

UNIVERZITA KARLOVA

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Geografie a kartografie



Ondřej Juha

**ODTOKOVÝ REŽIM SE ZAMĚŘENÍM NA HYDROLOGICKÉ
SUCHO V POVODÍ ŘEKY LIBOC**

Runoff régime focusing on hydrological drought
in the catchment area of Liboc river

Bakalářská práce

Vedoucí práce: prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc.

Praha 2022

Zadání bakalářské práce

Odtokový režim se zaměřením na hydrologické sucho v povodí řeky Liboc

Runoff régime focusing on hydrological drought in the catchment area of Liboc river

Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je zhodnocení odtokového režimu a suchých období vzhledem k příčinné situaci (srážky) mezi lety 2002 až 2021 v povodí řeky Liboc.

- Student charakterizuje přírodní poměry v povodí se zaměřením na klimatické a hydrologické poměry.
- Prostuduje domácí a zahraniční literaturu k tématům – režim odtoku vody, hydrologické sucho.
- Získá data o denních průtocích a teplotách vody z Povodí Ohře, s.p., analyzuje z nich suché periody a určí trendy.
- Získá data z nejbližší meteorologické stanice a analyzuje z nich období meteorologického sucha.
- Popíše přehled hospodářských aktivit v povodí se zaměřením na spotřebu vody.
- Analyzuje hlavní problémy ve vztahu k nedostatku vody v povodí.

Použité pracovní metody, zájmové území a vybrané datové zdroje

Úvodní teoretická část je rešerše literatury, která se zabývá fenoménem sucha. Součástí práce je i představení fyzickogeografických charakteristik v povodí řeky Liboc. V praktické části se práce zaměřuje na zhodnocení odtokových charakteristik a hydrologického sucha pomocí metod prahové hodnoty a nedostatkových objemů. Jako vstupní data, která poskytlo Povodí Ohře, státní podnik, byly použity údaje o průměrných denních průtocích z měrného profilu Libočany.

Klíčová slova: odtokový režim; hydrologické sucho; indikátory sucha; deficitní objemy; metoda prahové hodnoty; dopady hydrologického sucha; řeka Liboc

Datum zadání: 7. 1. 2022

Jméno studenta: Ondřej Juha

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc.

Podpis vedoucího práce:

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 15.7. 2022

.....

Ondřej Juha

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucímu práce prof. RNDr. Bohumíru Janskému, CSc. a Mgr. Aloisi Burianovi za věnovaný čas, cenné rady a připomínky. Dále děkuji své rodině a přátelům, kteří mě podporovali během studia. Můj poslední, avšak neméně významný dík, patří mým spolužákům.

Abstrakt

Sucho je již několik let velmi aktuálním tématem. Hydrologické sucho vzniká především po předchozím nedostatku srážek. Povodí Liboce trpí výrazným suchem, hlavně díky jeho poloze ve srážkovém stínu Krušných hor. První část bakalářské práce se zabývá rešerší literatury, která shrnuje fyzickogeografické charakteristiky zájmového území. Následuje komplexní rešerše současných poznatků o suchu a jeho druzích, příčinách a dopadech. Dále je popsán srážkoodtokový proces zaměřený na místní klimatické poměry. Praktickou část tvoří vlastní analýza ze získaných dat za použití průměrných denních průtoků. Zde byla uplatněna metoda suchých dnů a metoda nedostatkových objemů. K podrobné analýze bylo vybráno období 2018-2020, kdy se sucho projevilo nejvýrazněji.

Klíčová slova: odtokový režim; hydrologické sucho; indikátory sucha; deficitní objemy; metoda prahové hodnoty; dopady hydrologického sucha; řeka Liboc

Abstract

Drought has been a hot topic for several years. Hydrological drought occurs primarily after the previous lack of rainfall. The basin of the Liboc River suffers from significant drought, mainly due to its location in the rain shadow of the Ore Mountains. The first part of the bachelor's thesis deals with literature research, which summarizes the physical-geographical characteristics of the area of interest. This is followed by a comprehensive research of current knowledge about drought and its types, causes and impacts. Furthermore, the precipitation-runoff process focused on local climatic conditions is described. The practical part consists of the own analysis of the obtained data using average daily flows. The dry days method and the insufficient volumes method were applied here. The period 2018-2020, when the drought was most pronounced, was selected for detailed analysis.

Key words: runoff régime; hydrological drought; indicators of drought; deficit volumes; threshold limit method; impacts of hydrological drought; Liboc river

Obsah

Seznam tabulek.....	9
Seznam obrázků.....	10
Seznam zkratk.....	12
1 Úvod.....	13
2 Charakteristika zájmového území	15
2.1 Geologické poměry	16
2.2 Hydrogeologické poměry	18
2.3 Geomorfologické poměry	19
2.4 Biogeografické poměry.....	23
2.5 Pedologické poměry	24
2.6 Klimatické podmínky	26
2.7 Hydrografie povodí.....	28
2.7.1 Hydrografické a morfometrické charakteristiky.....	32
2.8 Krajinný pokryv	37
3 Sucho.....	39
3.1 Druhy sucha	40
3.1.1 Meteorologické sucho.....	40
3.1.2 Hydrologické sucho.....	41
3.1.3 Zemědělské sucho.....	41
3.1.4 Socioekonomické sucho	42
3.2 Příčiny sucha.....	42
3.3 Důsledky sucha	43
4 Srážkoodtokový proces	47
4.1 Srážky	47
4.2 Teploty	50
5 Analýza projevů hydrologického sucha	53
5.1 Metodika	53
5.1.1 Zdroje dat.....	53
5.1.2 Použité metody	53
6 Výsledky.....	56
6.1 Variabilita průtoků.....	56

6.1.1	Denní průtoky	56
6.1.2	Měsíční průtoky a odtoky	57
6.1.3	Roční průtoky a odtoky	59
6.2	Hodnocení sucha na základě metody suchých dnů.....	64
6.3	Hodnocení sucha na základě metody nedostatkových objemů.....	65
6.4	Sucho v povodí Liboce v období 2018-2020.....	68
6.4.1	Rok 2018	68
6.4.2	Rok 2019	72
6.4.3	Rok 2020	76
7	Diskuze.....	81
8	Závěr.....	86
9	Použitá literatura a zdroje dat.....	87
9.1	Použitá literatura a internetové zdroje	87
9.2	Datové a mapové zdroje	90

Seznam tabulek

Tab. 1: Charakteristiky klimatických oblastí dle Quitta v povodí

Tab. 2: Největší vodní plochy v povodí Liboce

Tab. 3: Hodnoty charakteristik α

Tab. 4: Tabulka slovního označení hustoty říční sítě

Tab. 5: Vstupní hodnoty a vypočtené charakteristiky

Tab. 6: Krajinový pokryv a jeho změny

Tab. 7: Nejvyšší denní úhrny srážek ve vybraných stanicích v období 2020-2021

Tab. 8: Dlouhodobý teplotní normál 1991-2020 na vybraných stanicích

Tab. 9: Extrémní teploty na vybraných stanicích mezi lety 2002-2021

Tab. 10: Klasifikace vodnosti hydrologických roků

Tab. 11: Extrémní průměrné denní průtoky v období let 2002-2021

Tab. 12: Extrémní roční odtoky v období let 2002-2021

Tab. 13: Tabulka překročení M-denních průtoků

Tab. 14: Hodnocení vodnosti hydrologických let za celé sledované období

Tab. 15: Nejvyšší hodnoty nedostatkových objemů za celé sledované období

Tab. 16: Suchá období s extrémními nedostatkovými objemy

Tab. 17: Minimální a maximální hodnoty denního průtoky roku 2018

Tab. 18: Hodnoty M-denních průtoků za rok 2018

Tab. 19: Minimální a maximální hodnoty denního průtoky roku 2019

Tab. 20: Hodnoty M-denních průtoků za rok 2019

Tab. 21: Minimální a maximální hodnoty denního průtoky roku 2020

Tab. 22: Hodnoty M-denních průtoků za rok 2020

Seznam obrázků

- Obr. 1: Výškopisná a polohopisná mapa povodí řeky Liboc a jejího okolí
- Obr. 2: Výškopisné a polohopisné poměry v povodí řeky Liboc
- Obr. 3: Geologické poměry povodí řeky Liboc
- Obr. 4: Geomorfologické členění povodí řeky Liboc
- Obr. 5: Sklon svahů v povodí řeky Liboc
- Obr. 6: Jihozápadní pohled na Pětipeskou kotlinu
- Obr. 7: Bioregiony v povodí řeky Liboc
- Obr. 8: Pedologické poměry v povodí řeky Liboc
- Obr. 9: Klimatické poměry podle Quitta v povodí řeky Liboc
- Obr. 10: Rozvinutý podélný profil řeky Liboc
- Obr. 11: Odvodňované a zavlažované plochy v povodí řeky Liboc
- Obr. 12: Hustota říční sítě v povodí řeky Liboc
- Obr. 13: Mapa povodí přítoků Liboce
- Obr. 14: Krajinový pokryv povodí řeky Liboc v letech 1990 a 2018
- Obr. 15: Časový sled vývoje jednotlivých druhů sucha
- Obr. 16: Průměrný roční úhrn srážek za období 1991-2020
- Obr. 17: Roční úhrn srážek ve vybraných stanicích v období 2002-2021
- Obr. 18: Rozdíl ročního úhrnu srážek oproti normálu ve vybraných stanicích v období 2002-2021
- Obr. 19: Průměrná roční teplota vzduchu za období 1991-2020
- Obr. 20: Průměrné roční teploty na vybraných stanicích v období 2002-2021
- Obr. 21: Rozdíl průměrných ročních teplot oproti normálu 1991-2020 ve vybraných stanicích
- Obr. 22: Limnigrafická stanice Libočany
- Obr. 23: Průměrné denní průtoky za pozorované období 2002-2021
- Obr. 24: Průměrné měsíční průtoky za pozorované období 2002-2021
- Obr. 25: Průměrné měsíční odtoky za pozorované období 2002-2021
- Obr. 26: Průměrné odtoky dle ročních období za pozorované období 2002-2021
- Obr. 27: Průměrné roční průtoky za pozorované období 2002-2021
- Obr. 28: Minimální denní průtoky ve sledovaném období 2002-2021
- Obr. 29: Maximální denní průtoky ve sledovaném období 2002-2021
- Obr. 30: Křivka pravděpodobnosti překročení

- Obr. 31: Počet suchých dní v jednotlivých hydrologických letech
- Obr. 32: Rozložení suchých dní v jednotlivých měsících sledovaného období 2002-2021
- Obr. 33: Množství nedostatkového objemu v jednotlivých letech sledovaného období
- Obr. 34: Porovnání měsíčního úhrnu srážek a průtoku v roce 2018
- Obr. 35: Průměrné denní průtoky roku 2018
- Obr. 36: Průměrné měsíční průtoky roku 2018
- Obr. 37: Podíl jednotlivých měsíců na celkovém ročním odtoku v roce 2018
- Obr. 38: Křivka překročení M-denních průtoků za rok 2018
- Obr. 39: Porovnání úhrnu srážek a průtoku v roce 2019
- Obr. 40: Průměrné denní průtoky roku 2019
- Obr. 41: Průměrné měsíční průtoky roku 2019
- Obr. 42: Podíl jednotlivých měsíců na celkovém ročním odtoku v roce 2019
- Obr. 43: Křivka překročení M-denních průtoků za rok 2019
- Obr. 44: Porovnání úhrnu srážek a průtoku v roce 2020
- Obr. 45: Průměrné denní průtoky roku 2020
- Obr. 46: Průměrné měsíční průtoky roku 2020
- Obr. 47: Podíl jednotlivých měsíců na celkovém ročním odtoku v roce 2020
- Obr. 48: Křivka překročení M-denních průtoků za rok 2020
- Obr. 49: Průměrné měsíční průtoky za roky 2018-2020
- Obr. 50: Liboc v obci Pětipsy v lednu 2022
- Obr. 51: Liboc v obci Pětipsy v červnu 2022
- Obr. 52: Projevy sucha v obci Pětipsy v červnu 2022

Seznam zkratek

AOPK	Agentura ochrany přírody a krajiny ČR
AVČR	Akademie věd České republiky
ČGS	Česká geologická služba
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČSAV	Československá akademie věd
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DIBAVOD	Digitální báze vodohospodářských dat
HEIS	Hydroekologický informační systém
MZe	Ministerstvo zemědělství České republiky
NDMC	National Drought Mitigation Centre
NPR	Národní přírodní rezervace
OSN	Organizace spojených národů
PP	Přírodní památka
PR	Přírodní rezervace
VN	Vodní nádrž

1 Úvod

Voda je základní podmínkou života. Známe ji v kapalném, plynném a pevném skupenství, pokrývá 70,7 % povrchu Země. Naši planetě dala i název – „Modrá planeta“. První člověk ve vesmíru, Jurij Gagarin, při svém pobytu na oběžné dráze v roce 1961 prohlásil: „Vidím modrou planetu.“ (Janský 2017). Vodu v civilizovaném světě vnímáme jako samozřejmost, ovšem bez ní bychom jako lidstvo nemohli existovat. Vlastně nejenom my. Bez vody by nebyl žádný život, voda je nedílnou součástí všech organismů. Používáme ji k mytí, pijeme ji, vaříme s ní, používáme v průmyslu, v zemědělství či k výrobě elektřiny. Je to živel, který dává, ale i bere život. Při velkém množství vody v krajině vznikají povodně, které ničí infrastrukturu, domy, auta a mnohdy i zabíjí. Pokud je ale v krajině málo vody, nastává sucho, umírá vegetace, živočichové nemají co jíst, usychá úroda a vegetace, zemědělci nemají co sklízet a může nastat hladomor. Tyto dva extrémy vedly lidstvo k tomu, že s vodou začalo hospodařit. Již staří Římané stavěli několikakilometrové vodovody. Dnes lidé budují obrovské přehrady, které zadržují velké množství vody pro případ sucha a v případě potřeby dokážou zmírnit průběh povodní. I přes tato opatření voda v krajině ubývá, ve světě trpí vodním stresem 2 miliardy lidí, 1,2 miliardy nemá přístup k nezávadné pitné vodě (Janský 2017).

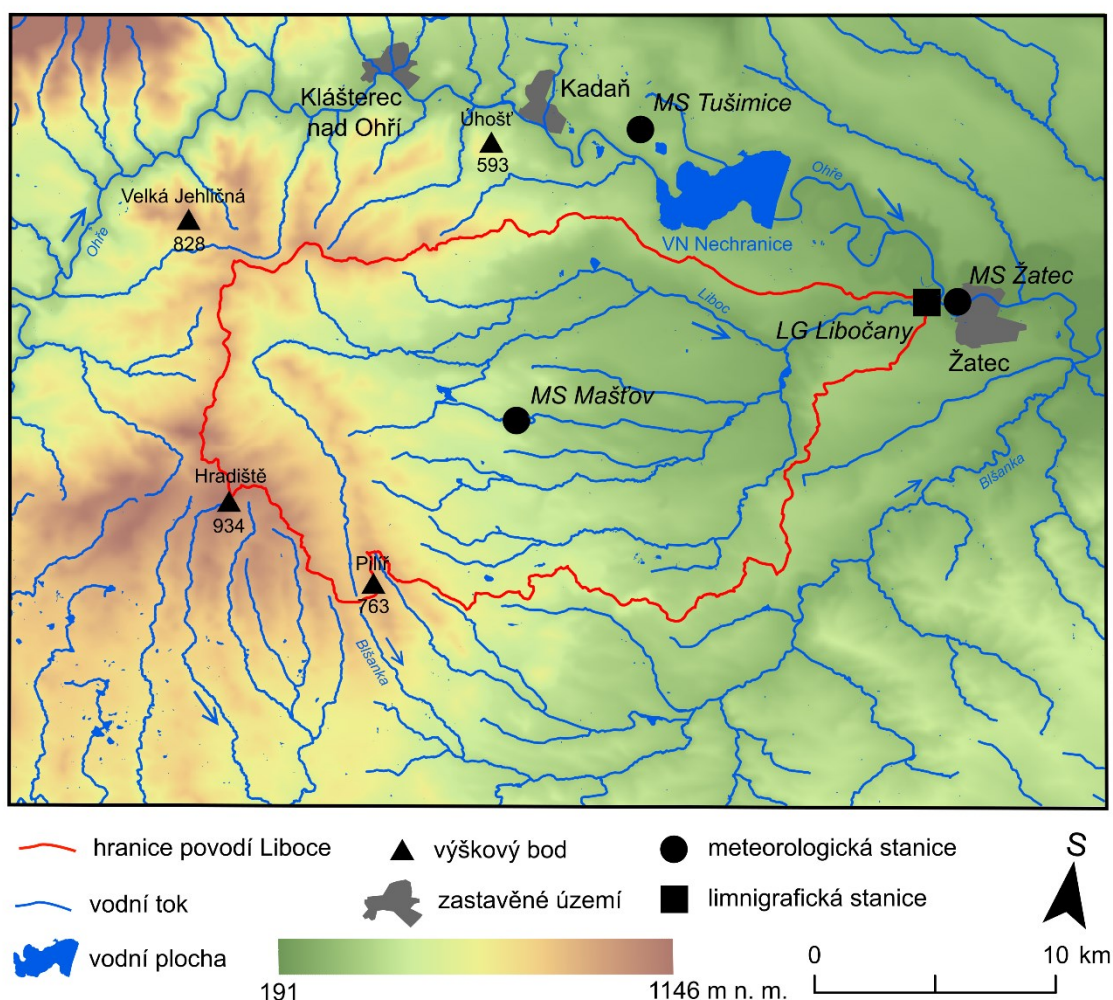
Česko, jakožto pomyslná „střecha Evropy“ na úmoří tří moří, Severního, Baltského a Černého moře, je závislé především na atmosférických srážkách. Sucho se v českých zemích vyskytovalo již před dávnými časy. Důkazem toho jsou tzv. „hladové kameny“, kam si naši předkové při velmi nízkých stavech hladiny zaznamenávali letopočty a značky minimální hladiny. Byly to výrazné balvany či části skalního podloží vystupujících z koryt řek. Nejznámější „hladový kámen“ se nachází v Děčíně se záznamem z roku 1159 (Žalud 2021). V minulém století bylo vybudováno několik vodohospodářských staveb (VN Nechanice, Orlický náhon, Slapy, Lipno, ...), které mají za úkol zadržet vodu. Naopak nevhodnými postupy v lesnictví a zemědělství, především při kolektivizaci a velkoplošném zemědělství, došlo k omezení retence vody v krajině a k erozi půdy, další důležité složky pro život. Dále docházelo k napřimování toků, které má za následek rychlý odtok vody z krajiny. Uvedené faktory jsou jednou z příčin nedostatku vody v krajině.

Cílem této práce je analyzovat odtokový režim s využitím metody prahové hodnoty a metody nedostatkových objemů ve sledovaném období a posoudit jeho závislost

na srážkách. Dle dostupných informací bylo v Česku nejvýraznější sucho v letech 2015 a 2018. V této práci bude ověřeno, zda i v povodí Liboce patřily uvedené roky k nejsušším.

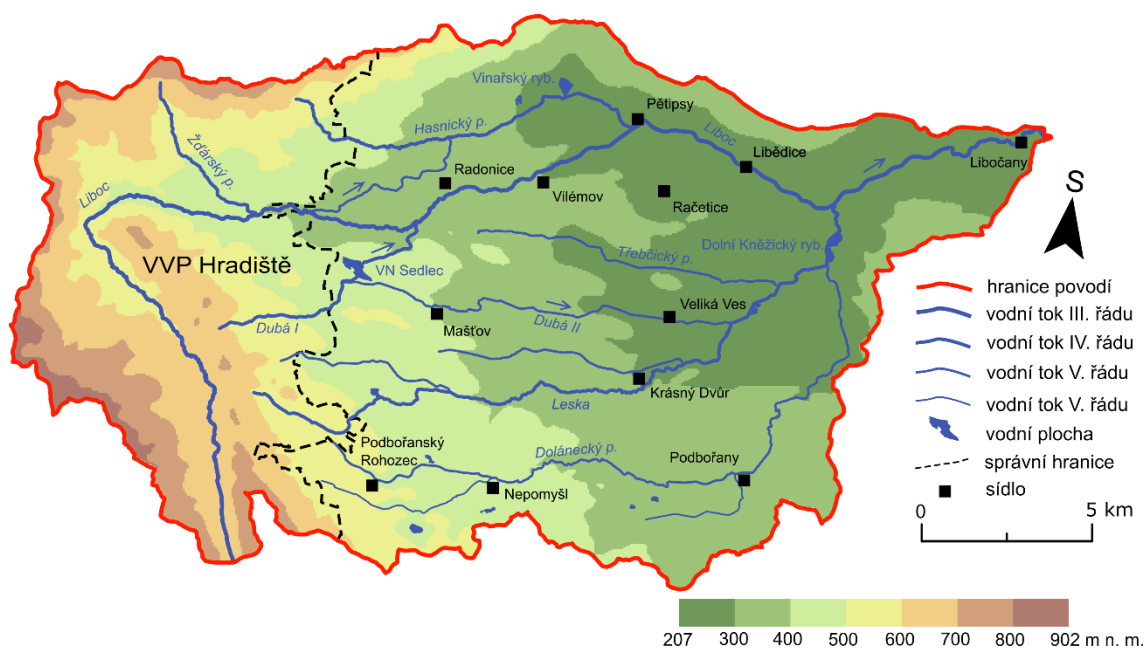
2 Charakteristika zájmového území

Povodí řeky Liboc, původním názvem Hlineč, Aubach (Matějů, Hradecký, Melichar 2016), se nachází v západních Čechách, konkrétně ve východní části okresu Karlovy Vary, jižní části okresu Chomutov a v západní části okresu Louny. Liboc a její přítoky odvodňují východní část Doupovských hor. Liboc je pravostranným přítokem řeky Ohře, pramení ve slatinách na svahu Pilíře (763 m n. m.) nedaleko od prameniště Blšanky. Z Doupovských hor odtéká u Kadaňského Rohozce a pod nádrží Nechranice u obce Libočany ústí v nadmořské výšce 204,65 m n. m. do řeky Ohře (obr. 1). Horní část toku protéká vojenským výcvikovým prostorem Hradiště, střední a dolní tok protíná zemědělsky využívanou oblast Kadaňska a Žatecka, pro kterou je řeka Liboc a její přítoky významným zdrojem vody zvláště pro závlahy okolních polí a chmelnic.



Obr. 1: Výškopisná a polohopisná mapa povodí řeky Liboc a jejího okolí (zdroj: ArcČR 500, DIBAVOD)

Podél toku se nachází několik sídel, lze uvést například Radonice, Vilémov, Pětipsy, Libědice, Libočany či dnes již zaniklé město Doupov. Plocha povodí činí 339,53 km². V povodí se nachází 198 vodních ploch s celkovou rozlohou přes 131 ha, největší z nich je vodní nádrž Sedlec (obr. 2).



Obr. 2: Výškopisné a polohopisné poměry v povodí řeky Liboc (zdroj: ArcČR 500, DIBAVOD)

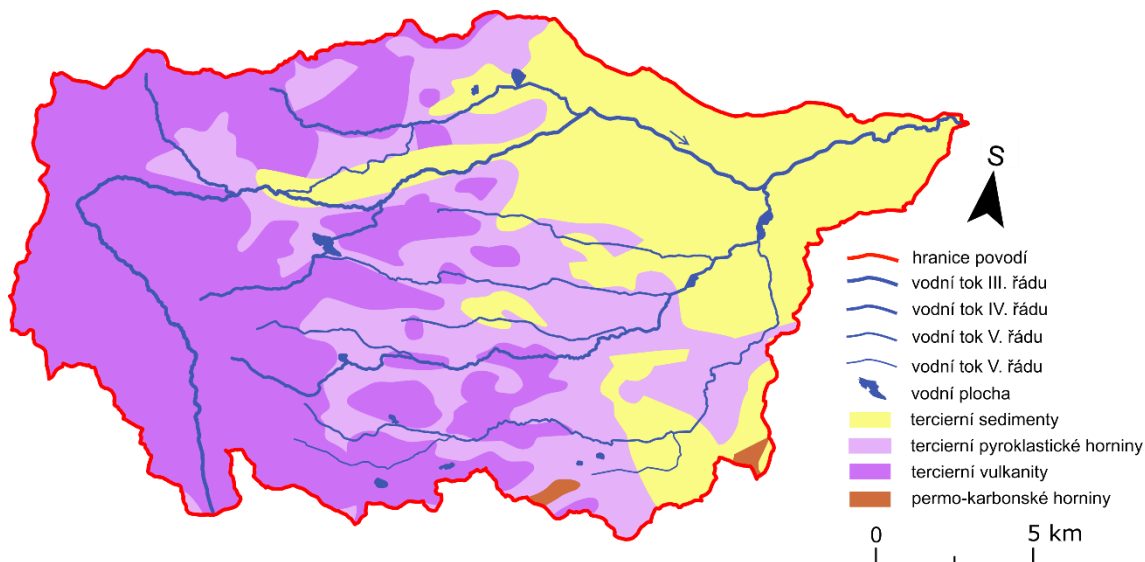
2.1 Geologické poměry

Povodí Liboce spadá do území Českého masivu, který představuje obrovskou geologickou jednotku. Jedná se o pozůstatek hercynského (variského) pohoří, který vznikl od středního devonu do svrchního karbonu. Vznikl srážkou dvou kontinentálních desek – Gondwany a Laurasie, je tvořen hlavně horninami prekambriického a paleozoického stáří. Rozloha Českého masivu je větší než rozloha Česka, neboť se rozkládá i na území Slovenska, Rakouska a Polska (Chlupáč 2011).

Hlavní geologické procesy se odehrávaly ve třetihorách, což souvisí s alpskými horotvornými procesy. Po vyklenutí Českého masivu došlo v oslabené severozápadní části k tektonickému kolapsu – vzniku příkopu v severovýchodním až jihozápadním směru, na rozhraní mezi saxothuringikem a bohemiem, který se označuje jako podkrušnohorský

prolom nebo také oherský rift. Právě podél něj došlo k oživení vulkanické činnosti v areálu riftu od bavorské Horní Falce přes Doupovské hory a České středohoří až do Lužice, následně zde docházelo k sedimentaci a vzniku podkrušnohorských pánví (Chlupáč 2011).

Západní část povodí tvoří třetihorní vulkanické horniny, východní část třetihorní sedimentární a jižní část permo-karbonské horniny, viz obrázek 3.



Obr. 3: Geologické poměry povodí řeky Liboc (zdroj: DIBAVOD, ČGS)

Doupovské hory jako geologický fenomén s rozlohou přes 600 km² a mocností vulkanických hornin až 500 m je největší vulkanický celek v Českém masivu. Vulkanická stavba vznikala hlavně v období starších třetihor (oligocénu až miocénu). Hlavní vulkanické centrum mělo charakter štítového vulkánu, který byl aktivní před 23 až 34 miliony let (Matějů, Hradecký, Melichar 2016). Pohoří je tvořeno denudační deskou mohutného stratovulkánu tvořenou čedičovými horninami a jejich pyroklastiky. Spraše a příbuzné uloženiny se nachází především na východním úpatí (Culek a kol. 1996). Dochází zde k těžbě nerostných surovin, například kaolinu nedaleko Krásného Dvorcečku či kamene v lomu Úhošťany.

Mostecká pánev, která má rozlohu přes 1000 km², je největší a nejvýznamnější podkrušnohorskou pánví (Pešek 2010). Je tvořena jílovitými a písčitými sedimenty s mocnými slojemi hnědého uhlí (Culek a kol. 1996). Od ostatních pánví se liší svou větší rozlohou, mocností sedimentů až 700 metrů, ale i tím, že do ní v miocénu od JV průkazně ústily vodní toky. Ve spodním miocénu došlo ke vzniku hlavní hnědouhelné sloje s mocností až 50 metrů. V nadloží sloje se nachází až 350 metrů mocná vrstva jílovitých a písčitých

uloženin (Chlupáč 2011). V Mostecké pánvi se těží hnědé uhlí, které je dodáváno do blízkých elektráren Tušimice a Prunérov, dále se v lokalitě Roztyly těží šterkopísky.

2.2 Hydrogeologické poměry

Povodí Liboce je situováno v hydrogeologických rajonech Mostecká pánev – jižní část a v rajonu Krystalinikum v mezipovodí Ohře po Kadaň.

V Mostecké pánvi se až na výjimky nevyskytovaly žádné významné hydrogeologické kolektory, režim podzemních vod je ovlivňován důlní činností. Výjimkou bylo území s rozšířením především písčitých sedimentů v nadloží uhelné sloje - tzv. Bílinská delta či Žatecká delta (Pešek a kol. 2010), která je tvořena střídajícími se vrstvami jemných písků a písčitých jílu o mocnosti 400 až 450 m a je využívána jako zdroj pitné vody pro Žatec (Hynie 1961). Podzemní vody z těchto kolektorů mají celkovou mineralizaci 0,5–1,0 g.l⁻¹. Důlní těžbou bylo aktivováno proudění v krystalinických horninách v podloží a v okolí pánve. Těžbou se narušila vodotěsnost miocenní výplně pánve a zároveň došlo k výraznému zrychlení oběhu podzemních vod. Nebezpečí pro těžbu představují průvaly v místech akumulace podzemních vod, které se nacházejí v lokalitách původní hlubinné těžby (Pešek a kol. 2010).

