

# Vyhodnocení klimatologických a vláhových poměrů obce Prušánky

RNDr. Filip Chuchma, Ph.D.

Mgr. Pavel Zahradníček, Ph.D.

Ing. Rostislav Fiala, Ph.D.

Oddělení meteorologie a klimatologie Brno

BRNO, duben 2024

# Obsah

1	Úvod.....	1
2	Teplotní poměry.....	1
3	Srážkové poměry.....	3
4	Výparné a vlhkostní poměry .....	7
5	Shrnutí.....	14
6	Literatura .....	17

# 1 Úvod

Cílem předkládané studie je poskytnutí klimatických podkladů pro objasnění dynamiky změn ve fyzikálních vlastnostech půd v oblasti Základní školy Prušánky v dlouhodobém horizontu. Podkladem pro analýzy jsou data o srážkách, teplotách, modelové evapotranspiraci a modelové zásobě vláhy v půdě vypočtené agrometeorologickým modelem, a to za období 1961–2023, přičemž důraz je kladen na období let 2014–2023 v němž se vyskytovaly výrazné epizody výskytu sucha.

## 2 Teplotní poměry

Pro danou studii byly analyzovány teplotní poměry, které mají vztah hlavně k vysušování půdy. Jedná se o maximální denní teploty vzduchu, počet letních dnů a teplé vlny. Tyto charakteristiky byly analyzovány hlavně z hlediska dlouhodobých trendů v jednotlivých částech roku.

*Tab. 1 Trendy maximální teploty vzduchu (TMA) [ $^{\circ}\text{C}/10$  let], počtu letních dnů a počtu dnů v teplé vlně [dny/10 let] pro jednotlivé sezóny v roce v letech 1961–2023 v oblasti obce Prušánky. Statisticky významný trend ( $p = 0,05$ ) tučně*

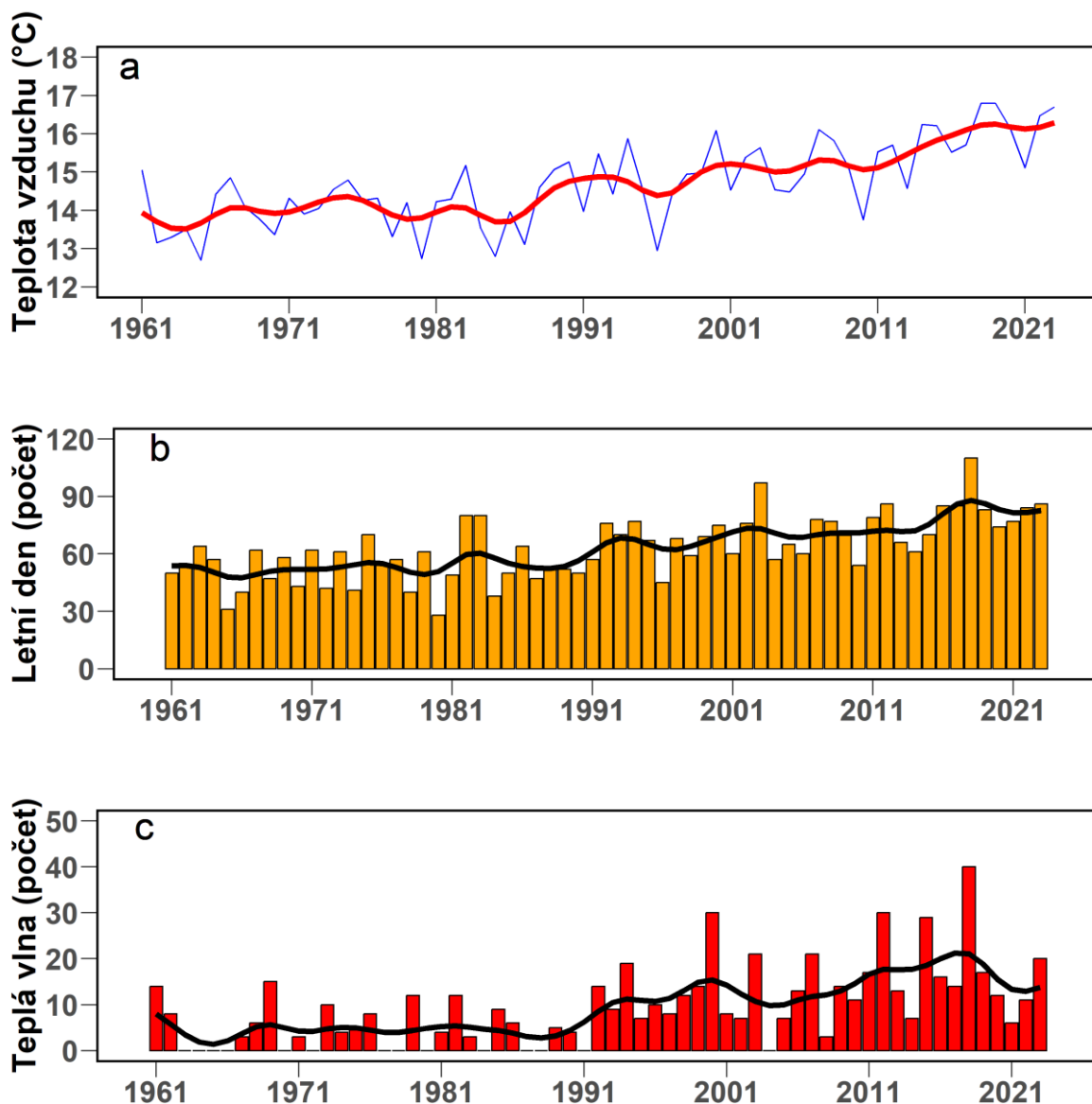
Index	Rok	Zima	Jaro	Léto	Podzim	Říjen-březen	Duben-září
<b>TMA</b>	<b>0,41</b>	<b>0,43</b>	<b>0,35</b>	<b>0,59</b>	<b>0,24</b>	<b>0,38</b>	<b>0,43</b>
<b>Letní den</b>	<b>5,81</b>	0,00	0,36	<b>4,73</b>	<b>0,71</b>	0,03	<b>5,74</b>
<b>Teplá vlna</b>	<b>4,94</b>	<b>1,33</b>	0,26	<b>2,08</b>	<b>1,26</b>	<b>2,28</b>	<b>2,62</b>

Průměrná maximální denní teplota vzduchu v Prušánkách byla v posledním normálovém období 15,3  $^{\circ}\text{C}$ . V posledních 10 letech (2014–2023) to bylo již 16,2  $^{\circ}\text{C}$ . Ve všech sezónách je zaznamenán statisticky významný růst maximální teploty vzduchu v období 1961–2023 (Tab. 1). Průměrné tempo růstu je 0,41  $^{\circ}\text{C}$  za 10 let. Nejrychleji rostou maximální teploty vzduchu v létě (0,59  $^{\circ}\text{C}/10$  let) a nejméně na podzim (0,24  $^{\circ}\text{C}/10$  let). Hodnoty trendů odpovídají růstu teplot v České republice (Zahradníček a kol 2021).

Letní den nastává, kdy teplota vzduchu dosáhne minimálně 25  $^{\circ}\text{C}$ . Těchto dnů nám dlouhodobě přibývá v celé republice (Zahradníček a kol., 2022). Vyšším tempem, než je průměr v ČR, roste počet letních dnů v oblasti Prušánek. V letech 1991–2020 bylo těchto dnů v průměru 72 za rok a v posledních 10 letech dokonce již 82 za rok. V roce 2018 jich bylo dokonce 110 za rok, což je více než 3,5 měsíce letních teplot vzduchu. V průměru jich přibývá 5,8 dnů za 10 let, což znamená o měsíc více než před 60 lety (Obrázek 1b).

Důležitou charakteristikou je i počet dnů v teplé vlně. To znamená, že se nám akumuluje více dnů s vyššími teplotami po sobě, a ty mohou mít v tomto spojení větší dopad na krajinu než jednotlivý výskyt těchto dnů přerušen nějakou studenou epizodou. Definovat teplou vlnu lze mnoha způsoby. Zde bylo zvoleno jako kritérium vyšší teplota vzduchu než hodnota 90. percentilu v letech 1961–2023 a ta musela být dosažena aspoň tři dny po sobě. S ohledem na výpar vody z půdy zde bylo zaměřeno

hlavně na období duben až září (Obrázek 1c). Těchto dnů v teplé vlně statisticky významně přibývá s výjimkou jara. Z našeho pohledu v dubnu až v září je to okolo 2,6 dnů za 10 let. V teplém půlroce bylo těchto dnů 5,7 za rok (1991-2020). V posledních 10 letech již dokonce 9,7 dnů za rok. Rekordní situace nastala v teplém půlroce v roce 2018 (23 dnů).



