

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**

**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Fyzická geografie a geoekologie



Bc. Kateřina Maroušková

**PROJEVY A DOPADY HYDROLOGICKÉHO SUCHA V POVODÍ  
RAKOVNICKÉHO POTOKA**

**SIGNS AND IMPACTS OF HYDROLOGICAL DROUGHT IN  
THE RAKOVNICKY STREAM BASIN**

*Diplomová práce*

**Vedoucí diplomové práce: RNDr. Milada Matoušková, Ph.D.**

Praha, 2016

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci vypracovala samostatně s výjimkou konzultací a použité literatury. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Kladně, 27. 7. 2016

.....

Bc. Kateřina Maroušková

## **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala především RNDr. Miladě Matouškové, Ph.D. za odborné vedení mé práce, cenné rady a poskytnuté materiály. Poděkování patří také RNDr. Dušanu Romportlovi, Ph. D. za konzultace a data. Dále bych chtěla poděkovat rakovnickému odboru životního prostředí, především pak jeho vedoucí RNDr. Aleně Škoudlínové a v neposlední řadě také mojí rodině za podporu při studiu.

## Zadání diplomové práce

### **Název práce:**

### **Projevy a dopady hydrologického sucha v povodí Rakovnického potoka**

Cílem práce je vyhodnocení hydrologicky suchých období v povodí Rakovnického potoka za využití dostupných datových zdrojů ČHMÚ. Dále bude provedena fyzicko-geografická charakteristika zájmového povodí se zaměřením na hydrologii a studovány trendy vybraných hydro-klimatických faktorů s využitím statistických metod, provedena analýza změn krajinného pokryvu v povodí a údolní nivě. Pozornost bude věnována vybraným adaptačním opatřením.

### **Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje:**

- řešerše zahraniční a domácí odborné literatury na danou problematiku
- fyzicko-geografická charakteristika zájmového povodí
- příprava vstupních datových podkladů
- analýza trendů srážko-odtokového režimu
- hodnocení vybraných hydrologicky suchých období se zaměřením na sucho 2003, 2015
- analýza změn krajinného pokryvu
- návrh možných adaptačních opatření
- diskuse a shrnutí výsledků

### **Datové zdroje:**

Odborná literatura, mapové a datové podklady, terénní průzkum, data ČHMÚ, informace od správců toků, odboru životního prostředí MěÚ Rakovník

RNDr. Milada Matoušková, Ph.D.

## Abstrakt

Tato práce řeší projevy a dopady hydrologického sucha v modelovém povodí Rakovnického potoka a jejím cílem je vyhodnocení trendů vybraných hydroklimatických veličin, analýza suchých období a změn krajinného pokryvu jako jednoho z faktorů ovlivňujícího odtokové poměry v povodí. Pozornost je věnována také vybraným adaptačním opatřením. Hlavními použitými metodami pro analýzu dlouhodobých a sezónních trendů jsou Man-Kendallův test, IHA analýza, křivky překročení a součtové čáry. Suchá období byla hodnocena na základě odtokového indexu sucha (SDI), Low Flow indexu a průtoků nižších než Q95%. Změny krajinného pokryvu v povodí Rakovnického potoka jsou analyzovány pomocí historických map a indexu změny. Vypočteny jsou základní koeficienty ekologické stability. Na základě zjištěných výsledků je možné konstatovat, že povodí Rakovnického potoka je územím, které je stále častěji postihováno hydrologickým suchem se všemi jeho projevy a dopady. Ačkoli se nemění úhrny srážek, mění se jejich rozložení během roku a dochází ke stálému zvyšování teplot a snižování průtoků, což může být částečně způsobeno provedenými změnami v krajině. Pro zlepšení akumulace vody v povodí je žádoucí provést změny především na samotných vodních tocích a v jejich nivách.

**Klíčová slova:** srážky, odtok, sucho, ekologický stav, Rakovnický potok

## Abstract

This thesis deals with the signs and impacts of the hydrological drought in the Rakovnický stream basin. Its aim is to evaluate trends of the selected hydroclimatic variables, to analyze drought periods and land cover changes as one of the factors influencing a runoff regime in the catchment. The main methods used for the long-term and seasonal trends are Man-Kendall test, IHA analysis, flow duration curves and mass curves. Dry periods are evaluated based on Streamflow drought index (SDI), Low Flow index and runoff Q95 exceedance. Land use changes are analyzed using historical maps and index of change. Basic indices of ecological stability are calculated. According to the results the frequency and intensity of the hydrological drought in the Rakovnický stream basin is increasing. Although the amount of a rainfall is consistent, its distribution throughout the year is changing. In addition the constantly increasing temperature and land use changes cause a significant runoff decreasing. To improve a water retention capacity in the cathment, it would be convenient to apply adaptation measures in the river channels and floodplains.

**Key words:** rainfall, runoff, drought, ecological status, Rakovnický stream

**OBSAH**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. ÚVOD A CÍLE PRÁCE .....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>2. DEFINICE SUCHA A JEHO DĚLENÍ .....</b>                                      | <b>9</b>  |
| 2.1    HODNOCENÍ HYDROLOGICKÉHO SUCHA .....                                       | 12        |
| <b>3. DOPADY A PROJEVY SUCHA V KRAJINĚ .....</b>                                  | <b>14</b> |
| 3.1    VLIV HYDROLOGICKÉHO SUCHA NA DOSTUPNOST VODNÍCH ZDROJŮ .....               | 14        |
| 3.2    VLIV SUCHA NA ROSTLINY A PŮDU .....  | 15        |
| 3.3    VLIV HYDROLOGICKÉHO SUCHA NA ZDROJE PODZEMNÍ VODY .....                    | 18        |
| 3.4    SUCHO A LESNÍ HOSPODÁŘSTVÍ.....  | 20        |
| <b>4. PŘEMĚNA KRAJINY VE SPOJITOSTI S VÝSKYTEM SUCHA .....</b>                    | <b>23</b> |
| 4.1    VÝVOJ KRAJINY V ČESKÝCH ZEMÍCH OD PRŮMYSLOVÉ REVOLUCE DO SOUČASNOSTI ..... | 25        |
| <b>5. NEJVÝZNAMNĚJŠÍ HYDROLOGICKÁ SUCHA OD POČÁTKU 20. STOLETÍ .....</b>          | <b>28</b> |
| 5.1    ROK 1904 .....   | 28        |
| 5.2    ROK 1921 .....   | 29        |
| 5.3    ROK 1947 .....   | 29        |
| 5.4    ROK 1953 .....   | 30        |
| 5.5    ROK 1983 .....   | 30        |
| 5.6    ROK 1992 .....   | 30        |
| 5.7    ROK 2003 .....   | 31        |
| 5.8    ROK 2015 .....   | 31        |
| <b>6. SUCHO V LEGISLATIVĚ.....</b>  | <b>34</b> |
| <b>7. STRATEGIE ADAPTAČNÍCH OPATŘENÍ .....</b>                                    | <b>37</b> |
| 7.1    PREVENTIVNÍ OPATŘENÍ .....   | 39        |
| 7.2    OPERATIVNÍ OPATŘENÍ.....   | 42        |
| 7.3    KRIZOVÁ OPATŘENÍ .....   | 43        |
| <b>8. APLIKOVANÉ METODY A ZDROJE DAT.....</b>                                     | <b>45</b> |
| <b>9. CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ POVODÍ RAKOVNICKÉHO POTOKA.....</b>                   | <b>51</b> |
| 9.1    DOSAVADNÍ VÝZKUM.....  | 51        |
| 9.2    POLOHA POVODÍ .....  | 52        |
| 9.3    MORFOLOGICKÉ POMĚRY POVODÍ.....  | 53        |
| 9.4    GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY .....                                  | 55        |
| 9.5    PEDOLOGICKÉ POMĚRY .....   | 56        |
| 9.6    KLIMATICKÉ POMĚRY .....  | 58        |
| 9.7    VYUŽITÍ KRAJINNÉHO POKRYVU.....  | 58        |
| 9.8    VEGETAČNÍ POKRYV .....   | 59        |
| 9.9    ANTROPOGENNÍ ČINNOSTI V POVODÍ .....                                       | 61        |
| <b>10. HYDROGRAFICKÁ SÍŤ V POVODÍ RAKOVNICKÉHO POTOKA.....</b>                    | <b>63</b> |
| 10.1    VÝVOJ ŘIČNÍ SÍTĚ .....  | 63        |
| 10.2    ANTROPOGENNÍ TRANSFORMACE ŘIČNÍ SÍTĚ.....                                 | 63        |
| <b>11. PŘÍPRAVA REALIZACE MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ NA RAKOVNICKU .....</b>           | <b>67</b> |
| <b>12. VÝSLEDKY .....</b>   | <b>73</b> |
| 12.1    ANALÝZA HYDROKLIMATICKÝCH VELIČIN – JEJICH ZMĚNY A TRENDY V ČASE .....    | 73        |
| 12.1.1    TEPLOTA VZDUCHU .....   | 73        |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 12.1.2     | SRÁŽKY.....   | 76         |
| 12.1.3     | ODTOKOVÉ POMĚRY .....   | 79         |
| 12.1       | HODNOCENÍ VYBRANÝCH HYDROLOGICKY SUCHÝCH OBDOBÍ .....                                 | 88         |
| 12.1.1     | SUCHO 2003 A 2015 NA RAKOVNICKÉM POTOCE .....   | 92         |
| 12.2       | ANALÝZA ZMĚN KRAJINNÉHO POKRYVU .....   | 95         |
| <b>13.</b> | <b>NÁVRH MOŽNÝCH ADAPTAČNÍCH OPATŘENÍ V ZÁJMOVÉM POVODÍ RAKOVNICKÉHO POTOKA .....</b> | <b>102</b> |
| <b>14.</b> | <b>DISKUZE A ZÁVĚR .....</b>  | <b>105</b> |
| <b>15.</b> | <b>SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK .....</b>   | <b>108</b> |
| 15.1       | SEZNAM OBRÁZKŮ .....  | 108        |
| 15.2       | SEZNAM TABULEK .....  | 110        |
| <b>16.</b> | <b>SEZNAM ZDROJŮ A LITERATURY .....</b>   | <b>112</b> |
| 16.1       | LITERATURA.....   | 112        |
| 16.2       | INTERNETOVÉ ZDROJE:.....  | 116        |
| <b>17.</b> | <b>PŘÍLOHY .....</b>  | <b>117</b> |

## I. Úvod a cíle práce

Voda je základní a neodmyslitelnou složkou životního prostředí, proto jsou její kvalita a dostatek hlavními faktory pro život na Zemi. Jako důsledek probíhající klimatické změny dochází na území České republiky k nárůstu teplot a změně rozložení srážek během roku. V návaznosti na tyto změny je Česká republika stále častěji postihována extrémními hydrologickými jevy, zejména pak povodněmi a suchem. Dle klimatických scénářů můžeme očekávat navýšení frekvence výskytu a intenzity těchto jevů v příštích letech. Vzhledem k tomu, že vodní zdroje České republiky jsou téměř výhradně závislé na atmosférických srážkách, jsou tedy mnohem více ovlivněny extrémními hydrologickými jevy, než je tomu například v okolních státech.

V posledních několika dekádách bylo území České republiky zasaženo katastrofickými povodněmi, které způsobily ztráty na životech i vysoké finanční škody. Proto jsou povodně, jejich vývoj a postup všech dotčených složek při povodňové události, zakotveny a definovány v legislativě i v Plánech jednotlivých povodí. V případě sucha to ale neplatí. Tento fenomén je pro Českou republiku relativně nový, ale stále častější a dle prognóz se v budoucnu stane normálem, proto je třeba se na tyto změny řádně připravit a zavádět vhodná opatření pro jejich zmírnění či eliminaci.

Jedním z faktorů, který prohlubuje účinky extrémních hydrologických jevů, je zrychlený odtok vody z povodí. Zrychlený odtok je způsoben zejména změnami ve využívání krajiny v posledních dvou staletích, nevhodným obhospodařováním půdy těžkou technikou, aplikací chemických hnojiv a zavedením produkčního zemědělství. Ztráta mozaikovitosti krajiny, scelování pozemků a hydromeliorační úpravy v povodí mají vliv na sníženou retenční schopnost krajiny. Právě změna ve využití krajiny je jedním z možných primárních adaptačních opatření na podporu zvýšení akumulace vody v ní. Také změny říční sítě, umělé napřimování a zahlubování koryt vodních toků, které masivně probíhaly od 60. let minulého století, přispívají ke zrychlenému odtoku a zkrácené době zadržení vody v povodí.

Mezi nejvýznamnější dopady sucha patří nedostatek vody pro zásobování obyvatelstva a hospodářské sektory, jako je zemědělství a průmysl, zhoršení kvality vody v korytech či nádržích a zánik vodních ekosystémů.

Povodí Rakovnického potoka je povodí s dlouhodobě nepříznivou hydrologickou bilancí a potýkající se s dopady sucha. Mezi nejvýznamnější antropogenní zásahy negativně ovlivňující



hydrologický režim v zájmovém území patří historické změny říční sítě včetně zrušení velké části rybníční soustavy, vysoká míra upravenosti vodních toků, jejich napřímení, zahloubení a zpevnění, které mnohdy nedovoluje infiltraci vody do půdy, ale také nevhodné využití říční nivy s množstvím nepropustných povrchů.

Cílem této práce je analýza vybraných hydroklimatických veličin, jako jsou teplota, srážky a průtoky a jejich dlouhodobé trendy a změny v čase a zhodnocení dopadů hydrologického sucha navržením možných adaptačních opatření. Důraz je kladen na zhodnocení vybraných suchých období se zaměřením na roky 2003 a 2015. Dalším cílem je zhodnocení vývoje krajinného pokryvu a jeho změn od druhé poloviny 19. století do současnosti, protože změna užívání krajiny a snížení její retenční kapacity je potenciálním faktorem, který zapříčiňuje zrychlený odtok vody z krajiny. Rozbor krajinného pokryvu bude proveden jednak na úrovni celého povodí, největší změny, které ovlivňují přirozený odtok, jsou však situovány hlavně do bezprostřední blízkosti vodního toku a jeho říční nivy, pozornost pak bude věnována především těmto oblastem. Výsledky jsou interpretovány na základě provedených analýz, ale také vyplývají z účasti autorky na seminářích týkajících se sucha v povodí Rakovnického potoka a terénního pozorování, které je shrnuto v bakalářské práci *Hydromorfologický průzkum v povodí Rakovnického potoka (2014)* zabývající se především změnami v korytě a morfologii toku.

## 2. Definice sucha a jeho dělení

Sucho je přírodní riziko, ale oproti většině přírodních rizik, které vznikají náhle a bez varování a mají rychlý průběh, je sucho charakteristické pomalým vznikem i vývojem. Problém nastává se stanovením přesného začátku a konce sucha, a jeho dopady, které mají kumulativní charakter, jsou patrné ještě několik let po výskytu normálních srážkových úhrnů. Z toho vyplývá i nejednoznačná definice sucha – v současné době neexistuje žádná univerzální a všeobecná. Meteorologický slovník výkladový a terminologický (1993) popisuje sucho jako velmi neurčitý, avšak v meteorologii často užívaný pojem, znamenající v zásadě nedostatek vody v půdě, rostlinách nebo atmosféře. Sucho není vzácný a náhodný jev, ale jak uvádí NDMC



Obrázek 1: Kategorie 'suchosti'. Zdroj: Němec, Hladný (2006).

(National Drought Mitigation Center, USA), je sucho normální, opakující se projev klimatu, který souvisí s jeho kolísáním. Na rozdíl od aridity, která je považována za trvalý znak klimatu (Obr. 1), sucho se může jako přechodná anomálie vyskytovat ve všech klimatických zónách a srážkových režimech (Blinka, 2004). Díky svému pomalému vývoji a ovlivnění mnoha složek krajinné sféry je sucho chápáno jako velmi nebezpečný jev.

Již Thornthwaiteova klasifikace podnebí (1947) vyčleňuje tři hlavní druhy sucha, a to sucho stálé vyskytující se v nejsušších klimatických pásmech, sucho sezónní, které se vyskytuje pouze v některých klimatických pásmech a v oblastech monzunového podnebí a nakonec sucho nahodilé, které vzniká v důsledku nepravidelných a proměnlivých četností a intenzit výskytu srážek. Nahodilé sucho je tedy nepravidelně se vyskytující období podnormálních srážek, které může trvat několik týdnů, měsíců i roků. Ve vegetačním období je často deficit srážek doprovázen nadnormálními teplotami, nižší poměrnou vlhkostí vzduchu, zmenšenou oblačností a větším počtem hodin slunečního svitu, což vede ke zvýšené evapotranspiraci a úbytku vody a vláhy.

Mawdsley et al. (1994 in Hisdal et Tallaksen, 2000) definoval dva druhy ukazatelů sucha:

- Environmentální indikátory sucha, jsou meteorologické či hydrologické ukazatele, které mají přímý vliv na hydrologický cyklus a jejich definice zpravidla hovoří o stupni odchýlení se od normálních podmínek. Nejčastěji se s nimi setkáváme v souvislosti

s deficitem srážek, nízkých průtoků nebo úbytku půdní vláhy. Tyto ukazatele mohou určit dobu trvání a závažnost sucha a jsou využívány pro analýzu frekvence výskytu sucha.

- Indikátory vodních zdrojů ukazují závažnost dopadů sucha na využití vodních zdrojů v nejširším slova smyslu, například vliv na zásobování vodou pro domácí nebo zemědělské účely, dopad na zásoby podzemní i povrchové vody a její odběry a v neposlední řadě ovlivnění rybolovu a rekreační činnosti.

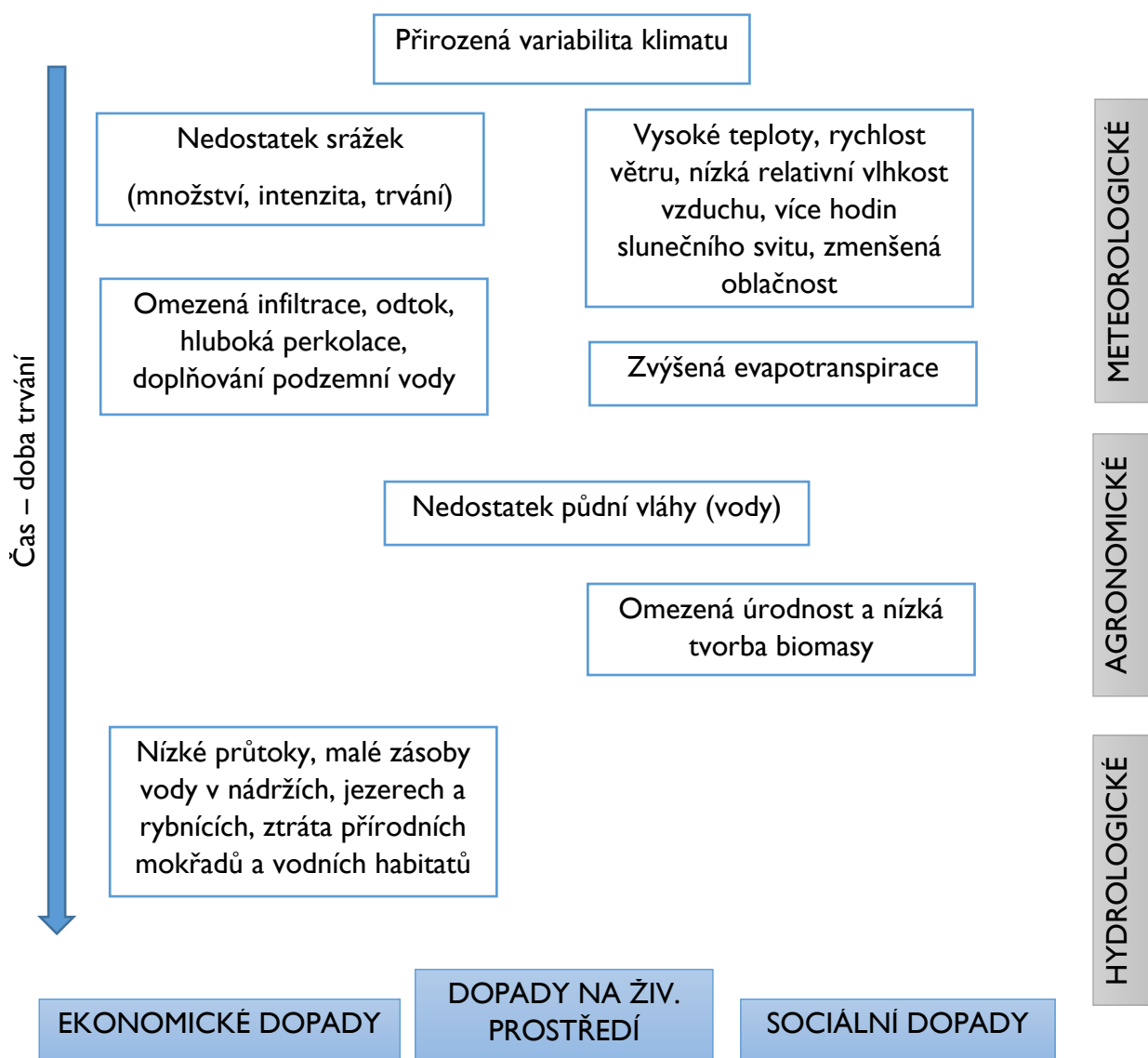
Obecně rozlišujeme sucho meteorologické, hydrologické, zemědělské a socio-ekonomické, přičemž první tři jmenované jsou určeny environmentálními ukazateli sucha, indikátory vodních zdrojů je definován pojem sucha socio-ekonomického.

Pod pojmem meteorologické sucho rozumíme odchylku srážek od dlouhodobého normálu v určitém časovém období. Závisí i na dalších meteorologických prvcích, a to hlavně na výparu, teplotě, rychlosti větru a vlhkosti vzduchu (Rožnovský, 2012). Meteorologické sucho určujeme pomocí různých klimatologických indexů. Mezi nejvíce používané indexy patří Palmerův index intenzity sucha, standardní srážkový index (SPI) nebo Langův dešťový faktor.

Hydrologické sucho popisuje deficit povrchových a podpovrchových vod. Má retardační účinky, což znamená, že se vyskytuje i v době po odeznění meteorologického sucha a naopak se nemusí projevovat současně s ním (Blinka, 2004). Právě hydrologické sucho nejvíce ovlivňuje vodní zdroje, jak povrchové, tak podpovrchové. Jedná se tedy o oblast, na kterou by se měla nejvíce obrátit pozornost při navrhování mitigačních opatření a plánování s vodními zdroji. Hydrologické sucho se projevuje poklesem průtoků, což je většinou způsobeno situací, při které je potenciální evapotranspirace vyšší než průměrná srážka na povodí. Vlnas (2015) uvádí, že pokud je období poklesu delší nebo se vyskytne více po sobě následujících období, je odtok v přirozeném prostředí datován výhradně ze zásob podzemní vody, tedy bazálním odtokem, a dochází také k významnému poklesu podzemní vody. Tato práce se zabývá hydrologickým suchem, jeho dopady a projevy v povodí Rakovnického potoka.

Zemědělské (agronomické) sucho je definováno nedostatkem půdní vláhy pro potřeby pěstování konkrétních plodin v určitém čase. Toto sucho je ovlivněno především vlastnostmi půdy a úrovní používané zemědělské techniky.

Socio-ekonomické sucho vystihuje ekonomická teorie nabídky a poptávky. Spojuje zásobu a požadavky ekonomických statků s faktory meteorologického, zemědělského a hydrologického sucha (Heim, 2002).



Obrázek 2: Vývoj jednotlivých druhů sucha v čase (upraveno dle NDMC, USA)

Schéma vystihuje závislost jednotlivých druhů sucha a jejich vývoj v čase. S prodlužující se délkou trvání sucha jsou ovlivněny různé složky krajinné sféry, což může mít negativní dopad na životní prostředí i život obyvatelstva. Socio-ekonomické sucho je znázorněno vespod schématu nezávislé na čase, což ukazuje, že tento druh sucha se může projevit kdykoliv během suchého období i po něm.

Základním a společným rysem zmíněných druhů sucha je jejich negativní dopad na obyvatelstvo, životní prostředí a krajinu, jednotlivá období sucha se ale liší svojí intenzitou, délkou trvání a územním rozsahem (Trnka, 2010).

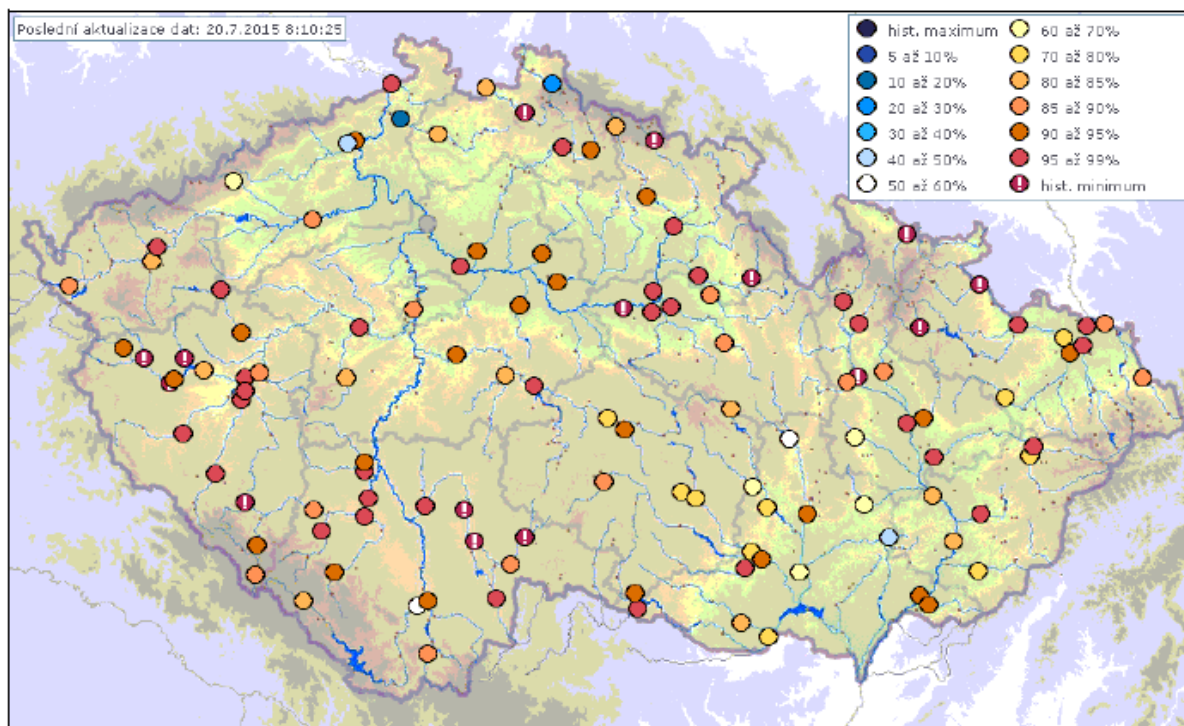
Vodní toky a jejich povodí jsou komplexní hydrologické systémy, které nekončí hranicí regionu nebo státu, a proto oblasti, kde se projevuje sucho, mohou ovlivňovat i přeshraniční území. Proto je nutná kooperace všech oprávněných subjektů pro prevenci vzniku sucha na daném území, a to hlavně vhodnými adaptačními a mitigačními opatřeními.

## 2.1 Hodnocení hydrologického sucha

Hydrologické sucho, charakterizované jako málo vodné období, můžeme popsat několika metodami. Mezi nejčastější patří dosažení minimálních průtoků či pokles průtoků pod určitou mez (nejčastěji se udává  $Q_{95\%}$ , tedy průtok s pravděpodobností překročení 95 % nebo  $Q_{355}$ , který značí průtok s pravděpodobností překročení 355 dní v roce) nebo dosažením minim průtoků z klouzavých průměrů (7- až 30-denními). Další způsob, jak charakterizovat období hydrologického sucha, je metoda nedostatkových objemů, která udává objemy chybějící pod určitou mezí průtoků a dobou jejich trvání nebo například velikost odchylky průtoků od normálu. Známkou výskytu sucha může být také významný pokles hladiny podzemních vod a vydatnosti pramenů.

Český hydrometeorologický ústav považuje za hydrologické sucho takový stav, kdy průtok klesne pod  $Q_{95}$ . Informace o stavu a výskytu sucha na českých tocích lze nalézt na webu Hlásné a předpovědní služby ČHMÚ (dostupné z [hydro.chmi.cz/hpps](http://hydro.chmi.cz/hpps)), kde nalezneme také monitoring povodňové situace. Pro povodně zde existuje členění na jednotlivé stupně dle míry ohrožení, pro sucho však toto dělení stále chybí. Podrobný popis aktuální situace stavu sucha v rámci hydrometeorologické situace je pravidelně publikován v týdenní zprávě o hydrometeorologické situaci a suchu na území České republiky, které přibližně od března roku 2014 vydává ČHMÚ a jsou volně dostupné na internetu. Stav sucha je hodnocen z hlediska pravděpodobnosti překročení průtoků (Obr. 3) a na internetu jsou pak denně aktualizovány mapy podkročení průtoků  $Q_{355}$  ve vodoměrných stanicích (Vlnas, 2015).

Stav podzemních vod je hodnocen v rámci hlásné sítě mělkých vrtů podle pravděpodobnosti překročení hladiny ve vrtu, a to vždy vzhledem k danému kalendářnímu měsíci. Stav závažnosti sucha je vyjádřen třemi kategoriemi jako mírné, silné nebo mimořádné sucho.



Obrázek 3: Mapa vyhodnocení průtoků v ČR podle pravděpodobnosti překročení ke dni 20. 7. 2015. Zdroj: Vlnas (2015).

Aktuální stav sucha je možné sledovat také na internetové stránce Intersucho ([www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz)), která na úrovni okresů a celé České republiky monitoruje zejména půdní sucho a jeho intenzitu na základě půdní vlhkosti. Jelikož je výskyt agronomického sucha předpokladem pro sucho hydrologické, může být i tento web důležitým zdrojem informací pro odhad vývoje situace v suchých obdobích.

Momentálně lze říci, že hodnocení sucha v České republice je nejednotné z hlediska používaných limitů a kategorií. Bylo by vhodné systém sjednotit a jednoznačně definovat stupně ohrožení sucha podobně, jako je tomu v případě povodňových událostí.

### 3. Dopady a projevy sucha v krajině

Tato kapitola se věnuje vlivům a projevům sucha v krajině a společnosti, zejména se zaměřuje na dostupnost a užívání vodních zdrojů během suchých období a působení nedostatku vody na jednotlivé krajinné sféry. Dopady sucha můžeme rozdělit do tří základních skupin – environmentální, ekonomické a sociální.

Ekonomické dopady vyčleňujeme přímé, které mají podobu především ztráty výnosů v primárním sektoru národního hospodářství (zemědělství, lesnictví, rybářství) a nepřímé, které se projevují jako důsledky přímých, a to hlavně zvýšení cen komodit, zvýšení nezaměstnanosti a snížení turistického ruchu a rekreace. Dopady sociální zahrnují zejména dostupnost pitné vody a konflikty mezi vlastníky vodních zdrojů, kterých v budoucnu bude nejspíše dramaticky přibývat, což povede ke snížení kvality života, šíření nemocí a nárůstu migrace. Dopady na životní prostředí se projevují sníženou kvalitou vody, zánikem některých stanovišť, degradací půdy a rozsáhlými lesními požáry.

Dopady sucha, především environmentální, jsou obtížně měřitelné, protože jsou často označovány jako snížení výhod, které vodní systém může nabídnout, pokud je vody dostatek (Werick, 1994). Dopady sucha na životní prostředí jsou považovány za velmi nebezpečné, kvůli jejich střednědobému až dlouhodobému trvání a velkému územnímu ovlivnění (Hrdinka, 2011). Nelze jednoznačně říci, že se jedná o projevy sucha čistě hydrologického, poněvadž jednotlivé typy sucha jsou provázané a mohou se vyskytovat současně a nelze mezi nimi tedy vymezit jasnou hranici. Zmírnění dopadů sucha v budoucnu bude vyžadovat vhodná mitigační a adaptační opatření a včasný monitoring výskytu a projevů sucha.

#### 3.1 Vliv hydrologického sucha na dostupnost vodních zdrojů

Jak uvádí ČHMÚ v definici hydrologického sucha je jeho vznik ovlivněn i užíváním vody, proto je třeba na hydrologické sucho pohlížet jako na přírodní fenomén, který však může být prohlouben lidským působením. Hydrologické sucho je tedy nezbytné pojímat jako výsledek působení přirozených procesů hydrologického cyklu a antropogenního ovlivnění v rámci celých vodních útvarů.

Během hydrologického sucha je objem vody v korytech podprůměrný, dochází k výrazným poklesům průtoku a v nejhorších případech až k vysychání samotného toku. Během tohoto období jsou vodní toky velmi citlivé, zejména na znečištění. Zhoršená kvalita vody a její

nedostatek je také limitujícím faktorem pro mnohé organismy, kterým v těchto epizodách hrozí redukce, či úplné vyhynutí populace. Dochází ke změně chemismu vody, ke snížení množství rozpuštěného kyslíku, zvýšení koncentrace škodlivých látek, zvýšené teplotě vody a objevuje se větší množství řas a vodních rostlin (Vlnas et al., 2015). Je znemožněno ředění znečištění větším objemem vody a voda z toku se dá využít pouze po jejím důkladném přečištění. S ohledem na potenciální dopad na lidské zdraví, vede vyšší frekvence výskytu extrémních hydrologických jevů k vyšší koncentraci výskytu těchto rizikových situací (Delpla, 2009).

Nejzávažnějším problémem jsou socio-ekonomické dopady hydrologického sucha v podobě omezení nebo úplného znemožnění dodávek pitné vody pro obyvatelstvo a odběry vody pro zemědělství, průmysl a energetiku. Nedostatek vody nebo její nevyhovující kvalita může způsobit nemožnost zásobování domácností pitnou vodou, v průmyslu pak přerušení či zastavení provozu některých podniků, v energetice jde pak zejména o pozastavení výroby elektrické energie ve vodních elektrárnách, problém nastává i v tepelných a jaderných elektrárnách s chlazením. V zemědělství nedostatek vody znamená omezení odběrů vody pro zavlažování.

V České republice se hodnocení dostupnosti vodních zdrojů provádí dle Vyhlášky Ministerstva zemědělství č. 431/200 Sb. § 6, o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a údajích pro vodní bilanci a ČSN 75 2405. vstupními veličinami pro hodnocení vodního stavu jsou například zabezpečení dodávky vody či nedostatkový objem. Výsledkem jsou čtyři kategorie povodí, která jsou na základě tohoto hodnocení rozdělena na aktivní, aktivní vyvážené, pasivní vyvážené a pasivní. Povodí Rakovnického potoka je dlouhodobě hodnoceno jako povodí s pasivním bilančním cyklem (Kašpárek, 2012).

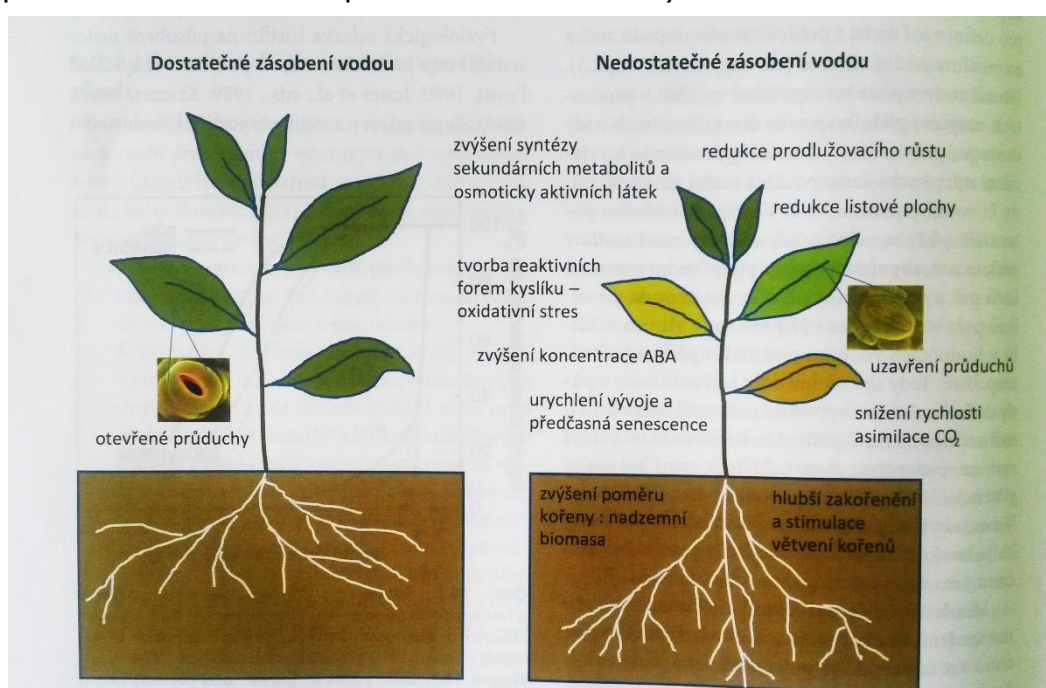
### **3.2 Vliv sucha na rostliny a půdu**

Voda je limitujícím faktorem ovlivňující produktivitu rostlin a její nedostatek je závažný při tvorbě biomasy. Sucho ovlivňuje zemědělské plodiny a půdu dvěma způsoby, a to jednak přímo samotné rostliny, což má za následek snížení zemědělských výnosů, ale také poškozením půdního prostředí, tzv. degradací.

Pokud jen letmo nahlédneme do stavby rostlin, je voda hlavní a nedílnou součástí všech rostlinných buněk, jejich tkání a orgánů, od kořene, přes stébla, listy, květy, plody a semena. Kromě toho, voda není pouze médium, ve kterém probíhají složité procesy růstu rostlin, ale



sama je při těchto procesech nejdůležitějším prvkem. Obrázek 4 ukazuje rozdílné mechanismy, kterými rostliny reagují na sucho. Pokud jsou rostliny dostatečně zásobeny vodou, probíhá tzv. transpirační proces, tedy nasávání vody z půdy kořenovým systémem a odpařování vody z povrchu rostlin a její odevzdávání do okolí pomocí otevřených průduchů. Pokud je ale zásobení vodou nedostatečné, rostlina reaguje uzavřením průduchů, redukcí růstu a listové plochy a naopak ke stimulaci v kořenovém systému. Tím dojde ke zvýšení poměru mezi kořeny a nadzemním částem rostliny, což vede v krátkodobém měřítku ke zvýšené ochraně rostliny při nedostatku vody (Brázdil et al., 2015). Pokud je ale nedostatečný přísun vody dlouhodobý, pak v našich geografických podmínkách, kde vegetace není přizpůsobena takovým vlivům, postupně dochází k vadnutí až úplnému odumření rostliny.



Obrázek 4: Schéma mechanismů, kterými rostliny reagují na sucho. (Brázdil et al., 2015).

Při porovnání vlivu sucha s ostatními hydrometeorologickými extrémy (povodně, mrazy, krupobití atd.) řadíme sucho z hlediska hospodářských důsledků mezi nejzávažnější jevy (Olesen et al., 2011 in Brázdil et al., 2015). Na výše popsany proces vadnutí a odumírání rostlin v zemědělských oblastech České republiky navazují během období sucha vysoké ztráty z výnosů zemědělských plodin nebo minimálně zhoršení kvality produkce. K ekonomickým ztrátám může docházet také zhoršením podmínek při zakládání porostů nebo zvýšením nákladů na vodu pro zavlažování. Výše ztrát se ale vždy odvíjí od konkrétní zemědělské oblasti, jejích půdně-klimatických podmínek, dostupnosti vodních zdrojů v dané oblasti, rozdílným požadavkům pěstovaných plodin a způsobu hospodaření. Jak uvádí Brázdil et al. (2015), během několika minulých generací se zásadně změnila velikost pozemků, skladba plodin, typy odrůd,

technologie i půdní vlastnosti, což se významně projevuje při snahách o kvantifikaci dopadů sucha.

Kromě přímých vlivů sucha na rostliny a zemědělskou výrobu zaznamenáváme také nepřímé vlivy v podobě omezení či ztráty schopnosti půdy plnit své přirozené funkce, tedy degradaci půdy. Jednotlivé degradační faktory působí zpravidla společně a vzájemně se násobí. Sucho ovlivňuje především větrnou erozi, dehumifikaci a dezertifikaci a jeho dopady mohou být umocněny zejména způsobem hospodaření na půdě.

Prvním procesem degradace půd spojeným s výskytem sucha je zasolení půd. Tento proces je typický pro aridní oblasti, nicméně i v našich geografických podmínkách k němu může docházet. Zasolení je vlastně akumulace rozpustných solí v půdě, které se projevuje výskytem slanomilných druhů rostlin a tzv. výkvěty solí na povrchu půdy. U nás je zasolování způsobeno hlavně nadměrnou aplikací průmyslových hnojiv.

Dalším procesem, který zhoršuje půdní vlastnosti, je eroze, a v souvislosti se suchem zejména eroze větrná. Povrch půdy je při větrné erozi rozrušován působením větru a dochází k odnosu půdních částic, někdy na značné vzdálenosti, a jejich následnému ukládání. Nejpostiženější je samozřejmě svrchní část půdy, tedy ornice, která je také nejúrodnější. Podle statistik Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy je v České republice ohroženo větrnou erozí kolem 18 % půdy (stav k roku 2014). Průvodním znakem větrné eroze je také zanášení vodních toků a nádrží, nadměrný přísun živin a chemikálií do vodního prostředí, kde mohou způsobit eutrofizaci, zanášení komunikací a zhoršení kvality ovzduší. K větrné erozi přispívá také velká rozloha jednotlivých pozemků s jedním druhem plodiny, nedostatek větrolamů a chybějící remízky a aleje, které by zabránily odnosu půdních částic.

V návaznosti na větrnou erozi je půda v České republice ohrožena dehumifikací, tedy úbytkem obsahu humusu v půdě. Se suchem je tento proces spojen jako důsledek větrné eroze nebo zvýšenou mineralizací půdy po odvodnění nebo zavlažování pozemků. Přeměna krajinného pokryvu, zejména rozorání luk a pastvin, vede ke zvýšené aeraci půdy a ztrátě humusu. Důsledky úbytku půdní organické hmoty jsou především snížení filtrační schopnosti a retenční kapacity půdy, horší poutání živin a kontaminantů a jejich zvýšená mobilita a celková ztráta stability půdní struktury.

Průběh a dopady sucha ovlivňují vlastnosti půdy, a to zejména její infiltrační a retenční schopnosti. Půdy se střední až vysokou infiltrační schopností minimalizují povrchový odtok a

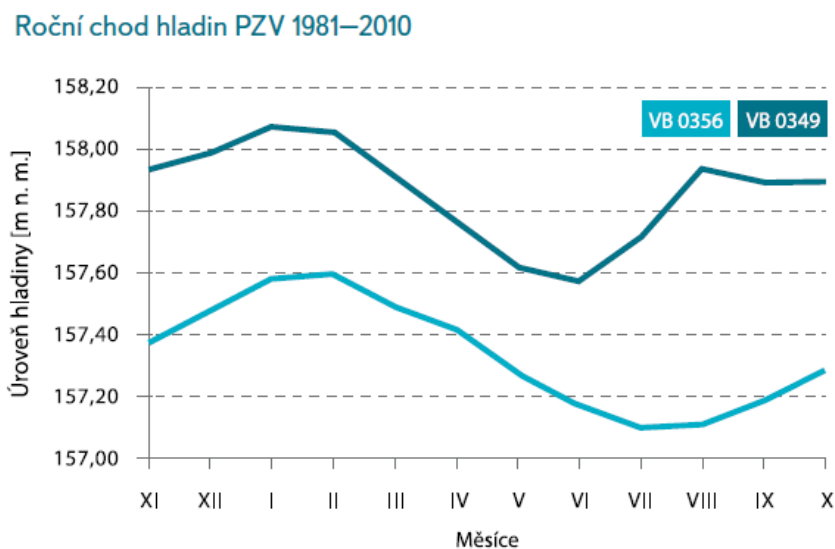
vytváří rezervy půdní vláhy pro případná období s nedostatkem vody. Retenční schopnost je vlastnost půdy zadržovat vodu v půdním profilu, což je rozhodující pro zranitelnost území při výskytu sucha. Brázdil et al. (2015) uvádí, že pokud do suché epizody vstupuje území s plně nasyceným půdním profilem, dokáže jeden metr čtvereční půdy s vysokou retenční schopností plně zajistit dostupnou půdní vláhu po dobu asi 50 dnů, zatímco na půdách s nízkou retenční schopností to může být i méně než 10 dnů.

### 3.3 Vliv hydrologického sucha na zdroje podzemní vody

Podzemní vody tvoří významnou složku oběhu vody v přírodě a její zásoby fungují jako stabilizátor odtoku z daného území. V suchých epizodách s deficitem srážek jsou povrchové toky zásobovány výhradně ze zásob podzemní vody. Tento deficit se pak šíří hydrologickým systémem a jako sucho se pak projevuje v různých jeho segmentech od povrchové vody, zónu aerace až po zónu nasycenou (Peters, 2005). Podzemní vody jsou zdrojem pro tzv. základní odtok, který určuje množství podzemních vod tvořící součást odtoku v povrchovém toku. Vzhledem k poloze našeho území je účinek podzemních vod pro vyrovnání odtoků z území významnější než všechny existující nádrže (Brázdil et al., 2015). Systematické pozorování podzemních vod v gesci ČHMÚ zahrnuje pozorovací síť pramenů, mělkých zvodní a hlubokých zvodní.