Doupovské hory jsou tvořeny neovulkanity, které se vyznačují puklinovou a průlinovou propustností především v pyroklastikách. Vzhledem k tomu, že pyroklastika jsou zde převážně jemnozrnná, je jejich propustnost nízká a zvodnění velmi malé. Kvůli existenci vojenského újezdu, minimálnímu osídlení a malému využití zde bylo postaveno jen malé množství hydrogeologických objektů. Rajon se vyznačuje minimální hydrogeologickou prozkoumaností. Výjimkou jsou objekty pro jímání vody pro vojenská zařízení a menší obce či pro jímání minerálních vod především v severní části Doupovských hor. Podzemní vody jsou v oblasti výhradně srážkového původu, voda je vázána na pukliny a průliny. V převážné části Doupovských hor se vyskytuje režim podzemních vod se sezónním doplňováním a zmenšováním zásob podzemní vody. Především v povodích pravostranných přítoků Liboce dochází k celoročnímu doplňování zásob podzemních vod. Doplňování zásob je tedy závislé na množství a rozdělení srážek během roku. Doupovské hory se vyznačují množstvím pramenů minerálních vod a náleží do tzv. západočeské zřídelní oblasti minerálních vod. Tvorba kyselých probíhá v puklinovém systému rul, žul a neovulkanitů v hloubce přes 200 m, kde dochází k obohacení prostých vod o minerály

a sycení hlubinným CO₂. Jedná se o studené, silně až středně mineralizované minerální vody s obsahem rozpuštěných látek od 0,5 do 4,5 g.l⁻¹ se stopovými prvky železa, sodíku, fluoru či lithia a obohacené oxidem uhličitým zpravidla nad 1 g.l⁻¹. Nejvýznamnější prameny se nachází v údolí řeky Ohře, kde se stácejí známé minerální vody – Mattoni v Kyselce, Korunní nedaleko obce Stráž nad Ohří. Mezi méně známé prameny lze zařadit například pramen Evženie v Klášterci nad Ohří. Ve východní části Doupovských hor, v blízkosti toku Liboce, v obci Žebetín se nachází pramen vrtem zachycené kyselky s vydatností cca 1 l.s⁻¹, mineralizací 1,62 g.l⁻¹ a obsahem juvenilního CO₂ nad 3 g.l⁻¹. Zhruba 5 km od něj se v obci Kojetín nachází další pramen, který má nepatrnou vydatnost (pod 0,1 l.s⁻¹), vysoký obsah železa, mineralizací 0,7 g.l⁻¹ a obsah CO₂ 1,6 g.l⁻¹. Oba prameny jsou využívány pouze sporadicky (Matějů, Hradecký, Melichar 2016).

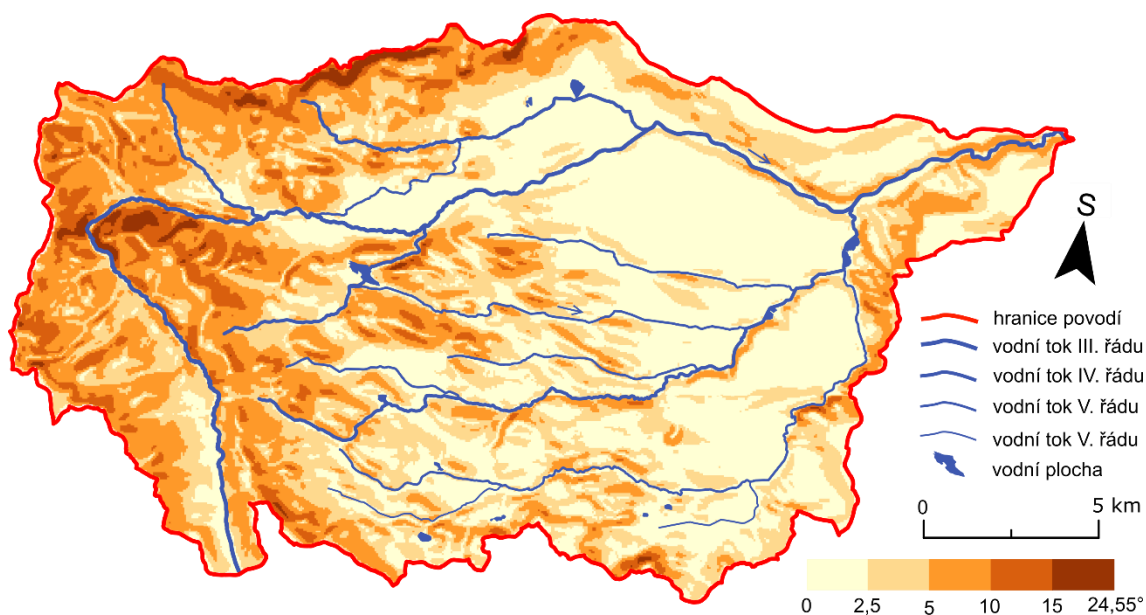
2.3 Geomorfologické poměry

Povodí řeky Liboc náleží do geomorfologické provincie Česká vysočina, která zabírá většinu území Česka, konkrétně do Krušnohorské soustavy, která má rozlohu 6983 km² a podílí se tak 8,9 % na ploše Česka (Bína, Demek 2012). Je součástí eurasijské litosférické desky, která vznikla během paleozoika variským vrásněním. Od mezozoika byl povrch postupně denudován, v paleogénu získal povrch tvar kotliny především díky kerným pohybům, v pliocénu začala říční síť nabývat dnešní podoby (Demek, Mackovčín 2014). Území povodí se nachází v Podkrušnohorské podsoustavě, konkrétně ve dvou celcích: Doupovské hory a Mostecká pánev (obr. 4).



Obr. 4: Geomorfologické členění povodí řeky Liboc (zdroj: DIBAVOD, ČÚZK)

Doupovské hory vytvářejí kompaktní celek s typickým reliéfem vulkanické hornatiny. Výšková členitost se pohybuje mezi 200 až 500 m, v okrajových částech je výšková členitost nižší, mezi 150 až 300 m, střední sklon reliéfu je $7^{\circ}56'$ (obr. 5). Rozloha Doupovských hor je 607 km², střední výška činí 558,2 m n. m. Nejvyšší bod je Hradiště (933,8 m n. m.), nejnižší bod je hladina Ohře u Kadaně (275 m n.m.). Celek se dělí na tři okrsky – Jehličenskou hornatinu, Hradištskou hornatinu a Rohozeckou vrchovinu (Demek, Mackovčín 2014), všechny zasahují do povodí Liboce.



Obr. 5: Sklon svahů v povodí řeky Liboc (zdroj: ArcČR 500, DIBAVOD)

Jehličenská pánev je plochá hornatina s rozlohou 215,7 km², tvořena je z třetihorních lávových výlevů a pyroklastických uloženin, nejvyšším bodem je Velká Jehličná s nadmořskou výškou 827,8 m. Součástí celku je národní přírodní rezervace Úhošť, čedičový vrch se vzácnou teplomilnou květenou (Demek, Mackovčín 2014).

Hradištská hornatina je plochá hornatina s rozlohou 224,08 km², s asymetrickým horským hřbetem, který obklopuje ústřední sníženinu Doupovské kotliny na horním Liboci. Tvořena je z třetihorních hornin a pyroklastických uloženin. Nachází se zde prameny Liboce a Blšanky (Demek, Mackovčín 2014).

Rohozecká vrchovina je členitá vrchovina s rozlohou 196,92 km². Je tvořena z třetihorních pyroklastik a výlevů. Byla silně rozčleněna denudací a erozí s jednotlivými strukturními hřbety a izolovanými vrchy. Nachází se zde tabulové hory, sopečné kupy a kužele (Demek, Mackovčín 2014).

Do povodí Liboce zasahují tři geomorfologické okrsky z Mostecké pánve (Demek, Mackovčín 2014). Jsou to Pětipeská kotlina, Novosedelské terasy a Čeradická plošina spadající do podcelku Žatecká pánev, jejíž osu tvoří údolí řeky Ohře. Vyznačuje se plochým až mírně zvlněným dnem pánve, které se postupně zvyšuje k okrajům vyššího terénu. Místy vystupují nepřilíš vysoké magmatické suky (Bína, Demek 2012).

Pětipeská kotlina (obr. 6) je strukturně a tektonicky podmíněná sníženina o rozloze 86,43 km². Je charakteristická říčními terasami či antropogenními tvary (pinky, lomy). Pánev je z největší části pokryta ornou půdou. Nachází se zde přírodní park Vinařský rybník, významná ornitologická lokalita (Demek, Mackovčín 2014).



Obr. 6: Jihozápadní pohled na Pětipeskou kotlinu; na horizontu jsou patrné Doupovské hory (zdroj: vlastní fotografie)

Novosedelské terasy je stupňovina akumulčních teras, nachází se ve střední části Žatecké pánve. Má rozlohu 21,29 km². Jedná se o reliéf ze středopleistocenních a mladopleistocenních teras Ohře a opuštěných údolních meandrů. V západní části se nachází vodní nádrž Nechranice s největší sypanou hrází v ČR, která je i významnou ornitologickou lokalitou (Demek, Mackovčín 2014).

Čeradická plošina je členitá pahorkatina s rozlohou 173,68 km² nacházející se v jihozápadní části Žatecké pánve. Je tvořena převážně z miocenních jíílů, písků, pískovců, uhelných slojí či granulitových rul. Převládá orná půda a chmelnice. Nachází se zde přírodní park Želinský meandr – hluboce zaříznuté údolí řeky Ohře do krystalinika, dále PP Sluňáky – skupina balvanů křemene a křemitých pískovců s charakteristicky zvětralým povrchem (Demek, Mackovčín 2014).

2.4 Biogeografické poměry

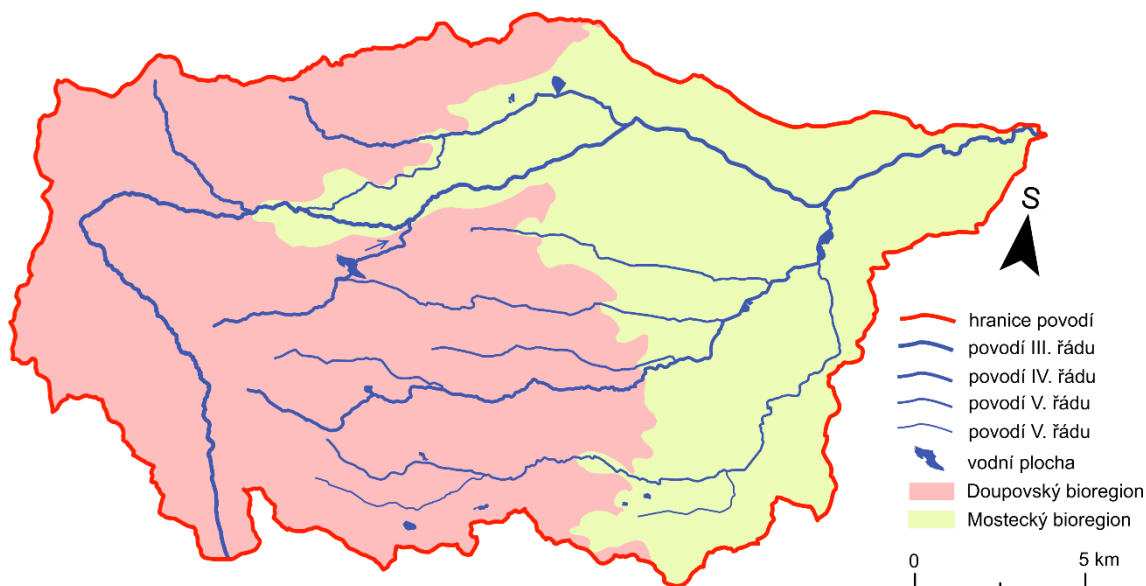
V Česku jsou zastoupeny dvě biogeografické provincie, provincie střeoevropských listnatých lesů a panonská a čtyři podprovincie – hercynská, polonská, karpatská a severopanonská. Tyto se dále dělí na 91 bioregionů (Culek a kol. 2013).

Celé povodí řeky Liboc se nachází v hercynské podprovincii, která v Česku zaujímá největší plochu, zahrnuje biotu centrální a západní části střední Evropy a dále se dělí do 91 bioregionů. Zájmové povodí se rozprostírá ve dvou bioregionech, doupovském a mosteckém. Hranice bioregionů (obr. 7) jsou průběhem velmi podobné geomorfologickým hranicím (Culek a kol. 2013).

Horní část toku spadá do doupovského bioregionu, který má rozlohu 674 km². Největší plochu zabírají lesy (46 %), ve kterých převládá smrk (42 %) a buk (10,4 %), a travní porosty (27 %). Příroda není do velké míry ovlivněna člověkem, protože převážnou část zabírá vojenský výcvikový prostor Hradiště. Dnes je prakticky bez osídlení a významnějších rušivých vlivů. Doupovské hory jsou pramennou oblastí řady potoků a říček se společenstvy pstruhového pásma. Stojaté vodní plochy se zde vyskytují výjimečně. Centrální část bioregionu je nepřístupná a není v ní vyhlášeno žádné chráněné území. Na okrajích se nachází NPR Úhošť sloužící k ochraně biotického komplexu xerofilních a mezofilních společenstev, PP Želinský meandr, PR Sedlec a PR Ostrovské rybníky jsou zaměřeny na ochranu vodních a mokřadních stanovišť a na ně vázanou biotu (Culek a kol. 2013).

Střední a dolní část toku se nachází v mosteckém bioregionu, který má rozlohu 130 km². Bioregion náleží k nejsušším a nejteplejším oblastem Česka s převažujícím 2. vegetačním stupněm. Největší plochu zabírají zemědělské plochy (56 %) a lesy (12,2 %), kde dominuje borovice (27 %) a dub (22 %). Reliéf bioregionu byl zasažen největší antropogenní přestavbou v celém Česku (Culek a kol. 2013). Jsou zde přítomné antropogenní jámy, povrchové doly, výsypky či odkaliště (Culek a kol. 1995). Značnou plochu zabírá vodní nádrž Nechanice. V minulosti se zde vyskytovala mělká jezera. Mnoho těžebních tvarů reliéfu bylo zahlazeno rekultivacemi, některé doly jsou postupně zatápěny a opět se mění v jezera či v menší míře rybníky. Kvůli značnému antropickému ovlivnění

nebylo v bioregionu vyhlášeno mnoho chráněných území. Výjimkou jsou např. PP Staňkovice, PP Žatec či PP Vinařský rybník (Culek a kol. 2013).



Obr. 7: Bioregiony v povodí řeky Liboň (zdroj: AOPK, DIBAVOD)

2.5 Pedologické poměry

Půda má zásadní úlohu pro vodní režim krajiny, je infiltračním prostředím pro atmosférické srážky a nejdůležitějším prostředím pro jejich retenci, akumulaci a drenáž. Skutečnost, že půda je také hlavní zásobárnou pro napájení vodních zdrojů, je zvláště důležitá v podmínkách Česka, která je jako pramenná oblast odkázána pouze na hlavní zdroj vody z atmosférických srážek (Hauptman, Kukul, Pošmourný 2009).

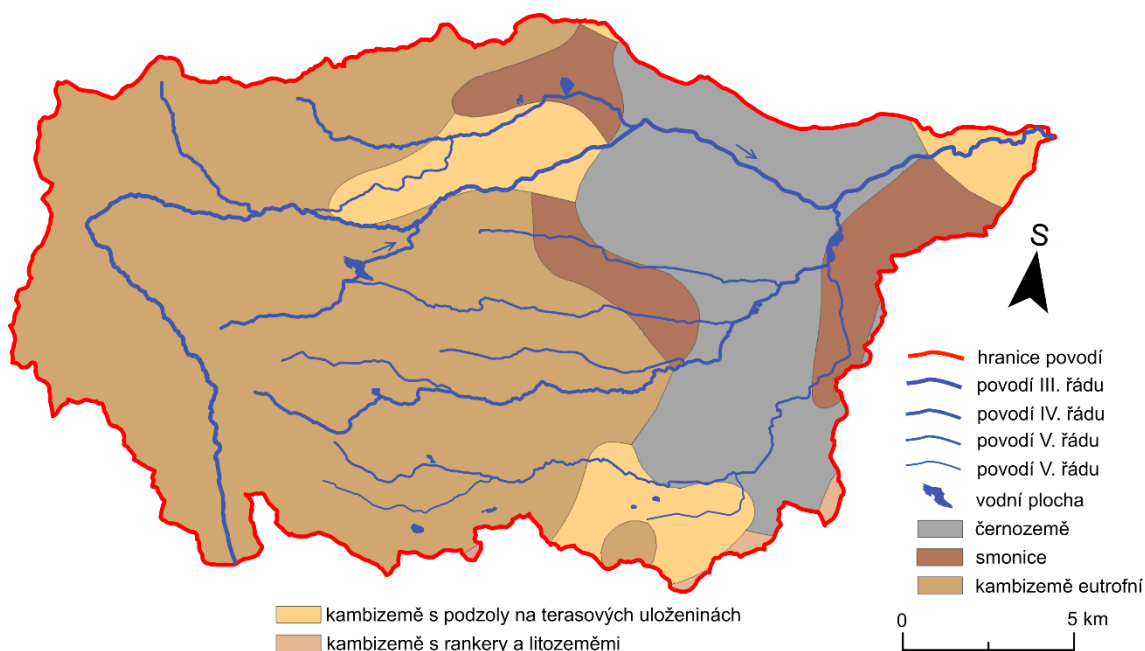
Z pedologického hlediska převažují v povodí Liboňe hlavně kambizemě a černozemě. Kambizemě se nacházejí především v horní a střední části toku a u ústí do řeky Ohře. V dolní části toku se nachází černozemě. Ve východní části povodí se vyskytují i smonice (obr. 8).

Kambizemě jsou v Česku nejrozšířenějším půdním typem. Nejčastěji se vyskytují v pahorkatinách, vrchovinách a horách, málo jsou zastoupeny v nížinách. Jako matečný substrát se uplatňují téměř všechny horniny skalního podkladu. Jsou vázány na členitý reliéf. Jedná se o mladé půdy, hlavním půdotvorným pochodem je vnitropůdní zvětrávání (braunifikace). Sorpční vlastnosti se mění v závislosti na obsahu humusu a zrnitostním

složení. Kambizemě jsou vhodné pro pěstování nenáročných plodin (brambory, ječmen) a pro zalesnění (Tomášek 2007).

Černozemě jsou typické pro suché a teplé oblasti, vznikly v raných obdobích postglaciálu pod původní stepí a lesostepí. Ve své původní podobě se uchovávají především díky zemědělské kultivaci. Matečným substrátem jsou většinou spraše, hlavním půdotvorným procesem byla intenzivní humifikace, která probíhala pod stepní vegetací. Vyznačují se vysokým obsahem kvalitního humusu a dobrými sorpčními vlastnostmi. V současnosti jsou černozemě téměř bez výjimky využívány jako orná půda. Na území Česka jsou nejhodnotnějšími zemědělskými půdami, i když často trpí nedostatkem vláhy. Jsou vhodné pro pěstování cukrovky, pšenice a hlavně zeleniny (Tomášek 2007).

Smonice zaujímají v Česku zvláštní postavení, protože tento půdní typ se vyskytuje zejména na Chomutovsku. Vytvořily se na třetihorních jílech, jsou osamoceným ostrovem ve střední Evropě. Hlavní oblastí výskytu této půdy je Balkánský poloostrov, kde byly poprvé popsány. Půdotvorným faktorem byla stejně jako u černozemí intenzivní humifikace. Jsou zemědělsky hojně využívány, jejich produktivitu však snižují nepříznivé fyzikální poměry – objemové změny půdy, extrémně obtížná zpracovatelnost. Jsou vhodné pro pěstování pšenice, nikoliv však cukrovky (Tomášek 2007).



Obr. 8: Pedologické poměry v povodí řeky Liboc (zdroj: DIBAVOD, ČGS)

2.6 Klimatické podmínky

Podle Quitta (1971), který publikoval knihu Klimatické oblasti Československa, se v povodí Liboce nachází pět klimatických oblastí (obr. 9). Největší část povodí (dolní tok) se nachází v klimatické oblasti T2, která se vyznačuje teplým, suchým a dlouhým létem, mírně teplým jarem i podzimem a krátkou, mírně teplou, suchou až velmi suchou zimou s velmi krátkým trváním sněhové pokrývky.

Menší část povodí je v oblastech MT3, MT4, MT11 a CH7. Oblast MT3 se vyznačuje mírným až mírně chladným, krátkým létem, suchým až mírně suchým, normálním až dlouhým přechodným obdobím. Jaro i podzim je mírné, zima je mírná až mírně chladná a normálně dlouhá, suchá až mírně suchá s normálním až krátkým trváním sněhové pokrývky (Quitt 1971).

Pro oblast MT4 je typické mírné, suché až mírně suché, krátké léto, krátké přechodné období mezi mírným jarem a podzimem, zima je normálně dlouhá, mírně teplá a suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky (Quitt 1971).

V klimatické oblasti MT11 je typické dlouhé, teplé a suché léto. Přechodné období je krátké, jaro i podzim jsou mírně teplé. Zima je mírně teplá a velmi suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky (Quitt 1971).

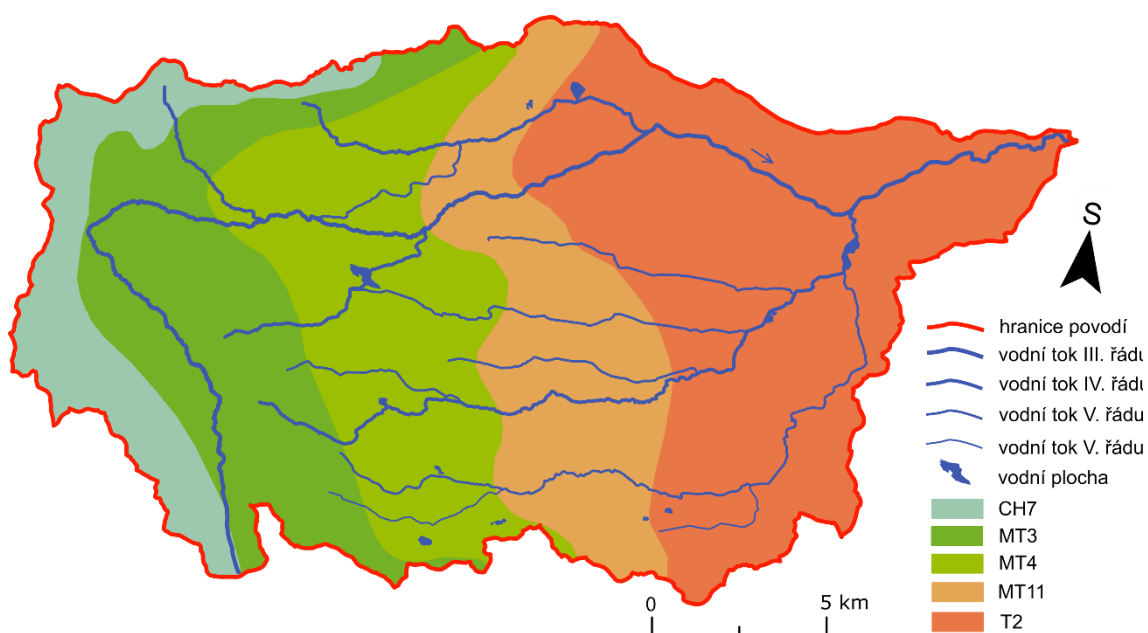
Pro oblast CH7 je charakteristické dlouhé a mírně chladné jaro, velmi krátké až krátké, mírně chladné a vlhké léto, podzim je zde dlouhý, mírný a zima je dlouhá, mírně vlhká s dlouhým trváním sněhové pokrývky (Quitt 1971).

Přehled základních charakteristik předmětných oblastí je uveden v tabulce 1.

Klimatické oblasti, charakteristika	MT3	MT4	MT11	T2	CH7
Počet letních dnů	20 - 30	20 - 30	40 - 50	50 - 60	10 - 30
Počet dnů s prům. teplotou 10 °C a vyšší	120 - 140	140 - 160	140 - 160	160 - 170	120 - 140
Počet dnů s mrazem	130 - 160	110 - 130	110 - 130	100 - 110	140 - 160
Počet ledových dnů	40 - 50	40 - 50	30 - 40	30 - 40	50 - 60
Průměrná teplota v lednu [°C]	-3 až -4	-2 až -3	-2 až -3	-2 až -3	-3 až -4
Průměrná teplota v dubnu [°C]	6 až 7	6 až 7	7 až 8	8 až 9	4 až 6
Průměrná teplota v červenci [°C]	16 až 17	16 až 17	17 až 18	18 až 19	15 až 16
Průměrná teplota v říjnu [°C]	6 až 7	6 až 7	7 až 8	7 až 9	6 až 7
Počet dnů se srážkami min. 1 mm	110 - 120	110 - 120	90 - 100	90 - 100	120 - 130
Úhrn srážek ve vegetačním období [mm]	350 - 450	350 - 400	350 - 400	350 - 400	500 - 600
Úhrn srážek v zimním období [mm]	250 - 300	250 - 300	200 - 250	200 - 300	350 - 400
Celkový úhrn srážek [mm]	600 - 750	600 - 700	550 - 650	550 - 700	850 - 1000
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	60-100	60 - 80	50 - 60	40 - 50	100 - 120
Počet jasných dnů	40 - 50	40 - 50	40 - 50	40 - 50	40 - 50
Počet zatažených dnů	120 - 150	150 - 160	120 - 150	120 - 140	150 - 160

Tab. 1: Charakteristiky klimatických oblastí dle Quitta v povodí (zdroj: Quitt)

Používanější a rozšířenější klasifikace podnebí je Köppenova klasifikace. Území Česka je rozděleno do čtyř typů. Do sledovaného povodí zasahují dva klimatické typy – Cfb a Dfb. Většina území spadá do kategorie Cfb – podnebí listnatých lesů mírného pásma. V západní části Doupovských hor se klima řadí do kategorie Dfb, což je podnebí boreálního (severského typu). Obě pásma se vyznačují celoročně vlhkým klimatem a rovnoměrně rozloženými srážkami během roku. Průměrné teploty v nejteplejším měsíci přesahují 10 °C, v nejchladnějším se pohybují v intervalu od -3 °C do 18 °C v případě Cfb, v případě Dfb jsou teploty nižší než 3 °C (Tolasz, Baštýřová 2007).



