

**Univerzita Karlova  
Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Geografie  
Studijní obor: Hydrologie a hydrogeologie



Anežka Fojtů

**ODTOKOVÉ POMĚRY ŘEKY KLENICE SE ZAMĚŘENÍM  
NA HYDROLOGICKÉ SUCHO**

Runoff conditions of the Klenice River with a focus on hydrological drought

Bakalářská práce

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

Praha, 2024

## **Prohlášení**

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

V Praze, 29.07.2024

.....

Anežka Fojtů

## **Poděkování**

Zvláštní poděkování patří vedoucímu práce prof. RNDr. Bohumíru Janskému, CSc. za cenné rady a věcné připomínky, jež přispěly k sepsání této bakalářské práce. Rovněž bych ráda poděkovala za čas věnovaný konzultacím během tvorby této závěrečné práce.

## **Zadání práce**

Odtokové poměry řeky Klenice se zaměřením na hydrologické sucho

Runoff conditions of the Klenice River with a focus on hydrological drought

## **Cíle práce**

Cílem této práce je zhodnocení odtokových poměrů a vyhodnocení období sucha v povodí řeky Klenice s ohledem na klimatické příčiny mezi lety 1981 a 2023. Studentka zpracuje fyzickogeografickou charakteristiku povodí řeky Klenice, zaměří se zejména na analýzu vývoje srážko-odtokových poměrů. Speciální pozornost bude věnovat vyhodnocení hydrologického sucha ve výústním profilu na soutoku s Jizerou. Zhodnotí rovněž jakost vody v povodí z hlediska zdrojů znečištění a jejich možné sanace.

Datum zadání: 21.05.2024

## **Použité pracovní metody, zájmové území a vybrané datové zdroje**

Úvodní část práce je tvořena literární rešerší se zaměřením na podrobné fyzickogeografické charakteristiky povodí řeky Klenice. Zhodnocen je také vývoj vodní složky krajiny a vodohospodářských objektů, které mají vliv na odtokové poměry. Jedna kapitola je věnována rešerši literatury s tematikou hydrologického sucha. Praktická část bakalářské práce se zaměřuje na zhodnocení odtokových charakteristik a vyhodnocení hydrologického sucha pomocí metody počtu suchých dní a metody nedostatkových objemů. Analýza je provedena na základě dat denních průtoků poskytovaných Českým hydrometeorologickým ústavem z měrného profilu Mladá Boleslav. Využita jsou taktéž data hladin ve třech vrtech a záznamy z klimatických stanic v povodí.

**Klíčová slova:** fyzickogeografické poměry; povodí; land use; klima; povrchový odtok; hydrologické sucho; podzemní voda; kvalita vody

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce shrnuje poznatky o hydrologických poměrech v povodí říčky Klenice a všem, co s nimi souvisí. Povodí vzhledem ke své struktuře velmi rychle reaguje na podněty ovlivňující množství a kvalitu vody protékající korytem toku. První část práce se zabývá rešerší literatury hodnotící fyzickogeografické charakteristiky povodí s poznatky o faktorech ovlivňujících odtokové poměry a navazuje rešerší zahraniční i domácí literatury k tématice hydrologického sucha. Hydrologické sucho, jež je dlouhodobě řešeným tématem napříč celým světem, vzniká především po srážkově deficitním období. Praktická část analyzuje průměrné denní průtoky a vystihuje srážkoodtokový proces v zájmovém území. Na základě metody počtu suchých dní a metody nedostatkových objemů je zhodnocena situace hydrologicky suchých období v tomto průmyslově a zemědělsky vytíženém území. Nejvýraznější hydrologické sucho bylo zjištěno v letních měsících v letech 2018 a 2019.

**Klíčová slova:** fyzickogeografické poměry; povodí; land use; klima; povrchový odtok; hydrologické sucho; podzemní voda; kvalita vody

## **Abstract**

This bachelor's thesis summarizes the findings on the hydrological conditions in the Klenice River basin and all related aspects. Due to its structure, the catchment area responds very quickly to factors affecting the quantity and quality of water flowing through the stream channel. The first part of the thesis reviews literature that evaluates the physical and geographical characteristics of the basin, along with insights into the factors influencing runoff conditions and is followed by a review of both foreign and domestic literature on the topic of hydrological drought. Hydrological drought, a globally long-standing issue, primarily occurs after precipitation-deficit periods. The practical part analyses average daily flows and describes the precipitation-runoff process of the area of interest. Using the dry day method and the method of deficit volumes, the situation of hydrologically dry periods in this industrially and agriculturally intensively used area is assessed. The most significant hydrological drought was found in the summer months of 2018 and 2019.

**Key words:** physical-geographical conditions; catchment; land use; climate; surface runoff; hydrological drought; groundwater; water quality

## Obsah

Seznam zkratk.....	9
Seznam obrázků.....	10
Seznam tabulek.....	12
1. ÚVOD.....	13
2. CHARAKTERISTIKA POVODÍ KLENICE.....	14
2.1 Stanovení zájmové oblasti.....	14
2.2 Geomorfologické poměry.....	15
2.3 Geologické poměry.....	18
2.4 Klimatické poměry.....	20
2.5 Biogeografické poměry.....	24
2.6 Krajinový pokryv.....	27
2.7 Pedologické poměry.....	28
2.8 Hydrografické poměry.....	31
Hydrogeologické poměry.....	34
3. VÝVOJ VODNÍ SLOŽKY KRAJINY.....	36
3.1 Prameny.....	36
3.2 Říční síť.....	36
3.3 Rybníční síť.....	37
3.4 Mlýny.....	38
3.5 Odvodnění a zavlažování.....	39
3.6 Vodárenství.....	40
3.7 Historie odkanalizování.....	42
3.8 Současná kanalizační síť.....	43
3.9 Čistírny odpadních vod.....	44
3.10 Bodové zdroje znečištění.....	46
4. HYDROLOGICKÉ SUCHO.....	47
4.1 Definice a příčiny sucha.....	47
4.2 Dopady sucha.....	49
5. ODTOKOVÉ POMĚRY.....	51
5.1 Variabilita denních průtoků.....	51
5.2 Variabilita měsíčních průtoků.....	55

5.3 Variabilita ročních průtoků.....	56
6. ANALÝZA SUCHA.....	59
6.1 Metodika.....	59
6.2 Vyhodnocení sucha dle metody počtu suchých dní.....	60
6.3 Vyhodnocení hydrologického sucha dle metody nedostatkových objemů.....	62
6.4 Hydrologické sucho v letech 2018 a 2019.....	64
6.4.1 Vyhodnocení metodou počtu suchých dní.....	68
6.4.2 Vyhodnocení metodou nedostatkových objemů.....	68
6.5 Reakce povodí na sucho.....	70
7. DISKUZE.....	73
8. ZÁVĚR.....	77
Přílohy.....	78
Seznam literatury.....	79
Datové a mapové zdroje.....	85



## Seznam zkratek

AOPK ČR	Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky
CRVE	Centrální registr vodoprávní evidence
ČGS	Česká geologická služba
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČOV	Čistírna odpadních vod
ČSOP Klenice	Český svaz ochránců přírody v Mladé Boleslavi
ČÚZK	Český úřad zeměměřičský a katastrální
DIBAVOD	Digitální báze vodohospodářských dat
CHKO	Chráněná krajinná oblast
ISPOP	Integrovaný systém plnění ohlašovacích povinností
ISVS	Informační systémy veřejné správy
IRZ	Integrovaný registr znečišťování
KVES	Konsolidovaná vrstva ekosystémů
MZe	Ministerstvo zemědělství České republiky
MŽP	Ministerstvo životního prostředí České republiky
ORP	Obec s rozšířenou působností
OSM	OpenStreetMap
PR	Přírodní rezervace
řkm	Říční kilometr
SPA	Stupeň povodňové aktivity
ZABAGED	Základní báze geografických dat

## **Seznam obrázků**

*Obr. 1: Situační mapa povodí Klenice.*

*Obr. 2: Niva říčky Klenice a okolních řek.*

*Obr. 3: Výškopis v povodí Klenice.*

*Obr. 4: Geomorfologické poměry v povodí Klenice.*

*Obr. 5: Expoziční a sklonitostní poměry povodí Klenice.*

*Obr. 6: Geologické poměry v povodí Klenice*

*Obr. 7: Quittova klasifikace klimatu na území ČR.*

*Obr. 8: Potenciální evapotranspirace na území ČR v období 1961-1990*

*Obr. 9: Průměrný roční úhrn srážek na území ČR v období 1991-2020*

*Obr. 10: Biogeografické poměry v povodí Klenice*

*Obr. 11: Krajinný pokryv v letech 1990 a 2012 dle CORINE Land-Cover v povodí Klenice.*

*Obr. 12: Pedologické poměry v povodí Klenice.*

*Obr. 13: Plošná distribuce transmisivity v povodí Klenice*

*Obr. 14: Území horního toku Klenice na mapě 1. vojenského mapování z 18. století - výřez mapového listu č. 59.*

*Obr. 15: Vodohospodářské objekty v povodí Klenice.*

*Obr. 16: Vodovodní síť v povodí Klenice*

*Obr. 17: Kanalizační síť v povodí Klenice.*

*Obr. 18: Vypouštění do povrchových vod z objektů v povodí Klenice.*

*Obr. 19: Průměrné denní průtoky za celé zájmové období 1981-2023*

*Obr. 20: Průměrný denní průtok pro jednotlivé dny v roce za celé období 1981-2023.*

*Obr. 21: Minimální a maximální hodnoty průměrných denních průtoků za sledované období 1981-2023*

*Obr. 22: Křivka překročení M-denních průtoků v období 1981-2023.*

- Obr. 23: Průměrné měsíční průtoky v období 1981-2023*
- Obr. 24: Podíl jednotlivých měsíců na průměrném ročním odtoku za sledované období 1981-2023*
- Obr. 25: Průměrné roční průtoky za sledované období 1981-2023.*
- Obr. 26: Podíl různě vodných let v povodí Klenice za období 1981-2023*
- Obr. 27: Počty suchých dní v jednotlivých hydrologických letech v období 1981-2023.*
- Obr. 28: Měsíční rozložení počtu suchých dní*
- Obr. 29: Podíl výskytu suchých dní během roku v období 1981-2023*
- Obr. 30: Nedostatkové objemy v jednotlivých hydrologických letech v období 1989-2023.*
- Obr. 31: Denní průtoky na profilu Klenice - Mladá Boleslav v letech 2018 a 2019.*
- Obr. 32: Křivka překročení M-denních průtoků pro hydrologické roky 2018 a 2019*
- Obr. 33: Průměrné měsíční průtoky v hydrologických letech 2018 a 2019.*
- Obr. 34: Podíl jednotlivých měsíců na odtoku z povodí Klenice v letech 2018 a 2019.*
- Obr. 35: Počet dní v měsíci s průtokem pod hranicí  $Q_{355}$ , tzn. počet dní hydrologického sucha, v suchých periodách let 2018 a 2019.*
- Obr. 36: Denní nedostatkové objemy v období nejsušších let 2018-2019.*
- Obr. 37: Nedostatkové objemy v letním období 2018.*
- Obr. 38: nedostatkové objemy v letním období 2019.*
- Obr. 39: Kolísání hladin v mělkých vrtech v povodí Klenice*
- Obr. 40: Porovnání ročního úhrnu srážek a průměrných ročních průtoků v povodí Klenice v období 1981-2023*
- Obr. 41: Záplavová území a objekty ohrožené zatopením při stoleté vodě.*

## **Seznam tabulek**

*Tabulka 1: Charakteristiky klimatických oblastí v povodí Klenice.*

*Tabulka 2: Podíl kategorií krajinného pokryvu zastoupeného v povodí Klenice*

*Tabulka 3: Parametry povodí Klenice pro hydrografickou charakteristiku povodí.*

*Tabulka 4: Extrémní hodnoty průměrných denních průtoků za sledované období 1981-2023.*

*Tabulka 5: Hodnoty M-denních průtoků stanovené z dat pro sledované období 1981-2023.*

*Tabulka 6: Podíl ročních období na průměrném ročním odtoku za sledované období 1981-2023*

*Tabulka 7: Výhodnocení vodnosti hydrologických roků*

*Tabulka 8: Pravděpodobnost překročení průměrného ročního průtoku a zhodnocení vodností*

*Tabulka 9: Hydrologicky suchá období s extrémními nedostatkovými objemy.*

*Tabulka 10: Nedostatkové objemy v jednotlivých obdobích hydrologického sucha za pozorované období.*

*Tabulka 11: Maximální, minimální a průměrné průtoky pro hydrologické roky 2018 a 2019.*

*Tabulka 12: Extrémní hodnoty denních průtoků v letech 2018 a 2019*

*Tabulka 13: Hodnoty M-denních průtoků let 2018-2019*

# 1. ÚVOD

Voda je klíčovou složkou všech živých organismů a je jedním z nejdůležitějších podnětů pro život na planetě Zemi (Gleick, 1993). Zajišťuje funkční přírodu a život v rozmanitých ekosystémech. Voda slouží jako transportní médium prvků a živin důležitých pro existenci, bez nichž dochází k postupné degradaci půd a na vodu vázaných společenstev. Dokud je voda v krajině v dostatečném množství a kvalitě, je vnímána jako samozřejmost. Nevyužitelnost vody nebo její nedostatek v důsledku hydrologických extrémů, kterými jsou povodně či sucho, se stává celosvětově rozšířeným nejen politickým tématem.

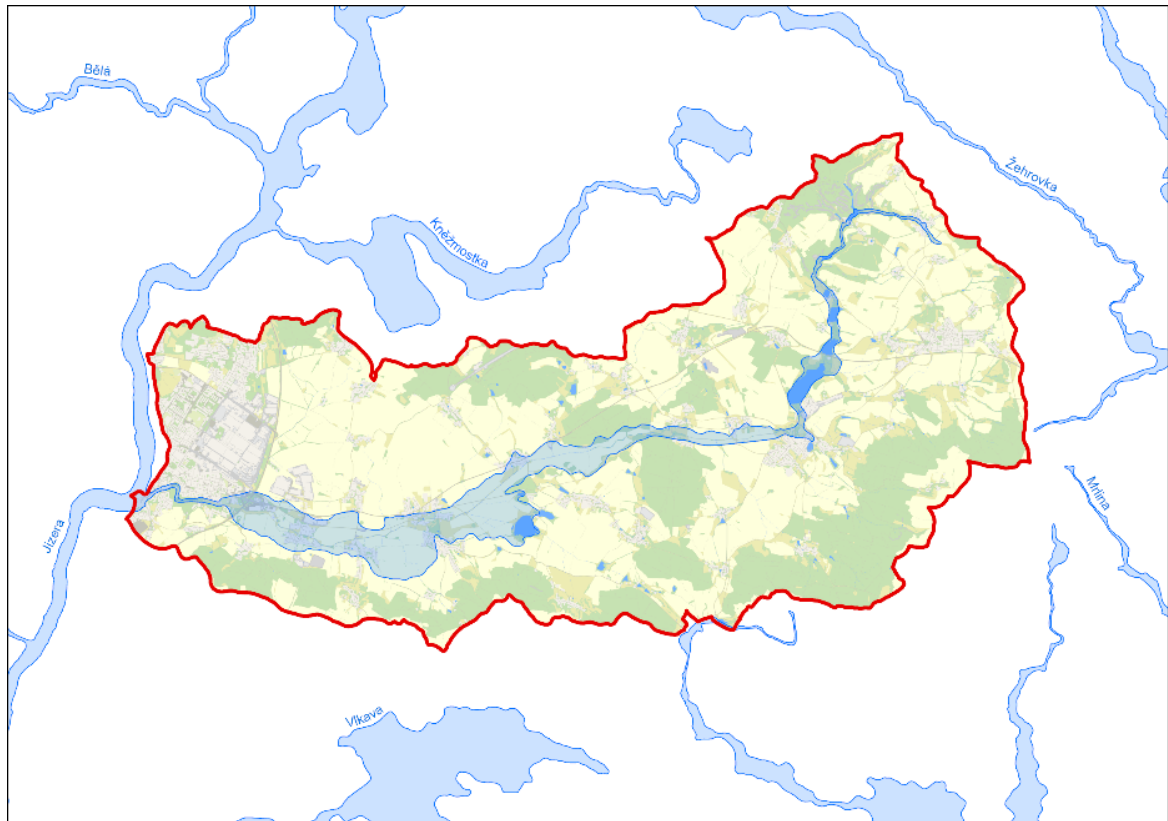
V souvislosti s postupnou změnou klimatických podmínek se zvyšuje intenzita sucha, jeho projevy a důsledky. Sucho je nepředvídatelný přírodní jev, který vzniká v důsledku nedostatku srážek a vede k poklesu množství vody v různých částech hydrologického cyklu, čímž ovlivňuje funkce ekosystémů a složek krajiny. Nestačí-li vodní zdroje k zásobování potřeb společnosti, hovoříme o nedostatku vody. Oba jevy, sucho i nedostatek vody, mohou způsobit hospodářské ztráty v klíčových odvětvích závislých na vodě a mají také environmentální dopady, včetně ohrožení biologické diverzity, zhoršení kvality vod, degradace stavu vodních útvarů, úbytku mokřadů a eroze půdy (MZe, 2023).

Vodní zdroje v ČR jsou vázány na množství a prostorové rozmístění atmosférických srážek, jelikož veškeré vodní toky z našeho území odtékají do tří evropských úmoří. Měnícími se klimatickými podmínkami narůstá pravděpodobnost výskytu suchých období a lze očekávat, že současné vodní zdroje nebudou dostatečné nejen množstvím, ale i kvalitou. Nízké průtoky snižují kapacitu pro ředění přitékajícího znečištění, které se v korytě zdržuje nepřiměřeně dlouho a živinami v kombinaci s rostoucí teplotou vody podporuje růst autotrofních organismů (MZe, 2023). Kvůli faktu, že je pitná voda neobnovitelným zdrojem, je potřeba se k jejímu užívání stavět s rozmyslem a navrhovat opatření k jejímu udržení v krajině navázáním celosvětové spolupráce (UNESCO, 2023).

Tato práce popisuje charakteristiky povodí Klenice a odtokové poměry území. Následky extrémních projevů počasí, kterými jsou povodně a sucho, se razantně podílí na stavu malého vodního toku jako je říčka Klenice. Povodí je závislé na geologickém podloží, které formuje kvalitu podzemních a povrchových vod, jež jsou hojně ovlivněny antropogenní činností.



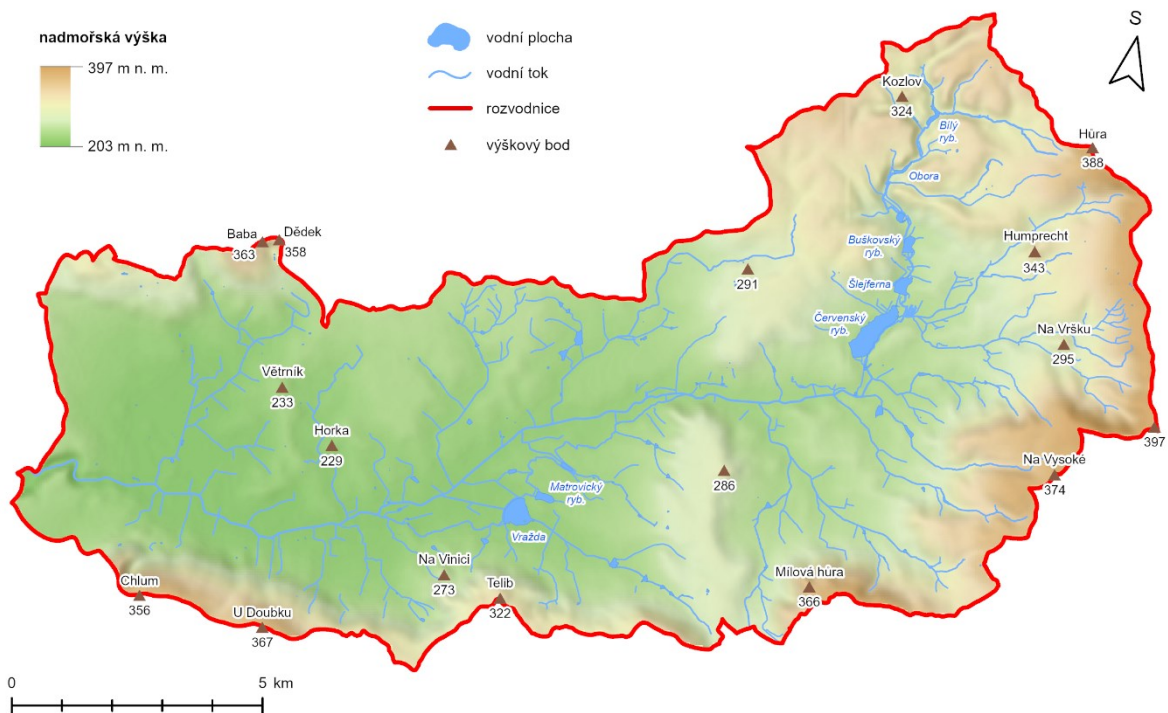
železniční trať do Mladé Boleslavi a odděluje se paralelní Mlýnský náhon, ústící zpět do Klenice v obci Březno. U obce Sukorady se tok stává velmi antropogenně ovlivněným nejen z hlediska krajinného pokryvu, ale například i přítoky odvodňujícími okolní obce a jejich čistírnami odpadních vod (ČOV). Dolní tok hraničí ze severu s povodím Kněžmostky a z jihu s povodím Vlkavy. V jižní části Mladé Boleslavi se Klenice vlévá jakožto levostranný přítok do Jizery na jejím 36,6. říčním kilometru (DIBAVOD).



Obr. 2: Niva říčky Klenice a okolních řek. (zdroj: AOPK ČR, DIBAVOD)

## 2.2 Geomorfologické poměry

Povodí Klenice náleží geomorfologické provincii Česká vysočina, jež je nejrozlehlejší geomorfologickou jednotkou na území našeho státu. Nižší geomorfologická jednotka, kterou je soustava Česká tabule, je převážně tvořena křídovými horninami a kvádrovými pískovci (Hrnčiarová, Mackovčín; 2009). Orograficky nejaktivnější byla v období proterozoického a hercynského vrásnění, které dalo vzniku nejvyšším vrcholům v povodí, s výjimkou vulkanických vrchů na severozápadě.



Obr. 3: Výškopis v povodí Klenice. (zdroj: DIBAVOD, ArcČR 500 verze 3.3)

Povodí se nachází na Severočeské a Středočeské tabuli, které jsou podsoustavami České tabule. Severočeská je tvořena zmíněnými křídovými usazeninami s kaňonovitými údolními a méně odolnými jílovci a slínovci, zatímco Středočeská je složená převážně ze subhorizontálních slínovců s neotektonickými poruchami a fluvialními tvary reliéfu. Středočeská tabule s jejím celkem Jizerskou tabulí zaujímá pouze malý podíl povodí na západě (2,35 km<sup>2</sup>) a je charakteristická plošinami a údolními zářezy Jizery. Jizerská tabule zastupuje geomorfologické podcelky Dolnojizerskou a Středojizerskou tabuli, kde Středojizerská zahrnuje Skalskou tabuli a Dolnojizerská odděluje výběžek Luštěnické kotliny. Tato plocha území povodí je částečně pokryta městskou zástavbou, nicméně její podloží je tvořeno denudační sníženinou složenou ze středoturonských pískovců s vápenci a slínovci (Balatka a kol., 1987).

Celkem pokrývající 98,7 % povodí je Jičínská pahorkatina jakožto součást podsoustavy Severočeské tabule. V jejím podcelku, Turnovské pahorkatině, jsou vyčleněny čtyři okrsky: Mladoboleslavská kotlina, Vyskeřská vrchovina, Jičíněveská pahorkatina a Chloumecký hřbet. V místech odolnějšího slínovcového podloží se jedná o pahorkatiny s mírně ukloněnými svahy rozčleněnými koryty vodních toků. Krajinu definující však jsou pískovcové oblasti (Bína, 2019).





Obr. 4: Geomorfologické poměry v povodí Klenice. (zdroj: DIBAVOD, AOPK ČR)

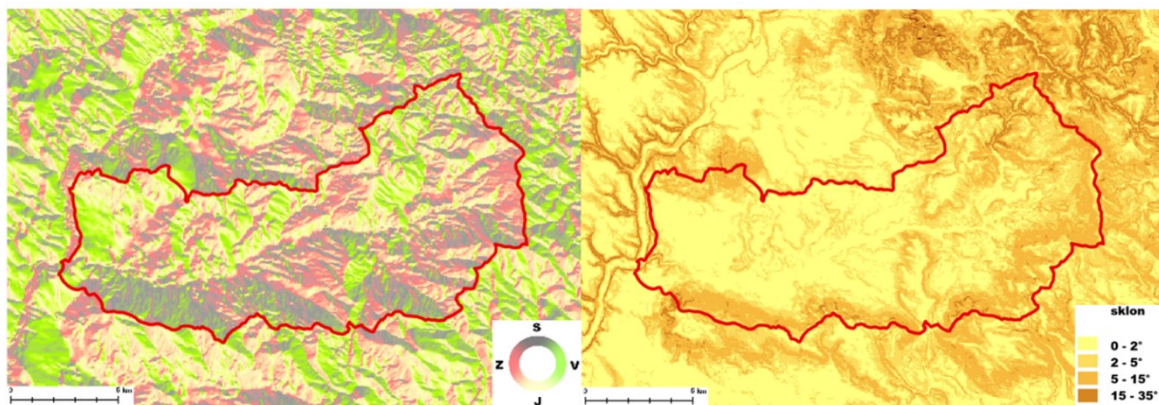
Nejrozsáhlejší Mladoboleslavská kotlina v jihozápadní oblasti Turnovské pahorkatiny pokrývá 62,4 % plochy povodí Klenice. Jedná se o sníženinu mezi úpatím Chloumeckého hřbetu a vrchů Baba a Dědek na severozápadě povodí. Geomorfologické poměry naznačují, že je oblast rovinatá s širokými říčními nivami mělkého rozvěřeného údolí Klenice. Neovulkanické vrchy vznikly jako komínové brekcie s žilami olivinického nefelinitu, poté byly erodovány a dnešní skalnaté vrcholy jsou pokryty teplomilnou květenou (Balatka a kol., 1987).

Nad Mladoboleslavskou kotlinou se na jihu tyčí vyvýšenina geomorfologického okrsku Chloumeckého hřbetu. Tvoří rozvodí mezi povodím Labe a Jizery a je současně hranicí mezi povodími Vlkavy a Klenice. Kaolinické a jílovité pískovce se slínovci byly zformovány do reliéfu hrástí, jež tvoří příkré severní a západní svahy. Chráněná oblast přírodního parku Chlum je zalesněna dubovými porosty s květnatými bučinami na severním svahu (Demek a kol., 1965).

Východně na Chloumecký hřbet navazuje Jičíněveská pahorkatina. Jedná se o západně ukloněné území na slínovcích a pískovcích, které byly přeryty sprašemi. Naprostá většina území je pokryta lesy tvořenými bučinami a doubravami. Na východním okraji se nachází Hůra (388 m n. m.), nejvyšší vrchol povodí Klenice (Balatka, Kalvoda; 2006).

Severní výběžek povodí se geomorfologicky řadí do okrsku Vyskeřské vrchoviny. Balatka a kol. (1987), ji charakterizují jako plochou vrchovinu složenou z koniackých kvádrových pískovců s erozními zbytky slínovců a jílovců s hojným výskytem spraší. Oblast označují za středně zalesněnou borovými porosty s příměsí smrků a doubrav. Východně od povodí Klenice se nachází bazaltické neovulkanity oddělující hustou říční síť (Balatka, Sládek; 1965).

Klenice vytváří osu povodí, z toho důvodu jsou svahy orientovány právě do středu povodí a k jejímu závěrovému profilu u Jizery. Chloumecký hřbet a okolí jsou orientovány na sever až severozápad. Úpatí Nepřívěcké Hůry a obce blízko Sobotky se sklání k západu. Oblast severovýchodně od Mladé Boleslavi je orientována na jih. Výjimkou svažitosti k Jizeře je vyvýšenina na linii obcí Obruby a Petkovy, jež je zřetelně rozdělena tokem Klenice u Bechova a Svobodína. Dle sklonitostní mapy (obr. 5 vpravo) tento hřbet navazuje na jihu na Chloumecký a na severu se stává součástí CHKO Český ráj. Nejstrmější svahy se sklonitostí ke 35° jsou pozorovatelné v kaňonovitém údolí Klenice okolo hradu Kost a v údolí Plakánku, kde se nad tok tyčí strukturované pískovcové skály.



