

UNIVERZITA KARLOVA

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzické geografie a geoekologie

Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užitá geofyziky

Studijní program: Hydrologie a hydrogeologie



Bc. Ondřej Juha

**DOPAD HYDROLOGICKÉHO SUCHA
NA VODOHOSPODÁŘSKOU BILANCI ŘEKY LIBOC**

Impact of hydrological drought on the water balance of the Liboc River

Diplomová práce

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

Praha 2025

Zadání bakalářské práce

Dopad hydrologického sucha na vodohospodářskou bilanci řeky Liboc

Impact of hydrological drought on the water balance of the Liboc River

Cíle práce

- Charakteristika přírodních podmínek v povodí řeky Liboc se zaměřením jejich vlivu na odtokový proces
- Analýza vlivu antropogenních faktorů na povrchový odtok se zaměřením na období sucha
- Zpracování měrných křivek odtoku pro vybrané měrné profily
- Vyhodnocení odběrů vody v povodí a jejich vlivu na hydrologickou bilanci povodí
- Analýza vývoje vodních stavů na nádrži Sedlec.

Výzkumné otázky:

Jaký vliv má výpar hydrologickou bilanci povodí Liboce?

Jaké faktory mají největší vliv na výpar?

Jak ovlivňují odběry vody na závlahy vodohospodářskou bilanci? Kdy jsou odběry vody největší?

Použité pracovní metody, zájmové území a vybrané datové zdroje

Úvodní část této práce je věnována fyzickogeografické charakteristice povodí vodního toku Liboc. Navazující teoretická kapitola se zabývá problematikou sucha, které představuje stále aktuálnější environmentální fenomén. V této části je podrobně popsán mechanismus vzniku sucha, jeho typologie a dopady na životní prostředí. Dále je systematicky rozebrána problematika vodní bilance, přičemž zvláštní pozornost je věnována jednotlivým složkám, zejména procesu výparu.

Praktická část práce je zaměřena na analýzu jednotlivých složek vodohospodářské bilance na největší vodní ploše v povodí Liboce – vodní nádrži Sedlec. V této lokalitě byly detailně hodnoceny jednotlivé prvky bilance. Důraz byl kladen na kvantifikaci přítoku a odtoku, sezónní kolísání objemu vody, odběry vody pro účely závlah a vyhodnocení vláhové bilance. Výpočty byly porovnány s hodnotami získanými z měření pomocí výparoměru. Vstupní data byla poskytnuta převážně správcem povodí, státním podnikem Povodí Ohře. Významnou část dat se podařilo získat díky nově instalovanému monitorovacímu systému Katedry fyzické geografie a geoekologie PřF UK.

Tato práce byla realizována v rámci projektu TAČR PERUN – Predikce, hodnocení a výzkum citlivosti vybraných systémů na sucha a změnu klimatu v České republice.

Klíčová slova: povodí řeky Liboc; hydrologické sucha; výpar; měrné křivky; odběry vody; závlahy; vodohospodářská bilance; dopady hydrologického sucha

Datum zadání: 7. 1. 2022

Jméno studenta: Ondřej Juha

Podpis studenta:

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

Podpis vedoucího práce:

Prohlášení

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

V Praze dne 28.4. 2025

.....

Bc. Ondřej Juha

Poděkování

Rád bych vyjádřil své upřímné poděkování vedoucímu diplomové práce prof. RNDr. Bohumíru Janskému, CSc., za odborné vedení, věnovaný čas, cenné rady a konstruktivní připomínky, které významně přispěly k realizaci této práce. Dále děkuji RNDr. Juliu Česákovi za odbornou pomoc při terénních měřeních a za podnětné konzultace, které obohatily praktickou část práce. Také si velmi vážím spolupráce s Ing. Michalem Tanajewskim, vedoucím vodohospodářského dispečinku státního podniku Povodí Ohře a děkuji mu za poskytnutá data a vstřícný přístup. Mé poděkování patří rovněž rodině Zápotockých za ochotu při instalaci a provozu monitorovacího systému a za sdílení cenných dat. Na závěr bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za jejich podporu během studia a za pomoc při terénních pracích, která byla pro tuto práci neocenitelná.

Abstrakt

Sucho představuje v podmínkách České republiky stále výraznější problém, přičemž v důsledku probíhající klimatické změny, kdy se očekává další nárůst jeho četnosti a intenzity. Vzniká především v důsledku nedostatku srážek a je dále umocňováno zvýšenou evapotranspirací, což vede k narůstajícímu vodnímu deficitu v krajině. Povodí vodního toku Liboc, nacházející se ve srážkovém stínu Krušných hor, se vyznačuje podprůměrnými srážkovými úhrny ve srovnání s klimatologickým normálem České republiky.

Tato práce se zaměřuje na hodnocení jednotlivých složek vodní bilance v povodí řeky Liboc se zvláštním důrazem na vývoj sucha a dynamiku výparu. Teoretická část zahrnuje literární rešerši fyzickogeografických charakteristik území a současného vědeckého poznání o typech sucha, jejich příčinách, důsledcích a metodách hodnocení. Zvýšená pozornost je věnována ztrátě vody výparem a odběrům vody pro zemědělské účely.

Praktická část práce přináší kvantitativní analýzu vstupních a výstupních složek vodní bilance a hodnocení sucha na vodním toku Liboc a jeho přítoku Dubá I. Podrobná analýza se týká let 2023 a 2024, kdy probíhalo i měření výparu. Součástí práce je také analýza faktorů ovlivňujících intenzitu výparu v daném povodí.

Klíčová slova: povodí řeky Liboc; hydrologické sucho; výpar; měrné křivky; odběry vody; závlahy; vodohospodářská bilance; dopady hydrologického sucha

Abstract

Drought is an increasingly significant problem in the Czech Republic, and as a result of ongoing climate change, its frequency and intensity are expected to increase further. It occurs primarily as a result of a lack of precipitation and is further exacerbated by increased evapotranspiration, which leads to an increasing water deficit in the landscape. The Liboc watershed, located in the precipitation shadow of the Ore Mountains, is characterized by below-average precipitation totals compared to the climatological normal of the Czech Republic.

This work focuses on the evaluation of individual components of the water balance in the Liboc River basin with special emphasis on the development of drought and the dynamics of evaporation. The theoretical part includes a literature search of the physical and geographical characteristics of the area and current scientific knowledge about the types of drought, their causes, consequences and evaluation methods. Increased attention is paid to water loss through evaporation and water withdrawals for agricultural purposes.

The practical part of the work brings a quantitative analysis of the input and output components of the water balance and an assessment of drought on the Liboc watercourse and its tributary Dubá I. The detailed analysis concerns the years 2023 and 2024, when evaporation measurements were also carried out. The work also includes an analysis of factors influencing the intensity of evaporation in a given basin.

Keywords: Liboc river basin; hydrological drought; evaporation; gauge curves; water abstraction; irrigation; water balance; impacts of hydrological drought

Obsah

Seznam obrázků	11
Seznam tabulek	14
Seznam příloh.....	15
Seznam zkratk	16
1 Úvod.....	17
2 Charakteristika zájmové oblasti	19
2.1 Geologické poměry.....	20
2.2 Hydrografie povodí.....	21
2.3 Hydrogeologické poměry	22
2.4 Geomorfologické poměry	23
2.5 Biogeografické poměry	24
2.6 Pedologické poměry	25
2.7 Klimatické poměry	26
3 Sucho.....	29
3.1 Rozdělení sucha.....	30
3.1.1 Meteorologické sucho	31
3.1.2 Zemědělské sucho	31
3.1.3 Hydrologické sucho	32
3.1.4 Socioekonomické sucho.....	34
3.1.5 Ekologické sucho	35
3.2 Příčiny sucha.....	35
4 Vodní bilance	37
4.1 Vodohospodářská bilance.....	37
4.2 Hydrologická bilance.....	38
4.3 Vláhová bilance	39

4.4 Hlavní složky vodní bilance	40
4.4.1 Srážky	40
4.4.2 Výpar.....	40
4.4.3 Infiltrace	45
4.4.4 Odběry povrchových vod.....	46
5 Efektivnější typy zavlažování	48
5.1 Zkušenosti ze zahraničí - Izrael	49
6 Vodní nádrž Sedlec	50
7 Přírodní rezervace Sedlec.....	52
8 Závlahy a meliorace v povodí	53
9 Zákazy odběru povrchových vod	57
10 Data a metody.....	58
10.1 Změření objemu nádrže	59
10.1.1 Zpracování batymetrických dat.....	61
10.2 Měření přítoku do nádrže	62
10.3 Měření odběrů vody z nádrže	66
10.4 Měření výparu.....	67
11 Vodohospodářská bilance VN Sedlec	70
11.1 Odběry vody z nádrže.....	72
11.2 Přítok vody do nádrže.....	76
11.2.1 Hydrologický rok 2023	76
11.2.2 Hydrologický rok 2024	78
11.3 Odtok vody z nádrže.....	80
11.3.1 Hydrologický rok 2023	80
11.3.2 Hydrologický rok 2024	81
11.4 Výpočet hydrologické bilance	82
11.5 Hydrologická bilance roku 2023	83

11.5.1 Vztah výparu a srážek v roce 2023	85
11.6 Hydrologická bilance roku 2024	87
11.6.1 Vztah výparu a srážek v roce 2024	89
12 Dopad hydrologického sucha na vodohospodářskou bilanci v povodí Liboce	92
12.1 Hydrologický rok 2023.....	94
12.2 Hydrologický rok 2024.....	95
13 Faktory ovlivňující výpar	96
13.1 Teplota vzduchu	96
13.2 Relativní vlhkost vzduchu	100
13.3 Teplota vody.....	102
13.4 Vliv slunečního záření na výpar	104
13.5 Vliv rychlosti a směru větru na výpar	106
14 Výsledky a diskuze.....	109
15 Závěr.....	113
16.1 Zdroje	115
16.2 Datové zdroje	125
Přílohy	126

Seznam obrázků

Obrázek 1: výškopisná a polohopisná mapa povodí řeky Liboc a jejího okolí s vyznačením měřících stanic.....	19
Obrázek 2: výškopisná a polohopisná mapa povodí řeky Liboc.....	20
Obrázek 3: geologické poměry povodí řeky Liboc	21
Obrázek 4: geomorfologické členění povodí řeky Liboc	24
Obrázek 5: bioregiony v povodí řeky Liboc	25
Obrázek 6: pedologické poměry v povodí řeky Liboc	26
Obrázek 7: klimatické poměry podle Quitta v povodí řeky Liboc.....	28
Obrázek 8: odběry povrchové vody v Česku mezi lety 1980 a 2023	46
Obrázek 9: hráz vodní nádrže Sedlec	50
Obrázek 10: rozdělovací objekt na toku Dubá	50
Obrázek 11: přírodní koupaliště Mašťov	51
Obrázek 12: odvodňované a zavlažované plochy v povodí řeky Liboc.....	53
Obrázek 13: zemědělská krajina, v pozadí stroj na sklizení okurek	53
Obrázek 14: výřez z vodohospodářské mapy s vyznačením tras potrubí pro závlahový systém	54
Obrázek 15: výřez z vodohospodářské mapy s vyznačením tras potrubí pro závlahový systém	54
Obrázek 16: akumulční nádrž Vilémov	55
Obrázek 17: vodohospodářský objekt u akumulční nádrže Vilémov.....	55
Obrázek 18: zavlažovací systémy	56
Obrázek 19: zjištěný odběr na toku Dubá II	57
Obrázek 20: ADCP a RTK stanice.....	60
Obrázek 21: instalace měřící stanice Dubá I.....	63
Obrázek 22: konsumpční křivka pro stanici Dubá I.....	64
Obrázek 23: měření průtoků hydrometrickou vrtulí	65
Obrázek 24: měření průtoků objemovou metodou.....	65
Obrázek 25: odtokový kanál s měrným přelivem	66
Obrázek 26: šachta s vodoměrem.....	66
Obrázek 27: výkopové práce minibagrem	67
Obrázek 28: příprava instalace výparoměru.....	67

Obrázek 29: výparoměr před napuštěním vodou	68
Obrázek 30: vývoj hladiny VN Sedlec mezi lety 2013 a 2024	70
Obrázek 31: vliv odběrů vody na vodohospodářskou bilanci VN Sedlec.....	71
Obrázek 32: struktura odběrů vody z VD Sedlec mezi lety 2014 až 2024 v porovnání s úhrny ročních srážek.....	72
Obrázek 33: průměrné denní hodnoty odběru vody v roce 2023	74
Obrázek 34: průměrné denní hodnoty odběru vody v roce 2024	75
Obrázek 35: průtok a suchá období na stanici Dubá I v roce 2023.....	77
Obrázek 36: průtoky a suchá období na stanici Dubá I v hydrologickém roce 2024	79
Obrázek 37: čára překročení na stanici Dubá I pro hydrologický rok 2024	79
Obrázek 38: průměrné měsíční průtoky na stanici Dubá I v roce 2024	80
Obrázek 39: odtoky z VN Sedlec v hydrologickém roce 2023 vzhledem k hranici minimálního zůstatkového průtoku	81
Obrázek 40: odtoky z VN Sedlec v hydrologickém roce 2024 vzhledem k hranici minimálního zůstatkového průtoku	82
Obrázek 41: hydrologická bilance VN Sedlec v roce 2023	84
Obrázek 42: naměřený měsíční úhrn výparu a srážek na stanici Sedlec v hydrologickém roce 2023	85
Obrázek 43: průběh hodnot spočítané a naměřené vláhové bilance v hydrologickém roce 2023	86
Obrázek 44: vodohospodářská bilance VN Sedlec v roce 2024	88
Obrázek 45: naměřený měsíční úhrn výparu a srážek na stanici Sedlec v hydrologickém roce 2024.....	89
Obrázek 46: průběh hodnot spočítané a naměřené vláhové bilance v hydrologickém roce 2024	91
Obrázek 47: suché dny a množství odebrané vody v letech 2015 až 2024.....	93
Obrázek 48: nedostatkové objemy a množství odebrané vody v letech 2015 až 2024.....	93
Obrázek 49: úhrn srážek na stanici Maš'ov v letech 2004 až 2023	93
Obrázek 50: vývoj průtoků, vláhového deficitu a hydrologického sucha na stanici Libočany	94
Obrázek 51: vývoj průtoků, vláhového deficitu a hydrologického sucha na stanici Libočany	95
Obrázek 52: závislost vybraných meteorologických veličin na výparu.....	96
Obrázek 53: vztah mezi výparem a teplotou vzduchu na stanici Vilémov v roce 2023	97
Obrázek 54: vztah mezi výparem a teplotou vzduchu na stanici Vilémov v roce 2024	97

Obrázek 55: vztah mezi výparem a teplotou vzduchu na stanici Dobřenec v roce 2023	98
Obrázek 56: vztah mezi výparem a teplotou vzduchu na stanici Dobřenec v roce 2024.....	98
Obrázek 57: průměrné roční teploty na stanici Tušimice	99
Obrázek 58: průměrné roční teploty na stanici Žatec	99
Obrázek 59: průměrné měsíční teploty na stanici Dobřenec.....	100
Obrázek 60: vztah mezi výparem a relativní vlhkostí vzduchu v roce v roce 2023.....	100
Obrázek 61: vztah mezi výparem a relativní vlhkostí vzduchu v roce 2024	101
Obrázek 62: průměrná měsíční relativní vlhkost vzduchu na stanici Dobřenec	101
Obrázek 63: vývoj relativní vlhkosti vzduchu na stanicích Žatec a Tušimice mezi lety 2004-2024.....	102
Obrázek 64: vztah mezi výparem a teplotou vody ve výparoměru v roce 2023	103
Obrázek 65: vztah mezi výparem a teplotou vody ve výparoměru v roce 2024.....	103
Obrázek 66: průměrná roční teplota vody na VN Sedlec	104
Obrázek 67: vývoj globální sluneční radiace a výparu v roce 2024	104
Obrázek 68: vztah mezi denním úhrnu výparu a průměrnou denní sluneční radiací v roce 2023	105
Obrázek 69: vztah mezi denním úhrnu výparu a průměrnou denní sluneční radiací v roce 2024	105
Obrázek 70: průměrné denní hodnoty globální sluneční radiace na stanici Tušimice.....	106
Obrázek 71: vztah mezi výparem a rychlostí větru v roce 2023	107
Obrázek 72: vztah mezi výparem a rychlostí větru v roce 2024	107
Obrázek 73: vztah mezi výparem a směrem větru	108
Obrázek 74: průměrná roční teplota vzduchu	109

Seznam tabulek

Tabulka 1: Charakteristiky klimatických oblastí dle Quitta v povodí	27
Tabulka 2: zákazy odběru povrchových vod v povodí Liboce	57
Tabulka 3: srovnání objemu a vodní plochy vodní nádrže Sedlec získaných z batymetrického měření a údajů manipulačního řádu	62
Tabulka 4: naměřené hodnoty průtoků a vodní stavy stanici Dubá I.....	64
Tabulka 5: měsíční odebrané množství vody z VN Sedlec za období 2014 až 2024	73
Tabulka 6: odečtené hodnoty z vodoměru VN Sedlec v roce 2023	73
Tabulka 7: odebrané množství vody z VN Sedlec v průběhu roku 2023.....	74
Tabulka 8: odečtené hodnoty z vodoměru VN Sedlec v roce 2023	75
Tabulka 9: odebrané množství vody z VN Sedlec v roce 2023	76
Tabulka 10: suchá období na toku Dubá I v roce 2023.....	77
Tabulka 11: suchá období na toku Dubá I v roce 2024.....	78
Tabulka 12: M-denní průtoky na stanici Dubá I v hydrologickém roce 2024 a hodnoty z manipulačního řádu	79
Tabulka 13: vypočtené hodnoty hydrologické bilance VN Sedlec v roce 2023	84
Tabulka 14: naměřený měsíční úhrn výparu a srážek na stanici Sedlec v roce 2024	86
Tabulka 15: hodnoty spočítané a naměřené vláhové bilance v ve výparoměrném období 2023	87
Tabulka 16: vypočtené vodohospodářské bilance VN Sedlec v roce 2024	88
Tabulka 17: naměřený měsíční úhrn výparu a srážek na stanici Sedlec v roce 2024	90
Tabulka 18: hodnoty spočítané a naměřené vláhové bilance v hydrologickém roce 2024.....	91

Seznam příloh

Příloha 1: batymetrická mapa VN Sedlec	126
Příloha 2: spočítané objemy a plochy VN Sedlec při různých výškách hladiny.....	128
Příloha 3: batymetrická křivka (objemu) VN Sedlec	129
Příloha 4: batymetrická křivka (plochy) VN Sedlec	129
Příloha 5: období sucha na Liboci mezi roky 2015 a 2024	130

Seznam zkratk

AVČR	Akademie věd České republiky
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DIBAVOD	Digitální báze vodohospodářských dat
MZe	Ministerstvo zemědělství České republiky
NDMC	National Drought Mitigation Centre
NPR	Národní přírodní rezervace
OSN	Organizace spojených národů
PP	Přírodní památka
PR	Přírodní rezervace
KFGG PřF UK	Katedra fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy
VN	Vodní nádrž

1 Úvod

Voda představuje základní podmínku života všech organismů na planetě Zemi. Je nezbytnou složkou biosféry a její koloběh významně ovlivňuje fungování ekosystémů i lidské společnosti. Vodní pára, kterou lze běžně pozorovat v podobě oblaků, je výsledkem procesu označovaného jako evapotranspirace. Tento proces probíhá jak nad oceány, tak nad pevninou, a je klíčovou součástí hydrologického cyklu. Vodní pára v atmosféře následně kondenzuje a vrací se zpět na zemský povrch ve formě srážek.

Území České republiky je vzhledem ke své geografické poloze výrazně závislé na atmosférických srážkách, neboť z hlediska hydrologické bilance se jedná převážně o pramennou oblast, odkud většina významných toků odtéká do okolních států. V důsledku toho je hydrologická situace na našem území citlivá jak na deficit srážek (sucho), tak na jejich nadbytek (povodně).

Významnou roli v regulaci hydrologických extrémů a v zajištění vodních zásob sehrávají umělé vodní nádrže, které byly vybudovány zejména ve 20. století. Tyto nádrže slouží k akumulaci vody pro účely zásobování obyvatelstva, průmyslu, zemědělství, rekreace i pro účely protipovodňové ochrany. Zároveň tyto vodní mohou plnit funkci obrovského “výparníku“, což může negativně ovlivňovat bilanci nádrže.

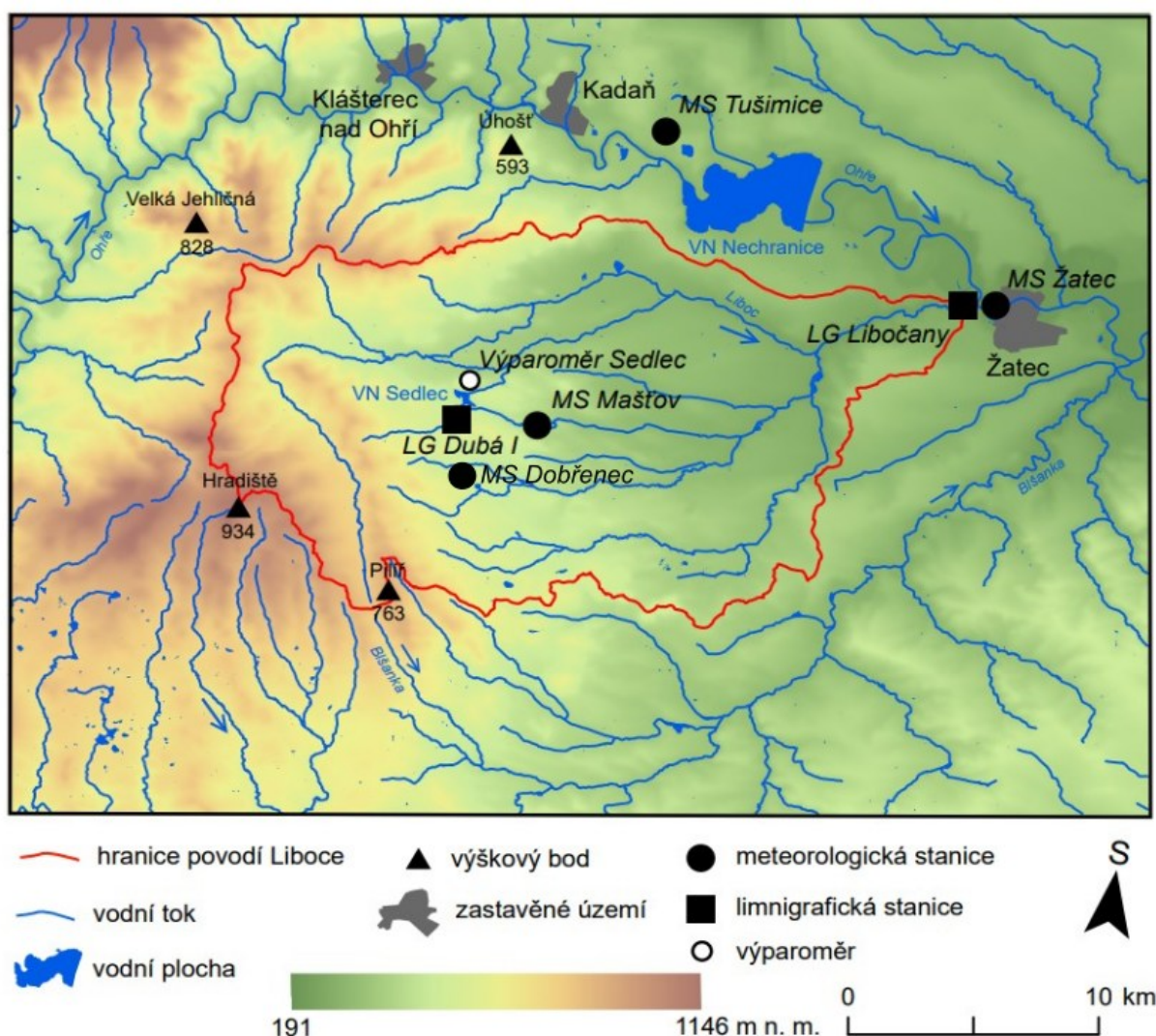
Výstavba nových vodních děl je však v současnosti často komplikována legislativními a společenskými překážkami. Příkladem může být plánovaná vodní nádrž Nové Heřminovy na řece Opavě, jejíž realizace je dlouhodobě oddalována. V případě její existence by bylo možné zmírnit negativní dopady extrémních srážkových událostí na území povodí Opavy. Systém vltavské kaskády představuje efektivní nástroj pro transformaci průtoků a řízení povodňových situací a zároveň v období sucha zajišťuje minimální zůstatkové průtoky. Význam vodních nádrží pro adaptaci na hydrologické extrémy je tedy značný.

Zatímco v minulosti byla hlavní pozornost věnována především povodním, problematika sucha byla dlouhodobě podceňována. V současnosti však, v souvislosti s projevy klimatické změny, dochází ke zvyšování teplot a tím i k intenzifikaci evapotranspirace, což v kombinaci s poklesem srážkových úhrnů vede ke zvyšující se četnosti a závažnosti suchých period (Van Loon a kol. 2016). Rostoucí výskyt sucha současně zvyšuje tlak na vodní zdroje a zvyšuje poptávku po vodě napříč sektory.

Historicky lidstvo využívalo různá technická opatření pro zajištění dostupnosti vody – příkladem jsou římské akvadukty sloužící k distribuci vody do měst. V současnosti se však vlivem nadměrných odběrů vody stále častěji setkáváme s negativními dopady na vodní bilanci. Typickým příkladem je environmentální degradace Aralského jezera, které vysychá v důsledku neudržitelného vodního hospodaření.

S ohledem na rostoucí poptávku po vodě, zejména v letních měsících charakterizovanými nízkými srážkovými úhrny a vysokými ztrátami výparem, je nezbytné přijmout systematická opatření ke zlepšení hospodaření s vodními zdroji. Vzhledem k predikovanému nárůstu světové populace lze očekávat, že se voda stane stále vzácnějším a hodnotnější surovinou.

2 Charakteristika zájmové oblasti

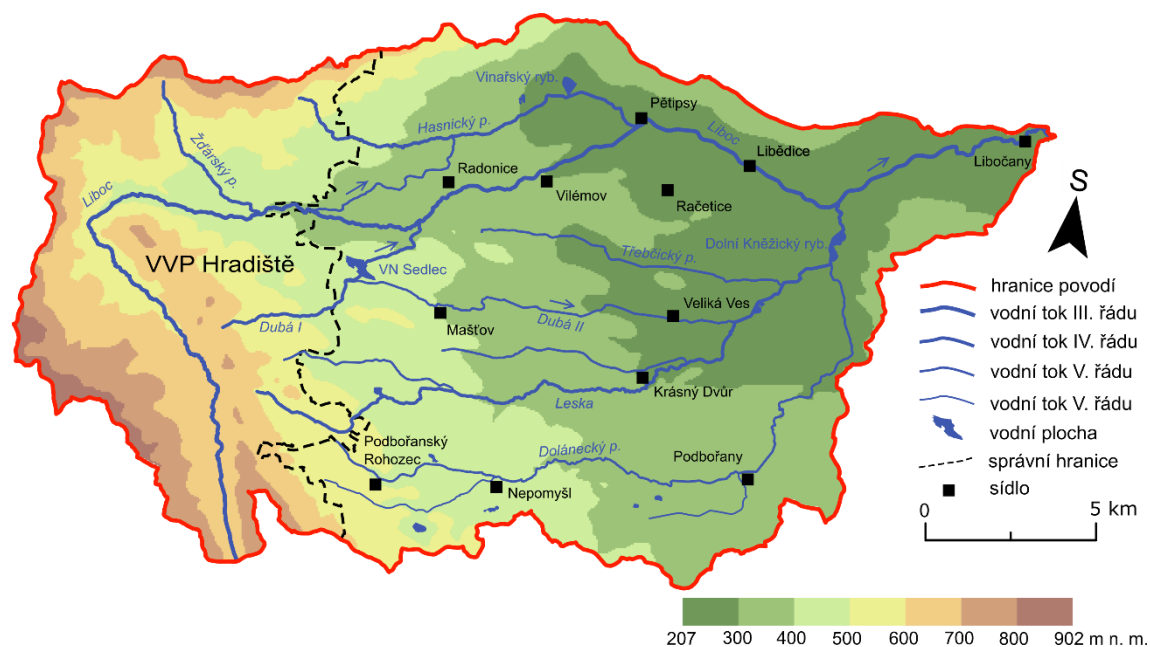


Obrázek 1: výškopisná a polohopisná mapa povodí řeky Liboc a jejího okolí s vyznačením měřících stanic (zdroj: ArcČR 500, DIBAVOD, archiv autora, vlastní zpracování)

Povodí řeky Liboc (původně Hlineč, Aubach) se nachází v západních Čechách (obrázek 1), konkrétně ve východní části okresu Karlovy Vary, jižní části okresu Chomutov a západní části okresu Louny (Matějů, Hradecký, Melichar, 2016). Řeka pramení ve slatinách na svahu Pilíře (763 m n. m.) v Doupovských horách a ústí do Ohře u Libočan v nadmořské výšce 204,65 m n. m. Horní tok protéká vojenským výcvikovým prostorem Hradiště, zatímco střední a dolní část povodí je využívána převážně pro zemědělství, zejména závlahy polí a chmelnic na Kadaňsku a Žatecku.

Povodí o rozloze 339,53 km² zahrnuje 198 vodních ploch s celkovou rozlohou přes 131 ha, největší z nich je vodní nádrž Sedlec. Mezi významná sídla podél toku patří Radonice,

Vilémov, Pětipsy, Libědice, Libočany a zaniklé město Doupov (obrázek 2) (Matějů, Hradecký, Melichar 2016).



Obrázek 2: výškopisná a polohopisná mapa povodí řeky Liboce
(zdroj: ArcČR 500, DIBAVOD, archiv autora, vlastní zpracování)

2.1 Geologické poměry

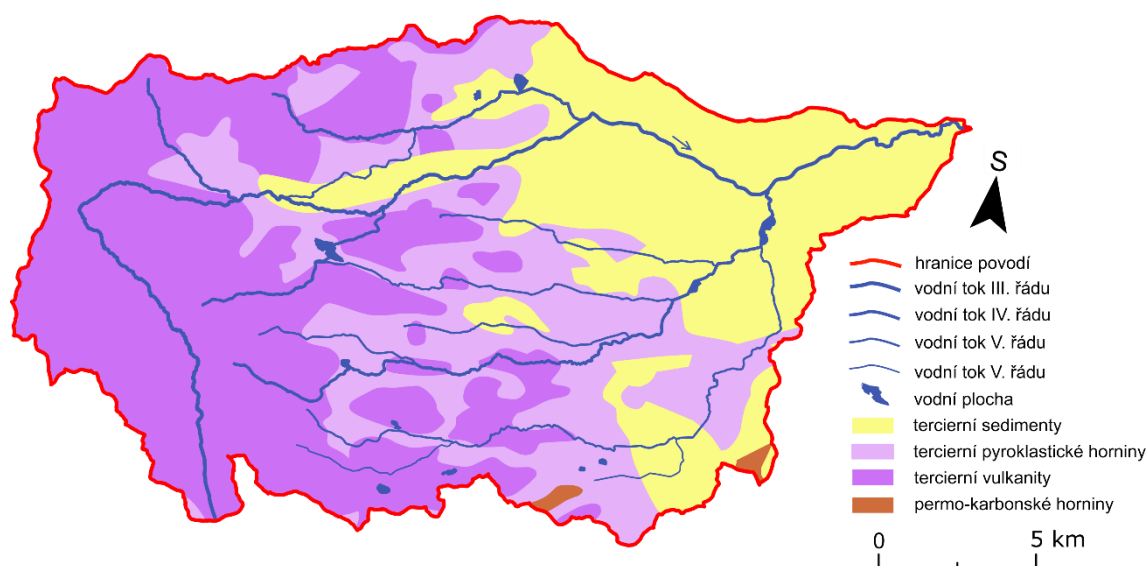
Povodí Liboce spadá do území Českého masivu, pozůstatku hercynského pohoří, který vznikl srážkou Gondwany a Laurasie v období od středního devonu do svrchního karbonu. Český masiv je tvořen převážně prekambriickými a paleozoickými horninami a přesahuje území z Česka na Slovensko, do Rakouska a Polska (Chlupáč 2011).

Ve třetihorách došlo k tektonickému kolapsu severozápadní části Českého masivu, čímž vznikl podkrušnohorský prolom (oherský rift). Tento proces podnítil vulkanickou činnost od Horní Falce přes Doupovské hory a České středohoří až do Lužice, což vedlo k sedimentaci a vzniku podkrušnohorských pánví (Chlupáč 2011).

Západní část povodí Liboce tvoří třetihorní vulkanické horniny, východní sedimentární a jižní permo-karbonské horniny. Největším vulkanickým celkem Českého masivu jsou Doupovské hory s rozlohou 600 km² a mocností vulkanických hornin až 500 m. Vulkanismus probíhal zejména v oligocénu až miocénu, přičemž hlavní štítový vulkán byl aktivní před 23-34 miliony

let (Matějů, Hradecký, Melichar 2016). Spraše a příbuzné uloženiny se nachází především na východním úpatí (Culek a kol. 1996).

Mostecká pánev, rozlohou přes 1000 km², je největší podkrušnohorskou pánví (Pešek 2010). Je tvořena jílovitými a písčitými sedimenty s mocnými sloji hnědého uhlí (Culek a kol. 1996), přičemž hlavní sloj dosahuje mocnosti až 50 metrů. V nadloží sloje se nachází až 350 metrů mocná vrstva jílovitých a písčitých uloženin (Chlupáč 2011). Hnědé uhlí se těží pro elektrárny Tušimice a Pruněrov, v Roztylech probíhá těžba štěrkopísků. Geologické poměry povodí Liboce jsou znázorněny v obrázku 3.



Obrázek 3: geologické poměry povodí řeky Liboc
(zdroj: DIBAVOD, ČGS, archiv autora, vlastní zpracování)

2.2 Hydrografie povodí

Řeka Liboc (1–13–03–001/0 až 1–13–03–027/0) je pravostranný přítok Ohře a vodní tok III. řádu spadající do povodí Labe. Správcem toku je Povodí Ohře, s.p.

Pramení v Doupovských horách na svahu Pilíře (763 m n. m.) v nadmořské výšce 687,31 m n.m., přibližně 750 m za hranicemi vojenského výcvikového prostoru Hradiště. Největším přítokem je Leska (23,61 km). Ústí do Ohře 1 km severozápadně od Žatce v obci Libočany na říčním kilometru 92,51 v nadmořské výšce 204,65 m n. m..

Řeka má délku 46,38 km, plocha povodí činí 339,53 km². Převýšení toku je 482,66 m a střední sklon dosahuje 10,41 ‰ (Zbořil, 2006).

Směr toku Liboce se výrazně mění. Horní tok směřuje nejprve severně až severozápadně, poté se stáčí východně a je sevřený údolím bývalé kaldery. Vlévá se zde Žďárský potok, průměrný sklon toku v této části je 15,74 ‰.

Střední tok začíná u soutoku s potokem Dubá I, kde se řeka stáčí severovýchodně. Sklon v tomto úseku je 10,48 ‰.

Dolní tok začíná u soutoku s Hasnickým potokem nedaleko Pětipsů, směr se mění jihovýchodně. U soutoku s Leskou se tok obrací severozápadně a tímto směrem pokračuje až do Ohře. Sklon v této části je 4,47 ‰.

2.3 Hydrogeologické poměry

Povodí Liboce leží v hydrogeologických rajonech Mostecká pánev – jižní část a Krystalinikum v mezipovodí Ohře po Kadaň. Mostecká pánev neobsahuje významné hydrogeologické kolektory, přičemž režim podzemních vod je ovlivňován důlní činností. Výjimkou je oblast písčitých sedimentů nad uhelnou slojí, tzv. Bílinská a Žatecká delta, tvořená vrstvami jemných písků a písčitých jíílů o mocnosti 400–450 m, která slouží jako zdroj pitné vody pro Žatec (Pešek a kol. 2010; Hynie 1961). Důlní těžba narušila vodotěsnost miocenní výplně pánve, urychlila oběh podzemních vod a způsobila nebezpečí průvalů v lokalitách hlubinné těžby (Pešek a kol. 2010).

Doupovské hory jsou tvořeny neovulkanity s puklinovou a průlinovou propustností, která je však nízká kvůli jemnozrnným pyroklastikám. Kvůli vojenskému újezdu a minimálnímu osídlení je zde jen málo hydrogeologických objektů. Podzemní voda pochází výhradně ze srážek a vyskytuje se v puklinách a průlinách. Většina oblasti má sezónní doplňování zásob, v povodích pravostranných přítoků Liboce dochází k celoročnímu doplňování podle srážkových podmínek. Doupovské hory jsou součástí západočeské zřidelní oblasti minerálních vod. Kyselky vznikají v puklinovém systému rul, žul a neovulkanitů v hloubce přes 200 m, kde se obohacují o minerály a hlubinný CO₂. Obsah rozpuštěných látek se pohybuje od 0,5 do 4,5 g.l⁻¹, vody obsahují železo, sodík, fluor či lithium a obvykle více než 1 g.l⁻¹ CO₂. Nejvýznamnější prameny se nachází v údolí Ohře, kde se stáčí minerální vody Mattoni (Kyselka) a Korunní (Stráž nad Ohří). Méně známé jsou pramen Evženie (Kláštorec nad Ohří)

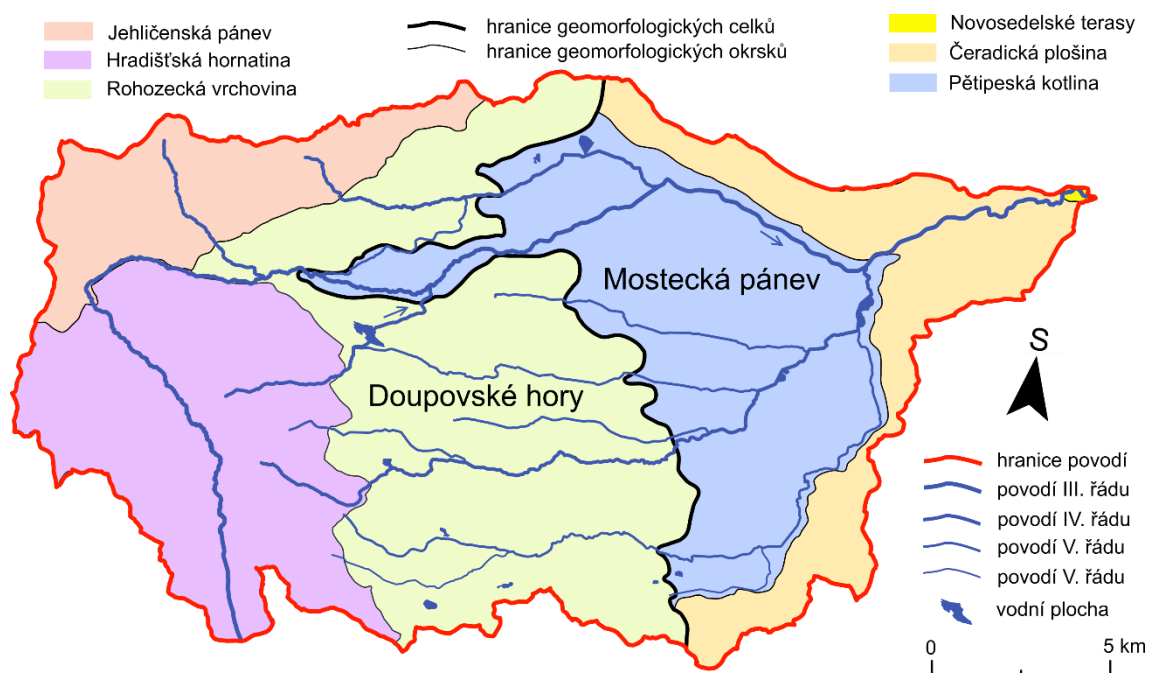
a kyselky v obcích Žebletín a Kojetín, které mají různé úrovně mineralizace a obsah CO₂ (Matějů, Hradecký, Melichar 2016).

2.4 Geomorfologické poměry

Povodí řeky Liboce náleží do geomorfologické provincie Česká vysočina, konkrétně do Krušnohorské soustavy, která zaujímá 8,9 % plochy Česka (Bína, Demek 2012). Patří k eurasijské litosférické desce formované variským vrásněním v paleozoiku. Od mezozoika byl povrch denudován, v paleogénu získal tvar kotliny díky kerným pohybům a v pliocénu začala říční síť nabývat dnešní podoby (Demek, Mackovčín 2014).

Území povodí spadá do Podkrušnohorské podsoustavy, konkrétně do Doupovských hor a Mostecké pánve (obrázek 4). Doupovské hory tvoří kompaktní vulkanickou hornatinu s výškovou členitostí mezi 150-500 m a rozlohou 607 km². Nejvyšším bodem je Hradiště (933,8 m n. m.), nejnižším hladina Ohře u Kadaně (275 m n. m.). Dělí se na tři okrsky – Jehličenskou hornatinu, Hradišťskou hornatinu a Rohozeckou vrchovinu (Demek, Mackovčín 2014). Jehličenská hornatina (215,7 km²) je plochá oblast tvořená třetihorními lávovými výlevy a pyroklastiky, s nejvyšším bodem Velká Jehličná (827,8 m n. m.) a NPR Úhošť s unikátní teplomilnou květenou. Hradišťská hornatina (224,08 km²) obklopuje Doupovskou kotlinu a obsahuje prameny Liboce a Blšanky. Rohozecká vrchovina (196,92 km²) je silně denudovaná, s tabulovými horami, sopečnými kupami a kužely (Demek, Mackovčín 2014).

