 1996).

Také může nastat situace, kdy se podpovrchová odtékající voda dostane k půdě, která je už nasycená vodou. Zde dochází k zpětnému toku. Voda se zpátky dostává na povrch a teče po něm. K tomu dochází převážně tehdy, když odtok probíhá v blízké vzdálenosti povrchu ve svažitém terénu. Při déletrvajících srážkách dochází k rozšiřování nasycené zóny nahoru do svahu, což má za následek posouvání linie přechodu od podpovrchového odtoku k povrchovému (Batjes 1996).

Nesmíme opomíjet i další faktory, které působí na retenční schopnosti půdy. Jsou to půdní vlastnosti (půdní typ, utužení nebo skeletovitost) a sklon svahu. Je zřejmé, že s rostoucím svahem roste odtok a klesá infiltrace. U propustnějších půd se podíl vsáknuté vody výrazně snižuje s rostoucím svahem. U méně propustných půd není rozdíl tak výrazný. Vodozadržnost záleží také na krajinném pokryvu. Hlavní roli tady hrají typ vegetace a způsob využití krajiny člověkem (Mu et al. 2015). To bude popsáno v další části bakalářské práce.

Chang et al. (2021) ve své studii zjistili, že přidání biouhlí do půdy má příznivé účinky na fyzikální vlastnosti půdy, zejména pufrování pH půdy a snížení objemové hmotnosti, čímž je zvýšená pórovitost a provzdušnění půdy. To má pozitivní účinek na retenci vody a podporuje růst kořenů rostlin. Podle Soenne et al. (2020) ale není tento postup tak lákavý, aby ho často zemědělci používali, ale mohl by sloužit ke zmírnění změny klimatu a jako dlouhodobé uložení uhlíku.

3.4.1.1 Zrnitost půdy

Retenční schopnost půdy výrazně ovlivňuje zrnitost půdy. Proměnlivá textura s odlišnými velikostmi povrchové plochy, koloidních i kapilárních sil a poměrů půdních pórů rozhodujícím způsobem limituje objem vody vázané v půdě. Zrnitost půdy je závislá na anorganické složce půdy, kterou především tvoří primární a sekundární minerály. Na základě zrnitosti může docházet k různým extrémům. Méně propustné půdy mají vysoký obsah jílu. Naopak propustné písčité půdy nemají téměř žádnou sorpční schopnost a půdy rychle vysychají (Tindall 1999).

3.4.1.2 Humus

Retenční schopnost půdy také ovlivňuje obsah organické hmoty v půdě. Ta zvyšuje infiltrační schopnosti a má vliv i na celkovou retenční kapacitu. Humifikací zbytků rostlin a těl živočichů vzniká v půdě humus. Tento proces je závislý na půdních mikroorganismech, zrnitosti, provzdušnění, teplotě a vlhkosti půdy (Urban 2012).

Rozkládající se organická hmota má schopnost na sebe vázat velké množství vody. Uvádí se, že 1 kg humusu je schopen na sebe navázat až 3 l vody, minerální půda pouze 0,5 l. Variabilita je zejména zapříčiněna velkým rozdílem objemu humusu se specifickým povrchem v půdě (Úlehla 1947).

V půdní hmotě je možné nalézt mnoho organismů: kořenové systémy, bakterie, řasy, houby i větší organismy. Specifické a důležité postavení v půdě mají žížaly. Ty zpracovávají organický materiál, mísí a provzdušňují půdu. Prochází její různé vrstvy. Produkty žížal významně ovlivňují strukturu půdy a vodní režim v půdě (Austin et al. 2004; Rejšek a Vácha 2018).

3.4.1.3 Důležité veličiny a metody měření půdní vlhkosti

Porozita půdy je důležitá veličina pro retenci vody, kterou se označuje podíl půdních pórů k celkovému objemu půdy. Vyjadřuje se v procentech a nejčastěji se hodnoty pohybují mezi 30 a 70 %. Výjimkou jsou rašelinné půdy, tam se hodnota může přiblížit 90 %. Čím je půda poréznější, tím v sobě dokáže zadržet více vody (Nimmo 2004).

Další důležitou veličinou pro retenci vody je saturace. Saturace označuje objem pórů zaplněných vodou. Vyjadřuje tedy to, z jaké části je využit retenční prostor (Muñoz-Carpena 2021).

Matriční potenciál je výsledkem adsorpce (schopnost vody přiléhat k povrchu půdních částic a agregátů) a kapilarity (pohyb vody v tenkých pórech proti gravitační síle). Ten nám ukazuje, jak se zadržaná voda v půdě bude chovat. Potenciál pod bodem vadnutí (pF 4,19) poukazuje na suchou půdu, ze které rostliny nemohou získat vodu. Optimální hodnota matričního potenciálu značí, že voda v půdě je zadržena, ale již je dostupná pro rostliny. Při vyšším potenciálu už není voda zadržována, ale dochází k jejímu pohybu a promývání půdy (Batjes 1996).

Retenční kapacitou půdy můžeme nazvat množství vody, které je obsaženo v půdě ve chvíli, kdy začíná perkolační fáze. Tuto kapacitu ovlivňuje: druh, struktura a mocnost půdy, intenzita srážek v souvislosti s infiltrační kapacitou půdy a množství organické hmoty. Pro určení hodnoty retenční kapacity existuje mnoho metodik. Proto mezi jednotlivými autory nejsou tyto výsledky vždy srovnatelné. Nejkompletnější data nalezneme v mapových

podkladech Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, které byly vytvořeny na základě komplexního průzkumu půd v letech 1961–1970 (Muñoz-Carpena 2021).

Půdní vlhkost můžeme měřit několika metodami, které můžeme rozdělit do několika skupin. Podle kritéria využitelnosti na laboratorní a polní. Dále můžeme metody dělit podle odběru půdního vzorku na destruktivní a nedestruktivní. Nejčastěji se ovšem používá dělení na přímé a nepřímé. Přímé metody jsou založené na stanovování přesného obsahu vody v půdě. Nepřímé metody jsou naopak založené na stanovování jiné veličiny, která je na vlhkosti závislá, např. elektrického odporu. Metodu pro konkrétní měření vybíráme podle instalace, požadované přesnosti měření, době trvání a finančních možností (Muñoz-Carpena 2021).

Do přímé metody řadíme především gravimetrickou (navážkovou) metodu. Touto metodou můžeme vyjádřit hmotnostní i objemovou vlhkost půdy, proto se u ostatních metod využívá jako kalibrační měření. Pro jednorázové měření je tato metoda velmi spolehlivá, díky ní dokážeme přesně vyčíslit veškerou vázanou vodu v půdním profilu. Provádí se tak, že se do půdy zakope speciální kovový váleček (o určitém objemu a předem zvážený) a následně se vyjme (proto metoda destruktivní). Váleček se vzorkem je zvážen a vysušen při stanovených podmínkách (100–110 °C) do ustálení hmotnosti vzorku. Teplota je závislá na vlastnostech stanovované půdy, množství humusu a jílových minerálů; ve vyšším obsahu těchto částí se můžeme dostat až na teplotu 160 °C. Dále lze zjistit objemová hmotnost suché půdy a hodnota pórovitosti (Bear 1975; Muñoz-Carpena 2021).

U nepřímých metod se převádí jiná naměřená veličina na obsah vody v půdě podle kalibrovaného vztahu.

U radiometrické metody se standardně používají dvě radiometrické metody. Neutronová metoda se provádí prostřednictvím neutronové sondy, která zaznamenává zpomalení vysokorychlostních neutronů pomocí jader atomů vodíku v půdě. Gamaskopická metoda měří útlum gama paprsků při průchodu půdou (Arnell 2014).

Odporové metody měří velikost odporu v prostředí pomocí elektrické sondy uložené v porézním médiu. Tyto metody jsou levné, ale méně přesné (Arnell 2014).

Dielektrické metody určují obsah půdní vody pomocí rychlosti šíření elektromagnetické vlny nebo impulsů půdou (Muñoz-Carpena 2021).

Mezi ostatní metody se řadí dálková měření. Jednou z možností je dálkový průzkum země (DPZ). DPZ má dvě podstaty. První je, že změnou v množství vody je pozměněno i její spektrální chování. Druhou podstatou je, že díky změně půdní vláhly dochází k fyziologickým změnám vegetace (Chen et al. 2008).

Další z možností je Ground Penetrating Radar (GPR). Tato metoda využívá elektromagnetické vysílání a příjem vln pomocí antén.

K měření v terénu se využívá tenzometr, který měří sací tlak půdy. V jeho spodní části se nachází perforovaná keramická nádoba, manometr v horní části přístroje snímá změny tlaku (Muñoz-Carpena 2021).

3.4.1.4 Negativní vlivy

Kvalita půdy je ukazatel, který spolu s časem jeví značnou proměnlivost. V současnosti však dochází k masivnímu zhoršování kvality půdy. Některé půdní procesy jsou urychleny vlivem klimatických změn a antropogenní činnosti. Tento děj se nazývá degradace půdy a zásadně snižuje retenci vody. Dělí se na přirozenou (eroze, zasolení a okyselování půdy) nebo způsobenou lidskou činností (chemická, fyzická a biologická). Tyto procesy mají i své původce. Do fyzikální degradace půdy se řadí: eroze, zábor, utužení, rozpad půdních struktur, sesuvy, desertifikace nebo odvodnění. Chemická degradace půdy probíhá zasolováním, kontaminací, acidifikací, eutrofizací a ztrátou živin. Biologickou degradací půdy je myšleno snížení obsahu humusu a organismů (Rejšek a Vácha 2018).

Půdní eroze je rozrušovací proces, který vymílá půdní povrch větrem, vodou, sněhem i ledem. V jeho důsledku dochází k přesunu uvolněných částic, což vážně ohrožuje půdní vrstvu. Erozi způsobují přívalové deště a povodně. Intenzita závisí na odolnosti půdy, svazitosti terénu, délce svahu a rostlinném pokryvu. Větrnou erozí jsou odnášeny převážně půdní částice z narušeného terénu. Půdy náchylné k větrné erozi jsou vysušené a velké plochy (nedělené lány polí) (Stonawski 1993).

Stonawski (1993) označuje půdu jako biologický filtr, který akumuluje, přeměňuje a zneškodňuje řadu škodlivých látek. Aby tento filtr byl účinný, je nutné udržovat půdu živou (biologický život organismů). V dnešní době jsou však některé pozemky velmi chudé na biomasu půdních organismů. Dříve se u zdravého pole počítalo několik stovek kilogramů žízála na jeden hektar pole. Na vině je úbytek organické hmoty, který snižuje příznivé podmínky pro život a retenční schopnost.

Při ztuhnutí půdy dochází k úbytku pórů, zhoršení přístupu vody a vzduchu pro rostliny a tím i k poklesu mikrobiální činnosti. Tímto způsobem deformovaná půda ztrácí schopnost infiltrovat vodní srážky do půdních vrstev. Důsledkem ztuhnutí půdy je dlouhodobé nesprávné hospodaření na zemědělské půdě – například při pojezdu těžké techniky při obdělávání orné půdy nebo intenzivní pastvou dobytka. Na obrázku 3 můžeme vidět koleje po průjezdu traktoru a na obrázku 4 můžeme vidět utužení půdy na místě častých přejezdů těžké techniky (Rejšek a Vácha 2018).



Obr. 3 – Koleje od těžké techniky v poli v blízkosti obce Myť
(Zdroj: Vondrášková 2020)



Obr. 4 – Utužená místa po těžké technice na poli v blízkosti obce Štítov
(Zdroj: Vondrášková 2021)

Meliorační procesy, které u nás probíhaly v minulosti převážně za účelem zvýšení množství ploch využitelných k zemědělství, došlo k odvodnění důležitých částí krajiny. Ale rovněž k narušení vodního režimu prostředí odvodněním a regulací některých toků. Těmito zásahy se zrychluje vysychání krajiny a dochází k úbytku biodiverzity (Pokorný 2014).

Desertifikace se nazývá proces, kdy dochází k přeměně úrodné půdy negativními vlivy na neúrodnou. Desertifikace snižuje produkci a výnosy ze zemědělských plodin a nárůst biomasy. Ztráta vody v životním prostředí neovlivňuje nejen lidstvo, ale i plno krajinných funkcí. Desertifikace probíhá následkem klimatických změn, ale taktéž je ovlivněna nesprávným hospodařením na zemědělských půdách. Desertifikace může ovlivnit život až jedné šestiny populace (Moldan 2001).

Zábor půdy je nevratný proces, kdy v důsledku stavební činnosti dochází k odstranění půdních vrstev. Překrytí nepropustným povrchem způsobuje stav, kdy půda ztrácí své schopnosti.

3.4.1.5 Opatření k ochraně půdy

Na základě výše uvedeného vyplývá, že dopady na kvalitu a funkci půdy je nutno minimálně zastavit. Naopak bychom měli ochránit a obnovit přirozené funkce půdy. I když je v České republice zemědělský půdní fond chráněn zákonem o ochraně zemědělského půdního fondu (č. 334/1992 Sb.), bude nutné k zastavení nepříznivého trendu učinit mnoho dalších opatření. A to jak v české, tak i v mezinárodní legislativě, kde se alespoň na evropské úrovni objevuje snaha o standardizaci zemědělských postupů.

Podle Machálka a Pěchura (2008) jsou standardy GAEC (Standardy dobrého zemědělského a environmentálního stavu půdy, DZES) v evropské legislativě zaměřeny převážně na kvalitu půdy. Požadují minimální údržbu zemědělských pozemků, kde nesmí dojít k poškození stanovišť volně žijících živočichů a rostlin. Dále má GAEC v oblasti půdní ochrany řešit půdní erozi, obsah organických látek v půdě a půdní struktury.

Seznam standardů:

- ochranné pásy podél vodních toků;
- zavlažovací soustavy;
- ochrana podzemních vod před znečištěním;
- minimální pokryv půdy;
- minimální úroveň obhospodařování půdy k omezení eroze;
- zachování úrovně organických složek půdy, včetně zákazu vypalování strnišť;
- zachování krajinných prvků a opatření proti invazním druhům rostlin.

Výzkum od Wulanningtyas et al. (2021) potvrzuje dobrý vliv na kvalitu půdy, obsah organického uhlíku a akumulaci vody při bezorbém zemědělství a zařazení meziplodin.