Dle MŽP tvoří odběry podzemní vody téměř čtvrtinu z celkových odběrů vod a z tohoto množství připadá 81 % na odběry pro veřejné vodovody a kanalizace. V roce 2014 již byla více než polovina pitné vody vyrobena z podzemních zdrojů. Dalšími odběrateli jsou průmysl s asi 9 % a zemědělství s necelými 5 %. Zdroje využitelných podzemních vod je však na území České republiky rozloženo nerovnoměrně. 80 % využitelného množství podzemních vod je situováno na pouhých 30 % území republiky (Soukalová, Muzikář, 2015).

Doplňování zásob podzemní vody probíhá prostřednictvím atmosférických srážek zmenšených o výpar, na našem území se jedná převážně o sezónní doplňování s maximy v zimním období a minimy v letních měsících.



Obrázek 5: Roční chod hladin podzemní vody za období 1981–2010 v mělkých vrtech Charvatská Nová Ves (VB0349) a Mikulčice (VB0356). Zdroj: Soukalová, Muzikář (2015).

Dle Soukalové a Muzikáře (2015) se vedle sezónní periodicity vyskytuje i víceleté kolísání hladin podzemních vod a pro minimální hladiny je tato perioda přibližně desetiletá. Jejich studie uvádí, že při sledování dopadu klimatické změny na naše území se ukázalo, že nedochází k poklesu ročního úhrnu srážek, mění se však jejich rozložení během roku. Co má ale vliv na poklesy hladin podzemních vod v mělkých zvodních je nárůst teploty, která od roku 1981 způsobila zvýšení územního výparu o 20 %, což se projevilo snížením základního odtoku o jednu třetinu.

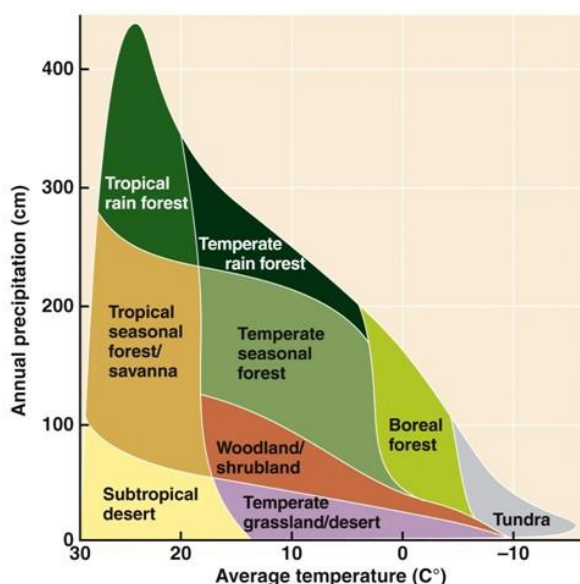
Snížení hladiny podzemní vody významně ovlivňuje složky životního prostředí, například poklesem průtoku v povrchových vodách pod hodnoty minimálního zůstatkového průtoku, který umožňuje základní ekologické funkce vodního toku a obecné nakládání s vodami. Negativní dopad má snížení hladiny podzemní vody na faunu a flóru nejen ve vodním prostředí, ale i v půdním. Také antropogenní zásahy významně ovlivňují výskyt minimálních hladin podzemních vod, a to především díky nadměrným odběrům podzemní vody, podzemními stavbami a sítěmi, ale také napřimováním toků, nevhodnými osevními postupy, používáním těžké techniky a neustále se rozrůstající urbanizací, při které vzniká mnoho nepropustných povrchů.

Dlouhodobý výskyt minimálních hladin podzemních vod vede až k výskytu sucha v podzemních vodách. Podle Castany (1978 in Soukalová, Muzikář, 2015) je sucho v podzemní vodě důsledkem deficitu efektivních srážek a vyčerpávání zásob podzemní vody. Dle ČHMÚ je za sucho v podzemních vodách považována situace, kdy hladina poklesne pod 85% měsíční kvantil.

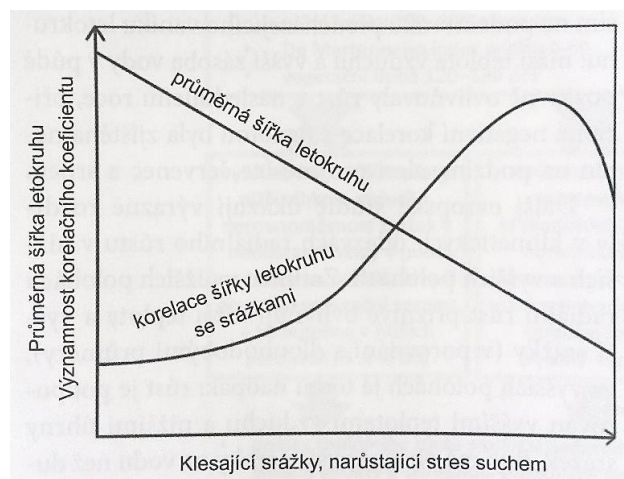
Následkem sucha v podzemních vodách mohou být negativní dopady na životní prostředí, krizové situace v zásobování obyvatelstva pitnou vodou a v zemědělství.

### 3.4 Sucho a lesní hospodářství

Lesní vegetace, která je na Zemi důležitá zejména při zadržování oxidu uhličitého ze vzduchu a má neodmyslitelnou roli při udržování vodního koloběhu v krajině, reaguje na nedostatek vláh podobně jako výše popisované rostliny. Množství a dostupnost vody a její rozložení v průběhu roku je spolu s teplotou určujícím faktorem rozšíření porostů, jejich druhového složení a produkce (Boisvenue, Running, 2006). Jak ukazuje Obr. 6, například množství srážek, které stačí pouze pro vegetaci pouštních savan v teplém klimatu, je dostačující pro rozvoj boreálních lesů v chladnějších klimatických podmínkách. I stromy mají svou vodní bilanci, tedy poměr mezi množstvím přijaté a vydané vody. Pokud je strom dlouhodobě vystaven stresu (suchu) a jeho vodní bilance je dlouhodobě negativní, reaguje strom tak, že se stresu snaží vyhnout (či mu předejít) nebo se mu přizpůsobí, v obou případech jde ale hlavně o omezení růstového procesu. V delším časovém měřítku jsou tyto trendy pozorovatelné v přírůstku letokruhů v závislosti na dostupnosti vody (Obr. 7), kdy při extrémním stresu vznikají velmi úzké letokruhy a klesá vliv klimatu na jejich šířku (Brázdil et al., 2015).



Obrázek 6: Rozšíření vegetace v závislosti na teplotě a srážkách. Zdroj: Hillis et al. (2014).



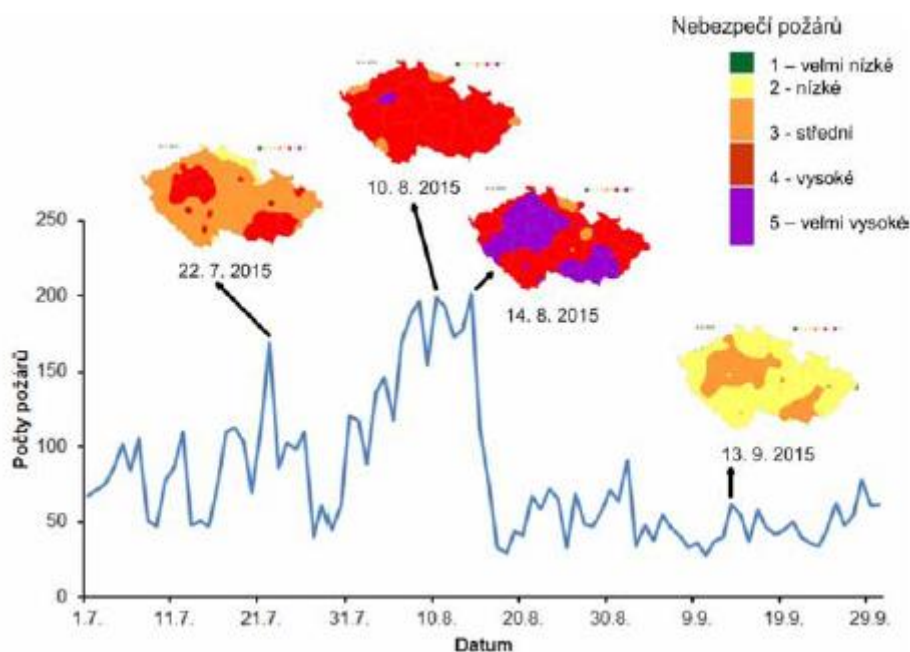
Obrázek 7: Změny šířky letokruhu v závislosti na množství srážek a narůstajícího stresu. Zdroj: Brázdil et al. (2015).

Četnost a intenzita sucha zásadně ovlivňují produkci lesa, její kvantitu i kvalitu. Studie Ciais et al. (2005) udává příklad extrémně suchého roku 2003, kdy poklesla hrubá primární produkce evropských temperátních rostlinných ekosystémů asi o 30 %, což mělo za následek

výrazné uvolnění CO<sub>2</sub> do atmosféry ve výši 0,5 miliardy tun, a to odpovídá množství uhlíku ukládanému za běžných podmínek do biomasy po dobu čtyř let. Po roce 2003 došlo k výraznému nárůstu odumírání stromů na celé planetě a přispělo tím k celkovým 88 evidovaným případům odumírání lesa způsobených suchem (studie Allen et al., 2010).

McDowell et al. (2008, 2011) určili tři hlavní mechanismy vedoucí k plošnému hynutí stromové vegetace při vystavení stresu ze sucha, a to hydraulické selhání dřeviny, uhlíkové vyhladovění a nárůst populací biotických činitelů, které napadají oslabené hostitelské dřeviny v důsledku zvýšených teplot vzduchu během suchého období. Právě se třetím případem se nejčastěji setkáváme na území České republiky, kdy sucho není primární důvod zvýšené mortality lesních porostů, ale způsobuje oslabení dřevin a jejich následné poškození kůrovcovitými brouky.

Sucho a jeho projevy mohou velmi negativně ovlivňovat lesní ekosystémy, což může mít za následek environmentální, hospodářské a ekonomické ztráty. Defoliace nebo snížení listové plochy vede ke zvýšení množství dopadajícího slunečního záření, tedy změnám albeda a tím zvyšujícího se výparu ze zemského povrchu a prohloubení vodního deficitu (Brázdil et al., 2015).



Obrázek 8: Vývoj počtu lesních požárů a nebezpečí jejich vzniku v České republice během sucha 2015. Zdroj: zpráva ČHMÚ (2015).

Dalším fenoménem, pro který sucho připravuje ideální podmínky, jsou lesní požáry. Kombinací faktorů déletrvajícího suchého období, vysokých teplot, nízké vlhkosti vzduchu a větrného počasí dochází ve vegetačním období ke vzniku lesních požárů. Příčina požárů je většinou

nedbalostního rázu, jeho rychlé šíření a intenzita je ale umocněna právě výše zmiňovanými faktory. ČHMÚ zpracovává předpovědi nebezpečí požárů během vegetační sezóny. Hodnocení nebezpečí se stanovuje na základě Indexu nebezpečí požáru (INP), který je rozdělen do pěti tříd (1 – velmi nízké riziko, 5 – velmi vysoké riziko) a popisuje nebezpečí vzniku požáru v otevřené venkovské krajině pokryté vegetací. INP vykazuje vysokou korelaci s daty o počtech požárů v České republice. Brázdil et al. (2015) předkládá fakt, že díky vzestupu teplot a nárůstem déletrvajících epizod sucha v posledních letech, mají řady průměrných počtů dnů s vysokým a velmi vysokým nebezpečím požáru ( $INP \geq 4$ ) významný vzestupný trend. Nejvyšší počty dnů s  $INP \geq 4$  připadaly na suché roky 2012 (102 dnů), 1976 (95), 2007 (81), 1973 (78), 2011 (76), 1992 (71) a 2003 (68).

#### 4. Přeměna krajiny ve spojitosti s výskytem sucha

Zásadní roli při změně charakteru odtoku má klimatická změna, je však třeba vzít v úvahu i další faktory ovlivňující odtok vody z povodí. Je nepochybné, že změna klimatu ovlivňuje odtok velmi významně, někdy dokonce i více, než změna klimatu (Tallaksen, 2004). Typ a charakter vegetace a její kořenový systém ovlivňuje teplotu vzduchu a jeho vlhkost, intercepci a potenciální evapotranspiraci, což má za následek ovlivnění aktuální evapotranspirace a množství srážkové vody, které odečte přímo nebo infiltruje do půdy. Krajinový pokryv a jeho využití je tedy limitujícím faktorem velikosti povrchového i podzemního odtoku.

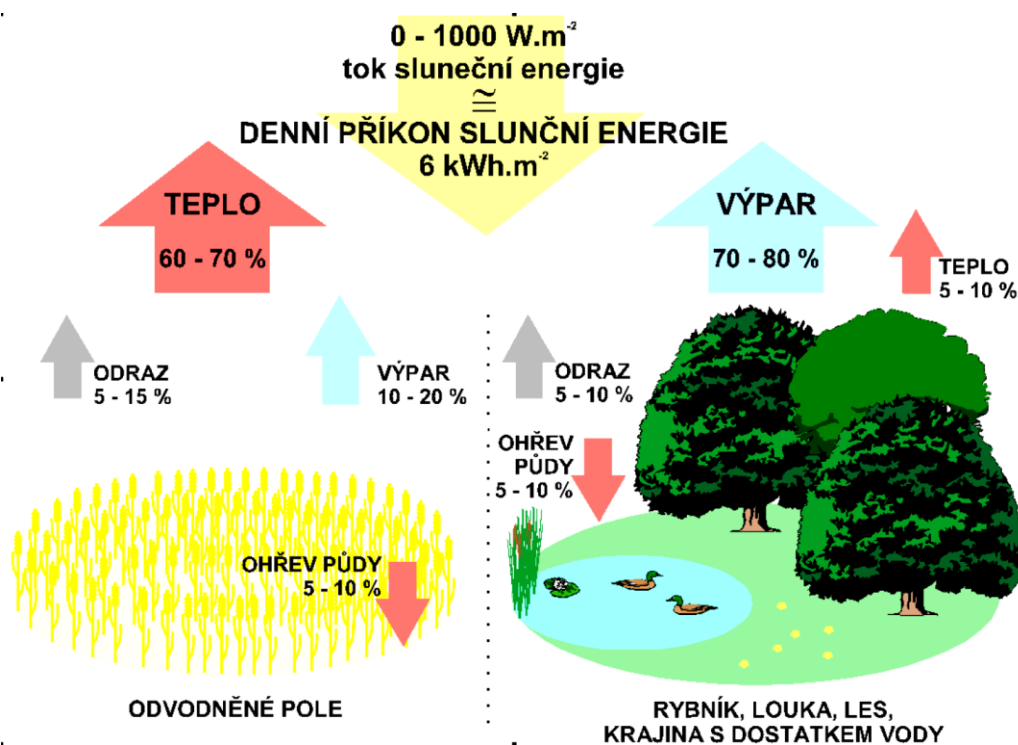
Sucho je pro zasažené regiony hrozbou v omezení vodních zdrojů a s tím spojeného nedostatku vody pro zemědělství i dodávky pitné vody. Se stále rostoucí intenzitou lidské činnosti a přetváření krajiny, se krajina stává zranitelnější a náchylnější k výskytu sucha. Rozšiřováním urbanizovaných oblastí dochází ke zvýšení celkové variability průtoku, vyšší frekvenci extrémně nízkých či extrémně vysokých průtoků, protože množství odolných a nepropustných povrchů snižuje infiltraci srážek a zvyšuje a urychluje odtok (Jun, 2009). Kromě toho prostorové a časové změny krajiny mohou mít vliv na frekvenci a intenzitu výskytu sucha v dané oblasti (Wang et al., 2012). V této kapitole se budeme zabývat přeměnou krajiny s důrazem na přeměnu vodních ekosystémů, odlesňování a vlivem těchto procesů při výskytu suchých epizod. Stručně také popíšeme vývoj a přeměnu krajiny v českých zemích od poloviny 19. století do současnosti.

V průběhu minulého století byla snaha o ovládnutí a regulaci přírodních procesů, a to se dělo převážně vzdalováním vodních a mokřadních ekosystémů od jejich přirozeného stavu (stavba hrází, napřimování koryt, vysušování mokřadů). V současném pojetí moderního vodohospodářství se pojí ekologické a ekonomické funkce krajiny a vodních systémů. Pithart (2015) ve své studii zmiňuje pojem ekosystémové služby (definované v Millenium Ecosystem Assesment, 2005), které spočívají v hodnocení a kvantifikaci funkcí ekosystémů přinášející nějaký užitek. Ekosystémy říční krajiny poskytují především tyto tři služby – ochrana před povodněmi, ochrana před suchem a zpomalení transportu (retence) živin v krajině. Odvodňování zamokřených pozemků a regulace vodních toků způsobuje ovlivnění oběhu vody (Trnka, 2010). Napřimování a zahlubování vodních toků, zatrubnění drobných vodotečí či plošné odvodnění pozemků vede ke ztrátě retenční schopnosti krajiny a zvyšuje riziko záplav. Trnka (2010) dále uvádí pojem *xerotizace krajiny*, k níž dochází jako důsledek odvodnění krajiny a rozumíme pod ním povrchové vysušení krajiny a pokles hladiny podzemní vody s řadou



ekologických a environmentálních konsekvencí. Dle Pitharta (2015) přírodě blízké říční a nivní ekosystémy poskytují ochranu před suchem jednak v měřítku samotného koryta (proměnlivost šířky a hloubky zajistí v nižších vodních stavech přežití vodních organismů, delší trasa koryta znamená také větší zásobu vody v nivě), ale také v širším měřítku říční nivy (koryto s přirozenou rovnováhou eroze a akumulace zajišťuje zvodnění okolní nivy, naopak upravené a uměle zahlužené toky nadměrně odvodňují své okolí a zesilují erozi v níže položených úsecích).

Obr. 9 popisuje využití sluneční energie v krajině s dostatkem vody a naopak v odvodněné krajině bez vegetace. V prvním případě mokřady, stejně jako trvalá vegetace, spotřebují značnou část sluneční energie na evapotranspiraci a působí tak jako termoregulátory v krajině vyrovnávající teplotní rozdíly. Naopak v krajina odvodněná a zbavená vegetace využije jen minimum sluneční energie na produkci, většina se přemění na neproduktivní teplo a krajina se tak stává teplejší a sušší (dle Trnka, 2010). Podobný efekt má i urbanizovaná krajina s minimem propustných povrchů.



Obrázek 9: Využití sluneční energie v krajině bez vegetace a v krajině s dostatkem vody. Zdroj: Trnka (2010).

Nadměrné odlesňování krajiny vede ke ztrátě přirozené funkce lesa zadržovat vodu, ale také způsobuje rychlejší odtok z povodí. Odlesněné oblasti navíc vytváří teplejší klima, což vede ke zvýšené evapotranspiraci. Přeměna lesa na travní porost, ornou půdu nebo urbanizovanou krajinu vede ke ztrátě biodiverzity a zániku přirozených stanovišť rostlin a živočichů. Způsoby řešení optimalizace vodního systému v režimu zemědělsko-lesní krajiny uspořádáním a

velikostí kultur se zabývá práce Švihly et al. (2014). Z výsledků studie vyplývá, že největší pozitivní vliv na vodní režim krajiny mají lesy následované trvalými travními porosty, nejmenší vliv pak mají orné půdy. Na převážně kopcovitém území České republiky probíhá koloběh vody dominujícím procesem infiltrace na vrcholcích terénu, kombinací infiltrace a transportu na svazích a akumulace v údolích (Švihla et al., 2014). Proto nejvhodnější strukturou pro tuto modelovou krajinu by byly lesní porosty na vrcholcích kopců, které zde tlumí odtok velkých vod a produkují povrchové i podzemní vody zásobující vodní zdroje v době sucha, stabilitu na svazích by pak měla zajišťovat kombinace a střídání zatravněných ploch a orné půdy a v oblasti akumulace vod v údolích je na místě přítomnost trvalých travních porostů či lužních lesů. Scelování pozemků a jejich nevhodné obdělávání, společně s pěstováním monokultur, vede ke zvýšené erozi a nadměrnému znečišťování vod povrchových i podzemních.

#### **4.1 Vývoj krajiny v českých zemích od průmyslové revoluce do současnosti**

Vývojem krajiny na území České republiky od neolitické revoluce se zabývají ve své knize Lokoč a Lokočová (2010), trendy změn české krajiny na základě databází LUCC Czechia se věnují např. Bičík (1995) či Kabrda (2006), bohatý grafický a obrazový materiál pak může nabídnout Atlas krajiny České republiky (VÚKOZ a MŽP, 2010). Lokoč a Lokočová (2010) krajinu definují jako strukturovaný organismus, formovaný kulturními a přírodními procesy, které se navzájem prolínají, ovlivňují a na něhož působí síly jak destruktivní, tak konstrukční.

Krajinu člověk přetváří od nepaměti, vždy za účelem obstarání vlastní obživy a změna ve využívání krajiny tak souvisí především s vývojem společnosti, rozvojem řemesel, průmyslu a způsobem hospodaření. Ale až v posledních dvou stoletích se významně změnil způsob ve využívání krajiny, a to především díky modernizaci společnosti a proměnou její sociálně-geografické územní struktury.

Období mezi lety 1845 – 1945 je charakterizováno přechodem od tradičního k tržnímu zemědělství doprovázeno změnami ve využití krajiny a zároveň docházelo k výrazné územní diferenciaci hlavních krajinných procesů. Zemědělská výroba zaznamenala oproti předchozímu vývoji nárůst na 350 %, rozloha zemědělské půdy se tak zvýšila asi o čtvrtinu, oproti tomu ubylo úhorů a pastvin v důsledku přechodu ke stájovému chovu dobytka (Lokoč a Lokočová, 2010). Po roce 1848, kdy vstoupil v platnost císařský patent o zrušení roboty a poddanství, se

uskutečnilo první novověké scelování pozemků a nastupující nová technika a stroje potřebovaly jednotná pole, ať už tvarem nebo velikostí. Zemědělství se orientovalo zejména na pěstování brambor, což na takto upravených pozemcích způsobovalo zvýšenou vodní erozi a zanášení vodních toků, zejména ve středních a nižších polohách. Rozkolísanost odtokových poměrů vedla k rozsáhlé regulaci vodních toků, napřimování koryt a výstavbě hrází. Rozvoj cukrovarnictví měl za následek hromadné vysoušení rybníků v rovinných nivách řek, což zajišťovalo těžké a vlhké půdy potřebné pro pěstování cukrové řepy (Lokoč a Lokočová, 2010). Přírodní listnaté lesy a lužní lesy charakteristické pro říční nivu se postupně začaly vytrácet z krajiny a byly nahrazovány smrkovými monokulturami. Na významné změně krajinného rázu se podílela nastupující těžba surovin, především hlubinná těžba černého uhlí či těžba vápence a rozvíjející se síť silnic a železnic.

Vývoj krajiny po druhé světové válce byl ve znamení kolektivizace a centrálního plánování. V krajině dominoval těžký průmysl, k razantní přeměně krajinného rázu došlo hlavně v oblastech severní Moravy, kde se v oblasti ostravsko-karvinského revíru dolovalo černé uhlí a také severních Čech, kde se průmysl orientoval na povrchovou těžbu hnědého uhlí. Začal vznikat nový typ krajiny typický výsypkami, haldami a odvaly. Vodní toky byly kvůli těžbě zatrubňovány nebo byla jejich koryta překládána a uměle napřimována. Již tak silně obdělávaná polní mozaika byla pozemkovými úpravami přetvořena v monotónní, málo členitou krajinu typickou monokulturami s chybějícími stabilními ekosystémy remízků, liniové vegetace a druhotných polních cest. Došlo rovněž k vysoušení většiny mokřadů a v souvislosti s melioracemi bylo odvodněno až 1,5 miliónů hektarů půdy (Lokoč, Lokočová, 2010). Říční ekosystémy byly také narušeny intenzivní výstavbou přehrad. Ačkoli se v tomto období podíl lesních porostů zvyšoval, byly lesy s nevhodnou druhovou skladbou a převážně smrkového charakteru zakládány na málo vhodných stanovištích, což se projevilo během ekologické katastrofy v sedmdesátých letech, která byla způsobena spalováním hnědého uhlí s vysokým obsahem síry pomocí nedokonalých technologií.

90. léta 20. století jsou obdobím transformačním, kdy končí centrálně řízené hospodářství a dochází k návratu půdy původním vlastníkům. V tomto období je charakteristickým procesem ve vývoji krajiny urbanizace a zvýšení podílu ostatních ploch, ale také nárůst travních porostů. Dochází také ke snížení množství používaných chemických hnojiv, a díky tomu k nárůstu biodiverzity krajiny. V současném novodobém hospodářství je hlavní snahou zkombinovat ekonomické a ekologické přístupy.

Tab. I ukazuje přehled změn ve využití ploch v českých zemích od roku 1845 do roku 2010. Obecně zde můžeme pozorovat několik základních trendů, a to především úbytek orné půdy od konce 19. stol., úbytek trvalých travních porostů jako důsledek intenzifikace, který je následován mírným přírůstkem travních ploch po roce 1990, nárůst lesních porostů a vodních ploch, rozšíření urbanizovaných oblastí téměř na trojnásobek a ostatních ploch na čtyřnásobek. Brázdil et al. (2015) zformulovali hlavní procesy ve využívání ploch typické pro české země v uplynulých dvou stoletích s důrazem na množství vody v krajině. Jako klíčové autoři spatřují ve změně struktury využití ploch, což významně ovlivnilo zadržení vody a rychlost jejího odtoku. Výrazné změny byly provedeny především v nivách vodních toků, a to snížením rozlohy původních lužních lesů pro účely získání orné půdy a s tím spojenou meliorací.

| Kategorie             | 1845  | 1896  | 1948  | 1990  | 2010  |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| orná půda             | 48,22 | 51,59 | 49,87 | 40,99 | 38,14 |
| trvalé kultury        | 1,14  | 1,46  | 1,90  | 2,99  | 3,03  |
| trvalé travní porosty | 17,41 | 14,12 | 12,95 | 10,50 | 12,50 |
| lesy                  | 28,90 | 28,96 | 30,21 | 33,33 | 33,70 |
| vodní plochy          | 1,44  | 0,00  | 1,14  | 1,98  | 2,07  |
| zastavěné plochy      | 0,59  | 0,00  | 1,08  | 1,59  | 1,67  |
| ostatní plochy        | 2,30  | 3,87  | 2,85  | 8,62  | 8,89  |

Tabulka 1: Změny využití ploch v českých zemích mezi lety 1845 – 2010 v % celkové rozlohy. Zdroj: Brázdil et al. (2015).

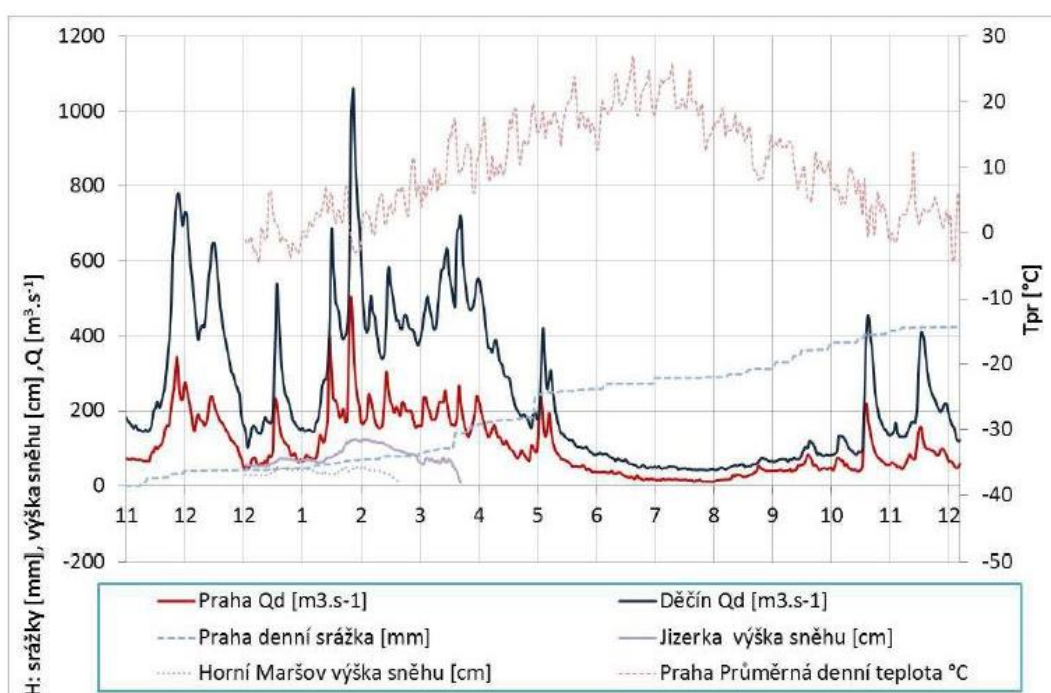
Celkové zhodnocení krajinných změn ukazuje index změny (Bičík, 1995, 2004, 2010; Kabrda, 2006), který znázorňuje jedním číslem celkovou intenzitu změny využití ploch mezi dvěma časovými horizonty, ale bez ohledu na její strukturu. Index má spíše orientační charakter, analyzuje pouze intenzitu změn, nikoli vnitřní změny ve struktuře krajiny. Jak ve své knize uvádí Bičík (2010) index změny za celou Českou republiku mezi roky 1990 – 2010 je roven 1,95. Toto číslo vyjadřuje bilanční pohyb mezi všemi sledovanými kategoriemi. Index změny pro období 1948 – 1990 činil 11,33, jeho hodnota tedy byla více než pětkrát vyšší. Délka trvání není jediným faktorem ovlivňující výslednou hodnotu, jak ukazuje podstatně delší období mezi lety 1845 – 1948, kdy byl index změny roven 5,05. Znatelně vyšší hodnotu bychom dostali, uvažovali bychom pouze druhou polovinu 19. století, kdy došlo k zásadním změnám ve využití krajiny a extenzivní rozvoj zemědělství byl nahrazen intenzivním využitím menšího rozsahu zemědělské půdy. Nejvýznamnější změny tedy zasáhly především úrodné nížiny, kde bylo hlavní snahou získání další orné půdy na úkor vodních ploch (mokřady, slepá ramena, rybníky, tůně), což souviselo s přesunem dobytka do stájí a obstarávání krmiva pro něj právě z orné půdy.

## 5. Nejvýznamnější hydrologická sucha od počátku 20. století

Následující kapitola shrnuje a analyzuje největší hydrologická sucha 20. a počátku 21. století. Větší pozornost je pak věnována extrémnímu suchu 2015, jeho vzniku, průběhu a dopadům v krajině. Ačkoliv se frekvence hydrologicky suchých období v posledních letech zvyšuje, jejich extremita je v absolutních číslech minimálních průtoků nižší než tomu bylo na počátku 20. století. Je to způsobeno hlavně výstavbou vodních nádrží ve 2. polovině 20. století, jejichž účelem je nadlepšovat průtoky vodních toků. Hydrologické sucho se stanovuje například metodou nedostatkových objemů, kterou ve své práci využil Treml (2012) nebo vyčíslením minimálních průtoků extrapolací naměřených vodních stavů (Elleder, 2014).

### 5.1 Rok 1904

Rok 1904 je v povodí Vltavy považován za nejvýznamnější suchý rok 20. století. K analýze jsou k dispozici pouze data ze stanice Děčín, data pro Prahu jsou v práci Elledera (2014) odvozena z hydrometrických měření, která byla uváděna v pražských ročenkách. Na počátku roku 1904 se objevily zimní přivalové povodně a zásob vody ve sněhu bylo dostatek, příčinou několikaměsíčního suchého období byl ale vývoj teplot, prudký nárůst letních teplot, které se vyskytovaly už od dubna a hlavně deficit srážek. Obrázek 10 přehledně znázorňuje období nízkých vodních stavů, které na Vltavě začalo 8. června a trvalo do 11. listopadu s přestávkou pouhých 8 dní (Treml, 2012).



Obrázek 10: Suchý rok 1904 v Praze a v Děčíně. Zdroj: Treml (2012).

V průběhu srpna klesaly průtoky v Praze až na  $12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , jako minimum je uváděn 18. srpen 1904. Na přelomu srpna a září byly po dobu 45 dnů průtoky nižší než  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , tři měsíce (červenec, srpen a září) průtoky nepřekročily  $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Elleder, 2014). Přepočteno na nedostatkový objem, jeho standardizovaná velikost v Děčíně činila více než 38 %, v absolutních číslech chybělo asi 469 mil<sup>3</sup> vody oproti normálnímu stavu (Tremel, 2012).



Die Elbe bei Aussig am 1. August 1904. E. Bennett.



Obrázek 11 (vlevo): Labe v roce 1904.

Obrázek 12 (vpravo): Hladový kámen v Těchlovicích (1904). Zdroj: Ústecký deník.

Do roku 1904 se také datuje vznik varovného nápisu na hladovém kameni v Těchlovicích u Děčína, který praví (německy): „Spatříš-li mě, plač.“ Hladový kámen se vynořuje pouze při výrazném poklesu říční hladiny, naposledy jsme měli možnost ho spatřit v roce 2015.

## 5.2 Rok 1921

Dalším významným suchým rokem byl rok 1921. Suché byly už jarní měsíce, což se na stavech vodních toků začalo projevovat v červenci a tento stav setrval až do pozdního podzimu. Kroniky různých obcí napříč českým územím (volně dostupné na internetu) uvádějí nedostatek vody ve studních a zaznamenávají i vyschlé potoky. Tremel (2012) předkládá velikosti standardizovaných nedostatkových objemů, které se pohybovaly mezi 29 a 37 %, extrémní nedostatek vody trápil Olomouc, kde se velikost nedostatkového objemu vyšplhala až na 44 %.

## 5.3 Rok 1947

Rok 1947 odstartoval sérii velmi suchých let trvající až do roku 1953. Extrémní sucho toho roku netrápilo jen Čechy, ale postihlo celou střední Evropu. Paradoxně tyto podmínky významně pomohly tehdejší politické situaci, jelikož musely být sníženy přídělky potravin a komunistická strana vyjednala mimořádné dodávky obilí ze Sovětského svazu. Tento fakt, jak uvádějí učebnice dějepisu, napomohl k Vítěznému únoru 1948. Například kronika města

Bohumín označuje tehdejší hydrologické sucho jako pětisetleté. V práci Tremļa (2012) je dle velikosti standardizovaných nedostatkových objemů sucho v tomto roce považováno za největší ve zkoumaném období. Sucho, které trvalo celých 112 dní, začalo během července, ale již předtím mu předcházelo významné suché období v jarních měsících.

## 5.4 Rok 1953



Obrázek 13: Výstavba Orlické přehrady (1959). Zdroj: [www.mrk.cz](http://www.mrk.cz)

Extrémní sucho tohoto roku zakončilo sedmileté suché období. Toto sucho je velmi výjimečné, jednak svou délkou (na většině profilů trvalo více než 190 dní (Tremļa, 2012)), ale také překlenutím z letního období plynule do zimního. Začátek se datuje do poloviny srpna 1953 a sucho přetrvávalo až do poloviny

března následujícího roku. Nedostatek srážek a snaha o udržení vody v krajině byly podnětem pro výstavbu většiny vodních děl v České republice. V roce 1954 začala stavba Orlické přehrady, přehrady s největším objemem zadržované vody, a o dva roky dříve se začala budovat Lipenská přehrada, rozlohou největší vodní nádrž.

## 5.5 Rok 1983

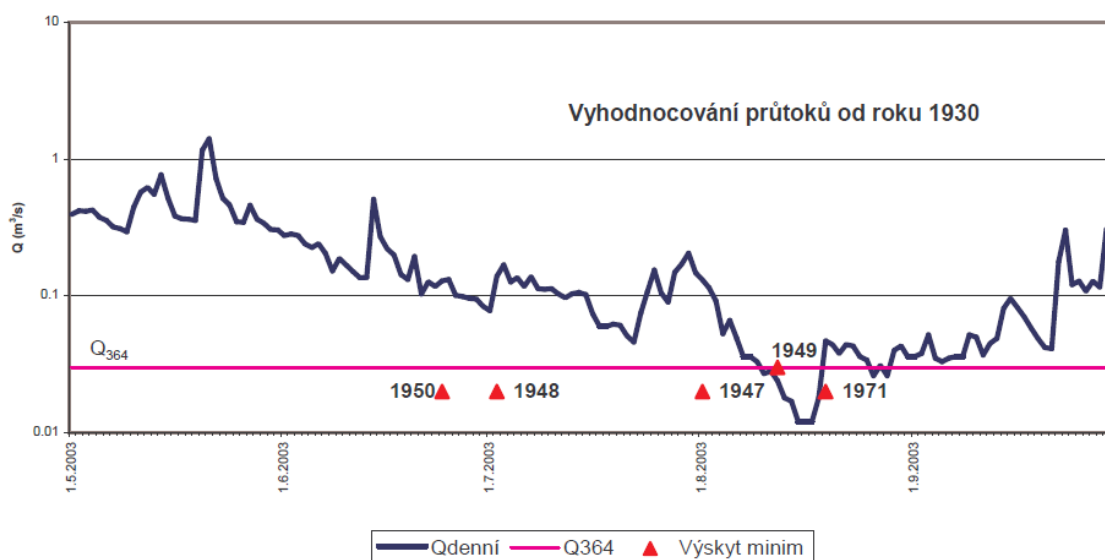
Delší období bez výskytu hydrologického sucha bylo připisováno výstavbě přehrad a plnění jejich základní funkce, tedy nadlepšování průtoku. Sucho v roce 1983 mělo charakter spíše meteorologického a agronomického sucha, zde patří mezi největší, na velikosti průtoků se ale obecně výrazněji neprojevovalo. Vyprahlou půdu umocňovaly extrémní teploty, s nedostatkem vody se potýkal spíše východ republiky a jih Moravy, kde lokální minima dosahovala těch z roku 1947.

## 5.6 Rok 1992

První suché porevoluční období zasáhlo Českou republiku v létě roku 1992 a trvalo až do podzimu. V létě toho roku padly mnohé teplotní rekordy, srážkově ale bylo období mezi červencem a říjnem značně podprůměrné. S největšími následky se opět potýkal spíše východ republiky, kde významně klesaly hladiny řek a zejména podzemní vody.

## 5.7 Rok 2003

Jako o nejvýznamnějším novodobém suchu hovoříme o suchu, které přišlo rok po katastrofických povodních 2002. Hydrologickým hodnocení sucha 2003 se podrobně zabývá zpráva ČHMÚ Sucho v českých povodích (2003). Se suchem se toho roku nepotýkala pouze Česká republika, ale celá západní Evropa. Server MetOffice hovoří o tzv. horké vlně, která je označována za největší od roku 1540 a jejím důsledkem zemřelo více než 20 tisíc lidí, převážně ve Francii. V České republice trvalo hydrologické sucho od druhé poloviny května a trvalo až do listopadu s minimy průtoků naměřenými v letních měsících (srpen, září). Dle studie ČHMÚ (2003) bylo období od začátku roku do konce září srážkově podprůměrné, na většině území spadlo méně než 500 mm srážek, což je méně než 80 % dlouhodobého ročního průměru, kladná teplotní odchylka od dlouhodobého průměru (1961 – 1990) se na většině území pohybovala do 2 °C, prudké poklesy hladin se na většině hlavních povodí začaly projevovat již na konci května. Absolutní minima průtoků byla dosahována v srpnu (případně září), kdy například v povodí Labe průtoky představovaly 25 – 40 % dlouhodobého měsíčního průměru, na méně vodných úsecích pak pouze 4 – 25 % (ČHMÚ, 2003). Na několika stanicích napříč republikou byly naměřeny nejnižší průtoky od počátků jejich měření.



Obrázek 14: Vývoj průměrných denních průtoků během sucha 2003 a historická minima pro Skalici ve Varžově. Zdroj: kol. autorů ČHMÚ (2003).

## 5.8 Rok 2015

Poslední suché období máme ještě čerstvě v paměti, odehrálo se totiž během loňského roku (2015) a postihlo celé území České republiky. Sucho 2015 se svou extremitou podobá suchu 2003 či 1947. Podrobná analýza sucha 2015 je zpracována ve zprávě ČHMÚ (2015), která



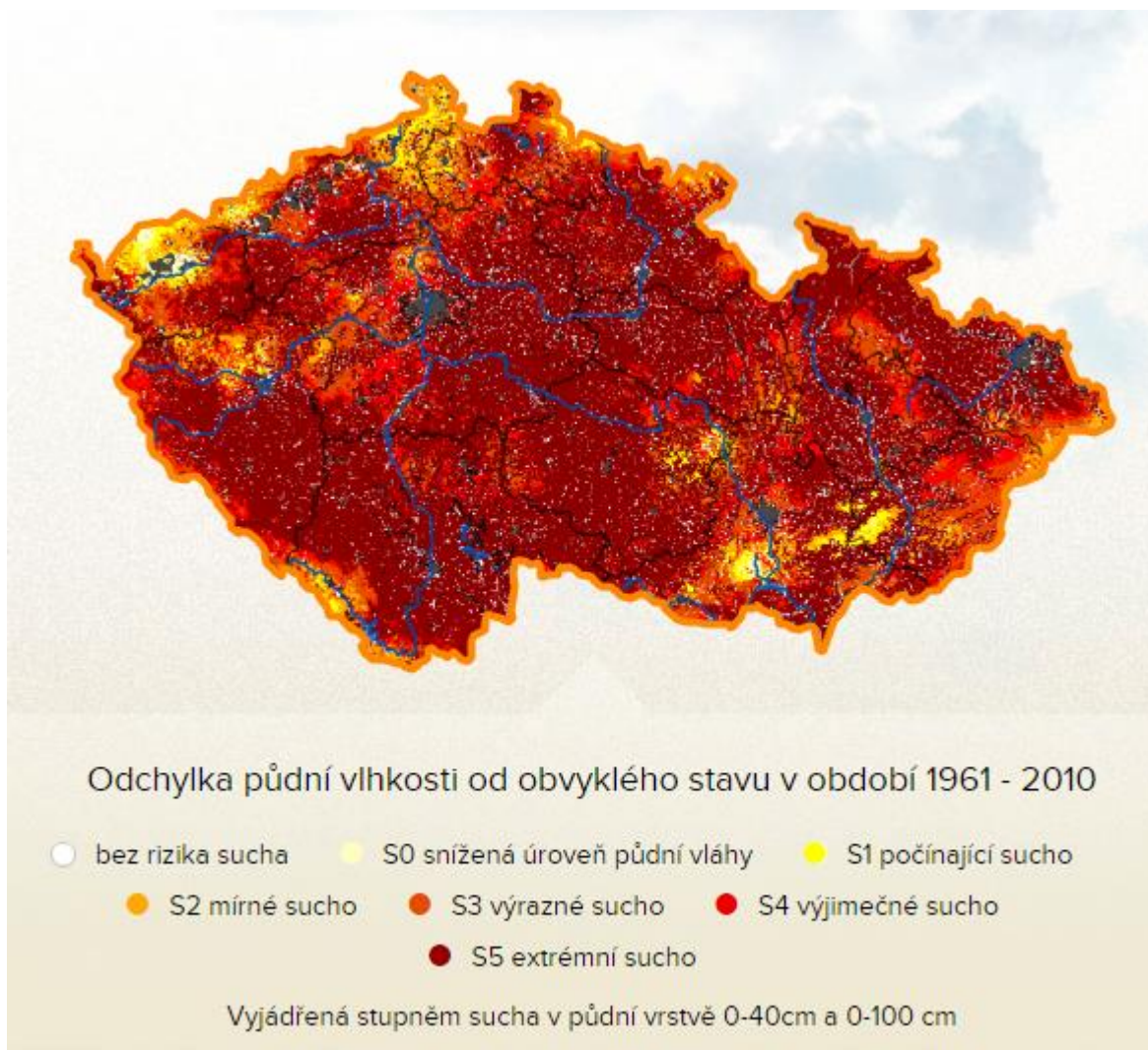
detailně popisuje výskyt a průběh všech typů sucha. Nepříznivá meteorologická situace, která se projevila deficitem srážek již od konce roku 2014, zapříčinila, že už na počátku léta byla krajina poměrně vysušená, což bylo ještě umocněno opakujícími se vlnami extrémních veder a s nimi spojeným zvýšeným výparem z krajiny a hladin vodních útvarů. Průměrná teplota během vegetačního období byla o 1,1 °C vyšší než dlouhodobý průměr (1981 – 2010), srážkové úhrny byly značně podnormální, na některých místech byly menší než 60 % normálu (ČHMÚ, 2015). Kulminující sucho přerušily v polovině srpna vydatnější srážky, které stávající situaci významně pomohly, nebyly však dostatečně silné na to, aby suché období ukončily, sucho tak trvalo až do pozdního podzimu. Hydrologické sucho se projevilo na celém území České republiky, na většině toků hladina poklesla významně pod hranici  $Q_{355}$  na dobu několika týdnů, některé drobnější vodní toky úplně vyschly. Průtoky v některých úsecích hlavních vodních toků byly v období výskytu minimálních průtoků nadlepšovány vodními nádržemi, které jsou k tomuto účelu primárně určeny, a tak významně napomohly snížit dopady sucha. Tab. 2 porovnává minima z roku 1904 (období kolem 18. 8.) s absolutními minimy z roku 1947 a 2015, červeně jsou vyznačeny nejkritičtější hodnoty, modře pak naměřené průtoky, které jsou výrazně ovlivněny nádržemi. Podzemní vody sucho zasáhlo nejvíce v severovýchodních Čechách, kde na rozdíl od půdního sucha a sucha na povrchových vodách sucho přetrvávalo až do října, kdy byly na čtvrtině objektů zaznamenána měsíční minima.

| Tok       | Stanice               | 1904  |          | 1947   |          | 2015           |
|-----------|-----------------------|---|----------|--|----------|----------------|
|           |                       | $Q_{\min VIII}$<br>[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ] | Datum    | $Q_{\min}$<br>[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ] | Datum    |                |
| Jizera    | Tuřice                | 5,2   | (18. 8.) | 5,6  | (21. 9.) | 4,8 (P)        |
| Labe      | Brandýs nad Labem     | 15,5  | (19. 8.) | 10,4   | (22. 9.) | -              |
| Vltava    | České Budějovice      | 2*  |          | 4,25   | (21. 9.) | 9,7            |
| Lužnice   | Bechyně               | 1,2   |          | 2,3  | (1. 9.)  | 0,85           |
| Otava     | Písek                 | 1,8*  |          | 3,09   | (21. 9.) | 3,3            |
| Sázava    | Poříčí nad Sázavou    | 2,5   | (18. 8.) | 1,4 !  | (1. 9.)  | 1,69 (N)       |
| Vltava    | Davle                 | 7,5   |          | 13,7   | (2. 9.)  | 34 (Z)         |
| Berounka  | Beroun                | 4,5   | (18. 8.) | 3,3  | (3. 9.)  | 4,6            |
| Vltava    | Praha                 | 12,0 !  | (18. 8.) | 17,7   | (3. 9.)  | 43,5 (***16,8) |
| Labe      | Mělník                | 35,0  | (17. 8.) | 33,4   | (22. 8.) | -              |
| Ohře      | Louny                 | 3,9   | (19. 8.) | 0,6 !  | (24. 9.) | 8,1            |
| Ploučnice | Benešov nad Ploučnicí | 3,0 až 6,0  | (18. 8.) | 3,5  | (31. 5.) | -              |
| Labe      | Děčín                 | 39**  |          | 40,1   | (22. 8.) | 76,8           |

Pozn. -: chybí ověřená hodnota, \*: Hrubý odhad vyplývající z bilance, \*\*: podle Novotného (1963), (N): Nespeky, (P): Předměnice nad Jizerou, Z: Zbraslav, červeně nejkritičtější hodnoty, modře: silně ovlivněno nádržemi, \*\*\* – odhad průtoku bez vlivu nádrží Vltavské kaskády.