Obr. 9: Klimatické poměry podle Quitta v povodí řeky Liboc (zdroj: DIBAVOD, Geografický ústav ČSAV)

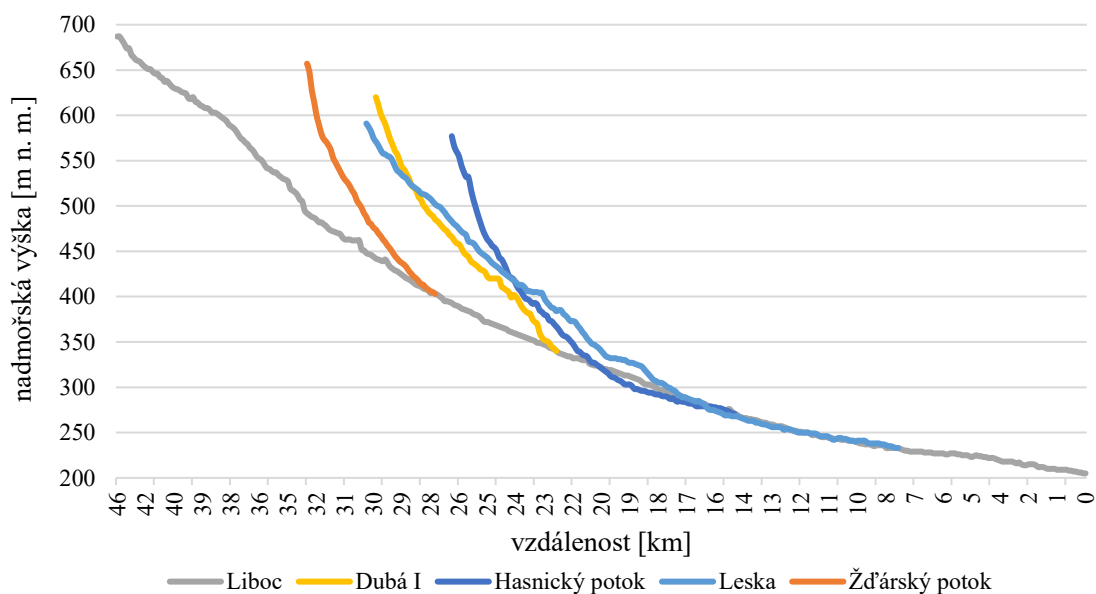
2.7 Hydrografie povodí

Řeka Liboc (1–13–03–001/0 až 1–13–03–027/0) je pravostranný přítok Ohře. Jedná se o vodní tok III. řádu, který spadá do povodí Labe. Správcem povodí je Povodí Ohře, s.p. Pramení v Doupovských horách na svahu Pilíře (763 m n. m.) v nadmořské výšce 687,31 metrů, nedaleko prameniště Blšanky, zhruba 750 metrů za hranicemi vojenského výcvikového prostoru Hradiště. Největším přítokem je Leska s délkou toku 23,61 km. Ústí do Ohře přibližně 1 km severozápadně od Žatce v obci Libočany na jejím říčním kilometru 92,51 a v nadmořské výšce 204,65 m n. m. Převýšení toku činí 482,66 metrů a střední sklon dosahuje hodnoty 10,41 ‰. Celková délka vodního toku je 46,38 km a plocha povodí je 339,53 km² (Zbořil 2006). Největší vodní plochy v povodí jsou uvedeny v tabulce 2.

název	rozloha [ha]	tok
Sedlec	25,58	Dubá I
Vinařský rybník	14,36	Hasnický potok
Dolní Kněžický rybník	10,14	Leska
Velký Rohozec	7,99	Dolánecký potok
Horní Kněžický rybník	7,01	Leska
Dobřenecký rybník	6,02	Leska
Nepomyšlský rybník	4,23	Dolánecký potok

Tab. 2: Největší vodní plochy v povodí Liboce (DIBAVOD, Mapy.cz)

Směr toku řeky Liboc se v jejím průběhu značně mění. Od pramene teče severním až severozápadním směrem a náhle svůj směr mění na východní. V tomto úseku je potok sevřený údolím bývalé kaldery, vlévá se zde z levé strany Žďárský potok. Průměrný sklon v tomto úseku je značný (15,74 ‰). U soutoku s potokem Dubá I, kde začíná střední tok, se stáčí na severovýchod. Sklon v tomto úseku činí 10,48 ‰. Dále u soutoku s Hasnickým potokem, nedaleko obce Pětipsy, začíná dolní tok a směr se mění na jihovýchodní. U soutoku s Leskou se obrací na severozápad a tímto směrem teče až do Ohře, úsek má sklon 4,47 ‰. Rozvinutý podélný profil je zobrazen na obrázku 10.



Obr. 10: Rozvinutý podélný profil řeky Liboc (zdroj: DIBAVOD, ČÚZK)

Jednotlivé úseky toku je možné roztrdit podle typologie vodních toků do tří typů. V rámci této práce byla využita typologie dle Langhammera a kol. (2004). Parametry typologie byly sestaveny tak, aby umožňovaly vyjádřit specifika variability přírodních poměrů prostředí ČR, měly obecnou vypovídací schopnost, vyjadřovaly variabilitu monitorovaných složek ekologického stavu a nebyly vzájemně závislé. Typologie vodních toků je založena na kombinaci čtyř parametrů: úmoří, nadmořské výšky, geologického podloží a řádu toku podle Strahlera (Langhammer a kol. 2009).

Pramennou oblast a horní tok řeky lze zařadit k typu 131, který je definován nadmořskou výškou od 500 do 800 m n. m. a krystalickým či vulkanickým podložím. Dle definice má tok větší spád a nemá příliš zahluobené údolí. S rostoucí nadmořskou výškou a klesající velikostí toku klesá antropogenní tlak a ovlivňování toku (Langhammer a kol. 2009).

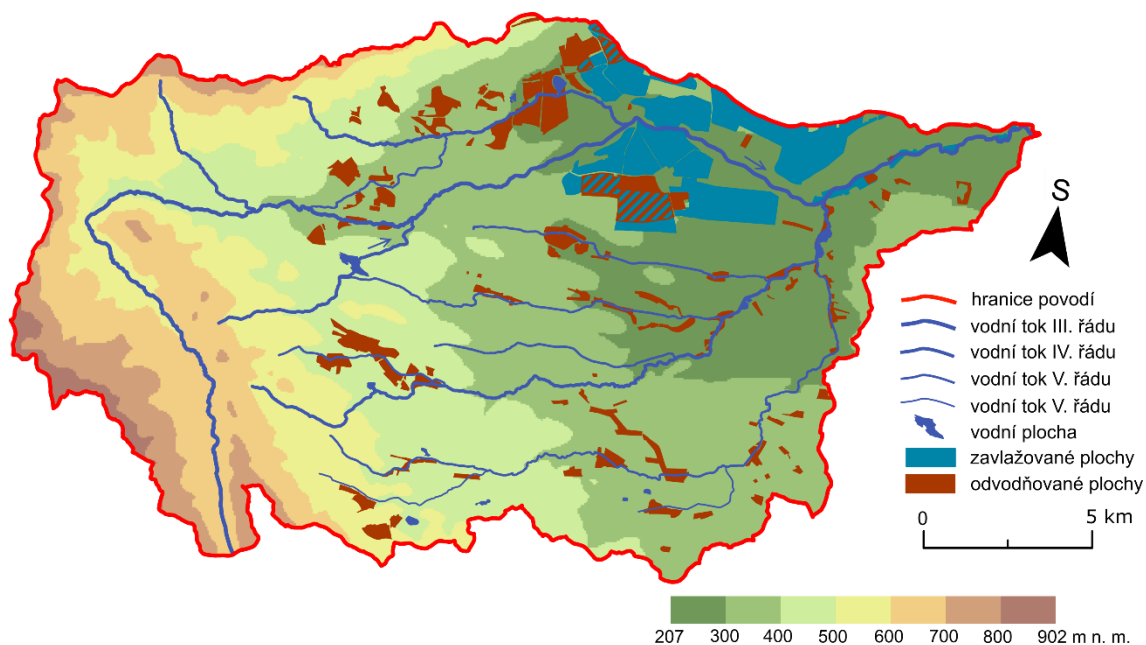
Část horního toku a horní toky většiny přítoků jsou řazeny do kategorie 121, která je definována nadmořskou výškou od 200 do 500 m n. m. a krystalickým či vulkanickým podložím. Jedná se o tok pahorkatin a vrchovin s menším spádem. Kategorie se nachází převážně v intenzivně využívané a antropogenně ovlivněné krajině, což se projevuje i na značném podílu upravených koryt (Langhammer a kol. 2009).

Střední a dolní tok je zařazen do kategorie 122. Ta je definována nadmořskou výškou od 200 do 500 m n.m. a sedimentárním podložím. Spolu s předchozím typem jde o nejrozšířenější kategorii toků, spadá sem většina toků na sedimentech České křídové tabule. Pevážně se jedná o pahorkatinné a nížinné toky s širokými, otevřenými údolními. Spád je většinou poměrně malý, naopak antropogenní ovlivnění těchto toků je značné. Většina přilehlé krajiny je intenzivně využívána zemědělsky a koryta jsou obvykle regulována (Langhammer a kol. 2009).

Kvůli intenzivnímu zemědělství byly v povodí realizovány odvodňovací stavby, které mají v konečném důsledku negativní vliv na přirozený oběh vody a vytváří umělé kolektory v půdním profilu. Dochází k jednorázovému snížení zásob podzemní vody, zvýšení odtoku v recipientu, snáze se transportují kontaminanty do půdy a vody. Drenáží se vytváří retenční prostor, díky kterému dochází k rychlejší infiltraci srážkové vody do půdního a horninového prostředí. Infiltrace ale nemá za následek zvýšení zásob podzemní vody, naopak dochází k jejímu rychlému odtoku. Odvodnění má vliv na srážkoodtokové poměry a je často označováno jako příčina zvyšování kulminačních průtoků při povodních.

Zavlažování pozemků jednorázově zvyšuje obsah vody v půdním profilu. Odběr vody může ovšem negativně ovlivnit průtok vody v tocích či zásoby v nádržích. V Česku není evidence závlahových soustav dlouhodobě aktualizována, velká část z nich je neschopna provozu. Pro zvyšování přirozené akumulací a retenční schopnosti krajiny a půdy bude nutné provádět vhodnější zemědělské postupy či odstraňovat stávající odvodňovací stavby. Kvůli nedostatku povrchové vody je pravděpodobné, že umělé zavlažování nebude v budoucnosti možné. Proto bude nutné zabývat se mj. pěstováním odrůd nenáročných na vláhu (Povodí Ohře 2021).

V povodí se nachází přes 1900 hektarů odvodňované plochy. Jsou to oblasti především v okolí Račetic, Vinařů, Radonic a Mašťova (obr. 11). Dále byl vybudován systém závlah, který dodává vodu na plochu přes 2000 hektarů. Systém se nachází především na Račeticku (obr. 11), které je známé pěstováním cibule, a kam je voda dodávána dle vodohospodářské mapy několikakilometrovým potrubím z vodní nádrže Sedlec. Na vodním toku Dubá se nachází objekt rozdělující tok na toky Dubá I, která napájí VN Sedlec, a na tok Dubá II odvádějící vodu přes Mašťov do vodního toku Leska (Povodí Ohře 2020).



Obr. 11: Odvodňované a zavlažované plochy v povodí řeky Liboc (zdroj: DIBAVOD, MZE)

2.7.1 Hydrografické a morfometrické charakteristiky

Ke zhodnocení povodí byly využity následující hydrografické a morfometrické charakteristiky.

Gravelliův koeficient (K_G) vyjadřuje míru členitosti rozvodnice, resp. míru protáhlosti nebo kruhovosti povodí. Vypočítá se jako poměr délky rozvodnice (L_R) a obvodu kruhu o stejné ploše, jako je plocha povodí (P). Výsledné hodnoty nabývají velikosti ≥ 1 . Čím je hodnota K_G blíže 1, tím víc se tvar povodí blíží kruhu. Čím větší je hodnota K_G , tím více je tvar povodí protáhlý (Pavelková Chmelová, Frajer 2013).

$$K_G = \frac{L_R}{2\sqrt{P\pi}}$$

Koeficient protáhlosti povodí (R_E) se vypočítá jako poměr průměru kruhu o stejné ploše, jako je plocha povodí (P), k délce daného povodí (L). Nabývá hodnot od 0 v případě protáhlého povodí k 1 u ideálního kruhového povodí (Pavelková Chmelová, Frajer 2013).

$$R_E = \frac{2\sqrt{\frac{P}{\pi}}}{L}$$

Charakteristika povodí (α) je výrazem tvaru povodí. Využívá se ke kvantitativnímu vyjádření tvarových vlastností povodí a k jejich vzájemnému srovnávání. Vypočítá se jako poměr střední šířky toku k délce toku nebo plochy povodí (P) ke čtverci délky (L^2) (Herber, Suda 2001). Hodnoty charakteristik uvádí tabulka 3.

$$\alpha = \frac{P}{L^2}$$

tvar povodí	$P < 50 \text{ km}^2$	$P > 50 \text{ km}^2$
protáhlý	$\alpha < 0,24$	$\alpha < 18$
přechodný	$0,24 < \alpha < 0,26$	$0,18 < \alpha < 0,2$
vějířovitý	$\alpha > 0,26$	$\alpha > 0,2$

Tab. 3: Hodnoty charakteristik α (Herber, Suda 2001)

Mezi výškopisné poměry povodí patří převýšení Δh a průměrný sklon povodí (I) (nejčastěji v ‰ nebo ve °). Převýšení je rozdíl výšek dvou bodů, tedy nejvyššího a nejnižšího bodu v povodí, uvádí se v metrech (Burian 2019).

$$\Delta h = h_{max} - h_{min}$$

Průměrný sklon povrchu povodí (I) také umožňuje srovnat jednotlivá povodí, ale nevystihuje detailnější vlastnosti reliéfu. Určuje sklonitost povrchu v povodí. Přesnější výpočet dle Herbsta zohledňuje výškovou vzdálenost vrstevnic (h), součet délek vrstevnic (l) a plochu povodí [km^2] (Pavelková Chmelová, Frajer 2013). Vypočítá se podle vztahu:

$$I = \frac{h \Sigma l}{P}$$

Tento výpočet je pro ruční provedení velmi pracný, proto je možné nahradit jej méně přesným ekvivalentem. Ten je určen jako poměr rozdílu nejvyššího a nejnižšího bodu povodí ku odmocnině plochy celého povodí.

$$I = \frac{\Delta h}{\sqrt{P}} = \frac{h_{max} - h_{min}}{\sqrt{P}}$$

Koeficient souměrnosti plochy povodí (K_S) udává symetričnost či asymetričnost tvaru povodí a je určen rozdílem ploch povodí pravých (P_P) a levých přítoků (P_L) hlavního toku lomený jejich součtem (P). Nabývá hodnot 0 až 1. Čím více se hodnota koeficientu blíží 0, tím více je povodí souměrné (Pavelková Chmelová, Frajer 2013).

P_L ... plocha levostranných přítoků [km^2]

P_P ... plocha pravostranných přítoků [km^2]

P ... plocha povodí [km^2]

$$K_S = \frac{|P_P| - |P_L|}{P}$$

Hustota říční sítě (r) je dána morfologií povrchu, půdními, vegetačními, klimatickými poměry a krajinným pokryvem. Vypočítá se jako podíl součtu délek všech

vodních toků v povodí a plochy povodí (P). Vyjadřuje se v km.km^{-2} . Umožňuje porovnávat hodnoty z více dílčích povodí a získat tak představu o dostupnosti určitého objemu vody až po závěrečný profil. Pro Česko obecně platí, že hustota říční sítě je největší v oblastech s vyššími nadmořskými výškami, kde se mohou vodní toky přirozeně vyvíjet. V obydlených a hospodářsky intenzivně využívaných oblastech, kde byla říční síť značně upravena (napřimena) a řada drobných vodních toků byla zatrubněna, je hustota menší (Pavelková Chmelová, Frajer 2013).

ΣL ... součet délek všech vodních toků [km^2]

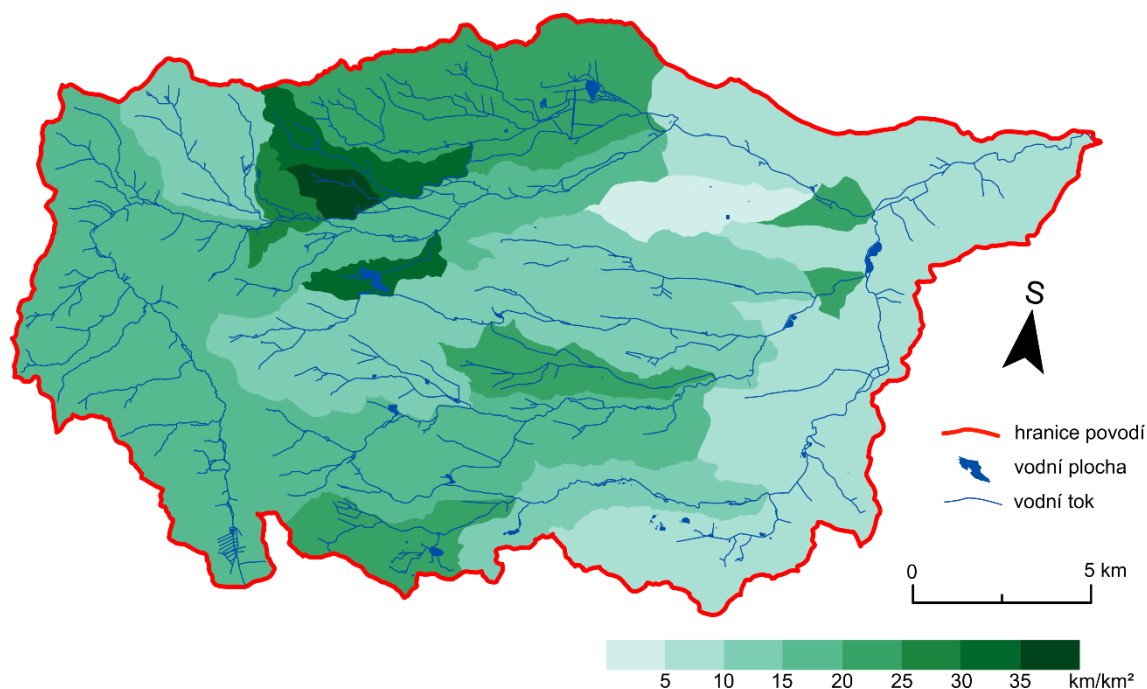
P ... plocha povodí [km^2]

$$r = \frac{\Sigma L}{P}$$

Výslednou hodnotu porovnáme s hodnotami uvedenými v tab. 4, čímž dostaneme slovní označení hustoty říční sítě. Hustota říční sítě je graficky znázorněna v obrázku 12.

hodnota r [km.km^{-2}]	slovní označení hustoty říční sítě
$\leq 0,3$	velmi nízká
0,31 - 0,5	nízká
0,51 - 0,7	střední
0,71 - 1,1	vysoká
$\geq 1,11$	velmi vysoká

Tab. 4: Tabulka slovního označení hustoty říční sítě (Herber, Suda 2001)



Obr. 12: Hustota říční sítě v povodí řeky Liboc (zdroj: DIBAVOD, vlastní zpracování)

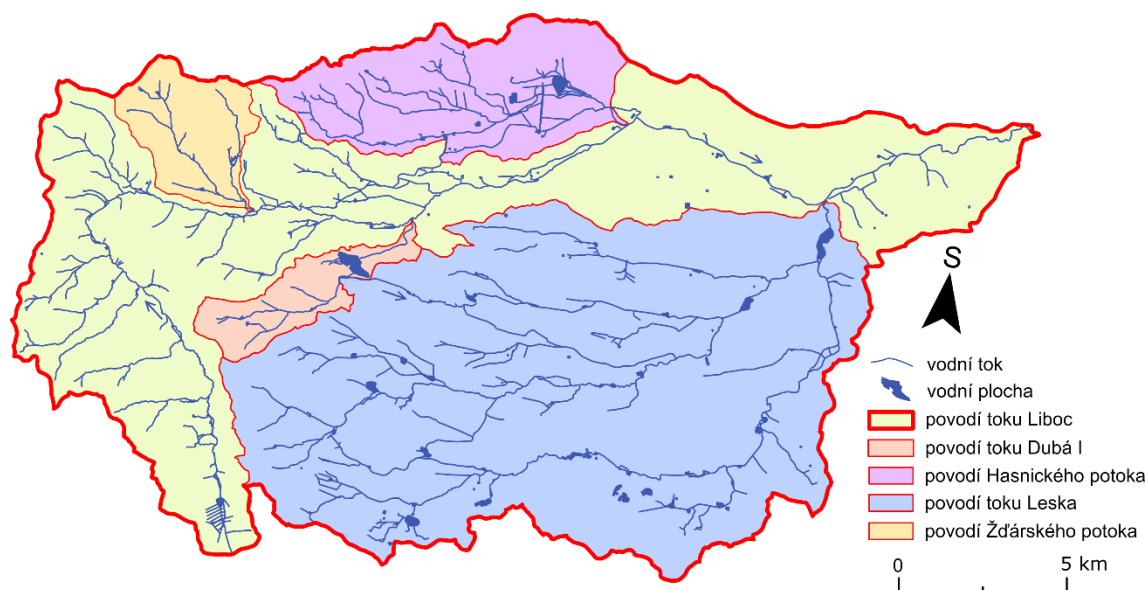
Stupeň vývoje toku (K) /též míra křivolakosti/ je poměr mezi skutečnou délkou vodního toku a nejkratší přímou vzdáleností pramene a ústí. Nabývá vždy hodnot ≥ 1 . Platí, že čím více se stupeň vývoje toku vzdaluje od 1, tím je vodní tok více křivolaký (Herber, Suda 2001).

L ... skutečná délka vodního toku [km]

L_x ... nejkratší přímá vzdálenost pramene a ústí [km]

$$K = \frac{L}{L_x}$$

Na základě výše popsaných charakteristik byly zjištěny potřebné vstupní hodnoty řeky Liboce a jejích přítoků (obr. 13) a s využitím vzorců byly poté spočítány koeficienty a charakteristiky. Vše je přehledně uvedeno v tabulce 5.



Obr. 13: Mapa povodí přítoků Liboče (zdroj: DIBAVOD, vlastní zpracování)

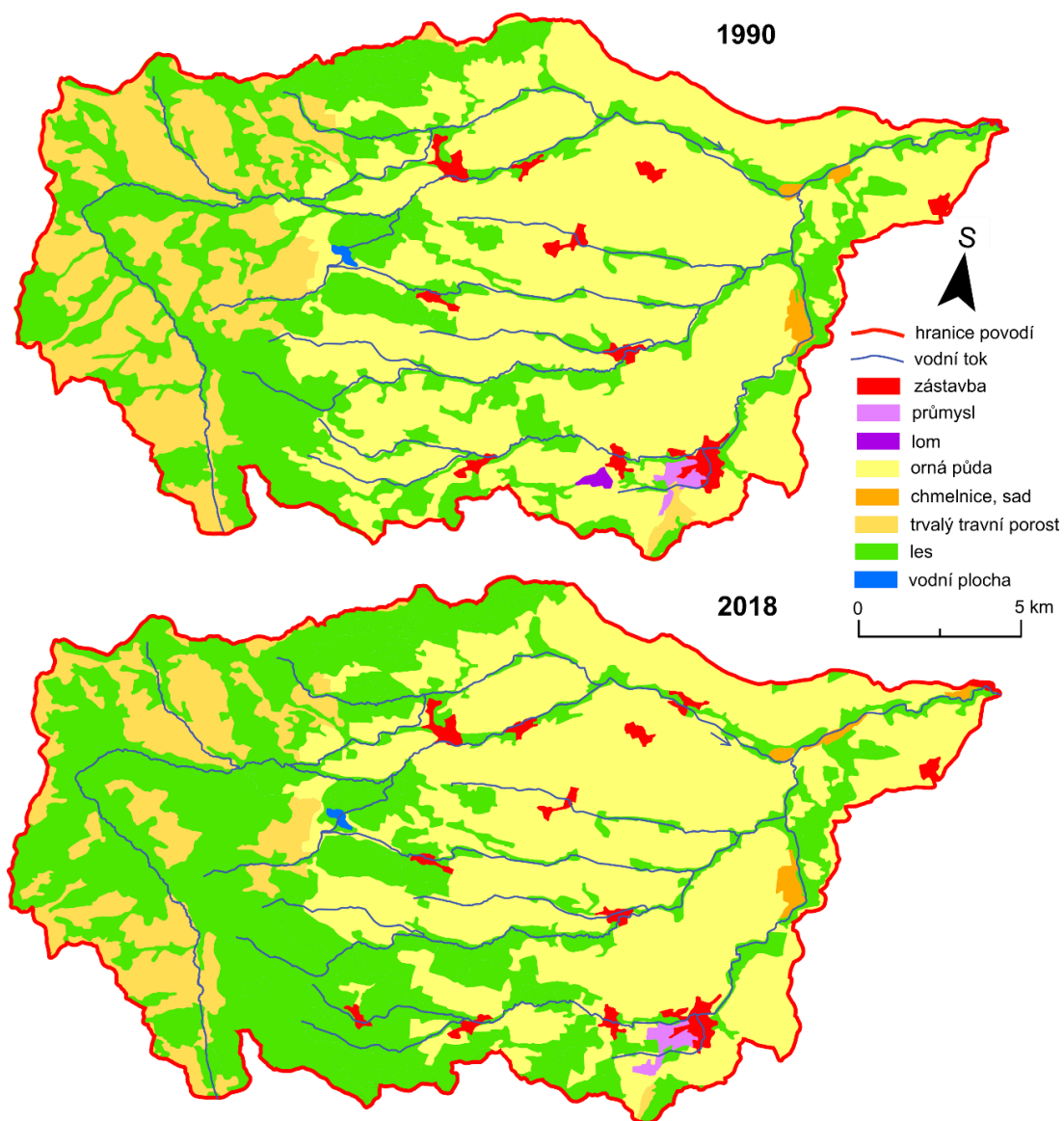
Vstupní data	Liboc	Dubá I	Hasnický p.	Leska	Žďárský p.
plocha povodí P [km ²]	339,53	9,3	31,37	156,72	12,5
délka rozvodnice L _R [km]	99,48	20,48	30,51	65,736	16,04
délka povodí L _P [km]	31,33	5,67	11,15	19,3	5,45
délka toku L [km]	46,38	7,85	12,12	23,6	5,54
přímá vzdálenost pramene a ústí L _x [km]	27,16	6,59	10,3	18	4,81
max. výška v povodí [m n. m.]	902	713	774	752	800
min. výška v povodí [m n. m.]	205	342	272	234	404
výška pramene [m n. m.]	687	626	583	592	665
rozloha pravé strany [km ²]	118,44	4,34	7,05	91,28	5,25
rozloha levé strany [km ²]	221,09	4,96	24,32	65,44	7,25
součet délek všech toků [km]	433,23	15,09	58,65	180,24	16,44
Vypočtené hodnoty					
Gravelliův koeficient K _G	1,52	1,89	1,54	1,48	1,28
koeficient protáhlosti povodí R _E	0,45	0,44	0,52	0,6	0,72
charakteristika povodí α	0,16	0,15	0,21	0,28	0,41
převýšení [m]	695	371	502	518	396
průměrný sklon povrchu povodí [‰]	3,77	12,17	8,96	4,14	11,2
koeficient souměrnosti plochy povodí K _S	0,3	0,07	0,55	0,16	0,16
hustota říční sítě r [km.km ⁻²]	1,28	1,62	1,87	1,15	1,32
stupeň vývoje toku K	1,71	1,19	1,18	1,31	1,15

Tab. 5: Vstupní hodnoty a vypočtené charakteristiky (ČÚZK, DIBAVOD, vlastní zpracování)

Z porovnání výsledných hodnot Gravellova koeficientu a koeficientu protáhlosti povodí vychází, že nejvíce protáhlé je povodí toku Dubá I a nejvíce kruhové je povodí Žďárského potoka. Podle charakteru je povodí Žďárského potoka a Lesky vějířovité, ostatní povodí mají protáhlý charakter. Nejvyšší převýšení vykazuje Liboc, naopak nejnižší Dubá I. Průměrný sklon povrchu povodí dosahuje hodnot od 3,77 ‰ u Liboce až po 12,17 ‰ u Dubé I. Nejvíce souměrným povodím je Dubá, nejméně Hasnický potok. Nejvyšší hustotu vykazuje Hasnický potok, nejmenší Leska. Stupeň vývoje toku je nejvyšší u Liboce, nejnižší u Žďárského potoka.

2.8 Krajinný pokryv

Ve sledovaném území došlo mezi lety 1990-2018 k výrazným změnám ve využití ploch. Mezi nejvýraznější změny lze zařadit úbytek orné půdy a trvalého travního porostu ve prospěch lesů, viz obrázek 13 a tabulka 6. Tento trend byl v Česku po roce 1989 běžný. Klíčový vliv na využití ploch měly restituce a privatizace. Stát před rokem 1989 vlastnil 98,5 % z celkové výměry zemědělského půdního fondu. Během let 1990 až 2000 byla vrácena půda asi 3,5 milionům restituentům, kteří ovšem o pozemky neměli zájem, dokonce ani nevěděli, kde se jejich pozemky nachází. Další vliv na změnu krajinného pokryvu bylo omezení podpory zemědělské produkce státem a její nahrazení formou projektů cílených na neprodukční funkce zemědělství (ochrana vodních toků, zalesňování, údržba krajiny apod.). Celé období po roce 1990 je tedy ve znamení výrazného útlumu zemědělské činnosti, samovolného a nevidovaného zatravňování a následně i zalesňování (Bičík a kol. 2010).



Obr. 14: Krajinný pokryv povodí řeky Liboc v letech 1990 a 2018 (CORINE Land Cover, DIBAVOD, vlastní zpracování)

krajinný pokryv	rozloha 1990 [ha]	rozloha 2018 [ha]	změna 2018-1990 [ha]
zástavba	531,2	562,3	31
průmysl	93,8	118,6	24,8
lom	41,4	0	-41,4
orná půda	16 923,40	14 882,80	-2 040,50
chmelnice, sad	159,1	185,7	26,6
trvalý travní porost	5 241,00	3 395,00	-1 846,00
les	10 943,50	14 789,00	3 845,50
vodní plocha	26,3	26,3	0

Tab. 6: Krajinný pokryv a jeho změny (CORINE Land Cover, vlastní zpracování)

3 Sucho

Výzkum z počátku 80. let 20. století odhalil více než 150 publikovaných definic sucha. Definice odrážejí rozdíly v regionech, potřebách a disciplinárních přístupech (Wilhite, Glantz 1985).