Obr. 5: Expoziční (mapa vlevo) a sklonitostní (mapa vpravo) poměry povodí Klenice. (Zdroj: AOPK ČR, DIBAVOD)

### 2.3 Geologické poměry

Podloží povodí Klenice se řadí do geologické jednotky Českého masivu, jež je pozůstatkem evropského variského či hercynského orogénu, který se rozpíná až za hranice s Polskem, Německem i Rakouskem na ploše přes 100 000 km<sup>2</sup> (Cháb et al., 2020). Zemská kůra má mocnost 28 až 42 km. Jádro Českého masivu je tvořeno moldanubikem a bohemikem, jejichž složkami jsou krystalinikum a variské paleozoikum. Tyto jednotky

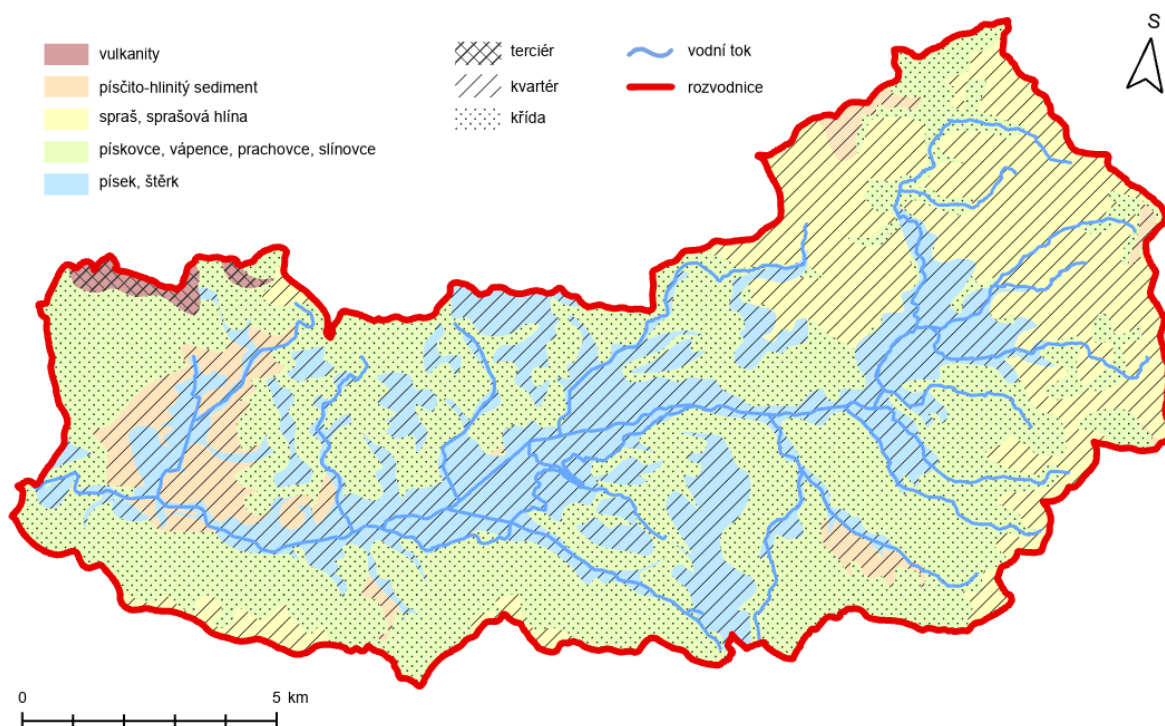
byly postiženy intenzivním proterozoickým a hercynským vrásněním, s následným rozlámáním podél zlomových linií. Od té doby byl povrch zarovnáván, s výjimkou tzv. saxonské tektoniky a neogenního vulkanismu (Petránek, 2016). Moderní technologie popsaly stáří některých hornin Českého masivu na více než dvě miliardy let (Wendt et al., 1993).

Bohemikum je tvořeno převážně pahorkatinami, tabulemi či plošinami, z nichž na sledovaném území leží Jičínská pahorkatina a Jizerská tabule (Kukal, Němec, Pošmourný; 2014). Reliéf je ovlivněn podložními horninami a platí, že nejvyšší vrcholy se nacházejí na nejodolnějších sedimentech či vulkanitech. Příkladem jsou vrchy Baba a Dědek u Kosmonos, jež jsou tvořeny bazalty.

Pokryv Českého masivu zahrnuje permokarbon a křídou a dále terciérní říční uloženiny. Česká křídová pánev vznikla nárůstem mořské hladiny před asi 97 miliony let, které na svém dně zanechalo sedimenty mocné 200 - 400 m. Následnou erozí hornin se vytvořily charakteristické formy reliéfu jako hřbety a ostrohy, jež byly hojně využívány pro stavbu hradů. Písek z vyvýšenin se snášel do údolí a působením tlaku a času se podle převažujícího složení tmelu vytvořily dva druhy pískovců: křemenné (kvádrové) a vápnité. Nejmocnější a nejrozlehlejší kvádrové pískovce jsou typické pro skalní města Českého ráje podél lužické poruchy, zatímco vápnité pískovce místy přecházející do vápenců jsou časté v povodí Jizery (Chlupáč a kol., 2011). Běžně také přecházejí do karbonátových sedimentů slínovců a vápnitých jílovců. Na kvádrových pískovcích byl vystavěn hrad Kost patřící do Severočeské tabule na severovýchodě povodí, zatímco hrad v Mladé Boleslavi stojí na ostrohu vzniklém v místě ústí menšího vodního toku (Klenice) do většího (Jizery). Vápnité horniny v Pojizeří mají méně členitý reliéf než kvádrové pískovce, na jílovcích a slínovcích je terén ještě plošší a vodní toky v něm často meandrují (Kukal, 2010).

Permokarbonským útvarem v povodí Klenice je Mšenská pánev, jakožto součást Jizerské oblasti České křídové pánve. Permokarbonské sedimenty v nivách toků tvoří písky, které se střídají se slínovci. V okolí Mladé Boleslavi jsou rozděleny Jizerským zlomem (Mísař, 1969).

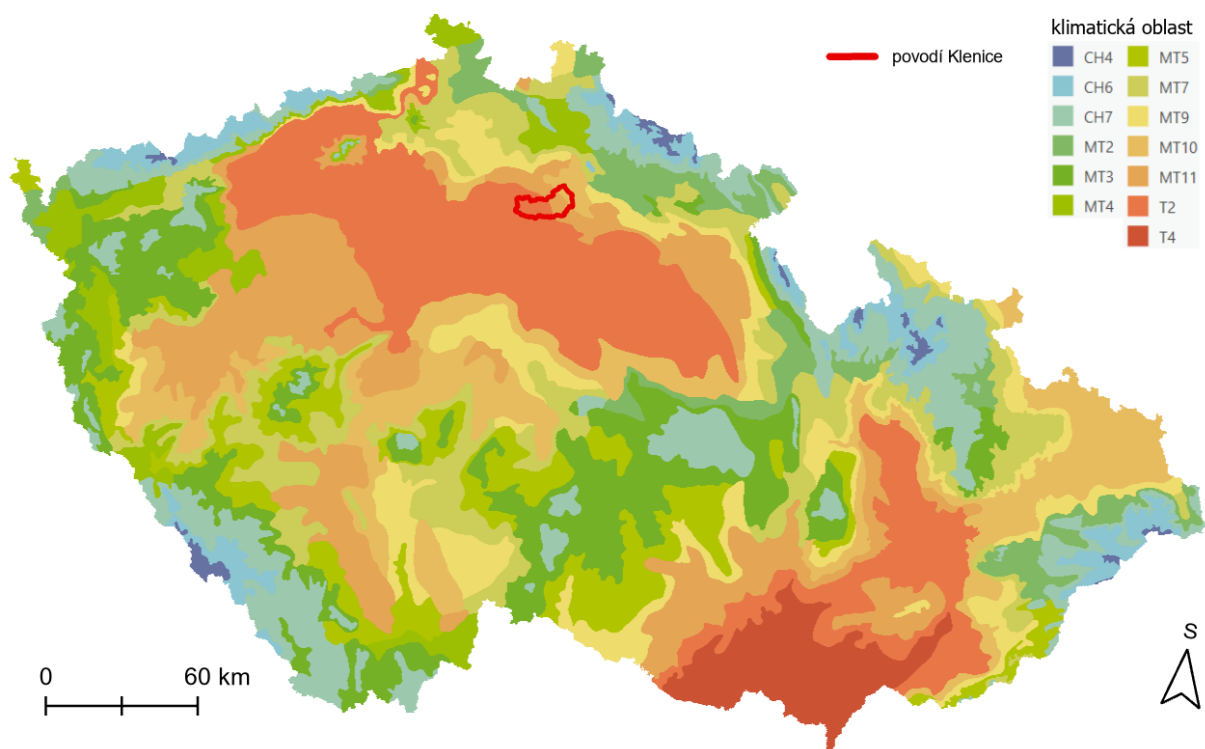
Terciární vulkanické horniny Českého masivu označované za neovulkanity se vyskytují severním směrem od Mladé Boleslavi a Kosmonos. Jejich tělesa jsou soustředována podél lužické poruchy, a právě mezi Jičínem a Mladou Boleslaví došlo k jejich nahromadění (Chlupáč a kol., 2011). Ačkoli se většinou jedná o podpovrchové útvary, místy vystupují jako strmé skalní výchozy. Příkladem jsou komínové brekcie vrchů Baba a Dědek (Mísař, 1983).



Obr. 6: Geologické poměry v povodí Klenice. (zdroj: ČGS, DIBAVOD)

## 2.4 Klimatické poměry

Dle celosvětově nejpoužívanější Köppenovy klasifikace klimatu spadá povodí Klenice, stejně jako většina Česka a východní Evropy do vlhkého kontinentálního podnebí s teplými léty (Dfb), pro které platí celoročně rovnoměrně rozložené srážky s nejvyššími teplotami okolo 30°C.



Obr. 7: Quittova klasifikace klimatu na území ČR. (zdroj: AOPK ČR, DIBAVOD)

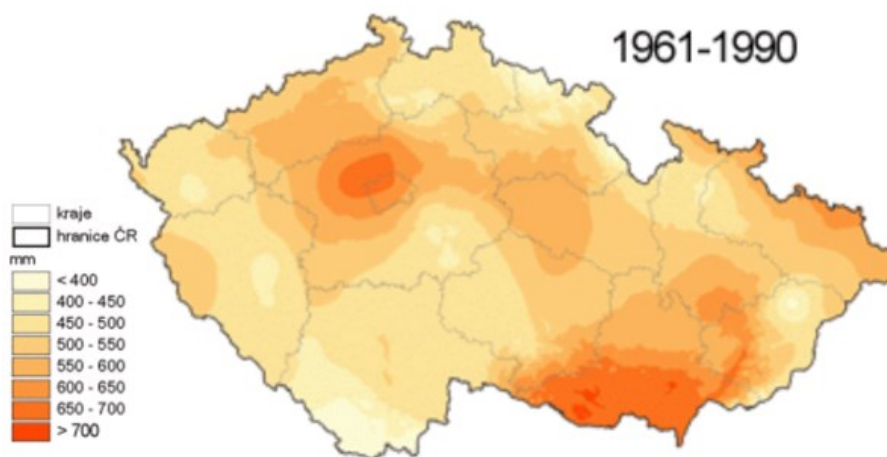
Pro Československo však byla vytvořena podrobnější klasifikace podle Quitta, 1971, která popisuje 23 kategorií od teplých (T) po chladné oblasti (CH). Dolní tok Klenice se nachází v teplé oblasti T2, pro níž jsou typická dlouhá, teplá a suchá léta, mírně teplá jara i podzimy a mírně teplá, suchá zima s krátkým trváním sněhové pokrývky. Oblast mezi pomyslnými liniemi Obrubce-Řitovice a Dobšín-Sobotka spadá do mírně teplé oblasti MT11, která vyniká dlouhým teplým a suchým létem a krátkým mírně teplým jarem a podzimem. Zima je krátká, mírně teplá s velmi suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky. Severovýchodní část povodí, tedy oblast horního toku, je zařazena do mírně teplé oblasti MT10 se stejnými charakteristikami jako MT11, kromě léta, které bývá mírně suché. Charakteristiky jednotlivých zastoupených kategorií dle Atlasu podnebí Česka (Tolasz, 2007) jsou v tabulce 1 níže.

charkteristika	klimatická oblast		
	T2	MT10	MT11
počet letních dní	50-60	40-50	40-50
počet dní s průměrnou teplotou $\geq 10^{\circ}\text{C}$	160-170	140-160	140-160
počet mrznoucích dní	100-110	110-130	110-130
počet ledových dní	30-40	30-40	30-40
průměrná lednová teplota	$-2^{\circ}\text{C}$ až $-3^{\circ}\text{C}$	$-2^{\circ}\text{C}$ až $-3^{\circ}\text{C}$	$-2^{\circ}\text{C}$ až $-3^{\circ}\text{C}$
průměrná dubnová teplota	$8-9^{\circ}\text{C}$	$7-8^{\circ}\text{C}$	$7-8^{\circ}\text{C}$
průměrná červencová teplota	$18-19^{\circ}\text{C}$	$17-18^{\circ}\text{C}$	$17-18^{\circ}\text{C}$
průměrná říjnová teplota	$7-9^{\circ}\text{C}$	$7-8^{\circ}\text{C}$	$7-8^{\circ}\text{C}$
průměrný počet dní se srážkami $\geq 1\text{mm}$	90-100	100-120	90-100
suma srážek ve vegetačním období	350-400	400-450	350-400
suma srážek v zimním období	200-300	200-250	200-250
suma srážek celkem	550-700	600-700	550-650
počet dní se sněhovou pokrývkou	40-50	50-60	50-60
počet zatažených dní	120-140	120-150	120-150
počet jasných dní	40-50	40-50	40-50

Tabulka 1: Charakteristiky klimatických oblastí v povodí Klenice. (Zdroj: Atlas podnebí Česka, 2007)

Starší klasifikace klimatu pocházející z roku 1958 z Atlasu podnebí ČSR (Syrový, 1958) vymezuje na území povodí Klenice dvě mírně teplé oblasti B1 a B2. Okrsek B1 na dolním toku je mírně teplý a suchý s mírnou zimou, kde je charakteristická lednová teplota nad  $-3^{\circ}\text{C}$ . Toto teplotní vymezení je stejné i pro okrsek B2 na horním toku Klenice, který je typicky mírně teplý, mírně suchý převážně s mírnou zimou.

Průměrná roční teplota v roce 2023 byla v povodí Klenice  $10^{\circ}\text{C}$ , zatímco dlouhodobý průměr od začátku souvislého měření ČHMÚ v roce 1961 do roku 1990 byl na horním toku  $7-8^{\circ}\text{C}$  a na dolním toku  $8-9^{\circ}\text{C}$ . V období 1991-2020 byla na horním toku Klenice stanovena průměrná roční teplota  $8-9^{\circ}\text{C}$  a na dolním toku  $9-10^{\circ}\text{C}$ . Je tedy zřetelný nárůst minimálně o  $1^{\circ}\text{C}$  za šedesátileté období, s čímž souvisí i nárůst potenciální evapotranspirace, která v období 1961-1990 činila 500-550 mm za rok (obr. 8).

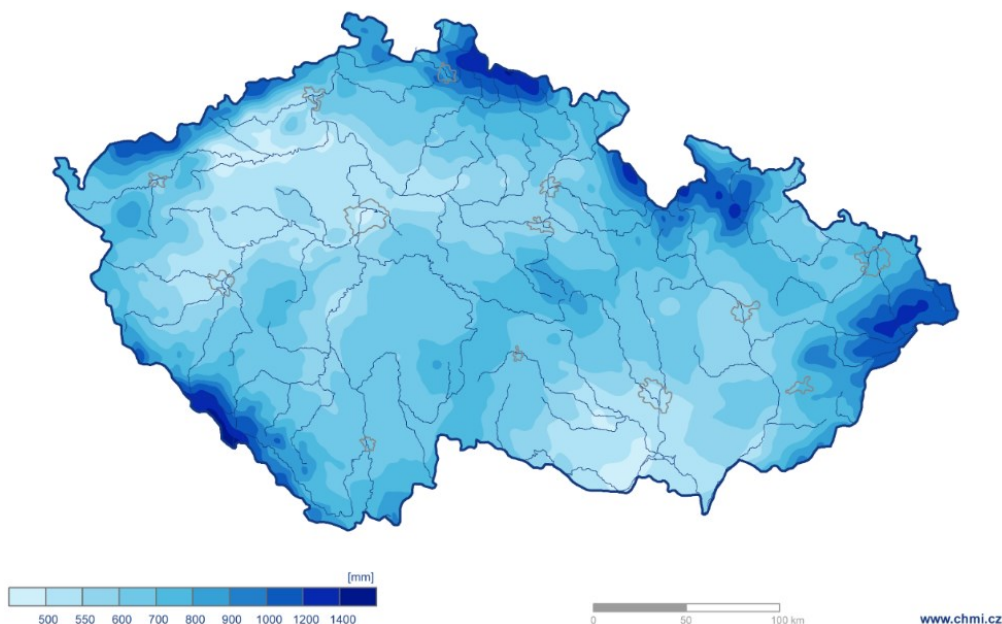


Obr. 8: Potenciální evapotranspirace na území ČR v období 1961-1990. (zdroj: ČHMÚ)

Za sledované období hydrologických let 1981-2023 (viz. kapitola 5 - Analýza odtokových poměrů Klenice) byl dle dat ČHMÚ průměrný roční úhrn srážek 581 mm. Normálem v období 1961-2020 je rozmezí 550 – 700 mm za rok s rozdílem horního a dolního toku Klenice. Srážkově nejbohatší byl na stanici Mladá Boleslav (P2MLBO01) rok 2013 s 873.5 milimetry a srážkově nejchudší roky 1991 a 2018 s ročním úhrnem 412 mm. Nejvyšší hodnota denního úhrnu 78.4 mm byla naměřena dne 09.06.2013.

Průměrný roční úhrn srážek za období 1991 – 2020

Český  
hydrometeorologický  
ústav



Obr. 9: Průměrný roční úhrn srážek na území ČR v období 1991-2020. (zdroj: ČHMÚ)

## 2.5 Biogeografické poměry

Česká republika se nachází na území dvou biogeografických oblastí vymezených na základě vegetačního pokryvu. Jedná se o celky, jež jsou charakteristické svou biotou specifickou pro dané podnebí, reliéf, chemismus hornin či půd. Většina území ČR spadá do kontinentální provincie, mimo jižní Moravy, jež patří do provincie panonské. Kontinentální oblast se dělí na čtyři podprovincie: hercynskou, karpatskou, polonskou a panonskou, která se z většiny rozkládá ve stejnojmenné provincii. Povodí Klenice se nachází v nejrozlehlejší hercynské provincii (Culek, 2005).

Podprovincie se dělí na podrobněji charakterizující biogeografické regiony, kterých je na území našeho státu vymezeno celkem 94. Na území povodí jsou definovány čtyři bioregiony, z nichž největší, Mladoboleslavský, zaujímá 129,3 km<sup>2</sup>, což činí 76,3% plochy povodí. Základem oblasti jsou slíny, slínovce a vápnité jílovce z období křídý. Lesy jsou z většiny tvořeny dubohabrovými háji a teplomilnými doubravami s luhy a olšinami podél vodních toků. Dle Culka (1995), je Mladoboleslavský bioregion tvořen ze 32,5 % duby, 32% borovicemi a 14 % smrky. Významná je oblast vyvýšeniny Chlumu, jež je tvořena částečně sprašemi a pískovci a převládají zde doubravy a bučiny. Další výjimkou je lokalita vrchu Baba u Kosmonos, kde horninový základ tvoří čediče a rostou zde květnaté bučiny. Druhově pestré jsou také bažiny a mokřady přiléhající k rybníkům, kde se nacházejí hnízdiště vodního ptactva (Ambros, 1989).

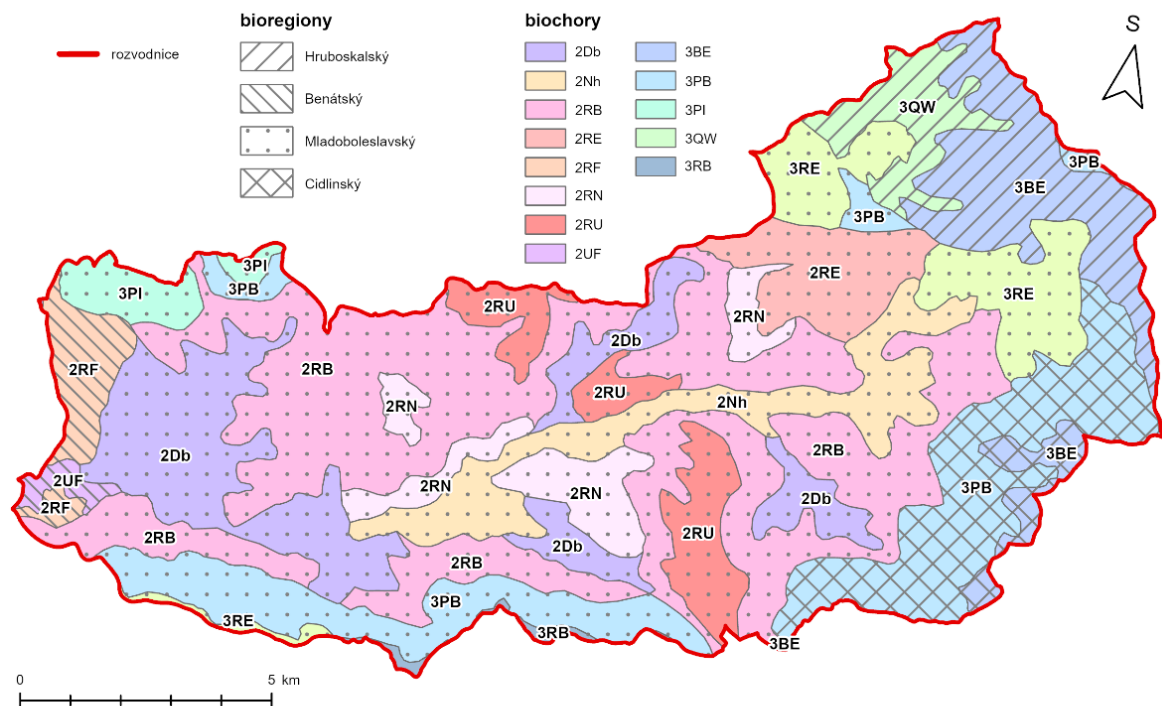
Mladoboleslavský bioregion se na severovýchodě odděluje velmi výraznou hranicí vápnných pískovců od Hruboskalského bioregionu. Ten leží severně od Sobotky v mírně teplé klimatické oblasti, čemuž odpovídá mezofilní vegetace. Oproti Mladoboleslavskému bioregionu je značná absence termofilních druhů. Biota je místy ochuzována pískovcovým a sprašovým podložím. Dle Slavíka, 1977, jsou typické mělké pískovcové kaňony s dubohabrovými háji. Velký podíl má zemědělská, zejména polní krajina. V lesních porostech s acidifikovanými půdami zastupují borovice 40 %, smrky 37,2 % a duby 6 % (Culek a kol., 2013). Centrální oblastí bioregionu je CHKO Český ráj.

Jičíněveská kotlina vymezuje třetí biogeografický region na území povodí Klenice, kterým je Cidlinský bioregion zaujímající 10,2 % plochy povodí Klenice. Je situován jihovýchodně od obcí Dolní Bousov, Řitonice a Sobotka. Základ je tvořen slínovci a pokryvy spraší s občasnými skalními výchozy podél vodních toků. Biota je uzpůsobena vlhčímu a chladnějšímu klimatu v porovnání s Mladoboleslavským bioregionem.



Z potenciální vegetace převládají doubravy a dubohabrové háje. Nejhojněji jsou v Cidlinském bioregionu zastoupeny duby (36,1 %), smrky (30 %) a borovice (12 %) (Culek, 2005).

Západní hranice povodí Klenice patří do Benátského bioregionu rozprostírající se na 3,1 % plochy povodí mezi Mladou Boleslaví a Kosmonosy. Spadá do klimatické oblasti T2, čemuž odpovídá teplomilná biota doubrav a dubohabrových hájů s vegetací luhů a olšin podél Jizery a koryta Klenice. Kvůli husté zástavbě v této lokalitě není plně rozvinuta vegetace charakteristická pro Benátský bioregion, kterou jsou ze 48 % borovice, 13,5 % duby a 12 % smrky (Chytrý, 2012; Culek a kol., 2013).



Obr. 10: Biogeografické poměry v povodí Klenice. (zdroj: AOPK ČR, DIBAVOD)

Bioregiony se dále dělí na typologické jednotky zvané biochory, které jsou klasifikovány na základě vegetace, substrátu a reliéfu. Hercynská podprovincie, v níž povodí Klenice leží, má vymezeno 330 z celkových 366 typů biochor. Jednotlivé biochory jsou pojmenovány čtyřmístným kódem, ve kterém se na prvním místě buď nachází znaménko “-“ značící oblast s nedostatečnými srážkami, nebo nepředchází žádné znaménko, což vystihuje oblast srážkově normální či nadprůměrnou (Ambros, 1989).

Druhou složkou kódu je číslice symbolizující vegetační stupeň převažující na území biochory. Dle Zlatníka, 1976, symbolizuje například číslo 1 dubový vegetační stupeň, číslo 4 bukový vegetační stupeň, 7 smrkový a 8 klečový subalpínský vegetační stupeň. Třetí položkou kódu biochory je hůlkové písmeno popisující jednu z 18 kategorií georeliéfu a na čtvrtém místě je taktéž písmeno označující půdní substrát a jeho vlhkost.

V povodí Klenice se nachází celkem 35 biochor zastupujících 13 typů. Oblast je srážkově normální, tudíž kódu biochor nepředchází žádné znaménko a začínají tedy číslicí. Ty jsou zde zastoupeny pouze dvě, a to 2 pro bukodubový vegetační stupeň a 3 pro dubobukový vegetační stupeň. Jejich geobiocenózy jsou typické pro teplé suché až mírně vlhké oblasti (Buček, Lacina, 1979). Dle Culka, 1995, georeliéf povodí zastupuje 7 kategorií:

B - rozřezané plošiny (s mělkými údolími)

D - sníženiny (deprese, zpravidla podmáčené)

N - užší nivy

P - pahorkatiny

Q - pahorkatiny se skalními městy

R - plošiny (roviny)

U - údolí (výrazná, zaříznutá)

Půdní substrát v povodí je rozdělen do 9 kategorií, kde *B* jsou slíny, *b* zastupují bazické podmáčené sedimenty, *E* spraše, *F* vápnité pískovce, *h* hlinité nivní sedimenty, *I* bazické neovulkanity, *N* zahliněné štěrkopísky, *U* štěrkopísky a *W* pískovce.

Nejhojněji zastoupena je biochora 3PB (pahorkatiny na slínech 3. vegetačního stupně), ale největší rozlohu zaujímá 2RB - roviny na slínech bukodubového vegetačního stupně (29,3 % plochy povodí).