Tabulka 2: Porovnání minimálních průtoků v letech 1904, 1947 a 2015. Zdroj: Zpráva ČHMÚ (2015).

Následující obrázek (15) znázorňuje intenzitu sucha vyjádřenou odchylkou půdní vlhkosti od normálu (1961 – 2010) ze dne 9. 8. 2015, tedy z období, kdy sucho dosahovalo svého vrcholu. Zdrojem obrázku je server [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz), který monitoruje a zpracovává informace týkající se zejména půdního sucha, nasycení půdy a dopadů na zemědělství na úrovni bývalých okresů.



Obrázek 15: Vyjádření intenzity sucha pro Českou republiku ze dne 9. 8. 2015. Zdroj: [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz)

## 6. Sucho v legislativě

V posledních dvou dekadách jsme na území České republiky zaznamenali nárůst extrémních jevů, a to zejména povodní a sucha. Jako reakce na povodňové události vznikla řada opatření a zákonů, které se zabývají ochranou před povodněmi, ale problematika sucha a nedostatku vody stále ještě není jednoznačně definována a zakotvena v české legislativě. Částečně se jí zabývají Plány dílčích povodí, ale pouze okrajově. Dle klimatických scénářů lze na území Česka očekávat nárůst teplot a pokles či stagnaci srážek, což povede k vyšší frekvenci výskytu suchých období. Je tedy žádoucí tento jev řádně definovat a zahrnout do českého zákonodárství.

Na evropské úrovni je nejvýznamnějším a nejucelenějším dokumentem věnujícím se problematice vodního hospodářství Rámcová směrnice vodní politiky (2000/60/ES), která se zaměřuje na podporu udržitelného užívání vod a už z její podstaty vyplývá snaha o zmírňování následků povodní a suchých období. Naplněním cílů Rámcové směrnice se zabývá Společná implementační strategie (CIS) z roku 2001, na základě které vznikla řada dalších dokumentů, přičemž stěžejní pro řešení v oblasti nedostatku vody jsou Zpráva o plánu pro zvládnutí sucha včetně zemědělských indikátorů sucha a indikátorů spojených se změnami klimatu (Drought management plan report including agricultural, drought indicators and climate change aspects, 2008) vydaná Evropskou komisí nebo Sdělení Komise o řešení problému nedostatku vody a sucha v Evropské unii (KOM, 2007) a vzorový Program pro ochranu vodních zdrojů (2012). Reakce na aktuální problematiku sucha dle Rámcové směrnice a z ní vycházejících dokumentů by se tedy měla projevit zejména ve vodohospodářském plánování České republiky.

Na národní úrovni je voda a nakládání s ní, stejně jako vodní hospodářství v kompetenci dvou státních institucí, a to Ministerstva zemědělství a Ministerstva životního prostředí. Tento fakt, že voda není řešena v gesci jednoho resortu, ale dvou, ztěžuje jednání a pružné rozhodování hlavně v krizových situacích nedostatku či nadbytku vody. Jako reakce na dlouhodobý vývoj srážek a dalších hydroklimatických faktorů v České republice proto v roce 2014 vznikla mezirezortní komise VODA-SUCHO, která si kladla za cíl přípravu materiálu použitelného pro vytvoření širší koncepce na zmírnění následků sucha. Dne 29. 7. 2015, tedy právě v kulminujícím období sucha, byl usnesením vlády č. 620 schválen materiál s názvem „Příprava realizace opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody“. Materiál je plně v souladu s národní i mezinárodní politikou, ze závazků mezinárodních úmluv a vychází především z přístupů uplatňovaných v okolních státech a z dlouhodobého vývoje klimatu a budoucích klimatických scénářů.

Jako klíčový pro plánování v oblasti vodního hospodářství je Vodní zákon (254/2000 Sb.), zejména u kterého návrh předpokládá úpravu a nutnost aktualizace. Tento zákon má za cíl zajišťovat kvalitu, vydatnost a bezpečnost vodních zdrojů, avšak nezohledňuje současnou změnu nároků na hospodaření s vodou. Jedna z kapitol Vodního zákona se věnuje ochraně před povodněmi, adekvátně by měl také obsahovat kapitolu zabývající se ochranou před suchem a nedostatkem vody. Dle schváleného materiálu (2015) by aktualizace Vodního zákona měla obsahovat hlavně povinnost a pravidla pro sestavení Plánu pro zvládání sucha jako účinného nástroje pro řešení nepříznivé situace vyvolané výskytem sucha, dále definici stupňů ohrožení suchem, pravidla pro ustavení komisí pro zvládání sucha a rozsah jejich činnosti a v neposlední řadě výčet aktivit pro orgány správy a samosprávy při krizových situacích vyvolaných suchem.

Kromě Vodního zákona bude nutné upravit i další zákony, které se dotýkají hospodaření s vodou. Jedná se především o zákon č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu, který řeší zajištění potřeb zásobování obyvatel pitnou vodou i v přechodném období nedostatku vody. Dle ustanovení § 9 odst. 5 tohoto zákona je provozovatel vodovodu oprávněn přerušit nebo omezit dodávku vody bez předchozího upozornění mimo jiné i v době živelné pohromy (sucha). Vodoprávní úřad po projednání s obcí, vlastníkem a provozovatelem vodovodu může dle § 15 odst. 4, vyžaduje-li to veřejný zájem, především je-li přechodný nedostatek pitné vody, který nelze z důvodu technických kapacit nebo nedostatečných zdrojů vody nahradit, vydat opatření o dočasném užívání pitné vody.

Zákon, který řeší krizovou situaci v době přerušování dodávky pitné vody, je zákon č. 240/2000 Sb. o krizovém řízení. Zmiňuje ovšem pouze zásobování obyvatel pitnou vodou při krizi z příčin jako je evakuace z důvodu průmyslové havárie či povodní, nikoli řešení krizové situace, která může nastat při déletrvajícím období sucha.

Důležitým prvkem, kterého se týká hospodaření a nakládání s vodou, je zemědělská výroba, jejíž využití a ochranu upravuje zákon o ochraně zemědělského půdního fondu (334/1992 Sb.). Dle § 1 odst. 3 tohoto zákona do zemědělského půdního fondu náleží též rybníky s chovem ryb nebo vodní drůbeže a nezemědělská půda potřebná k zajištění zemědělské výroby jako např. pozemky se zařízením důležitým pro polní závlahy, závlahové vodní nádrže, odvodňovací příkopy, hráze sloužící před zamokřením nebo zátopou či technická protierozní opatření. Právě tato technická opatření jsou oblastí, kam by měla směřovat pozornost při plánování, o konkrétních opatřeních více v následující kapitole. Využití půdy a prostorově funkční využití

pozemků řeší zákon č. 139/2002 Sb. o pozemkových úpravách a pozemkových úřadech a o změně zákona č. 229/1991 Sb. o úpravě vlastnických vztahů k půdě a jinému zemědělskému majetku.

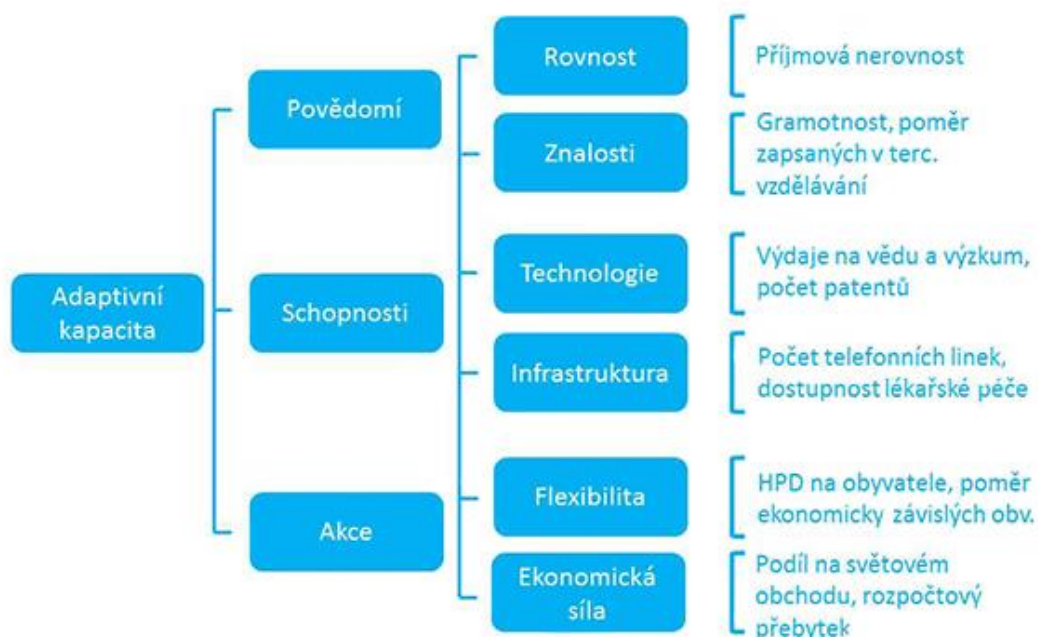
V suchých obdobích dochází ke střetům zájmů obyvatelstva (zásobování pitnou vodou) a ochránců přírody. Zdroje vody se totiž, až na výjimky, vyskytují v chráněných oblastech, které vymezuje zákon č. 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny. Nenahraditelnou složkou životního prostředí jsou lesní porosty, které jsou také nezbytnou součástí pro retenci vody v krajině. Zachování lesa a všech jeho funkcí je předmětem Lesního zákona (289/1995 Sb.).

Dalšími legislativními nástroji, kterými lze upravovat hospodaření s vodou, převážně v sektoru zemědělství, jsou operační programy. Zmíním zde například program Podpora konkurenceschopnosti agropotravinářského komplexu – závlahy, jehož cílem je snížení potřeby vody na závlahy nebo program Rozvoje venkova a Společné zemědělské politiky, který řeší problematiku retenční schopnosti půdy a jeho hlavními nástroji jsou Plány oblastí povodí a implementace nitrátové směrnice (91/676/EHS).

Zmíněné zákony jsou hlavními dokumenty, které se více či méně zabývají vodou a nakládáním s ní a jejich aktualizace je klíčová pro adaptaci na probíhající klimatické změny.

## 7. Strategie adaptačních opatření

Sucho je přírodním fenoménem, kterému nemůžeme zabránit, ale vhodnými zásahy a připraveností můžeme alespoň zmírnit jeho důsledky (Solh, 2014). V současné situaci probíhající klimatické změny a ve snaze předcházet jejím negativním důsledkům, je žádoucí zavádět vhodná adaptační opatření, tedy taková opatření, která umožňují přizpůsobit se změnám klimatu a být flexibilní v reakci na tyto změny. Adaptační opatření nezabrání probíhající změně, ale připraví systém na proces resilience. Koncepce možných opatření, které by bylo možné použít při zvládnání sucha, by měla být výsledkem dlouhodobého monitoringu a plánování v oblasti vodních zdrojů s důrazem na zásobování obyvatelstva pitnou vodou. Pro odhad vývoje klimatu jsou využívány klimatické scénáře a jejich výstupy je vhodné použít při přípravě adekvátních adaptačních opatření. Schopnost společnosti přizpůsobit se změnám klimatu a možným důsledkům se nazývá adaptivní kapacita. Adaptivní kapacita je ovlivněna širokou škálou faktorů (Obr. 16) zahrnující faktory ekonomické, technologické, informační, demografické apod., je tedy individuální pro každé sledované území či region.



Obrázek 16: Adaptivní kapacita a její možné indikátory. (zdroj: [www.klimatickazmena.cz](http://www.klimatickazmena.cz))

Adaptační opatření můžeme pro Českou republiku rozdělit na několika řádovostních úrovních a podle různých kritérií. Základní dělení by reprezentovalo velikost zasaženého území, kde bychom mohli rozlišit opatření:

- lokální,
- regionální,

- národní.

Při zavádění takových opatření vždy platí systém ‚zdola‘, tedy nejprve provádět opatření místního charakteru, pak regionálního a nakonec na úrovni celého státu.

Z časového hlediska rozlišujeme opatření:

- urgentní, které je nezbytné řešit co nejdříve a mohli bychom mezi ně zařadit například dokončení protipovodňových opatření ve většině obcí na území ČR,
- krátkodobá s dobou splnitelnosti asi 1 rok, kam patří hospodaření s vodou s důrazem na odběry vody
- střednědobého charakteru, která by se mohla zabývat problémem retence vody v krajině,
- dlouhodobá, která se dotýkají územního plánování.

Dle EEA (European Environmental Agency, 2013) dělíme adaptační opatření na:

- šedá – jedná se především o technické a stavební úpravy
  - výstavba rezervoárů a akumulčních nádrží, úprava koryt a infrastruktury
- zelená – neboli přírodě blízká, environmentální opatření
  - zvýšení retenční kapacity krajiny, zakládání a údržba zelených ploch v intravilánech, revitalizace mokřadů
- měkká – organizační, plánovací a logistická opatření vedoucí ke zmírňování zranitelnosti společnosti
  - mapování možných rizik a dostupnosti vody, monitoring a včasná hlásná předpovědní služba, šíření povědomí o problému sucha mezi širokou veřejnost

Opatření pro zvládnutí krizové situace vztahované na určitý časový okamžik vzniku či průběhu nastalé situace rozlišujeme následující:

- preventivní
- operativní,
- krizová.

V této práci jsem vycházela z tohoto dělení adaptačních opatření jako analogie povodňových opatření, jak je uvádí Vodní zákon (Sb. 2001/254), opatření na zmírnění dopadů sucha zde však chybí. U každé kategorie jsou uvedeny příklady konkrétních opatření a možnost jejich realizace

pro Českou republiku. Výčet opatření není rozhodně konečný, jedná se o pouze o jakési základní stavební kameny, které by se daly uplatnit při dalším vývoji v otázce zvládnání sucha.

## **7.1 Preventivní opatření**

Tato opatření, jak už název napovídá, mají za cíl preventivně chránit zdroje vody a zmírňovat dopady sucha v budoucích obdobích. Dala by se charakterizovat jako dlouhodobé cíle, ze kterých vychází následná operativní a krizová opatření, a proto je také tato skupina nejširší. V zásadě se jedná o změny v současné legislativě, pravidelný monitoring vodních zdrojů a informační osvětu obyvatelstva před možnými následky sucha. Dále je nutné zaměřit se na změny ve využívání krajiny, nakládání se srážkovými vodami, opatření technického rázu (stavba nových přehrad) a opatření systémová (změna technologií, recyklace srážkových vod, zvýšení retence vody v půdě). Rozhodně se nejedná o konečný výčet všech možných opatření, všechna realizovaná opatření je nutno individuálně přizpůsobit podmínkám v daném povodí, jedná se pouze o souhrn základních opatření, které fungují například ve státech, kde se se suchem dlouhodobě potýkají a mají proto vypracované detailní plány zvládnání sucha.

### ***Úprava současné legislativy***

V současné době jsou nezbytné úpravy některých stávajících zákonů, protože sucho s sebou přináší změny v nárocích na hospodaření s vodou a stávající legislativa tyto požadavky téměř nezohledňuje. Jedná se tedy především o aktualizaci Vodního zákona, který je klíčový pro nastavování aspektů vodního hospodářství (MŽP, 2015). Obdobně jako Vodní zákon obsahuje kapitolu ‚Ochrana před povodněmi‘, měl by být rozšířen o část věnující se ochraně před suchem. Jako zásadní spatřuji ve vytvoření definice stupňů ohrožení suchem a sestavení Plánu pro zvládnání sucha. Další dotčené zákony jsou uvedeny v předcházející kapitole. V návaznosti na Rámcovou směrnici o vodě vydala v roce 2015 Global Water Partnership pro Střední a Východní Evropu ve spolupráci se Světovou meteorologickou organizací Pokyny pro přípravu Plánů zvládnání sucha, kde je podrobně popsán postup a vývoj momentálně nezbytného dokumentu.

### ***Monitorovací a informativní opatření***

Preventivní informativní opatření spočívají především v osvětě společnosti, jak efektivně využívat vodní zdroje a provozování informačního systému pro širokou veřejnost. Systém by dle návrhu MŽP (2015) měl navazovat a propojovat již existující portály poskytující informace o stavech a průtocích na vodních tocích, nádržích a zdrojích podzemních vod. Konkrétně se



jedná o portál Hlásné a předpovědní služby ČHMÚ a o Informační systém VODA ČR pod hlavičkou MŽP. Oba tyto systémy kombinují data z ČHMÚ s daty podniků Povodí pro základní i doplňkové profily. Monitoringem hydrologického sucha a předpovědním systémem se zabývá práce Hatmoko (2015), který na základě dat průtoků v kombinaci se standardizovaným indexem průtoků, vyvinul systém včasného varování před hydrologickým suchem.

### ***Zvyšování retenční schopnosti krajiny***

Schopnost krajiny zadržet vodu, která se v ní vyskytuje, plní důležitou pasivní protipovodňovou funkci, ale také může významně ovlivnit množství vody v obdobích sucha. Nízká retenční schopnost zvyšuje pravděpodobnost výskytu povodní a sucha. Snižování retenční schopnosti krajiny je způsobeno napřimováním vodních toků, odvodňováním zemědělské půdy, vysoušením mokřadů či přeměnou lesů a travních porostů na ornou půdu a urbanizovanou krajinu s množstvím nepropustných povrchů a urychlující odtok vody z krajiny. Zvyšování retenční schopnosti musí být prováděno cíleně na konkrétní místa v povodí, a to hlavně úpravami samotného koryta, např. jeho rozvolňováním a úpravami v břehové zóně a říční nivě. Právě přilehlé území kolem vodního toku je klíčovým pro zadržování vody, je tedy nutné dbát na využití krajiny a primárně cílit opatření do těchto oblastí. V říční nivě je vhodné snížit či omezit plochu nepropustných povrchů a zemědělské půdy a nahradit ji vhodnými biotopy lužních lesů, mokřadů či mokřých luk.

### ***Recyklace srážkových vod***

Dešťové vody jsou v českých městech běžně sváděny do kanalizace a bez jakéhokoliv dalšího užití odváděny do recipientu (Machač, 2013). Za hranicemi České republiky je ale zcela běžným a hlavně podporovaným standardem srážkové vody využívat, a to jak v domácnosti, tak v průmyslu. Potenciál využití dešťových a šedých vod je obrovský, a v rámci udržitelnosti poptávky po vodě je vhodné tyto vody využívat jako provozní, například na zalévání zahrady, mytí aut či splachování toalety. Výhodou této „zelené technologie“ je snížení kvantitativních nároků na zdroje pitné vody, úspory energie na dopravu vody a pro obyvatele pak zejména úspora na vodném a stočném.

### ***Výstavba či obnova akumulčních vodních nádrží***

Pro zajištění minimálních průtoků během období sucha a pro zabezpečení udržitelných vodních zdrojů je vhodným opatřením výstavba víceúčelových nádrží s dostatečným objemem pro odběry k vodárenským účelům, průmysl, zemědělství a v neposlední řadě k udržení dobrého

ekologického stavu vodních toků (Punčochář et al., 2015). Lokality vhodné pro akumulaci povrchových vod slučuje Generel LAPV (Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod). Současná verze Generelu (vydaná 2011) vyčleňuje 65 lokalit (Obr. 19), ale díky vývoji v posledních letech a zejména jako reakce na materiál „Příprava realizace opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody“, schválený usnesením vlády č. 620 z 29. července 2015, se uvažuje o rozšíření o další lokality. V návaznosti na uvedené skutečnosti již byla zahájena příprava realizace několika vodních nádrží, a to v regionech, které sucho postihuje nejvíce. Vytipované lokality, ke kterým se zahajuje příprava realizace, spolu se základními údaji o lokalitě a očekávaném objemu akumulací, jsou uvedeny v Obr. 17.



Obrázek 17: Mapa lokalit akumulace povrchových vod. Zdroj: Generel LAPV (2011).

Lokality Pěčín a Vlachovice vycházejí z Generelu LAPV, Kdežto lokality Senomaty na Kolečovickém potoce a Šanov na Rakovnickém potoce jsou navrhovány na základě studie provedené VÚV. Podrobné informace o těchto dvou nádržích jsou uvedeny v kapitole Příprava realizace malých vodních nádrží na Rakovnicku. Jedním z rizik výstavby malých vodních nádrží je kvalita vody, která je ovlivněna především kvalitou přítékající vody, morfometrickými parametry navrhované nádrže a charakterem využívání okolní krajiny. V déletrvajících obdobích sucha lze předpokládat zhoršenou kvalitu vody v těchto nádržích, proto nelze tyto nádrže uvažovat jako potenciální zdroj zásobování vodou pro obyvatelstvo či

pro jiný, například rekreační či chovný záměr, ale je nutné je využívat pouze k primárním účelům jejich výstavby, tedy akumulace vody a nadlepšování průtoků v období jejího nedostatku.

| Název lokality | S. p. Povodí | Kraj            | Vodní tok         | Zdroj návrhu | Plocha lokality (ha) | Objem nádrže (mil. m <sup>3</sup> ) | Počet dotčených budov |
|----------------|--------------|-----------------|-------------------|--------------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| Pěčín          | Labe         | Královéhradecký | Zdobnice          | generel      | 80,0                 | 17,1                                | 8                     |
| Vlachovice     | Moravy       | Zlínský         | Vlára             | generel      | 156,3                | 19,4                                | 5                     |
| Senomaty       | Vltavy       | Středočeský     | Kolešovický potok | studie       | 25,6                 | 0,7                                 | 0                     |
| Šanov          | Vltavy       | Středočeský     | Rakovnický potok  | studie       | 22,2                 | 0,5                                 | 0                     |

Obrázek 18: Údaje o vytipovaných lokalitách a nádržích, ke kterým se zahajuje příprava realizace. Zdroj: MZe (2015).

### **Propojení vodohospodářských soustav**

Pro překlenutí delších období sucha, která s největší pravděpodobností můžeme v budoucnu očekávat, by v některých povodích bylo možné propojit několik stávajících nádrží a díky optimalizaci s vodními díly situaci s nedostatkem vody kontrolovat a upravovat. Podobné propojení soustav funguje na řece Odře a bylo o něm uvažováno i pro Rakovnický potok ve studii Kašpárka (2012). V rámci studie byly posuzovány převody vody z vodního díla Nechranice do Hájevského potoka v severní části povodí Rakovnického potoka nebo převod vody z Ohře pod přítokem Blšanky opět do Hájevského potoka. Obě tyto varianty byly následně zamítnuty, a to především z důvodu enormních ekonomických nákladů na výstavbu převodního kanálu a dalších neuvažovaných nákladů na obsluhu a údržbu, či z hlediska velké vzdálenosti obtížného řešení majetkoprávních vztahů.

## **7.2 Operativní opatření**

Operativní opatření jsou v návaznosti na primární preventivní opatření realizována až v době, kdy nastane nedostatek vody. Provedení jednotlivých konkrétních opatření by mělo korespondovat s vyhlásováním stupňů ohroženosti suchem. Pro tento typ opatření je důležité včasné plánování a vymezení subjektů, které budou mít pravomoci rozhodování v nastalých situacích. Většinou se jedná o opatření ekonomická, tedy taková, která zavádí vhodné cenové nástroje ovlivňující poptávku po vodě v době jejího nedostatku. Mezi taková opatření můžeme

zařadit například navýšení ceny vodného a stočného v období sucha, což vede k racionálnějšímu využívání vody ze strany koncových uživatelů nebo omezení odběrů vody dané nařízením příslušného vodoprávního úřadu.

### **Omezení odběrů vody**

Omezení odběrů vody během období, kdy je vody nedostatek, se jeví jako účinný nástroj k možné úspoře vody. Omezení odběrů může být dáno nařízením nebo vyhláškou vodoprávního úřadu nebo technického charakteru. V současné době mají úřady právo vydat podobné nařízení, zakazující zalévání zahrad, mytí aut či napouštění bazénů pitnou vodou, v legislativě však neexistuje nástroj, který by při porušení tohoto nařízení umožňoval uložit peněžní pokutu. Jedná se tedy pouze o jakési doporučení, které ne všichni uživatelé respektují. Technické omezení odběru vody spočívá v uzavření některých potrubí na dobu nezbytně nutnou pro překlenutí období sucha nebo na určitou část dne. Zvláště z hygienických důvodů a propojenosti vodovodních soustav je toto opatření obtížně realizovatelné. Proto je nutná osvěta obyvatelstva, aby si byl každý vědom toho, kolik vody spotřebovává a pokusil se tuto spotřebu snížit na minimum.

### **Zvýšení ceny vodného a stočného v době nedostatku vody**

Usnesení vlády č. 620 z 29. 7. 2015 uvažuje cenovou politiku motivující k šetření s vodou v obdobích sucha. Opatření spočívá v dočasném zvýšení ceny za odběr pitné vody za nepříznivého stavu vyvolaného suchem. Toto opatření by dle materiálu vlády bylo vhodné zkombinovat se zavedením blokové (tarifní) ceny za odběr vody bez ohledu na stupeň ohrožení suchem. Tarifní cena spočívá v definici základní spotřeby vody, která je zpoplatněna nižší cenou než odběry přesahující tuto hranici. Řešení však musí vycházet z racionálního nastavení hranice mezi základní a zvýšenou spotřebou vody. Zavedení tarifních cenových pásem by reflektovalo aktuální situaci vodních zdrojů a mělo by za cíl omezit zřejmé plýtvání vodou. Opatření s sebou ale nese nezbytnou implementaci vhodné technické infrastruktury v podobě digitálních vodoměrů, které umožňují provádět odečet spotřeby vody v reálném čase.

## **7.3 Krizová opatření**

Krizová opatření jsou aplikována zejména tehdy, dojde-li k takovému vývoji situace, že je ohroženo zásobování obyvatelstva pitnou vodou na minimální úrovni. Při nedostatku vody krizového charakteru dochází k přerušování dodávek pitné vody a pak se musí přikročit k náhradnímu zdroji zásobování, a to k dovážení balené vody či cisteren s pitnou vodou. Obě

tato řešení jsou ale krátkodobého charakteru a zajišťují pouze zdroj vody pro pitné účely, nikoli pro další potřeby, jako jsou vaření či hygiena. Způsob řešení krizové situace při přerušení dodávky vody řeší zákon č. 240 Sb., o krizovém řízení. V zákoně jsou však řešené situace nedostatku vody z příčin jako jsou ekologické havárie apod., nikoli z důvodu sucha. Požadavky na zachování minimální dodávky pitné vody jsou 5 l vody na osobu a den v prvních dvou dnech, v dalších dnech pak 5 – 10 l na osobu a den, což je z dlouhodobého hlediska, v případě sucha, nedostatečné.

## 8. Aplikované metody a zdroje dat

K analýze teplot vzduchu, srážek a průtoků bylo využito několik metod, zpravidla se jedná o vizualizaci dat pomocí základních grafů, hydrogramů či jednoduchých a podvojných odtokových a srážkových čar, které spočívají v postupném načítání hodnot průtoků či srážek v chronologickém pořadí a zobrazují tak vývojový trend těchto veličin (Kliment, Matoušková, 2008). Lineární průběh křivky značí ideálně vyrovnaný průtok, odchylky od něj ukazují na změny v odtokovém režimu, které mohou být způsobeny změnou úhrnů srážek nebo antropogenním ovlivněním. Podvojně součtové čáry zobrazují závislost kumulativních ročních srážkových úhrnů a kumulativních průměrných ročních průtoků a detekují změny ve srážkoodtokovém režimu.

K detekci dlouhodobého ročního i sezónního trendu hydroklimatických dat byl využit Mann-Kendallův neparametrický test (Mann, 1945; Kendall, 1975). Výhodou Mann-Kendallova testu je, že testovaná data nemusí mít normální rozdělení a zároveň slouží k detekci trendu i u neúplných časových řad. V testu rozlišujeme dva parametry detekce trendu, a to MK-S určující směr a velikost trendu, přičemž kladné hodnoty značí rostoucí trend, záporné hodnoty naopak trend klesající a p-hodnotu, která vyjadřuje míru signifikace (čím blíže je hodnota 0, tím je větší významnost testu). Hladina významnosti byla stanovena na 0,05, přičemž nulová hypotéza se zamítá, pokud je míra signifikance vyšší než požadovaná hodnota. Pro výpočet Man-Kendallova testu byl použit program MULTMK/PARTMK (Grimvall, Libiseller, 2003), což je makro vytvořené pro MS Excel.

Hydrologická data byla dále testována v IHA software (Indicators of Hydrologic Alteration) vyvinutém americkou neziskovou organizací The Nature Conservancy, který je volně dostupný na jejich webových stránkách. Analýza ukazatelů hydrologických změn sdružuje hydrologická data za delší období do sad ekologicky důležitých parametrů (Opperman, 2006). Vědecký základ tohoto softwaru je shrnutý v několika článcích Richtera et al. (1996, 1997). 33 parametrů je rozděleno do pěti skupin:

1. Velikost měsíčního průtoku
2. Rozsah a trvání extrémních jevů proudění (vysoké a nízké průtoky)
3. Načasování extrémních jevů proudění
4. Frekvence a délka trvání extrémních jevů
5. Míra a četnost změn v tocích

Pro každý z těchto parametrů IHA počítá faktor hydrologické změny, který se vypočítá tak, že software rozdělí data ‚před zásahem‘ (většinou před stavbou vodní nádrže) do tří kategorií (obecně percentilů – nejnižší, střední a nejvyšší průtoky) a následně je porovnává s daty ‚po zásahu‘.

$$HA \text{ faktor} = (\text{pozorovaná frekvence} - \text{očekávaná frekvence}) / \text{očekávaná frekvence}$$

Pozitivní HA faktor znamená, že frekvence hodnot v kategorii (percentilové seskupení) vzrostl v období po zásahu, zatímco záporný HA faktor znamená, že frekvence těchto hodnot v dané kategorii po zásahu poklesla. Například pokud postavená hráz zmírňuje povodňové průtoky, pak by HA faktor pro nejvyšší kategorii byl negativní v případě dat ‚před zásahem‘, zatímco pro nejnižší kategorii by nabýval pozitivních hodnot.

K analýze suchých období byly využity dva indexy hydrologického sucha, a to odtokový index sucha (Streamflow drought index – SDI, Nalbantis, 2008) a index Low flow dle Poff et Ward (1989). Odtokový index sucha je založen na kumulovaném průtoku pro překrývající se referenční období o délce 3, 6, 9 a 12 měsíců v rámci jednoho hydrologického roku. Jako vstupní hodnoty jsou průměrné měsíční hodnoty průtoku. Tento index je původně navržen a upraven na řeky mediteránního charakteru s hydrologickým rokem začínajícím v říjnu. Pro potřeby této studie byla vstupní data upravena na podmínky České republiky tak, aby odpovídala hydrologickému roku s počátkem v listopadu. Referenční období tedy pokrývají následující měsíce během jednoho hydrologického roku – listopad – leden (1), listopad – duben (2), listopad – červenec (3), listopad – říjen (4). Kumulovaný průtok se spočítá dle následující formule jako součet jednotlivých měsíčních průtoků:

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j} \quad i = 1, 2, \dots \quad j = 1, 2, \dots, 12 \quad k = 1, 2, 3, 4$$

kde  $V_{i,k}$  značí kumulovaný průtok pro daný hydrologický rok,  $k$  označuje uvažované referenční období (1 – 4),  $i$  odpovídá hydrologickému roku a  $j$  měsíci v daném roce. Na základě spočtených kumulativních hodnot se pro každé referenční období stanovuje odtokový index sucha (SDI) jako:

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{S_k} \quad i = 1, 2, \dots, \quad k = 1, 2, 3, 4$$

kde  $V_k$  je průměr všech kumulativních průtoků v daném referenčním období za celou dobu pozorování a  $S_k$  je směrodatná odchylka kumulativních průtoků v referenčním období. Hodnoty indexů jsou klasifikovány do pěti tříd sucha od 0 (bez sucha) do 4 (extrémní sucho). Intervaly hodnot SDI pro zařazení do jednotlivých kategorií jsou uvedeny v následující tabulce:

| State | Description      | Criterion              | Probability (%) |
|-------|------------------|------------------------|-----------------|
| 0     | Non-drought      | $SDI \geq 0.0$         | 50.0            |
| 1     | Mild drought     | $-1.0 \leq SDI < 0.0$  | 34.1            |
| 2     | Moderate drought | $-1.5 \leq SDI < -1.0$ | 9.2             |
| 3     | Severe drought   | $-2.0 \leq SDI < -1.5$ | 4.4             |
| 4     | Extreme drought  | $SDI < -2.0$           | 2.3             |

Nevýhodou indexu je jeho navržení pro účely použití primárně v semi-aridních oblastech, čemuž odpovídají i nastavené intervaly hodnot SDI. V našich geografických podmínkách jsou častější sucha v letním období a metoda kumulativního součtu má tu nevýhodu, že jedno vodné období na počátku roku ovlivní významně celý zbytek roku, i pokud se v daném roce vyskytne sucho.

Index Low flow, který ve své studii použili Poff a Ward (1989) udává poměr mezi nejnižším průměrným denním průtokem v daném roce a průměrným ročním průtokem.

$$LOWFLOW = \frac{Q_{min}}{Q_a}$$

Výsledná hodnota naznačuje, že čím je minimální hodnota vzdálenější od průměru, tím je daný rok sušší. Nevýhodou mohou být odlehlé minimální hodnoty v datových řadách, které mohou výsledek zkreslovat.

Hodnocení četnosti výskytu suchých období bylo analyzováno na základě hodnoty průtoky  $Q_{95\%}$ , tedy takového průtoky, který je překročen s 95% pravděpodobností. V pozorovaném období byly vybrány všechny průtoky, které splňují tuto podmínku a následně byl hodnocen trend a frekvence a sezónnost jejich výskytu.



Pro hodnocení změny krajinného pokryvu byl využit zejména software ArcGIS a jeho extenze V-Late, ve kterém byly zpracovány mapové a grafické výstupy. Index změny udává poměr mezi plochou dané kategorie v jednom období vůči ploše této kategorie v období předchozím. Jedná se o bezrozměrné číslo, někdy je také udáván v procentech.

Ke klasifikaci území dle jeho ekologické stability byly spočteny základní metriky. Koeficient ekologické stability (KES), jehož hodnota udává poměr mezi stabilními a nestabilními krajinnými prvky v daném území. Koeficient má několik známých modifikací, použit byl výpočet dle Míchala (1985):

$$KES = \frac{LP + VP + TTP + Pa + Mo + Sa + Vi}{OP + AP + Ch} = \frac{\text{stabil. ekosystémy}}{\text{nestabil. ekosystémy}}$$

| Stabilní prvky             | Nestabilní prvky              |
|----------------------------|-------------------------------|
| LP – lesní půda            | OP – orná půda                |
| VP – vodní plochy a toky   | AP – antropogenizované plochy |
| TTP – trvalý travní porost | Ch – chmelnice                |
| Pa – pastviny              |                               |
| Mo – mokřady               |                               |
| Sa – sady                  |                               |
| Vi – vinice                |                               |

Zájmové území je pak dle hodnoty koeficientu zařazeno do jedné z pěti skupin, od území s maximálním narušením přírodních funkcí (KES blíží se 0), až po přírodní a přírodě blízkou krajinu bez narušení (KES > 3). Nevýhoda této metody spočívá v jednoznačném a konečném zařazení prvku do skupiny stabilní/nestabilní bez možnosti hodnocení konkrétního stavu těchto prvků.

Oproti tomu stupeň ekologické stability (SES) klasifikuje vstupní složky dle jejich významu pro ekologickou stabilitu, od 0 pro prvky bez významu (intravilán) po 5 pro prvky přírodní (přírodní vodní toky či lesy). Stejně tak výsledný stupeň ekologické stability nabývá hodnot 0 – 5 (0 – bez významu, 5 – velmi velký význam) dle jeho významnosti pro daný ekosystém. Celkový SES se vypočte jako vážený průměr ploch jednotlivých složek:

$$SES = \frac{\sum SES_i * F_i}{\sum F}$$

$F_i$  - plocha prvku  
 $SES_i$  - stupeň významnosti prvku  
 $F$  - celková plocha území  
 $SES$  - celkový stupeň ekologické stability

## Použitá data

Vzhledem k omezenému počtu měřících stanic v povodí Rakovnického potoka, jejichž rozložení ukazuje Obr. 19, byla k analýze základních hydroklimatických veličin použita tato data:

- Řada průměrných měsíčních teplot ze stanice Heřmanov pro období 1995 – 2014. Díky nedostatečné délce datové řady byla použita datová řada průměrných měsíčních teplot ze stanice Kralovice pro období 1961 – 2014. Protože se tato stanice nenachází v povodí Rakovnického potoka, byla data pro stanici Heřmanov pro období 1961 – 1994 dopočítána metodou lineární regrese.
- Řada denních úhrnů srážek ze stanic Rakovník (1961 – 2014), Oráčov (1963 – 2014), Kounov (1961 – 2014) a Křivoklát (1961 – 2014). Ani jedna z těchto řad není úplná, proto byly chybějící hodnoty v datových řadách dopočítány metodou lineární regrese na základě míry závislosti jednotlivých datových řad. Základní geografické údaje a informace o chybějících obdobích jsou uvedeny v Tab. 3.

| Stanice   | Rozsah pozorování | Chybějící data  | ID stanice | Nadmořská výška (m n. m.) |
|-----------|-------------------|---|------------|---------------------------|
| Rakovník  | 1961– 2014        | I. –<br>VI. 1996  | L2RAKO01   | 354                       |
| Křivoklát | 1961 – 2014       | V. – VI. 1977   | PIKRIV01   | 324                       |
| Oráčov    | 1963– 2014        | 1960 – 1962, III.<br>1985, IV. 1986,<br>I. 1988, I. – IV.<br>1994 | L2ORAC01   | 388                       |
| Kounov    | 1961 - 2014       | VII. 1989   | L2KOUN01   | 422                       |

Tabulka 3: Údaje o rozsahu pozorování jednotlivých stanic v povodí Rakovnického potoka včetně chybějících období. Zdroj dat: ČHMÚ.

- Řada denních průtoků z limnigrafické stanice Rakovník (ř. km 17,5) pro období 1970 – 2014.

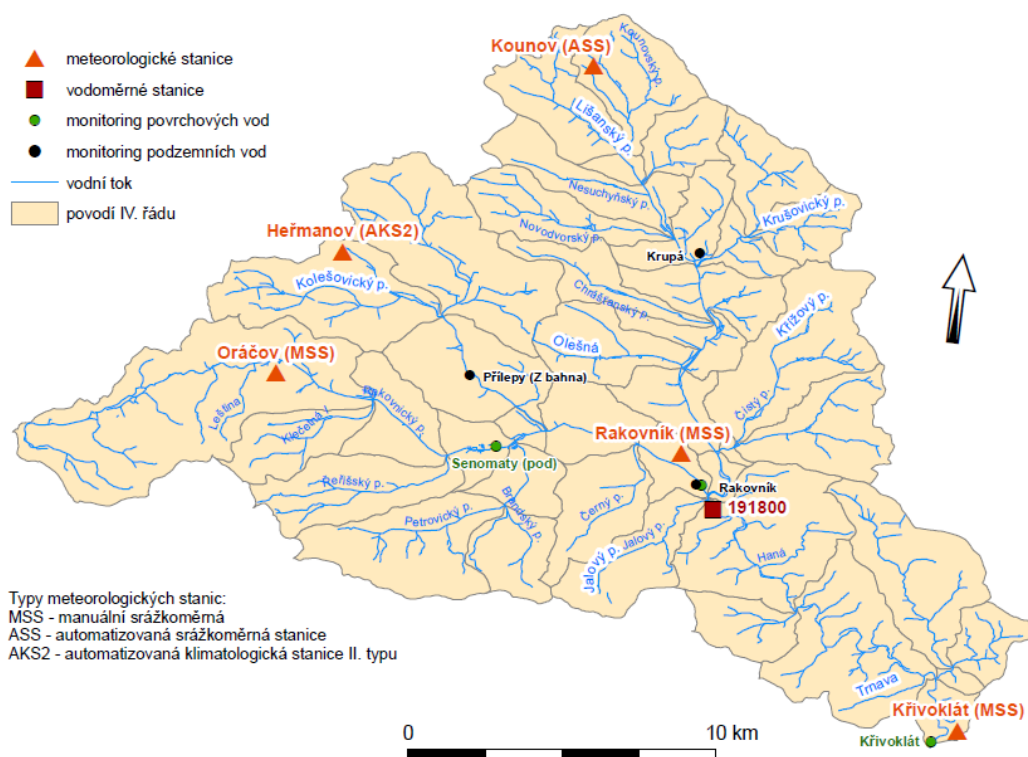
Veškerá hydrologická i klimatická data byla zakoupena od ČHMÚ. Pro účely diplomové práce byla rovněž od ČHMÚ poskytnuta data denních průtoků týkající se sucha 2015. Test homogenity dat byl proveden manuálně.

Pro vyhodnocení změn krajinného pokryvu byla použita vektorová data, které poskytl VÚMOP. Tato data jsou následující:

- Vektorová vrstva 2. rakouského vojenského mapování (1846)
- Vektorová vrstva 3. rakouského vojenského mapování (1879)
- Vektorová vrstva Vojenského mapování Československa (1953)
- Vektorová vrstva Základní mapy ČR (2006)

Zhodnocení struktury krajiny probíhalo na základě snímků z geoportálu INSPIRE, konkrétně se jedná o mapy císařského otisku stabilního katastru (1846), 3. vojenského mapování (1879) a ortofota z 50. let 20. století a z roku 2006.

Podklady pro mapové výstupy s byly získány z databáze DIBAVOD pod hlavičkou VÚV, geoportálu CENIA či INSPIRE patřící MŽP, z databáze Corine Land Cover nebo digitální geografické databáze ArcČR verze 2.0.



Obrázek 19: Mapa rozmístění měřících stanic v povodí Rakovnického potoka.

## 9. Charakteristika území povodí Rakovnického potoka

### 9.1 Dosavadní výzkum

Rakovnický potok je tok pahorkatinného charakteru, který je velmi silně antropogenně ovlivněn. Jeho povodí je územím zemědělsky velmi využívaným, což se také projevuje na současném morfologickém stavu toku a odtokových poměrech.