Sucho je obecně označováno jako trvalý a rozsáhlý nedostatek vody pro přírodní ekosystémy a socioekonomické aktivity (Van Loon 2015). Od povodní a ostatních přírodních katastrof se zásadně liší, protože se obvykle rozvíjí pomalu. Přes svůj pozvolný vývoj je jeho dopad na regionální ekologii, hydrologii a ekonomiku obrovský, protože následky sucha mohou být patrné dlouhou dobu po jeho konci (Jasechko, Perrone 2020). Je jedním z nejsložitějších přírodních nebezpečí, které má dopady na zemědělství, vodní zdroje, přírodní ekosystémy a společnost. Mezi negativní společenské důsledky sucha patří extrémní ekonomické ztráty, hladomor, epidemie a degradace půdy (Beguería a kol. 2010). Podle zprávy OSN (2022) představují sucha až 15 % přírodních katastrof. Mezi lety 1970-2019 v důsledku sucha zemřelo přibližně 650 tisíc lidí. Dopady sucha jsou závislé nejen na délce trvání, intenzitě, oblastech zasažených epizodou sucha a zásobách vody, ale také na úrovni ekonomického rozvoje v dané zemi (Wilhite 1990). V letech 2018-2019 zasáhlo sucho více než 50 % rozlohy střední Evropy a mělo negativní dopad na ekonomiku, společnost a biotu. V roce 2018 se sucho rozšířilo až do zemí severní Evropy, kde mělo za následek intenzivní a ničivé lesní požáry země. Ve Švédsku činila plocha spálené plochy přes 24 tisíc hektarů (Bakke a kol. 2020).

Přesně definovat sucho je poměrně složité, sucho je obecně definováno jako deficit vláhy v určitém místě za dané časové období (Barret, Robertson 2021). Lloyd-Hughes (2014) došel k závěru, že je nemožné kvůli zásahu člověka do vodních zásob stanovit univerzální a zároveň funkční a objektivní definici sucha. Nejstarší definici publikoval Russel na konci 19. století. Suchem označil období několika měsíců či let, kdy je nedostatek srážek, země je spálená, mizí tráva, je mizerná úroda a dochází k úhynu skotu a ovcí (Hounam a kol. 1975). Palmer v roce 1965 definoval sucho jako časový interval, většinou v řádu měsíců nebo let, během kterého skutečná zásoba vláhy v daném místě spíše trvale nedosahuje klimaticky očekávané nebo klimaticky vhodné zásoby vláhy. Brázdil a kol. (2009) uvádí, že pojem sucho vyjadřuje negativní odchylku vodní bilance od klimatologického normálu na daném území. Dlouhodobý nedostatek srážek (několik týdnů až několik let) je primární příčinou sucha a další meteorologické prvky (teplota, vítr

a vlhkost) jeho dopady často zesilují. National Drought Mitigation Centre (NDMC 2022a) zabývající se suchem a jeho projevy, pomáhající lidem, organizacím a institucím budovat odolnost vůči suchu prostřednictvím monitorování a plánování uvádí, že sucho je normální, opakující se projev klimatu, jenž souvisí s jeho kolísáním. Sucho se může vyskytnout po celém světě v jakémkoliv klimatickém pásmu. Jeho projevy a důsledky se liší podle klimatu v příslušné oblasti. Vzniká vlivem absence srážek v kombinaci s ostatními činiteli, kterými mohou být například insolace a evapotranspirace.

3.1 Druhy sucha

Wilhite a Glantz (1985) vymezili čtyři základní kategorie sucha – meteorologické, hydrologické, zemědělské a socioekonomické a dle nich se rozdělují přístupy měření sucha. První tři přístupy se zabývají suchem jako fyzikálním jevem, který je možno změřit. Poslední se zabývá suchem z hlediska nabídky a poptávky, sleduje šíření dopadů nedostatku vody socioekonomickými systémy.

3.1.1 Meteorologické sucho

Meteorologické sucho, stejně jako všechna ostatní sucha, má původ v nedostatku srážek. Bývá definováno na základě stupně sucha ve srovnání s „běžným“ nebo průměrným úhнем srážek a délkou období sucha. Meteorologické sucho se specifikuje pro daný region, protože atmosférické podmínky, které vedou k nedostatku srážek, mohou být v různých oblastech velmi rozdílné (Novický a kol. 2008).

Meteorologické sucho bývá definováno jako období sucha nad stanoveným počtem dnů, kdy jsou srážky nižší, než je specifikovaná prahová hodnota. Toto lze aplikovat jen v regionech s charakterizovaným celoročním srážkovým režimem (tropický deštný prales, vlhké subtropické klima nebo vlhké klima středních šířek). Jiné klimatické režimy jsou charakterizovány pro oblasti sezónních srážek (centrální USA, severovýchodní Brazílie, západní Afrika a severní Austrálie) a další definice vztahují skutečné srážky k průměrným množstvím na měsíčních, sezónních nebo ročních časových škálách (NDMC 2022b).

3.1.2 Hydrologické sucho

Hydrologické sucho je spojeno s dopady období nedostatku dešťových a sněhových srážek na hydrologický systém – zásobování povrchovou a podpovrchovou vodou, na proudění toků, hladiny nádrží, jezer a podzemní vody. Jelikož trvá déle, než se srážkové nedostatky projeví ve složkách hydrologického systému, jako je vlhkost půdy, proudění a hladina podzemní vody a nádrží, projevuje se hydrologické sucho obvykle se zpožděním za výskytem meteorologického a zemědělského sucha. Stejně tak se s časovým posunem projeví dopady i v jiných ekonomických sektorech. Nedostatek srážek vede k rychlému vyčerpání půdní vlhkosti, což téměř okamžitě zpozorují zemědělci, ale dopad tohoto nedostatku na hladiny nádrží nemusí ovlivnit výrobu vodní energie nebo rekreační využití po mnoho měsíců. Voda v hydrologických zásobních systémech se často používá pro vzájemně si konkurující účely, např. protipovodňová opatření, zavlažování, rekreace, lodní doprava, výroba energie, přírodní stanoviště, což komplikuje sled a kvantifikaci dopadů. Konkurence o vodu v těchto zásobních systémech se během sucha stupňuje a konflikty mezi uživateli vody výrazně narůstají (NDMC 2022b).

3.1.3 Zemědělské sucho

Zemědělské (půdní) sucho spojuje různé charakteristiky meteorologického či hydrologického sucha s dopady na zemědělství a lesní porosty. Jde zejména o nedostatek vláhy v půdě pro optimální růst a vývoj rostlin. Zaměřuje se na nedostatek srážek, rozdíly mezi skutečnou a potenciální evapotranspirací, deficity půdní vody, snížené hladiny podzemních vod v mělkých vrtech nebo nádržích apod. Potřeba vody pro rostliny závisí na teplotě vzduchu, rychlosti větru, sluneční radiaci, biologických vlastnostech rostliny, fázi jejího růstu, fyzikálních (retenční a infiltrační) a biologických vlastnostech půdy a na terénních poměrech. Správná definice zemědělského sucha by měla být schopna zohlednit proměnlivou náchylnost plodin během různých fází jejich vývoje, od vzejití až po zralost. Nedostatečná vlhkost ornice při výsadbě může bránit klíčení, to povede k nízkým populacím rostlin na hektar a ke snížení konečného výnosu (NDMC 2022b).

3.1.4 Socioekonomické sucho

Socioekonomické definice sucha spojují nabídku a poptávku po nějakém statku s prvky meteorologického, hydrologického a zemědělského sucha. Od těchto typů sucha se liší tím, že jeho výskyt závisí na časových a prostorových procesech nabídky a poptávky. Socioekonomické sucho nastává, když nedostatek vody zasahuje do produktivity a stability celého systému, pokud poptávka po ekonomickém statku převyšuje nabídku, a to v důsledku nedostatku vody, který způsobilo počasí. Jako příklad je možné uvést sucho v Uruguayi v letech 1988–1989, které vedlo k výraznému snížení výroby elektrické energie z vodních elektráren. Snížení výroby elektřiny z vodních elektráren vyžadovalo, aby vláda přešla na dražší zdroj energie (dovoz ropy) a zavedla přísná opatření na úsporu energie. Ve většině případů se poptávka po ekonomickém zboží zvyšuje v důsledku rostoucí populace a zvyšující se spotřeby. Nabídku je možné zvýšit zlepšenou efektivitou výroby, novějšími technologiemi nebo výstavbou nádrží, které zvyšují kapacitu akumulace povrchové vody. Pokud se nabídka i poptávka zvyšují, je kritickým faktorem relativní rychlost změny. Pokud roste poptávka rychleji než nabídka, zranitelnost a výskyt sucha se mohou v budoucnu zvýšit (NDMC 2022b).

Ve vyspělých zemích v důsledku socioekonomického sucha roste poptávka po některém zboží nebo po službách, např. po nápojích (u nás po pivu). V chudých zemích ve snaze zachránit holý život dochází zprvu k nadměrné pastvě a zvýšení eroze půdy, později k vynucenému vybíjení stád dobytka. To ještě zhoršuje dopady a obavy z dalších období sucha (Trnka 2010).

Tallaksen (2004) ve své práci uvádí ještě sucho ekologické, kdy nedostatek vody ovlivňuje ekosystémy, rostliny a živočichy. Je definováno jako dlouhý a rozšířený deficit přirozeně dostupných zásob vody, který způsobuje mnohonásobné stresy napříč ekosystémem.

3.2 Příčiny sucha

Sucho tu bylo vždy a v rámci proměnlivosti klimatu je jeho přirozenou součástí. Problémem je jeho současná vyšší četnost a intenzita, dopady pak ještě zesiluje nevhodné hospodaření. Průměrná roční teplota se v Česku za posledních 200 let zvýšila o více než 1 °C. Množství srážek je přitom i přes pokles z posledních let dlouhodobě přibližně stejné, rozdíl je v jejich

variabilitě. Srážky jsou intenzivnější a střídají je delší období bez srážek (AVČR 2019). Kvůli zvyšujícím se teplotám dochází ke snižování podílu pevných srážek (sněhu) na celkovém úhrnu srážek, to má za následek nižší akumulaci vody ve sněhové pokrývce, což způsobuje nedostatek vody hlavně na začátku vegetačního období (Žalud 2021). Česko je pomyslnou „střechou Evropy“ a z pohledu vodních zdrojů je odkázáno pouze na srážky. Většina našich řek odvádí vodu do sousedních států, jen výjimečně najdeme řeku, která k nám přitéká a vodu přivádí (Dyje, Ohře), naopak naše řeky zásobují vodou území v sousedních státech (AVČR 2019).

Průběh a intenzitu sucha může pozitivně ovlivnit kvalitní, strukturní a hluboká vrstva půdy. Tuto však z velké části poznamenala silná eroze i nevhodné způsoby hospodaření zvláště ve druhé polovině 20. století, zejm. kolektivizace, rušení remízků, odvodňování zamokřených pozemků, regulace vodních toků – napřimování a zahlobení vodních toků, zatrubnění drobných vodotečí. Česká krajina se kvůli slučování pozemků změnila. Z drobných polí obhospodařovaných vlastníky se staly typické velké půdní bloky s nešetrným hospodařením. Uvedené zásahy výrazně ovlivnily oběh vody, způsobily ztrátu retenční schopnosti krajiny a mají za následek zvýšené riziko záplav, povrchové vysušení krajiny (xerotizace), pokles hladiny podzemní vody s řadou ekologických a environmentálních konsekvencí (AVČR 2019, Trnka 2010).

Téměř polovinu půd ohrožuje střední až silná eroze, cca 45 % půd je utuženo. Příčinou jsou především vjezdy těžké techniky na vlhkou půdu, orba či kypření na stejnou hloubku, nedostatek organické hmoty a acidifikace půdy. Utužené a erozí poškozená půda postupně ztrácí schopnost zadržovat vodu, v případě srážek pak voda rychle odtéká (AVČR 2019)

3.3 Důsledky sucha

Voda je základní podmínkou života. Její nedostatek má řadu negativních dopadů nejen na přírodní krajinu, ale i na společnost. V současné době s rostoucí populací roste spotřeba nejen potravin, ale i dalších statků, které je třeba vyprodukovat. S rostoucí produkcí stoupá spotřeba vody nejen v zemědělské výrobě (zavlažování, zpracování produktů, spotřeba pro zvířata ...), ale i v ostatních odvětvích průmyslu. Společnost je ve vztahu k suchu mnohem zranitelnější než v dřívějších dobách. Během působení sucha roste poptávka po vodě, které je v tuto dobu nedostatek, proto musí být šetrně regulován její výdej. Důsledky

sucha nemusí postihnout pouze dané povodí nebo stát, sucho často mívá daleko širší následky. Sucho může způsobit dlouhodobé změny kdykoliv a kdekoliv ve světě, proto je nutné problematiku sucha řadit k velkým hrozbám a nelze ji opomíjet (Novický a kol. 2008).

Na rozdíl od povodní se sucho vyvíjí bez výraznějších extrémů, jeho postup je pozvolný. Dopady možného sucha jsou stále aktuální v rozvojových i v rozvinutých zemích, což v mnoha případech odráží přetrvávající neudržitelnost rozvoje a růstu populace. Vyspělé státy zmírňují projevy sucha například pomocí vodních přivaděčů, pro chudé rozvojové země je tento problém téměř neřešitelný (Hladný 2009, Šachová 2013). Zmírnění dopadů sucha v budoucnu vyžaduje celou řadu opatření a programů ke snížení rizik. Je potřeba zavést lepší monitorování a systémy včasného varování. Dopady sucha, které je a bude třeba řešit, lze zařadit do jedné ze tří hlavních skupin – ekonomické, environmentální a sociální (Trnka 2010).

V případě dlouhotrvajícího sucha se jako první začnou projevovat dopady v zemědělství, lesnictví či v přírodních ekosystémech, tedy environmentální dopady (Novický a kol. 2008). Dopady na životní prostředí jsou považovány za nebezpečné. Hlavním předpokladem pro život je voda, její dostatek pak ovlivňuje růst rostlin. Při nedostatku srážek klesá obsah vody v půdě, což se projeví úhynem rostlin. Zemědělství je na zavlažování a dostatku vody závislé, a to hlavně v období sucha, zejména pokud jej doprovází vysoké teploty a s nimi spojený větší výpar (Hladný 2009).

Nedostatek srážek způsobuje pokles průtoků vody, v extrémním případě až úplné vysychání vodních toků, a nepřímo má za následek snižování biodiverzity a změnu rázu krajiny. Vlivem poklesu hladiny podzemních vod a zvyšující se teploty vody dochází k větší koncentraci škodlivin ve vodních tocích a k jejich znečišťování. Tím jsou ohrožovány vodní ekosystémy (Vlnas a kol. 2015). Dalším důsledkem sucha je vysychání půdy spojené s její větší prašností, což může vést k prachovým bouřím (Tallaksen 2004, Novický a kol. 2008). V lesnictví se sucho projevuje zhoršením stavu vegetace, chřadnutím některých druhů dřevin a přemnožením škůdců (např. kůrovec) v míře, která vede k nutnosti přehodnotit po desetiletí aplikované zásady hospodaření (MZe 2017). Při kombinaci dlouhotrvajícího sucha a vysokých teplot může docházet ke vzniku požárů (Brázdil a kol. 2015).

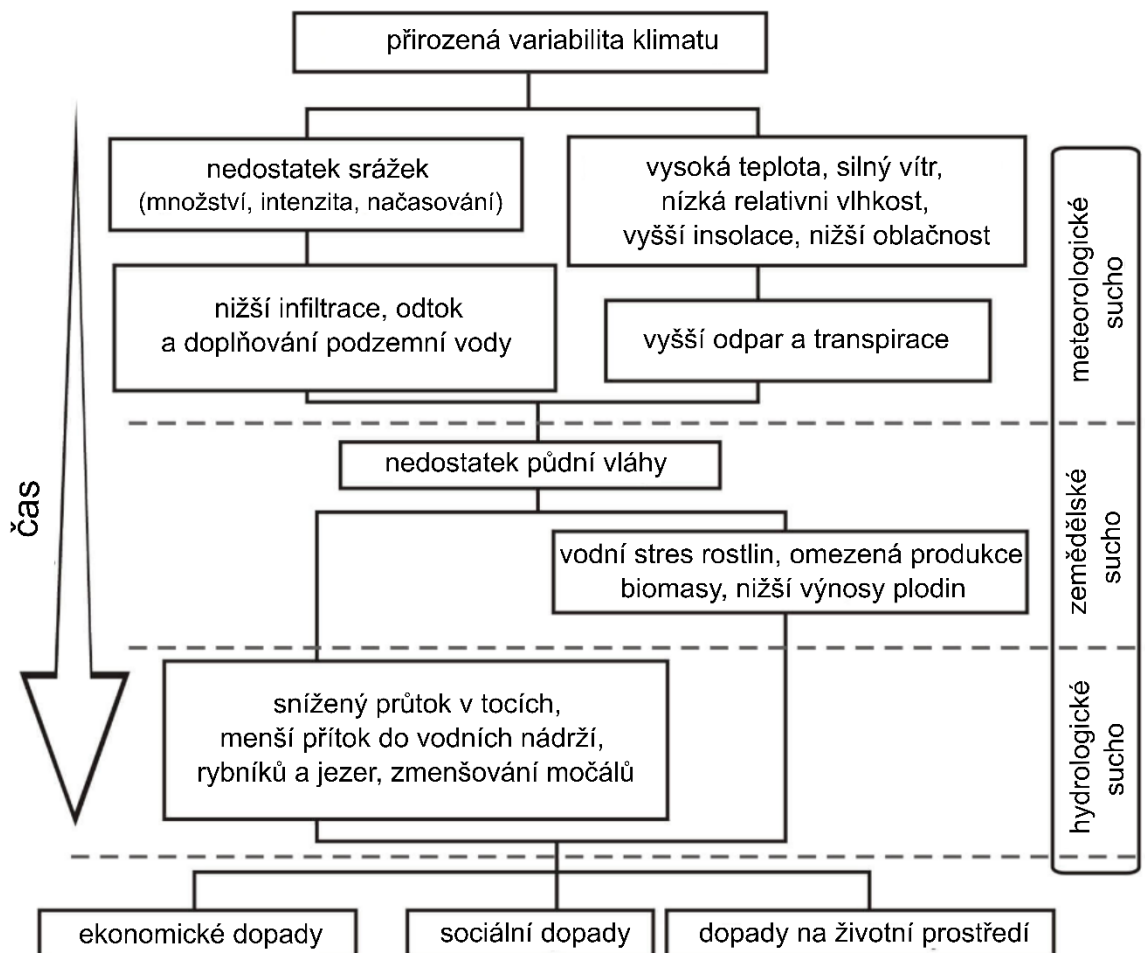
Environmentální dopady se často projevují v ekonomice. Ekonomické dopady nalezneme zvláště v oblastech navazujících na zemědělství, a to buď jako dopady přímé,

nebo nepřímé. Ztráta výnosů v důsledku sucha je přímým důsledkem a znamená pro zemědělce ztrátu příjmů, v krajním případě i likvidaci firmy. Zemědělci v případech sucha žádají úhradu ztrát po pojišťovnách nebo po státu (programy vládní pomoci). V tomto okamžiku se z primárních dopadů stávají dopady mající charakter sekundární, nebo dokonce terciální. (Trnka 2010). Následkem nedostatku srážek dochází k poklesu úrody i výnosnosti pastvin, což následně vede ke snížení produkce mléka, masa. Často dochází k úhynu zvířat či k vybíjení stád (Novický a kol. 2008, Trnka 2010). V rybářství se sucho projeví zejména úhynem ryb zvláště v rybnících, které nemají stálý přítok a kde nedochází k mísení a okysličování vody. Následkem eutrofizace dochází k e spotřebě kyslíku ve vodě a ryby hynou.

Sucho má dopad i na jiná odvětví hospodářství, ovlivňuje například energetiku. Nedostatek vody ovlivňuje nejen výkon vodních elektráren, ale i tepelných a jaderných (voda je potřebná pro chlazení zařízení) (Novický 2008). Nenajdeme žádné průmyslové odvětví, které by ke své činnosti nepotřebovalo vodu. Voda je třeba v průmyslu zpracovatelském, papírenském, strojírenském, potravinářském, textilním.... Ekonomické dopady zprostředkovaně způsobují ztráty v cestovním ruchu (rekreace), dopravě, bankovníctví a pojišťovníctví a mohou mít i dalekosáhlejší důsledky, jako je např. růst nezaměstnanosti, ztráty příjmů pro dotčené lokality i pro státní rozpočet (Trnka 2010). Nemalé finanční prostředky bývají vynaloženy k zajištění zdrojů pitné vody pro nejvíce postižené oblasti (Brázdil a kol. 2015, Burian 2019, Šachová 2013).

V návaznosti na environmentální a ekonomické dopady sucha přichází postupně dopady sociální. Ty závisí hlavně na vyspělosti jednotlivých států a jsou často finálním vyústěním všech předchozích (Burian 2019). Sociální dopady zahrnují zejména vliv na bezpečnost, ochranu zdraví, dále možné konflikty mezi vlastníky a uživateli zdrojů vody, jisté nespravedlnosti při rozdělení dopadů a ztrát, jakož i programů pomoci při katastrofách. Stejně jako u všech přírodních rizik jsou ekonomické dopady sucha velmi variabilní i mezi hospodářskými odvětvími, a to i v jednotlivých geografických oblastech (Trnka 2010). Lidé jsou nejvíce závislí na zdrojích a příjmu pitné vody. Z krajiny mizí voda, klesá hladina podzemních vod mělkých nebo dokonce hlubokých vrtů, průtoky v řekách, zásoby v přehradách, lokálně kolísá zásobování obyvatel pitnou vodou (AVČR 2019, Žalud 2021). V rozvojových zemích není dostatečně rozvinuta infrastruktura, zásobování pitnou vodou je zde velmi problematičné. Proto sociální dopady sucha postihují v první řadě tyto chudé země (Hladný 2009). V těchto zemích následkem užívání závadné vody propukají

nejrůznější infekce (Šachová 2013). Při nedostatku pitné vody v daném regionu je potřeba zajistit její dodávky, což v rozvojových zemích znamená velké finanční investice (Brázdil a kol. 2015). Časový sled jednotlivých druhů sucha a jejich dopady znázorňuje obr. 15.



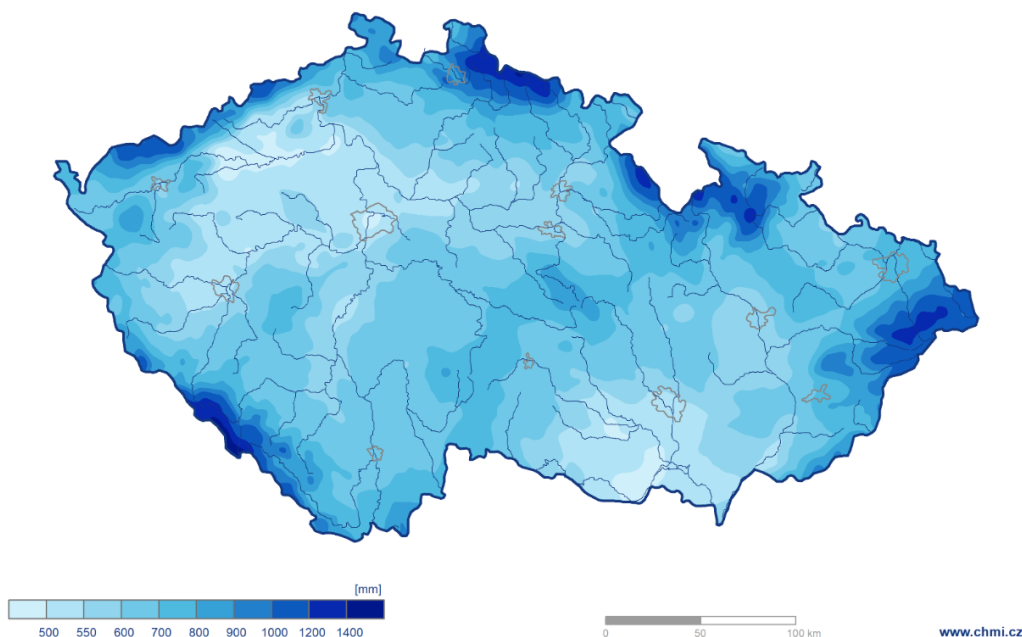
Obr. 15: Časový sled vývoje jednotlivých druhů sucha (NDMC 2022b, upraveno)

4 Srážkoodtokový proces

Tento proces je možné chápat jako složitý proces postupné proměny srážky dopadající na povodí na odtok vody závěrovým profilem povodí, který závisí na několika činitelích. V našich podmínkách jsou rozhodujícím činitelem atmosférické srážky mající vliv na časový průběh odtoku. Mezi další činitele aktivně se podílející na odtoku jsou proměnlivé klimatické faktory, jako je časový a prostorový průběh srážky, sluneční záření, teplota a vlhkost vzduchu, atmosférický tlak, intenzita výměny vzdušných mas apod., které ovlivňují výparnost a bilanční poměry v povodí. Pasivně je odtok ovlivňován fyzickogeografickými činiteli, mezi které patří např. půdní, geologické a geografické poměry, vegetační kryt, úprava půdy, plocha a velikost povodí, střední nadmořská výška, tvar, reliéf, říční síť atd. Jedná se o činitele ovlivňující vsak. Geologické podloží ovlivňuje retenční kapacitu povodí, hustota vodní sítě, její uspořádání a spádové poměry ovlivňují rychlost odtoku v povodí a působí zejména při utváření extrémních průtoků. Lze konstatovat, že čím je menší povodí toku, tím je nerovnoměrnější odtok v roce (Starý 2015).

4.1 Srážky

Na území Česka je průměrný roční úhrn srážek, tzv. dlouhodobý srážkový normál, 684 mm. Tuto hodnotu stanovil ČHMÚ za referenční období 1991–2020. Přehled průměrného ročního úhrnu srážek v Česku znázorňuje obr. 16. Pro účely práce byly vybrány tři stanice pro měření úhrnu srážek. Na území povodí se nachází stanice Mašťov (373 m n. m., klimatická oblast MT4), v bezprostřední blízkosti, avšak mimo území povodí se nacházejí stanice Tušimice (322 m n. m., klimatická oblast T2) a Žatec (210 m n. m., klimatická oblast T2). Rozmístění stanic je pro účely práce vyhovující. Stanice Mašťov je lokalizována téměř ve středu zájmového povodí, stanice Tušimice se nachází 4 km severně od hranice povodí a stanice Žatec je nedaleko ústí řeky Liboce do Ohře.

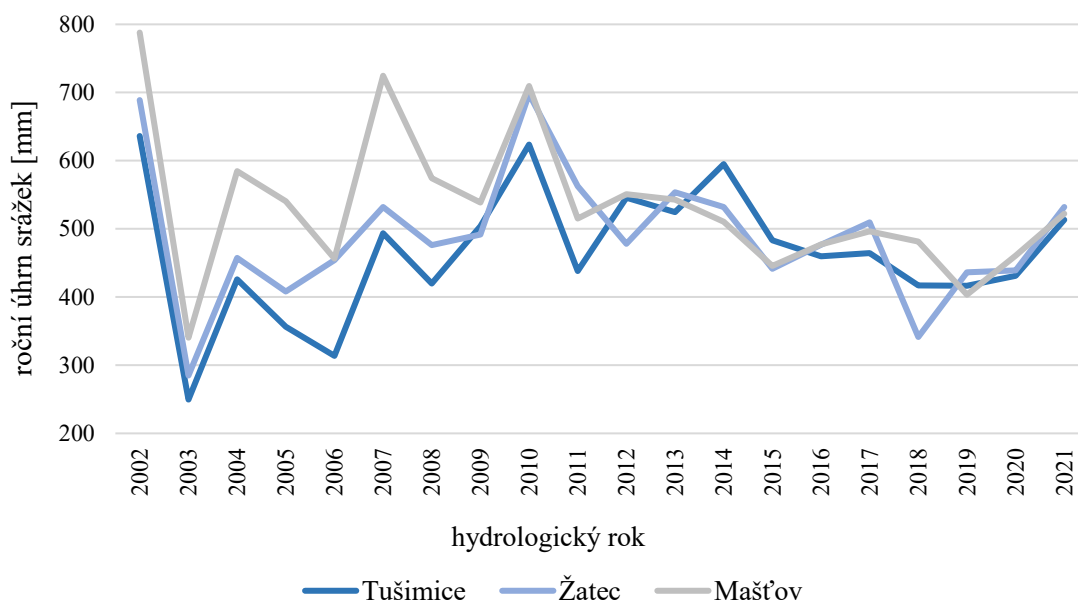


Obr. 16: Průměrný roční úhrn srážek za období 1991-2020 (zdroj: ČHMÚ)

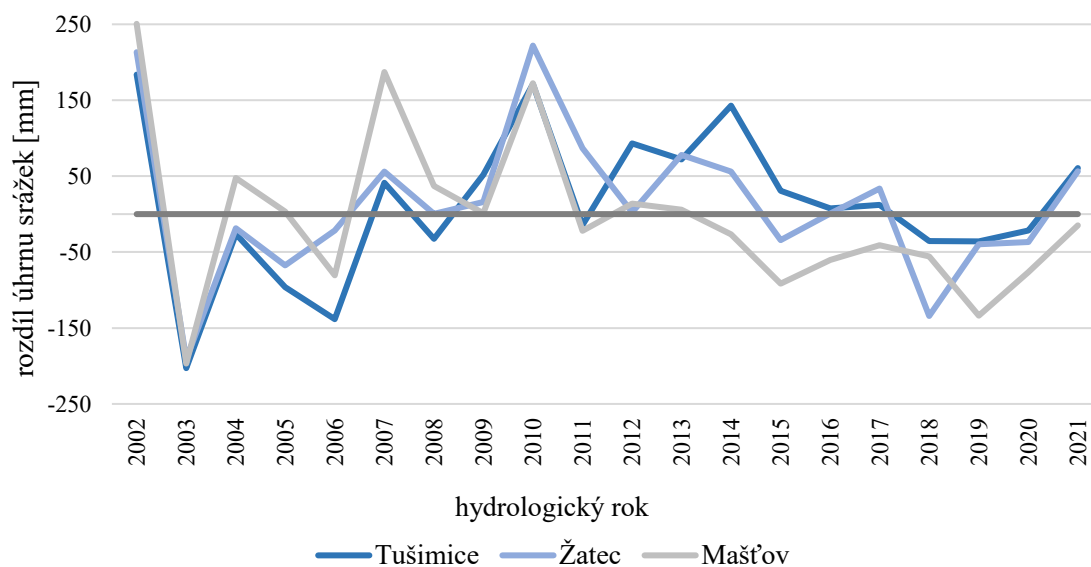
Aby bylo možné stanovit vlastním výpočtem dlouhodobý průměrný úhrn srážek (srážkový normál) pro každou uvedenou stanici, byla použita data z let 1991-2020. Pro účely této práce pak bylo vybráno období 2002-2021. Nejnížší hodnoty srážkového normálu ze stanoveného období byly naměřeny ve stanici Tušimice (452,48 mm). V Žatci bylo naměřeno 475,84 mm a nejvyšší ve stanici Mašťov (527,17 mm). Vybrané stanice nedosahují hodnoty celorepublikového normálu (684 mm), dokonce ani hodnot uvedených v Quittově klasifikaci klimatu.