## 2.6 Krajinný pokryv

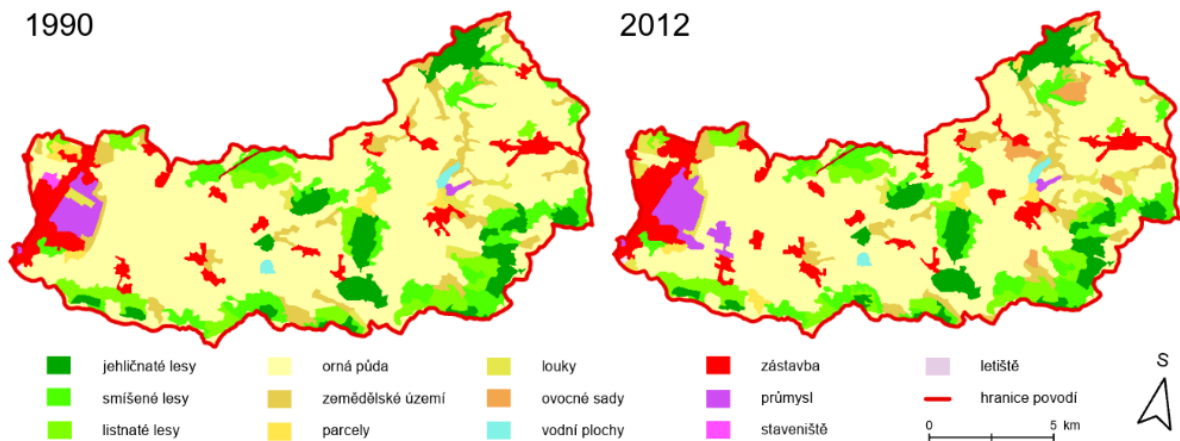
Povodí Klenice je značně poznamenáno antropogenní úpravou krajinného pokryvu. Lesní porosty, jejichž většina je také hospodářská, pokrývají 22,7 % povodí. Rozléhají se podél jižní hranice a na vyvýšenině mezi obcemi Sukorady, Obruby a Řitonic. Významné jsou jehličnaté lesy v údolí Plakánku a severně od hradu Kost. Jehličnany tvoří 34,2 % lesů, zejména na východě oblasti. Nejvíce zastoupené jsou původní doubravy a dubohabřiny, podílející se na 37,3 % lesů povodí. Lužní a mokřadní lesy obklopují koryto Klenice ve východní polovině povodí.

kategorie	podíl plochy	
	km <sup>2</sup>	%
orná půda	80.62	47.5
lesy	38.43	22.7
louky, travní porost	13.80	8.1
voda	1.81	1.1
bažiny, mokřady	3.48	2.1
zeleň	9.19	5.4
skály	0.38	0.2
zástavba	15.38	9.1
průmyslové jednotky	1.84	1.1
dopravní síť	4.69	2.8

Tabulka 2: Podíl kategorií krajinného pokryvu zastoupeného v povodí Klenice. (zdroj: AOPK ČR)

Téměř polovinu plochy povodí tvoří zemědělsky obhospodařovaná půda, jejíž pokryv se každoročně i sezónně mění. Orná půda je ze všech typů pokryvu nejnáchylnější k erozi, čímž jednoznačně ovlivňuje hydrologické poměry. Rozloha orné půdy se v porovnání s druhou polovinou 20. století snižuje. Příčinou je návrat půdy do soukromého vlastnictví a od 90. let minulého století také samovolné zalesňování (Bičík, Jančák, 2005). Nejvyšší nárůst je dle KVES patrný u rozlohy zástavby a průmyslových a obchodních zón v západní části povodí, jimiž je Mladoboleslavsko typické. Tato urbanizovaná plocha pokrývá téměř 22 km<sup>2</sup>, tedy 13 % povodí. Ekologicky významné bažiny a mokřady tvoří pouhá dvě procenta plochy povodí a nacházejí se výhradně v údolní nivě Klenice a jejich přítoků, podél rybníční soustavy severně od Dolního Bousova a v kaňonovitých údolích v okolí hradu Kost.

Dle dat Evropské agentury pro životní prostředí (EEA) z mapové databáze CORINE Land Cover informující o změnách krajinného pokryvu je z obrázku 9 patrný právě nárůst zastavěné oblasti na úkor orné půdy, rozvoj luk a ovocných sadů během referenčního období 1990-2012.



Obr. 11: Krajinný pokryv v letech 1990 a 2012 dle CORINE Land-Cover v povodí Klenice. (zdroj: AOPK ČR)

## 2.7 Pedologické poměry

Půda a její stav jsou v povodí Klenice velmi důležité faktory. Zejména kvůli vysokému podílu zemědělsky využívané půdy, jež může být zdrojem znečištění a zhoršovat tak kvalitu povrchových vod. Na půdním pokryvu závisí míra infiltrace a objem zadržené srážkové vody v prostředí.

V povodí je pedologicky vymezeno deset převažujících půdních typů. Na základě informací z Půdní mapy vytvořené ČGS jsou nejhojněji zastoupeny hnědozemě, pokrývající především oblast horního toku severně od obce Sobotka.

Niva Klenice a jejích přítoků je tvořena černicemi, jejichž typickým půdotvorným substrátem jsou nivní sedimenty se zvětralinami slínovců a písky tvořené vysokou hladinou podzemní vody. Zdejší půdy nejsou příliš náchylné k acidifikaci kvůli obsahu karbonátů v sedimentech a vápencích, které je činí neutrálními až slabě zásaditými (Tomášek, 2003). Půdotvorný substrát černic je tvořen kvartérními štěrky a písky.

V černicích obvykle kromě humifikace probíhá půdotvorný glejový proces, čímž navazují na okolní půdní typy, kterými jsou v případě Klenice většinou pseudogleje vyskytující se zejména ve střední části povodí (Tomášek, 2003). Půdotvorným substrátem jsou písčitojilovité křídové sedimenty, sprašové hlíny a slínovce. Hlavním půdotvorným procesem je oglejení v zamokřených půdách, které předchází ilimerizaci. Pro zúrodnění

zemědělské půdy na pseudoglejích je často nutné odvodnění, ke kterému v povodí Klenice dochází.

Pseudogleje se často střídají s ilimerizovanými půdami, kterými jsou v případě povodí Klenice luvizemě. Ty se nejvíce vyskytují v okrajových oblastech povodí, zejména v jihovýchodní a jihozápadní části. Půdotvornými horninami jsou převážně spraše a sprašové hlíny. Tyto půdy s typickým eluviálně vyběleným horizontem vznikaly v místech okyselovaných listnatými doubravami a bučinami. Ilimerizací vyplavené jílové částice do hlubších horizontů způsobují, že jsou luvizemě světlé a náchylné k erozi (Němeček, 2008).

Proces ilimerizace je kromě luvizemí typický pro hnědozemě. Vyskytují se v severním výběžku povodí v oblastech původního výskytu dubohabrových lesů. Půdotvorným substrátem jsou kvartérní spraše a sprašové hlíny. Hnědozemě jsou hojně zemědělsky využívány kvůli vysokému obsahu humusu, který je však nižší, než u přilehlých černozemí (Tomášek, 2003).

Černozemě navazují na černice především v lokalitě mezi obcí Plazy a Mladou Boleslaví a na severním okraji Sobotky a Obrub. Vznikaly na písčitohlinitém sedimentu a mají příznivé vlastnosti díky vysokému podílu kvalitního humusu. Hlavním půdotvorným procesem je totiž humifikace, při které dochází k rozkladu organických zbytků a zúrodnování půdy. V severní oblasti byly vyvinuté z karbonátových sedimentů a spraší (Němeček, 2008).

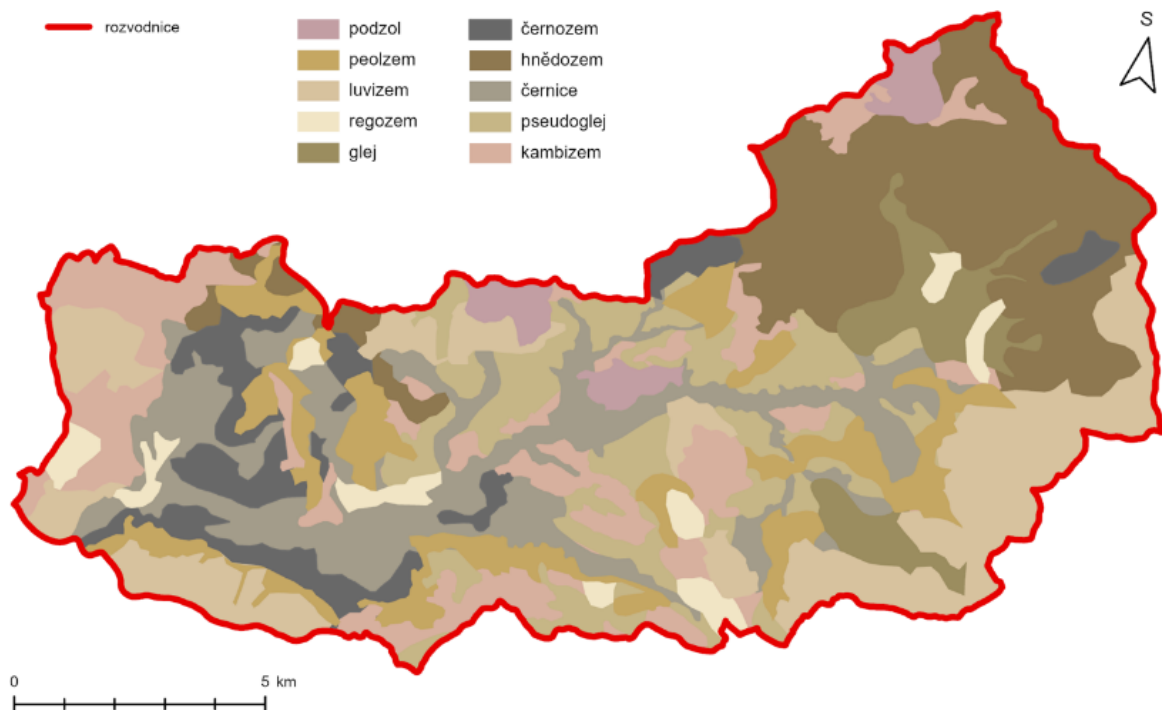
Pro oblast severovýchodních Čech jsou typické jinak vzácné pelozemě vznikající zvětráváním substrátu tvořeného jílovými minerály. V povodí Klenice jimi jsou křídové slínovce a jílovce s pokryvem dubohabrových hájů. Oblasti pelozemě jsou kvůli úrodné humusové vrstvě zemědělsky využívány k pěstování náročných plodin jako je pšenice a cukrovka (Tomášek, 2003).

Prostorově rozmanitě rozmístěné jsou kambizemě, avšak největší souvislá plocha se nachází na území měst Mladé Boleslavi a Kosmonos. Její potenciál však není využit kvůli rozsáhlé městské zástavbě. Kambizemě se mohou vyskytovat téměř na jakémkoliv skalním podkladu, a stejně tak tomu je i v povodí Klenice. Jedná se o vývojově mladé půdy, pro které je charakteristické vnitropůdní zvětrávání, kterým se postupem času přeměňují na jiné půdní typy (Tomášek, 2003).

Plošně málo zastoupené jsou regozemě vznikající na sypkém kvartérním štěrku či písku. Jejich vývoj je narušován vodní erozí. V nivě Klenice podél rybníční soustavy západně od Sobotky se vyskytují gleje s charakteristicky vysokým obsahem organické

hmoty. Z toho důvodu se na glejovém podkladu nachází pole. Opak tvoří přirozeně málo úrodné podzoly, jež jsou pokryty lesy, často jehličnatými (Tomášek, 2003).

Podle dat Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy (VÚMOP) je většina zemědělské půdy v povodí hluboká (60-120 cm). Se vzdáleností od koryta toku Klenice a jejích přítoků hloubka půdy klesá do kategorie hlubokých až středně hlubokých půd (30-60 cm). Mocnost a typ půdy ovlivňuje pěstované plodiny, které jsou různě chemicky upravovány, což ovlivňuje následnou erozi a splach do vodních toků. Povodí se nachází v řepařské zemědělské výrobní oblasti, pro kterou jsou typickými půdními jednotkami černozemní a hnědozemní půdy na spraších a sprašových hlínách a hlavními zemědělskými plodinami je cukrovka, pšenice, sladovnický ječmen, kořenová zelenina a v některých oblastech chmel či rané brambory (Jančák, Götz, 1997). Specifickými prvky ovlivňujícími vlastnosti půd v oblasti povodí Klenice jsou zejména železo a hliník, které jsou zastoupeny v neobvyklém množství (Fe = 170-250 mg/kg půdy, Al = 31-40 g/kg půdy). Železo je v půdě shlukováno procesem oglejení během střídání oxidovaných a redukovaných vrstev v důsledku zamokření půdy. Naopak arzen (As) je v celorepublikovém srovnání v půdách povodí málo (Poláková a kol., 2011; Tomášek, 2003).



Obr. 12: Pedologické poměry v povodí Klenice. (zdroj: ČGS, DIBAVOD)

## 2.8 Hydrografické poměry

Klenice s délkou toku 29,3 km a plochou povodí 169,6 km<sup>2</sup> je jakožto levostranný přítok Jizery tokem 3. řádu podle absolutní (Graveliovy) řádovosti. Uspořádání říční sítě je stromovité. Převládá délka i plocha levostranných přítoků do Klenice, což je dáno především reliéfem povodí. Nejvyšší bod leží v jihovýchodním výběžku povodí v nadmořské výšce 397 m a tvoří rozvodnici s povodím Mrliny. Nejnižším bodem je závěrový profil při ústí Klenice do Jizery v Mladé Boleslavi v nadmořské výšce 203 m. Nejdelším přítokem Klenice je Přepeřský potok o délce 8,2 km pramenící u obce Přepeře, protékající Obruby a Obrubci a ústící do Klenice před obcí Sukorady. Celkově nejdelším je Mlýnský náhon tekoucí od Rohatska přes rybníky u Dlouhé Lhoty do obce Březno, nicméně se jedná o antropogenně vybudovaný kanál a nemá tedy charakter běžného přírodního toku.

plocha povodí [km <sup>2</sup> ]	P	169,6
plocha povodí pravých přítoků [km <sup>2</sup> ]	P <sub>P</sub>	75,8
plocha povodí levých přítoků [km <sup>2</sup> ]	P <sub>L</sub>	93,8
délka toku [km]	L	29,3
délka rozvodnice [km]	L <sub>R</sub>	74,1
přímková vzdálenost pramene a ústí [km]	L <sub>x</sub>	21,7
nejvyšší bod [m n. m.]	h <sub>max</sub>	397
nejnižší bod [m n. m.]	h <sub>min</sub>	203
nadmořská výška pramene [m n. m.]	h <sub>p</sub>	325
nadmořská výška ústí [m n. m.]	h <sub>ú</sub>	203

Tabulka 3: Parametry povodí Klenice pro hydrografickou charakteristiku povodí. (zdroj: DIBAVOD)

Tvar povodí je definován několika ukazateli. Pro následující výpočty je důležité stanovení **šířky povodí  $b$** , která je popsána jako podíl plochy v km<sup>2</sup> a délky údolnice toku v km (Pavelková Chmelová, Frajer, 2013).

$$b = \frac{P}{L} = 5,780 \text{ km}$$

Tvar povodí ovlivňuje dynamiku odtoku vody z povodí po srážkové události, nebo při tání sněhu. Určuje se pomocí **charakteristiky povodí  $\alpha$** , jež je podílem plochy povodí se čtvercem délky toku. Dle Herbera a Sudy (1984) se pro povodí s rozlohou větší než 50 km<sup>2</sup> vymezuje protáhlé povodí charakteristikou  $\alpha$  menší než 0,18 a vějířovité pro  $\alpha > 0,2$ .

Vodní toky s charakteristikou povodí mezi těmito hodnotami se označují za přechodný typ. Tím je i Klenice, jejíž hodnota  $\alpha$  se blíží spíše vějířovitému než protáhlému povodí. Herber (1984) dává charakteristiku povodí do souvislosti s šířkou povodí, tedy že se jedná o podíl šířky a délky povodí.

$$\alpha = \frac{P}{L^2} = \frac{b}{L} = 0,197$$

Tvar povodí je dále hodnocen **koeficientem souměrnosti povodí  $K_s$** , který nabývá hodnot mezi 0 a 1, kde 0 znamená symetrické povodí a 1 = asymetrické. Vzorec porovnává plochu levostranných a pravostranných přítoků (Pavelková Chmelová, Frajer, 2013). Povodí Klenice se dle výsledné hodnoty jeví dosti souměrně.

$$K_s = \frac{|P_P - P_L|}{P} = 0,106$$

Dalším tvar popisujícím členem je **Gravelliův koeficient  $K_G$** . Charakterizován je poměrem délky rozvodnice s obvodem kruhu rovnocenném ploše povodí a výsledná hodnota vystihuje kruhovitost nebo protáhlost povodí. Hodnoty blížící se 1 značí povodí tvaru kruhu a čím vyšší hodnota je, tím je povodí protáhlejší (Pavelková Chmelová, Frajer, 2013).

$$K_G = \frac{L_R}{2 \cdot \sqrt{P \cdot \pi}} = 1,604$$

O tvaru povodí vypovídá dále **koeficient protáhlosti povodí  $R_E$** , který je definován poměrem průměru kruhu o stejné ploše, jako je plocha povodí a celkové délky povodí. Hodnoty blížící se 0 popisují protáhlé povodí, zatímco výsledek blížící se 1 popisuje zcela kruhové povodí (Pavelková Chmelová, Frajer, 2013). Klenice vychází jako přesně mezi protáhlým a kruhovým.

$$R_E = \frac{2 \sqrt{\frac{P}{\pi}}}{L} = 0,501$$

Ukazatelem vyjadřujícím charakter říční sítě v povodí je **hustota říční sítě  $r$** . Vyjadřuje se jako podíl součtu délek všech přítoků a hlavního toku v kilometrech a plochy povodí v  $\text{km}^2$ . Porovnáváním s okolními vodními toky je zřetelná představa o geomorfologii a zásobách vod v dílčím povodí. Výsledek hustoty také ovlivňuje průtok



vody závěrovým profilem toku. Dle Herbera a Sudy (1984) má Klenice velmi vysokou hustotu říční sítě kvůli hodnotě přesahující 1,1 km/km<sup>2</sup>.

$$r = \frac{\sum L}{P} = 1,519$$

Míra křivolakosti koryta toku je možná vyjádřit **stupněm vývoje toku K**, jež je určen poměrem skutečné délky toku k nejkratší možné délce toku, kterou je přímka spojnice pramene a ústí. Platí, že čím je výsledná hodnota koeficientu větší, tím vyšší je jeho křivolakost (Herber, Suda, 2001).

$$K = \frac{L}{L_x} = 1,354$$

Vlastnosti reliéfu jsou popisovány pomocí údajů o výškových a sklonitostních poměrech povodí. Výškopisné poměry jsou definované různými parametry. Pro povodí je výstižná **průměrná nadmořská výška H<sub>P</sub>** definovaná průměrem nejvyšší a nejnižší hodnoty v povodí (Pavelková Chmelová, Frajer, 2013).

$$H_P = \frac{h_{max} + h_{min}}{2} = 300 \text{ m n. m.}$$

Členitost reliéfu vystihuje **převýšení Δh** (Burian, 2019). Popisuje rozdíl nadmořské výšky nejvyššího a nejnižšího místa v povodí, kterým bývá většinou ústí do většího vodního toku, případně vodní plochy. Samostatný parametr nemá příliš výpovědní hodnotu, je také určen pro porovnávání více povodí.

$$\Delta h = h_{max} - h_{min} = 194 \text{ m}$$

Sklonitost povodí určuje **průměrný sklon povodí I**, který je dán rozdílem nejvyšší a nejnižší nadmořské výšky podělený odmocněnou plochou povodí. Sklonitostní charakteristiky se využívají k porovnávání jednotlivých povodí, nebo dílčích částí větších povodí (Netopil, 1981).

$$I = \frac{h_{max} - h_{min}}{\sqrt{P}} = 14,896 \text{ ‰}$$

Charakter údolnice toku je popisován **průměrným sklonem toku I<sub>t</sub>** (Pavelková Chmelová, Frajer, 2013), taktéž zvaný střední spád koryta toku (Suda, Herber, 2001). Vyjadřuje se podílem rozdílu nadmořských výšek krajních bodů toku k jeho celkové délce

měřené po střednici koryta. Výsledek znamená, že na každém kilometru poklesne tok průměrně o 4, 157 m.

$$I_t = \frac{h_p - h_{\dot{u}}}{L} = 4,157 \text{ ‰}$$

## 2.9 Hydrogeologické poměry

Podzemní vody v povodí Klenice patří do hydrogeologického rajonu Jizerská křída levobřežní (HGR ID 4430), jež tvoří polovinu bazálního křídového kolektoru na Jizeře (HGR ID 4710), který je cenomanského stáří. Jeho základní vrstva je situována v sedimentech svrchní křídý. Na území Českého ráje se nachází kvartérní kolektor zvaný Jizerský coniak (HGR ID 4420). Území je součástí hydrogeologické provincie Českého masivu a leží na rozhraní boleslavsko-mělnického a novobydžovského zvodnělého systému české křídové pánve (Česká geologická služba, 2016).

Systém zvodní je v povodí značně nesourodý a závislý na geologickém podloží. Kvádrové pískovce jsou nejpříznivějšími oblastmi pro infiltraci gravitační vody. Voda také způsobuje jejich rozpadání podél puklin a vytvářením vhodného prostředí pro skalní města (Jelen, 1940). V křídových oblastech není vhodné jímání vody z hlavního údolí vodního toku kvůli rychlému průsaku nepřečištěných povrchových vod (Hynie, 1961).

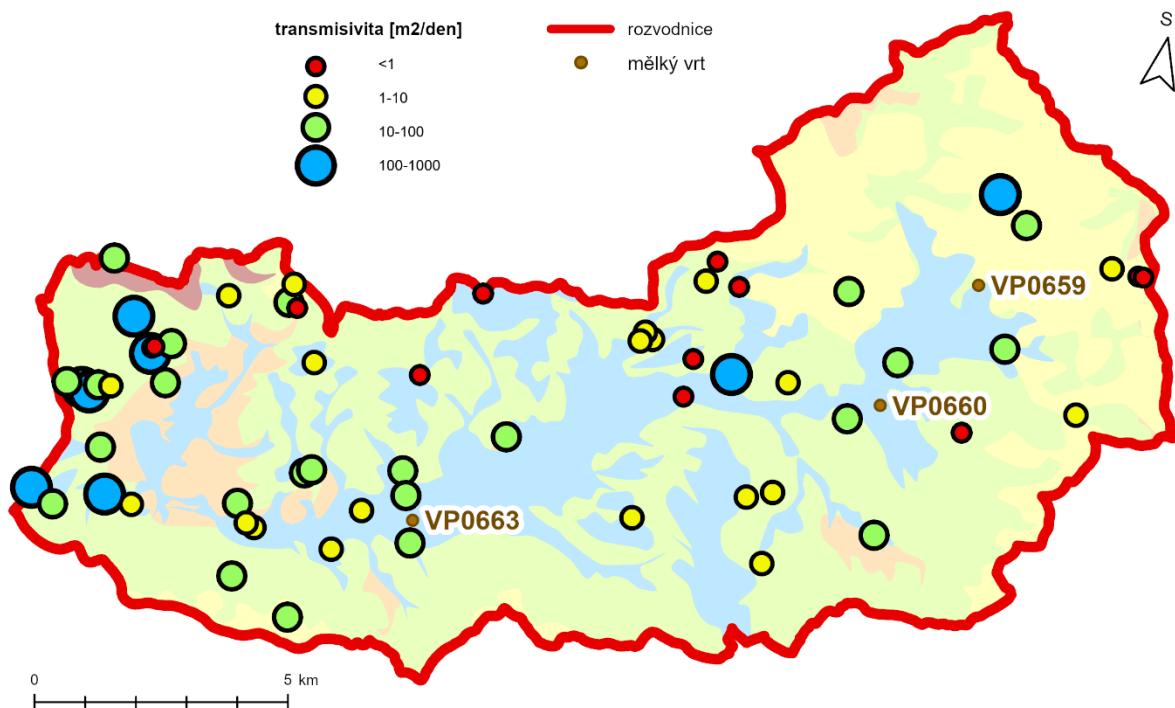
V severovýchodních Čechách se také místy nachází permokarbonské hydrogeologické pánve, především v podloží mladších hornin. Využitelná vydatnost těchto pánví je mnohem menší než u křídý, protože voda se mezi vrstvami vyměňuje velmi pomalu. Nepravidelně rozmístěné a lehce ukloněné permokarbonské podloží přírodně odvodňuje rozptýlené podzemní vody do svahových zemin a niv vodotečí. V hlubších oblastech permokarbonských pánví se předpokládá výskyt solanek (Hynie, 1961). Pramenné vývěry se vyskytují jen zřídka (Filip, 1954).

Fluviální kolektory jsou typické průlinovou pórovitostí, pískovce pak mají průlinovo-puklinovou až puklinovou propustnost. Slínovcové podloží se chová jako hydrogeologický izolátor. Hydrogeologický řez korytem Klenice je sestaven ze svrchní vrstvy kolektoru jizerského souvrství s převahou puklinové propustnosti místy s izolátory jílovců, slínovců a vápenci. V hloubce okolo -100 m n. m. se vyskytují slínovcové hydrogeologické izolátory bělohorského, jizerského a teplického souvrství mocné řádově

desítky metrů. Pod nimi tenká vrstva kolektorů s převahou průlinovo-puklinové pórovitosti. Zbytek podloží je tvořen permokarbonskými a triasovými sedimenty s výskytem silně mineralizovaných podzemních vod, většinou solanek (Krásný, 2012).

Přírodní zdroje podzemní vody definované specifickým dlouhodobým průměrným podzemním odtokem odpovídají v povodí Klenice hodnotě do 2 l/s/km<sup>2</sup>. Převládajícím typem kationto-aniontového chemického složení podzemních vod je Ca-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> s celkovou mineralizací 0,3-1,0 g/l (Krásný, 1981).

Nejvyšší transmisivita se nachází v rozlehlých kvartérních fluvialních sedimentech a písků podél toku Jizery. Ze stejného důvodu jsou nejvyšší hodnoty zaznamenány ve fluvialních kolektorech v povodí Klenice. Naopak nejnižší transmisivity kolektoru byly naměřeny na severu povodí. Zhoršená propustnost svrchního kolektoru souvisí s navýšením podílu jílových částic v prostředí (Česká geologická služba, 2016). Mladoboleslavské vodárny využívají tlakové vody takzvaných artéských zvodní. Napjaté zvodně vytékají na povrch průtokem řádově jednotek l/s (Krásný, 2012).



Obr. 13: Plošná distribuce transmisivity v povodí Klenice (zdroj: ČGS, DIBAVOD)

### 3. VÝVOJ VODNÍ SLOŽKY KRAJINY

Území povodí procházelo řadou změn jak v daleké minulosti, tak i v posledních desetiletích. Nejvýraznější proměnu prodělal krajinný pokryv v souvislosti s rozvojem zemědělství a následně i průmyslu na našem území. Veškeré tyto proměny se však dotkly i vývoje říční sítě, která byla pozměněna především zakládáním rybníků, odkláněním vody jakožto pohonné síly do mlýnů a odvodněním pomocí meliorací.

#### 3.1 Prameny

Klenice pramení na západním svahu Nepřívěcké Hůry (388 m n. m.). Pramen není přesně lokalizován, jelikož se jedná spíše o prameniště proměnlivé dle množství vody v povodí. Na návsi obce Libošovice se stékají dvě podobně vydatné zdrojnice. Mapové zdroje se také liší ve znázornění pramene Klenice. Dle Základní topografické mapy ČR spravované Českým úřadem zeměměřičským a katastrálním se pramen nachází na úpatí lesa pod Hůrou v malém mokřadu se zjevně vysokou hladinou podzemní vody. Mimo mokřad v období sucha neodtéká povrchový odtok. Ten se vyskytuje za železniční tratí pod oblastí tůní vybudovaných v roce 2021 dobrovolným spolkem ČSOP Klenice.

Vektorová data z databáze DIBAVOD i OpenStreetMap (OSM) označují pramenným přítokem zdroj ležící jihozápadně od výše popsaného. Nejvýše položená část tohoto přítoku je tvořena starou úvozovou cestou, jež může v období vydatných srážek působit jako koryto a odvádět vodu stékající z okolních polí. V období sucha je však úsek této keři zarostlé strouhy bez povrchového odtoku, který je souvisle pozorován až v blízkosti železnice. V této práci je jako pramenný použit jihozápadní vodní zdroj z důvodu delšího úseku stálého povrchového odtoku (příloha 1).

#### 3.2 Říční síť

Za obcí Libošovice vstupuje Klenice do skalnaté oblasti Českého ráje, kde protéká Prokopským údolím, zásobuje Bílý rybník a v údolí Plakánku pod hradem Kost také rybník Obora. Rybníky horního toku jsou bohaté na přilehlé mokřady. Soutokem s Veseckým rybníkem vstupuje rozlehlé Bousovské kotliny, kde dotuje soustavu rybníků Komorního, Buškovského, Šlejferny a Červenského. Do něj ústí i potok Sobotka a pod jeho hrází vtéká do Klenice Trnický potok. V obci Dolní Bousov jsou levostrannými přítoky Kotelská strouha a Bousovský potok a před obcí Sukorady Klenici zásobují potoky Řitonický a Přepeřský. Dále se Klenice dostává do rovinaté oblasti ohraničené na severu vulkanickými vrcholy Baba a Dědek a na jihu hřebenem Chlumu. Mezi nimi

přitéká ze severu Sukoradská stoka odvodňující území na hranici s povodím Kněžmostky a na jihu Křešovský potok pramenící v blízkosti přítoků Mrliny. Posledními významnými přítoky Klenice jsou Valská svodnice od Dolních Stakor a Zalužanská vodoteč protékající areály Škoda auto. V Mladé Boleslavi protéká parkem Štěpánka, okolo tamního hradu a mezi průmyslovými zónami ústí do Jizery.

