

# Hospodaření s vodou v krajině 2023

Recenzovaný sborník příspěvků  
z mezinárodní konference


Recenzovaný sborník příspěvků

# HOSPODAŘENÍ S VODOU V KRAJINĚ

mezinárodní konference

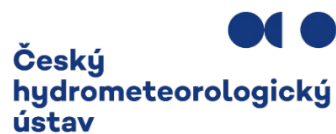
6.–7. 9. 2023      Třeboň

Brno 2023

  
Český  
hydrometeorologický  
ústav

## Pořádající organizace

Český hydrometeorologický ústav



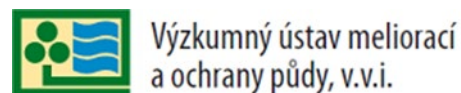
Ústav šlechtění a množení zahradnických rostlin  
Zahradnické fakulty Mendelovy univerzity v Brně



Česká bioklimatologická společnost, z. s.



Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.



Asociace pro vodu v krajině České republiky, z. s.



Slovenská bioklimatologická spoločnosť



Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.



Výskumný ústav rastlinnej výroby



Ústav hydrológie SAV, v. v. i.



CREA Hydro&Energy, z. s.



# Obsah

<b>Úvodní slovo .....</b>	<b>5</b>
<b>Vývoj půdní vlhkosti v odlišných klimatických podmínkách .....</b>	<b>6</b>
Barbora Badalíková, Jakub Prudil	
<b>Living Lab MENDELU - živá laboratoř lesnické hydrologie na ŠLP ML Křtiny .....</b>	<b>11</b>
Petr Čech, Petr Kupec, Jan Deutscher	
<b>Analýza vývoje zdrojů vody v České republice.....</b>	<b>16</b>
Jiří Čížek	
<b>Využití agrometeorologického modelu pro plánování závlahy.....</b>	<b>18</b>
Rostislav Fiala, Petr Hora, Martin Mészáros	
<b>Mapy vláhové bilance zemědělských plodin .....</b>	<b>26</b>
Zbyněk Janoušek, Vladimír Papaj, Jiří Brázda	
<b>Trendy podporující vysušování české krajiny v posledních 30 letech .....</b>	<b>32</b>
Tomáš Kvítek, Jaroslav Rožnovský	
<b>Rozdíly v teplotních a srážkových normálech za roky 1961–1990 a 1991–2020 na stanici Troubsko.....</b>	<b>40</b>
Jaroslav Lang	
<b>Přístroje pro měření úhrnu srážek od historie po současnost.....</b>	<b>45</b>
Pavel Lipina, Jan Procházka, Miroslav Tesař	
<b>Nárůst plodů jablek jako indikátor vodního stresu při použití kapkové závlahy .....</b>	<b>57</b>
Tomáš Litschmann	
<b>IS RESTEP – Modul VODA.....</b>	<b>67</b>
Vladimír Papaj, Tomáš Vojtěchovský, Matěj Janoušek	
<b>Změny hydrologického režimu lesních půd v souvislosti se zvyšováním průměrné teploty a úbytkem srážek.....</b>	<b>72</b>
Luboš Sedlák, Jakub Prudil, Lubica Pospíšilová, Šedová Lucie, Krula Šimon, Tomáš Vichta	

**Analýza databáze odběrů závlahové vody v ČR..... 77**

Pavla Schwarzová, Tereza Petříčková, Jan Šálek, Václav Kuráž, Tomáš Dostál, Martin Dočkal

**Funkce příkopů v procesu hospodaření s vodou v zemědělské  
a lesní krajině..... 84**

Jakub Štibinger

# Úvodní slovo

Vážené dámy a vážení pánové,

je obecně známé, že bez vody není život. Ale jak všichni dobře víme, jde o velmi složité procesy, kterým byla věnována v pořadí již 6. konference „Hospodaření s vodou v krajině“. Ve sborníku najdete plné znění přednášek a posterů. Jsem rád, že jste našli čas na jeho přečtení, a věřím, že pro vás bude přínosem. Jde o to, že letošní obsah konference se více než v předcházejících letech zaměřil na oblast předvídání ve vodním hospodářství.

Voda v naší krajině je dána specifickým oběhem vody v jednotlivých částech našeho území. Jednoznačným dokladem je průběh v letošním roce. Základní zdroj vody pro naši krajinu, tedy srážky, se vyskytovaly velmi rozdílně při přechodu front. Nešlo zcela jednoznačně říci, že po teplé zimě bylo na celém našem území málo sněhu. Koncem druhé dekády února byla v Krkonoších a na východní Moravě místa, kde byl úhrn kolem 150 % ve srovnání se 4. normálem. Ovšem ve středních, západních a jižních Čechách byly úhrny srážek pod 75 % 4. normálu. Tento stav k počátku vegetačního období, tedy k 1. 4. 2023 se na velké části našeho území změnil a na několika místech jižní, ale i severní Moravy chybělo přes 25 % úhrnu 4. normálu. Koncem května byla využitelná voda v půdě na takřka celém území Moravy přes 100 % normálu. Ovšem v Podkrušnohoří se blížila jen 50 %. Pokud jde o základní vláhovou bilanci, na takřka celé Moravě nedosahovala průměru.

Jistě, že všichni znáte, že tento popsany stav není dán jen srážkami, ale dalšími fázemi oběhu vody, půdními vlastnostmi a, bohužel, ne vždy vhodnými formami hospodaření jak v krajině, tak přímo s vodou. Tyto fáze oběhu vody jsou různě probírány v médiích, bohužel ne vždy na dostatečné odborné úrovni. Dynamika výskytů sucha a povodní je na našem území vysoká.

Ale přes některé části letošního roku s vyššími srážkami, se místy projevilo sucho. Nedostatek vody se projevuje i v podzemí. Jestliže v jarních měsících byly podnormální výšky hladiny podzemní vody v mělkých vrtech v Podkrušnohoří, potom koncem června byl tento stav na třetině území Čech. Ale vodu potřebujeme každodenně, a na celém našem území. Jestliže se prokazatelně zvyšuje teplota vzduchu, tak se zvyšuje i evapotranspirace. To znamená, že při víceméně se neměnicím dlouhodobém ročním průměru srážek se zvyšuje deficit vláhové bilance. Proto jsme se v letošní konferenci zaměřili na předvídání v oblasti nejen vodního hospodářství. Protože pokud nenajdeme vhodné metody s hospodařením s vodou ve všech směrech, můžeme nám chybět v ne tak dalekém horizontu.

Děkuji všem účastníkům konference za to, že přinesli nové poznatky, které jsou uvedeny v tomto sborníku.

V Brně 30. srpna 2023

Jaroslav Rožnovský jménem organizátorů

# Vývoj půdní vlhkosti v odlišných klimatických podmínkách

## Development of soil moisture in different climatic conditions

Barbora Badalíková, Jakub Prudil

Zemědělský výzkum, spol. s r.o., Zahradní 1, 664 41 Troubsko, [badalikova@vupt.cz](mailto:badalikova@vupt.cz)

### Abstrakt

Na dvou odlišných stanovištích byla dlouhodobě sledována půdní vlhkost gravimetrickou metodou v závislosti na množství dešťových srážek v dané oblasti během vegetace. Z výsledků bylo patrné, že půdní vlhkost se odvíjela od množství dešťových srážek ve sledované oblasti, podle zvolené agrotechniky a odlišných variant pokusu.

**Klíčová slova:** vlhkost půdy, dešťové srážky, agrotechnika, meziplodiny, kompost

### Abstract

At two different locations, soil moisture was monitored over the long term using the gravimetric method in relation to the amount of rainfall in the given area during the vegetation period. The results showed that soil moisture depended on the amount of rainfall in the monitored area, according to the chosen agrotechnics and different experimental variations.

**Keywords:** soil moisture, rainfall, agrotechnics, intercrops, compost

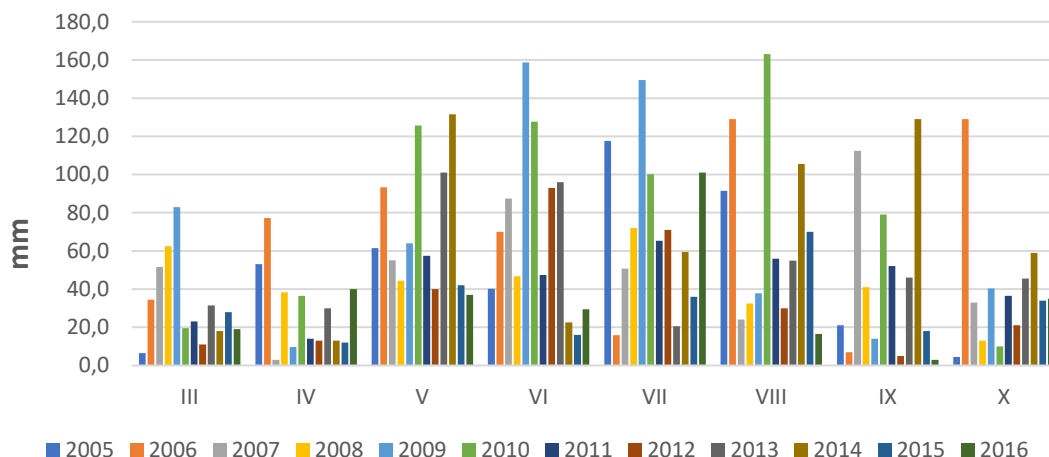
## 1. Úvod

Sucho může být definováno jako záporná odchylka vodní bilance od klimatického normálu v dané oblasti během určitého časového intervalu. Z toho plyne, že příčinou sucha je deficit srážek za určitou dobu (Allen et al., 1998). Kolísání klimatu je podle stále dokonalejších měření pravděpodobně daleko větší, než si doposud představujeme (Litschmann, Rožnovský, 2012). Podle Lloyd-Hughese (2013) univerzální definice sucha musí vzít v úvahu zásobu vody v půdě, aktuální potřebu vody a její management. Půdní vlhkost má významný vliv na řadu fyzikálních parametrů půdy. Vlhkost půdy, zvláště ve svrchní části půdního profilu, se během roku značně mění vlivem srážkových poměrů dané lokality. Z hlediska důležitosti půdní vlhkosti je její význam stěžejní z pohledu vývoje půdní stability (utuženost půdy, půdní struktura) a produkce rostlin. Změna klimatu a globální oteplování má řadu důsledků pro fluvialní půdy. Z důvodu změny množství a rozdělení srážek v průběhu roku se mění evapotranspirace, půdní vlhkost, teplota a tím vodní, vzdušný a tepelný režim těchto půd (Goudie, 2006). Změny uvedených režimů půd se odrážejí v intenzitě půdotvorných pochodů (mineralizace a humifikace), což ovlivňuje rostliny i celý ekosystém.

Príspevek zahrnuje souvislost mezi úhrnem srážek a půdní vlhkostí během vegetace ve sledovaných letech.

## 2. Metodika

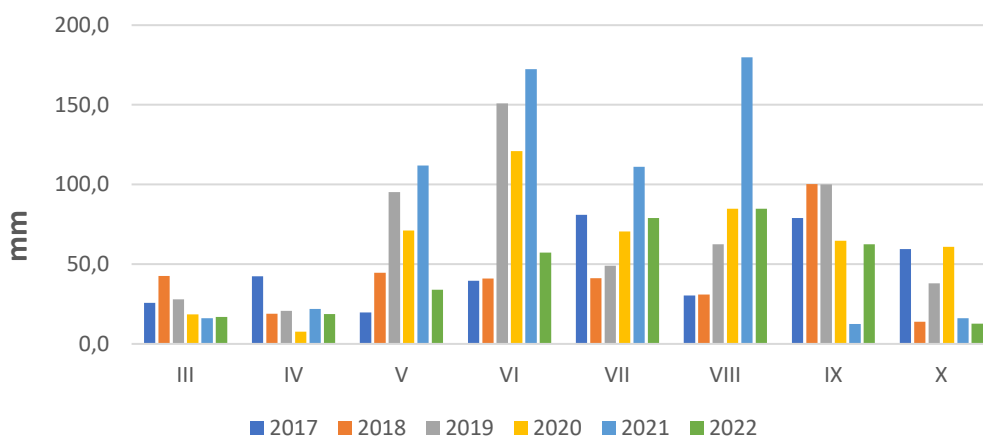
Poloprovozní pokus se sledováním půdní vlhkosti na svažitém terénu byl založen v bramborářské výrobní oblasti. Pokusná oblast se nachází v kraji Vysočina, v okrese Třebíč, v katastru obce Budišov, kde probíhaly pokusy v letech 2005–2016. Lokalita je situována v nadmořské výšce 513 m, s dlouhodobým průměrným úhrnem srážek 500 mm a průměrnou roční teplotou 6,8 °C. Měsíční úhrny srážek během sledovaných let jsou uvedeny v grafu (Obr. 1). Půdy jsou zde převážně hnědé, lehké, hlinitopísčité, hloubka ornice do 20–25 cm, středně zásobené živinami, půdní reakce slabě kyselá. Sklon svahu zde byl 6–10°.



Obr. 1. Úhrn srážek během vegetace sledovaného období – Budišov 2002–2016

Na této lokalitě byly pěstovány různé druhy meziplodin v mezidobí pěstování silážní kukuřice na svažitém terénu. Byl vyhodnocován efekt protierozní funkce meziplodin, zadrženi půdní vody a celkový vliv na půdní prostředí. Vhodnost využití meziplodin jako půdoochranného systému se osvědčilo pro svůj ochranný efekt pokrytí půdy rostlinnými zbytky, přičemž byl významně ovlivněn vodní režim půdy.

Další poloprovozní pokus probíhal v Jihomoravském kraji, v okrese Vyškov na pozemcích v katastru obce Velešovice. Zde byl řešen pokus v letech 2017–2022. Pozemky se nacházely v řepařské výrobní oblasti, v nadmořské výšce 228 m, patří do klimatické oblasti T2 – teplé, mírně suché s dlouhodobým ročním průměrem srážek 490 mm a dlouhodobou průměrnou roční teplotou 8,7 °C. Měsíční úhrny srážek během sledovaných let jsou uvedeny v grafu (Obr. 2).



Obr. 2. Úhrn srážek během vegetace sledovaného období – Velešovice 2017–2022

Půdy na této lokalitě jsou klasifikovány jako černozemě karbonátové na substrátu spraší, zrnitostním složením se jedná převážně o těžkou, jílovitohlinitou půdu s hloubkou ornice 0,30–0,35 m. Sklon svahu pokusných parcel se pohyboval převážně od 5 do 7°. Na této lokalitě byly řešeny půdoochranné protierozní technologie s aplikací kompostu na podzim a setí meziplodin v mezidobí pěstování silážní kukuřice v monokultuře.

Vhodnost uplatněných technologií byla posouzena z hlediska zjištění obsahu půdní vody gravimetrickou metodou během vegetace.



## 2.1 Varianty a agrotechnika

### Budišov 2005–2016

#### Varianty

1. nevymrzající meziplodina žito svatojánské-trsnaté (*Secale cereale* L.), předseťová příprava, setí kukuřice
2. nevymrzající meziplodina žito svatojánské-trsnaté (*Secale cereale* L.), přímé setí kukuřice do mulče
3. vymrzající meziplodina sléz krmný (*Malva verticillata* L.), setí kukuřice do zbytků meziplodiny
4. kontrola bez meziplodiny, klasická příprava, setí kukuřice

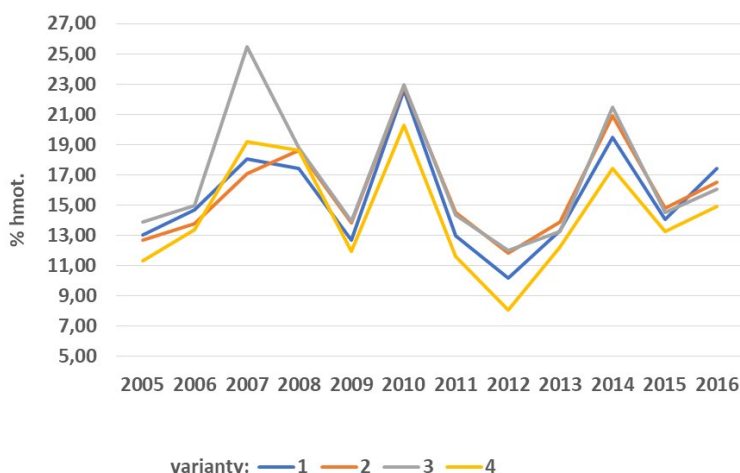
### Velešovice 2017–2022

#### Varianty

1. kontrola – bez kompostu, koncem srpna setí meziplodiny svazenka vratičolistá (*Phacelia tanacetifolia* L.), na jaře setí kukuřice
2. koncem srpna setí meziplodiny svazenka vratičolistá (*Phacelia tanacetifolia* L.), na podzim zapravení kompostu 20 t / ha, na jaře setí kukuřice
3. koncem srpna setí meziplodiny svazenka vratičolistá (*Phacelia tanacetifolia* L.), na podzim zapravení kompostu 40 t / ha, na jaře setí kukuřice

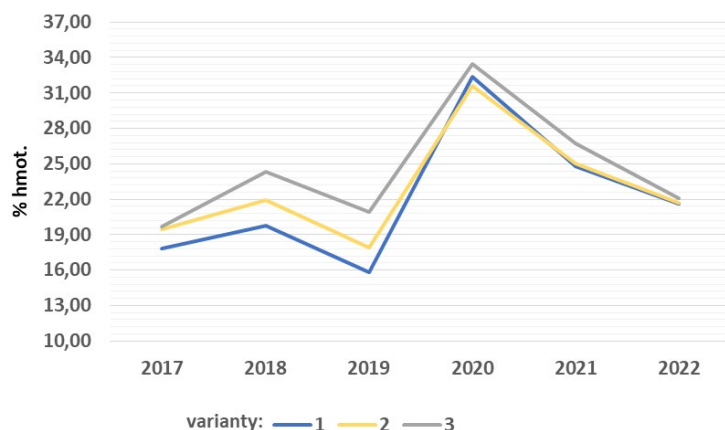
## 3. Výsledky

Na lokalitě Budišov bylo zjištěno, že vlhkost půdy korelovala s množstvím srážek během vegetace a způsobem zpracování půdy (variantou). Nejnižší úhrn srážek byl naměřen v roce 2015 (256 mm) a nejvyšší v roce 2010 (662 mm), o 162 mm vyšší jak dlouhodobý úhrn srážek (Obr.1). Rozdíl mezi nejvyššími a nejnižšími hodnotami sledovaných let činí 406 mm. Průměrná nejnižší vlhkost půdy u všech variant byla zjištěna v roce 2005 12,73 % hmot. a nejvyšší v roce 2010 – 22,18 % hmot. (v tomto roce i nejvíce srážek). V roce 2015 byla půdní vlhkost – 14,16 % hmot. (3. nejnižší, podle srážek). Bylo také zjištěno, že vlhkost půdy byla ovlivněna zvolenými variantami (Obr. 3). Nejnižší průměrná vlhkost půdy během sledovaných let byla naměřena u varianty 4 (kontrolní var. bez meziplodiny s klasickou přípravou) a nejvyšší u varianty 3 (vymrzající meziplodina sléz krmný (*Malva verticillata* L.), setí kukuřice do zbytků meziplodiny). Mezi jednotlivými variantami byly v průměru největší rozdíly mezi var. 3 a var. 4, a to více jak 2 % hmot. ve prospěch var. 3.



Obr. 3. Obsah půdní vody během sledovaných let u různých variant zpracování půdy – Budišov, 2005–2016

Na lokalitě Velešovice byly zjištěny obdobné výsledky jako na lokalitě Budišov. Z obr. 4 je patrné, že nejnižší průměrný obsah vody za sledované období byl naměřen u varianty 1 (kontrolní) a nejvyšší u varianty 3 (meziplodina + kompost 40 t/ha). Jak ukazuje graf (Obr. 2) byl zaznamenán úhrn srážek během vegetace sledovaných let nejvyšší v roce 2021 (642 mm), o 152 mm vyšší oproti dlouhodobému úhrnu srážek, a nejnižší v roce 2018 (334 mm). Rozdíl mezi nejvyššími a nejnižšími hodnotami sledovaných let činí 308 mm. Avšak nejnižší průměrná vlhkost půdy všech variant byla zjištěna v roce 2019. Bylo to dáno nejnižší vlhkostí půdy u var. kontrolní. Nejvyšší průměrná vlhkost půdy byla naměřena v roce 2020 (32,48 % hmot.), což bylo dáno vyrovnanějším úhrnem srážek během vegetace, takže půda si zachovala půdní vláhu ve stabilních hodnotách.



Obr. 4. Obsah půdní vody během sledovaných let u různých variant zpracování půdy – Velešovice, 2017–2022

#### 4. Diskuze

Odchytky úhrnů srážek během sledovaných let ukázaly závislost na půdní vlhkosti. Jak zjistil Llooyd-Hughes (2013) obsah půdní vody koreluje s množstvím srážek spadných v termínu odběru vzorků. V průměru sledovaných let byl úhrn srážek v jednotlivých měsících během vegetace téměř rovnoměrný. Na lokalitě Budišov byly naměřeny nejnižší srážky vždy v měsíci březnu a dubnu a nejvyšší od května do srpna. Na lokalitě Velešovice byl zjištěn nejnižší úhrn srážek také v měsíci březnu a dubnu a nejvyšší od června do srpna, což se projevilo i na obsahu půdní vody. Pokorný a kol. (2011) potvrdili, že důležitější než celkový úhrn srážek je množství srážek spadlých za vegetaci. To nejvíce ovlivňuje růst rostlin. Srovnáním srážek s dlouhodobým normálem ukázalo, že úhrn srážek se snížil za sledované období během vegetace na lokalitě Budišov o 77 mm a na lokalitě Velešovice o 29 mm. Během jednotlivých let byla zjištěna také závislost obsahu půdní vody na zpracování půdy (variantách), hlavně mezi variantou kontrolní a variantami s meziplodinou či aplikací různých dávek kompostu (20 t/ha, 40 t/ha – lokalita Velešovice). U varianty s aplikací dávky 40 t/ha byla v průměru vyšší půdní vlhkost o 2 % hmot. Zpracování půdy s dodáním organické hmoty do půdy má velký vliv na zadržení půdní vláhy, jak zaznamenali autoři Král, Dvořák (2022). Totéž bylo potvrzeno i na lokalitě Budišov. Varianta kontrolní měla v průměru nejnižší půdní vlhkost oproti variantám s využitím různých meziplodin, jejichž zbytky tvořily přirozenou ochranu povrchu půdy před vysycháním (Badalíková, Vašinka, 2020). Vlhkost půdy ovlivňuje nejen množství srážek, ale i fyzikální vlastnosti jako je zhuštění půdy, půdní struktura, vodotěsnost půdních agregátů a další. Při nadměrné utuženosti půdy vsakuje voda mnohem pomaleji oproti kypré půdě v dobrém strukturním stavu (Kutílek, 1978). Utužené půdní vrstvy vznikají ve velkém procentu případů v důsledku pojezdů a zpracování půdy, které k tomu vzhledem ke své vlhkosti nejsou způsobilé. Stupeň utužení půdy je ovlivněn mnoha faktory, zejména půdním druhem, vlhkostí půdy, obsahem a kvalitou organické hmoty a stupněm prokořnění (Lal, 2002).