V minulosti byl Rakovnický potok či jeho povodí předmětem několika studií, které se zabývaly zlepšením ehohydrologických poměrů a možnostmi zmírnění dopadů klimatické změny v zájmovém území, z nichž zde zmíním tři nejnovější. Práce Matouškové (2003) byla zaměřena na aplikaci metody EcoRivHab v modelovém povodí Rakovnického potoka, které bylo vybráno z důvodu splnění požadavků týkajících se míry antropogenní transformace a velikosti. Výsledky ekomorfologické metody, která kombinuje terénní průzkum a distanční data, ukázaly, že více než polovina toku je silně antropogenně ovlivněna, zejména četnými hydromelioračními úpravami, napřímením a zahloubením koryta. Na základě provedeného průzkumu byla prokázána změna v odtokovém režimu, především jeho zrychlení. Práce se také zabývala kvalitou vody v Rakovnickém potoce, na jehož středním a dolním toku bylo prokázáno silné znečištění způsobené bodovými zdroji v horních částech povodí. Z detailní analýzy vyplynulo několik doporučení na vhodná revitalizační opatření, která by měla směřovat hlavně do pramenné oblasti toku. Tam autorka vnímá jako jediné možné řešení celkovou revitalizaci zahrnující i obnovu břehových pásů a doprovodné vegetace.

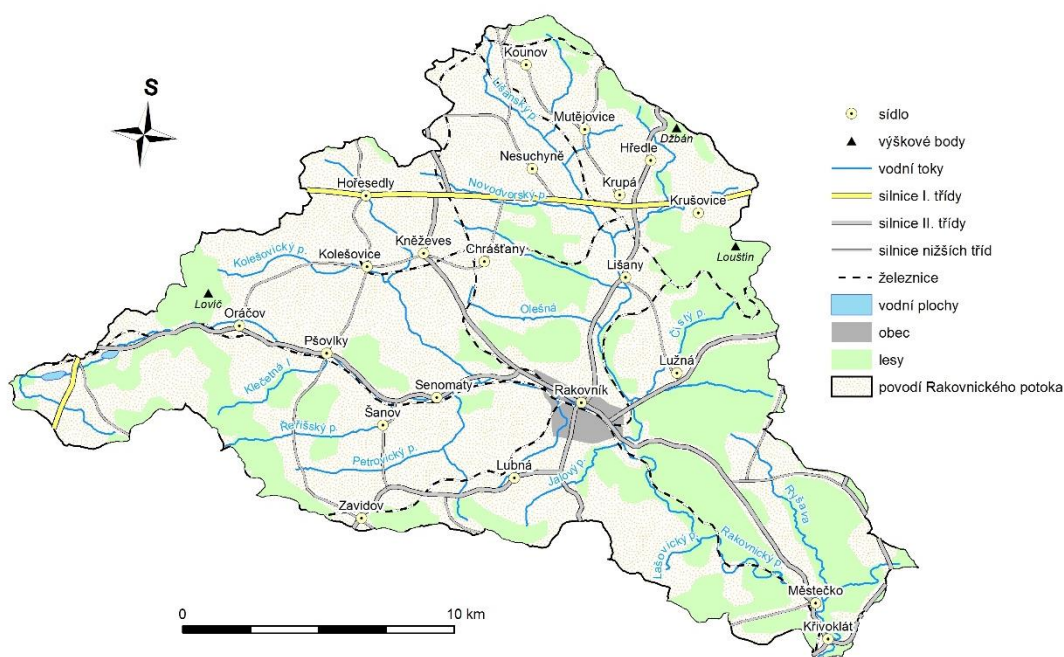
Vodní ústav vodohospodářský (VÚV) s hlavním řešitelem Ing. Kašpárkem vydal v roce 2012 studii, která má za cíl zkoumat možnosti zmírnění dopadů klimatické změny v povodí Rakovnického potoka zlepšením akumulčních schopností. Povodí Rakovnického potoka bylo záměrně vybráno jako území s dlouhodobou pasivní hydrologickou bilancí. Mezi lety 2009 a 2011 proběhl v povodí detailní výzkum, který analyzoval hydrologické i klimatologické veličiny a výsledkem byl modelový odhad jejich budoucího vývoje a návrhy možných opatření pro zlepšení vodní bilance. Jako nejefektivnější opatření pro zlepšení akumulace vody v povodí byly navrženy akumulční nádrže. Na základě této studie bylo vybráno osm potenciálně vhodných lokalit, z nichž na dvou již probíhá příprava realizace. Těmto akumulčním nádržím je věnována jedna z následujících kapitol.

Autorka v rámci své bakalářské práce provedla na středním a dolním toku Rakovnického potoka ekohydromorfologický průzkum s aplikací metody HEM. Tok by se dal na základě

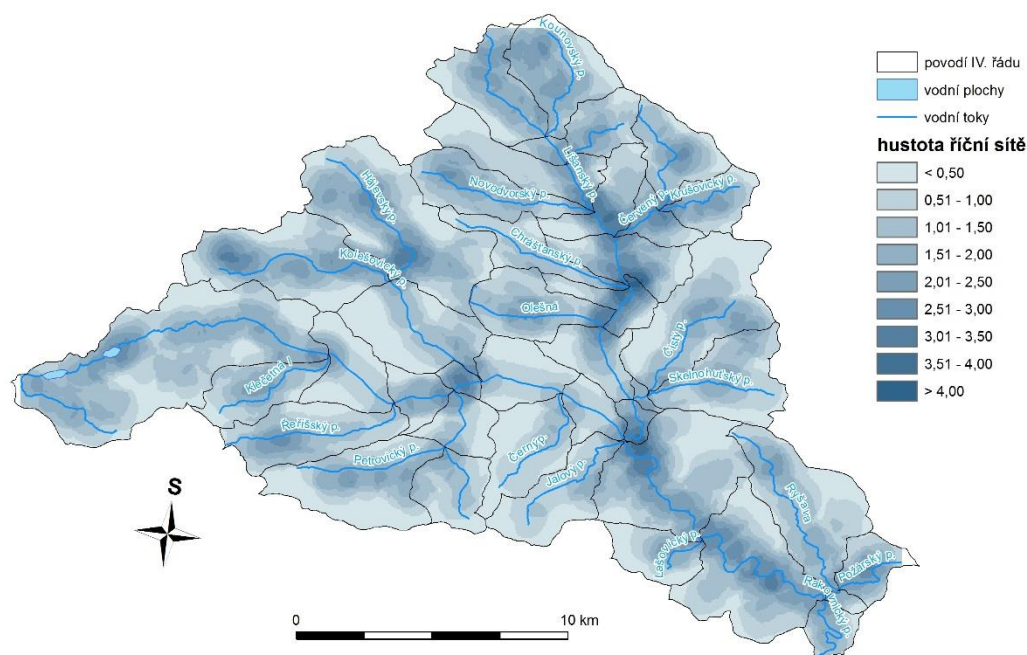
provedeného výzkumu klasifikovat jako středně antropogenně ovlivněný a mohli bychom ho rozdělit na tři charakteristické části – úseky s dobrým hydromorfologickým stavem protékající územím CHKO Křivoklátsko, úseky s průměrným stavem vyskytující se v předpolí města Rakovník, které jsou součástí zemědělské krajiny a úseky s dosaženým špatným hydromorfologickým stavem, které náleží do intravilánu města Rakovník. I zde byla navržena revitalizační opatření na zlepšení tohoto stavu.

## 9.2 Poloha povodí

Rakovnický potok je levostranným přítokem řeky Berounky, do které se vlévá na jejím 63,3 km v obci Roztoky u Křivoklátku. Rakovnický potok pramení v Rakovnické pahorkatině v nadmořské výšce 578 m přibližně 3 km jihovýchodně od obce Jesenice. V pramenné části toku se nachází Jesenická rybníční soustava, která byla založena v 17. století a má významný vliv na odtokové a hydrografické poměry v povodí. Rakovnický potok je dle Strahlerovy klasifikace tokem IV. řádu se stromovitou říční sítí, která je tvořena páteřním Rakovnickým potokem společně s jeho dvěma největšími přítoky, oběma levostrannými – Kolečovickým a Lišanským potokem. Povodí má tedy asymetrický tvar, plocha odvodňovaná levostrannými přítoky výrazně převažuje nad plochou odvodňovanou přítoky pravostrannými. Celková plocha povodí je rovna 397,62 km<sup>2</sup> a délka hlavního toku od pramene k ústí činí 48,5 km (VÚV, 2011). Hustota říční sítě, znázorněná na Obr. 21, se přibližuje průměrným hodnotám České republiky a činí 0,8 km/km<sup>2</sup> (Matoušková, 2003).



Obrázek 20: Obecná charakteristika povodí Rakovnického potoka.



Obrázek 21: Hustota říční sítě v povodí Rakovnického potoka.

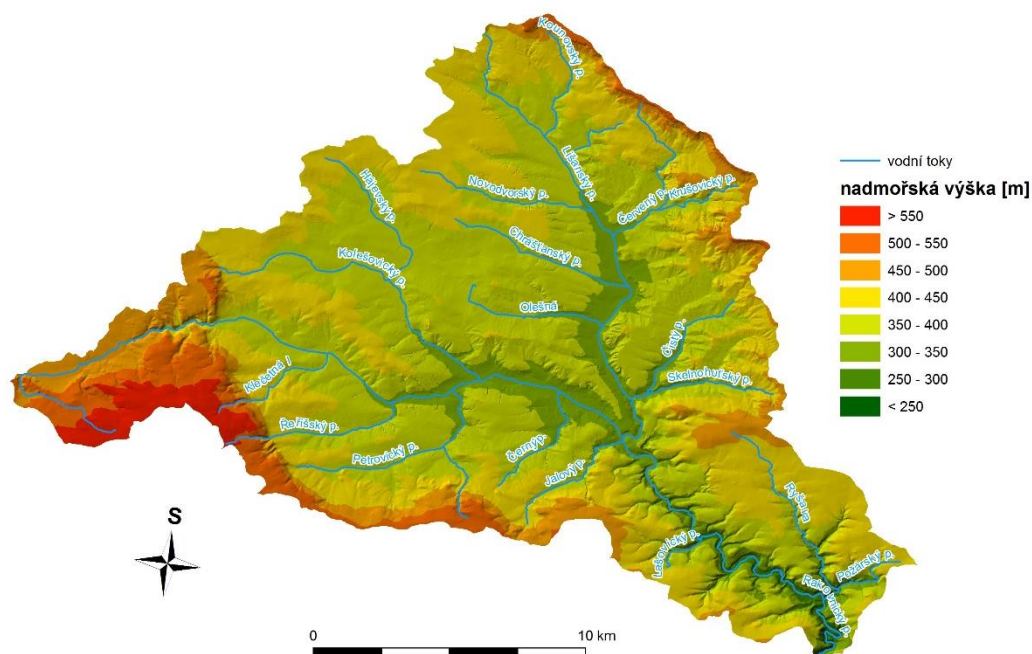
### 9.3 Morfologické poměry povodí

Dle geomorfologického členění České republiky náleží povodí Rakovnického potoka do provincie Česká Vysočina, v rámci které je součástí Poberounské subprovincie. Poberounská subprovincie se dělí na dvě oblasti, Brdskou oblast a Plzeňskou pahorkatinu, obě zasahující na území povodí. Brdská oblast je zde zastoupena dvěma celky, Džbánem a Křivoklátskou vrchovinou, stejně tak Plzeňská pahorkatina je reprezentována celky Rakovnické pahorkatiny a Plaské pahorkatiny. Jádrem území je tvořeno Rakovnickou kotlinou, strukturní tektonickou sníženinou na permokarbonských prachovcích, jílovcích, pískovcích, arkózách a slepencích s mírně zvlněným denudačním povrchem sklánějícím se od severozápadu k jihovýchodu (Škoudlíková, 1999). Charakteristická jsou široká rozevřená údolí protkaná říční sítí Rakovnického potoka a jeho přítoků. Hranice kotliny je určena jejím geologickým podkladem, málo odolnými horninami permokarbonu a terciéru, které jsou náchylnější na procesy eroze a denudace více než okolní pevnější horniny. Po obvodu je tato kotlina lemována členitějším reliéfem pahorkatin, ale také antropogenními tvary hald hlubinných dolů a pískoven.



Obrázek 22: Geomorfologické začlenění povodí Rakovnického potoka. Zdroj: Geoportál INSPIRE.

Průměrná nadmořská výška povodí je rovna 400 m n. m., nejvyšších hodnot dosahuje Petrohradská pahorkatina na jihozápadě povodí, kde se nachází i nejvyšší bod povodí Plavečský vrch tyčící se do výšky 604 m n. m. (Maroušková, 2014). Nejnižším bodem povodí je ústí Rakovnického potoka do řeky Berounky v nadmořské výšce 235 m. Morfologie koryta Rakovnického potoka je dána především geologicko-geomorfologickými poměry v povodí. Rozdíl nadmořských výšek mezi pramennou oblastí a ústím je roven 243 m, délka toku činí 48,5 km, průměrný sklon je tedy téměř 7 ‰, přičemž vyšších sklonitostních hodnot dosahují úseky v horní části toku.



Obrázek 23: Výšková členitost reliéfu povodí Rakovnického potoka.

## 9.4 Geologické a hydrogeologické poměry

Povodí Rakovnického potoka je tvořeno dvěma hlavními geologickými celky, a to rakovnickou permokarbonskou pánví na severozápadě a břidličnatou proterozoickou oblastí na jihovýchodě území. Hranice mezi těmito dvěma celky se táhne od jihozápadu k severovýchodu, zhruba od Zavidova, severně přes centrální část území a dále k Rudě.

Rakovnická kotlina je tvořena jednotnějšími permokarbonskými útvary zastoupené především prvohorními usazenými horninami. Můžeme rozlišovat čtyři pásma sedimentů, z nichž spodní tři vznikla v karbonu a nejsvrchnější je permského stáří. Škoudlínová (1999) rozděluje sedimentární pásma následovně (směrem odspodu): spodní pásmo šedé, spodní pásmo červené, svrchní pásmo šedé a svrchní pásmo červené, přičemž uhelné sloje se vyskytují pouze v pásmech šedých. Převládajícími horninami jsou arkózové pískovce a slepence, jemně slídnaté pískovce a lupky, které se vyskytují ve vyšších polohách spodního šedého pásma a v oblasti Lubné a Rakovníka se těží.

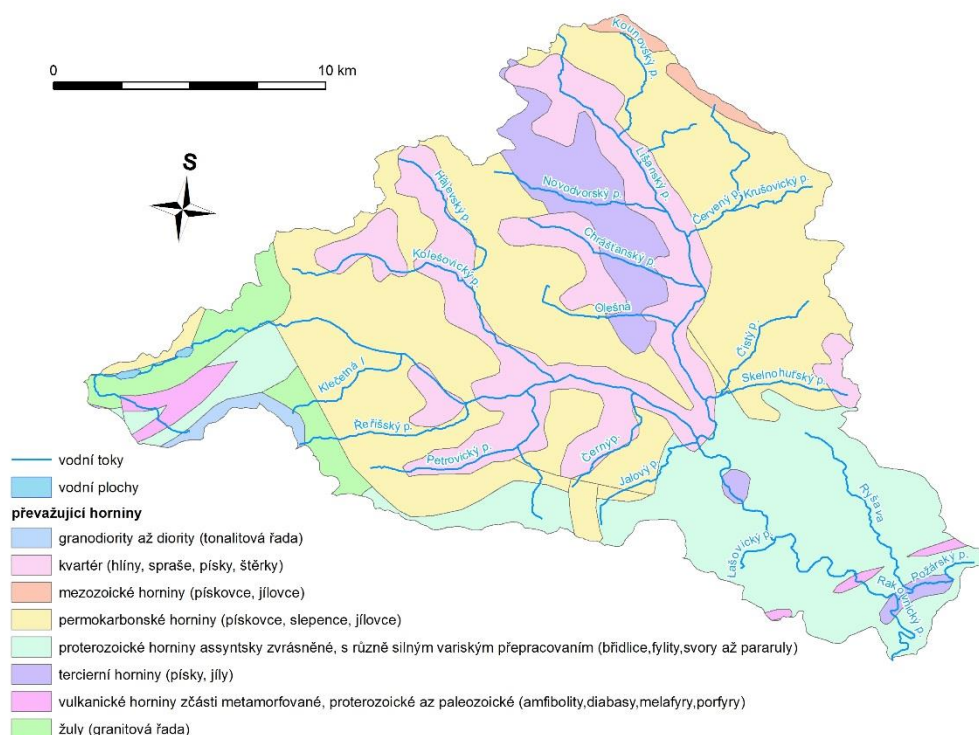
Horniny proterozoika tepelsko-barrandienské oblasti v jihovýchodní části území jsou zastoupeny především střídáním břidlic, prachovců a drob. Najdeme zde i polohy spilitů doprovázené žilnými vyvřelinami (melafyry, porfyry, diority, diabasy).

V jihozápadní části povodí vystupují plutonity čistecko-jesenického masivu, jejichž stáří datujeme do období svrchního devonu. Převládají zde středně zrnité až hrubozrnité granity a granodiority, které jsou lokálně pronikány žilnými magmatity.

Horniny terciéru jsou zastoupeny zejména nezpevněnými sedimenty říčních teras tvořených písky, štěrky a jíly. Nejrozšířenějšími relikty těchto sedimentů jsou hlavačovské štěrky, který tvoří nesouvislý 4 – 5 km široký pás o mocnosti 30 – 40 metrů táhnoucí se ve směru SZ – JV mezi Rakovníkem a Svojetínem.

Pokryv terénu tvoří nezpevněné horniny kvartéru, zejména sedimenty zastoupenými písčítými a jílovitými hlínami s příměsí štěrků. Fluviální sedimenty, převážně písčité až písčitojílovité hlíny, vyplňují široká údolí vodních toků. V návaznosti na těžbu nerostných surovin se lokálně vyskytují antropogenní tvary v podobě hald, hlušín či navážek.





Obrázek 24: Geologické podloží povodí Rakovnického potoka.

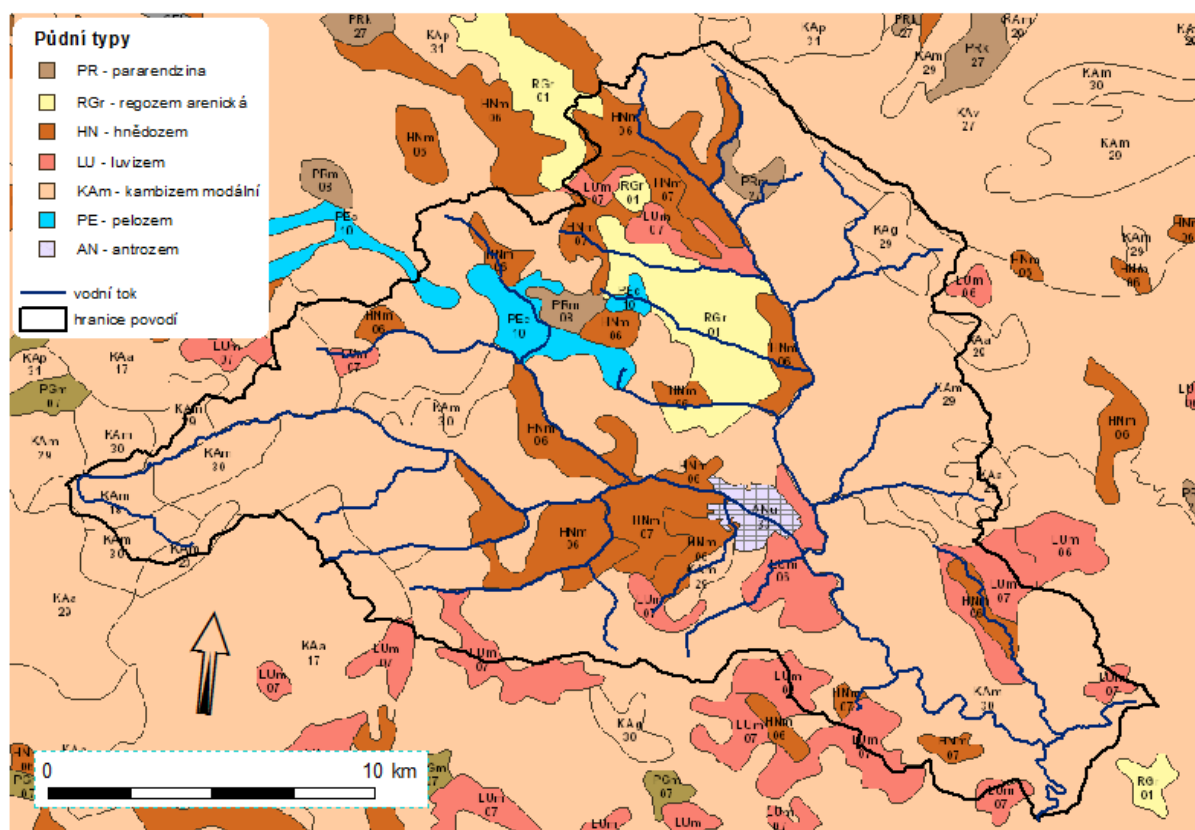
Geologická odlišnost území podmiňuje i značně rozdílné hydrogeologické poměry dvou hlavních oblastí – severozápadní permokarbonské a jihovýchodní proterozoické. Horniny proterozoika jsou charakterizovány mělkou zvodní, proto jsou z hlediska vytváření přirozených akumulací podzemních vod vhodnější permokarbonské sedimenty, kde se nacházejí mnohem hlubší zvodně. Několik kolektorů podzemních vod je tvořeno střídáním poloh mocných vrstev propustných arkózových pískovců s jílovitými izolátory. Velmi významný vliv na proudění podzemní vody mají četné tektonické zlomy (Kašpárek, 2012).

Podzemní vody jsou kalcium-magnézium-bikarbonátového typu, kategorizované jako tvrdé až velmi tvrdé (Matoušková, 2003), z hlediska kvality jsou to vody vyžadující složitější úpravu (II. kategorie), lokálně se vyskytují vody málo vhodné či nevhodné jakosti (III. kategorie), hlavně díky sloučeninám dusíku a zvýšenému obsahu železa a manganu (Kašpárek, 2012).

## 9.5 Pedologické poměry

Na povodí Rakovnického potoka převažuje zastoupení dvou hlavních referenčních tříd půd – kambisoly a luvisoly.

Dominující referenční třída kambisoly je zastoupena půdním typem kambizem, dominantním subtypem je pak kambizem modální, která má na permokarbonských sedimentech charakteristickou červenou až červenošedou barvu. Tvořena je ze svahovin pevných a zpevněných hornin ve výraznějších částech reliéfu pahorkatinného a vrchovinného charakteru (Matoušková, 2003). Ve vyšších polohách jihozápadní části povodí se lokálně vyskytuje kambizem dystrická, která je vázána na kyselé horniny čistecko-jesenického plutonu. Na těžších substrátech se ostrůvkovitě nachází kambizem pelická nebo kambizem oglejená pelická. Z hydrologického hlediska patří kambizem mezi půdy se střední rychlostí infiltrace, což se dle VÚMOP (2016) řadí do kategorie B hydrologických skupin půd. Kambizemě tvořené těžšími substráty by díky jemnozrnějšímu zrnitostnímu složení spadaly do kategorie C, tedy s nízkou rychlostí infiltrace.



Obrázek 25: Pedologické poměry v povodí Rakovnického potoka. Zdroj: Geoportál INSPIRE.

Luisoly vyskytující se v nižších polohách Rakovnické kotliny, protože pro jejich vznik jsou příhodnější teplejší klimatické podmínky, jsou zastoupeny především půdním typem hnědozem, minimálně můžeme nalézt i luzem. Převažuje subtyp hnědozem modální vyvinutá na sedimentech s eolickou příměsí či sprašových hlinách. Vyznačuje se velmi dobrými vlastnostmi sorpčního komplexu, je proto hojně zemědělsky využívána. Luzem zastoupená luzemí

modální se vyskytuje v menší míře a její výskyt většinou navazuje na lokality hnědozemí modálních. Oba subtypy patří v rámci hydrologických skupin půd do kategorie B.

Na pravém břehu Lišanského potoka se významně vyskytují regosoly, s jediným půdním typem regozem, v povodí se vyskytujícím subtypem regozem arenická. Tento subtyp s vysokou rychlostí infiltrace vzniká na minerálně chudých terciérních sedimentech.

Podél vodních toků a v jejich údolních nivách je hojně zastoupena referenční třída fluvisoly, s převažujícím půdním typem fluvizem. Fluvizem, která je vázána na nivní sedimenty, se zde vyskytuje v subtypech fluvizem typická a glejová.

Jediným zástupcem referenční třídy leptosoly je pararendzina arenická, kterou můžeme najít v jediné lokalitě v blízkosti obce Kněžves.

## 9.6 Klimatické poměry

Rakovnicko leží ve srážkovém stínu západočeských pohoří, která znemožňují západnímu proudění přinášející vláhu od Atlantiku proniknout do této oblasti, která je v porovnání s jinými regiony výrazně sušší.

Dle Quittovy klasifikace (Quitt, 1971) se území povodí Rakovnického potoka nachází v mírně teplé oblasti (MT), z níž jsou zde zastoupeny dvě jednotky, a to MT11 a MT4. Střední a východní část území pokrývá MT11, která je charakteristická dlouhým létem a mírně teplou, suchou zimou s 40 – 50denním průměrným trváním sněhové pokrývky a počtem mrazových dní mezi 110 a 120. Vyšší polohy na západě území náleží do oblasti MT4, pro kterou jsou typická krátká léta a normálně dlouhá, mírně teplá a suchá zima.

Největší vliv na odtokový režim povodí mají atmosférické srážky a teploty. Jejich analýze a dlouhodobým trendům je věnována samostatná kapitola.

## 9.7 Využití krajinného pokryvu

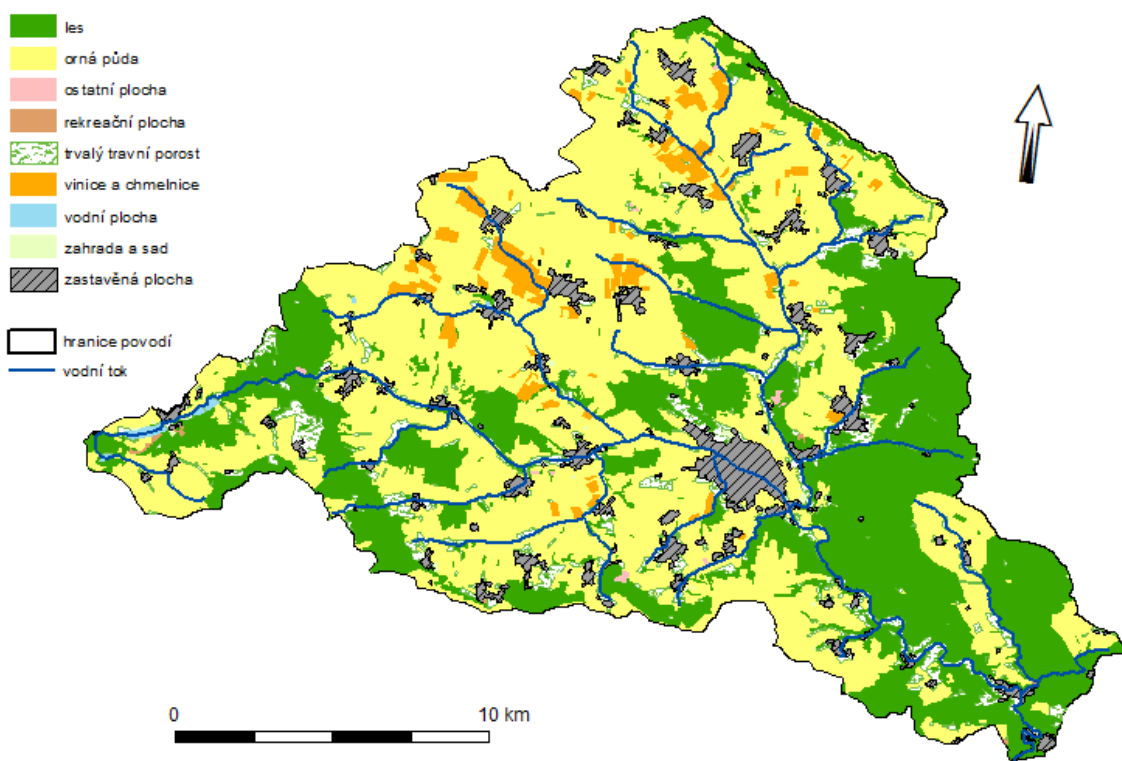
Povodí Rakovnického potoka je intenzivně obdělávanou zemědělskou oblastí, zejména v jeho střední a horní části. Dolní část toku Rakovnického potoka protéká CHKO Křivoklátsko, využití pozemků je zde tedy zcela odlišné. Více než polovinu plochy povodí zaujímá orná půda, na severu území s vinicemi a chmelnicemi. Zalesněnost povodí je značně proměnlivá, ale pohybuje se okolo 30 %. Současné využití krajinného pokryvu je znázorněno na Obr. 26.

Změnám ve využití krajinného pokryvu během posledních dvou století a jejich vlivu na odtokové poměry v povodí je věnována samostatná kapitola.

| pokryv               | plocha [ha] | podíl % |
|----------------------|-------------|---------|
| ostatní plocha       | 49,03       | 0,13    |
| orná půda            | 19038,85    | 51,75   |
| trvalý travní porost | 2224,16     | 6,05    |
| zahrada a sad        | 133,39      | 0,36    |
| vinice a chmelnice   | 1200,97     | 3,26    |
| les                  | 11865,12    | 32,25   |
| vodní plocha         | 100,46      | 0,27    |
| zastavěná plocha     | 2143,05     | 5,82    |
| rekreační plocha     | 37,24       | 0,1     |

Tabulka 4: Současné zastoupení krajinného pokryvu v povodí Rakovnického potoka. Zdroj dat: Corine Land Cover 2006.

#### Využití krajinného pokryvu

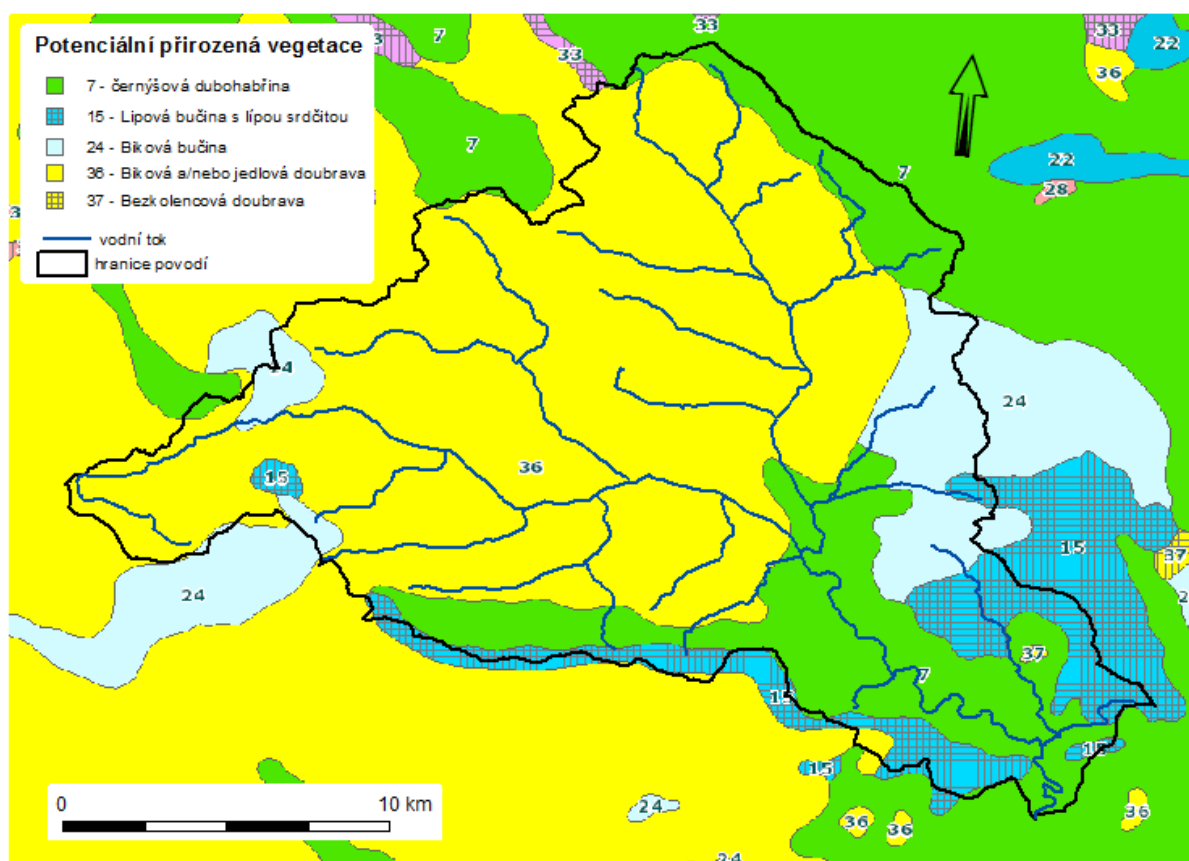


Obrázek 26: Využití krajinného pokryvu v povodí Rakovnického potoka.

## 9.8 Vegetační pokryv

Dle fyto geografického členění Česka vegetační pokryv Rakovnické kotliny odpovídá suprakolinnímu stupni českomoravského mezofytika. Jinými slovy je z botanického hlediska tato oblast kopcovitého charakteru tvořící přechod mezi teplomilnou a chladnomilnou

květenou. Krajina je výrazně ovlivněna lidskou činností, všechna původní stanoviště jsou přeměněna dlouhodobým obděláváním a pastvou. Hlavní složku původních lesních společenstev tvořily kyselé doubravy, bohatší společenstva byla vázána na úrodné spraše, které jsou dnes intenzivně obdělávány. Vlhké nivy vodních toků pokrývaly olšiny a vrbiny, významným krajinným prvkem bývaly nivní louky. Místy tyto louky přecházely do podmočených úseků se slatinnými půdami (Škoudlínová, 1999). Dřívější přirozené lesy kyselých doubrav, které by v přirozeném stavu pokrývaly většinu povodí, nahradily kulturní porosty na méně úrodných půdách. Obr. 29 znázorňuje potenciální přirozenou vegetaci, tedy takovou vegetaci, která by se v povodí Rakovnického potoka, které je definované konkrétními ekologickými a klimatickými faktory za určitou dobu vyvinula, za předpokladu, že do procesu vývoje takovéto vegetace nebude zasahovat člověk. Vývodou této koncepce je, že zohledňuje stávající podmínky, vychází tedy ze současného stavu, který již je ovlivněn nezvratnými antropogenními změnami.



Obrázek 27: Potenciální přirozená vegetace v povodí Rakovnického potoka. Zdroj: Geoportál INSPIRE.

## 9.9 Antropogenní činnosti v povodí

### Užívání vod

Celkovou bilanci užívání vod můžeme rozdělit na odběry podzemní vody, odběry povrchové vody a vypouštění. Odběry či vypouštění překračující hranici 6000 m<sup>3</sup> za rok nebo 500 m<sup>3</sup> za měsíc je povinné ohlašovat správcům daného povodí. Na území povodí Rakovnického potoka jsou nejvýznamnější odběry z podzemních vod, kdy více než polovina odebrané vody připadá na vodárenské zásobené Rakovníka. Dalšími významnými odběrateli (v tabulce označení zelenou barvou) jsou RAKO-LUPKY a pivovar Krušovice. Červenou barvou je v Tabulce 5 označeno vypouštění vody, nejvyšší množství vykazují ČOV Rakovník, RAKO-LUPKY a krušovický pivovar. Z nejvýznamnějších odběratelů povrchových vod můžeme jmenovat Rakovnické keramické závody a stále více vody z povrchových toků je odebíráno pro účely zavlažování.

| Tok [km]   | Místo                                      | Množství vody [tis. m <sup>3</sup> ] |
|--|--|--------------------------------------|
| Černý potok [0.300 km]   | BRANO autobrzdy Rakovník                   | 20,9                                 |
| Černý potok [1.100 km]   | Procter & Gamble Rakona Rakovník           | 192,6                                |
| Černý potok [4.300 km]   | LASSELSBERGER Lubná u Rakovníka            | 104,7                                |
| Černý potok [5.070 km]   | Froněk kamenolom Brant                     | 10,8                                 |
| Jalový potok (Senecký p., Huřvinka) [2.100 km]                 | RAKO-LUPKY důl Lubná u Rakovn.             | 551,4                                |
| Jalový potok (Senecký p., Huřvinka) [3.080 km]                 | RAKO-LUPKY důl Lubná u Rakovníka           | 355,8                                |
| Olešná [2.600 km]  | RAVOS Rakovník Olešná ČOV                  | 23,5                                 |
| PBP Černého potoka - od silnice Lubná - Důl Rako I. [0.660 km] | RAKO-LUPKY důl Lubná u Rakovníka           | 193,1                                |
| bezejmenný tok [2.000 km]                                      | Haineken ČR pivovar Krušovice              | 202,8                                |
| Rakovnický potok [18.340 km]                                   | RAVOS Rakovník Rakovník ČOV                | 1797,9                               |
| Rakovnický potok [40.400 km]                                   | RAVOS Rakovník Jesenice                    | 66,2                                 |
| Rakovnický potok [20.450 km]                                   | Tradiční pivovar v Rakovníku               | 50,7                                 |
| Rakovnický potok [21.205 km]                                   | RAVOS Rakovník pram.Rakovnický potok       | 1026,2                               |
| Rakovnický potok [3.200 km]                                    | Věžeňská služba věznice Oráčov             | 68,1                                 |
| bezejmenný tok [1.480 km]                                      | Haineken ČR pivovar Krušovice ČOV          | 288,0                                |
| Rakovnický potok [24.410 km]                                   | RAVOS prameniště Rakovnický potok Senomaty | 354,8                                |
| Rakovnický potok [27.850 km]                                   | Obec Šanov                                 | 23,8                                 |
| Řeřišský potok [0.600 km]                                      | Obec Šanov ČOV                             | 23,4                                 |
| Všetatský (Vsteklý) potok [6.000 km]                           | RAVOS Rakovník Pavlíkov ČOV                | 36,4                                 |

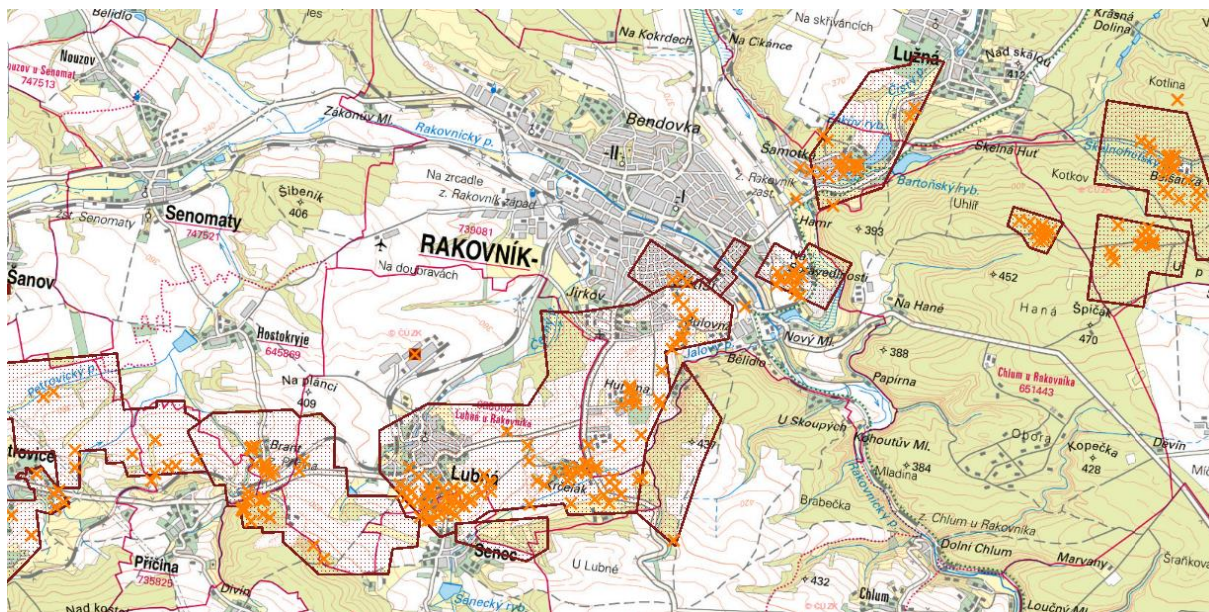
Tabulka 5: Hlavní odběry (červeně) a vypouštění (zeleně) vody v povodí Rakovnického potoka. Stav k roku 2014. Zdroj: MZe

### Důlní činnost

Důlní činnost má velký vliv na odtokové poměry v povodí Rakovnického potoka, stejně jako na krajinný ráz a vzhled krajiny.

Jediným činným dolem v současnosti je důl RAKO, který byl otevřen v roce 1919 na místě bývalých uhelných a lupkových dolů. Dnes důl těží pouze lupky. Později byly k dolu RAKO připojeny další doly a vyhloubeny nové jámy. Veškeré pozůstatky tohoto důlního systému jsou dnes odvodňovány do dolu RAKO. Důlní díla v bezprostředním okolí Rakovníka jsou na Obr. 30 znázorněna oranžovými křížky, poddolovaná území pak hnědými polygony. Jak uvádí Kašpárek (2012) v současné době je důlní voda čerpána na 3 jámách dolu RAKO. Do Jalového potoka je čerpána voda z jámy RAKO, z jámy I. máj je voda odváděna do Černého potoka a voda z jámy RAKO II je částečně využívána na provoz keramické továrny, nadbytečná voda je pak vypouštěna do Černého potoka.

Čerpání důlní vody a její množství může mít vliv na nadlepšování průtoků Rakovnického potoka, a významnější podíl na odtokových poměrech pak má zejména v suchých obdobích.



Obrázek 28: Rozmístění důlních děl v okolí města Rakovník. Zdroj: ČGS.

## 10. Hydrografická síť v povodí Rakovnického potoka

### 10.1 Vývoj říční sítě

Vývoj hydrografické sítě v povodí Rakovnického potoka úzce souvisí s vývojem v celém povodí Berounky. Na základě izolovaných reliktních terciérních klastik, které jsou považovány za zbytky neogenní říční sítě, proběhla rekonstrukce její tehdejší podoby. Na území zájmového povodí se v neogénu vyskytovaly převážně krátké toky s délkou do 100 km a lineárním průběhem. Formování říční sítě v povodí dnešního Rakovnického potoka je spojováno s tzv. centrálním vodním tokem (C), který se považuje za hlavní neogenní tok Středních a Západních Čech (Pešek, Spudil, 1986). Průběh přibližně 150 km dlouhého toku je již poměrně spolehlivě rekonstruován. První relikty můžeme najít v okolí Klatov, dále pokračoval na sever (Paleoúhlava) a přes Plzeň směrem ke Kralovicím (Paleoberounka). U Rakovníka navazoval na hlavačovský terciér, odkud protékal dále na severozápad až k Holedči na Žatecku, kde buď ústil do severočeské pánve, nebo pokračoval dále. Možnými variantami a problematickými úseky v návaznosti se ve své práci zabývali Pešek a Spudil (1986).

### 10.2 Antropogenní transformace říční sítě

Většina délky Rakovnického potoka a všech jeho přítoků byla v minulosti technicky upravena, což společně s nedostatkem srážek na povodí významně prohlubuje současné problémy v povodí. Jako zdroj informací jsem využívala zejména Kroniku města Rakovník, jejíž počátky sahají do roku 1836 a dále nepublikované materiály Okresního muzea Rakovník.



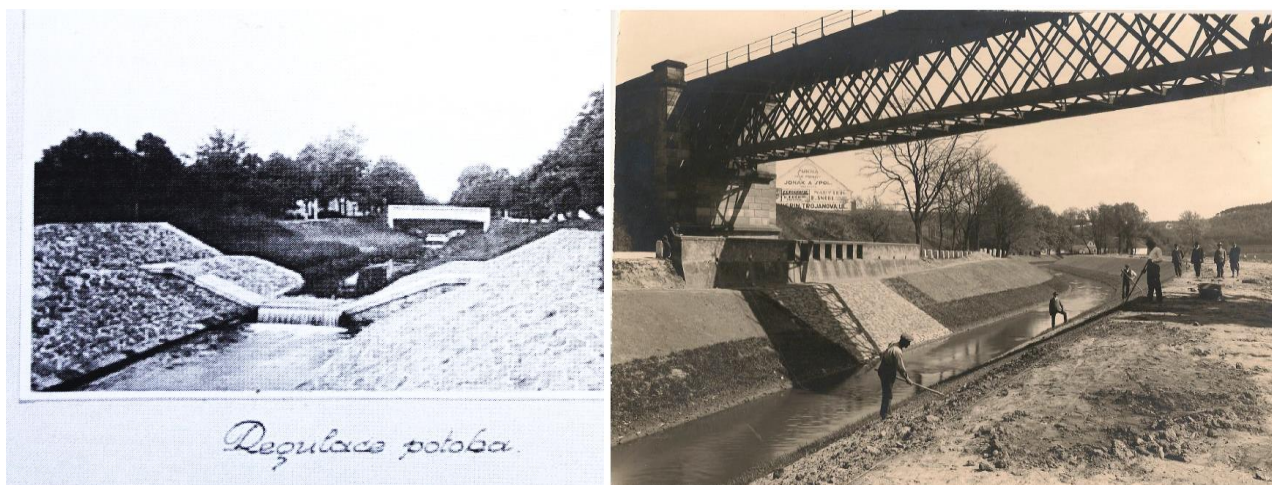
Obrázek 29: Otisk mapy císařského otisku stabilního katastru (1846) zachycující město Rakovník a jeho okolí. Zdroj: Geoportál INSPIRE.