3.4.2 Zadržování vody v krajině

Celá tisíciletí bylo území naší republiky vodou přímo nasáklé. Přirozeným prostředím byly močály, lužní lesy, nivní louky nebo rašeliniště. Naše toky plné tůní přirozeně meandrovaly krajinou. V takto na vodu bohatém prostředí se zákonitě rozvinuly variabilní biotopy, jejichž prostřednictvím voda zajišťovala pro život nezbytný transport živin a polutantů. Před několika málo desetiletími však do našeho přirozeného soužití s vodním živlem začaly zasahovat ekonomické a hospodářské zájmy. Postupně se stalo společenským trendem vysušit a odvodnit každé možné místo, které mělo být následně hospodářsky využito. Pokorné soužití s vodním živlem se změnilo v násilné krocení vody a její přeměnu v pokorného sluhu.

Současnost je jasným důkazem toho, že naše snahy ovládnout vodu přinesly mimo krátkodobě stoupajících ekonomických ukazatelů rozsáhlé narušení systému udržování vody v krajině. Je tedy na čase, abychom si uvědomili, že voda je významným krajinným prvkem a složkou, na které je závislý každý ekosystém včetně nás samých. Specifické složky naší krajiny, které vyžadují naši prioritní péči, jsou místa s přirozeným nahromaděním většího množství vody. Vodní plochy, kde je voda zadržena na povrchu nebo pod povrchem, tvoří specifické ekosystémy (Pokorný 2014, Ritzema et al 2016).

3.4.2.1 Vodní plochy

V našich klimatických podmínkách jsou primárním zdrojem povrchových vod atmosférické srážky, ale příjem vody může probíhat i prostřednictvím podzemní vody. V základním rozdělení oblastí zadržování povrchových vod rozeznáváme přírodní vodní plochy (jezera) a uměle vytvořené (rybníky a nádrže). Pohyb takto stabilizované vody probíhá relativně pomalým tempem, zato však voda proniká do všech směrů. Proto vznikají uzavřenější ekosystémy se zřetelnějšími hranicemi (Pokorný 2014).

Mezi základní funkce každé vodní plochy patří její schopnost retence vody. V našich podmínkách jsou vodní plochy převážně napájeny přítoky. Výše hladiny vody je tedy proměnlivá a přímo úměrná poměru vody přitékající a vody odtékající. Retenční kapacita se pak jednoduše určí jako rozdíl mezi aktuální hladinou a nejvyšší možnou hladinou. Schopnosti retenční kapacity vodních ploch můžeme nejlépe demonstrovat na příkladu z nedávných povodňích (2002). Pouze rybníky na Třeboňsku zadržely přibližně 110–140 milionů m³ vody. Pokud k tomuto údaji přičteme schopnost retence krajiny v okolí těchto rybníků, množství zadržené vody přesahuje 200 m³. Tento jev tedy zpomalil kulminaci povodně na Lužnici víc než o 60 hodin (Lhotský 2006).

Retenční kapacita závisí na mnoha faktorech. U všech vodních ploch retenční kapacita klesá se zvyšujícím se zanesením sedimenty. Z tohoto důvodu u ploch, kde je to možné, je důležité pravidelně provádět odbahnění (rybníky). Vzniklé sedimenty jsou z větší části důsledkem eroze v okolí povodí, která je zapříčiněná nevhodným zemědělským nebo lesním hospodářstvím. Možností, jak zvýšit retenční kapacitu, je také udržování co nejnižší hladiny. Takovéto opatření je však v nesouladu s většinou funkcí vodních ploch, a především s hospodářským a rekreačním využitím (Lhotský 2006).

3.4.2.2 Mokřady, rašeliniště, tůně

Důležitými, i když z pohledu veřejnosti opomíjenými prostory, jsou mokřady. Ty můžeme definovat jako území trvale mělce zatopené nebo podmáčené plochy se specifickou vegetací, které takto vytváří přechod mezi suchozemskými a vodními ekosystémy. Anoxické prostředí v mokřadech je příčinou výrazné akumulace organické hmoty. Tím se potenciálně zvyšuje retenční kapacita oproti minerálním půdám. V tomto prostředí je sice značná část retenčního prostoru po většinu času zaplněna mokřadní vodou, ale v období, kdy hladina přechodně klesne a půda vystoupí na povrch, vznikne prostor pro možnou retenci srážkové vody. Tímto způsobem se po delším suchu zachytí velké množství srážkové vody. Navíc díky typickým mokřadním rostlinám a snáze dostupné vodě zde bývá vysoká transpirace, která vede k posílení malého vodního cyklu. Tak dochází k opětovnému snižování hladiny vody a zvýšení retenční kapacity pro další srážky. Mokřady se nejčastěji nacházejí v údolních nivách, kde jsou často při povodních zaplavovány vodou. Přirozený profil, který funguje na obdobném principu jako nádrže, vytváří další retenční kapacitu (Pokorný a Lhotský 2006; Ritzema et al 2016).

Tůně jsou přirozenou součástí mokřadů i lidskou činností nedotčených toků. Jedná se o prohlubně v terénu zaplavené vodou a v případě vodních toků se zpravidla jedná o oddělení mrtvých ramen. Tůně vznikají samovolně a mohou mít různou velikost, zadržují však vodu nejméně na čtyři měsíce v roce. Tůně významným způsobem umocňují biodiverzitu a významně se podílí na rozvoji i stabilizaci ekosystémů příznivých ke klimatickým podmínkám (Pokorný a Lhotský 2006).

Ojedinelým typem mokřadů jsou rašeliniště. Voda je zde vázaná v setrvačně přirůstajících porostech rašeliníku. U rašeliniště na rozdíl od mokřadů existuje otázka, zda je vhodné je odvodňovat, aby se navýšila retenční kapacita prostředí. Vyplynula ze zjištění, že při rychlém vzestupu odtoku po intenzivních srážkách a nízkém odtoku v období sucha se nabízelo zvýšení průtoku. Je tedy otázkou, zda toto zjištění má obecnou platnost. Rychlý odtok značí přechod z akumulační do perkolační fáze. Aby k tomuto ději mohlo dojít, měla by být rašelinná půda při začátku srážek před koncem akumulační fáze a tomu tak nemusí vždy být (Janský a Kocum 2008).

Oproti tomu je neoddiskutovatelným faktem skutečnost, že půda po vysušení podmáčených územích ztrácí obsah organické hmoty a dochází k její mineralizaci. Další rizikem odvodnění je klesání terénu, čímž dochází ke snížení objemu půdy, a to zejména pórů, ve kterých se může akumulovat voda. Protože oba tyto faktory působí na zadržení vody v půdě negativně, lze předpokládat, že z dlouhodobého hlediska odvodnění rašelinišť vede pouze ke krátkodobému navýšení retenční kapacity. A je tedy otázkou, zda krátkodobé navýšení retence výměnou za dlouhodobé omezení ekologické funkce rašelinišť má vůbec smysl (Pokorný a Lhotský 2006, Ritzema et al 2016).

Mimořádné postavení vody v oblasti zachování kvalit krajinného prostředí je zakotveno dokonce v nadnárodní úrovni. Biotopy mokřadů jsou chráněny Ramsarskou úmlouvou vzhledem k jejich mezinárodnímu významu pro vodní ptactvo a své ekosystémové funkce. Tato úmluva byla podepsána 2. února 1997 a tento den se tak stal Světovým dnem mokřadů (Warner 2002).

Pro udržení zdravé krajiny a zlepšování krajinných funkcí se jeví jako nezbytné zachovávat mokřadni biotopy, které mají velkou absorpční schopnost a dokážou postupně uvolňovat vodu do prostředí. Proto je velice vhodné na původních stanovištích mokřadů budovat a udržovat tůňe či vytvářet nové mokřadni plochy. Ministerstvo životního prostředí i Ministerstvo zemědělství doporučují a podporují projekty k obnově a údržbě těchto biotopů.

3.4.2.3 Údolní nivy

Dalším místem v krajině, kde se akumuluje voda je údolní niva, kterou můžeme definovat jako část údolního dna ohraničeného spodními hranami svahů a zaplavovaného při povodních (Pithart et al. 2012). V neporušené přírodní podobě je niva komplexní systém, který tvoří meandrující tok a další vodní útvary jako slepá ramena, tůňe či jezera, která vznikla z bývalých přerušovaných meandrů, a mokřady. Do komplexního systému spadá i propojení se spodní vodou, kdy dochází ke zvyšování její zásoby za příznivých podmínek. V sušším období podzemní voda zlepšuje průtok vody v toku. Podzemní voda v nivě může být dokonce u menších toků v období extrémního sucha hlavním zdrojem vody (Štěrbá 2008; Ritzema et al 2016).

Významný přínos má niva v průběhu povodní, kdy funguje jako mělká, ale rozsáhlá retenční nádrž. Při metrové výšce hladiny se na každém hektaru přirozené údolní nivy zadrží 10 000 m³ vody. Příznivé jevy spojené s údolní nivou se ale projevují pouze u niv, které nebyly poznamenány lidskou činností. Pokud byla niva v minulosti upravena odvodněním nebo byly rovnány meandry a toky více zahloubeny, přichází o své retenční schopnosti (Pithart et al. 2012; Ritzema et al 2016).

3.4.2.4 Opatření k udržení vody v krajině

3.4.2.4.1 Malé vodní nádrže

Tvorba malých vodních nádrží na drobných tocích má pozitivní vliv na zlepšení retence, akumulace a možné využití vody v suchém období. V srážkově nepříznivých obdobích totiž mohou také sloužit jako mokřady. Avšak tyto vodní nádrže by se neměly stát útočištěm invazivních nebo nepůvodních druhů (např. střevličky východní) či se stát v důsledku eutrofizace zdrojem zhoršení kvality vody (Dzuráková et al. 2017).

3.4.2.4.2 Opatření na vodních tocích a v nivách

K opatřením na vodních tocích a nivách patří revitalizace a renaturace toku, realizace tůň a mokřadních ploch. Tato opatření napomáhají akumulaci vody v podzemí, obnovení vodních biotopů a podporují samočištění. Při provádění úprav toků je důraz kladen především na migrační prostupnost, umožnění rozlivů, výstavbu tůň a vodních ploch nebo obnovu potenciálně přirozené nivní vegetace (Hulse 2004; Pithart et al. 2012).

3.4.2.5 Shrnutí

V současnosti je u nás snížena rozloha vodních ploch na třetinu oproti historické době (původní rozsah 1,3 milionu ha, z toho zachováno asi 350 000 ha). Drobné vodní plochy sice nijak významně tuto rozlohu nenavýšují, ale jsou pro krajinu velice prospěšné. Zlepšují mikroklima a tím napomáhají prevenci vzniku sucha. Přirozeně akumulují vodu v krajině a zároveň poskytují lokální zdroje vody. Neměli bychom opomíjet ani schopnost samočištění a dekontaminace vody v těchto krajinných prvcích. I když jsou dnes chráněny a je podporována jejich výstavba i obnova, k obnově původního stavu bude nutné v této činnosti pokračovat ještě několik desetiletí.

3.4.3 Zadržování vody v lese

Ačkoliv lesní porosty pokrývají pouhou třetinu našeho území, jsou velice významným činitelem v oblasti retence vody v krajině. Naše lesy nejsou nijak druhově rozmanité. Nejčastější dřevinou je smrk, který s padesátiprocentním zastoupením vytváří v mnohých oblastech rozsáhlé monokultury. Listnaté stromy představují pouhých třicet procent. Mezi listnatými stromy mají majoritní postavení dub a buk, každý přibližně desetiprocentním zastoupením. V naprosté převaze jsou lesní plochy uměle vytvořenými celky. Jde o se záměrnou výsadbu za účelem vypěstování dostatku dřeva. Druhovú skladbu těchto porostů podléhá potřebám produkce co největšího objemu dřevní hmoty pro průmyslové zpracování nebo k využití jako palivo. Les má však mimo těchto produkčních účelů mnoho dalších – společensky už poněkud méně vnímaných – funkcí. Výrazně ovlivňuje cyklus uhlíku, produkuje významný objem nezbytného kyslíku, zadržuje a postupně uvolňuje vodní srážky a filtruje

půdní vody. je důležitý pro půdotvorné procesy, je schopen ovlivňovat klima uvolňováním vodních par a modulací malého vodního cyklu. Lesní porost plní i hygienické, ochranné, krajinné, rekreační, estetické nebo léčebné funkce a je taktéž zdrojem biodiverzity (Kantor a Šach 2002).

Naše lesy mají pro svou vodohospodářskou funkci ideální polohu. Nad zalesněným územím spadne většina atmosférických srážek, protože se nacházejí z větší části v horských oblastech, kde jsou srážkové úhrny vyšší (Kantor a Šach 2002). Kantor a Krečmer (2003) také tvrdí, že lesy dokážou zachytit oproti jiným krajinným pokryvům pětkrát až devětkrát více vody.

3.4.3.1 Příčiny větší retence vody v zalesněné krajině

Příčiny, proč lesní porost zvládá zadržovat několikanásobný objem vody, jsou velice rozmanité. Jejich schopnosti jsou navíc limitovány závislostí na mnoha faktorech. Mezi nejvýznamnějšími si můžeme jmenovat vlivy druhové skladby lesního porostu, skladbu geologického podloží nebo klimatické podmínky dané oblasti (Kantor a Šach 2002).

3.4.3.1.1 Intercepce

Intercepce představuje objem srážek, který nedopadá na zemský povrch. Tato voda je vázána silami povrchového napětí vegetačního krytu. Všeobecně stromy na svém povrchu zachytí více vody než bylinný pokryv. Také je u nich výraznější rozdíl intercepce v závislosti na druhu. Jehličnaté stromy vzhledem ke značnému počtu a hustotě jehličí zadrží mnohem více srážkové vody. Oproti tomu listnaté stromy s větší plochou, ale menším počtem listů, mají pouhou třetinu kapacity jehličnanů. Takto zadržená voda je zčásti využita pro potřeby rostlin a zbytek podléhá evaporaci. V případě lesních ploch je tento proces výrazně umocňován plošným výskytem lišejníků a mechů, a to díky obecně známé schopnosti sobě zadržovat v sobě vodu. Kantor a Krečmer (2003) tvrdí, že les je tímto způsobem schopen zadržet 8–18 % z celkového množství spadlých srážek. Krämer a Hölscher (2009) u tohoto jevu rozlišují potenciál podle intenzity srážek. Uvádějí, že ze slabších srážek se jedná až okolo 30 %, u silnějších má intercepce větší smysl jen v počáteční fázi.

Právě u výraznějších srážek často dochází k situaci, kdy intercepční zachycená voda dále stéká po větvích a kmeni přímo ke kořenům (převážně u stromů s hladkým kmenem – buku). Podél kořenů se tato voda může snáze dostat do hlubších vrstev geologického podloží. Výzkum z Německa, který byl prováděn na listnatých stromech, ukazuje, že množství takto zachycené vody kolísá od 0,5 % do 6 % celkového objemu srážek (Krämer a Hölscher 2009; Peng et al. 2019).