Okolí koryta Klenice bývalo v 18. století jednoznačně více zalesněno (obr. 14), čímž byl tok stabilizován, odolával erozi a při vysokých průtocích místy zabraňoval rozlítí Klenice do širokého okolí. Postupem času a intenzifikací zemědělství byly remízky a meandry odstraňovány, což v důsledku zaplavování hospodářských pozemků vedlo roku 1903 ke vzniku plánu na úpravu koryta Klenice pod vedením Zemské komise pro úpravu řek Království českého. Výsledkem regulací bylo zpevnění břehů, napřímení toku a prohloubení koryta, čímž bylo dosaženo odvodnění pozemků.

### 3.3 Rybníční síť

Rybníky byly na Klenici budovány pro zadržení vody, nadlepšování průtoků mlýnských náhonů, ale také jako možnost obrany hradu Kost protržením jejich hrází při případném dobývání (Pekař, 1998). Za doby působnosti velkostatku Kost byl Červenský a Buškovský rybník vysušen, přeměněn na pasteveckou louku a zpětně obnoven do dnešní podoby až roku 1950 (Šolc, 2015).

Mezi Dolním Bousovem (Unter Pautzen) a Svobodínem (Freudorf) se nacházely čtyři rozlehlé rybníky (v řádech desítek hektarů plochy), jejichž území je v dnešní době vyschlé a pokryté antropogenními prvky zástavby a železniční tratí. Plocha se přeměnila na ornou půdu, jež byla postupem času vysoušena a ve 20. století meliorizována (obr. 15)

Z porovnání map prvního a druhého vojenského mapování vyplývá, že největší procento vodních ploch bylo odstraňováno během druhé poloviny 19. století. Mezi takto historicky nedochované patří i Velký rybník, který se nacházel mezi obcemi Sukorady (Sukorat), Březno (Brzesno) a Židněves (Judendorf) (obr. 14). Tento více než stohektarový rybník byl zásobován vodou právě z toku Klenice, což vypovídá o její bývalé vydatnosti. Pozůstatkem tohoto rybníka je značné napřímení říčky Klenice a jejích přítoků zásobujících právě tento objemný rybník. Antropogenní zásah v podobě neuvedení toku do původního stavu může být značně problematický. Napřímený tok odvádí vodu z povodí násobně rychleji než meandrující tok, což může lokálně způsobovat komplikace především s nedostatkem vody v krajině, nebo příliš rychlým odtokem vody při



pouhých 16 metrů a společně s Křešovským potokem zásobuje Matrovický rybník a rybník Vražda mezi obcemi Dlouhá Lhota a Březno.

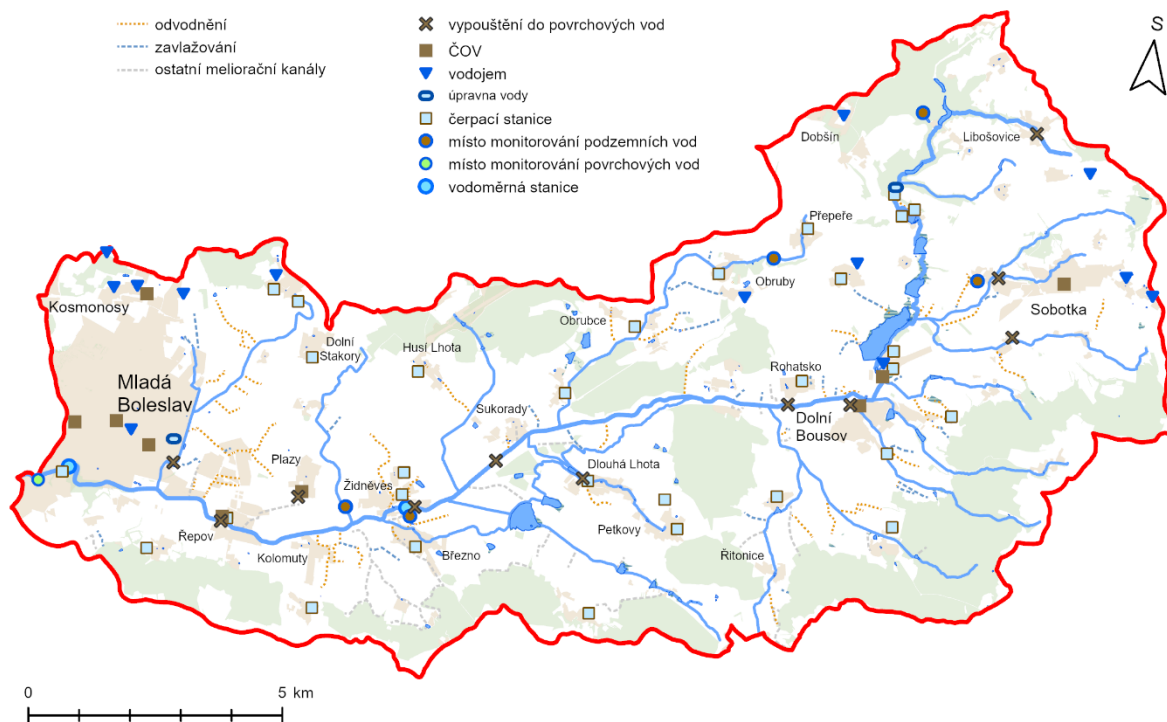
Po zrušení rybníků mezi Bechovem a Rohatskem byl mezi těmito obcemi vybudován druhý Mlýnský náhon vedoucí podél tamní hlavní přístupové cesty. Od Klenice se odděloval pod Červenským rybníkem a zpět se vléval mezi obcemi Bechov a Svobodín, nedaleko od místa rozdělení Klenice s původním Mlýnským náhonem.

Mlýny byly vždy závislé na dostatečném průtoku vody v náhonech. Jak dokazuje Pekař, 1998, období sucha byla běžná i v minulosti. Popisuje sucho z léta 1641, při němž došlo k úplnému vyschnutí náhonů vedených z Klenice a tím zapříčiněným zastavením mlýnů. Pro zabránění hladu nezbytným semletím obilí bylo rozhodnuto o vypouštění rybníků ležících na Klenici.

### **3.5 Odvodnění a zavlažování**

Regulace Klenice na počátku dvacátého století způsobily snížení hladin podzemní vody na polích podél toku Klenice a jejích přítoků. Z důvodu zúrodnění zamokřené půdy, kterou jsou často gleje a pseudogleje, byla v místech uvedených v mapě níže (obr. 15) vybudována síť odvodňovacích kanálů. Okolo poloviny minulého století byla tato soustava rozšiřována a budována, kde jen to šlo. S rostoucími dopady sucha na zemědělství se na přelomu tisíciletí začalo s likvidací meliorací kvůli nežádoucímu přesoušení půd v místech s dříve dostatečnou vláhou.

Meliorace zahrnují i zavlažovací síť, nebo případná opatření vedoucí ke zlepšení úrodnosti půd. Území s takovouto úpravou jsou často půdy na spraších a písčích. V současnosti se zemědělské strategie mění a uzpůsobují potřebám jednotlivých soukromých zemědělských ploch. Databáze využívaných melioračních zařízení je tak vedena pouze pro pozemky vlastněné státem a není tedy k dispozici kompletní síť.



Obr. 15: Vodohospodářské objekty v povodí Klenice. (zdroj: DIBAVOD, ISVS)

### 3.6 Vodárenství

Historicky nejstarší s nejméně dochovanými záznamy je město na soutoku Klenice s Jizerou, Mladá Boleslav, kulturně významné pak bylo i panství hradu Kost nacházející se na horním toku Klenice. Součástí Kostecka bylo po dlouhá staletí město Sobotka z druhé poloviny 12. století, dříve sloužící jako hospodářské zázemí hradu (Pekař, 1998).

V povodí je v důsledku příznivých geologických podmínek české křídové pánve poměrně bohaté na podzemní vody. Již při budování panství v okolí hradu Kost na počátku 13. století byly kopány studně s kvalitní pitnou vodou, z nichž Pekař (1998), zmiňuje pouze dvě nejvýznamnější. Na základě urbáře z roku 1648 popisuje velmi hlubokou studnici hradní čerpanou pomocí manuálně poháněného kola, jež byla dosti vydatná pro zásobování celého hradu. V podhradí byl roku 1576 zbudován kamenný pivovar čerpající ze studny poskytující „dostatek výborné vody“. Dle spisu z roku 1830 popisuje Pekař (1998) vodní roury (tehdejší vodovod) zásobující bývalý panský dvůr Zájezd ležící asi 300 metrů západně od hradu a dále Podkost východně od hradu.

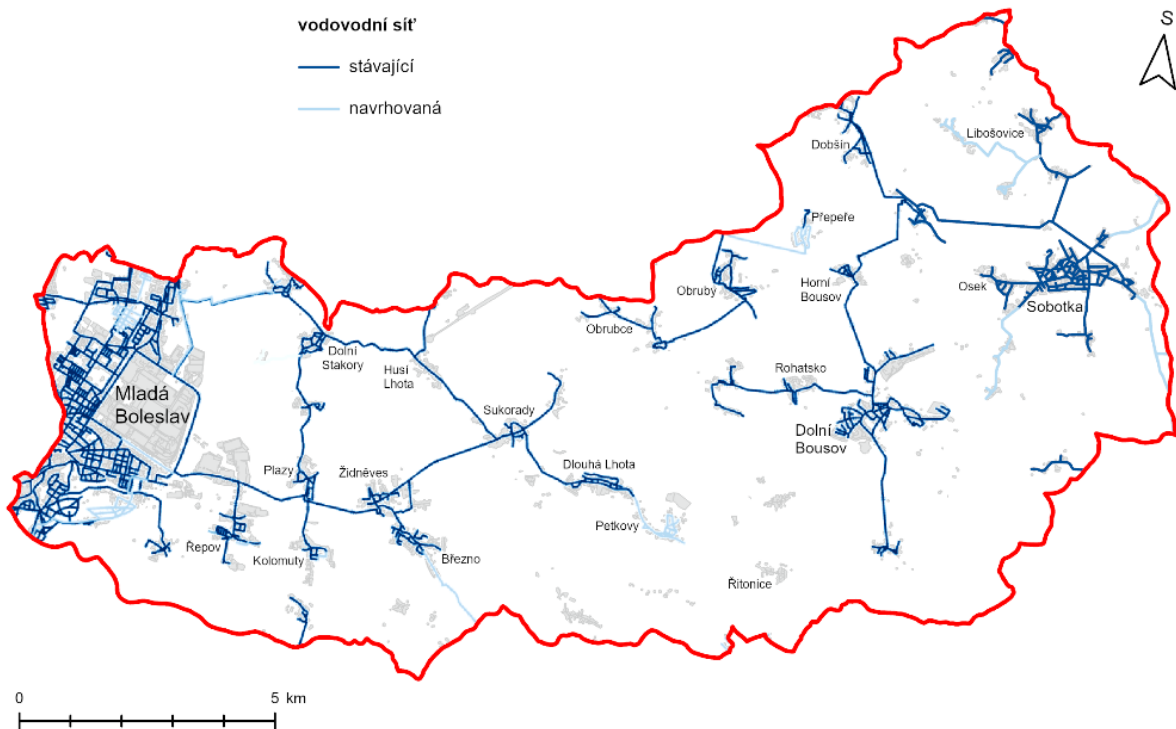
Klenice zásobovala po dlouhou dobu hrad v Mladé Boleslavi, jež byl vystavěn po roce 936 na vyvýšenině, takzvaném ostrohu nad soutokem Klenice s Jizerou (Čuban, Pavlík, 2009). Do hradu byla voda donášena právě z Klenice od Podolce nebo čistšího zdroje,



kterým byl Podstupenský pramen vystupující ze skály pod hradbami v dnešní Ptácké ulici (Pavlík, 2012). Náročná donáška a později dovoz vody na hrad byly nahrazeny roku 1494 potrubím, které čerpalo vodu vodním strojem poháněným vodním kolem na Jizeře. O dva roky později byla dle Pavlíka (2012) na hradbách zbudována dřevěná vodárenská věž dodávající pitnou vodu z pramene do městské kašny. V podhradí to měli s vodou jednodušší, jelikož ji odebírali přímo z toků. Historický mladoboleslavský vodovod byl z hygienických důvodů roku 1875 nahrazen novým, s navrženou tlakovou nádobou v novém věžovém vodojemu na okraji hradeb. Po velmi suchém roce 1893 byla vodovodní síť vylepšena, intenzifikována a vodovod byl rozšířen téměř do všech domů (Pavlík, 2012). V chudších rodinách a v oblasti mimo vodní tok byly využívány studny.

Postupem času byly mimo město kvůli složité donášce vody z pramenů snahy o budování obecních i skupinových vodovodů, které prosazovali především zemědělci. Pro zachování tlaku ve vodovodní síti bylo v rovinatých sídlech nutné postavit vodojemy, buďto zemní, nebo věžové. Vodojemy na Mladoboleslavsku, jakožto rezervní, vyrovnávací a tlakové zásobárny vody využívané především obyvatelstvem tvoří nejhustší síť v Česku (Pavlík, 2012). Dle dat DIBAVODu se současně v povodí Klenice nachází 13 vodojemů zejména severně od Kosmonos a dále na území horního toku Klenice.

Na obecní vodovody je napojena naprostá většina obytných domů v povodí, s výjimkou Petkov, Přepěří a Podkosti u Libošovic, v nichž je veřejné zásobování pitnou vodou plánováno (obr. 16). Na vlastní zdroje vody spoléhají Řitonic a budovy nesouvislé zástavby.



Obr. 16: Vodovodní síť v povodí Klenice. (zdroj: Mapový portál Středočeského kraje, Mapový portál Královéhradeckého kraje)

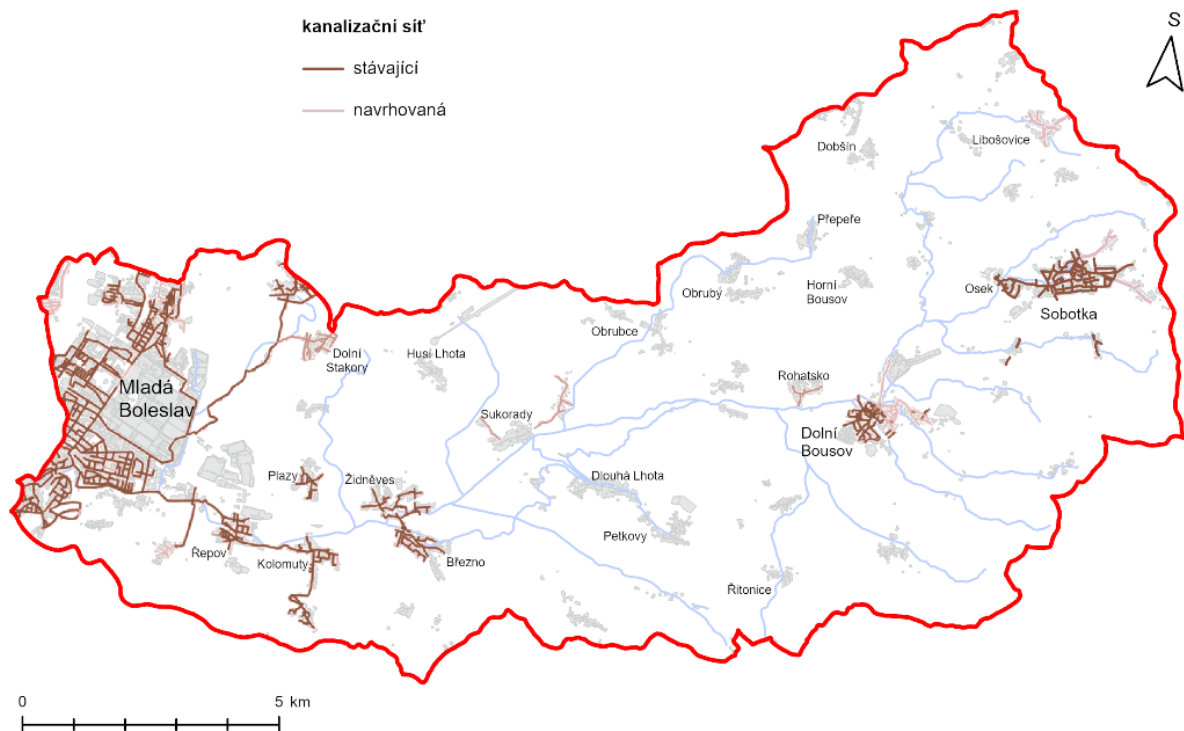
### 3.7 Historie odkanalizování

S postupným osídlením narůstala potřeba likvidace odpadů vzniklých na hradě a v podhradí. Čuban a Pavlík (2009) popisují, že původně bylo využito dešťových erozních rýh a struh, jež byly prohlubovány a veškerý odpad byl deštěm splachován do strání pod hradištěm. Pro vývoj stokové sítě bylo zásadní, že až do přelomu 19. a 20. století tři čtvrtiny odpadních vod ústily do Klenice a zbytek na západně ležící Krásnou louku, což představovalo zdravotní rizika pro obyvatele. V rovinných a vzdálených místech od hlavních stok byly majiteli pozemků budovány žumpy, často společné pro několik domů. Prvních 10 let 20. století bylo v Mladé Boleslavi ve znamení rekonstrukce stokové sítě a vybudování okružního sběrače na Ptáku a hlavního sběrače Podoleckého. Devatenácté století po sobě zanechalo celkem sedm stok ústících přímo do Klenice, z nichž všechny kromě jedné byly postupně uzavřeny kamennou či betonovou konstrukcí. Poslední otevřený příkop s odpadními a splaškovými vodami vedl podél ulice Ve Skalici s vyústěním u dnešního zimního stadionu. Středověké hygienické poměry trvaly v Mladé Boleslavi až do začátku 20. století a nečištěné odpadní vody byly do regulované Klenice vypouštěny až do 70. let minulého století (Čuban, Pavlík, 2009).

Soustavná kanalizace, jejíž koncept vydržel dodnes, byla z velké části vystavěna do 17.4.1972, kdy byla uvedena do provozu městská čistírna v Mladé Boleslavi-Neuberku. V sedmdesátých letech byla kanalizační síť rozšířena do okrajových městských částí, kde docházelo k rychlému nárůstu zástavby v souvislosti s otevřením masokombinátu, a hlavně bytové výstavby prosperující automobilky. S rostoucím počtem obyvatel a nároků na spotřebu vody byla v 90. letech vybudována druhá ČOV a síť propojena s průmyslově propojenou zónou v Řepově. Z areálu ŠKODA byly do Klenice stokami odváděny dešťové vody a následně i vody z průmyslu přečišťované dvěma čistírnami. Do roku 2010 byly vybudovány kanalizace zakončené ČOV v obcích do 2 000 ekvivalentních obyvatel, ale i menších, a od té doby se kanalizační síť pomalu rozšiřuje do obcí v povodí (Čuban, Pavlík, 2009).

### **3.8 Současná kanalizační síť**

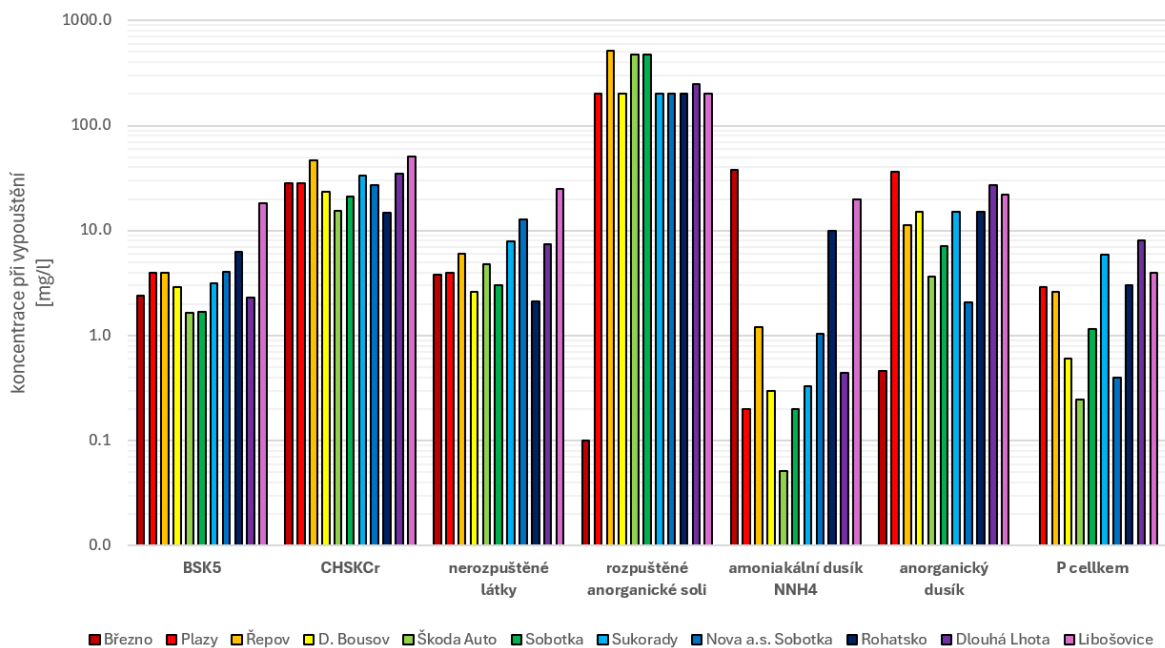
Od druhé poloviny 20. století byla soustavná kanalizační síť rekonstruována, intenzifikována a doplňována o nové úseky (Čuban, Pavlík, 2009). Mimo síť napojenou na Mladou Boleslav, k níž byly připojeny i obce Kolomuty a Horní Stakory, je kanalizováno jen malé procento zastavěné plochy (obr. 17). Obecní kanalizace fungují pouze v propojených obcích Židněves-Březno, Dolním Bousově a Sobotce s připojením Oseku. Plánované je napojení Dolních Stakor na kanalizaci vedoucí podél Zalužanské vodoteče do Mladé Boleslavi. V roce 2021 bylo navrženo odkanalizování obytných domů v Sukoradech. Staršími návrhy kanalizační sítě disponuje Rohatsko a východní část Dolního Bousova. Pro jakost vody v povodí je zásadní vybudování kanalizace v Libošovicích, jakožto první obci, jíž Klenice protéká, které je naplánováno do roku 2025. Obec disponuje dešťovou kanalizací, do které jsou zaústěny přepady septiků a domovních čistíren odpadních vod. Současný stav vody v Klenici po průtoku touto obcí na horním toku není příznivý. Dle dat Českého statistického úřadu má v Libošovicích a blízké Nepřívěči z celkového počtu 97 obydlených domů 49 žumpu nebo jímku bez přečištění odpadních vod. V jižně ležících Řitonicích má takovéto řešení nakládání s odpadními a splaškovými vodami 24 ze 26 obytných domů.



Obr. 17: Kanalizační síť v povodí Klenice. (zdroj: Mapový portál Středočeského kraje, Mapový portál Královéhradeckého kraje)

### 3.9 Čistírny odpadních vod

V povodí je uvedeno 11 velkoobjemových čistíren odpadních vod (obr. 15), jejichž hodnoty vypovídající o jakosti vypouštěné vody jsou monitorovány a každoročně zveřejňovány (obr. 18). Jedná se o čistírny odpadních vod výše zmíněných obcí, v nichž existuje obecní kanalizační síť. Dalšími objekty, jejichž vypuštěné objemy přesahují 6000 m<sup>3</sup>/rok nebo 500 m<sup>3</sup>/měsíc a musí tak být součástí této evidence jsou čistící stanice z výroby motorových vozidel závodu Škoda Auto a. s. a vypouštění vod z Nova a. s. v Sobotce, kde zpracovávají ovoce a zeleninu. Všechny tyto objekty mají mechanickou fázi čištění i biologickou, s výjimkou závodu Škoda Auto, který místo biologického čištění disponuje chemickým stupněm čištění průmyslových vod. V obci Libošovice se jedná o vypouštění odpadních vod bez čistírny.



Obr. 18: Vypouštění do povrchových vod z objektů v povodí Klenice. (zdroj: ISVS)

Na základě průměrných denních průtoků v závěrovém profilu Klenice a dat Ministerstva zemědělství a Ministerstva životního prostředí o vypouštění do povrchových vod (ISVS) bylo vypočteno, že se ze všech monitorovaných objektů dohromady celoročně jedná o 15 % průtoků, zatímco v nejsušších měsících je podíl řádově desítek procent. Například v nejsušším měsíci roku 2022, srpnu, byl průtok v Klenici tvořen průměrně ze 39,8 % vodami pocházejícími z ČOV. Za rok 2022 vypouštěly všechny objekty nepřetržitě s výjimkou ČOV v Rohatsku, která vypouštěla pouze 8022 hodin. V stejném roce byl celkový objem vypuštěné vody skrze tyto objekty téměř 1,5 mil. m<sup>3</sup>, z čehož 67 % pocházelo z čistící stanice závodu Škoda Auto a. s. na okraji Mladé Boleslavi.

Mimo obecní ČOV je v povodí značné množství domácích čistíren vypouštěných odpadních vod, které mají oproti obecním čistírnám nevýhodu vyšší náročnosti pro provozovatele. Efektivní provoz a zacházení musí zajišťovat sami obyvatelé, což je nákladné a technologicky celkem složité. Domácí čistírny odpadních vod také nedisponují natolik kvalitními technologiemi jako městské či obecní ČOV.

### **3.10 Bodové zdroje znečištění**

Dle databází spravovaných Ministerstvem zemědělství a Ministerstvem životního prostředí se v povodí nachází celá řada dalších potenciálních zdrojů znečištění vodního toku. Centrální registr vodoprávní evidence (CRVE) spadající pod MZe zaznamenal v povodí Klenice 57 objektů vypouštění odpadních vod do vod povrchových. Do této kategorie patří domácí čistírny odpadních vod, vypouštění ze sportovních areálů, nebo vypouštěné odpadní vody s obsahem zvláště nebezpečných látek, které jsou běžné například u zubních ordinací nebo kovovýroby, odkud vypouští do obecní kanalizace. Integrovaný registr znečištění (IRZ) vedený Ministerstvem životního prostředí sleduje úniky do vod z energetiky, jež jsou součástí produkce společnosti ŠKO-ENERGO s. r. o. v Mladé Boleslavi. Integrovaný systém plnění ohlašovacích povinností (ISPOP) spravovaný MŽP eviduje na sledovaném území 37 objektů zahrnující ústí dešťových kanalizací, komunálních ČOV, kanalizačních výpustí bez centrálního čištění a dočišťovací lagunu odpadních i dešťových vod napojenou na Zalužanskou vodoteč. Největší koncentrace kanalizačních výpustí bez centrálního čištění je hned na horním toku Klenice v obci Libošovice, kde je evidováno 8 bodových zdrojů znečištění a dále v povodí se nachází řada neidentifikovaných a neregistrovaných výpustí.

## 4. HYDROLOGICKÉ SUCHO

Sucho v krajině je celosvětové a dlouhodobé téma. Wilhite a Pulwatry (2017) tvrdí, že svět se současně potýká s větší vodní krizí než kdykoli v minulosti tím, že sucha menšího rozsahu mají výraznější dopad a společnost je tak zranitelnější vůči jeho následkům. Nedostatek vody se podle autorů šíří v rozvojových i vyspělých státech, nezávisle na klimatických podmínkách, a to i v letech s běžnými srážkami. V důsledku klimatické změny je rostoucí intenzita sucha jedním z očekávaných projevů (Brázdil, Trnka a kol., 2015). Satoh et. al. (2021) dodává, že se zintenzivnění sucha bude projevovat regionálně odlišně napříč celým světem.

### 4.1 Definice a příčiny sucha

Sucho je velmi často využívaným, avšak neurčitým pojmem. Jeho podstatou je vyjádřit nedostatek vody v prostředí a z něj vyplývající následky, nicméně neexistují jednotná kritéria vymezující meteorologická, hydrologická, zemědělská, pedologická či ekologická hlediska. Podle Světové zdravotnické organizace (WHO) se jedná o delší období přirozeného klimatického cyklu, které se vyznačuje srážkovým deficitem, jež způsobuje nedostatek vody. Může se vyskytovat kdekoliv ve světě a vážně ohrožovat zdraví, zemědělství, ekonomiku, energetiku a životní prostředí.