První významné úpravy koryt toků v zájmovém území datujeme zpátky do 14. století, kdy docházelo k výstavbě mlýnů a mlýnských náhonů. Tyto úpravy se týkaly celého toku Rakovnického potoka od pramene až po ústí. Mezi nejstarší dochované mlýny patří mlýn U Kohoutů (Wolfovský mlýn) nebo mlýny v Dolním Chlumu a Ryšíně, tzv. Horní a Dolní mlýn, dnes Žákův a Loučný mlýn (Okresní muzeum Rakovník, nepublikované materiály, in Matoušková, 2003).

Během 16. století vznikla na horním toku Rakovnického potoka jesenická rybníční soustava, dnes tvořena rybníky Kofiler, Krtský rybník, Velký rybník, Horní a Dolní Fikač a Jesenický rybník. Vrchol rybníkářství tato oblast zažívala po roce 1648 za dob Černínů z Chudenic, kteří některé rybníky obnovili, další založili. Na dolním toku byly v této době budovány rovněž nádrže, zejména k účelům plavení dřeva. K zániku rybníků kaskády docházelo během 19. století, a to především díky rozvoji pivovarnictví v zájmovém území, rušení mlýnů kvůli novým výrobním postupům a v neposlední řadě díky změnám pozemkových úprav. Rozlohou největší historicky známý rybník, byl rybník u Pustověť, který zanikl během 19. století přirozenou cestou. Na Císařském otisku Stabilního katastru z roku 1841 je viditelná rybníční soustava na katastrálním území města Rakovník, která byla také postupně rušena a zavážena.

Průmyslová revoluce a stavba silnic a železnic významně narušila koryto Rakovnického potoka. Při výstavbě cestní sítě ve 2. pol. 19. století došlo ke kompletnímu přeložení koryta toku, místy až o 100 metrů. Pohledem na mapu zjistíme, že Rakovnický potok je po celé své délce kopírován železnicí. Proto, aby nebyla trať podemílána spodní vodou, muselo dojít ke značným zásahům a stavebním úpravám potoka.



Obrázek 30: Fotografie regulace Rakovnického potoka z počátku 20. století. Zdroj: nepublikované materiály Státního okresního archivu Rakovník a muzea T. G. M. Rakovník.

Po ničivé povodni v roce 1872 se začíná budovat protipovodňová ochrana, zejména v obcích Rakovník, Městečko a Křivoklát. Poprvé se hovoří o regulačním plánu hlavního potoka nad městem, který má podobu napřimování koryta a protržení některých rybníků Jesenické rybníční soustavy. V důsledku vypuštění rybníků a čerpání vody uhelnými doly v okolí obce Rakovník nastala později roku 1872 nouze o vodu. V roce 1873 došlo k regulaci potoka nad i pod městem narovnáním koryta od Senomat až k židovskému hřbitovu na východním okraji města. Jak uvádí Kronika města Rakovníka, potok zde dříve tvořil samé okliky skrze luka, břehy potoka byly nízké a koryto úzké. Nový potok dostal dno široké a břehy vysoké a byl veden přes dřívější Trávnický rybník, který byl zrušen a zavezen. Jeden nový rybník byl i zřízen, a to pro potřeby cukrovaru. Úpravy potoka a jeho břehů pokračují dále až do konce 19. století. Mezi významnější řadíme zrušení velkého rybníka Na Sekyře, který byl vypuštěn už před povodní 1872, ale k jeho zavezení a úpravě došlo až během 80. let 19. století. V roce 1886 byly povodní zatopeny doly Moravie, přestalo se s čerpáním vody a voda ve městě začala stoupat a zaplavovat sklepy domů.

Z důvodu opakujících se povodňových událostí bylo v rámci protipovodňové ochrany na přelomu 19. a 20. století v Rakovníku přeloženo koryto potoka z historického centra do hlubšího koryta, původního mlýnského náhonu (Matoušková, 2003). Přestože ve druhé polovině 19. století docházelo k neustálým úpravám toku, tyto úpravy byly nesystematické, proto se na počátku 20. století opět uvažovalo o regulaci. Podle městské kroniky docházelo při každé větší povodni k rozlivu vody a zatopení zejména jižní části města. V roce 1900 se městská rada zúčastnila veřejné schůze v Krušovicích, kde byla zřízeno vodní družstvo pro úpravu Berounky a jejích přítoků a městská rada následně sama zřídila komisi stran regulace Rakovnického potoka a tato regulace měla být jednou z částí celkové regulace přítoků Berounky. Projekt celkové regulace byl uznán jako neuskutečnitelný, proto byla navržena pouze úprava částečná, konkrétně od ústí Černého potoka, přes město až k židovskému hřbitovu. Regulace potoka byla zamýšlena jako součást plánované kanalizace a současně mělo být zřízeno i koupaliště, jelikož prý ‚vody kolem Rakovníka bylo dostatek‘, na všechny tyto projekty ale chyběly dostatečné finance. Nakonec byla odsouhlasena částečná regulace potoka ve městě, projekt kanalizace se opět odložil. Před vypuknutím I. světové války byl také navržen projekt úpravy Lišanského potoka, ten se ale z důvodu válečných událostí odsunul a úprava byla provedena až po válce.

Nejdramatičtější zásahy v povodí Rakovnického potoka však byly uskutečňovány až v 70. a 80. letech 20. století v podobě rozsáhlých hydromelioračních úprav, které významně ovlivnily odtokové poměry v povodí. Detailní analýzu opatření zpracovala ve své práci Matoušková (2003), která zkoumala změny pomocí leteckých snímků z 50. let a konce 20. století. Koryta toků byla napřímena, v extravilánech dimenzována zpravidla na 5ti letou vodu a dostatečně zahloubena pro vyústění drenáže. Převládajícím typem jsou koryta lichoběžníkového tvaru zpevněná lomovým kamenem, kamennou dlažbou či betonovými prefabrikáty. Celkový rozsah zasaženého území činí více než 150 km<sup>2</sup>, což znamená, že převážná většina toků v severní a střední části povodí je významně antropogenně ovlivněna.

Z pohledu odtokového režimu mají všechny tyto změny významný vliv. Napřímená a zpevněná koryta urychlují odtok vody z povodí, jejich zahloubení neumožňuje přirozený rozliv při povodňových událostech a zabraňuje tak přirozené retenci vody v krajině.

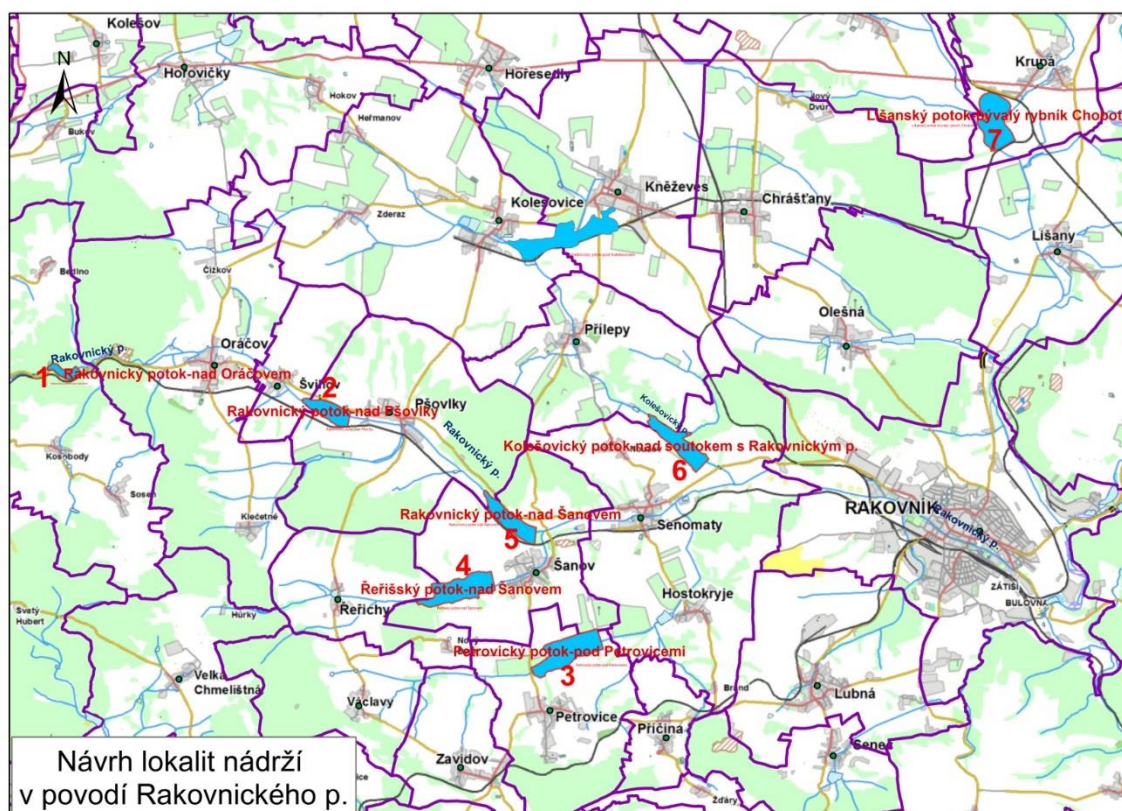
## II. Příprava realizace malých vodních nádrží na Rakovnicku

Povodí Rakovnického potoka je v posledních několika desetiletích charakterizováno nejnižšími srážkovými úhrny v Čechách, výrazným vzestupem teplot a nepříznivou hydrologickou bilancí. Tento jev má negativní dopad na všechny sektory hospodářství v dané oblasti, ekonomický dopad se významně projevuje zejména ve snížených výnosech zemědělských plodin. Na problémy s odtokovým režimem, nedostatkem vody a její špatnou kvalitou už upozorňuje např. práce Matouškové (2003), iniciátorem vzniku projektu ale byla Zemědělská agentura Rakovník. V rámci Programu výzkumu v agrárním sektoru vypsala Národní agentura pro zemědělský výzkum pilotní projekt, který měl za cíl zkoumat možnosti zmírnění současných důsledků klimatické změny zlepšením akumulací schopnosti v povodí Rakovnického potoka. Projekt byl jako pilotní realizován v letech 2009 – 2011 Výzkumným ústavem vodohospodářským T. G. Masaryka, v.v.i. společně s Českou zemědělskou univerzitou v Praze a jako hlavním řešitelem byl určen Ing. Ladislav Kašpárek, CSc. Výsledkem studie bylo vytvoření souhrnné metodiky s návrhy možných opatření, která zvýší množství dostupné vody v povodí a zmírní současný i budoucí průběh klimatických změn.

V rámci studie byla provedena detailní analýza meteorologických a hydrologických veličin na daném území a závěry jasně prokázaly, že dlouhodobé roční úhrny významně nepoklesly, avšak oteplení po roce 1980 a pokles četnosti a velikosti srážek, spolu se snížením vydatných srážek a úhrnů srážek v jarním období způsobily podstatné změny v odtokových poměrech. Na základě těchto poznatků bylo uvažováno o vhodných adaptačních opatřeních pro akumulaci vody v povodí a jako účinné prostředky byly posuzovány převody vody z povodí Ohře a výstavba několika malých vodních nádrží s akumulací funkcí. Z povodí Ohře by se voda převáděla buď z vodní nádrže Nechranice nebo z profilu pod přítokem Blšanky. Ekonomicky méně náročný a snadněji realizovatelný je projekt výstavby akumulací nádrží, které jsou dle studie navrženy tak, aby se dal regulovat odtok téměř z celé plochy povodí dle aktuální hydrologické situace. Bylo vytipováno osm potenciálně vhodných lokalit na Rakovnickém potoce a jeho hlavních přítocích. Jak uvádí Kašpárek (2012) pro akumulaci a nadlepšování průtoků je možné využít jen část celkového objemu nádrží, neboť nádrže by měly mít i objem stálého nadržení a část celkového objemu bude nutno rezervovat pro ochranu před povodněmi.

Státní podnik Povodí Vltavy navázal na pilotní projekt VÚV zadáním Studie proveditelnosti vodních nádrží v povodí Rakovnického potoka, která byla zpracována v letech 2013 – 2014 a

jejím zpracovatelem se stal podnik Vodohospodářský rozvoj a výstavba, a. s. Studie byla zpracována ve dvou etapách. V první etapě se studie zaměřila na posouzení realizovatelnosti všech lokalit z hlediska majetkoprávních vztahů, územně plánovací dokumentace, limitů daného území a sítě technické infrastruktury. Výsledkem první etapy bylo určení takových lokalit, které splňují podmínky pro jejich realizaci na základě výše uvedených faktorů. Druhá etapa pak už posuzovala vodohospodářské řešení vodních nádrží v prioritních lokalitách a dále sloužila k zajištění dalších potřebných podkladů (geodetická zaměření, hydrologická data).



Obrázek 31: Mapa navrhaných lokalit nádrží v povodí Rak. potoka. Zdroj: Studie proveditelnosti (2014).

První etapa studie proveditelnosti rozčlenila vytipované lokality do tří skupin, a to:

- nevhodné lokality se zásadními limity území (nerealizovatelné) – 2, 4, 6, 7
- vhodné lokality s limity území k projednání (realizovatelné s podmínkou) – 3, 5
- vhodné lokality bez zásadních limitů území doporučené (realizovatelné) – 1, 8

| č. | tok                   | profil                | plocha<br>povodí<br>[km <sup>2</sup> ] | Qa<br>88–08<br>[l/s] | objem<br>max.<br>[mil. m <sup>3</sup> ] | plocha<br>hladiny<br>[ha] | výška<br>hráze<br>[m] | délka<br>hráze<br>[m] |
|----|-----------------------|-----------------------|--|----------------------|---|---------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1  | Rakovnický p.         | nad Oráčovem          | 18                                     | 20                   | 0,234                                   | 5,9                       | 10                    | 140                   |
| 2  | Rakovnický p.         | nad Pšovlky           | 35,3                                   | 37                   | 0,371                                   | 17,3                      | 6                     | 240                   |
| 3  | Petrovický p.         | pod Petrovicemi       | 14                                     | 22                   | 1,613                                   | 40,16                     | 11                    | 340                   |
| 4  | Řeřišský p.           | nad Šanovem           | 9,6                                    | 25                   | 1,525                                   | 36,4                      | 12,5                  | 310                   |
| 5  | <b>Rakovnický p.</b>  | <b>nad Šanovem</b>    | <b>50,5</b>                            | <b>54</b>            | <b>0,544</b>                            | <b>22,2</b>               | <b>5,2</b>            | <b>450</b>            |
| 6  | Kolešovický p.        | pod Kolešovicemi      | 39,5                                   | 28                   | 0,602                                   | 53,8                      | 3                     | 280                   |
| 7  | Lišanský p.           | býv. rybník<br>Chobot | 49,3                                   | 49                   | 0,488                                   | 37,5                      | 4                     | 430                   |
| 8  | <b>Kolešovický p.</b> | <b>u Senomat</b>      | <b>51</b>                              | <b>32</b>            | <b>0,675</b>                            | <b>24,7</b>               | <b>6,2</b>            | <b>280</b>            |

Tabulka 6: Navrhované lokality a jejich rozčlenění do skupin dle první etapy studie proveditelnosti (červené – nerealizovatelné; žluté – podmíněčně realizovatelné; zelené – realizovatelné). Zdroj: Studie proveditelnosti (2014).

Jako nevhodné byly vybrány čtyři lokality, které nebyly doporučeny do další etapy, protože zde docházelo k zásadním kolizím s dopravní infrastrukturou a špatně řešitelným složitým majetkoprávním vztahům. Jedná se o lokality 2 (Rakovnický potok, nad Pšovlky), 4 (Řeřišský potok nad Šanovem), 6 (pod Kolešovicemi na Kolešovickém potoce) a 7 (bývalý rybník Chobot na Lišanském potoce). V lokalitě č. 2 dochází ke střetu s ropovodem a plynovodem, které by vedly středem uvažované zátopy a jejich přeložení by bylo velmi finančně nákladné. Nad Šanovem na Řeřišském potoce (lokalita č. 3) se k rozhodnutí postavit zde akumulční nádrž postavila nesouhlasně především obec Šanov, která již v navrhovaném území postavila malou vodní nádrž. Navrhovaná lokalita č. 6 narazila na zásadní nesouhlas obce Kolešovice a schválený územní plán, dle kterého by na tomto území měla být postavena čistírna odpadních vod. Obnova bývalého rybníka Chobot na Lišanském potoce (lokalita č. 7) nepřichází v úvahu z důvodu plánovaného obchvatu rychlostní silnice D6 a také podzemní vedení plynovodu.

Doporučené k dalšímu projednání byly dvě lokality – Rakovnický potok nad Šanovem (lokalita č. 5) a Petrovický potok pod Petrovicemi (lokalita č. 3). Navrhované lokality mají sice územní limity, avšak za podmínky vyřešení těchto limitů jsou realizovatelné. Těmito limity jsou především nesouhlas většiny vlastníků pozemků, trasa či přeložka nadzemního vedení, ale také poddolované území v lokalitě pod Petrovicemi.

Studie proveditelnosti shledala vhodnými pouze dvě z osmi navrhovaných lokalit, a to – profil nad Oráčovem na Rakovnickém potoce (lokalita č. 1) a u Senomat na Kolečovickém potoce (lokalita č. 8). Na těchto územích nedochází k zásadním majetkoprávním sporům, vlastníci pozemků s k návrhu vyjádřili vesměs pozitivně a tyto lokality byly navrženy k dalšímu projednání.

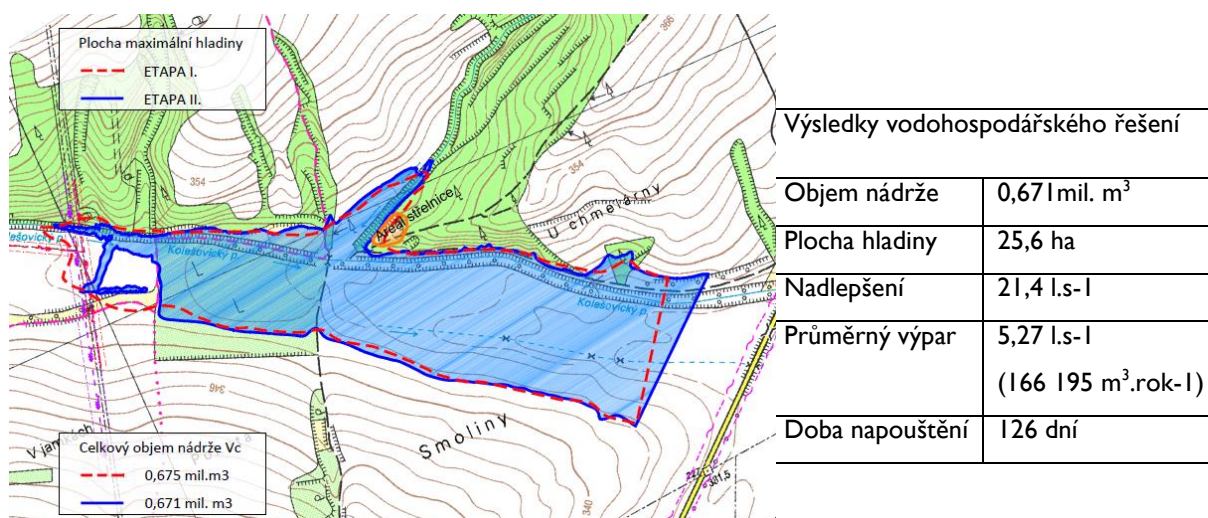
Závěrem první etapy studie proveditelnosti byl návrh čtyř lokalit (1, 3, 5, 8), které jsou plně či podmíněně realizovatelné. Druhá etapa měla za cíl zajištění projektových podkladů těchto lokalit a bylo zde provedeno podrobné vodohospodářské řešení vodních nádrží. Jak uvádí Povodí Vltavy (2016) ve svých materiálech, zpřesněným vodohospodářským řešením byla následně vyloučena prognózní lokalita nad Oráčovem na Rakovnickém potoce (lokalita č. 1), z důvodu nevýznamného zásobního objemu nádrže pro efektivní nadlepšení průtoku pod hrází a lokalita pod Petrovicemi na Petrovickém potoce (lokalita č. 3), vzhledem k malé ploše povodí nad uvažovanou hrází a nevhodným poměrem objemu nádrže ve vztahu k nadlepšení průtoku.

Ke konečné realizaci postoupily pouze dvě lokality – Rakovnický potok nad Šanovem (č. 5) a Kolečovický potok u Senomat (č. 8). V rámci druhé etapy studie proveditelnosti byli kontaktováni vlastníci všech dotčených pozemků v lokalitách navrhované stavby nádrží. Situace je schůdnější u nádrže Senomaty, kde je minimum soukromých pozemků a obecní pozemky již byly přislíbeny. Komplikovanější situace je s nádrží Šanov, kde se mnozí vlastníci vůbec nevyjádřili, ačkoli byli opakovaně kontaktováni.

Společným účinkem obou nádrží se předpokládá dosažení nadlepšení průtoku na Rakovnickém potoce nad Rakovníkem hodnoty přesahující 54 l/s. základní charakteristiky nádrží jsou uvedeny v Tabulce 7.

|                 | Objem nádrže [m <sup>3</sup> ] | Plocha zátopy [m <sup>2</sup> ] | Max.výška hráze [m] | Délka hráze [m] | Plocha povodí [km <sup>2</sup> ] | Nadlepšení průtoku [l/s] |
|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------|
| <b>Senomaty</b> | 670 725                        | 256 332                         | 6,8                 | 352,9           | 51,8                             | 21,4                     |
| <b>Šanov</b>    | 544 000                        | 222 000                         | 5,2                 | 450             | 50,5                             | 33                       |

Tabulka 7: Základní charakteristiky navrhovaných nádrží. Zdroj: Studie proveditelnosti (2014).

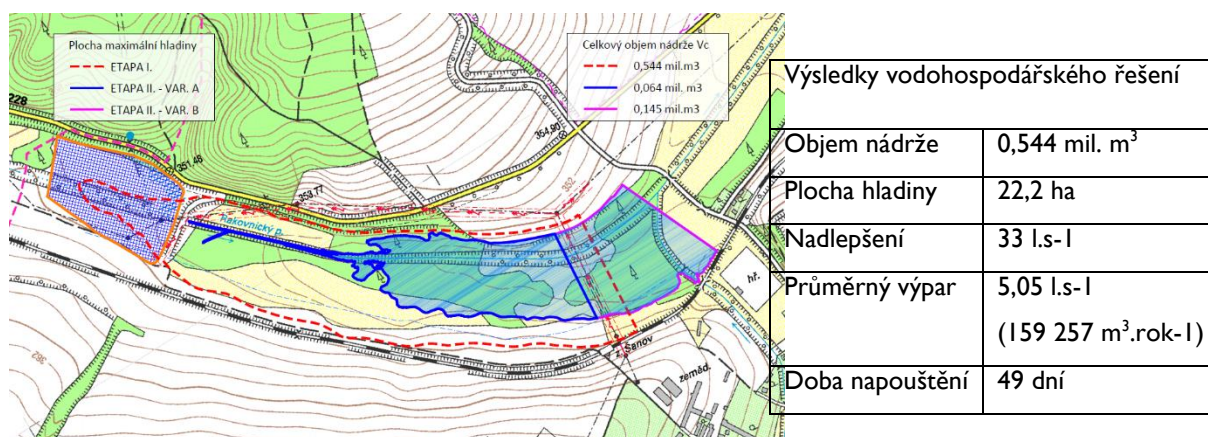


Obrázek 32: Mapa umístění navrhované vodní nádrže Senomaty.

Tabulka 8: Základní charakteristika navrhované vodní nádrže Senomaty.

Malá vodní nádrž Senomaty na Kolečovickém potoce je zařazena v Koncepti rozvoje Povodí Vltavy, státní podnik 2015 – 2019 a v opatřeních návrhu Plánu dílčího povodí Berounky. Její umístění je situováno v mělkém údolí Kolečovického potoka bez výraznějších územních limitů.

Malá vodní nádrž Šanov na Rakovnickém potoce byla na žádost Ministerstva zemědělství zařazena v roce 2014 společně s MVN Senomaty do návrhů opatření pro zmírnění negativních projevů sucha a nedostatku vody v povodí Rakovnického potoka. Předpokládané umístění nádrže je do údolní nivy Rakovnického potoka nad obcí Šanov. Zde je výstavba podmíněna především vyjádřením více než 200 majitelů pozemků, kteří ale projektu nejsou příliš nakloněni. Dalším limitujícím faktorem je existující malá vodní nádrž, která byla obnovena v roce 2004 a zčásti překrývá navrhované území.



Obrázek 33: Mapa umístění navrhované vodní nádrže Šanov.

Tabulka 9: Základní charakteristika navrhované vodní nádrže Šanov.



V říjnu 2015 proběhlo koordinační jednání, kterého se zúčastnili zástupci odboru životního prostředí, stavebního odboru, Okresní agrární komory, Povodí Vltavy a starostů všech dotčených obcí a všichni přítomní zde vyjádřili svůj souhlas se stavbou navrhovaných nádrží. Ještě tentýž měsíc byl návrh předložen také krajskému úřadu a ze všech zástupců místně příslušného vodoprávního úřadu se k návrhu nikdo nevyjádřil negativně. Nádrže Senomaty a Šanov jsou předmětem Usnesení vlády ze dne 29. února 2016 č. 171 o zahájení příprav realizace vodních nádrží v regionech postihovaných suchem a rizikem nedostatku vody.

Společně s výstavbou akumulčních vodních nádrží je nutné provést nápravná opatření v povodí nad i pod nádržemi, které uvádí Kepřta (2016). Tato opatření by měla mít charakter především důkladného čištění odpadních vod s důrazem na eliminaci fosforu pro udržení dobré jakosti vody v nádržích, zlepšení systému zasakování srážkových vod v obcích, aby nedocházelo ke znečišťování vody z nedostatečného oddělení srážkových vod od splaškových, dále by se pozornost měla zaměřit na pozemkové úpravy a plánování, a to hlavně z hlediska protierozní funkce krajiny a obnovy zelených vegetačních pásů v říční nivě. Pro posílení samočisticí schopnosti krajiny je doporučována obnova stávajících malých vodních nádrží a vodotečí, včetně polosuchých poldrů a mokřadů.

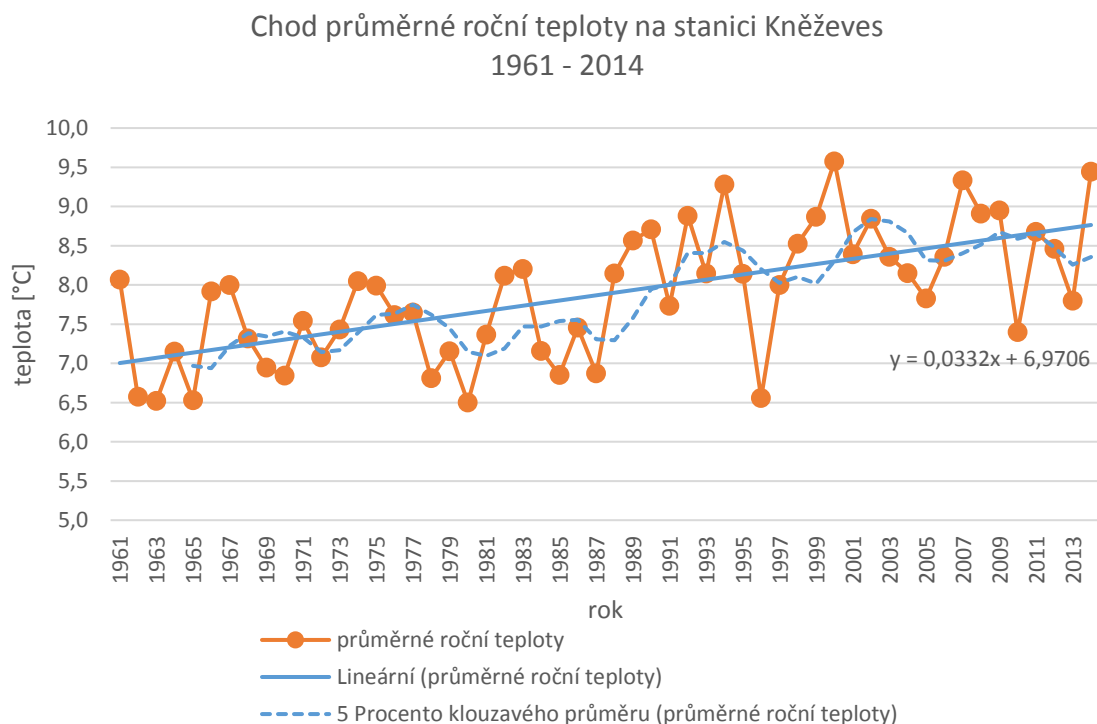
## 12. Výsledky

V následujících kapitolách jsou shrnuty výsledky analýzy jednotlivých hydroklimatologických veličin, které ovlivňují celkovou hydrologickou bilanci v povodí, konkrétně teploty vzduchu, srážek a průtoků. Důraz je kladen na hodnocení vybraných hydrologicky suchých období se zaměřením na sucho 2003 a 2015. Jedna kapitola se věnuje analýze změn krajinného pokryvu v modelovém povodí Rakovnického potoka a jejich vlivům na odtokový režim. Na základě dosažených výsledků jsou navržena vhodná adaptační opatření, která by se v zájmovém povodí mohla aplikovat.

### 12.1 Analýza hydroklimatických veličin – jejich změny a trendy v čase

#### 12.1.1 Teplota vzduchu

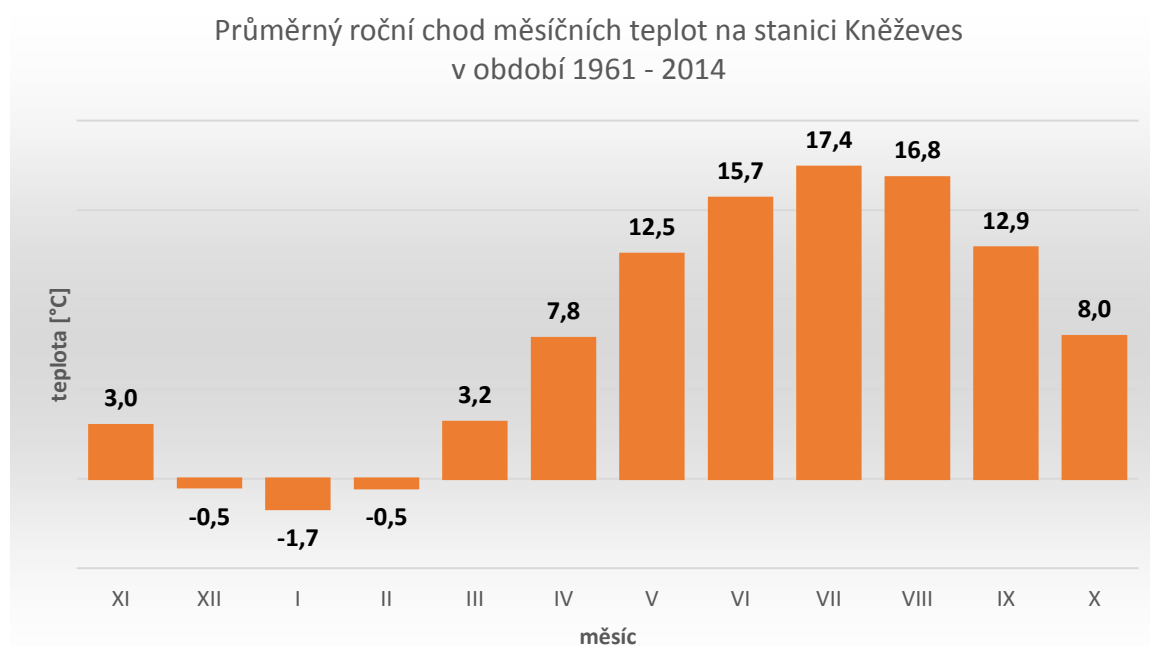
Teplota vzduchu je významným faktorem při zkoumání hydrologického sucha. Má vliv na začátek a délku období tání sněhu, velikost, prostorové a časové rozdělení evapotranspirace a je určujícím faktorem pro rozdělení odtoku během roku. Globální trend zvyšování teploty od 80. let minulého století se významně projevuje v hydrologickém cyklu zejména menších povodí, které jsou na takové změny citlivější, a kam bychom mohli zařadit i Rakovnický potok.



Obrázek 34: Chod průměrné roční teploty na stanici Kněževes (1961 - 2014).

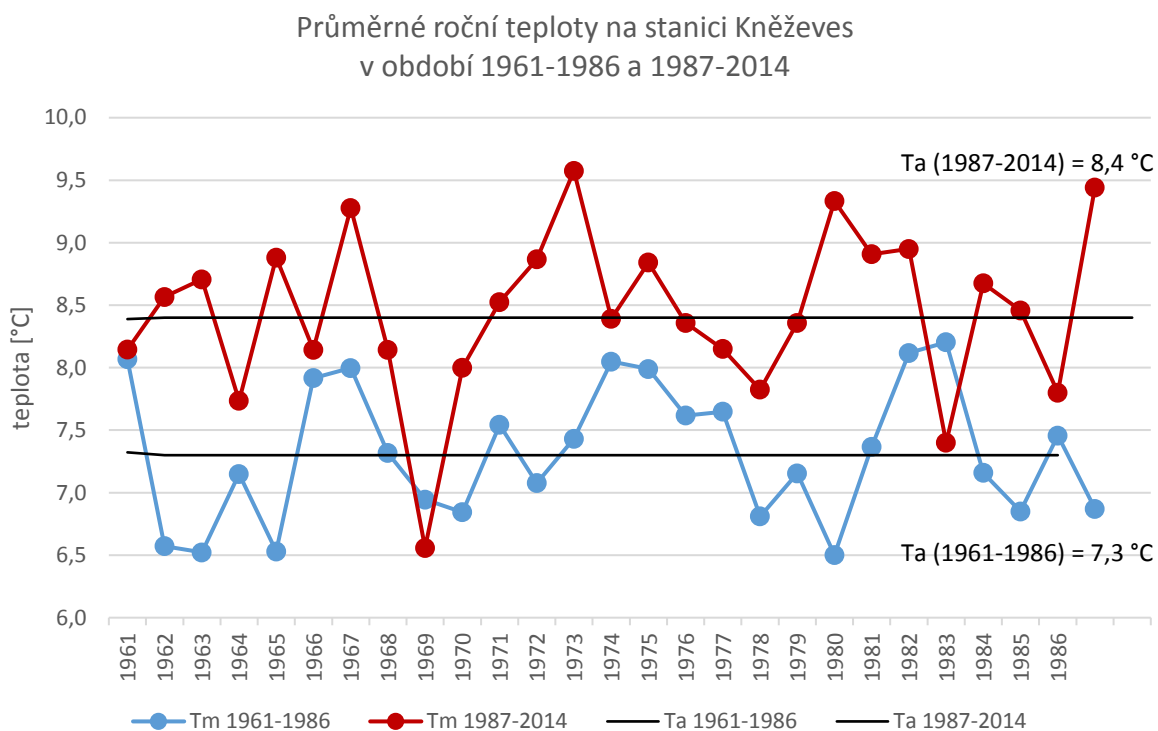
V povodí Rakovnického potoka se nachází pouze jediná stanice měřící teploty vzduchu, a to stanice Kněžves-Heřmanov. Měření zde ale probíhá až od roku 1995, datová řada je tedy velice krátká, tudíž byly chybějící hodnoty dopočítány na základě závislosti průměrných měsíčních teplot vzduchu ze stanice Kralovice, která se nachází několik kilometrů jihozápadně od hranice povodí a její měření sahá až do roku 1961. Protože hodnota determinačního koeficientu dosahovala 0,944, byla k dopočtení chybějících hodnot za období 1961 – 1994 použita metoda lineární regrese.

Dlouhodobá průměrná roční teplota (1961 – 2014) je rovna 7,9 °C a v posledních několika letech je pravidelně překračována až o 1,5 °C. Obr. 34 znázorňuje chod průměrné roční teploty na stanici Kněžves a je zde patrný jasný rostoucí trend s hlavním těžištěm vzrůstu až po roce 1990. Roční chod měsíčních teplot v povodí Rakovnického potoka je shodný s chodem teplot v ČR a je charakterizován jednoduchou vlnou s maximem v červenci a minimem v lednu. Nejchladnějším měsícem byl leden 1963, kdy se průměrná teplota na stanici Kralovice pohybovala – 8,4 °C pod bodem mrazu, na stanici Kněžves pak – 7,6 °C. dlouhodobě průměrně nejteplejším měsícem byl červenec 1994 s průměrnou teplotou 22,3 °C v Kralovicích, 21,7 °C v Kněžvesi. Pod bod mrazu klesají dlouhodobě teploty ve třech měsících, a to v prosinci, lednu a únoru. V letech 2007, 2008 a 2013 však na stanici Kněžves neklesla průměrná měsíční teplota pod nulu v žádném měsíci pozorování.



Obrázek 35: Průměrný chod měsíčních teplot na stanici Kněžves (1961 - 2014).

Pro znázornění změny průměrných ročních teplot vzduchu jsem pozorované období (1961 – 2014) rozdělila na dvě zhruba stejně dlouhá podružná období (1961 – 1986 a 1987 – 2014). Změna mezi těmito obdobími je významná, jak ukazuje Obr. 36, průměrné roční teploty v období 1987 – 2014 jsou o 1,1 °C vyšší než v období předcházejícím.



Obrázek 36: Srovnání průměrných ročních teplot na stanici Kněževs v období 1961 - 1986 a 1987 - 2014.

| stanice | Kněževs |           | Kralovice |           |
|---------|---------|-----------|-----------|-----------|
|         | MK-S    | p-hodnota | MK-S      | p-hodnota |
| I       | 1,649   | 0,099     | 1,828     | 0,068     |
| II      | 0,574   | 0,566     | 0,649     | 0,516     |
| III     | 1,970   | 0,049     | 2,037     | 0,042     |
| IV      | 3,089   | 0,002     | 3,171     | 0,002     |
| V       | 3,320   | 0,001     | 3,641     | 0,000     |
| VI      | 2,738   | 0,006     | 2,664     | 0,008     |
| VII     | 3,387   | 0,001     | 2,842     | 0,004     |
| VIII    | 3,903   | 0,000     | 3,977     | 0,000     |
| IX      | 0,783   | 0,433     | 0,962     | 0,336     |
| X       | 0,761   | 0,447     | 0,821     | 0,412     |
| XI      | 2,126   | 0,033     | 1,917     | 0,055     |
| XII     | 1,992   | 0,046     | 1,917     | 0,055     |
| celkem  | 4,894   | 0,000     | 4,946     | 0,000     |

Tabulka 10: Výsledky Man-Kendallova testu pro průměrné měsíční teploty pro stanice Kněževs a Kralovice v období 1961 - 2014. Zvýrazněny jsou měsíce, kde byl prokázán signifikantní nárůst teploty ve zkoumaném období.

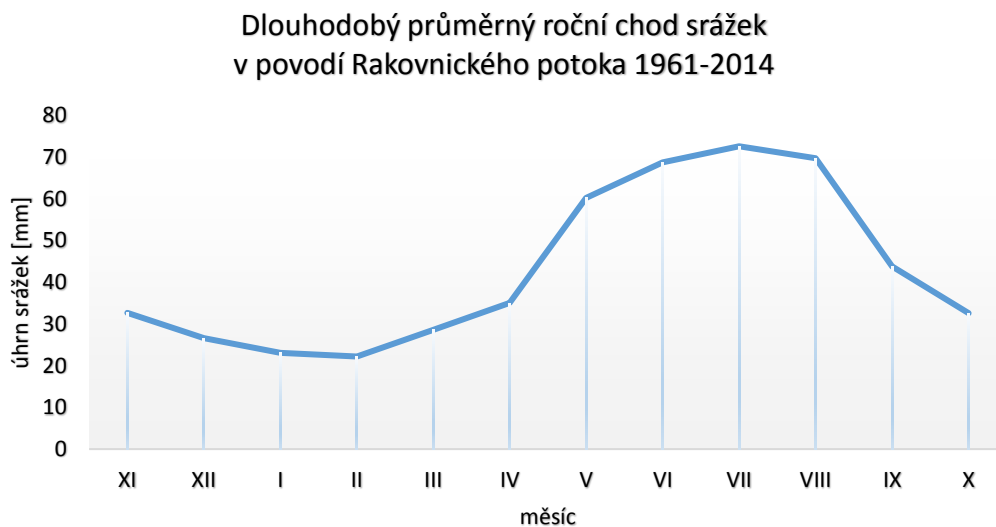
Pro detekci dlouhodobého, ale i sezónního trendu v řadě naměřených i dopočtených průměrných měsíčních teplot bylo využito Man-Kendalova testu. Test byl aplikován na obě stanice, výsledky ukazují dle očekávání na obou stanicích výrazný nárůst teploty v pozorovaném období. Statisticky nejvýznamnější je nárůst v letních měsících, na podzim a v zimě je nárůst méně výrazný nebo se neprokázal.

### 12.1.2 Srážky

Srážky jsou limitujícím faktorem pro odtokový režim povodí Rakovnického potoka, jelikož se jedná o uzavřený systém dotovaný pouze atmosférickými srážkami. Společně s teplotou pak tvoří základní veličiny ovlivňující hydrologickou bilanci. Povodí Rakovnického potoka leží ve srážkovém stínu Krušných hor, jedná se tedy o území, kde je průměrná výška srážek dlouhodobě nižší, než je průměr České republiky.

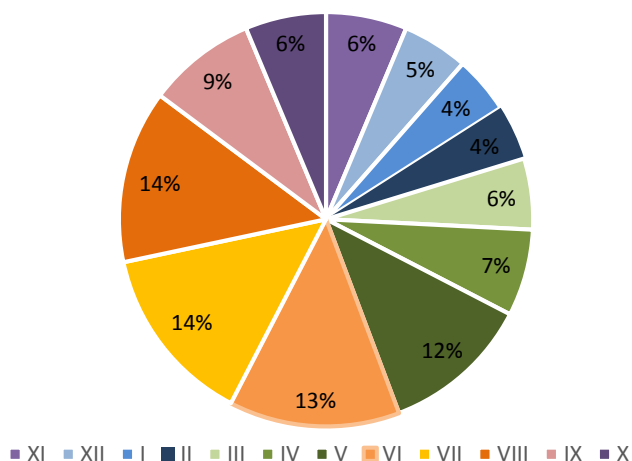
V povodí Rakovnického potoka byla k dispozici data ze čtyř srážkoměrných stanic, která byla použita pro analýzu trendů srážek. Stanice Rakovník, Křivoklát a Kounov vykazují denní hodnoty srážek od roku 1961 do roku 2014, stanice Oráčov od roku 1963 do roku 2014. V datových řadách srážkoměrných stanic se objevují období, kdy z různých důvodů data za určitý časový úsek chybí (Kašpárek, 2012). Tyto chybějící hodnoty v datových řadách byly dopočítány metodou lineární regrese na základě míry závislosti jednotlivých datových řad. Vzhledem k tomu, že rozdíly v nadmořských výškách na povodí Rakovnického potoka nejsou významné, nebyla provedena korektura na nadmořskou výšku. Z řad denních výšek srážek byly následně vypočteny řady průměrných měsíčních a ročních výšek srážek, které tvoří základ pro zkoumání dlouhodobých a sezónních trendů a změn.

Průměrná výška srážek na povodí Rakovnického potoka byla spočtena jako průměr srážek z výše zmíněných stanic a odpovídá hodnotě 516 mm. Dlouhodobý průměr ČR nabývá hodnoty 693 mm, území povodí je tedy značně srážkově podprůměrné. Rozložení srážek během roku vykazuje značnou variabilitu, nejsušším měsícem je leden, naopak nejdeštivějším červenec. Graf rozložení srážek během roku kopíruje chod teplot a ukazuje, že 41 % srážek spadne v letním období. Absolutní maximum průměrného měsíčního úhrnu srážek bylo naměřeno na stanici Kounov v srpnu 2002, kdy spadlo 226,9 mm.



Obrázek 37: Dlouhodobý průměrný roční chod srážek v povodí Rakovnického potoka (1961 - 2014).