Do povodí Liboce zasahují tři geomorfologické okrsky Mostecké pánve – Pětipeská kotlina, Novosedelské terasy a Čeradická plošina (Demek, Mackovčín 2014). Pětipeská kotlina (86,43 km²) je tektonicky podmíněná sníženina s říčními terasami a antropogenními tvary. Převážně orná půda zahrnuje přírodní park Vinařský rybník, významnou ornitologickou lokalitu. Novosedelské terasy (21,29 km²) jsou stupňovinou akumulací teras Ohře se zachovalými opuštěnými meandry. V jejich západní části se nachází vodní nádrž Nechanice s největší sypanou hrází v ČR. Čeradická plošina (173,68 km²) je členitá pahorkatina složená z miocenních sedimentů, písků, uhelných slojí a granulitových rul, s převahou orné půdy a chmelnic. Nachází se zde přírodní park Želinský meandr a PP Sluňáky, skupina balvanů s charakteristicky zvětřalým povrchem (Demek, Mackovčín 2014).



Obrázek 4: geomorfologické členění povodí řeky Liboc
(zdroj: DIBAVOD, ČÚZK, archiv autora, vlastní zpracování)

2.5 Biogeografické poměry

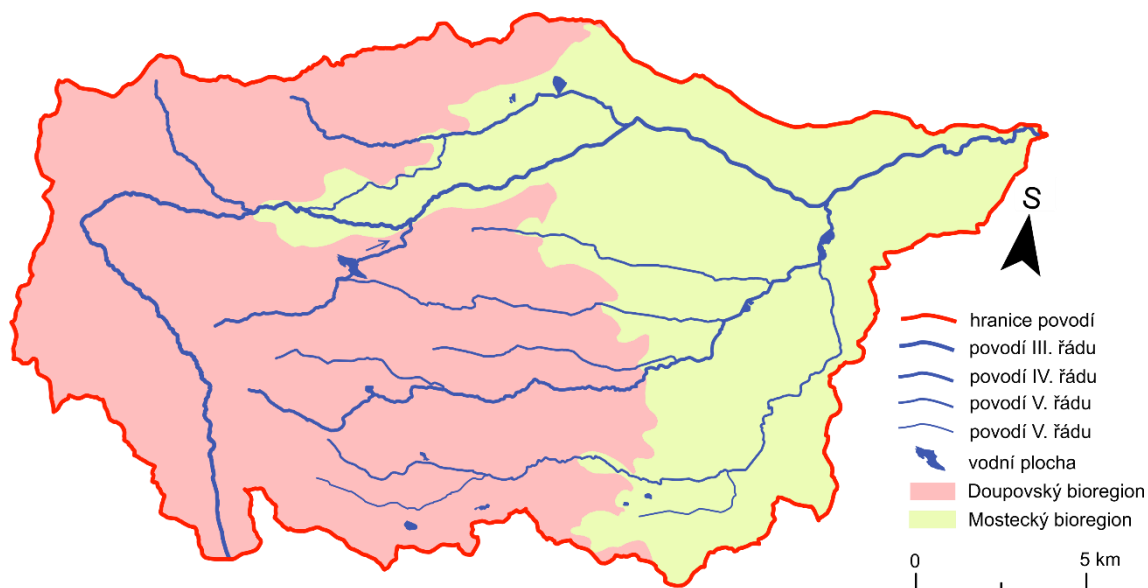
V Česku se nacházejí dvě biogeografické provincie – středoevropských listnatých lesů a panonská – a čtyři podprovincie: hercynská, polonská, karpatská a severopanonská, které se dále dělí na 91 bioregionů (Culek a kol. 2013).

Celé povodí řeky Liboc spadá do hercynské podprovincie, která je v Česku nejrozsáhlejší a zahrnuje doupovský a mostecký bioregion (obrázek 5). Hranice těchto bioregionů se přibližně shodují s geomorfologickými celky (Culek a kol. 2013).

Doupovský bioregion (674 km²) pokrývají lesy (46 %), hlavně smrk (42 %) a buk (10,4 %), a travní porosty (27 %). Oblast je minimálně ovlivněna člověkem kvůli přítomnosti vojenského výcvikového prostoru Hradiště. Pramení zde řada potoků s typickými společenstvy pstruhového pásma, stojaté vody jsou vzácné. Mezi významná chráněná území patří NPR Úhošť (xerothermní společenstva), PP Želinský meandr, PR Sedlec a PR Ostrovské rybníky zaměřené na ochranu mokřadů a vodních stanovišť (Culek a kol. 2013).

Mostecký bioregion (130 km²) patří mezi nejteplejší a nejsušší oblasti Česka s převládajícím 2. vegetačním stupněm. Dominují zde zemědělské plochy (56 %) a lesy (12,2 %), hlavně

borovice (27 %) a dub (22 %). Reliéf je silně antropogenně pozměněn – vyskytují se zde povrchové doly, výsypky a odkaliště (Culek a kol. 2013). Významnou část zabírá vodní nádrž Nechranice. Dříve se zde nacházela mělká jezera. Některé bývalé doly jsou postupně zatápěny a proměňují se v nové vodní plochy. Kvůli rozsáhlé lidské činnosti zde bylo vyhlášeno jen málo chráněných území, například PP Staňkovice, PP Žatec a PP Vinařský rybník (Culek a kol. 2013).



Obrázek 5: bioregiony v povodí řeky Liboc
(zdroj: AOPK, DIBAVOD, archiv autora, vlastní zpracování)

2.6 Pedologické poměry

Půda má zásadní úlohu ve vodním režimu krajiny – slouží jako infiltrační prostředí pro atmosférické srážky a zajišťuje jejich retenci, akumulaci a drenáž. Je také hlavní zásobárnou vody, což je v Česku obzvlášť důležité vzhledem k závislosti na atmosférických srážkách (Hauptman, Kukal, Pošmourný 2009).

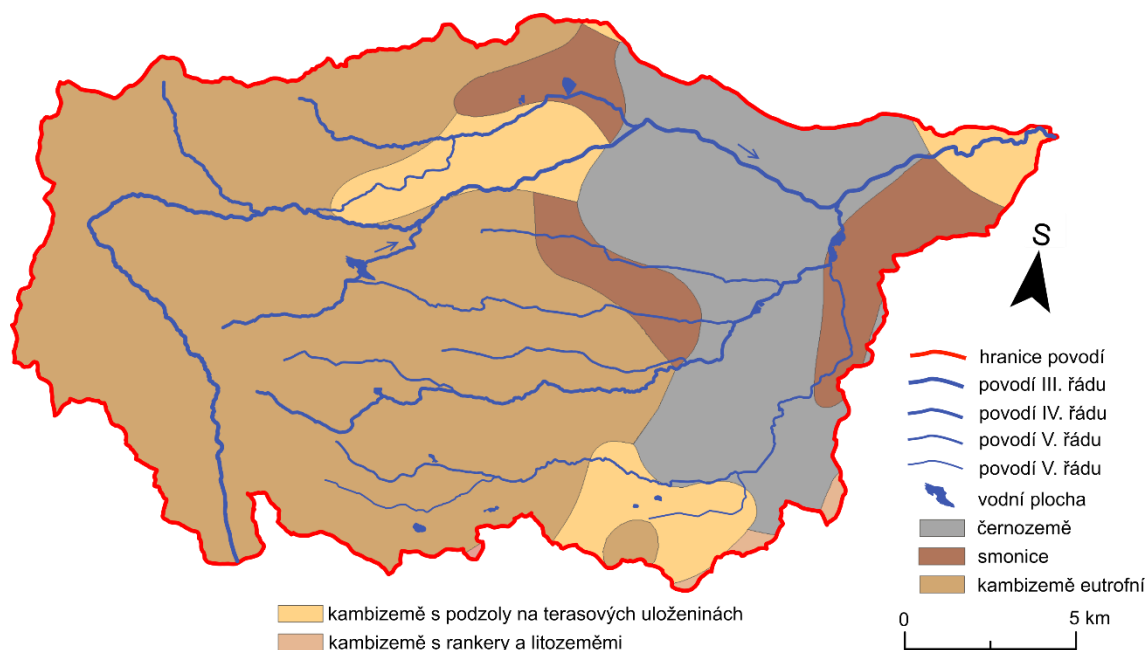
Z pedologického hlediska v povodí Liboce převládají kambizemě a černozemě, ve východní části se vyskytují i vertisoly (smonice) (obrázek 6).

Kambizemě, nejrozšířenější půdní typ v Česku, se vyskytují v horní a střední části toku i u ústí do Ohře. Tvoří se na různých horninách v členitém reliéfu a jejich hlavním půdotvorným procesem je braunifikace (vnitropůdní zvětrávání). Sorpční vlastnosti závisí na obsahu humusu

a zrnitosti. Jsou vhodné pro pěstování nenáročných plodin (brambory, ječmen) a zalesnění (Tomášek, 2007).

Černozemě, typické pro suché a teplé oblasti, vznikly pod stepní a lesostepní vegetací během postglaciálu. Mají vysoký obsah humusu, vynikající sorpční schopnosti a jsou nejúrodnějšími půdami v Česku, i když často trpí nedostatkem vláhy. Využívají se především pro pěstování cukrovky, pšenice a zeleniny (Tomášek, 2007).

Vertisoly (smonice), vzácný půdní typ v Česku, se vyskytují zejména na Chomutovsku. Tvořily se na třetihorních jílech a jejich hlavním půdotvorným procesem byla intenzivní humifikace. Mají nepříznivé fyzikální vlastnosti – mění objem a jsou obtížně zpracovatelné, což omezuje jejich produktivitu. Jsou vhodné pro pěstování pšenice, ale ne cukrovky (Tomášek, 2007).



Obrázek 6: pedologické poměry v povodí řeky Liboc
(zdroj: DIBAVOD, ČGS, archiv autora, vlastní zpracování)

2.7 Klimatické poměry

Podle Quitta (1971), který ve své knize *Klimatické oblasti Československa* definoval klimatické regiony, se v povodí Liboce nachází pět klimatických oblastí – T2, MT3, MT4, MT11 a CH7. (obrázek 7), jejich specifikace je uvedena v tabulce 1.

Největší část povodí (dolní tok) spadá do klimatické oblasti T2, která se vyznačuje teplým, suchým a dlouhým létem, mírně teplým jarem i podzimem a krátkou, suchou zimou s minimální sněhovou pokrývkou.

Menší části povodí patří do oblastí:

MT3 – mírné až mírně chladné léto, suché až mírně suché přechodné období, mírná až mírně chladná zima s normální až krátkou sněhovou pokrývkou.

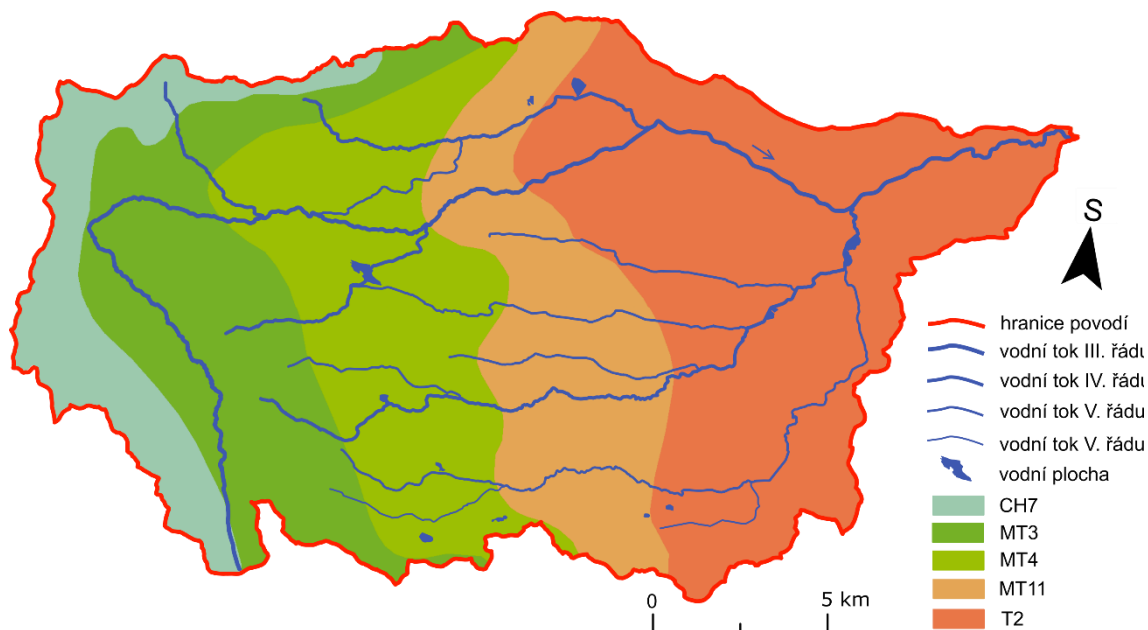
MT4 – mírné, suché až mírně suché léto, krátké přechodné období, mírně teplá a suchá zima s krátkým trváním sněhové pokrývky.

MT11 – dlouhé, teplé a suché léto, krátké přechodné období, mírně teplá a velmi suchá zima s krátkým trváním sněhové pokrývky.

CH7 – dlouhé, mírně chladné jaro, krátké a vlhké léto, dlouhý mírný podzim a dlouhá, mírně vlhká zima s dlouhou sněhovou pokrývkou (Quitt, 1971).

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

Tabulka 1: charakteristiky klimatických oblastí dle Quitta v povodí (zdroj: Quitt)



Obrázek 7: klimatické poměry podle Quitta v povodí řeky Liboc
(zdroj: DIBAVOD, Geografický ústav ČSAV, archiv autora, vlastní zpracování)

Nejpoužívanější klasifikací podnebí je Köppenova klasifikace, která rozděluje území Česka do čtyř klimatických typů. V povodí Liboce se vyskytují dva typy – Cfb a Dfb.

Většina území spadá do Cfb – podnebí listnatých lesů mírného pásma, zatímco západní část Doupovských hor patří do Dfb – boreální (severské) klima. Oba typy se vyznačují celoročně vlhkým klimatem a rovnoměrně rozloženými srážkami. V oblasti středního a dolního toku registrujeme však v posledních dekádách nárůst klimatického i hydrologického sucha. Průměrné teploty v nejteplejším měsíci přesahují 10 °C, v nejchladnějším se pohybují mezi -3 °C a 18 °C (Cfb), zatímco u Dfb klesají pod 3 °C (Tolasz a kol. 2007).

3 Sucho

Sucho je přírodní katastrofa s významnými socioekonomickými i environmentálními dopady. Neexistuje žádná univerzální a objektivní definice sucha (Lloyd-Hughes 2014). Wilhite a Glantz (1985) například uvádějí, že existuje více než 150 publikovaných definic, které odrážejí regionální rozdíly, potřeby a disciplinární přístupy. Na rozdíl od povodní sucho nastupuje pomalu, avšak jeho důsledky mohou být patrné i několik let po jeho skončení (Stahl 2001).

Nejstarší definici sucha publikoval Russell na konci 19. století. Popsal jej jako období trvající několik měsíců až let, kdy se v důsledku nedostatku srážek vysušuje půda, mizí vegetace, dochází k neúrodě a úhynu hospodářských zvířat (Beguería a kol. 2010). Sucho má rovněž závažné společenské důsledky, mezi něž patří ekonomické ztráty, hladomor, epidemie a degradace půdy (Beguería a kol. 2010).

Výzkum sucha je nezbytné provádět komplexně, tedy zkoumat jak atmosférické, tak suchozemské složky hydrologického cyklu a jejich vzájemné souvislosti. Mezi klíčové faktory ovlivňující sucho patří srážky (včetně sněhových), vlhkost půdy, evapotranspirace, podzemní voda, vodní plochy či mokřady. Stále větší roli v oběhu vody na Zemi navíc sehrává člověk (Van Loon 2015).

Podle National Drought Mitigation Centre (NDMC 2025) je sucho přirozeným, opakujícím se jevem, který souvisí s proměnlivostí klimatu. Může se vyskytnout kdekoli na světě a v jakémkoli klimatickém pásmu, přičemž jeho projevy a dopady se liší v závislosti na místních podmínkách. Sucho vzniká v důsledku absence srážek v kombinaci s dalšími faktory, jako jsou intenzita slunečního záření či evapotranspirace. Někteří autoři jej definují jako negativní odchylku vodní bilance od klimatologického normálu na daném území. Primární příčinou sucha je dlouhodobý nedostatek srážek, přičemž v kombinaci s dalšími meteorologickými faktory, jako jsou vítr, vlhkost a teplota, se jeho dopady často zesilují (Brázdil a kol. 2009).

Podle zprávy OSN (2022) představují sucha přibližně 15 % všech přírodních katastrof. Mezi lety 1970–2019 v důsledku sucha zemřelo přibližně 650 000 lidí.

3.1 Rozdělení sucha

Sucho lze rozdělit do čtyř základních kategorií, které se liší přístupy k jeho měření. Wilhite a Glantz (1985) definovali meteorologické, hydrologické, zemědělské a socioekonomické sucho, přičemž každý typ vyžaduje odlišné metody sledování. Stejně kategorie uvádějí i Brázdil, Trnka a kolektiv (2015), kteří zdůrazňují, že toto rozdělení je závislé na časovém měřítku.

Suchu většinou předchází přetrvávající tlaková výše, která je doprovázena vysokými teplotami a minimem oblačnosti (Janský 2019). Tento stav často souvisí s atmosférickou cirkulací a změnami v proudění vzduchu, které mohou blokovat přísun vlhkosti do určité oblasti. Společně s rostoucí evapotranspirací dochází k prvním projevům sucha, které lze identifikovat přístrojovým monitoringem. S pokračujícím deficitem srážek klesá dostupnost vody pro vegetaci, což vede k zemědělskému suchu. Pokud nedostatek vody přetrvává, nastává hydrologické sucho, jehož důsledky se projevují v poklesu hladiny podzemních vod, vysychání toků a snížení zásob vody v nádržích. Poslední fází je sucho socioekonomické, které odráží jeho dopady na společnost, jako jsou ztráty v zemědělství, průmyslu či zásobování vodou (Wilhite a Glantz 1985).

Nově se výzkum zaměřuje i na tzv. ekologické sucho, které je definováno jako dlouhodobý a rozšířený deficit v přirozeně dostupných vodních zásobách, včetně změn v přirozené a řízené hydrologii. Tento jev způsobuje mnohonásobný stres napříč ekosystémy, včetně ztráty biologické rozmanitosti, změn ve složení vegetace a zhoršení stavu půdních mikroorganismů (NDMC 2025).

Při hodnocení sucha je nutné brát v úvahu jeho prostorové a časové rozložení i intenzitu. Sucho se může vyskytovat na malé ploše (stovky km²), avšak pokud zasáhne rozsáhlejší oblasti (tisíce až miliony km²), hovoříme o tzv. kontinentálním suchu, které může mít devastující dopady na ekosystémy i hospodářství. Při hodnocení časových charakteristik sucha je klíčové stanovit jeho začátek, konec a délku trvání.

Hlavní faktory podporující vznik a výskyt sucha zahrnují vysoké teploty, rychlost větru, nízkou relativní vlhkost vzduchu a další meteorologické proměnné (Rožnovský, Litschmann 2002). V posledních desetiletích navíc dochází ke zvyšující se frekvenci a intenzitě sucha, což je spojováno s klimatickou změnou a rostoucími globálními teplotami.

3.1.1 Meteorologické sucho

Stejně jako ostatní typy sucha má i meteorologické sucho svůj původ v nedostatku srážek. Je definováno na základě odchylky úhrnu srážek od dlouhodobého normálu (Blinka 2004). Jinými slovy se jedná o deficit srážek ve vztahu k jejich průměrnému úhrnu na daném místě a délce trvání sucha (Tate, Gustard 2000).

Meteorologické sucho je specifické pro každý region, protože atmosférické podmínky vedoucí k nedostatku srážek se v jednotlivých oblastech liší (Novický a kol. 2009). Faktory ovlivňující vznik meteorologického sucha zahrnují nejen lokální cirkulační podmínky, ale také globální klimatické jevy, jako jsou ENSO (El Niño–Southern Oscillation), které způsobuje výkyvy v teplotách oceánů a atmosférické cirkulaci, což ovlivňuje rozložení srážek na celém světě (Trenberth 1997). Kromě deficitu srážek přispívají k rozvoji meteorologického sucha i další meteorologické prvky, zejména zvýšená teplota vzduchu, která vede k vyšší evapotranspiraci, dále vyšší intenzita slunečního záření, intenzivnější proudění vzduchu a nízká relativní vlhkost (MŽP 2021).

K identifikaci meteorologického sucha se používá několik indexů. Mezi nejčastěji využívané patří standardizovaný srážkový evapotranspirační index (SPEI), který zohledňuje nejen srážkový deficit, ale i změny teploty ovlivňující výpar. Dalšími významnými indexy jsou Palmerův index intenzity sucha (PDSI), který hodnotí vlhkostní bilanci půdy, a standardní srážkový index (SPI), jenž pracuje výhradně se srážkovými úhrny (Peña-Gallardo a kol. 2019).

3.1.2 Zemědělské sucho

Zemědělství je obvykle prvním hospodářským sektorem, který je postižen suchem (Blinka, 2002). Definice zemědělského sucha je složitá a vyžaduje znalosti z hydropedologie, fyziologie rostlin, zemědělské ekonomiky a dalších oborů (Sobišek 1993). Kašpárek a Mrkvičková (2009) uvádějí, že se jedná o další fázi vývoje sucha, která je důsledkem meteorologického sucha. Intenzita zemědělského sucha závisí na pěstovaných plodinách, jejich nárocích na vodu a citlivosti k vláhovému deficitu (Blinka 2002), ale také na úrovni zemědělské techniky a efektivnosti zavlažovacích systémů (Němec, Hladný 2006).

Nedostatečná vlhkost půdy při výsadbě či setí může omezit klíčení rostlin, vést k nízké hustotě porostu, a nakonec ke snížení výnosu. Tento problém se prohlubuje zejména v období intenzivního sucha a vysokých teplot, kdy se půdní vlhkost rychle vyčerpává (NDMC 2025).

Potřeba vody pro rostliny závisí na teplotě vzduchu, rychlosti větru, insolaci, relativní vlhkosti vzduchu, vývojové fázi rostlin, vlastnostech půdy, hladině podzemní vody a terénních poměrech (MŽP 2021, NDMC 2025).

Zemědělské sucho má negativní dopady nejen na zemědělskou produkci, ale i na lesní porosty (Brázdil, Trnka a kol. 2015). V obdobích extrémního sucha dochází k oslabování stromů, což je činí náchylnější k napadení škůdci, zejména kůrovcem, a snižuje jejich schopnost regenerace. Nedostatek půdní vláhy ovlivňuje také mykorhizní symbiózu, což může mít dlouhodobé následky na celkové zdraví lesních ekosystémů (Allen a kol. 2015).

3.1.3 Hydrologické sucho

Hydrologické sucho vzniká jako následek meteorologického sucha. Projevuje se především nedostatkem povrchových a podzemních vod v důsledku srážkového deficitu a zvýšené evapotranspirace, což vede k výraznému poklesu průtoků ve vodních tocích. Rychlost nástupu hydrologického sucha závisí na retenční schopnosti daného povodí, která je určena fyzicko-geografickými charakteristikami krajiny, jako jsou geologické složení, sklon terénu, vegetační pokryv či míra urbanizace (Hisdal a kol. 2001).

Vlivem srážkového deficitu dochází ke snížení půdní vlhkosti, na což zemědělci reagují umělými závlahami z vodních nádrží. Tyto nádrže však slouží i k jiným účelům, jako je rekreace, lodní doprava, rybolov, výroba energie či ochrana přírody. Konkurence mezi uživateli vodních zdrojů může vést ke konfliktům o jejich využití, zejména v obdobích dlouhotrvajícího sucha (NDMC 2025).

Na rozdíl od meteorologického sucha, jehož dopady se projevují téměř okamžitě, je hydrologické sucho časově posunuté. Dochází k postupnému snižování průtoků ve vodních tocích (hydrologické povrchové sucho) a poklesu hladiny podzemních vod (hydrologické podzemní sucho) s určitou prodlevou, která se může lišit v závislosti na typu podloží a charakteru vodního režimu dané oblasti (MŽP 2021; Hisdal a kol. 2001). Podzemní vody reagují na sucho nejpomaleji – k jejich poklesu dochází až po delším období hydrologického deficitu a jejich obnova může trvat i několik let. Hydrologické sucho se tak může vyskytovat i po odeznění meteorologického nebo dokonce zemědělského sucha. Zatímco reakce povrchových vod na meteorologické sucho trvá v řádu dnů až měsíců, u podzemních vod může být prodleva měsíce až roky (Tallaksen, Van Lanen 2004).

Vznik hydrologického sucha je často ovlivněn i činností člověka. Mezi klíčové antropogenní faktory patří změny ve využití krajiny, regulace toků, odběry vody a odlesňování, které mohou významně ovlivnit vodní bilanci a zhoršit dopady sucha (Soukalová, Muzikář, 2015). Nevhodné úpravy vodních toků, jako je napřimování koryt nebo odvodňování mokřadů, urychlují odtok vody z krajiny a zhoršují schopnost krajiny zadržovat vodu, což vede k hydrologickým extrémům, včetně sucha i povodní (Wilhite 1994).

3.1.3.1 Vybrané definice hydrologického sucha

Hydrologické sucho je negativní anomálie objemu podpovrchových a povrchových vod. Je definováno jako situace, kdy hladina nebo objem protékající vody v korytě klesne pod kritickou hodnotu. Tento stav se odlišuje od nízkých průtoků („low-flows“), které ne vždy indikují hydrologické sucho (Van Loon 2015). Hlavní příčinou je deficit srážek v povodí či nedostatek podzemní a povrchové vody, přičemž vliv mohou mít i antropogenní faktory. Hydrologické sucho tedy vzniká kombinací přírodních a lidských činností ovlivňujících odtokové poměry (Van Loon a kol. 2016).

Podle ČHMÚ (2018) se za hydrologické sucho považuje pokles průtoku pod kritickou hranici Q_{355} , což odpovídá hodnotě překročené ve 355 dnech ročně (97,19 % pravděpodobnosti). Tato hodnota je také považována za hraniční pro ekologický průtok a technické odběry vody (Brázdil, Trnka a kol. 2015). Existují i další kritéria definující hydrologické sucho, například:

- Průměrný měsíční průtok nižší než dlouhodobý průměr (Vorel, 1937, cit. v Brázdil, Trnka a kol. 2015).
- Tři po sobě jdoucí měsíce s průměrným průtokem ≤ 60 % dlouhodobé hodnoty (Johanovský a kol. 1937, cit. v Brázdil, Trnka a kol. 2015).
- Nejnižší průměrný denní průtok v daném roce (Gumbel, 1963 cit. v Brázdil, Trnka a kol. 2015).
- Kontinuální výskyt Q_{355d} alespoň ve třech či pěti po sobě jdoucích dnech (Hladný 2009, Řiřicová a kol. 2003, cit. v Brázdil, Trnka a kol. 2015).

Hydrologické sucho je charakterizováno ztrátou vody z povrchových a podzemních zásob (Van Loon, 2015; Hasan a kol. 2019). Deficit vody vede k poklesu hladiny v řekách, jezerech, nádržích a podzemních vodách (Nalbantis, Tsakiris 2009). V oblastech se stabilním podnebím

je hlavním faktorem dlouhodobý deficit srážek, zatímco v sezónních klimatických podmínkách závisí výskyt sucha na ročním období (Vlach 2019).

V zimních měsících mohou suché epizody souviset s nedostatkem sněhové pokrývky a zamrzlou půdou, která brání infiltraci a doplňování podzemní vody. Rychlý jarní odtok pak neumožňuje efektivní akumulaci vody v půdním profilu, což zvyšuje riziko hydrologického sucha v následujících měsících. Tento jev je méně výrazný v zalesněných povodích, kde půda lépe zadržuje vodu (Barnett a kol. 2005).

3.1.4 Socioekonomické sucho

Socioekonomické sucho má významné dopady na společnost, hospodářství i životní prostředí (MŽP 2021). Tento typ sucha je charakterizován nerovnováhou mezi nabídkou a poptávkou po vodních zdrojích, přičemž jeho projevy jsou propojeny s meteorologickým, hydrologickým a zemědělským suchem. Na rozdíl od těchto typů sucha závisí socioekonomické sucho nejen na přírodních podmínkách, ale také na socioekonomických faktorech, jako je populační růst, rozvoj průmyslu, efektivita vodního hospodářství či politická rozhodnutí o správě vodních zdrojů (Wilhite 2000).

Socioekonomické sucho se projevuje například omezením provozu vodních elektráren, nárůstem cen potravin v důsledku ztrát v zemědělské produkci, snížením zásob pitné vody pro obyvatelstvo, konflikty mezi sektory využívajícími vodu nebo rozšířením požárů v důsledku suchých podmínek (NDMC 2025). Tento druh sucha nastává, když nedostatek vody (především pitné nebo užitkové) začne negativně ovlivňovat potřeby lidské společnosti (Brázdil, Trnka a kol. 2015).

Světová meteorologická organizace (WMO) definuje sucho jako delší období absence nebo deficitu srážek, které vede k hydrologické nerovnováze a ohrožení ekonomických a sociálních činností (Heim 2002). Jedním z příkladů socioekonomického sucha je sucho v Uruguayi v letech 1988–1989, které vedlo k výraznému poklesu výroby elektrické energie z vodních elektráren. Kvůli nízkým zásobám vody musela vláda přejít na alternativní a nákladnější zdroje energie, včetně dovozu ropy, a zavedla přísná opatření na úsporu elektřiny, což mělo negativní dopady na hospodářství i životní úroveň obyvatel (NDMC 2025).

Podobně jako u hydrologického sucha se dopady socioekonomického sucha obvykle projeví až s časovým odstupem, přičemž jeho následky mohou přetrvávat i po skončení meteorologického či hydrologického sucha (Brázdil, Trnka a kol. 2015). Dlouhodobé sucho může způsobit strukturální změny v ekonomice, včetně poklesu zaměstnanosti v zemědělství, změny migračních trendů obyvatelstva a růstu cen surovin spojených s výrobou potravin a energií (Markova a kol. 2018).

3.1.5 Ekologické sucho

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

3.2 Příčiny sucha

Sucho je přirozenou součástí klimatu. Podle ČHMÚ (2025) je jeho hlavní příčinou srážkový deficit, který definuje jako záporný rozdíl mezi aktuálním množstvím srážek a jejich dlouhodobým normálem za určité období. Hlavním problémem sucha je jeho zvyšující se četnost a intenzita, což je v mnoha regionech zesíleno nevhodným hospodařením s vodními zdroji a krajinou (AVČR 2019).

Období 2011–2020 bylo nejteplejším v zaznamenané historii. Globální teplota byla v roce 2019 o 1,1 °C vyšší než před průmyslovou revolucí (Evropská komise 2025). Zvyšující se teploty vedou ke snížení podílu pevných srážek (sněhu) na celkovém úhrnu atmosférických srážek, což omezuje akumulaci vody ve sněhu a snižuje zásoby vody na začátku vegetačního období, čímž se zvyšuje riziko sucha v jarních a letních měsících (Žalud 2021).

Česko je kvůli své geografické poloze závislé téměř výhradně na přísunu vody z atmosférických srážek – s výjimkou několika řek (např. Dyje, Ohře) většina toků pouze odvádí vodu do sousedních států, což zvyšuje jeho zranitelnost vůči suchu (AVČR 2019). Podle Vlacha (2019) je při definování hydrologického sucha podstatná sezonalita, která s sebou přináší vyšší variabilitu nízkých průtoků, což je většinou spojováno s nedostatkem srážek.

Zvyšující se životní úroveň společnosti zvyšuje nároky na spotřebu vody (Brázdil, Trnka a kol. 2015; Estrela 2001). Rostoucí poptávka po vodě se nejvíce projevuje v zemědělských oblastech s intenzivním zavlažováním a v průmyslových regionech s vysokou spotřebou vody. Pokud jsou odběry prováděny z útvarů podzemních vod, může dojít k přerušení hydraulického kontaktu mezi povrchovými toky a hladinou podzemní vody, což dále zhoršuje dostupnost vodních zdrojů (Tallaksen, Van Lanen 2004).

Člověk hraje klíčovou roli ve změně hydrologických režimů prostřednictvím regulace toků a výstavby přehrad. Ty mohou mít jak pozitivní, tak negativní vliv. V období přebytku vody se přehrady naplní a umožňují její využití v suchých obdobích, avšak zároveň mohou zadržovat vodu, která by jinak přirozeně obohacovala podzemní zdroje a vodní toky pod hrázemi (Van Loon a kol. 2016; Tallaksen, Van Lannen 2004). Příkladem pozitivního vlivu přehrad na hladinu podzemní vody je přehrada Marun v Íránu, kde po jejím naplnění došlo ke zvýšení hladiny podzemních vod, které byly předtím na kriticky nízké úrovni (Adib a kol. 2023).

Typ povodí výrazně ovlivňuje jeho citlivost na sucho. Povodí s rychlým odtokovým procesem (s převahou povrchového a hypodermického odtoku) jsou náchylnější na extrémní výkyvy – jak na sucho, tak na povodně. Naproti tomu povodí s výrazným podílem základního odtoku a silnou nenasycenou vrstvou reagují na změny srážek pomaleji, což zmírňuje výskyt sucha, ale zároveň prodlužuje jeho trvání (Tallaksen, Van Lannen 2004).

4 Vodní bilance

Vodní bilance se sestává z hydrologické bilance a vodohospodářské bilance. Hydrologická bilance porovnává přírůstky a úbytky vody a změny vodních zásob povodí, území nebo vodního útvaru za daný časový interval.

4.1 Vodohospodářská bilance

Vodohospodářská bilance porovnává požadavky na odběry povrchové a podzemní vody a vypouštění odpadních vod s využitelnou kapacitou vodních zdrojů z hledisek množství a jakosti vody a jejich ekologického stavu (ustanovení § 22 odst. 1, zákona 254/2001 Sb. - vodní zákon). Výsledkem tohoto hodnocení je informace o dostupnosti a jakosti vody, která se následně porovnává s požadavky na využití vodních zdrojů a slouží jako podklad pro vodohospodářské plánování (Šembera, 1979; Pavelková Chmelová, Frajer 2013).

Šembera (1979) uvádí, že v roce 1975 byl zaveden nový přístup ke zpracování vodohospodářské bilance, což vedlo ke vzniku směrného vodohospodářského plánu. Tento plán přinesl systematické zpracovávání bilance a zároveň stanovil povinnost Ministerstva lesního a vodního hospodářství sestavovat ji pravidelně. Bilance byla vytvářena podle celostátní metodiky a zahrnovala jak kvantitativní, tak kvalitativní aspekty povrchových i podzemních vod. Odebíraná voda se nejčastěji využívá k zásobování obyvatelstva pitnou vodou, v zemědělství, průmyslu, energetice a službách. Aby mohla být voda čerpána z vodních zdrojů, je nezbytné splnit požadavky na minimální průtoky ve vodních tocích, které zajišťují stabilitu ekosystému.

V rámci vodohospodářské bilance platí pro odběratele od 1.1. 2022 povinnost měřit a od 1.1. 2023 vykazovat množství odebrané vody, pokud jejich odběr přesáhne 1 000 m³ za rok nebo 100 m³ za měsíc. Přesné podmínky pro měření a vykazování stanovuje vyhláška Ministerstva zemědělství č. 20/2002 Sb., která určuje metodiku a četnost sledování množství a jakosti vody. Odběry podzemních vod jsou rovněž zpoplatněny podle § 88 vodního zákona, což má za cíl regulovat využívání těchto zdrojů a zamezit jejich nadměrnému čerpání.

Hodnocení kvality podzemních i povrchových vod probíhá na základě porovnání naměřených hodnot s normativními limity stanovenými v ČSN 75 7221. Podle § 10 vyhlášky 431/2001 Sb.

o vodní bilanci se kvalita podzemních vod posuzuje pomocí ukazatelů, jako jsou chloridy, sírany, amonné ionty, dusičnany, CHSK_{Mn} , měď, kadmium, olovo a pH (Balejová a kol. 2024). U povrchových vod se jakost vyhodnocuje podle nařízení vlády č. 401/2015 Sb. a normy ČSN 75 7221. Hodnotí se parametry kyslíkového režimu, základní chemické a fyzikální ukazatele a také biologické a mikrobiologické indikátory. Dále se sledují doplňkové chemické ukazatele, mezi něž patří celkový organický uhlík, chloridy, sírany, vápník, hořčík, železo, mangan a další. Na základě těchto údajů se vypočítává aritmetický průměr, medián, minimální a maximální hodnota a charakteristická hodnota, což umožňuje zařazení povrchových vod do kategorií I–V podle jejich jakosti (Rutová, Balejová 2024).

Další důležitou složkou vodohospodářské bilance je odtok a vypouštění odpadních vod zpět do vodního toku. Podle § 21 odst. 2 písm. b) vodního zákona a § 22 téhož zákona jsou subjekty vypouštějící odpadní vody v objemu 6 000 m³ za rok nebo 500 m³ za měsíc povinny jednou ročně vykazovat údaje o množství a stupni znečištění vypouštěných vod. Zdroje znečištění lze rozdělit na evidované a bilancované (Balejová a kol. 2024). Vodohospodářská bilance slouží k vyhodnocení vztahů mezi příjmy a výdaji vody na určitém území a současně zohledňuje i její kvalitu.

4.2 Hydrologická bilance

Hydrologická bilance je v současnosti definována zákonem o vodách č. 150/2010 Sb., kde je v § 22 uvedeno, že hydrologická bilance společně s bilancí vodohospodářskou tvoří celkovou vodní bilanci. Podle § 2 uvedeného zákona je hydrologická bilance definována jako „porovnání přírůstků a úbytků vody s vyhodnocením změn vodních zásob v povodí, v hydrogeologickém rajonu, v území nebo ve vodním útvaru za daný časový interval z hlediska množství a jakosti vody, které charakterizuje prostorové a časové rozdělení oběhu vody v přírodním prostředí“. Devět konkrétních podmínek pro stanovení hydrologické bilance v České republice upravuje vyhláška č. 431/2001 Sb.

Podle Šráčka a Kuchovského (2003) hydrologická bilance vyjadřuje veškeré zdroje a ztráty vody v daném povodí, které je v tomto kontextu chápáno jako uzavřená oblast. Nicméně hydrologická bilance nemusí být stanovena pouze pro povodí, ale také pro jiné územní celky, například stát, okres nebo obec. Nejčastěji se však bilance počítá právě pro povodí, které

je vymezeno rozvodnicí – fiktivní čarou spojující nejvyšší body terénu oddělující jednotlivá povodí. Rozvodnice mohou být orografické, vycházející z reliéfu terénu, nebo hydrogeologické, založené na podzemních tocích vody (Tyl, David, Beran 2021).

Výpočet hydrologické bilance se provádí za určitou časovou periodu, obvykle za měsíc nebo rok. Často se bilance sestavuje pro konkrétní hydrologickou událost, například povodeň. Nejčastěji se využívá hydrologický rok, protože pro kratší časová období nemusí být výpočet dostatečně přesný a v některých případech není možné stanovit nebo oddělit jednotlivé složky bilance (Kemel 1996). Hydrologický rok trvá 12 měsíců, v Evropě začíná 1. listopadu a končí 31. října následujícího kalendářního roku. Podle Šilara (1996) a Kemela (1996) je tento časový interval vhodný, protože zahrnuje i srážky ve formě sněhu, které se v průběhu tání dostávají do bilančních výpočtů ve stejném období. Důležitým aspektem při sestavování bilanční rovnice je skutečnost, že hodnoty naměřené na začátku a na konci hydrologického roku bývají podobné, což přispívá k přesnosti bilančních výpočtů.

Základy hydrologické bilance byly položeny již v roce 1983, kdy výzkumy vycházely z teorie, že jediným zdrojem vody zapojeným do hydrologického cyklu jsou atmosférické srážky. Mezi významné současné autory zabývající se hydrologickou bilancí patří Dingman (2014), který uvádí, že základní rovnice hydrologické bilance porovnává vstupy, výstupy a změny vodních zásob v povodí nebo jinak definovaném území (nejčastěji povodí) během určitého časového období. Většina hydrologických modelů vychází z rovnice hydrologické bilance, a proto jsou často kategorizovány jako modely podle hydrologické bilance (Healy, Scanlon, 2013). Tradičně je tato rovnice založena na principu zachování hmoty v uzavřeném systému (Chow a kol. 1988).

4.3 Vláhová bilance

Vláhová bilance obecně ve zjednodušeném pohledu označuje vzájemný rozdíl mezi atmosférickými srážkami jako základní příjmovou složkou oběhu vody v krajině a celkovým výparem (evaporací, v případě rostlinného krytu evapotranspirací), který společně s odtokem (povrchovým, podzemním a podpovrchovým či hypodermickým) je základní výdejovou složkou bilance oběhu vody v přírodě (Kohut, Rožnovský, Chuchma 2008)

$$\text{vláhová bilance [mm]} = \text{srážky [mm]} - \text{evapotranspirace [mm]}$$

4.4 Hlavní složky vodní bilance

Mezi hlavní zdroje přírůstků vody patří atmosférické srážky a případný přítok z jiného povodí. Naopak k úbytkům vody dochází v důsledku odtoku, evapotranspirace a infiltrace. (Pavelková Chmelová, Frajer 2013).