Tallaksen (2023) popisuje, že za suchem stojí nízké, ba dokonce nulové průtoky ve vodních tocích. Ty jsou ve většině případů spjaté s deficitem atmosférických srážek v určitém časovém intervalu a prostoru. Definice Brázdila, Trnky a kol. (2015) doplňuje, že pro časové a prostorové vymezení platí negativní odchylka vodní bilance od klimatického normálu, která je způsobená především dlouhodobým nedostatkem srážek umocňovaným vysokými teplotami, nízkou relativní vlhkostí vzduchu a tím zvyšující se evapotranspirací. Zdůrazňují, že se jedná o přirozenou součást hydrologického cyklu. Yevjevich (1967) naopak tvrdí, že se nejedná o přímý deficit vody v tocích, nádržích, jezerech, půdě či podzemních kolektorech, ale spíše o důsledek poklesu doplňování povrchové a podzemní vody vlivem déletrvajících nedostatku srážek. Podle Daňhelky, Kubáta a Šercla (2019) je sucho pozvolně se vyvíjejícím fenoménem s postupnou propagací projevů a dopadů, jež se prokazují s určitým zpožděním. Soukalová a Muzikář (2015) doplňují, že je na sucho nutno pohlížet jako na přírodní fenomén, který je snadno umocňován lidským působením v podobě čerpání a užívání vody. Lloyd-Hughes (2014) zhodnotil, že neexistuje univerzální definice sucha, neboť je prakticky

nekvantifikovatelné a nelze jej definovat bez znalosti klimatologicky očekávaných hodnot.

Kromě množství definic existuje také řada indexů vymezujících charakteristiky sucha definující chování vodního toku v průběhu suchého období. Problematika definice sucha a různorodost indexů omezuje srovnatelnost výsledného vyhodnocení (Satoh et. al., 2021). Definice i indexy jsou kritizovány, jelikož neposkytují úplnou charakteristiku sucha (Tallaksen, 2023). Nezohledňují počátek, konec, celkové trvání suchého období a jeho závažnost. Pro kvantifikaci událostí sucha je nezbytné stanovit prahovou hodnotu, pod níž je průtok v povrchových vodách nebo hladina v kolektorech považována za deficitní. Tallaksen, 2023 dále uvádí, že každá událost sucha má definovatelný počátek i konec a deficitní stavy tak lze definovat parametry jako je délka trvání, intenzita, časový výskyt a plošný rozsah. Dle Satoha et. al. (2021) je zapotřebí vyjasnit regionální hydrologické procesy a předejít tak nejistotám při vyhodnocování sucha. Tím by byl stanoven model a přesné hranice pro vymezení sucha do budoucna.

Wilhite a Pulwarty (2017) popisují čtyři prolínající se kategorie sucha: meteorologické, hydrologické, zemědělské a socioekonomické. Všechny typy vycházejí z nedostatku srážek a jeho následků, čímž je iniciováno sucho meteorologické (Brázdil, Trnka a kol., 2015). Výsledkem dlouhotrvajících srážkových deficitů je snížená půdní vlhkost způsobující snížený výnos úrody, což je označováno za sucho zemědělské. Kombinace nedostatku srážkové a půdní vody způsobuje sucho hydrologické, projevující se nízkými nebo nulovými průtoky a omezenou dotací podzemních vod. Sucho socioekonomické v porovnání s přírodními příčinami výše zmíněných kategorií sucha vyjadřuje spíše společenské následky způsobené deficitními stavy. Socioekonomické sucho nastává při poptávce po vodě převyšující dostupné zásoby a s tím spojené negativní dopady na společnost a ekonomiku (Wilhite, Pulwarty, 2017).

Příčiny srážkových deficitů jsou regionálně odlišné, avšak ve střední Evropě bývá primárním důvodem v přirozeně variabilním klimatu změna polohy stálých tlakových útvarů ovlivňujících počasí v závislosti na sezóně. Obecně lze říci, že příchod tlakové výše způsobuje úbytek oblačnosti, tím pádem nedostatek srážek, nízkou vlhkost vzduchu, intenzivní sluneční záření a nárůst teploty (Brázdil, Trnka a kol., 2015). Z historických záznamů vyplývá, že letní sucha ovlivňuje anticyklonální situace s hřebenem vysokého tlaku přicházející od Azor (ČHMÚ, 2018). Cirkulační podmínky obvykle zamezují postupu frontálních systémů z Atlantiku či Středozemního moře, které přináší vydatnější srážky (Daňhelka, Kubát, Šercl, 2019). Pro sucha současného století jsou typické výrazné



teplotní anomálie spojené s propagací frontálních systémů a oslabeným západním prouděním (Daňhelka, Kubát, Šercl, 2019). Takové podmínky vedou k výskytu nadprůměrných teplot a podprůměrně nízkým srážkovým úhrnům. Vysoké teploty vzduchu způsobují ohřev povrchu i celého prostředí, čímž se zvyšuje výpar (evapotranspirace), který zapříčiňuje nedostatek půdní vláhy, odvodňuje otevřené povrchy a zpomaluje doplňování podzemních vod.

## 4.2 Dopady sucha

Výskyt sucha v podzemních vodách, které jsou klíčovou složkou hydrologického cyklu a neustále interagují s povrchovými vodami a dalšími složkami životního prostředí, může způsobit krizové situace v ekosystémech, zásobování obyvatelstva pitnou vodou nebo zemědělské produkci (Soukalová, Muzikář, 2015). Dle ČHMÚ, 2018 byla sucha na našem území součástí klimatické historie, ale dříve byla zranitelnosti společnosti vůči jejich projevům odlišná. Popisovala se jako dlouhá období bez významných srážek s dopady na úrodu píce, obilovin či brambor. S tím souvisel úbytek skotu jakožto následek horkem spálených travních porostů bez možnosti druhé senoseče. Komplikace způsobovalo také vysychání mělkých studní a zastavení mlýnů v důsledku nízkých průtoků. Zajímavá je souvislost nárůstu počtu mlýnů s parním pohonem v druhé polovině 19. století, jež byly spolehlivější než mlýny poháněné energií ze spádu vody. Soukalová a Muzikář (2015) tvrdí, že pozorováním dlouhodobých dopadů klimatické změny v České republice nebyl vyzorován pokles roční sumy srážek, ale jejich sezónní rozložení. Mírně narostl úhrn v zimním období, naopak letní srážky se změnilly v intenzivnější, ale méně časté události. Podstatný vliv na množství vody v krajině má teplota, jež vzrostla, obdobně jako s ní spjatý výpar.

Proudění podzemní vody probíhá z oblasti infiltrace do oblasti odvodnění na základě spádu hydraulického gradientu. Hlavním zdrojem doplňování podzemních vod jsou atmosférické srážky zmenšené o objem vypařené vody. Nedostatek srážek, tedy meteorologické sucho, se projevuje v podzemních vodách se zpožděním. Hydrologické sucho v povrchových tocích, při němž mohou průtoky poklesnout pod hladinu minimálního zůstatkového průtoku  $Q_{355}$ , je hydraulicky vázáno na podzemní vody a při vysychání povrchového odtoku obdobně reagují i hladiny podzemní vody v kolektorech (Soukalová, Muzikář, 2015).

Podzemní vody úzce souvisejí s vlastnostmi půd a jejich geologickým podložím. Povrchový odtok či zasakování jsou závislé na intenzitě srážky a předchozím nasycení

půd. Vsakování neboli infiltrace je nerovnoměrným parametrem závislejícím na objemu kapilárních pórů dostupných pro zaplnění vodou, takzvanou retenční vodní kapacitou půd (Matoušek, 2010). Schopnost zadržení vody půdou se dle Javůrka a Vacha (2008) odvíjí od zhutnění, které může být přírodního nebo antropogenního charakteru. Přírodně obtížně propustné jsou půdy s vysokým obsahem jílovitých hornin. Zhutněním neboli kompakcí, je v Česku postiženo asi 45 % zemědělského půdního fondu, z čehož jsou až dvě třetiny antropogenního původu, kterým je neadekvátní strojní hospodaření na zemědělských plochách. Snížení pórovitosti vede k omezení propustnosti pro vodu, rozdílně nasyceným půdním horizontům a pozměnění vertikálního pohybu vody. Zhutnění zpomaluje infiltraci a retenční schopnost půdního prostředí, čímž podporuje povrchový odtok a erozi. Ovlivňuje také dostupnost kyslíku v kořenovém systému. Prudké srážky a následné rychlé vysychání půd v důsledku vysokých teplot a evapotranspirace zintenzivňují zhutnění půdy (Javůrek, Vach, 2008).

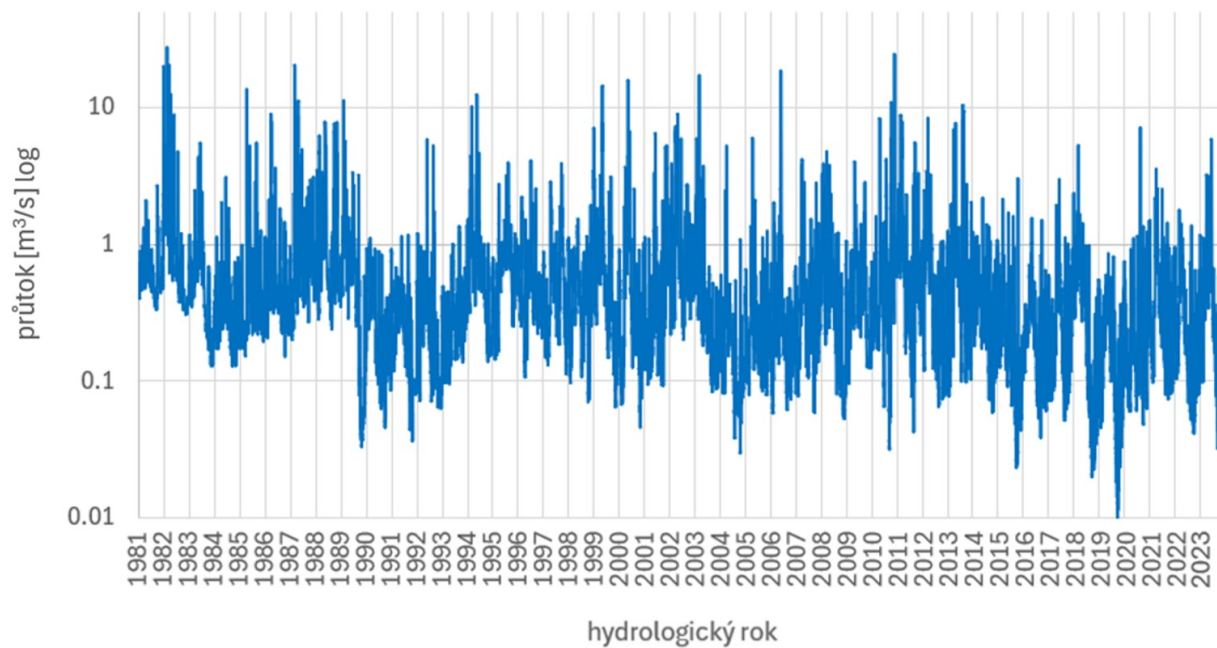
Povrchové vody jsou v období hydrologického sucha náchylné k intenzivnímu zhoršení kvality dané nižšími průtoky, čímž je ohrožena druhová diverzita v ekosystémech a zásobování průmyslu, obyvatelstva i zemědělství (MZe, 2023). Vodní tok s nízkým průtokem má menší samočisticí kapacity a dochází tím ke změně chemismu vody, snižování obsahu rozpuštěného kyslíku, zvýšení teploty a koncentrace škodlivých látek. Pro využití takových vod je nutné kvalitnější čištění, což obnáší nemalé finanční náklady (Brázdil, Trnka a kol., 2015).

## 5. ODTOKOVÉ POMĚRY

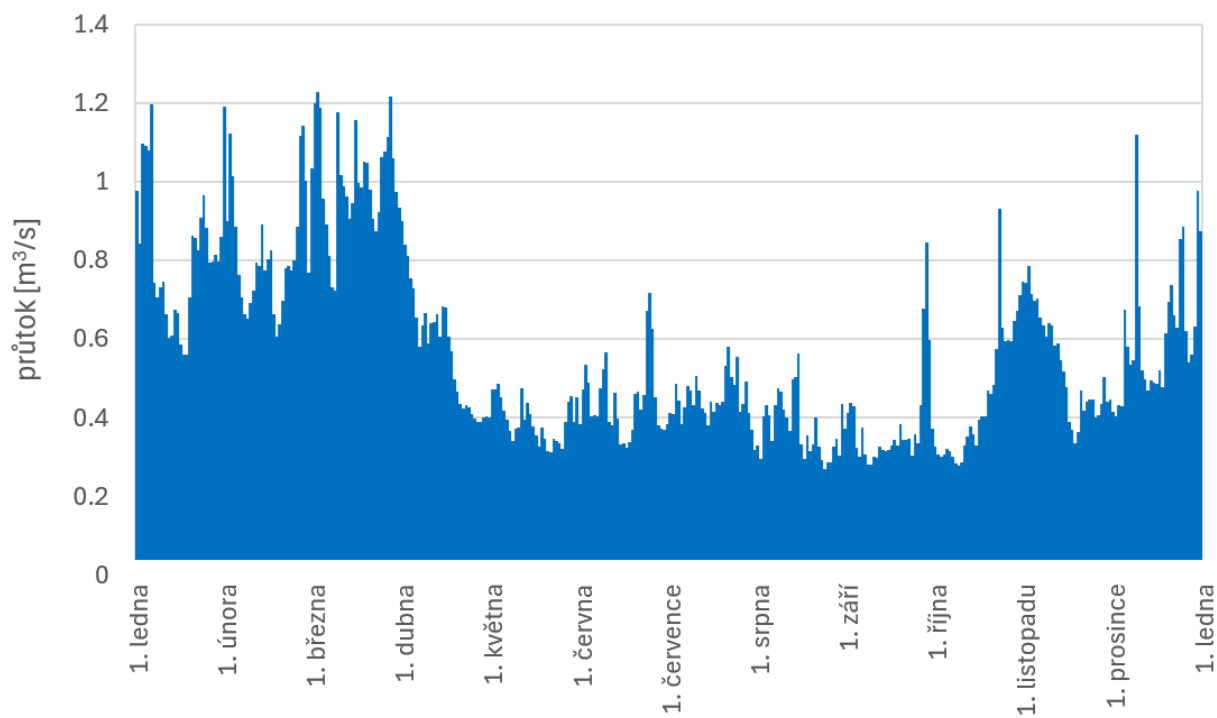
Charakteristiky odtoku v povodí Klenice byly vypracovány na základě dat z limnologické stanice Mladá Boleslav (ID 100000) spravované Českým hydrometeorologickým ústavem. Operativní profil se nachází u zimního stadionu na konci parku Štěpánka na říčním kilometru 1,1 a měří v nadmořské výšce 203,15 m. Profil je vybaven vodočetnou latí, hydrologickou stanicí a zařízením pro přenos dat. Zaznamenáváno je každých 10 minut, nicméně tato práce analyzuje hodnoty průměrných denních průtoků. Poskytovaná data z této stanice zahrnují období let 1980-2023, ale pro úplnost byla použita jen období hydrologických let 1981-2023, tedy od 1.11.1980 do 30.10.2023. Výpočet byl proveden ve vývojovém prostředí Visual Studiu Code pomocí programovacího jazyku Python. Data denních, měsíčních a ročních průtoků byla následně popsána a graficky upravena v MS Excel. Zaměřením bylo sledování sezonality odtoků a extrémních výkyvů v průtocích.

### 5.1 Variabilita denních průtoků

Pro sledované období hydrologických roků 1981 až 2023 má průměrný denní průtok hodnotu  $0.57 \text{ m}^3/\text{s}$ . Z grafu č. 1 je zjevný klesající trend meziročních průtoků, nicméně variabilita absolutních průtoků je stále rozmanitá, jak dokazuje graf č. 3. Data denních průtoků byla taktéž agregována dle jednotlivých dní v roce (graf 2), čímž je patrný roční chod průtoků v závislosti na období, zejména pak nízké průtoky v letních měsících. Zajímavý je zvýšený průměrný denní průtok v druhé polovině října a začátku listopadu v porovnání s podzimními průtoky, jelikož tento rozdíl není patrný z průměrných měsíčních průtoků, kdy se úhrnný průtok rozděluje mezi dva kalendářní měsíce. Dalším faktorem je, že se toto období nachází na rozhraní hydrologického roku, který trvá od 1. listopadu do 31. října. Nejvyšší hodnoty denních průtoků v roce nastávají opakovaně během zimních měsíců a v období jarního tání zbylé sněhové pokrývky v povodí.



Obr. 19: Průměrné denní průtoky za celé zájmové období 1981-2023. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)



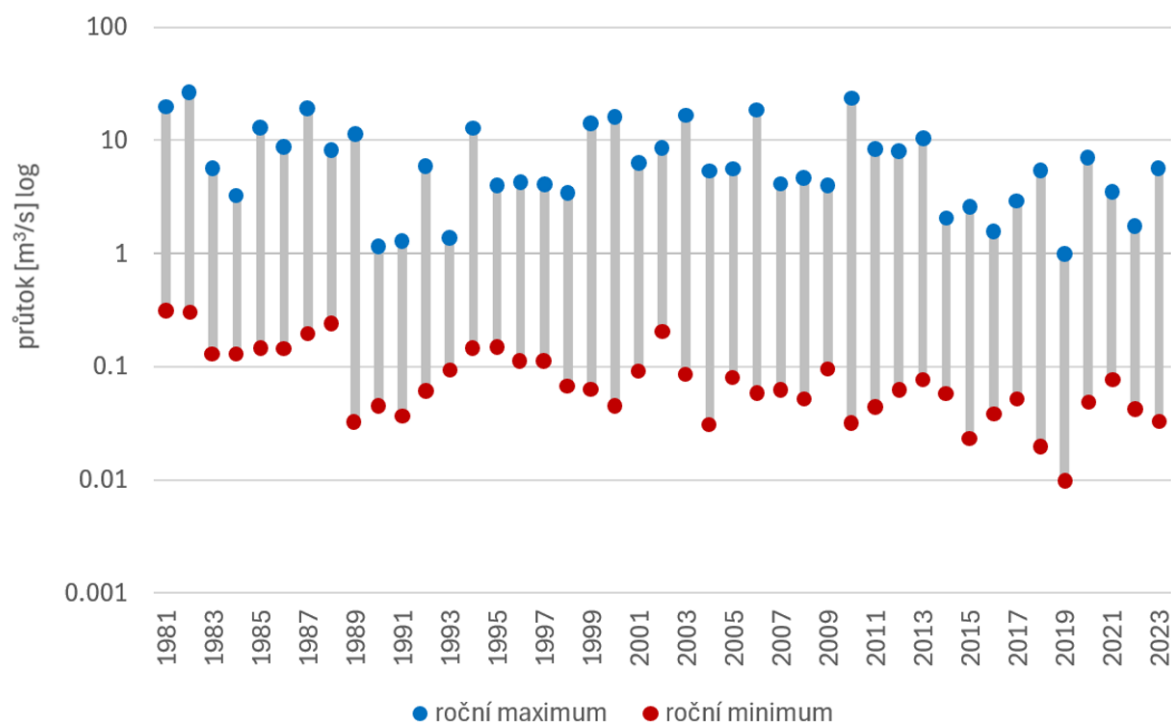
Obr. 20: Průměrný denní průtok pro jednotlivé dny v roce za celé období 1981-2023. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)

Absolutní minimum za měřené období bylo 0.0098 m<sup>3</sup>/s ze dne 27. července 2019, které pochází z doposud nejsuššího hydrologického roku, kterým byl i dle tabulky č. 1 rok 2019. Druhé nejnižší průtoky byly naměřeny v roce 2018, a významné je také sucho v letech 1989 a 2015. Absolutně nejvyšší denní průtok byl zaznamenán 9. prosince 1981 s průměrnou hodnotou 27 m<sup>3</sup>/s. Tomuto průtoku předcházelo desetidenní období s úhrnem srážek mezi 0.3 a 5.4 mm/den. Správnost naměřené hodnoty je spekulativní, především v porovnání s daty druhého nejvyššího průměrného denního průtoku z 28. září 2010, kterému předcházely třídenní srážky s denním úhrnem 27-32.3 mm.

Extrémní hodnoty denních průtoků			
maxima		minima	
datum	průtok [m <sup>3</sup> /s]	datum	průtok [m <sup>3</sup> /s]
09.12.1981	27	27.07.2019	0.0098
28.09.2010	24.6	28.07.2019	0.0108
06.01.1982	20	26.08.2019	0.0117
23.10.1981	19.6	03.08.2019	0.0118
30.12.1986	18.6	24.07.2019	0.0128

Tabulka 4: Extrémní hodnoty průměrných denních průtoků za sledované období 1981-2023. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)

Nejvyšší variabilitu denních průtoků prokázal hydrologický rok 2010 s druhým nejvyšším naměřeným denním průtokem 24.6 m<sup>3</sup>/s a čtvrtým nejnižším denním průtokem v roce 0.0931 m<sup>3</sup>/s. Za nejméně variabilní lze označit rok 1993 s průtoky mezi 0.095 m<sup>3</sup>/s do 1.35 m<sup>3</sup>/s.

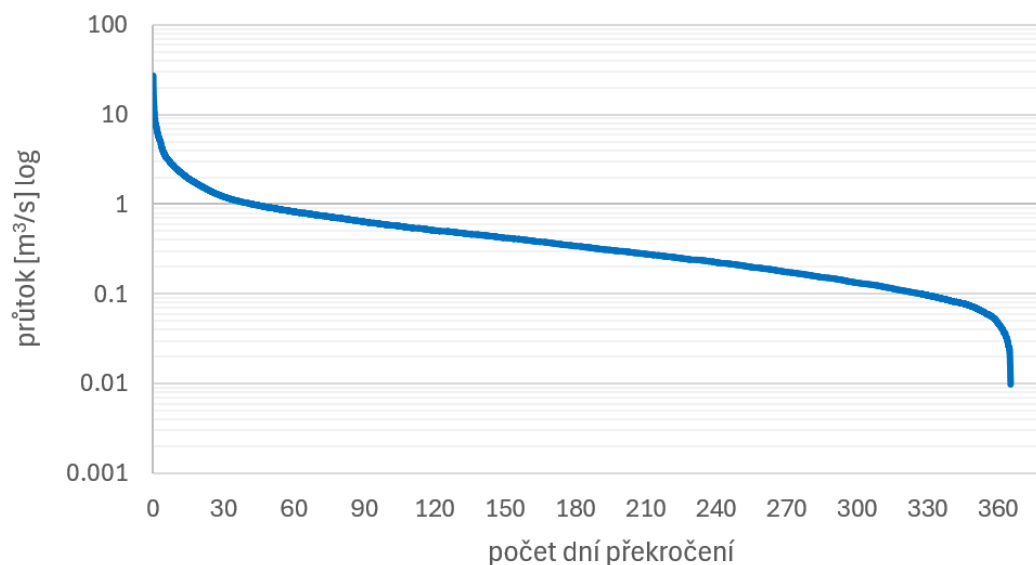


Obr. 21: Minimální a maximální hodnoty průměrných denních průtoků za sledované období 1981-2023. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)

Statistické míry variability průtoků jsou charakterizovány křivkou překročení M-denních průtoků, která vypovídá o rozkolísanosti dlouhodobých průtoků vodního toku (Dub, Němec, 1969). Jedná se o průtoky dosažené nebo překročené po určitý počet dní v roce, kde v tomto případě  $M = \{30, 60, 90, \dots, 360\}$ . Z čáry překročení byly vypočteny hodnoty M-denních průtoků za sledované období, které jsou stanoveny v tabulce 2.

	Q30	Q60	Q90	Q120	Q150	Q180	Q210	Q240	Q270	Q300	Q330	Q360
průtok [m³/s]	1,21	0,83	0,64	0,51	0,42	0,34	0,28	0,22	0,18	0,13	0,10	0,05

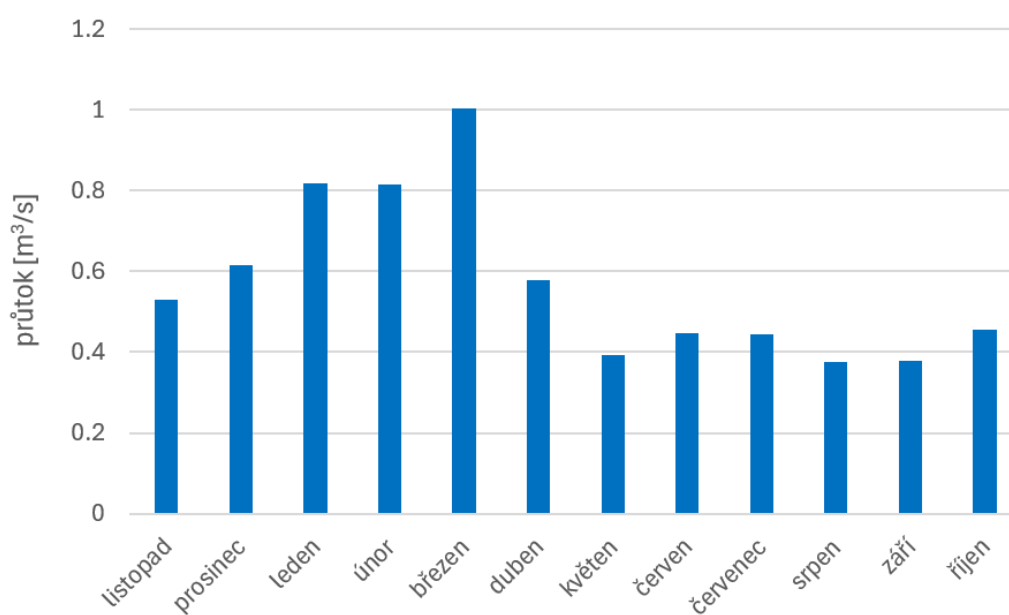
Tabulka 5: Hodnoty M-denních průtoků stanovené z dat pro sledované období 1981-2023. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)



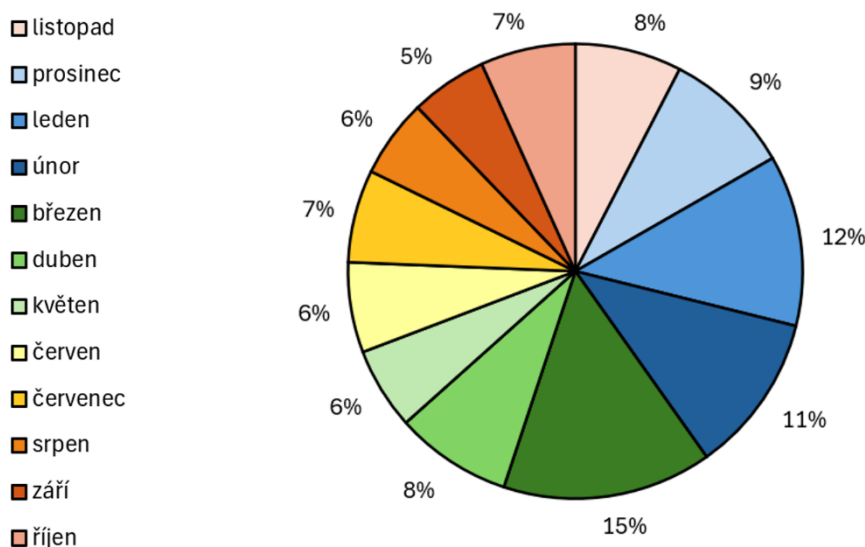
Obr. 22: Křivka překročení M-denních průtoků v období 1981-2023. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)

## 5.2 Variabilita měsíčních průtoků

Data denních průtoků byla agregována dle měsíců v hydrologickém roce, čímž byly zjištěny průměrné měsíční průtoky za celé sledované období. Nejvyšší měsíční průtoky v povodí Klenice nastávají v březnu s průměrem 1.004 m<sup>3</sup>/s, kdy je průtok nadlepšován vodou z tajícího sněhu z povodí. Vysoké průtoky v zimních měsících jsou zásobeny kombinací dešťových srážek a tavné vody za sněhu při přechodných otepleních. Násůst odtoku během zimních měsíců lze předpokládat i v budoucnu v důsledku růstu průměrné teploty. Nejméně vodnými jsou měsíce srpen a září s průměrnými průtoky 0.38 m<sup>3</sup>/s.