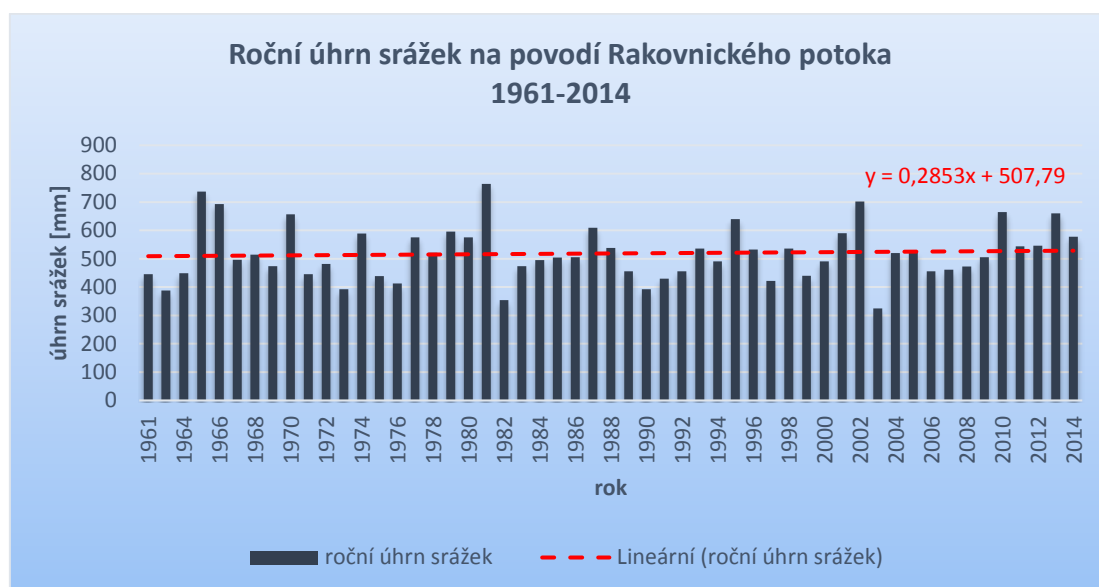
**Rozložení srážek během roku  
v povodí Rakovnického potoka 1961 - 2014**



Obrázek 38: Rozložení srážek během roku v povodí Rakovnického potoka pro období 1961 - 2014.

Co se týče dlouhodobých srážkových trendů, průměrný roční úhrn srážek bychom mohli označit za stacionární až mírně stoupající. Lineární trend vykazuje mírné zvýšení během pozorovaného období. Man-Kendallovým testem byla zjišťována změna v sezónním rozložení srážek a výsledky prokázaly, že na všech čtyřech stanicích dochází k úbytku srážek v jarním období, zejména v dubnu. Na stanici Kounov byl zaznamenán dlouhodobý úbytek srážek také v únoru a v březnu. Mírný nárůst srážek bychom mohli detekovat v letním období v měsících červenci a srpnu.

Obecně lze tedy říci, že ačkoli nedochází k dlouhodobému celkovému úbytku srážek na povodí Rakovnického potoka, mění se jejich rozložení během roku.



Obrázek 39: Průměrný roční úhrn srážek na povodí Rakovnického potoka (1961 - 2014). Červenou čarou je vyznačen lineární trend.

| stanice       | Rakovník |           | Křivoklát |           | Oráčov |           | Kounov |           |
|---------------|----------|-----------|-----------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|
|               | MK-S     | p-hodnota | MK-S      | p-hodnota | MK-S   | p-hodnota | MK-S   | p-hodnota |
| <b>I</b>      | 1,298    | 0,194     | 1,298     | 0,194     | 1,231  | 0,218     | 0,067  | 0,946     |
| <b>II</b>     | -1,395   | 0,163     | -1,000    | 0,317     | -1,073 | 0,283     | -2,731 | 0,006     |
| <b>III</b>    | -0,306   | 0,760     | -0,948    | 0,343     | -1,073 | 0,283     | -2,231 | 0,026     |
| <b>IV</b>     | -2,276   | 0,023     | -2,470    | 0,014     | -1,949 | 0,051     | -2,126 | 0,033     |
| <b>V</b>      | -0,239   | 0,811     | 0,284     | 0,777     | 0,789  | 0,430     | 0,321  | 0,748     |
| <b>VI</b>     | -0,724   | 0,469     | -0,194    | 0,846     | -1,397 | 0,162     | -0,761 | 0,447     |
| <b>VII</b>    | 1,335    | 0,182     | 1,791     | 0,073     | 1,902  | 0,057     | 1,074  | 0,283     |
| <b>VIII</b>   | 0,597    | 0,551     | 0,298     | 0,765     | 0,608  | 0,543     | 1,306  | 0,192     |
| <b>IX</b>     | 0,962    | 0,336     | 0,545     | 0,586     | 0,765  | 0,444     | 0,381  | 0,704     |
| <b>X</b>      | 1,433    | 0,152     | 0,903     | 0,367     | 1,207  | 0,227     | 0,388  | 0,698     |
| <b>XI</b>     | 0,851    | 0,395     | -0,246    | 0,806     | -0,308 | 0,758     | -0,880 | 0,379     |
| <b>XII</b>    | 1,030    | 0,303     | 0,761     | 0,447     | 1,421  | 0,155     | 0,381  | 0,704     |
| <b>celkem</b> | 0,746    | 0,456     | 0,649     | 0,516     | 0,836  | 0,403     | 0,261  | 0,794     |

Tabulka 11: Výsledky Man-Kendallova testu pro průměrné měsíční srážky na srážkoměrných stanicích v povodí Rakovnického potoka. Zvýrazněny jsou měsíce, kde se prokázal pokles srážek za pozorované období.

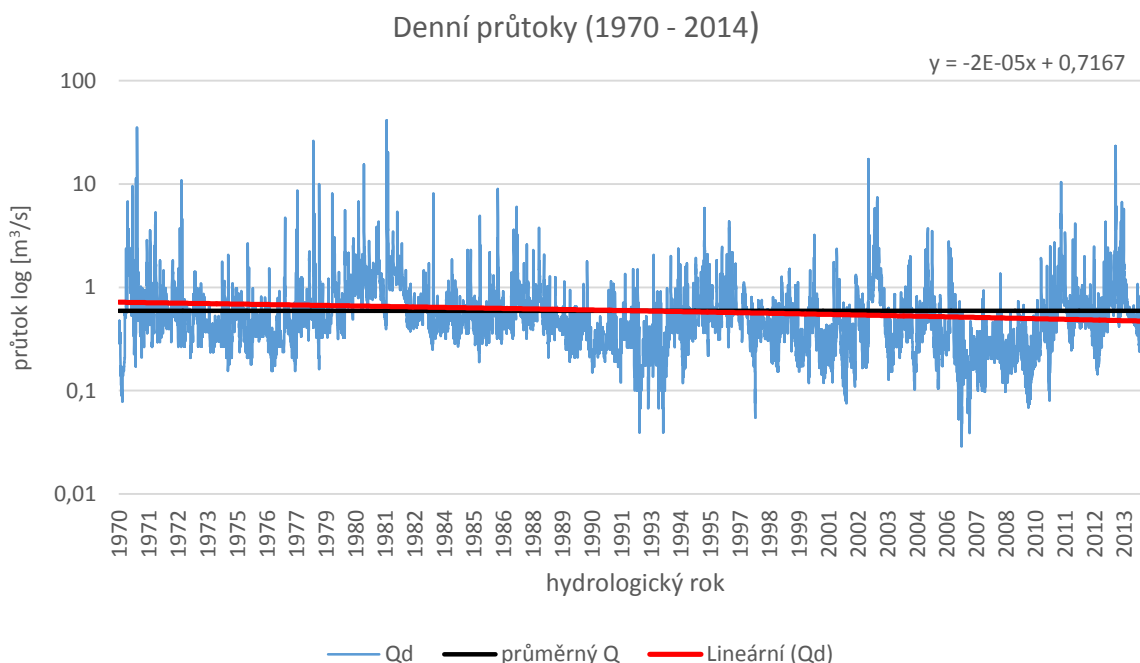
### 12.1.3 Odtokové poměry

Odtok je základní a nedílnou součástí hydrologického cyklu a je ovlivněn mnoha faktory, mezi které patří primárně srážky, jejich časové a plošné rozložení a velikost, evapotranspirace, ale také tvar uspořádání a antropogenní modifikace říční sítě. Právě transformace říčního koryta, jeho napřímení či umělé zahloubení, způsobují rychlejší odtok vody z povodí. Zhodnocení odtoku a jeho vývoj v čase je základním stavebním kamenem při popisu a hledání příčin hydrologického sucha.

K analýze odtokových poměrů v povodí Rakovnického potoka byla použita řada denních průtoků z limnigrafické stanice Rakovník (ř. km 17,5) pro období 1970 – 2014. Z této datové řady pak byly odvozeny hodnoty průměrných měsíčních a ročních průtoků, které tvoří základ pro zhodnocení dlouhodobých trendů.

#### Průměrné denní průtoky

Pro zhodnocení změn průměrných denních průtoků byla sestrojena jednoduchá čára průtoků, neboli hydrogram. Černě je v grafu zobrazen dlouhodobý průměrný denní průtok, který se rovná  $0,593 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , červeně pak lineární trend denních průtoků, který vykazuje klesající charakter.



Obrázek 40: Hydrogram zachycující denní průtoky v limnigrafické stanici Rakovník. Černě je zobrazen dlouhodobý průměrný denní průtok ( $0,593 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), červeně klesající trend průtoků.

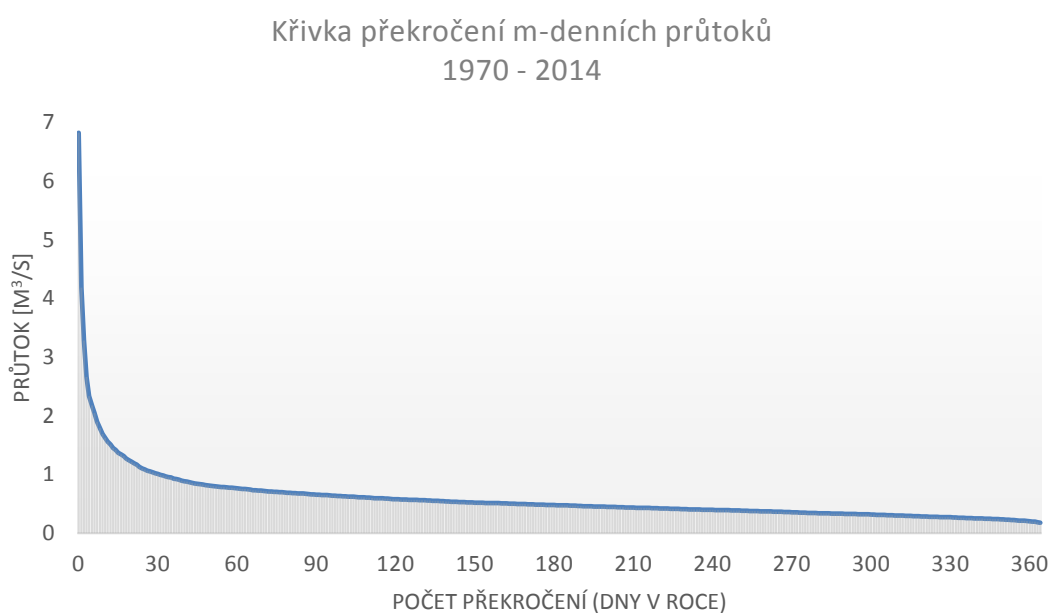


Z hydrogramu byly odečteny extrémní hodnoty pro pozorované období. Absolutní maximum bylo dosaženo 20. 7. 1981, kdy byl, v důsledku předcházejících extrémních srážek, naměřen průtok v korytě  $41,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Naopak během suchého září 2006, kdy na území České republiky spadla pouze třetina srážek oproti dlouhodobému normálu, byla 9. 9. 2006 naměřena minimální hodnota průtoků  $0,0287 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Poměr absolutního maxima a minima udává absolutní rozkolísanost průtoků, která pro Rakovnický potok nabývá hodnoty 1:1439.

Rozkolísanost průtoků lze také vyjádřit pomocí křivky překročení (Obr. 41). Tvar čáry překročení m-denních průtoků poukazuje na mírnou nevyrovnanost odtokového režimu. Relativně vyrovnané dlouhotrvající období nízkých stavů je zpravidla narušeno vysokými průtoky způsobenými přívalem srážek v letních měsících.

| Průtok                           | Q30  | Q60  | Q90  | Q120 | Q150 | Q180 | Q210 | Q240 | Q270 | Q300 | Q330 | Q360 |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ | 1,02 | 0,77 | 0,66 | 0,58 | 0,52 | 0,48 | 0,44 | 0,40 | 0,36 | 0,32 | 0,27 | 0,21 |

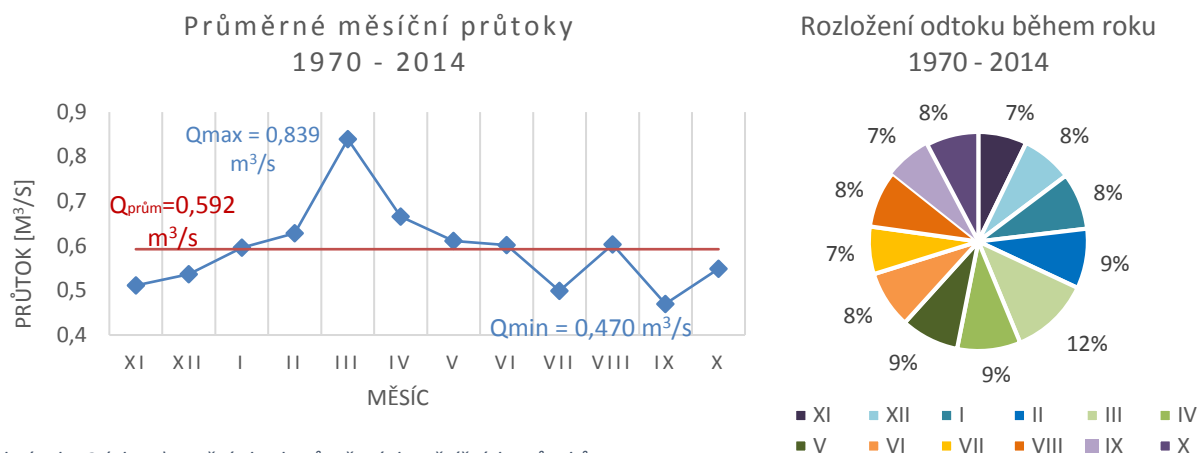
Tabulka 12: Tabulka překročení m-denních průtoků.



Obrázek 41: Křivka překročení m-denních průtoků. Udává, kolik dní v roce je překročen daný průtok.

### Měsíční průtoky

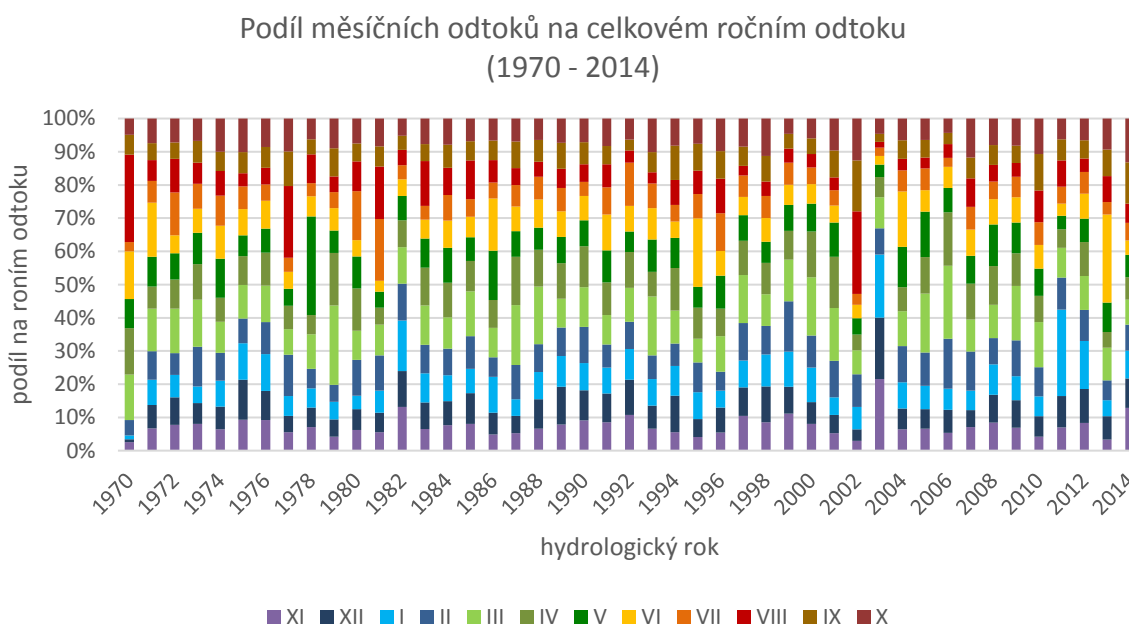
Chod průměrných měsíčních průtoků znázorňuje Obr. 42. Dlouhodobě nejvyšších vodností dosahuje měsíc březen (podíl na odtoku činí 12 %), což je důsledek tání sněhu. Podružné maximum, jehož příčinou jsou dešťové srážky, se vyskytuje v srpnu. Obecně je ale rozložení odtoku během roku vyrovnané, v teplém půlroce odteče 53 % vody. Na Obr. 44 můžeme



Obrázek 42 (vlevo): Roční chod průměrných měsíčních průtoků.

Obrázek 43 (vpravo): Podíl jednotlivých měsíců na celkovém ročním odtoku.

vidět vývoj podílu měsíčních odtoků na celkovém odtoku. Z grafu je patrný úbytek podílu jarních měsíců (zelené odstíny), naopak nárůst v podzimních měsících. Nízkou variabilitu měsíčních průtoků potvrzují i statistické koeficienty  $K_r = 1,35$  a variační koeficient 0,16.



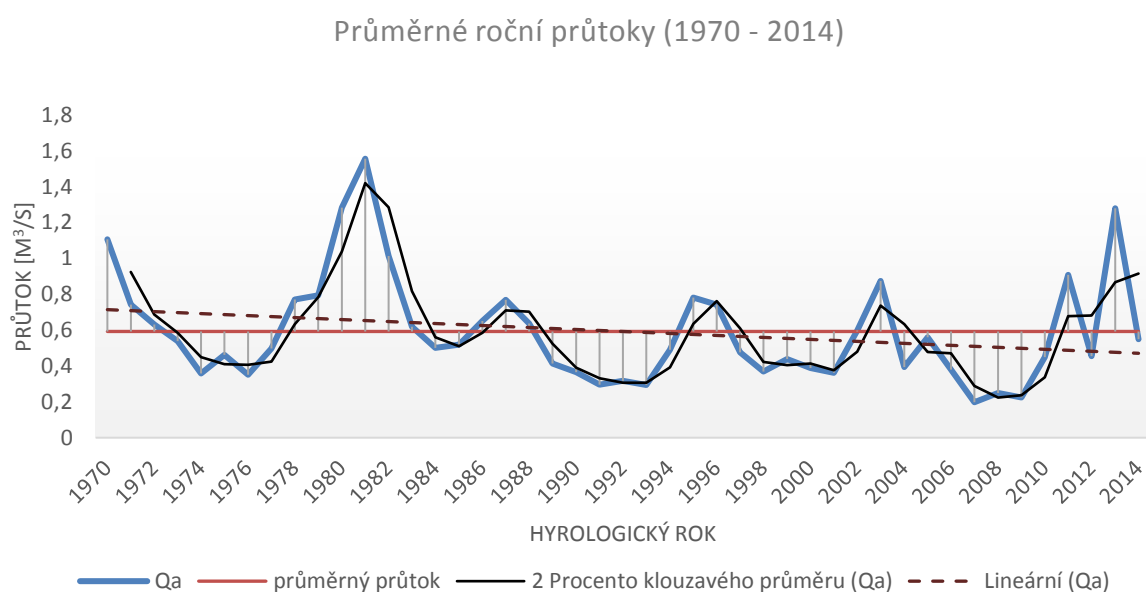
Obrázek 44: Rozložení odtoku během let 1970 - 2014.

### Průměrné roční průtoky a jejich změny v čase

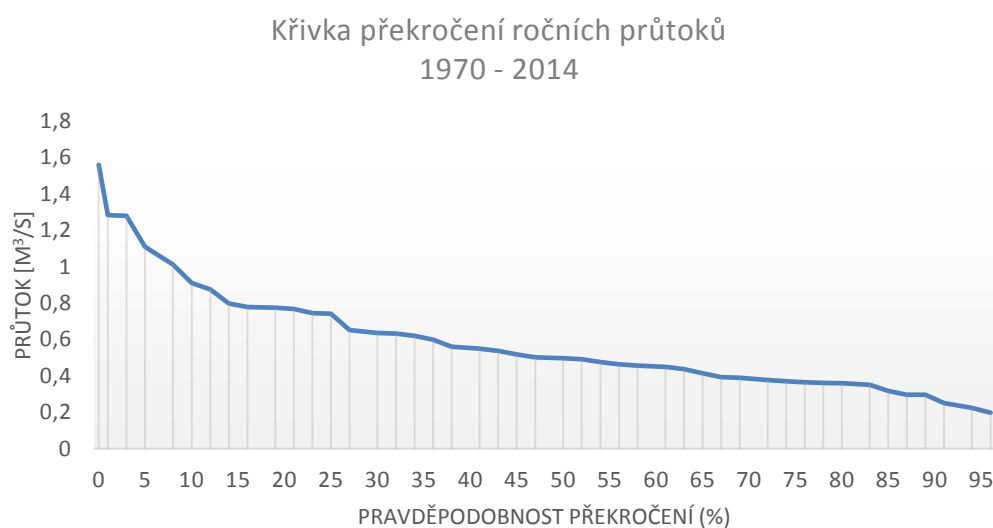
Z hlediska dlouhodobého vývoje průměrného ročního odtoku lze konstatovat, že období mezi lety 1983 – 2010 patří z hlediska vodnosti k podprůměrným. Jako minimum během pozorovaného období můžeme označit rok 2007, kdy hodnoty průměrného ročního průtoky

dosahovaly pouze  $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Mezi extrémně vodné roky patří rok 1970, 1981 a 1982. Také rok 2013 byl mimořádně vodným rokem, celkově však dochází k významnému poklesu vodnosti, jak znázorňuje lineární trend v Obr. 45.

Křivka překročení ročních průtoků (Obr. 46) udává pravděpodobnost překročení průtoku spočtenou dle Čegodajeva. Na základě pravděpodobnosti překročení můžeme slovně klasifikovat jednotlivé roky dle vodnosti. Jako mimořádně vodné roky s pravděpodobností překročení do 10 % vyčleňujeme roky 1981, 1980 a 2013. Mimořádně málo vodnými lety pak byly roky 2007, 2009 a 2008 s pravděpodobností překročení vyšší než 90 %.



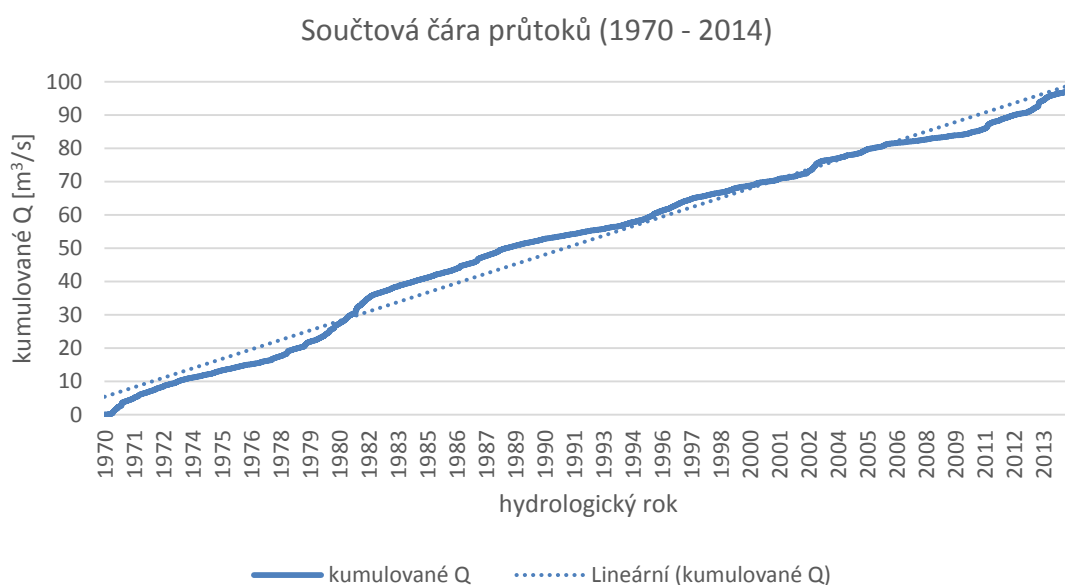
Obrázek 45: Průměrné roční průtoky (1970 – 2014).



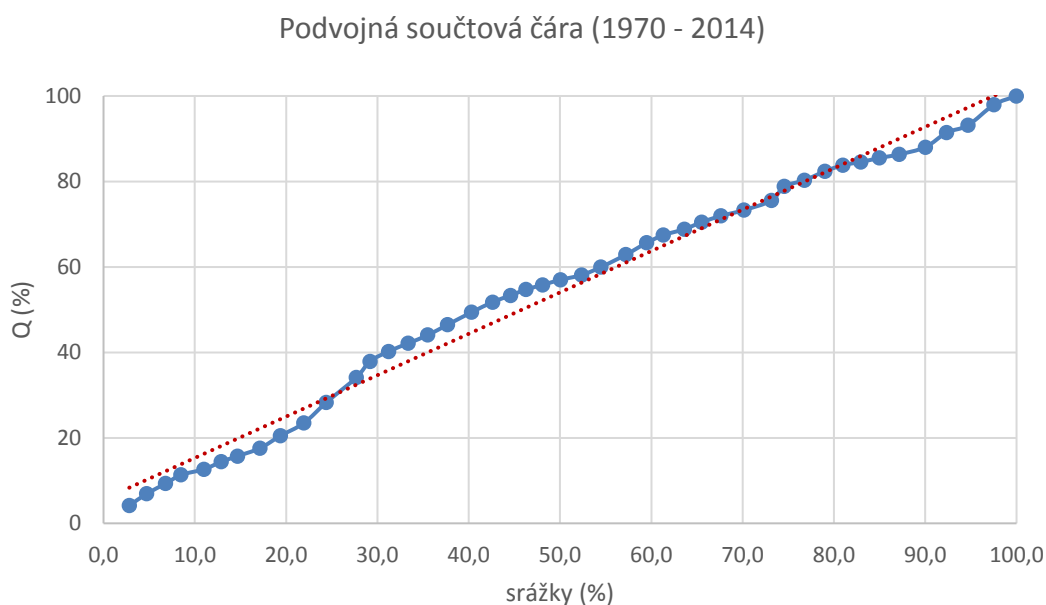
Obrázek 46: Křivka překročení průměrných ročních průtoků. Udává, s jakou pravděpodobností bude daný průtok překročen.

### Trendy v časových řadách průtoků

Základní změny v odtokovém režimu vystihuje tvar jednoduché čáry průtoků. Lineární průběh naznačuje tok s absolutně vyrovnaným průtokem, odchýlení od linie značí pozitivní či negativní změny. Součtová čára průtoků Rakovnického potoka naznačuje zvýšení průtoků na počátku 80. let 20. století, což je pravděpodobně způsobeno hydromelioračními úpravami v povodí. Po roce 2000 se ale setkáváme s kontinuálním poklesem průtoků, který se v Obr. 47 projevuje depresí.



Obrázek 47: Jednoduchá součtová čára denních průtoků (1970 - 2014). Linie udává ideálně vyrovnaný průtok.



Obrázek 48: Podvojná součtová čára (1970 - 2014).

V případě podvojně součtové čáry, která znázorňuje závislost průtoku na srážkách, vykazují hodnoty podobný trend ve vývoji odtoku. Zde je vidět, že nárůst průtoku na počátku 80. let nebyl způsoben nárůstem srážkových úhrnů, důvodem je tedy pravděpodobně odvodnění zemědělské půdy v povodí.

Pro zjištění dlouhodobých trendů byl na průměrné měsíční průtoky pro období 1970 – 2014 aplikován Man-Kendallův test. Signifikantní pokles průtoků na 5% hladině spolehlivosti se projevuje během sedmi měsíců v roce. Konkrétně se jedná o měsíce v období duben – srpen a říjen – listopad. Nejvýznamnější pokles byl zaznamenán v červnu a v srpnu, naopak v zimních měsících a v září se statisticky významný pokles neprojevil.

| stanice | Rakovník |           |
|---------|----------|-----------|
|         | MK-S     | p-hodnota |
| XI      | -2,035   | 0,042     |
| XII     | -1,174   | 0,240     |
| I       | -0,528   | 0,597     |
| II      | -0,567   | 0,570     |
| III     | -1,683   | 0,092     |
| IV      | -2,015   | 0,044     |
| V       | -2,328   | 0,020     |
| VI      | -3,150   | 0,002     |
| VII     | -2,446   | 0,014     |
| VIII    | -2,837   | 0,005     |
| IX      | -1,497   | 0,134     |
| X       | -1,976   | 0,048     |
| rok     | -1,898   | 0,058     |

Pro komplexní zhodnocení změn v odtokovém režimu byly použity indikátory hydrologických změn, které byly vypočteny pomocí programu Indicators of Hydrologic Alteration 7.1 (IHA Software, 2009). Pro detailní vizualizaci změn bylo sledované období rozděleno na dva zhruba stejně dlouhé časové úseky (1970 – 1990 a 1991 – 2014), na které byl aplikován neparametrický přístup využívající střední hodnotu (medián) jako hlavní tendenci. K posouzení variability se tento přístup soustředí na rozpětí mezi 25. a 75. percentilem. Výsledky analýzy pro hodnotu mediánu jsou uvedeny v Tab. 14 a pro každé posuzované období jsou dle The Nature of Conservancy (2009) rozděleny do pěti následujících skupin:

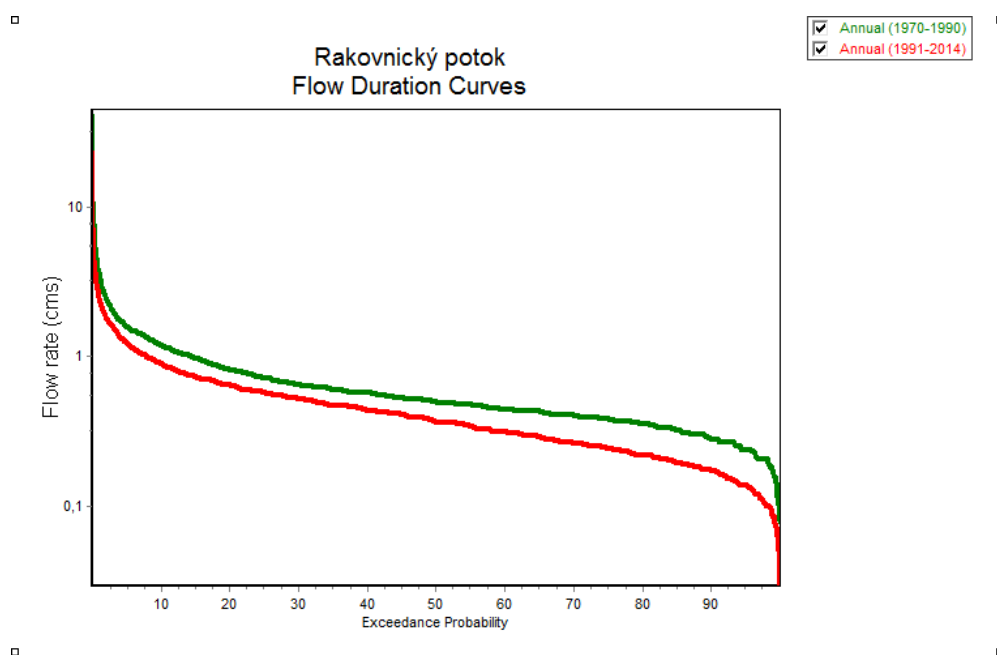
- *Skupina 1* – uvádí hodnoty mediánu průtoků pro každý měsíc v roce
- *Skupina 2* – zahrnuje parametry popisující hydrologické extrémy, jejich trvání a velikost. Index základního odtoku je pak definován jako poměr mezi ročním minimem sedmidenního klouzavého průměru a ročním průměrným průtokem.
- *Skupina 3* – hodnota udává pořadové číslo dne v roce, kdy se poprvé vyskytl minimální či maximální průtok
- *Skupina 4* – hodnota počtu poklesů/vzestupů znamená, kolikrát průměrně v hydrologickém roce došlo k překročení stanovené hranice poklesu či vzestupu (medián  $\pm 25\%$ ), dobu trvání a prahovou hodnotu průtoků pro pokles/vzestup
- *Skupina 5* – značí míru poklesu či vzestupu za sledované období a celkový počet změn této tendence

| <b>Rakovnický potok - IHA analýza</b>           |                    |                    |   |                    |                    |
|---|--------------------|--------------------|---|--------------------|--------------------|
| <b>Skupina 1 (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>)</b> | <b>1970 - 1990</b> | <b>1991 - 2014</b> | <b>Skupina 2 (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>)</b> | <b>1970 - 1990</b> | <b>1991 - 2014</b> |
| Listopad  | 0,479              | 0,343              | 1-denní minimum                                 | 0,209              | 0,114              |
| Prosinec  | 0,512              | 0,350              | 3-denní minimum                                 | 0,237              | 0,124              |
| Leden   | 0,455              | 0,430              | 7-denní minimum                                 | 0,259              | 0,144              |
| Únor  | 0,502              | 0,418              | 30-denní minimum                                | 0,308              | 0,180              |
| Březen  | 0,668              | 0,540              | 90-denní minimum                                | 0,443              | 0,242              |
| Duben   | 0,636              | 0,500              | 1-denní maximum                                 | 5,350              | 2,430              |
| Květen  | 0,570              | 0,392              | 3-denní maximum                                 | 4,530              | 1,802              |
| Červen  | 0,452              | 0,277              | 7-denní maximum                                 | 2,673              | 1,543              |
| Červenec  | 0,388              | 0,258              | 30-denní maximum                                | 1,401              | 0,884              |
| Srpen   | 0,436              | 0,187              | 90-denní maximum                                | 0,832              | 0,656              |
| Září  | 0,403              | 0,296              | Index základního odtoku (base flow index)       | 0,439              | 0,304              |
| Říjen   | 0,546              | 0,373              |   |                    |                    |
| <b>Skupina 3</b>                                | <b>1970 - 1990</b> | <b>1991 - 2014</b> | <b>Skupina 4</b>                                | <b>1970 - 1990</b> | <b>1991 - 2014</b> |
| datum výskytu minima                            | 214                | 221                | počet poklesů                                   | 15                 | 13,5               |
| datum výskytu maxima                            | 164                | 115                | doba trvání poklesů (dny)                       | 2,5                | 6,25               |
|   |                    |                    | počet vzestupů                                  | 11                 | 8                  |

| Skupina 5  | 1970 - 1990 | 1991 - 2014 | doba trvání vzestupů (dny) | 2     | 2 |
|--|-------------|-------------|----------------------------|-------|---|
| míra vzestupu ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 0,053       | 0,046       | práh poklesu               | 0,380 |   |
| míra poklesu ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )  | -0,047      | -0,037      | práh vzestupu              | 0,720 |   |
| počet změn   | 119         | 117         |                            |       |   |

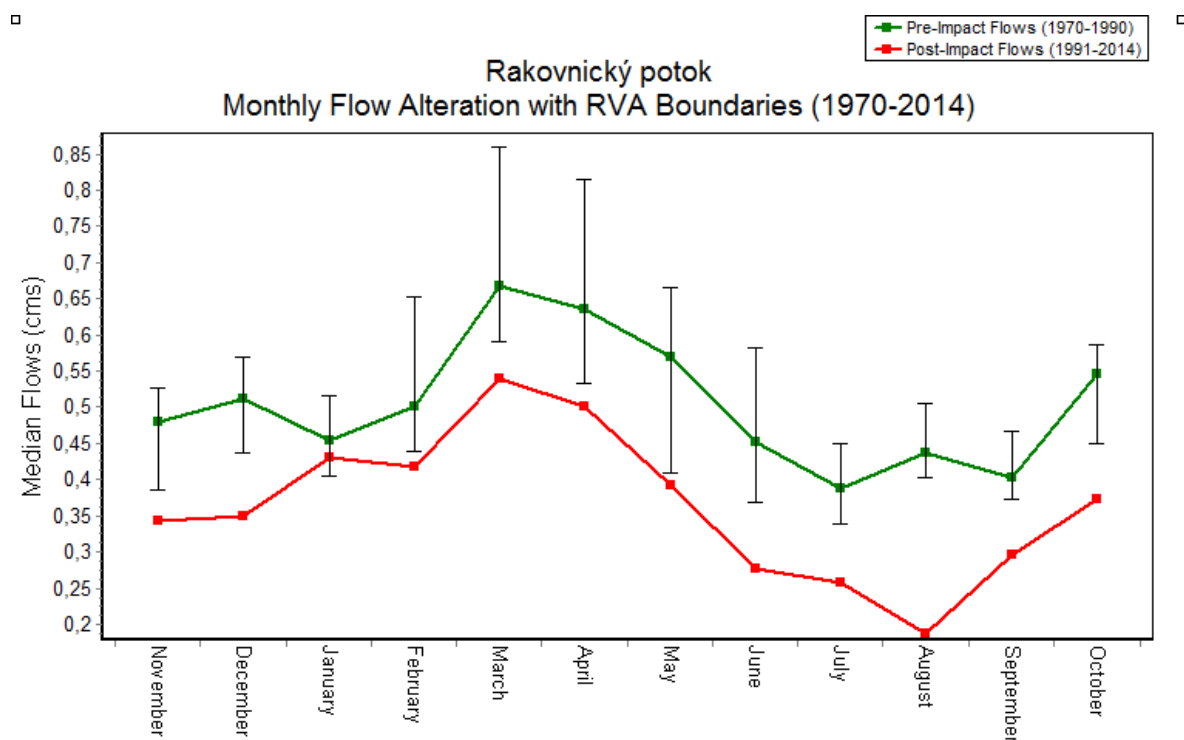
Tabulka 14: Výsledky IHA analýzy aplikované na denní průtoky Rakovnického potoka. Data byla rozdělena na dvě období 1970 - 1990 a 1991 - 2014.

Výsledky naznačují, že pokles mediánu mezi pozorovanými obdobími je prokazatelný ve všech měsících v roce, v některých, zejména letních měsících je tento pokles o více než polovinu. Nejnižší pokles je zaznamenán v lednu, naopak největší propad hodnot mediánu průtoku je v srpnu, a to z hodnoty  $0,546 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  na průměrné hodnoty  $0,187 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . stejný trend je patrný i v hydrologických extrémech, kdy významně poklesly hodnoty m-denních minim i maxim. Skupina 3 udává pořadové číslo dne v roce, kdy se poprvé vyskytlo minimum či maximum. V případě výskytu minimálního průtoku se průměrně opozdila doba výskytu asi o týden, kdežto maximální průtoky se obecně vyskytují mnohem dříve v daném roce. Celkový počet poklesů se téměř nezměnil, vzrostla ale doba trvání poklesu, a to až na trojnásobek.

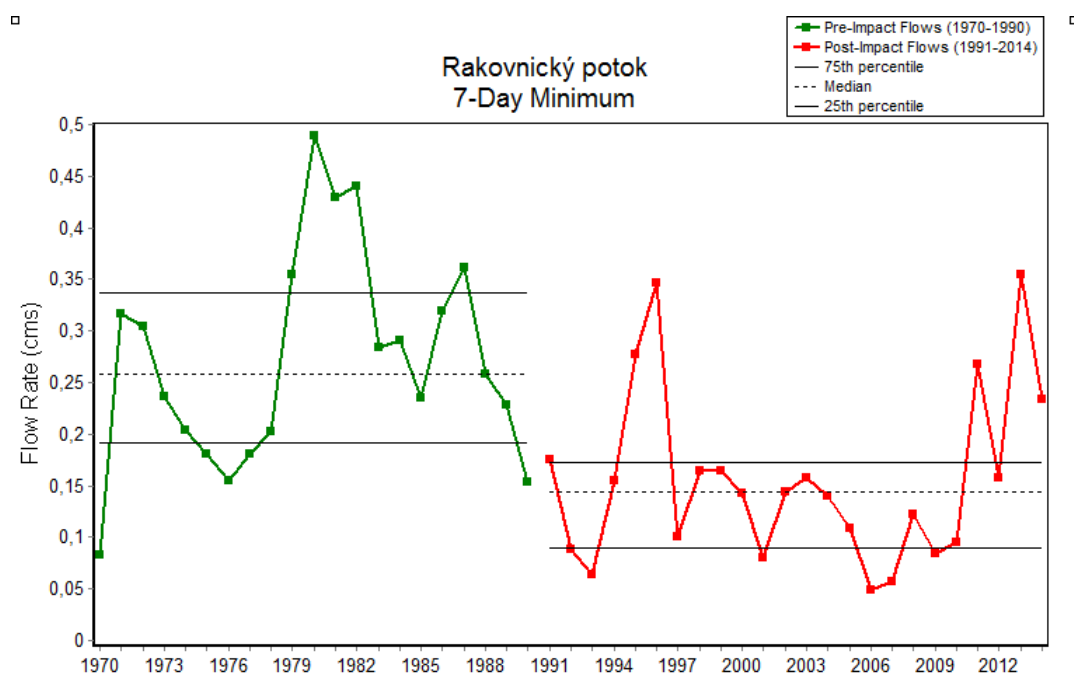


Obrázek 49: Křivky překročení pro Rakovnický potok v období 1970 - 1990 a 1991 - 2014. Tvar a průběh křivek naznačuje pokles průtoku ve druhém období.

Změny v odtokovém režimu nám dobře dokumentují křivky překročení (Obr. 49). Jejich tvar a průběh naznačují významnou změnu mezi prvním a druhým obdobím. Výsledky první skupiny ukazují pokles mediánu průtoku mezi dvěma sledovanými obdobími ve všech měsících v roce. Nejvýznamnější pokles se projevuje v srpnu a v červnu, nejméně výrazný pokles má leden.



Obrázek 50: Chod průměrných měsíčních průtoků ve dvou sledovaných obdobích. Největší rozdíl a pokles průtoků je zaznamenán v srpnu.

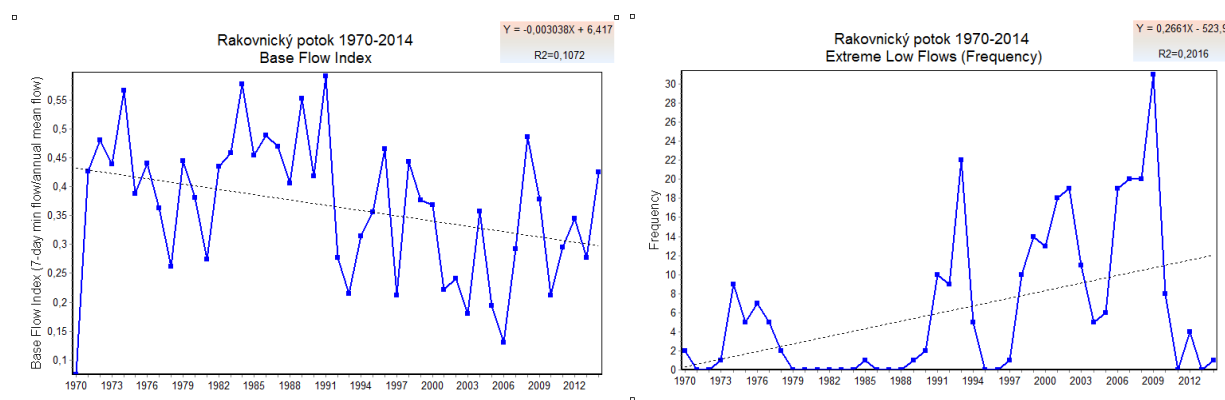


Obrázek 51: 7-denní minimum pro daná období.



Při posouzení hydrologických extrémů, klesly hodnoty mediánu minim i maxim ve všech pozorovaných kategoriích téměř na polovinu. Na příkladu 7-denního minima znázorňuje Obr. 51 velikost rozdílu pro období 1970 – 1990 (zeleně) a 1991 – 2014 (červeně). 75. percentil druhého období dosahuje nižších hodnot průtoků než 25. percentil období předchozího.

Významně klesající trend zaznamenáváme i v hodnotách základního odtoku, který je elementární a nedílnou součástí celkového odtoku z povodí, jelikož je dotován z podzemních vod. Jeho dlouhodobý pokles ukazuje nejen na snížení povrchového odtoku, ale také na pokles hladin a snižující se zásoby podzemních vod. Naopak frekvence výskytu extrémně nízkých průtoků má stoupající charakter s hlavním těžištěm výskytu nízkých průtoků právě po roce 1990.



Obrázek 52: Dlouhodobý průběh základního odtoku s výrazně klesajícím trendem.

Obrázek 53: Četnost výskytu nízkých průtoků s výrazně stoupajícím trendem.