Obrázek 1. Průměrná maximální denní teplota vzduchu (a), počet letních dnů za rok (b) a počet dnů v teplé vlně za duben až září (c) v letech 1961-2023 v obci Prušánky, shlazeno 10 letým nízkofrekvenčním filtrem (černá čára)

Podle analýzy teplotních poměrů vychází, že teplota vzduchu v dané oblasti roste statisticky významně. To se projevuje logicky ve vyšším výparu vody z krajiny a tedy i rychlejšímu vysušování půdy, což může vést k zhoršování fyzikálních vlastností podloží dané stavby. Zvyšování teploty je nejvyšší v letních měsících, to platí i pro množství teplých vln či letních dnů, za kterých pak dochází k nejvýraznějšímu výparu vody z krajiny.

### 3 Srážkové poměry

Pro analýzu srážkových poměrů bylo zvoleno několik charakteristik a přístupů. V první řadě jde stejně jako u teplot vzduchu o analýzu dlouhodobých změn. Druhý přístup vychází ze studia mezidekádních změn a také variability v rámci dané dekády a to s jasným důrazem na posledních 10 let. Z charakteristik byla zvolena průměrná roční suma srážek. Poté počet dnů, kdy významně nepršelo (méně než 1 mm za den) a naopak významně pršelo (10 mm a více za den). Pro charakterizování dnů s výrazně vysokými srážkami bylo zvoleno 1 denní srážkové maximum v roce, ale také 3, 5 a 10denní kumulované maximální sumy srážek.

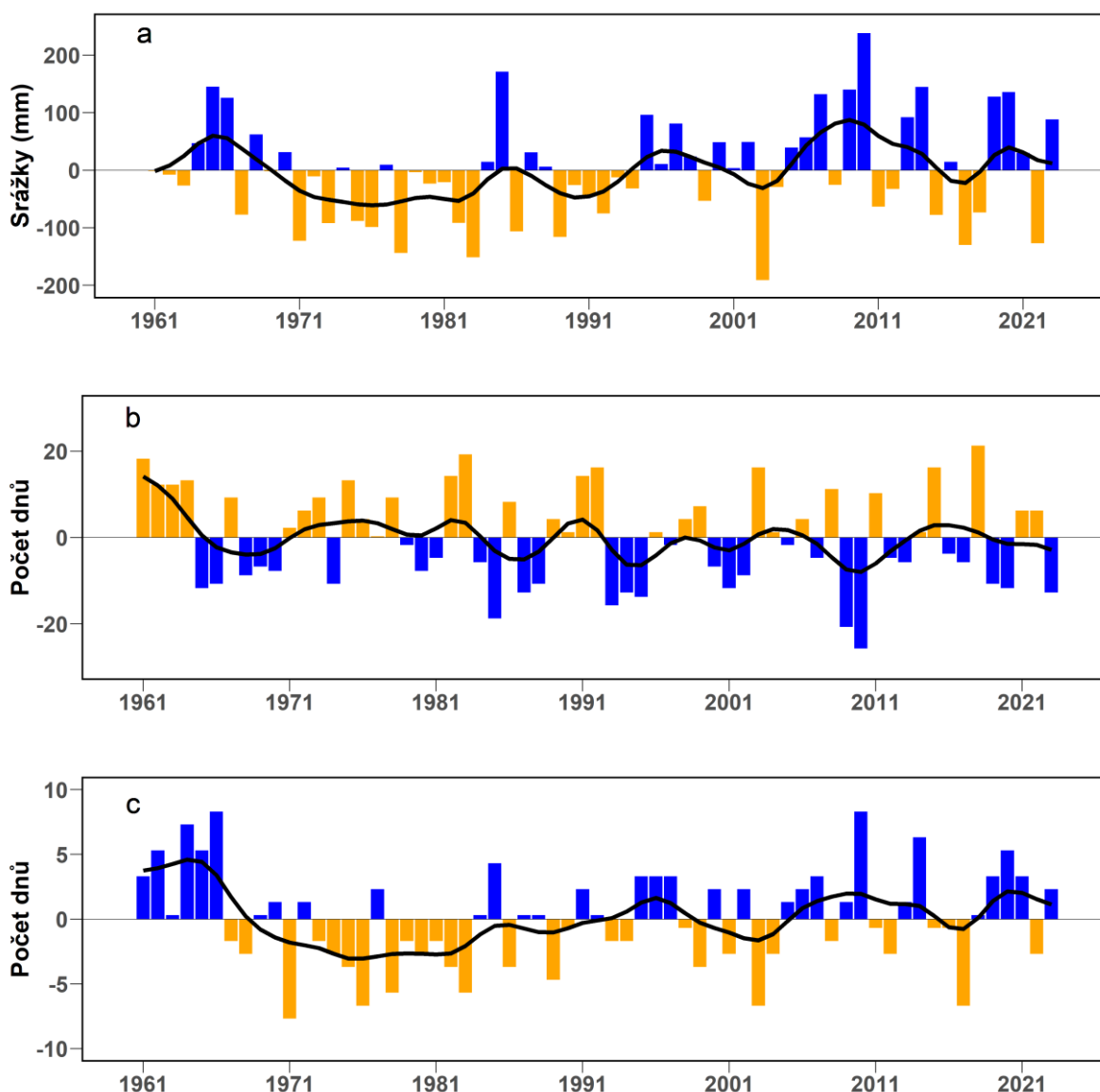
*Tab. 2 Trendy srážkového úhrnu (SRA) [mm/10 let], počtu dnů se srážkou pod 1 mm (SRA1), počtu dnů se srážkou 10 mm a více (SRA10) [dnů/10 let] a srážkové 1, 3, 5, 10denní maximum (SRA1MAX až SRA10MAX) [mm/10 let] pro jednotlivé sezóny v roce v letech 1961-2023 v oblasti obce Prušánky. Statisticky významný trend ( $p = 0,05$ ) tučně*

Index	Rok	Zima	Jaro	Léto	Podzim	Říjen-březen	Duben-září
<b>SRA</b>	7,84	2,16	-1,26	3,23	3,53	-1,54	<b>8,17</b>
<b>SRA1</b>	-0,94	-0,18	-0,01	0,31	-0,61	-0,66	-0,08
<b>SRA10</b>	0,11	0,01	-0,16	0,11	0,14	-0,21	0,29
<b>SRA1MAX</b>	<b>1,16</b>	0,44	-0,61	<b>1,73</b>	0,45	-0,20	1,48
<b>SRA3MAX</b>	<b>2,68</b>	0,78	0,02	2,21	1,69	-0,18	<b>3,20</b>
<b>SRA5MAX</b>	<b>3,12</b>	0,87	0,35	<b>2,42</b>	1,42	-0,64	<b>4,06</b>
<b>SRA10MAX</b>	<b>3,03</b>	0,63	-0,64	<b>2,99</b>	0,40	-1,53	<b>3,46</b>

V posledním normálu 1991-2020 byla průměrná suma ročních srážek v obci Prušánky 536,4 mm. Nejvíce srážek spadlo v roce 2010 a nejsušší rok byl 2003 (Obrázek 2a). Počet dnů bez významné srážky bylo 278 (obrázek 2b). Nejvíce od roku 1961 v roce 2018, kdy 82 % dnů v roce významně nepršelo a nejméně v roce 2010 (69 %). Naopak počet dnů, kdy napršelo aspoň 10 mm, bylo v průměru 14,3 dnů (Obrázek 2c). Nejvíce dnů s vydatnějším deštěm bylo v roce 2010 (22) a nejméně v roce 1971 (6).

Průměrné roční 1denní maximum srážek bylo v letech 1991-2020 38,5 mm, 3denní činí 56,7 mm, 5denní pak 65,5 mm a 10denní 81 mm. Nejvíce za celé období od roku 1961 napršelo za jeden den 79,4 mm a to v roce 1968. Za 3 dny to bylo již 120,4 mm v roce 1997, za 5 dnů 128,9 mm a za 10 dnů 133,3 mm v téže roce, šlo tedy o stejnou epizodu.

Z dlouhodobého hlediska u srážek převládá velká variabilita nad dlouhodobým trendem (Brázdil a kol., 2021). Mění se nám ale charakter srážek, kdy statisticky významně ubývá srážek během dubna až června a roste naopak od července do září a většinou díky vyšším krátkodobým úhrnům. Podobná situace je i u obce Prušánky (Tab. 2). Roční úhrn srážek nám sice roste, ale není to trend významný. Jediný významný trend je od dubna do září, kdy roste úhrn o 8 mm/10 let. Stejně jako v celé republice, tak nám klesají srážky na jaře, ale nevýznamně. Počet dnů s bezvýznamnou srážkou nevýznamně klesá a počet dnů s vyššími úhrny aspoň 10 mm nevýznamně roste. U srážkových maxim pro všechny časové kumulace (1 až 10denní) je pozorován statisticky významný růst a to hlavně v létě. To jasně poukazuje na růst intenzivních srážek hlavně díky bouřkám. Tedy srážek, které mají potenciál být přívalem a díky tomu při vsaku narušovat půdní profil a tedy i možné podloží staveb.