3.4.3.1.2 Lesní bioklimatické podmínky

Z hlediska bioklimatických podmínek vykazuje lesní prostředí určitý stupeň stability a setrvačnosti, a to vzhledem k prostorům vně lesního porostu. Mezi typické faktory patří především nižší průměrná teplota, vyšší vlhkost, slabší cirkulace vzduchu a zastíněná půda. Souběh těchto faktorů vytváří podmínky, jež chrání lesní půdu nejen před degradací horní vrstvy, ale i před nadměrnou evaporací. V půdě je tak vytvářena potenciální rezerva pro příjem dalších srážek, protože pomocí transpirace stromů se snižuje matriční potenciál půdy. Lesní porost svým vlhčím klimatem výrazně přispívá do malého vodního cyklu a voda se tak může vracet do krajiny bez zdlouhavého průchodu vodním tokem. Dalším významným rozdílem lesních bioklimatických podmínek oproti otevřenému terénu je pomalejší tání sněhu vlivem zastínění lesními dřevinami. Díky těmto schopnostem dochází k mnohem efektivnějšímu hospodaření s vodou, a to hlavně v období jarního tání (Kantor a Krečmer 2003; Wahren et al. 2007).

3.4.3.1.3 Struktura půdy

Významným faktorem, jenž posiluje retenci vody v lesním prostředí, je také poměrně odlišná struktura půdy. I zde platí pravidlo o značné variabilitě kapacity v závislosti na druhovém složení porostu a geologickém podloží. Větší množství opadaného listí a jehličí zvyšuje množství organické hmoty. Naopak extrém tvoří smrčiny na podzolech, kde je organické hmoty relativně málo. U lesních porostů rostoucích na kambizemi představuje organická hmota velice významný faktor. Jak už bylo zmíněno, sama organická hmota značně zvyšuje infiltrační i retenční kapacitu půdy. Kantor a Krečmar (2003) uvádějí, že každý centimetr opadu zadrží 2–3 mm vody. Navíc zde nesmíme opomenout působení mechorostů, které dokážou zadržet 10 mm vody. Další faktor v tomto prostředí představuje tlející dřevo. Nejen že váže vodu do své struktury, ale navíc zde voda může přejít do xylofágních hub. Dřevo tímto způsobem může zadržet až dvaapůlkrát více vody, než činí jeho hmotnost v suchém stavu (Amaranthus et al. 1989).

3.4.3.2 Rozdíly mezi různými typy lesů

Na našem území se můžeme setkat se třemi základními druhy lesa. S minoritním podílem se zde vyskytují listnaté lesy, v původní druhové skladbě majoritní smíšené lesy a v současné době převládající jehličnaté monokultury. Panuje debata mezi lesními odborníky a zástupci environmentalistů, zda smrková monokultura dokáže stejně dobře zadržet vodu jako přírodě bližší smíšené lesy, či nikoliv (Válek 1977; Wahren et al. 2007).

Zásadní rozdíl mezi těmito druhy lesů je ukryt ve stavbě kořenových systémů. Zatímco kořenový systém smrku dosahuje okolo jednoho metru hloubky, kořenový systém dubů dosahuje hloubky až 10 m. Navíc smrkové monokultury mají vzhledem ke svému kyselému opadu poněkud nepříznivý vliv na půdní mikroflóru a snižují její diverzitu (Wahren et al. 2007).

Chybějící půdní mikroflóra se významně podílí na zpomalení rozkladných procesů organické hmoty, která se následně oproti listnatým lesům v půdě hromadí. Platí tedy přímá úměra, kdy vzhledem k ochuzenému edafonu náležitě klesá kvalita organické hmoty v půdě. Dalším faktorem ovlivňujícím množství organické hmoty je množství mrtvého dřeva, kterého se v listnatém lese přirozeně nachází mnohem větší množství. Velká disproporce této dřevní hmoty se projevuje především u smrčín, kde se v důsledku kůrovcové kalamity v současné době po vytěžení neponechává prakticky nic (Wahren et al. 2007).

V listnatých lesích velké množství edafonu vytváří i přiměřeně větší počet nových pórů. Navíc edafonem vyloučené organické látky stabilizují a zpevňují stěny pórů, čímž vytvářejí příznivé retenční podmínky. Bylo zjištěno, že u povrchové, organické vrstvy půdy je retenční kapacita obdobná, u smrkových porostů dokonce místy vyšší, ale ve vrstvách okolo 10 cm se pozitivně projevila vliv listnatých stromů. Podél kořenových systémů stromů může voda snadněji pronikat do půdy. S přibývajícím hloubkou je však tato schopnost přímo závislá na existenci rozsáhlého kořenového systému listnatých stromů. Výhoda smrků spočívá v objemnější nadzemní části, která zachytí při intercepci větší objem vody. To je navíc umocněno mimo vegetační sezónu, kdy jehličnaté stromy (kromě modřínu) neopadávají. V tuto dobu mají nadále mírnou schopnost asimilovat a v důsledku této skutečnosti odebírají vodu z půdního profilu, čímž zvyšují půdní retenční kapacitu (Sklenička et al 2002; Coleman a Whitman 2004; Podrázský a Remeš 2005).

Jehličnany navíc dokážou výrazným způsobem ovlivnit tání sněhové pokrývky. Jejich hustý kryt vytváří stín a spolu se sněhovým příkrovem vytváří mikroklima, které zpomaluje odtávání. Oproti tomu tání sněhu v holých porostech je o 30 % intenzivnější. Nevýhodou smrčín je pomalejší vsakování vody. Tento problém se prakticky neprojevuje v případech rovinatého terénu a u slabších déletrvajících srážek. Význam se zvětšuje se svažitostí terénu a v případech přívalových srážek. Z těchto informací můžeme usuzovat na to, že ve svažitém terénu jsou vhodnější minimálně smíšené lesy. Ve smrkové monokultuře stačí k příznivější retenci vody přidat pouhou pětinu buků, aby se značným způsobem zlepšila vodozadržnost lesní půdy. Tímto přiblížením se přirozenému stavu výrazně klesá povrchový odtok, dokonce i pod objem běžný na polích či loukách (Coleman Whitman 2004; Podrázský a Remeš 2005; Wahren et al. 2007).

V neposlední řadě nejen smrkové, ale i další monokultury jsou náchylnější k větrným či hmyzím kalamitám, které mohou negativně ovlivnit retenční schopnost lesního porostu. Výrazné snížení se týká i umělých holosečí (bez ohledu na zastoupení druhů stromů). Při odstranění větší plochy stromového patra ať holosečí či kalamitou se zmenší schopnost zadržení vody intercepcí a zvětšuje se významně evaporace. To vše nezadržitelně vede ke zhoršení fyzikálních vlastností půdy, zrychlení rozkladu organické hmoty nebo mineralizaci, což má za následek ztrátu dalších faktorů, které jsou nutné k dostatečné retenci vody. Navíc

v těchto místech dochází k rozrušení až rozpadu mechového patra, vzniku erozních rýh a zhutnění půdy. Ty pak umocňují povrchový odtok (Coleman a Whitman 2004; Podrázský a Remeš 2005).

3.4.3.3 Možné narušení retence vody v lesích

Retenci vody v lesních porostech obzvlášť nepříznivě ovlivňují nevhodné lesní cesty, po kterých se provádí těžba dřeva. Jejich největším problémem je zahloubení v terénu, což způsobuje těžká technika. Pokud jsou lesní cesty zaříznuty v terénu, infiltrovaná voda vytéká ze zářezu a nemá tak šanci se udržet v půdě. Bohužel takto vytvořené těžební cesty mají pouze krátkodobé použití, ale dlouhodobý negativní vliv na celé lesní společenství. Jako nadějná cesta z tohoto problému se jeví nedávno provedený experiment v beskydských lesích. Zde bylo několik nepotřebných cest přeměněno v soustavu tůní, které nejen vodu zadržují, ale také umožňují její vsakování. Navíc vytváří podmínky pro život obojživelníků (Válek 1977; Podrázský a Remeš 2005; Wahren et al. 2007).

Wen et al. (2021) společně došli k závěru, že ztráta funkční rozmanitosti výšky stromu zhoršuje účinky sucha v tropických lesích. Proto kladou vysoký význam na zachování vysoké funkční rozmanitosti stromů, aby se zlepšily ekosystémové služby propojené s půdní vodou v souvislosti se zvyšující se frekvencí sucha při předpokládané změně klimatu.

Absence mrtvého dřeva ovlivňuje negativně kinetickou energii vodních toků. V přirozených lesích tvoří mrtvé dřevo ve vodních tocích překážky, které umožňují snížit energii těchto toků natolik, že dochází k zadržování vody v korytech, případně může docházet k různým rozlivům. Takto zadržovaná voda, ať už v korytech nebo v rozlivech, může výrazným způsobem pomoci překonat v širokém okolí období sucha (Amaranthus 1989).

3.4.3.4 Opatření k ochraně lesa

K ochraně lesa se váže zákon 289/1995 Sb., který zabezpečuje péči o obnovu lesa. Les by měl být v životním prostředí zachován jako nenahraditelná složka se všemi funkcemi i pro další generace (vhodná druhová skladba dřevin, správná péče o zdraví a vitalitu lesa). Další opatření ke zlepšení prostředí a udržení vody v krajině jsou například: protierozní opatření, hrázkování a tvorba malých vodních ploch, výsadba různých druhů dřevin podle svých nároků, druhová skladba, včasná výsadba po kalamitách či holoseči, ochrana před znečištěním či kontaminací, osvěta ke správnému chování a úctě k lesu (Kupčák 2005).

Czerniak et al. (2020) souhlasí s předchozími autory. Doporučují zachovat a vytvořit vodní zdroje v lesním hospodářství, aby se zlepšily místní vodní bilance o doplněnou retenční funkci velkých vodních nádrží během povodňových epizod. Pro lepší hospodaření s vodou doporučuje u otevřených vodních toků vybavit je přehradními zařízeními, které fungují automaticky podle potřeby. V neposlední řadě je důležité zvýšit množství listnaté příměsi

v lesích, zejména ve smrkových a borových porostech. Dále upozorňují na to, že sucho v lesních porostech má za příčinu migraci zvířat, která hledají úrodnější stanoviště. To má za následek časté dopravní nehody zapříčiněné přechodem zvěře přes silnici.

3.4.4 Vliv antropogenní činnosti

3.4.4.1 Vlivy v historii

Už od pradávnych dob na našem území probíhalo odlesňování spojené s rozvojem zemědělství. Tato činnost nabyla masivního rozsahu ve středověku, kdy lidé začali osidlovat i vyšší polohy a značně stoupla potřeba dřeva například při důlní činnosti. Plošné odlesňování mělo za následek nástup výrazných projevů eroze. Následky tehdejších erozí můžeme vidět i dnes v nivách větších řek, kde se nacházejí několikametrové nánosy povodňové hlíny. Nárůst odlesněné plochy a zvýšení orné plochy přicházelo v dalších vlnách kolonizací, při zavádění nových plodin nebo rozvojem sklářství. Začaly se odvodňovat pramenné oblasti toků, což mělo za následek zhoršení extrémních stavů sucha a povodní. S odlesněním se změnilo i druhové složení lesů. Jak bylo výše zmíněno, narostl počet jehličnanů a postupně vznikaly smrkové monokultury. Lidé si začali uvědomovat spojitost povodňových stavů s krajinou a už v roce 1877 byla uváděna jako příčina povodní devastace lesů. Bylo navrhováno zalesnění holých strání a výstavba drobných retenčních nádrží (Válek 1977).

3.4.4.2 Zemědělství

V našem prostředí můžeme rozlišit dva základní typy zemědělských ploch. Prvním typem jsou orné půdy s konvenčním hospodařením. Po část roku je půdní profil odkryt a v důsledku orby dochází k rozrušení horizontálního zvrstvení půdního profilu v povrchové části, kam až dosáhne orba. Druhým typem jsou trvalé travní porosty, kde je povrch neustále pokryt vegetací a nejsou narušovány půdní profily. Minoritně můžeme vidět v naší krajině i další typy, například sady, vinice a zahrady. V těchto typech ploch závisí retence vody primárně na obsahu organické hmoty a obecných faktorech půdy (Šarapatka et al. 2002).

Na první pohled se hluboká orba může jevit jako vhodná úprava půdy vzhledem k retenci vody, protože navyšuje porozitu půdy. Avšak orba přispívá i k vyšší mineralizaci humusu, a to má za následek snižování jeho objemu v orných půdách na úroveň zhruba 50 % objemu lesní půdy (Carvajal et al. 2006).

Také organický uhlík má příznivé účinky na infiltraci a retenci vody v půdě. Orná půda však obsahuje mnohem méně organického uhlíku než trvalé travní porosty. Jako jediný typ plodiny, který dokáže vyrovnat bilanci uhlíku v půdě, se udávají jeteloviny a luštěniny. Naopak ostatní plodiny obsah uhlíku snižují (Šarapatka et al. 2002; Badalíková a Novotná 2016).

U bezorebného způsobu hospodaření (a ponechávání organické hmoty na povrchu) bylo prokázáno snížení eroze, kterou způsobuje kinetická energie dopadajících srážek, a taktéž zlepšení struktury půdy a infiltrace (Carvajal et al. 2006). S tím souhlasí i Šantrůčková et al. (2014), kteří upozorňují na to, že u půd, jež jsou pravidelně upravovány orbou, existuje náchylnost k erozi, rozplavování a špatné struktuře. Dalším nebezpečím spojeným s orbou je utužení půdy těžkou technikou, které má za následek snížení porozity půdy a horší infiltraci do hlubších vrstev (Šarapatka et al. 2002).

Rizikovým faktorem, jenž se nachází na zemědělských půdách, je rovněž vliv extrémních teplot na povrch holé půdy (obzvláště písčité). V letních dnech může teplota dosáhnout až 50 °C. U travních porostů, kde nedochází k obnažení půdy, teplota dosahuje maximálně 40 °C. Extrémní teplota zvyšuje evaporaci nechráněné půdy, což může mít negativní vliv na poškození její struktury (Rožnovský 2014).

Retence vody na orných půdách závisí z větší části na pěstované kultuře. Obecně můžeme říct, že vhodnějšími plodinami jsou ty s hlubšími kořeny, s vyšší pokryvností a s co nejdélejší dobou vegetačního období. Pěstované plodiny na zemědělské půdě ovlivňují intercepci a zvýšení retenční kapacity pomocí transkripce. Byl proveden výzkum na ploše oseté kukuřicí, kde na stádiu s největší pokryvností s transkripcí (střední růstové stádium) byla zjištěna nejdelší prodleva od začátku srážek k začátku formování povrchového odtoku. Při vyšší intenzitě deště se už stadia s rozdílnou pokryvností lišila méně, což nám naznačuje omezení retenční kapacity u polních plodin (Mu et al. 2015).