## 12.1 Hodnocení vybraných hydrologicky suchých období

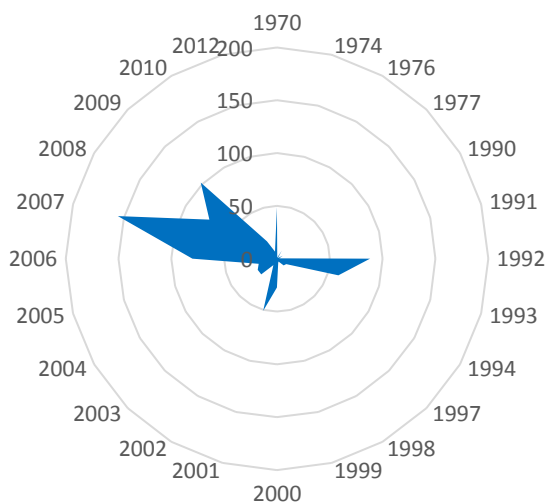
Pro hodnocení frekvence a četnosti výskytu suchých období byly vybrány všechny průtoky nižší než  $Q_{95\%}$ , tedy všechny nízké průtoky, které byly v pozorovaném období 1970 – 2014 překročeny s 95% pravděpodobností. Pro danou datovou řadu se  $Q_{95\%}$  rovná  $0,162 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , uvažovány tedy byly všechny průtoky nepřesahující tuto hodnotu.

Celkový počet dnů, kdy byl průtok nižší než stanovená mez, byl ve zkoumaném období 825. Tab. 15 ukazuje jednotlivé roky a počet dní v daném roce podkračujících  $Q_{95\%}$ . Jak je vidět, téměř všechny výskytu nízkých průtoků zaznamenáváme až po roce 1990 a nejextrémnějším rokem byl rok 2007, kdy byl naměřen průtok nižší než  $0,162 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  celkem 156krát. Tento fakt dokumentuje i Obr. 54, na kterém vidíme těžiště výskytu nízkých průtoků mezi lety 2006 a 2009.

| hydr. rok                  | 70 | 74 | 76 | 77 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 97 | 98 | 99 | 00 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07  | 08 | 09  | 10 | 12 |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|-----|----|----|
| počet dní s $Q < Q_{95\%}$ | 49 | 1  | 9  | 1  | 6  | 2  | 88 | 60 | 10 | 9  | 3  | 4  | 27 | 51 | 7  | 21 | 21 | 18 | 80 | 156 | 74 | 102 | 19 | 7  |

Tabulka 15: Četnost výskytu nízkých průtoků v letech 1970 - 2014.

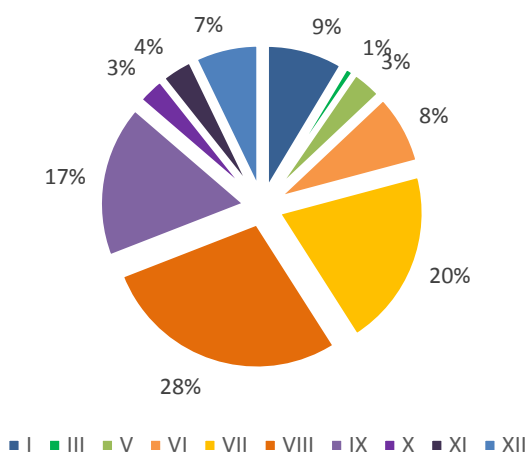
## Počet výskytů nízkých průtoků 1970 - 2014



Obrázek 54: Počet výskytu nízkých průtoků.

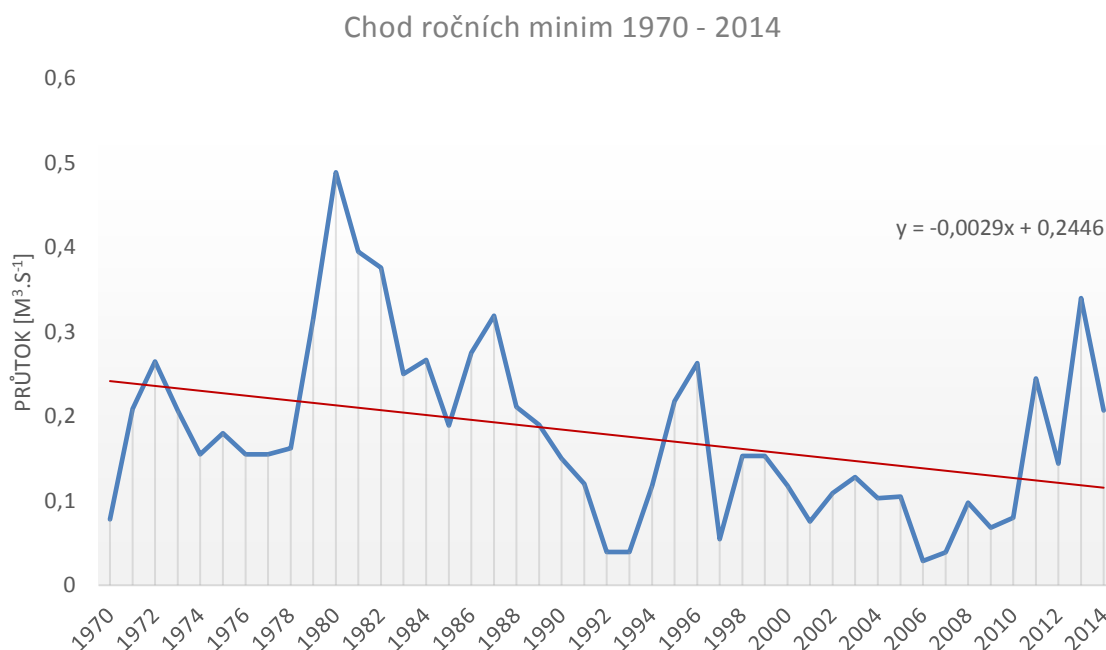
Dle jednotlivých měsíců se nízké průtoky nejvíce vyskytují v letním období, kdy je zaznamenána více než polovina naměřených hodnot (Obr. 55). Měsíc s nejčastějším výskytem nízkých průtoků je srpen, celkem byl v tomto měsíci naměřen nízký průtok 232krát za pozorované období, nikdy naopak nebyl naměřen v únoru a v dubnu. Jarní měsíce mají obecně nižší četnost výskytu nízkých průtoků z důvodu tání sněhu. Nejdelší období trvajících nízkých průtoků bylo na stanici Rakovník naměřeno hned na počátku jejího měření. Toto období trvalo od 30.11.1969 do 17.1.1970, tedy celých 49 dní.

## Četnost výskytu nízkých průtoků v jednotlivých měsících



Obrázek 55: Četnost výskytu nízkých průtoků v jednotlivých měsících.

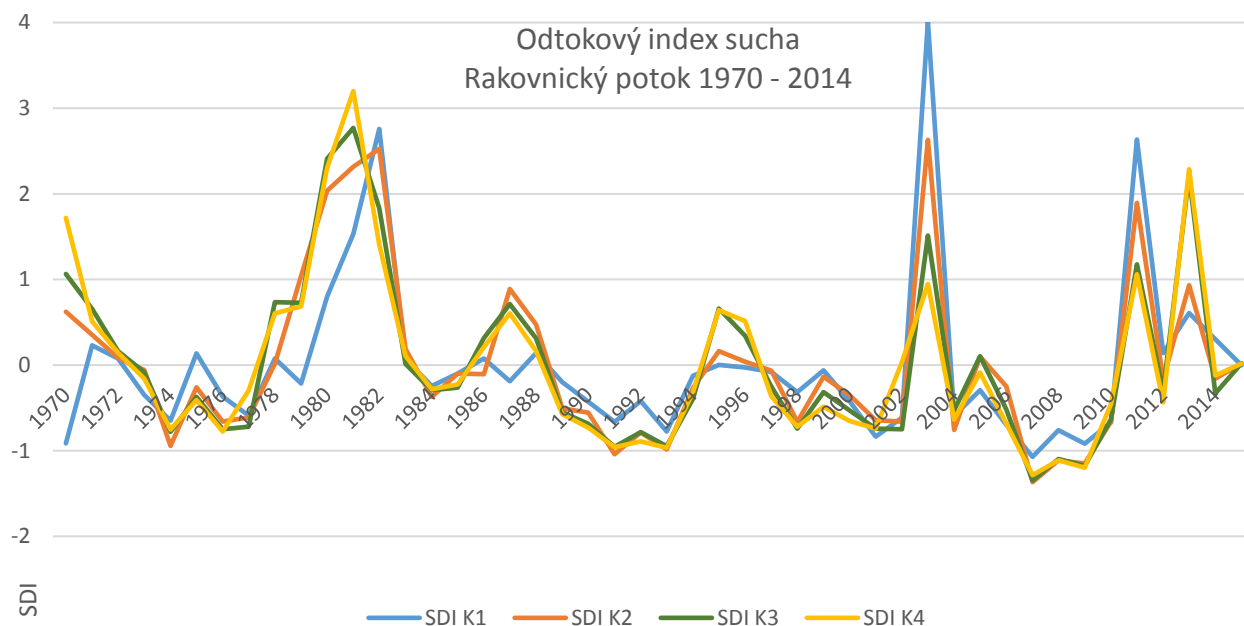
Chod ročních minim je znázorněn na Obr. 56. Červenou čarou je znázorněn klesající trend v dosahovaných minimech. Až do roku 1990 minimální roční hodnoty průtoku neklesly pod  $0,15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . V období po roce 1990 jsou roční minima téměř vždy pod touto hranicí, obzvláště na počátku 90. let a mezi lety 2006 – 2008 klesaly minimální hodnoty průtoku téměř k nule.



Obrázek 56: Roční minima 1970 - 2014.

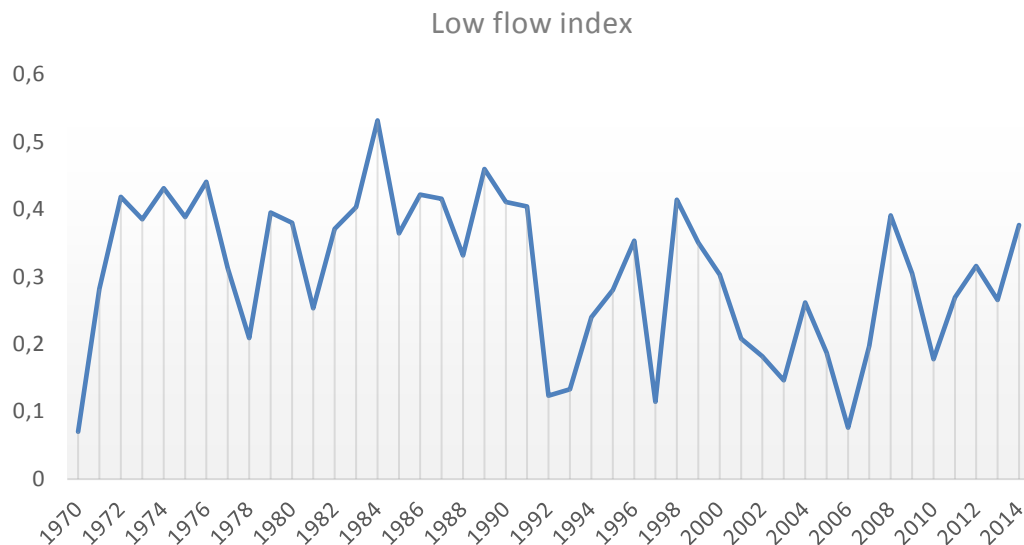
Pro zhodnocení hydrologického sucha v pozorovaném období byl vypočítán odtokový index sucha (SDI). Ten pro každý rok vymezuje čtyři referenční překrývající se období (3, 6, 9 a 12 měsíců), pro které je sucho klasifikováno na základě průměrných měsíčních průtoků. Nevýhodou tohoto indexu je, že pokud v jednom období převažují vysoké průtoky, pak se tento trend odrazí i do dalších období, jejichž výsledky tak mohou být ovlivněné. Na Rakovnickém potoce můžeme tento jev vidět v roce 2003, který byl zpočátku velmi vodným rokem, a tento fakt převážil i suché letní období a celkově se tak rok jeví jako nadprůměrně vodným. Počátek 80. let se vyznačuje vysokou vodností bez rizika sucha, což odpovídá předchozím analýzám. Naopak období po roce 1990 je charakteristické stále častěji se vyskytujícími suchými roky s minimem v letech 2006 – 2009. Všechna referenční období v těchto letech spadají na škále SDI do kategorie mírného až středního sucha. Na Obr. 57 je vyznačen vývoj indexu SDI během sledovaného období. Barevně jsou vyznačena referenční období jednotlivých hydrologických let. V posledním desetiletí si můžeme všimnout zvýšené fluktuace indexu SDI, což naznačuje zvýšenou četnost extrémních hydrologických jevů

v povodí. Konkrétní hodnoty indexu SDI pro jednotlivá referenční období jsou uvedeny v Příloze I.



Obrázek 57: Vývoj indexu SDI pro jednotlivá referenční období v letech 1970 - 2014.

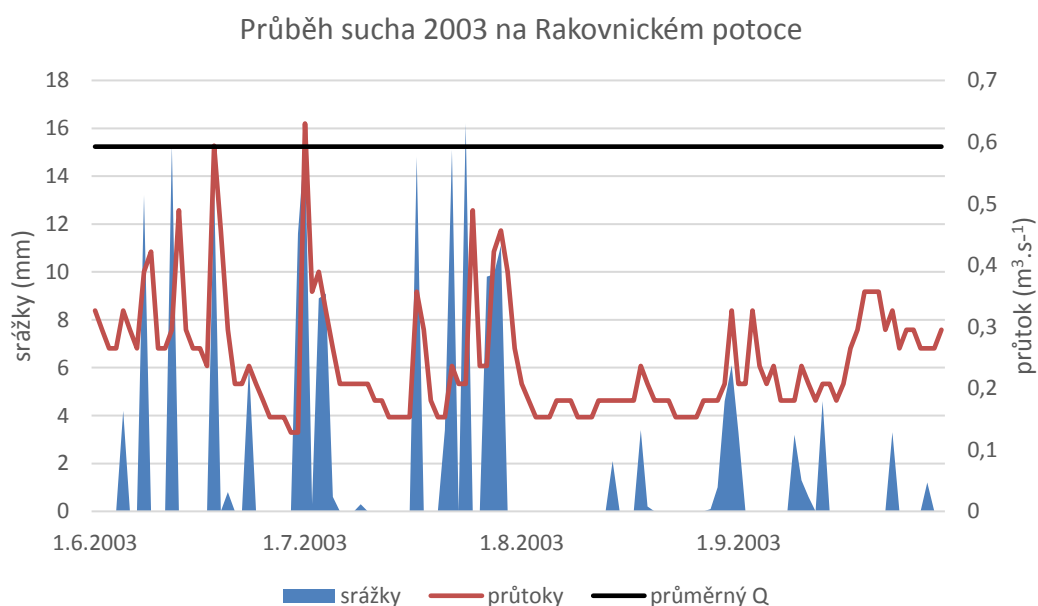
Další index hodnotící hydrologické sucho je Low flow index. Jeho hodnota vyjadřuje poměr mezi nejnižším dosaženým průtokem v daném roce a průměrným průtokem v tomtéž hydrologickém roce. Průběh indexu Low flow v letech 1970 – 2014 znázorňuje Obr. 58. Z grafu je patrné pomyslné rozdělení zkoumané datové řady na dvě charakteristická období – před rokem 1990 a po něm s velmi výrazným přechodem mezi nimi. V prvním období hodnota indexu kromě let 1978 a 1981 vždy přesahovala 0,3, kdežto ve druhém období byla tato hodnota překročena pouze v letech 1990, 1991, 1998, 2000, 2009, 2012 a 2014. Úplného minima je dosaženo v roce 2006, kdy index nabýval hodnoty 0,076.



Obrázek 58: Vývoj indexu Low flow v období 1970 - 2014.

### 12.1.1 Sucho 2003 a 2015 na Rakovnickém potoce

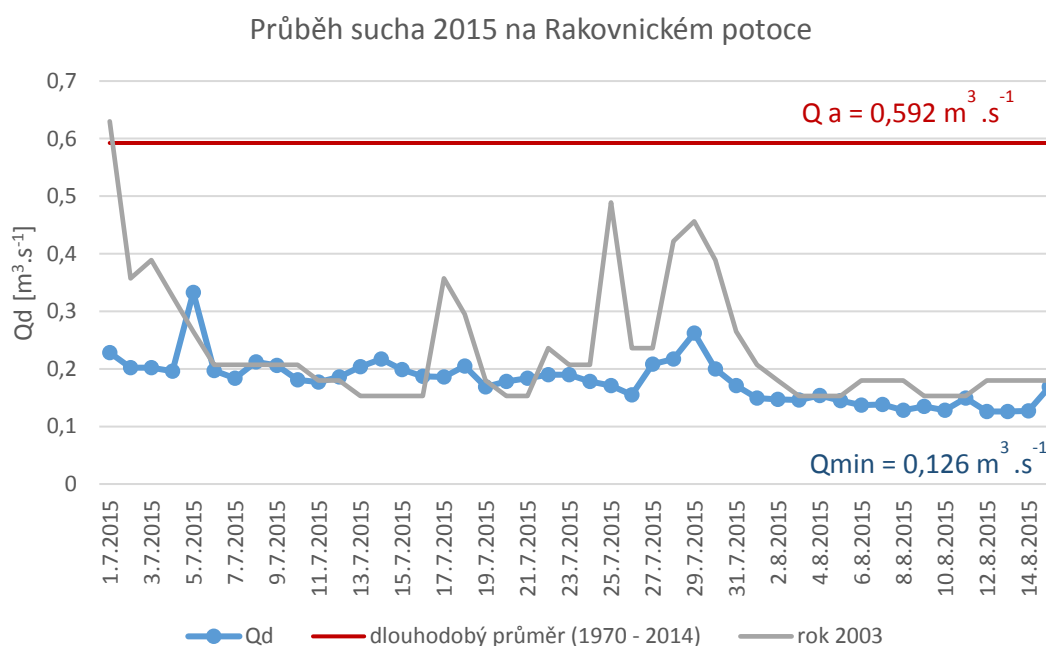
Srážková situace na povodí Rakovnického potoka byla nepříznivá již od začátku roku 2003, všechny měsíce od února do května byly významně srážkově podprůměrné. To způsobilo pokles průtoků, který se začal výrazně projevovat během května a vyústil až v dlouhodobé hydrologické sucho, které s krátkými přestávkami trvalo až do poloviny října. Ačkoli byl červen srážkově v normálu a červenec dokonce silně nadprůměrný, nestačilo to na potlačení stále více se prohlubujícího hydrologického sucha, jehož vrchol byl v srpnu, kdy na povodí Rakovnického potoka spadlo pouhých 17,5 mm srážek. Červencové srážky byly sice vydatné,



Obrázek 59: Vývoj průtoků a srážek ve stanici Rakovník, 2003. Zdroj dat: ČHMÚ.

ale jednalo se o bleskové srážky, které způsobily pouze dočasné a jednorázové zvýšení průtoků. Absolutní minimum průtoků bylo během tohoto období naměřeno poslední dva červnové dny, kdy hodnota průtoků dosahovala  $0,128 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Vývoj průtoků a srážek ve stanici Rakovník během hydrologického sucha znázorňuje Obr. 59.

Sucho 2015 mělo velmi podobný průběh jako v roce 2003, s tím rozdílem, že i červenec byl srážkově podprůměrný bez významnějších srážek na povodí. Počátek léta 2015 se již vyznačoval významně podprůměrnými průtoky, což bylo zapříčiněno nepříznivou meteorologickou situací od konce předcházejícího roku. Srážkově deficitní období, které v letních měsících pokračovalo, ještě prohlubovalo hydrologické sucho se všemi jeho následky. Vývoj denních průtoků na Rakovnickém potoce v období od začátku července do poloviny srpna znázorňuje graf na Obr. 60. Již na počátku období byl značný deficit vody ve vodních tocích trvající od konce května a tento stav pokračoval bez výraznějšího srážkového úhrnu až do poloviny srpna. Dalším nepříznivým faktorem byly i extrémně vysoké teploty, které urychlovaly výpar a úbytek akumulované vody v nádržích ještě umocnily. Pro porovnání je v grafu uvedena křivka denních průtoků za stejné období kritického sucha 2003, tam ale vidíme větší rozkolísanost průtoků, pravděpodobně díky občasným srážkám. Jako vrchol hydrologického sucha můžeme označit 12. srpen 2015, kdy průtok v Rakovnickém potoce na stanici Rakovník poklesl na  $0,126 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , tedy hluboce pod dlouhodobým průměrem  $0,592 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .



Obrázek 60: Vývoj denních průtoků během suchého období 2015 na Rakovnickém potoce. Zdroj dat: ČHMÚ.



Obrázek 61: Fotografie dokumentující průběh sucha 2015 na Rakovnickém potoce v Rakovníku. Autor: Milada Matoušková

Stejně jako v několika dalších obcích na území České republiky, bylo i v Rakovníku vydáno opatření obecné povahy zakazující odběr povrchových a podzemních vod pro účely mytí aut, zalévání zahrad či napouštění bazénů. Mimo toto opatření bylo vydáno další, které zakazovalo vstup do lesů kvůli nadměrnému riziku vzniku požárů. K několika lesním požárům během suchého období došlo, nejrozsáhlejší byl v Olešné na Rakovnicku, který zasáhl téměř 100 ha půdy lesního a zemědělského charakteru. Požár se vyprahlou půdou šířil kořenovým systémem a díky nedostatku vody byl problém s jeho uhašením, voda se musela brát ze vzdáleného zdroje. Kromě omezení obyvatelstva na odběr vody, způsobilo sucho 2015 vysoké ekonomické škody zejména v zemědělském sektoru. Charakter napřímeného koryta Rakovnického potoka v Rakovníku ukázal nevhodnost této úpravy, kdy v období s nízkými průtoky dochází ke špatnému okysličování vodního profilu a tím pádem ke zhoršení kvality vody v toku. Tento problém ovlivňuje především organismy žijící ve vodním prostředí, ale také má neblahý estetický dopad.

## 12.2 Analýza změn krajinného pokryvu

Nejen režim hydroklimatických veličin, jejich plošná a časová distribuce a dlouhodobý vývoj mají vliv na vodní bilanci v povodí. Kromě orografických faktorů jsou to hlavně lidské zásahy do říční sítě a struktury krajiny, které hrají roli v regulaci vodního režimu.

Povodí Rakovnického potoka bychom z hlediska krajinné struktury mohli rozdělit na severozápadní velmi intenzivně zemědělsky využívanou oblast a jihovýchodní část, která je součástí CHKO Křivoklátsko, krajina zde tedy není tak člověkem ovlivněna a přeměněna. Chráněné oblasti v povodí (CHKO Křivoklátsko, přírodní park Jesenicko či lesní komplexy na Džbánsku) mají pozitivní vliv na odtokové poměry v povodí. Krajinnou matricí je pro povodí Rakovnického potoka orná půda, která pokrývá více než polovinu z celkové rozlohy zájmového území, která je rovna 36 792 ha.

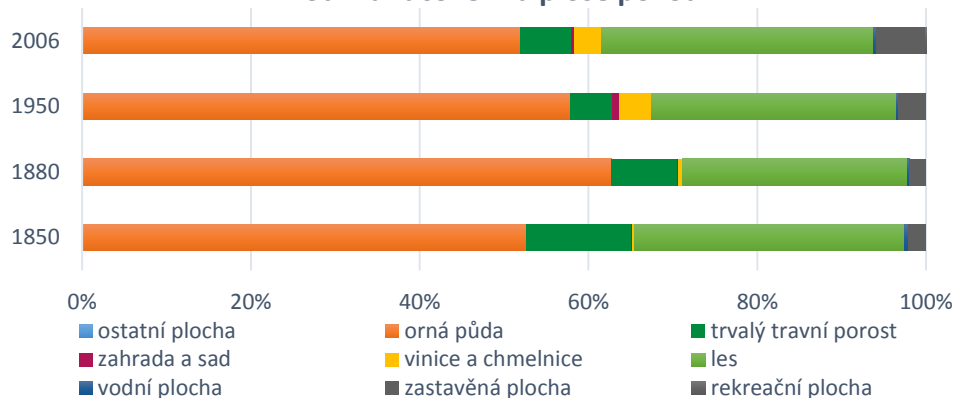
Vývoj krajinného pokryvu v celém území povodí od 2. poloviny 19. století odpovídá obecným trendům vývoje krajiny v celé České republice a je znázorněn v Tab. 17. Jedná se především o nárůst a následně od konce 19. století postupný úbytek rozlohy orné půdy, úbytek rozlohy trvalých travních porostů v důsledku intenzifikace zemědělství a jejich mírný přírůstek po roce 1990, podobným trendem se vyznačují i vodní plochy. Co se týče lesních porostů, zde je znatelná výrazná fluktuace, 2. polovina 20. století byla charakteristická významným odlesňováním, naopak konec minulého století se vyznačuje opačnou tendencí, otázkou ovšem zůstává vhodnost struktury lesního porostu, ve kterém dnes převažují smrkové monokultury. Poslední století je také typické enormním nárůstem urbanizovaných oblastí, v zájmovém povodí se jedná asi o trojnásobek původní rozlohy a ostatních ploch, jejichž plocha zde vzrostla o několiknásobek.

| rozloha (%)          | 1850  | 1880  | 1950  | 2006  | trend |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ostatní plocha       | 0,01  | 0,01  | 0,04  | 0,13  |       |
| orná půda            | 52,64 | 62,75 | 57,78 | 51,75 |       |
| trvalý travní porost | 12,46 | 7,72  | 5,03  | 6,05  |       |
| zahrada a sad        | 0,09  | 0,14  | 0,76  | 0,36  |       |
| vinice a chmelnice   | 0,28  | 0,5   | 3,84  | 3,26  |       |
| les                  | 32,01 | 26,69 | 29,09 | 32,25 |       |
| vodní plocha         | 0,48  | 0,28  | 0,2   | 0,27  |       |
| zastavěná plocha     | 2,03  | 1,91  | 3,25  | 5,82  |       |
| rekreační plocha     | 0     | 0     | 0     | 0,1   |       |

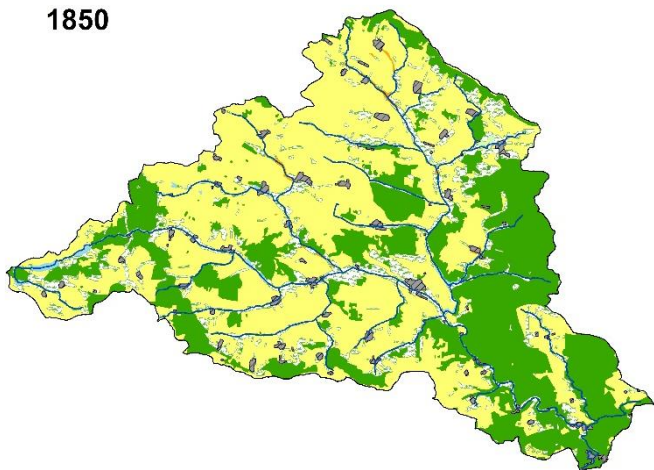
Tabulka 16: Vývoj podílu rozlohy jednotlivých krajinných pokryvů od roku 1850 do roku 2006.



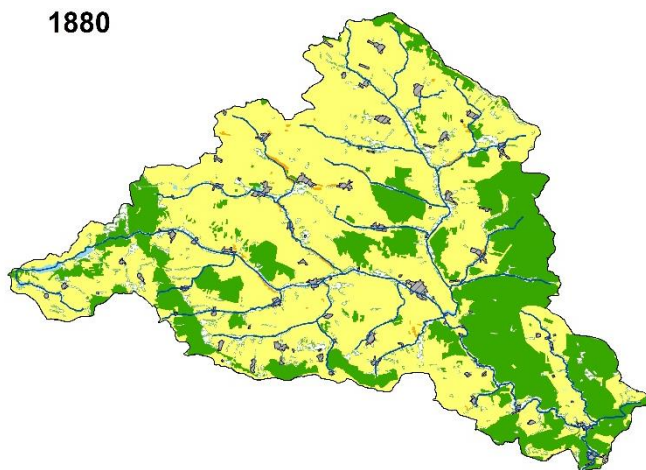
Podíl landcover na ploše povodí



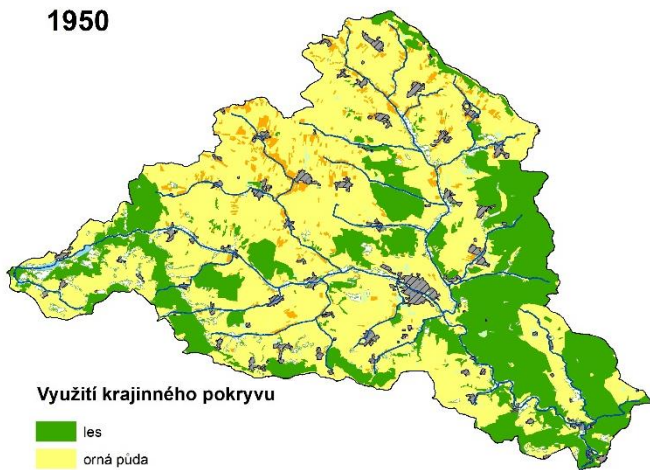
1850



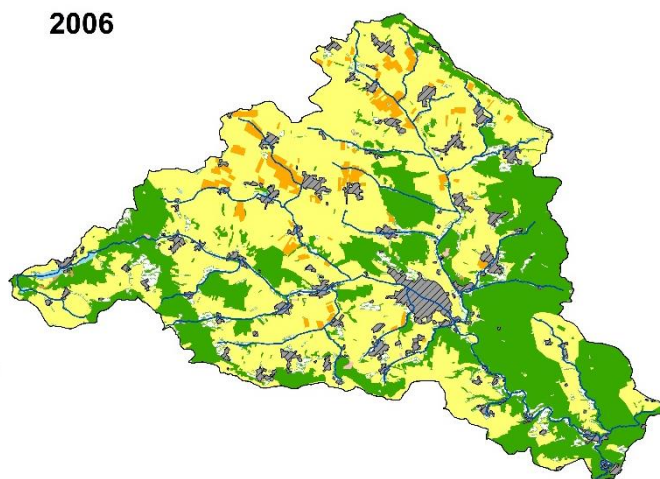
1880



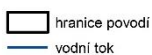
1950



2006



Využití krajinného pokryvu



Obrázek 62: Podíl landcover na ploše povodí (1850 - 2006). // Obrázek 63: Mapy charakterizující vývoj krajinného pokryvu v povodí Rakovnického potoka 1850 - 2006.

| Index změny          | 1850 - 1880 | 1880 - 1950 | 1950 - 2006 | celkem |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|--------|
| ostatní plocha       | 0,82        | 5,04        | 3,19        | 13,14  |
| orná půda            | 1,19        | 0,92        | 0,90        | 0,98   |
| trvalý travní porost | 0,62        | 0,65        | 1,20        | 0,49   |
| zahrada a sad        | 1,62        | 5,30        | 0,47        | 4,07   |
| vinice a chmelnice   | 1,79        | 7,66        | 0,85        | 11,66  |
| les                  | 0,83        | 1,09        | 1,11        | 1,01   |
| vodní plocha         | 0,60        | 0,70        | 1,38        | 0,57   |
| zastavěná plocha     | 0,94        | 1,71        | 1,79        | 2,87   |

Tabulka 17: Index změny krajinného pokryvu v povodí Rakovnického potoka.

Uvedeným trendům odpovídá i index změny, který udává, o kolik oproti předchozímu období klesla nebo stoupla rozloha dané kategorie. Plocha orné půdy se například snížila na 98 % své původní rozlohy v roce 1850, její rozloha je tedy téměř stejná na začátku a na konci sledovaného období (19 tis. ha), největší nárůst byl zaznamenán v období 1850 – 1880, během první poloviny 20. století naopak zaznamenáváme největší úbytek. Plocha trvalých travních porostů ubyla během sledovaného období o více než polovinu, z původních 4,5 tis. ha na 2,2 tis. ha, hlavně ve prospěch urbanizovaných a ostatních ploch. Razantní pokles rozlohy trvalých travních porostů je mírně kompenzován postupným opětovným zatravněním po roce 1990. Největší nárůst zaznamenala kategorie ostatních ploch, které jsou v povodí zastoupeny především různými průmyslovými areály.

Pro klasifikaci území na základě jeho ekologické stability byly spočteny dvě základní metriky – koeficient ekologické stability (KES), který udává poměr stabilních a nestabilních krajinnotvorných prvků ve zkoumaném území a stupeň ekologické stability (SES), který vyznačuje významnost krajinného segmentu pro daný ekosystém.

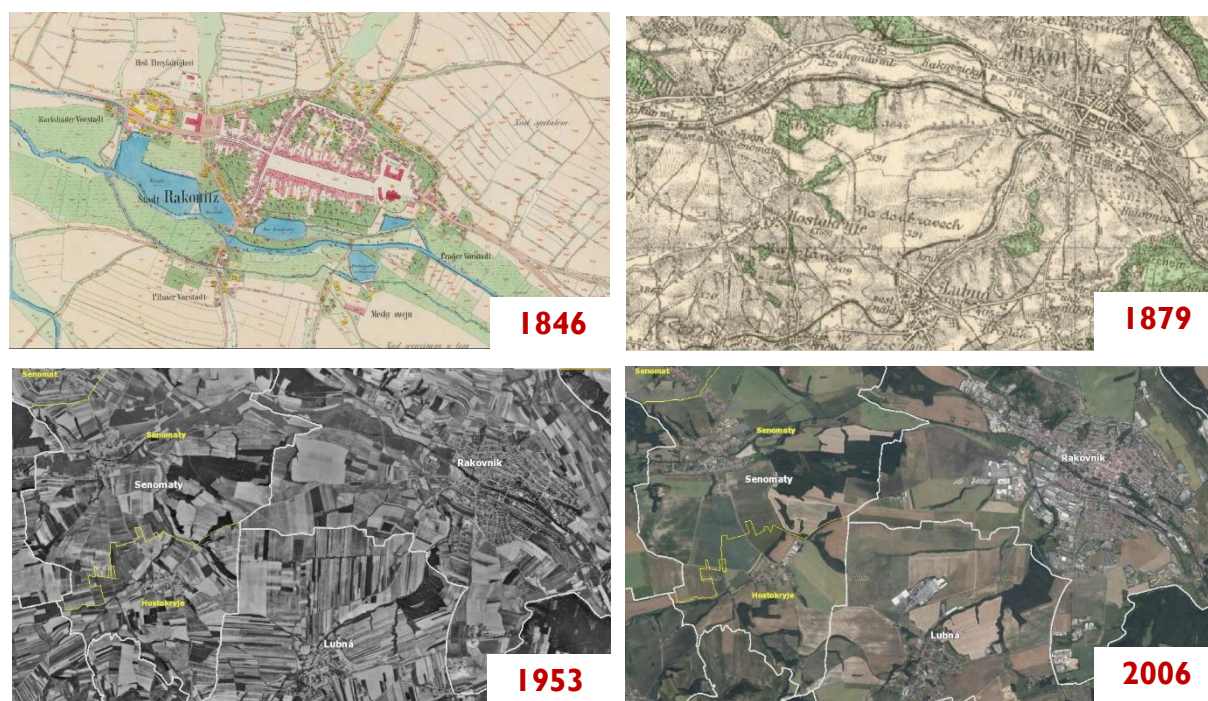
| Ekologická stabilita | 1850 | 1880 | 1950 | 2006 |
|----------------------|------|------|------|------|
| <b>KES</b>           | 0,82 | 0,53 | 0,54 | 0,64 |
| <b>SES</b>           | 1,89 | 1,68 | 1,67 | 1,72 |

Tabulka 18: Hodnoty koeficientu ekologické stability a stupně ekologické stability v povodí Rakovnického potoka.

Výsledky naznačují, že hodnocená krajina je intenzivně využívána zejména zemědělskou velkovýrobou s oslabenými autoregulačními pochody v ekosystémech, což způsobuje jejich značnou ekologickou labilitu a krajina proto potřebuje vysoké vklady dodatečné energie. Koeficient ekologické stability měl nejprve klesající charakter způsobený přechodem na intenzivní zemědělství, ke konci období se jeho hodnota zvyšuje, což je dáno především

mírným úbytkem zemědělské půdy a nárůstem lesních ploch. Problémem tohoto koeficientu je ovšem fakt, že nehodnotí konkrétní stav jednotlivých vstupních prvků, ale pouze jejich podíl. Stupeň ekologické stability má podobný vývoj, v jeho výpočtu je ale zohledněn stav jednotlivých prvků. Na škále od 1 do 5 se pak hodnotí stupeň neboli významnost krajinného segmentu. Celkový SES pro povodí Rakovnického potoka by se tedy z hlediska daného ekosystému dal definovat jako velmi malý až malý.

Změny, které mají vliv na odtokové poměry v povodí Rakovnického potoka, však nejsou změny v zastoupení jednotlivých tříd krajinného pokryvu, ale spíše v jeho struktuře. Z Obr. 64 je zřetelný vývoj mozaikovitosti krajiny v okolí Rakovníka. Rozdíl je patrný na první pohled, zejména za posledních 60 let se z mozaikovitě krajiny plné drobných plošek a enkláv, stala krajina málo heterogenní až jednotvárná.



Obrázek 64: Vývoj mozaikovitosti a struktury krajiny (1846 - 2006).

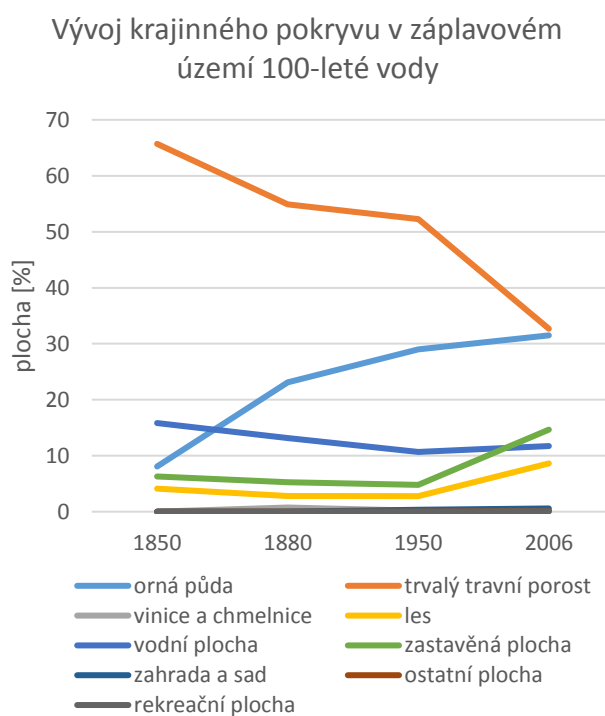
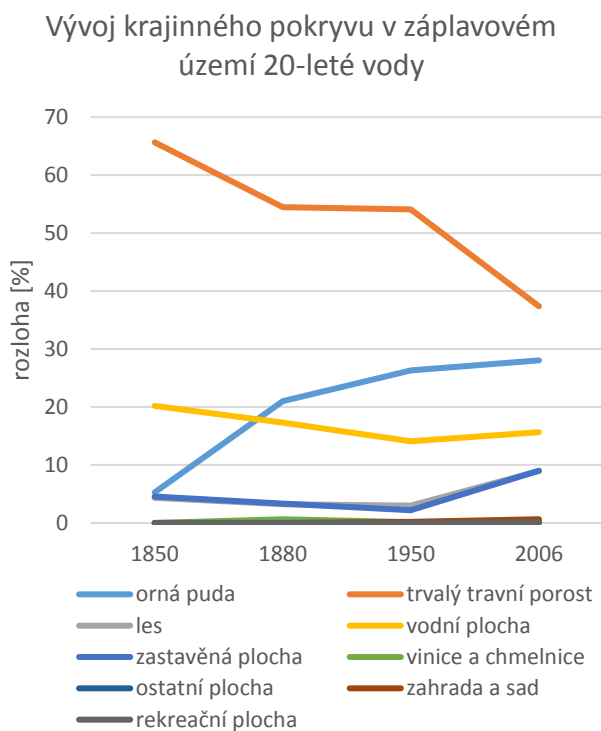
Díky nástupu moderních technologií došlo k unifikaci krajiny a z důvodu její lepší prostupnosti byla odstraňována rozptýlená zeleň, která má v krajině významnou ekostabilizační funkci. Právě scelování pozemků a jejich nevhodné obdělávání těžkou technikou, umělými hnojivy a osazování monokulturními plodinami vede, zejména v údolní nivě, ke zvýšené vodní erozi a nadměrnému znečišťování vod povrchových i podzemních. Vodní režim krajiny také velice ovlivnila plošná hydromeliorace půdy, která probíhala v 70. a 80. letech minulého století. Během postupného vývoje došlo ke ztrátě či přeměně významných krajinných prvků, jako jsou lužní lesy v údolních nivách toků, vlhkých luk, či remízků a mezí, které přispívají k celkové

funkčnosti krajiny. Ztrátou této mikrostruktury se krajina stala neprůchodnou, což má za následek úbytek či vymizení některých druhů rostlin či živočichů. Výsledkem tohoto hospodaření je také degradace půdy ve smyslu jejího zhutnění, snížení obsahu organické hmoty, zvýšení obsahu solí a cizorodých látek a zvýšení erozní náchylnosti půdy.

Odlesněné a nyní zemědělsky hojně využívané plochy polí a chmelnic často sahají bezprostředně až na břehovou hranu koryta vodních toků v povodí. To má negativní dopad především v letním období, kdy dochází ke smyvu ze zemědělské půdy a zvýšené koncentraci plavenin ve vodních tocích, což se projevuje jejich zakalením a červeným zabarvením.

Jak již bylo zmíněno v jedné z předchozích kapitol, Rakovnicko je oblastí ovlivněnou těžbou uhlí a lupků, což se také projevuje na celkovém rázu krajiny. Nachází se zde mnoho antropogenních tvarů v podobě výsypek, hald a odvalů z bývalých dolů.

Největší změny krajinného pokryvu s negativním dopadem se ale odehrály právě v říčních nivách vodních toků. V rámci zachování jejich maximální funkčnosti a retenční kapacity je vhodné je ponechat přirozenému vývoji bez zbytečných vnějších zásahů. Pak může krajina plnit svoji funkci a být významným faktorem při extrémních událostech, jako jsou povodně či sucho. Následující grafy znázorňují vývoj krajinného pokryvu od roku 1850 v záplavovém území 20-leté a 100-leté vody Rakovnického potoka.

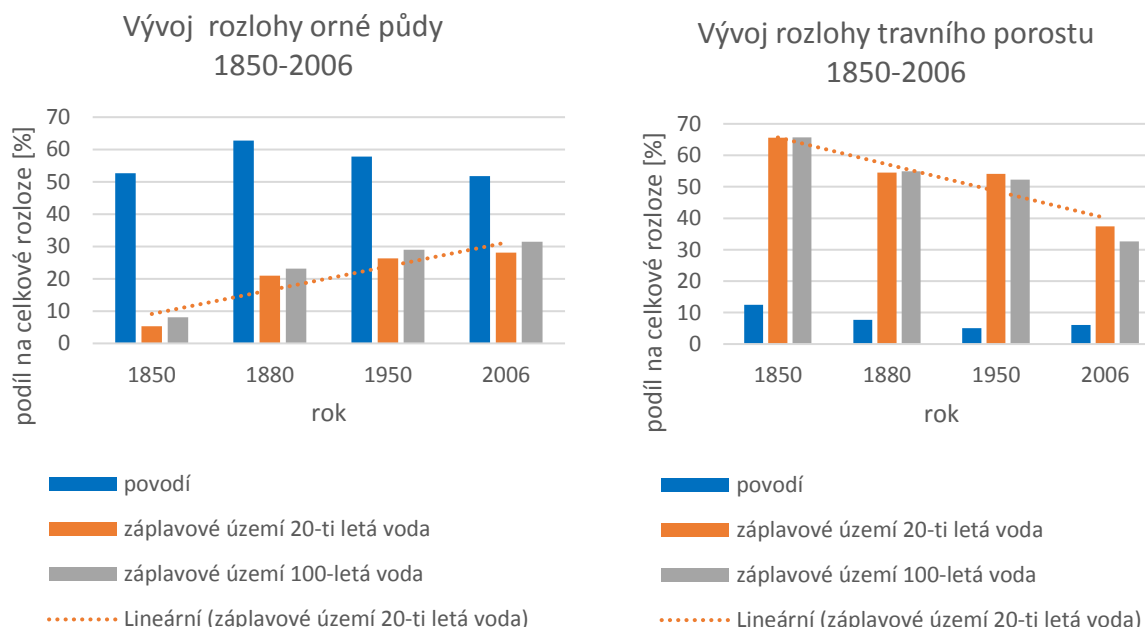


| rozloha (ha)         | 1850  | 1880  | 1950  | 2006  | trend | rozloha (ha)         | 1850  | 1880  | 1950  | 2006  | trend |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| orná půda            | 22,4  | 89,2  | 111,8 | 119,2 |       | orná půda            | 45,7  | 130,9 | 164,4 | 178,6 |       |
| trvalý travní porost | 279,0 | 231,5 | 229,9 | 158,8 |       | trvalý travní porost | 372,6 | 311,5 | 296,4 | 185,3 |       |
| les                  | 18,4  | 13,8  | 12,7  | 38,1  |       | vinice a chmelnice   | 0,0   | 4,2   | 1,0   | 0,0   |       |
| vodní plocha         | 85,8  | 73,7  | 59,9  | 66,6  |       | les                  | 23,2  | 16,0  | 15,7  | 48,9  |       |
| zastavěná plocha     | 19,4  | 14,2  | 9,3   | 38,3  |       | vodní plocha         | 89,7  | 74,5  | 60,5  | 66,6  |       |
| vinice a chmelnice   | 0,0   | 2,7   | 0,5   | 0,0   |       | zastavěná plocha     | 35,7  | 30,0  | 27,1  | 83,1  |       |
| ostatní plocha       | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,7   |       | zahrad a sad         | 0,0   | 0,0   | 2,0   | 3,2   |       |
| zahrad a sad         | 0,0   | 0,0   | 0,9   | 2,7   |       | ostatní plocha       | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,8   |       |
| rekreační plocha     | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,5   |       | rekreační plocha     | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,6   |       |

Obrázek 65: Grafy znázorňující vývoj využití krajinného pokryvu v záplavovém území 20-leté a 100-leté vody.