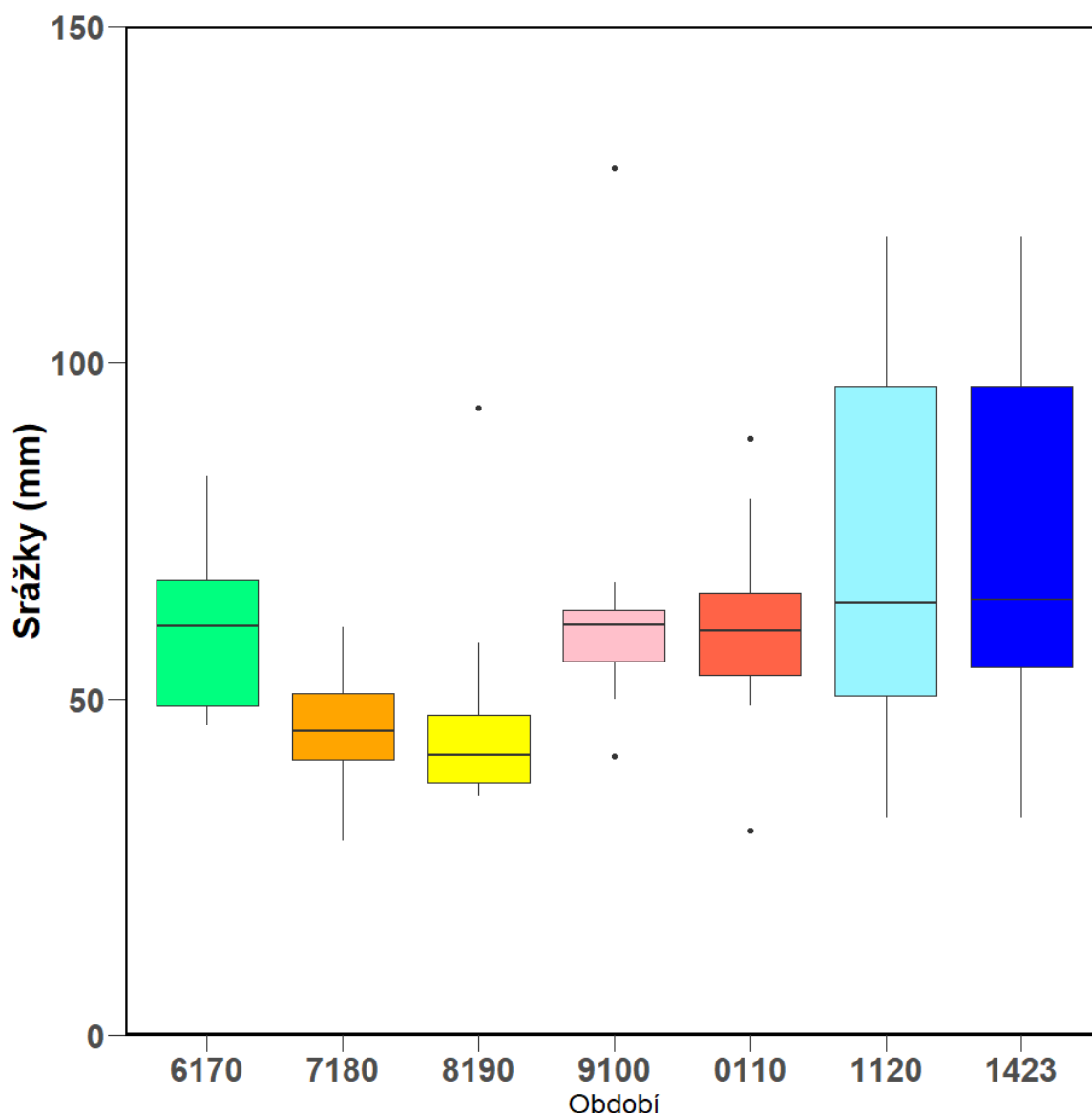
Obrázek 2: Rozdíl ročního úhrnu srážek (a), počtu dnů bez významné srážky - méně než 1 mm (b), počtu dnů se srážkou 10 mm a více (c) vzhledem k období 1961-2020.

V případě této studie se jeví jako důležitějším faktorem variabilita srážek nežli dlouhodobé změny.. Tedy střídání období, kdy docházelo k deficitu srážek s obdobími, kdy se vyskytovaly významné srážkové úhrny. To má poté vliv na vysušování a zpětné rychlé provlhčení až přesycení půdy. Z tohoto pohledu byly analyzovány nejdříve mezidekádní změny a to hlavně s ohledem na posledních 10 let (Tab. 3). Ty byly porovnávány s předešlými obdobími a zjišťováno, jestli variabilita srážek v poslední dekádě byla vyšší než v předešlých obdobích, což se mohlo negativně projevit na změnách fyzikálních vlastností podloží dané stavby.

Tab. 3 Průměr (AVG) a směrodatná odchylka (STD) pro srážkové charakteristiky v jednotlivých dekádách. Modře je znázorněna nejvyšší hodnota, oranžově nejnižší a zeleně nejvyšší variabilita. Zkratky: ročního srážkového úhrnu (SRA), počtu dnů se srážkou pod 1 mm (SRA1), počtu dnů se srážkou 10 mm a více (SRA10) a srážkové 1, 3, 5, a 10denní maximum (SRA1MAX až SRA10MAX)

		6170	7180	8190	9100	0110	1120	1423
SRA	AVG	546,4	459,8	487,8	521,2	558,1	530,5	530,1
	STD	68,2	57,9	93,9	58,0	116,3	103,2	109,2
SRA1	AVG	281,7	282,2	279,2	279,0	275,7	280,4	280,4
	STD	12,0	7,7	12,2	11,5	13,3	11,4	11,8
SRA10	AVG	16,4	10,8	12,2	14,4	14,2	14,2	14,7
	STD	3,8	3,2	3,0	2,5	4,1	3,8	3,9
SRA1MAX	AVG	37,8	29,6	28,8	36,8	39,9	38,7	38,4
	STD	16,1	7,6	5,9	11,0	11,9	10,6	10,6
SRA3MAX	AVG	51,1	38,8	41,3	56,3	54,2	59,7	61,0
	STD	11,4	10,7	15,1	24,3	13,4	25,1	24,6
SRA5MAX	AVG	60,4	45,8	47,6	64,9	60,8	71,1	72,1
	STD	12,8	9,3	17,5	23,7	16,1	29,1	28,2
SRA10MAX	AVG	77,0	57,2	61,4	85,5	72,7	85,0	84,7
	STD	16,8	14,1	17,8	20,5	18,3	27,0	26,5

Z pohledu průměrných dekádních hodnot se vymykalo období 2014-2023 hlavně v maximální 3-5 a 10 denním maximálním úhrnu srážek. Průměrná hodnota patřila k nejvyšším od roku 1961. Zároveň ji doprovázela velká směrodatná odchylka, která reprezentuje variabilitu dané charakteristiky. Jak lze vidět na Obrázku 3, tak rozptyl například 5denního srážkového maxima je dvakrát vyšší než v letech 1961-2010. Z toho jednoznačně vyplývá, že se zde střídaly roky, kde 5denní kumulovaná srážka byla velmi nízká s roky, kdy naopak byla velmi vysoká. Jak analyzoval Büntgen a kol. (2021) v časopise Nature geoscience, tak období 2015-2018 na základě dendrochronologických údajů bylo nejsušší období v Evropě za posledních 2000 let. Tomu odpovídají i analýzy českých dlouhých řad od roku 1803, kdy sucho dosáhlo rekordních hodnot v letech 2015 až 2020. Poté naopak nastaly období s výrazným množstvím srážek a to ještě během roku 2020, kdy naopak nastaly přívalové srážky a povodně.



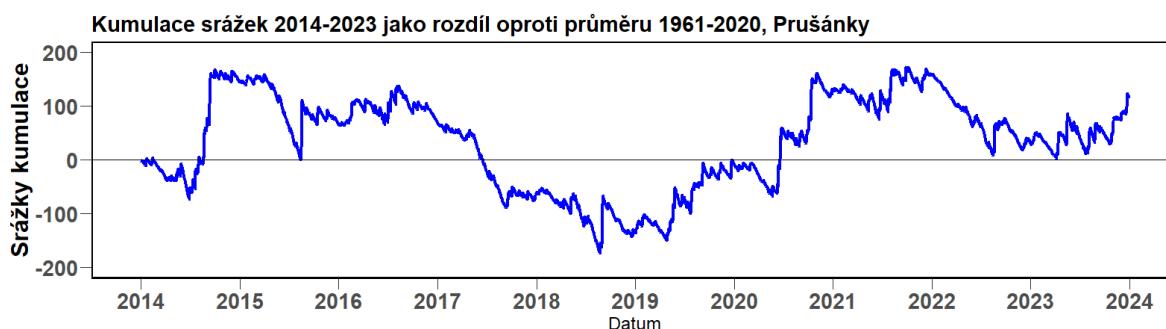
Obrázek 3. Box plot 5-denních srážkových maxim v jednotlivých dekádách v obci Prušánky v letech 1961-2023.