## 5. Závěr

Vyhodnocení dat průměrných měsíčních srážkových úhrnů během vegetační doby za období 2005–2016 (Budišov) a 2017–2022 (Velešovice) ve vztahu k půdní vlhkosti ukázalo, že na obou lokalitách byla půdní vlhkost ovlivněna úhrnem srážek v jednotlivých letech. Také bylo prokázáno, že odlišné fyzikální vlastnosti půdy vlivem uplatnění různé agrotechniky vedlo ke změně obsahu půdní vody. Při aplikaci organické hmoty ve formě kompostu nebo zapravení organických zbytků meziplodin byla půdní vlhkost vyšší oproti kontrolní variantě i v době nižšího úhrnu srážek. Z toho plyne, že i v době sucha nemusí dojít k fyziologicky nepřístupné vodě.

## Dedikace

Tyto výsledky jsou součástí institucionální podpory MZE-RO1722 a výzkumného projektu TAČR č. TH02030467.

## Literatura

- ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M., 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, 290 s. ISBN 92-5-104219-5
- BADALÍKOVÁ, B., VAŠINKA, M., 2020. Organická hmota pozitivně působí na vláhové podmínky v půdě. (Organic matter has a positive effect on soil moisture conditions). Agromanuál, 9-10/2020, s. 66–67 ISSN 1801-7673
- GOUDIE, A. S., 2006. Global warming and fluvial geomorphology, *Geomorphology*, Volume 79, Issues 3–4. Pages 384-394. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.023> ISSN 0012-8252
- KRÁL, M., DVOŘÁK, P., 2022. Aspekty použití kompostu jako mulče při pěstování brambor. *Úroda* 12, roč. LXIX, 2022, vědecká příloha, s.309–314. ISSN 0139-6013
- KUTÍLEK M., 1978. Vodohospodářská pedologie. SNTL, Praha, 1978, 295 str.
- LAL, R., 2002. Encyclopedia of soil science. New York: Marcel Dekker, 1476 s. ISBN 082470634X
- LITSCHMANN, T., ROŽNOVSKÝ, J., 2012. Zhodnocení indexu HUMIDEX na území města Brna. 20th International Poster Day Transport of Water, Chemicals and Energy in the Soil-Plant-Atmosphere System, Bratislava, 15. 11. 2012, ISBN 978-80-89139-28-6
- LLOYD-HUGHES, B., 2013. The impracticality of a universal drought definition. *Theoretical and Applied Climatology*, 117 (3-4), pp. 607-611. ISSN 1434-4483
- POKORNÝ, E., et al., 2011. Analýza dlouhodobých srážkových a teplotních řad a hodnocení jejich dopadu na změny vlastností půd vybraného agroekosystému. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011. 118s. ISBN 978-80-7375-584-3.

# Living Lab MENDELU – živá laboratoř lesnické hydrologie na ŠLP ML Křtiny

## Living Lab MENDELU – Living Laboratory of Forest Hydrology at TFE MF Křtiny

Petr Čech, Petr Kupec, Jan Deutscher

Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav inženýrských staveb, tvorby a ochrany krajiny, Zemědělská 1665, 613 00 Brno-sever, [petr.cech.utok@mendelu.cz](mailto:petr.cech.utok@mendelu.cz)

### Abstrakt

Na pozemcích Školního lesního podniku Masarykův les Křtiny (ŠLP Křtiny) vzniká živá laboratoř, která má ambici se v rámci projektu Water4all stát součástí evropské sítě „Living Labů“. Tato forma živé laboratoře je konstituována tak, aby v ní výzkumníci nejen z Lesnické a dřevařské fakulty Mendelovy univerzity v Brně, mohli provádět hydrologický výzkum v prostředí in situ. Smyslem systému hydrologických živých laboratoří je pak pokrýt veškeré aspekty experimentální hydrologie přímo v terénu. Je zřejmé, že živá laboratoř MENDELU je v podmínkách ŠLP Křtiny zaměřena na hydrologii lesnickou. Projekt Living Lab MENDELU má tři hlavní cíle: (1) pokrýt hydrologickou situaci v rámci ŠLP Křtiny, (2) zjistit, jak se situace změnila oproti stavu v 70. a 80. letech a (3) zapojit se do celoevropské sítě „Water4all“, tak aby se tak tento Living lab mohl stát „otevřenou“ laboratoří pro vědce, kteří se zabývají problematikou: voda-les napříč Evropou. Čistě lesní Living lab zaměřený na lesnickou hydrologii dosud v Evropských podmínkách neexistuje. Living Lab MENDELU věcně funguje cca od roku 2013. Za tu dobu zde realizované výzkumy přinesly zjištění, která jsou víceméně platná i pro jiné lesní majetky v nižších a středních polohách ČR. Výzkumy mj. potvrdily úbytek vody odtékající z lesa, navýšování teplot a prodlužování vegetačního období.

**Klíčová slova:** klimatická změna, les, povodí, sucho

### Abstract

A living laboratory is being formed on the estates of the Training Forest Enterprise Masaryk Forest Křtiny (TFE Křtiny), which has the ambition to become part of the European network of "Living Labs" within the Water4all project. This form of living laboratory is designed to allow researchers not only from the Faculty of Forestry and Wood Technology of Mendel University in Brno to perform hydrological research in situ. The idea behind the hydrological living laboratory system is to cover all aspects of experimental hydrology directly in the field. It is obvious that the MENDELU living laboratory in the conditions of TFE Křtiny is focused on forest hydrology. The MENDELU Living Lab project has three main objectives: (1) to cover the hydrological situation within the TFE Křtiny area, (2) to find out how the situation has changed compared to the situation in the 1970s and 1980s, and (3) to join the Pan-European "Water4all" network, so that the Living Lab can become an "open" laboratory for scientists working on water-forest issues across Europe. A strictly forest-based Living lab focused on forest hydrology does not exist in European conditions yet. MENDELU's Living Lab has been in place since about 2013. The research carried out here has produced findings that are more or less valid for other forest estates in the lower and middle altitudes of the Czech Republic. Research has confirmed, among other things, the loss of runoff from the forest, increasing temperatures and the prolongation of the growing season.

**Keywords:** climate change, forest, watershed, drought

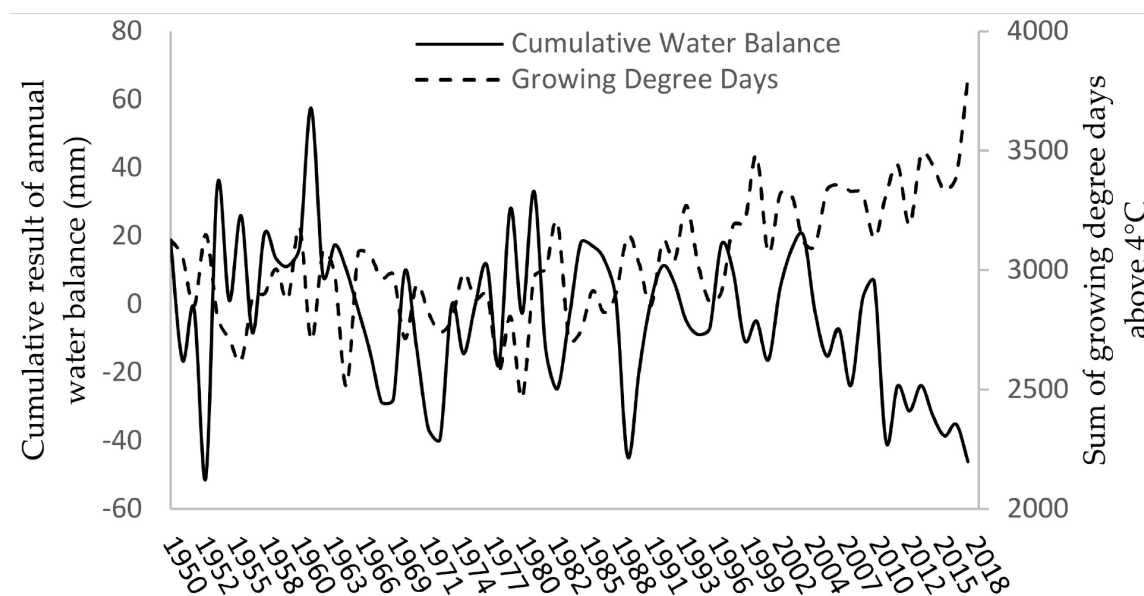
## 1. Úvod

Na Školním lesním podniku Masarykův les Křtiny (ŠLP Křtiny) vzniká hydrologický Living lab. Odborníci z Ústavu inženýrských staveb, tvorby a ochrany krajiny (ÚTOK) Lesnické a dřevařské fakulty MENDELU zde provádí hydrologický výzkum a mají snahu o to, aby se tato laboratoř stala v rámci projektu Water4all součástí evropské sítě „Living Labů“. To by jí umožnilo stát se „otevřenou“ laboratoří pro vědce, kteří se zabývají problematikou: voda–les napříč Evropou. Tyto „živé laboratoře“ jdou svým předmětům zkoumání naproti a v jejich přirozeném prostředí – v terénu – pomáhají lépe dosáhnout reálných podmínek zkoumání. Takovýto čistě lesní Living lab, zaměřený na srážkoodtokový proces, zatím v evropských prostředí chybí a mohl by pomoci odpovědět na otázku, jak dál hospodařit, když už srážky nestačí.

Povodí na území ŠLP se rozkládají na území v řádu desítek hektarů, což způsobuje, že každá změna, která tam proběhne, ať už jde o změnu srážek nebo managementových zásahů v lese, je velmi rychlá a významná. Tým doposud na území ŠLM ML Křtiny vybudoval čtyři stabilizované hydrologické stanice na povodích s rozdílnou dřevinnou skladbou a začal sbírat hydrologická a klimatická data. V současnosti „živá laboratoř“ čítá kromě uvedených hydrologických stanic devět klimatických stanic, jednu stabilizovanou hydrologickou stanicí situovanou na lesní strži a objekt sloužící k posuzování možností zadržení vody z odvodňovacích objektů lesních cest a chystá se mj. vybudování soustavy tůň a hrazení strží. Zejména objekty hrazení strží se zdají být vhodnou alternativou pro zadržování vody v lesích, i když historicky byla tato jejich funkce chápána spíše jako doplňková.

## 2. Výběr dosavadních výstupů

Living Lab MENDELU věcně funguje cca od roku 2013. Za tu dobu zde realizované výzkumy přinesly nezpochybnitelná zjištění, která jsou víceméně platná i pro jiné lesní majetky v nižších a středních polohách ČR. Už léto 2015 definitivně potvrdilo trend, který vědci sledovali delší dobu – vysychání lesa jako jeden z projevů klimatické změny. Les není schopen dotovat povodí pod ním, protože sám spotřebuje většinu vody pro vlastní fyziologické procesy, a i tak může mít v některých obdobích nedostatek. To si vyžádalo sběr dalších dat, a tak vědci začali sledovat i další veličiny jako evapotranspiraci, stoky po kmeni a povrchové odtoky. Tato data umožnila vzniknutí spolupráce například s modeláři z univerzity ve švédské Uppsale, kteří měřená data používají k ověřování svých modelů.

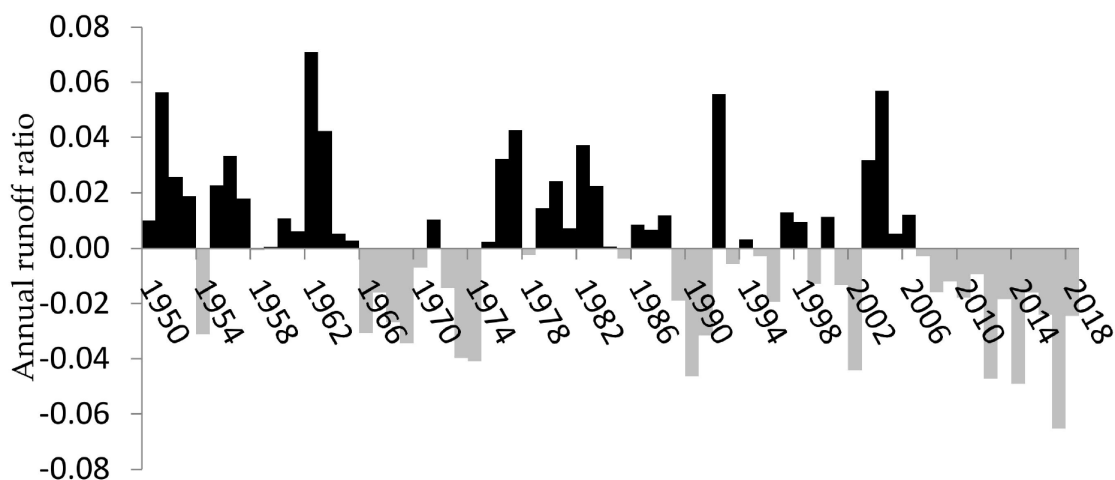


Obr. 1 Suma teplot ve vegetačních dnech nad 4 °C a kumulovaná vodní bilance (Kupec, Deutscher, Futter, 2021).

## 2.1 Jak se změna klimatu propisuje do vodní bilance lesních povodí ŠLP Křtiny

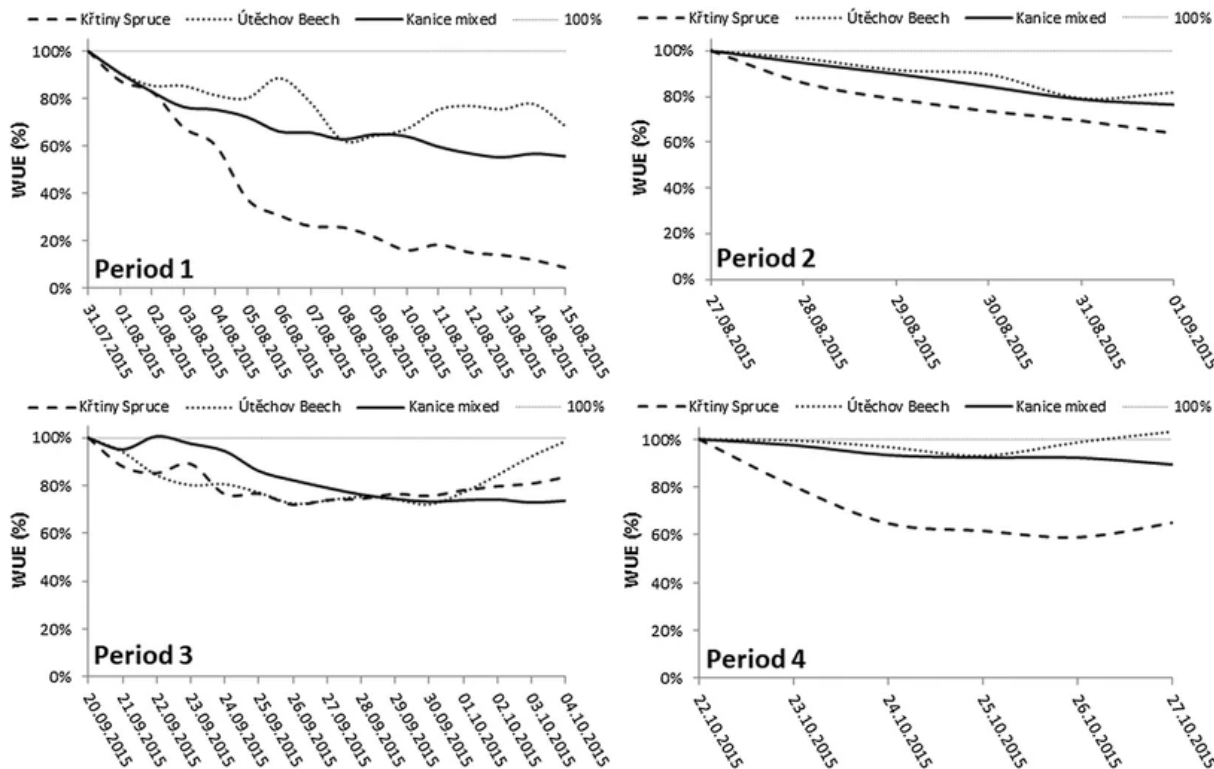
Ještě v 70. a 80 letech 20. století se z celkového ročního úhrnu spadlého na ŠLP Křtiny průměrně 70 % vypařilo a 30 % odtéklo do krajiny pod lesem. Přibližně od roku 2013 zde ale lze pozorovat markantní úbytek odtoků z lesních povodí. Průtoky na recipientech těchto povodí se významně snižují, některé se stávají periodickými, jiné zcela vysychají. V současnosti tak pozorujeme, že z celkového úhrnu srážek spadlého na území ŠLP odeče jen zhruba 10–15 %. Ve vegetačním období je pak situace ještě horší a odtéká jen 5 % srážek či méně. Tento trend je dobře pozorovatelný na vodních stavech drobných lesních toků. V dnešní době se už jedná o poměrně známou skutečnost, kdy příčinou situace kolem nedostatečného množství vody v lese, a v krajině obecně, není klesající množství srážek, ale prodlužující se vegetační doba, se kterou se zvyšuje i hodnota roční bilanční evapotranspirace. Kromě toho se v krajině po jarním tání nedoplňuje voda, jak tomu bylo v předchozích obdobích, protože v zimním období chybí sněh.

Díky analýze ročních a měsíčních srážkových úhrnů na území ŠLP za období 1953–2020 lze konstatovat, že roční i měsíční srážkové úhrny jsou dlouhodobě vyrovnané. Významný rozdíl distribuce srážek se ukázal pouze v dubnu, kdy srážkové úhrny mají klesající trend, a naopak v září, kdy stromy už omezují své fyziologické procesy, mají srážkové úhrny stoupající trend. Díky tomu mohou být roční srážkové úhrny dlouhodobě vyrovnané. Díky analýze odborníků z ÚTOKu bylo zjištěno, že je trend vzrůstu teploty ve vegetačním období na území ŠLP pozorovatelný přibližně od roku 1995. V současné době je vegetační období v této lokalitě oproti roku 1990 zhruba o 20 až 25 dnů delší. Kromě toho má na celkovou hodnotu evapotranspirace lesních porostů také vliv stoupající teplota vzduchu ve vegetačním období (viz Obr. 1). Tato situace pak rezultuje v to, že hodnota odtoků z lesů od roku 2007 signifikantně klesá, aniž by se vrátila na původní bilanční hodnoty (Obr.2).



Obr. 2 Odchylka ročního odtokového poměru (odtok/srážky) od dlouhodobého průměru (Kupec, Deutscher, Futter, 2021).

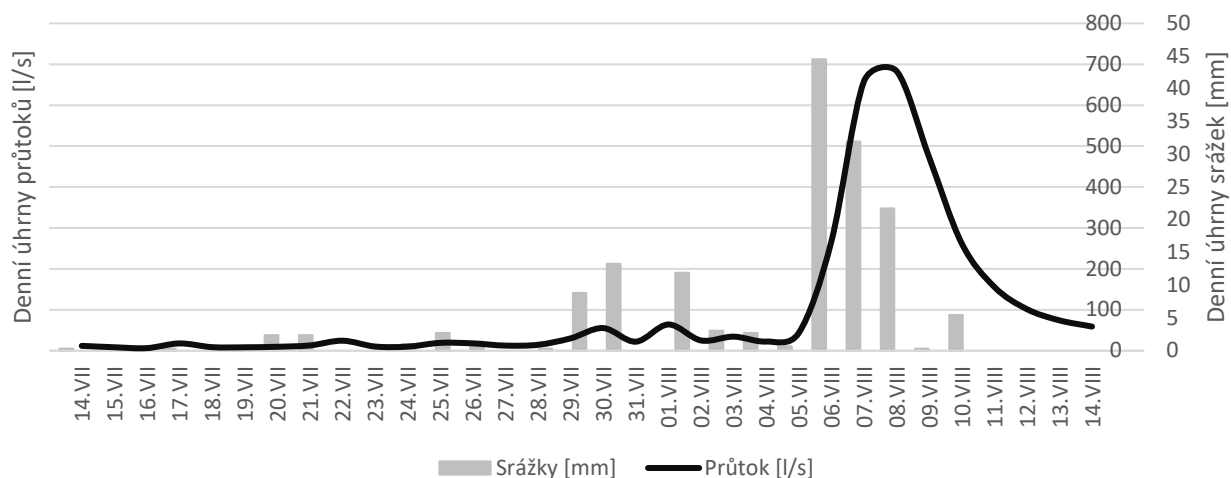
Se stoupajícím vlivem klimatické změny je čím dál aktuálnější i vodohospodářská účinnost (WUE) jednotlivých druhů dřevin. Tomuto tématu se tým výzkumníků z ÚTOK LDF MENDELU široce věnoval zejména v bezsrážkových obdobích, kdy na území ŠLP jednoznačně prokázal zhoršenou schopnost smrkových porostů hospodařit s vodou během období jejího nedostatku oproti porostům listnatým nebo smíšeným (Obr. 3).



Obr. 3 WUE porostů s rozdílnou hlavní dřevinou na základě průměrného denního snížení průtoku během pozorovaných bezsrážkových období (Kupec, Školoud, Deutscher, 2018).

Tato schopnost se neprojevuje pouze v bezsrážkových obdobích. Oproti smrkovému porostu je vodohospodářsky účinnější les smíšený, ve kterém je mj. díky dobrému zápoji a dostatečné vrstvě funkčního humusu půda lépe chráněna. Tato disfunkce se ukazuje například v následujícím případě, kdy ještě nedávno nedostatková voda rychle odtéče, místo toho, aby byla zadržena a odtoky z povodí se tak rychle dostávají na hodnoty blízké odtokům v bezsrážkovém období (Obr. 4).

### Křtinské povodí, 14. 7. - 14. 8. 2023



Obr. 4 Parametry srážkoodtokového procesu Křtinského povodí v letním období 2023 – odezva průtoků na srážkovou periodu v závěru období a rychlý návrat k předchozím průtokům.

### 3. Závěr

Vzhledem k již získaným poznatkům má projekt Living Lab MENDELU tři hlavní cíle: (1) pokrýt hydrologickou situaci v rámci ŠLP ML Křtiny, (2) zjistit, jak se situace změnila oproti stavu v 70. a 80. letech, ke které existují data z předchozích výzkumů realizovaných domovským ústavem autorského týmu a (3) jak už bylo zmíněno, stát se „otevřenou“ laboratoří pro vědce napříč Evropou.

Samotná zjištění s sebou ale nesou další otázky. Zadržet vodu v lese pro jeho potřeby, nebo nechat vodu z lesa odtéct pro potřeby krajiny, která leží pod ním? Jak vrátit náklady do lesního hospodářství, aneb kdo případné „odčerpání“ vody, která lesu bude chybět, zaplatí a jak nastavit parametry lesního hospodářství, tak aby byla jeho hydrická funkce, pokud možno optimální?

#### Literatura:

DEUTSCHER, J., HEMR, O., KUPEC, P. 2021. A Unique Approach on How to Work Around the Common Uncertainties of Local Field Data in the PERSiST Hydrological Model. *Water*. 2021. sv. 13, č. 9, ISSN 2073-4441.

KUPEC, P., DEUTSCHER, J., FUTTER, M. 2021. Longer growing seasons cause hydrological regime shifts in central european forests. *Forests*. 1. sv. 12, č. 12, ISSN 1999-4907.