Absolutně nejnížší hodnota ročního srážkového úhrnu byla naměřena v roce 2003, kdy ve stanici Tušimice činila 249,6 mm, ve stanici Žatec 284,9 mm a ve stanici Mašťov 340,4 mm. Naopak nejvyšší byly naměřeny v povodňových letech 2002 a 2010. V roce 2002 dosáhly hodnoty ročního úhrnu srážek 787,9 mm v Mašťově a 636,2 mm v Tušimicích. V roce 2010 bylo dosaženo maximální hodnoty ročního úhrnu srážek v Žatci, a to 697,8 mm (obr. 17). Pro lepší srovnání byly tyto hodnoty porovnány se srážkovým normálem dané stanice (obr. 18). Nejvyšší denní úhrny srážek pro každou stanici jsou uvedeny v tabulce 7.

Rozdíly hodnot mezi uvedeným stanicemi jsou způsobeny jednak lokalizací v klimatických oblastech a také odlišnou nadmořskou výškou. Povodí se nachází v závětrí Krušných hor i vlastního hřebene Doupovských hor a vliv srážkového stínu je zde velmi zřetelný (Matějů, Hradecký, Melichar 2016).



Obr. 17: Roční úhrn srážek ve vybraných stanicích v období 2002-2021 (zdroj: ČHMÚ, vlastní zpracování)



Obr. 18: Rozdíl ročního úhrnu srážek oproti normálu ve vybraných stanicích v období 2002-2021 (zdroj: ČHMÚ, vlastní zpracování)

stanice	pořadí	úhrn srážek [mm]	datum
Mašťov	1.	54,5	26.05.2009
	2.	54,2	17.09.2016
	3.	51	08.08.2007
Tušimice	1.	51,4	21.07.2014
	2.	50	11.08.2002
	3.	48	14.06.2015
Žatec	1.	72,6	12.08.2002
	2.	72	08.08.2007
	3.	58,7	13.07.2021

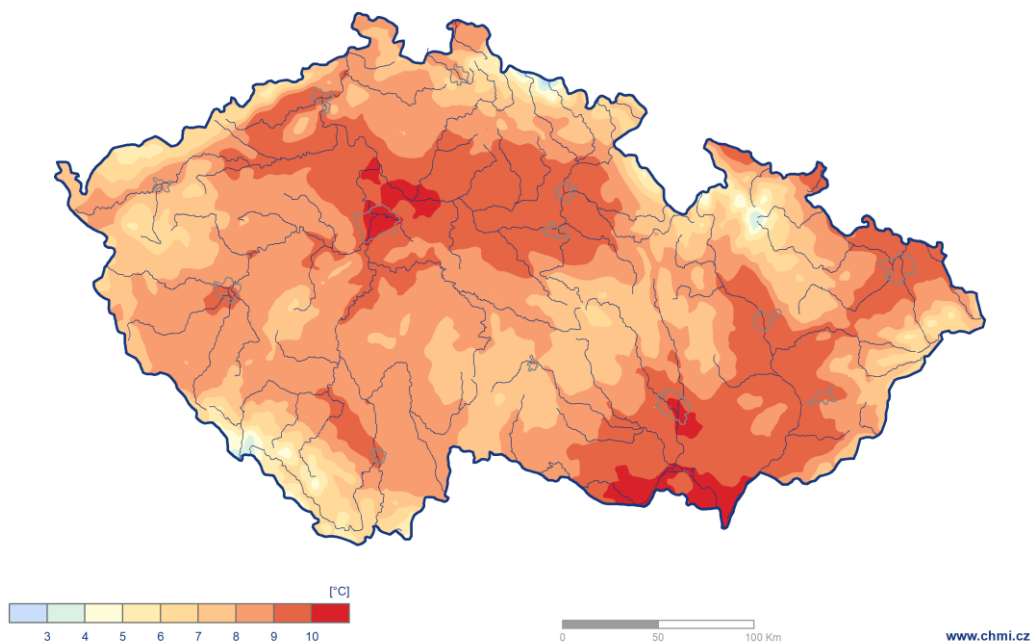
Tab. 7: Nejvyšší denní úhrny srážek ve vybraných stanicích v období 2020-2021 (zdroj: ČHMÚ, vlastní zpracování)

4.2 Teploty

Na území Česka dosahuje průměrná roční teplota (dlouhodobý normál) hodnoty 8,3 °C. Tuto hodnotu stanovil ČHMÚ za referenční období 1991-2020. Přehled průměrné roční teploty vzduchu v Česku znázorňuje obr. 19. Pro účely práce byly vybrány dvě stanice pro měření teploty vzduchu. Obě se nachází v bezprostřední blízkosti povodí, jedná se o stejné stanice Tušimice a Žatec, jejichž data byla již použita pro analýzu srážek.

Průměrná roční teplota vzduchu za období 1991 – 2020

Český
hydrometeorologický
ústav



Obr. 19: Průměrná roční teplota vzduchu za období 1991-2020 (zdroj: ČHMÚ)

Řeka Liboc pramení v Doupovských horách, kde se dlouhodobá průměrná roční teplota pohybuje v rozmezí od 9 °C v polohách kolem 300 m n. m. po 5 °C v hřebenových partiích (Matějů a kol. 2016).

Z dostupných dat z let 1991-2020 byla vlastním výpočtem stanovena dlouhodobá průměrná teplota vzduchu pro tyto stanice (tab. 8), která je u obou stanic vyšší, než je celorepublikový průměr.

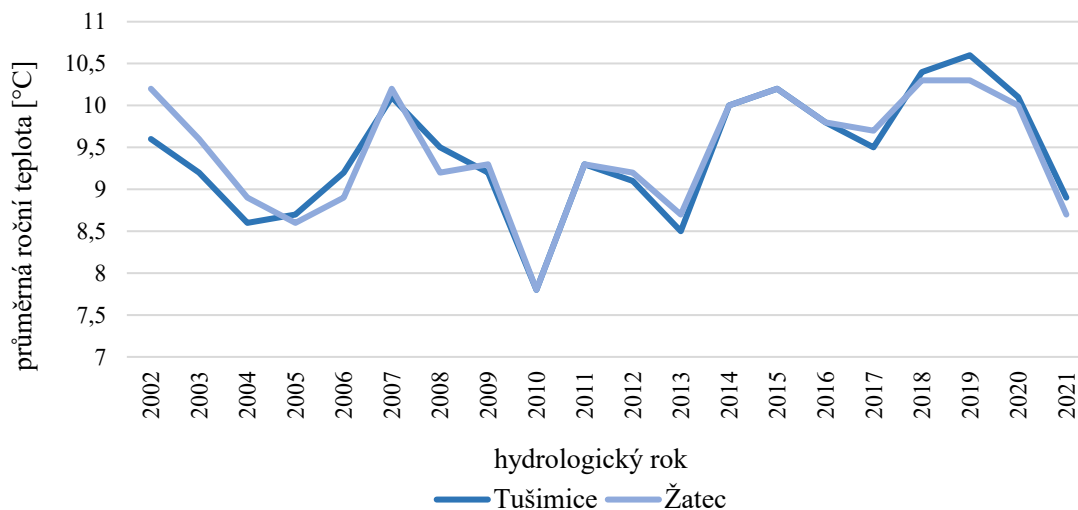
stanice	normál 1991-2020 [°C]
Tušimice	9,21
Žatec	9,52

Tab. 8: Dlouhodobý teplotní normál 1991-2020 na vybraných stanicích (zdroj: ČHMÚ, vlastní zpracování)

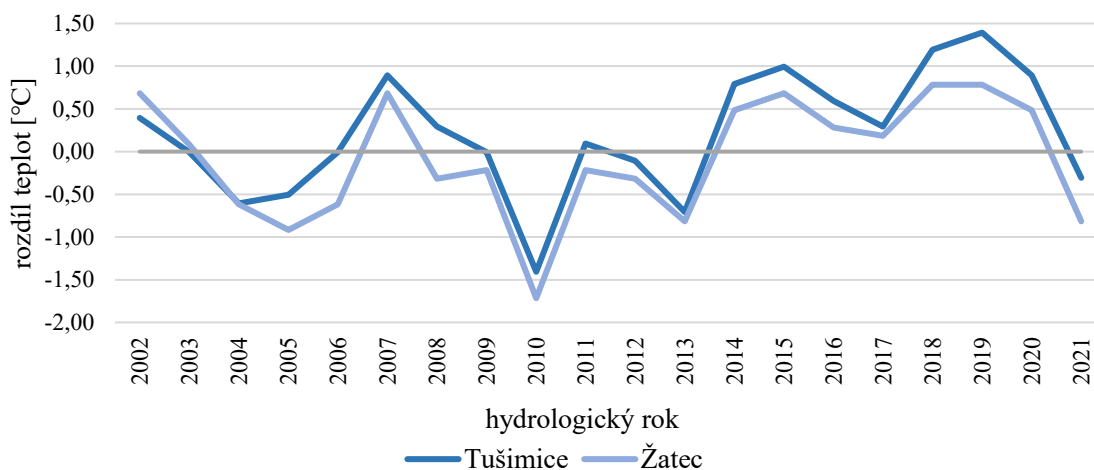
Pro účely této práce pak bylo vybráno období 2002–2021. Nejnižší průměrná roční teplota ze stanoveného období byla naměřena v roce 2010, byla u obou stanic totožná, a to 7,8 °C. Nejvyšší průměrná roční teplota byla naměřena pro obě stanice v roce 2019, v Tušimicích dosáhla hodnoty 10,6 °C a v Žatci 10,3 °C (obrázek č. 20). Naměřené hodnoty ve vybraných stanicích převyšují hodnoty celorepublikového normálu. Nejnižší a nejvyšší hodnoty teplot jsou uvedeny v tabulce 9. Roky s nejvyššími odchylkami teplot od dlouhodobého normálu jsou zřetelně vidět v grafu (obrázek č. 21), jenž znázorňuje vypočtené rozdíly mezi průměrnými ročními teplotami a dlouhodobým normálem teplot ve sledovaném období v obou stanicích.

stanice	max [°C]	datum	min [°C]	datum
Tušimice	37,9	13.08.2003	-12,5	06.01.2004
Žatec	38,9	20.08.2012	-12,8	06.01.2004

Tab. 9: Extrémní teploty na vybraných stanicích mezi lety 2002-2021 (zdroj: ČHMÚ, vlastní zpracování)



Obr. 20: Průměrné roční teploty na vybraných stanicích v období 2002-2021 (zdroj: ČHMÚ, vlastní zpracování)



Obr. 21: Rozdíl průměrných ročních teplot oproti normálu 1991-2020 ve vybraných stanicích (zdroj: ČHMÚ, vlastní zpracování)

5 Analýza projevů hydrologického sucha

5.1 Metodika

5.1.1 Zdroje dat

Pro analýzu hydrologického sucha byla použita data od Povodí Ohře, s.p., konkrétně z profilu Libočany (obr. 22) na dolním toku, který je v správě obce Libočany a nachází se nedaleko od ústí Liboče do řeky Ohře. Data profilu Libočany byla poskytnuta ve formě průměrných denních průtoků od roku 2001 do roku 2021, s výjimkou období od 1. srpna 2013 do 10. dubna 2014, kdy nebyla data k dispozici.



Obr. 22: Limnigrafická stanice Libočany (zdroj: archiv autora)

5.1.2 Použité metody

Roční vodnost řek se vyjadřuje průměrným ročním průtokem (Q_r), který je ovlivněn velikostí podílu hlavního zdroje napájení, množstvím srážek na povodí a jejich časovém rozložení. Míra vodnosti řek se posuzuje podílem ročních průtoků na dlouhodobém průměrném průtoku:

$$\frac{Q_r}{Q_a} \text{ nebo } \frac{Q_r}{Q_a} * 100 [\%]$$

Při posuzování řek odlišných celkovou vodností není tento způsob objektivní, proto byla zvolena metoda hodnocení podle křivky překročení, díky které lze určit pravděpodobnost překročení ročních průtoků vyjádřenou v procentech [%].

Pokud je k dispozici dostatečně dlouhá řada měření průměrných ročních průtoků (Q_r), je třeba seřadit hodnoty sestupně podle velikosti průtoků a následně stanovit pravděpodobnost jejich výskytu, respektive překročení (P). Pro tuto analýzu byl použit výpočet podle Čegodajeva:

$$P = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} * 100 \text{ [%]}$$

přičemž m je pořadí Q_r v sestupné řadě, n je počet členů řady Q_r . S využitím tabulky Herbera a Sudy (tab. 10) lze vypočtené hodnoty pravděpodobnosti překročení převést do slovního hodnocení.

P [%]	slovní hodnocení	symbol
0-10	mimořádně vodný rok	MV
11-40	vodný rok	V
41-60	průměrně vodný rok	P
61-90	málo vodný rok	MV
91-100	mimořádně málo vodný rok	MS

Tab. 10: Klasifikace vodnosti hydrologických roků (Herber, Suda 2001).

K analýze hydrologického sucha je možno použít několik metod. Pro tuto práci byly zvoleny následující dvě metody. Metoda hodnocení počtu suchých dnů a metoda nedostatkových objemů. U obou je využita tzv. prahová hodnota, tj. hraniční (limitní) průtok. Jakmile průtok klesne pod tuto hodnotu, lze hovořit o hydrologickém suchu (Brázdil, Trnka a kol. 2015).

Za suchý den je možné označit den, kdy je průměrný denní průtok (Q_d) menší, než je prahová hodnota. Jako prahová hodnota je vybrán 355denní průtok (Q_{355d}), který je v dlouhodobém průměru dosažen či překročen 355 dní v roce. Pro stanici Libočany je stanovena hodnota Q_{355d} ve výši $0,157 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Povodí Ohře 2017) a pro jednotlivé povodňové stupně hodnoty I. SPA $16,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, II. SPA $39,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a III. SPA $59,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Metoda hodnocení počtu suchých dnů spočívá v určení počtu dnů během hydrologického roku, kdy průtok klesne pod prahovou hodnotu. To umožňuje srovnání nejen jednotlivých let, ale i různých vodních toků.

Stejně jako metoda hodnocení počtu suchých dnů, tak i metoda nedostatkových objemů využívá období s nižším než hraničním průtokem. Velikost nedostatkového objemu vyjadřuje objem vody [m³], který chybí k doplnění průtoku na určenou limitní hodnotu během suchého období a lze jej stanovit dle následujícího vzorce:

$$NO = \sum_{i=1}^t (LQ - Qi) * 24 * 3600$$

resp.

$$NO = \sum_{i=1}^t (Q_{355d} - Q_d) * 24 * 3600$$

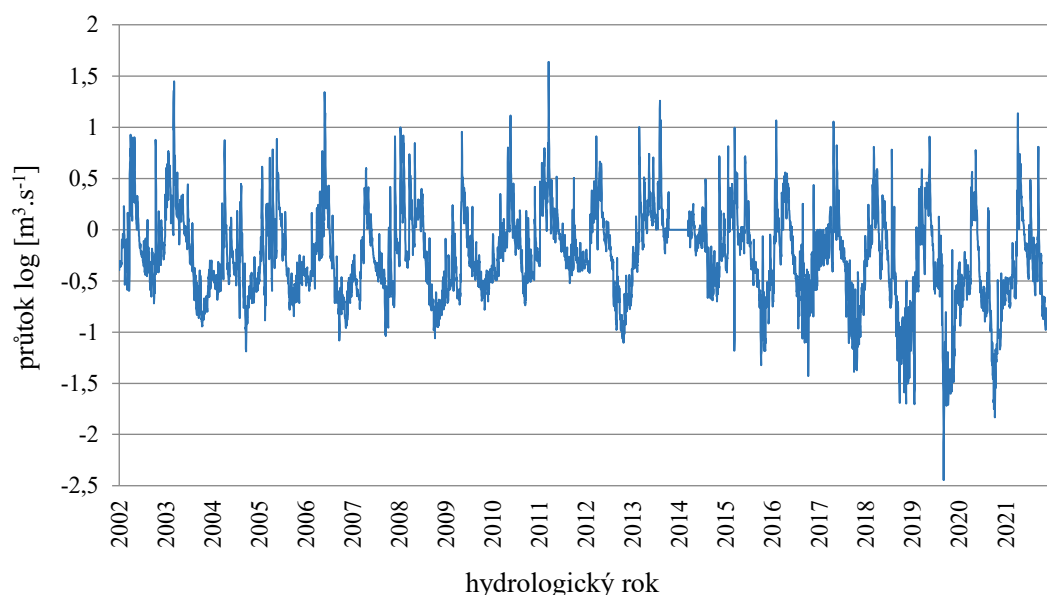
kde t je počet dnů, kdy hodnota průtoku klesne pod hodnotu hraniční (Tremel 2011).

6 Výsledky

6.1 Variabilita průtoků

6.1.1 Denní průtoky

Ze získaných dat byl vypočten dlouhodobý průměrný průtok Liboce ve stanici Libočany, jeho hodnota činí $0,896 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Průměrné denní průtoky za celé sledované období byly analyzovány a jsou znázorněny v obrázku 23. Z grafu je zřejmý sestupný trend minimálních průtoků od roku 2015 do roku 2019. Absolutního minima bylo dosaženo dne 5. července 2019, kdy hodnota klesla na úroveň $0,0036 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Na maximum ve výši $43,2873 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ vystoupala dne 15. ledna 2011. Extrémní průměrné denní průtoky jsou uvedeny v tabulce 11.



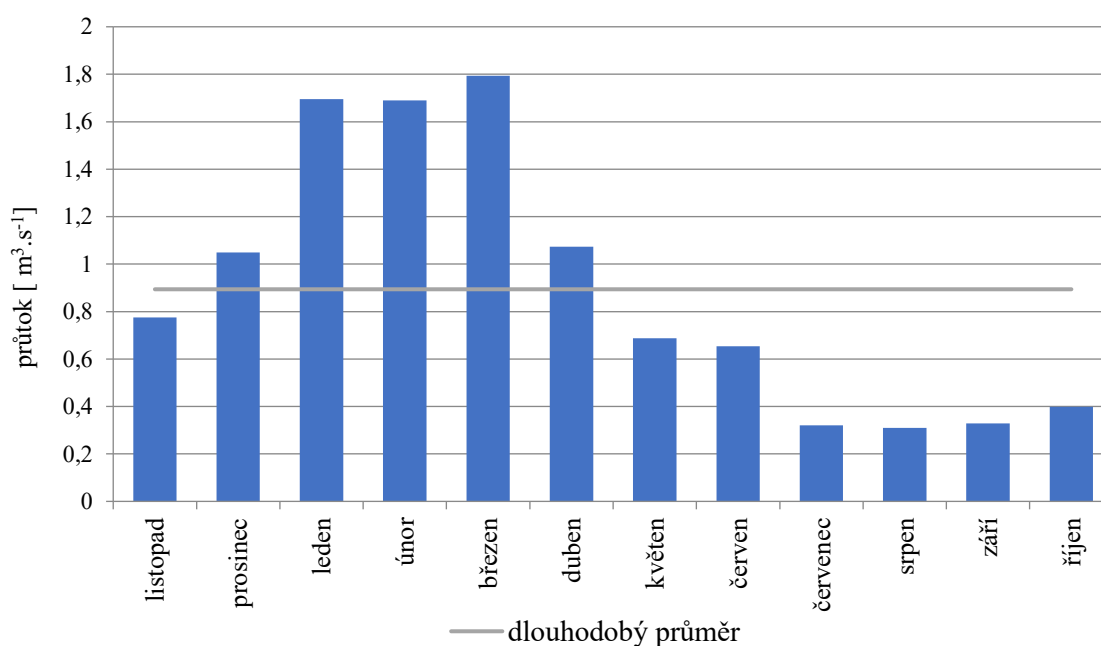
Obr. 23: Průměrné denní průtoky za pozorované období 2002-2021 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

datum	maximální průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	datum	minimální průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
15.01.2011	43,2873	05.07.2019	0,0036
04.01.2003	27,9929	06.07.2019	0,0083
16.01.2011	26,0736	04.07.2019	0,01107
01.01.2003	22,8428	07.07.2019	0,0114
28.03.2006	21,9900	08.07.2019	0,0126

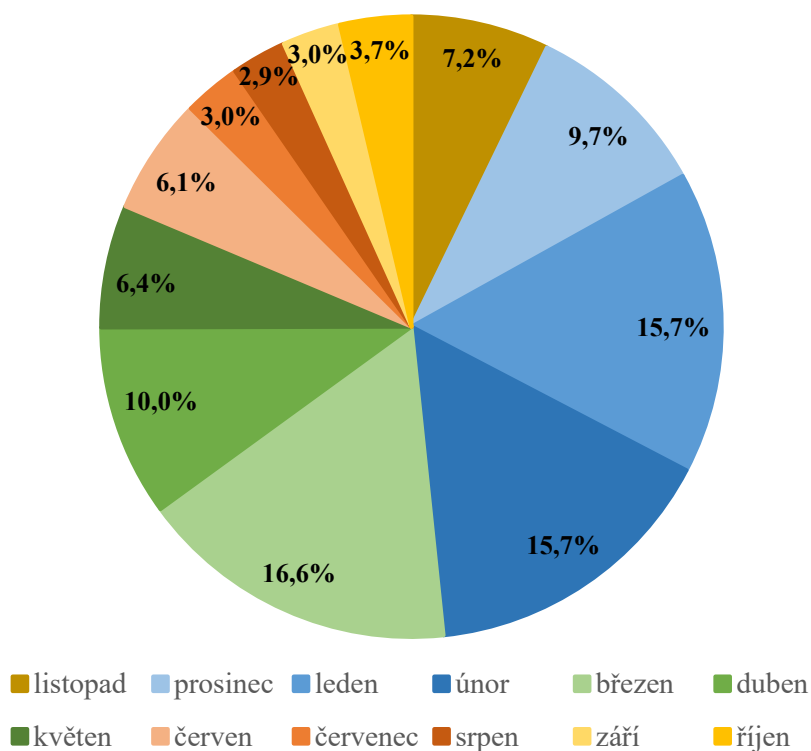
Tab. 11: Extrémní průměrné denní průtoky v období let 2002-2021 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

6.1.2 Měsíční průtoky a odtoky

Z průměrných denních průtoků z období 2002-2021 byly vypočteny dlouhodobé průměrné měsíční průtoky (obr. 24) a odtoky (obr. 25), které byly pro lepší přehlednost zaneseny do grafu. Z grafů lze vyčíst, že nejvodnější období roku je od ledna do března, a naopak nejméně vodné jsou měsíce červenec, srpen a září. Maxima je dosahováno nejčastěji v březnu, tedy v období tání sněhu, kdy průměrný průtok dosahuje hodnoty $1,793 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, což odpovídá 16,6 % ročního odtoku a minima v srpnu v období sucha, kdy průtok klesá k hodnotám $0,328 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, hodnota odpovídá 2,9 % ročního odtoku.

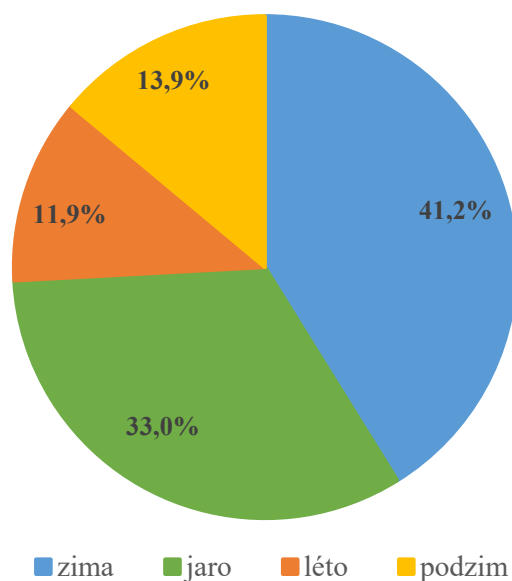


Obr. 24: Průměrné měsíční průtoky za pozorované období 2002-2021 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)



Obr. 25: Průměrné měsíční odtoky za pozorované období 2002-2021 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

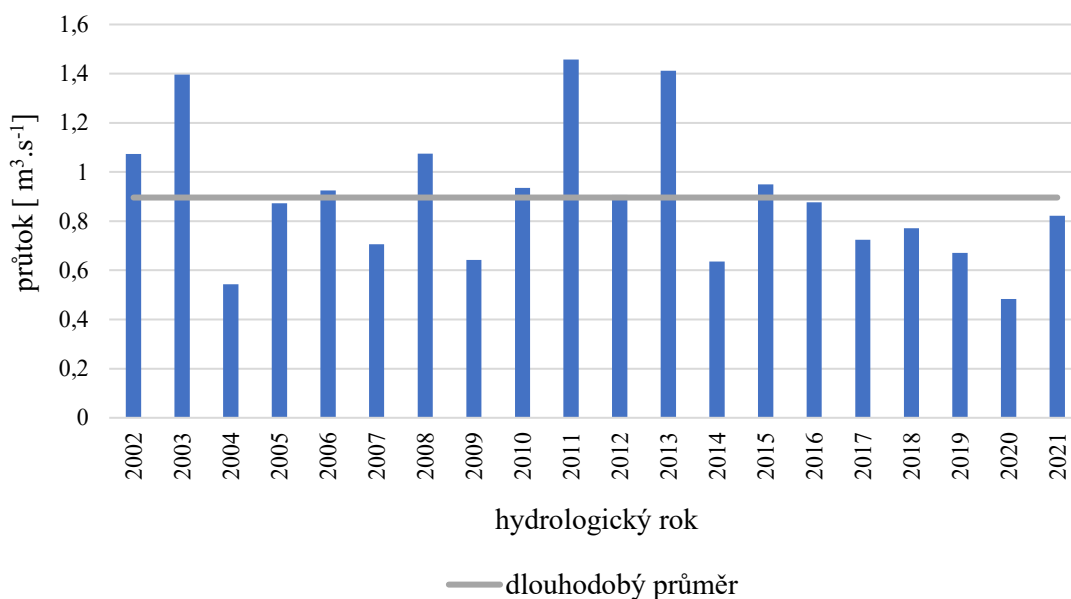
V následujícím grafu (obr. 26) je znázorněn odtokový režim z hlediska ročních období. Rozložení objemu ročního odtoku je značně nevyrovnané. Nejvyšší hodnoty odtoku 41,2 % je dosahováno v zimním období, následuje jaro s 33 %, posléze podzim s 13,9 % a nejméně je dosahováno v letních měsících, kdy hodnota objemu odtoku klesá až na 11,9 % ročního objemu odtoku.



Obr. 26: Průměrné odtoky dle ročních období za pozorované období 2002-2021 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

6.1.3 Roční průtoky a odtoky

Z průměrných denních průtoků byly dále vypočteny průměrné roční průtoky, které se pohybují v rozmezí od $0,484 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v roce 2020, kdy celkový roční odtok činil 15,25 mil. m^3 , až po $1,457 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v roce 2011, kdy celkový roční odtok činil 45,96 mil. m^3 . Dlouhodobý průměrný roční průtok vypočítaný z dostupných dat činí $0,894 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Data byla vynesena do grafu (obr. 27) znázorňujícího průměrné roční průtoky se zobrazením dlouhodobého ročního průměru. Z grafu jsou dobře patrné roky s nadprůměrným průtokem a roky s průtokem podprůměrným. I zde lze vysledovat trend poklesu průtoků v letech 2015-2020.