4.4.1 Srážky

Atmosférické srážky vznikají kondenzací nebo sublimací vodní páry a dělí se na horizontální (rosa, mlha, jinovatka) a vertikální (déšť, sníh, kroupy). Pro hydrologickou bilanci jsou důležité vertikální srážky, které dopadají na zemský povrch. Srážky lze dále dělit podle skupenství na kapalné (déšť) a tuhé (sníh, kroupy). Klíčové parametry srážek zahrnují vydatnost, trvání, plochu zásahu a pravděpodobnost výskytu, přičemž intenzita ovlivňuje odtokový proces (Tlapák, Šálek, Legát 1992).

Výška srážek se udává v milimetrech jako množství vodního sloupce na 1 m² zemského povrchu. Měří se srážkoměrem, ombrografem nebo totalizátorem (Kemel 1996). Měření v České republice zajišťuje Český hydrometeorologický ústav, který spravuje síť stanic. Sněhová pokrývka se měří sněhoměrnou latí a její výška se zaznamenává denně. Přesnější údaj představuje vodní hodnota sněhu, která vyjadřuje objem vody získaný roztáním sněhu (Šilar 1996).

4.4.2 Výpar

Výpar je meteorologický prvek vyjadřující množství vody, které se za určitou dobu odpaří z různých povrchů (evaporace) nebo prostřednictvím rostlin (transpirace). Rozlišujeme potenciální výpar (maximálně možný za daných podmínek) a skutečný výpar (aktuální, efektivní výpar) odpovídající dostupnosti vody v prostředí (Šráček, Kuchovský 2003). Výpar se obvykle vyjadřuje obdobně jako úhrn srážek – výškou vodního sloupce v milimetrech. Ztráta vody výparem je jednou z klíčových složek hydrologické bilance a hraje významnou roli v tepelné bilanci zemského povrchu i přilehlého vzduchu (ČMeS 2025).

Výpar vody lze definovat jako přestup vodní páry do atmosféry v důsledku odtrhávání pohybujících se molekul z povrchu vody a půdy, z povrchu sněhu a ledu, z rostlinných orgánů i ze všech materiálů obsahujících vodu nebo ledové krystaly. K vypařování dochází pouze tehdy, pokud molekuly získávají dostatečné množství energie potřebné ke změně skupenství. (Havlíček 1986). Podle Shuttlewortha (1993) je evaporace proces, ke kterému dochází, když se kapalná voda přemění na vodní páru a je přenesena v této podobě do atmosféry. Proces může za přísunu energie probíhat přirozeně, a to většinou ze Slunce, nebo z atmosféry. Zároveň je řízen rychlostí, jakou se energie ve formě vodní páry může rozptýlovat pryč z daného povrchu.

Skupenské výparné teplo vody je při běžné teplotě 20 °C 2,45 MJ/l. To je přibližně 0,68 kWh sluneční energie (přepočet 1 kWh = 3600 kJ, $2\,450/3600 = 0,68$ kWh). Při výparu 1 litru vody je tedy ve vodní páře „uschováno“ přibližně 0,68 kWh sluneční energie (Pokorný a kol. 2021).

Transpirací rostliny se uvolňuje voda do ovzduší. Protože je součástí fotosyntézy a nelze ji oddělit od výparu, používá se souhrnný termín evapotranspirace (Šilar 1996). Evapotranspirace zahrnuje výpar (evaporaci), transpiraci a sublimaci. Přibližně 60 % srážek se vrací zpět do atmosféry (Zang a kol. 2012). Evapotranspiraci ovlivňují faktory jako sluneční záření, srážky, vítr a vegetace, přičemž hlavním činitelem je sluneční záření, které umožňuje přeměnu vody na vodní páru. Sublimace představuje přímý přechod pevného skupenství (led, sníh) na plynné.

Měření evapotranspirace probíhá pomocí lyzimetrů, které sledují změny hmotnosti půdního vzorku s vegetací (Šráček, Kuchovský 2003). V oblastech bez měřících přístrojů lze evapotranspiraci určit pomocí empirických vzorců. Evaporace probíhá do doby, než vzduch dosáhne 100% relativní vlhkosti a je ovlivněna teplotou a vlhkostí vzduchu. Opakem evaporace je kondenzace, ke které dochází při dosažení rosného bodu.

Potenciální evapotranspirace (PET) je vyšší v létě a nižší na jaře a na podzim, kdy jsou hodnoty srážek větší než PET a dochází k doplňování podzemních vod. PET závisí na klimatických podmínkách a vegetaci, přičemž její hodnoty lze odhadnout pomocí empirických rovnic nebo přímým měřením (Litschmann 2005). K určení PET se nejčastěji využívají metody podle Thornthwaita, Penmana či Turca, které zohledňují teplotu vzduchu, solární radiaci a vlhkostní podmínky (Novotný 2024).

Ztrátu vody výparem z volné hladiny či potenciální evapotranspirací je obtížné měřit přímo, proto bylo vytvořeno mnoho různých metod pro její výpočet (Ansorge, Beran 2019). V odborné literatuře existuje mnoho rovnic pro výpočet potenciálního výparu, které mají rozdílné nároky na vstupní meteorologická data (Oudin a kol. 2005). Výpar z volné vodní hladiny se v posledních desetiletích zvyšuje vlivem změny klimatu. Růst průměrných teplot akceleruje výpar, zatímco srážkové úhrny v Česku na dlouhodobých časových řadách stagnují, což tento trend nekompenzuje (Šuhájková a kol. 2019).

4.4.2.1 Modely pro výpočet výparu

Podle Xu a Singha (2001) lze modely pro výpočet potenciálního výparu rozdělit do pěti kategorií:

- Modely podle hydrologické bilance
- Aerodynamické modely
- Modely na základě radiace
- Modely na základě teploty vzduchu
- Kombinované modely

4.4.2.1.1 Model podle hydrologické bilance

U malých povodí, kde nejsou výrazné rozdíly v úhrnech srážek a v krajinném pokryvu, lze celkový výpar (evapotranspiraci) určit z rovnice hydrologické bilance. U větších, heterogenních a antropogenně ovlivněných povodí se do bilanční rovnice přidávají další proměnné, jako například bazální odtok, změna zásob vody ve sněhu nebo odběry vody lidskou činností (Healy a kol. 2007). Výpočet evapotranspirace pomocí hydrologické bilance vyžaduje velmi přesná vstupní data, protože tento přístup je náchylný k chybovosti. Z tohoto důvodu je doporučeno využívat tento model pouze v povodích s kvalitním měřením (Rodell a kol. 2011). Rovnice hydrologické bilance vypadá následovně:

$$P + Q_{in} = ET \pm \Delta S + Q_{out}$$

v upravené formě

$$ET = P + Q_{in} \pm \Delta S - Q_{out}$$

kde: P jsou srážky, Q_{in} přítok, ET evapotranspirace ΔS změna zásob v povodí, Q_{out} odtok

4.4.2.1.2 Aerodynamické modely

Aerodynamické modely se primárně využívají pro výpočet potenciálního výparu z vodních ploch a jsou založeny na teorii přenosu hmoty, známé jako mass-transfer theory (Almutairi 2019). Tato teorie popisuje proces přenosu, při kterém dochází k transportu kapalné nebo plynné složky z oblasti s vyšší koncentrací do oblasti s nižší koncentrací (Chhabra, Shankar 2018). Přenos hmoty může probíhat dvěma hlavními mechanismy: molekulární difúzí, která je způsobena rozdílnými rychlostmi pohybu molekul, nebo vířivou (turbulentní) difúzí, kde se transport odehrává v důsledku přítomnosti vířivých proudů (Chhabra, Shankar 2018).

4.4.2.1.3 Radiační modely

Přístupy na základě radiace mají využití při odhadu výparů z vodních ploch a při potenciálním výpočtu evapotranspirace z vegetace a půdy (Xu, Singh 2000). Empirické rovnice používané k výpočtu potenciálního výparu na základě radiace jsou zpravidla odvozeny z principu energetické bilance (Jensen a kol. 1990). Základním principem energetické bilance je skutečnost, že výpar vyžaduje značné množství tepelné energie. Pokud je vypařující se plocha dostatečně zásobená vodou, pak je intenzita výparu primárně řízena množstvím dostupné tepelné energie (Jensen, Haise 1963).

4.4.2.1.4 Modely na základě teploty vzduchu

Jak už napovídá samotný název, modely pro výpočet potenciálního výparu na základě teploty vzduchu jsou ty, ve kterých vystupuje jako hlavní proměnná pouze teplota vzduchu (Xu, Singh 2001). Výhodou těchto modelů je jejich nízká náročnost na vstupní data. Oproti Penmanově kombinované rovnici, která vyžaduje informace o rychlosti větru, radiační bilanci a vlhkosti vzduchu, si zde vystačíme pouze s teplotou vzduchu, která je relativně snadno měřitelná (Linacre 1977). Tato metoda patří mezi nejstarší přístupy pro výpočet potenciálního výparu, přičemž první pokusy o sestavení odpovídající rovnice sahají až do 20. let 20. století (Jensen a kol. 1990).

Jako příklad lze uvést rovnici pro výpočet výparu na základě teploty vzduchu dle Šuhájkové (2019). K odvození nových regresních vztahů pro výpočet výparu byla použita data za 62 let z výparoměrné stanice v Hlasivu u Tábora. Jedná se nejen o hodnoty výparu, ale i další meteorologické veličiny, jež stanice zaznamenává.

$$VVH = 0,0824 \times T_{vzd}^{1,289}$$

VVH–výpar z vodní hladiny (mm/měsíc); T_{vzd} – průměrná teplota vzduchu (°C)

4.4.2.1.5 Kombinované modely

Kombinované modely pro výpočet potenciálního výparu spojují v jedné rovnici dva odlišné přístupy – aerodynamický přístup a přístup na základě energetické bilance (Van Bavel 1966).

První matematické vyjádření této myšlenky vytvořil Penman a Keen (1948), čímž položili základ prvnímu kombinovanému modelu. Obecně jsou kombinované modely mnoha hydrology považovány za nejvíce fyzikálně přesné a uspokojivé (Shuttleworth 1993; Beven 2001). Avšak kvůli vysoké náročnosti na vstupní data jsou často kritizována. Proto se mnohé studie zaměřovaly na zjednodušení těchto modelů, především Penmanova modelu, při zachování jeho fyzikální přesnosti (Van Bavel 1966; Valiantzas 2006). Penmanův kombinovaný model je široce využíván jako standardní metoda v aplikované hydrologii pro výpočet potenciální evaporace z vodní hladiny v různých klimatických podmínkách, a to především díky jeho fyzikální přesnosti (Dingman 1994). Různé modifikované verze Penmanovy rovnice se rovněž používají pro stanovení evapotranspirace referenčních plodin (Valiantzas 2006).

4.4.3 Infiltrace

Infiltrace neboli vsakování, ovlivňuje vodní režim půdy, intenzitu povrchového odtoku a zásoby podpovrchové vody. Každá půda má omezenou infiltrační kapacitu, udávanou v mm/min. Infiltrace je zpočátku rychlá a postupně se stabilizuje. Rychlost vsakování závisí na druhu půdy, její struktuře a počáteční vlhkosti – s rostoucí vlhkostí infiltrační kapacita klesá (Kutílek 1963).

Výpočet infiltrace lze provést na základě hydrologické bilance:

$$H_I = H_S - H_{ET} - H_{PO}$$

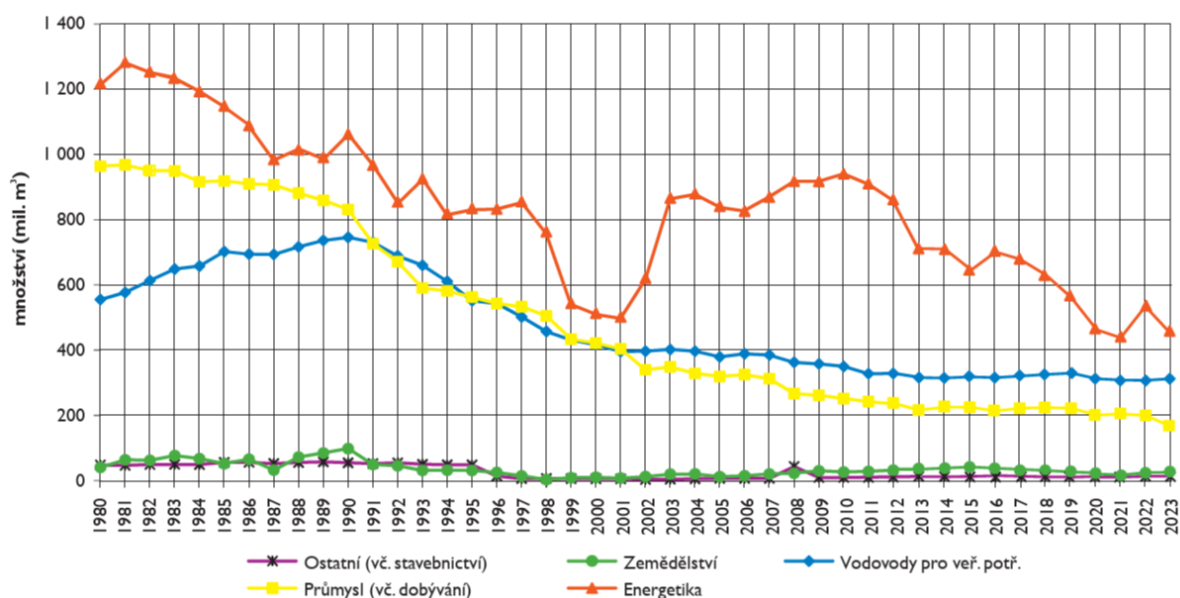
kde H_S jsou srážky, H_{ET} evapotranspirace a H_{PO} povrchový odtok. Přesné stanovení infiltrace je obtížné, neboť není jasné, zda se infiltrovaná voda stane součástí podzemního odtoku nebo se odpaří. (Šráček, Kuchovský 2003).

Infiltrace probíhá pronikáním vody do půdy, dokud není dosaženo infiltrační kapacity. Pokud jsou srážky nižší než infiltrační kapacita, nevzniká povrchový odtok. Pokud srážky tuto kapacitu překročí, dochází k jeho vzniku. Infiltrační schopnost půdy je ovlivňována mnoha půdními parametry, kromě půdního typu, struktury, textury půdy a hydrofyzikálních vlastností půdy, patří mezi faktory ovlivňující tuto schopnost chemismus půdy, množství půdních organismů a způsob hospodaření (Rawles a kol. 1982). Infiltrací půdy se rozumí schopnost půdy umožnit pohyb vody do půdního profilu (Zhang a kol. 2017). Umožňuje půdě dočasně uskladňovat vodu, takže je dostupná pro příjem rostlinami a půdními organismy. Na infiltrační rychlost mají vliv faktory jako zrnitost půdy, preferenční cesty proudění a přítomnost povrchové vody, která zvyšuje hydraulický gradient. Rychlost infiltrace je měřítkem toho, jak rychle se voda dostává do půdy a obvykle se vyjadřuje v milimetrech za hodinu. Při nasycení půdy se voda redistribuuje, přičemž její dostupnost pro rostliny závisí na půdní kapacitě a bodu vadnutí. Rovnováha nastane, když infiltrační fronta dosáhne hladiny podzemní vody (Šráček, Kuchovský 2003). Příliš pomalý vstup vody může vést k odtoku vody na rovných polích, k erozi povrchového odtoku na svažitéch polích nebo k nedostatečné vlhkosti pro rostlinnou výrobu. Pro optimální rostlinnou výrobu musí pronikat do půdního profilu dostatečné množství vody. Porézní půdy umožňují vyšší infiltraci a dodávají vodu do podzemní zvodnělé vrstvy a udržují základní tok v tocích. Příliš vysoká infiltrace může vést k vyplavování dusičnanů

a dusíku nebo pesticidů, nejsou-li správně řízeny. Adaptační opatření, jako například krycí rostliny mohou zlepšit infiltrační schopnost půdy (Horáková 2022).

4.4.4 Odběry povrchových vod

Od roku 2016 dochází v Česku k trvalému poklesu odběrů povrchových vod, přičemž výjimkou byl rok 2022 (obrázek 8). V roce 2023 trend poklesu pokračoval a celkové odebrané množství povrchové vody se snížilo z 1 089,5 mil. m³ (v roce 2022) na 966,7 mil. m³, což je historické minimum. Nejvýraznější pokles byl zaznamenán v energetice o 16,2 % (87 mil. m³), v průmyslu o 17,7 % (35,6 mil. m³) a v zemědělství o 3,2 % (0,9 mil. m³). Ostatní odběry včetně stavebnictví vzrostly o 5,3 %, zatímco odběry pro vodovody pro veřejnou potřebu zůstaly na stejné úrovni jako v roce 2022. Pokles odběrů povrchových vod v roce 2023 byl evidován ve všech státních podnicích Povodí, nejvíce v Povodí Labe (o 18,9 %), následovalo Povodí Odry (o 7,6 %), Povodí Moravy (o 6,4 %), Povodí Ohře (o 6,2 %) a Povodí Vltavy (o 3,9 %) (Hubalová, Slámová 2024).



Obrázek 8: odběry povrchové vody v Česku mezi lety 1980 a 2023 (zdroj: Hubalová, Slámová 2024)

Po roce 1990 došlo k významnému snížení exploatace vodních zdrojů v důsledku změn ekonomických a ekologických faktorů, modernizace průmyslu a snížení ztrát vody v rozvodné síti. Odběry povrchové vody pro vodovody pro veřejnou potřebu klesly ze 744,9 mil. m³ v roce 1990 na 309,1 mil. m³ v roce 2023, což odpovídá 41,5 % hodnoty z roku 1990. V zemědělství poklesly odběry z 97,2 mil. m³ na 26,8 mil. m³ (27,6 % úrovně roku 1990), v průmyslu z 830,1 mil. m³ na 165,9 mil. m³ (20 % úrovně roku 1990) a v energetice z 1 060,9 mil. m³ na 451,1 mil. m³ (42,5 % úrovně roku 1990) (Hubalová, Slámová 2024).

Nižší odběry povrchové vody však neznamenaají automaticky nižší antropogenní ovlivnění vodních zdrojů. V energetice například vzrostla tzv. nenávratná spotřeba vody (rozíl mezi odběrem a vypouštěním) kvůli vyššímu výparu v chladicích věžích elektráren. Každoroční hodnocení vodních zdrojů se provádí v rámci vodní bilance dle vyhlášky č. 431/2001 Sb., která sleduje požadavky na zachování minimálního bilančního průtoku v kontrolních profilech a zahrnuje všechny hospodářské aktivity související s vodou. Dlouhodobé statistiky potvrzují výrazný pokles odběrů povrchové vody po roce 1990, což souvisí s ekonomickými a ekologickými faktory, technologickou modernizací a snížením ztrát ve vodovodech (Hubalová, Slámová 2024). Spotřeba vody v českém zemědělství je v porovnání s jinými státy nízká. Jednou z příčin může být i skutečnost, že v řadě zemědělských podniků se pro potřeby živočišné výroby využívá voda z místních regionů a spotřeba není evidována. Cena podzemní vody je v Česku výrazně nižší než cena vody povrchové. Příjmy z odběrů povrchové vody tvoří nejvýznamnější část příjmů státních podniků Povodí (Fousová, Jiroudová a Koubová 2021). Trend snižování odběrů povrchové vody je však patrný již od 80. let. Současné klesá i množství vypouštěných odpadních vod.

5 Efektivnější typy zavlažování

Kapková závlaha je symbolem intenzivní zemědělské výroby v suchých oblastech. Oproti postřikové závlaze pracuje s menšími objemy a tlaky vody, což snižuje investiční náklady. Na druhou stranu je provoz náročný na čistotu vody, což vyžaduje efektivní filtraci. Voda se pomocí kapek dává přímo k jednotlivým rostlinám. Z hlediska ochrany půdy a vody kapková závlaha eliminuje povrchový odtok a vymývání hnojiv. Voda je dodávána přímo do půdy k rostlinám, což zabraňuje jejím ztrátám odparem z listů nebo povrchu meziřádků. Kapková závlaha může využívat i odpadní vodu, přičemž rovnoměrné rozložení přísunu hnojiv v čase maximalizuje efekt hnojení (Sklenička a kol. 2020).

Tento systém umožňuje precizní řízení závlah, kdy jsou živiny dodávány v optimální hloubce kořenové zóny s ohledem na aktuální růst rostlin. Lze jej přizpůsobit různým půdním podmínkám a srážkovým charakteristikám. Kapková závlaha se využívá i v oblastech s dostatečnými ročními srážkami, pokud jsou nerovnoměrně rozloženy v průběhu vegetační sezóny. Umožňuje řízené dodávky živin, které nelze dosáhnout běžným chemickým hnojením.

Podpovrchová kapková závlaha je určena pro velké plochy polních kultur a dobře se kombinuje s bezorebnými nebo minimálními technologiemi obdělávání půdy. Povrchová kapková závlaha je vhodná pro menší plochy a řádkové kultury, přičemž je doporučována zejména pro lehké písčité půdy. Podpovrchová varianta je výhodná pro použití recyklované vody z hygienického hlediska, protože případná rezidua se v půdě rychleji rozkládají než ve vodě (Sklenička a kol. 2020).

Precizní řízení závlah využívá specializované softwarové systémy, které na základě meteorologických a růstových modelů optimalizují závlahu a hnojení. Systém zpravidla pracuje v týdenních cyklech, přičemž externí agronomové závlahové plány kontrolují on-line. Precizní zemědělství jako moderní trend vysoce intenzivního hospodaření využívá kontinuální sběr dat přímo z porostů, díky tomu je možné okamžité vyhodnocování podmínek a optimalizaci postupů na úrovni malých ploch. Data z měření jsou propojena s dálkovým průzkumem Země pomocí satelitů a dronů, což umožňuje sestavení přesných plánů hnojení. Dávkování hnojiv může být řízeno při pojezdu mechanizace pomocí GPS nebo přímou aplikací prostřednictvím kapkové závlahy. V současné době se v České republice hospodaří pouze na přibližně 20 % ploch s dostupnou závlahou v určité formě a technickém stavu (Sklenička a kol. 2020).

5.1 Zkušenosti ze zahraničí - Izrael

Izrael je světovou špičkou v technologiích vodního hospodářství, což je výsledkem dlouhodobého a systematického přístupu k adaptaci na nepříznivé přírodní podmínky. Přestože přírodní poměry v České republice nejsou a ani podle nejpesimističtějších klimatických modelů nebudou srovnatelné s podmínkami v Izraeli, tamní způsob hospodaření s vodou je velmi inspirativní. (Sklenička a kol. 2020).

Ještě před sto lety bylo dnešní území Izraele převážně neúrodné s malými palestinskými osadami a rozsáhlými oblastmi nevyužité země. Dnes zde žije osm milionů obyvatel s vysokou životní úrovní, to vytváří mimořádný tlak na vodní zdroje. Ve druhé polovině 20. století, podobně jako v České republice, probíhaly rozsáhlé technické zásahy do krajiny s cílem zvětšit plochu zemědělské půdy a zajistit dostatek vody pro intenzivní zemědělskou výrobu. Později se ukázalo, že je nutné využívat jemnější a efektivnější biotechnické postupy pro úpravy krajiny, což vedlo k vývoji a aplikaci celé škály inovativních technologií (Sklenička a kol. 2020).

Jedním z příkladů je příběh Chulského údolí, dnes významné zemědělské oblasti s velkými zásobami sladké vody. Původní Chulské jezero a přilehlé bažiny byly v 50. letech vysušeny s cílem rozšířit zemědělskou plochu a eliminovat malárii, která v té době bránila rozvoji osídlení. Vysušení jezera vedlo k významným hydrologickým změnám, včetně poklesu zásob podzemních vod. Proto byla později provedena velkoplošná revitalizace, při níž bylo založeno jezero Agmon. Nové jezero je menší a mělké, ale jeho nepravidelný tvar s ostrovy poskytuje vhodné podmínky pro hnízdění ptactva a stalo se klíčovým migračním stanovištěm v oblasti Velké příkopové propadliny mezi Afrikou, Evropou a Asií. Tento příklad ukazuje důležitost uvažlivého přístupu k vodnímu hospodářství a vliv velkých hydrologických zásahů na krajinu a ekosystémy (Sklenička a kol. 2020).

6 Vodní nádrž Sedlec

Vodní nádrž Sedlec se nachází zhruba 2,5 km severozápadně od obce Mašťov na místě bývalého rybníka. Jeho výstavba probíhala na přelomu 70. a 80. let 20. století na místě bývalé protržené hráze rybníka, jehož těleso bylo při stavbě zcela odstraněno. Podloží v místě hráze tvoří hlíny, tufy, kamenito-hlinité a čedičové sutě, přecházející v čedič. Ověřovací provoz byl zahájen v prvním čtvrtletí 1983. Foto vodní nádrže Sedlec viz obrázek 9.



Obrázek 9: hráz vodní nádrže Sedlec (zdroj: archiv autora)

Se stavbou vodní nádrže souvisely i provedené dílčí úpravy koryta na přítoku do nádrže. Rozdělovací objekt na vodním toku Dubá nad VN Sedlec rozděluje tok na dvě větve (viz obrázek 10).



Obrázek 10: rozdělovací objekt na toku Dubá (zdroj: archiv autora)

Přírodním korytem dále teče Dubá I až do nádrže Sedlec a potrubím DN 400 je odváděna voda tokem Dubá II přes obec Mašťov do vodního toku Leska (Povodí Ohře 2013). Na toku Dubá II je postaveno i přírodní koupaliště, které bylo terénním průzkumem shledáno jako nepoužívané (obrázek 11).



Obrázek 11: přírodní koupaliště Mašťov (zdroj: archiv autora)

Plocha vodní nádrže se pohybuje v rozmezí 11 až 32 hektarů v závislosti na vodním stavu. Průměrná hloubka nádrže je 2,5 metru a maximální 6,5 metrů. Celkový prostor nádrže činí 1,017 mil m³, ovladatelný prostor 0,850 m³. Vodní nádrž zajišťuje akumulaci vody v krajině, tlumí extrémní hydrologické jevy (sníží kulminační průtok 100leté povodňové vlny z hodnoty 12,4 m³.s⁻¹ na 9,61 m³.s⁻¹) a pomáhá udržovat minimální zůstatkový průtok v toku pod nádrží (5 l.s⁻¹) (Povodí Ohře 2013). Slouží primárně pro zavlažování zemědělských ploch, ale postupně získala i hydrologickou, ekologickou a rekreační funkci. Přítoky nádrže jsou silně ovlivněny srážkovými úhrny a sezónními výkyvy, což může vést během suchých období ke snížení hladiny vody a následnému narušení vodního režimu (Koptík 2020).

VN Sedlec se svými parametry řadí mezi takzvané malé vodní nádrže (MVN) (objem do 2 mil. m³ a 9 m hloubky). MVN v období sucha nadlepšují průtok pod hrází a také mohou zvyšovat hladinu podzemní vody v okolí. Pokud je ale nádrž nevhodně umístěna, tak hrozí, že kvůli vysokému výparu může negativně ovlivňovat hydrologickou bilanci. (Beran a kol. 2023).

7 Přírodní rezervace Sedlec

Vodní dílo Sedlec je součástí přírodní rezervace Sedlec. Území tvoří rozmanitá mozaika mokřadních a suchých stanovišť. Dominantní jsou mokřadní biotopy, zahrnující vodní plochy, zaplavené a zaplavované pobřežní porosty vysokých ostřic, podmáčené pcháčové a tužebníkové louky a porosty vrb. Tato prostředí mají zásadní význam zejména pro řadu ohrožených druhů ptáků a obojživelníků (Koptík 2020).

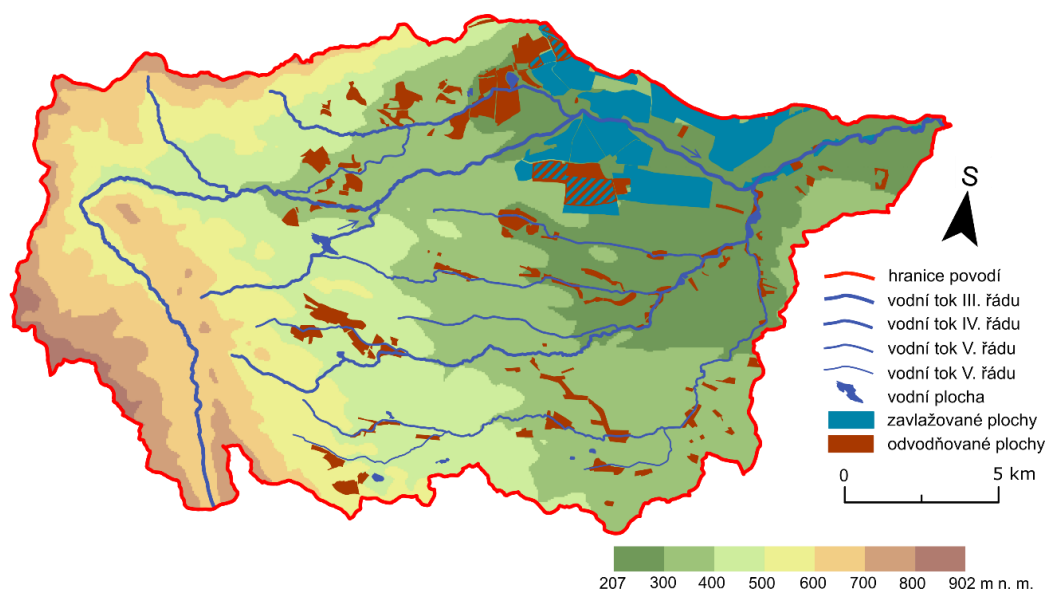
Doplňkovým prvkem je jižně orientovaná stráň, kde se vyskytují acidofilní efemerní společenstva v mozaice se suššími ovsíkovými loukami, chudšími úzkolistými suchými trávníky a roztroušenými keři.

Mezi nejvýznamnější rostlinné druhy patří ostřice odchylná (*Carex appropinquata*), hrachor chlupatý (*Lathyrus hirsutus*), hrachor trávolistý (*Lathyrus nissolia*), ovsířík štíhlý (*Ventenata dubia*).

Z významných zástupců živočišné říše se zde vyskytují kuňka obecná (*Bombina bombina*), čolek velký (*Triturus cristatus*), luňák červený (*Milvus milvus*), chřástal polní (*Crex crex*), bekasina otavní (*Gallinago gallinago*), ledňáček říční (*Alcedo atthis*) (Koptík 2020).

8 Závlahy a meliorace v povodí

V povodí se nachází více než 1900 hektarů odvodňovaných ploch, zejména v okolí Račetic, Vinařů, Radonic a Mašřova (obrázek 12). Kromě odvodňovacího systému byl vybudován i závlahový systém, který zásobuje vodou více než 2000 hektarů zemědělské půdy. Tento systém je soustředěn především v oblasti Račeticka, která je známá pěstováním cibule, okurek a dalších plodin (obrázek 13).

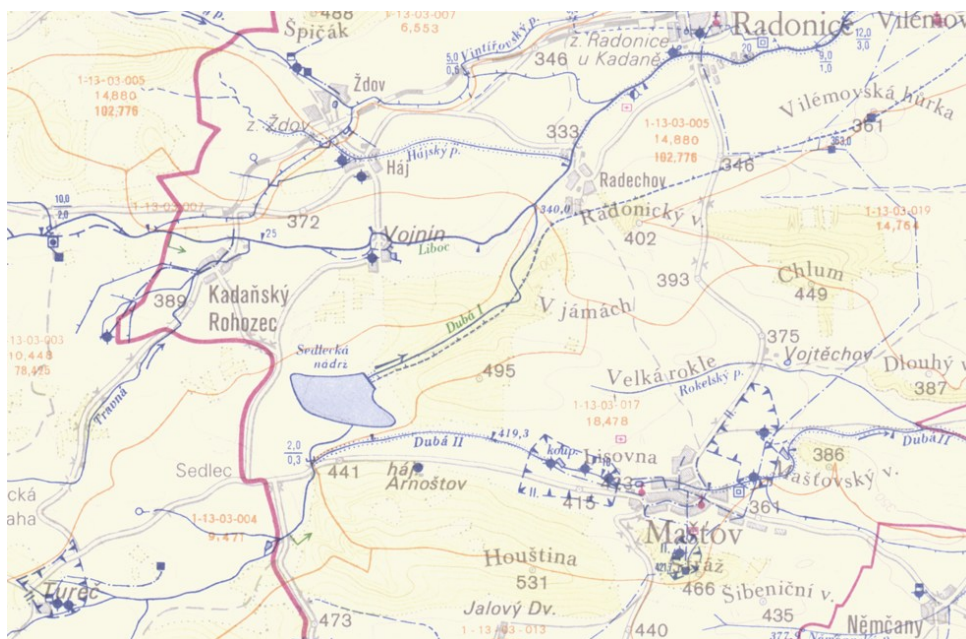


Obrázek 12: odvodňované a zavlažované plochy v povodí řeky Liboc
(zdroj: ArcČR 500, DIBAVOD, Ministerstvo zemědělství, archiv autora, vlastní zpracování)

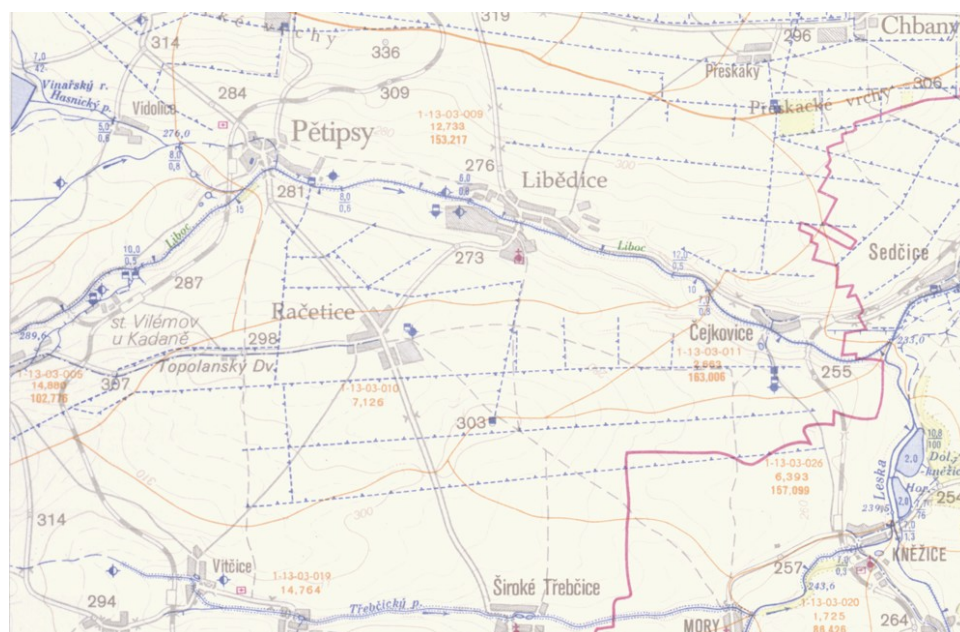


Obrázek 13: zemědělská krajina, v pozadí stroj na sklizení okurek (zdroj: archiv autora)

Podle vodohospodářské mapy (obrázky 14 a 15) je voda na tyto plochy přiváděna několikakilometrovým potrubím z vodní nádrže Sedlec. Voda je gravitačně dopravována potrubím o průměru 40 cm severovýchodním směrem přes akumulční nádrž Vilémov (obrázek 16), zde se nachází i jeden z vodohospodářských objektů (obrázek 17).



Obrázek 14: výřez z vodohospodářské mapy s vyznačením tras potrubí pro závlahový systém (zdroj: HEIS VÚV)



Obrázek 15: výřez z vodohospodářské mapy s vyznačením tras potrubí pro závlahový systém (zdroj: HEIS VÚV)



Obrázek 16: akumulční nádrž Vilémov (zdroj: archiv autora)



Obrázek 17: vodohospodářský objekt u akumulční nádrže Vilémov (zdroj: archiv autora)

Dále potrubí pokračuje jižně od obce Vilémov, za ní se rozdvíjí a následně se v oblasti Račetic větví do několika rozvodných ramen, která zásobují okolní zemědělské plochy vodou.

V obci Pětipsy se podle vodohospodářské mapy nachází čerpací stanice, která odebírá vodu z toku Liboc. Její funkčnost však nebyla ověřena. U obce Račetice potrubí ústí do druhé akumulární nádrže, která slouží k dalšímu rozvodu vody v závlahovém systému. Při terénním průzkumu ve vegetační sezóně bylo zjištěno, že s vodou není nakládáno šetrně. Jako příklad lze uvést používání zavlažovací techniky, která rozstříkuje vodu na povrch rostlin či zavlažování v nevhodné době – v poledne či odpoledne, kdy je to neefektivní (většina vody se odpaří a nedostane se ke kořenům pěstované vegetace). Řešením by mohlo být použití kapkové závlahy, která je násobně efektivnější než zmiňované rozstřikovače (obrázek 18). Podle manipulačního řádu se v povodí částečně uplatňuje mikrokapénková závlaha.



Obrázek 18: zavlažovací systémy (zdroj: archiv autora)

9 Zákazy odběru povrchových vod

Kvůli suchu jsou v povodí řeky Liboce pravidelně vyhlašovány zákazy odběrů povrchových. Od roku 2018 je tento zákaz vyhlašován každý rok s výjimkou roku 2021, ve kterém byl zaznamenán poměrně nízký počet suchých dnů. Od roku 2006 do roku 2024 bylo na hlavním toku Liboce zaznamenáno celkově 12 zákazů. Od roku 2018 jsou zákazy také na mnoha přítocích. Zákaz se týká většiny odběrů povrchové vody včetně odběrů pro zalévání zahrádek, napouštění bazénů či mytí aut. Omezení se naopak nevztahují zejména na odběry povrchových vod za účelem zásobování obyvatelstva pitnou vodou, pro požární účely či pro jiné odběry ve veřejném zájmu. (Povodí Ohře 2025a). V tabulce 2 jsou uvedeny toky a roky, kdy byl zákaz vyhlášen. Při terénním průzkumu bylo zjištěn i odběr pro soukromé využití (obrázek 19).

Liboc	2006	2007	2008		2010	2012	2015	2018	2019	2020	2022	2023	2024	12
Leska				2009			2015	2018	2019	2020	2022	2023	2024	8
Dolánecký potok							2015	2018	2019	2020	2022	2023	2024	7
Dobřenecký potok								2018	2019	2020	2022	2023	2024	6
Dubá I								2018	2019	2020	2022	2023	2024	6
Dubá II								2018	2019	2020	2022	2023	2024	6
Hasnický potok								2018	2019	2020	2022	2023	2024	6
Němčanský potok								2018	2019	2020	2022	2023	2024	6
Vintířovský potok								2018	2019	2020	2022	2023	2024	6
Žďárský potok								2018	2019	2020	2022	2023	2024	6

Tabulka 2: zákazy odběru povrchových vod v povodí Liboce (zdroj: Povodí Ohře 2025a)



Obrázek 19: zjištěný odběr na toku Dubá II (zdroj: archiv autora)

10 Data a metody

K analýze hydrologického sucha lze využít několik metod, v této práci byly zvoleny dvě konkrétní metody: metoda hodnocení počtu suchých dnů a metoda nedostatkových objemů. Obě metody vycházejí z konceptu prahové hodnoty, tedy hraničního (limitního) průtoku. Jakmile průtok klesne pod tuto hodnotu, je možné hovořit o výskytu hydrologického sucha (Brázdil, Trnka a kol. 2015). Jako prahová hodnota byl zvolen tzv. 355denní průtok (Q_{355d}). Jedná se o hodnotu, která je v dlouhodobém průměru dosažena nebo překročena 355 dní v roce. Pro tok Dubá I je hodnota Q_{355d} $5,1 \text{ l.s}^{-1}$, pro stanici Libočany $0,157 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$.

Metodou počtu suchých dnů se určí počet dnů v hydrologickém roce, kdy průtok klesl pod stanovenou prahovou hodnotu. Díky tomu je možné porovnat mezi sebou nejen jednotlivé roky, ale i vodní toky s různou prahovou hodnotou.

Metoda nedostatkových objemů využívá stejně jako metoda hodnocení počtu suchých dnů období, kdy je průtok pod stanovenou prahovou hodnotou. Nedostatkový objem je objem vody, který chybí k dosažení průtoku na stanovenou prahovou hodnotu. Stanovuje se pomocí následujícího vzorce:

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

Pro účely této diplomové práce byly v povodí řeky Liboc (resp. toku Dubá I) umístěny dvě stanice na měření výšky hladiny vody v tocích. První stanice je situována nad ústím toku Dubá I do VN Sedlec, druhá se nachází v odtokovém kanálu VN Sedlec.

Kromě vlastních měření byla analyzována také data poskytnutá podnikem Povodí Ohře, která zahrnovala údaje o výšce hladiny VN Sedlec, průtocích na toku Liboc ve stanicích Vilémov a Libočany a srážkách na stanici Vilémov a VN Sedlec a také data globální sluneční radiace ze stanice Sedlec.

Dále byla využita meteorologická data stažená ze stránek ČHMÚ, která zahrnovala údaje o teplotě vzduchu, vlhkosti, globální radiaci a srážkách ze stanic Tušimice, Mašťov a Žatec.

Další meteorologická data byla poskytnuta paní a panem Zápotockých, kteří jsou hrázni VN Sedlec. Svou meteorologickou stanici provozují v malé vsi Dobřenec cca 3 km od Sedlce.