Obr. 23: Průměrné měsíční průtoky v období 1981-2023 (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)



Obr. 24: Podíl jednotlivých měsíců na průměrném ročním odtoku za sledované období 1981-2023. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)

jaro	29 %
léto	19 %
podzim	20 %
zima	32 %

Tabulka 6: Podíl ročních období na průměrném ročním odtoku za sledované období 1981-2023. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)

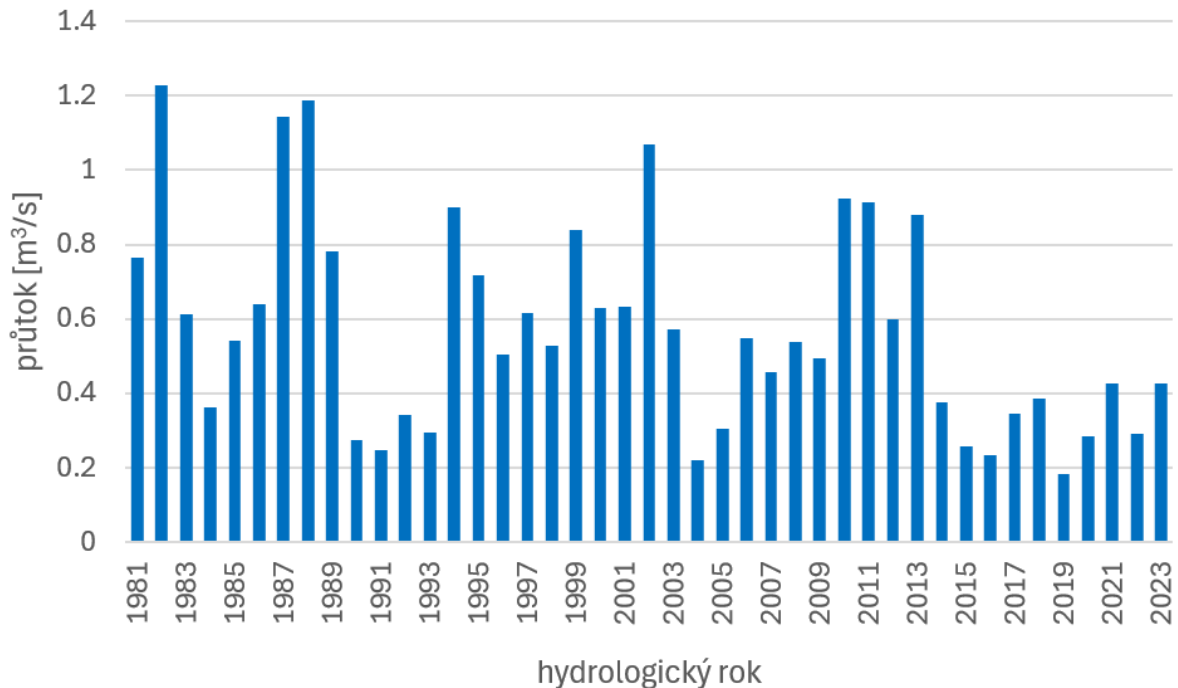
Podíl jednotlivých měsíců na celkovém ročním odtoku je vyjádřen v grafu č. 6 a je z něj patrný největší odtok v březnu s 15 % podílem na ročním odtoku. Druhý nejvyšší objem odtoku patří lednu se 12 % a únoru s 11 %. Dále je patrné, že v povodí Klenice odtéká 61 % vody v zimě a na jaře, zatímco letní průtoky tvoří pouhých 19 % průměrného ročního odtoku (tabulka 3). V důsledku rozkolísanosti průtoků v jednotlivých letech je však každým rokem podíl měsíců na odtoku rozdílný.

### 5.3 Variabilita ročních průtoků

Dle dat denních průtoků z profilu ČHMÚ Klenice – Mladá Boleslav byly vypočteny průměrné roční průtoky, z nichž byl sestaven graf č. 7. Variabilita průměrných ročních průtoků je značná, což odpovídá výkyvům a změnám vodnosti v celém sledovaném období. Nejvyšší průměrný roční průtok byl v hydrologickém roce 1982 s hodnotou  $1.23 \text{ m}^3/\text{s}$ , čemuž značně napomohl nejvyšší průměrný denní průtok za sledované období z 9. prosince 1981 s hodnotou  $27 \text{ m}^3/\text{s}$  a následné dva vysoké průtoky v lednu roku 1982



s maximálními průměrnými denními průtoky 20.3 a 12.4 m<sup>3</sup>/s. Mimořádně vodné byly také roky 1988, 1989 a 2002, jejichž roční průtoky přesáhly 1 m<sup>3</sup>/s, jak vyplývá z tabulky č. 5. Absolutní minima průměrných ročních průtoků dosáhly roky 1991, 2004, 2016 a 2019, jejichž hodnota dosahovala stupně mimořádně málo vodných roků.



Obr. 25: Průměrné roční průtoky za sledované období 1981-2023. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)

Vodnost byla hodnocena dle Čegodajeva na základě pravděpodobnosti překročení ročních průtoků v období 1981-2017 (vzorec uveden níže) a následně klasifikována do pěti kategorií míry vodnosti řek (tabulka 4). Od roku 2013 do současnosti nebyl překročen průměrný dlouhodobý roční průtok 0.45 m<sup>3</sup>/s a roky patří mezi málo vodné. Podíl vodností za sledované období je rovnoměrný, nicméně míra vodnosti je od začátku druhého tisíciletí nižší.

$$P[\%] = \frac{m - 0.3}{n - 0.4} \cdot 100,$$

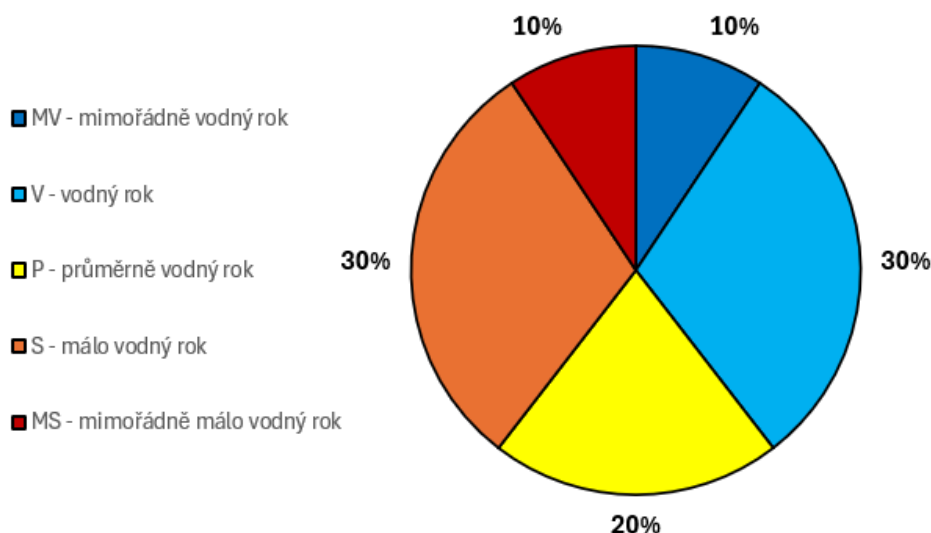
kde  $m$  ... pořadové číslo průměrných ročních průtoků seřazených vzestupně,  
 $n$  ... počet členů řady ročních průtoků (zde 43 hydrologických let)

P[%]	míra vodnosti řek	
0 - 10	mimořádně vodný rok	<b>MV</b>
11 - 40	vodný rok	<b>V</b>
41 - 60	průměrně vodný rok	<b>P</b>
61 - 90	málo vodný rok	<b>S</b>
91 - 100	mimořádně málo vodný rok	<b>MS</b>

Tabulka 7: Vyhodnocení vodnosti hydrologických roků (upraveno dle: Suda, 2001)

hydrologický rok	Q <sub>r</sub> [m <sup>3</sup> /s]	pořadí	P (%)	vodnost
1981	0.77	11	24.7	<b>V</b>
1982	1.23	1	1.6	<b>MV</b>
1983	0.61	17	38.5	<b>V</b>
1984	0.36	31	70.7	<b>S</b>
1985	0.54	22	50.0	<b>P</b>
1986	0.64	13	29.3	<b>V</b>
1987	1.14	3	6.2	<b>MV</b>
1988	1.19	2	3.9	<b>MV</b>
1989	0.78	10	22.4	<b>V</b>
1990	0.28	38	86.9	<b>S</b>
1991	0.25	40	91.5	<b>MS</b>
1992	0.34	33	75.3	<b>S</b>
1993	0.30	35	80.0	<b>S</b>
1994	0.90	7	15.4	<b>V</b>
1995	0.72	12	27.0	<b>V</b>
1996	0.50	24	54.6	<b>P</b>
1997	0.62	16	36.2	<b>V</b>
1998	0.53	23	52.3	<b>P</b>
1999	0.84	9	20.0	<b>V</b>
2000	0.63	15	33.9	<b>V</b>
2001	0.63	14	31.6	<b>V</b>
2002	1.07	4	8.5	<b>MV</b>
2003	0.57	19	43.1	<b>P</b>
2004	0.22	42	96.1	<b>MS</b>
2005	0.30	37	84.6	<b>S</b>
2006	0.55	20	45.4	<b>P</b>
2007	0.46	26	59.2	<b>P</b>
2008	0.54	21	47.7	<b>P</b>
2009	0.50	25	56.9	<b>P</b>
2010	0.92	5	10.8	<b>V</b>
2011	0.91	6	13.1	<b>V</b>
2012	0.60	18	40.8	<b>P</b>
2013	0.88	8	17.7	<b>V</b>
2014	0.38	30	68.4	<b>S</b>
2015	0.26	39	89.2	<b>S</b>
2016	0.24	41	93.8	<b>MS</b>
2017	0.35	32	73.0	<b>S</b>
2018	0.39	29	66.1	<b>S</b>
2019	0.18	43	98.4	<b>MS</b>
2020	0.28	36	82.3	<b>S</b>
2021	0.43	28	63.8	<b>S</b>
2022	0.29	34	77.6	<b>S</b>
2023	0.43	27	61.5	<b>S</b>

Tabulka 8: Pravděpodobnost překročení průměrného ročního průtoku a zhodnocení vodností (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)



Obr. 26: Podíl různě vodných let v povodí Klenice za období 1981-2023 (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)

## 6. ANALÝZA SUCHA

Suchá období nastávala v krajině odněpaměti, dříve však jejich dopady nebyly pro společnost tak znatelné. S nárůstem populace a tím spojeným rozvojem zemědělské produkce a jejího zefektivnění hraje voda důležitý faktor. Od druhé poloviny dvacátého století začaly být vodní toky i vodní plochy využívány pro závlahy, čímž jsou jejich sezónní zásoby antropogenně ovlivňovány. Významnou roli hraje půdní pokryv, který je úzce spjat s úrovní podzemní vody. V kombinaci vysokých teplot, nízkých srážkových úhrnů a míry evapotranspirace je půda, ale i ekosystémy vod ohroženy nedostatkem a vznikem sucha. Povodí Klenice opakovaně splňuje všechny rizikové faktory ke vzniku škod způsobených suchem, je proto důležité znát historické průběhy suchých období, aby mohlo být s vodou v povodí rozumně nakládáno.

### 6.1 Metodika

Denní data z hydrologické stanice Mladá Boleslav na Klenici poskytovaných Českým hydrometeorologickým ústavem byla analyzována dvěma metodami charakterizujícími hydrologické sucho.

První použitou metodou je celosvětově nejpoužívanější metoda počtu suchých dní, jež spočívá ve stanovení prahové hodnoty průtoku. V Česku je nejčastěji používána hodnota  $Q_{355}$ , která popisuje minimální zůstatkový průtok v korytě toku. Každý vodní tok může mít sucho definované jinou hodnotou  $Q_x$  v závislosti na reakcích koryta toku na výkyvy minimálních průtoků. Metoda počítá data, jejichž průměrný denní průtok byl nižší než

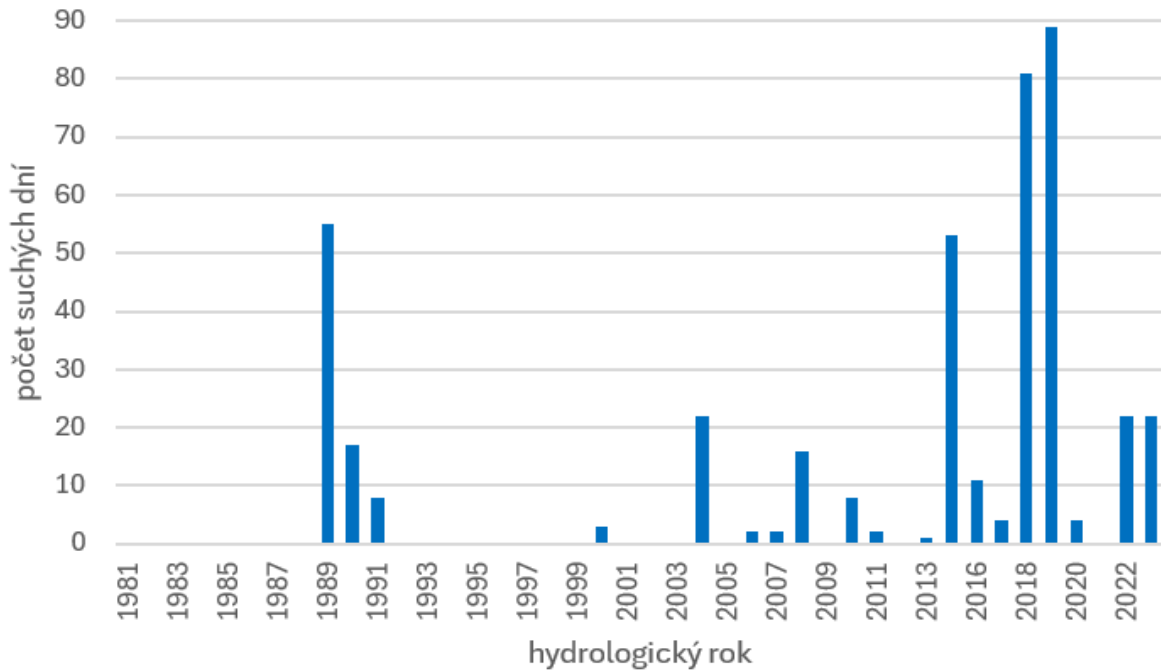
stanovená hodnota a vyhodnocuje délku trvání hydrologicky suchého období. Metoda bývá kritizována pro nesouvislost hydrologicky suchých období, kdy se často stává, že je velmi suché období přerušeno jednotlivým dnem s hodnotou lehce přesahující minimální prahovou hodnotu. Problematický je i opačný případ, kdy jsou jako hydrologicky suché dny označovány dny s hodnotou lehce pod  $Q_{355}$ . Jde totiž o běžnou variabilitu průtoků, jak bylo popisováno v předchozí kapitole. Řešením by bylo stanovení určitého počtu suchých dní, po kterých by se mohlo definovat suché období jako celek a řešila by se spíše délka trvání, než absolutní počet suchých dní v hydrologickém roce.

Druhým typem vyhodnocení je dle metody nedostatkových objemů. Pro hydrologicky suché dny, tedy dny s průměrným průtokem nižším než prahová hodnota, je počítán objem vody, který schází do minimálního průtoku. Pro vyhodnocení hydrologického sucha je vhodné použít kombinaci vícero metod a porovnání jejich výsledků.

Tímto způsobem byly v této práci určeny jako hydrologicky nejsušší roky 2018 a 2019, jejichž hodnoty počtu suchých dní i nedostatkových objemů razantně převyšovaly roky minulé i jim následující.

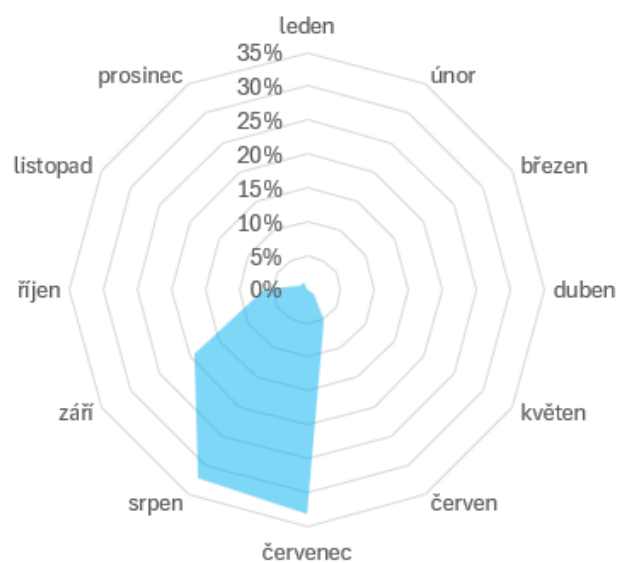
## **6.2 Vyhodnocení sucha dle metody počtu suchých dní**

Sucho v povodí Klenice je možné vyhodnocovat různými způsoby. Například podle zmiňované vodnosti hydrologických let, nebo na základě metody počtu suchých dní. Za hydrologicky suchý se dle Vodního zákona považuje den s průtokem nižším než minimální zůstatkový průtok  $Q_{355}$ . V případě Klenice nastává hydrologické sucho při denním průtoku nepřekračujícím  $0.0591 \text{ m}^3/\text{s}$ . Za sledované období let 1981 až 2023 nastalo celkem 422 suchých dní v 19 hydrologických letech (ze 43 let celkem). Graf č.9 znázorňuje rozložení suchých dní v jednotlivých letech. Prvním hydrologicky suchým a také velmi významným byl rok 1989 s celkovým počtem 55 dní s průtokem pod prahovou hodnotou hydrologického sucha. Na přelomu století se počty suchých dní snížily, avšak nevymizely úplně. Druhým výrazně suchým byl rok 2015 s 53 dny. Nejvýznamnějším obdobím na základě metody počtu suchých dní byly roky 2018 a 2019. Hydrologické sucho se projevilo v 81 a 89 případech průměrných denních průtoků. Ačkoliv jsou roční průtoky v mimořádně málo vodných letech 1991, 2004, 2016 jedny z nejnižších, v případě vyhodnocení dle počtu suchých dní jsou na tom s počtem pod 20 dní hydrologického sucha podstatně lépe než zmiňovaný rok 2018, který je kategorizován pouze jako málo vodný rok.

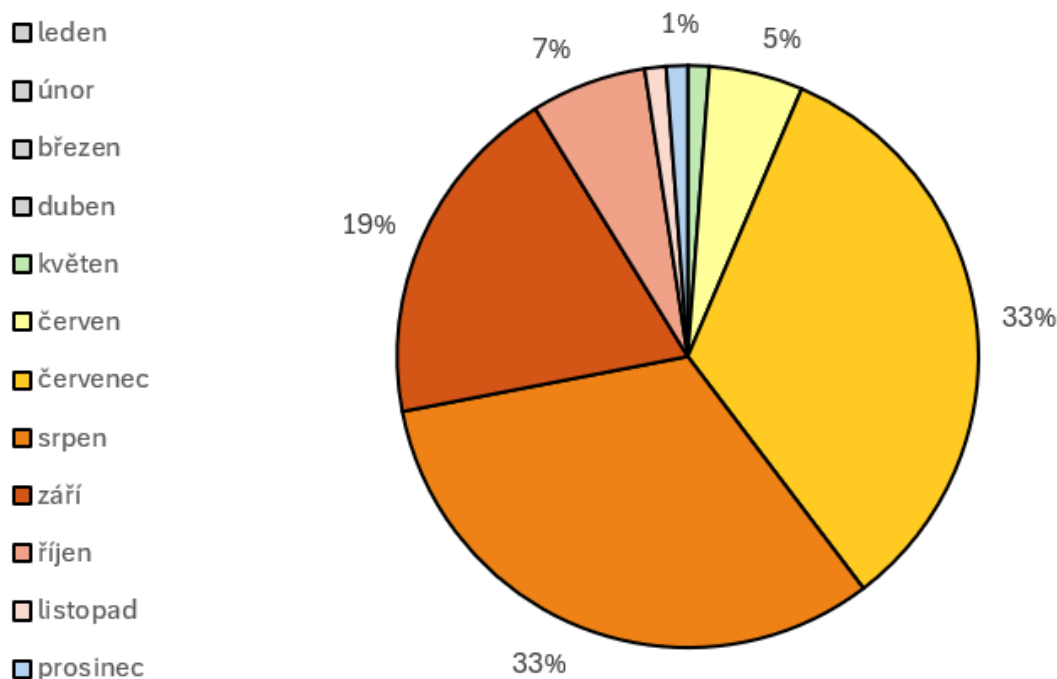


Obr. 27: Počty suchých dní v jednotlivých hydrologických letech v období 1981-2023. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)

Rozložení suchých dní nepřekračujících prahovou hodnotu  $Q_{355}$  v grafu č. 10 jednoznačně poukazuje na měsíce červenec a srpen se 33 % dní jako na období velmi náchylné k výskytu hydrologického sucha. Letní měsíce včetně září představují 90 % dní nepřesahujících denní průtok  $0.0591 \text{ m}^3/\text{s}$ . Listopad, prosinec a květen se každý podílí na 1 % z celkového počtu 422 suchých dní. Z grafu č. 11 vyplývá, že ve sledovaném období se nikdy neobjevily suché dny v lednu, únoru, březnu a dubnu.



Obr. 28: Měsíční rozložení počtu suchých dní. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)



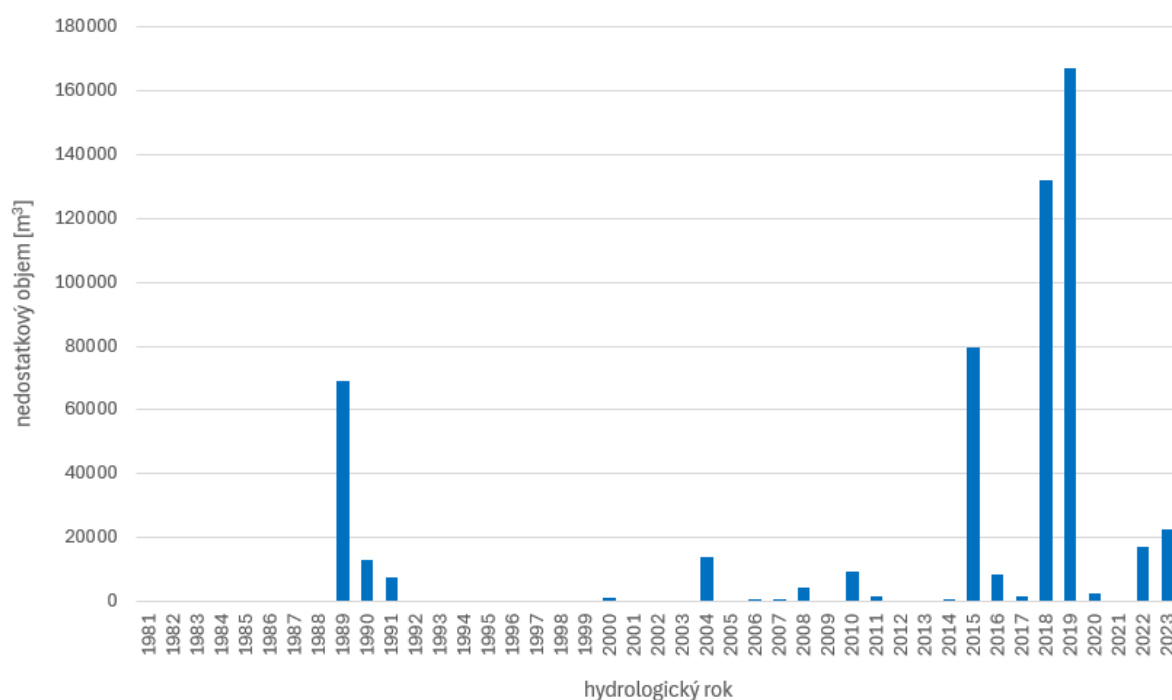
Obr. 29: Podíl výskytu suchých dní během roku v období 1981-2023. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)

### 6.3 Vyhodnocení hydrologického sucha dle metody nedostatkových objemů

Dalším vypovídajícím systémem hodnocení sucha je na základě metody nedostatkových objemů. Princip metody spočívá ve výpočtu objemu vody chybějícího do minimálního zůstatkového průtoku, v případě této práce jde o  $Q_{355} = 0.0591 \text{ m}^3/\text{s}$ . Výsledky často korelují s výpočty pomocí metody suchých dní (graf 12), nicméně to není pravidlem, jak vypovídají roky 1989 a 2015 v tabulce č. 6. Nejvyšší nedostatkový objem  $167\,149 \text{ m}^3$  pochází z roku 2019. Nejdelší období nedostatkových objemů bez přerušení nastalo mezi 2. srpnem a 3. zářím 1989 a trvalo celých 33 dní. Bez pěti dní však trvalo až do 30.9. 1989 s celkovým nedostatkovým objemem necelých 70 tis.  $\text{m}^3$  vody. Nejčastěji se hydrologické sucho vyskytuje v letních měsících, ale výjimkou nejsou ani prosincové nedostatkové objemy, jak vyplývá z tabulky č. 7.

hydrologický rok	počet suchých dní	nedostatkový objem
2019	89	167 149
2018	81	131 950
2015	53	79 782
1989	55	68 904
2023	22	22 637
2022	22	17 297
2004	22	14 049
1990	17	12 891

Tabulka 9: Hydrologicky suchá období s extrémními nedostatkovými objemy. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)



Obr. 30: Nedostatkové objemy v jednotlivých hydrologických letech v období 1989-2023. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)

začátek sucha	konec sucha	počet dní sucha	nedostatkový objem [m <sup>3</sup> ]	začátek sucha	konec sucha	počet dní sucha	nedostatkový objem [m <sup>3</sup> ]
02.08.1989	03.09.1989	33	54976	10.07.2018	11.07.2018	2	1002
05.09.1989	22.09.1989	18	13029	14.07.2018	04.08.2018	22	51417
24.09.1989	26.09.1989	3	890	06.08.2018	09.08.2018	4	3136
30.09.1989	30.09.1989	1	9	11.08.2018	13.08.2018	3	3292
20.07.1990	05.08.1990	17	12891	15.08.2018	23.08.2018	9	24391
24.07.1991	24.07.1991	1	1331	27.08.2018	29.08.2018	3	6679
24.08.1991	25.08.1991	2	2013	31.08.2018	31.08.2018	1	17
27.08.1991	31.08.1991	5	4078	07.09.2018	11.09.2018	5	7111
29.08.2000	01.09.2000	3	1149	17.09.2018	20.09.2018	4	7292
26.05.2004	26.05.2004	1	35	26.09.2018	13.10.2018	18	14921
28.05.2004	01.06.2004	5	4372	12.11.2018	12.11.2018	1	423
12.07.2004	15.07.2004	4	553	27.11.2018	01.12.2018	5	3940
10.08.2004	13.08.2004	4	959	17.12.2018	17.12.2018	1	752
15.08.2004	18.08.2004	4	6333	19.12.2018	19.12.2018	1	43
27.08.2004	30.08.2004	4	1797	23.06.2019	11.07.2019	19	39856
03.12.2005	03.12.2005	1	95	15.07.2019	03.08.2019	20	59409
06.12.2005	06.12.2005	1	35	05.08.2019	06.08.2019	2	5521
26.07.2007	27.07.2007	2	69	08.08.2019	09.08.2019	2	4994
09.09.2008	18.09.2008	10	2497	11.08.2019	11.08.2019	1	251
26.09.2008	29.09.2008	4	743	14.08.2019	18.08.2019	5	5659
01.10.2008	02.10.2008	2	1063	20.08.2019	20.08.2019	1	60
12.07.2010	15.07.2010	4	7819	22.08.2019	31.08.2019	10	20390
20.07.2010	21.07.2010	2	1080	05.09.2019	08.09.2019	4	4916
01.08.2010	02.08.2010	2	562	12.09.2019	16.09.2019	5	4458
01.07.2011	02.07.2011	2	1668	18.09.2019	24.09.2019	7	13703
13.08.2014	13.08.2014	1	52	26.09.2019	26.09.2019	1	372
09.07.2015	10.07.2015	2	976	29.09.2019	29.09.2019	1	605
12.07.2015	14.07.2015	3	786	01.10.2019	01.10.2019	1	1045
17.07.2015	28.07.2015	12	27605	03.10.2019	04.10.2019	2	752
30.07.2015	08.08.2015	10	20244	29.07.2020	01.08.2020	4	2722
10.08.2015	17.08.2015	8	19198	22.06.2022	23.06.2022	2	899
21.09.2015	21.09.2015	1	397	20.07.2022	29.07.2022	10	9513
23.09.2015	09.10.2015	17	10575	02.08.2022	05.08.2022	4	4355
09.06.2016	12.06.2016	4	769	08.08.2022	11.08.2022	4	1996
06.07.2016	12.07.2016	7	7854	19.08.2022	20.08.2022	2	536
20.06.2017	21.06.2017	2	968	07.07.2023	09.07.2023	3	1659
26.06.2017	27.06.2017	2	510	12.07.2023	21.07.2023	10	13677
19.06.2018	19.06.2018	1	190	23.07.2023	25.07.2023	3	4536
21.06.2018	22.06.2018	2	484	27.07.2023	29.07.2023	3	2393
01.07.2018	05.07.2018	5	10048	23.08.2023	25.08.2023	3	372
07.07.2018	08.07.2018	2	1970	celkem		422	551733

Tabulka 10: Nedostatkové objemy v jednotlivých obdobích hydrologického sucha za pozorované období. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)