Významnou roli na orných půdách hraje eroze obzvláště ve svažitém terénu. V takovýchto plochách začíná iniciace odtoku mnohem dříve, proto je půda ohrožená erozí i při slabších srážkách (Mu et al. 2015). U širokořádkových plodin s pozdním nástupem vyšší pokryvnosti, například u kukuřice, je riziko výrazně vyšší. Eroze ochuzuje ornou půdu především o jemné částice a organické hmoty. Částice půdy se splavují do nížin. Ve vyšších partiích jsou srážky častější, a proto je třeba tyto částice půdy více chránit. Na rozlehlých polích je typická větrná eroze, protože vítr zde může nabrat vyšší kinetickou energii. Spojení těchto dvou erozí způsobuje degradaci půdy, která převyšuje její přirozenou tvorbu. Následně se obnažuje nižší půdní horizont, který svými vlastnostmi navyšuje povrchový odtok a tím se zhoršují extrémní sucha a povodně (Novák et al. 2016).

Výzkum od Dlapana et al. (2020) potvrzuje, že intenzivní zemědělství prohlubuje ztuhnutí půdy a dopady eroze. Nejvíce zasažené jsou orné půdy, k nápravě nedochází ani po přeměně na trvalé travní porosty. Dále potvrzují, že největší vliv na obsah pórů v půdě má obsah organického uhlíku. Podle vlastností zadržování vody v půdě seřadili sestupně tyto zemědělsky využívané plochy: sady, lesy, travní porosty a orné půdy. Toto seřazení nám ukazuje, že nejvhodnější pro retenci vody v krajině a pórovitost půdy jsou sady a lesní hospodářství.

V jedné z prvních studií bylo prokázáno, že na méně úrodných půdách existuje souvislost mezi pronájmem pozemku a vlastnostmi půdy. Studie odhalila, že nejistý pronájem zemědělské půdy může vést k její degradaci. Proto v zemích, kde je vysoký podíl pronajatých pozemků, je vhodné podporovat dlouhodobé smlouvy mezi zemědělci a vlastníky pozemků a stanovit agroenvironmentální standardy. Ve studii bylo naznačeno jako jedno z možných řešení ke zmírnění degradace půdy vypracovat program cíleného vzdělávání. Jeho prostřednictvím by bylo možné sdílet informace o hodnotách půdy, ukazatelích degradace půdy, využívání půdy a dalších souvisejících otázkách. Dále je prokázáno, že nejistota v délce pronájmu půdy snižuje ochotu zemědělců investovat do jejího zdraví, čímž se zhoršuje její stav, je náchylná k degradaci a ke zhutnění (Walmsley et al. 2020).

3.4.4.3 Opatření na orné půdě

Jednou z nejdůležitějších částí ochrany orné půdy je ochrana před erozí. Její součástí jsou variabilní opatření v závislosti na pěstovaných plodinách, svažitosti terénu, převládajících klimatických podmínkách i typu půdy. Jedná se zejména o vyloučení širokořádkových plodin na svazích. Doporučuje se zmenšit sklon polí, zařadit vojtěšku do osevních postupů, použít vrstevnicovou orbu nebo vytvořit vsakovací pásy a průlehy s dřevinami. V rovinných oblastech nebo na menších políčkách je možné ponechat klasickou orbu, protože zde není riziko eroze tak vysoké. Ale i tady je vhodné dodržovat základní pravidla, tzn. respektovat osevní postupy a přidávat do půdy organický materiál (Novák et al. 2016).

Příznivý vliv má bezorebné hospodaření, a to především díky tomu, že snižuje utužení půdy a navyšuje podíl organické hmoty v její povrchové vrstvě. U plodin s krátkou dobou pokryvnosti je vhodné zařazovat meziplodinu. Největší protierozní účinek je znám u použitých plodin a meziplodin s rychlým růstem a s delším výskytem rostliny na poli (Vach et al. 2009). V prevenci proti utužení půdy se doporučuje omezení pojezdů zemědělskou technikou, zajištění dostatku uhlíkaté hmoty – například pěstováním luštěnin, hnojení organickým uhlíkem (na obrázku 5 je vidět příprava k zapravení organického uhlíku na poli soukromníka) či bezorebné hospodaření. Dobré je snažit se udržet vyšší pH, protože kyselé půdy jsou náchylnější k utužení (Šarapatka et al. 2002).



Obr. 5 – Příprava organické hmoty na zapravení do pole poblíž obce Trokavec
(Zdroj: Vondrášková 2020)

Motivací ke správnému hospodaření mohou být pro zemědělce standardy GACE. Dokážou totiž vyrovnávat rozdíl v opečovávání půdy mezi nájemci a vlastníky (Sklenička 2015).

Podle výsledku z výzkumu Šarapatky et al. (2013) standardy GACE snižují erozi na zemědělských půdách, ale eroze stále převyšuje přijatelnou hodnotu. Proto na obzvláště svažitéch terénech doporučují kontrolovat erozi nebo kombinovat agrotechnická a mechanická opatření.

3.4.4.4 Urbanizovaná území

Zastavěné území se z hydrologického hlediska liší od okolní krajiny větším podílem zpevněné plochy, která neumožňuje vsakování vody do krajiny. Dochází k jejímu povrchovému odtoku, jenž narůstá se zastavěnou plochou. Uvádí se, že u 10–20 % zpevněných ploch se zvýší odtok na dvojnásobek, 35–50 % zastavěné plochy zvýší odtok o trojnásobek. V extrémních podmínkách – při zastavění více než ze tří čtvrtin – se odtok může navýšit víc než na pětinasobek oproti nezpevněným plochám. V zalesněném území se z poloviny srážková voda vsákne, druhá polovina připadne na povrchový odtok a evapotranspiraci. Na územích s převahou zpevněné plochy se však může podíl vsaku pohybovat okolo pouhých 15 %. To má negativní vliv na zásoby spodní vody a vydatnost studen a pramenů v těchto zónách. Dále nemůžeme pominout ani nepříznivý vliv na mikroklima kvůli poklesu množství vody k evapotranspiraci; objem tohoto poklesu se uvádí okolo jedné čtvrtiny (Paul a Meyer 2001; Skála et al. 2021).

Další riziko u zastavěných ploch představuje kontaminace povrchové i podzemní vody, což umocňuje jednotná kanalizace splaškové a dešťové vody. Při intenzivních srážkách se totiž dostává část odpadní vody přes ochranné přepady do řek. Kvůli těmto antropogenním vlivům dochází v povrchové vodě k změně složení (Paul a Meyer 2001; Carpenter et al. 2016).

3.4.4.5 Opatření ke snížení negativních důsledků v urbanizovaném prostředí

Pro zlepšení podmínek ve městech je vhodné nahradit používání nepropustných materiálů propustnými. Zajištění dostatečných ploch zeleně ve městech – například parků, zahrad, trávníků nebo alejí – umožňuje předcházet vzniku tepelného ostrova i povodňovému riziku. Vhodným povrchem jsou travní plochy upravené do průlehů. Průleh je prohlubeň či rýha s výraznými protierozními a zasakovacími účinky (Paul a Meyer 2001).

Dobré výsledky s minimalizací negativních důsledků mají takzvané zelené střechy, kdy je střecha pokrytá substrátem s vegetací. Hlavní přínosem je zachycení vody, která by jinak otekla. Uvádí se, že 10 cm substrátu dokáže zachytit až 90 % letních srážek a přeměnit je na vodní páru pomocí evapotranspirace. V případech, kdy používáme speciální substrát s vhodným materiálem a správné druhové složení rostlin, lze docílit zachycení až 97 % srážkové vody. A tím docílit snížení zátěže odtokového systému až o jeden stupeň a ochránit tak území před místními záplavami. Dalšími pozitivními funkcemi zelených střech je zachycení prachu nebo zlepšení mikroklimatu a vyrovnání teplotních extrémů. Zelené střechy samozřejmě řeší jen zachycení srážkové vody ze střech, ne z dalších zpevněných ploch. Příklad zelené střechy si můžeme prohlédnout například v pavilonu High-tech kampusu ČZU na obrázku 6. Dalším velice zajímavým řešením je jímání vody ze střech v tůních vybudovaných v přilehlých parcích. Toto zcela ekologické řešení umožňuje prostor parku povýšit prostřednictvím přirozené vodní plochy se všemi jejími pozitivními důsledky (Carpenter et al. 2016; Aboelata 2021; Kolasa-Więcek a Suszanowicz 2021).



Obr. 6 – Zelená střecha v pavilonu High-tech kampusu ČZU
(Zdroj: ČZU 2019)

3.4.4.6 Shrnutí

Změny, které proběhly za posledních 100 let v naší krajině, jsou obecně známé. Sice se výrazně zvýšila zalesněná plocha, jedná se však v naprosté většině o smrkové monokultury. Také jsme prošli kolektivizací menších políček, které se po spojení staly velkými lány ohroženými erozí. Lidská činnost se podepsala i na degradaci niv, zarovnění a zatrubnění vodotečí v zemědělské krajině. V naší současnosti jsme svědky rozrůstání obrovských průmyslových a skladištních areálů. A proto je velice důležité, že se stále častěji objevují i opatření, která chrání naši krajinu a navrácí jí její ztracené schopnosti (Štěrbá 2008).

3.4.5 Vegetace a voda

Vhodně zvolený druh vegetace má značný potenciál v oblasti retence. Navíc vegetační pokryv významně ovlivňuje distribuci vody v krajině za pomoci evapotranspirace, která sestává z fyzikální evaporace a fyziologické transpirace. Celý proces vypařování vody a jeho rychlost závisí na teplotě, povrchu, atmosférickém tlaku a proudění vzduchu. Transpirace je závěrečnou fází prostupování vody rostlinou až k jejím listům, kde se po předání minerálních živin odpaří. Rostlina se tak brání přehřátí listů, které by bránilo fotosyntéze i dýchání. Souvislý porost pak transpirací dokáže vyrovnávat teplotní výkyvy mezi dnem a nocí. Na evapotranspiraci má velký vliv albedo (odrážení slunečního záření povrchem). S větším albedem se odrazí více záření a povrch se méně zahřívá. Například sníh má vysoké albedo. Ale albedo vody je velice proměnlivé, závisí na úhlu dopadajícího slunečního záření a může se pohybovat od 5 % do 40 %. Z výše uvedeného je zřejmé, že proces evapotranspirace je mimořádně energeticky náročný, a proto se významně podílí na redistribuci tepla a s ní spojené vody (Roth 2000).

Během slunného dne dopadá na 10 km² takový objem sluneční energie, že ho můžeme srovnat s výkonem všech našich elektráren (10 000 MW). Část této sluneční energie udržuje atmosféru v plynném skupenství a zajišťuje její dynamiku. Druhá část dopadá na povrch Země, kde se s ní musí vyrovnat naše krajina. Zde dochází k značným rozdílům v distribuci sluneční energie, a to v závislosti na přítomnosti vegetačního pokryvu a dostatečném zásobení vodou. Například pokud se z jednoho metru čtverečního půdy bez vegetace za den vypaří 3 l vody, dojde k navázání cca 2,1 kWh sluneční energie. Oproti tomu vzrostlý strom o průměru koruny 10 m (lípa, dub či kaštan) se svojí plochou 78 m² dokáže za den odpařit i 400 l vody. K tomu spotřebuje cca 278 kWh. V průměru tedy takový strom chladí 12 hodin výkonem 23,2 kW. Pro lepší srovnání kvalitnější klimatizační zařízení mají výkon okolo 2 kW a ledničky desetkrát nižší. Ve chvíli, kdy však voda není k dispozici, se země nekontrolovaně ohřívá až na 50 °C. Od povrchu se ohřívá vzduch, který stoupá do atmosféry, vysušuje okolí a v případě velkých ploch může účinně bránit přirozenému přílivu vlhkého vzduchu od moře (Makarjeva a Gorshkov 2010; Hesslerová et al. 2013; Ellison et al. 2017).

Primárním výsledkem evapotranspirace je schopnost vegetace ochlazovat jak sebe, tak i své okolí. Jako sekundární účinek můžeme uvést retenční schopnost evapotranspirace. Ta dokáže prostřednictvím vzduchu uchovat a následně redistribuovat část vypařené vody, která se navrácí v podobě drobných, zato častých srážek. Tento princip je typický pro uzavřený oběh vody (Pokorný et al. 2010; Šarapatka et al. 2010).

Při vhodných podmínkách tak mohou vznikat oblasti, které jsou schopny na stejném principu udržovat nadstandardní zásoby vodního živlu. A nemyslíme pouze tropické oblasti. Ještě relativně nedávno byly všechny naše hory doslova nasáklé vodou a s charakteristicky vysokou vlhkostí nejbližšího vzdušného okolí. Vlhkost našich hor nabývala takového rozsahu, že například kondenzující voda na větvích smrků dávala prostor pro život provazovky bradaté (*Usnea brabata*), na kterou si dnes už jen málokdo vzpomene jako na Fabiánovy nebo Krakonošovy vousy (Antonín 2006).

Je tedy zřejmé, že s vegetací musíme při snaze řešit problematiku vody v krajině počítat jako s jedním z velmi důležitých prvků. A vzhledem ke schopnostem vegetace je i velmi důležité činit taková opatření, která změnou vegetačních pokryvů přispějí k řešení retence vody přirozenou cestou.

3.5 Opatření k zajištění větší retence vody v české krajině

Schopnost retence vody v krajině je jedním ze základních faktorů přímo ovlivňujících zvládnání stále častějších klimatických extrémů. Zatímco extrémní sucha se v naší oblasti vyskytovaly poněkud méně často, povodně jsou v naší krajině přirozeným jevem. Na pravidelnosti dostatku vody si dokonce mnohé ekosystémy vybudovaly existenční závislost, například lužní les.

3.5.1 Technická řešení

3.5.1.1 Vodní nádrže

Mezi základní technické ukazatele každé vodní nádrže patří hladina minimálního a maximálního napuštění. Z rozdílu těchto hladin lze odvodit hypotetickou retenční kapacitu. Tento relativně volný objem vody pomáhá při řešení extrémních stavů. Velkou nevýhodou konvenčních velkoobjemových nádrží je však skutečnost, že při výstavbě mizí říční krajina, a to i často nad rozlohu údolní nivy (Štěrbá 2008). Do zaniklých území se řadí často i cenná území, např. Svatojánské proudy, které musely ustoupit při stavbě Vltavské kaskády. Navíc u každé hráze je nutné počítat s určitým rizikem havárie technologií, popř. samotné hráze (Pithart et al. 2012).