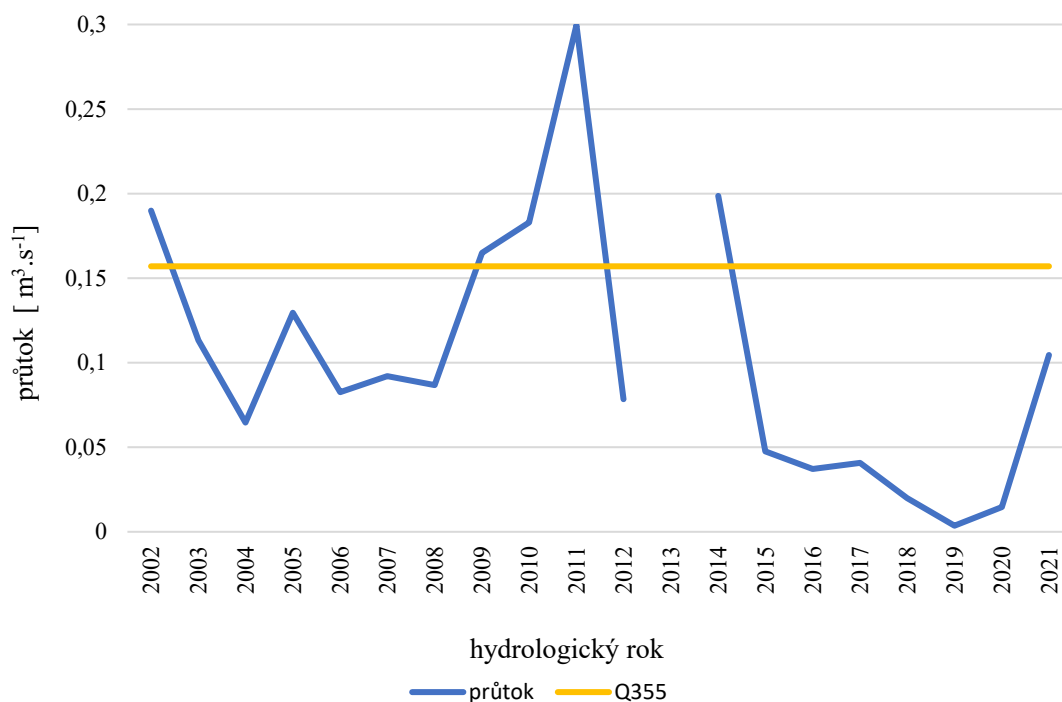
Obr. 27: Průměrné roční průtoky za pozorované období 2002-2021 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

Průměrný roční odtok ve sledovaném období činil 28,19 mil. m³. V následující tabulce (tab. 12) je uveden přehled tří nejvodnějších a nejméně vodných let s vyčíslením odtoku.

rok	minimální roční odtok [mil. m ³]	rok	maximální roční odtok [mil. m ³]
2020	15,25	2011	45,96
2004	17,12	2013	44,54
2014	20,04	2003	44,02

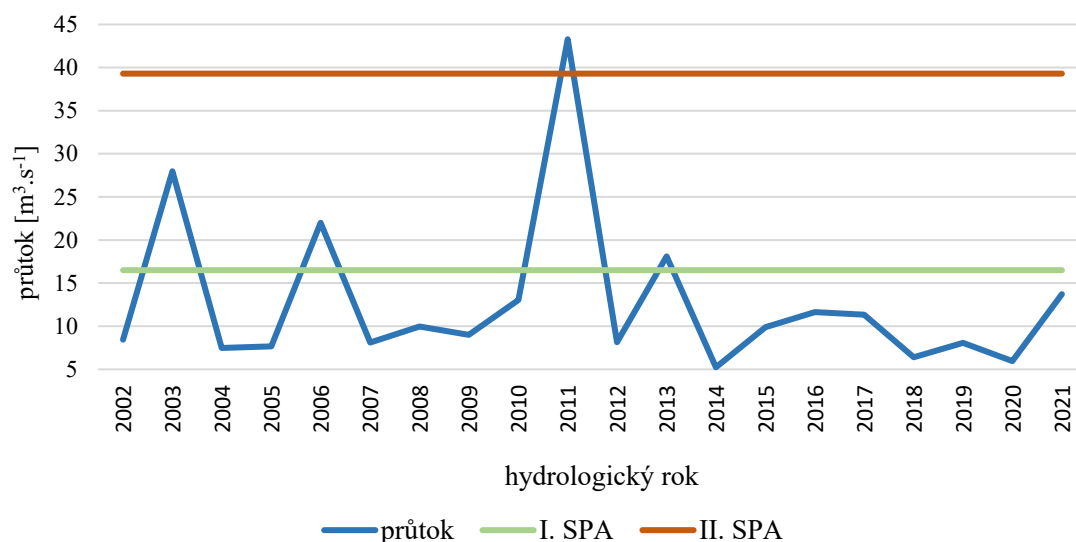
Tab. 12: Extrémní roční odtoky v období let 2002-2021 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

Následující grafy zobrazují extrémy z jednotlivých let. V grafu (obr. 28) jsou vyneseny nejnižší hodnoty denních průtoků každého z pozorovaných roků. Jelikož nebyla v části roku 2013 a 2014 dostupná veškerá data, je křivka přerušena. Oranžová linie znázorňuje úroveň Q_{355d}. Je-li křivka minimálních hodnot nad linií Q_{355d}, nebyly v daném období žádné suché dny. Je-li křivka pod linií, byly suché dny zaznamenány. Z této křivky lze vyčíst, že v roce 2002 a v letech 2009-2011 nedošlo k deficitu vody, zatímco v letech 2015-2020 byl deficit vody značný.



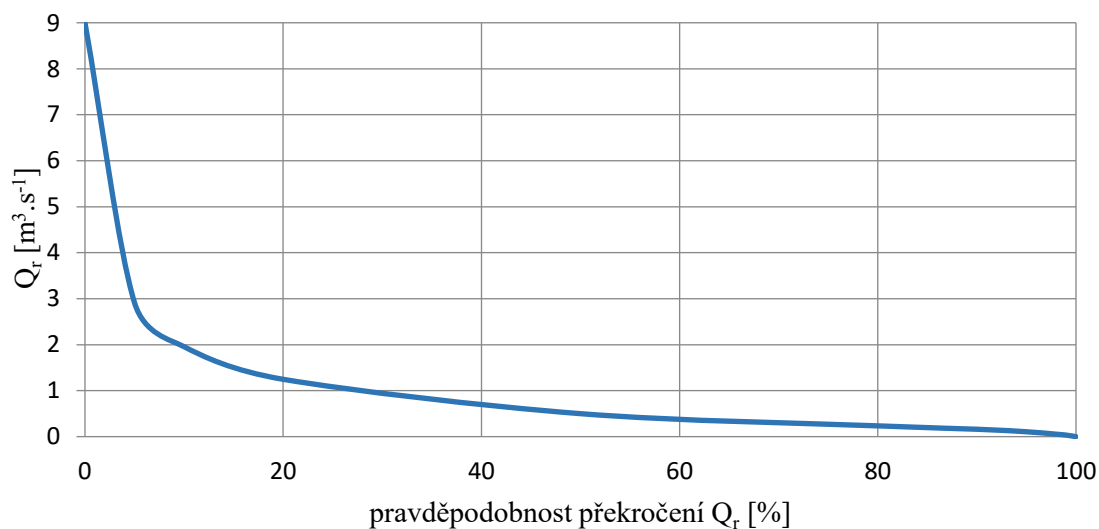
Obr. 28: Minimální denní průtoky ve sledovaném období 2002-2021 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

V grafu (obr. 29) jsou vyneseny maximální hodnoty denních průtoků v konkrétních letech. Horizontály znázorňují hodnotu denního průtoky, při kterém nastává daný stupeň povodňové aktivity. Ve sledovaném období byly zaznamenány povodně prvního stupně (překročena hranice I. SPA) v letech 2003, 2006, 2013 a v roce 2011 povodeň druhého stupně (překročena hranice II. SPA).



Obr. 29: Maximální denní průtoky ve sledovaném období 2002-2021 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

Ke grafickému znázornění pravděpodobnosti překročení Q_r na řece Liboc byla využita křivka pravděpodobnosti překročení (obr. 30). Pomocí tohoto grafu lze stanovit pravděpodobnost s jakou bude překročen konkrétní průměrný roční průtok. Z křivky překročení byly následně stanoveny hodnoty M-denních průtoků, které jsou uvedeny v tabulce 13.



Obr. 30: Křivka pravděpodobnosti překročení (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

průtok	Q30	Q60	Q90	Q120	Q150	Q180	Q210	Q240	Q270	Q300	Q330	Q360
m ³ .s ⁻¹	2,163	1,389	1,009	0,809	0,648	0,532	0,430	0,346	0,276	0,217	0,174	0,118

Tab. 13: Tabulka překročení M-denních průtoků (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

S využitím hodnot pravděpodobnosti překročení, zde rozlišených barevně dle výše, lze klasifikovat vodnost řeky Liboc následovně (tab. 14)

Rok	Q _r [m ³ .s ⁻¹]	P [%]	Vodnost
2002	1,07	18,14 %	V
2003	1,4	13,24 %	V
2004	0,54	91,67 %	MS
2005	0,87	52,45 %	P
2006	0,92	37,75 %	V
2007	0,71	72,06 %	S
2008	1,07	23,04 %	V
2009	0,64	81,86 %	S
2010	0,93	32,84 %	V
2011	1,46	3,43 %	MV
2012	0,91	42,65 %	P
2013	1,41	8,33 %	MV
2014	0,64	86,76 %	S
2015	0,95	27,94 %	V
2016	0,88	47,55 %	P
2017	0,72	67,16 %	S
2018	0,77	62,25 %	S
2019	0,67	76,96 %	S
2020	0,48	96,57 %	MS
2021	0,82	57,35 %	P

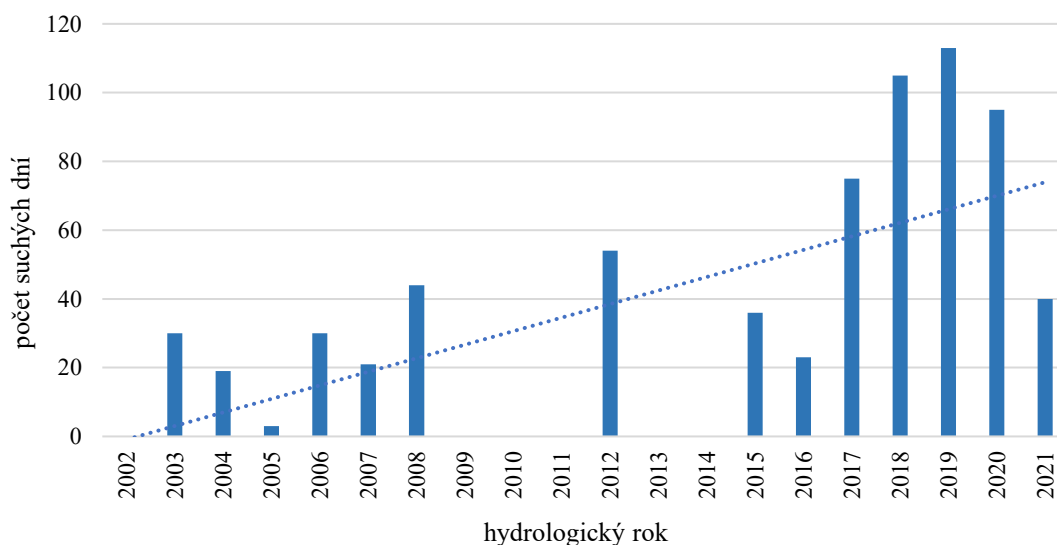
Tab. 14: Hodnocení vodnosti hydrologických let za celé sledované období (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

I z této tabulky je zřejmé, že již zmiňované roky 2004 a 2020 můžeme klasifikovat jako mimořádně málo vodné roky, a naopak roky 2011 a 2013 jako roky mimořádně vodné.

6.2 Hodnocení sucha na základě metody suchých dnů

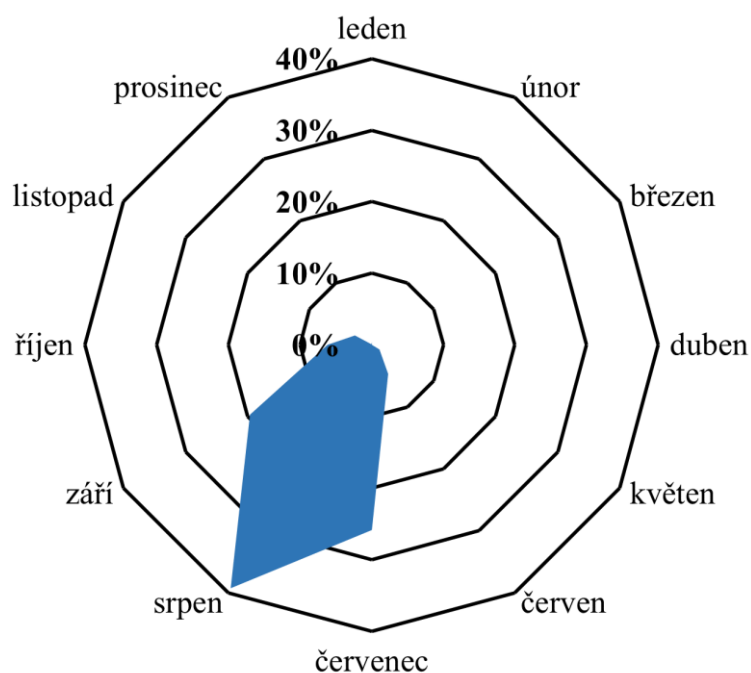
V rámci této práce je hydrologické sucho nejprve hodnoceno na základě počtu suchých dnů. Suchý den je takový, v němž klesne průměrný denní průtok pod hodnotu Q_{355d} , což je definováno jako hranice hydrologického sucha (Řiřicová 2003). Na Liboci je prahová hodnota Q_{355d} stanovena na $0,157 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tzn. pokud je hodnota průměrného denní průtoku nižší, jedná se o suchý den. Analýzou dat bylo v období 2002-2020 zjištěno celkem 688 suchých dnů. Nejvíce suchých dnů (113) bylo v roce 2019, v letech 2002, 2009-2011, 2012 a 2013 neklesl průměrný denní průtok pod rozhodnou hranici, nejednalo se tedy o suchý den.

Následující graf (obr. 31) zobrazuje počty suchých dnů v jednotlivých letech. Z grafu, ve kterém je proložena spojnice vyjadřující trend, je možné vysledovat rostoucí tendenci počtu suchých dnů, a to zejména v období let 2017-2019. Současně je vidět, že výskyt roků bez suchých dnů není ojedinělý.



Obr. 31: Počet suchých dní v jednotlivých hydrologických letech (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

Obrázek 32 zobrazuje rozložení suchých dnů v jednotlivých měsících sledovaného období. Nejvíce suchých dnů bylo zjištěno v měsících srpen (261 dnů), následuje červenec (172) a září (130). Absence suchých dnů byla zjištěna v měsících únor, březen a duben.



Obr. 32: Rozložení suchých dní v jednotlivých měsících sledovaného období 2002-2021 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

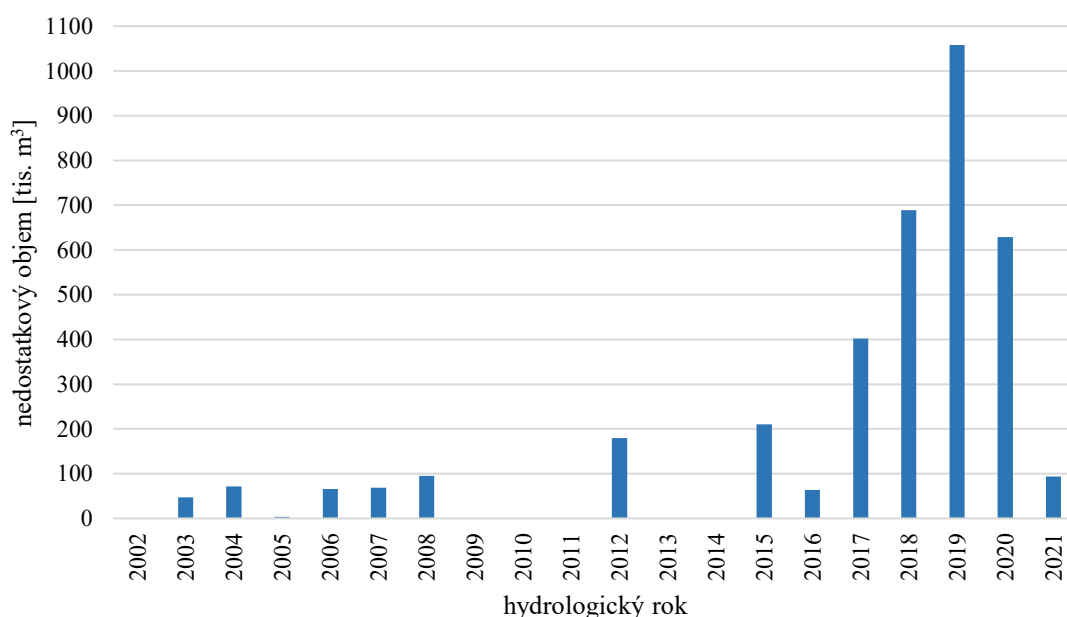
6.3 Hodnocení sucha na základě metody nedostatkových objemů

Z dostupných dat bylo zjištěno nejdelší suché období trvající 57 dnů, které započalo dne 14. července a trvalo do 8. září 2018. Pro tuto dobu byl vypočítán nedostatkový objem vody 387,3 tis. m³. Uvedený nedostatkový objem nebyl v období 2002-2021 nejvyšší, neboť ten byl vypočítán pro období sucha, které trvalo od 23. července do 9. září 2019, tedy 49 dnů. Podrobný přehled je uveden v tabulce 15. I zde si lze všimnout, že suchá období se vyskytují nejčastěji v měsíci srpnu.

začátek suchého období	konec suchého období	počet suchých dní	nedostatkový objem [m ³]
04.08.2003	19.08.2003	16	33 342
21.08.2003	25.08.2003	5	7 163
14.07.2004	25.07.2004	12	58 743
17.07.2006	23.07.2006	7	19 068
02.09.2006	19.09.2006	18	42 016
14.07.2007	22.07.2007	9	33 575
01.08.2007	08.08.2007	8	26 473
28.07.2008	04.08.2008	8	20 831
10.08.2008	15.08.2008	6	12 545
19.08.2008	23.08.2008	5	10 273
25.08.2008	05.09.2008	12	35 070
11.09.2008	15.09.2008	5	6 376
24.06.2012	01.07.2012	8	22 991
25.07.2012	23.08.2012	38	106583
25.08.2012	31.08.2012	7	28 054
03.09.2012	10.09.2012	8	15 025
02.08.2015	15.08.2015	14	98 470
28.08.2015	10.09.2015	14	82 002
04.07.2017	10.07.2017	7	15405
15.07.2017	24.07.2017	10	56 019
29.07.2017	10.08.2017	13	96 526
13.08.2017	31.08.2017	19	127 371
05.09.2017	14.09.2017	10	51 814
17.09.2017	23.09.2017	7	25 315
03.07.2018	10.07.2018	8	43 917
14.07.2018	08.09.2018	57	387 292
10.09.2018	14.09.2018	5	41913
18.09.2018	22.09.2018	5	40 928
25.09.2018	04.10.2018	10	75 272
06.10.2018	14.10.2018	9	45 032
20.10.2018	25.10.2018	6	33 515
31.10.2018	05.11.2018	6	17 142
12.11.2018	21.11.2018	10	92 448
26.06.2019	21.07.2019	26	199 255
23.07.2019	09.09.2019	49	523 381
12.09.2019	01.10.2019	20	166 320
03.07.2020	09.07.2020	7	19 820
11.07.2020	31.08.2020	52	454 481
03.09.2020	26.09.2020	24	136 953
15.08.2021	19.08.2021	5	4 588
04.09.2021	16.09.2021	13	38 854
18.09.2021	26.09.2021	9	19 189
28.09.2021	08.10.2021	11	28 814

Tab. 15: Nejvyšší hodnoty nedostatkových objemů za celé sledované období (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

Množství nedostatkového objemu v jednotlivých letech znázorňuje graf (obr. 33). V tabulce 16 je uvedeno deset suchých období s extrémním nedostatkovým objemem vody. Lze si všimnout, že ne vždy delší trvání suchého období znamená větší nedostatkový objem, jako příklad lze uvést suché období roku 2003 a 2018. V srpnu 2003 trvalo suché období 16 dnů a chybělo 33,3 tis. m³ vody, tj. 2084 m³/den, zatímco v červenci 2018 trvalo suché období 8 dnů a chybějící objem byl 43,9 tis. m³, tedy 5490 m³/den. Nejvyšší nedostatkové roční objemy vody byly zaznamenány v letech 2018–2020, proto byly tyto roky vybrány k podrobnější analýze, která je popsána v následující kapitole.



Obr. 33: Množství nedostatkového objemu v jednotlivých letech sledovaného období (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

začátek suchého období	konec suchého období	počet suchých dní	nedostatkový objem [m ³]
23.07.2019	09.09.2019	49	523 381
11.07.2020	31.08.2020	52	454 481
14.07.2018	08.09.2018	57	387 292
26.06.2019	21.07.2019	26	199 255
12.09.2019	01.10.2019	20	166 320
03.09.2020	26.09.2020	24	136 953
13.08.2017	31.08.2017	19	127 371
25.07.2012	23.08.2012	38	106 583
02.08.2015	15.08.2015	14	98 470

Tab. 16: Suchá období s extrémními nedostatkovými objemy (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

6.4 Sucho v povodí Liboce v období 2018-2020

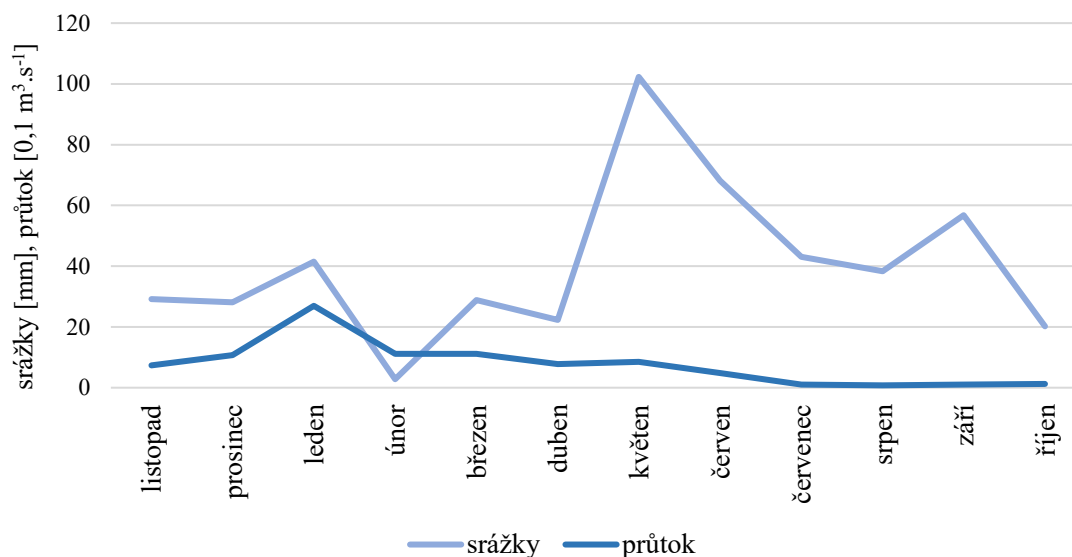
Tato kapitola podrobně popisuje hydrologické sucho v letech 2018-2020. Pro toto období je charakteristický vysoký počet suchých dnů jdoucích nepřetržitě za sebou (až 57 dnů v roce 2018), dále velký nedostatkový roční objem vody současně s vysokými průměrnými teplotami a nízkým úhrnem srážek. Vybrané roky jsou součástí déletrvajících sucha, které můžeme pozorovat již od roku 2015. Tato suchá perioda byla ukončena rokem 2021, který byl podle vodnosti průměrný a oproti normálu pro tuto oblast i s nižšími teplotami a vyššími srážkami. U uvedených let je průměrný roční průtok pod hranicí dlouhodobého ročního průměru ($0,894 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). V roce 2018 byl průměrný roční průtok $0,771 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, v roce 2019 dosahoval hodnoty $0,671 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a v roce 2020 dokonce $0,484 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Je zde patrný sestupný trend.

Průměrné denní průtoky za jednotlivé roky jsou znázorněny graficky, průběhy křivek jsou na pohled velmi podobné. V zimním a jarním období byly vlivem tání sněhu a množství srážek průtoky vysoké (cca $6-8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), v letních měsících je zaznamenán malý průtok s krátkodobějším zvýšením v měsících květen a červen.

6.4.1 Rok 2018

Na počátku hydrologického roku se průměrné denní průtoky pohybovaly v rozmezí $0,5-1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Zlom nastal 25. 12. 2017, kdy se zvýšil na hodnotu $2,75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Následovalo období střídání vzestupů a poklesů denních průtoků. Maxima bylo dosaženo dne 5. 1. 2018, kdy hodnota vlivem předchozích srážek dosáhla výše $6,42 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. V dalším období docházelo ke kolísání denních průtoků vlivem lokálních srážek a také tání sněhu. Dne 25. 5. 2018 je zřetelný prudký nárůst průměrného denního průtoku dosahujícího $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, který byl způsoben značným množstvím srážek zaznamenaných ve stanici Mašťov dne 23. 5. 2018. Poté průtok s drobnými výkyvy klesal až na hodnotu $0,33 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Dále bylo zaznamenáno v důsledku srážek již jen menší zvýšení denního průtoku na hodnotu $1,68 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (13. 6.) a následovalo dlouhé období nízkého průměrného denního průtoku trávající s krátkými přestávkami až do konce hydrologického roku. Minimálního průtoku ($0,02 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) bylo dosaženo dne 14. 9. 2018. Z kombinovaného grafu (obr. 34) znázorňujícího jak množství naměřených srážek ve stanici Mašťov, tak i průměrný průtok ve stanici Libočany je zřejmá závislost velikosti průtoku na srážkách v období listopad–duben, zatímco v ostatních

měsících roku 2018 závislost zjevná není, což je pravděpodobně způsobeno vyšší teplotou a evapotranspirací. Pro lepší přehlednost byla hodnota průtoku vynásobena deseti, jednotka je tedy uvedena nestandardně [$0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], stejně tak tomu je v obrázku 39 a 44.