Poslední období 2014-2023 bylo také analyzováno z pohledu deficitu/přebytku srážek. Pro každý den byl spočítán průměrný úhrn srážek (11 denní klouzavé okno) za období 1961-2020 a byla vytvořena 10 letá kumulativní křivka nárůstu srážek. Oproti tomu byla vypočtena kumulativní křivka za období 2014-2023 a ta byla poté znázorněna jako rozdíl od dlouhodobého průměru (1961-2020) na Obrázku 4. Na základě ní lze pak dobře analyzovat doby poklesů a růstu srážek v celém období. Důležitým faktorem jsou pak hlavně rychlé a výrazné změny v nárůstu nebo poklesu kumulace oproti dlouhodobému průměru, což poukazovalo na období s výrazně vlhčím počasím, a nebo naopak nástup bleskového sucha.

K první výrazné změně došlo v období 23. 8. - 15. 9. 2014, kde byly dvě výrazné srážkové epizody, kdy během krátké chvíle spadlo velké množství srážek (197,9 mm) a mohlo dojít k zásadnímu podmáčení půdního podloží. Naopak od června do půlky srpna nastoupilo bleskové sucho, kdy napršelo jen 47,6 mm srážek, jenže to okamžitě vystřídaly další intenzivní srážky v druhé polovině srpna, kdy od 16.8. - 19.8. napršelo 114,8 mm. Tedy velké přívalové srážky napršely do vyschlého půdního profilu po předchozím bleskovém suchu. Další výrazné období sucha nastalo od června do září 2017, kdy napršelo



o 100 mm méně než by bylo obvyklé. K další rychlé změně došlo v polovině června 2020, kdy během 14 dnů napršelo více než 130 mm srážek. K druhému bleskovému nárůstu srážek došlo v září a říjnu téhož roku, kdy napršelo o 100 mm více než je obvyklé. Poté k dramatickým změnám již nedocházelo, ale v roce 2022 pozorujeme spíše pozvolný nárůst deficitu srážek, kdy za prvního půlroku napršelo až o 150 mm méně než bylo obvyklé. Do toho opět významně zapršelo 20. 8. a 21. 8. 2022 (51,5 mm). V roce 2023 nedocházelo k tak významným změnám srážkového charakteru, jako v posledních letech, ale náhlé změny tu jsou pozorovány opět často (březen-duben, květen, červenec-srpen, prosinec).



Obrázek 4. Kumulace srážek 2014–2023 jako rozdíl oproti průměru 1961–2020 v obci Prušánky.

## 4 Výparné a vlhkostní poměry

Srážkové a teplotní poměry významně ovlivňují jak výparné tak i celkově vláhové poměry v území, které pak určují, zda v lokalitě během daného období panují vlhké či suché podmínky. Pro účely studie bylo tedy vhodné zaměřit se také na analýzu vývoje vláhových podmínek až do roku 2023. Další zpracování bylo tedy provedeno pro vybrané charakteristiky, kterými byly potenciální evapotranspirace, základní vláhová bilance a stav zásoby využitelné vody v půdě. Hodnoty byly vypočteny agrometeorologickým modelem (Kohut, 2007) na základě měřených meteorologických prvků stanicemi v dané lokalitě.

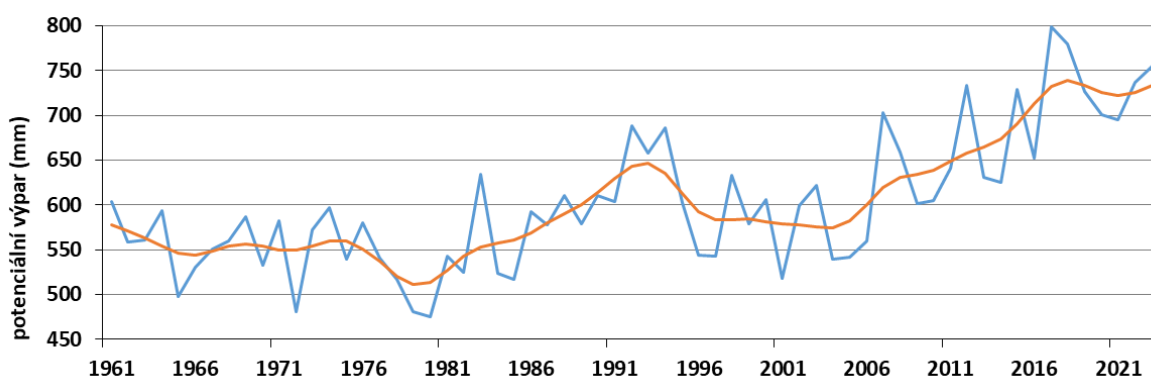
**Potenciální evapotranspirace (dále PEVA či výpar)** představuje celkové množství vody v mm (1 mm znamená stejně jako u srážek výšku vodního sloupce 1 mm na ploše 1 m<sup>2</sup>, tedy 1 l/m<sup>2</sup>), které se může vypařit z půdy (evaporace z půdy) a vegetačního krytu (transpirace rostlin) při současném optimálním nasycení půdního horizontu vodou a za konkrétních klimatických podmínek. V praxi to znamená, že hodnoty potenciální evapotranspirace jsou ovlivněny chodem a variabilitou základních meteorologických prvků (vyjadřují tak potenciál atmosféry odebírat vlhkost z vegetace a půdního krytu, která je maximálně dostupná). Nutno zdůraznit, že v přírodních podmínkách potenciální evapotranspirace převyšuje evapotranspiraci aktuální, a to hlavně v teplém půlroce, resp. ve vegetačním období, kdy je množství dostupné vody k vypařování nižší.

**Základní vláhová bilance (dále VLBI)** je charakteristika vyjadřující vzájemný rozdíl srážek a potenciální evapotranspirace (srážky mínus výpar). V podstatě se tedy jedná o klimatickou bilanci, na kterou nemá vliv vlhkostní stav podloží (půdního horizontu). Ukazuje nám na charakteristický vliv klimatu v dané lokalitě na vláhové podmínky bez ohledu na půdní nebo hydrologické podmínky daného území.

**Zásoba využitelné vody v půdě (dále ZVVP)** vyjadřuje množství využitelné půdní vody, vyskytující se mezi základními půdními hydrolimity, a to mezi polní vodní kapacitou a bodem vadnutí, jejichž rozdíl nám dává maximální využitelnou vodní kapacitu dané půdy (dále VVK). V následné analýze zásoby využitelné vody v půdě vyjadřujeme v % využitelné vodní kapacity půdy (% VVK). Půda je ve výpočtu modelu s ohledem na omezení daná výpočetními možnostmi modelu definována jako těžká (jílovitá) s profilem o hloubce 1 m a maximálním množstvím využitelné vody 120 mm.

U všech charakteristik se pro zobecnění počítá s travním porostem jako referenčním povrchem půdy.

Průměrný roční úhrn potenciální evapotranspirace byl v lokalitě Prušánky v letech 1961-2023 602,5 mm. Nejvyšších hodnot dosahuje výpar logicky v letních měsících. V posledním desetiletí 2014-2023 pak byl průměrný roční úhrn výparu 720 mm a z toho v teplém půlroce (duben až září) 576 mm. To jsou nejvyšší hodnoty ze všech analyzovaných desetiletí. Nejnížší roční hodnoty byly v 60. a 70. letech minulého století. Rozdíl mezi průměrnými hodnotami výparu v desetiletí s nejnižší hodnotou a nejvyšší hodnotou je více jak 180 mm. Z grafu vývoje ročních úhrnů výparu je pak jednoznačně patrné, že v posledních dvaceti letech došlo k jeho výraznému nárůstu.



Obrázek 5: Průměrný roční úhrn potenciální evapotranspirace v letech 1961-2023 v obci Prušánky, shlazeno 10letým nízkofrekvenčním filtrem (červená čára).

To ostatně potvrzuje i analýza trendu (Tab. 4), kdy jak v roce, tak i ve všech jednotlivých sezónách potenciální evapotranspirace statisticky významně roste. V ročních hodnotách je to trend nárůstu o 28,5 mm za 10 let, v létě pak o 13,8 mm za 10 let. To se samozřejmě musí projevit jak na razantním vysychání krajiny, tak i půdního pokryvu. Podobně intenzivní výpar a odběr vody pak lze očekávat i u jakéhokoliv rostlinného pokryvu.