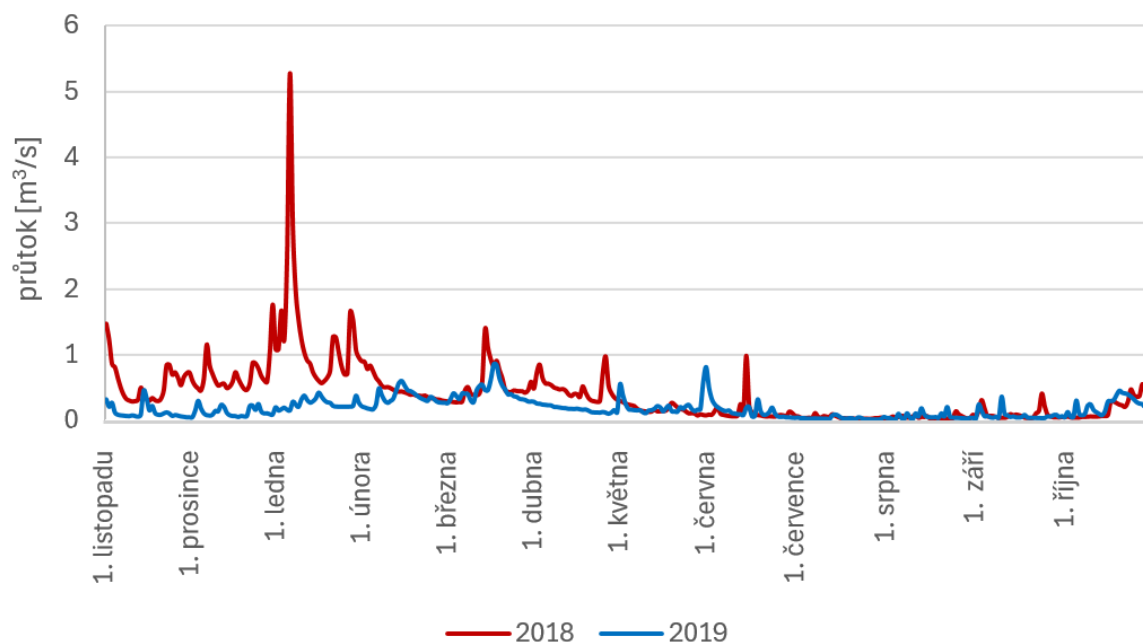
## 6.4 Hydrologické sucho v letech 2018 a 2019

Z předchozích metod vyhodnocení hydrologického sucha vyplývá, že nejméně dostačující průtoky v Klenici nastaly v letech 2018 a 2019. Tyto roky se projeví extrémními hodnotami v epizodě sucha trvajícího od roku 2014 do současnosti. Jak vyplývá z tabulky č. 8, každá z těchto suchých period se projevila jiným způsobem. Rok 2018 byl násobně vodnějším a jeho průměrný roční průtok 0.386 m<sup>3</sup>/s je více než dvojnásobným ve srovnání s rokem 2019. Maximální průtok byl šestnásobný a minimální denní průtok dvojnásobný. Celkově vyšší průtok byl v korytě od začátku hydrologického roku 2018 do poloviny února, kdy se projevila rozkolísanost jarních průtoků i v roce 2019. Rok 2018 byl nadprůměrný v zimních měsících i s dlouhodobým srovnáním let 1989–2023. Tyto faktory však poukazují na vyšší vyrovnanost průtoků v roce 2019. Rozptyl extrémních hodnot průtoků byl v roce 2018 téměř 5 m<sup>3</sup>/s, v roce 2019 byl pouze 0.67 m<sup>3</sup>/s.



hydrologický rok	2018	2019
$Q_{dmax}$	5.28	0.854
$Q_{dmin}$	0.0198	0.0098
$Q_{dprům.}$	0.386	0.184

Tabulka 11: Maximální, minimální a průměrné průtoky pro hydrologické roky 2018 a 2019. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)

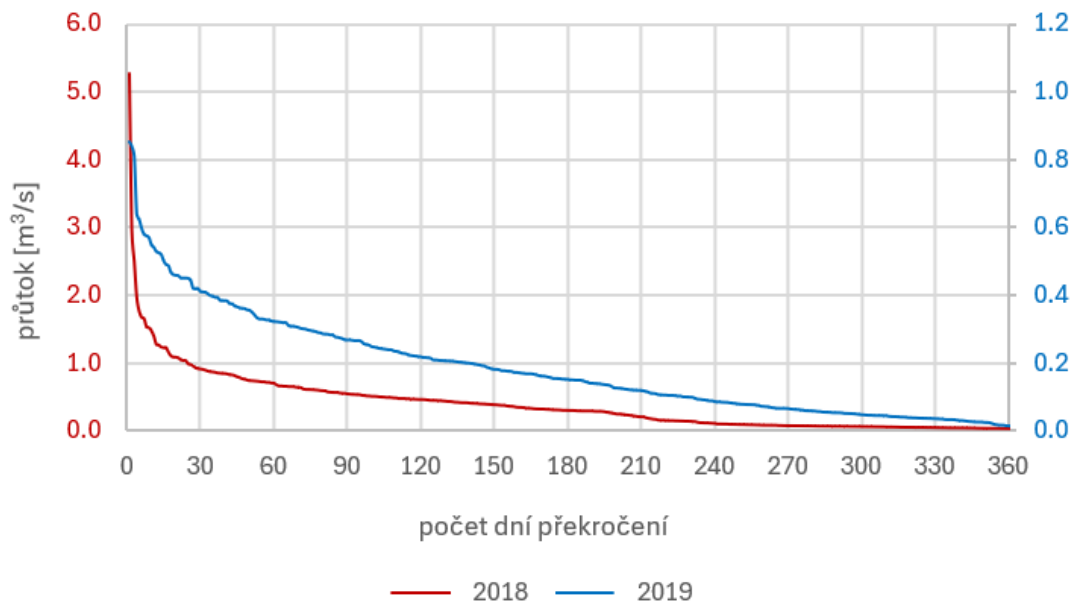


Obr. 31: Denní průtoky na profilu Klenice - Mladá Boleslav v letech 2018 a 2019. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)

2018		2019	
datum	průtok [m <sup>3</sup> /s]	datum	průtok [m <sup>3</sup> /s]
maxima		maxima	
04.01.2018	5.28	16.03.2019	0.854
05.01.2018	2.96	17.03.2019	0.84
03.01.2018	2.5	29.05.2019	0.811
minima		minima	
25.07.2018	0.0198	27.07.2019	0.0098
21.07.2018	0.0206	28.07.2019	0.0108
20.08.2018	0.0224	26.07.2019	0.0117

Tabulka 12: Extrémní hodnoty denních průtoků v letech 2018 a 2019. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)

Křivka překročení M-denních průtoků statisticky popisuje variabilitu průtoků. Z grafu č. 14 je patrná vyšší rozkolísanost v průběhu roku 2018, kdy jsou vysoké průtoky dosaženy průměrně pouze malý počet dní v roce. Graf je rozdělen do dvou měřítek kvůli rozdílnému rozsahu extrémních hodnot průtoků mezi lety 2018-2019. Hodnoty M-denních průtoků v tabulce 10 se u vyšších průtoků (Q30, Q60) liší násobně, zatímco u nižších průtoků (Q300, Q330) bylo dosaženo shodných hodnot.

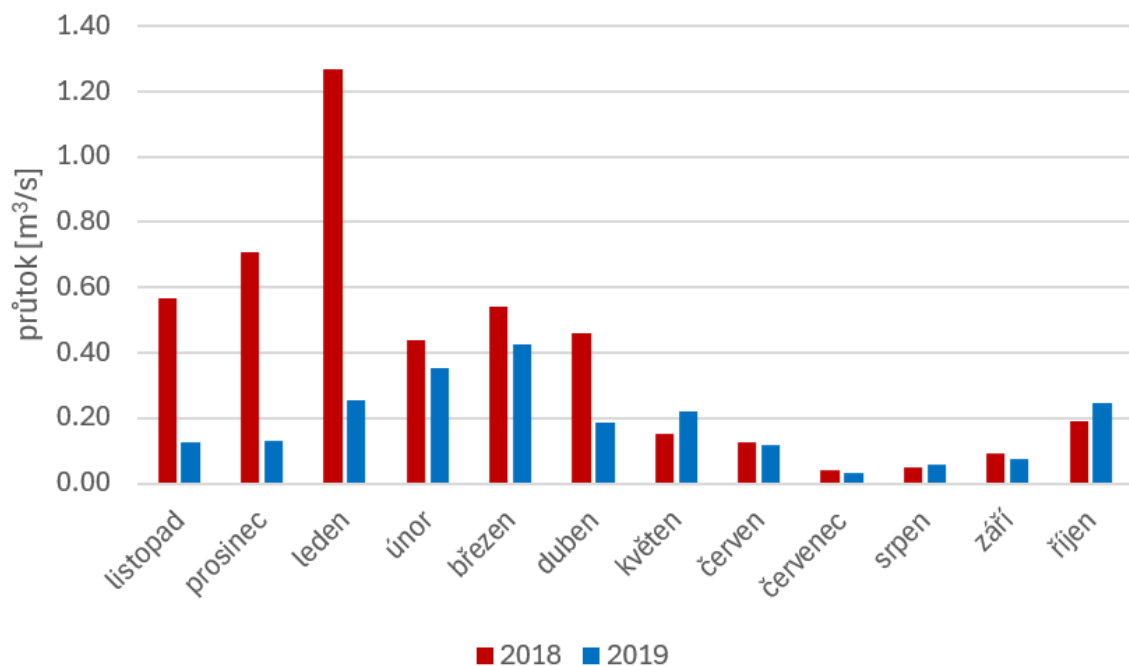


Obr. 32: Křivka překročení M-denních průtoků pro hydrologické roky 2018 a 2019. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)

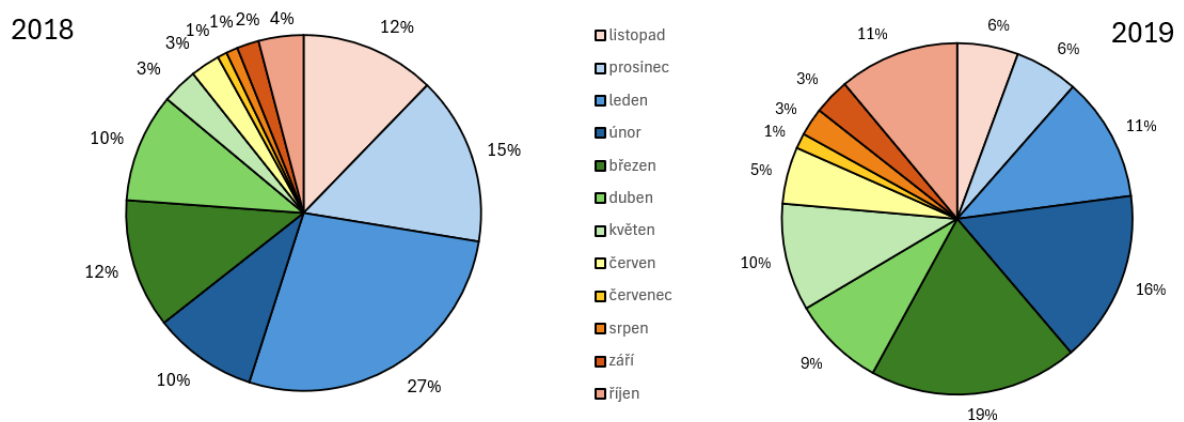
		Q30	Q60	Q90	Q120	Q150	Q180	Q210	Q240	Q270	Q300	Q330	Q360
<b>2018</b>	průtok [m <sup>3</sup> /s]	0.91	0.69	0.54	0.45	0.38	0.29	0.2	0.1	0.07	0.05	0.04	0.02
<b>2019</b>	průtok [m <sup>3</sup> /s]	0.41	0.32	0.27	0.22	0.18	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04	0.01

Tabulka 13: Hodnoty M-denních průtoků let 2018-2019 (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)

Měsíční rozložení průtoků během hydrologického roku 2019 bylo takřka srovnatelné s celým sledovaným obdobím let 1981-2023, zatímco v roce 2018 je zřetelný nárůst v měsících listopadu, prosinci a lednu. Maximální denní průtok v roce 2019 nastal oproti roku 2018 tradičně v březnu, zatímco minimální průtoky se v obou letech vyskytly v červenci a srpnu. Tím se potvrzuje korelace s vyšší denní teplotou a mírou evapotranspirace snižující celkové zásoby vody v povodí. Graf č. 16 zobrazuje nadpoloviční roční odtok hydrologického roku 2018 pouze za zimní měsíce, v roce 2019 však tvořil zimní odtok pouhých 33 %. Roku 2019 se znásobil podíl odtoku v měsíci říjnu.



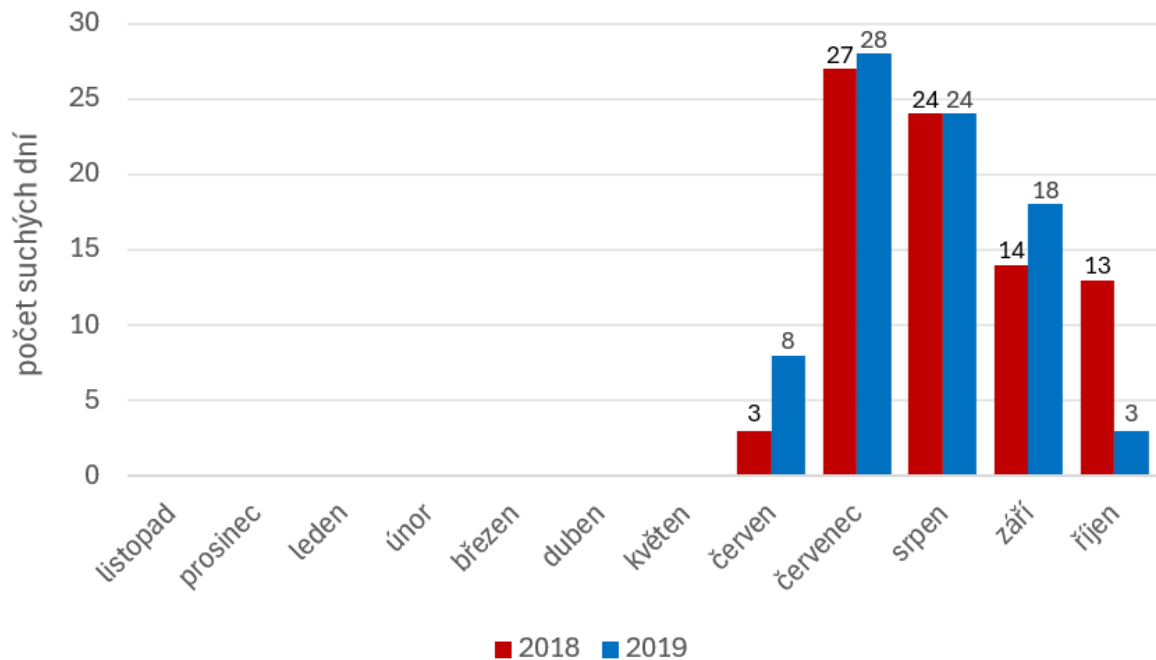
Obr. 33: Průměrné měsíční průtoky v hydrologických letech 2018 a 2019. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)



Obr. 34: Podíl jednotlivých měsíců na odtoku z povodí Klenice v letech 2018 a 2019. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)

#### 6.4.1 Vyhodnocení metodou počtu suchých dní

Suchá období byla v obou sledovaných letech hodnocena rovněž metodami počtu suchých dní a nedostatkových objemů. Největší podíl dní nepřekračujících hranici pro sucho  $Q_{355} = 0.0591 \text{ m}^3/\text{s}$  byl v červenci, srpnu a září. Tento trend platí i pro periodu let 2018 a 2019. První zmíněný rok zaznamenal 81 a druhý 89 suchých dní, v obou případech počínající červnem. Maximální počet suchých dní v červenci představuje 27 a 28 z celkového počtu 31 dní v červenci. Největším rozdílem v počtu dní s průtokem nižším než minimální zůstatkový průtok mezi oběma lety je v říjnu, kdy roku 2018 bylo 13 dní hydrologické sucho, zatímco o rok později byly suché pouze 3 dny. Suché období v roce 2019 začalo kalendářně dříve, stejně tak jako dříve končilo.

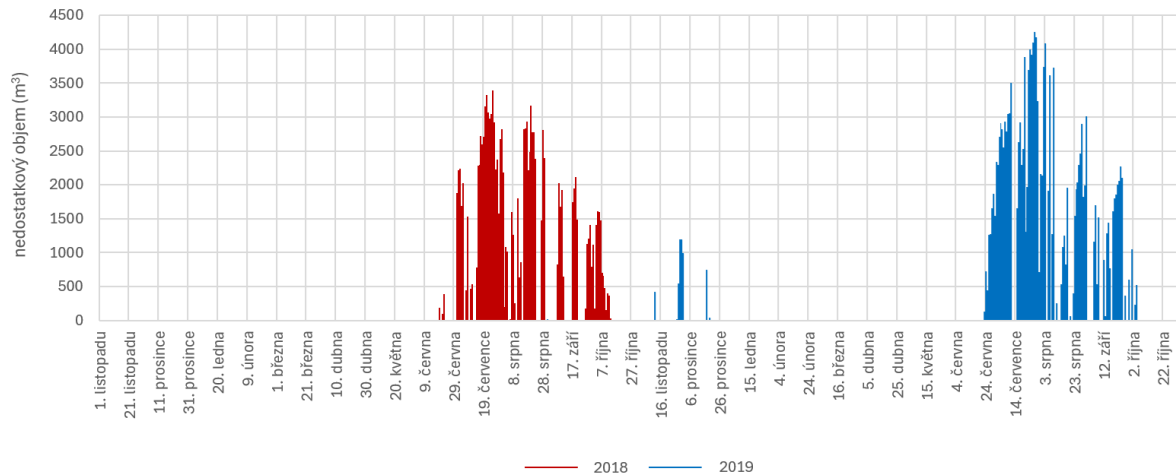


Obr. 35: Počet dní v měsíci s průtokem pod hranicí  $Q_{355}$ , tzn. počet dní hydrologického sucha, v suchých periodách let 2018 a 2019. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)

#### 6.4.2 Vyhodnocení metodou nedostatkových objemů

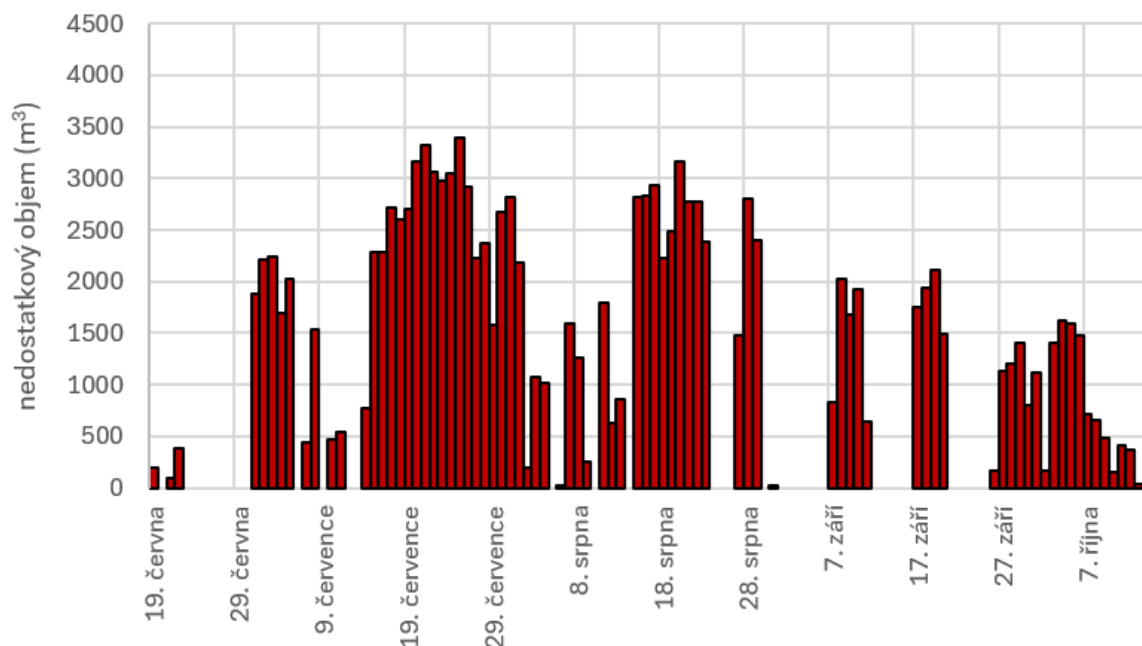
Metoda nedostatkových objemů taktéž srovnává období o nižším než limitním průtoku. Hodnota nedostatkového objemu udává vody v  $\text{m}^3$ , které chybí k dosažení stanovené limitní hodnoty průtoku během období sucha (Juha, 2022). Hydrologické sucho v nejsušších letech 2018 a 2019 bylo vyhodnoceno také metodou nedostatkových objemů, jak znázorňuje graf č. 18. Roku 2018 začalo období nedostatkových objemů 19. června a pokračovalo do 13. října. Poté na přelomu s hydrologickým rokem 2019 nastalo 8

nedostatečně průtočných dní během několika týdnů, proto jsou v grafu vyobrazeny oba roky zároveň.



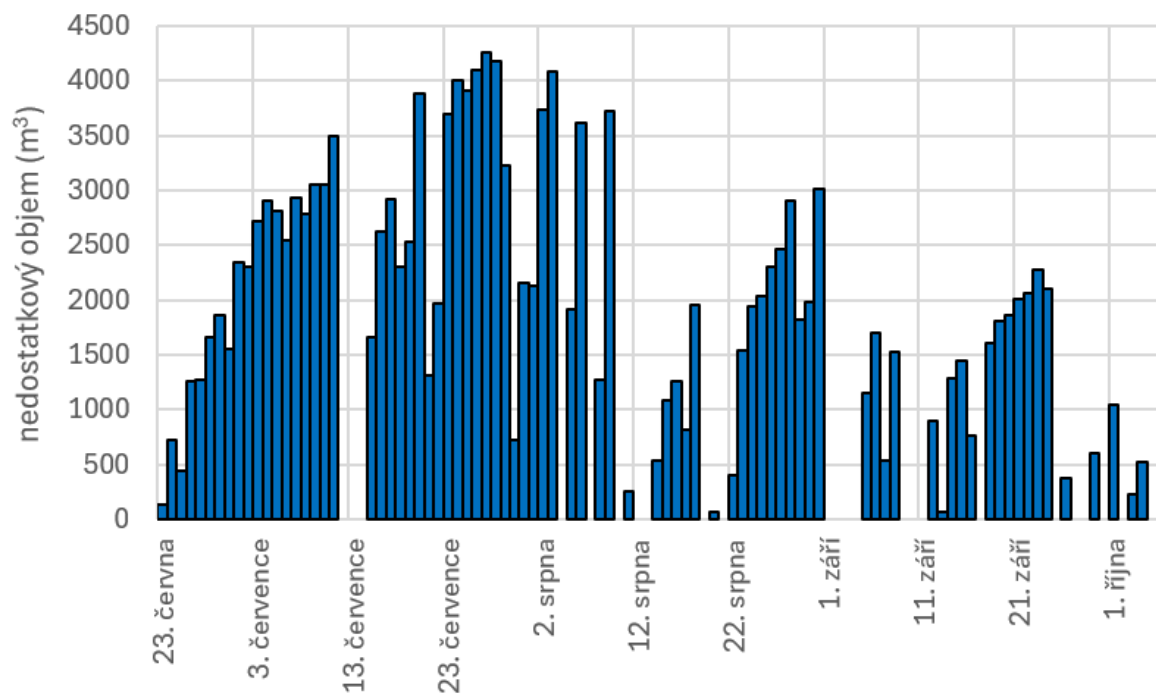
Obr. 36: Denní nedostatkové objemy v období nejsušších let 2018-2019. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)

Rok 2018 dosáhl hodnotou  $131\,950\text{ m}^3$  druhého nejvyššího ročního nedostatkového objemu za celé sledované období. Nejdelší období bez nárůstu přes limitní hodnotu  $Q_{355}$  trvalo od 14. července do 8. srpna, tedy 22 dní, během kterých ve vodním toku scházelo  $51\,417\text{ m}^3$  vody pro dosažení minimálního zůstatku. Nejnižšího průtoku, a tedy nejvyššího nedostatkového průtoku bylo dosaženo 25. července 2018 s hodnotou  $3\,395.5\text{ m}^3$  za den. V grafu č. 19 jsou vyobrazeny průměrné denní nedostatkové objemy pro každý suchý den.



Obr. 37: Nedostatkové objemy v letním období 2018. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)

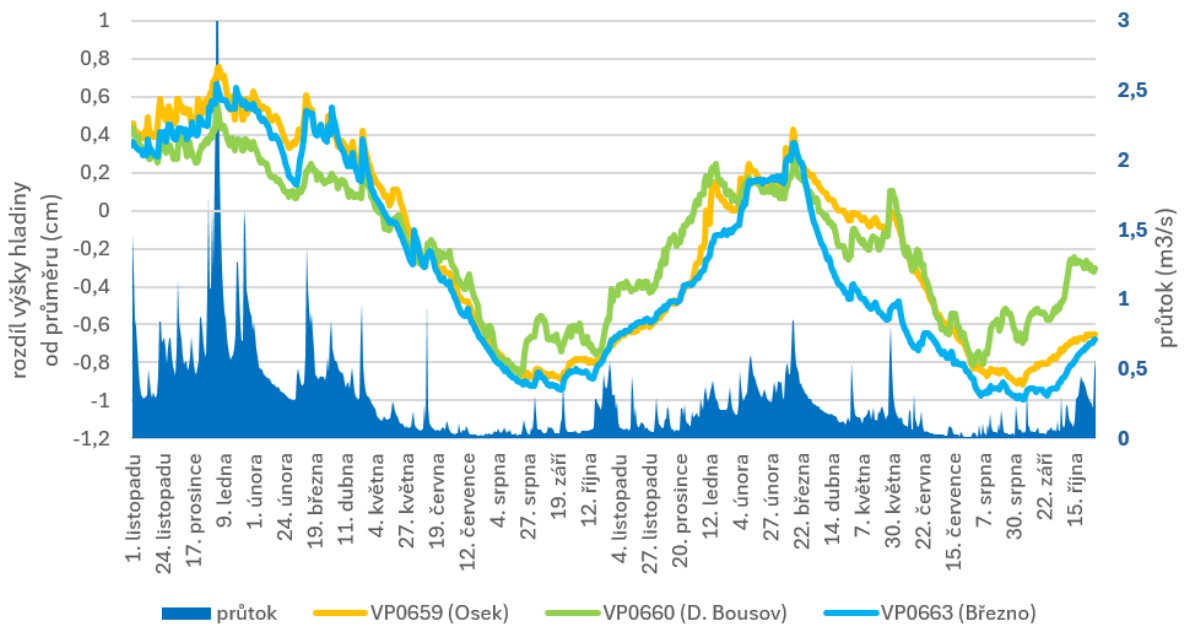
Rok 2019 byl specifický svým celkově nejnižším průměrným ročním průtokem  $0.18\text{m}^3/\text{s}$  a nejvyšším počtem hydrologicky suchých dní měřených jak dle počtu suchých dní, tak metodou nedostatkových objemů. Během 89 dní se suchem v období od 23. 7. do 4. října 2019 vystoupal celkový nedostatkový objem na  $167\,149\text{ m}^3$ . Zajímavostí je, že v tomto období vystoupal průtok nad  $0.0591\text{ m}^3/\text{s}$  pouze 23 dní. Objem vody chybějící v povodí Klenice od počátku hydrologického sucha 2019 pozvolna narůstal do 27. července na maximální denní nedostatkový objem  $4\,259.5$ , a na podzim pak dosahoval nejnižších hodnot.