Oproti tomu stavění menších nádrží nemá tak plošný negativní vliv na okolní krajinu. Často se staví více menších nádrží nad sebou, takže se svou kumulativní retenční funkcí mohou

vyrovnat velkoobjemovým konvenčním nádržím. Menší vodní nádrže se uplatňují především v zemědělské krajině a na odtoku z měst (Soukup et al. 2008).

3.5.1.2 Technická opatření s využitím přirozené retence

Technická opatření, která napomáhají retenci vody v krajině, jsou především poldry. Tyto stavby jsou suché či částečně zavodněné nádrže vybudované v údolní nivě. Budují se nad obcemi, kde fungují jako individuální povodňová ochrana. Po odeznění povodně lze vodu z poldru vypustit do toku. Jejich nevýhodou je náročnost při výstavbě a udržování. A navíc je lze vystavět pouze ve hodných geomorfologických podmínkách (Soukup et al. 2008; Štěrba 2008).

Dále do této skupiny můžeme zařadit příkopy, průlehy, rýhy a jiné terénní úpravy. Tyto úpravy, ať už bezodtoké nebo s odtokem, mohou při masivním výskytu významně přispět ke zvýšení retence. V případech odtoků je pak ideální, pokud ústí do mokřadu (Soukup et al. 2008).

Pomocí drenážních systémů je v ČR odvodněno okolo 25 % zemědělských pozemků (cca 1,1 milionu ha). Vzhledem k rozchodu drénů 10 až 15 m se nachází na každém odvodněném hektaru 667 až 1000 m trubek v hloubce kolem jednoho metru. Tyto rozsáhlé systémy budované za účelem snížení hladiny vody mohou být dnes využívány k jejich regulaci. Pomocí řízeného odtoku můžeme udržovat vodu v takových hloubkách, aby kapilární zdvih byl schopen realizovat závlahu a současně akumulovat vodu v půdních pórech. To umožní oddálit období sucha až o desítky dní. V oblasti Polabí a Jižní Moravy se podařilo postavit i tzv. „regulační drenáže“, kdy je do systému voda přiváděna. Výhoda využití drenážních vod spočívá též v jejich kvalitě. Zpravidla obsahují rozpuštěné živiny i další látky a jejím využitím přispíváme k čistotě vody v tocích. Následné snížení potřeby hnojiv šetří náklady i přírodu (Kulhavý 2015).

I ve městech je mnoho možností, jak zachytit dešťovou vodu a tím zpomalit její odtok. Dělí se podle povrchové nebo podpovrchové infiltrace vody. Mezi vsakovací mechanismy patří průlehy, šachty či jímky (jímky mohou zároveň čistit vodu od splavenin). Velký potenciál má i používání propustného betonu či zatravňovacích tvárnic (Hlavínek 2007).

3.5.2 Krajinné úpravy

Naše krajina prodělávala po staletí proměny, při kterých postupně ustupovala civilizačním tlakům. Teprve v padesátých letech minulého století tento tlak povolil a příroda se po dlouhé době mohla nadechnout, bohužel povětšinou v podobě smrkových monokultur. V dnešní době nastalo období zastavování nejčinnějších půd, ale také se objevují krajinné úpravy, které chtějí navrátit krajinu do co nejpůvodnější podoby.

V lesní krajině se jedná především o zamezení holosečného způsobu hospodaření, šetrné lesní cesty, postupnou změnu druhové skladby (hlavním cílem je omezení smrkové monokultury) a o obecné zvýšení druhové i věkové diferenciacie porostů (Švihla 2001). Rozhodně je vhodné zvyšovat zastoupení dřevin, které kořeny hlouběji a tím přivádí vodu do půdy. Mohou to být např. habry, jeřáby, kleny nebo buky. Vhodná je i jedle, která kombinuje pozitivní vliv jehličnanů a hlubší prokořenění typické pro listnaté stromy. Navíc starší porost jedlí je schopný přijmout větší množství vody pomocí epifytických lišejníků (Válek 1977).

Základním opatřením na zemědělské půdě je její ochrana před erozí. Zejména vyloučení osevních postupů širokořádkových plodin na plochách s větším sklonem a pravidelné zařazování vojtěšky. Utužení půdy snižuje rovněž bezorebné hospodaření, zvyšuje naopak obsah organické hmoty v povrchové vrstvě půdy. Dále je velice vhodné zařadit meziplodiny, které mají největší protierozní účinky, protože rychle rostou a dlouhou dobu tvoří rostlinný pokryv na poli (Vach et al. 2009). V neposlední řadě nesmíme zapomínat ani na zajištění dostatku uhlíkaté hmoty v půdě a udržování vyššího pH (Šarapatka et al. 2002).

Pro zvýšení možností retence vody v krajině je velmi prospěšné revitalizovat údolní nivy, vytvořit meandry, umožňovat rozliv řek v nivách nebo alespoň nebránit přirozené podobě řek. Díky těmto úpravám dochází ke snížení rychlosti průtoku v řekách (Pokorný 2014).

U velkých řek je doporučováno zrušit či oddálit ochranné hráze v místech, kde je nechrání žádné stavby. Tím se rozšiřuje údolní niva. Všechny tyto úpravy však často naráží na hospodářské zájmy a jejich realizace je zpravidla doprovázena širokou laickou i odbornou diskusí (Pithart et al. 2012).

U změn využití pozemků jde především o zvyšování podílu ploch, které mají vysokou retenční kapacitu, což splňují převážně lesy. Odtok z lesů je při dostatku vody nižší než ze zemědělských ploch, v suchých obdobích je tomu naopak. Během suchých extrémů z lesů odtéká 1,31× více vody než z polí a v porovnání s travními porosty až 1,38× více. To nám ukazuje, že lesy jsou zásobárnou vody pro toky v suchých obdobích. Menší toky v bezlesí při dlouhodobém suchu zanikají a stávají se z nich periodické toky (Válek 1977; Švihla 2001).

Tento princip byl zaznamenán například v Indii po přeměně lesů na zemědělskou půdu, kde došlo ke zvětšení průtoků o 15 %, ale zároveň se dramaticky snížil průtok v suchých obdobích, což naznačuje snížení zásob podzemní vody (Sajikumar et al. 2015).

Podle pokusu na modelu AKWA-M bylo zjištěno, že kdyby se do německého povodí vrátila přirozená vegetace (zvýšení zalesnění ze 41 % na 97 %), přineslo by to u běžných srážek pokles odtoku o 24 % a u extrémních by byl pokles nižší o 21 % (Wahren et al. 2007). Zalesnění celé krajiny dnes není možné. Ale už k znatelnému zlepšení retence vody stačí zalesnit kritická místa (prudké svahy s malou infiltrační kapacitou půdy) (Pamukcu et al. 2016).

Výrazně lepší schopnost retence vody u lesních porostů vyplývá z podstatně delší doby, během které u nich dochází k úplné saturaci. Avšak kromě nárůstu zalesněné plochy mnozí autoři doporučují v rámci prevence proti erozi také zatravnění orné půdy (Štěrbá 2008). Zpravidla se nemusí jednat o plošné opatření. Většinou stačí zatravnit úzké pásy, doporučuje se 12–16 m, plošky mělčích půd na svahu a údolnice (Soukup et al. 2008). Už malá opatření, která neznamenaají velký úbytek na orné půdě, zpomalí erozi a napomohou vsaku. K tomuto účelu jsou nanejvýš vhodné travnaté či křovité ochranné pásy kolem polí (Pamukcu et al. 2016).

3.5.3 Standardy dobrého zemědělského a environmentálního stavu

Analýza VÚMOP potvrdila, že víc než polovina zemědělsky obhospodařované půdy je ohrožená vodní erozí. Z tohoto důvodu nabývají značného významu standardy dobrého zemědělského a environmentálního stavu (GAEC), které chrání zemědělské půdy. Tyto standardy zajišťují hospodaření ve shodě s ochranou životního prostředí. Vychází z právního systému EU a jsou také součástí pravidel, které podmiňují přidělení zemědělských dotací. Vzhledem ke značné aktuálnosti problematiky prodělala tato sféra výrazný vývoj, a to jak v počtu nařízení, tak v řešených oblastech. Každý členský stát si standardy GAEC definuje sám s ohledem na konkrétní podmínky (Poláková 2018).

V současné době platí sedm těchto standardů. Ke zlepšení retence vody v krajině přispívají především standardy GAEC 4, GAEC 5 a GAEC 6. Standard GAEC 4 zajišťuje v posklizňovém a mimovegetačním období minimální pokryv půdy. Standard GAEC 5 má za cíl ochranu obhospodařované půdy. Např. zakazuje na půdách ohrožených erozí pěstovat širokořádkové plodiny na více než 2 ha souvislé ploše. A na mírně ohrožených půdách je pěstování těchto plodin podmíněno s půdoochrannou technologií. V lednu 2019 byla uplatňována působnost opatření GAEC 5 na 25 % celkové výměry orné půdy. Standard GAEC 6 zachovává úroveň organické složky v půdě (eAGRI 2017).

3.5.4 Chytrá krajina

Chytrá krajina je ojedinělý projekt, který má zajistit retenci vody v krajině prostřednictvím moderních technologií v kombinaci s návratem ke starým postupům. Projekt probíhá na principu získávání „know-how“ a následném využití v oblastech s nedostatečným objemem vodních zdrojů. Projekt Chytrá krajina má několik cílů:

- Celkově optimalizovat hospodaření s vodou.
- Zamezit extrémním hydrologickým extrémům – suchu a povodním.
- Zajistit udržitelnou a zdravou produkci v zemědělství a lesnictví.
- Zamezit erozi půdy.
- Upravit mikroklima a vytvořit komfortnější krajinu pro její obývání.

- Podpořit biodiverzitu.
- Zvýšit estetickou hodnotu krajiny.
- Představit sofistikovaný krajinný systém s vzájemně propojeným vodohospodářstvím, půdoochranných a ekostabilizujících prvků, který doplňuje racionální management krajiny.

Těchto cílů by se mělo dosáhnout prostřednictvím devíti základních principů. První princip spočívá v zachycení srážkové vody co nejbližší místu spadu. To znamená více propojených prvků, které jsou rozmístěné v prostoru. Druhý princip klade důraz na akumulaci a její propojení se závlahou. Třetí princip spočívá v synergii systémů krajinných, protierozních a retenčních prvků spolu se závlahovými systémy a mokřady pro čištění povrchové vody. Čtvrtý princip se zabývá rozčleněním celého systému a jednotlivých prvků do období 2030+. V pátém principu se řeší funkční bilancování jednotlivých řešení s energetickými náklady – především technologie solárních panelů, gravitační či bodové a kapkové závlahy. Šestý princip je zaměřený na sofistikovaný vodohospodářský systém a snižování nároků na údržbu. Sedmým principem je doplnění krajinných prvků a přísná kontrola agroenvironmentálních standardů včetně motivace hospodářů. Osmý princip vyjadřuje rovný přístup k vodním zdrojům domácnostem, zemědělství ale i celé krajině. Dlouhodobé šetření vodou totiž není řešením. Pokud krajinou nebude prostupovat dostatečné množství vody, je nevyhnutelným následkem spirála sucha. Posledním principem je přírodní charakter prvků a navrácení historických hodnot krajiny (Máca 2019).

Tento pilotní projekt chytré krajiny se skládá ze tří projektů:

- Chytrá krajina I
 - Zabývá se zemědělskou krajinou. Projekt probíhá na Rakovnicku na cca 500 ha zemědělské půdy ve vlastnictví ČZU. Na Chytré krajině Amálie bylo nainstalováno několik desítek monitorovacích zařízení. Do návrhu krajinné infrastruktury je zařazena maximální velikost bloků orné půdy do 30 ha, retenční a akumulační prvky, umělé mokřady pro čištění povrchové vody, automatizované přečerpávání akumulované vody do závlahové nádrže a rozvod závlahové vody za pomoci Netafim a Volcani Center Izrael. Nechybí ani protipovodňové a protierozní prvky, energetika, automatizované řízení a systém precizního zemědělství.
- Chytrá krajina II
 - Zabývá se lesní krajinou. K projektu jsou k dispozici cca 500–1000 ha půdy s dominantním hospodářským lesem ve vlastnictví ČZU. V Kostelci nad Černými lesy testují sázení pomocí hydrogelu. Zkoušejí lehčí techniku nebo těžbu za pomoci tažných koních. A snaží se navracet do krajiny mokřadní

louky, tůně, listnaté stromy a nové rybníky. Pokud všechny tyto prvky budou tvořit vyvážený celek, je zde oprávněný předpoklad lesní kultury, která snáze odolává extrémním výkyvům počasí.

- Chytrá krajina III
 - Zabývá se urbanizovanou krajinou v Praze. K projektu je vymezeno 30–50 ha plochy kampusu ČZU. Na budovách se zkouší různé materiály zelených střech a Česká zemědělská univerzita letos obhájila své prvenství v České republice v celostátním řebříčku UI Green Metric World University Rankings. Celkově se umístila na 53. místě v udržitelnosti z 912 hodnocených univerzit. (Ekolist.cz 2019)

3.6 Řešení v jiných zemí

Na naší planetě se nachází množství lokací, které jsou více či méně příznivé k možnostem uchovávání vody v krajině. Jejich přirozený vývoj se mimo jiné významně podílel na utváření samotného člověka. Postupně se však situace obrací a přirozené procesy, které nás po tisíciletí ovlivňovaly, se nyní začínají bránit našemu vlivu. Lidská přítomnost na planetě je už natolik masivní, že udržet vodu v krajině se stává problémem. A to dokonce i v prostorech vodě kdysi zaslíbených, jako byla naše republika. Je tedy načase rozhlédnout se a poučit se z úspěchů i omylů v našem okolí.

3.6.1 Izrael

Jedním z takových míst může být například Izrael. Ačkoliv většina rozlohy státu tvoří místa extrémně chudá na vodu (poušť a polopoušť), i zde řeší problematiku udržení vody v krajině. Izraelské nejznámější jezero – Mrtvé moře – ztrácí každý rok metr své hladiny a tak by roku 2050 mohlo vymizet. Jedním z neustále diskutovaných a politicky projednávaných řešení je přivádět vodu z Rudého moře. Tento ekologicky rizikový plán budoucnosti má však ekologicky příznivou alternativu v přítomnosti. Stát Izrael vynaložil už v minulosti významné úsilí k proměně hospodaření s vodou. Byla to sice práce na více než půl století, ale její výsledky vynesly Izrael na pomyslný vrchol (Siegel 2016).