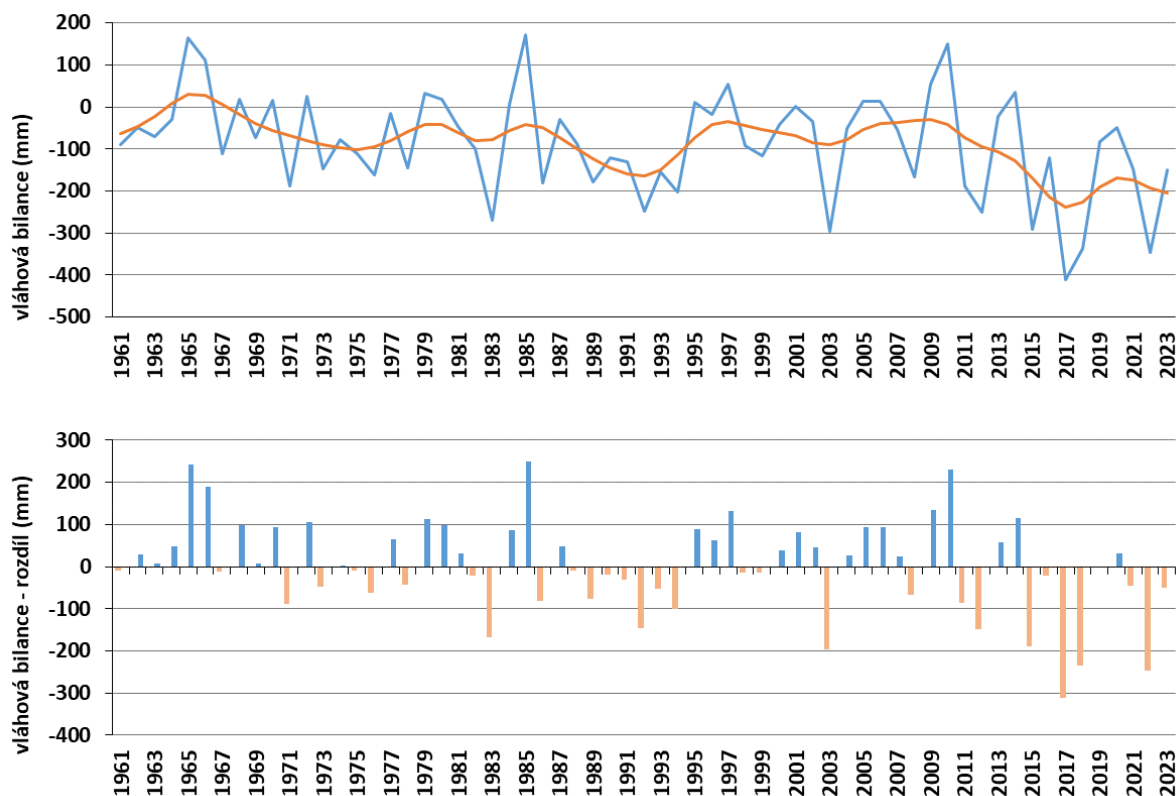
Tab. 4 Trendy potenciální evapotranspirace [mm/10 let], základní vláhové bilance [mm/10 let] a zásoby využitelné vody v půdě [%VVK/10 let] pro jednotlivé sezóny v roce v letech 1961-2023 v oblasti obce Prušánky. Statisticky významný trend ( $p = 0,05$ ) tučně a modře podbarven.

Charakteristika	Rok	Zima	Jaro	Léto	Podzim	Říjen až březen	Duben až září
Evapotranspirace (mm)	<b>28,5</b>	<b>3,0</b>	<b>7,8</b>	<b>13,8</b>	<b>4,0</b>	<b>6,3</b>	<b>22,1</b>
Vláhová bilance (mm)	<b>-20,7</b>	-0,8	<b>-9,0</b>	-10,6	-0,5	-7,8	<b>-13,9</b>
Zásoba vody v půdě (% VVK)	<b>-3,1</b>	<b>-4,0</b>	<b>-5,7</b>	<b>-3,1</b>	0,3	-2,7	<b>-3,3</b>

Tab. 5 Průměrná roční hodnota pro analyzované charakteristiky v jednotlivých dekádách. Modře je znázorněna nejnižší hodnota, oranžově nejvyšší.

Charakteristika	1961 - 1970	1971 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2000	2001 - 2010	2011 - 2020	2014 - 2023
Evapotranspirace (mm)	557,8	536,6	571,5	614,6	594,7	701,8	720,0
Vláhová bilance (mm)	-11,3	-76,8	-83,6	-93,4	-36,6	-171,3	-189,8
Zásoba vody v půdě (% VVK)	59,5	42,7	42,5	50,8	59,3	29,0	30,7

Pro zjišťování dlouhodobého vývoje stavu vláh v krajině je pak vhodné analyzovat vláhovou bilanci, tedy vzájemnou bilanci srážek a potenciální evapotranspirace. Při negativních hodnotách bilance dochází k vysušování krajiny a deficitu vláh, naopak v případě dlouhodobě pozitivních hodnot je vody v krajině dostatek. Roční vláhová bilance je v lokalitě Prušánky dlouhodobě negativní, průměrná hodnota za období 1961–2023 je -85,3 mm. V teplém půlroce (duben až září) pak je průměrná hodnota -167,4 mm. Z hodnocení jednotlivých desetiletí je očividné, že poslední období 2014–2023 s průměrnou roční hodnotou -189,8 mm je razantně sušší než všechna předchozí zpracovávaná období. Výrazný nepoměr mezi srážkami a výparem je pak typický právě pro poslední desetiletí. Důležité je také zmínit velmi vysokou variabilitu ročních i sezónních hodnot vláhové bilance v posledních 10 až 20 letech, což značí, že mimo vysoké hodnoty výparu byly přítomné v některých letech i vysoké úhrny srážek.

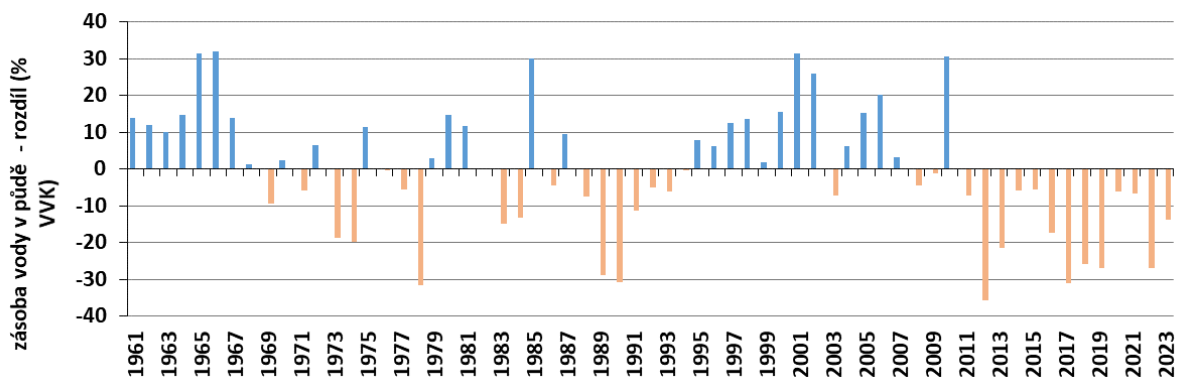


Obrázek 6: Průměrný roční úhrn vláhy a rozdíly vláhy. Horní graf ukazuje průměrný roční úhrn vláhy (mm) v letech 1961–2023 s 10letým nízkofrekvenčním filtrem (červená čára) - nahoře, dole jsou jednotlivé roční rozdíly vláhy od dlouhodobého průměru 1961–2020.

V grafickém porovnání (Obrázek 6) rozdílu ročních hodnot vláhové bilance s dlouhodobou průměrnou hodnotou pak je vidět výrazně nižší hodnoty vůči průměru v letech 2015–2023. V letech 2018 a 2022 byla vláhová bilance o více než 200 mm nižší, než je dlouhodobý průměr a v roce 2017 dokonce o více jak 300 mm. Co se týká trendu poklesu hodnot vláhové bilance, tak ten je statisticky významný jak v ročních hodnotách, kdy dochází ke snižování hodnot o -20,7 mm za 10 let, tak i na jaře (o -9 mm/10

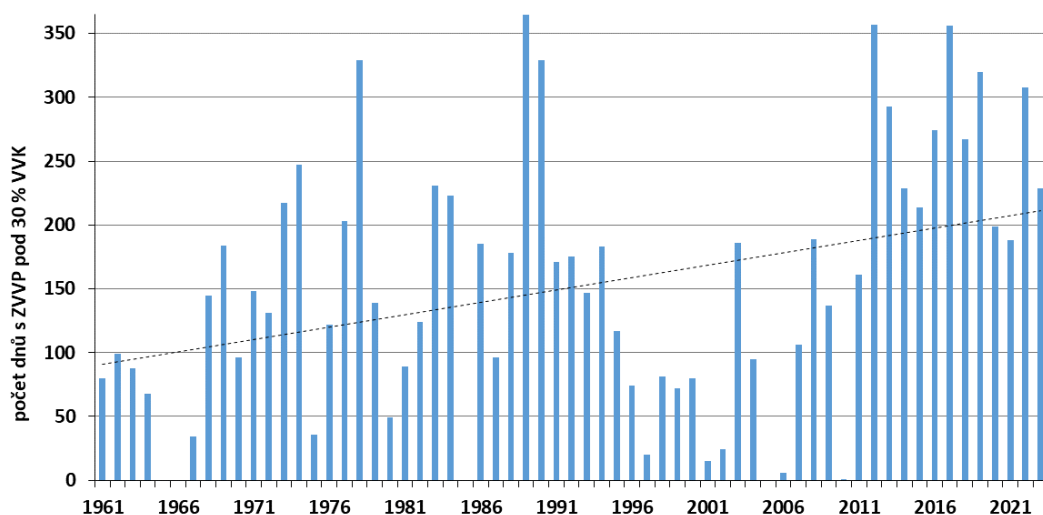
let) a v období duben až září (o -13,9 mm/10 let). To samozřejmě vede k dlouhodobému vysušování krajiny a deficitu srážek v oblasti. Značí to také zvyšující se výskyt delších období beze srážek s převládajícím intenzivním výparem.