KUPEC, P., ŠKOLOUD, L., DEUTSCHER, J., 2018. Tree species composition influences differences in water use efficiency of upland forested microwatersheds. *European journal of forest research*. Sv. 137, č. 4, s. 477–487. ISSN 1612-4669.



# Analýza vývoje zdrojů vody v České republice

## Analysis of the development of water resources in the Czech Republic

Jiří Čížek

Ochrana podzemních vod, s.r.o.

### Abstrakt

V příspěvku jsou porovnávána současná data a trendy ve zdrojích povrchových a podzemních vod v České republice v souvislosti s měnícím se klimatem. Prezentace se zaměřuje i na dlouhodobou analýzu proměn vodních zdrojů v geologicky delším období a popisuje vlivy jak klasického mělkého koloběhu vody v přírodě, tak i hlubinného oběhu vody na planetě Zemi. Analýza může poskytnout základní informace pro formulaci strategie vodního hospodářství, která bude efektivně reagovat na stále se proměňující klimatické a obecně přírodní či člověkem ovlivněné podmínky. Současný výzkum by měl být zaměřen především na záchranu stávajících zdrojů vody a jejich rozšiřování a měl by zahrnovat přípravu opatření ke zmírnění nebo eliminaci následků nadměrné exploatace nebo nedostatečné ochrany zdrojů vod, ať povrchových a přípoверхových (řeky, jezera, rybníky a vodní nádrže všech typů), nebo podzemních zdrojů vod (průlinové a puklinové zvodně, krasové útvary, důlní vody apod.).

**Klíčová slova:** zdroje vody, změna klimatu, ochrana kvality a kvantity vod

### Abstract

The paper compares current data and trends in surface and groundwater resources in the Czech Republic in relation to the changing climate. The presentation also focuses on long-term analysis of the changes in water resources over a geologically longer period and describes the effects of both the classic shallow water cycle in nature and the deep-water cycle on the planet Earth. The analysis can provide basic information for the development of a water management strategy, which will effectively respond to the ever-changing climate and natural or human-influenced conditions in general. The current research should focus primarily on the conservation of the existing water resources and their expansion and should include the development of measures aimed at mitigating or eliminating the consequences of overexploitation or inadequate protection of water resources, no matter if they are on the surface, near-surface (rivers, lakes, ponds and reservoirs of all types) or groundwater resources (fissure aquifers, karst formations, mine waters etc.)

**Keywords:** water resources, climate change, protection of water quality and quantity

## 1. Vývoj klimatu a paleoklima

V České republice stejně jako v ostatních státech Evropy dochází v poslední době k výrazným změnám teplot a srážek. Nejde ani tak o to, že se teploty postupně zvyšují a naopak srážky, resp. infiltrace do terénu obecně snižují, ale tyto jevy se stávají stále více nepravidelnější a extrémnější. Lze to pozorovat na dlouhodobých řadách sledování například na letišti Praha Ruzyně nebo ve studánkách v Praze.

Je proto důležité vymezit infiltrační oblasti zdrojů povrchových a podzemních vod k zajištění retence – zadržení vody v krajině a ochrany jakosti těchto vod před znečištěním z průmyslu, dopravy nebo vyplavováním živin a rizikových látek v důsledku zemědělské činnosti a eroze půdy. Cílem by mělo být zlepšování jakosti vod odtékajících ze zemědělsky využívaných území a přímá ochrana povrchových vod a podzemních před kontaminací závadnými látkami.

## 2. Vývoj zdrojů povrchových vod

Zdroje povrchové vody jsou závislé na ovzdušných srážkách a hospodaření s nimi. Stále více narůstá evapotranspirace, takže zejména z vodních ploch se odpařuje stále více vody. Podobně je tomu u všech zastavěných ploch a v případě zemědělsky obdělávaných ploch u částí nezakrytých vegetací. Navíc povrchová voda snadno podléhá znečištění, které ji znehodnocuje jak pro využití pro pitné účely, tak pro život vodních organismů.

V České republice jsou zdroje vod stále ještě trvale zatěžovány polutanty typu chemických sloučenin (např. toxickými přípravky na čištění a ochranu kovů, ropnými produkty, pesticidy, farmaky, apod.), mikroplasty či biologickými patogeny z bodových a difuzních zdrojů, kterými jsou zejména průmyslové podniky, doprava a malá sídla s nedostatečně čištěnými odpadními vodami a splachy ze zemědělských pozemků. Výrazně se tak v důsledku postupující eutrofizace zvyšuje riziko zhoršení kvality vody ve vodárenských nádržích a vodních útvarech podzemních vod a existují oprávněné obavy, že bez účinných opatření může dojít k několikanásobnému zvýšení nákladů na úpravu pitné vody, k výraznému omezení výkonu úpraven vod a v kritickém případě nelze vyloučit ani jejich kolaps.

## 3. Vývoj zdrojů podzemních vod

U zdrojů podzemních vod jsou procesy jejich doplňování a vyprazdňování většinou dlouhodobé, a tudíž tak snadno nepodléhají změnám, které přináší měnící se klima. Přesto i u těchto zdrojů dochází k poměrně výrazným trendům, které se projevují postupným, ale trvalým poklesem hladiny, snížením vydatnosti a zhoršující se kvalitou podzemní vody.

Také zde platí obava, že vlivem stále rostoucího civilizačního tlaku se postupně budou zdroje těchto vod stále více znehodnocovat nadměrným využíváním a znečišťováním. Pro zjištění trendů v této oblasti byl v letech 2010–2016 realizován projekt Rebilance zásob podzemních vod ČR, jehož výsledky jsou stále velmi aktuální a navíc nedocenené. Přitom je to jeden z důležitých nástrojů pro plánování využívání vod v České republice a samozřejmě také pro územní plánování, kde jsou stále významné rezervy a dělají se časté chyby, kdy se nerespektují základní přírodní zákonitosti ani přírodní zdroje.

## 4. Vývoj zdrojů vody na Zemi

Závěrem je diskutována otázka odkud se na naší planetě vzala voda. V posledních letech začíná převládat názor, že voda byla přitom na Zemi již při jejím vzniku a pochází z mezihvězdného prachu a meteoritů nazývaných enstatitové chondrity. V současnosti jsou zásoby vody na Zemi pravděpodobně vázány v minerálu nazvaném ringswoodit, který tvoří významnou část minerálů v přechodové zóně zemského pláště. Pro výzkum se tento minerál získal až v posledních letech právě z chondritových meteoritů a z uzavřenin v diamantech.

## 5. Závěr

Účelem syntézy poznatků z různých vědeckých oborů zabývajících se vodou na Zemi by mělo být vytvořit příručku pro identifikaci a předvídaní vznikajících problémů s vodou, vyjasnění megatrendů k pochopení důsledků dlouhodobého vývoje zdrojů vody, vytváření scénářů pro řešení nejistoty s kvantitou a kvalitou vod a rozvíjení systémového chápání složitých problémů udržení zdrojů vod a predikce důsledků jejich úbytku nebo znečištění pro zajištění budoucnosti České republiky.

# Využití agrometeorologického modelu pro plánování závlahy

## The use of agrometeorological model for irrigation management

Rostislav Fiala<sup>1</sup>, Petr Hora<sup>1</sup>, Martin Mészáros<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Český hydrometeorologický ústav Brno, Oddělení meteorologie a klimatologie, Kroftova 43, 616 67 Brno, [rostislav.fiala@chmi.cz](mailto:rostislav.fiala@chmi.cz)

<sup>2</sup> Výzkumný a šlechtitelský ústav ovocnářský Holovousy s.r.o., Holovousy 129, 508 01, [martin.meszaros@vsuo.cz](mailto:martin.meszaros@vsuo.cz)

### Abstrakt

Príspevek prezentuje výsledky modelu AVISO při použití v produkčních sadech ovocných dřevin v obci Holovousy – jabloní Gala Brookfield a Red Jonaprince, a to ve variantě bez závlahy a variantě s plnou závlahou v letech 2020 až 2023. Jde zejména o průběh vláh v půdním profilu a identifikaci období s potřebou aplikace závlahy.

Cílem práce bylo provést modelování zásoby vody v půdním profilu v porostech jabloní a porovnat s vláhovými podmínkami podle měření vlhkosti půdy. Po zadání optimální hodnoty zásoby využitelné vody v půdě má model identifikovat potřebu závlahy a aplikaci závlahy poté zahrnout do vstupu modelu a uvažovat její aplikaci ve svých následných výpočtech.

Pro výpočty byly použity meteorologické veličiny měřené v ovocných sadech a na klimatologické stanici Holovousy, měření vlhkosti půdy v hloubkách 10, 30 a 60 cm a údaje o aplikované závlaze v zavlažované variantě porostu. Do modelu byly nastaveny podmínky pro identifikaci potřeby závlahy a uživatelem nastavená velikost závlahové dávky.

V průběhu let 2020 až 2023 model identifikoval celkem 12 závlahových dávek v porostu Gala Brookfield a 16 v porostu Red Jonagold, a to zejména v letech 2022 a 2023 které byly proti předchozím letům sušší.

Prezentované výsledky předkládají relativní shodu modelu s reálnými vláhovými podmínkami v průběhu vegetační sezóny. V současné době pracuje model pouze s měřeními daty z minulosti, nicméně vstup předpovědních dat je také možný. Ze strany uživatele je nutné nastavení požadované hladiny zásoby vody v půdě, která se také může v různém období roku měnit. Pro správnou funkci modelu a parametrizaci porostu je vhodné výsledky modelu validovat měřením.

**Klíčová slova:** AVISO, sady, jabloň, evapotranspirace, vlhkost

### Abstract

The contribution presents the results of the AVISO model when applied in fruit orchards in the village of Holovousy – Gala Brookfield and Red Jonaprince apple trees, both in the no-irrigation and full-irrigation scenarios from 2020 to 2023. The focus is on soil moisture dynamics in the root zone and identifying periods requiring irrigation.

The aim of the study was to model the soil water content in the tree orchards and compare it with the moisture conditions based on soil moisture measurements. After inputting the optimal value of soil available water content, the model identifies the irrigation requirement and incorporates irrigation applications into its calculations.

Meteorological data from the orchards and the Holovousy climatological station, soil moisture measurements at depths of 10, 30, and 60 cm, and data on applied irrigation in the irrigated plots are used for the calculations. The model is configured with conditions for identifying irrigation requirements and user-defined irrigation dose.

From 2020 to 2023, the model identified a total of 12 irrigation doses for the Gala Brookfield orchard and 16 for the Red Jonagold orchard, especially in the drier years of 2022 and 2023 compared to previous years.

The presented results show a relative agreement between the model and the actual moisture conditions during the growing season. Currently, the model operates with historical data, but it also allows for input of forecast data. Users need to set the desired soil water content level, which can vary throughout the year, for the model to function correctly. It's advisable to validate the model's results through measurements for proper calibration.

**Keywords:** AVISO, orchards, apple trees, evapotranspiration, soil moisture

## 1. Úvod

V současné době se v České republice pro plánování a aplikaci závlahy v ovocnářství používá například Česká technická norma ČSN 75 0434 „Potřeba vody pro doplňkovou závlahu“, odborný odhad ovocnáře, automatické zavlažovací systémy pracující na principu časovače, případně automatické zavlažovací systémy založené na měření vlhkosti půdy. V sektoru zemědělství dochází k rozvoji precizního zemědělství a optimalizaci procesů, které reflektují požadavky na úsporu vstupních energií a přírodních zdrojů. Díky tomu dochází ve všech odvětvích hospodářství k používání měřicí, regulační a senzorové techniky, chytrých zařízení (včetně tzv. „IoT“ – Internet of things) případně i dat z dálkového průzkumu Země. Tyto prostředky mají velký potenciál poskytovat podporu ve výrobních procesech – monitorovat, efektivně plánovat či přímo řídit využívání zdrojů a vybrané činnosti. Po zkušenostech s výskyty období sucha v různých formách (meteorologické, půdní, zemědělské, socioekonomické) v posledních osmi letech je také častěji akcentována problematika nedostatku vody. V ovocných sadech s provozovanou závlahou je pro kvalitní produkci dostupnost vody zásadní, a její případná úspora a efektivní využití může mít výrazný efekt. V oblasti aplikace závlah může při použití časovačů docházet k vyšší spotřebě vody než je potřeba, systémy založené na měření půdní vlhkosti mohou být zase zatíženy chybou způsobenou instalací zařízení nebo vysokou heterogenitou půdy v rámci ovocného sadu. Stanovení termínu a velikosti závlahy evapotranspiračním modelem, který uvažuje průběh počasí a stav půdy i pěstovaného porostu, může přinést ve spotřebě vody značnou úsporu. Pro zvýšení efektivity a eliminaci chyb je vhodné kombinovat více zdrojů informací a metod rozhodování. Provoz agrometeorologického modelu je sice závislý na získání vstupních meteorologických dat avšak provoz vlastní meteorologické stanice je v současné době v sektoru zemědělství běžnou praxí.

## 2. Metodika

Podkladová data pro zpracování příspěvku pochází z ovocných sadů, resp. porostů jabloní Gala Brookfield a Red Jonaprince, lokalizovaných v ovocných sadech VŠÚO Holovousy s.r.o. v obci Holovousy (okres Jičín). Pro zpracování byla vybrána varianta porostů bez aplikované závlahy, ve vybraných letech bylo použito také dat z plně zavlažované varianty porostů Red Jonaprince, a to pro ilustrační srovnání.

Mezi použitá data pro zpracování příspěvku patří měření meteorologických prvků (teplota a vlhkost vzduchu ve 2 m, úhrn srážek, rychlost větru ve 4 m) na účelové stanici v ovocných sadech, měření vlhkosti půdy přístrojem Virrib v hloubkách 10, 30 a 60 cm v porostech jabloní a databáze meteorologických veličin klimatologické stanice ČHMÚ Holovousy.

Pomocí regresních vztahů proběhla kontrola a případné doplnění chybějících meteorologických dat ze sadů a data vstoupila do agrometeorologického modelu AVISO (Kohut, 2007), který je provozován na ČHMÚ Brno. Model byl vyvinut dle anglického výpočetního modelu MORECS (Hough a Jones, 1997). Algoritmus modelu AVISO vychází z metodiky výpočtu evapotranspirace dle Penman-Monteith a v rámci řešení projektu QK1910165 prošel modifikacemi pro podmínky využití v zavlažovaných ovocných sadech. Šlo zejména o ladění parametrů porostu, které mimo jiné ovlivňují intenzitu evapotranspirace a tím čerpání vody z půdního profilu. Jako nepřímá srovnávací veličina posloužila měřená vlhkost půdy po přepočtu na procentuální nasycení půdního profilu. (Fiala a kol., 2022). Kromě meteorologických dat a parametrů porostu vstupují do modelu také data o aplikované závlaze, a to pro každou stanici (výpočetní bod) a porost (resp. jeho variantu) zvlášť, ve formě ekvivalentu srážek (mm vodního sloupce).

V rámci řešení projektu QK 1910165 byly provedeny odběry půdních vzorků a analýzy průběhu křivek měřené vlhkosti půdy v ovocných sadech, jejichž výsledkem bylo stanovení orientačních koeficientů pro přepočet vlhkosti půdy v objemových procentech na hodnoty procentuálního nasycení kořenové zóny v rozsahu využitelné vodní kapacity (%VVK). Přepočtená hodnota z každého čidla byla pro potřebu srovnání měření s modelem přepočtena v poměru 2:3:3

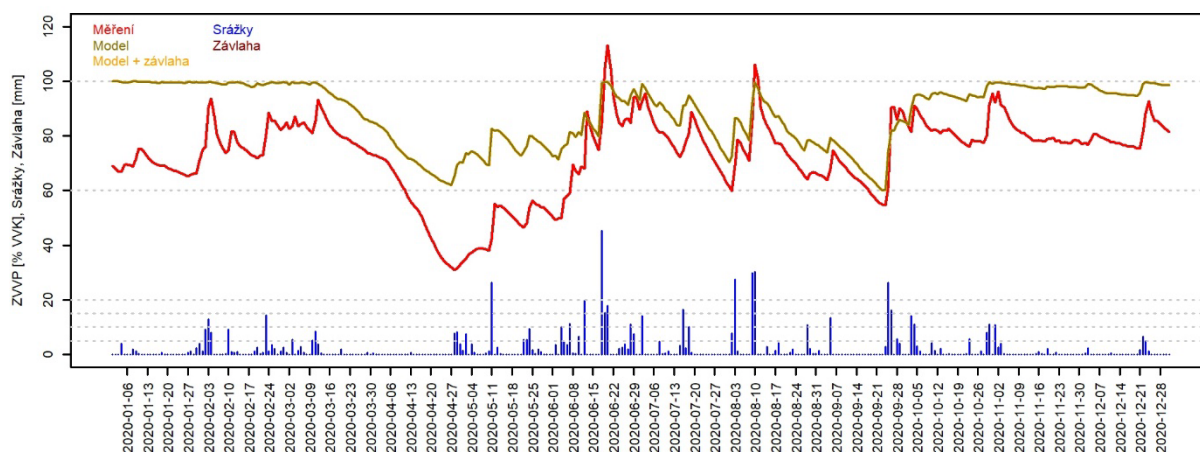
na průměrnou hodnotu pro profil 80 cm. Pro danou lokalitu je průměrná hodnota VVK 18 %, což pro hloubku profilu 80 cm představuje ekvivalent zásoby vody 144 mm. Se stejnou hodnotou je provozován také model AVISO v rámci jeho ladění a testování v projektu.

V rámci testování využitelnosti modelu pro plánování závlah bylo provedeno zadání závlahy v nezavlažovaných variantách porostu. Aplikace byla nastavena tak, že pokud poklesla modelová zásoba vody v půdě (ZVVP) pod hranici 60 % VVK, byla závlaha pro daný den nastavena na 10 mm. Hodnota 10 mm byla nastavena pro jednoduchost, nicméně, do modelu lze vstoupit s libovolnou hodnotou. Podmínkou aplikace bylo, aby v předešlém dni nebyly srážky vyšší než 5 mm a počet dnů od aplikace minulé závlahy nebyl menší než 3 dny.

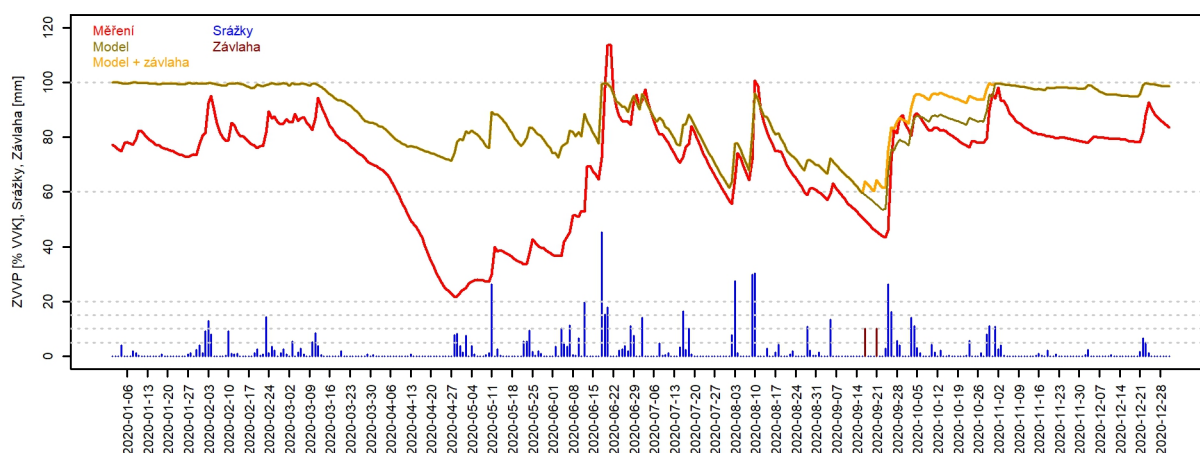
Výsledky modelu pro variantu bez závlahy a s umělou závlahou byly porovnány s měřenou vlhkostí půdy po uvedených přepočtech.

### 3. Výsledky

Počet dnů s aplikovanou závlahou podle modelu bylo v letech 2020 až 2023 celkem 12 pro variantu Gala Brookfield, z toho 7 v roce 2022 a 5 do konce července 2023. Pro variantu Red Jonaprince to bylo 16 aplikací, z toho po 2 v letech 2020 a 2021, 7 v roce 2022 a 5 do konce července 2023. Podrobný průběh předkládají grafy na Obr. 1 až Obr. 8 dále.

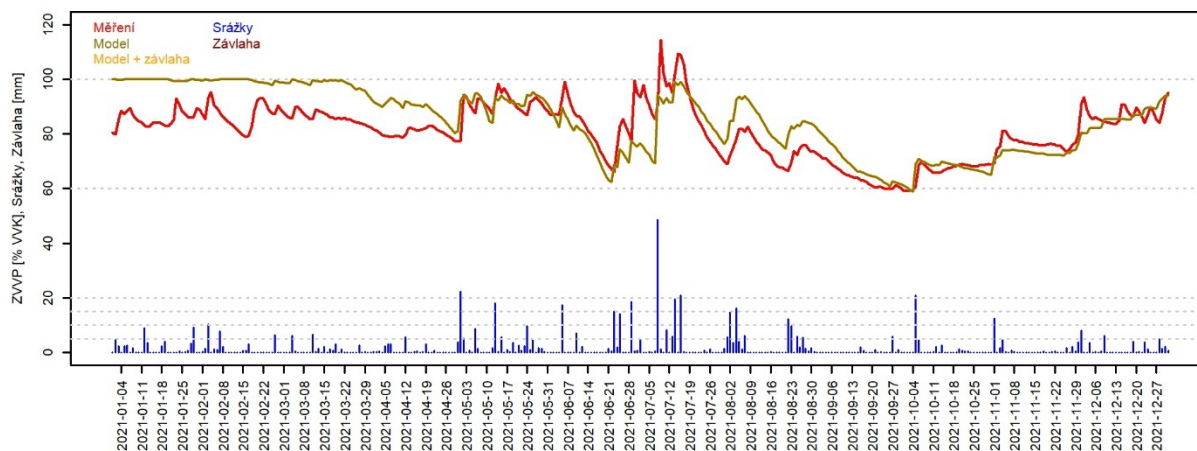


Obr. 1 Průběh měřených a modelových veličin - Gala Brookfield – 2020

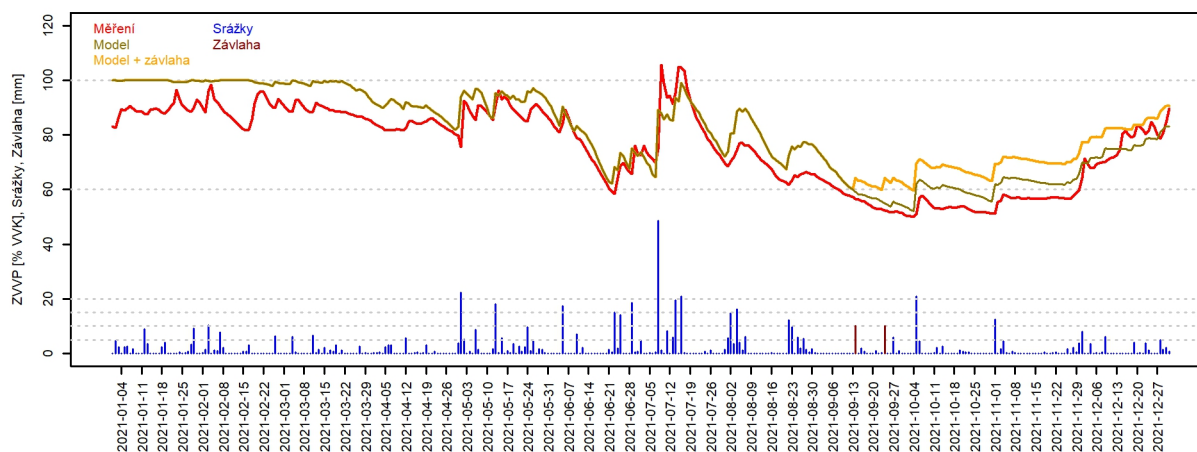


Obr. 2 Průběh měřených a modelových veličin - Red Jonaprince – 2020

V roce 2020 spadlo v období 1. 6. až 31. 8. ve studované lokalitě 342,9 mm srážek a po jarním sušším období se zásoba vody v půdě v průběhu letních měsíců držela převážně nad hranicí 60 % VVK. Model indikoval potřebu závlahy pouze ve 2. dekádě září v porostu Red Jonaprince. Srážky na konci září vydatně zásobu vody v půdě zvýšily.