Tabulka 19: Tabulky uvádějící vývoj rozlohy využití krajinného pokryvu v záplavovém území 20-leté a 100-leté vody.

V obou případech došlo k enormnímu úbytku trvalého travního porostu ve prospěch orné půdy. V záplavovém území 20-leté vody se jedná o nárůst plochy orné půdy z 5 na téměř 30 %, naopak pokles rozlohy travního porostu z 65 na méně než 40 %. V záplavovém území 100-leté vody je situace obdobná, v roce 2006 byly dokonce výměry orné půdy a trvalého travního porostu téměř vyrovnané. Navíc, v obou územích se zvýšila rozloha zastavěných území a rekreačních ploch, v případě záplavové zóny 20-leté vody se jedná o zvýšení o více než čtyřnásobek původní plochy. S tím stoupl i množství nepropustných povrchů, a to má za následek nízkou infiltraci vody a zrychlený odtok vody z povodí, což se negativně projevuje zejména v suchých obdobích.



Obrázek 66: Vývoj rozlohy orné půdy v záplavové zóně 20-leté a 100-leté vody.

Obrázek 67: Vývoj rozlohy trvalého travního porostu v záplavovém území 20-leté a 100-leté vody.

Pokud se detailněji podíváme na index změny plochy jednotlivých krajinných pokryvů v záplavovém území 20-leté vody, pak zjistíme, že nárůst plochy orné půdy v této zóně se rovná 532 % původní rozlohy. Nejvyšší nárůst je zaznamenán v období mezi lety 1850 a 1880. Stejně tak můžeme pozorovat zvýšení rozlohy zastavěné plochy na téměř dvojnásobek, zde byl ale trend na počátku klesajícího charakteru, enormní nárůst byl zaznamenán až po roce 1950.

| index změny          | 1850 - 1880 | 1880 - 1950 | 1950 - 2006 | celkem |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|--------|
| orná půda            | 3,98        | 1,25        | 1,07        | 5,32   |
| trvalý travní porost | 0,83        | 0,99        | 0,69        | 0,57   |
| les                  | 0,75        | 0,92        | 3,00        | 2,07   |
| vodní plocha         | 0,86        | 0,81        | 1,11        | 0,78   |
| zastavěná plocha     | 0,73        | 0,66        | 4,10        | 1,98   |

Tabulka 20: Index změny krajinného pokryvu v záplavovém území 20-leté vody.

Koeficient ekologické stability má v záplavové zóně významně klesající tendenci. Vyvíjel se z hodnoty přesahující 9 na počátku sledovaného období, tedy přírodní až přírodě blízké krajiny s výraznou převahou ekologicky stabilních struktur a nízkou intenzitou využívání krajiny člověkem až na hodnotu 1,68, což značí krajinu vcelku ještě vyváženou, ale již značně ovlivněnou.

Stupeň ekologické stability se pomalu vyrovnává tomu, který reprezentuje celé povodí Rakovnického potoka, tedy tomu s malou až střední významností.

| ekologická stabilita | 1850 | 1880 | 1950 | 2006 |
|----------------------|------|------|------|------|
| <b>KES</b>           | 9,18 | 3,01 | 2,49 | 1,68 |
| <b>SES</b>           | 2,96 | 2,64 | 2,55 | 2,32 |

Tabulka 21: Vývoj koeficientu ekologické stability a stupně ekologické stability v záplavovém území 20-leté vody.

### **13. Návrh možných adaptačních opatření v zájmovém povodí Rakovnického potoka**

Následující kapitola má za cíl vytvořit soupis doporučených adaptačních opatření, která by mohla být aplikována v povodí Rakovnického potoka za účelem zlepšení hydrologické bilance a zvýšení akumulace vody v tomto území. Vybraná opatření vychází především z výsledků analýz provedených v této práci, účasti na diskuzích s odborníky v rámci projektu Klimadapt (Černá, 2015) a vlastního terénního pozorování. Opatření by primárně měla být zeleného charakteru, tedy environmentální opatření podporující zvýšení retenční schopnosti krajiny a dále opatření měkká, tedy posilující zejména organizační a logistickou strukturu zakotvenou v legislativě a zlepšení monitoringu hydroklimatických veličin, které mají vliv na vznik sucha, v zájmovém území. Tento přístup a kombinace vhodných opatření přináší řadu přínosů pro celkovou ekostabilizační funkci krajiny.

Prioritní opatření s přímým vlivem na odtokový režim v povodí by měla být směřována především na samotné vodní toky a jejich nivy. Základním opatřením je revitalizace v minulosti nevhodně technicky upravených toků, kam spadá i Rakovnický či Lišanský potok. Smyslem revitalizace je obnova modifikovaných koryt směrem k přírodě blízkému stavu za účelem zlepšení ekologické funkce vodních toků v krajině. Revitalizované koryto by mělo mít úměrnou kapacitu a umožňovat rozlivy velkých vod do říční nivy, které zpomalí rychlost proudění a podpoří přirozenou akumulaci vody v krajině. Profil koryta by měl být dostatečně členitý, stejně jako jeho trasa přirozeně rozvlněná. Opatření v říční nivě by měla mít podobu obnovy přirozených nivních luk, lužních lesů a doprovodných vegetačních pásů. Výsledkem provedené revitalizace je vytvoření prvků přispívajících k celkové ekologické stabilitě krajiny a zároveň prostoru pro retenci vody a nadlepšení průtoků povrchových vod. V případě povodí Rakovnického potoka se jako lokalita s potřebou revitalizace ukazuje jeho pramenná oblast nad Krtskými rybníky, kde byla v minulosti říční síť silně antropogenně transformována, byly zde provedeny četné hydromeliorační úpravy zemědělských pozemků a současně bylo upraveno koryto samotného toku. Jako nevhodnější opatření je zde navrhována revitalizace koryta a obnova přirozených doprovodných pásů břehové vegetace v minimální šíři 10 m od vodního toku. V úseku Rakovnického potoka mezi Oráčovem a Rakovníkem, který protéká intenzivně obdělávanou zemědělskou oblastí, by bylo vhodné, aby zde byl tok ponechán renaturaci, tedy samovolnému vývoji za účelem přiblížení k původnímu, přírodnímu stavu a zlepšení ekohydrologických podmínek toku. Další oblastí, kde je koryto toku napřímené,

zahloubené a uměle zpevněné, je město Rakovník a část Lišanského potoka mezi Lišany a Rakovníkem. V intravilánu není možné tok zcela ponechat samovolnému vývoji, řešením by tedy byla částečná revitalizace, která by obnášela biotechnické úpravy koryta a náhradu stávající ruderální vegetace (Matoušková, 2003).

Mezi opatření, která jsou vhodná pro realizaci v intravilánu, patří zvyšování podílu zelených ploch a budování systému infiltrace dešťové vody či její recyklace a opětovné použití. Vybudování vhodného zasakovacího systému by bylo ekonomicky velmi náročné a zdá se nerealizovatelné, určitou alternativou mohou být alespoň zasakovací příkopy a retenční nádrže. Dešťová voda pak může být použita jako užitková na zalévání zahrad, mytí aut či splachování toalet a celkově se tak sníží poptávka po vodě. V širším zázemí města je pak vhodné provádět různé terénní úpravy ve formě průlehů, rýh a teras pro zasakování a retenci vody. Zasakovací plochy a zeleň na podporu retence vody je vhodné zařadit do územního plánování obce.

V zemědělské krajině severozápadně od Rakovníka a na severu území, kde se nacházejí rozsáhlé chmelnice, je účelné budování zelených mezí, zatravnovacích pásů a výsadba liniové vegetace, které současně působí jako protierozní opatření. Tvorba těchto drobných prvků významně napomáhá ke zvýšení ekologické stability krajiny. K tomu se váže i změna systému a technologie obhospodařování zemědělské půdy s podporou ekologického zemědělství. Podpora udržitelného zemědělství spočívá ve změně osevních postupů, využívání mezplodin a celkového omezení používání chemických hnojiv.

Velmi důležitým faktorem pro všechna zmíněná opatření jsou podpůrná opatření, která spočívají primárně ve změně legislativy a např. zapracování adaptačních opatření do Plánů povodí a rozšíření monitorovací sítě v povodí Rakovnického potoka. V celém povodí se nachází pouze dvě limnigrafické stanice, stanice ČHMÚ pod Rakovníkem a stanice VÚV na Lišanském potoce, což je pro výzkum sucha nedostatečné. Vyhovujícím modelem by bylo umístění stanice na středním a na dolním toku Rakovnického potoka a minimálně po jedné stanici na velké přítoky jako jsou Lišanský a Kolečovický potok. Stejně tak je nutné sledovat i další vybrané ukazatele, jako jsou srážky či teplota, jejich vývoj a distribuci v čase i prostoru, což je pro správnou interpretaci sucha a jeho možných predikcí nezbytné.

Jedním z možných podpůrných opatření by byla úprava cenové politiky zavedením tarifů v obdobích, kdy je vody nedostatek. Toto opatření má spíše psychologický efekt na obyvatele,



aby odebírali pouze tolik vody, kolik jí skutečně potřebují. Jakékoliv nadbytečné čerpání vody na napouštění bazénu či zalévání zahrady by bylo zpoplatněno vysokým cenovým tarifem.

Mezi technická, neboli šedá opatření patří výstavba malých vodních nádrží a obnova rybníků. V současné době je již ve fázi přípravy projekt na výstavbu dvou vodních nádrží v povodí Rakovnického potoka. Tyto vodní nádrže mají za cíl zlepšení akumulace vody v povodí, samotná jejich výstavba však není dostatečná, musí však být podpořena jinými adaptačními opatřeními, aby jejich účinek byl co nejvyšší. Pouze vhodnou kombinací adaptačních opatření bude dosaženo maximálního výsledku.

Dalším žádoucím opatřením je omezení výstavby především v říčních nivách vodních toků, ale také na zemědělské půdě. Plánování výstavby by mělo probíhat ve shodě s principy udržitelného rozvoje a minimalizací suburbanizace. Pomocí účinných nástrojů územního plánování by pro výstavbu měla být preferována území klasifikovaná jako brownfields a mělo by se zamezit pronikání staveb do volné krajiny. Při stavbách nových rozsáhlých objektů, jako jsou třeba parkoviště či sklady, je vhodné využívat jiné, než nepropustné povrchy bez možnosti infiltrace nebo alespoň částečně vybudovat systém umožňující vsakování vody do půdy.

## 14. Diskuze a závěr

Hydrologické sucho je přírodním rizikem, které je nebezpečné zejména svým pomalým vývojem a dlouhodobými následky zasahující velká území. Jeho hodnocení a stanovení délky trvání je velmi složité, ale jeho dopady jsou zřetelné v malém i velkém měřítku, přímo či nepřímo postihující celou krajinnou sféru. Hydrologické sucho je způsobeno mnoha faktory, z nichž hlavní roli hraje klimatická změna, dalším neméně důležitým faktorem je míra antropogenního ovlivnění jednak samotného koryta toku, ale také okolní krajiny, která má určitou retenční kapacitu. Lidskými zásahy do krajiny dochází ke snížení její retenční schopnosti a snížení doby zadržení v krajině, což může být velmi důležitým faktorem v obdobích hydrologického sucha. Změna krajinného pokryvu je sice pouze jedním z faktorů ovlivňující vznik a průběh hydrologického sucha, přesto efektivní struktura krajinného pokryvu může zmírnit jeho dopady. Pro zvýšení akumulací kapacity v povodí Rakovnického potoka jsou účinným nástrojem tzv. zelená opatření směřujícím do niv vodních toků v kombinaci s recyklací srážkových vod pro snížení celkových odběrů vody. Zároveň je nezbytné upravit současnou legislativu, která jednoznačně vymezí intenzitu a délku trvání hydrologického sucha včetně definice jeho stupňů a postupu v krizových situacích ohrožení suchem.

Tato diplomová práce si kladla za cíl především analýzu povodí Rakovnického potoka, kde se v posledních letech stále častěji objevuje hydrologické sucho se všemi jeho projevy a dopady. Výsledkem je zhodnocení srážko-odtokového režimu a teplotních poměrů, včetně jejich vývoje a dlouhodobých trendů a zhodnocení suchých období se zaměřením na roky 2003 a 2015 včetně analýzy změn krajinného pokryvu, které se podílejí na zvýšené rychlosti odtoku z krajiny. Vstupními daty pro rozbor hydroklimatických veličin byly řady průměrných měsíčních teplot, denních srážkových úhrnů a průměrných denních průtoků. Jako hlavní úskalí spatřuji v nedostatečném pokrytí povodí měřícími stanicemi, tudíž absenci podrobnějších dat, která by byla pro analýzu vhodná. Krátká doba pozorování stanic a neúplnost časových řad byla také určitým omezením při zpracování této práce.

Hlavními metodami, které byly využity k detekci změn a trendů, jsou Man-Kendallův neparametrický test, indikátory hydrologických změn, součtové čáry a hydrogramy. Suchá období byla hodnocena pomocí vybraných indexů sucha, konkrétně odtokového indexu sucha a Low Flow indexu. Analýza výskytu a četnosti nízkých průtoků byla provedena na základě výběru průtoků nižších než  $Q_{95\%}$ . Pro zachycení vývoje krajinného pokryvu byly použity historické mapy 2. a 3. vojenského mapování, československé vojenské mapování a Základní

mapa ČR. Pro jednotlivá období byl spočten index změny a základní ukazatele ekologické stability.

Teplota je zásadní faktor ovlivňující hydrologickou bilanci zejména proto, že s rostoucí teplotou roste potenciální evapotranspirace (Vlnas, 2015). Analýza průměrných ročních teplot v období 1961 – 2014 ukazuje významné zvýšení teplot s těžištěm vzrůstu po roce 1990. Dlouhodobá průměrná roční teplota je v posledních letech překračována až o 1,5 °C. Hodnocení trendu průměrných měsíčních teplot vykazuje signifikantní nárůst především v jarním a letním období. Tento výsledek potvrzuje závěry studie Hanela (2013), který potvrdil hypotézu, že nejvíce jsou patrné změny teplot v letním období, naopak na podzim je změna minimální.

Základní veličina, která na našem území ovlivňuje velikost odtoku, jsou atmosférické srážky. Na rozdíl od teplot, hodnocení časového vývoje a trendu srážkových úhrnů neprokázalo tak jednoznačné změny. Dlouhodobý trend vykazuje stagnaci až mírné zvýšení srážkových úhrnů v povodí Rakovnického potoka. Výsledky Man-Kendalova testu ale prokázaly změnu rozložení srážek během roku, kdy ubylo jarních srážek na úkor nárůstu srážkových úhrnů v letním období, během kterého spadne polovina všech srážek v zájmovém území. Pravděpodobně použitím jiné výzkumné metody došel Kašpárek (2012) k mírně odlišným výsledkům, které říkají, že v povodí Rakovnického potoka je dlouhodobý trend stagnující, až mírně klesající. Jeho studie je ale ve shodě s interpretací zmíněné změny rozložení srážek během roku.

Odtokový režim zaznamenal během zkoumaného období (1970 – 2014) velmi výrazné změny. Celkem sedm měsíců v roce vykazuje dlouhodobě statisticky významné poklesy průměrných měsíčních průtoků. Největší změny vykazují měsíce červen a srpen. Extrémně málo vodné roky zaznamenáváme hlavně během posledního desetiletí, a to v roce 2007, 2008 a 2009. Změnou odtokového režimu se v různých modelových povodích dlouhodobě zabývá Kliment a Matoušková (2003, 2008), kteří analýzou ve velmi odlišných povodích došli k podobným závěrům a to, že během 80. let došlo k signifikantnímu nárůstu odtoku, který je ve většině případů převažován poklesem po roce 1990. Klesající trend průtoků v povodí Rakovnického potoka potvrzují i výsledky IHA analýzy, která porovnávala dvě období (před rokem 1990 a po něm). Výstupy z analýzy jasně deklarují zvýšení frekvence výskytu extrémně nízkých průtoků a zvýšení celkové variability průtoků.

Spočtené indexy sucha oba potvrzují výsledky provedené analýzy hydroklimatických veličin a IHA analýzy a to, že zejména po roce 1990 došlo k významnému poklesu průtoků a frekvence

výskytu extrémních hydrologických jevů se výrazně zvýšila. Četnost výskytu nízkých průtoků (<Q95%) je několikanásobně vyšší po roce 1990 s ohniskem mezi lety 2006 – 2009. Díky charakteristickému režimu českých řek a chodu klimatických proměnných se nízké průtoky vyskytují nejvíce v srpnu.

Vývoj krajinného pokryvu v povodí Rakovnického potoka odpovídá dlouhodobým vývojovým trendům krajiny České republiky, tak jak je uvádí Lokoč, Lokočová (2010). Krajina se přeměnila v intenzivně obdělávanou zemědělskou půdu, velmi antropogenně ovlivněnou. Unifikovaná krajina s chybějícími ekologicky významnými prvky, jako jsou remízky či rozptýlená zeleň, ztrácí svou retenční kapacitu, což se projevuje během suchých období. Změny převážně ovlivňující odtokové poměry v povodí se ale odehrály v říčních nivách toků. Během 150 let se radikálně zmenšila rozloha trvalých travních porostů na úkor orné půdy a zástavby. Přeměna původních lužních lesů v obdělávaná pole má za následek zvýšení množství nepropustných povrchů a tím zrychlení odtoku vody z krajiny.

Tato práce by měla sloužit jako podklad nejen pro správní orgány v povodí Rakovnického potoka jako možný podnět na realizaci adaptačních opatření podporující akumulaci vody v povodí a zmírnění dopadů sucha v tomto území. Povodí Rakovnického potoka je jedním z prvních území, kde se setkáváme s rozsáhlými projevy hydrologického sucha, ale vzhledem k předpokládanému vývoji, určitě ne posledním.

## 15. Seznam obrázků a tabulek

### 15.1 Seznam obrázků

|  |    |
|--|----|
| Obrázek 9: Kategorie 'suchosti'. Zdroj: Němec, Hladný (2006).....  | 9  |
| Obrázek 2: Vývoj jednotlivých druhů sucha v čase (upraveno dle NDMC, USA).....   | 11 |
| Obrázek 3: Mapa vyhodnocení průtoků v ČR podle pravděpodobnosti překročení ke dni 20. 7. 2015. Zdroj: Vlnas (2015).....  | 13 |
| Obrázek 4: Schéma mechanismů, kterými rostliny reagují na sucho. (Brázdil et al., 2015).....   | 16 |
| Obrázek 5: Roční chod hladin podzemní vody za období 1981-2010 v mělkých vrtech Charvatská Nová Ves (VB0349) a Mikulčice (VB0356). Zdroj: Soukalová, Muzikář (2015)..... | 19 |
| Obrázek 6: Rozšíření vegetace v závislosti na teplotě a srážkách. Zdroj: Hillis et al. (2014).....   | 20 |
| Obrázek 7: Změny šířky letokruhu v závislosti na množství srážek a narůstajícího stresu. Zdroj: Brázdil et al. (2015).....   | 20 |
| Obrázek 8: Vývoj počtu lesních požárů a nebezpečí jejich vzniku v České republice během sucha 2015. Zdroj: zpráva ČHMÚ (2015).....                                       | 21 |
| Obrázek 9: Využití sluneční energie v krajině bez vegetace a v krajině s dostatkem vody. Zdroj: Trnka (2010).....  | 24 |
| Obrázek 10: Suchý rok 1904 v Praze a v Děčíně. Zdroj: Tremel (2012).....   | 28 |
| Obrázek 11 (vlevo): Labe v roce 1904. ....   | 29 |
| Obrázek 12 (vpravo): Hladový kámen v Těchlovicích (1904). Zdroj: Ústecký deník.....  | 29 |
| Obrázek 13: Výstavba Orlické přehrady (1959). Zdroj: www.mrk.cz.....   | 30 |
| Obrázek 14: Vývoj průměrných denních průtoků během sucha 2003 a historická minima pro Skalici ve Varžově. Zdroj: kol. autorů ČHMÚ (2003).....                            | 31 |
| Obrázek 15: Vyjádření intenzity sucha pro Českou republiku ze dne 9. 8. 2015. Zdroj: www.intersucho.cz.....  | 33 |
| Obrázek 16: Adaptivní kapacita a její možné indikátory. (zdroj: www.klimatickazmena.cz).....   | 34 |
| Obrázek 17: Mapa lokalit akumulace povrchových vod. Zdroj: Generel LAPV (2011).....  | 41 |
| Obrázek 18: Údaje o vytípaných lokalitách a nádržích, ke kterým se zahajuje příprava realizace. Zdroj: MZe (2015).....   | 42 |
| Obrázek 19: Mapa rozmístění měřících stanic v povodí Rakovnického potoka.....  | 50 |
| Obrázek 20: Obecná charakteristika povodí Rakovnického potoka.....   | 52 |
| Obrázek 21: Hustota říční sítě v povodí Rakovnického potoka.....   | 53 |
| Obrázek 22: Geomorfologické začlenění povodí Rakovnického potoka. Zdroj: Geoportál INSPIRE.....  | 54 |

|  |    |
|--|----|
| Obrázek 23: Výšková členitost reliéfu povodí Rakovnického potoka.....  | 54 |
| Obrázek 24: Geologické podloží povodí Rakovnického potoka.....   | 56 |
| Obrázek 25: Pedologické poměry v povodí Rakovnického potoka. Zdroj: Geoportál INSPIRE.....   | 57 |
| Obrázek 26: Využití krajinného pokryvu v povodí Rakovnického potoka.....   | 59 |
| Obrázek 27: Potenciální přirozená vegetace v povodí Rakovnického potoka. Zdroj: Geoportál INSPIRE.....   | 60 |
| Obrázek 28: Rozmístění důlních děl v okolí města Rakovník. Zdroj: ČGS.....   | 62 |
| Obrázek 29: Otisk mapy císařského otisku stabilního katastru (1846) zachycující město Rakovník a jeho okolí. Zdroj: Geoportál INSPIRE.....   | 63 |
| Obrázek 30: Fotografie regulace Rakovnického potoka z počátku 20. století. Zdroj: nepublikované materiály Státního okresního archivu Rakovník a muzea T. G. M. Rakovník.....   | 64 |
| Obrázek 31: Mapa navrhovaných lokalit nádrží v povodí Rak. potoka. Zdroj: Studie proveditelnosti (2014).....   | 68 |
| Obrázek 32: Mapa umístění navrhované vodní nádrže Senomaty.....  | 71 |
| Obrázek 33: Mapa umístění navrhované vodní nádrže Šanov.....   | 71 |
| Obrázek 34: Chod průměrné roční teploty na stanici Kněževs (1961 - 2014).....  | 73 |
| Obrázek 35: Průměrný chod měsíčních teplot na stanici Kněževs (1961 - 2014).....   | 74 |
| Obrázek 36: Srovnání průměrných ročních teplot na stanici Kněževs v období 1961 - 1986 a 1987 - 2014.....  | 75 |
| Obrázek 37: Dlouhodobý průměrný roční chod srážek v povodí Rakovnického potoka (1961 - 2014)....   | 77 |
| Obrázek 38: Rozložení srážek během roku v povodí Rakovnického potoka pro období 1961 - 2014.....   | 77 |
| Obrázek 39: Průměrný roční úhrn srážek na povodí Rakovnického potoka (1961 - 2014). Červenou čarou je vyznačen lineární trend.....   | 78 |
| Obrázek 40: Hydrogram zachycující denní průtoky v limnigrafické stanici Rakovník. Černě je zobrazen dlouhodobý průměrný denní průtok ( $0,593 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), červeně klesající trend průtoků..... | 79 |
| Obrázek 41: Křivka překročení m-denních průtoků. Udává, kolik dní v roce je překročen daný průtok.....   | 80 |
| Obrázek 42 (vlevo): Roční chod průměrných měsíčních průtoků.....   | 81 |
| Obrázek 43 (vpravo): Podíl jednotlivých měsíců na celkovém ročním odtoku.....  | 81 |
| Obrázek 44: Rozložení odtoku během let 1970 - 2014.....  | 81 |
| Obrázek 45: Průměrné roční průtoky (1970 - 2014).....  | 82 |
| Obrázek 46: Křivka překročení průměrných ročních průtoků. Udává, s jakou pravděpodobností bude daný průtok překročen.....  | 82 |
| Obrázek 47: Jednoduchá součtová čára denních průtoků (1970 - 2014). Linie udává ideálně vyrovnaný průtok.....  | 83 |

|  |     |
|--|-----|
| Obrázek 48: Podvojná součtová čára (1970 - 2014).....  | 83  |
| Obrázek 49: Křivky překročení pro Rakovnický potok v období 1970 - 1990 a 1991 - 2014. Tvar a průběh křivek naznačuje pokles průtoku ve druhém období..... | 86  |
| Obrázek 50: Chod průměrných měsíčních průtoků ve dvou sledovaných obdobích. Největší rozdíl a pokles průtoků je zaznamenán v srpnu.....                    | 87  |
| Obrázek 51: 7-denní minimum pro daná období.....   | 87  |
| Obrázek 52: Dlouhodobý průběh základního odtoku s výrazně klesajícím trendem.....  | 88  |
| Obrázek 53: Četnost výskytu nízkých průtoků s výrazně stoupajícím trendem.....   | 88  |
| Obrázek 54: Počet výskytu nízkých průtoků.....   | 89  |
| Obrázek 55: Četnost výskytu nízkých průtoků v jednotlivých měsících.....   | 89  |
| Obrázek 56: Roční minima 1970 - 2014.....  | 90  |
| Obrázek 57: Vývoj indexu SDI pro jednotlivá referenční období v letech 1970 - 2014.....  | 91  |
| Obrázek 58: Vývoj indexu Low flow v období 1970 - 2014.....  | 92  |
| Obrázek 59: Vývoj průtoků a srážek ve stanici Rakovník, 2003. Zdroj dat: ČHMÚ.....   | 92  |
| Obrázek 60: Vývoj denních průtoků během suchého období 2015 na Rakovnickém potoce. Zdroj dat: ČHMÚ.....  | 93  |
| Obrázek 61: Fotografie dokumentující průběh sucha 2015 na Rakovnickém potoce v Rakovníku. Autor: Milada Matoušková.....                                    | 94  |
| Obrázek 62: Podíl landcover na ploše povodí (1850 - 2006). ....  | 95  |
| Obrázek 63: Mapy charakterizující vývoj krajinného pokryvu v povodí Rakovnického potoka 1850 – 2006.....   | 95  |
| Obrázek 64: Vývoj mozaikovitosti a struktury krajiny (1846 - 2006).....  | 98  |
| Obrázek 65: Grafy znázorňující vývoj využití krajinného pokryvu v záplavovém území 20-leté a 100-leté vody.....  | 99  |
| Obrázek 66: Vývoj rozlohy orné půdy v záplavové zóně 20-leté a 100-leté vody.....  | 100 |
| Obrázek 67: Vývoj rozlohy trvalého travního porostu v záplavovém území 20-leté a 100-leté vody.....  | 100 |

## 15.2 Seznam tabulek

|   |    |
|---|----|
| Tabulka 13: Změny využití ploch v českých zemích mezi lety 1845 – 2010 v % celkové rozlohy. Zdroj: Brázdil et al. (201.....             | 27 |
| Tabulka 14: Porovnání minimálních průtoků v letech 1904, 1947 a 2015. Zdroj: Zpráva ČHMÚ (2015).....                                    | 32 |
| Tabulka 15: Údaje o rozsahu pozorování jednotlivých stanic v povodí Rakovnického potoka včetně chybějících období. Zdroj dat: ČHMÚ..... | 49 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabulka 16: Současné zastoupení krajinného pokryvu v povodí Rakovnického potoka. Zdroj dat: Corine Land Cover 2006.....  | 59  |
| Tabulka 17: Hlavní odběry (červeně) a vypouštění (zeleně) vody v povodí Rakovnického potoka. Stav k roku 2014. Zdroj: MZe.....   | 61  |
| Tabulka 18: Navrhované lokality a jejich rozčlenění do skupin dle první etapy studie proveditelnosti (červené – nerealizovatelné; žluté – podmíněčně realizovatelné; zelené – realizovatelné). Zdroj: Studie proveditelnosti (2014)..... | 69  |
| Tabulka 19: Základní charakteristiky navrhovaných nádrží. Zdroj: Studie proveditelnosti (2014).....  | 70  |
| Tabulka 20: Základní charakteristika navrhované vodní nádrže Senomaty.....   | 71  |
| Tabulka 21: Základní charakteristika navrhované vodní nádrže Šanov.....  | 71  |
| Tabulka 22: Výsledky Man-Kendalova testu pro průměrné měsíční teploty pro stanice Kněžves a Kralovice v období 1961 - 2014. Zvýrazněny jsou měsíce, kde byl prokázán signifikantní nárůst teploty ve zkoumaném období.....               | 75  |
| Tabulka 23: Výsledky Man-Kendalova testu pro průměrné měsíční srážky na srážkoměrných stanicích v povodí Rakovnického potoka. Zvýrazněny jsou měsíce, kde se prokázal pokles srážek za pozorované období.....                            | 78  |
| Tabulka 24: Tabulka překročení m-denních průtoků.....  | 80  |
| Tabulka 25: Výsledky Man-Kendalova testu aplikovaného na průměrné měsíční průtoky. Barevně jsou označeny měsíce se signifikantním poklesem průtoků.....  | 84  |
| Tabulka 14: Výsledky IHA analýzy aplikované na denní průtoky Rakovnického potoka. Data byla rozdělena na dvě období 1970 - 1990 a 1991 - 2014.....   | 86  |
| Tabulka 15: Četnost výskytu nízkých průtoků v letech 1970 - 2014.....  | 89  |
| Tabulka 16: Vývoj podílu rozlohy jednotlivých krajinných pokryvů od roku 1850 do roku 2006.....  | 95  |
| Tabulka 17: Index změny krajinného pokryvu v povodí Rakovnického potoka.....   | 97  |
| Tabulka 18: Hodnoty koeficientu ekologické stability a stupně ekologické stability v povodí Rakovnického potoka.....   | 97  |
| Tabulka 19: Tabulky uvádějící vývoj rozlohy využití krajinného pokryvu v záplavovém území 20-leté a 100-leté vody.....   | 99  |
| Tabulka 20: Index změny krajinného pokryvu v záplavovém území 20-leté vody.....  | 101 |
| Tabulka 21: Vývoj koeficientu ekologické stability a stupně ekologické stability v záplavovém území 20-leté vody.....  | 101 |



## 16. Seznam zdrojů a literatury

### 16.1 Literatura

ALLEN, C. (2010): A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest ecology and management*, č. 4, s. 660 – 684.

BAZZA, M. (2001): Inferences of a drought mitigation action plan. Expert consultation and workshop on preparedness and mitigation in the Near East and the Mediterranean. FAO, 13 s.

BENEŠ, J. (2014): Studie proveditelnosti vodních nádrží v povodí Rakovnického potoka. XXXIV. Prihradne dni, 8 s.

BLINKA, P. (2004): Klimatologické hodnocení sucha a suchých období na území ČR v letech 1876 – 2003. Seminář Extrémy počasí a podnebí, Brno, 32 s.

BOISVENUE, C., RUNNING, S. (2006): Impacts of climate change on natural forest productivity – evidence since the middle of the 20th century. *Global change biology*, č. 12, s. 862 – 882.

BRÁZDIL, R. A KOL. (2015): Sucho v Českých zemích: minulost, současnost a budoucnost. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i., Brno, 402 s.

CIAIS, P., ET AL. (2005): Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, č. 437, s. 529 – 533.

ČERNÁ, Z. (ed.): Situační zpráva - východiska a možnosti adaptace na změnu klimatu pro Rakovník. TIMUR. 2015. 60 s.

DELPLA, I. (2009): Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environment International*, č. 35, s. 1225 – 1233.

ELLEDER, L. (2014): Historická sucha. Projekt Návrh koncepce řešení krizové situace vyvolané výskytem sucha a nedostatkem vody na území ČR. VÚV, 22 s.

FIALA, T. (2011): Vývoj nedostatkových objemů a průměrných a malých průtoků v ČR. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta. Disertační práce, 126 s.

Global Water Partnership Central and Eastern Europe (2015): Guidelines for the preparation of Drought Management Plans. Development and implementation in the context of the EU Water Framework Directive, Global Water Partnership Central and Eastern Europe, 48 s.

HEIM, R. (2002): A review of twentieth-century drought indices used in the United States. American Meteorological Society, s. 1149 – 1165.

HANEL, M. (2011): Odhad dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a možná adaptační opatření. VÚV TGM, 108 s.

HISDAL, H., TALLAKSEN, L. (2000): Drought event definition. Assessment of the regional Impacts of Droughts in Europe. Technical report n. 6, 45 s.

HOLINKA M., KOTEROVÁ V., MENHARD P. (2014): Studie proveditelnosti vodních nádrží v povodí Rakovnického potoka. Vodohospodářský rozvoj a výstavba, a.s.

HRDINKA, T. (2012): Possible impacts of floods and droughts on water quality. Journal of Hydro-environment research, č. 6, s. 145 – 150.

HRDINKA, T. (2015): Metodika pro sestavení hierarchie opatření pro jednotlivé fáze ohrožení suchem. VÚV, 12 s.

JUN, T. (2009): Combined impact of climate and land use changes on streamflow and water quality in eastern Massachusetts, USA. Journal of Hydrology, č. 379, s. 268 – 283.

KAŠPÁREK, L. (2012): Možnosti zmírnění důsledků klimatické změny zlepšením akumulací schopnosti v povodí Rakovnického potoka. VÚV, 164 s.

KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2008): Long-term trends of rainfall and runoff regime in upper Otava river basin. Soil and water research, č. 3, s. 155 – 167.

Kolektiv autorů ČHMÚ (2015): Vyhodnocení sucha na území České republiky. Předběžná zpráva ČHMÚ, 75 s.

Kolektiv autorů ČHMÚ (2003): Sucho v českých povodích v roce 2003.

Kolektiv autorů MZe (2015): Sucho – vážná hrozba pro Českou republiku. MZe, 23 s.

Kolektiv autorů MZe (2011): Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území. MZe, 153 s.

Kolektiv autorů MŽP (2009): Atlas krajiny České republiky. MŽP, 332 s.

KORABÍK, M. (2006): Mimořádné události a krizové situace vniknutí neoprávněné osoby do prostoru akumulace pitné vody. Vodovody a kanalizace Vsetín, 6 s.

LOKOČ, R., LOKOČOVÁ, M. (2010): Vývoj krajiny v České republice. Didaktický materiál. 43 s.

MACHAČ, T. (2013): Opatření v systémech zásobení vodou v době sucha. Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební. Bakalářská práce, 46 s.

MATOUŠKOVÁ, M. (2003): Ekohydrologický monitoring jako podklad pro revitalizaci vodních toků. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta. Disertační práce, 219 s.

MAROUŠKOVÁ, K. (2014): Ekohydromorfologický průzkum v povodí Rakovnického potoka. Univerzita Karlova v Praze, bakalářská práce, 64 s.

MCDOWELL, N. (2008): Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought?. *New Phytologist*, č. 178/4, s. 719 – 739.

MOŽNÝ, M. (2004): Hodnocení sucha na území ČR v letech 1891 – 2003. Seminář Extrémy počasí a podnebí, Brno, 5 s.

MRKVIČKOVÁ, M. (2012): Navrhování adaptačních opatření pro snižování dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR. VÚV, 133 s.

NALBANTIS, I. (2008): Evaluation of a hydrological drought index. *European water*, č. 23/24, s. 67 – 77.

OPPERMAN, J. (2006): Indicators of Hydrologic Alteration analysis for the Patuca River. The Nature Conservancy, 19 s.

PEŠEK, SPUDIL (1986): Paleogeografie středočeského a západočeského neogénu. Academia, nakl. Československé akademie věd, 79 s.

PETERS, E. (2005): Propagation and spatial distribution of drought in a groundwater catchment. *Journal of Hydrology*, č. 321, s. 257 – 275.

PITHART, D. (2015): Povodně a sucho – krajina jako základ řešení. *Živa*, č. 1, s. 21 – 25.

POFF, N., WARD, J. (1989): Implications of streamflow variability and predictability for lotic community structure: A regional analysis of streamflow patterns.

PUNČOCHÁŘ, P. (2014): změna klimatu a hydrologické extrémy v České republice. Ministerstvo zemědělství, sekce vodního hospodářství, nepublikovaná prezentace.

QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. Československá akademie věd, Brno.

RICHTER, B. (1996): A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology*, 10/4, s. 1163-1174.

SOLH, M. (2014): Drought preparedness and drought mitigation in the developing world's drylands. *Weather and climate extremes*, č. 3, s. 62 – 66.

SOUKALOVÁ, E. MUZIKÁŘ, R. (2015): Hydrologické sucho v podzemních vodách. *VTEI*, č. 5, s. 34 – 41.

ŠKOUDLÍNOVÁ, A. (1999): Příroda Rakovníka a jeho okolí. OÚ Rakovník, 28 s.

ŠVIHLA, V. (2014): Metodické postupy optimalizace vodního režimu uspořádáním kultur v krajině. Certifikovaná metodika. *Lesnický průvodce*, č. 9, 33 s.

TALLAKSEN, L. M. (2004): Hydrological drought – processes and estimation methods for streamflow and groundwater. *Developments in water sciences* 48, Elsevier, 580 s.

TREML, P. (2012): Největší hydrologická sucha 20. století. Workshop A. Patery – Extrémní hydrologické jevy v povodích, 8 s.

TRNKA, P. (2010): Možné důsledky déletrvajícího sucha v naší krajině a ve světě. Ústav aplikované a krajinné ekologie. Metodický materiál, 6 s.

ROŽNOVSKÝ, J. (2012): Sucho na území ČR a jeho dopady. ČHMÚ Brno, přednáška, 60 s.

Usnesení vlády č. 620 ze dne 29. 7. 2015 (materiál): Příprava realizace opatření pro zmírnění dopadů sucha a nedostatku vody. 19 str.

VLNAS, R. (2015): Návrh koncepce řešení krizové situace výskytu sucha a nedostatku vody v ČR. VÚV, 52 s.

WALUYO, H. (2015): Monitoring and prediction of hydrological drought using a drought early warning system in Pemali-Comal river basin, Indonesia. *Procedia environmental sciences*, č. 24, s. 56 – 64.

WANG, L. (2012): Analysis of the relationship between drought-flood disasters and land-use changes in west Jilin, China. *Disaster Advances*, č. 5, s. 901 – 907.

WERICK, W. (1994): Managing water for drought. U.S. Army corps of engineers, Institute for water resources. National study of water management during drought. 210 s.

## 16.2 Internetové zdroje:

Digitální báze vodohospodářských dat (DIBAVOD). Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz/> [cit: 2016-19-07]

Národní Geoportál INSPIRE a CENIA. Státní fond životního prostředí České republiky. Dostupné z: [geoportal.gov.cz](http://geoportal.gov.cz) [cit: 2016-19-07]

Geoportál SOWAK-GIS. Výzkumný ústav meliorací a půdy. Dostupné z: <http://geoportal.vumop.cz/> [cit.: 2016-19-07]

Meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS), ČMeS. Dostupný na: <http://slovník.cmes.cz> [cit.: 2016-05-04]

National Drouhgt Mitigation Center. University of Nebraska. Dostupné z: <http://drought.unl.edu/> [cit.: 2016-25-05]

Intersucho. Ústav výzkumu globální změny AV ČR. Dostupné z: [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz) [cit.: 2016-06-05]

Odběry a vypouštění. Ministerstvo zemědělství České republiky. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/voda/aplikace/odbery-a-vypousteni.html> [cit.: 2016-06-30]

Stavba Orlické přehrady. Dostupné z: [www.mrk.cz](http://www.mrk.cz) [cit.: 2016-06-05]

Meteorological Office UK. Dostupné z: [www.metoffice.gov.uk](http://www.metoffice.gov.uk) [cit.: 2016-06-05]

Rámcová směrnice o vodní politice (2000/60/ES). Evropská unie. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/zivotni-prostredi/ochrana-vody/vodni-ramcova-smernice/> [cit.: 2016-06-05]

Sucho ČHMÚ. Český hydrometeorologický ústav. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/sucho> [cit: 2016-19-07]

Zákon č. 254/2001 Sb., zákon o vodách a změně některých zákonů. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254> [cit.: 2016-06-30]

## 17. Přílohy

### Příloha I – hodnoty odtokového indexu sucha (SDI)

| hydrol. ro | K1       | K2       | K3       | K4       |
|------------|----------|----------|----------|----------|
| 1970       | -0,91418 | 0,624007 | 1,063809 | 1,716491 |
| 1971       | 0,228567 | 0,354026 | 0,656211 | 0,510728 |
| 1972       | 0,075578 | 0,085935 | 0,163001 | 0,14446  |
| 1973       | -0,34819 | -0,05714 | -0,08571 | -0,15717 |
| 1974       | -0,64827 | -0,94384 | -0,77773 | -0,75278 |
| 1975       | 0,136039 | -0,26152 | -0,37101 | -0,41045 |
| 1976       | -0,36904 | -0,65801 | -0,75076 | -0,77704 |
| 1977       | -0,5872  | -0,60964 | -0,71949 | -0,29702 |
| 1978       | 0,076451 | 0,016598 | 0,733958 | 0,604962 |
| 1979       | -0,21596 | 1,039395 | 0,727548 | 0,685543 |
| 1980       | 0,799044 | 2,036251 | 2,410538 | 2,300735 |
| 1981       | 1,529794 | 2,314388 | 2,769565 | 3,199719 |
| 1982       | 2,756744 | 2,526497 | 1,834939 | 1,409317 |
| 1983       | 0,073385 | 0,189651 | 0,013532 | 0,105341 |
| 1984       | -0,24351 | -0,37338 | -0,29364 | -0,28178 |
| 1985       | -0,09866 | -0,09828 | -0,26386 | -0,22595 |
| 1986       | 0,077089 | -0,1061  | 0,317088 | 0,209735 |
| 1987       | -0,19023 | 0,887445 | 0,711222 | 0,603072 |
| 1988       | 0,141204 | 0,473492 | 0,314034 | 0,162042 |
| 1989       | -0,20151 | -0,50498 | -0,55191 | -0,57322 |
| 1990       | -0,42805 | -0,55527 | -0,68714 | -0,72927 |
| 1991       | -0,66496 | -1,04053 | -0,95541 | -0,95896 |
| 1992       | -0,42186 | -0,7859  | -0,7813  | -0,8917  |
| 1993       | -0,77712 | -0,98568 | -0,94638 | -0,9656  |
| 1994       | -0,12536 | -0,26896 | -0,39432 | -0,31759 |
| 1995       | 0,002934 | 0,160856 | 0,658714 | 0,640439 |
| 1996       | -0,02781 | 0,040645 | 0,34263  | 0,514105 |
| 1997       | -0,08208 | -0,06648 | -0,25366 | -0,36421 |
| 1998       | -0,31519 | -0,66182 | -0,74344 | -0,71804 |
| 1999       | -0,06258 | -0,13704 | -0,31631 | -0,48873 |
| 2000       | -0,42042 | -0,35118 | -0,53007 | -0,65229 |
| 2001       | -0,83394 | -0,64619 | -0,7405  | -0,74184 |
| 2002       | -0,61474 | -0,65964 | -0,74813 | 0,037127 |
| 2003       | 4,010274 | 2,630028 | 1,511775 | 0,947699 |
| 2004       | -0,59131 | -0,75746 | -0,52756 | -0,63674 |
| 2005       | -0,29164 | 0,097803 | 0,102296 | -0,0876  |
| 2006       | -0,69822 | -0,25037 | -0,51746 | -0,68344 |
| 2007       | -1,07128 | -1,367   | -1,34913 | -1,2849  |
| 2008       | -0,76212 | -1,11253 | -1,09716 | -1,11236 |
| 2009       | -0,91775 | -1,15099 | -1,17609 | -1,1984  |
| 2010       | -0,67054 | -0,6585  | -0,63193 | -0,45491 |
| 2011       | 2,63373  | 1,893998 | 1,175751 | 1,058809 |
| 2012       | 0,141634 | -0,1655  | -0,30992 | -0,43406 |
| 2013       | 0,608682 | 0,934596 | 2,21496  | 2,287161 |
| 2014       | 0,302558 | -0,15791 | -0,33133 | -0,12234 |