10.1 Změření objemu nádrže

Pro správný výpočet změny objemu vody v nádrži ze známé výšky hladiny, která je kontinuálně měřena, bylo provedeno batymetrické mapování, díky kterému bylo možné spočítat objem nádrže při určitých hladinách. Pro tyto účely bylo nutné určit břehovou linii nádrže, změřit hloubky v nádrži, spočítat hledané veličiny. Následně mohla být vytvořena batymetrická mapa.

Pro mapování břehové linie byl použit GPS přístroj s připojením k internetu a využitím online korekcí naměřených polohových dat. Tento přístroj zaznamenává souřadnice X, Y, Z a zároveň určuje kvalitu přijímaného GPS signálu. Celkem bylo zaměřeno 309 bodů, na jejichž základě byla následně vykreslena břehová linie. Přesnost měření GPS byla v západní až jižní části nádrže výrazně ovlivněna vegetací, což vedlo ke zhoršení centimetrové přesnosti měření na úroveň přibližně jednoho metru. Některé body byly kvůli výrazné nepřesnosti (až 6 metrů) z databáze bodů vyřazeny. Měření bylo vztaženo k referenční hladině zásobního prostoru 420,51 m n. m., která sloužila jako výchozí hodnota pro stanovení objemu zadržované vody. V den měření dosahovala skutečná hladina 420,00 m n. m., což znamenalo nutnost odhadnout 51 cm rozdíl oproti referenční hladině. Toto rozhodnutí bylo učiněno vzhledem k časovým možnostem, platnosti povolení plavby lodí na VN Sedlec, aktuální hydrometeorologické situaci a probíhajícímu zimnímu období s malými sněhovými zásobami.

Hloubky byly naměřeny pomocí RiverSurveyoru M9 od společnosti SonTek. Toto zařízení využívá devítipaprskový akustický průtokoměr (ADCP), který dokáže změřit hloubku a průtok až do 80 m. RiverSurveyor M9 je vybaven čtyřmi profilovacími sondami, které pracují s frekvencí 3 MHz pro měření v menších hloubkách. Dále čtyřmi sondami, které pracují s frekvencí 1 MHz pro větší hloubky a vertikálním „echosounderem“ s frekvencí 0,5 MHz, který je využíván primárně pro batymetrické mapování. Přístroj automaticky přepíná mezi jednotlivými senzory podle aktuální hloubky. Součástí přístroje je procesní elektronika, kompas, dvouosé náklonové čidlo, teplotní senzor a GPS modul. Pro zvýšení přesnosti GPS signálu byla na břehu instalována RTK stanice, která s přístrojem ADCP komunikovala prostřednictvím rádiové antény (obrázek 20) (SonTek 2011; Novák a kol. 2017). Během měření bylo zaznamenáno celkem 11 048 hloubkových bodů.



Obrázek 20: ADCP a RTK stanice (zdroj: archiv autora)

ADCP vysílá do vodního prostředí zvukové pulzy o specifické frekvenci, které se po kontaktu se suspendovanými částicemi odrážejí zpět k přístroji (WHOI, 2024). Při dopadu zvukového pulzu na překážku dochází k jeho rozptylu ve všech směrech, přičemž největší část signálu pokračuje neovlivněna původním směrem. Část signálu se však odrazí zpět k senzoru, přičemž v důsledku Dopplerova jevu dochází k posunu frekvence – odražený signál má nižší frekvenci oproti původnímu akustickému pulzu (Gordon 1996).

Přesnost měření může být ovlivněna různými faktory, například přítomností bublin ve vodním sloupci nebo příliš čistou vodou, ve které chybí suspendované částice nutné pro odraz zvukových vln, což vede k nepřesným výsledkům (WHOI 2024). Úspěšnost měření pomocí ADCP spočívá v předpokladu, že ve vodním prostředí je dostatečné množství materiálu umožňujícího odraz akustických pulzů. Tento materiál, například fytoplankton či jemné sedimenty, by se měl pohybovat stejnou rychlostí jako okolní voda. V případě přítomnosti větších objektů, jejichž pohyb není přímo závislý na pohybu vody (např. ryby), dochází k situaci, kdy se akustická energie nevrací s Dopplerovým posunem, což může negativně ovlivnit přesnost měření rychlostního profilu a hloubky (Mueller a kol. 2013).

10.1.1 Zpracování batymetrických dat

Prvním krokem zpracování naměřených dat byla jejich úprava, která byla provedena v programu Microsoft Excel. Z datové sady hloubek byly odstraněny naměřené hodnoty, které se výrazně odlišovaly od sousedních hodnot a byly považovány za extrémní odchylky. Následně byly naměřené hloubky korekčně upraveny o 0,51 m, což odpovídá rozdílu mezi aktuální hladinou nádrže v den měření a zásobní hladinou 420,51 m n. m.

Dalším krokem analýzy byla interpolace dat. Při výběru vhodné interpolační metody byly zohledněny zkušenosti z předchozích výzkumů prováděných na Katedře fyzické geografie a geoekologie PřF UK. Na základě těchto poznatků byla zvolena metoda kriging.

Vstupními hodnotami pro interpolaci bylo 11 048 bodů naměřených pomocí ADCP a 2 238 bodů břehové linie s nulovou hloubkou, získaných pomocí funkce Generate Points Along Lines.

Poté bylo možné provést interpolaci, hustota bodů činila přibližně 6,5 bodu na 100 m². Výsledná interpolovaná vrstva byla vyexportována do rastrového formátu a následně byly pomocí funkce Surface Volume stanoveny objemy a plochy pro různé hloubkové úrovně v intervalech 0,1 m. Celkem bylo získáno 71 hodnot (viz příloha 2), z nichž byly vypočteny objemy vody a rozlohy zatopené plochy při různých výškách hladiny, v tabulce 3 jsou uvedeny tyto hodnoty v redukované formě. Batymetrická mapa a batymetrické křivky viz přílohy 1, 3, 4.

Ze zjištěných hodnot byla vyčíslena polynomická rovnice pro přepočet výšky hladiny ve VN Sedlec na objem akumulované vody.

$$V = 25992,7254365717 * H^2 - 21545193,8193345 * H + 4464644752,46367$$

V je objem vody v nádrži, H je nadmořská výška hladiny

Bylo zjištěno, že hodnoty objemu vody v nádrži i zatopené plochy, které byly naměřeny pomocí batymetrie, se liší od hodnot, které jsou uvedeny v manipulačním řádu. To může být způsobeno chybami měření.

Hladina	Objem batymetrie (tis. m ³)	Objem manipulační řád [tis. m ³]	Plocha batymetrie [ha]	Plocha manipulační řád [ha]	rozdíl objemů [tis. m ³]	rozdíl ploch [ha]
420,51	939,25	849,56	29,88	32,21	89,69	-2,33
420	790,17	695,41	28,49	28,24	94,77	0,25
419,5	652,87	563,49	26,61	24,52	89,38	2,09
419	523,53	447,77	25,36	21,76	75,76	3,60
418,5	404,74	346,02	21,91	18,94	58,72	2,97
418	303,28	258,47	18,86	16,08	44,81	2,78
417,5	215,90	184,87	16,07	13,36	31,04	2,71
417	143,33	124,74	12,98	10,69	18,59	2,29
416,5	85,58	77,65	10,02	8,15	7,93	1,87
416	44,14	42,79	6,53	5,80	1,35	0,73
415,5	19,26	20,41	3,56	3,16	-1,15	0,40
415	6,05	7,50	1,87	2,00	-1,45	-0,13
414,5	0,46	1,24	0,45	0,50	-0,77	-0,05
414	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01
413,7	0,00		0,00		0,00	0,00
413,6	0,00		0,00		0,00	0,00

Tabulka 3: srovnání objemu a vodní plochy vodní nádrže Sedlec získaných z batymetrického měření a údajů manipulačního řádu (zdroj: KFGG PŘF UK, Povodí Ohře 2013)

10.2 Měření přítoku do nádrže

Jedna měřicí stanice se nachází před ústím toku Dubá I do VN Sedlec, konkrétně na silničním mostu (obrázek 21). Koryto je zde zpevněno kamennou dlažbou a je stabilní, vhodné pro měření. Stanice je vybavena ultrazvukovým hladinoměrem FIEDLER US3200 s radiálním krytem, který dosahuje přesnosti <0,2 % z rozsahu ±1 mm a rozlišení 1 mm (FIEDLER 2025).

Stanice byla nainstalována 13. března 2023. Měření probíhá v intervalu 10 minut, přičemž jednou za hodinu jsou data odesílána prostřednictvím GSM na úložiště přes datalogger H 531. Stanice fungovala bez problémů až do 26. září 2023, dne 27. září došlo k výpadku přenosu dat v důsledku poruchy dataloggeru. Ten byl 6. listopadu 2023 nahrazen novým a od té doby nebyly zaznamenány žádné další výpadky.



Obrázek 21: instalace měřicí stanice Dubá I, na snímku technik KFGG RNDr. J. Česák.
(foto: archiv autora)

Pro přepočet výšky hladiny na průtok byla vytvořena konsumpční křivka, která vycházela ze čtrnácti měření průtoků (obrázky 23 a 24). Z toho bylo deset měření provedeno hydrometrickou vrtulí Ott C-2, tři měření objemovou metodou (pro nejnižší průtoky) a jedno plovákovou metodou (pro nejvyšší průtok). Nejnižší změřený průtok činil $2,95 \text{ l.s}^{-1}$, zatímco nejvyšší dosáhl hodnoty 372 l.s^{-1} . Změřené hodnoty reprezentují nejčastěji vyskytující se hodnoty průtoků. Bohužel se vyšší průtoky nepodařilo změřit.

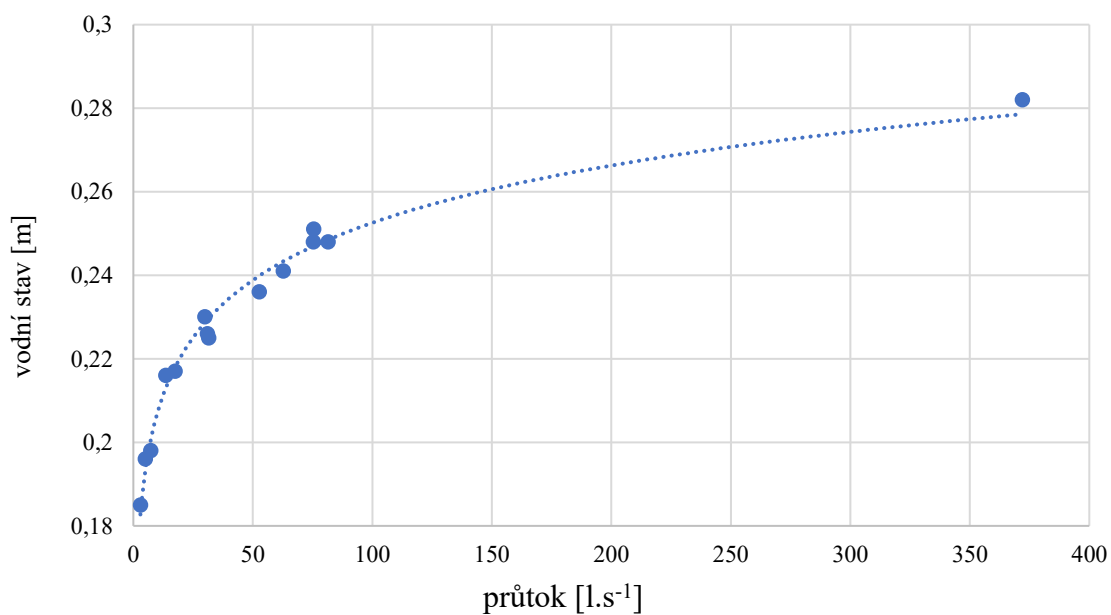
Vypočítaná rovnice pro přepočet výšky hladiny na průtok má následující tvar:

$$Q = 0,0003^{49,799 \cdot h}$$

kde Q je průtok [l.s^{-1}] a h je výška hladiny [m]

datum	čas	Q [l.s ⁻¹]	vodní stav [m]	měřeno
17.03.2023	10:00	62,67	0,241	vtule
20.03.2023	6:00	52,62	0,236	vtule
23.03.2023	15:00	30,99	0,226	vtule
12.04.2023	14:50	29,92	0,23	vtule
13.04.2023	9:20	31,45	0,225	vtule
16.04.2023	13:00	81,44	0,248	vtule
07.05.2023	10:50	13,49	0,216	vtule
07.05.2023	11:10	17,45	0,217	vtule
03.06.2023	12:00	7,21	0,198	nádoba
12.06.2023	14:30	5,02	0,196	nádoba
09.07.2023	11:40	2,95	0,185	nádoba
15.02.2024	13:30	75,32	0,248	vtule
15.02.2024	14:00	75,35	0,251	vtule
01.06.2024	16:00	372	0,282	plovák

Tabulka 4: naměřené hodnoty průtoků a vodní stavy stanici Dubá I



Obrázek 22: konsumpční křivka pro stanici Dubá I



Obrázek 23: měření průtoků hydrometrickou vrtulí (foto: Kryštof Pobřísl)



Obrázek 24: měření průtoků objemovou metodou (foto: Kryštof Pobřísl)

Druhá stanice se nachází pod výpustí vodní nádrže Sedlec. Zde je umístěn Thomsonův měrný přeliv, který má trojúhelníkový tvar s vrcholovým úhlem 90° společně s hydrostatickým hladinoměrem (obrázek 25). Trojúhelníkový přeliv dokáže poměrně přesně měřit malé i velké průtoky. Jeho nevýhoda je, že se může snadno zanáť při minimálních přepadových výškách (VTEI 2019). Pomocí rovnice a známé výšky hladiny byl vypočítán průtok. K přepočtu byla použita rovnice podle Kinga. (VTEI 2019).

$$Q = 1,343 * h^{2,47}$$

kde Q je průtok [$m^3 \cdot s^{-1}$], h je výška hladiny v přelivu [m]



Obrázek 25: odtokový kanál s měrným přelivem (foto: archiv autora)

10.3 Měření odběrů vody z nádrže

Na vzdušní straně hráze VN Sedlec se nachází betonový objekt (obrázek 26), ve kterém je instalován vodoměr sloužící k měření odběru vody pro závlahy. Přístup do objektu je omezen, avšak pro účely výzkumu byl ve spolupráci s podnikem Povodí Ohře zajištěn vstup. Uvnitř objektu se nachází žebřík, po kterém je nutné sestoupit, aby bylo možné se k vodoměru dostat.



Obrázek 26: šachta s vodoměrem (foto: archiv autora)

10.4 Měření výparu

Měření výparu v povodí Liboce je realizováno stacionárním výparoměrem FIEDLER VYPAR-1200, který je umístěn na pozemku penzionu Sedlec. Měrná nádoba má průměr 1207 mm, výšku 45 cm a plochu 1,14 m². Pro zajištění srovnatelných teplotních, povětrnostních a vlhkostních podmínek s okolním prostředím je zapuštěna do země (FIEDLER 2025).

Instalace zařízení proběhla ve dnech 12.–13. dubna 2023. Pro výkopové práce byl použit minibagr (obrázek 27), který instalaci významně urychlil. Po srovnání terénu byla do jámy naspaná kamenná drť a natažena geotextilie, což funguje jako drenáž (obrázek 28).



Obrázek 27: výkopové práce minibagrem (foto: archiv autora)



Obrázek 28: příprava instalace výparoměru (foto: archiv autora)

Vedle samotného výparoměru byla umístěna ocelová tyč sloup, na níž je instalovaná řídicí elektronika a solární panel a v průběhu měření na něj byl umístěn i pyranometr (obrázek 29).



Obrázek 29: výparoměr před napuštěním vodou (foto: archiv autora)

Součástí systému je také zásobní nádoba o objemu přibližně 220 litrů, která slouží k doplňování odpařené vody. Měrná nádoba je vybavena tenzometrickým snímačem hladiny (tlakovým čidlem), který je umístěn ve výparoměrné nádobě. Tento snímač měří úbytek vody výparem jako změnu hydrostatického tlaku, kterou převádí na elektrický signál. Napětí je měřeno voltmetrem a výsledky jsou převedeny na ekvivalent mm výparu. Data jsou ukládána pomocí telemetrické stanice H7 a zaznamenávána v intervalu 10 minut. Kapilára vedoucí z krabičky se snímačem je zakončena membránou udržující atmosférický tlak v systému, čímž se předchází zkreslení měření vlivem změn teploty vody.

V systému je integrováno plovoucí čidlo pro měření teploty vody. Naměřené hodnoty jsou zaznamenávány dataloggerem a odesílány na úložiště pro další zpracování. Celý systém je řízen elektronikou napájenou solárním panelem s akumulátorem a regulátorem dobíjení. Řídicí jednotka ovládá dvě čerpadla, která zajišťují pohyb vody mezi měrnou a zásobní nádobou.

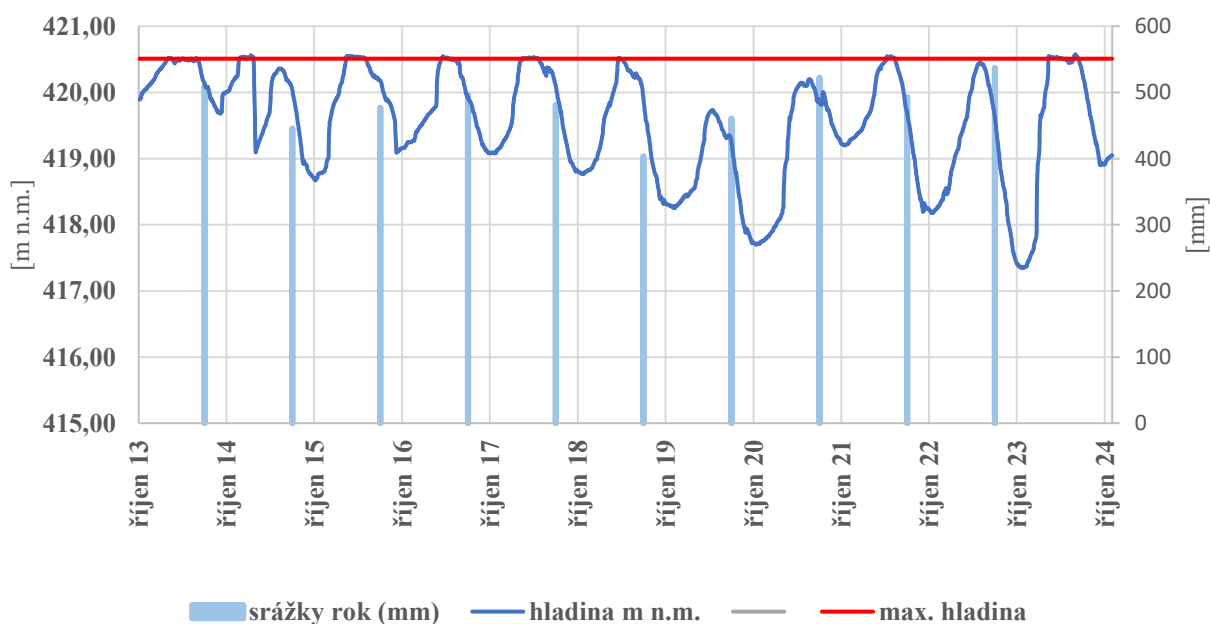
Vypařená voda je denně okolo půlnoci automaticky doplňována na předem stanovenou nominální výšku hladiny. Při srážkách se nadbytečná voda akumuluje v zásobní nádobě – čerpadlo umístěné na dně měrné nádoby se aktivuje pouze v případě intenzivních dešťů. Vzhledem k tomu, že přes výparoměrnou sezónu docházelo k deficitu vody, bylo nutné vodu ve výparoměru pravidelně doplňovat. Voda byla poskytnuta od paní Zápotocké, která provozuje zdejší penzion. Pro ochranu před vnikem zvěře a nepovolaných osob byl výparoměr oplocen.

Pro udržení čistoty vody ve výparoměrné pánvi bylo nutné pomocí jemného sítko pravidelně odstraňovat nečistoty a do vody aplikovat dezinfekci, aby nedošlo k rozmnožení řas a dalších organismů. V zimním období bylo nutné výparoměr ostavit. Byla z něj odčerpána voda a byl zakryt plastovou deskou, která zamezovala vniknutí pevných i kapalných srážek do výparoměrné pánve.

11 Vodohospodářská bilance VN Sedlec

S využitím dat o denní výšce hladiny ve VN Sedlec od Povodí Ohře a ročním úhrnu srážek z nejbližší stanice ČHMÚ (Mašťov) bylo provedeno grafické znázornění vývoje uvedených proměnných za posledních 10 let.

Z grafu (obrázek 30) je patrné, že hladina mezi lety 2014 a 2024 silně kolísala, minimální hladiny byly dosaženy především v podzimních měsících (září, říjen, listopad), maxima především v měsících květnu a červnu. V letech 2020 a 2021 nebylo maximální výšky hladiny (420,51 m n.m.) dosaženo, to je možné vysvětlit tím, že v předchozích letech 2019 a 2020 byl srážkový úhrn silně podnormální (403,5 a 460,8 mm). Maximální hladiny bylo dosaženo až v roce 2022 – pravděpodobně vlivem vyššího úhrnu srážek v předchozím roce a menšímu množství odebrané vody v roce 2021. Nejnižší úroveň výšky hladiny byla zaznamenána v roce 2023, na konci října byla nádrž naplněna jen z 21 %. Celkové srážky byly v daném roce poměrně vysoké (537,2 mm), ale odběry byly extrémní (466 684 m³). Současně zde byla naměřena i vysoká teplota, která má obrovský vliv na výpar.

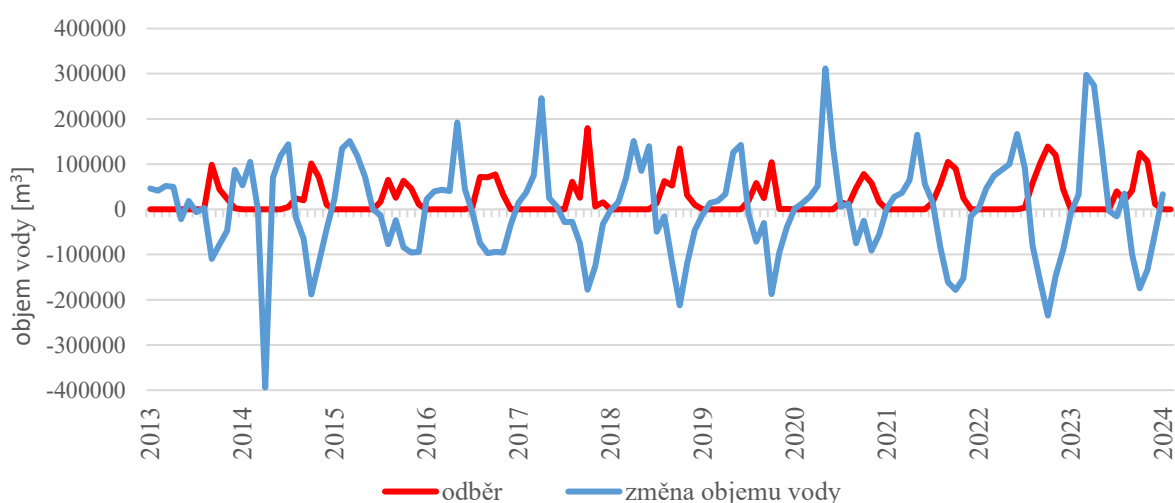


Obrázek 30: vývoj hladiny VN Sedlec mezi lety 2013 a 2024
(zdroj: ČHMÚ, Povodí Ohře, vlastní zpracování)

Vodní nádrž Sedlec je výrazně ovlivněna odběry vody, což je patrné z grafu (obrázek 31). Odběry vykazují periodické kolísání odpovídající sezónní potřebě vody, přičemž v některých obdobích dochází k náhlým nárůstům. Tyto nárůsty mohou souviset s extrémními klimatickými podmínkami, jako jsou sucha nebo se sezónními špičkami spotřeby, zejména v zemědělství.

Průběh měsíčních odběrů má inverzní vztah ke křivce bilance, která představuje rozdíl v objemu vody vždy k prvnímu dni měsíce. Z grafu je patrné, že v letech 2018, 2021 a 2024 došlo k výraznému nárůstu objemu vody v nádrži, a to převážně v zimních a jarních měsících. Jsou období, kdy se odběry zvyšují, ale bilance neklesá dramaticky, což naznačuje kompenzaci vyššími srážkami nebo jiným zdrojem vody. Naopak v některých případech dochází k prudkému poklesu bilance i bez výrazného růstu odběrů, což poukazuje na další faktory ovlivňující vodní bilanci, jako jsou výpar nebo nízké průtoky na přítocích.

Z grafu je patrné, že v jarních měsících (květen a červen) vzrostla hladina vody v nádrži v důsledku srážek, a to v letech 2016, 2019, 2020 a 2024. V roce 2021 tato situace nastala díky vydatným srážkám v červenci. Zemědělci na tento vývoj zareagovali snížením odběrů vody. Především v zimním období je bilance kladná, což znamená, že přítoky převyšují odběry a odtoky, zatímco záporná bilance naznačuje období vyšších vodních ztrát (především ve vegetačním období – tj. duben až září). Po roce 2020 jsou extrémní hodnoty bilance ještě výraznější. Toho je možné si všimnout na tvaru píků křivky (viz. obrázek 31) které jsou široké a poměrně vysoké.



Obrázek 31: vliv odběrů vody na vodohospodářskou bilanci VN Sedlec
(zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

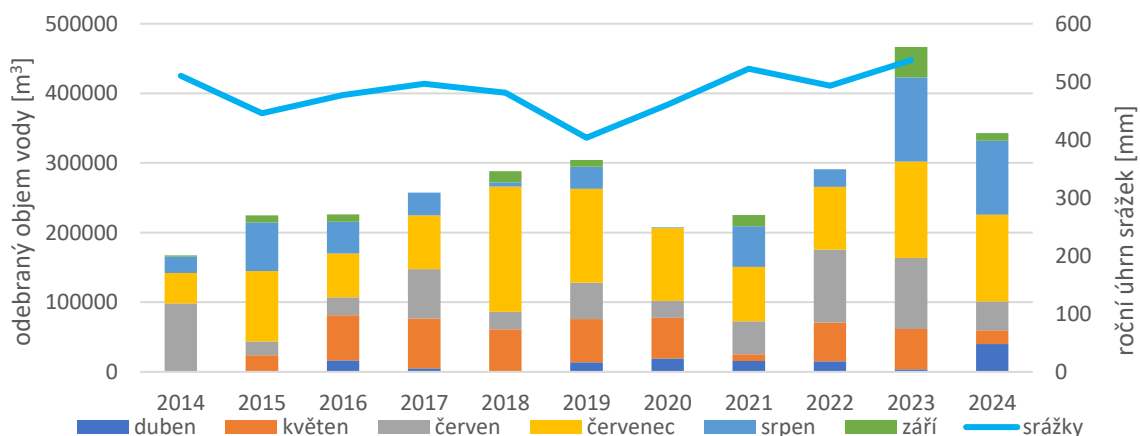
11.1 Odběry vody z nádrže

Vodní nádrž Sedlec je primárně využívána jako rezervoár vody pro zemědělské závlahy.

Graf (obrázek 32) znázorňuje odběry vody z přehrady v jednotlivých letech od roku 2014 do roku 2024, přičemž hodnoty jsou rozdělené podle měsíců – od dubna do září. Z grafu je patrné, že celkový objem odebrané vody postupně rostl až do roku 2019, kdy dosáhl vrcholu. Následně v roce 2020 došlo k výraznému poklesu odběrů, pravděpodobně v důsledku nižší potřeby vody či změněných klimatických podmínek. Po tomto poklesu se hodnoty v letech 2021 a 2022 vrátily do obvyklé výše, avšak k výraznému skoku došlo v roce 2023, kdy odběry prudce vzrostly a dosáhly nejvyšších hodnot za celé sledované období. Naopak v roce 2024 lze opět pozorovat pokles, přesto však zůstávají odběry vyšší než v předchozích letech.

Sezónní rozložení odběrů ukazuje, že největší množství vody je odebráno v červenci a srpnu, to odpovídá hlavní letní sezóně, kdy bývá nejvyšší spotřeba vody, zejména pro zavlažování. Červen a září sice vykazují nižší, ale stále významné odběry, zatímco duben a květen se vyznačují nejnižšími hodnotami, což naznačuje, že hlavní poptávka po vodě se zvyšuje s příchodem letních měsíců. Rok 2023 se vyznačuje extrémně vysokými odběry, zejména v letních měsících, což může souviset spíše s vyššími teplotami než nižšími srážkami, protože srážky v letních měsících byly podstatně vyšší než v roce 2019.

Jako možnou příčinu výkyvů odběrů lze uvést klimatické podmínky, kdy v suchých obdobích s minimem srážek bývá vyšší spotřeba vody využívané k zavlažování.



Obrázek 32: struktura odběrů vody z VD Sedlec mezi lety 2014 až 2024 v porovnání s úhrny ročních srážek (zdroj: ČHMÚ, Povodí Ohře, vlastní zpracování)

Dle manipulačního řádu VN Sedlec je odběr vody možný jen ve vegetační sezóně (duben-září) s tím, že maximální povolený měsíční odběr je 135 000 m³ a maximální povolený roční odběr je 810 000 m³, to představuje 86 % celkového objemu nádrže podle provedené batymetrie a 95 % objemu nádrže podle manipulačního řádu. Tabulka 5 uvádí měsíční odběry od roku 2014 do roku 2024. Maximální povolený měsíční odběr vody byl za celou pozorovanou dobu překročen celkem dvakrát, a to vždy v červenci, konkrétně v letech 2018 a 2023. Maximální povolený roční odběr vody nebyl v uvedených letech překročen.

[m ³]	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
duben	0	0	16 317	5 210		13 811	19 342	15 371	15 326	3 523	39 899
květen	0	23 816	65 105	71 727	61 040	62 066	58 380	10 030	55 230	57 965	19 815
červen	98 247	19 851	25 467	70 745	25 296	52 542	24 518	47 314	105 027	102 120	41 481
červenec	43 782	100 973	62 963	76 996	179 593	134 671	104 106	78 109	90 242	138 524	124 463
Srpen	23 232	70 194	45 909	32 807	6 181	31 364	1 023	58 196	25 006	120 628	106 059
Září	2 166	10 112	10 389		15 924	9 845	521	16 124		43 924	11 059
celkem	167 427	224 946	226 150	257 485	288 034	304 298	207 890	225 144	290 831	466 684	342 776

Tabulka 5: měsíční odebrané množství vody z VN Sedlec za období 2014 až 2024
(zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

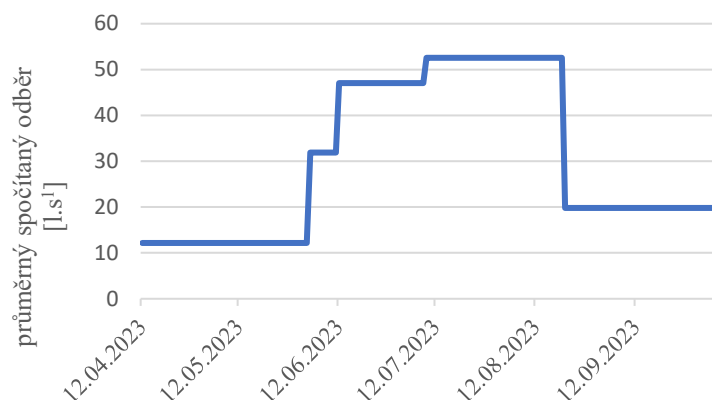
V letech 2023 a 2024 byly odečty na vodoměru prováděny fyzicky, aby bylo možné provést přesnější bilanci a zároveň zkontrolovat platnost poskytnutých dat.

V roce 2023 bylo provedeno celkem 6 odečtů (viz tabulka 6). Nejvyšší okamžitý odběr byl zjištěn 9. července a to 86 l.s⁻¹. Hodnota celkového naměřeného množství odebrané vody (466 684 m³) se shoduje s daty od Povodí Ohře.

datum odečtu	stav [m ³]	změřený odběr [l.s ⁻¹]
12.04.2023	4 055 667	0
03.06.2023	4 110 332	58,8
12.06.2023	4 135 136	34,5
09.07.2023	4 244 899	86,0
21.08.2023	4 440 163	56,9
07.10.2023	4 522 351	0,0

Tabulka 6: odečtené hodnoty z vodoměru VN Sedlec v roce 2023

Z grafu (obrázek 33) je zřejmé, že k největšímu dennímu odběru docházelo v červenci a srpnu, kdy jeho hodnota činila průměrně 4541 m³/den. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 8.



Obrázek 33: průměrné denní hodnoty odběru vody v roce 2023

období od	období do	odebrané množství [m ³]	dnů	m ³ /den	l.s ⁻¹
12.04.2023	02.06.2023	54665	52	1051	12,1
03.06.2023	11.06.2023	24804	9	2756	31,8
12.06.2023	08.07.2023	109763	27	4065	47,0
09.07.2023	20.08.2023	195264	43	4541	52,56
21.08.2023	07.10.2023	82188	48	1712	19,8

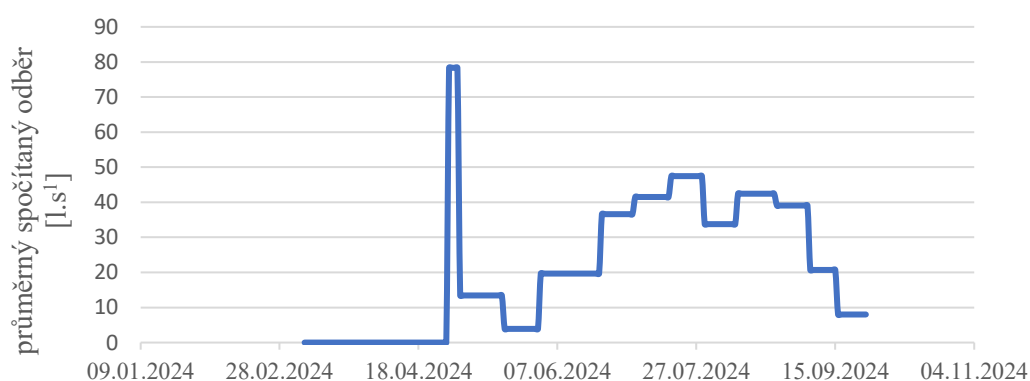
Tabulka 7: odebrané množství vody z VN Sedlec v průběhu roku 2023

V roce 2024 bylo provedeno celkem 15 odečtů. (viz tabulka 9). Nejvyšší naměřený průtok byl zjištěn 30. července, a to 67,66 l.s⁻¹. Hodnota celkového naměřeného množství odebrané vody (373 468 m³) se neshoduje s daty od Povodí Ohře. Data od povodí Ohře uvádí, že v roce 2024 bylo odebráno 342 776 m³, což činí rozdíl 30 692 m³, tj 8,2 % z naměřené hodnoty ročního odběru.

datum odečtu	stav [m ³]	změřený odběr [l.s ⁻¹]
08.03.2024	4 522 351	0
29.04.2024	4522351	0
03.05.2024	4549420	22,72
19.05.2024	4567980	0
01.06.2024	4572355	0
23.06.2024	4609741	31,25
05.07.2024	4647694	27,77
18.07.2024	4694305	56,05
30.07.2024	4743499	67,66
11.08.2024	4778502	43,48
25.08.2024	4829834	27,78
06.09.2024	4870335	40,48
16.09.2024	4888221	0
27.09.2024	4895819	0
27.10.2024	4865127	0

Tabulka 8: odečtené hodnoty z vodoměru VN Sedlec v roce 2024

Graf (obrázek 34) znázorňuje vypočítané průměrné průtoky v litrech za sekundu. Ačkoliv největší průtok byl zjištěn v červenci, tak podle výpočtu byl největší sekundový odběr na začátku června, kdy jeho hodnota činila 78,32 l/s (tabulka 10). Je možné, že se v tyto dny napouštěly akumulární nádrže Vilémov a Račetice.



Obrázek 34: průměrné denní hodnoty odběru vody v roce 2024

od	do	odebrané množství [m ³]	dnů	m ³ /den	l.s ⁻¹
29.04.2024	02.05.2024	27 069	4	6767,25	78,32
03.05.2024	18.05.2024	18 560	16	1160,00	13,43
19.05.2024	31.05.2024	4 375	13	336,54	3,90
01.06.2024	22.06.2024	37 386	22	1699,36	19,67
23.06.2024	04.07.2024	3 7953	12	3162,75	36,61
05.07.2024	17.07.2024	46 611	13	3585,46	41,50
18.07.2024	29.07.2024	49 194	12	4099,50	47,45
30.07.2024	10.08.2024	35 003	12	2916,92	33,76
11.08.2024	24.08.2024	51 332	14	3666,57	42,44
25.08.2024	05.09.2024	40 501	12	3375,08	39,06
06.09.2024	15.09.2024	17 886	10	1788,60	20,70
16.09.2024	27.09.2024	7 598	11	690,73	7,99

Tabulka 9: odebrané množství vody z VN Sedlec v roce 2024

11.2 Přítok vody do nádrže

Hlavním zdrojem vody vodní nádrže Sedlec je tok Dubá I, občasně přitéká voda i z bezejmenného potoka na západní straně VN Sedlec, a to především v období s vyššími srážkami. Pro účely této práce byly analyzovány dva hydrologické roky – rok 2023 a 2024. V roce 2023 probíhalo měření od 13. března do 26. září, kdy došlo k poruše hladina, proto nebylo možné analyzovat rok 2023 ve stejném rozsahu jako rok 2024. Jako suché období byla označena perioda, kdy průtok hlesl pod hodnotu Q_{355d} bez přerušení minimálně na 5 dnů.

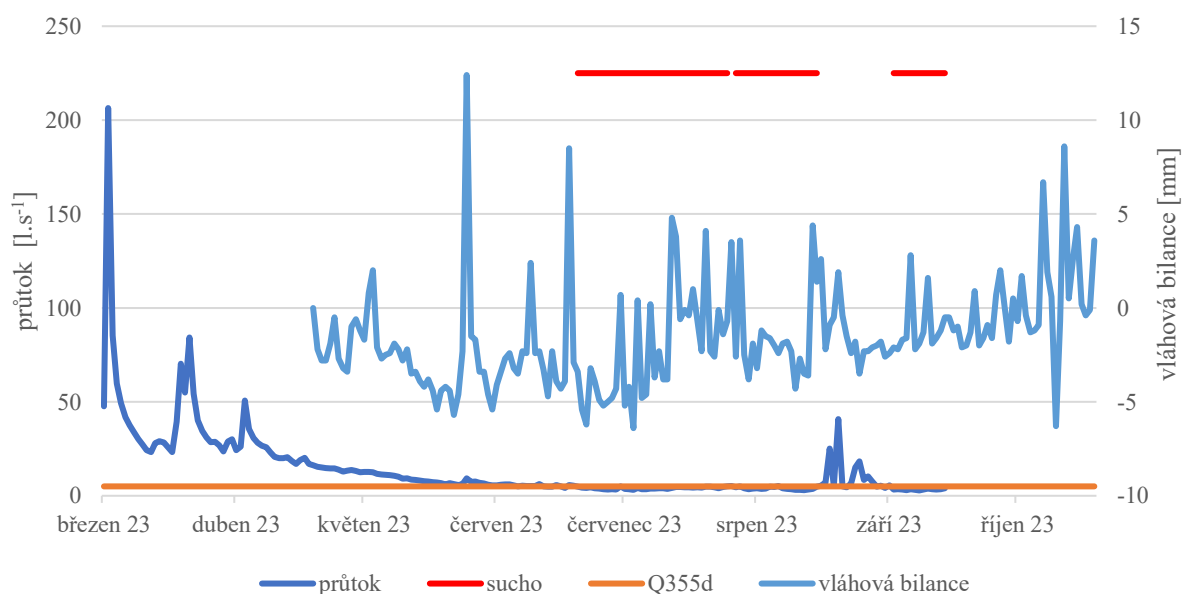
11.2.1 Hydrologický rok 2023

Průměrný průtok na toku Dubá I byl $14,216 \text{ l.s}^{-1}$, což je oproti hodnotě, která je udávána v manipulačním řádu zhruba 4x nižší (56 l.s^{-1}). Nejvyšší průtok $206,41 \text{ l.s}^{-1}$ byl naměřen dne 14. března a nejnižší průtok byl naměřen 20. září, kdy jeho hodnota byla pouhých $2,84 \text{ l.s}^{-1}$. Celkově bylo pozorováno 77 suchých dnů a vypočítaný nedostatkový objem dosáhl hodnoty $7\,130 \text{ m}^3$. Dále byly zjištěny 3 epizody sucha, z nichž nejdelší trvala 36 dnů (viz tabulka 11)

od	do	počet suchých dnů	nedostatkový objem [m ³]
02.07.2023	06.08.2023	36	2985,31
08.08.2023	27.08.2023	20	1952,31
14.09.2023	26.09.2023	13	1899,06

Tabulka 10: suchá období na toku Dubá I v roce 2023 (zdroj: KFGG PřF UK, vlastní zpracování)

Z grafu (obrázek 35) je zřejmé, že období sucha na toku Dubá I trvalo od začátku července a bylo přerušeno 7. srpna na jeden den vlivem předchozích srážek. Sucho skončilo na konci srpna, kdy se 17.8. vlivem srážek povodí nasýtilo. Následující méně intenzivní srážky zvýšily průtok v toku na hodnotu 40,86 l.s⁻¹. Září bylo srážkově velmi chudé, od 14. září až do 26. září nastoupila nová epizoda sucha. V dalším období chybí data, proto nelze jednoznačně říci, zda sucho pokračovalo. Dle údajů ze stanice Dobřenec se žádné vyšší srážky v daném období nevyskytly. V období sucha je křivka vláhové bilance až na výjimky negativní.