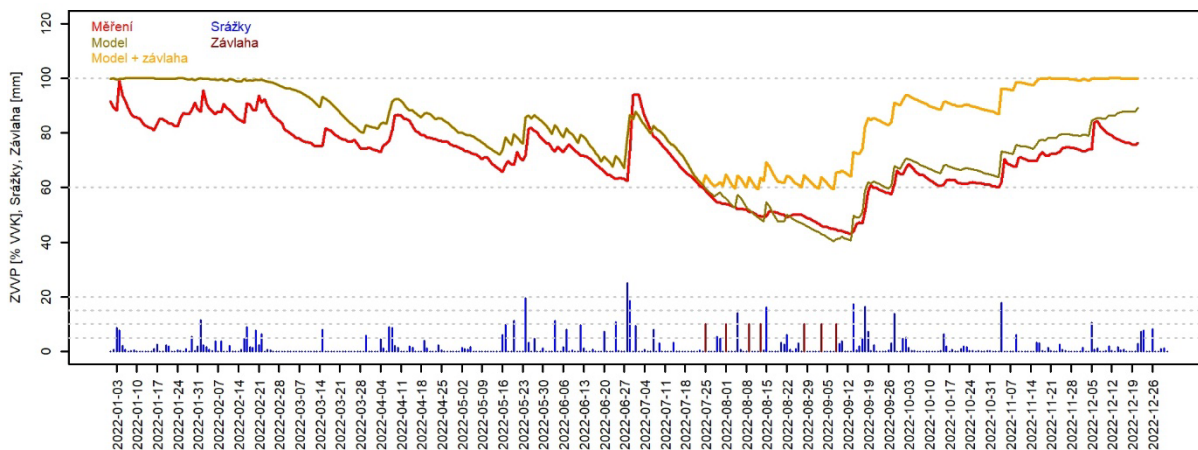


Obr. 3 Průběh měřených a modelových veličin – Gala Brookfield – 2021

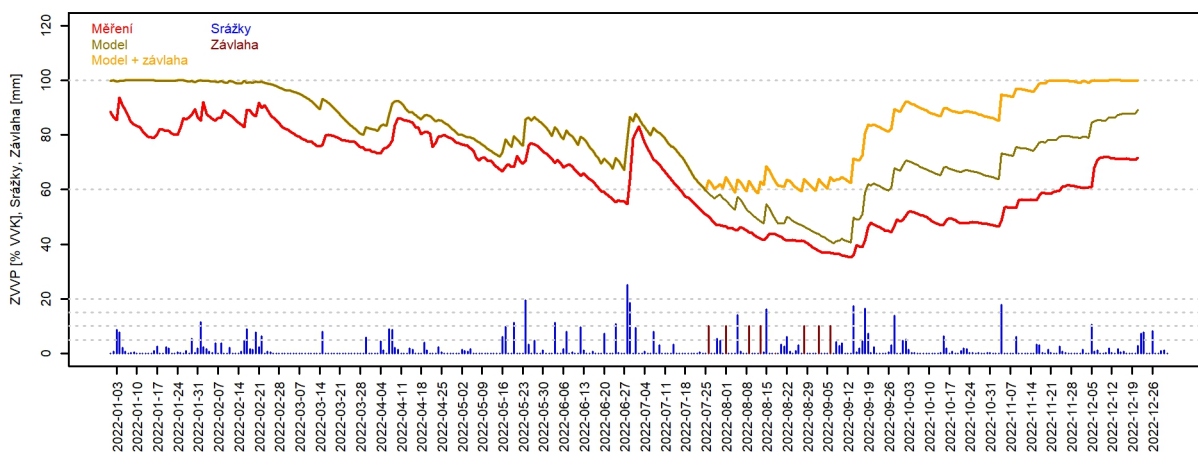


Obr. 4 Průběh měřených a modelových veličin – Red Jonaprince – 2021

V roce 2021 spadlo v období 1. 6. až 31. 8. ve studované lokalitě 283,1 mm srážek a zásoba vody v půdě v průběhu letních měsíců byla i v tomto roce převážně nad hranicí 60 % VVK. K poklesům zásoby vody v půdě docházelo v bezsrážkových epizodách v polovině července, polovině srpna a začátkem září, přičemž model indikoval potřebu závlahy až v zářiové epizodě. Proti roku 2020 byl podzim v roce 2021 výrazně sušší.



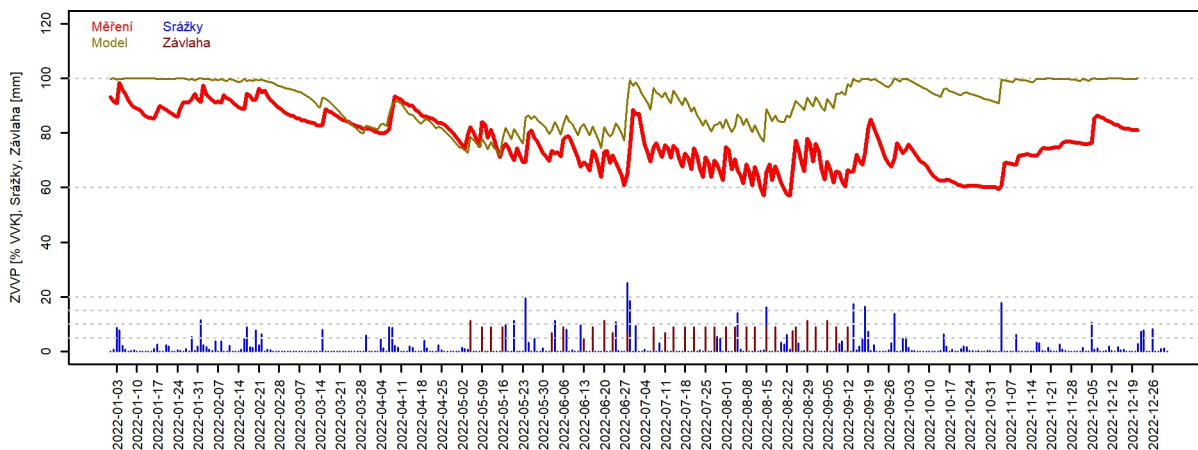
Obr. 5 Průběh měřených a modelových veličin – Gala Brookfield – 2022



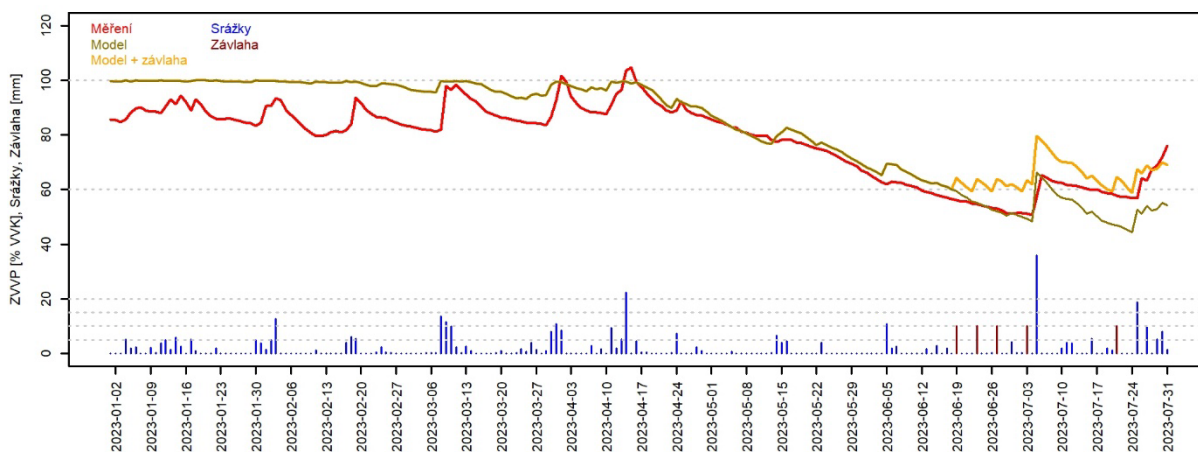
Obr. 6 Průběh měřených a modelových veličin – Red Jonaprince – 2022

V roce 2022 byly vláhové podmínky v sadech sušší nežli v předchozích letech, srážkový úhrn v letních měsících (od 1. 6. do 31. 8.) činil pouze 179,1 mm, což je zhruba polovina úhrnu v roce 2020. Zásoba vody v půdě podle modelu i měření poklesla pod hranici 60 % VVK již kolem poloviny července. Model zde indikuje závlahu v 7 případech, tzn. v tomto případě 70 mm.

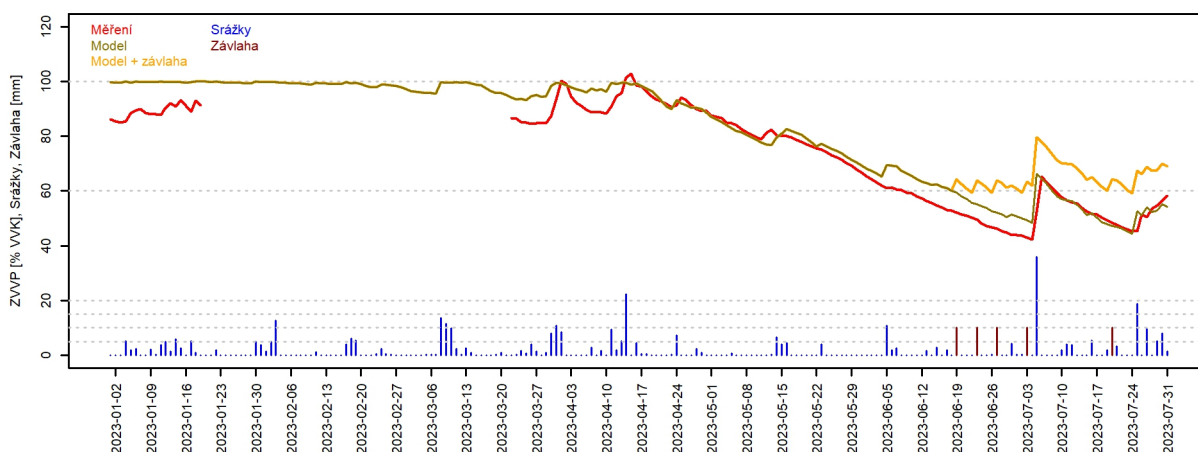
V plně zavlažované variantě (Obr. 7) pokusných sadů byla aplikována provozní závlaha již od počátku května a zásoba vody v půdě se zde držela po celou sezónu v rozsahu mezi 60 a 75 % VVK. Celkem bylo provedeno 31 závlah s úhrnem 273 mm. Takto provozovaná závlaha se v modelu AVISO projevila hodnotami zásoby vody v půdě mezi 80 a 95 %, tzn. cca o 20 % VVK výše nežli realita. Model se v této variantě držel s výsledky měřených hodnot pouze v průběhu dubna.



Obr. 7 Průběh měřených a modelových veličin – Red Jonaprince – plně zavlažovaná varianta – 2022



Obr. 8 Průběh měřených a modelových veličin – Gala Brookfield – 2023

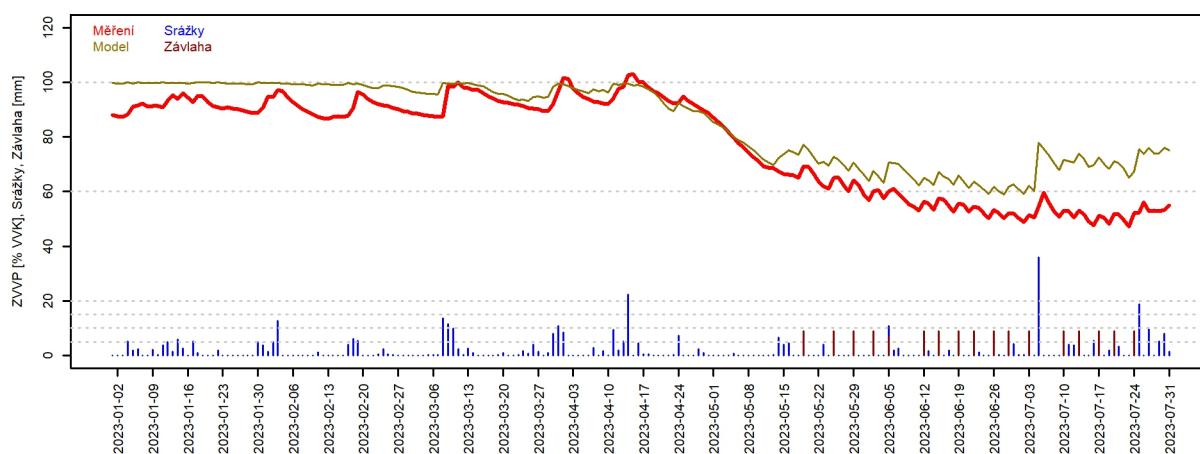


Obr. 9 Průběh měřených a modelových veličin – Red Jonaprince – 2023

V roce 2023 byl srážkový úhm v jarních měsících (od 1. 3. do 30. 5.) 159 mm, v červnu pouze 27,8 mm a v červenci 101,3 mm. Zásoba vody v půdě podle modelu i měření od poloviny dubna více méně stabilně klesala a pod hranici 60 % VVK přešla již v polovině června. Model AVISO indikuje do konce července 5 závlah (50 mm), v provozní plně zavlažované variantě (Obr. 10) byla spuštěna závlaha již 19. května a celkem bylo provedeno 17 aplikací s úhrnem



150 mm. V této variantě výpočtu se model AVISO s měřením v sadech rozchází při srážkách v polovině května a po vydatné srážce 35,9 mm 5. července.



Obr. 10 Průběh měřených a modelových veličin – Red Jonaprince – plně zavlažovaná varianta – 2023

#### 4. Diskuze

V každé vegetační sezóně z hodnocených 4 let se vyskytly období beze srážek, či s nižšími úhrny, na nichž je patrný pokles vlhkosti v půdě vlivem evapotranspirace porostu. Průběhy modelové zásoby vody v půdě se více méně shodují s průběhem vlhkosti ve studovaných porostech, tzn. nastavení modelového porostu a intenzita evapotranspirace je blízká reálným hodnotám. Nejlepší shoda je ve variantě Gala Brookfield v letech 2022 a 2023, což byly sušší roky. V porostu Red Jonaprince je nejlepší shoda v roce 2023 a to od dubna až do konce července. Model AVISO pracuje od počátku kalendářního roku se zásobou vody v půdě na 100 % VVK. Nastavení modelu na počátku jeho běhu na jinou hodnotu, případně průběžná kalibrace v průběhu sezony je možná. Tato možnost však nebyla při zpracování tohoto příspěvku využita, a to pro ilustraci, jak se běh modelu „ustálí“ bez vnějšího zásahu. Slabým místem porovnání měření a modelové zásoby vody v půdě jsou koeficienty přepočtu z objemových procent na hydrolimity. Vodítkem je reakce měření na atmosférické srážky a případně aplikovanou závlahu. Každé čidlo v sadech měří ve svém vlastním rozsahu hodnot, proto je přepočít prováděn nezávisle na všech třech čidlech zvlášť a až po té jsou hodnoty průměrovány pro modelovaný profil. Z několikaletého měření vychází zkušenost, že i tyto přepočtové koeficienty se časem mohou měnit, například v závislosti na sedání půdního profilu.

Oproti měření přístrojovou technikou v terénu funguje bilanční model s uvážením vstupních dat v jejich absolutní podobě, tzn. bez vlivu např. preferenčních cest či fyzikálních změn v půdním profilu. Z tohoto důvodu se výsledky modelu a měření rozcházejí. Špatnou shodu, resp. neshodu modelu s měřením model vykazuje v plně zavlažovaných variantách, kde zřejmě kumulací popsanych chyb dochází ke zvyšování rozdílu a tudíž nepřesnosti modelu. I přes uvedené slabiny modelování zásoby vody v půdě je patrné, že model AVISO je pro odhad potřeby závlahy využitelný. Velmi žádoucí je kontrolní měření vlhkosti, ať už kontinuální pomocí techniky anebo pomocí ambulantního odběru vzorků v průběhu sezóny.

#### 5. Závěr

Prezentované výsledky předkládají relativní shodu modelu s reálnými vláhovými podmínkami v průběhu vegetační sezóny. Pomocí nastavení prahové hodnoty pro požadovanou vlhkost, resp. nasycení půdního profilu vláhou, lze z modelu AVISO získat informaci o případné potřebě závlahy. Velikost aplikace může být stanovena například podle hodnoty evapotranspirace, podle deficitu vláhy pod nastavenou mezní hodnotu anebo fixně zadanou hodnotou.

Model AVISO v současné době (r. 2023) běží na ČHMÚ Brno a v denním kroku provádí výpočet modelové zásoby vody v půdě pro varianty ovocných dřevin uvedených v tomto příspěvku. V současné době pracuje model pouze s měřeními daty z minulosti, nicméně vstup předpovědních dat je také možný.

Ze strany uživatele je nutné nastavení požadované hladiny zásoby vody v půdě, která se také může v různém období roku měnit. Pro správnou funkci modelu a parametrizaci porostu je vhodné výsledky modelu validovat měřeními.

#### **Poděkování:**

Tato práce byla podpořena Ministerstvem zemědělství – projektem QK1910165 Moderní postupy v závlahovém režimu ovocných dřevin v podmínkách vodního deficitu.

#### **Literatura:**

HOUGH, M. N., JONES, R. J. A., 1997. The United Kingdom Meteorological Office rainfall and evaporation calculation system: MORECS version 2.0 - an overview. Hydrology and Earth System Sciences Discussions. European Geosciences Union, 1(2): 227–239. ISSN 1812-2116

KOHUT, M., 2007. Vláhová bilance zemědělské krajiny. Disertační práce. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta. Brno. 122 s.

FIALA, R., HORA, P., MÉSZÁROS, M., 2022. Srovnání modelovaných a měřených vláhových poměrů v ovocných sadech. Hospodaření s vodou v krajině, 13.–14. září 2022, Třeboň, s. 11–17. ISBN 978-80-7653-045-4

# Mapy vláhové bilance zemědělských plodin

## Maps of the water balance of agricultural crops

Zbyněk Janoušek, Vladimír Papaj, Jiří Brázda

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., oddělení Půdní služba, Žabovřeská 250, 156 00 Praha-Zbraslav, [janousek.zbynek@vumop.cz](mailto:janousek.zbynek@vumop.cz), [papaj.vladimir@vumop.cz](mailto:papaj.vladimir@vumop.cz), [brazda.jiri@vumop.cz](mailto:brazda.jiri@vumop.cz)

### Abstrakt

Mapy prezentují vláhovou bilanci (Duffková et al. 2020) skutečně pěstovaných plodin na základě deklarácí zemědělských subjektů na detailní úrovni DPB v období sedmi let 2016–2022. Jsou založeny na obdobných principech jako Kalkulačka vláhové potřeby (<https://vlaha.vumop.cz>), která umožňuje stanovit závlahové množství pro zvolené plodiny či osevní postupy až pro 10 vybraných DPB. Nově vytvořené mapy však obsahují vyhodnocení půdy zahrnuté v LPIS v rozsahu celé republiky. Jedná se o vyhodnocení vhodnosti reálně pěstovaných plodin z hlediska přirozeně dostupných zdrojů vody (srážky, zásoba vody v půdě, vztlínající podzemní voda), tedy bez umělých závlah a odvodnění. Při výpočtu byla použita nová klimatická data ČHMÚ za dekádu 2011–2020.

Cílem příspěvku je na základě zpracovaných dat identifikovat problematické lokality z hlediska dlouhodobé vláhové bilance v hodnoceném období (bez závlah a odvodnění). To nabídne srovnání v kontextu probíhající klimatické změny a ukáže potenciál přizpůsobení skladby pěstovaných plodin. Dostupnost vody v půdě ovlivňuje výnosy plodin a tím i ekonomickou efektivitu podniku. Znalost vhodnosti lokálních podmínek pro pěstování konkrétních plodin může výrazně pomoci při rozhodování o vhodném prostorovém rozmístění plodin, čímž může zajistit zlepšení dostupnosti vody.

**Klíčová slova:** vodní stres plodin, oblasti s dlouhodobým vodním deficitem, dostupnost vody, deklarované plodiny

### Abstract

The maps present the moisture balance (Duffková et al. 2020) of actual crops based on declarations from agricultural entities at a detailed level of DPB over a seven-year period from 2016 to 2022. They are based on similar principles to the Water Needs Calculator (<https://vlaha.vumop.cz>), which allows determining irrigation amounts for selected crops or sowing practices for up to 10 selected DPBs. However, the newly created maps include an assessment of soil included in LPIS throughout the entire country. This assessment focuses on the suitability of crops grown in real terms concerning naturally available water resources (precipitation, soil water content, rising groundwater), without artificial irrigation or drainage. The calculations utilized new climatic data from ČHMÚ for the decade 2011–2020.

The aim of the contribution is to identify problematic locations in terms of long-term moisture balance in the evaluated period (without irrigation or drainage) based on processed data. This will provide a comparison in the context of ongoing climate change and demonstrate the potential for adapting the composition of crops. The availability of water in the soil affects crop yields and, consequently, the economic efficiency of the business. Knowledge of the suitability of local conditions for growing specific crops can significantly assist in deciding on the appropriate spatial distribution of crops, thereby improving water accessibility.

**Keywords:** crop water stress, areas with long-term water deficit, water availability, declared crops

## 1. Úvod

Vláhová bilance je agroklimatická charakteristika, která představuje rozdíl mezi množstvím vody, jež může zemědělská plodina využít (srážky a voda v půdě) a množstvím vody, které plodina potřebuje pro svůj růst (plodinová evapotranspirace). Při výpočtu na základě dat za delší časové období (zpravidla za vegetační období za 10–30 let)

hovoříme o dlouhodobé vláhové bilanci. Pro úspěšné pěstování zemědělských plodin je znalost jejich vláhové bilance nezbytná.