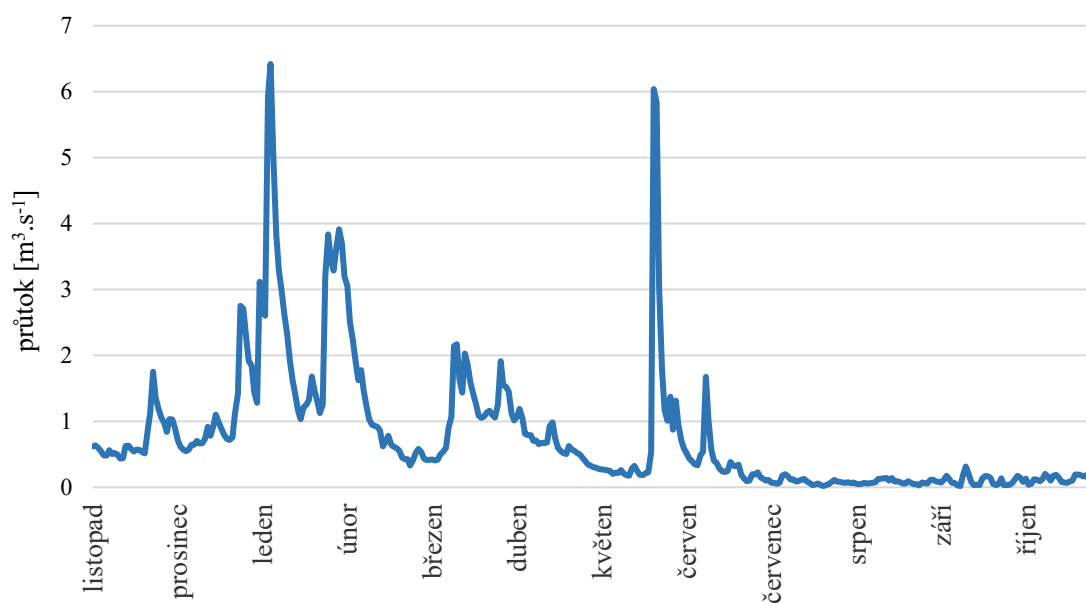


Obr. 34: Porovnání měsíčního úhrnu srážek a průtoku v roce 2018 (zdroj: ČHMÚ, Povodí Ohře, vlastní zpracování)

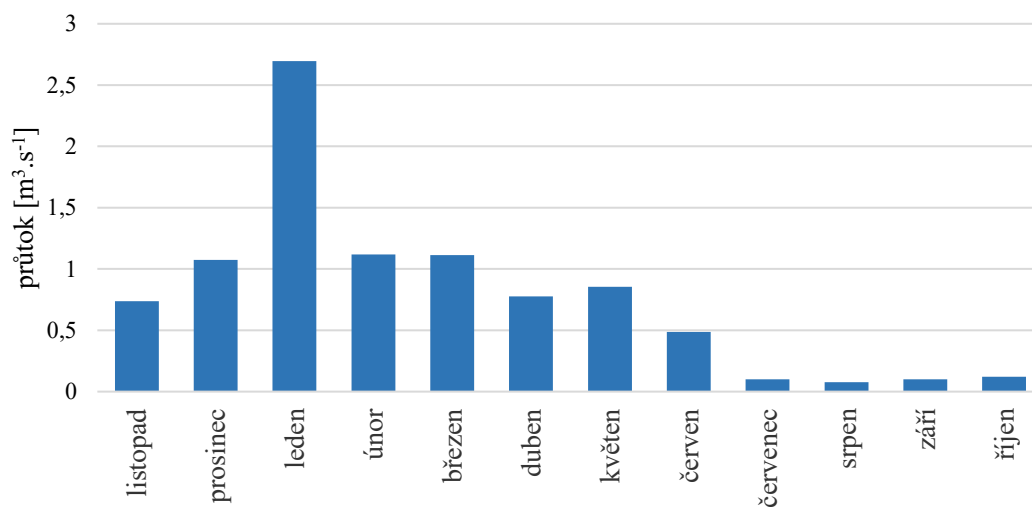
V tabulce 17 jsou uvedeny tři extrémně naměřené (maximální a minimální) hodnoty průměrného denního průtoku. V grafu (obrázek č. 35) pak jsou vyjádřeny průměrné denní průtoky a v grafu (obrázek č. 36) průměrné měsíční průtoky za období roku 2018. Z obou grafů lze konstatovat, že největší průměrný denní průtok byl zaznamenán na začátku ledna 2018, leden měl pak i celkově nejvyšší průměrný měsíční průtok. Naopak nejnižší denní průtok byl naměřen dne 14. 9. 2018 a jen nepatrně vyšší byl pak naměřen 26. 7. 2018. Nejnižší průměrný měsíční průtok byl zjištěn v srpnu. Nedostatkový objem v tomto roce činil $589\,321 \text{ m}^3$. Percentuální podíl odtoku v jednotlivých měsících na celkovém ročním odtoku znázorňuje obrázek 37.

minimální denní průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	datum	maximální denní průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	datum
0,02	14.09.2018	6,4194	05.01.2018
0,0203	26.07.2018	6,0404	25.05.2018
0,0258	30.08.2018	5,9265	04.01.2018

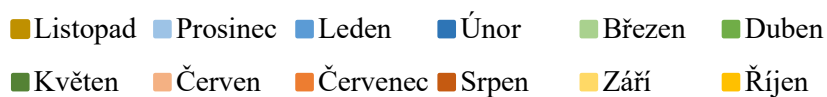
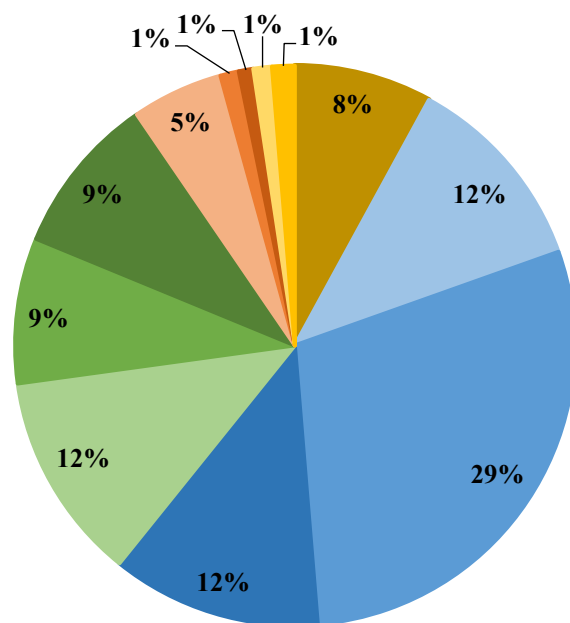
Tab. 17: Minimální a maximální hodnoty denního průtoku roku 2018 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)



Obr. 35: Průměrné denní průtoky roku 2018 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

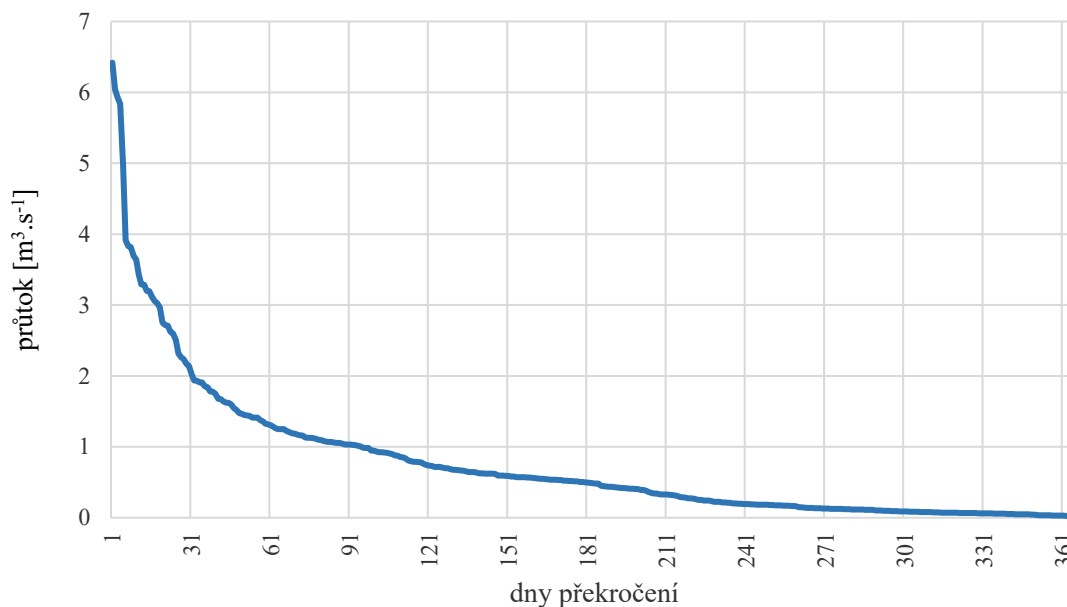


Obr. 36: Průměrné měsíční průtoky roku 2018 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)



Obr. 37: Podíl jednotlivých měsíců na celkovém ročním odtoku v roce 2018 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

K vyjádření rozkolísanosti průtoků v roce 2018 byla využita křivka překročení (obr. 38), ze které byly následně odečteny hodnoty M-denních průtoků (tab. 18).



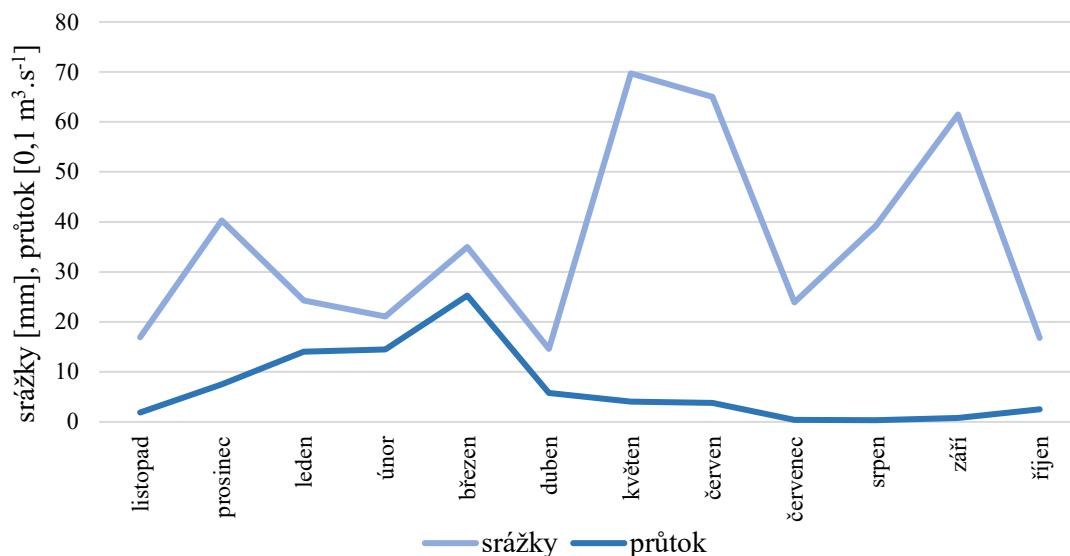
Obr. 38: Křivka překročení M-denních průtoků za rok 2018 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

průtok	Q30	Q60	Q90	Q120	Q150	Q180	Q210	Q240	Q270	Q300	Q330	Q360
m ³ .s ⁻¹	2,14	1,32	1,03	0,75	0,59	0,5	0,33	0,19	0,13	0,09	0,06	0,03

Tab. 18: Hodnoty M-denních průtoků za rok 2018 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

6.4.2 Rok 2019

V roce 2019 je možné sledovat podobný průběh průměrného denního průtoku s rozdílem v měsíci březnu, kdy bylo dosaženo vlivem déletrvajících srážek ročního maxima 8,08 m³.s⁻¹, následovalo období poklesu a stabilizace denního průtoku. Další výraznější zvýšení průtoku nastalo opět vlivem srážek na konci měsíce května, kdy se průměrný denní průtok zvýšil k hodnotě 1,34 m³.s⁻¹. Stejně jako v roce předcházejícím bylo v dalším období zaznamenáno v důsledku srážek již jen menší zvýšení denního průtoku na hodnotu 0,88 m³.s⁻¹, a i zde následovalo dlouhé období nízkého průměrného denního průtoku trvajícím do začátku října 2019. Minimum průměrného denního průtoku 0,0036 m³.s⁻¹ bylo naměřeno dne 5. 7. 2019. Obrázek 39 znázorňuje porovnání úhrnu srážek a průtoku v roce 2019, i v tomto období lze pozorovat závislost v období listopad až duben, zatímco v ostatních měsících roku 2019 závislost zjevná není, což je pravděpodobně způsobeno vyšší teplotou a evapotranspirací.

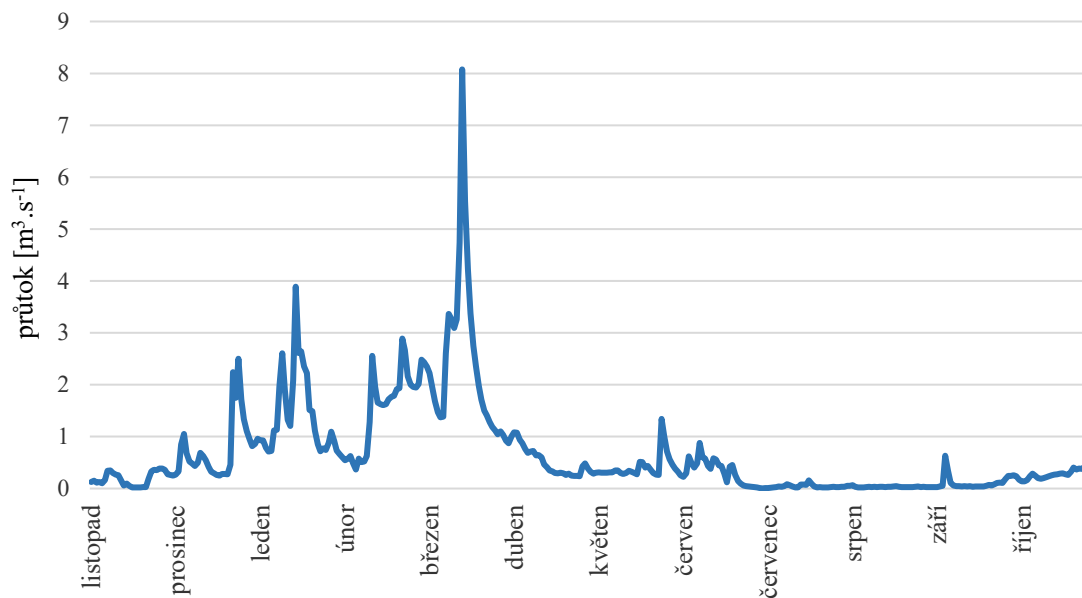


Obr. 39: Porovnání úhrnu srážek a průtoku v roce 2019 (zdroj: ČHMÚ, Povodí Ohře, vlastní zpracování)

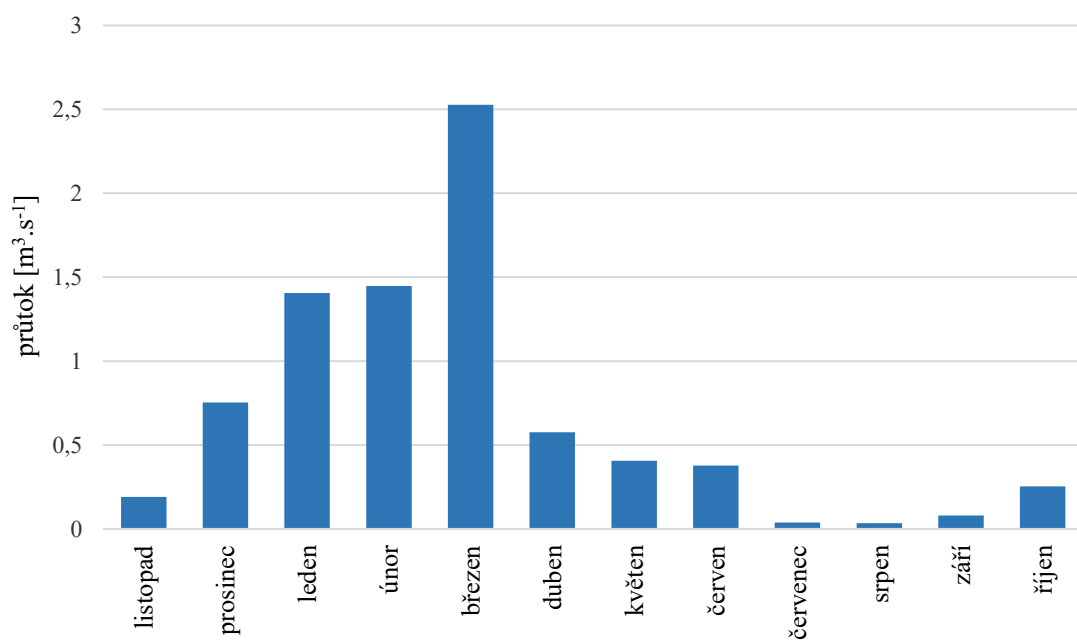
V tabulce 19 jsou uvedeny tři extrémní hodnoty průměrného denního průtoku, v grafu 40 pak jsou vyjádřeny průměrné denní a v grafu 41 průměrné měsíční průtoky za období roku 2019. Z obou grafů lze konstatovat, že největší průměrný denní průtok byl zaznamenán v březnu a stejný měsíc měl i celkově nejvyšší průměrný měsíční průtok. Naopak nejnižší denní průtok byl naměřen v červenci. Nejnižší průměrný měsíční průtok byl zjištěn v srpnu. Nedostatkový objem v tomto roce činil 998 546 m³. Percentuální podíl odtoku v jednotlivých měsících roku 2019 na celkovém ročním odtoku znázorňuje obrázek 42.

minimální denní průtok [m ³ .s ⁻¹]	datum	maximální denní průtok [m ³ .s ⁻¹]	datum
0,0036	05.07.2019	8,0765	17.03.2019
0,0083	06.07.2019	5,535	18.03.2019
0,0111	04.07.2019	4,7399	16.03.2019

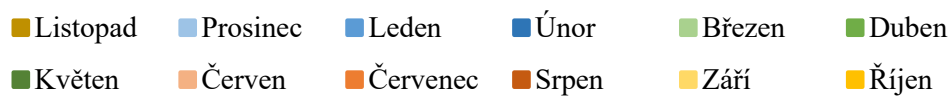
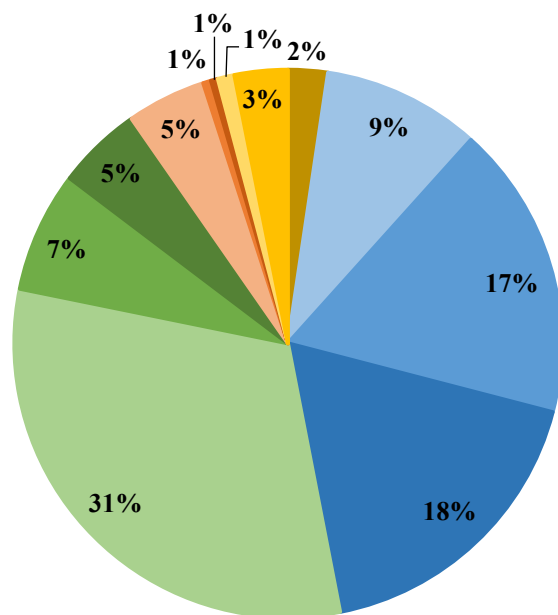
Tab. 19: Minimální a maximální hodnoty denního průtoku roku 2019 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)



Obr. 40: Průměrné denní průtoky roku 2019 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

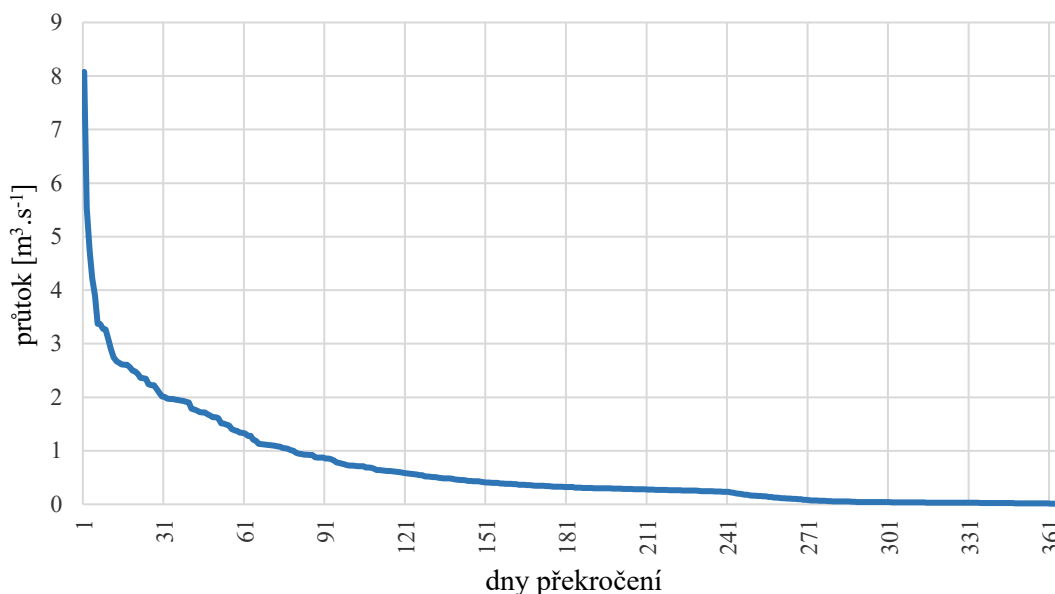


Obr. 41: Průměrné měsíční průtoky roku 2019 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)



Obr. 42: Podíl jednotlivých měsíců na celkovém ročním odtoku v roce 2019 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

K vyjádření rozkolísanosti průtoků v roce 2019 byla využita křivka překročení (obr. 43), ze které byly následně odečteny hodnoty M-denních průtoků (tab. 20).



Obr. 43: Křivka překročení M-denních průtoků za rok 2019 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

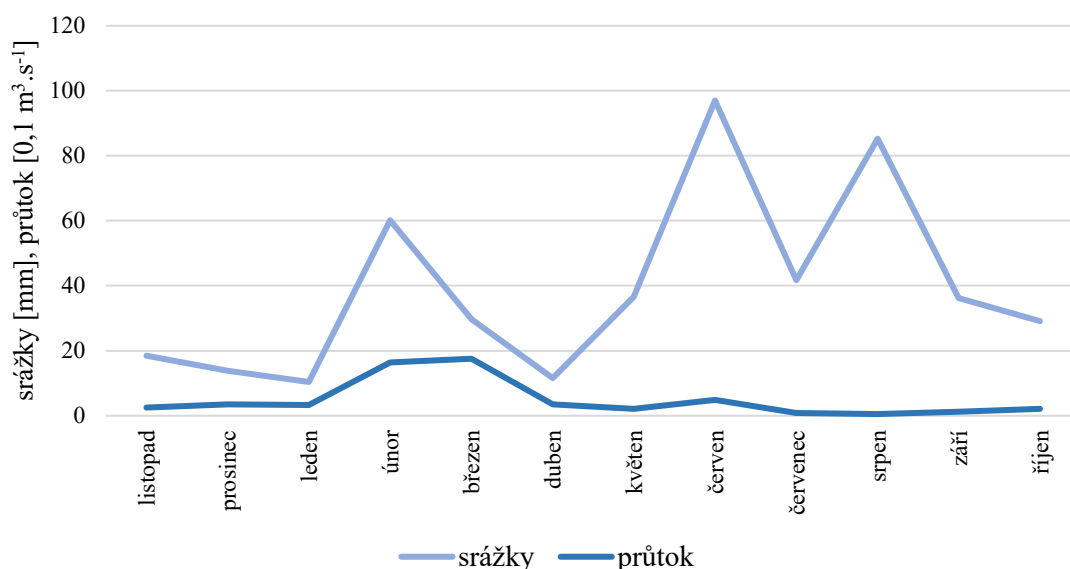
průtok	Q30	Q60	Q90	Q120	Q150	Q180	Q210	Q240	Q270	Q300	Q330	Q360
m ³ .s ⁻¹	2,01	1,33	0,87	0,59	0,42	0,32	0,28	0,24	0,08	0,04	0,03	0,02

Tab. 20: Hodnoty M-denních průtoků za rok 2019 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

6.4.3 Rok 2020

Na počátku roku 2020 se průměrný denní průtok pohyboval v rozmezí 0,11-0,6 m³.s⁻¹ v závislosti na lokálních srážkách, výrazný vzestup průměrného průtoků způsobený srážkami je zaznamenán ve dnech 11.-12. 2. 2020, kdy dosáhl úrovně až 3,67 m³.s⁻¹. Průměrný denní průtok za rok 2020 dosáhl maxima dne 12. března, a to 5,96 m³.s⁻¹, což bylo způsobeno kromě srážek také táním sněhu. Od této doby do 12. června lze sledovat prudký a následně pozvolný pokles průměrného průtoků až na úroveň cca 0,2 m³.s⁻¹. Krátkodobé srážky z poloviny června 2020 způsobily zvýšení průtoků na hodnotu 1,63 m³.s⁻¹. Na rozdíl od předchozích dvou let nebylo zaznamenáno v důsledku srážek zvýšení denního průtoků

nad hodnotu $0,16 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Dlouhé období nízkého průměrného denní průtoku trvalo de facto od konce června do konce hydrologického roku. Minimum průměrného denního průtoku $0,0036 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ bylo dosaženo dne 10. 8. 2020. Stejně jako v předchozích letech nemají srážky z následujícího období větší vliv na denní průtok. I v roce 2020 je zjevná závislost velikosti průtoku na srážkách v období listopad–duben, zatímco v ostatních měsících roku závislost zjevná není, což je nejspíše způsobeno vyšší teplotou a evapotranspirací (obr. 44).

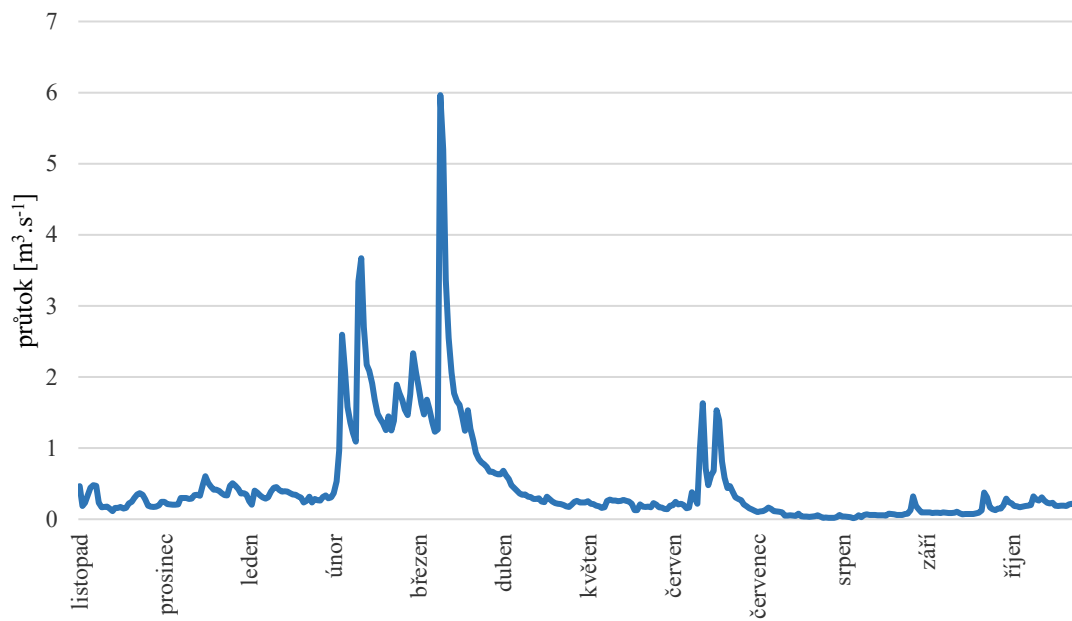


Obr. 44: Porovnání úhrnu srážek a průtoku v roce 2020 (zdroj: ČHMÚ, Povodí Ohře, vlastní zpracování)

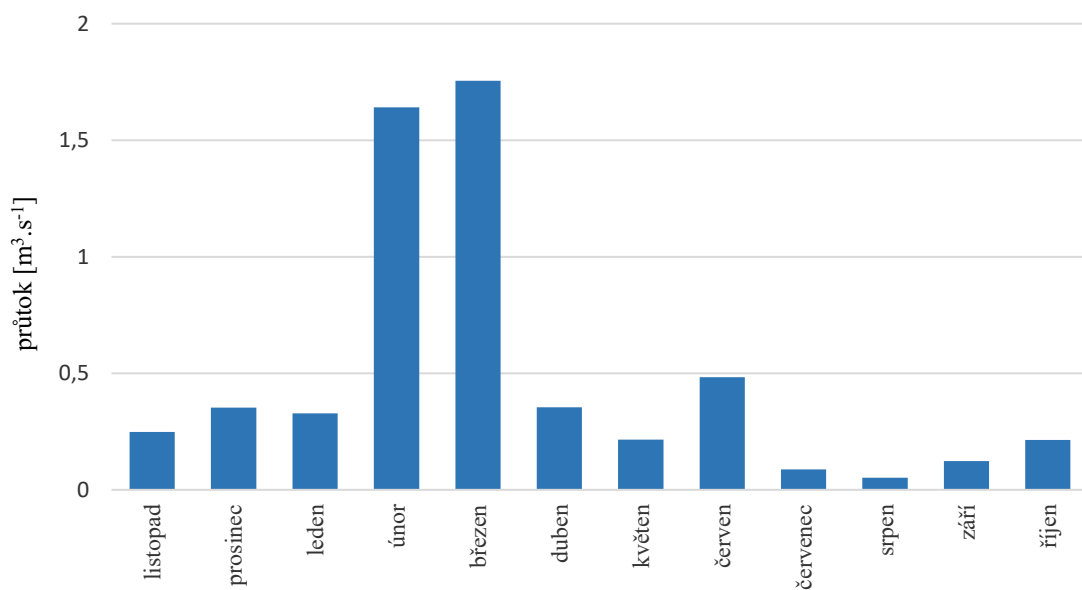
Stejně jako pro předchozí roky jsou v tabulce č. 21 uvedeny denní extrémní průtoky a v grafu 45 průměrné denní a v grafu 46 průměrné měsíční průtoky za období roku 2020. Z obou grafů lze konstatovat, že nejvyšší průměrný denní i měsíční průtok byl zaznamenán v březnu. Naopak nejnižší denní i měsíční průtok byl naměřen v srpnu. Nedostatkový objem v tomto roce činil $611\,254 \text{ m}^3$. Percentuální podíl odtoku v jednotlivých měsících roku 2020 na celkovém ročním odtoku znázorňuje obrázek 47.

minimální denní průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	datum	maximální denní průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	datum
0,0147	10.08.2020	5,9643	12.03.2020
0,0177	02.08.2020	5,1972	13.03.2020
0,0188	03.08.2020	3,6697	12.03.2020