Srážkové, teplotní a tím i výparné podmínky ovlivňují následně do jaké míry je nasycen vodou půdní profil a také jak rychle a v jaké míře bude následně voda z půdy odebírána ať už transpirací rostlin nebo výparem z povrchu. Průměrná hodnota ZVVP se v období 1961-2023 pohybovala okolo 47 % VVK, v období od dubna do září pak byla průměrná hodnota 33 % VVK. To samotné ukazuje, že lokalita Prušánek patří obecně do velmi teplé a suché oblasti ČR. V desetiletí 2011-2020 a pak i v posledním desetiletí 2014-2023 byla roční průměrná hodnota ZVVP pod 31 % VVK, což značí velmi intenzivní výsušné podmínky během roku. V posledním desetiletí panovala i nízká variabilita v průměrných hodnotách ZVVP, to by naznačovalo nižší míru doplňování půdní vody srážkami. Co se týká trendu vývoje hodnot ZVVP v období 1961-2023, tak statisticky významný trend poklesu hodnot je mimo podzim zaznamenán u všech sezón a také v ročních hodnotách. Nejvíce se dle vyhodnocení snižují hodnoty na jaře a to o -5,7 % VVK za 10 let.

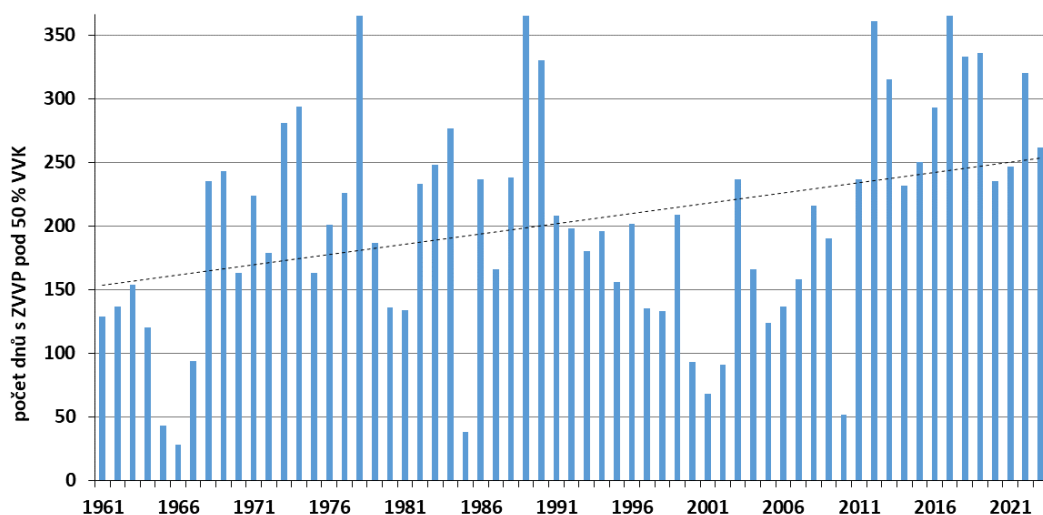


Obrázek 7: Jednotlivé roční rozdíly zásoby využitelné vody v půdě v období 1961 - 2023 od dlouhodobého průměru 1961 – 2020.

Z analýzy (Obrázek 7) rozdílů ročních hodnot ZVVP vůči dlouhodobé průměrné hodnotě za období 1961-2020 je patrné, že od roku 2011 nám až do současnosti trvá období s podprůměrnými až velmi silně podprůměrnými ročními hodnotami ZVVP. To se obecně projevuje v tom, že půdní profil je primárně v teplé části roku většinou silně vysušen a periodicky pak dochází k jeho provlhlčení významnějšími srážkami.



Obrázek 8: Počty dnů se zásobou využitelné vody v půdě pod hranicí 30 % VVK v jednotlivých letech období 1961-2023.

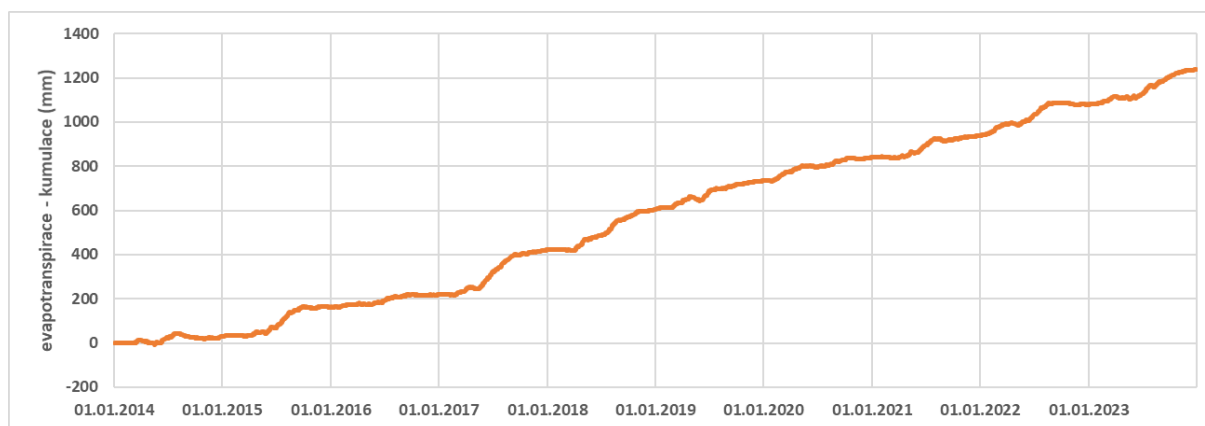


Obrázek 9 Počty dnů se zásobou využitelné vody v půdě pod hranicí 50 % VVK v jednotlivých letech období 1961-2023.

Jak vypadal stav ZVVP v jednotlivých letech lze odvozovat z analýzy počtu dnů s hodnotou ZVVP pod určitou prahovou hodnotu např. pod 30 % nebo 50 % VVK, což jsou hodnoty, kdy je voda v půdním profilu již velmi špatně, resp. hůře dostupná pro rostliny. Z grafů na obrázcích 8 a 9 je zřejmé, že se počty těchto dnů postupně zvyšují. Od roku 2011 pak panuje celkem souvislé období s vysokým počtem dnů s hodnotami ZVVP pod tyto prahové hodnoty. Nicméně je také patrné, že i v tomto období byly roky jako např. 2020, 2021 a 2023, kdy v ostatních dnech roku byl půdní profil syčen srážkovými úhrny a docházelo tedy ke střídání intenzivního vysoušení a pak doplňování vody v půdě.

Pro bližší zhodnocení dynamiky posledního desetiletí byly zpracovány rozdíly denních hodnot potenciální evapotranspirace a vláhové bilance proti dlouhodobým denním průměrům za období 1961-2020. Tyto denní rozdíly byly následně sčítány od 1.1.2014 a byly vytvořeny kumulativní křivky. Z nich jsou patrná období s nárůstem, poklesem či stagnací jednotlivých charakteristik. Z rostoucí

kumulativní křivky potenciální evapotranspirace (Obrázek 10) vyplývá, že hodnoty výparu v posledním desetiletí byly většinou nadprůměrné. Poklesy křivky a nižší hodnoty evapotranspirace byl pouze ojedinělé. V letech 2015, 2017 a 2018 je v létě patrný výrazný nárůst nadprůměrných denních úhrnů. K podobným lehce mírnějším nárůstům pak došlo i v létě 2021, 2022 a 2023.

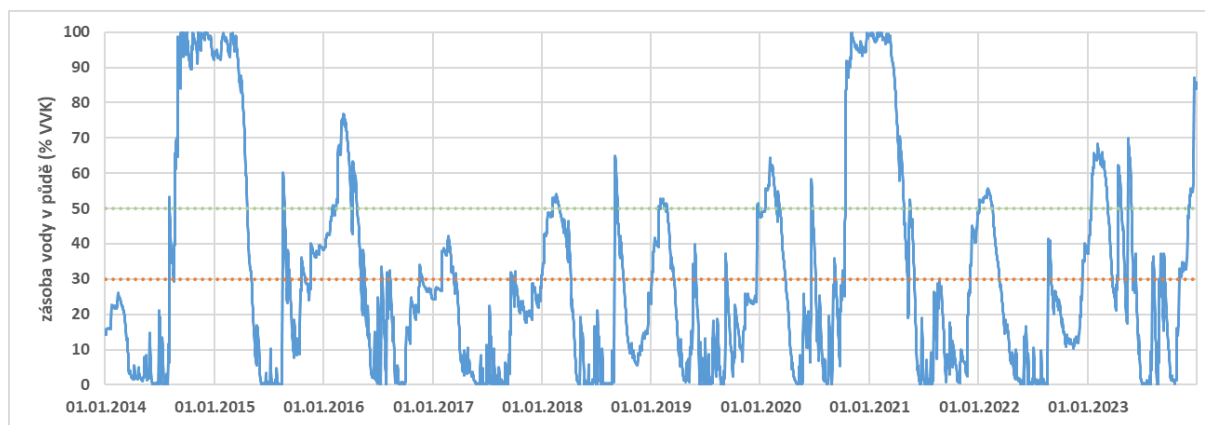


*Obrázek 10: Kumulace denních rozdílů úhrnu potenciální evapotranspirace oproti průměru 1961-2020 v letech 2014-2023 v obci Prušánky.*