V současné době můžeme pozorovat projevy klimatické změny, především ve vyšší četnosti extrémních jevů počasí (např. přívalové deště a intenzivnější sucho), což nepříznivě ovlivňuje dostupné množství vody, které mají rostliny k dispozici v průběhu celého vegetačního období. Zaznamenaný nárůst průměrné teploty vzduchu vede ke zvyšování vláhových potřeb plodin, a tedy k prohlubování deficitu půdní vláhy ve vláhové bilanci. Vzhledem k velmi pravděpodobnému pokračování tohoto trendu bude nezbytné zavést v zemědělství takové postupy, které zlepší dostupnost využitelné vody v půdě. Geograficky přesné informace o vláhové bilanci plodin (a jejich sledů) tak budou hrát významnou roli v rozhodování o výběru vhodných adaptačních opatření na změnu klimatu v rostlinné výrobě jednotlivých lokalit a regionů.

## 2. Metodika

Metoda dlouhodobé vláhové bilance (VB) porovnává vláhovou potřebu plodin ( $V_c$ ) s využitelnými zdroji vody (srážky, zásoba vody v půdě a kapilárně vztlínající podzemní voda) ve vegetačním období. Lze ji vyjádřit rovnicí (Duffková et al. 2020):

$$VB = r_1 \alpha S_r + r_2 W_z + W_k - V_c,$$

kde  $r_1$  – redukční součinitel pro úpravu  $\alpha$  pro sklon terénu  $> 10\%$ ,  $\alpha$  – součinitel využitelnosti srážek v závislosti na druhu půdy,  $S_r$  – srážkový normál vegetačního období,  $r_2$  – redukční součinitel pro úpravu  $W_z$  v závislosti na druhu půdy a sklonu terénu,  $W_z$  – využitelná zásoba vody v půdě,  $W_k$  – využitelná vztlínající podzemní voda,  $V_c$  – vláhová potřeba plodiny (plodinová evapotranspirace).

Plodinová vláhová potřeba ( $V_c$ ) je počítána metodou FAO-56 (Allen a kol. 1998). Jsou zahrnuty také další podstatné faktory, jako je hladina podzemní vody. Při výpočtu jsou použita klimatická data ČHMÚ za dekádu 2011–2020 a také data z ČSN 75 0434 (Meliorace – Potřeba vody pro doplňkovou závlahu). Vypočtené hodnoty vláhové bilance jsou následně rozčleněny do čtyř kategorií podle vodního stresu plodin, a to pomocí hydrolimitů (polní vodní kapacita, bod snížené dostupnosti, bod vadnutí): 1. bez vodního stresu (nezavlažovat), 2. mírný vodní stres, 3. střední a 4. silný. Podrobný popis výpočtu je uveden v metodice (Duffková et al. 2020).

Důležitým zdrojem dat jsou skutečně pěstované plodiny na základě deklarácí zemědělských subjektů (v Jednotné žádosti) na detailní úrovni jimi užívaných dílů půdních bloků (DPB). Sedmiletá řada 2016–2022 již poskytuje dostatečnou datovou základnu pro vyhodnocení dlouhodobé vláhové potřeby sledů pěstovaných plodin.

Dlouhodobou vláhovou bilanci bylo možné vypočítat pro následující plodiny: brambory, čirok, hořčice bílá, hrách, ječmen jarní, ječmen ozimý, jetel luční, jetelovino trávy, kukuřice na siláž, kukuřice na zrno, mák, oves, pšenice jarní, pšenice ozimá, řepa cukrová, řepka ozimá, slunečnice, sója, trávy intenzivní, tritikale, vojtěška a žito ozimé. Výměra plodin s vypočtenou vláhovou bilancí činila průměrně 95,5 % celkové výměry deklarovaných plodin (průměr let 2016–2022). Plodiny bez vypočtené vláhové bilance zaujímaly průměrně 110 tis. ha z 2,44 mil. ha deklarovaných plodin. Vzhledem k tomu, že v datech o deklarovaných plodinách není rozlišena kukuřice na zrno a na siláž (přičemž jejich vláhová bilance se výrazně liší), byly k určení jejich podílů na výměře využity Soupisy ploch osevů (ČSÚ) z let 2016–2022.

V rámci jednoho DPB může být v daném roce deklarováno více plodin. V tom případě představuje výsledek (vláhová bilance, kategorie vodního stresu) vážený průměr hodnot pro jednotlivé plodiny, kde vahou je jejich výměra v rámci daného DPB. Z výsledných hodnot jednotlivých let byl nakonec vypočítán celkový výsledek za období 2016–2022.

## 3. Výsledky

Mapy prezentují vláhovou bilanci skutečně pěstovaných plodin na základě deklarácí zemědělských subjektů na detailní úrovni DPB v období sedmi let 2016–2022. Jsou založeny na obdobných principech jako Kalkulačka vláhové potřeby (<https://vlaha.vumop.cz>), která umožňuje stanovit závlahové množství pro zvolené plodiny či osevní postupy až pro 10 vybraných DPB. Nově vytvořené mapy však obsahují vyhodnocení půdy zahrnuté v LPIS v rozsahu celé republiky. Jedná

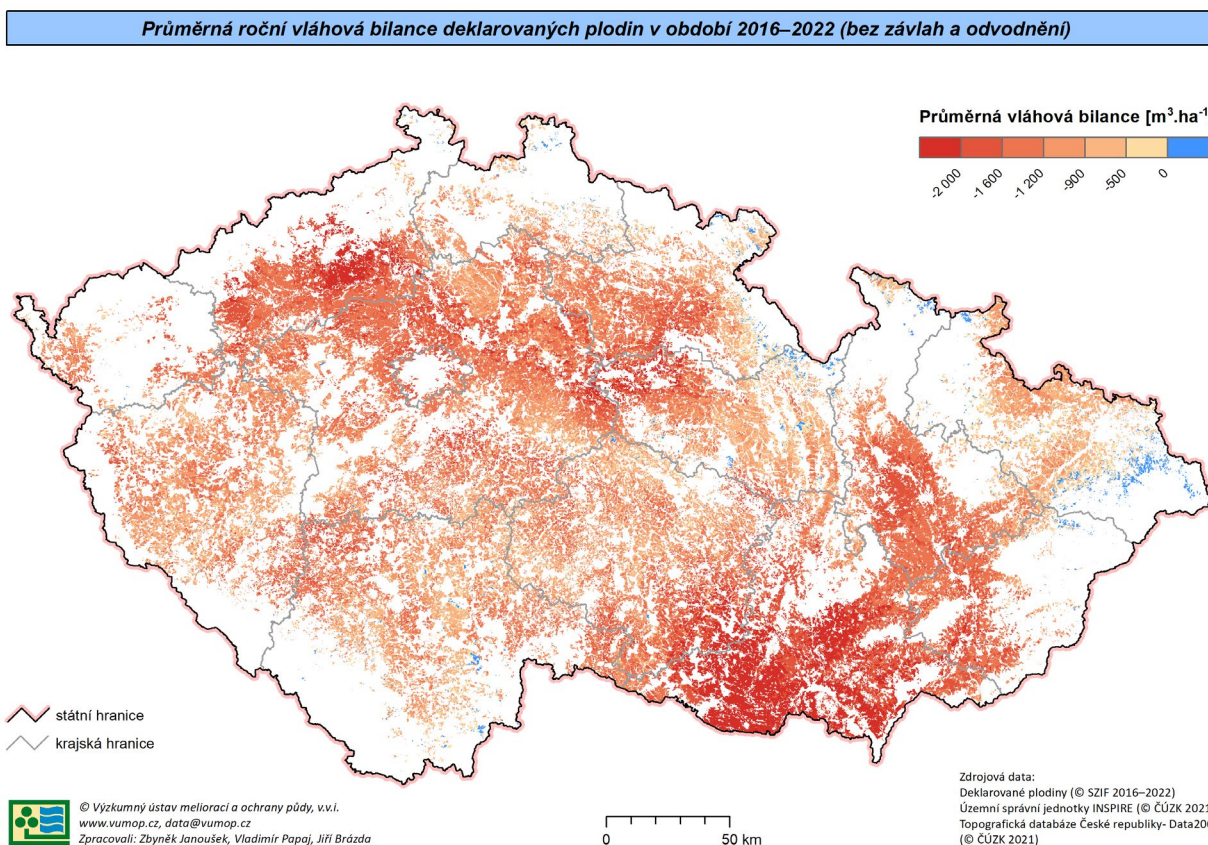
se o vyhodnocení vhodnosti reálně pěstovaných plodin z hlediska přirozeně dostupných zdrojů vody (srážky, zásoba vody v půdě, vztlínající podzemní voda), tedy bez umělých závlah a odvodnění.

Celková průměrná roční vláhová bilance deklarovaných plodin v Česku za období 2016–2022 je  $-1303,1 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  (obr. 1). Celková průměrná kategorie vodního stresu u deklarovaných plodin v daném období vychází na 2,92 (což po zaokrouhlení odpovídá střednímu vodnímu stresu); středním nebo silným vodním stresem byly deklarované plodiny ohroženy (bez zohlednění závlah a odvodnění) průměrně po dobu 4,89 let ze sledovaných 7 let.

Střední či silný vodní stres u deklarovaných plodin ve všech sedmi letech byl zaznamenán celkem na 41,6 % výměry, po dobu šesti let na 13,5 % výměry a pět let na 9,9 % (obr. 2). Výměra půdy, kde byl střední či silný vodní stres zaznamenán po dobu 4, 3, 2 let a 1 roku je velmi podobná a pohybuje se mezi 6,4 a 7,0 %. Na 8,6 % výměry nebyl střední či silný vodní stres zaznamenán v žádném roce.

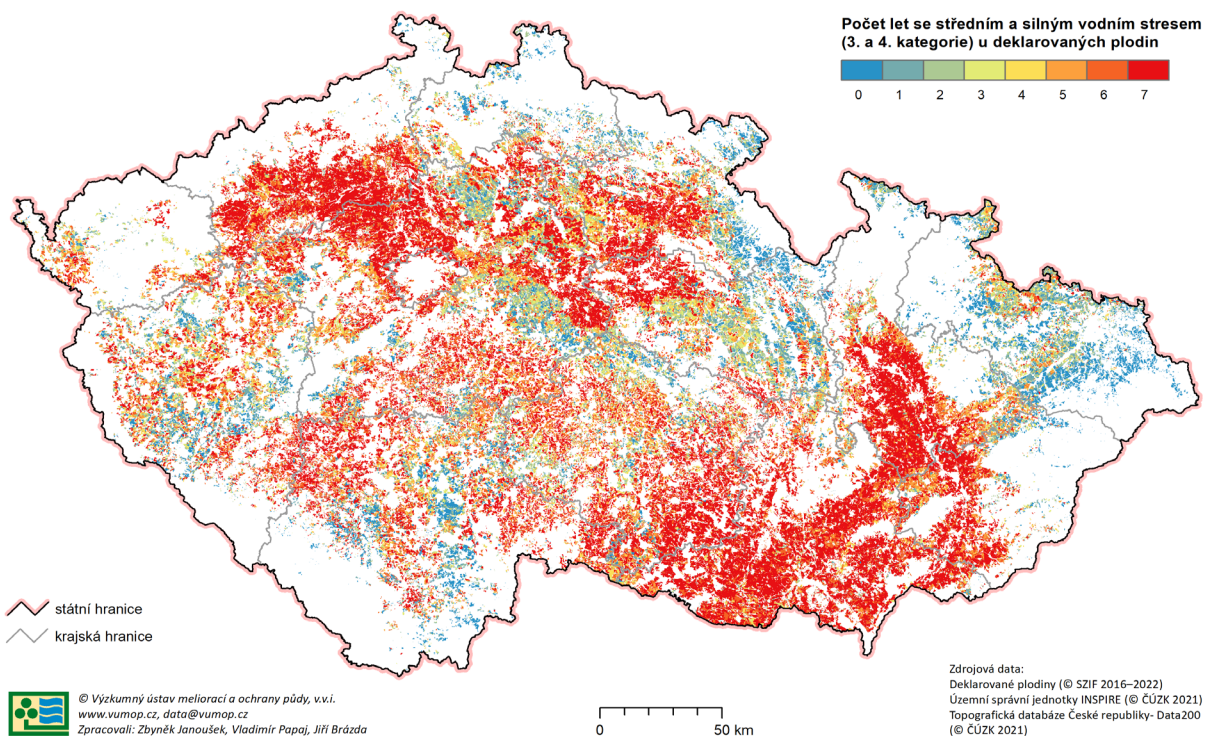
Celkem na 1,1 % půdy v Česku vyšla v celém období 2016–2022 nejlepší průměrná kategorie: bez vodního stresu (a potřeby zavlažování) deklarovaných plodin, na 22,3 % výměry je průměrnou kategorií mírný vodní stres, nejčastější je střední vodní stres na 58,7 % výměry a konečně silný vodní stres ohrožuje 17,9 % výměry (obr. 3).

Celkové zastoupení jednotlivých kategorií vodního stresu se v průběhu hodnoceného období příliš nezměnilo, za pozornost však stojí nárůst podílu 4. kategorie (silný stres) ze 17,3 % na 18,3 % celkové výměry půdy za pouhých 7 let. Vývoj podílu výměry s dlouhodobým vodním deficitem, tj. kategorie středního a silného vodního stresu deklarovaných plodin, zachycuje obr. 4. Vývoj celkové vláhové bilance má opačný průběh, tj. po relativně příznivější hodnotě v roce 2019 následuje prohlubování vodního deficitu.



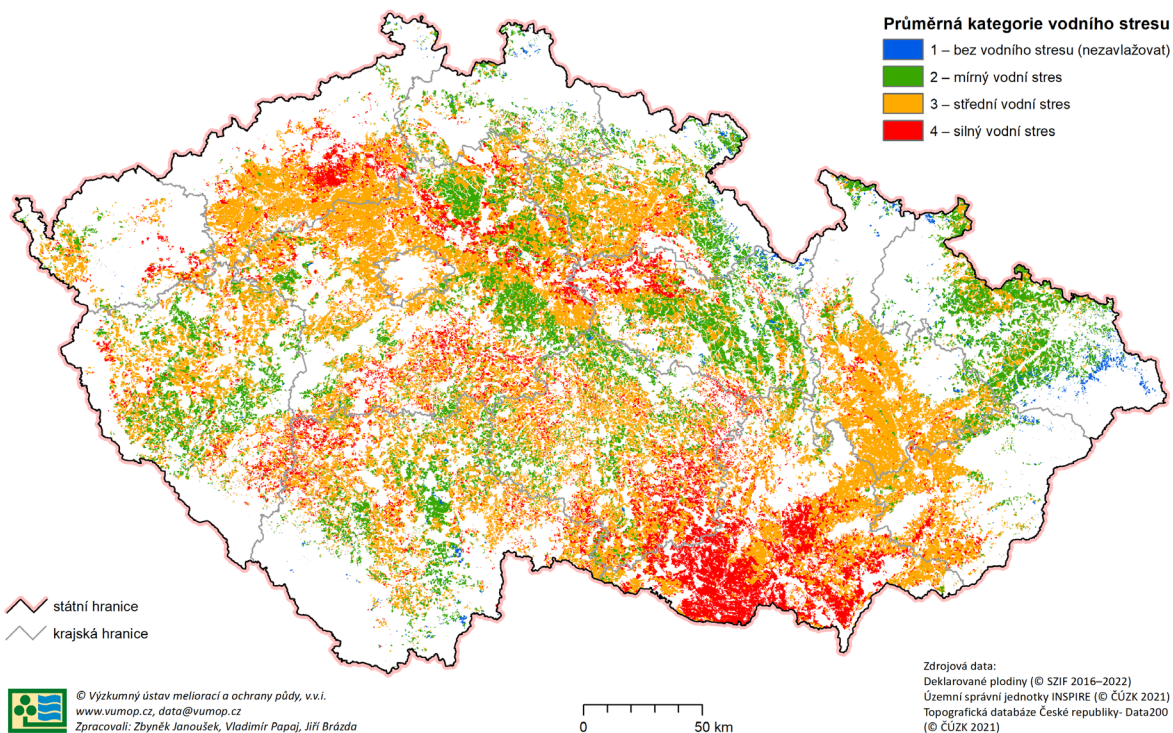
Obr. 1 Průměrná roční vláhová bilance deklarovaných plodin v období 2016–2022 (bez závlah a odvodnění)

**Oblasti s dlouhodobým vodním deficitem 2016–2022 (bez závlah a odvodnění)**



Obr. 2 Oblasti s dlouhodobým vodním deficitem 2016–2022 (bez závlah a odvodnění)

**Průměrná kategorie vodního stresu z vláhové bilance u deklarovaných plodin 2016–2022 (bez závlah a odvodnění)**



Obr. 3 Průměrná kategorie vodního stresu z vláhové bilance u deklarovaných plodin 2016–2022 (bez závlah a odvodnění)



Obr. 4 Podíl půdy s dlouhodobým vodním deficitem v letech 2016–2022 (bez závlah a odvodnění), tj. se silným či středním vodním stresem deklarovaných plodin

Celkem bylo vyhodnoceno 2,55 mil. ha půdy, na kterých byla alespoň v jednom roce deklarována jedna ze sledovaných plodin umožňujících výpočet vláhové bilance (viz metodiku výše). Na 76,4 % výměry byla některá ze sledovaných plodin všech 7 let, dále na 13,7 % výměry 6 let a na 3,8 % pak 5 let. Pro kratší období se hodnoty pohybují již jen mezi 1,3 a 1,9 % celkové výměry. V ostatních letech mohla být deklarována některá z dalších plodin, úhor apod., případně půda přestala být využívána k pěstování plodin. Průměrně byly sledované plodiny přítomné na hodnocené půdě po dobu 6,52 let ze 7.

#### 4. Diskuse

Mapy zobrazují výsledky na základě deklarovaných hlavních zemědělských plodin. Vstupní data nezahrnují plochy předplodin, meziplodin a následných plodin. Dále je nutné zdůraznit, že se jedná se o vyhodnocení vláhové bilance reálně pěstovaných plodin z hlediska přirozeně dostupných zdrojů vody (srážky, zásoba vody v půdě, vztlínající podzemní voda), tedy bez umělých závlah a odvodnění. Jsou sice k dispozici také mapové podklady o umístění zemědělských závlah, nikoli však informace o množství vody, které bylo konkrétně v jednotlivých letech a lokalitách dodáno. Oproti stávající aplikaci „Kalkulačka vláhové potřeby“, která umožňuje vyhodnotit vláhovou bilanci a stanovit závlahové množství pro zvolené plodiny či osevní postupy pro 10 vybraných DPB, obsahují nově vytvořené mapy vyhodnocení orné půdy zahrnuté v LPIS v rozsahu celé republiky.

#### 5. Závěr

Cílem příspěvku bylo na základě zpracovaných dat identifikovat problematické lokality z hlediska dlouhodobé vláhové bilance v hodnoceném období (bez závlah a odvodnění). To bylo naplněno mapovými výstupy využívajícími podrobná data na úrovni DPB a aktuální klimatická data ČHMÚ za dekádu 2011–2020 pro území celého Česka.

Hlavní výstupy práce představuje mapa průměrné roční vláhové bilance deklarovaných plodin v období 2016–2022 (bez závlah a odvodnění); dále mapa oblastí s dlouhodobým vodním deficitem – dle počtu let, kdy byly deklarované plodiny ohroženy středním či silným vodním stresem; a mapa průměrné kategorie vodního stresu z vláhové bilance u deklarovaných plodin rovněž za období 2016–2022.

Dostupnost vody v půdě ovlivňuje výnosy plodin a tím i ekonomickou efektivitu podniku. Výsledné mapy ukazují potenciál přizpůsobení skladby pěstovaných plodin také s ohledem na změnu klimatu. Znalost vhodnosti lokálních podmínek pro pěstování konkrétních plodin může výrazně pomoci při rozhodování o vhodném prostorovém rozmístění plodin, čímž může zajistit zlepšení dostupnosti vody.

**Literatura:**

ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH M., 1998. Crop evapotranspiration, Guidelines for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper, 56. Rome: FAO. ISBN 92-5-304219-2. <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm#Contents>

ČSN 75 0434 Meliorace – Potřeba vody pro doplňkovou závlahu. Účinnost od 1. 4. 2017. Česká technická norma, ICS 13.060.10, 65.020.20

DUFFKOVÁ, R., FUČÍK, P., HOLUB, J. et al., 2020. Metodika hodnocení vláhových potřeb zemědělských plodin pro účely závlah: Certifikovaná metodika. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. ISBN 978-80-88323-12-9.

**Poděkování:**

Tato práce vznikla v rámci řešení projektu TAČR TK03010098, Klima a krajina: Water – Energy Nexus.



# Trendy podporující vysušování české krajiny v posledních 30 letech

## Trends supporting the drying of the Czech landscape in the last 30 years

Tomáš Kvítek<sup>1</sup>, Jaroslav Rožnovský<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3178/8, 150 00 Praha 5, [tomas.kvitek@pvl.cz](mailto:tomas.kvitek@pvl.cz)

<sup>2</sup> Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno, [jaroslav.roznovsky@chmi.cz](mailto:jaroslav.roznovsky@chmi.cz)

<sup>3</sup> Zahradnická fakulta Mendelovy univerzity v Brně, Valtická 337, 691 44 Lednice, [roznov@mendelu.cz](mailto:roznov@mendelu.cz)

### Abstrakt

Voda představuje pro krajinu limitující faktor v mnoha směrech, pro život krajiny, ale i pro mnohé další procesy je nezastupitelná. Voda v krajině je zdrojem vody pro společnost, tedy nezastupitelná je i pro ni. Kvantitativní a kvalitativní složky hydrocyklu jsou velmi složitými procesy v dlouhodobém režimu. Jejich zákonitosti se člověk snaží poznat, aby je mohl využít ke své spotřebě, ale také proto, aby vlivy svého hospodaření dokázal korigovat. Jestliže s prokazatelně rostoucí teplotou vzduchu roste četnost vláhového deficitu, je logické, že se hovoří o velmi závažném problému, a to vysušování české krajiny. Zde je nutné zdůraznit, že ani v oblasti vědeckého výzkumu není jednoznačný pohled. Příčinu vysušování naší krajiny nejčastěji vyjadřujeme jednak hypotézou o dopadu zvyšování teploty vzduchu a následně evapotranspirací. Jejím zvýšením se z daného objemu srážek infiltrují do půdy menší objemy vody, tedy je méně vody podzemní, dochází ke snížení až zániku pramenů. Uváděna je též druhá hypotéza, že příčinou vysušování jsou zásahy člověka do krajinných procesů, tedy změna rostlinného pokryvu, ale také způsob hospodaření zvláště na zemědělské půdě. Nejčastěji hovoříme o šesti tendencích, kterými je vysušování dáno. Jde o zvyšování výparu z vodní hladiny, a tím snižování její dostupnosti. Dále jde o zrychlení odtoku vody za přívalových srážek, a tím snížení procenta vody vsakující do půdy a snížení hladiny podzemní vody. Analyzujeme v tomto směru vliv bezorebné technologie, kdy se projevuje omezení infiltrace a snížení zásobování podzemní vody. Hodnoceno je též zalesňování, vliv lesa na zvýšení evapotranspirace. S tou je spojena další tendence, a to zvyšování výnosu plodin, tedy opět vyšší evapotranspirace. Předmětem studia jsou také mokřady. Jak hypotézy, tak tendence je třeba podrobně studovat, určit jejich podíl na vysušování, což je velmi náročné. Jejich podrobné poznání je však jediným správným směrem k racionálnímu řešení.