Obrázek 35: průtok a suchá období na stanici Dubá I v roce 2023, červená čára znázorňuje období sucha (zdroj: KFGG PřF UK, Povodí Ohře, vlastní zpracování)

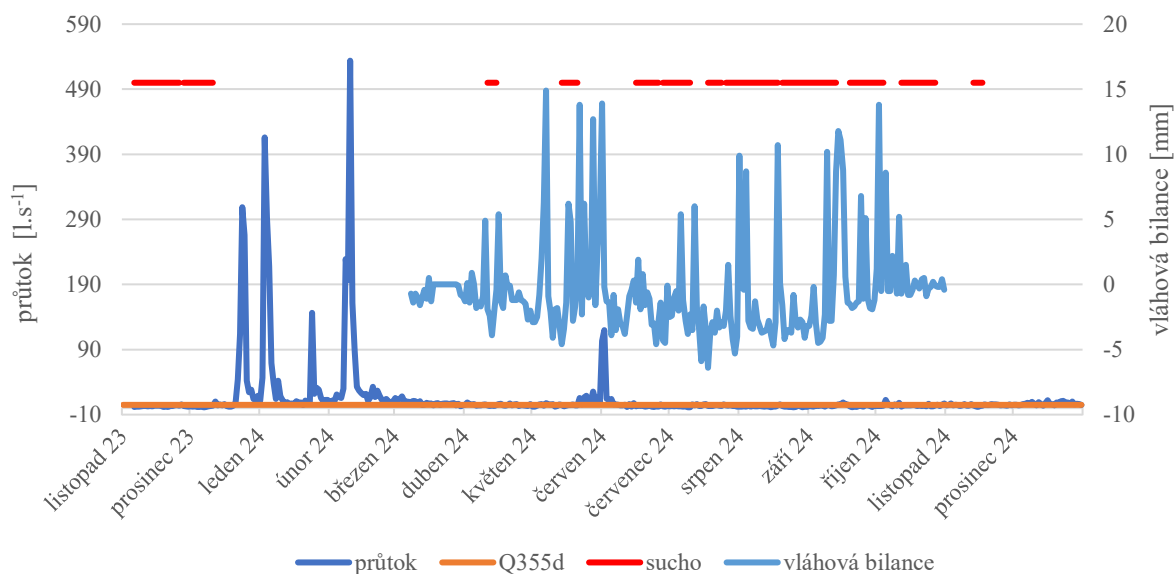
11.2.2 Hydrologický rok 2024

V roce 2024 byl průměrný naměřený průtok $14,26 \text{ l.s}^{-1}$, což je velmi podobná hodnota jako v roce 2023. Nejvyšší průtok byl naměřen 10. února, kdy dosáhl hodnoty $533,88 \text{ l.s}^{-1}$. Vzhledem k tomu, že tato hodnota byla určena extrapolací z konsumpční křivky, tak skutečná hodnota může být odlišná. Nejnižší hodnota byla naměřena dne 7.12., a to $1,17 \text{ l.s}^{-1}$. Celkově bylo zjištěno 202 suchých dnů a spočítaný nedostatkový objem činil $32\,103 \text{ m}^3$. Období sucha jsou uvedena v tabulce 12.

od	do	počet suchých dnů	nedostatkový objem [m^3]
06.11.2023	26.11.2023	21	3 724
28.11.2023	11.12.2023	14	3 133
11.04.2024	15.04.2024	5	438
14.05.2024	21.05.2024	8	493
16.06.2024	26.06.2024	11	2 020
28.06.2024	10.07.2024	13	2 836
18.07.2024	24.07.2024	7	852
26.07.2024	18.08.2024	24	4 506
20.08.2024	13.09.2024	25	4 700
19.09.2024	04.10.2024	16	2 773
12.10.2024	27.10.2024	16	1 575
13.11.2024	17.11.2024	5	809

Tabulka 11: suchá období na toku Dubá I v roce 2024 (zdroj:KFGG PŘF UK, vlastní zpracování)

Z grafu (obrázek 36) je patrné, že na začátku prosince bylo období sucha na toku Dubá I přerušeno srážkami, vlivem kterých silně vzrostl průtok v toku. V zimním období se průtok razantněji zvýšil celkem čtyřikrát. Nejintenzivnější srážky byly 23. prosince, následující den se průtok na stanici Dubá I se zvýšil na hodnotu $308,7 \text{ l.s}^{-1}$. Stejný den bylo celé povodí Liboce zasaženo povodněmi, které dosáhly I. stupně povodňové aktivity. Nasycením a možným zamrznutím půdy pak následující, méně intenzivní srážky způsobily další zvýšení průtoků. Na začátku února byl zjištěn nejvyšší průtok, poté následovalo období s nízkými průtoky a taktéž dvě období sucha. Na začátku června se vlivem předchozích srážek krátkodobě zvýšil průtok v toku a poté následovalo období s několika suchými periodami.

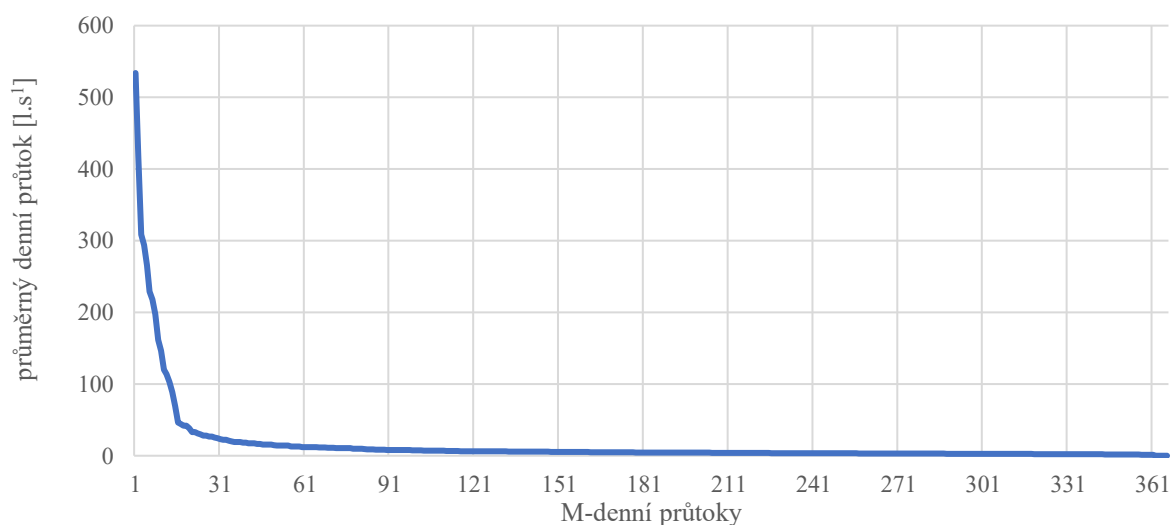


Obrázek 36: průtoky a suchá období na stanici Dubá I v hydrologickém roce 2024, červená čára znázorňuje období sucha (zdroj: KFGG PřF UK, Povodí Ohře, vlastní zpracování)

V tabulce M-denních průtoků (tabulka 13) jsou uvedeny hodnoty průtoků v litrech za sekundu. Naměřené hodnoty jsou několikanásobně nižší, než uvádí tabulka M-denních průtoků v manipulačním řádu. Z čáry překročení (obrázek 37) je též zřejmé, že hodnoty průtoku na přítoku do nádrže jsou po celý rok velmi nízké.

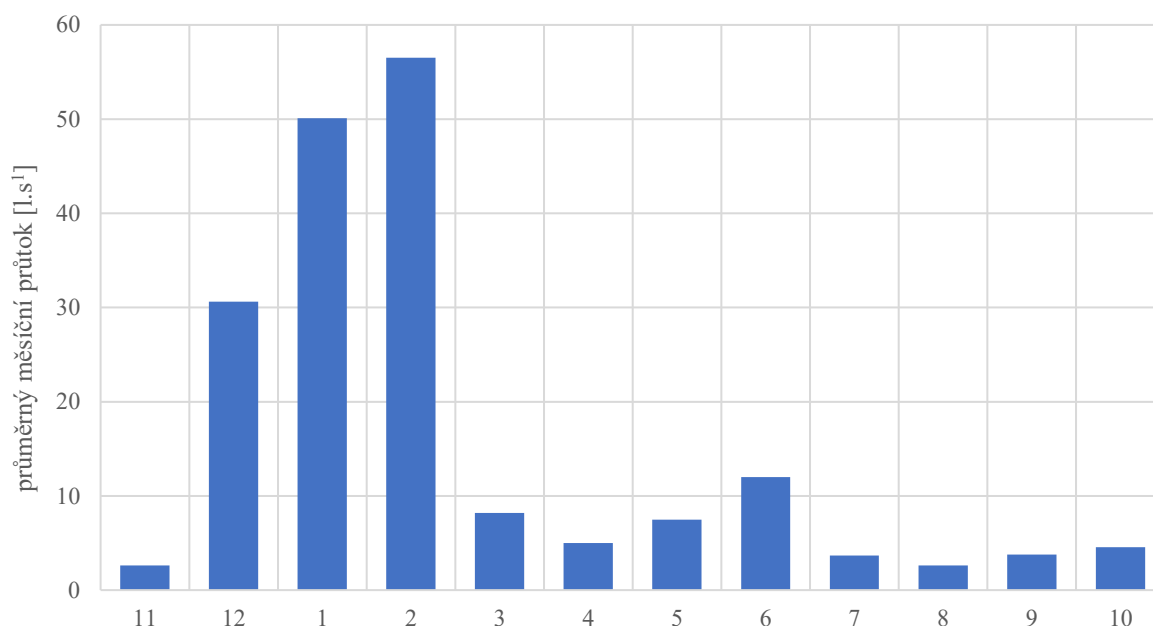
l.s^{-1}	Q30	Q60	Q90	Q120	Q150	Q180	Q210	Q240	Q270	Q300	Q330	Q355	Q360
naměřeno	24,35	12,13	8,14	6,35	5,47	4,48	4,05	3,49	3,01	2,59	2,23	1,50	1,36
manipulační řád	130	91,5	71,3	57,8	47,8	39,7	32,9	27	21,6	16,4	10,9	5,1	0,78

Tabulka 12: M-denní průtoky na stanici Dubá I v hydrologickém roce 2024 a hodnoty z manipulačního řádu (zdroj: KFGG PřF UK, Povodí Ohře 2013, vlastní zpracování)



Obrázek 37: čára překročení na stanici Dubá I pro hydrologický rok 2024 (zdroj: KFGG PřF UK, vlastní zpracování)

Z grafu (obrázek 38) je patrné, že v roce 2024 byly nejvyšší hodnoty měsíčních průměrných průtoků zaznamenány v období prosinec až únor. Nejvyšší průměrný měsíční průtok byl zaznamenán v únoru 2024 a dosáhl hodnoty $56,5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Naopak nejnižší průměrné měsíční průtoky byly zaznamenány v letních měsících, konkrétně v červenci ($3,7 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$), srpnu ($2,6 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$) a září ($3,8 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$). Nejnižší průměrný měsíční průtok byl zaznamenán již v listopadu 2023, kdy hodnota činila pouze $2,6 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obrázek 38: průměrné měsíční průtoky na stanici Dubá I v roce 2024
(zdroj: KFGG PŘF UK, vlastní zpracování)

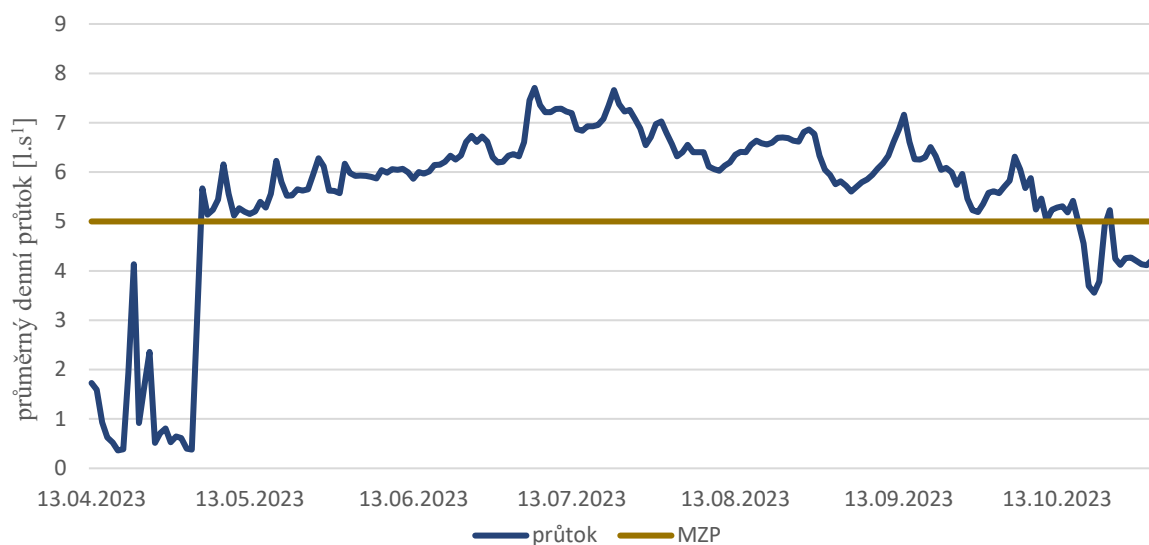
11.3 Odtok vody z nádrže

Minimální zůstatkový průtok (MZP) pod hrází vodní nádrže Sedlec je stanoven na hodnotu $5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Pro účely této práce bylo analyzováno období duben 2023 až říjen 2024.

11.3.1 Hydrologický rok 2023

Z průběhu měřených hodnot z roku 2023, znázorněných v grafu (obrázek 38), je patrné, že tato hodnota nebyla ve sledovaném období vždy dodržena. K poklesu pod stanovený limit došlo ve dvou obdobích. První situace nastala v intervalu od 13. dubna do 4. května 2023, kdy průtok opakovaně klesal pod úroveň MZP. Druhé období s nedodržením MZP bylo zaznamenáno

od 18. října do 31. října 2023, přičemž pouze dne 23. října průtok dosáhl hodnoty $5,2 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$, tedy mírně nad minimální stanovenou mez.

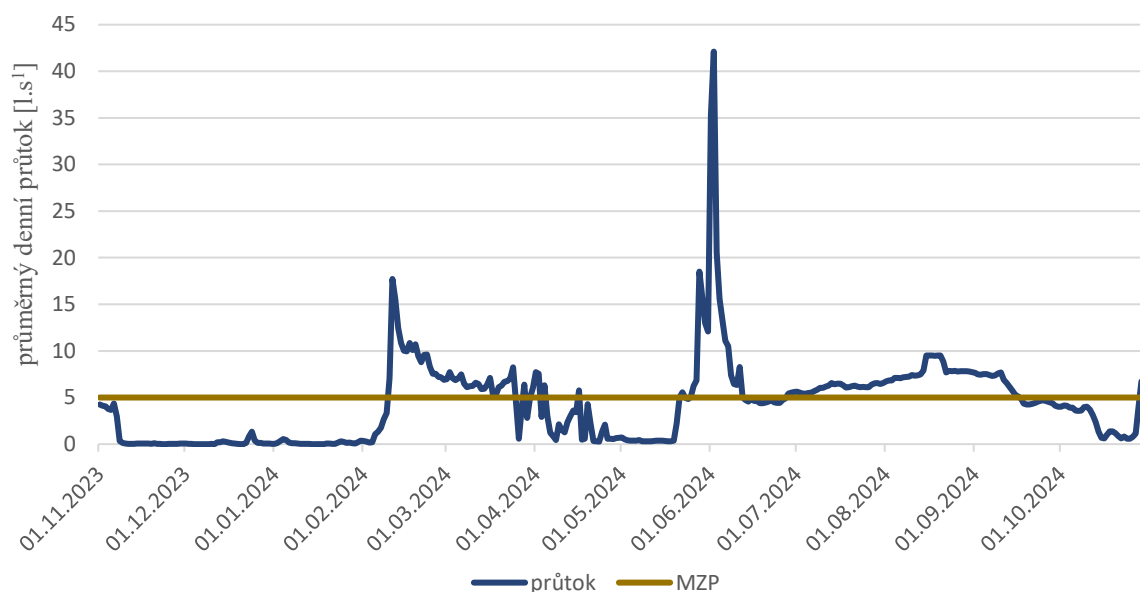


Obrázek 39: odtoky z VN Sedlec v hydrologickém roce 2023 vzhledem k hranici minimálního zůstatkového průtoku (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

11.3.2 Hydrologický rok 2024

Hydrologický režim roku 2024 vykazuje výrazné kolísání průtoků, což je patrné z grafu (obrázek 40). V období od listopadu 2023 do začátku února 2024 byl průtok na přítoku do vodní nádrže Sedlec téměř nulový, a pouze výjimečně překročil hodnotu $1 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Tento období extrémně nízkých průtoků bylo přerušeno až 11. února 2024, kdy průtok náhle vzrostl na $17,7 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$, pravděpodobně v důsledku tání sněhu v kombinaci se srážkovou epizodou. Následně však průtok opět klesal směrem k minimálním hodnotám, což dokládá trvajících deficit v povodí.

Výraznější změna v průtokovém režimu nastala začátkem července, kdy v důsledku intenzivních srážek došlo k výraznému zvýšení přítoků, následovalo naplnění nádrže a přepad vody přes bezpečnostní přeliv. Průtok stanovený na základě Kingovy rovnice dosáhl hodnoty $42,1 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$, přičemž na samotném přítoku byl naměřen průtok $119,8 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Tento rozdíl lze vysvětlit překročením kapacity měrného přelivu, kdy část vody odtékala jiným způsobem než standardní měrnou sekci, což ovlivnilo výsledky výpočtu.



Obrázek 40: odtoky z VN Sedlec v hydrologickém roce 2024 vzhledem k hranici minimálního zůstatkového průtoku (zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)

11.4 Výpočet hydrologické bilance

S využitím hodnot z podrobného měření přítoku, odtoku, odběru a známé změny objemu vody v nádrži bylo možné vyčíslit denní deficit či přírůstek vody v nádrži.

K výpočtu bilance byla použita následující rovnice:

$$Q_{in} - Q_{out} - Q_{odběr} \pm \Delta = P - E$$

Kde: Q_{in} je denní přítok (m^3), Q_{out} je denní odtok [m^3], $Q_{odběr}$ je denní odběr [m^3], Δ je změna zásob v nádrži, P jsou denní srážky [m^3], E je denní evapotranspirace [m^3].

Pravou stranu rovnice vyjádřenou jako rozdíl srážek a výparu je možné nazvat jako vláhová bilance. Pro menší zkreslení byly jednotlivé složky sečteny v měsíčním kroku a dále bylo pracováno s měsíčními daty.

11.5 Hydrologická bilance roku 2023

Hydrologická bilance vodní nádrže Sedlec v roce 2023 vykazuje výrazné sezónní rozdíly, které odrážejí nerovnováhu mezi přítoky a ztrátami vody způsobenými výparem, odtokem a odběrem. Průběh je znázorněn v grafu (obrázek 41), vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 14.

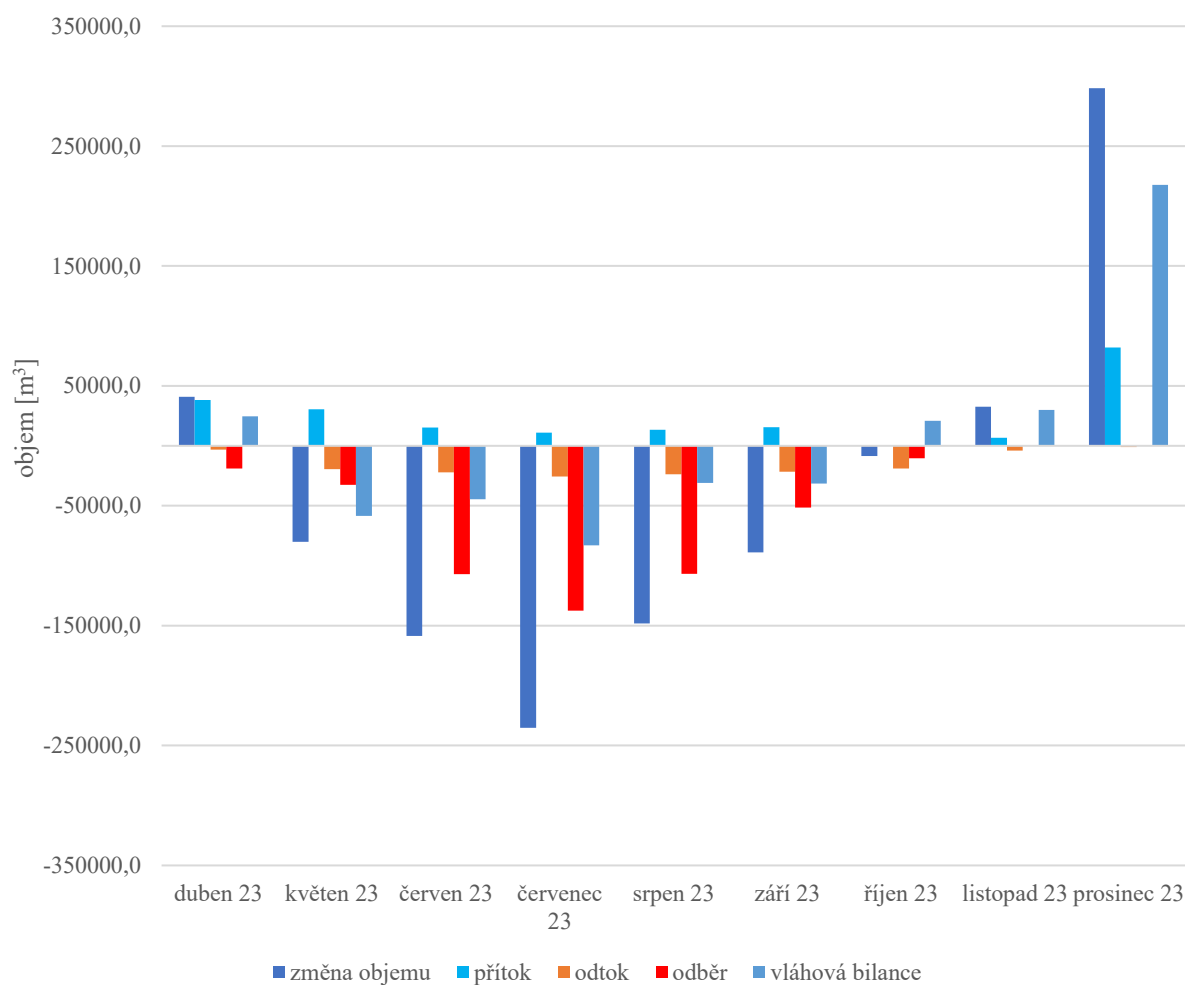
Na počátku roku byla bilance nádrže kladná – přítoky převyšovaly součet odtoků a odběrů, což vedlo k postupnému zvyšování objemu vody. V dubnu byl zaznamenán nárůst hladiny, přítoky převažovaly nad ztrátami.

Od května dochází ke změně trendu. S rostoucími teplotami začíná narůstat intenzita výparu a zároveň se zvyšují odběry vody. Přítoky naopak klesají, výsledkem je záporná bilance nádrže.

V letních měsících (červen–srpen) pokračuje pokles přítoků, výpar a odběry dosahují vysokých hodnot. Nejkritičtějším měsícem je červenec, kdy kombinace minimálních přítoků, nízkých srážek a maximálního výparu vedla k největšímu měsíčnímu úbytku vody v nádrži.

V září přetrvává pokles hladiny, ale díky mírnému zvýšení srážkových úhrnů a snižujícímu se výparu dochází k určité stabilizaci vodní bilance. Říjen sice stále vykazuje zápornou bilanci nádrže, avšak vláhová bilance dle údajů z výparoměrné stanice již nabývá kladných hodnot, což svědčí o zlepšující se bilanci mezi srážkami a výparem v širším okolí.

Celkově se jako nejproblematictější období roku jeví léto, kdy nízké přítoky nejsou schopny kompenzovat výrazné ztráty způsobené výparem a zvýšenými odběry vody. Vývoj hydrologické bilance tak jasně reflektuje citlivost vodní nádrže Sedlec na klimatické a hydrologické podmínky během vegetační sezóny.



Obrázek 41: hydrologická bilance VN Sedlec v roce 2023
(zdroj: KFGG PřF UK, Povodí Ohře, vlastní zpracování)

	změna objemu [m³]	přítok [m³]	odtok [m³]	odběr [m³]	vláhová bilance [m³]
duben 23	40 836	38 358	-3 240	-18 922	23 214
květen 23	-80 039	30 592	-19 556	-32 588	-64 182
červen 23	-158 594	15 279	-22 161	-107 161	-50 729
červenec 23	-235 295	10 922	-25 700	-137 442	-89 942
srpen 23	-148 178	13 416	-23 801	-106 826	-37 508
září 23	-88 791	15 636	-21 665	-51 367	-37 481
říjen 23	- 8 376	neměřeno	-18 858	-10 273	15 124
listopad 23	32 748	6 754	-4 024	0	28 459
prosinec 23	298 427	82 027	-1 146	0	216 796

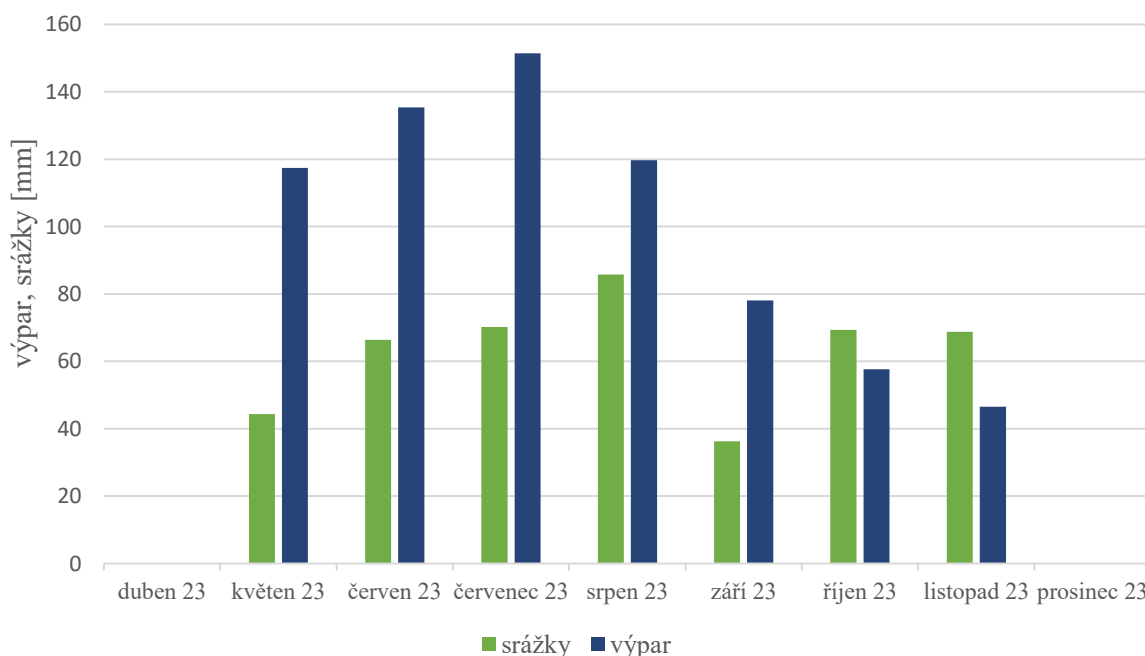
Tabulka 13: vypočtené hodnoty hydrologické bilance VN Sedlec v roce 2023
(zdroj: KFGG PřF UK, Povodí Ohře, vlastní zpracování)

11.5.1 Vztah výparu a srážek v roce 2023

Naměřené hodnoty výparu z výparoměrné stanice Sedlec za rok 2023 ukazují výraznou sezonní variabilitu evapotranspirace. Nejvyšší měsíční úhrn výparu byl zaznamenán v červenci, kdy výpar dosáhl hodnoty 151,4 mm, což odpovídá období s nejvyšší intenzitou sluneční radiace a teploty vzduchu. Naopak nejnižší výpar byl zaznamenán v listopadu, což je v souladu s poklesem teplot a sníženou intenzitou slunečního záření v podzimním období.

Srážkové úhrny dosáhly nejvyšší hodnoty v srpnu, zatímco nejnižší byly evidovány v září. Největší záporný rozdíl mezi srážkami a výparem, tedy vláhový deficit, byl zjištěn v červenci (81,2 mm), což koreluje se zápornou vláhovou bilancí v tomto období. Naopak kladná bilance byla zaznamenána v říjnu a v listopadu, kdy srážky převýšily výpar.

Za celé výparoměrné období (květen–listopad) činil souhrnný výpar 706,2 mm, zatímco celkové srážky dosáhly pouze 441,2 mm, což činí rozdíl 265 mm. Z těchto hodnot vyplývá, že výpar byl přibližně 1,6násobně vyšší než úhrn srážek, což výrazně přispělo k záporné vodní bilanci a potvrzuje zhoršující se hydrologické podmínky v průběhu vegetační sezóny roku 2023. Změřené hodnoty jsou znázorněny v grafu (obrázek 42) a uvedeny v tabulce 15.

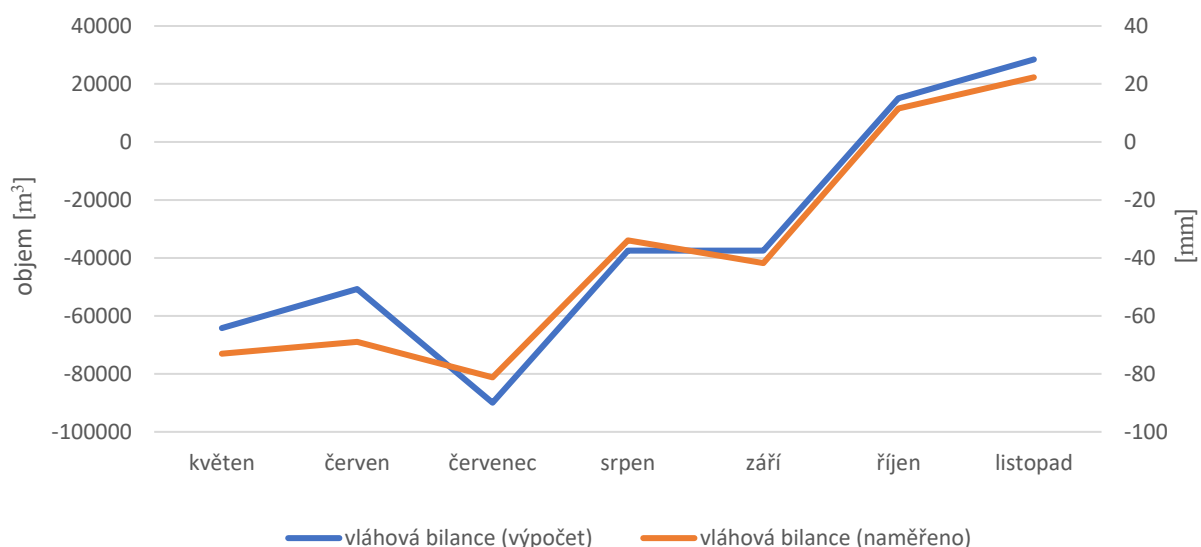


Obrázek 42: naměřený měsíční úhrn výparu a srážek na stanici Sedlec v hydrologickém roce 2023 (zdroj: KFGG PřF UK, vlastní zpracování)

	srážky [mm]	výpar [mm]	vláhová bilance [mm]
květen	44,4	117,4	-73
červen	66,4	135,4	-69
červenec	70,2	151,4	-81,2
srpen	85,8	119,7	-33,9
září	36,3	78,1	-41,8
říjen	69,3	57,7	11,6
listopad	68,8	46,5	22,3
suma	441,2	706,2	-265

Tabulka 14: naměřený měsíční úhrn výparu a srážek na stanici Sedlec v roce 2023
(zdroj: KFGG PŘF UK, vlastní zpracování)

Rozdíl mezi množstvím srážek a výparem (vláhová bilance), který byl spočítán pomocí rovnice vodní bilance (viz kapitola výše) a byl graficky porovnán s naměřenými hodnotami vláhové bilance z výparoměru. Průběh křivek spočítaných hodnot i naměřených údajů vykazuje velmi podobný trend, což potvrzuje správnost aplikované metodiky i konzistenci měření. Hodnoty jsou znázorněny v grafu (obrázek 43) a uvedeny v tabulce 16. Tato korelace zároveň potvrzuje, že model vodní bilance adekvátně odráží skutečné podmínky v daném období. Výrazná záporná bilance v červenci, kdy deficit dosáhl hodnoty 89 942 m³, odpovídá období s nejvyšším výparem a současně s nízkými srážkovými úhrny, což významně přispívá ke snižování objemu dostupné vody v nádrži.



Obrázek 43: průběh hodnot spočítané a naměřené vláhové bilance v hydrologickém roce 2023
(zdroj: KFGG PŘF UK, Povodí Ohře, vlastní zpracování)

	vláhová bilance (výpočet) [m ³]	vláhová bilance (naměřeno) [mm]
květen	-64 182	-73
červen	-50 729	-69
červenec	-89 942	-81,2
srpen	-37 508	-33,9
září	-37 481	-41,8
říjen	15 124	11,6
listopad	28 459	22,3

Tabulka 15: hodnoty spočítané a naměřené vláhové bilance v ve výparoměrném období 2023
(zdroj: KFGG PřF UK, Povodí Ohře, vlastní zpracování)

11.6 Hydrologická bilance roku 2024

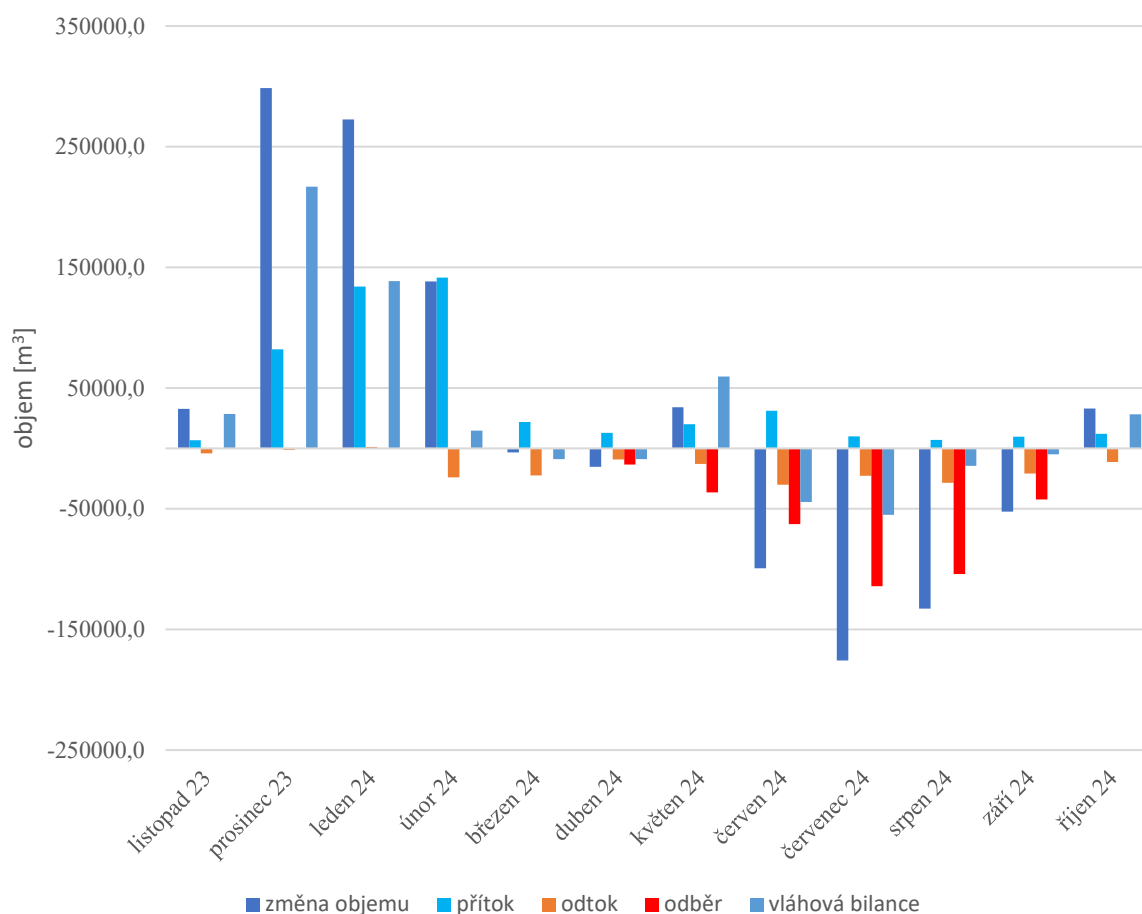
Sezónní vývoj vodohospodářské bilance vodní nádrže vykazuje výrazné rozdíly mezi jednotlivými měsíci. (viz obrázek 44 a tabulka 17). V období od listopadu do února dochází k akumulaci vody, která je podmíněna vysokými přítoky, nízkými odtoky a minimálními odběry. Listopad a prosinec vykazují významný nárůst objemu vody v nádrži, což lze přičíst příznivému poměru mezi přítokem a odtokem vody v nádrži. V měsících leden a únor byl zaznamenán nejvyšší přítok v průběhu celého roku, pravděpodobně v důsledku tání sněhové pokrývky v kombinaci s intenzivnějšími srážkovými epizodami. V tomto období je změna objemu vody v nádrži kladná, což značí efektivní retenci vody. Výpar z nádrže je minimální a ztráty vody jsou tak zanedbatelné.

Březen a duben vykazují mírně zápornou vodní bilanci, kdy přítok je nižší než odtok a odběr. Od května dochází k nárůstu výparu a odběrů, což se projevuje negativně na vodní bilanci nádrže. Zvýšené srážkové úhrny v květnu však částečně kompenzují tyto ztráty.

Letní měsíce (červen až srpen) představují kritické období, během něhož se vodní bilance výrazně zhoršuje. Nejvýznamnější ztráty byly zaznamenány v červenci, kdy výpar dosáhl maximální roční hodnoty, zatímco přítoky klesly pod průměrné hodnoty. Srážkové úhrny v červnu a červenci nebyly dostatečné, aby vyrovnaly celkové ztráty vody z nádrže. Současně dochází k výraznému navýšení odběrů, zejména pro závlahové účely, což dále prohlubuje negativní bilanci a vede k poklesu objemu vody v nádrži.

V září dochází k mírnému zlepšení hydrologické situace, výpar klesá a srážkové úhrny v září převyšují hodnoty z předchozích letních měsíců. Říjen vykazuje kladnou vodní bilanci, dochází

k rovnováze mezi přítoky a odtoky, vláhová bilance je pozitivní, což se projevuje na stabilizaci zásob vody v nádrži.



Obrázek 44: vodohospodářská bilance VN Sedlec v roce 2024
(zdroj: KFGG PrF UK, Povodí Ohře, vlastní zpracování)

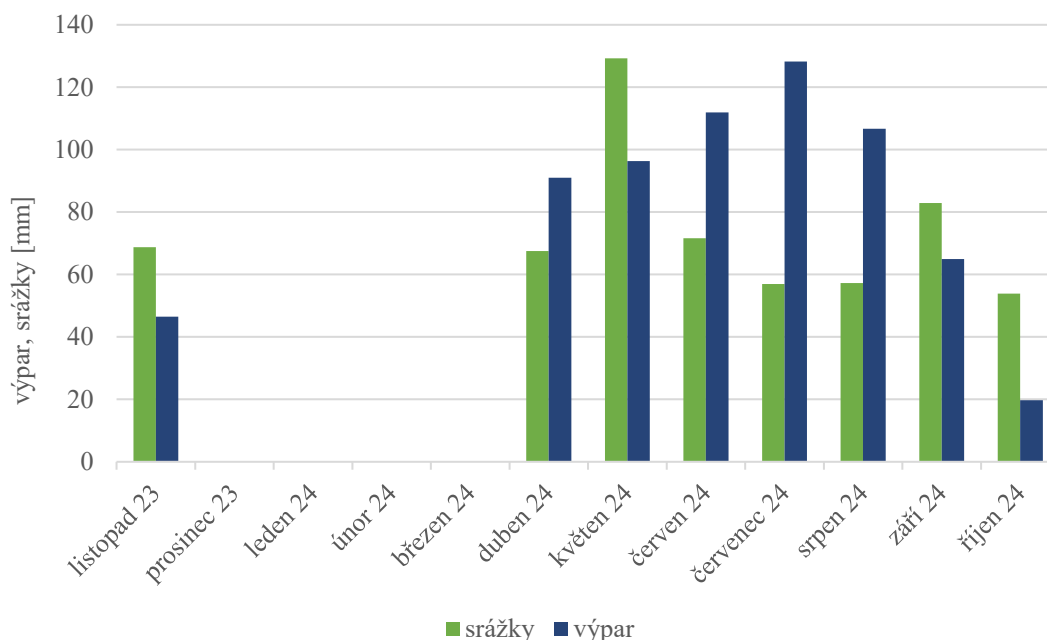
	změna objemu [m³]	přítok [m³]	odtok [m³]	odběr [m³]	vláhová bilance [m³]
listopad 23	32 748	6 754	-4 024	0	28 459
prosinec 23	298 427	82 027	-1 146	0	216 796
leden 24	272 453	134 154	1 106	0	138 633
únor 24	138 271	141 633	-24 020	0	14 644
březen 24	-3 204	21 946	-22 430	0	-8 965
duben 24	-15 269	12 949	-9 113	-13 534	-8 813
květen 24	33 957	20 021	-12 963	-36 469	59 663
červen 24	-99 253	31 065	-30 193	-62 688	-44 518
červenec 24	-175 780	9 827	-22 690	-114 289	-54 973
srpen 24	-132 775	7 013	-28 456	-104 126	-14 522
září 24	-52 388	9 790	-20 818	-42 359	-4 906
říjen 24	33 026	12 186	-11 209	0	28 197

Tabulka 16: vypočtené vodohospodářské bilance VN Sedlec v roce 2024
(zdroj: KFGG PrF UK, Povodí Ohře, vlastní zpracování)

11.6.1 Vztah výparu a srážek v roce 2024

Naměřené hodnoty výparu z výparoměrné stanice Sedlec ukazují, že v roce 2024 byl nejvyšší měsíční úhrn výparu zaznamenán v červenci, a to ve výši 128,2 mm. Naopak nejnižší měsíční výpar byl naměřen v říjnu, což je v souladu s obvyklým sezónním poklesem výparu na konci vegetačního období. Nejvyšší měsíční srážkové úhrny byly zaznamenány v květnu, zatímco nejnižší v říjnu (obrázek 45).