Výrazný vliv vysokého výparu v lokalitě se projevuje i při analýze kumulativní křivky rozdílů denních hodnot vláhové bilance od denních průměrů. V průběhu desetiletí 2014-2023 se zde prohlubuje deficit vláhové bilance, nicméně díky srážkovým úhrnům je zde vidět variabilita a krátkodobé kompenzace srážkovými úhrny v jednotlivých letech. To jen potvrzuje fakt, že v oblasti vedle zvýšeného výparu docházelo také k nasycení půdy výraznými srážkovými úhrny. Z kumulativní křivky je patrné, že v roce 2014 došlo koncem léta k výrazným srážkovým epizodám a nasycení profilu. V roce 2015 pak nastalo velmi suché období se silnými srážkami v srpnu. Pak následovalo období s relativně mírně se snižující vláhovou bilancí v roce 2016. V roce 2017 došlo opět k výraznému prohloubení sucha přerušnému v srpnu 2018 silnými srážkovými epizodami. Roky 2019, 2020 a 2021 pak vykazují střídání suchých a srážkových epizod, kdy rok 2020 měl tyto epizody, hlavně tedy srážkové mnohem intenzivnější. Během roku 2022 pak opět docházelo k intenzivnímu výparu a tedy suchu s krátkými srážkovými epizodami. Podobný charakter střídání sucha a srážkových epizod měl i rok 2023. Celkový kumulativní deficit vláhové bilance vůči dlouhodobé průměrné hodnotě počítané od roku 2014 se v roce 2023 dostal až k hodnotě -1200 mm.



*Obrázek 11: Kumulace denních rozdílů úhrnu vláhové bilance oproti průměru 1961-2020 v letech 2014-2023 v obci Prušánky.*



Obrázek 12: Denní hodnoty zásoby využitelné vody v půdě o hloubce profilu 1 m (v % VVK) za období 2014 – 2023 v obci Prušánky. Vyznačeny jsou limitní hodnoty pod 30 % (oranžová) nebo 50 % VVK (zelená), což jsou hodnoty, kdy je voda v půdním profilu již velmi špatně, resp. hůře dostupná pro rostliny.

Dynamika vysychání a naopak doplňování vody srážkami v posledních letech je dobře patrná na změně v denních hodnotách zásoby využitelné vody v půdě. V grafu na Obrázku 12 je vidět jak se s ohledem na intenzitu výparu a množství srážek mění nasycení půdního profilu a to jak v rámci jednotlivých let, tak i mezi roky. Je zde patrné sezónní doplňování zásoby vody v půdě vždy v zimním období a výrazný pokles zásob v teplém půlroce, kdy pak dochází k náhlým změnám v nasycení profilu díky intenzivním srážkovým úhrnům. Výrazné nasycení profilu proběhlo v posledním desetiletí na přelomu let 2014 a 2015 a pak v období na podzim roku 2020 a v zimě 2020/2021. Mezi těmito epizodami bylo výrazné období sucha s obecně převládajícím deficitem vláh v půdě. Rok 2022 měl opět velmi nízké hodnoty ZVVP a k výraznému doplnění došlo až v zimě 2022/2023. V roce 2023 pak probíhalo střídání suchých období s epizodami s výraznými srážkami.

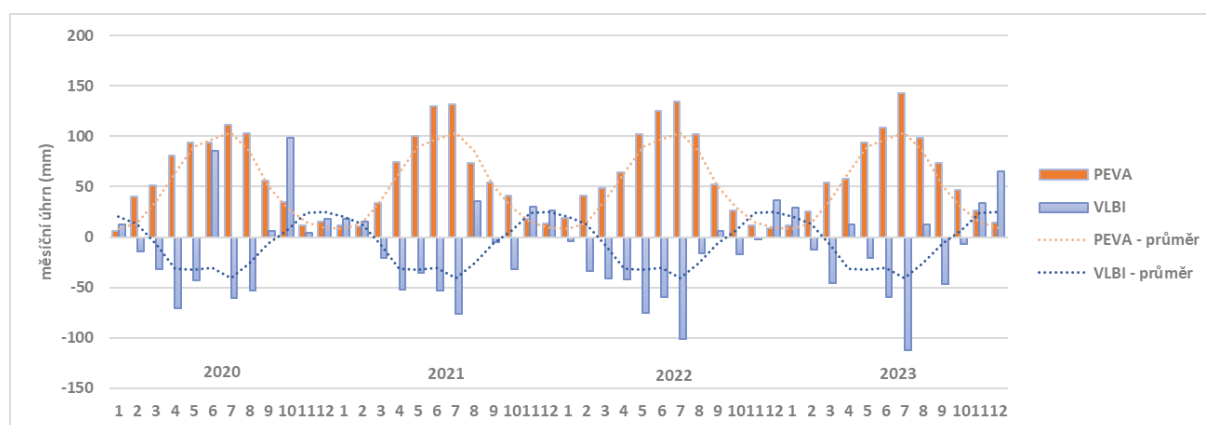
Tab. 6 Počet souvislých období v jednotlivých letech v období 1.3. - 30.11., během nichž se nevyskytl denní srážkový úhrn větší než 10 mm, jejich průměrná délka trvání ve dnech a hodnota vláhové bilance (rozdíl srážek a evapotranspirace) v rámci dané epizody.

rok	počet epizod	průměrná délka epizody (dny)	vláhová bilance (mm)
2014	17	15,1	-8,6
2015	10	26,2	-15,4
2016	10	26,4	-13,6
2017	7	38,4	-19,7
2018	12	21,8	-10,7
2019	14	18,6	-9,5
2020	15	17,1	-7,8
2021	14	18,6	-8,2
2022	10	26,5	-15,3
2023	14	18,6	-9,1

Výskyt a frekvenci opakování relativně suchých epizod bez výrazných srážkových úhrnů jsme se pokusili kvantifikovat v tabulce Tab. 6. Zde jsou uvedeny pro každý rok posledního desetiletí 2014-2023 počty souvislých období mezi daty 1.3. – 30.11. , které jsou odděleny dny se srážkovým úhrnem větším než 10 mm. Dále je zde uvedena jejich průměrná délka trvání ve dnech a suma vláhové bilance (rozdíl srážek a evapotranspirace) v rámci dané epizody. Z hodnot je patrné, že v suchých letech 2015-2018 a v roce 2022 bylo těchto suchých epizod méně než v ostatních letech, ale trvaly v průměru výrazně déle

a negativní balance srážek a výparu byla také v těchto obdobích výraznější. V roce 2023 pak bylo těchto sušších epizod 14 s délkou trvání v průměru 18,6 dne. Výše uvedené výsledky nám tedy značí, že v oblasti dochází v posledních letech ke střídání delších období s výrazným vysycháním půdního profilu a epizod s takovými úhrny srážek, které jsou schopny půdní profil opět výrazně zvlhčit.

Vliv vysokých teplot a tím pádem i vysokého výparu na vysychání krajiny v lokalitě a střídání těchto suchých epizod s epizodami vydatných srážkových úhrnů je možno vysledovat i z měsíčních hodnot evapotranspirace a vláhové bilance v posledních 4 letech (Obrázek 13). Vysoce nadprůměrné hodnoty výparu jsou přítomné v letních měsících a výrazně tím ovlivňují negativní hodnoty vláhové bilance. V zimních měsících pak dochází díky srážkám a nižším teplotám k doplnění vody a vláhová bilance je vesměs kladná. Nicméně dynamiku srážek v posledních letech ukazují i měsíce s vysokým výparem, kdy se vyskytly silné srážkové epizody a vláhová bilance je i přes vysoký úhrn výparu nadprůměrná. Je to velmi dobře zaznamenatelné např. v roce 2023 v měsících duben, květen a srpen, v roce 2020 v červnu a v roce 2021 v srpnu. Opět to ukazuje na situaci, kdy po velmi intenzivní suché epizodě dochází k intenzivní srážkové dotaci.



Obrázek 13: Měsíční úhrny potenciální evapotranspirace a vláhové bilance včetně dlouhodobých průměrných hodnot v letech 2020 – 2023.

## 5 Shrnutí

Obec Prušánky se nachází v nejteplejší a zároveň v jedné z nejsušších oblastí ČR. V období od roku 1961 do současnosti zde došlo k výrazné změně klimatických podmínek a to převážně teplotních a vláhových. Ještě výraznější dopady na výparné a vláhové podmínky v oblasti pak měly klimatické podmínky během posledního desetiletí 2014 až 2023, které bylo nejteplejší za dobu měření, zároveň se zde vyskytovala delší suchá perioda vystřídaná intenzivními srážkami

Dle všech výsledků je v oblasti předpoklad výrazné interakce vývoje klimatických podmínek v posledních letech a daného geologického podloží. Vzhledem ke specifickému podloží extrémně plastických jílů náchylných k výraznému vysychání a díky tomu k smršťování a naopak následně k bobtnání při zvlhčení, jsme se pokusili zjistit, jestli vývoj klimatických podmínek v lokalitě mohl podporovat a navodit takové chování podloží.