**Klíčová slova:** voda, srážky, evapotranspirace, sucho

### Abstract

Water is a limiting factor for the landscape in many ways, for the life of the landscape, but it is also irreplaceable for many other processes. Water in the landscape is a source for society, i.e. it is irreplaceable for it as well. The quantitative and qualitative components of the hydrocycle are very complex processes in the long-term regime. Man tries to get to know their laws so that he can use them for his own consumption, but also so that he can correct the effects of his management. If the frequency of moisture deficit increases with a demonstrably increasing air temperature, it is logical that there is talk of a very serious problem, namely the drying landscape. It must be emphasized here that even in the field of scientific research there is no unequivocal view. The cause of the drying out of our landscape is most often expressed by a hypothesis about the impact of increasing air temperature and then by evapotranspiration. By increasing it, smaller volumes of water infiltrate the soil from a given volume of precipitation, i.e. there is less underground water, the springs are reduced or even disappear. A second hypothesis is also presented, that the cause of drying is human intervention in landscape processes, i.e. a change in plant cover, but also in the way of management, especially on agricultural land. We most often talk about six tendencies that cause drying. It is about increasing evaporation from the water surface, thereby reducing its availability. Furthermore, it is about accelerating the outflow of water during torrential rainfall, thereby

reducing the percentage of water seeping into the soil and lowering the groundwater level. We analyze the effect of no-till technology, which shows the reduction of groundwater supply. Afforestation, the effect of the forest on increasing evapotranspiration is also evaluated. Another tendency is connected with it, namely increasing crop yields, i.e. higher evapotranspiration again. Wetlands are also a subject of study. Both hypotheses and tendencies need to be studied in detail, to determine their contribution to drying, which is very challenging.

**Keywords:** water, precipitation, evapotranspiration, drought

## 1. Úvod

Množství vody v naší krajině je ovlivněno změnou klimatu, která je příčinou změn jednotlivých fází oběhu vody v naší krajině, a tím i změnami obsahu vody v tocích, nádržích. Vyvolávají častější poklesy hladiny podzemní vody v mělkých vrtech, rozdílné výskyty sucha a povodní. Všechny tyto změny jsou svými dopady pro současnou společnost negativní, a vyžadují podrobnou analýzu příčin těchto stavů. Jak vyplývá z různých studií, tyto projevy jsou dány zvyšující se četností výskytů extrémních stavů počasí. Probíhající změna klimatu je nejčastěji dokládána zvyšováním teploty vzduchu, hovoříme o tzv. globálním oteplování (Rožnovský a Střeščík, 2021). Možné vlivy rostoucí teploty vzduchu jsou hodnoceny z různých pohledů, často jsou studovány v širokých souvislostech (Soukhovolsky et al, 2022, Zahradníček et al, 2017).

Pokud chceme hodnotit množství vody v krajině, musíme začít od hodnocení našeho podnebí. To je typické svou proměnlivostí, která je dána geografickou polohou a reliéfem našeho území. Jsme součástí mírného klimatického pásu, ovšem v oblasti přechodného klimatu středoevropského (Kolektiv autorů 1958). Významnou roli sehrávají cirkulační a geografické poměry. V Atlasu podnebí Československa (1958) a Podnebí ČSSR – Tabulky (1960) jsou uvedeny výstupy zpracování za období 1901 až 1950. Mapy klimatických prvků v Atlasu podnebí Česka (Tolasz et al., 2007) byly vypracovány z meteorologických údajů za období 1961 až 2000. Vidíme, že desetiletí 1951 až 1960 zpracováno není. Proto většina studií změny klimatu využívá období od roku 1961.

Od 80. let 20. století je pozorován významný nárůst teplot vzduchu a to ve všech sezónách s výjimkou podzimu (Střeščík et al., 2014). Převážný počet roků v posledním desetiletí měl extrémně vysoké teploty vzduchu. Jde o roky 2012, 2015, 2017, 2018, ale také 2019 a 2020. Nejvyšší maximum teploty vzduchu na území ČR bylo naměřeno 20. 8. 2012 v Dobřichovicích, a to 40,4 °C. Nejnižší minimum teploty vzduchu, -42,2 °C se vyskytlo v Litvínovicích u Českých Budějovic 11. února 1929.

Pro území České republiky jsou jediným zdrojem vody atmosférické srážky. V rámci různých studií změny klimatu se odhaduje, že na rozdíl od teplot vzduchu se roční úhrny srážek významně nezmění. V západní a severní Evropě srážky v poslední době rostou a porostou i nadále, v jižní a východní Evropě naopak klesají a klesat budou dále. Naše území leží v oblasti nevýznamné změny.(Střeščík, 2013).

V mnoha odborných pracích se konstatuje, že se česká krajina vysušuje i bez ohledu na stabilní úhrny srážek. Např. Ložek a kol, 2020 konstatují, že za vysušování české krajiny, může ztráta hydrodiverzity (rozmanitost vodních stanovišť i způsobů, jak s vodou zacházet) již celá desetiletí. Autoři uvádějí, že „ztráta“ vody v naší současné krajině je podobně jako u půdy způsobena jednak ničením hydrodiverzity a snižováním půdní retence a dále i klimatickými změnami. Na tomto místě je nutno se zmínit o rozdílech mezi retencí a akumulací vody. Lze konstatovat, že retence vody v krajině, tedy krátkodobé zadržení vody v půdě, ale i v celé ploše krajiny posiluje výpar vody. Podle některých hydrologů tedy představuje ztrátu vody. Akumulace vody, přirozená (podzemní voda) i umělá (velké vodní nádrže a velké rybníky) představuje větší zásobní objemy vody oproti evaporaci a zvyšuje zásoby vody v horninovém prostředí a v krajině.

## 2. Metodika

K popisu procesů v krajině byly využity dostupné podklady z literatury. Charakteristiky podnebí, byly vyjádřeny publikovanými údaji teploty vzduchu, úhrnů srážek, evapotranspirace. Využity byly mapy vláhové bilance uváděné v rámci „Monitoringu sucha“ na portálu Českého hydrometeorologického ústavu (<https://www.chmi.cz/historicka-data/> a <https://www.chmi.cz/aktualni-situace/sucho>). Dále byly využity podklady podniku Povodí Vltavy, státního podniku.

### 3. Výsledky

Pro všechny kontinenty jsou základním zdrojem srážky, pro naše území je to zdroj jediný. Průměrný roční srážkový úhrn pro celou ČR se v závislosti na hodnocených obdobích pohybuje kolem 700 mm. V jednotlivých letech dosahuje ovšem hodnot často velmi odlišných: V nejsušším roce 2003 to bylo pouhých 513 mm, v r. 1983 to bylo 551 mm, v nejdeštivějším roce 1966 plných 860 mm, v r. 2002 856 mm a v r. 1981 852 mm (Rožnovský, 2019). Ovšem u srážek musíme zdůraznit jejich vysokou proměnlivost jak z hlediska doby výskytu, tak místa. Přes malou plochu našeho území zaznamenáváme velké rozdíly v ročních úhrnech. V nejsušších částech našeho území jsou průměrné roční úhrny za období 1961 až 2020 málo přes 450 mm, na návětrí je pár mm přes 1700.

Z rámci zastoupení úhrnů srážek v jednotlivých ročních obdobích v rámci roku, zjišťujeme, že nejvíce jich je v létě (červen, červenec, srpen), v průměru 36,8 % z roční sumy. V jednotlivých regionech se toto procento jen mírně liší, relativně nejdeštivější léta jsou ve středních Čechách (39,2 %), nejsušší v Podkrušnohoří (33 %). Pro jednotlivé stanice jsou ovšem rozdíly mnohem větší. Největší podíl srážek na letní období je pozorován v Žatci (44,9 %). V daném roce procento letních srážek velmi kolísá, kdy v celkově nejsušším létě v r. 1962, činil jejich podíl jen 23,9 % ročního úhrnu, zatímco v r. 1966 a 2011 to bylo plných 47,0 %.

Na jaře (březen, duben, květen) spadne v průměru 23,5 % ročního úhrnu srážek. V dlouhodobém pohledu srážkové úhrny naopak klesají, což při větším poklesu může být nepříjemné pro zemědělce, nejvíce ve středních Čechách a nejméně ve východních Čechách. Podzimní (září, říjen, listopad) úhrny srážek v průměru pro naše území představují 21,9 %. Nejnižší zastoupení mají zimní úhrny (leden, únor a prosinec).

Stejně jako se liší průběh srážek v jednotlivých sezonách, liší se i průběh v jednotlivých měsících, a to i v rámci téže sezony. Za pozornost stojí postupný přesun hlavního letního maxima: zatímco na počátku období bylo výrazné maximum v červnu, postupem času se přesunulo na červenec. Roční variace pro celé období vykazuje ploché maximum od června do srpna, s malým zvýšením v červenci. Jsou malé rozdíly mezi regiony: červnové maximum v porovnání s červencovým je výraznější v regionech jižních (jižní Morava, jižní a západní Čechy).

Jinak je tomu se sezónními srážkovými úhrny. V létě srážek přibývá zřetelně více než celoroční průměr. Protože letní srážky jsou dány z větší části intenzivními lokálními bouřkami, lze předpokládat větší výskyt právě těchto jevů. To má sice za následek přibývání množství letních srážek jako celku, ale protože voda spadne v krátké době najednou, větší část jí odteče a v krajině nezůstává. Více srážek tedy nepřináší větší zásoby vláhy. Naproti tomu na jaře je pozorován zřetelný pokles srážek. Proto na počátku vegetačního období můžou srážky chybět, zvláště v krajích, kde i tak jsou celkové úhrny nízké. Srážkové úhrny na podzim a v zimě, z pohledu vegetačního období méně zajímavé, slabě rostou, avšak méně než srážkové úhrny celoroční. Pro sezónní srážky v regionech platí totéž, co pro srážky celostátní: na západě spíše přibývají, na východě ubývají, a tento úbytek je výraznější v nížinách.

Pro rostliny z hlediska dostupnosti vody v krajině je rozhodující vlhkost půdy. Výsledky mnoha studií potvrzují znalost, že ve vegetačním období je zvláště vlhkost této půdy výsledkem složitého procesu nejen distribuce srážek, kdy hloubka infiltrace je podle úhrnů, ale i teploty půdy. Vlhkost půdy má nejvyšší hodnoty v podzimních a zimních měsících, ale již v průběhu března začíná vlhkost klesat, přitom jaro je obdobím, kdy vláhová potřeba rostlin nejvyšší (Litschmann et al., 2020, Dufková et al., 2020). Rozhodující roli z hlediska vláhové bilance sehrává evapotranspirace, na plochách bez rostlin pouze evaporace (Beran et al., 2019). Je nutné zdůraznit, že zvýšení teploty vzduchu má vliv na evapotranspiraci, takže zvláště při nízkých srážkách dochází k výskytům sucha, tedy velmi nízkým vlhkostem půdy. S prokazatelným růstem teploty vzduchu musíme počítat i do budoucna (Rožnovský a Střeščík, 2019)

#### 3. 1 Hypotézy vysušování naší krajiny

Na závažný problém vysušování české krajiny lze tedy nahlížet z pohledu dvou hypotéz. Ta první vychází z poznatků o zvyšování teploty vzduchu a následně evapotranspirace, díky kterým je v krajině menší objem vody (větší výpar), která by měla vsakovat do půdy a hydrogeologické struktury. Tím se stává, že je méně vody v podzemních vodách, v hypodermickém odtoku, následně i ve vodních tocích, v pramenech, v mokřadech. Druhá hypotéza konstatuje, že za vše může člověk tím, že narovnal vodní toky a odvodnil krajinu, odlesnil ji, utužil půdu, zbavil jí organické hmoty. Popřípadě i to, že člověk zrušil malý oběh vody v krajině. Tedy, kdyby tu nebyly zásahy člověka, byl by tu dnes „vodní

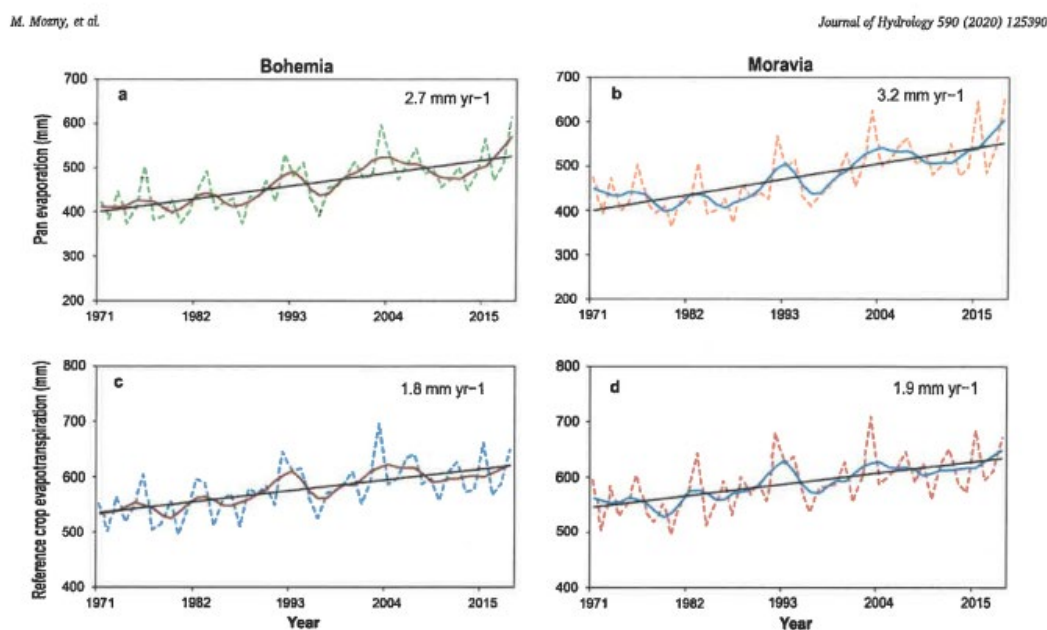
ráj“ na zemi. Jsem toho názoru, že je třeba propojit obě hypotézy do jednoho celku, a ne vše svádět jen na člověka exploatující českou krajinu již více než jedno tisíciletí.

### 3. 2 Tendence vysušování

V krajině současného Česka posledních tří dekad, (nebváme se o odvodňování zemědělské půdy, které bylo též dříve významnou tendencí, to je na samostatný příběh, který by popisoval období s dostatkem vody ve srážkách, sněhu a menším výparem a výnosem plodin) existuje minimálně šest, pravděpodobně jich je i více, jasných dlouhodobých tendencí souvisejících s vysušováním české krajiny.

**První tendencí** je výpar z vodní hladiny (evaporace). Ta se zvýšila za dobu 60 let z hodnot 2,0–2,5 na hodnoty 3,0–3,5 mm/den (Beran a kol., 2019). Pro dokumentaci tohoto stavu uvádíme i graf kolektivu Možný et al (2020). Ti pracují s větším nárůstem tohoto trendu u evaporace, ale i s trendem referenční evapotranspirace (v grafech jsou uvedeny hodnoty zvýšení za dekádu).

Co představuje tedy jen ten menší odhad zvýšení výparu o 1 mm (z půdy, z povrchu vegetace) za období 60 let pro podzemní vody? Pro představu, co to znamená pro výměru 1 km<sup>2</sup> plochy, kde se mohou vyskytovat rybníky, mokřady a vodní plochy, zemědělská půda. Jeden km<sup>2</sup> = 1 000 m x 1 000 m = 1 000 000 m<sup>2</sup> x 1 mm/den = zvýšení výparu o 1 mil. l/den oproti roku 1957, tj. 1 000 m<sup>3</sup>/jeden kilometr čtvereční/den. Za období květen až říjen tj. za 185 dní x 1 000 m<sup>3</sup> = 185 tis. m<sup>3</sup> vody za vegetační období z 1 km<sup>2</sup>. Zdá se 1 mm/den jako malé zvýšení? A to je jen 1 km<sup>2</sup>! Zvýšení denní evaporace jen o 1 mm, oproti roku 1957, způsobuje, že do hydrogeologické struktury na 1 km<sup>2</sup> plochy zasakuje o 1 mil. l vody méně každý den, tj. každou vteřinu minus 11,57 l vody. Pro přehlednost, jak se situace mění, uvádíme i data dle atlasu podnebí. Evaporace se pohybuje v úhrnech 250–700 mm (tj. 0,68–1,92 mm/den za V.–IX.). Roční úhrny evapotranspirace pak jsou zde uvedeny nižší (do 400 mm/rok), tudíž i sezónní jsou v rozmezí pod 2,0–2,5 mm/den. To je tedy ve stručnosti jen výpar.



Obr. 1 Průběh evapotranspirace za období 1971 až 2015, převzato Možný et al. 2020

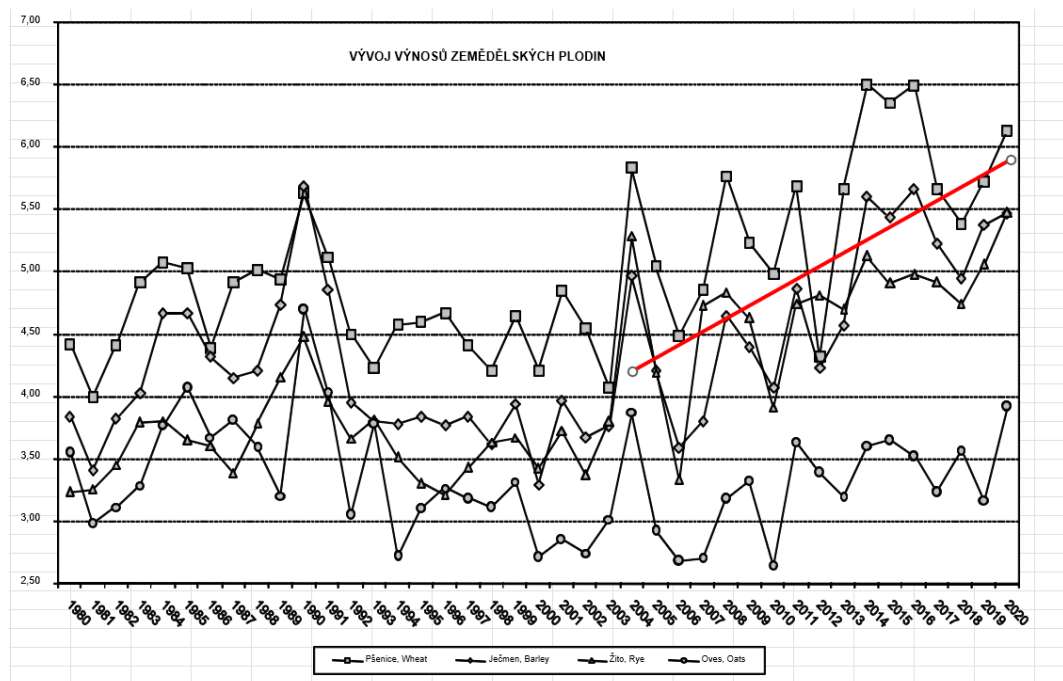
**Druhou** tendencí je rychlý odtok vody za přivalových srážek. Pokud se sejdou „vhodné“ stanovištní a meteo podmínky (období roku, pěstovaný porost, intenzita srážky), pak z 1 km<sup>2</sup> zemědělské půdy může odtéci za 24 hodin i 3 000 000 m<sup>3</sup> vody. To platí jak pro ornou půdu, tak i pro lesy a louky. Pouze objem odtoku je u trvalých porostů menší, ale též obrovský. Ta voda logicky chybí v podzemí, nezasákla, rychle odtekla.

**Třetí tendencí** jsou bezorebné technologie. Skoro každý je vítá, omezují erozi půdy. Ale jsou signály, že dochází k velmi mělkému podpovrchovému odtoku vody po mělkém ztuhnutém podorničí, pokud není ztuhnutá vrstva rozrušena

podrýváním (Zumr, 2023). Tedy vzniká půdní profil s velmi omezenou funkcí infiltrace vody do hlubších půdních vrstev. Současná situace s vysycháním krajiny je tedy pravděpodobně výsledkem i této tendence.

**Čtvrtou tendencí** je zalesňování. Od roku 1920 do roku 2020 bylo v Česku zalesněno 300 000 ha zemědělské půdy. Šálek (2021), uvádí, citace: „je namístě zmínit jeden paradox. I když to jde proti intuici, tak lesy v mírném podnebném pásu klima spíše oteplují, protože lesní porost má menší albedo (odrazivost), takže pohlcuje více tepla ze slunečního záření než třeba louka. To teplo jde navíc do atmosféry ve větší míře jako latentní teplo ve vypařené vodě (tzv. transpiraci). Pokud bychom zanedbali emise a tzv. propady (jímání) uhlíku, pomínuli bychom ekologickou úlohu lesa a přáli bychom si pouze studenější planetu, tak bychom měli lesy v mírném pásu, slovy klasika, „popilit“. Ale doufám, že tento „návod“ nikdo nevezme vážně, hlavně před Evropskou komisí by se to mělo držet v tajnosti, aby takto nezdůvodňovala další ničení lesů z důvodu boje o chladnější podnebí. Doplnuji, v tropech je role lesa v energetické bilanci pravděpodobně opačná, větší podíl lesa tam klima spíše ochlazuje“, konec citace. Pokud by měl les pouze srážky menší než evapotranspirace, je celkem jasné, že nemá podmínky pro existenci. Zde je vhodná situace připomenout, že voda v krajině se pohybuje jednak jako povrchová, ale také jako podzemní. Právě lužní lesy jsou svou existencí vázány na vodu z povodní a podzemí. Jinými slovy mají k dispozici více vody, než na jejich území přináší srážky. Pokud bychom úpravami v krajině omezily další zdroje vody, tedy v tomto případě z povodní a pozemní vodu, tak les bude postupně odumírat. Právě vodohospodářské úpravy jižní Moravy jsou tohoto stavu příkladem. Je tedy nutno přemýšlet o tom, kde jsou nevhodnější (z hlediska geomorfologie) podmínky pro růst lesa.

**Pátou tendencí** je zvyšování výnosu plodin a znázorněný trend od roku 2004 (Obr. 2). Větší výnos = větší evapotranspirace, tedy méně vody pro zasakování do hydrogeologické struktury.



Obr. 2 Vývoj výnosů zemědělských plodin za období 1981 až 2020.

**Šestou tendencí** jsou mokřady. Například nedostatek vody na jižní Moravě je dlouhodobá, historická záležitost, dokladovaná v mnoha odborných pracích a studiích, a je jasné, že pokud celková evapotranspirace dlouhodobě překračuje srážkový úhrn, nelze zde čekat kladnou hydrologickou bilanci a tedy i dostatek vody v mokřadech, pokud je jediným zdrojem vody pro mokřady srážka. Nelze se divit, že dochází k zániku mokřadů (Obr. 3), pokud pro mokřad neexistuje i jiný zdroj vody (podzemní voda, prameny, drenážní voda). Nelze si myslet, že mokřady vydrží kdekoli a po jakoukoliv dlouhou dobu. To záleží na klimatu a samozřejmě i na hospodaření v dané oblasti. Na srážkách a teplotě vzduchu. To dokladují data ČHMÚ.