Největší deficit vláhové bilance byl zjištěn v červenci (71,2) mm. Naopak v říjnu byl zaznamenán největší pozitivní rozdíl vláhového deficitu (34,2 mm), což lze přičíst nízkému výparu v kombinaci s relativně příznivým srážkovým úhrnem.



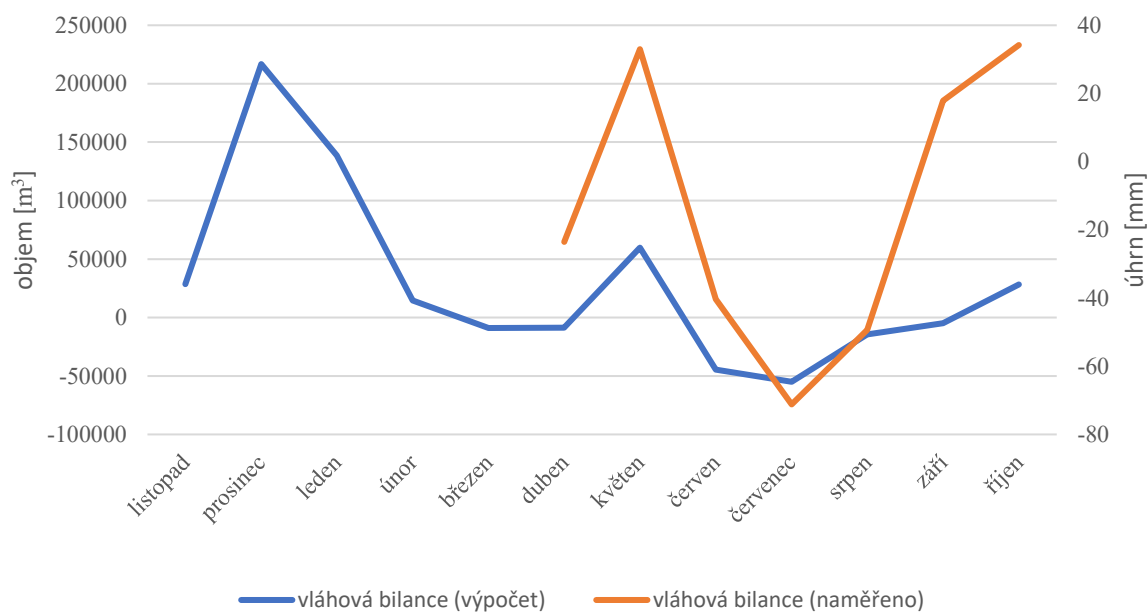
Obrázek 45: naměřený měsíční úhrn výparu a srážek na stanici Sedlec v hydrologickém roce 2024 (zdroj: KFGG PřF UK, vlastní zpracování)

Celkový výpar za hydrologický rok 2024 činil 655,3 mm, zatímco celkové srážky dosáhly hodnoty 588,3 mm (tabulka 18), ovšem v těchto hodnotách nejsou zahrnuty hodnoty výparu a srážek ze stanice Sedlec za období prosinec 2023–březen 2024, protože v tyto měsíce byla stanice Sedlec vyřazena z provozu. Z těchto údajů vyplývá, že výpar převýšil srážky o 67 mm, což odpovídá poměru 1,11:1 ve prospěch výparu. Tato skutečnost poukazuje na zápornou vodní bilanci v průběhu celého výparoměrného období roku 2024, což má přímý dopad na dostupnost vodních zdrojů v regionu.

	srážky [mm]	výpar [mm]	vláhová bilance [mm]
listopad	68,8	46,5	22,3
prosinec			
leden			
únor			
březen			
duben	67,5	91	23,5
květen	129,3	96,3	33
červen	71,6	111,9	-40,3
červenec	57	128,2	-71,2
srpen	57,3	106,7	-49,4
září	82,9	65	17,9
říjen	53,9	19,7	34,2
suma	588,3	655,3	67

*Tabulka 17: naměřený měsíční úhrn výparu a srážek na stanici Sedlec v roce 2024
(zdroj: KFGG PŘF UK, Povodí Ohře, vlastní zpracování)*

Vláhový deficit vypočtený na základě vodní bilance byl opět graficky porovnán s naměřenými hodnotami (obrázek 46). Nejvyšší ztráty bylo dosaženo v červenci (tabulka 19). Průběh křivky vypočtené z vodní bilance i průběh křivky naměřených hodnot vykazují obdobný trend (obrázek 46), což naznačuje uspokojivou míru shody mezi výpočty a měřením. Shoda však nebyla tak výrazná jako v roce 2023, kdy byl průběh obou křivek téměř identický. Tento rozdíl může být ovlivněn vyšší variabilitou meteorologických prvků v jednotlivých měsících daného roku, případně rozdíly v prostorovém rozložení srážek nebo krátkodobými výkyvy výparu, které mohly ovlivnit přesnost výpočtu i měření.



Obrázek 46: průběh hodnot spočítané a naměřené vláhové bilance v hydrologickém roce 2024
(zdroj: KFGG PřF UK, Povodí Ohře, vlastní zpracování)

	vláhová bilance [m³]	vláhová bilance [mm]
listopad	28459	22
prosinec	216797	
leden	138634	
únor	14644	
březen	-8965	
duben	-8813	-24
květen	59663	33
červen	-44518	-40
červenec	-54973	-71
srpen	-14522	-49
září	-4907	18
říjen	28198	34

Tabulka 18: hodnoty spočítané a naměřené vláhové bilance v hydrologickém roce 2024
(zdroj: KFGG PřF UK, Povodí Ohře, vlastní zpracování)

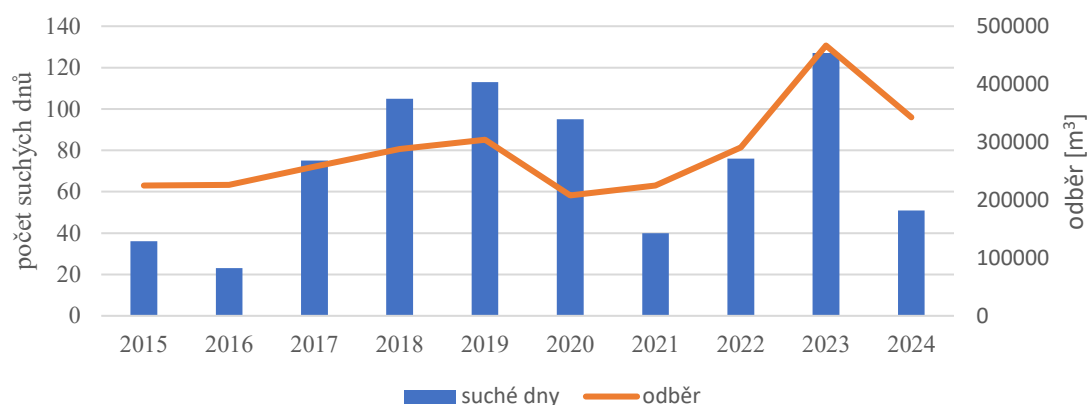
12 Dopad hydrologického sucha na vodohospodářskou bilanci v povodí Liboce

Na základě analýzy suchých dnů bylo v povodí řeky Liboc na stanici Libočany v období hydrologických let 2015–2024 zaznamenáno celkem 741 suchých dnů. Nejvyšší počet suchých dnů byl evidován v roce 2023, zatímco nejnižší výskyt sucha byl zaznamenán v roce 2016. V roce 2021 byla průměrná teplota vzduchu meziročně nižší, to se promítlo nejen v nižším počtu suchých dnů, ale také v nižších hodnotách nedostatkového objemu. Tím se potvrzuje význam teploty vzduchu jako jednoho z klíčových meteorologických faktorů ovlivňujících výpar a sucho.

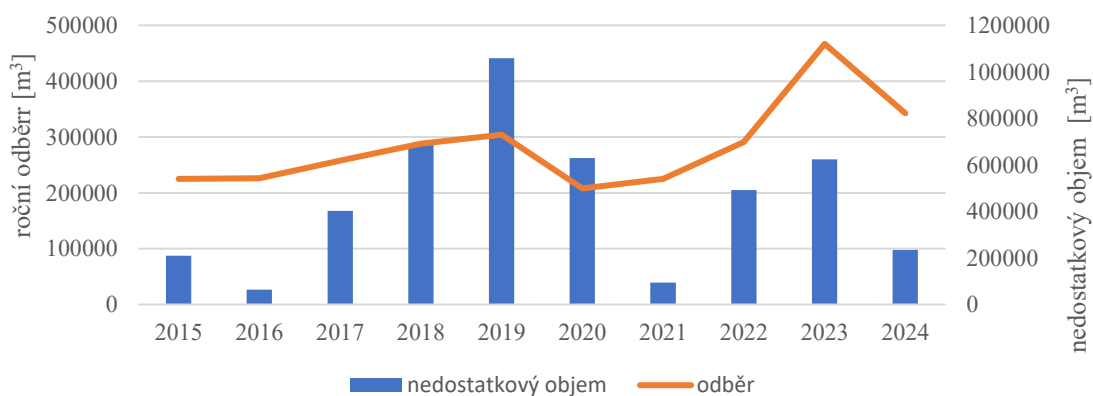
Za účelem analýzy vlivu hydrologického sucha na vodohospodářskou bilanci vodní nádrže Sedlec byla data o množství odebrané vody porovnána s počtem suchých dnů a hodnotami nedostatkových objemů. Z grafů (obrázky 47 a 48) je patrné, že trend vývoje objemu odebrané vody více koreluje s počtem suchých dnů než s velikostí nedostatkových objemů. Tato skutečnost může být vysvětlena tím, že v roce 2023 došlo ke zvýšení průměrných teplot vzduchu, a s tím souvisejícímu rychlejšímu vysychání svrchních půdních horizontů, a tedy i k intenzivnější potřebě závlah v zemědělství. Vyšší odběry vody proto mohly být reakcí na rychlejší nástup povrchového sucha, i přesto, že nedostatkový objem nebyl v tomto roce extrémně vysoký.

Naopak vyšší hodnoty nedostatkového objemu v roce 2019, i přes nižší počet suchých dnů ve srovnání s rokem 2023, lze interpretovat jako důsledek akumulovaného deficitu podzemních vod po předcházejících suchých letech. V kombinaci s nízkým úhrnem srážek v roce 2019 nebyly zásoby podzemních vod schopny dostatečně dotovat základní odtok, což vedlo k výraznějšímu deficitu objemu vody v tocích.

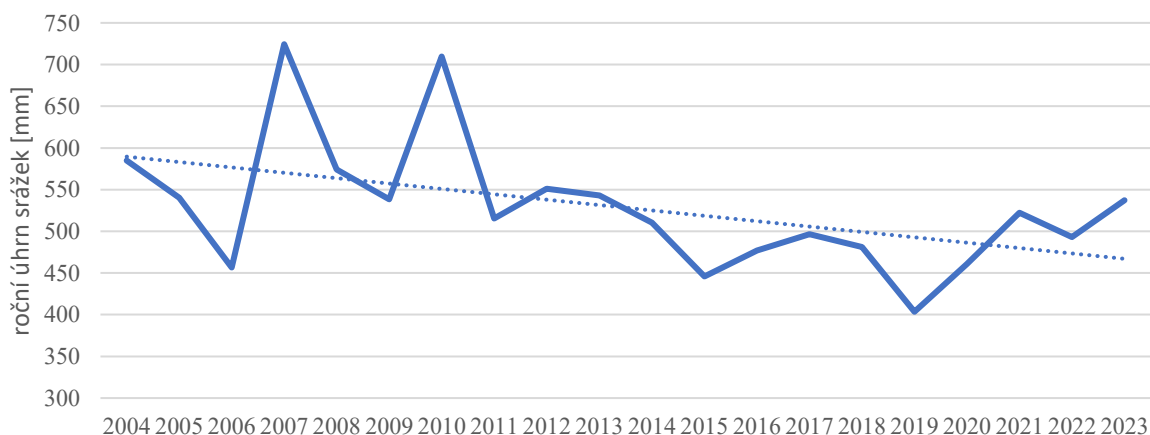
Oproti tomu byla situace v roce 2023 odlišná – předchozí dva roky (2021 a 2022) byly srážkově příznivější (obrázek 49) a tedy zásoby podzemních vod byly vyšší, což umožnilo kompenzaci poklesu průtoků v letním období, a hodnoty nedostatkového objemu zůstaly relativně nižší, přestože počet suchých dnů byl nejvyšší v analyzovaném období. Tato skutečnost poukazuje na komplexnost vzájemných vazeb mezi meteorologickými, hydrologickými a vodohospodářskými faktory při hodnocení vývoje sucha a jeho dopadů.



Obrázek 47: suché dny a množství odebrané vody v letech 2015 až 2024
(zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)



Obrázek 48: nedostatkové objemy a množství odebrané vody v letech 2015 až 2024
(zdroj: Povodí Ohře, vlastní zpracování)



Obrázek 49: úhrn srážek na stanici Mašřov v letech 2004 až 2023 (zdroj: ČHMÚ)

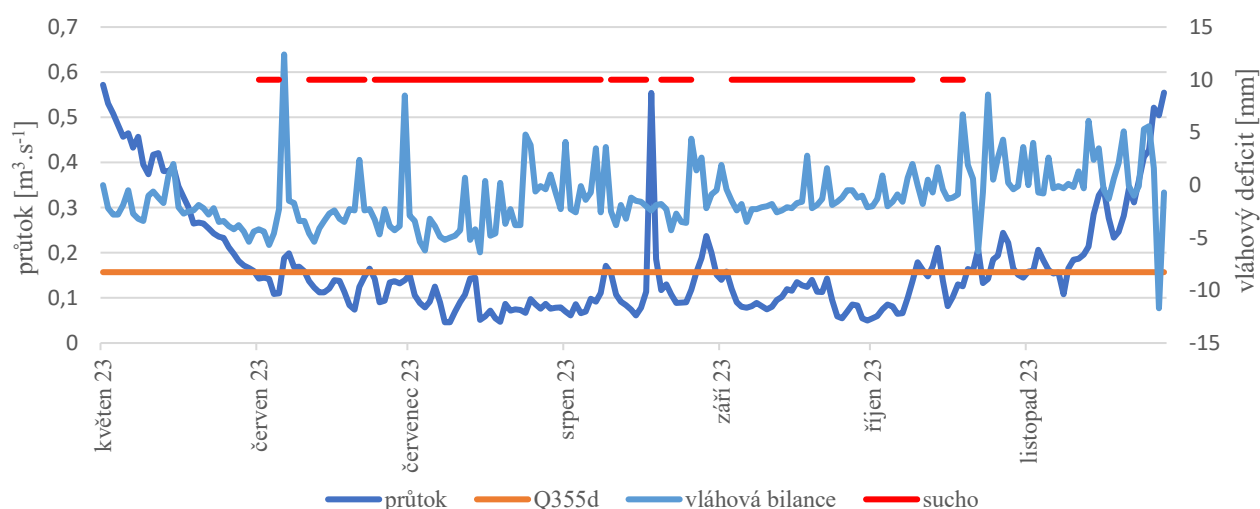
12.1 Hydrologický rok 2023

Rok 2023 lze charakterizovat jako období s mimořádně vysokým výskytem hydrologického sucha na hlavním toku řeky Liboc, přičemž na sledované stanici Libočany bylo sucho pozorováno téměř po dobu pěti měsíců (viz obrázek 49). První epizoda sucha byla evidována v období od 1. do 5. června. Tato epizoda byla přechodně ukončena srážkovou událostí, která vedla ke krátkodobému zvýšení průtoku na hodnotu $0,199 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Následovalo výrazně delší suché období, zahájené dne 11. června, které přetrvávalo až do 17. srpna. Toto období bylo dvakrát krátkodobě přerušeno, během těchto přestávek nedošlo k významnému zvýšení průtoků. Mírné zvýšení průtoku bylo zaznamenáno dne 18. srpna, kdy průtok dosáhl hodnoty $0,554 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, nárůst měl pouze dočasný charakter – již 20. srpna byl zaznamenán pokles průtoku pod hodnotu Q_{355d} , což vedlo k obnovení suchého období, které trvalo do 26. srpna.

Další epizoda hydrologického sucha byla zaznamenána v období od 3. září do 9. října, poslední sucho v roce 2023 bylo evidováno v termínu od 15. do 19. října, přičemž se již jednalo o krátkodobou epizodu.

Z výše uvedené analýzy je zřejmé, že rok 2023 představoval extrémní období z hlediska četnosti i délky trvání hydrologického sucha v povodí řeky Liboc, a významně ovlivnilo vodohospodářskou bilanci území.



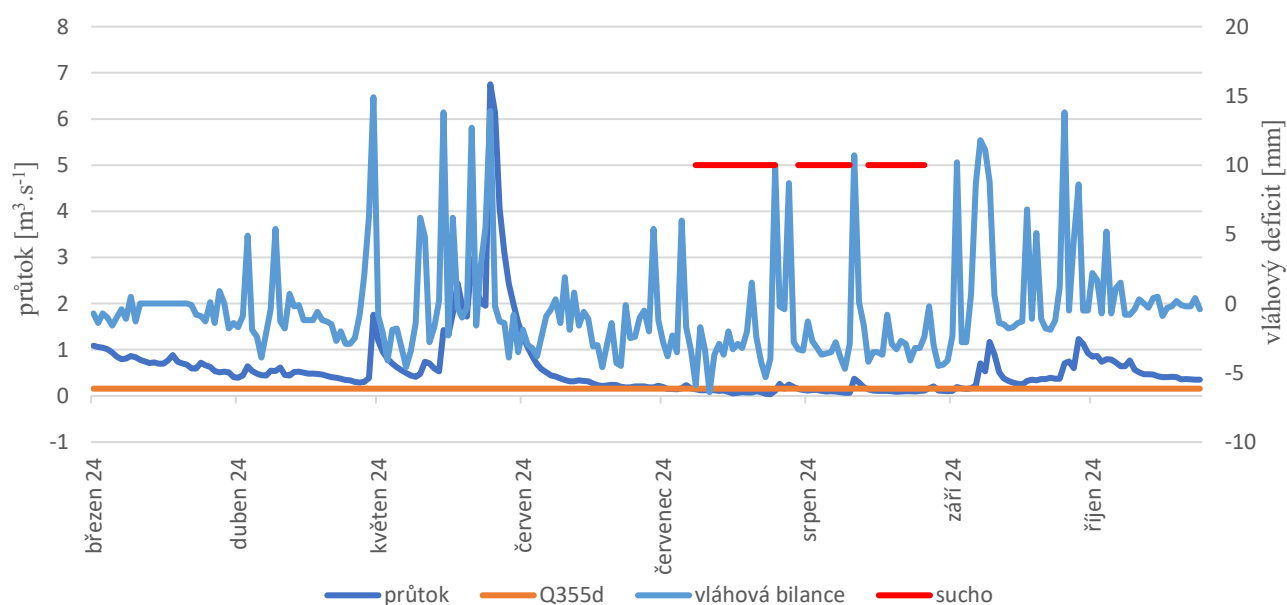
Obrázek 50: vývoj průtoků, vláhového deficitu a hydrologického sucha na stanici Libočany (květen až listopad 2023), červená čára znázorňuje období sucha (zdroj: KFGG PŘF UK, Povodí Ohře, vlastní zpracování)

12.2 Hydrologický rok 2024

V roce 2024 bylo na hlavním toku řeky Liboc zaznamenáno celkem 51 suchých dnů, výskyt sucha byl soustředěn převážně do letního období, zejména měsíců července a srpna (obrázek 50). První suchý den nastal dne 16. července, poslední den sucha byl evidován 2. září. Z průběhu časové řady vyplývá, že suché období bylo několikrát přerušeno epizodickými srážkovými událostmi, které se promítly do vláhového deficitu, došlo ke krátkodobému zvýšení průtoků nad prahovou hodnotu Q_{355d} .

Nejvyšší kladná hodnota vláhové bilance byla zaznamenána dne 7. května (+14,9 mm), jako důsledek kombinace nadprůměrných srážek a nízkých hodnot výparu. Tato hydrologická situace vedla k nárůstu průtoků na profilu Libočany na hodnotu $1,759 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. V následném období přetrvávala kladná vláhová bilance, doprovázená postupným zvýšením průtoků, které dne 1. června dosáhly hodnoty $6,75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

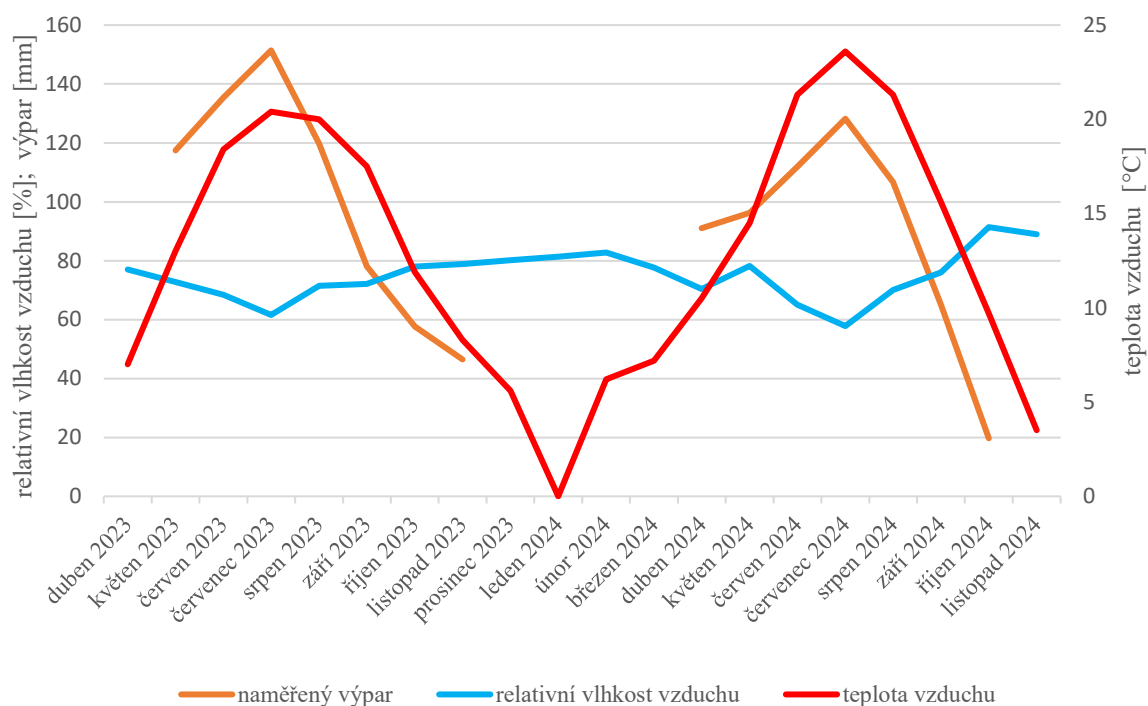
Po tomto přechodném období došlo ke změně hydrologické bilance – intenzita srážek již nevyvažovala výpar, a vláhová bilance se stala zápornou, což vedlo k postupnému poklesu vodních zásob v povodí a nástupu suchého období v letních měsících. Po ukončení suchých epizod byla vlivem příznivých meteorologických podmínek bilance kompenzována, což se projevilo zvýšením průtoků v závěru vegetační sezóny.



Obrázek 51: vývoj průtoků, vláhového deficitu a hydrologického sucha na stanici Libočany (březen až říjen 2024), červená čára znázorňuje období sucha (zdroj: KFGG PřF UK, Povodí Ohře, vlastní zpracování)

13 Faktory ovlivňující výpar

Na velikost výparu má vliv několik proměnných – především teplota vzduchu, teplota vody, relativní vlhkost vzduchu a globální sluneční radiace. V grafu (obrázek 52) je možné vidět závislost teploty a vlhkosti vzduchu na výparu, kde je patrné, že při vyšší teplotě se zvyšuje intenzita výparu a snižuje se relativní vlhkost vzduchu.

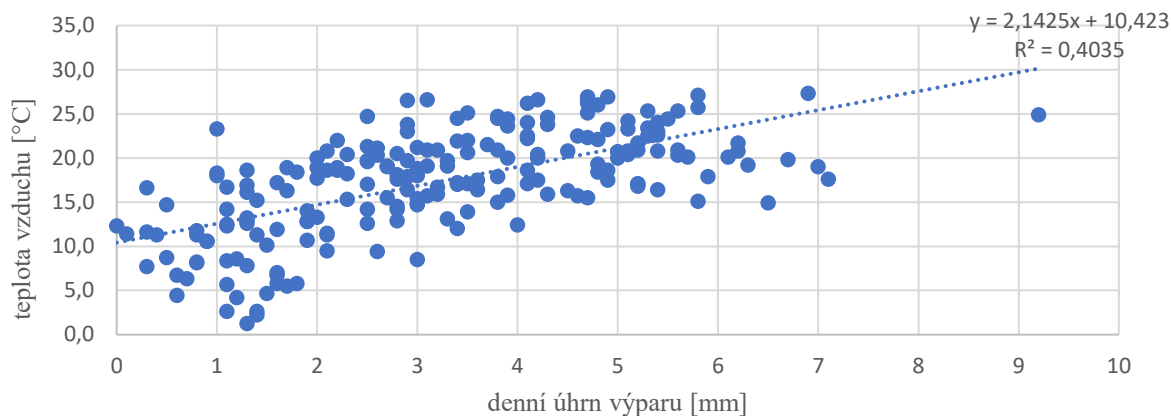


Obrázek 52: závislost vybraných meteorologických veličin na výparu
(zdroj: KFGG PřF UK, pan Zápotocký, vlastní zpracování)

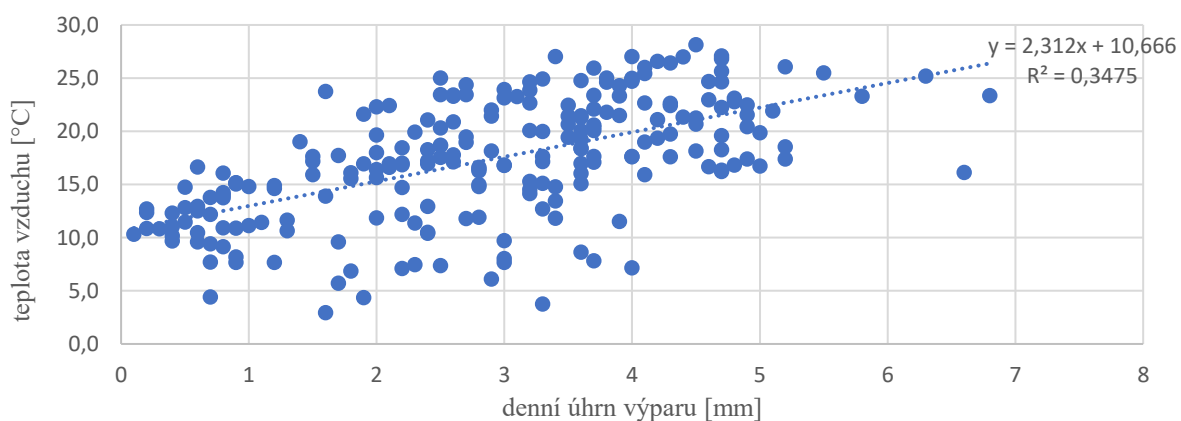
13.1 Teplota vzduchu

Pro stanovení vztahu mezi výparem a teplotou vzduchu byla využita lineární regrese. Z dat o průměrné teplotě vzduchu ze dvou blízkých lokalit (Vilémov a Dobřenec) a denního naměřeného výparu za roky 2023 a 2024 bylo prokázáno, že s rostoucí teplotou vzduchu roste výpar (obrázky 53 a 54). Koeficient determinace (R^2), který vyjadřuje míru závislosti dvou proměnných, nabył ve všech čtyřech analýzách hodnot od 0,33 do 0,40.

V obou analyzovaných letech byla zjištěna míra závislosti mezi naměřeným výparem na stanici Sedlec a teplotou vzduchu. Pro teploty naměřené na stanici Vilémov nabýval v roce 2023 koeficient determinace hodnoty 0,40 a v roce 2024 hodnoty 0,35.

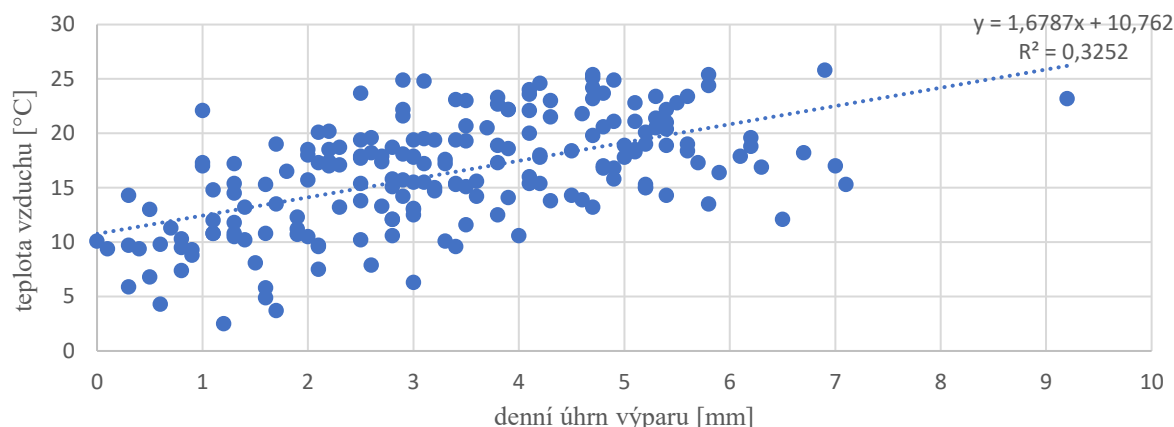


Obrázek 53: vztah mezi výparem a teplotou vzduchu na stanici Vilémov v roce 2023
(zdroj: KFGG PřF UK, ČHMÚ, vlastní zpracování)

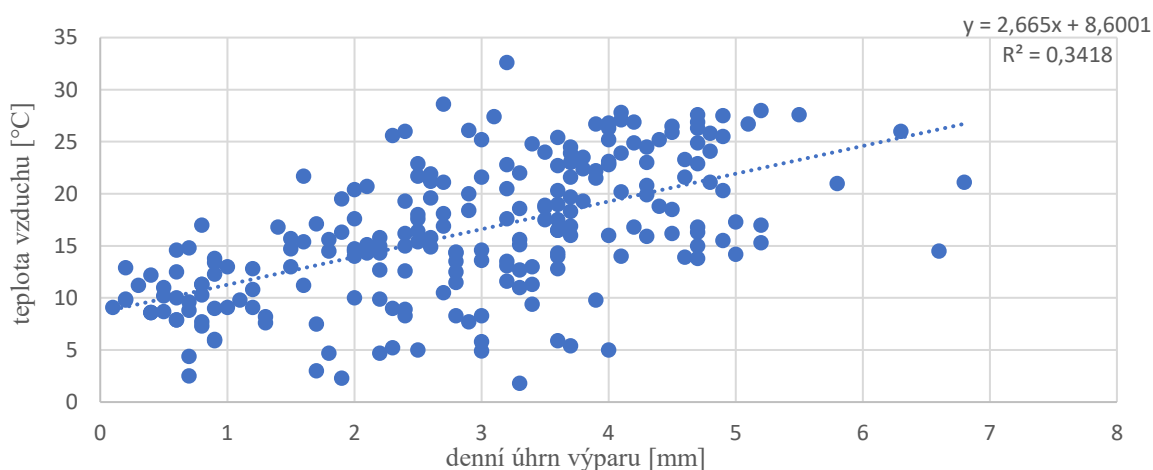


Obrázek 54: vztah mezi výparem a teplotou vzduchu na stanici Vilémov v roce 2024
(zdroj: KFGG PřF UK, ČHMÚ, vlastní zpracování)

Při použití dat o průměrné denní teplotě vzduchu ze stanice Dobřenec pro rok 2023 nabyl koeficient R^2 hodnoty 0,325 (obrázek 55) a pro rok 2024 hodnoty 0,342 (obrázek 56).



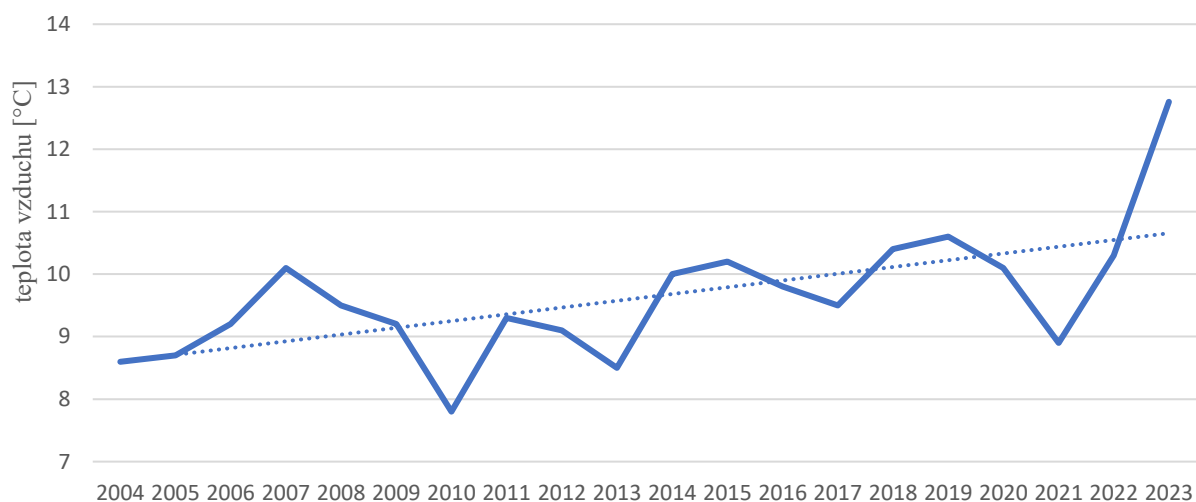
Obrázek 55: vztah mezi výparem a teplotou vzduchu na stanici Dobřenec v roce 2023
(zdroj: KFGG PřF UK, pan Zápotocký, vlastní zpracování)



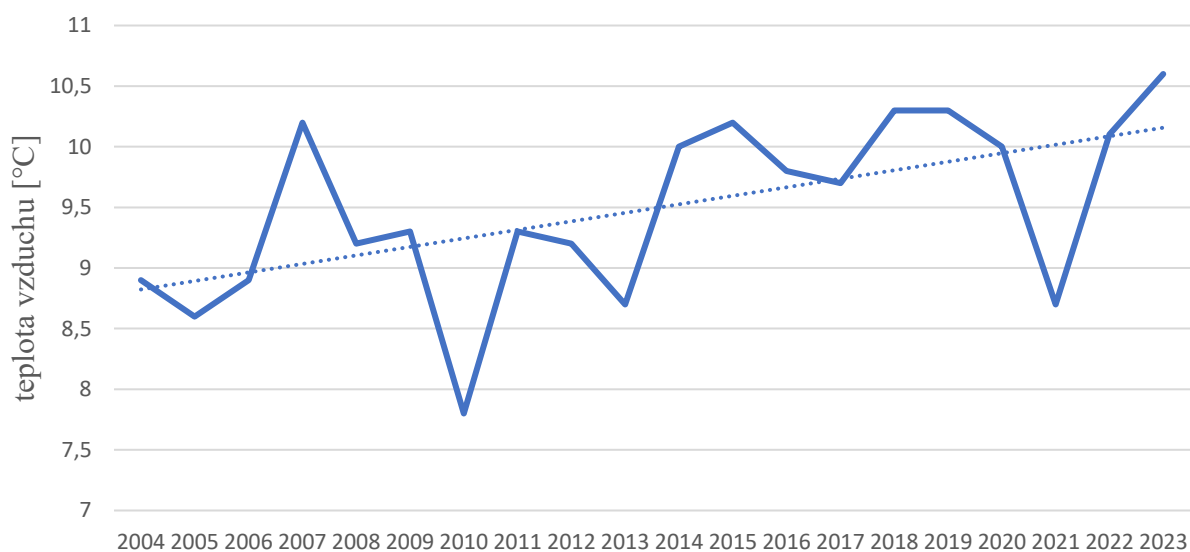
Obrázek 56: vztah mezi výparem a teplotou vzduchu na stanici Dobřenec v roce 2024
(zdroj: KFGG PřF UK, pan Zápotocký, vlastní zpracování)

Pro dlouhodobé srovnání vývoje teplot v povodí Liboce nebyla dostupná data za delší časové období ze stanice, která by byla umístěna v zájmové oblasti. Pro tyto účely byla použita data ze stanice Žatec a Tušimice (obrázky 57 a 58). Z průměrných měsíčních teplot od roku 2004 do roku 2023 byly stanoveny průměrné roční teploty. V grafech je možné vidět vzestupný trend teploty vzduchu, v roce 2023 byly změřeny nejvyšší teploty. V Žatci byl průměrná teplota v roce 2023 10,6 °C (tj. o 1,08 °C na normálem 1991-2020), v Tušimicích dokonce 12,6 °C (tj. o 3,5 °C nad normálem z let 1991-2020). Také si lze všimnout, že rok 2021 byl v porovnání s ostatními roky chladnější a zároveň tento rok bylo zaznamenáno i méně suchých dnů. Díky zvyšování teploty vzduchu dochází k vyššímu výparu a k vyšším ztrátám vody z povodí.

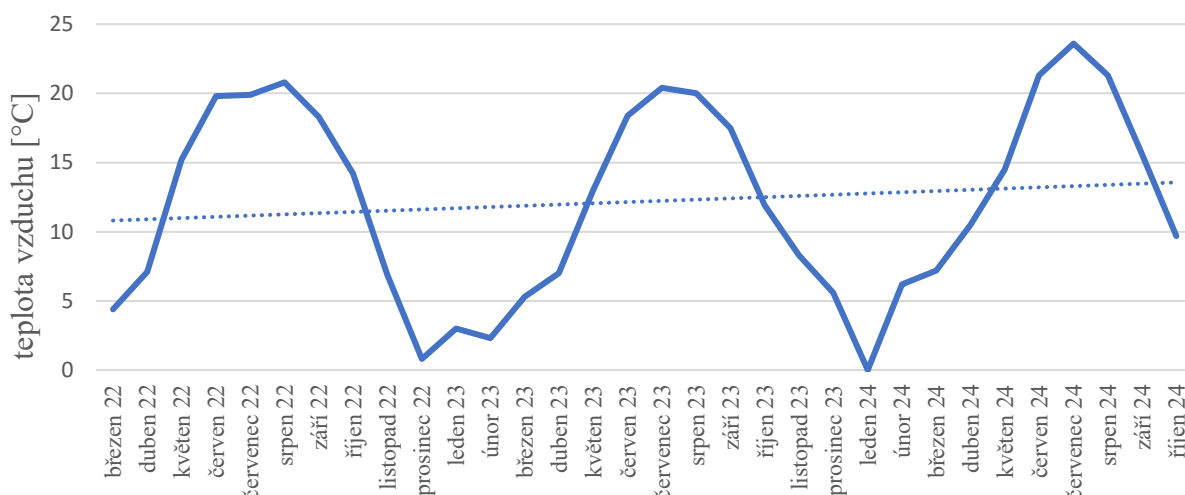
Na stanici Dobřeneč, která se nachází ve vyšší nadmořské výšce je trend zvyšování teploty také znatelný (obrázek 59). V červenci 2024 zde byla naměřena průměrná měsíční teplota 23,6 °C, což je nejvyšší teplota za celou dobu měření.