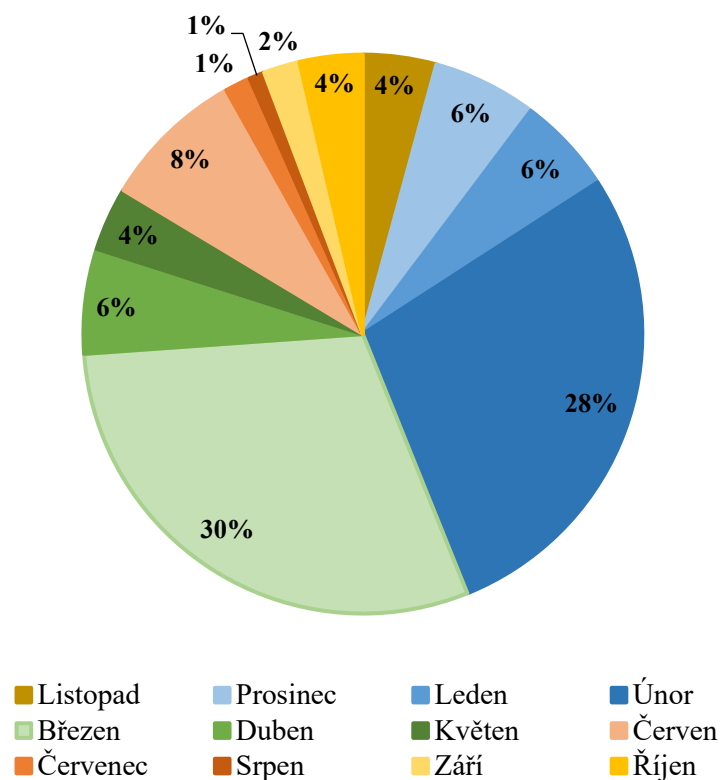
Tab. 21: Minimální a maximální hodnoty denního průtoku roku 2020 (zdroj: ČHMÚ, Povodí Ohře, vlastní zpracování)



Obr. 45: Průměrné denní průtoky roku 2020 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

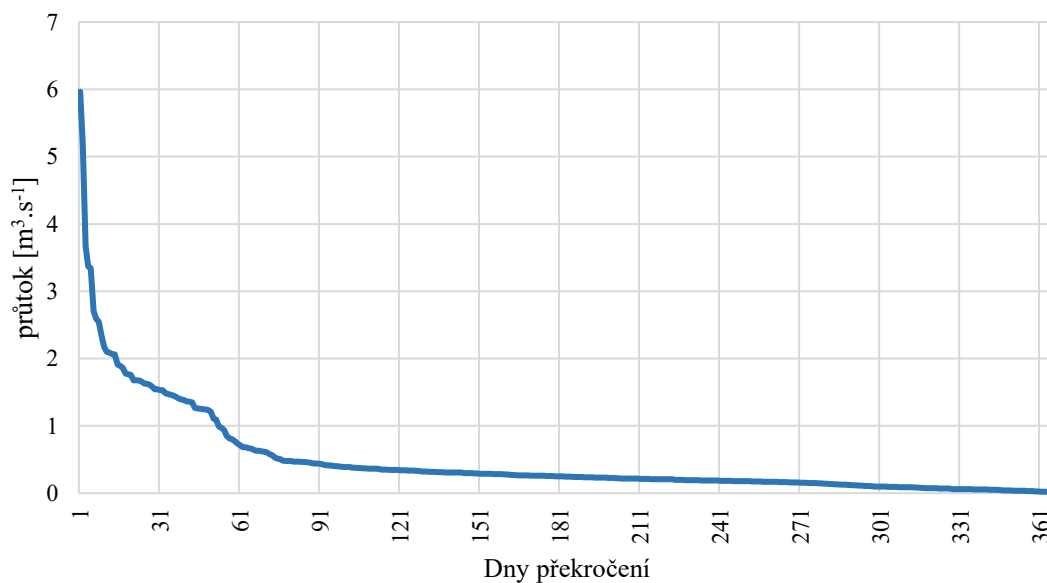


Obr. 46: Průměrné měsíční průtoky roku 2020 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)



Obr. 47: Podíl jednotlivých měsíců na celkovém ročním odtoku v roce 2020 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

K vyjádření rozkolísanosti průtoků v roce 2020 byla využita křivka překročení (obr. 48), ze které byly následně odečteny hodnoty M-denních průtoků (tab. 22)



Obr. 48: Křivka překročení M-denních průtoků za rok 2020 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

průtok	Q30	Q60	Q90	Q120	Q150	Q180	Q210	Q240	Q270	Q300	Q330	Q360
m ³ .s ⁻¹	1,54	0,74	0,44	0,34	0,29	0,25	0,22	0,19	0,16	0,10	0,06	0,03

Tab. 22: Hodnoty M-denních průtoků za rok 2020 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

7 Diskuze

Sucho, nejen hydrologické, představuje závažný celosvětový problém. Vzniká jako důsledek zvyšující se průměrné teploty a sníženého úhrnu srážek ve spojení s nevhodně provedenými antropogenními zásahy. Sucho můžeme přirovnat k tichému a pomalému zabijákovi, který má pozvolný nástup, působí dlouhodobě a jeho následky mohou být tragické. Těžko najdeme zemi, která by se s problémem sucha nikdy nepotýkala. Jeho projevy, a hlavně důsledky se promítají do všech oblastí každodenního života.

S rostoucí populací lze předpokládat prohloubení vodní krize, neboť vodu ke svému životu potřebuje každý živý tvor, každá rostlina. Člověk navíc vodu využívá téměř ke každé své činnosti, a ne vždy se k ní chová zodpovědně, plýtvá s ní. Bohužel si nedostatek vody už vybral svou daň. Došlo k téměř úplnému vyschnutí čtvrtého největšího jezera světa, Aralského jezera. V roce 1960 činil objem jezera 708 km³ vody, v současné době činí pouze 75 km³ vody. Příčinu je možné spatřit v pěstování na vodu náročné plodiny, a tou je bavlna. Voda je nešetrně odebírána z řek Amudarja a Syrdarja. S poklesem vody souvisí i úbytek fauny a flory. Další důsledky nešetrného hospodaření lze pozorovat v USA v oblasti tzv. Velkých planin, kde v důsledku čerpání vody pro vodárenské účely a pro závlahu zemědělských plodin výrazně klesla hladina podzemní vody (Janský 2017). Voda kvůli nadměrným odběrům z řeky Jordán ubývá i v Mrtvém moři. Zdá se, že stávající situaci si lidé uvědomili a snaží se ji řešit.

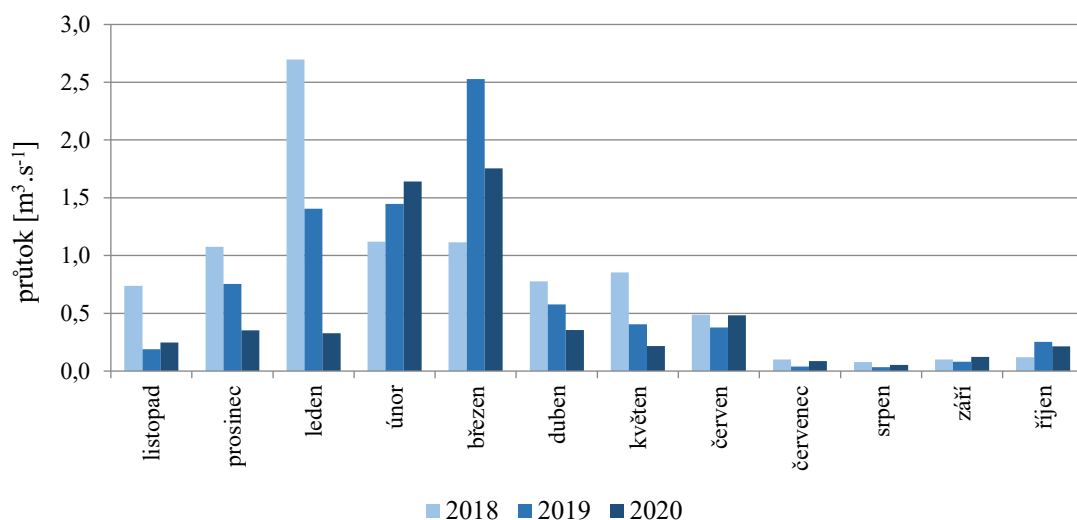
Tato práce se zabývá suchem v povodí Liboce, které náleží k nejsušším oblastem v Česku a fenomén sucha je zde velmi aktuální. Současně je oblast intenzivně zemědělsky využívána, nedostatek vod může způsobovat i socioekonomické problémy, neboť oblast je závislá na zemědělství. Problém se zásobováním vodou si lidé uvědomili již dříve, proto vybudovali v 80. letech 20. století VN Sedlec, díky které je možné nadlehčovat průtoky v Liboci během sucha. Nádrž zároveň slouží jako rezervoár vody pro okolní pole.

Cílem práce bylo zhodnocení odtokového režimu a suchých období v povodí řeky Liboc, jehož velká část leží v jedné z nejsušších oblastí Česka. V této práci byla zpracována data z Povodí Ohře s.p. a ČHMÚ. Z provedené analýzy vyplývá, že v porovnání s celorepublikovými hodnotami je dlouhodobý srážkový normál v této oblasti o 157 mm (Mašřov) až 232 mm (Tušimice) nižší, současně jsou zde teploty oproti průměrné roční teplotě o 0,91 °C (Tušimice) až 1,22 °C (Žatec) vyšší. Oba tyto parametry mají výrazný vliv

na odtokový režim a sucho. Roky 2002 a 2010 byly srážkově nad dlouhodobým normálem pro danou lokalitu, hodnota průměrného ročního úhrnu srážek tehdy dosáhla, resp. mírně přesáhla hodnotu dlouhodobého normálu Česka. Naopak největší deficit srážek byl ve všech stanicích naměřen v roce 2003, kdy byl roční úhrn srážek o cca 200 mm nižší, než je dlouhodobý normál pro dané lokality. Celkově je období 2015-2020 srážkově podprůměrně, úhrn srážek byl pod dlouhodobým normálem lokality. Průměrná roční teplota je v období 2014-2020 nadprůměrná. Ze získaných výsledků byly k podrobnější analýze vybrány roky 2018-2020.

Zvyšování dlouhodobé průměrné teploty společně s nedostatkem srážek a nevhodně provedené antropogenní zásahy mají za následek zvětšování oblastí potýkajících se s problémem sucha, narůstá zranitelnost území vůči suchu. V období sucha, kdy půda neobsahuje dostatek vody a rostliny nemají k dispozici dostatek vláhy, vegetace neochlazuje dostatečně vzduch, stupňují se vedra, výrazně se projevuje sucho a zvyšuje se nebezpečí požárů. S vyšší teplotou dokáže atmosféra pohltit a udržet větší množství vodní páry, to může mít za následek výskyt extrémních srážkových jevů (MZe 2019).

Z analyzovaného období byl nejvodnějším měsícem leden 2018, nejsušším srpen 2019, kdy vrcholilo hydrologické suchu. Rok 2019 má oproti roku 2018 vyrovnanější průběh a jeho hodnoty průměrných měsíčních průtoků jsou většinou nižší. Výjimkou je měsíc březen, kdy bylo zaznamenáno větší množství sněhových a dešťových srážek a vlivem nadprůměrných teplot došlo k tání sněhu z hor (Infomet 2019). Rok 2020 má oproti rokům 2018 a 2019 nižší průměrné měsíční průtoky, zvláště pak v období prosinec-leden a duben-květen. Výjimkou je měsíc únor 2020, kdy byl průměrný měsíční průtok vyšší o zhruba $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ než průtok ve stejném období roku 2019 a o $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ než průtok ve stejném období roku 2018. Pro vzájemné srovnání období byl sestaven graf znázorňující průměrné měsíční průtoky za roky 2018-2020 (obrázek 49).



Obr. 49: Průměrné měsíční průtoky za roky 2018-2020 (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

V roce 2018 byl odtok vyrovnanější než ve zbývajících dvou letech. Nejvyšší podíl na celkovém odtoku v roce 2018 byl v lednu, v roce 2019 v březnu a v roce 2020 v březnu. Nejnižší podíl na ročním odtoku byl ve všech obdobích v měsíci srpnu. Roční nevyrovnanost odtoků je zobrazena v obrázcích 37, 42 a 47, na kterých je zobrazen procentuální podíl jednotlivých měsíců na celkovém ročním odtoku.

Dále byla pro jednotlivé roky období 2018-2020 vyjádřena rozkolísanost průtoků pomocí křivky překročení a z ní následně odečteny M–denní průtoky. Tvar čáry překročení znázorňují obrázky 38, 43 a 48. Můžeme si všimnout malých rozdílů mezi jednotlivými roky, z obrázků a z tabulek M-denních průtoků (tabulky č. 18, 20 a 22) vyplývá, že variabilita odtoku byla v roce 2019 vyšší.

S využitím výpočtu dle Čegodajeva byla stanovena vodnost řeky Liboc. Bylo zjištěno, že roky 2011 a 2013 byly mimořádně vodné, přičemž rok 2013 může být vlivem chybějící dat zkreslený a roky 2004 a 2020 byly mimořádně suché. Ke stanovení sucha byly využity dvě metody, metoda suchých dnů a metoda nedostatkového objemu, a to z důvodu možného srovnání s výsledky jiných prací. Pro porovnání vodností v letech 2002-2021 byly využity výstupy z bakalářských prací Karolíny Lukášové (2020), která analyzovala sucho v povodí Mže a Aloise Buriana (2019), který analyzoval sucho v povodí Loděnice. Výrazný rozdíl vodností mezi Libocí a oběma jmenovanými řekami byl zjištěn v roce 2015, kdy se jednalo v případě Mže a Loděnice o rok suchý, zatímco u Liboce o rok vodný. Nebyla

zjištěna příčinná souvislost mezi úhrnem ročních srážek a vodností toku. Hydrologický rok 2015 patřil z hlediska úhrnu srážek spíše k rokům podprůměrným.

Ze sledovaného období 2002-2021 byl na Liboci zjištěn nejvyšší nedostatkový objem v letech 2018-2020 s maximem v roce 2019. Obdobných výsledků bylo dosaženo při použití metody suchých dnů. Na řece Mži byl dle Lukášové zaznamenán vyšší nedostatkový objem v roce 2018 než v roce 2019 při stejném počtu suchých dnů (132), Burian uvádí pro rok 2018 celkem 144 suchých dnů. Z uvedených výsledků je možné konstatovat, že rok 2019 představoval vrchol sucha v povodí Liboce, v povodí Mže bylo vrcholu dosaženo o rok dříve. S povodím Loděnice nelze srovnávat, neboť práce byla publikována v roce 2019, tudíž nejsou k dispozici relevantní data.

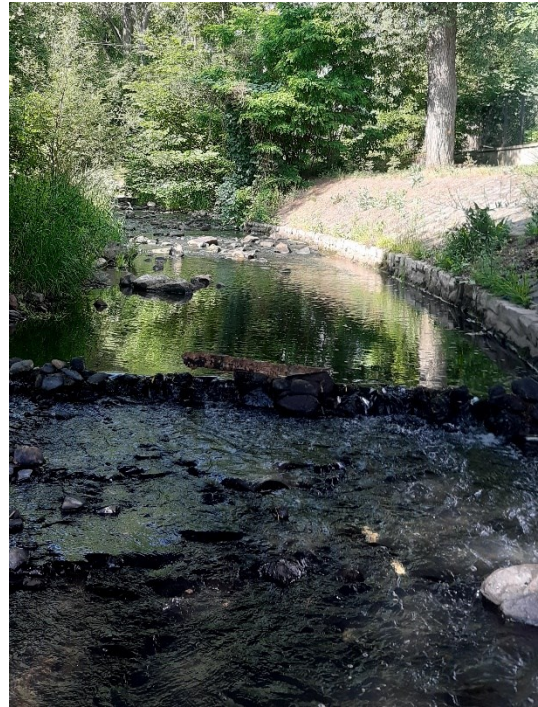
Řešením, které by alespoň z části zmírnilo dopady sucha by mohla být obnova, rekonstrukce či výstavba vodohospodářských zařízení – vodních nádrží a další infrastruktury, díky které by bylo možno lépe regulovat průtoky nejen v suchých, ale i vodných obdobích. V období tání sněhu či v případě většího množství srážek tyto nádrže vodu zadrží a v případě poklesu průtoku pak vodu postupně uvolní. Tím dochází ke stabilizaci průtoků a následně zmírnění projevů sucha.

V povodí je plánována další vodní nádrž – VN Hlubocká pila na horním toku Liboce (říční km 30,6). Nádrž s objemem 9 mil. m³ by mohla být významným zdrojem vody, který by zajistil v době sucha minimální zůstatkové průtoky v Liboci. Dále by měla funkci vodárenskou, zajišťovala by zásobování okolních obcí pitnou vodou. Další využití nalezneme ve snížení následků případných povodní na středním a dolním toku Liboce (Bauer, Bauer 2016). Dalším řešením, které se nabízí pro zadržení vody v povodí Liboce je znovuoobnovení vodní nádrže na Žďárském potoce (Bejčková 2017). Obnova, rekonstrukce, výstavba nebo dokumentace vodních nádrží a další vodohospodářské infrastruktury je námětem pro pokračování v diplomové práci.

V roce 2022 se v povodí Liboc je možné pozorovat příznaky hydrologického a sucha, důkazem toho je nízký průtok řeky Liboc v červnu 2022 (obr. 50) v obci Pětipsy, který je porovnán s průtokem v lednu stejného roku (obr. 51). Příznakem zemědělského sucha je popraskaná půda a usychající tráva v obci Pětipsy (obr. 52).



*Obr. 51: Liboc v obci Pětipsy v lednu 2022
(zdroj: archiv autora)*



*Obr. 50: Liboc v obci Pětipsy v červnu 2022
(zdroj: archiv autora)*



Obr. 52: Projevy sucha v obci Pětipsy v červnu 2022 (zdroj: archiv autora)

8 Závěr

Cílem této práce bylo zhodnocení odtokového režimu a suchých období vzhledem k příčinné situaci (srážky) mezi lety 2002 až 2021 v povodí řeky Liboc. Teoretickou rešerší literatury společně s charakteristikou zájmového území, definováním sucha a popisem srážkoodtokového procesu se zabývá první část práce. Druhá část je věnována metodice a vlastní analýze získaných dat a interpretaci. Data byla poskytnuta Povodím Ohře, s.p. a ČHMÚ. Pro analýzu byla použita metoda suchých dnů a metoda nedostatkových objemů.

Na základě zjištěných výsledků lze interpretovat následující závěry:

- období 2002-2021 je poznamenáno dlouhodobým obdobím sucha trvajícím nepřetržitě od roku 2015 do 2020, s extrémem v roce 2018 a 2019, kdy bylo dosaženo nejvyššího počtu suchých dnů a nejvyššího nedostatkového objemu, což částečně koreluje s celorepublikovým stavem. Na území Česka bylo vrcholu sucha dosaženo v letech 2015 a 2018
- nejnižšího průměrného denního průtoku bylo dosaženo dne 5. července 2019, hodnota činila $0,0036 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, nejvyššího průtoku bylo dosaženo 15. ledna 2011, kdy byla naměřena hodnota $43,2873 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- ve sledovaném období bylo nejvyšších průměrných měsíčních průtoků dosahováno v březnu, a to $1,7932 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, zatímco srpen patří k měsícům s průtoky nejnižšími $0,3092 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- nejvyšší průměrné roční průtoky byly zaznamenány v letech 2011 a 2013, nejnižší v roce 2004 a 2020
- ve sledovaném období mají nejvyšší podíl na odtoku zimní měsíce (41,2 %), následují jarní (33 %) a nejméně letní měsíce (11,9 %)
- nejvíce suchých dnů bylo zjištěno v měsících srpen, červenec a září
- nejdéle trvajících suché období trvalo 57 dnů a proběhlo od 14. 7. 2018 do 8. 9. 2018.

9 Použitá literatura a zdroje dat

9.1 Použitá literatura a internetové zdroje

AVČR (2019): Současný problém sucha v ČR. AVex.

BAKKE, S. J., IONITA, M., TALLAKSEN, L. M. (2020): The 2018 northern European hydrological drought and its drivers in a historical perspective. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 24, 5621-5653.

BARRETT, T. M., ROBERTSON, G. C. (2021): Disturbance and sustainability in forests of the Western United States. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland.

BAUER, P., BAUER, P. (2016): Vodní nádrž Hlubocká pila, studie proveditelnosti a investiční záměr. Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s., Praha.

BEGUERÍA, S., VICENTE-SERRANO, S. M., ANGULO MARTINEZ, M. (2010): A multiscalar global drought dataset: the SPEIbase: a new gridded product for the analysis of drought variability and impacts. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 10, 91, 1351-1354.

BEJČKOVÁ, K. (2017): Studie obnovy zaniklé vodní nádrže na Žďárském potoce. Bakalářská práce. Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství FSv ČVUT, Praha.

BIČÍK, I. a kol. (2010): Vývoj využití ploch v Česku. Česká geografická společnost, Praha.

BÍNA, J., DEMEK, J. (2012): Z nížin do hor – geomorfologické jednotky České republiky. Academia, Praha.

BRÁZDIL, R., TRNKA, M. a kol. (2015): Sucho v českých zemích: minulost, současnost, budoucnost. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i, Brno.

BRÁZDIL, R., TRNKA, M., DOBROVOLNÝ, P., CHROMÁ, K., HLAVINKA, P., ŽALUD, Z. (2009): Variability of droughts in the Czech Republic, 1881–2006. *Theoretical and Applied Climatology*, 3, 97, 297-315.

BURIAN, A. (2019): Hydrologické sucho v povodí Loděnice. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.

- CULEK, M. a kol. (1996): Biogeografické členění ČR. Enigma, Praha.
- CULEK, M. GRULICH V. LAŠTŮVKA Z., DIVÍŠEK J. (2013): Biogeografické regiony České republiky. MUNI Press, Brno.
- DEMEK, J., MACKOVČIN, P. a kol. (2014): Zeměpisný lexikon ČR: Hory a nížiny. Mendelova univerzita v Brně, Brno.
- HAUPTMAN, I., KUKAL, Z., POŠMOURNÝ, K. (2009): Půda v České republice. Consult, Praha.
- HERBER, V., SUDA, J., (2001): Cvičení z fyzické geografie I, hydrologie. Západočeská univerzita, Plzeň.
- HLADNÝ, J. (2009): Druhy sucha. In: Vodstvo a podnebí v České republice. Consult, Praha.
- HOUNAM, C. E. a kol. (1975): Drought and agriculture. Technical Note. WMO, Geneva.
- HYNIE, O. (1961): Hydrogeologie ČSSR I, Prosté vody. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha.
- CHLUPÁČ, I. (2011): Geologická minulost České republiky. Academia, Praha.
- INFOMET (2019): Březen na území ČR,
<http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1554732127> (cit. 28. 6. 2022).
- JANSKÝ, B. (2017): Vstupuje lidstvo do globální vodní krize? Geografické rozhledy, 27, 1, 4-7.
- JASECHKO, S., PERRONE, D. (2020): California's Central Valley groundwater wells run dry during recent drought. Earth's Future, 4, 8.
- LANGHAMMER, J. a kol. (2009): Vymezení typů vodních toků. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha, 29 s.
- LLOYD-HUGHES, B. (2014): The impracticality of a universal drought definition. Theoretical and Applied Climatology, 3, 117, 607-611.
- LUKÁŠOVÁ, K. (2020): Hydrologické sucho v povodí horní Mže. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.
- MATĚJŮ, J., HRADECKÝ, P., MELICHAR, V. (2016): Doupovské hory. Česká geologická služba, Praha.

- MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ (2017): Koncepce ochrany před následky sucha pro území České republiky, https://eagri.cz/public/web/file/545860/Koncepce_ochrany_pred_nasledky_sucha_pro_uzemi_CR.pdf (cit. 18. 6. 2022).
- NDMC (2022a): Drought basic, <https://drought.unl.edu/Education/DroughtBasics.aspx> (cit. 25. 6. 2022).
- NDMC (2022b): Types of Drought, <https://drought.unl.edu/Education/DroughtIn-depth/TypesofDrought.aspx> (cit. 25. 6. 2022).
- NOVICKÝ, O. a kol. (2009): Časová a plošná variabilita hydrologického sucha v podmínkách klimatické změny na území České republiky. Zpráva za rok 2008. VÚV T.G.M., Praha.
- PALMER, W. C. (1965): Meteorological drought. Research Paper, U.S. Weather Bureau.
- PAVELKOVÁ CHMELOVÁ, R., FRAJER, J. (2020): Základy hydrologie. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.
- PEŠEK, J. a kol. (2010): Terciární pánve a ložiska hnědého uhlí České republiky. Česká geologická služba.
- POVODÍ OHŘE (2021): Plán dílčího povodí Ohře, dolního Labe a ostatních přítoků Labe, <https://www.poh.cz/plan-dilciho-povodi-ohre-dolniho-labe-a-ostatnich-pritoku-labe/ds-1163> (cit. 20. 6. 2022).
- POVODÍ OHŘE (2020): Vodní dílo Sedlec, <https://www.poh.cz/vodni-dilo-sedlec/d-4308> (cit. 20. 6. 2022).
- QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. Československá akademie věd, Brno.
- RUDA A. (2022): Hydrografie vodních toků. Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity, Brno, https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/08-hydrografie.html (cit. 22. 6. 2022).
- STARÝ, M. (2005): Hydrologie Modul 01. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia. Vysoké učení technické v Brně, Brno.
- ŠACHOVÁ, B. (2013): Vliv klimatické změny na hydrologické sucho v povodí horní Otavy. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.

TALLAKSEN, L. M., VAN LANEN, H. A. (2004): Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Developments in Water Science 48. Elsevier Science B. V., Amsterdam.

TOLASZ, R., BAŠTÝŘOVÁ, H. (2007): Atlas podnebí Česka. Český hydrometeorologický ústav; Univerzita Palackého v Olomouci, Praha; Olomouc.

TOMÁŠEK, M. (2007): Půdy České republiky. Český geologický ústav, Praha.

TRNKA, P. (2010): Možné důsledky dlouhotrvajícího sucha v naší krajině a ve světě. Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Brno.

UNITED NATIONS (2022): Drought in numbers, <https://www.unccd.int/resources/publications/drought-numbers> (cit. 10. 6. 2022).

VAN LOON, A. F. (2015): Hydrological drought explained: Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 4, 2, 359-392.

WILHITE, D. A. (1990): Drought. Drought Mitigation Center Faculty Publications, University of Nebraska, Lincoln.

WILHITE, D. A., GLANTZ, M. (1985): Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. Water International, 3, 10, 111-120.

ZBOŘIL, A. (2006): Charakteristiky toků a povodí ČR. VÚV T.G.M., Praha, <https://www.dibavod.cz/24/charakteristiky-toku-a-povodi-cr.html> (cit. 10. 6. 2022).

ŽALUD, Z. (2021): Aplikovaná agrometeorologie. Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Brno.

9.2 Datové a mapové zdroje

ARCDATA PRAHA: ArcČR 500 – digitální geografická databáze, verze 3.3.

<https://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/arccr-500> (cit. 8.4. 2020)

Copernicus: CORINE Land Cover. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (cit. 11. 6. 2022).

ČGS: Česká geologická služba, WMS služby. <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/wms> (cit. 10. 6. 2022).

ČHMÚ: Mapy charakteristik klimatu. <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mapy-charakteristik-klimatu> (cit. 22. 6. 2022).

ČHMÚ: Měsíční a roční data dle zákona 123/1998 Sb. <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-data-dle-z.-123-1998-Sb> (cit. 20. 6. 2022).

ČHMÚ: Územní srážky. <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky> (cit. 20. 6. 2022).

ČHMÚ, Územní teploty. <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty> (cit. 20. 6. 2022).

ČÚZK: Analýza výškopisu. <https://geoportal.cuzk.cz/> (cit. 10. 6. 2022).

ČÚZK: Geoportál, prohlížeč služby – WMS. <https://geoportal.cuzk.cz/> (cit. 10. 6. 2022).

DIBAVOD: Digitální báze vodohospodářských dat, VÚV T. G. M.. <https://dibavod.cz> (cit. 9. 6. 2022).

Geografický ústav ČSAV: Klimatické oblasti Československa. <https://gis.nature.cz/arcgis/rest/services/PrirodniPomery/> (cit. 12. 6. 2022).

HEIS: Základní vodohospodářská mapa ČR 1:50 000. <https://heis.vuv.cz/default.asp?typ=96&oblast=StazeniZVM50LN> (cit. 15. 6. 2022).

Mapy.cz: Základní mapa. <https://mapy.cz>. (cit. 20. 6. 2022).

Ministerstvo zemědělství: Data meliorací. <https://eagri.cz/public/web/mze/farmer/LPIS/data-melioraci/> (cit. 9. 6. 2022).