V Izraeli nalezneme velmi komplexní přístup, jenž řeší zdroje vody, uživatele a následně i čištění a recyklaci. Od poloviny padesátých let platí v Izraeli tři stěžejní zákony. První zakazuje bez povolení provádět vrty, druhý povoluje odběr pouze přes vodoměr a třetí zajišťuje veškeré vodě státní dohled. Jako pozitivní příklad vztahu k vodě lze uvést minimum korupčních kauz ohledně jejího rozdělování. Navíc nedávno vstoupilo v platnost rozhodnutí z roku 2008

o platbě reálné ceny za vodu, které zrušilo výjimky. Získané peníze jsou používány na inovace a budování vodohospodářské infrastruktury (Siegel 2016; Dromi a Shani 2020).

V čistírně odpadních vod Shafdam vznikl průlomový projekt. Provádí zde dočištění odpadní vody pomocí písečné půdy. Po primárním a sekundárním čištění voda přirozeně prochází přes písek. Vyčištěná voda je potrubím přiváděna do Negavské pouště, kde je využívána zemědělci. Z počátku projektu platila omezení k využívání této vody, dnes už ji však lze používat nejen jako zdroj pitné vody. Farmáři platí sice nižší cenu za recyklovanou vodu, ale v místech, kde ji lze využívat, je její využití povinné. V roce 2015 bylo v Izraeli 89 % odpadních vod dále použito v zemědělství. Tímto se Izrael řadí na první příčku ve světě v recyklaci vody (Bixio et al. 2006).

V Izraeli se vede také masivní osvětová kampaň, která primárně vede k šetření s vodou. Kampaň však vykazuje různé dopady. Podle průzkumu bylo zjištěno, že i po desítkách let mají obyvatelé Izraele jisté pochyby. Se zavlažováním recyklovanou vodou souhlasí jen 62 % respondentů. Kladný přístup měli především k používání této vody na splachování toalet či mytí aut, k praní prádla či doplňování zásob pitné vody projeví skepsi (Awerbuch a Trommsdorff 2016; Dromi a Shani 2020).

Další alternativou je v Izraeli odsolování mořské vody. Tato technologie je však velice náročná. Náklady na čištění odpadní vody se pohybují v rozmezí 0,45–0,75\$/m³ a odsolování \$0,50/m³ – \$1,80/m³. I přesto u obyvatelstva odsolování vzbuzuje příznivější emoce, proto je pro vládu je snazší prosadit právě odsolování. Jako jedna z možností v izraelském zemědělství se využívá tzv. kapková závlaha. V porovnání s ostatními způsoby dosáhne až 95 % efektivnosti, protože dodává každé rostlině vodu zvlášť a tím se zabráňuje zbytečnému vypařování. Závlahový systém spočívá pouze v zavlažování okolí jednotlivé rostliny. Spotřeba vody se zmenší na třetinu klasické závlahy a zůstává vysoký výnos plodiny (Tal 2002; Awerbuch a Trommsdorff 2016).

Na těchto příkladech můžeme demonstrovat, že i v tak nepříznivých podmínkách lze docílit vysoké efektivnosti hospodaření s vodou. Následkem těchto opatření (kromě jiných přínosů) jsou čistější toky s vyšším průtokem. Je ovšem nutné, aby celospolečenská opatření byla v souladu s osobními postoji jednotlivců.

3.6.2 Nizozemsko

Naprosto odlišný přístup k vodě můžeme najít v Nizozemsku. Terén se zde nachází velice nízko vzhledem k hladině moře. Je typicky nížinatou zemí, přičemž okolo 26 % země se nachází pod úrovní hladiny moře a pouze 50 % země se nachází v úrovni přes metr nad jeho hladinou. Nizozemsko je státem, ve kterém probíhá neustálý souboj s vodním živlem s cílem získat půdu na jeho úkor (U.S. Relations With the Netherlands 2020).

Už po mnoho staletí se zde stavějí hráze za účelem ochrany půdy před zvýšenou hladinou vody. Po vynálezu větrného mlýnu mohli lidé přistoupit k odvodňování nižších poloh. Jednalo se o velmi sofistikovaná díla krajinného inženýrství. Po ohrazení vysušované plochy se odčerpala voda, do bláta se vysévalo rákosí, aby svými kořeny zpevnilo povrch a urychlilo odpařování vody. Po čase se rákosí vypálilo a půda přešla v pastviny. Když dobytek dostatečně udusal půdu, bylo vyseto obilí a postupně vznikala dostatečně silná vrstva pevné půdy. Získaný prostor byl členěn do jednotlivých polí o rozměru 180 × 900 m, které byly poskládány do celků 900 × 900 m. Celý obvod poldru lemoval vodní kanál, ze kterého byla voda přečerpávána vně území. Do tohoto kanálu ústila po celém obvodu velmi hustá lineární síť drobných kanálů, která tvořila hranice jednotlivých polí. Tento systém dokázal udržovat ideální stav spodní vody pro podmínky zemědělství na tomto území (Ley 1961; Oosterbaan et al. 2006; Ritzema et al 2016).

Postupně, jak se zvyšovaly technologické schopnosti, byly vysušovány prostory, které se nacházejí níže pod hladinou moře. V současné době funguje na území Nizozemska propracovaný odvodňovací systém, který obsahuje hráze, kanály a čerpací stanice. Nachází se zde okolo 3 000 poldrů. Nizozemští inženýři jsou známí vyvíjením techniky k odvodnění mokřadů a jejich rozvoj či využití pro zemědělství. Pro zachování rovnováhy mezi vodou a zemí zde neustále pracuje 20 000 čerpadel. Jediný den zastavení provozu čerpadel by znamenal, že by se osmina Nizozemska ocitla pod hladinou vody (Oosterbaan et al. 2006; Ritzema et al 2016).

Celý tento systém je státním majetkem, a dokonce i plochy poldrů jsou zemědělcům pouze pronajímány. Na první pohled je toto řešení téměř dokonalé. Nizozemci si však po stoletích praxe velmi dobře uvědomují energetickou náročnost vytvořené rovnováhy. V současnosti je jejich největším problémem zvyšující se hladina oceánů. Kvůli celistvosti vodní obrany byly aktuálně kolem poldrů zřizovány vodní desky zvané waterschap (situovány ve vnitrozemí) nebo hoogheemraadschap (v blízkosti moře) (U.S. Relations With the Netherlands 2020).

V případě Nizozemska, země plovoucí ve vodě, kde jakýkoliv významnější výkyv hladiny spodní vody může mít katastrofální následky, je příkladem především nezdolná vůle a schopnost místního obyvatelstva postupovat v hlubokém souznění s přirozenými procesy.

3.6.3 Aralské jezero

Zcela opačně – jako katastrofální hospodaření s vodou – může autorka zmínit příběh Aralského jezera. Pozůstatky bezodtokového jezera leží na hranicích Kazachstánu a Uzbekistánu. Dříve se řadilo svou velikostí na 4. místo ve světě, jeho rozloha v roce 1960 činila 68 320 km² (Britannica 2017).

Okolní krajina Aralského jezera patřila v minulosti k nejvýznamnějším producentům bavlny. Také se zde střídavě pěstovala zelenina a obiloviny. To vedlo k šetrnějšímu způsobu hospodaření a udržení stabilního stavu. Jezero také nabízelo možnosti rybolovu. Pěstování bavlny bylo však na prvním místě, protože tvořila hlavní atribut centrálně řízeného exportu (Léttolle a Mainguet 1996).

Nově zakládaná bavlníková pole (od roku 1960) začala situaci měnit. Poprvé bylo zaznamenáno porušení rovnováhy mezi odpařováním z jezera a přítokem. Dalším nadměrným odkláněním vody z přítokových řek byl odstartován problém nebývalých rozměrů (Barth 2006). Z původních 3 000 zavodňovacích kanálů se jejich počet rozrostl na 203 000. Těž došlo k redukci bažin a delt řek a jejich vysychání (Léttolle a Mainguet 1996; Micklin et al. 2007).

Naopak se zvětšila rozloha zavlažovacích ploch z 5 milionů až na 7,9 milionů hektarů. Velký podíl odebrané vody se nevracel zpátky do řek, ale ztratil se vypařováním (Britannica 2017).

Necitlivé zásahy do povodí řek způsobily nebývalé následky v celé oblasti Aralského jezera. Došlo k ovlivnění ekologicko-hospodářských a klimatických poměrů v krajině. Narušení vodních zdrojů a zasolení rozsáhlých ploch půdy eskalovalo až ve zborcení ekosystémů. Degradace a negativní ovlivnění krajiny se projevilo nejen v lokálním měřítku, ale i v mezinárodním. Většina těchto důsledků je dnes už nevratná. Pokles hladiny vody a rostoucí salinita způsobuje úbytek života z jezera. Z původních 32 druhů ryb zde zbylo pouhých šest druhů (Léttolle a Mainguet 1996; Vlčková 2008). Na obrázku 7 můžeme vidět postupné vysychání aralského jezera.



Obr. 7 – Postup vysychání Aralského jezera, vlevo snímek z roku 2000 a vpravo snímek z roku 2014

(Zdroj: NASA Earth Observatory 2014)

Navrátit Aralské jezero do původního stavu je nereálné. Jedním z řešení by bylo zastavit zavlažování, které odčerpává 92 % přítokové vody. Ale s tím nesouhlasí hlavní odběratelé vody. Přesto Kazachstán spolu se Světovou bankou vystavěli hliněnou hráz, která zabraňuje odtoku vody na jih, kde docházelo pouze k odpařování vody. Po dokončení stavby v roce 2005 se po osmi měsících hladina severní části zvedla o dva metry a rozloha se zvětšila o 18 %. Tento čin přispěl k nastartování procesu obnovy Malého Aralu. Podle údajů z roku 2010 poklesla i koncentrace soli z 20 na 10 g/l (Micklin a Aladin 2010; Tao et al. 2020; Kulmatov 2021).

V tomto případě bychom si měli vzít ponaučení z krátkozrakosti našeho rozhodování. Neuvážené jednání může mít opravdu dalekosáhlé následky. Proto bychom měli potlačit skeptické předsudky k akcím, které brání naší krajinu.

3.6.4 Závěr

Ať pohlédneme do kterékoliv strany za naší hranicí, můžeme konstatovat, že v každé zemi se potýkají s vodohospodářskými problémy. Řešení těchto komplikací však nespočívá v ničem jiném než v nás samých. Pokud dokážeme přijmout dostatečně účinná opatření, která budou mít širokou společenskou podporu, je zřejmé, že máme potenciál tuto problematiku úspěšně řešit.

4 Závěr

Dříve než lidé začali přizpůsobovat krajinu svým potřebám, měla přirozenou schopnost retence a akumulace vody. Obsahovala množství krajinných prvků a ploch s akumulovanou vodou. Tyto prvky významně a pozitivně ovlivňovaly zpomalování průchodu vody krajinou, což ještě umocňoval reliéf Čech s jediným odtokem a v případě Moravy tvar údolí se dvěma odtoky. Počátek lidské existence v našem prostoru se vyznačoval téměř ideálním souladem. Krajinné prvky poskytovaly nejen hojnost potravy, ale i bezpečí. S nástupem zemědělství přišla změna. Používaly se méně intenzivní postupy, chyběla těžká technika, obhospodařovaly se menší pozemky a dodržovaly oseední postupy (trojhonná či čtyřhonná soustava), což nemělo ještě potenciál výrazně měnit schopnost retence krajiny. S přibývajícím počtem obyvatel se úměrně zvyšovaly i potřeby na zemědělskou plochu a místa pro bydlení. Rostla i potřeba živočišných, rostlinných a nerostných surovin. Lidé začali mýtit lesy, rovnat koryta řek a vysoušet zamokřené oblasti. S úmyslem zjednodušit zemědělskou činnost se sjednotila pole ve velké lány. O pole se již nestarali majitelé, ale nájemníci, a udržení kvality pozemku přestalo být prioritním úkolem hospodaření. Tyto a mnoho dalších změn vedlo k omezení přirozených ochranných funkcí krajiny a zvýšení hrozeb ve formě povodní a sucha.

S příchodem následků lidské destruktivní činnosti si pomalu začala odborná veřejnost uvědomovat rozsah těchto skutků. Úvahy se začaly ubírat v globálním měřítku a možné budoucí následky získávají prioritu před okamžitými zisky. Je zřejmé, že není v našich současných silách všechny negativní následky napravit. Máme však rozsáhlé znalosti a moderní technologie, které mají potenciál v aktuálním čase zmírnit negativní dopady.

Ohledně problematiky lesního hospodářství z literatury vyplývá, že velice prospěšná je pro lesní porost přirozená skladba lesa. Už pětina dubů ve smrkové monokultuře má velmi pozitivní vliv na zvýšení retence a akumulace vody v půdě a snížení kalamitních dopadů. Proto je vhodné rozrušení smrkové monokultury, k čemuž je vhodná jedle, která kombinuje vlastnosti jehličnanů s hluboko kořenícími kořeny. Dále jsou vhodné například habry, jeřáby, kleny nebo buky. Nesmíme zapomenout ani na to, že je důležité vyhýbat se holosečím, ponechávat dostatek biomasy a upravovat terén po těžbě. Neměli bychom zapomínat na používání šetrných materiálů při stavbě lesních cest, abychom zbytečně nezabraňovali infiltraci vody do půdy. Pro podporu retence a akumulace vody v lesním porostu je prospěšné vytvářet tůň, studánky, mokřady a další krajinné prvky.

Na zemědělsky využívaných plochách je důležité zabraňovat erozi. Jako velice vhodné se ukázal návrat k hospodaření na menších plochách se zařazením mezíplodin, zejména vojtěšky, do oseedních postupů, ale i sít po vrstevnicích a na

svažitých terénech nesít širokořádkové plodiny. K dalším opatřením ke zlepšování kvality půdy a zabraňování utužení je doporučeno zvýšit obsah organické hmoty a zvýšit pH. Rozdělení velkých obhospodařovaných lánů je spojeno s tvorbou přírodě blízkých opatření v podobě remízků a mezí. Tyto prvky navrací schopnost akumulace vody a podporují biodiverzitu. Tvoří tak útočiště pro značné množství živočichů. Do konvenčního hospodaření se navrácí přirozený koloběh přírody a cit pro hospodaření. Ukázalo se, že s kvalitou zemědělské půdy, která souvisí s retencí a akumulací vody, je spojený i vztah zemědělce k půdě – zda ji vlastní, či jí má v pronájmu. Když má půdu v pronájmu, měl by upřednostňovat dlouhodobý pronájem, protože vlastníci a dlouhodobí nájemci dbají více na zdraví půdy. Ve výše uvedených oblastech se vyskytuje i společenská snaha v podobě legislativních opatření a dotačních programů. Ve většině z nich je finančně podporována ochrana krajiny a s tím související tvorba krajinných prvků, včetně podpory šetrnějšího obhospodařování.