Obrázek 57: průměrné roční teploty na stanici Tušimice (zdroj: ČHMÚ, vlastní zpracování)



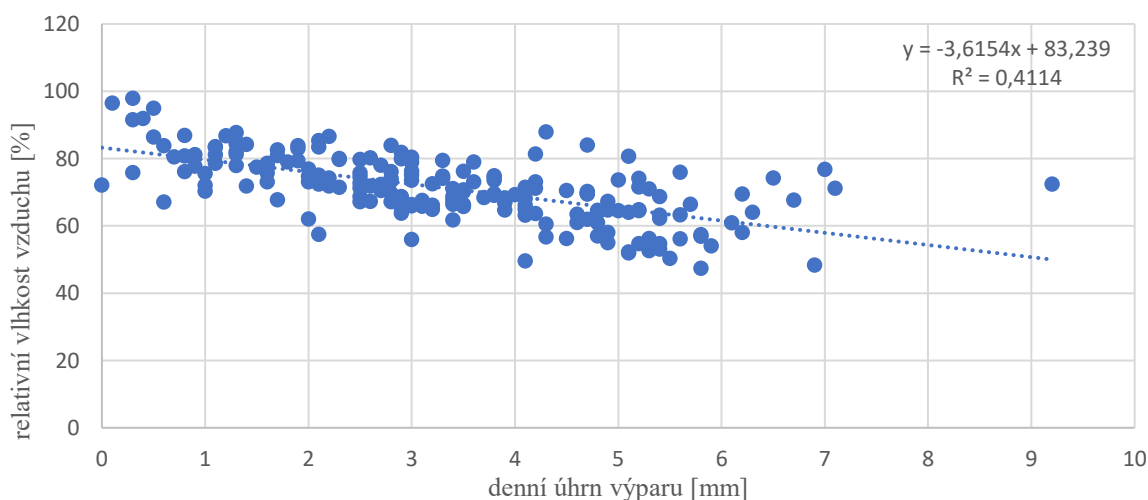
Obrázek 58: průměrné roční teploty na stanici Žatec (zdroj: ČHMÚ, vlastní zpracování)



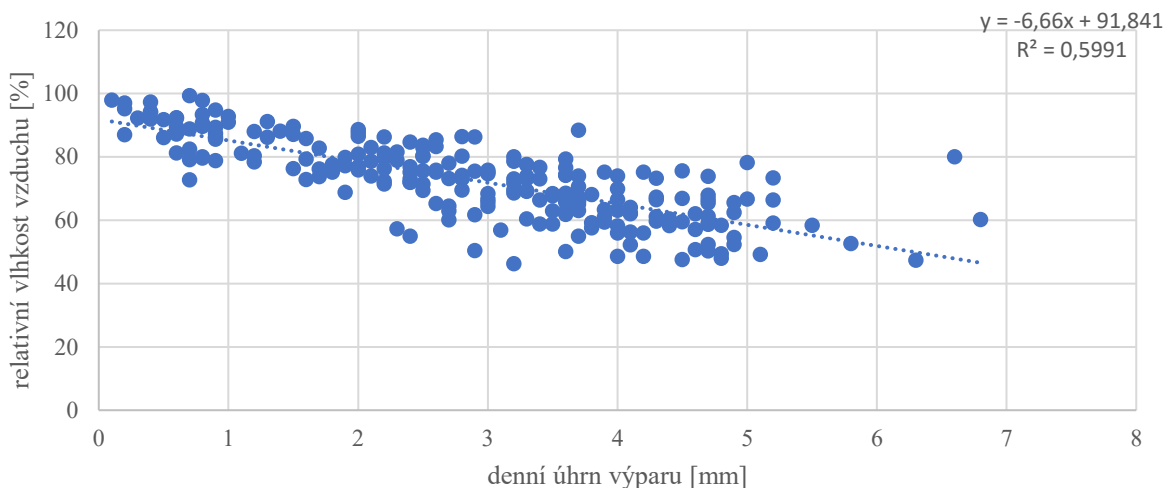
Obrázek 59: průměrné měsíční teploty na stanici Dobřenec (zdroj: pan Zápotocký, vlastní zpracování)

13.2 Relativní vlhkost vzduchu

Relativní vlhkost vzduchu významně ovlivňuje intenzitu výparu. Při vyšší relativní vlhkosti vzduchu dochází ke snížení výparu, zatímco při nižší relativní vlhkosti vzduchu je výpar intenzivnější. Tento vztah byl potvrzen na základě denních měření relativní vlhkosti vzduchu na meteorologické stanici Dobřenec a denních hodnot výparu na stanici Sedlec (obrázky 60 a 61). Korelace mezi relativní vlhkostí vzduchu a výparem byla analyzována pomocí lineární regrese. V roce 2023 dosáhl koeficient determinace hodnoty 0,41, zatímco v roce 2024 se zvýšil na 0,599, což indikuje silnější korelaci mezi těmito dvěma proměnnými v roce 2024.

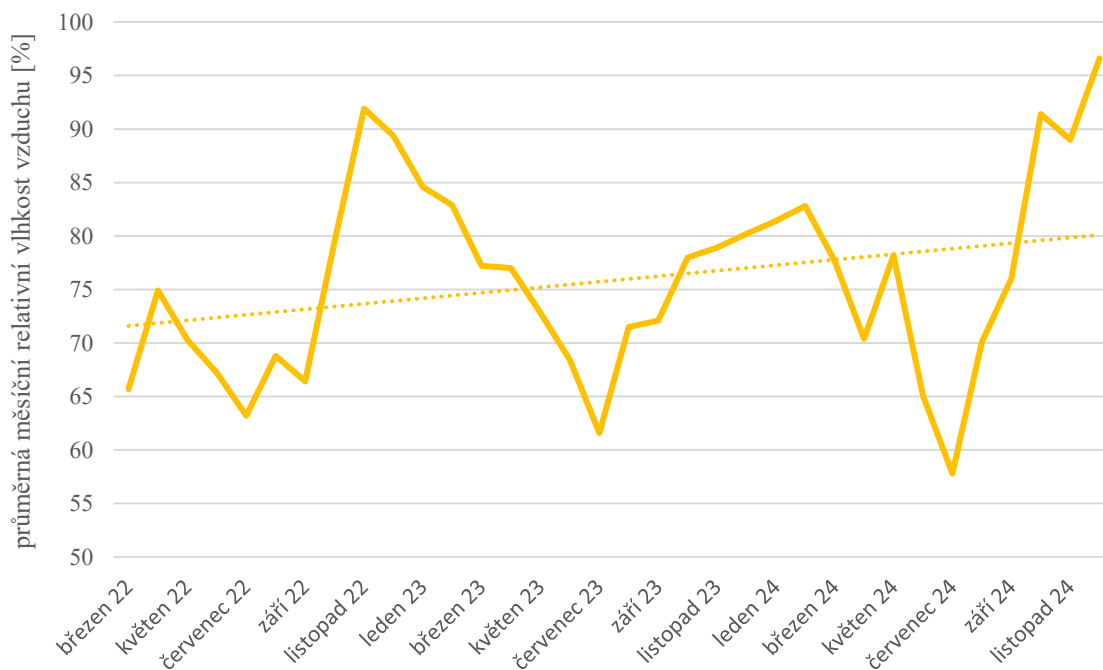


Obrázek 60: vztah mezi výparem a relativní vlhkostí vzduchu v roce 2023 (zdroj: KFGG PřF UK, pan Zápotocký, vlastní zpracování)



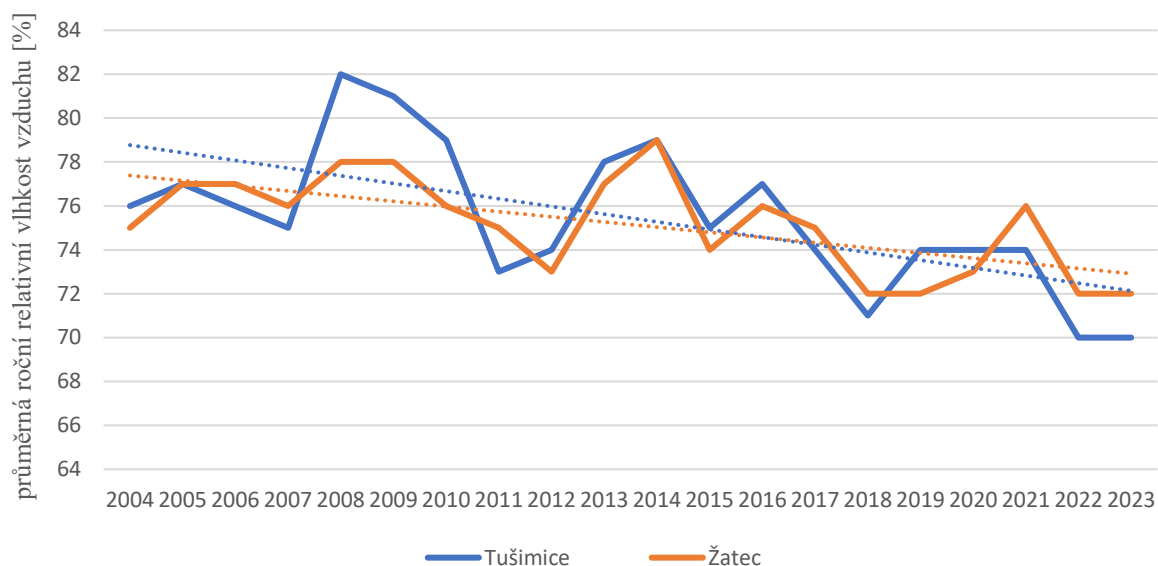
Obrázek 61: vztah mezi výparem a relativní vlhkostí vzduchu v roce 2024
(zdroj: KFGG PřF UK, pan Zápotocký, vlastní zpracování)

Z grafu (obrázek 62) je zřejmá sezonalita relativní vlhkosti vzduchu na stanici Dobřenec. V zimních měsících jsou hodnoty relativní vlhkosti vzduchu vyšší než v letních obdobích. Nejnížší hodnoty relativní vlhkosti vzduchu byly zaznamenány vždy v měsíci červenec. V květnu 2024 byla relativní vlhkost vzduchu poměrně vysoká, což se odrazilo i ve výsledcích měsíční vláhové bilance, která byla v tomto měsíci kladná.



Obrázek 62: průměrná měsíční relativní vlhkost vzduchu na stanici Dobřenec
(zdroj: pan Zápotocký, vlastní zpracování)

V grafu (obrázek 63) jsou znázorněny průměrné roční hodnoty relativní vlhkosti vzduchu na meteorologických stanicích Tušimice a Žatec. Trendy v datech naznačují dlouhodobý pokles relativní vlhkosti vzduchu.

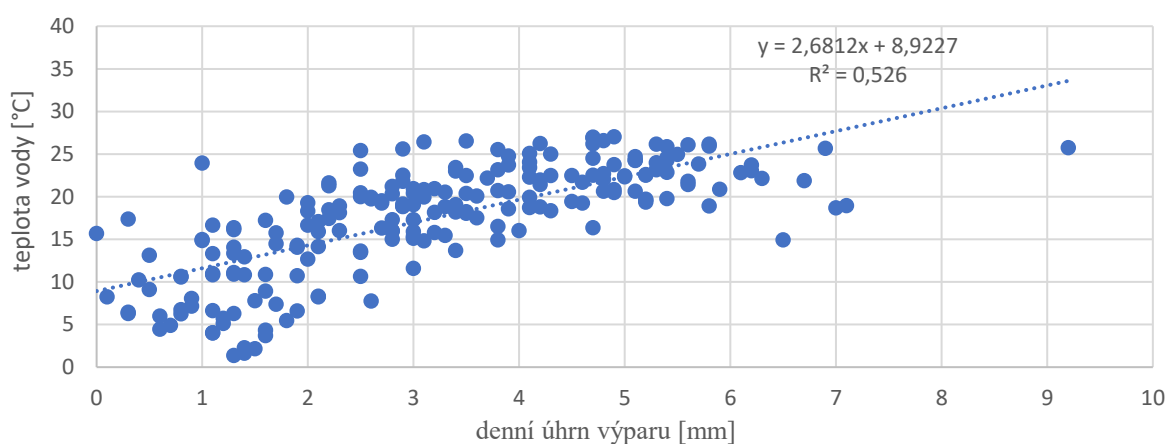


Obrázek 63: vývoj relativní vlhkosti vzduchu na stanicích Žatec a Tušimice mezi lety 2004-2024 (zdroj: ČHMÚ, vlastní zpracování)

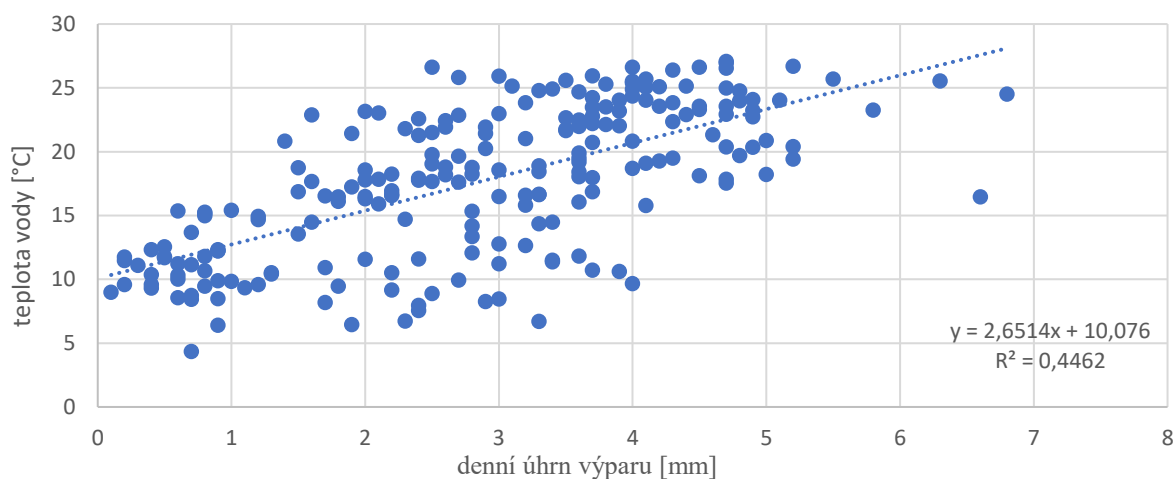
13.3 Teplota vody

Se zvyšující se průměrnou teplotou vzduchu se zvyšuje i teplota vody. Stojaté i tekoucí vody se v průměru ohřívají velmi podobnou rychlostí, v Evropě přibližně o 0,4 °C za deset let (Gizińska, Sojka 2023).

Ve výparoměru se kromě denního úhrnu výparu měří také teplota vody. Vztah mezi hodnotami výparu a teplotou vody byl analyzován pomocí lineární regrese. Mezi těmito proměnnými byla zjištěna určitá závislost (obrázky 64 a 65). Koeficient determinace dosáhl v roce 2023 hodnoty 0,53 a v roce 2024 hodnoty 0,45.

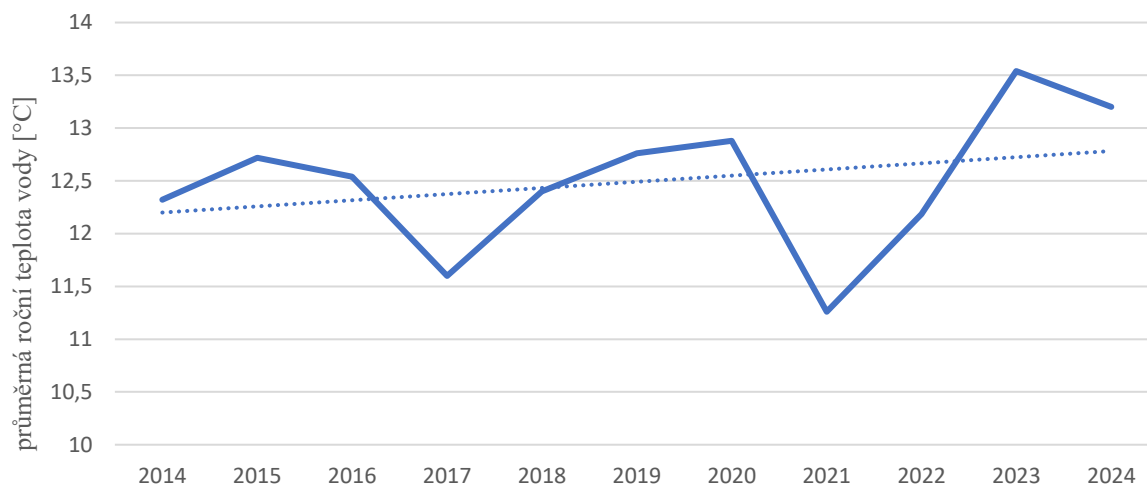


Obrázek 64: vztah mezi výparem a teplotou vody ve výparoměru v roce 2023
(zdroj: KFGG PřF UK, paní Zápotocká, vlastní zpracování)



Obrázek 65: vztah mezi výparem a teplotou vody ve výparoměru v roce 2024
(zdroj: KFGG PřF UK, paní Zápotocká, vlastní zpracování)

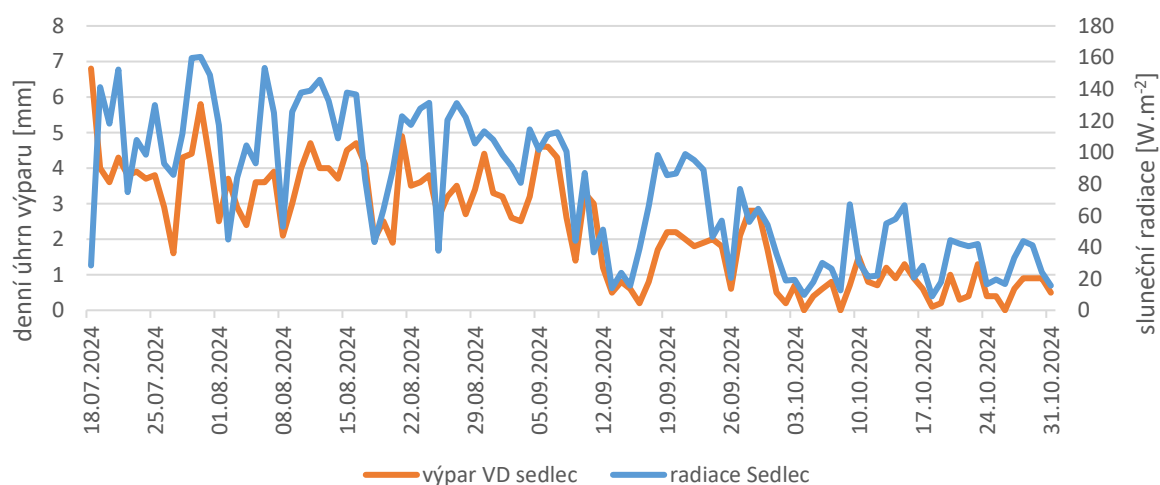
Na základě poskytnutých dat o teplotě vody ve vodní nádrži Sedlec byla vytvořena řada průměrných ročních teplot za období 2014 až 2024. Je patrný postupný nárůst teploty vody (obrázek 66). Nejvyšší průměrná roční teplota byla zaznamenána v roce 2023 (13,54 °C), zatímco nejnižší hodnota byla naměřena v roce 2021 (11,26 °C). Růst teploty vody vede k vyšší intenzitě výparu, což negativně ovlivňuje vodní bilanci. Zvyšující se teploty vody mají rovněž vliv na obsah rozpuštěného kyslíku, který s rostoucí teplotou klesá (Pitter 2015). Tento pokles kyslíku může mít nepříznivý dopad na vodní organismy a biochemické procesy ve vodě.



Obrázek 66: průměrná roční teplota vody na VN Sedlec
(zdroj: paní Zápotocká, vlastní zpracování)

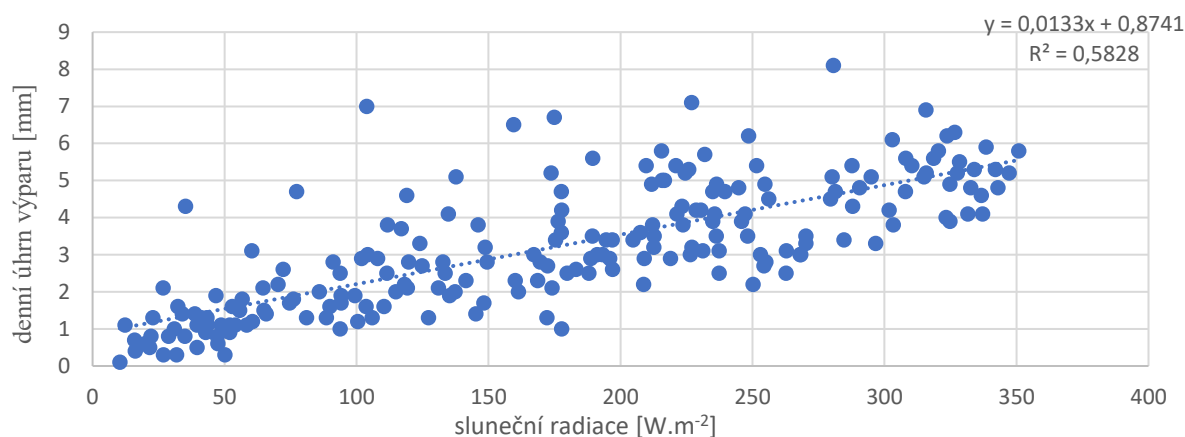
13.4 Vliv slunečního záření na výpar

Mezi klíčové meteorologické faktory ovlivňující evapotranspiraci patří sluneční záření, které je nejvýznamnějším zdrojem energie umožňujícím přeměnu vody z kapalně fáze na páru. Množství slunečního záření je ovlivněno hustotou vzduchu a oblačností, přičemž oblaka pohlcují a odrážejí část záření (Droogers 2000). Na grafu (obrázek 67) lze pozorovat podobný vývoj výparu s průměrnou denní sluneční radiací. Nejvyšší naměřené hodnoty globální sluneční radiace byly zjištěny v měsících červenci a srpnu. V dalších měsících naměřené hodnoty globální sluneční radiace klesaly, podobný vývoj byl i u naměřených hodnot výparu.



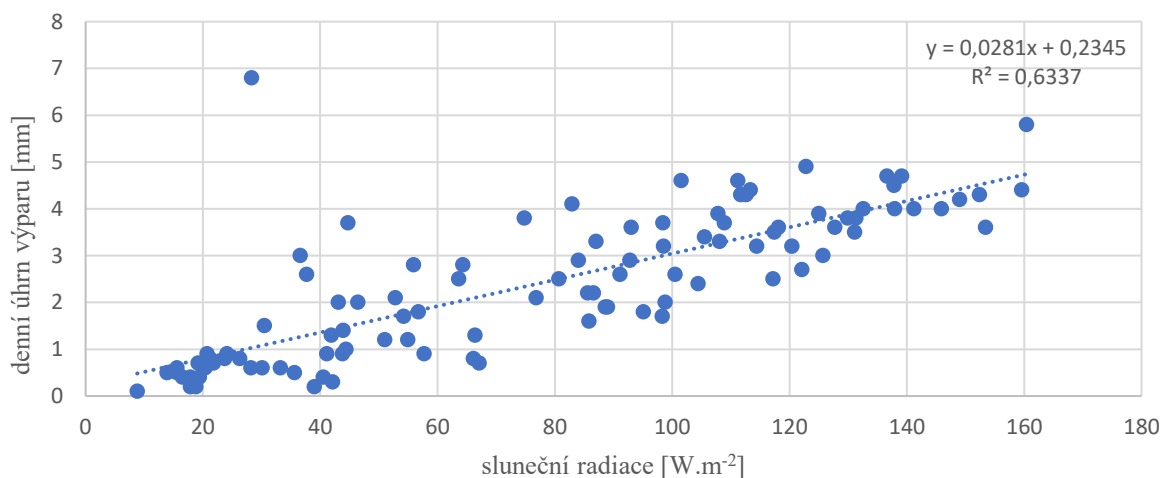
Obrázek 67: vývoj globální sluneční radiace a výparu v roce 2024
(zdroj: KFGG PřF UK, vlastní zpracování)

Naměřené hodnoty denního výparu byly analyzovány pomocí lineární regrese za účelem stanovení vztahu mezi výparem a globální sluneční radiací. Pro rok 2023 byla použita data o denním výparu z vodní hladiny na stanici Sedlec a hodnoty globální radiace ze stanice Tušimice (obrázek 68). Koeficient determinace dosáhl hodnoty 0,58, což vykazuje silnou korelaci mezi těmito dvěma proměnnými.



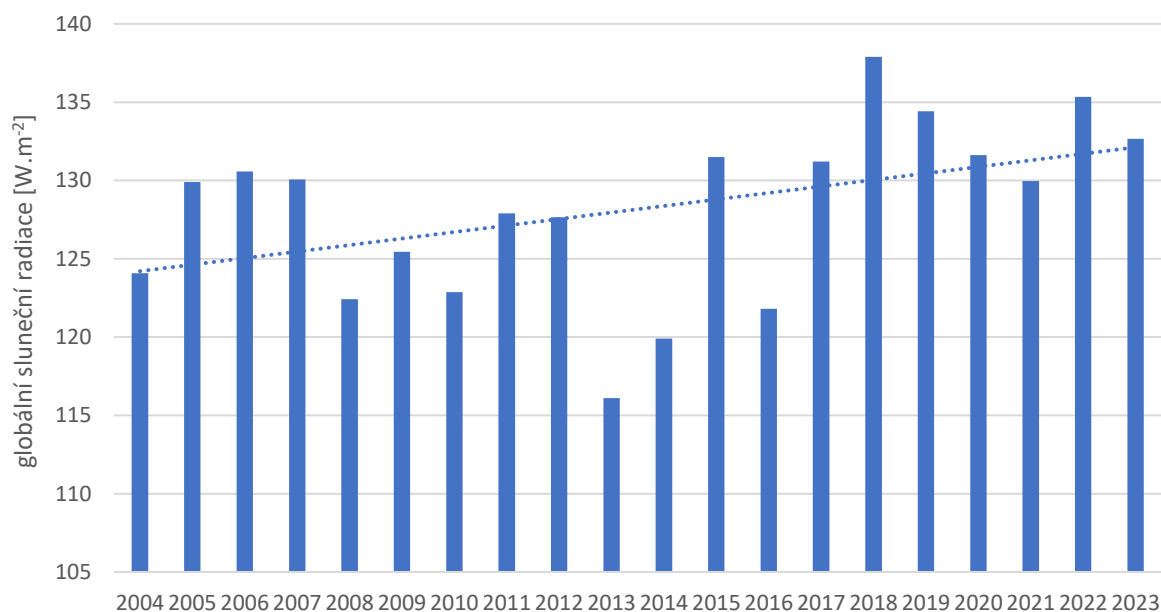
Obrázek 68: vztah mezi denním úhrnem výparu a průměrnou denní sluneční radiací v roce 2023
(zdroj: KFGG PřF UK, ČHMÚ, vlastní zpracování)

Podobně jako v roce 2023 byl také v roce 2024 analyzován vztah mezi výparem a globální sluneční radiací. Data o výparu i globální sluneční radiaci pocházela z meteorologické stanice Sedlec (obrázek 69). Tato závislost byla výrazně silnější než vztah mezi měřeními na stanicích Sedlec a Tušimice, koeficient determinace nabyl hodnoty 0,634, což potvrzuje, že měření radiace a výparu na stejném místě poskytuje přesnější a spolehlivější výsledky.



Obrázek 69: vztah mezi denním úhrnem výparu a průměrnou denní sluneční radiací v roce 2024
(zdroj: KFGG PřF UK, vlastní zpracování)

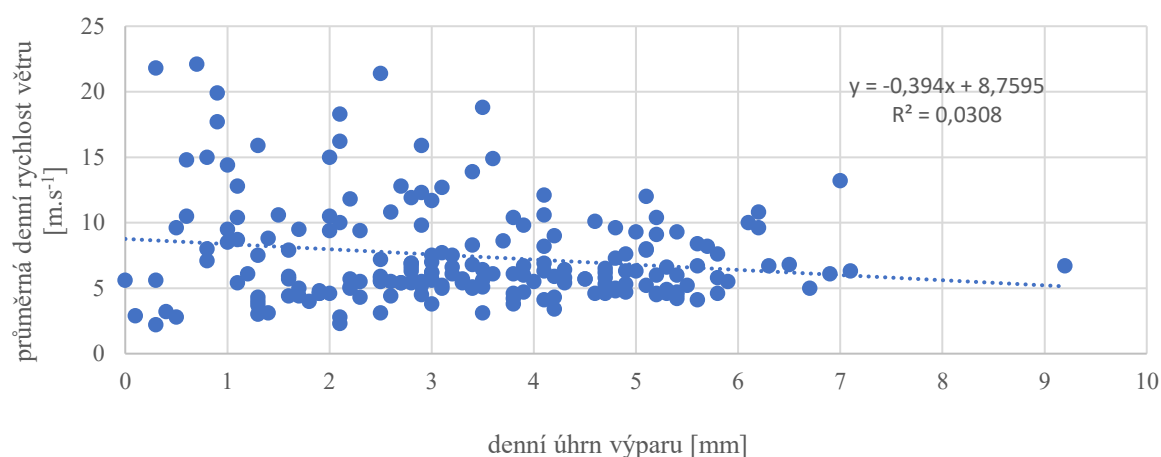
Dlouhodobá data o průměrných hodnotách globálního slunečního záření [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$] naměřená na stanici Tušimice naznačují vzrůstající meziroční trend, který je patrný z grafu (obrázek 70), z něhož je zřejmé, že v roce 2018 a 2019 byl naměřen nejvyšší úhrn globálního slunečního záření. To se projevilo i v počtu suchých dní (viz výše). Naopak v roce 2021 byl úhrn globálního slunečního záření v porovnání s okolními roky nižší, což může souviset i s menším počtem zjištěných suchých dnů v tomto roce.



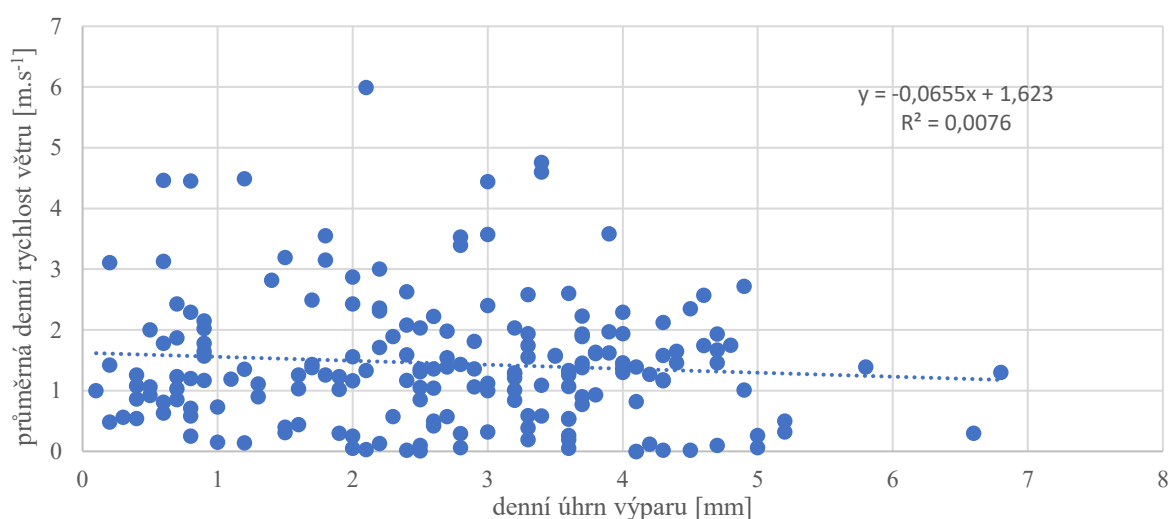
Obrázek 70: průměrné denní hodnoty globální sluneční radiace na stanici Tušimice
(zdroj: ČHMÚ, vlastní zpracování)

13.5 Vliv rychlosti a směru větru na výpar

Dále byla pomocí lineární regrese analyzována závislost denního výparu na průměrné denní rychlosti větru. V žádném z pozorovaných roků nebyla korelace prokázána (obrázky 71 a 72), přičemž koeficienty determinace byly velmi nízké. V roce 2023 dosáhl koeficient determinace hodnoty 0,03 a v roce 2024 hodnoty 0,0076. Silnější vliv na výpar byl prokázán u směru větru.



Obrázek 71: vztah mezi výparem a rychlostí větru v roce 2023
(zdroj: KFGG PřF UK, pan Zápotocký, vlastní zpracování)



Obrázek 72: vztah mezi výparem a rychlostí větru v roce 2024
(zdroj: KFGG PřF UK, pan Zápotocký, vlastní zpracování)

Pro analýzu vlivu směru větru na výpar byly spočítány hodnoty průměrného denního výparu pro jednotlivé směry za roky 2023 a 2024 (viz obrázek 73).

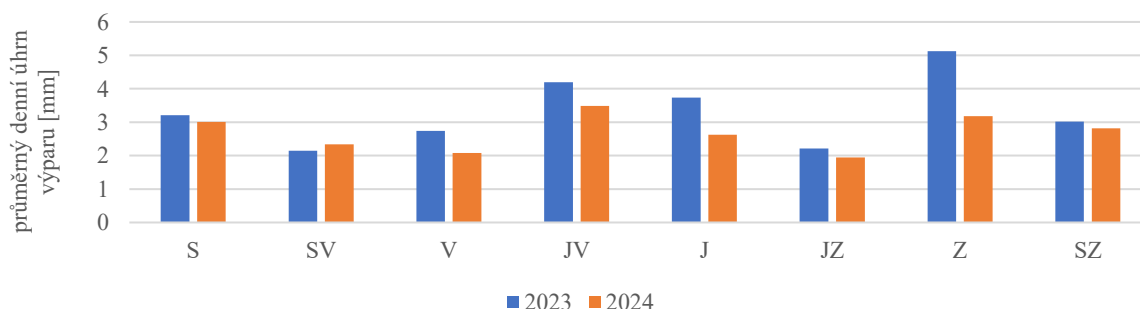
Nejvyšší hodnoty výparu bylo dosaženo v roce 2023 při západním větru (Z). Západní proudění mělo vliv na vlhkost vzduchu přinášelo sušší vzduch. Nejnížší hodnoty byly naměřeny při větru severovýchodním (SV) a jihozápadním (JZ).

V roce 2024 byly nejvyšší hodnoty výparu patrné při jihovýchodním (JV) větru, nejnížší při větru jihozápadním (JZ).

Západní, jihovýchodní a jižní větry pravděpodobně přináší sušší a teplejší vzduch. Naopak jihozápadní směr přináší vzduch vlhčí, který snižuje odpařování. Pokud vítr přináší vzduch od vodní plochy nebo vlhkých oblastí, pak vyšší relativní vlhkost vzduchu zpomaluje odpařování.

Při porovnání obou let je zřejmé, že v roce 2024 došlo u většiny směrů k mírnému poklesu výparu oproti roku 2023. Nejvýraznější pokles je viditelný právě při západním větru, což může souviset s nižší rychlostí větru nebo s vyšší vlhkostí vzduchu, která snižuje potenciál pro výpar. Snížení výparu je patrné i u jižního a jihovýchodního větru, i když rozdíly nejsou tak výrazné jako u západního směru.

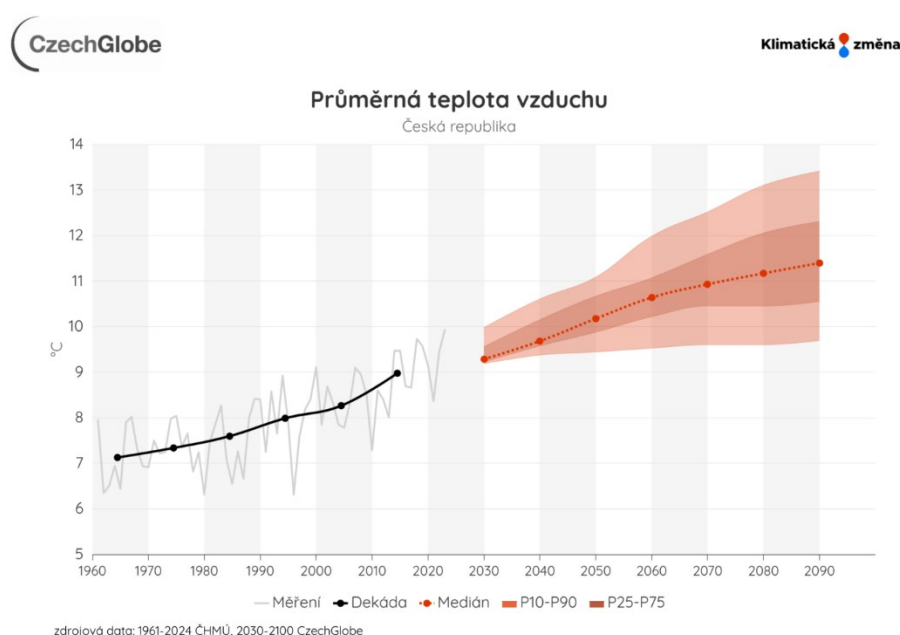
Významnou roli může sehrát i topografie krajiny a regionální klimatické podmínky, které mohou ovlivnit vlastnosti vzduchových mas přicházejících z různých směrů. Povodí Liboce je silně zasaženo srážkovým stínem Krušných hor. Srážkový stín je přírodní jev, při kterém horské masivy výrazně ovlivňují rozložení srážek. Když směřují větrné proudy, obvykle od západu k východu a narazí na horskou překážku, jsou nuceny stoupat. S rostoucí nadmořskou teplotou dochází ke kondenzaci vodních par a tvorbě oblaků, což vede k intenzivním srážkám na návětrné straně hor. Jakmile vzduch překoná vrchol a začne na závětrné straně klesat, oteplovat se a jeho relativní vlhkost se výrazně sníží (Burroughs 2003).



Obrázek 73: vztah mezi výparem a směrem větru (zdroj: KFGG PřF UK, pan Zápotocký, vlastní zpracování)

14 Výsledky a diskuze

V důsledku zvyšujících se teplot lze v budoucnu očekávat častější výskyt suchých period. Klimatické modely predikují nárůst průměrné globální teploty o několik stupňů Celsia (viz obrázek 74), což bude mít přímý dopad na zvýšení intenzity výparu. Vyšší míra evapotranspirace povede ke zvýšenému úbytku vody z krajiny a současně ke zvýšení nároků na odběr vody, zejména v zemědělském sektoru. Odběry vody z vodních nádrží mohou v důsledku tohoto vývoje dále negativně ovlivnit vodohospodářskou bilanci území.



Obrázek 74: průměrná roční teplota vzduchu (zdroj: Klimatická změna 2025)

Výpočty vodní bilance spolu s naměřenými hodnotami výparu potvrzují, že povodí Liboce vykazuje deficitní charakter. Bez podpory vodohospodářské infrastruktury by zemědělské využívání tohoto území nebylo téměř možné. Vodní dílo Sedlec bylo primárně vybudováno pro účely závlah a zajištění minimálního zůstatkového průtoku pod hrází. Sekundárně začalo plnit i funkce rekreační a environmentální.

Analýza odběrů vody prokázala, že nejvyšších hodnot odebrané vody bylo pravidelně dosahováno v měsíci červenec ve všech sledovaných letech. Tento trend koresponduje s údaji Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), podle nichž se právě v červenci pravidelně vyskytují nejvyšší průměrné teploty vzduchu, čímž se zvyšuje i intenzita výparu. Podrobná hydrologická analýza dále ukázala, že v letních měsících často dochází k situacím, kdy objem odtékající vody z nádrže převyšuje objem přítoků. Odběry z nádrže Sedlec tak významně

ovlivňují její vodohospodářskou bilanci a v kombinaci s rostoucími ztrátami výparem lze očekávat další zhoršování vodní bilance v budoucích obdobích, což povede ke zvýšenému vodnímu stresu v rámci povodí Liboce.

Jako jedno z možných řešení se jeví efektivnější využívání vody prostřednictvím moderních závlahových systémů, jako je například kapková závlaha. Tento způsob závlahy je v oblasti částečně implementován v souladu s manipulačním řádem. Pokud by se tento systém v povodí aplikoval ve větší míře, odběry vody by se mohly snížit a následně by se zlepšila vodní bilance VN Sedlec. Kapková závlaha se hojně využívá při pěstování zeleniny a ovoce (okurky, nakládačky, brambory, papriky a rajčata, salát a jahody), v ovocných sadech, chmelnicích a u vinné révy. Díky této technologii je možné ušetřit až dvě třetiny vody (Státní pozemkový úřad 2025).

Hodnoty odběrů vody v roce 2021 mohly být dle Fousové, Jiroudové a Koubové (2022) ovlivněny restriktivními opatřeními souvisejícími s pandemií COVID-19. Nicméně analýza vybraných klimatických a hydrologických parametrů, včetně počtu suchých dnů, nedostatkových objemů, teploty a vlhkosti vzduchu, teploty vody a globální sluneční radiace, prokázala, že tyto ukazatele v roce 2021 vykazovaly odlišné hodnoty ve srovnání s předchozími i následujícími lety. Snížení odběrů vody tak pravděpodobně primárně souviselo s příznivějšími meteorologickými podmínkami než s dopady pandemických opatření.

Výpar z vodní hladiny představuje významnou složku hydrologické bilance. Obě výparoměrná období byla deficitní. Ve výparoměrné sezóně 2023 převyšoval výpar nad srážkami o 265 mm a v sezóně 2024 o 67 mm. Tento nepoměr může souviset se zvýšeným počtem suchých dnů zaznamenaných v roce 2023. Celková vláhová bilance během letních měsíců vykazuje záporné hodnoty, zatímco v zimním a jarním období je zpravidla pozitivní.

Mikšovič (2023) zkoumal vliv výparu na vodní bilanci jezera Most, které se nachází nedaleko zájmového území. Došel k závěru, že hodnota měsíční hodnoty úhrnu výparu až na několik málo výjimek výrazně převyšuje hodnotu úhrnu srážek, a to především v letních měsících. Za dobu provozu plovoucího výparoměru byla zjištěna průměrná roční ztráta vody výparem přibližně 1000 mm. Jezero je tedy silně deficitní a musí být dotováno z jiných zdrojů – například přivaděčem z Ohře.

Tyl, David, Beran, 2023 uvádí rozdíl mezi výparem z vodní hladiny a srážkami na Vavříneckém rybníku 150 mm v roce 2020, v letech 2021 a 2022 100 mm ve prospěch výparu, což v přepočtu na objem vody činí více než 70 000 m³ vody.