Obr. 38: nedostatkové objemy v letním období 2019. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)

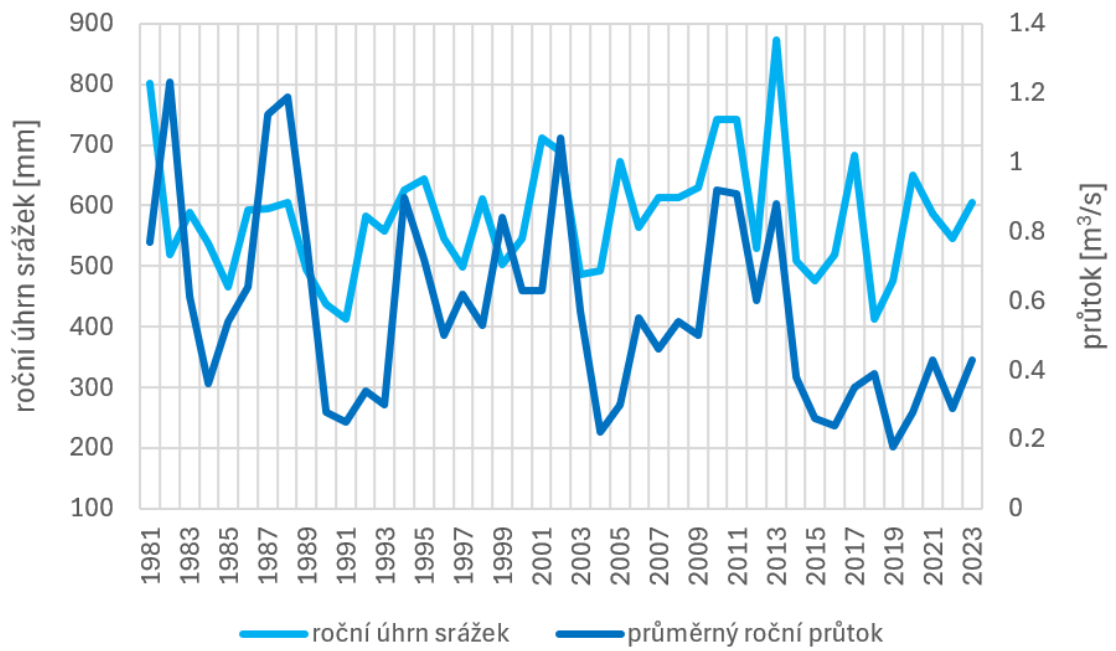
## 6.5 Reakce povodí na suchu

Roky 2018 a 2019 s nejrozsáhlejším hydrologickým suchem za sledované období byly ovlivněny méně výrazně suchými lety. Daňhelka, Kubát a Šercl (2019) popisují, že za extrémně suchým obdobím stálo přetrvávající hydrologické sucho zejména v podzemních vodách přetrvávající z období suchých let 2015-2017.



Obr. 39: Kolísání hladin v mělkých vrtech v povodí Klenice. (zdroj: vlastní analýza dat ČHMÚ)

Z grafu je pozorovatelná závislost podzemních vod na kolísání průtoků. Zobrazené je období dvou hydrologicky suchých let 2018 a 2019. Pro názornost byla využita odchylka od průměrné výšky hladiny v mělkých vrtech, která je pro vrt VP0659 (Osek) 253,82 cm, pro vrt VP0660 (Dolní Bousov) 233,88 cm a pro vrt VP0663 (Březno) 212,94 cm. Hladina podzemní vody sezónně kolísá, obdobně jako průtok korytem Klenice. Nejen sezónní, ale i meziroční výkyvy jsou zjevně závislé na množství spadlých srážek. Obrázek 40 znázorňuje chod průměrných ročních průtoků v porovnání s celkovým ročním úhrnem za jednotlivé hydrologické roky ze sledovaného období 1981-2023.



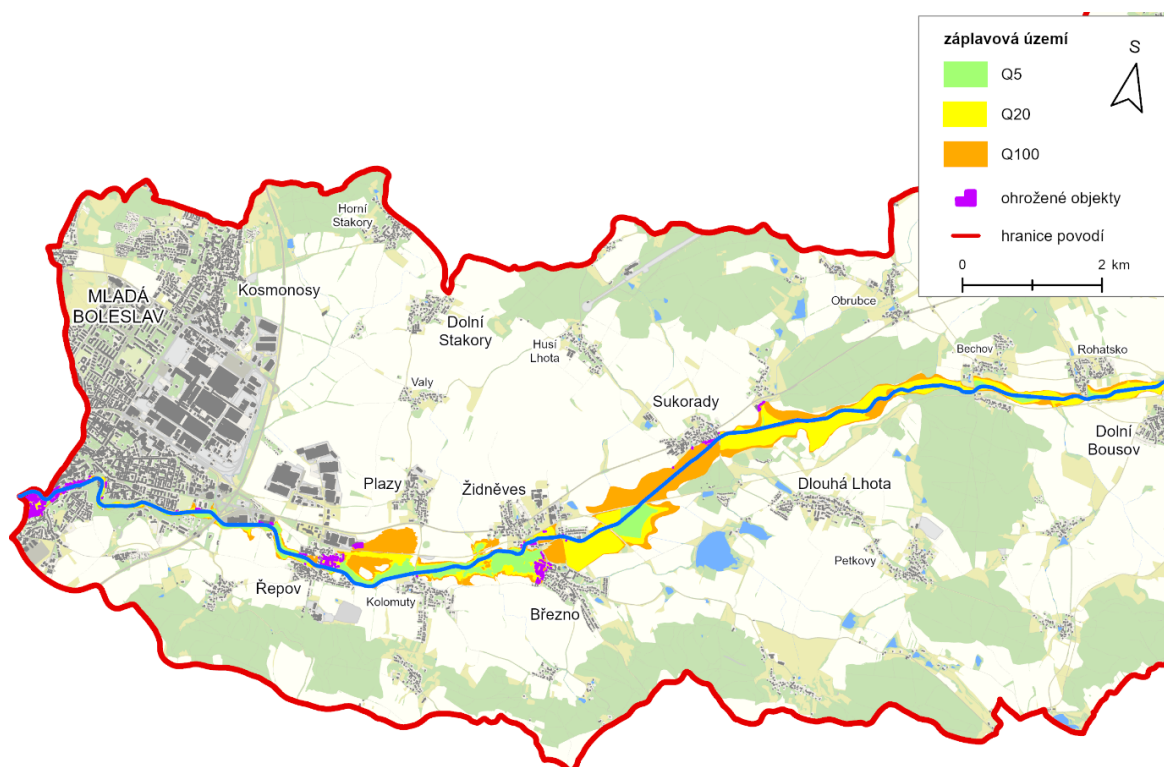
Obr. 40: Porovnání ročního úhrnu srážek a průměrných ročních průtoků v povodí Klenice v období 1981-2023. (zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)



## 7. DISKUZE

Jak vyplývá ze předchozích kapitol a rešerše literatury, povodí Klenice je silně závislé na stavbě geologického podloží, které ovlivňuje odtokové poměry. Infiltrace a zadržení srážkové vody v povodí závisí na aktuálním stavu půdního pokryvu, který je formován nasycením, teplotními poměry, vegetačním obdobím či mírou hospodářského využití. V případě vysokých srážkových úhrnů během krátkého časového období se v povodí projevuje eroze, která může způsobovat zanášení koryta toku a měnit jakost vody splachy z povodí.

Extrémní srážkové úhrny způsobují povodňové situace. Jejich projevy mohou být umocňovány předchozím nasycením půd, nebo tající sněhovou pokrývkou z povodí. Pro měrný profil na Klenici v Mladé Boleslavi nejsou stanoveny běžné hodnoty pro stupně povodňové aktivity. ČHMÚ definoval pouze extrémní povodeň, která nastává, pokud hladina přesáhne výšku 250 cm. Pro porovnání, sucho je definované vodním stavem 36 cm. Aby bylo možné určit přesné charakteristiky pro jednotlivé stupně povodňové aktivity, bylo by zapotřebí určit konsumpční křivku závislou na průřezu korytem. Nejvyšší průměrný denní průtok nastal 9. prosince 1981, kdy dosáhnul denního průměru 27 m<sup>3</sup>/s. Namísto stupňů povodňové aktivity daných vodním stavem lze pro zvýšené průtoky uvažovat míru rozlivu do říční nivy. K tomu jsou vymezena záplavová území, odvíjející se od N-letých průtoků. V povodí Klenice jsou vymezena záplavová území pro Q5, Q20 a Q100 (stoletá voda), která jsou vyznačena v obrázku 41 níže. Stoletá voda ohrožuje 644 objektů zejména v obcích Řepov, Březno, Židněves, Sukorady a objekty blízko soutoku Klenice s Jizerou v Mladé Boleslavi. Pokrokem moderní doby lze částečně zamezit jejich vyplavení a včas varovat díky několikadenní předpovědi počasí, která je však vždy pouze orientační.



Obr. 41: Záplavová území a objekty ohrožené zatopením při stoleté vodě. (zdroj: AOPK ČR, DIBAVOD)

Opačným hydrologickým extrémem je sucho, které má za následek nejnižší zaznamenaný průtok vodním tokem s průměrnou denní hodnotou  $0,0098 \text{ m}^3/\text{s}$  ze dne 27.července 2019. Na základě zpracovaných dat v předchozí kapitole, kde bylo hydrologické sucho vyhodnoceno metodou počtu suchých dní a metodou nedostatkových objemů, byl právě rok 2019 zhodnocen jako nej extrémnější. Suché období s průtokem nižším než limitní  $0,0591 \text{ m}^3/\text{s}$  trvalo od konce července téměř nepřetržitě až do října. V závažnosti sucha hrál roli předcházející hydrologický rok, který byl hned druhým nejsušším za sledované období let 1981-2023. Významně suché byly také hydrologické roky 1989 a 2015, kterými bylo zahájeno několikaleté suché období. V případě roku 2015 se jedná o období setrvávající do současnosti, v němž však roky 2018 a 2019 násobně vynikaly. Pro sledované období platí, že 85 % suchých dní nastalo v červenci, srpnu nebo září. Tyto měsíce se průměrně podílejí pouhými 18 % na celkovém ročním odtoku.

Různé metody vyhodnocení znamenají různé výsledky a jak tvrdí Lloyd-Hughes (2014), neexistuje žádná univerzální definice sucha právě z důsledků rozmanitých projevů v souvislosti s pozorovanými jevy. Za mimořádně málo vodné roky hodnocené dle vodnosti jednotlivých let jsou v povodí Klenice kromě roku 2019 také roky 1991, 2004 a

2016. Výpočet vodnosti dle Čegodajeva hodnotí vodnost jednotlivých let pouze na základě průtoků daného toku, nicméně pro širší pohled je třeba znát situaci napříč rozsáhlejšími územími. Například Juha (2022) ve své práci věnující se povodí řeky Liboc v Doupovských horách zjistil mimořádně suché roky 2004 a 2020. Rok 2004 se projevil jako mimořádně málo vodný i v povodí Horní Mže (Lukášová, 2020). Naopak v povodí Loděnice byly takto zhodnoceny roky 2007, 2008, 2017 a 2018 (Burian, 2019). Při analýze metodami počtu suchých dní a nedostatkových objemů vyšly hydrologicky nejsušší roky 2018 a 2019, zatímco na Loděnici jimi byly roky 2017 a 2018 a v povodí Liboce roky 2018-2020. Při vyhodnocení suchých období je vždy třeba dbát regionálních podmínek a faktorů ovlivňujících určité povodí.

Sucho v povodí Klenice, majoritně zapříčiněné srážkovým deficitem, má vliv na zemědělství, jakožto velmi důležité odvětví v povodí. Orná půda zabírající téměř polovinu rozlohy bývá v období sucha zatěžována vysokým nárokem rostlin na vodu ve vegetačním období, vysokými teplotami způsobujícími nárůst evapotranspirace a malou kapacitou pro nasycení v případě intenzivních letních srážek. Některá pole jsou zavlažována uměle, čímž je čerpána povrchová nebo podzemní voda a rozptylována na velké orné plochy, kde je však náchylnější k výparu. V některých povodích jsou vybudovány vodní nádrže, jimiž je v období hydrologického sucha nadlejšován průtok a mohou sloužit jako zdroje pro zavlažování zemědělských ploch. V povodí Klenice dříve bývaly rozlehlé vodní plochy, nicméně v současné době by byl problém s jejich napouštěním a zásobováním v důsledku nízké vodnosti Klenice. V souvislosti s plánovanou výstavbou vodních ploch na dolním toku Klenice na území města Mladá Boleslav s plánovaným objemem 7210 m<sup>3</sup> je třeba uvažovat zachování dostatečného průtoku pro udržení funkcí vodního toku v nižších nadmořských výškách povodí. V letních měsících by se neměl průtok blížit minimálnímu zůstatkovému průtoku 0.0591 m<sup>3</sup>/s, který je stanoven jako hranice sucha. Napouštění rybníku by tedy nemělo zasáhnout toto suchem rizikové období, naopak by mělo proběhnout během vodných měsíců, jimiž jsou leden až březen. Každý hydrologický rok je ovšem jiný, je tedy nutné věnovat pozornost aktuální situaci a potřebám vodních ekosystémů v povodí. Povodí ohrožuje rychlost odtoku z povodí, což je jednak dáno geologickou stavbou, ale také antropogenními úpravami koryta toku. V místech historického Velkého rybníka mezi obcemi Březno a Sukorady pokrývajícího plochu přes 100 ha zůstaly po jeho vypuštění několik kilometrů dlouhé zcela napřímené úseky toku Klenice a jejich přítoků. V případě, že by tok v daném místě disponoval větším počtem

zákrutů, měla by voda v případě přírodě blízkého tvaru koryta možnost komunikovat s podzemními vodami přes rozsáhlejší zónu hyporeálu a řádově tak prodloužit dobu zdržení vody v povodí.

## 8. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo zhodnocení odtokových poměrů a vyhodnocení suchých období v povodí řeky Klenice v období hydrologických let 1981-2023. Rešerše literatury pojednávající o charakteristice zájmového území, faktorech ovlivňujících odtok vody z povodí a o vymezení, příčinách a důsledcích sucha je uvedena v první teoretické části práce. Analytická část se zabývá srážkoodtokovým procesem a vyhodnocením hydrologicky suchých let pomocí metod suchých dní a nedostatkových objemů z dat měrného profilu Mladá Boleslav poskytovaných ČHMÚ.

Na základě rešerše a výsledků práce se potvrdila přímá spojitost vzniku hydrologického sucha jakožto důsledku nedostatečných atmosférických srážek. Hydrologicky suchá období se vyskytovala i v minulosti, ale s příchodem nového tisíciletí vzniklo dlouhodobé období sucha s téměř každoročním letním obdobím nízkých průtoků v Klenici. Nejnižší průměrný denní průtok výústním profilem před soutokem Klenice s Jizerou byl naměřen 27. července 2019, kdy hodnota činila  $0.0098 \text{ m}^3/\text{s}$ . Během sledovaného období byly nejnižší průtoky zaznamenávány v srpnu a září s tím, že letní měsíce se podílejí na pouhých 19 % celkového ročního odtoku. Nejméně vodným byl rok 2019, v němž nastalo 89 dní pod hranicí minimálního průtoku  $Q_{355}$  označovaného za sucho, a došlo i k nejvyšším nedostatkovým objemům. Druhým hydrologicky nejsušším rokem byl rok 2018 s 81 hydrologicky suchými dny, které během sledovaného období nastávaly nejčastěji v červenci, srpnu a září.

S nízkými průtoky a vyschlou půdou v povodí souvisí zhoršená kvalita vody protékající korytem vodního toku. V povodí Klenice je velké množství čistíren odpadních vod vypouštějících vysoké objemy především v souvislosti s hojným zastoupením průmyslových a zemědělských ploch. Velké množství organického znečištění se do povodí dostává z kanalizačních výpustí bez centrálního čištění odpadních vod a z řady často nezaznamenaných dešťových svodů přinášejících splachy ze zastavěné oblasti i obdělávaných polí. Pro zlepšení kvality vody v toku Klenice by bylo třeba zamezit vypouštění nečištěných odpadních a splaškových vod přímo do toku a rozšířit monitorovací síť s rozbory jakosti vody v různých oblastech povodí.

## Přílohy



-  povrchový tok
-  koryto bez vody
- 1, 2 – prameny dle dostupných map

Příloha 1: Situační mapa prameniště říčky Klenice. (zdroj: Mapy.cz, vlastní zpracování)

## Seznam literatury

AMBROS, Z. (1989): Ekologické systémy regionální a nadregionální úrovně. – In: Biogeografie a její aplikace, Sborn. Prací Geogr. Úst. ČSAV 24: 57–63.

HRNČIAROVÁ, Tatiana, Peter MACKOVČIN, Ivan ZVARA, et al. Atlas krajiny České republiky / Landscape Atlas of the Czech Republic. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR, Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i., 2009. ISBN 978-80-85116-59-5

BALATKA, Břetislav. Hory a nížiny: Zeměpisný lexikon ČSR. Praha: Academia, 1987.

BALATKA, Břetislav; KALVODA, Jan. 2006. Geomorfologické členění reliéfu Čech: Geomorphological regionalization of the relief of Bohemia. Praha: Kartografie Praha. ISBN 80-7011-913-6.

BALATKA, Břetislav a SLÁDEK, Jaroslav. Pleistocenní vývoj údolí Jizery a Orlice. Rozpravy Československé akademie věd. Ročník 75, sešit 11. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1965.

BIČÍK, Ivan a Vít JANČÁK. Transformační procesy v Českém zemědělství po roce 1990. Praha: UK Praha, 2005, 103 s. ISBN 80-86561-19-4.

BÍNA, Jan. Zajímavosti reliéfu Čech, Moravy a Slezska. Praha: Petrklíč, 2019. ISBN 978-80-7229-689-7.

BRÁZDIL, Rudolf, TRNKA, Miroslav a kolektiv. Sucho v českých zemích: minulost, současnost, budoucnost. Historie počasí a podnebí v českých zemích, svazek XI. Brno: Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i., 2015.

BUČEK, A. & LACINA, J. (1979): Biogeografická diferenciacie krajiny jako jeden z ekologických podkladů pro územní plánování. – Územní plánování a urbanismus, Brno, 6: 382–387.

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

CULEK, M. (1995): Biogeografická regionalizace České republiky. – Ochr. Přír., Praha, 50: 147–152.

CULEK, Martin, GRULICH, Vít, LAŠTŮVKA, Zdeněk a DIVÍŠE, Jan. Biogeografické regiony České republiky. Geoinovace. Brno: Masarykova univerzita, 2013. ISBN 978-80-210-6693-9. DOI 10.5817/CZ.MUNI.M210-6693-2013.

CULEK, M. (1995): Biogeografická regionalizace České republiky. – Ochr. Přír., Praha, 50: 147–152.

CULEK, M. et al. (2005): Biogeografické členění České republiky. Vol. 2. – AOPK ČR, Praha.

VENERA, Zdeněk, ed. Rebilance zásob podzemních vod. Závěrečná zpráva. Příloha č. 2/33: Stanovení zásob podzemních vod. Hydrogeologický rajon 4430 – Jizerská křída levobřežní. Editor: Iva Kůrková. Praha: Česká geologická služba, 2016.

ČHMÚ. Suché období 2014-2017: vyhodnocení, dopady a opatření. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2018. ISBN 978-80-87577-81-3.

ČUBAN, Miroslav a PAVLÍK, Otakar. Stručná historie odkanalizování města Mladé Boleslavi: 1000 let od počátků odkanalizování přemyslovského ostrožního hradiště - 435 (1574-2009) let od první písemné zprávy o odpadní stoce města - 100 (1909-2009) let od ukončení vypouštění odpadních vod na Krásnou louku a do Klenice - 50 (1959-2009) let od zahájení výstavby soustavné kanalizace a první čistírny odpadních vod města - 15 (1994-2009) let akciové společnosti Vodovody a kanalizace Mladá Boleslav. Mladá Boleslav: Vodovody a kanalizace Mladá Boleslav, 2009. ISBN 978-80-254-7430-3.

DAŇHELKA, Jan; KUBÁT, Jan a ŠERCL, Petr. Sucho na území České republiky v roce 2018. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2019. ISBN 978-80-87577-98-1.

DEMEK, Jaromír. Geomorfologie českých zemí. Praha: Československá akademie věd, 1965.

DUB, Oto a NĚMEC, Jaromír. Hydrologie. Technický průvodce. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1969.

FILIP, Bedřich. Podzemní vody a prameny v okolí Jičína na území listu speciální mapy Jičín 3855. Vodopis Československé republiky. Sv. 1967, ř. 7, seš. 7. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1954.

GLEICK, Peter H., ed. Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources. Oxford: Oxford University Press, 1993. ISBN 0-19-507628-7.



- HERBER, Vladimír. Cvičení z hydrologie. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1984.
- HERBER, Vladimír a SUDA, Jiří. Cvičení z fyzické geografie I: hydrologie. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-7082-810-2.
- HYNIE, O. Hydrogeologie ČSSR. Práce ČSAV. Sekce geologicko-geografická. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1961.
- CHÁB, Jan; BREITER, Karel; FATKA, Oldřich; HLADIL, Jindřich; KALVODA, Jan et al. Stručná geologie základu Českého masivu a jeho karbonského a permského pokryvu. Vydání 2. Praha: Česká geologická služba, 2020. ISBN 978-80-7075-975-2.
- CHLUPÁČ, Ivo. 2002. Geologická minulost České republiky. Praha: Academia. ISBN 80-200-0914-0.
- CHYTRÝ M. (2012): Vegetation of the Czech Republic: diversity, ecology, history and dynamics. – Preslia, Praha, 84: 427–504.
- JANČÁK, Vít a GÖTZ, Antonín. Územní diference českého zemědělství a její vývoj. Praha: Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, 1997.
- JAVŮREK, Miloslav: Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění. Výzkumný ústav rostlinné výroby 2008
- JELÉN, Václav. Podzemní vody v české křídě: (se zvláštním zřetelem na jejich jímání v okolí Mladé Boleslavě). Práce a studie. Praha: Ústavy hydrologický a hydrotechnický, 1940.
- JUHA, O. (2022): Odtokový režim se zaměřením na hydrologické sucho v povodí řeky Liboc. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.
- KRÁSNÝ, J. (1981): Mapa chemismu podzemních vod ČSSR v měřítku 1:200 000 ČSSR, list 13 Hradec Králové. - Ústř. Úst. geol. Praha.
- KRÁSNÝ, Jiří. Podzemní vody České republiky: regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod. Praha: Česká geologická služba, 2012. ISBN 978-80-7075-797-0.
- KUKAL, Zdeněk. Hrady Čech a Moravy: z čeho jsou a na čem stojí: hrady, zámky, tvrze, kláštery. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-3745-4.

KUKAL, Zdeněk; NĚMEC, Jan a POŠMOURNÝ, Karel. Geologická paměť krajiny. Vyd. 2. Praha: Česká geologická služba, 2014. ISBN 978-80-7075-853-3.

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.

Matoušek, V.: Poznávání odtokových vlastností malých povodí za regionálních dešťů, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce, 2010, 103 s. ISBN 978-80-87402-08-5

MÍSAŘ, Zdeněk. Geologie ČSSR. Učebnice pro vysoké školy. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1983.

MÍSAŘ, Zdeněk. Regionální geologie ČSSR: geologie českého masivu. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1969.

Ministerstvo zemědělství České republiky. Meziřezortní komise VODA-SUCHO. Koncepce ochrany před následky sucha pro území České republiky na období 2023–2027. 2023

NĚMEČEK, Jiří a kolektiv. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Praha: 2008.

NETOPIIL, Rostislav. Fyzická geografie I: Hydrologie. Limnologie. Oceánografie. Praha: Nakladatelství techn. lit., 1981.

PAVELKOVÁ CHMELOVÁ, Renata a FRAJER, Jindřich. Základy hydrologie. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, Katedra geografie, 2013.

PAVLÍK, Otakar. Věžové vodojemy na Mladoboleslavsku. Mladá Boleslav: Vodovody a kanalizace Mladá Boleslav, 2012.

PEKAŘ, Josef, RYANTOVÁ, Marie (ed.). Kniha o Kosti: kus české historie. Vyd. 5., v Elka Press (a třetího dílu) 1. Praha: Elka Press, 1998. ISBN 80-902353-3-6.

PETRÁNEK, Jan, Jiří BŘEZINA, Eva BŘÍZOVÁ, Jan CHÁB, Jan LOUN a Přemysl ZELENKA. Encyklopedie geologie. Praha: Česká geologická služba, 2016, 352 s. ISBN 978-80-7075-901-1.

POLÁKOVÁ, Šárka, KUBÍK, Ladislav, MALÝ, Stanislav a NĚMEC, Pavel. Monitoring zemědělských půd v České republice 1992–2007. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 2011.

QUITT, Evžen. 1971. Klimatické oblasti Československa. [Praha]: Academia. Studia geographica, 16.

SATOH, Yusuke et al. A quantitative evaluation of the issue of drought definition: a source of disagreement in future drought assessments. *Environmental Research Letters*. 2021, roč. 16, s. 104001. DOI: 10.1088/1748-9326/ac2348

SLAVÍK, B. (1977): Floristicko-fytogeografická charakteristika Českého ráje z hlediska ochrany přírody. – *Bohem. Centr.*, Praha, 6: 43–123.

SOUKALOVÁ, Eva a MUZIKÁŘ, Radomír. Hydrologické sucho v podzemních vodách. Brno: Český hydrometeorologický ústav, 2015.

SUDA, Jiří a HERBER, Vladimír. Cvičení z fyzické geografie I: hydrologie. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-7082-810-2.

SYROVÝ, S. Atlas podnebí Československé republiky. Praha: Ústřední správa geodézie a kartografie, 1958.

ŠOLC, Václav. Mlýny na Klenici a v okolí. 2. rozšířené vydání. Mladá Boleslav: vlastní náklad autora, 2015. ISBN 978-80-260-8677-2.

TALLAKSEN, Lena M., VAN LANEN Henny A.J. 2023. *Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*, 2nd Edition. Elsevier Science. ISBN 9780128190821

TOLASZ, Radim. 2007. Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia. Praha: Český hydrometeorologický ústav. ISBN 978-80-86690-26-1.

TOMÁŠEK, Milan. Půdy České republiky. 4. vyd. Praha: Česká geologická služba, 2003. ISBN 978-80-7075-688-1.

UNESCO World Water Assessment Programme (WWAP). The United Nations World Water Development Report. 2023.

WENDT J.I., KRÖNERa., FIALA J., TODT W. (1993): Evidence from zircon dating for existence of approximately 2,1 Ga old crystalline basement in southern Bohemia, Czech Republic. - Geol. Rundsch. 82, 1, 42-50. Stuttgart.

WILHITE, Donald a Roger S. PULWARTY, eds. Drought and Water Crises: Integrating Science, Management, and Policy, Second Edition. Boca Raton: CRC Press, 2017. ISBN 978-1-315-26555-1. DOI: 10.1201/b22009

YEVJEVICH, V. (1967): An objective approach to definition and investigations of continental hydrologic droughts. Hydrology papers, 23, Fort Collins, 18 s.

ZLATNÍK, A. (1976): Přehled skupin typů geobiocénů původně lesních a křovinných ČSSR. – Zpr. Geogr. Úst. Čs. Akad. Věd, Brno, 13/3-4: 55–64.

## Datové a mapové zdroje

AOPK ČR: Agentura ochrany přírody a krajiny:

<https://gis.nature.cz/arcgis/rest/services/PrirodniPomery> (cit. 12.7.2024)

ARCDATA PRAHA: ArcČR 500, verze 3.3.

<https://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/arccr-500> (cit. 9.7.2024)

Copernicus: CORINE Land Cover. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (cit. 18.7. 2024).

Český statistický úřad: Statistické georeporty: <https://geodata.statistika.cz/as/georeporty> (cit. 26.7.2024)

ČGS: Česká geologická služba, WMS služby. <http://www.geology.cz> (cit. 3.7. 2024)

ČHMÚ: Český hydrometeorologický ústav. <https://www.chmi.cz/historicka-data> (cit. 29.6. 2024).

ČÚZK: Archivní mapy – První vojenské mapování: <https://ags.cuzk.cz/archiv> (cit. 28.5.2024)

ČÚZK: Geoportál, prohlížeč služby – WMS. <https://geoportal.cuzk.cz/> (cit. 23.7. 2024).

DIBAVOD: Digitální báze vodohospodářských dat, VÚV T. G. M. <https://dibavod.cz> (cit. 30.5.2024).

ISVS: Vodohospodářský informační portál: <https://www.voda.gov.cz> (cit. 23.6.2024)

Mapový portál Královéhradeckého kraje: Plán rozvoje vodovodů a kanalizací PRVK: <https://prvk.khk.cz/prvk/mapy> (cit. 19.7.2024)

Mapový portál Středočeského kraje: Plán rozvoje vodovodů a kanalizací: [https://gis.kr-stredocesky.cz/js/ozp\\_prvkuk](https://gis.kr-stredocesky.cz/js/ozp_prvkuk). (cit. 19.7.2024)

Mapy.cz: Turistická mapa. <https://mapy.cz> (cit. 3. 5. 2024).

Ministerstvo zemědělství: <https://eagri.cz> (cit. 9.7. 2024)

Ministerstvo životního prostředí: <https://mzp.cz> (cit. 9.7. 2024)

OSM: OpenStreetMap: <https://www.openstreetmap.org> (cit. 14.6.2024)

VÚMOP: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd: <https://meliorace.vumop.cz> (cit. 17.7.2024)

WHO: World Health Organization – Drought: <https://www.who.int/health-topics/drought> (cit. 24.7.2024)