V naší krajině zůstala po různých úpravách pouhá třetina vodních ploch oproti dřívější podobě. Proto je vhodné vodní plochy navyšovat, ať velké nádrže k udržení vodních zásob, tak menší krajinné prvky s akumulovanou vodou pro zlepšení samočištění vody, zlepšení mikroklimatu a samozřejmě pro lepší akumulaci a retenci vody v krajině. Také se doporučuje tvorba meandrů, které zpomalují průtok vody v toku. Dále je vhodné rozlévání vody v údolních nivách v místech, kde je to možné.

V urbanizovaných oblastech je důležité používat propustné materiály a zvyšovat zelené plochy. Jako úspěšné řešení, jak zachycovat srážkovou vodu ze střech, jsou zelené střechy. Nejen že zachytávají srážkovou vodu, ale také úspěšně snižují tepelný ostrov města. A navíc mají i estetický rozměr.

Velký potenciál se skrývá ve stále ještě zatracované meliorační síti. Původně byla na našem území vytvořena za účelem odvodnění zemědělské plochy, ale dnes se dá využít různým způsobem. V posledních dvou desetiletích se těmto zařízením nevěnovala velká pozornost, a proto mnoho těchto systémů chátrá. I když většinu melioračních zařízení vlastní stát, nelze je využít bez souhlasu vlastníků jednotlivých pozemků. V případě, že takováto síť byla už zbudována, je nanejvýš vhodné jejím provozováním zamezit ničení sítě a snižování kvality půdy. Rušení a demontáž s následným rozrušením půdního profilu není totiž nijak optimálním řešením. V rovinných partiích krajiny jsou tyto systémy totiž už několik let úspěšně využívány i k zavlažování. V případě svažitých terénů může tento systém ve spojení se systémem řízeného odtoku významně zabránit vysychání. Je tedy zapotřebí obeznámit vlastníky pozemků s melioračním zařízením a s jeho možným využitím a vyřešit spolupráci za účelem zlepšení půdních a krajinných vlastností.

Stávající koncept Chytré krajiny přináší nový pohled na propojení moderních technologií se starými osvědčenými postupy. Je novou možností, jak využít soubor vhodných opatření ke zlepšení situace s extrémními hydrologickými extrémy a zvýšení retence a akumulace vody v krajině. Průběžné výsledky ukazují pozitivní trend. Ale musíme vyčkat na relevantnější závěry, abychom mohli hodnotit pozitiva a negativna tohoto projektu.

Na příkladech z cizích zemí jsme si mohli všimnout, že ať jsou hydrologické podmínky jakékoliv, vždy existuje možnost, jak s nimi pracovat a případně vyřešit hrozící problémy. Na příkladu Aralského jezera jsme si mohli všimnout nepříznivého dopadu na ekosystém v případě, pokud se zanedbá správné hospodaření a zaměřuje se pouze na zisk.

Úspěšné řešení problému retence vody v krajině je v současnosti již globálním problémem. Na jeho řešení se podílí nejen globální instituce, ale i nadnárodní formace a v neposlední řadě se s ním potýkají i státní orgány jednotlivých států. Je realizováno mnoho projektů, jako je například projekt Chytré krajiny, přijímáno mnoho zákonů a financováno mnoho dotačních programů, například GAEC (Good Agricultural and Environmental Conditions). Každý stát by si měl uvědomit svoji zodpovědnost v řešení problematiky hydrologických změn na Zemi.

5 Literatura

- Aboelata A. 2021. Assessment of green roof benefits on buildings' energy-saving by cooling outdoor spaces in different urban densities in arid cities. *Energy* **219**:119-514.
- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. 1998. Crop evapotranspiration- Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome.
- Amaranthus MP, Parrish DS, Perry DA. 1989. Decaying logs as moisture reservoirs after drought and wildfire. Pages 191-194 in Alexander EB, editor. *Proceedings of Watershed '89: a conference on the stewardship of soil, air, and water resources*: Juneau. USDA Forest Service. Alaska Region.
- Andreska J. 1997. Lesk a sláva českého rybářství. NUGA, Pacov.
- Antonín V. 2006. Encyklopedie hub a lišejníků. Academia, Praha.
- Arnell N. 2014. *Hydrology and Global Environmental Change*. Routledge, London.
- Austin AT, Yahdjian L, Stark JM, Belnap J, Porporato A, Norton U, Ravetta DA, Schaeffer SM. 2004. Water pulses and biogeochemical cycles in arid and semiarid ecosystems. *Oecologia* **141**: 221–235.
- Badalíková B, Novotná J. 2016. Vliv organické hmoty v půdě na její retenční schopnost. Pages 26-32 in Rožnovský J, Vopravil J, editoers. *Půdní a zemědělské sucho. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Český hydrometeorologický ústav, Kutná Hora*.
- Bartoš M, Němec J, Kopp J et al. 2009. *Vodstvo a podnebí v České republice v souvislosti se změnou klimatu*. Consult, Praha.
- Batjes NH. 1996. Development of a world data set of soil water retention properties using pedotransfer rules. *Geoderma* **71**: 31–52.
- Bear J. 1975. *Dynamics of Fluids in Porous Media*. Elsevier, New York.
- Beran P et al. 1996. 1000 let hornictví cínu ve Slavkovském lese. Okresní muzeum, Sokolov.

- Bixio D, Thoey Ch, Wintgens T, Hochstat R, Melin T, Chikurel H, Aharoni A, Durham Bruce. 2016. Wastewater Reclamation and Reuse in the European Union and Israel: Status Quo and Future Prospects. Institute for Global Environmental Strategies, Japan.
- Blažková T. 2014. Soustava Vchynicko-tetovského plavebního kanálu. *Archeologia technica: Zkoumání výrobních objektů a technologií archeologickými metodami* **25**: 49–60.
- Brady NC, Weil RR. 1999. *The Nature and Properties of Soils*. Simon & Schuster, New Jersey.
- Brázdil R. 2005. Historické a současné povodně V České republice. *Historie Počasí A Podnebí V Českých Zemích*, sv. 7. Brno: Masarykova univerzita, Praha.
- Carpenter CMG, Todorov D, Driscoll CT, Montesdeoca M. 2016. Water quantity and quality response of a green roof to storm events: Experimental and monitoring observations. *Environmental pollution (Barking, Essex: 1987)* **218**: 664—672.
- Carvajal F, Aguilar MA, Agüera F, Aguilar FJ, Giráldez J V. 2006. Maximum depression storage and surface drainage network in uneven agricultural landforms. *Biosystems Engineering – Soil and Water*, **95**: 281–293.
- Çil E, Yanmaz D. 2017. Determination of Pre-service Teachers' Awareness of Plants. *International Electronic Journal of Environmental Education* **7**: 84–93.
- Cílek V. 2013. *Krajiny domova*. Albatros, Praha.
- Cílek V, Just T, Sůvová Z, et al. 2007. *Voda a krajina: kniha o životě s vodou a návratu k přirozené krajině*. Dokořán, Praha.
- Coleman D, Whitman W. 2007. Linking Species Richness, Biodiversity and Ecosystem Function in Soil Systems. *Pedobiologia* **38**: 479–497.
- Czerniak A, Grajewski S, Krysztofiak-Kaniewska A, Kurowska EE, Okoński B, Górna M, Borkowski R. 2020. Engineering Methods of Forest Environment Protection against Meteorological Drought in Poland. *Forests* **11**.
- Čamrová et al. 2006. *Povodňové škody a nástroje k jejich snížení*. IEEP, Institut pro ekonomickou a ekologickou politiku při FNH VŠE v Praze, Praha.

- Červený J et al. 1984. Podnebí a vodní režim v ČSSR. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Český hydrometeorologický ústav, Valeriánová A, Národní klimatický program České republiky. 2005. Atlas podnebí České republiky a regionalizace výstupů modelů všeobecné cirkulace atmosféry pro potřeby území České republiky. Atlas podnebí ČR. Ministerstvo životního prostředí, Praha.
- Demek J et al. 2006. Hory a nížiny. Zeměpisný lexikon ČR. AOPK ČR, Brno.
- Diestler R. 2017. Česko v kostce: netradiční vlastivěda pro každého. Knižní klub, Praha.
- Dlapa P, Hriník D, Hrabovský A, Šimkovic I, Žarnovičan H, Sekucia F, Kollár J. 2020. The Impact of Land-Use on the Hierarchical Pore Size Distribution and Water Retention Properties in Loamy Soils. *Water* 12.
- Dromi SM, Shani L. 2020. Love of Land: Nature Protection, Nationalism, and the Struggle over the Establishment of New Communities in Israel. *Rural Sociology* 85:111–136.
- Dzuráková M. et al. 2017. Potenciál aplikace přírodě blízkých opatření pro zadržení vody v krajině a zlepšení ekologického stavu vodních útvarů. *VTEI* 4: 25–32.
- Ellison D, Morris CE, Locatelli B, Sheil D, Cohen J, Murdiyarsa D, Gutierrez V et al. 2017. Trees, forests and water: cool insights for a hot world. *Global Environ. Change* 43: 51–61.
- Fanta J et al. 2014. Povodně a sucho: krajina jako základ řešení: sborník příspěvků ze seminářů komise pro životní prostředí Akademie věd ČR konaných ve dnech 8. října 2013 a 5. června 2014. Botanický ústav Akademie věd ČR, Průhonice.
- Friedler E, Lahav O, Jizhaki H, Lahav T. 2006. Study of urban population attitudes towards various wastewater reuse options: Israel as a case study. *J Environ Manage.* Dec 81: 360–370.

- Gross N, Robson TM, Lavorel S, Albert C, Le Bagousse-Pinguet Y, Guillemin R. 2008. Plant response trans mediate the effects of subalpine grasslands on soil moisture. *New Phytologist* **180**: 652–662.
- Hesslerová P, Pokorný J, Brom J, Rejšková – Procházková A. 2013. Daily dynamics of radiation surface temperature of different land cover types in a temperate cultural Landscape: consequences for the local climate. *Ecological Engineering* **54**: 145–154.
- Hladný J. 2007. Fakta a mýty o povodních. Pages 41-50 in Langhammer, editor. *Povodně a změny v krajině*. MŽP ČR a UK v Praze, PŘF, Praha.
- Hladný J. 2009. Druhy sucha. Page 66 in Němec J, Kopp J. *Vodstvo a podnebí v České republice*. Ministerstvo zemědělství České republiky, Praha.
- Hlavínek Petr, Prax P, Kubík J. *Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území*. Ardec, Brno.
- Hrkal Z. 2018. *Voda, včera dnes a zítra*. Mladá fronta, Praha.
- Hrnčiarová T et al. 2009. *Atlas krajiny České republiky*. Ministerstvo životního prostředí ČR, Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i, Průhonice.
- Hrnčiarová T, Mackovičín P, Zvara I et al. 2009. *Atlas krajiny České republiky*. Ministerstvo životního prostředí ČR, Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i., Praha.
- Hule M. 2003. *Vesnický dekameron*. Carpio, Třeboň.
- Hulse D, Gregory S. 2004. Integrating resilience into floodplain restoration: Special Issue: Collaborative Landscape-Scale Ecological Research: Emerging Trends in Urban and Regional Ecology in Musacchio LR, Wu J. *Urban Ecosystems* **7**. Oregon.
- Hodovský J. 2005. Metodický pokyn odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí pro zpracování plánu ochrany území pod vodním dílem před zvláštní povodní. *Věstník Ministerstva životního prostředí* **15**: 77–90.
- Hopkins NN. 2007. The Cloaca Maxima and the Monumental Manipulation of Water in Archaic Rome. *The Waters of Rome* **4**: 1–15.

- Chang Y, Rossi L, Zotarelli L et al. 2021. Biochar improves soil physical characteristics and strengthens root architecture in Muscadine grape (*Vitis rotundifolia* L.). *Chem. Biol. Technol. Agric.* **8**, 7.
- Chen Z, Li S, Ren J, Gong P, Zhang M, Wang L, Xiao S, Jiang D. 2008. Monitoring and Management of Agriculture with Remote Sensing. Pages 397–421 in S. Liang, editor. *Advances in Land Remote Sensing: System, Modeling, Inversion and Application*. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Janský B, Kocum J. 2008. Retence vody v pramenných oblastech toků a na území říční nivy. Pages 101–108 in Pithart D, Benedová Z, Křováková K. editors. *Ekosystémové služby říční nivy*. USBE AV ČR Třeboň, Třeboň.
- Janský B. 2019. Sucho ve světě a v Česku. *Geografické rozhledy* **2**: 29.
- Joza V, Dvořák T. 2000. Plavební kanál Fláje–Clausnitz v Krušných horách. *Lesnická práce* **79**: 566–567.
- Kantor P. 2003. *Lesy a povodně: souhrnná studie*. Ministerstvo životního prostředí, Praha.
- Kantor P, Šach F. 2002. Možnosti lesů při tlumení povodní. *Lesnická práce: časopis pro lesnickou vědu a praxi*. *Lesnická práce* **81**: 493–459.
- Kiem A et al. 2016. Natural hazards in Australia: droughts. *Climatic Change* **139**.
- Kopp G, Lawrence G, Rottman G. 2005. The Total Irradiance Monitor (TIM): Science Results. *Solar Physics* **230**: 129–139.
- Kravčík M, Pokorný J, Kohutiar J, Kováč M, Tóth E. 2007. *Water for the recovery of the climate-A New Water Paradigm*. Krupa Print, Žilina.
- Krämer I, Hölscher D. 2009. Rainfall partitioning along a tree diversity gradient in a deciduous old-growth forest in Central Germany. *Ecohydrology* **2**: 102–114.
- Křivánek J, et al., 2012. *Rybníky v České republice*. Consult, Praha.
- Křivánek J, et al., 2014. *Drobné vodní toky v ČR*. Consult. Praha.