### Když není převod vody do HGS, v suchém období **mělký mokřad** dopadne takto:



Obr. 3 Změna mělkého mokřadu vlivem nedostatku vody

V současné době je propagace mokřadů totální. Mají „zachránit“ českou krajinu před suchem. Položme si tedy otázku. Kde vzniká mokřad? Tam kde je nepropustné podloží a dostatek srážek či jiný zdroj vody na pokrytí evapotranspirace. Pokud by bylo propustné podloží, voda by vsakovala do půdy a horninového prostředí a nevytvářel by se mokřad. To neplatí však vždy a všude. Infiltrace vody do půdy je proměnlivá v čase a závisí i na intenzitě srážek, kolik vody zůstane v nějakém území na povrchu pro vznik mokřadních podmínek. Mokřady ale výrazně nemohou podporovat vsak vody do půdy, jinak by nevznikly. Není důvod bránit vzniku mokřadů, ale je třeba prokázat jejich životnost v dané lokalitě a i v čase. Není to otázka přírodovědecká, že by tu bylo dobře pro tu a tu druhovou diverzitu, ale je to problém především hydrologický, problém dlouhodobé bilance vody v daném území, ale i problém orografické bariéry. Pokud ta chybí, tak se vlhčí podmínky v daném území nemohou dlouhodobě udržet. Vždy je nutno se ptát, máme k dispozici pro navrhovaný, či současný mokřad dostatek vody i do budoucna? K dispozici není tolik financí, abychom si mohli dovolit neúčelně vynakládat finanční prostředky státu.

**Podstatu nedostatku vody v krajině** a v povodí vidíme i jinde. Každá řeka drénuje své okolí, vždy tomu tak bylo a snad i bude nadále, jinak by voda v řekách nebyla. Že je vodu třeba zasakovat v celé ploše povodí, tedy tam, kde jsou pro to příhodné podmínky, o tom není třeba diskutovat. Nezadržovat ji jen na povrchu. Ale kdo ze soukromých vlastníků a pachtýřů na toto slyší, kdo z nich ví o těchto tendencích vysušování české krajiny? Zde je velký úkol státu, změnit dotační politiku MŽP i MZe, a finančně přes bonusy motivovat vlastníky pozemků a nájemce k tomu, aby slyšeli na realizaci přírodě blízkých a drobných technických opatření na jejich pozemcích, s prioritou zasakování vody do hydrogeologické struktury.

Voda v podzemí se nevypařuje a její běh pod terénem se měří na měsíce, roky, století, tisíciletí. Tato voda je schopna bez úhony přestát i delší období sucha. Pokud vytvoříme funkční systémy zasakování vody, bude jí dostatek i pro delší období sucha a to i pro mokřady, vodní toky. Komplexní projekty Povodí Vltavy, státní podnik ve spolupráci s VÚMOP, v.v.i., SWECO, VRV, Aquatisem, ČVUT jsou již zahrnuty v Plánech dílčích povodí Vltavy jako Listy opatření a jsou zaměřeny na celý systém oběhu vody v povodí a současně i na zlepšení jakosti vody. Odkaz na uvedené projekty a jejich výsledky je uveden zde: <https://atlaspl.vumop.cz/>. Nejsme ti, kterým by byl lhotejný nedostatek vody v krajině. Ale oběh vody v krajině, který je a byl vždy velmi ovlivňován dynamickým, nedeterministickým počasím, vidíme v souvislostech s exploatací české krajiny a v budování systémů adaptačních opatření, které je pro naši krajinu historicky dáno.

## 4. Závěr

Změna klimatu nejen na našem území je mnoha výzkumy doložena. Ale oběh vody v naší krajině vyžaduje komplexní analýzu. Není možno vytrhávat jednotlivosti a realizovat osamocená opatření v krajině bez souvislosti s hydrologickou bilancí. Velmi rychle se budeme muset rozhodnout (pokud bude pokračovat nárůst teploty vzduchu a výparu), zda chceme vodu více zasakovat pro zvýšení hladiny podzemní vody, a tedy i větší a z dlouhodobého hlediska stabilnější vydatnost vodních toků, mimo jiné i pro zásobování obyvatel pitnou vodou, nebo ji předávat do ovzduší? Již teď jsou registrovány poklesy hladin podzemní vody, méně vody v pramenech. Pro udržení naší krajiny ve všech jejích funkcích je rozhodující množství dostupné. Proto musíme podrobně studovat všechny podmínky v krajině a na základě těchto studií provádět následné hospodářské zásahy.

### Literatura:

BERAN, A., KAŠPÁREK, L., VIZINA, A. A ŠUHÁJKOVÁ, P., 2019. Ztráta vody výparem z volné vodní hladiny. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, roč. 61, č. 4, str. 12–18. ISSN 0322-8916.

DUFKOVÁ, R., P. FUČÍK, M. MIHÁLIKOVÁ, J. HABERLE, J. ROŽNOVSKÝ, J. HOLUB, Z. KULHAVÝ, S. MATULA, T. STŘEDA, P. SVOBODA, T. KHEL, T. HEJDUK, J. BRZEZINA, H. ŠŘEDOVÁ, G. KUREŠOVÁ, I. NOVOTNÝ, J. VOPRAVIL, F. CHUCHMA, I. PELÍŠEK, K. BÁTĚKOVÁ, T. ŠIMON a C. ALMAZ. *Metodika hodnocení vláhových potřeb zemědělských plodin pro účely závlah: Certifikovaná metodika*. Praha: VÚMOP, 2020. ISBN 978-80-88323-12-9 (tištěná verze).

KOLEKTIV AUTORŮ (1958): Atlas podnebí Československé republiky. Ústřední správageodézie a kartografie, Praha.

KOLEKTIV: Podnebí ČSSR - Tabulky. HMÚ Praha 1961, 379 s.

KURPELOVÁ M., COUFAL L., ČULÍK, J. (1975): Agroklimatické podmienky ČSSR. Bratislava, Príroda, 270 s.

LITSCHMANN T., J. ROŽNOVSKÝ, P. SALAŠ, J. BURGOVÁ, M. LOŠÁK a T. VYMYSLICKÝ. Stanovení půdních hydrolimitů na písčitých půdách Hodonínska *in situ*. In: *ROŽNOVSKÝ, J. a T. LITSCHMANN (eds). Sborník příspěvků z mezinárodní konference „Hospodaření s vodou v krajině“, Třeboň 9.–10. 9. 2020* [CD]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2020. ISBN 978-80-7653-002-7.

LOŽEK, V., CÍLEK, V., LISÁ, L., BAJERT, A. Geodiverzita a hydrodiverzita. 2022. Nakladatelství Dokořán., 232 s.

MOŽNÝ et al., 2020. Past (1971–2018) and future (2021–2100) pan evaporation rates in the Czech Republic. *Journal of Hydrology*, 590 p.

ROŽNOVSKÝ, J. a J. STŘEŠTÍK. Dynamika a trendy hodnot klimatologických ukazatelů sucha. In: *Salaš, P. (ed): "Rostliny v suchých oblastech a klimatická změna". Lednice 23.–24. 10. 2019* Zahradnictví: Vědecká příloha. Praha: Profi Press, 2019b, XVIII(11), 248 - 256. ISSN 1213-7596

ROŽNOVSKÝ, J. a J. STŘEŠTÍK: Změny teploty vzduchu za posledních 30 let na území České republiky. *Úroda* 12, roč. LXIX, 2021, vědecká příloha, s. 75–80. ISSN 0139-6013.

ROŽNOVSKÝ, Jaroslav, Filip CHUCHMA a Rostislav FIALA. Základní vláhová bilance, ukazatel sucha na území České republiky. *ACTA HYDROLOGICA SLOVACA*. 2018, **19**(2), 171-178.

ROŽNOVSKÝ, Jaroslav. Water Balance and Phase of Hydrocycle Dynamics. In: ZELENAKOVA, Martina, Jitka FIALOVÁ a Abdelazim M. NEGM, ed. *Assessment and Protection of Water Resources in the Czech Republic*. Springer Water, 2019a, s. 403–414. ISBN 978-3-030-18362-2.

SOUKHOVOLSKY V, KOVALEV A, TARASOVA O, MODLINGER R, KŘENOVÁ Z, MEZEI P, ŠKVARENINA J, ROŽNOVSKÝ J, KOROLYOVA N, MAJDÁK A, JAKUŠ R. Wind Damage and Temperature Effect on Tree Mortality Caused by *Ips typographus* L.: Phase Transition Model. *Forests*. 2022; 13(2):180. <https://doi.org/10.3390/f13020180>

ŠÁLEK, M., 2021. Lidé do ulic. Výbuch zelených plánů. Česko, Německo, Rusko: Expert už ví – CZ24.NEWS.

TOLASZ, R., et al. (2007): Atlas podnebí Česka. Český hydrometeorologický ústav, Univerzita Palackého v Olomouci, 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1 (CHMI), 978-80-244-1626-7 (UP).

ZAHRADNÍČEK, P., J. ROŽNOVSKÝ, P. ŠTĚPÁNEK a F. CHUCHMA, 2017. Výskyt silných mrazů koncem měsíce dubna 2016 s ohledem na škody způsobené v ovocnářství. In: *Mrazy a jejich dopady – sborník abstraktů z mezinárodní konference, Hrubá Voda 26.–27. 4. 2017*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2017. ISBN 978-80-87577-69-1.

ZUMR, D., 2023. Význam půdních vlastností pro dynamiku odtoku a retenci vody v krajině. Habilitační práce, ČVUT v Praze.

### **Poděkování**

Článek je součástí výstupů z řešení projektu Technologické agentury ČR, č. projektu SS02030040, PERUN a Národní agentury pro zemědělský výzkum, QK1920280 „Inovace bonitačního systému zemědělských půd (BPEJ) pro potřeby státní správy“.



# Rozdíly v teplotních a srážkových normálech za roky 1961-1990 a 1991–2020 na stanici Troubsko

## Differences in temperature and precipitation normals for the years 1961–1990 and 1991–2020 at the Troubsko station

Jaroslav Lang

Zemědělský výzkum, spol. s r.o., Zahradní 1, 664 41 Troubsko, lang@vupt.cz

### Abstrakt

Cílem práce bylo porovnat dva po sobě jdoucí dlouhodobé srážkové a teplotní normály na lokalitě Troubsko. Jedná se o normály vypočtené z let 1961–1990, které se používaly do roku 2020 a o normály z let 1991–2020, které vstoupily v platnost v roce 2021. Bylo zjištěno, že hodnoty teplot jsou v novém (současném) normálu zvýšeny v každém měsíci, nejvíce v červenci a srpnu, oba o 1,8 °C, dále potom v lednu o 1,6 °C. Průměrně se za celý rok zvýšila normálová teplota o 1,1 °C. Teplota vzduchu se zvyšuje nejen ve vegetačních měsících, ale i v měsících vegetačního klidu. To v zemědělské výrobě přináší řadu problémů. Teplé podzimy a zimy způsobují přerůstání ozimých plodin, které jsou tímto náchylné na vymrzání a na choroby. V teplejších zimách nevymrzají choroby ani škůdci, přežívají jinak vymrzající plevele. V oblastech podobných lokalitě Troubsko a teplejších chybí sněhová pokrývka a orná půda zůstává v zimních měsících často bez pokryvu. Dochází tak ke snižování albeda, nadměrnému ohřevu půdy a k výparu vody z ní. Ve srážkových normálech došlo jak k poklesu, tak i k navýšení množství srážek ve srovnání s minulými měsíčními normály. V případě navýšení se jedná o měsíce únor, červenec, září (s nejvyšším rozdílem +11,9 mm) a říjen. V ostatních měsících jsou v současných normálech hodnoty srážek nižší, než v normálech předchozích, největší pokles je v měsíci listopadu a to o 9,5 mm. Nižší množství srážek v měsících listopad až únor, jejichž dlouhodobý pokles se odráží právě ve vypočteném normálu, způsobuje absenci zimní vláhly důležité pro vzházení a růst plodin setých na jaře.

**Klíčová slova:** srážky, teplota, klimatický normál

### Abstract

The aim of the study was to compare two consecutive long-term precipitation and temperature normals at locality Troubsko. These are the normals calculated from 1961–1990, which were used until 2020, and the normals from 1991–2020, which came into force in 2021. It was found that the temperature values in the new (current) normal are increased in every month, most of all in July and August, both by 1.8 °C, followed by 1.6 °C in January. On average over the whole year, the normal temperature has increased by 1.1 °C. Air temperature increases not only in the growing months but also in the dormant months. This poses a number of problems for agricultural production. Warm autumns and winters cause overgrowth of winter crops, which are susceptible to frost and disease. In warmer winters, diseases and pests do not freeze out, but otherwise freezing weeds survive. In areas similar to Troubsko and warmer areas, there is no snow cover and arable land is often left uncovered during the winter months. This leads to a reduction in albedo, excessive heating of the soil and evaporation of water from the soil. There was both a decrease and an increase in precipitation normals compared to past monthly normals. In the case of the increase, the months are February, July, September (with the highest difference of +11.9 mm) and October. In the other months, the precipitation values in the current normals are lower than in the previous normals, with the largest decrease in the month of November, by 9.5 mm. The lower amount of precipitation in the months of November to February, whose long-term decrease is reflected precisely in the calculated normal, causes the absence of winter moisture important for the emergence and growth of crops sown in spring.

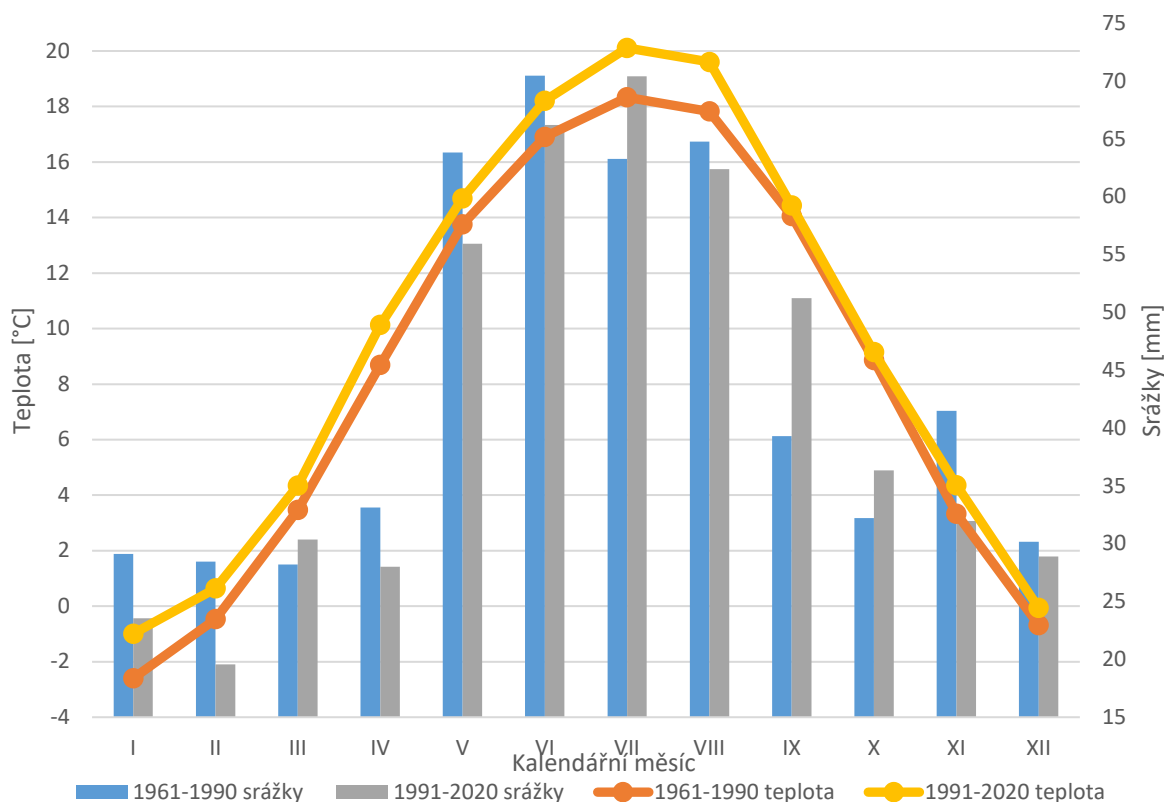
**Keywords:** precipitation, temperature, climatic normal

## 1. Úvod

Srážkové a teplotní normály nejsou záležitostí pouze klimatologickou, jak by se mohlo na první pohled jevit. Jejich hodnoty jsou využívány i v mnoha nepříbuzných oborech. Například vodárenské společnosti používají srážkový normál dané oblasti pro výpočet úhrady stočného za odvádění srážkových vod (VaK, 2023). Nebo v oblasti zdravotnických věd se sleduje vliv klimatické změny na zdraví a úmrtnost obyvatelstva, přičemž sledované období se vyjadřuje nárůstem nebo odchylkami teplot od normálu ve sledovaném období (EPA, 2023; Knobová, 2010). Na průběhu počasí je přímo závislá zemědělská výroba. Každý zemědělec, pokud chce být úspěšný, musí dokonale znát svoji výrobní oblast také z hlediska srážek a teplot. Na základě těchto znalostí a dalších zkušeností racionálně volí osevní postupy a sledy. V zemědělské výrobě slouží normály pro širší a obecnou charakteristiku daného území, z níž si rolník může vytvořit představu o klimatických podmínkách stanoviště, anebo je využít pro bližší hodnocení spojené většinou s vlastním měřením. Aby charakteristika podmínek stanoviště byla co nejpřesnější, využívají se hodnoty dlouhodobých normálů. Standardní klimatické normály dle Světové meteorologické organizace jsou počítány jako 30leté průměry z homogenizovaných a doplněných řad klimatických prvků. Od roku 1991 do roku 2020 byla jako normál počítána měření z období 1961–1990. Od roku 2021 by se měly používat nové normály vypočtené z let 1991–2020. To, že dochází ke změnám v podobě nárůstu teplot a rozložení srážek není pochyb. Podrobné informace, včetně predikcí, lze najít v mnoha vědeckých pracích (např. Hewitt et al., 2008, Vlček a kol. 2011) i v tiskových zprávách pověřených organizací (ČHMÚ, 2021). Tento článek se zabývá porovnáním dvou třicetiletých teplotních a srážkových normálů: normály z období 1961–1990 a 1991–2020 z dat naměřených na certifikované meteorologické stanici Troubsko.

## 2. Metodika

V článku jsou porovnávány dva po sobě jdoucí srážkové a teplotní normály. Jeden aktuální (naměřená data z let 1991–2020) a druhý předchozí (1961–1990). Data pro výpočet obou normálů jsou pořízena z meteorologické stanice Troubsko, kterou provozuje pobočka ČHMÚ Brno. Teplotní normál pro každý měsíc je vypočten jako průměr naměřených měsíčních hodnot za období 30ti let, srážkový normál je vypočten jako průměrný měsíční úhrn srážek za období 30ti let. Troubsko patří, dle Quittovy klasifikace (1971), do mírně teplé oblasti MT 11, charakterizované jako: jaro je mírně teplé a krátké, léto je dlouhé, teplé a suché, podzim je mírně teplý a krátký, zima je mírně teplá, velmi suchá a krátká s krátkým trváním sněhové pokrývky. Suma srážek ve vegetačním období je 350–400 mm (In: Hruban, 2019). Lokalita Troubsko se nachází jihozápadně od Brna, v severní části Panonského termofytika, patří do řepařské výrobní oblasti, s nadmořskou výškou 270 m, průměrnou roční teplotou 9,6 °C, ve vegetaci (duben – září) 16,2 °C. Roční suma srážek činí 504,9 mm, ve vegetaci 334,2 mm.



Graf 1 Srovnání dlouhodobých teplotních a srážkových normálů (1961–1990 a 1991–2020) v měsíčních krocích na stanici Troubsko

### 3. Výsledky

V grafu 1 jsou uvedeny dva po sobě jdoucí dlouhodobé teplotní a srážkové normály v měsíčních krocích. Jeden teplotní i srážkový normál je z let 1961–1990, který se používal do roku 2020, druhý je z let 1991–2020, který se používá od roku 2021. Barevně odlišené sloupce v grafu vyjadřují srážky, jejichž číselná osa je vpravo, spojnice vyjadřují teploty, jejichž číselná osa je vlevo.

#### Teplotní normály

Z grafu 1 je dobře patrné, že nový teplotní normál (1991–2020), vypočtený z posledních třiceti let, přináší vyšší měsíční hodnoty, než normál předchozí (1961–1990). Z tabulky 1 můžeme vyčíst, že se v průměru za rok zvýšila teplota o 1,1 °C. Ve vegetační době (teplejší půlrok) došlo ke zvýšení o 1,3 °C, v chladnějším půlroce o 0,9 °C. Nejvyšší rozdíly v teplotních normálech byly zjištěny v prázdninových měsících, tedy červenec a srpen. V těchto obou měsících je normálová hodnota zvýšena o 1,8 °C. Překvapivě třetí měsíc s největším rozdílem je leden. V tomto měsíci se teplota normálu zvýšila o 1,6 °C. Všechny měsíční hodnoty nového normálu jsou zvýšeny různou mírou, nejnižší hodnota zvýšení je o 0,3 °C v měsíci říjnu. Mediánová hodnota (střední hodnota) v rozdílech teplot za celý rok je + 1,1 °C.

#### Srážkové normály

U nových měsíčních srážkových normálů (z let 1991–2020) je většina srážkových hodnot nižších, než v normálech předchozích, ale nezle konstatovat (jako je tomu u teplot), že méně srážek je ve všech měsících (graf 1). Ve čtyřech měsících, konkrétně březem, červencem, zářím a říjnem, jsou normálové srážky vyšší, přitom nejvyšší hodnota připadá na měsíc září (tab. 1). Nicméně v ročním průměru u nového normálu ubylo 19,5 mm srážek, ve vegetaci pouze 0,5 mm, ve studenějším půlroce zbytek, tedy 18,9 mm. Nejvyšší úbytek srážek nastává v měsících listopadu a únoru, na třetím místě je leden. Mediánová hodnota v rozdílech srážek za celý rok je –3,3 mm.