Dle analýz teplotních poměrů, je zřejmé, že teplota vzduchu v lokalitě statisticky významně narůstá. U maximálních denních teplot je tento rostoucí trend přítomný ve všech sezónách s nejvyšším tempem růstu v létě o 0,59 °C za 10 let. Výrazně vzrostl také počet letních dní a dní v tzv. teplé vlně. Z pozorovaných let byl nejextrémnější z tohoto pohledu rok 2018. Logicky tato situace musí mít dopad na výrazné zvýšení výparu vody z krajiny a vysušování půdního profilu. Zvyšování teploty je nejvyšší v letních měsících, to platí i pro množství teplých vln či letních dnů, za kterých pak dochází k nejvýraznějšímu výparu vody z krajiny.

Průměrný roční úhrn srážek v Prušánkách byl za období 1991–2020 536,4 mm. U úhrnu srážek nejsou pozorované dlouhodobé statisticky významné trendy nárůstu či poklesu, převládá spíše velká variabilita v jednotlivých letech. Pozorován je ale měnící se charakter srážek, kdy nám roste jejich extremita. Významně přibýly srážková maxima pro 1 až 10denní srážky, převážně tedy v létě. To poukazuje na vyšší frekvenci intenzivních srážek při bouřkových situacích. Co se týká variability srážek, tedy střídání významných srážkových a bezsrážkových období, zde bylo výrazně odlišné poslední období 2011–2020, resp. pak 2014–2023 v 3, 5 a 10denních maximálních úhrnech. Kdy průměrné hodnoty patřily k nejvyšším od roku 1961. Zároveň zde panovala vysoká variabilita, poukazující na střídání období velmi nízkých srážek s vysokými. Konkrétně velmi výrazné suché období od roku 2015 bylo v roce 2020 vystřídáno epizodami velmi vydatných srážek, kdy v polovině června během 14 dnů napršelo více než 130 mm srážek. K druhému bleskovému nárůstu srážek došlo v září a říjnu roku 2020, kdy napršelo o 100 mm více než je obvyklé. V roce 2022 v prvním půlroce byly velmi podprůměrné srážky následované výraznými srážkovými úhrny v srpnu a v roce 2023 opět docházelo k výraznému střídání suchých a vlhkých period.

Vliv teploty a srážek je pak zásadní pro další zkoumané charakteristiky a to modelem vypočítané hodnoty potenciální evapotranspirace, základní vláhová bilance a stav zásoby využitelné vody v půdě. Průměrná roční evapotranspirace v posledním desetiletí má úhrn 720 mm, což je nárůst o cca 180 mm proti úhrnům v 60. a 70. letech 20. století. Nárůst výparu díky zvyšující se teplotě v posledních letech je tedy enormní a potvrzuje to i statisticky významný trend, kdy se roční výpar zvyšuje o 28,5 mm za 10 let. Vláhová bilance ročních srážek a výparu je pak v lokalitě dlouhodobě negativní a to -85,3 mm za období 1961–2023, o kterou jsou srážky nižší než výpar. Poslední desetiletí od roku 2014 je pak ještě výrazně sušší, kdy bylo v průměru ročního výparu o 189,8 mm více, než spadlo srážek. Z hlediska vláhové bilance byly v posledním desetiletí nejsušší roky 2015, 2017, 2018 a pak rok 2022. Analýza hodnot zásoby využitelné vody v půdě pak indikuje 2 výrazná suchá období a to období přelomu 80. a 90. let 20. století a pak mnohem výraznější a delší období zhruba od roku 2012. V těchto letech obecně panovaly nižší průměrné hodnoty nasycení půdního profilu, než je dlouhodobý standard. Hlavně v posledním desetiletí je zřejmé, že v lokalitě docházelo k výraznému dlouhodobému vysychání půdy, které pak bylo přerušeno opětovným skokovým nasycením profilu vydatnými srážkami. Tento poznatek potvrzuje i průběh denních hodnot zásoby vody v půdě, kdy je průkazné sezónní doplňování zásob vody v půdě vždy v zimním období a následný výrazný pokles zásob v teplém půlroce, v němž pak dochází také k náhlým změnám v nasycení profilu díky intenzivním srážkovým úhrnům.

Dále bylo zjištěno, že v suchých letech 2015–2018 a v roce 2022 bylo sice méně suchých epizod (tedy epizod s denní srážkou nižší než 10 mm) než v ostatních letech, ale trvaly v průměru výrazně déle a díky tomu bylo vysychání mnohem intenzivnější. V roce 2023 pak bylo suchých epizod 14 s délkou trvání v průměru 18,6 dne. Každá tato epizoda pak byla ukončena dnem se srážkou 10 mm a více. Výše uvedené výsledky nám tedy potvrzuje fakt, že v oblasti dochází v posledních letech ke střídání delších období s výrazným vysycháním půdního profilu a epizod s úhrny srážek, které jsou schopny půdní profil opět zvlhčit. Nesmíme opomenout fakt, že zároveň k vysušování půdy i při průměrných srážkách

dochází díky výparu, který se stává na jižní Moravě zásadním důvodem k rozvoji dlouhodobějšího sucha. Zároveň díky rostoucím teplotám vzduchu v dané oblasti se stávají bouřky intenzivnější, kdy během krátké chvíle spadne větší množství vody do sušší půdy. Tento nárůst variability, který byl doložen, může hrát zásadní roli ve fyzikálním narušení půdního profilu.

**Z výše zmíněných výsledků je tedy zřejmé, že v lokalitě díky výrazně zvýšeným teplotám v posledních letech došlo k markantnímu navýšení výparu, a to jak transpirace z rostlinstva (stromy, travní porost, atd.) tak i evaporace z půdy. Hodnoty výparu tak v posledním desetiletí výrazně převyšují dotaci ze srážek. Tím pádem docházelo k silnému vysychání půdního profilu a podloží v lokalitě. Ke změně hodnot celkových srážkových úhrnů zde výrazně nedošlo, ale došlo ke změně charakteru rozložení srážek, kdy se zvýšila extremita a výskyt silných 1 až 10-ti denních srážek. Tento fakt společně s meziroční variabilitou srážek způsobil, že po velmi suchých obdobích mohlo docházet v lokalitě k silnému zamokření a nasycení půdy i podloží srážkovou vodou. Popsaný průběh klimatických podmínek vedoucí k dlouhodobému silnému vysušování krajiny a střídavému nasycení intenzivními srážkami v kombinaci se specifickými fyzikálními vlastnostmi podloží, dle posudku RNDr. Novákové tvořeného extrémně plastickými jíly, pak mohl iniciovat změny v podloží a škody na budovách v dané lokalitě a nese tedy znaky živelné události.**

## 6 Literatura

Brázdil, R.; Zahradníček, P.; Dobrovolný, P.; Štěpánek, P.; Trnka, M. Observed changes in precipitation during recent warming: The Czech Republic, 1961-2019. *International Journal of Climatology* 41(7): 3881-3902, 2021

Büntgen, U., Urban, O., Krusic, P.J. et al. Recent European drought extremes beyond Common Era background variability. *Nat. Geosci.* 14, 190–196 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00698-0>

Kohut, M.: Vláhová bilance zemědělské krajiny (textová část). *Doktorská disertační práce*. Brno 2007, 128 p.

Kohut, M., Rožnovský, J., Chuchma, F. The long-term soil moisture reserve variability in the Czech Republic based on the AVISO model. In *Sustainable development and bioclimate: Reviewed Conference Proceedings*, Stará Lesná 5th to 8th October 2009. Eds. Pribullová and Bičarová. Stará Lesná: Geophysical Institute of the Slovak Academy of Science and Slovak Bioclimatological Society of the Slovak Academy of Science, 2009, pp. 162-163. ISBN 978-80900450-1-9.

Kohut, M., Rožnovský, J., Chuchma, F., Hora, P. Potenciální vláhová bilance jako ukazatel sucha v roce 2012. In: *Extrémy oběhu vody v krajině: sborník příspěvků z mezinárodní konference Mikulov 8.–9.4.2014*. [CD]. ISBN 978-80-87577-30-1.

Zahradníček, P.; Brázdil, R.; Štěpánek, P.; Trnka, M. Reflections of global warming in trends of temperature characteristics in the Czech Republic, 1961–2019. *International Journal of Climatology* 42(9): 1211-1229, 2021

Zahradníček, P.; Brázdil, R.; Řehoř, J.; Lhotka, O.; Dobrovolný, P.; Štěpánek, P.; Trnka, M. Temperature extremes and circulation types in the Czech Republic, 1961–2020. *International Journal of Climatology* 42(9): 4808, Article number 4829, 2022



**Kontakt:**

**RNDr. Filip Chuchma Ph.D.**

Odd. meteorologie a klimatologie Brno

e-mail: [filip.chuchma@chmi.cz](mailto:filip.chuchma@chmi.cz)

tel.: 541 421 031