Naměřený výpar za období květen–listopad 2023 činil 706,2 mm, zatímco v roce 2024 za období duben–říjen dosáhl hodnoty 655,3 mm. Podle údajů od Tolasze a kol. (2007) se referenční evapotranspirace pro území České republiky pohybuje v rozmezí 450–750 mm, přičemž nejvyšších hodnot dosahuje v červenci, kdy dlouhodobý průměr výparu z volné vodní hladiny přesahuje 120 mm. Tato skutečnost byla potvrzena i měřeními na stanici Sedlec, kde byl v červnu 2023 zaznamenán měsíční výpar 135,4 mm a v červenci 151,4 mm. V roce 2024 dosáhl červencový výpar hodnoty 128,2 mm.

Je nutné upozornit na možné nepřesnosti měření výparu, které mohou být ovlivněny konstrukcí výparoměru. Zakopaný výparoměr se prohřívá a ochlazuje odlišně než výparoměr umístěný přímo na vodní hladině. Tato skutečnost je rovněž uváděna v literatuře (Beran, David, Tyl 2023). Kromě toho může výpar snižovat i vyšší relativní vlhkost vzduchu v blízkosti větších vodních ploch.

Výpočty výparu na základě vodní bilance mohou být ovlivněny také dalšími faktory, např. infiltrací do podloží, která přispívá k doplňování podzemních vod, či odběrem vody vegetací, která je dále transpirovaná zpět do atmosféry.

Z klimatických prvků má na výpar zásadní vliv zejména teplota vzduchu, teplota vody, globální sluneční radiace a relativní vlhkost vzduchu. Regresní analýzy provedené Šuhájkovou a kol. (2019) na stanici Hlasivo u Tábora potvrdily silný vztah mezi těmito veličinami a výparem – například koeficient determinace (R^2) mezi výparem a teplotou vzduchu dosáhl hodnoty 0,75. Na stanici Sedlec byly hodnoty R^2 pro tento vztah v rozmezí 0,33–0,40. Vztah výparu a teploty vody ve výparoměru vykazoval na Hlasivu $R^2 = 0,81$, zatímco na stanici Sedlec se hodnoty pohybovaly mezi 0,45 a 0,53. Koeficient determinace mezi relativní vlhkostí vzduchu a výparem činil na stanici Hlasivo 0,41, na stanici Sedlec pak 0,41 v roce 2023 a 0,599 v roce 2024. Nejvyšších hodnot dosahoval vztah mezi výparem a globální sluneční radiací – na Hlasivu $R^2 = 0,88$, na Sedleci 0,58 (2023) a 0,634 (2024). Z uvedeného vyplývá, že ze sledovaných meteorologických proměnných má nejvýraznější vliv na výpar právě sluneční radiace.

Vyšší hodnoty koeficientu determinace u analýz provedených Šuhájkovou a kol. (2019) mohou být způsobeny zejména delší časovou řadou dat a měření na jediné lokalitě. V dané studii byly navíc použity měsíční hodnoty, zatímco v této práci byly využity denní časové řady, což mohlo rovněž ovlivnit výsledky korelačních analýz.

15 Závěr

Cílem této diplomové práce byla analýza vlivu hydrologického sucha na vodohospodářskou bilanci v povodí řeky Liboc. Práce se zaměřila na identifikaci hlavních příčin deficitu vodních zdrojů v souvislosti s výskytem suchých období a na hodnocení vlivu klimatických a hydrologických faktorů, zejména výparu a vodní bilanci daného území.

Teoretická část práce se věnuje rešerši odborné literatury, v jejímž rámci jsou popsány fyzickogeografické charakteristiky zájmového území, definice a klasifikace hydrologického sucha, struktura vodohospodářské bilance a její jednotlivé složky. Zvláštní pozornost byla věnována výparu jako významnému prvku hydrologického cyklu a faktorům, které jej ovlivňují.

Praktická část práce se zaměřuje na terénní měření a vlastní výpočty. Byla provedena měření průtoků, výpočet objemu vodního díla a sestavení vodohospodářské bilance nádrže Sedlec. Současně byly analyzovány faktory ovlivňující výpar a hodnoceny suché periody pomocí metody suchých dnů a metody nedostatkových objemů na vodních tocích Dubá I a Liboc.

Data pro tuto analýzu byla tvořena podklady poskytnutými státním podnikem Povodí Ohře a Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ). Doplnující informace byly získány od rodiny Zápotockých a prostřednictvím měření prováděných přístrojovým vybavením Katedry fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy.

Na základě zjištěných výsledků lze interpretovat následující závěry:

Výsledky této práce prokázaly, že povodí Liboce bylo v období let 2015–2024 výrazně ovlivněno četnými suchými epizodami, přičemž nejvýraznější sucho bylo zaznamenáno v letech 2019 a 2023, kdy byl rovněž evidován nejvyšší počet suchých dnů. Největší nedostatkové objemy vody byly zaznamenány v letech 2018, 2019, 2020 a 2023, což potvrzuje dlouhodobý trend vodního deficitu v dané oblasti. Z provedených analýz vyplývá, že objem odebrané vody z nádrže Sedlec více koreluje s počtem suchých dnů než s velikostí nedostatkových objemů, což poukazuje na přímou souvislost mezi výskytem sucha a intenzitou odběrů.

Tok Dubá I vykazoval v letech 2023 a 2024 vysoké hodnoty nedostatkových objemů i suchých dnů, což potvrzuje jeho vysokou citlivost na hydrologické extrémy. V tomto kontextu je nutné upozornit na skutečnost, že v několika případech došlo k překročení maximálně povolených měsíčních odběrů z vodního díla Sedlec, zejména v měsících s nejvyššími nároky – tedy v červenci, který byl rovněž identifikován jako měsíc s nejzápornější vodní bilancí nádrže.

V letním období dosahuje vodní bilance nádrže Sedlec obecně záporných hodnot, a to v důsledku kombinace vysokých ztrát evapotranspirací, nižších přítoků a intenzivních odběrů vody pro závlahy. Z analýzy přítoků vyplývá, že v letních měsících přítoky do nádrže často nedosahují hodnot odtoků, což snižuje objem zadržované vody v nádrži a prohlubuje vodní deficit. Zároveň byl zaznamenán trend zvyšování teploty vody ve vodním díle Sedlec, které ve spojení s rostoucí teplotou vzduchu dále přispívá ke zvýšenému výparu.

Analýza vláhové bilance ukázala shodný trend mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami, tím se potvrzuje validita použitých metod. Mezi klimatickými faktory byl jako nejvýznamnější determinant výparu identifikován vliv globální sluneční radiace, jejíž intenzita vykazuje rostoucí tendenci. Významný vliv má rovněž teplota vzduchu, která dlouhodobě stoupá – v roce 2023 byly na obou sledovaných meteorologických stanicích zaznamenány rekordní teploty vzduchu.

Z hydrologického hlediska byly zjištěny rozdíly mezi naměřenými M-denními průtoky a hodnotami uvedenými v manipulačním řádu na toku Dubá I. Tyto odchylky ukazují na potřebu pravidelného monitoringu průtoků a případnou revizi referenčních hodnot v manipulačním řádu. Snížení minimálního zůstatkového průtoku pod hrází by podle výsledků práce mělo jen zanedbatelný vliv na zlepšení vodní bilance, neboť hlavní problém představují rozsáhlé odběry vody a negativní vláhová bilance v letním období, nikoli samotná hodnota MZP.

Z uvedených poznatků vyplývá, že povodí Liboce, a především vodní nádrž Sedlec jsou mimořádně citlivé na hydrologické sucho a klimatické extrémy. Vzhledem k probíhající klimatické změně lze očekávat další zhoršování vodní bilance a potřebu provést systematické adaptační kroky. Mezi doporučená opatření patří zejména optimalizace závlahových systémů, důslednější kontrola odběrů vody a dlouhodobý monitoring hydrologických a klimatických veličin.

16.1 Zdroje

ADIB, A., MORADI, A., LOTFIRAD, M. a kol. (2023): Investigating the relationship between meteorological, hydrological and groundwater resource droughts under the influence of upstream dam reservoir effects. *Model. Earth Syst. Environ.*

ALMUTAIRI, A. (2019): Evaporation Estimation of a Temporary Pond in Arid Region Using Aerodynamic, Combined, and Energy Balance Models. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 12, 10, 1769–1777

ALLEN, C. D., BRESHEARS, D. D., MCDOWELL, N. G. (2015). On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere*, 6(8), 1-55.

ANSORGE L., BERAN, A. (2019). Performance of simple temperature-based evaporation methods compared with a time series of pan evaporation measures from a standard 20 m² tank. *Journal of Water and Land Development*.

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

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

CHHABRA, R., SHANKAR, V. (2018): Coulson and Richardson's Chemical Engineering. Elsevier Science, Amsterdam.

CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R., MAYS, L. W. (1988): *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Book Company, New York.

ČMeS (2025): Elektronický meteorologický slovník.

CULEK, M. a kol. (1996): Biogeografické členění ČR. Enigma, Praha, 347 s.

CULEK, M. GRULICH V. LAŠTŮVKA Z., DIVÍŠEK J. (2013): Biogeografické regiony České republiky. MUNI Press, Brno, 448 s.

BALEJOVÁ, M., BREJCHA, I., KEPRTOVÁ, Z., NESLÁDKOVÁ, M., PĚTROŠOVÁ, B., RAKONJACOVÁ M., RUTOVÁ, T., TLAPÁKOVÁ M., ŽIŽKOVÁ, A. (2024): Vodohospodářská bilance v dílčím povodí ostatních přítoků Dunaje za rok 2023. Povodí

Vltavy. https://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodohospodarska-balance/balance2023/OPD_text_2023.pdf

BARNETT, T. P., ADAM, J. C., LETTENMAIR, D. P. (2005): Potencial impacts of warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature* 438, s. 303–309.

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

BEVEN, K. J. (2001): *Rainfall–runoff Modelling—The Primer*. Wiley, New York.

BÍNA, J., DEMEK, J. (2012): *Z nížin do hor – geomorfologické jednotky České republiky*. Academia, Praha, 344 s.

BURROUGHS, W.J.. *Encyklopedie počasí*. České vyd. 2. Praha, 2003. ISBN 80-723-7747-7.

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

BRÁZDIL, R., TRNKA, M. a kol. (2015): *Sucho v českých zemích: minulost, současnost a budoucnost*. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, V.V.I., Brno, 402 s.

BLINKA, P. (2002): Metoda hodnocení sucha. XIV. Česko-slovenská bioklimatologická konference, Lednice na Moravě 2.–4. září 2002, 32–44.

BLINKA, P. (2004): Klimatologické hodnocení sucha a suchých období na území ČR v letech 1876–2003. Seminář Extrémy počasí a podnebí, Brno, 11. března 2004.

ČHMÚ (2025): SUCHO,
https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/SUCHO/Definice_sucha.html (cit. 11. 2. 2025).

DEMEK, J., MACKOVČIN, P. a kol. (2014): *Zeměpisný lexikon ČR: Hory a nížiny*. Mendelova univerzita v Brně, Brno, 610 s.

DINGMAN, S. L. (1994): Physical Hydrology. Macmillan College Publishing Company, New York.

DINGMAN, S.,L. (2014): Physical hydrology (3. vyd.). Waveland Press, Inc.

DROOGERS, P., (2000): Estimating actual evapotranspiration using a detailed agrohydrological model Original Journal of Hydrology, č. 229, s. 50 -58

EVROPSKÁ KOMISE (2025): Změna klimatu, https://climate.ec.europa.eu/climate-change_cs (cit. 11.2. 2024)

ESTRELA, T. a kol. (2001): Extreme hydrological events: floods and droughts. Environmental issue report No. 21: Sustainable water use in Europe, Part 3. European Enviroment Agency, 84 s.

FIEDLER (2025): Ultrazvukové hladinoměry,
<https://www.fiedler.company/cs/produkty/hladinomery/snimace-vysky-hladiny/us1200-3000>
(cit. 11. 2. 2025)

FIEDLER (2025): Hydrostatické hladinoměry,
<https://www.fiedler.company/cs/produkty/hladinomery/hydrostaticke/lmp307-307i> (cit. 11. 2. 2025)

FOUSOVÁ, E., JIROUDOVÁ, L. a KOUBOVÁ, J. (2021): Zpráva o stavu vodního hospodářství České republiky v roce 2020. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR.

FOUSOVÁ, E., JIROUDOVÁ, L. a KOUBOVÁ, J. (2021): Zpráva o stavu vodního hospodářství České republiky v roce 2021. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR.

GIZIŃSKA, J., SOJKA M. (2023). How climate change affects river and lake water temperature in central-west Poland—A case study of the Warta River catchment. Atmosphere, 14(2), 330.

GORDON, R. L. (1996): Acoustic Doppler Current Profiler: Principles of Operation A Practical Primer. RD Instruments, San Diego.

HAUPTMAN, I., KUKAL, Z., POŠMOURNÝ, K. (2009): Půda v České republice. Consult, Praha, 256 s.

- HAVLÍČEK, V. (1986): Agrometeorologie. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1986. 260 s.
- HEALY, R. W., SCANLON, B. R. (2013): Water-budget methods. In: Healy, R. W. (ed.): Estimating Groundwater Recharge. Cambridge University Press, Cambridge, 15–42.
- HEIM J. R. (2002): A review of twentieth - century drought indices used in the United states. American Meteorological Society 83: 1149 – 1165.
- HEIS VÚV (2025): Listy Základní vodohospodářské mapy 1:50 000 (cit. 11.2. 2025).
- HEALY, R. W., WINTER, T. C., LEBAOUGH, J. W., FRANKE, O. L. (2007): Water Budgets: Foundations for Effective Water-Resources and Environmental Management. U.S. Geological Survey, Reston.
- HISDAL, H., STAHL, K., TALLAKSEN, L. M., DEMUTH, S. (2001): Have droughts in Europe become more severe or frequent? International Journal of Climatology, 21(3), 317–333
- HLAVÁČEK, J., TECHNOLOGICKÁ AGENTURA ČESKÉ REPUBLIKY (2017): Technologie připevnění a stabilizace měřicí aparatury RiverSurveyor M9 na trimaranu za účelem měření batymetrie malých vodních nádrží: ověřená technologie. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
- HORÁKOVÁ V. (2022): Infiltrační schopnost půdy a možnosti jeho ovlivnění. https://kmo.shmu.sk/media/files/2022/VH/Horakova_Vera_Infiltracni_schopnost_pudy_a_moznosti_jeho_ovlivneni.pdf
- HUBALOVÁ P., SLÁMOVÁ T. (2024): Zpráva o stavu vodního hospodářství České republiky v roce 2023. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR.
- HYNIE, O. (1961): Hydrogeologie ČSSR I, Prosté vody. 1. vyd. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 562 s.
- CHLUPÁČ, I. (2011): Geologická minulost České republiky. Academia, Praha, 436 s.
- JANSKÝ, B. (2019): Sucho ve světě a v Česku. Geografické rozhledy, 2, 29.
- JENSEN, M. E., BURMAN, R. D., ALLEN, R. G. (1990): Evapotranspiration and water requirements. ASCE Manual 70, New York.

JENSEN, M. E., HAISE, H. R. (1963): Estimation of evapotranspiration from solar radiation. *Journal of Irrigation and Drainage Division*, 89, 4, 15–41.

KAŠPÁREK, L., MRKVIČKOVÁ, M. (2009): Studie dopadů klimatické změny na hydrologické poměry v povodí Blšanky a návrh adaptačních opáření. *VÚV T.G.M.*, 51, 19–22.

KEMEL, M. (1996). *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. České vysoké učení technické. Praha.

KLIMATICKÁ ZMĚNA (2025): Průměrná roční teplota vzduchu v grafu.

<https://www.klimatickazmena.cz/prumerna-rocni-teplota-vzduchu-v-grafu/> (cit. 11.2. 2025).

KOHUT, M., ROŽNOVSKÝ J., CHUCHMA, F. (2008): Vláhová bilance zemědělské krajiny <http://cbks.cz/sbornik08b/Kohut.pdf>

KOPTÍK, J (2020): Plán péče na období 2023 – 2033 pro přírodní rezervaci Sedlec.

KUTÍLEK, M. (1963). *Vodohospodářská pedologie*. Státní nakladatelství technické literatury Praha.

LINACRE, E. T. (1977): A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. *Agricultural Meteorology*, 18, 6, 409–424.

LITSCHMANN, T. (2005). Srovnání výpočetních metod potenciální evapotranspirace <http://amet.cz/SrovnaniEvapotranspirace.pdf>.

TOMÁŠEK, M. (2007): *Půdy České republiky*. Český geologický ústav, Praha, 112 s.

LLOYD-HUGHES, B. (2014): The impracticality of a universal drought definition. *Theoretical and Applied Climatology*, 3–4, 117, 607–611.

MARKOVA, G., BAAS, S., CONFORTI, P., AHMED, S. (2018): 2017: The Impact of Disasters and Crises on Agriculture and Food Security, <https://www.fao.org/3/I8656EN/i8656en.pdf> (cit. 10. 2. 2025).

MIKŠOVIC, S. (2023): Problematika výparu z hladiny jezera Most. Bakalářská práce Hornicko-geologická fakulta Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Ostrava. 54 s.

MUELLER, D. S., WANGER, Ch. R., REHMEL, M. S., OBERG, K. A. (2013): Measuring Discharge with Acoustic Doppler Current Profilers from a Moving Boat. Techniques and Methods, book 3, chap. A22 F. U.S. Geological Survey, Virginia.

NALBANTIS, I., TSAKIRIS, G. (2009): Assessment of hydrological drought revisited. Water Resources Manegment, 23, 881–897.

NDMC (2025): Types of drought, <https://drought.unl.edu/Education/DroughtIn-depth/TypesofDrought.aspx> (cit. 9. 2. 2025).

NĚMEC, J., HLADNÝ, J. (2006): Voda v České republice. Consult Praha, Praha, 256 s.

NOVÁK, P. a kol. (2017): Nové technologie batymetrie vodních toků a nádrží pro stanovení jejich zásobních kapacit a sledování množství a dynamiky sedimentů: certifikovaná metodika výsledků výzkumu, vývoje a inovací.

NOVICKÝ, O. a kol. (2009): Časová a plošná variabilita hydrologického sucha v podmínkách klimatické změny na území České republiky. Zpráva za rok 2008. VÚV T.G.M., Praha.

NOVOTNÝ, E. (2024): Výpar z vodní hladiny. Bakalářská práce, Přírodovědecká fakulta UK, Praha, 75 s.

MATĚJŮ, J., HRADECKÝ, P., MELICHAR, V. (2016): Doupovské hory. Česká geologická služba, Praha, 545 s.

MŽP ČR (2021): Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR: 1. aktualizace pro období 2021–2030.

LOUDIN, L., HERVIEU, F., MICHEL, C., PERRIN, CH., ANDRÉASSIAN, V., ANCTIL, F., LOUMAGNE, C. (2005): Which Potential Evapotranspiration Input for a Lumped RainfallRunoff Model? Part 2—Towards a Simple and Efficient Potential Evapotranspiration Model for Rainfall-Runoff Modeling. Journal of Hydrology, 303, 1, 290–306.

PENMAN, H. L., KEEN, B. A. (1948): Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society of London, 193, 1032, 120–145.

PEÑA–GALLARDO, M. a kol. (2019): Complex influences of meteorological drought time–scales on hydrological droughts in natural basins of the contiguous United States. Journal of Hydrology, 568, 611–625.

PEŠEK, J. a kol. (2010): Terciérní pánve a ložiska hnědého uhlí České republiky. Česká geologická služba, 438 s.

POKORNÝ, J., RYPLOVÁ R., HESSLEROVÁ, P., JIRKA, V. VÁCHA Z., PROCHÁZKA M. (2021): Sluneční energie – voda v krajině – vegetace https://enki.cz/wp-content/uploads/2024/12/Nova_vzdelavaci_metodika_pro_MeU.pdf

POVODÍ OHŘE (2013): Manipulační řád vodního díla Sedlec. 50 s.

POVODÍ OHŘE (2025a): Vodní bilance. <https://www.poh.cz/vodni-bilance/ds-1048> (cit. 11.2. 2025).

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

RAWLES, W. J.; Brakensiek, D. L.: Estimating Soil Water Retention from Soil Properties. J. (1982): Irrigation and Drainage Division, 108, 166–171.

RODELL, M., MCWILLIAMS, E. B., FAMIGLIETTI, J. S., BEAUDOING, H. K., NIGRO, J. (2011): Estimating evapotranspiration using an observation based terrestrial water budget. Hydrological Processes, 25, 26, 4082–4092.

ROŽNOVSKÝ J., LITSCHMANN T. (2002): Metoda hodnocení sucha. Česko-slovenská bioklimatologická konference, Lednice na Moravě 2. – 4. září 2002. 32 – 44.

RUTOVÁ, T., BALEJOVÁ, M. (2024): Zpráva o hodnocení jakosti povrchových vod v dílčím povodí za období 2022-2023. Povodí Vltavy.

SKLENIČKA, P., KOTTOVÁ, B., PIXOVÁ ČERNÝ, B., KRAVKA, M. (2020): Závlahy v České republice – východiska směrem k adaptaci na klimatickou změnu. Česká zemědělská univerzita.

SOBÍŠEK, B. (1993): Meteorologický slovník výkladový a terminologický. 1. vyd., Ministerstvo životního prostředí České republiky, Praha. 594 s.

SONTEK (2011): RiverSurveyor S5/M9 System Manual Firmware Version 2.0. SonTek, a Division of YSI Inc., San Diego.

SOUKALOVÁ, E., MUZIKÁŘ, R. (2015): Hydrologické sucho v podzemních vodách. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace 57: 34 – 41.

SHUTTLEWORTH, W. J. (1993): Evaporation. In: Maidment, D. R. (ed.): Handbook of Hydrology. McGraw-Hill, Inc., New York, 4.1–4.53.

STAHL, K. (2001): Hydrological drought – A Study Across Europe. Dissertation Thesis. Albert–Ludwig Universität, Freiburg, 121 s.

STÁTNÍ POZEMKOVÝ ÚŘAD (2025): Kapková zálaha ušetří zemědělcům až dvě třetiny nákladů na vodu. Žít s krajinou. [https://zitkrajinou.spucr.cz/voda-a-sucho/kapková-zavlah-a-usetri-zemedelcum-az-dve-tretiny-nakladu-vodu/](https://zitkrajinou.spucr.cz/voda-a-sucho/kapкова-zavlah-a-usetri-zemedelcum-az-dve-tretiny-nakladu-vodu/)

ŠEMBERA, J. (1979): Systém řízení vodního hospodářství. Praha: Státní zemědělské nakladatelství.

ŠILAR, J. (1996): Hydrologie v životním prostředí. Ostrava: Technická univerzita. Vysoká škola báňská – Technická univerzita.

ŠRÁČEK, O., KUCHOVSKÝ T. (2003). Základy hydrogeologie. Vydavatelství MU.

ŠUHÁJKOVÁ, P., KOŽÍN, R., BERAN, A., MELIŠOVÁ, E., VIZINA, A., HANEL, M. (2019): Aktualizace empirických vztahů pro výpočet výparu z vodní hladiny na základě pozorování výparu ve stanici Hlasivo. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 61, 4, 4–11.

TALLAKSEN, L. M., VAN LANEN, H. A. (2004): Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Developments in Water Science 48. Elsevier Science B. V., Amsterdam, 579 s.

TATE, E. L., GUSTARD, A. (2000): Drought Definition: A Hydrological Perspective. In: Drought and Drought Mitigation in Europe. Springer, Dordrecht, 23–48.

TLAPÁK, V., ŠÁLEK, J., LEGÁT, V. (1992): Voda v zemědělské krajině. Zemědělské nakladatelství Brázda ve spolupráci s MŽP ČR. Praha.

TOLASZ, R., BAŠTÝŘOVÁ, H. (2007): Atlas podnebí Česka. Český hydrometeorologický ústav; Univerzita Palackého v Olomouci, Praha; Olomouc, 255 s.

TRENBERTH, K. E. (1997): The Definition of El Niño. Bulletin of the American Meteorological Society, 78(12), 2771–2777.

TYL, R., DAVID, V., BERAN, A. (2021): Hydrologická bilance vybraných povodí ČR se zaměřením na suché období 2015–2019. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace. DOI: 10.46555/VTEI.2021.03.005

UNITED NATIONS (2022): Drought in numbers,
<https://www.unccd.int/resources/publications/drought-numbers> (cit. 10. 2. 2025)

VALIANTZAS, J. D. (2006): Simplified versions for the Penman evaporation equation using routine weather data. *Journal of Hydrology*, 331, 3–4, 690–702.

VAN BAVEL, C. H. M. (1966): Potential evaporation: The combination concept and its experimental verification. *Water Resources Research*, 2, 3, 455–467.

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

VAN LOON, A. F., GLEESON, T., CLARK, J., VAN DIJK, A. I., STAHL, K., HANNAFORD, J., DI BALDASSARRE, G., TEULING, A. J., TALLAKSEN, L. M., UIJLENHOET, R., HANNAH, D. M. (2016): Drought in the Anthropocene. *Nature Geoscience*, 9(2), s. 89–91.

VLACH, V. (2019): Hydrologické sucho v pramenných oblastech Krušných hor. Diplomová práce, Přírodovědecká fakulta UK, Praha, 104 s.

VTEI (2019): Měření malých průtoků pomocí měrných přelivů,
<https://www.vtei.cz/2019/12/mereni-malych-prutoku-pomoci-mernych-prelivu/> (20.2. 2025)

WHOI (2024): Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) – Woods Hole Oceanographic Institution, <https://www.whoi.edu/what-we-do/explore/instruments/instruments-sensors-samplers/acoustic-doppler-current-profiler-adcp/> (13. 10. 2024).

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

WILHITE, D. A. (1994): Preparing for Drought: A Guidebook for Developing Countries. Diane Publishing, 78 s.

WILHITE, D. A. (2000): Drought Early Warning Systems in the Context of Drought Preparedness and Mitigation. Early warning systems for drought preparedness and drought management, 1-21.

WILHITE, D. A. (2016): Droughts: A Global Assessment. Routledge, 752 s.

XU, C., SINGH, V. P. (2001): Evaluation and generalization of temperature-based methods for calculating evaporation. Hydrological Processes, 15, 2, 305–319.

ZBOŘIL, A. (2006): Charakteristiky toků a povodí ČR. VÚV T.G.M., Praha,
<https://www.dibavod.cz/24/charakteristiky-toku-a-povodi-cr.html> (10. 2. 2025).

ZHANG, J., Lei, T.W., Qu, L.Q., Chen, P., Gao, X.F., Chen, C., Yuan, L.L., Zhang, M.L., Su, G.G., 2017. Method to measure soil matrix infiltration in forest soil. J. Hydrol. 552, 241–248.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.06.032>

ŽALUD, Z. (2021): Aplikovaná agrometeorologie. Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Brno, 132 s.

16.2 Datové zdroje

ARCDATA PRAHA: ArcČR 500 – digitální geografická databáze, verze 3.3. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/arccr-500> (8. 4. 2020).

AOPK: Biogeografické členění. Dostupné z: <https://data.nature.cz/ds/29> (8.4. 2020)

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

ČHMÚ: Měsíční a roční data dle zákona 123/1998 Sb. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-data-dle-z.-123-1998-Sb> (1. 2. 2025).

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

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

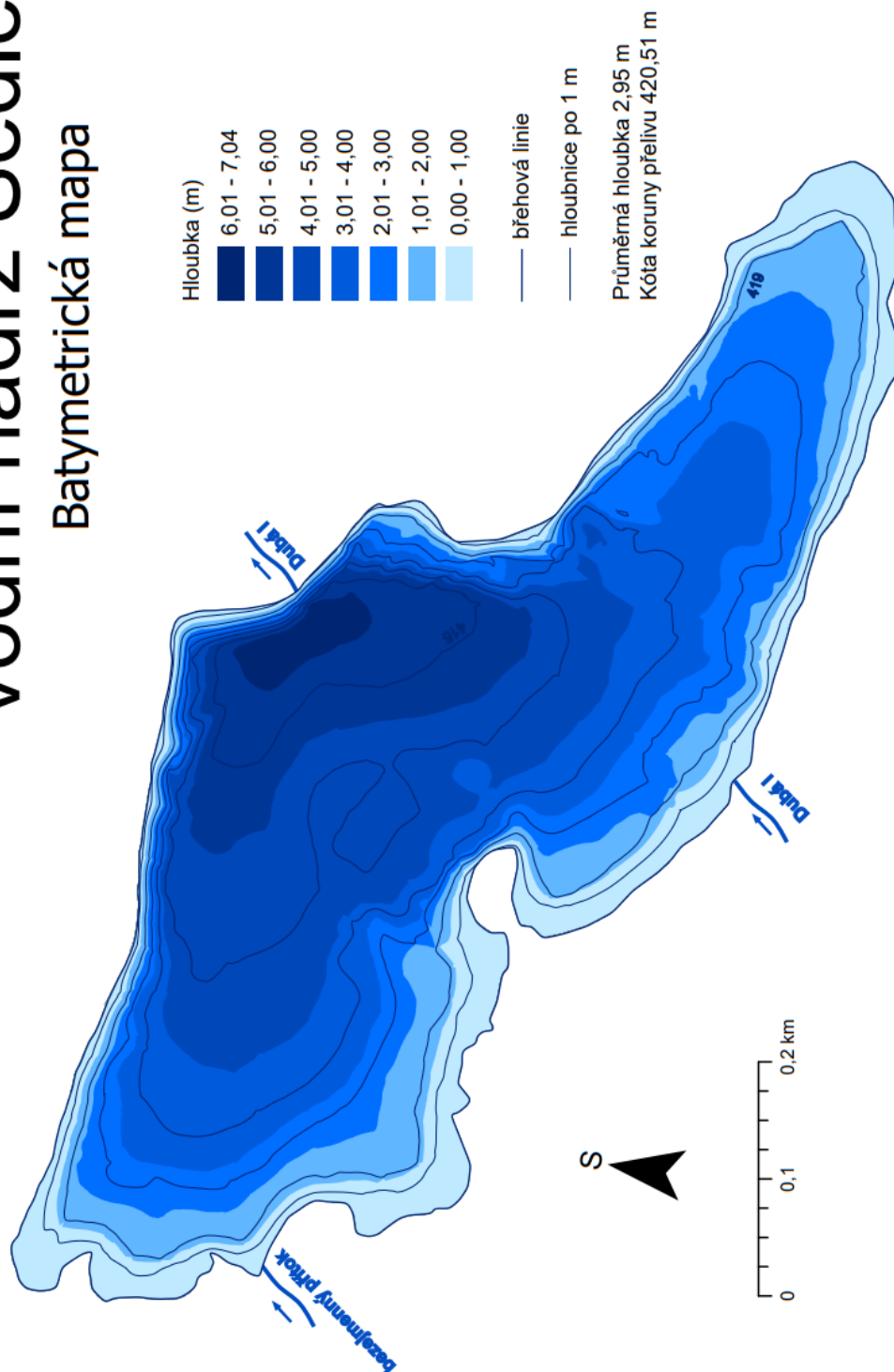
DIBAVOD: Digitální báze vodohospodářských dat, VÚV T. G. M.. Dostupné z: <https://dibavod.cz> (9. 6. 2022).

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

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

Vodní nádrž Sedlec

Batymetrická mapa

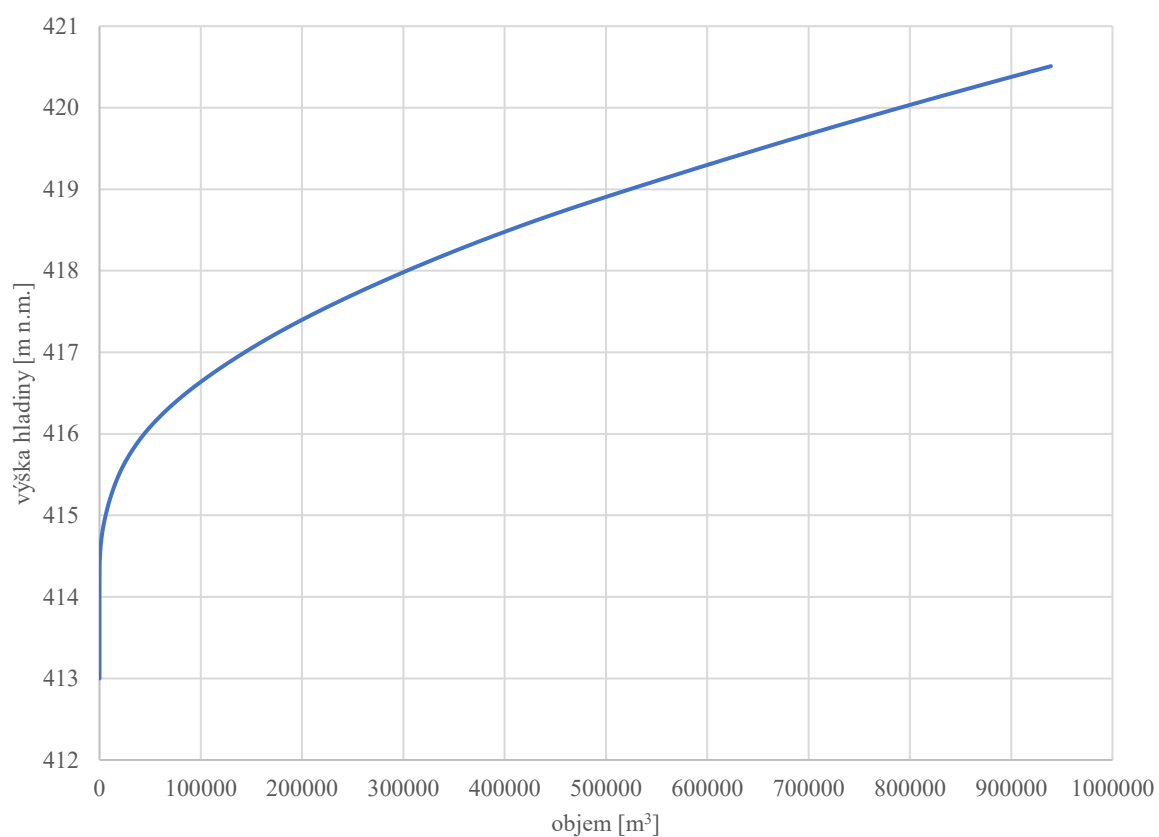


Příloha 1: batymetrická mapa VN Sedlec, hloubky měřeny dne 23.března 2023 při nadmořské výšce hladiny 420 m n.m.

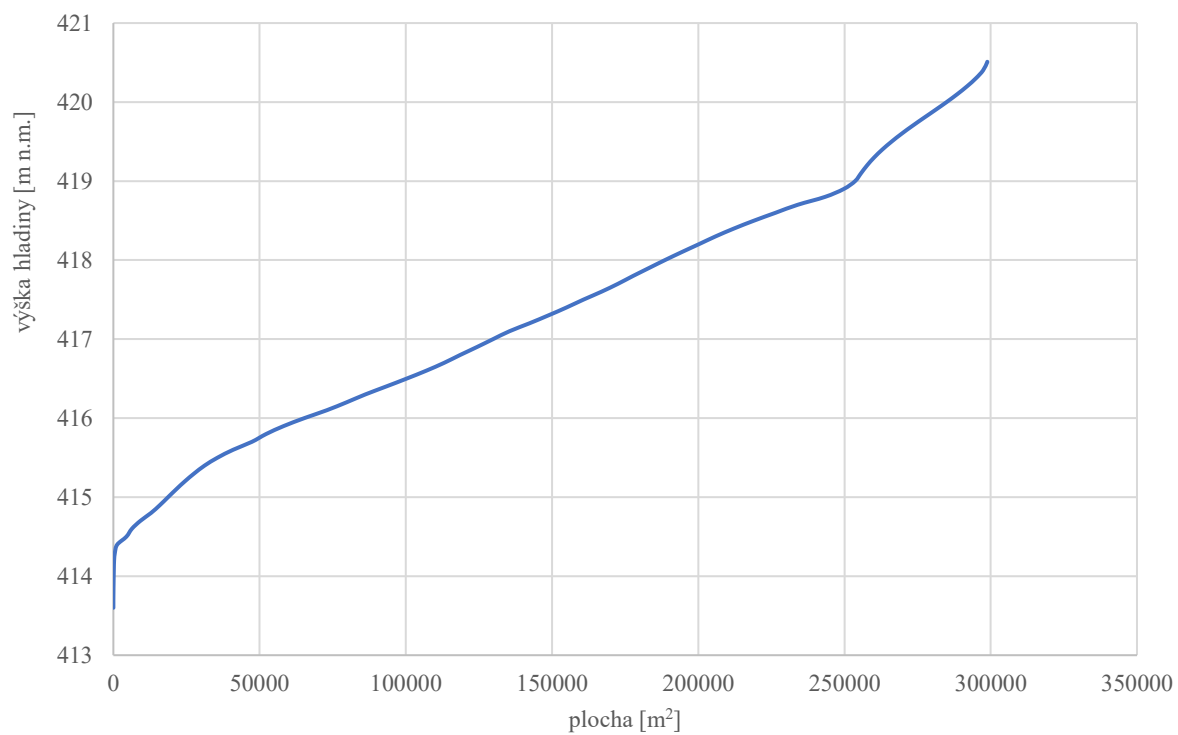
výška hladiny [m n.m.]	objem [m ³]	plocha [m ²]
420,51	939 246	298 822
420,5	936 267	298 737
420,4	906 532	297 353
420,3	876 995	294 905
420,2	847 728	291 899
420,1	818 778	288 545
420	790 175	284 906
419,9	761 946	281 055
419,8	734 106	277 124
419,7	706 657	273 245
419,6	679 585	269 542
419,5	652 869	266 103
419,4	626 482	262 943
419,3	600 389	260 153
419,2	574 555	257 735
419,1	548 942	255 651
419	523 526	253 624
418,9	498 417	249 730
418,8	473 805	243 330
418,7	449 947	233 956
418,6	426 980	226 481
418,5	404 736	219 089
418,4	383 213	212 211
418,3	362 346	205 904
418,2	342 079	200 114
418,1	322 389	194 252
418	303 276	188 585
417,9	284 717	183 138
417,8	266 699	177 723
417,7	249 211	172 515
417,6	232 259	166 887
417,5	215 903	160 725
417,4	200 139	154 909
417,3	184 975	148 713
417,2	170 438	142 240
417,1	156 569	135 435
417	143 330	129 836
416,9	130 636	124 320
416,8	118 504	118 606
416,7	106 925	113 093
416,6	95 941	106 954
416,5	85 577	100 235
416,4	75 912	93 233
416,3	66 965	86 142

výška hladiny [m n.m.]	objem [m ³]	plocha [m ²]
416,2	58 683	79 708
416,1	51 046	72 957
416	44 141	65 280
415,9	37 988	58 245
415,8	32 472	52 282
415,7	27 502	47 346
415,6	23 051	40 965
415,5	19 257	35 614
415,4	15 900	31 612
415,3	12 947	27 640
415,2	10 351	24 422
415,1	8 058	21 497
415	6 050	18 696
414,9	4 321	15 924
414,8	2 878	12 867
414,7	1 769	9 227
414,6	999	6 333
414,5	464	4 454
414,4	169	1 320
414,3	85	529
414,2	49	248
414,1	28	169
414	14	112
413,9	6	63
413,8	1	27
413,7	0	2

Příloha 2: spočítané objemy a plochy VN Sedlec při různých výškách hladiny



Příloha 3: batymetrická křivka (objemu) VN Sedlec



Příloha 4: batymetrická křivka (plochy) VN Sedlec

začátek období	konec období	počet dní	nedostatkový objem [m ³]
02.08.2015	15.08.2015	14	98470
28.08.2015	10.09.2015	14	82002
04.07.2017	10.07.2017	7	15405
15.07.2017	24.07.2017	10	56019
29.07.2017	10.08.2017	13	96526
13.08.2017	31.08.2017	19	127371
05.09.2017	14.09.2017	10	51814
17.09.2017	23.09.2017	7	25315
03.07.2018	10.07.2018	8	43917
14.07.2018	08.09.2018	57	387292
10.09.2018	14.09.2018	5	41913
18.09.2018	22.09.2018	5	40928
25.09.2018	04.10.2018	10	75272
06.10.2018	14.10.2018	9	45032
20.10.2018	25.10.2018	6	33515
31.10.2018	05.11.2018	6	17142
12.11.2018	21.11.2018	10	92448
26.06.2019	21.07.2019	26	199255
23.07.2019	09.09.2019	49	523381
12.09.2019	01.10.2019	20	166320
03.07.2020	09.07.2020	7	19820
11.07.2020	31.08.2020	52	454481
03.09.2020	26.09.2020	24	136953
15.08.2021	19.08.2021	5	4588
04.09.2021	16.09.2021	13	38854
18.09.2021	26.09.2021	9	19189
28.09.2021	08.10.2021	11	28814
22.06.2022	26.08.2022	66	428285
28.08.2022	06.09.2022	10	63936
01.06.2023	05.06.2023	5	11750
11.06.2023	22.06.2023	12	39658
24.06.2023	08.08.2023	46	266371
10.08.2023	17.08.2023	8	42422
20.08.2023	26.08.2023	7	30888
03.09.2023	09.10.2023	37	209779
15.10.2023	19.10.2023	5	17885
15.07.2024	01.08.2024	18	100120
06.08.2024	17.08.2024	12	53482
21.08.2024	02.09.2024	13	55503

Příloha 5: období sucha na Liboci mezi roky 2015 a 2024