- Kulhavý Z, Fučík P. 2015. Adaptation Options for Land Drainage Systems Towards Sustainable Agriculture and Environment: A Czech Perspective. *Polish Journal of Environmental Studies* **23**.
- Kulmatov R, Mirzaev J, Taylakov A, Abuduwaili J, Karimov B. 2021. Quantitative and qualitative assessment of collector-drainage waters in Aral Sea Basin: trends in Jizzakh region, Republic of Uzbekistan. *Environmental Earth Sciences* **80**: 122.
- Kupčák V. 2005. Ochrana lesa a lesní zákon. Pages 45–48. Ekonomické aspekty ochrany lesa, Sborník referátů ze semináře EK OLH ČAZV se zahraniční účastí. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Jeseníky.
- Léttolle R, Mainguet M. 1996. Der Aralsee – eine ökologische Katastrophe. Springer-Verlag, Berlin.
- Ley W. 1961. "The Home-Made Land". *Galaxy Science Fiction*. October 92–106.
- Lhotský R. 2006. Retenční funkce Třeboňské rybníční soustavy. *Vodní hospodářství* **56**: 410–414.
- Machálek E, Pěchura M. 2008. České zemědělství v podmínkách reformy SZP EU a nástroje k její realizaci: přímé platby a cross-compliance, zvyšování konkurenceschopnosti. Institut pro strukturální politiku, Praha.
- Majer J. 1970. Těžba cínu ve Slavkovském lese v 16. století. Národní technické muzeum, Praha.
- Makarieva A, Gorshkov V. 2010. The Biotic Pump: Condensation, atmospheric dynamics and climate. *International Journal of Water* **5**: 365–385.
- Merz R, Blöschl G. 2004. Regionalisation of Catchment Model Parameters. *Journal of Hydrology* **287**: 95–123.
- Micklin P, Aladin NV, Plotnikov I. 2007. The Aral Sea Disaster. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* **35**: 47–72.
- Moldan B. 2003. (Ne)udržitelný rozvoj: ekologie-hrozba i naděje. Karolinum, Praha.

- Mu W, Yu F, Li C, Xie Y, Tian J, Liu J, Zhao N. 2015. Effects of Rainfall Intensity and Slope Gradient on Runoff and Soil Moisture Content on Different Growing Stages of Spring Maize. *Water* **7**: 2990–3008.
- Muñoz-Carpena R. 2021, February 15. Field Devices For Monitoring Soil Water Content. *Agricultural and Biological Engineering*. Available from <https://edis.ifas.ufl.edu/ae266> (accessed March 5, 2021).
- Němec at al. 2006. *Voda v České republice*. Consult, Praha.
- Němeček et al. 2011. *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- Nimmo. J. 2004. Porosity and Pore Size Distribution. In *Encyclopedia of Soils in the Environment* 4. Elsevier, London.
- Novák P, Masek J, Hula J. 2016. Impact of soil tillage technology on erosion parameters in central Bohemia region. *Engineering for rural development* 6.
- Oosterbaan RJ et al. 2006. *Drainage Principles and Applications*. Ritzema, Publication: Wageningen, The Netherlands.
- Pamukcu-Albers P, Erdem N, Serengil Y, Randhir T. 2016. Ecohydrologic modelling of water resources and land use for watershed conservation. *Ecological Informatics* **36**: 31–41.
- Paul MJ, Meyer JL. 2001. Streams in the Urban Landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics* **32**: 333–365.
- Pavelková Chmelová R et al. 2014. *Historické rybníky České republiky: srovnání současnosti se stavem v 2. polovině 19. století*. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, Praha.
- Peng X, Dai Q, Ding G, Shi D, Li C. 2019. The role of soil water retention functions of near-surface fissures with different vegetation types in a rocky desertification area. *Plant and Soil* **441**.
- Pithart D et al. 2012. *Importance of water retention in river floodplains*. Daphne ČR & P3K, Praha.

- Podrázský V, Remeš J. 2005. Retenční schopnost svrchní vrstvy půd lesních porostů s různým druhovým složením. Zprávy lesnického výzkumu, **50**: 46–48.
- Pokorný J. 2014. Hospodaření s vodou v krajině – funkce ekosystémů. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Ústí nad Labem.
- Pokorný J. 2019. Evapotranspiration. Pages 292-303 in Fath BD editor. Encyclopedic of Ecology, 2nd edition, vol. 2. Elsevier. Oxford.
- Pokorný J, Lhotský R. 2006. Význam mokřadů pro ovlivnění vodní bilance krajiny. Vodní hospodářství **56**: 31–34.
- Poláková J. 2018. Is economic institutional adaptation feasible for agri-environmental policy? Case of Good Agricultural and Environmental Condition standards. Agric. Econ. – Czech, **64**: 456–463.
- Pretel J et al. 2011. Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření. Ministerstvo životního prostředí, Praha.
- Rejšek K, Vácha R. 2018. Nauka o půdě. Agripriint, Olomouc.
- Ritzema H, Kirkpatrick H, Stibinger J, Heinhuis H, Belting H, Schrijver R, Diemont H. 2016. Water Management Supporting the Delivery of Ecosystem Services for Grassland, Heath and Moorland. Sustainability 8.
- Roth GD. 2000. Encyklopedie počasí: jak porozumět počasí a meteorologickým předpovědím. Knižní klub, Praha.
- Rozkošný M, Pavelková Chmelová R, David V. 2015. Zaniklé rybníky v České republice: případové studie potenciálního využití území. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, v. v. i., Praha.
- Rožnovský J. 2014. Klimatická změna: dopady na krajinu. Sborník Povodně a sucho: krajina jako základ řešení. Botanický ústav, Průhonice.
- Řehoř J, Brázdil R, Trnka M, Lhotka O, Balek J, Možný M, Štěpánek P, Zahradníček P, Mikulová K, Turňa M. 2021. Soil drought and circulation types in a longitudinal transect over central Europe. International Journal of Climatology **41**: E2834–E2850.

- Sajikumar N, Remya RS. 2015. Impact of land cover and land use change on runoff characteristics. *Journal of Environmental Management* **161**: 460–468.
- Seibt F. 2003. Karl IV.: ein Kaiser in Europa, 1346-1378. Fischer Taschenbuch, Frankfurt.
- Scheufler V, Šolc V. 1970. Vorořlavba na jiřoćeských toćích = Flösserei auf den südböhmischen Wasserläufen. Āeskoslovenská akademie věd, Ústav pro etnografii a folkloristiku, Praha.
- Schiermeier Q. 2010. Few fishy facts found in climate report" *Nature*. **466**: 170.
- Siegel SM. 2016. Budiř voda: izraelská inspirace pro svět ohrožený nedostatkem vody. Aligier, Praha.
- Skála J, Zádorová T, Žížala D. 2021. On the interpretation of surprisingly high variation of soil map diversity in country-wide study of flood-affected agroecosystems using the legacy data in the Czech Republic. *Geoderma* **383**: 114732.
- Sklenička P, Āećetka T. 2002. Soil porosity along a gradient from forest edge to field. *Bodenkultur* **53**: 191–197.
- Sklenička P, Molnářová K, Šálek M, Šimová P, Vlasák J, Sekáč P, Janovská V. 2015. Owner or tenant: Who adopts better soil conservation practices? *Land Use Policy* **47**: 253–261.
- Sobířek B. 1993. Meteorologický slovník výkladový & terminologický. Ministerstvo životního prostředí Āeské republiky, Praha.
- Soenne H et al. 2020. Are there environmental or agricultural benefits in using forest residue biochar in boreal agricultural clay soil? *Science of The Total Environment* **731**: 138955.
- Smolíčková L. 1988. Pedologie /2. vyd., v SPN 1. vyd. Státní pedagogické nakladatelství, Praha.
- Soukup M. 2008. Biotechnická opatření v krajině pro zvýšení retence vody na odvodněných pozemcích v pramenných oblastech: metodika a katalog navrhovaných opatření. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha.

- Stonawski J. 1997. Základy ekologie. Karolinum, Praha.
- Šarapatka B, Bedrana Z. 2002. Kvalita a degradace půdy. Univerzita Palackého, Olomouc.
- Šarapatka B, Netopil P, Pavlík F, Baran J. 2013. The efficiency of different approaches to soil erosion control in selected areas of the Czech Republic. *Fresenius Environmental Bulletin* **22**.
- Šarapatka B, Pavelková Chmelové R, Frajer J. 2014. Vývoj rybníkářství jako součásti kulturního dědictví v České republice se zaměřením na stav od poloviny 19. století. *Životné prostredie* **48**: 29–32.
- Šráček O. 2017. Perské kanáty a klimatická změna. *Vesmír* **96** **7**: 410–411.
- Štenberk J. 2013. Schwarzenberský plavební kanál: historie a současnost. Správa Národního parku a Chráněné krajinné oblasti Šumava. Vimperk.
- Štefáček S. 2008. Encyklopedie vodních toků Čech, Moravy a Slezska. Baset, Praha.
- Štěrba O. 2008. Říční krajina a její ekosystémy. Univerzita Palackého, Olomouc.
- Švihla V. 2001. Vliv lesa na odtokové poměry v malém povodí. *Lesnická práce* **80**.
- Tate EL, Gustard A. 2000. Drought Definition: A Hydrological Perspective. Pages 23–48 in J. V. Vogt and F. Somma, editors. *Drought and Drought Mitigation in Europe*. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Tal A. 2002. *Pollution in a Promised Land: Environmental History of Israel*. University of California Press, Berkeley.
- Tallaksen L, Lanen HAJ van. 2004. Hydrological drought. Processes and estimation methods for streamflow and groundwater. *Developments in water science* **48**: 579.
- Tao D, Shi H, Gao C, Zhan J, Ke X. 2020. Water Storage Monitoring in the Aral Sea and its Endorheic Basin from Multisatellite Data and a Hydrological Model. *Remote Sensing* **12**.

- Tesař M, Šír M, Syrovátka O, Pražák J, Lichner L, Kubík F. 2001. Soil water régime in head water regions – observation, assessment and modelling. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, **49**: 355–375.
- Tindall JA. 1999. *Unsaturated zone hydrology for scientists and engineers*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New York.
- Tolasz R. 2007. *Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia*. Český hydrometeorologický ústav, Praha.
- Tomášek M. 1995. *Atlas půd České republiky*. Český geologický ústav, Praha.
- Trnka M et al. 2020. Czech Drought Monitor System for monitoring and forecasting agricultural drought and drought impacts. *International Journal of Climatology* **40**: 5941–5958.
- Úlehla V. 1947. *Napojme prameny: O utrpení našich lesů*. Život a práce, Praha.
- Vach M, Haberle, J, Procházka, J et al. 2009. *Pěstování strniskových meziplodin*. Certifikovaná metodika, VÚRV, v. v. i., Praha.
- Válek Z. 1977. *Lesní dřeviny jako vodohospodářský a protierozní činitel*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Vondruška V. 2014. *Život staré Šumavy*. Vyšehrad, Praha.
- Vopravil J et al. 2010. *Půda a její hodnocení v ČR*. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. Praha.
- Wahren A, Schwärzel K, Feger K-H, A M, I D. 2007. Identification and model based assessment of the potential water retention caused by land-use changes. *Advances in Geosciences* **11**: 49–56.
- Waldhauser J, Frohlich J. 1990. Rýžovnický splav a prospektorská základna Keltů k rýžování zlata u Medlešovic na Strakonicku (Stav hodnocení a kritika pramenů) *Zkoumání výrobních objektů a technologií archeologickými metodami* **6**: 10.
- Walmsley A, Azadi H, Tomeckova K, Sklenicka P. 2020. Contrasting effects of land tenure on degradation of Cambisols and Luvisols: The case of Central Bohemia Region in the Czech Republic. *Land Use Policy* 99.

- Warner B. 2002. Our Special Day to Celebrate. *Wetland Science and Practice* **19**: 3–4.
- Wen Z, Zheng H, Smith JR, Ouyang Z. 2021. Plant functional diversity mediates indirect effects of land-use intensity on soil water conservation in the dry season of tropical areas. *Forest Ecology and Management* 480: 118646.
- Wilhite DA, Glanz MH. 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International* **10**: 111–120.
- Wu J, Zhang R, Gui S. 1999. Modeling soil water movement with water uptake by roots. *Plant and Soil* **215**: 7–17.
- Wulanningtyas HS, Gong Y, Li P, Sakagami N, Nishiwaki J, Komatsuzaki M. 2021. A cover crop and no-tillage system for enhancing soil health by increasing soil organic matter in soybean cultivation. *Soil and Tillage Research* 205: 104-749.
- Zárbynická A, Žák M, Karas P, Míková T. 2018. Když se blýská na časy: počasí a klima u nás i ve světě. CPress, Brno.
- Zelenka J, Živor R. 2019. Hornické památky České republiky. Academia, Praha.
- Žemlička J. 2002. Počátky Čech královských: 1198–1253: proměna státu a společnosti. NLN Nakladatelství Lidové noviny, Praha.

6 Internetové zdroje

- Awerbuch L, Trommsdorff C. 2016. International Water Association. From seawater to tap or from toilet to tap? Joint Desalination and Water Reuse is the future of sustainable water management. International Water Association. Available from <http://www.iwa-network.org/from-seawater-to-tap-or-from-toilet-to-tap-joint-desalination-and-water-reuse-is-the-future-of-sustainable-water-management/> (accessed March 4, 2021).
- Barth P. 2006. Das Aralsee-Syndrom. Barth P. Available from http://www.peterbarth.de/wasser_aral.html (accessed March 4, 2021).
- Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "Aral Sea". Encyclopedia Britannica, 10 May. 2019, <https://www.britannica.com/place/Aral-Sea> (accessed March 4, 2021).
- eAGRI. 2017. Shrnutí informací k podmínkám standardů dobrého zemědělského a environmentálního stavu půdy DZES. Available from <http://eagri.cz/public/web/mze/dotace/kontroly-podminenosti-cross-compliance/dobry-zemedelsky-a-environmentalni-stav/shrnuti-informaci-k-podminkam-standardu.html> (accessed March 5, 2021).
- Ekolist.cz. 2019. Ekolist.cz. Krajina, která zvládne změny klimatu? Čeští vědci testují chytrou krajinu Amálii. BEZK. Available from [Krajina, která zvládne změny klimatu? Čeští vědci testují chytrou krajinu Amálii - Ekolist.cz](#) (accessed March 4, 2021).
- Heřman J. 2013. Vltava (řeka) | ENCYKLOPEDIE ČESKÝCH BUDĚJOVIC. Available from <http://www.encyklopedie.c-budejovice.cz/clanek/vltava> (accessed March 7, 2021).
- Kolasa-Więcek A, Suszanowicz D. 2021. The green roofs for reduction in the load on rainwater drainage in highly urbanised areas. Environmental Science and Pollution Research. Available from <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12616-3> (accessed March 4, 2021).
- Máca P. 2019. Koncept „Chytra Krajina“ lokalita Amalie – zemědělská krajina. Available from http://cvtvhs.cz/files/aktualne/2019/hospodareni-s-vodou/Maca_Koncept_chytra_krajina.pdf.

- Urban J. 2012. Úrodnost půdy a výživa rostlin. Available from <https://orgprints.org/24908/> (accessed March 5, 2021).
- U.S. Relations With the Netherlands. 2020. (n.d.). Available from <https://www.state.gov/u-s-relations-with-the-netherlands/> (accessed March 5, 2021).
- Vlčková E. 2008, May 31. Aralské jezero čeká na záchranu. Available from <https://tech.ihned.cz/c1-25095920-jezero-aral-ceka-na-zachranu> (accessed March 5, 2021).