Tab. 1 Teplotní a srážkové rozdíly mezi dvěma dlouhodobými normály 1961–1990 a 1991–2020 na stanici Troubsko

měsíc	teplotní normál [°C]		rozdíl	srážkový normál [mm]		rozdíl
	1961–1990	1991–2020	teplota	1961–1990	1991–2020	srážky
I	-2,6	-1,0	1,6	29,1	23,6	-5,5
II	-0,5	0,6	1,1	28,4	19,6	-8,9
III	3,5	4,3	0,9	28,2	30,4	2,2
IV	8,7	10,1	1,4	33,1	28,0	-5,1
V	13,8	14,7	0,9	63,8	56,0	-7,9
VI	16,9	18,2	1,3	70,5	66,2	-4,3
VII	18,3	20,1	1,8	63,3	70,4	7,2
VIII	17,8	19,6	1,8	64,8	62,4	-2,4
IX	14,1	14,4	0,4	39,3	51,2	11,9
X	8,9	9,1	0,3	32,2	36,3	4,1
XI	3,3	4,4	1,0	41,5	32,0	-9,5
XII	-0,7	-0,1	0,6	30,2	28,9	-1,3
I–XII	8,5	9,6	1,1	524,4	504,9	-19,5
teplý půlrok (duben–září)	14,9	16,2	1,3	334,7	334,2	-0,5
chladný půlrok (říjen–březen)	2,0	2,9	0,9	189,6	170,7	-18,9

#### 4. Závěr

Od roku 2021 vstoupily v platnost nové teplotní i srážkové normály, u kterých se předpokládá platnost dalších třicet let, tj. do roku 2050. Tyto normály se vypočítávají ze souvislých řad předchozích třicetiletých měření. Na troubské stanici bylo zjištěno, že během měřených let 1991–2020 docházelo ke zvyšování teplot vzduchu, čemuž odpovídají hodnoty normálu platného od roku 2021. Tyto hodnoty teplotního normálu jsou, v každém měsíci, v různé míře zvýšeny ve srovnání s předchozím platným normálem. Podle dříve publikované práce (Lang a Vymyslický, 2022), která se zabývá hodnocením a predikcí teplot a srážek na lokalitě Troubsko, se dá předpokládat, že i nadále se bude na této lokalitě zvyšovat teplota vzduchu. Teplota vzduchu se zvyšuje nejen ve vegetačních měsících, ale i v měsících vegetačního klidu. To v zemědělské výrobě přináší řadu problémů. Teplé podzimy a zimy způsobují přerůstání ozimých plodin, které jsou tímto náchylné na vymrzání a na choroby. V teplejších zimách nevymrzají choroby ani škůdci, přežívají jinak vymrzající plevel. V oblastech podobných lokalitě Troubsko a teplejších chybí sněhová pokrývka a orná půda zůstává v zimních měsících bez pokryvu. Dochází tak ke snižování albeda, nadměrnému ohřevu půdy a k výparu vody z ní.

U srážek v letech 1991–2020 docházelo k jejich snižování, což také potvrzují nižší hodnoty v novém srážkovém normálu. Oproti teplotnímu normálu ale nedocházelo ke snížení v každém měsíci, v některých měsících došlo naopak k nárůstu srážek. To podporuje mnoho tvrzení a zpráv, že se množství srážek, oproti dřívějšímu normálu, příliš nemění, ale mají nerovnoměrné rozložení, přicházejí ve vlnách a vyskytují se delší periody sucha. K úbytku srážek dochází jak ve vegetaci, tak v době vegetačního klidu. Ve vegetaci, navíc v kombinaci s vysokými teplotami, je takové sucho pro některé plodiny zničující. Typicky se jedná se například o meziplodiny vysévané po sklizni hlavní plodiny – v červenci, srpnu. Jedná se ale také o jarní plodiny, které se sejí v pozdějších termínech, náchylné na mraz, například jeteloviny.

Množství srážek na jaře kleslo v měsících, kdy dochází u většiny plodin k vegetativnímu růstu a tvorbě zelené hmoty. To se odráží na výnosech všech plodin. Nárůst srážek v červenci situaci nezachrání, naopak, přišel do sklizni obilovin a plodiny s delší vegetační dobou již jsou převážně v generativní fázi (kukuřice, slunečnice) a vliv na výnos je mnohem menší, jako u srážek například v červnu. Úbytek srážek v době vegetačního klidu nemá tak zásadní přímý vliv na zemědělské plodiny jako v době vegetace, nicméně, listopad, leden a únor jsou ve vysokém srážkovém propadu. Tím chybí zimní vlaha v půdě a v některých letech se na jaře seje do prašné půdy. To bezesporu již na samém začátku pěstování negativně ovlivňuje klíčení a vzcházení plodin.

Jestliže se v minulých letech (do roku 2020) hodnotily tyto průběhy počasí podle normálu (z let 1961–1990) jako nenormální (nestandardní), tak potom nové srážkové a teplotní normály vypočtené z let 1991–2020 říkají, že takové podmínky se budou stávat v dalších letech normálnější. Na to musíme být připraveni a zemědělská věda a výroba se snaží urgentně na tyto podmínky reagovat. Šlechtitelé se zaměřují na šlechtění suchovzdornějších plodin. Objevily se nové technologie zpracování půdy: setí do pásů, setí do mulče. To vše má, mimo jiné, ušetřit a lépe využít vodu v půdě. V experimentech se stále zkouší nové technologie smíšených kultur. V oblasti pícninářství se postupně přechází na setí trvalých kultur na podzim (resp. koncem léta), kdy je vyšší jistota vláhy. Všechny nové technologie zároveň musí splňovat požadavky na výnos a kvalitu produkce.

### Poděkování:

Výsledek vznikl s institucionální podporou Ministerstva zemědělství ČR v rámci Dlouhodobé koncepce rozvoje výzkumné organizace Zemědělský výzkum spol. s r.o. Troubsko.

### Literatura:

EPA: Climate Change and Human Health [on-line] [cit. 2023-08-04]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/climateimpacts/climate-change-and-human-health>

ČHMÚ: Zpráva o klimatických změnách popisuje především: oteplování, změnu energetiky a chování člověka. Tisková zpráva z 8.9.2021 [on-line] [cit. 2023-08-04]. Dostupné z: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove\\_zpravy/2021/TZ\\_Zprava\\_o\\_klimatickych\\_zmenach.pdf](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove_zpravy/2021/TZ_Zprava_o_klimatickych_zmenach.pdf)

HEWITT, CHRIS D. THOMSON, M.C., BENISTON, M., GARCIA HERRERA, R. 2008: The impact on human health of climate and climate change: Research in the ENSEMBLES project from seasonal to centennial timescales. *Seasonal Forecasts, Climatic Change And Human Health*. Vol. 30., Page 5–1.

HRUBAN, ROBERT 2019: Klimatické oblasti dle Evžena Quitta (1971) [on-line] [cit. 2023-08-04]. Dostupné z: <http://moravske-karpaty.cz/prirodni-pomery/klima/klimaticke-oblasti-dle-e-quitta-1971/>

KNOBOVÁ, VERONIKA, 2010: Vliv teploty a znečištění ovzduší na úmrtnost obyvatel v roce 2003. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Ústav pro životní prostředí, 36 stran.

LANG, J., VYMYSLICKÝ, T.: Dlouhodobý pohled na vývoj teplot a srážek na Jižní Moravě. In: *Hospodaření s vodou v krajině 2022*. Str. 26–29. Mezinárodní konference Třeboň, 13.–14. 9. 2022. ISBN 978-80-7653-045-4.

VLČEK V., STŘEDOVÁ H., MUŽÍKOVÁ B. 2011: Srovnání vývoje teplot dvou klimatických regionů s výhledem do budoucna. In: Středová, H., Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds): *Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogenních prostředí*. Sborník konference. Skalní mlýn, 2.–4.2. 2011, ISBN 978-80-86690-87-2

VODOVODY A KANALIZACE: Výpočet odvádění srážkových vod [on-line] [cit. 2023-08-04]. Dostupné z: <https://www.vodovody-vm.cz/pro-zakazniky/vypocet-odvadeni-srazkovych-vod>

# Přístroje pro měření úhrnu srážek od historie po současnost

## Instruments for precipitation measurement from history to the present

Pavel Lipina<sup>1</sup>, Jan Procházka<sup>2</sup>, Miroslav Tesař<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Český hydrometeorologický ústav, pobočka Ostrava, K Myslivně 3/2182, 708 00, Ostrava-Poruba, [pavel.lipina@chmi.cz](mailto:pavel.lipina@chmi.cz), [veronika.sustkova@chmi.cz](mailto:veronika.sustkova@chmi.cz)

<sup>2</sup> Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta zemědělská a technologická, Studentská 1668, 37005 České Budějovice, [prochazkaj@fzt.jcu.cz](mailto:prochazkaj@fzt.jcu.cz)

<sup>3</sup> Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v.v.i., Pod Paťankou 30/5, 166 00 Praha 6, [miroslav.tesar@iol.cz](mailto:miroslav.tesar@iol.cz)

### Abstrakt

Úhrn srážek patří mezi nejdůležitější meteorologické prvky. Má zásadní význam pro tvorbu klimatologických charakteristik, je základem vodní bilance a primárně sledovaným prvkem v předpovědní a výstražné službě. Měření srážek je dlouhodobě zatíženo mnoha nejistotami a je mu proto věnována soustavně náležitá pozornost.

První měření srážek v Evropě se datuje k 17. století. Pravidelná, ale neúplná, měření srážek na pražské klementinské hvězdárně byla zahájena v roce 1752 (nepřetržitá řada od roku 1804), v Brně to bylo v roce 1803. V roce 1817 M. A. David publikoval první německy psaný návod pro pozorování počasí v Čechách určený dobrovolným pozorovatelům. Zásadní vliv pro vznik meteorologických stanic a měření srážek měly aktivity institucí a různých spolků, například pražské Klementinum, Přírodopysný spolek v Brně, Ústřední ústav pro meteorologii a zemský magnetismus a jiné. Hydrografická komise pro království české a její hydrometrická sekce byla pod vedením F. J. Studničky založena roku 1875, o významné rozšíření měření srážek se v té době zasloužil v rámci budování sítě lesnických srážkoměrných stanic E. Purkyně.

Již více než 200 let dochází k vývoji srážkoměrů a metodik měření srážek. V českých zemích dlouhodobě využívaný manuální srážkoměr Metra 886 byl vyvinut podle rakouského vzoru prof. Kostlivého. Od roku 1995 byla zahájena automatizace měření srážek nejprve klopnými srážkoměry, které jsou postupně nahrazovány srážkoměry váhovými. V odlehlých a lesnatých oblastech jsou testovány alternativní způsoby měření srážek. Tento příspěvek se snaží historii, standardy a vývoj v měření srážek u nás alespoň orientačně přiblížit.

**Klíčová slova:** srážkoměr, termín měření, historie měření, meteorologická stanice, návod pro pozorovatele

### Abstract

The precipitation amount is one of the most important meteorological elements. It is of fundamental importance for the creation of climatological characteristics, it is the basis of the water balance and the primarily monitored element in the forecasting and warning service. Precipitation measurement has been burdened with many uncertainties for a long time and is therefore consistently given due attention.

The first measurement of precipitation in Europe dates back to the 17th century. Regular but not complete measurements of precipitation at Prague's Klementine observatory began in 1752 (continuous series since 1804), in Brno in 1803. In 1817, M.A. David wrote the first guide for observing the weather in Bohemia, published in German, intended for volunteer observers. The activities of institutions and various associations, such as the Prague Klementinum, the Natural Research Society in Brno, the Central Institute for Meteorology and Earth Magnetism and others, had a fundamental influence on the establishment of meteorological stations and precipitation measurements. The Hydrographic Commission for the Kingdom of the Czech Republic and its hydrometric section were founded in 1875 under the leadership of F. J. Studnička.

E. Purkyně was responsible for the significant expansion of precipitation measurement at that time as part of the construction of a network of forest precipitation measuring stations.

For more than 200 years, rain gauges and precipitation measurements have been developed. The Metra 886 manual rain gauge, which has been used for a long time in the Czech lands, was developed according to the Austrian model of prof. Kostlivý. Since 1995, the automation of rainfall measurement was started, first with tipping bucket rain gauges, which are gradually being replaced by weighing rain gauges. Alternative methods of measuring precipitation are being tested in remote and forested areas. This post tries to bring the history, standards and development of precipitation measurement in our country at least as a guide.

**Keywords:** rain gauge, measurement date, measurement history, meteorological station, observer's guide

## 1. Úvod

Měření srážek má na českém území tradici již minimálně 270 let, třebaže se začaly souvisle měřit o něco později než např. tlak a teplota vzduchu. Úhrn srážek je jedním ze základních meteorologických prvků a je mu proto z hlediska instrumentace a klimatologie věnována dlouhodobě náležitá pozornost. K tomu přispívá i fakt, že prakticky jediným zdrojem vody do hydrologické bilance vzhledem k poloze Česka jsou atmosférické srážky. Odpovídající znalost o pokud možno co nejreálnějším množství vody, které na naše území dopadá, je tedy i z pohledu hydrologického a hospodářského v popředí našeho zájmu.

Je zcela zřejmé, že tak jako ostatní meteorologické prvky, i tento prošel svým vývojem, pokud se jedná o přístroje a pomůcky, kterým se úhrn měřil a měří, měnily se jednotky, ve kterých byl měřen, měnil se čas/termín měření. Historicky se měření srážek prakticky výhradně týkalo těch padajících, mezi něž patří déšť, mrznoucí déšť, mrholení, mrznoucí mrholení, sníh, sněhové krupky, sněhová zrna, zmrzlý déšť, kroupy, ledové jehličky apod. Mezi srážky je potřeba počítat i kategorii usazených srážek, jako jsou rosa, zmrzlá rosa, jíní, jinovatka, námraza, průsvitná námraza a ledovka, jež ale u nás představují významnější složku celkových srážek pouze v těch nejvyšších polohách, proto se jimi zde nyní tematicky nezabýváme.

V příspěvku se pokusíme čtenářům alespoň orientačně připomenout základní informace zejména o vývoji přístrojů a metod měření úhrnu padajících srážek od jeho počátků až po současnost. Stručně budeme informovat o historickém vývoji meteorologických staničních sítí s ohledem na měření srážek. Uvedeme postřehy z metodických návodů, souvislosti s jinými prvky, využití srážkových dat a nevynecháme ani zajímavé a netradiční způsoby měření srážek.

## 2. Počátky měření srážek a události mající vliv na srážkoměrnou síť

V roce 1441 byly za pomoci bronzových nádob a zvláštních měřitek měřeny atmosférické srážky v Korei. Roku 1639 B. Castelli prováděl první měření srážek v Evropě (v Perugii). V letech 1661–1662 sestrojil v Londýně Ch. Wren první samozapisující srážkoměr (ombrograf).

Pravidelná meteorologická měření na pražské klementinské hvězdárně byla zaházena v roce 1752, kdy byl ředitelem hvězdárny jezuita Josef Stepling. Byla to první systematická měření a Praha se stala jedním z prvních míst ve střední Evropě, kde se měřil tlak a teplota vzduchu a atmosférické srážky (TYDLITÁT, R., RÉPAL, V., 1999).

V Brně v roce 1803 zahájil pravidelná měření srážek Zacharias Melzer, který srážky měřil srážkoměrem se čtvercovou záchytnou plochou. (BRÁZDIL, R., et al., 2012)

V roce 1817 M. A. David publikoval první německy psaný návod pro pozorování počasí v Čechách určený dobrovolným pozorovatelům (Průkopník meteorologických měření v terénu). V roce 1885 sestrojil R. Frères pluviograf (TYDLITÁT, R., RÉPAL, V., 1999).

Význačné oživení v pozorování a měření srážek přinesly přírodní pohromy, a to katastrofální povodeň na Berounce a na Ohři ve dnech 25. – 27. května 1872 a velké sucho v letech 1872–1874. V roce 1875 tak byla založena Hydrografická komise pro Království české. V čele ombrometrické sekce stál profesor na pražské univerzitě i technice František Josef

Studnička. Srážkoměrná síť v Čechách vzrostla v letech 1873–1882 z 11 na 294 stanic. V sedmdesátých letech 19. století se ombrometrii říkalo „Dešťoměrství“.

Za účelem podrobného poznání rozložení srážek v Čechách a získání podkladů pro klimatickou rajonizaci Emanuel Purkyně, učitel na lesnické škole v Bělé pod Pradědem, inicioval založení husté ombrometrické sítě (1878), zejména lesních meteorologických stanic, které měla být situována zejména v lesnatých a horských krajích. Na Moravě přednesl podobný návrh vrchní lesmistr z Kroměříže Johann Jackl a byl úspěšně realizován Přírodovědným spolkem. V té době bylo v Čechách celkem 861 meteorologických stanic různých sítí (Purkyně 1879). Čechy tím měly světový primát v hustotě ombrometrické sítě, na němž se největší měrou podílely právě lesnické stanice. Po sloučení lesnické sítě se sítí Studničkovou v roce 1885 byl celkový počet stanic 750.

Pro rozvoj přírodovědeckého bádání na Moravě bylo velmi důležité založení Přírodovědeckého spolku v roce 1861 v Brně v čele s Vladimírem hrabětem Mitrovským. Staniční síť spolku měla v roce 1862 4 stanice, v roce 1875 již 19 a v roce 1880 37 stanic. Poslední ročenku vydal spolek za rok 1911, kdy spravoval 229 stanic (KRŠKA, K., ŠAMAJ, F., 2001).

Významné souvislé řady pozorování: Brno (1803), Praha-Klementinum (1804), Opava (1819), Havlíčkův Brod (1829), Čáslav (1847), Dačice (1864), Šumperk (1865), Bystřice pod Hostýnem (1872), Tábor (1873), Přerov (1874), Klatovy (1875), Olomouc (1876), České Budějovice (1876), Valtice (1876) (BRÁZDIL, R., et al., 2012).

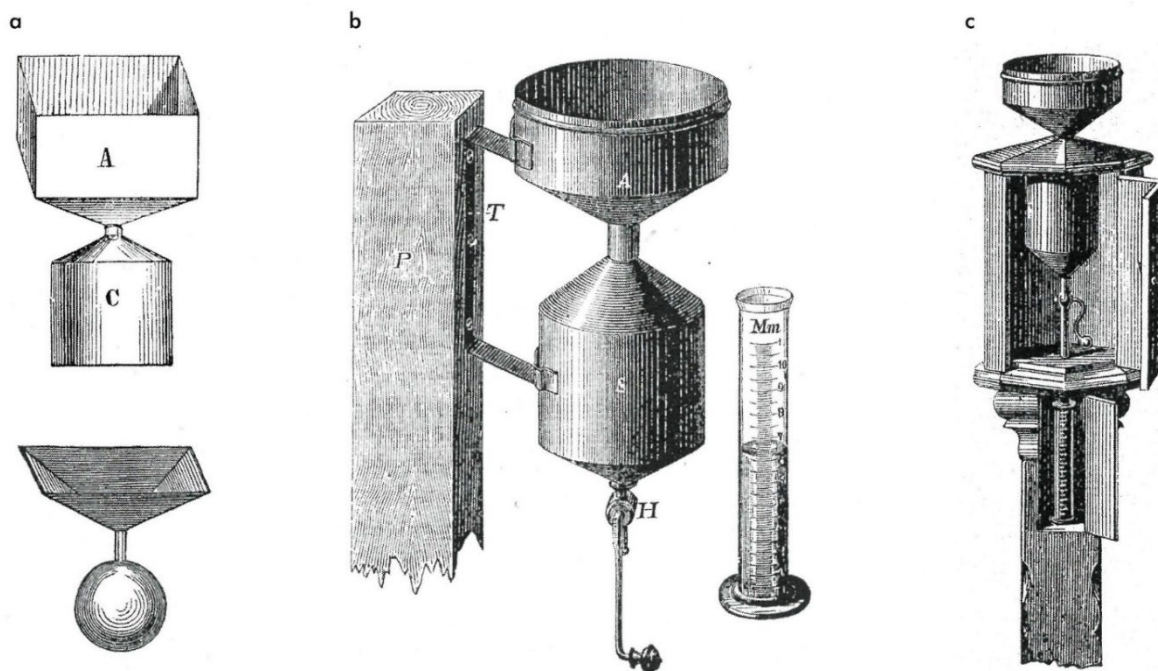
V roce 1851 byl ve Vídni zřízen Ústřední ústav pro meteorologii a zemský magnetismus (Central-Anstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus), jednalo se o vytvoření instituce, která z meteorologie vytvořila jednu z forem státní služby. V roce 1893 byla zřízena Ústřední hydrografická kancelář ve Vídni, následně pak v městech Praze, Brně a Opavě byla založena hydrografická oddělení pro příslušná povodí, tj. Labe, Moravy a Odry (KRŠKA, K., ŠAMAJ, F., 2001).

Z rozhodnutí ministerské rady ČSR dne 9. prosince 1919 byl v Praze zřízen Státní ústav meteorologický. Na základě vládního nařízení 96/1953 S. ze dne 27. listopadu 1953 o Hydrometeorologickém ústavu s účinností od 1. ledna 1954 byl zřízen ústřední ústav pro obory meteorologie, klimatologie, hydrologie s celostátní působností a sídlem v Praze. (KRŠKA, K., VLASÁK, V., 2008).

### 3. Historický vývoj srážkoměrných přístrojů na českém území

Jeden z prvních záznamů o typu přístroje, kterým se měřily srážky jsou informace z Brna, kdy v roce 1803 zahájil pravidelná měření srážek Zacharias Melzer, který srážky měřil plechovou krychlovou nádobou s otevřenou horní plochou o velikosti jedné vídeňské stopy (1 vídeňská čtvereční stopa = 999,07 cm<sup>2</sup> (Hofmann, 1984)). Voda byla odváděna nálevkovitou trubicí do nádoby a vážena ve vídeňských librách nebo „letech“ (1 vídeňská libra = 0,560 kg a 1 vídeňský „lot“ = 17,5019 g. Od roku 1846 měřil srážky v Brně Pavel Olexík vážením vody ve vídeňských „gránech“ (průměr otvoru byl 13,54 palců, tj. přibližně 35,7 cm, záchytná plocha 1055 cm<sup>2</sup> (1 vídeňský „grán“ = 0,0724 g, 1 vídeňský palec = 2,634 cm). Nový srážkoměr s kalibrovanou měřicí skleněnou odměrkou byl uveden do provozu 1. července 1878 Gregorem Johannem Mendelem. Je velmi pravděpodobné, že i stanice v českých zemích se řídily doporučeními pro rakouskou meteorologickou síť k vhodným typům srážkoměrů. Kolem roku 1850 zmiňuje Karl Kreil srážkoměr se čtvercovým otvorem velikosti 32,5 x 32,5 cm (záchytný plocha 1056 cm<sup>2</sup>) s nádobou ve tvaru koule. V letech 1860–1870 pak uvádí kruhový otvor o průměru 36,6 cm (záchytná plocha 1052 cm<sup>2</sup> a od roku 1870 kruhový otvor o průměru 35,68 cm se záchytnou plochou 1000 cm<sup>2</sup>. Tento rozměr reflektoval doporučení mezinárodního meteorologického kongresu ve Vídni v roce 1873. Od roku 1870 byl také používán srážkoměr s kruhovým otvorem o průměru 25,23 cm a záchytnou plochou 500 cm<sup>2</sup> (srážkoměr typu Osnaghi - menší velikost ve srovnání s předchozím kvůli rozpočtovým omezením). Po roce 1880 se používal velký srážkoměr s kruhovou záchytnou plochou 500 cm<sup>2</sup> o průměru (průměr 25,23 cm). Srážkové úhrny publikované v ročenkách rakouskou meteorologickou službou byly uváděny do roku 1870 v pařížských čárkách (1 pařížská čárka = 2,256 mm). Od roku 1870 byly úhrny uváděny v mm (BRÁZDIL, R., et al., 2012).





Obr. 1 Srážkoměry rakouské meteorologické služby: (a) srážkoměr se čtvercovou záchytnou plochou (Kreil, 1851), srážkoměr Osnaghi – starší verze (b), a ve dřevěné skříňce (c) (Jelinek, 1876). (zdroj: Brázdil, R., et al. 2012).

Pro území Pruska byl uveden v ročence z roku 1885 popis a obrázek srážkoměru typu Hellmann (1883).

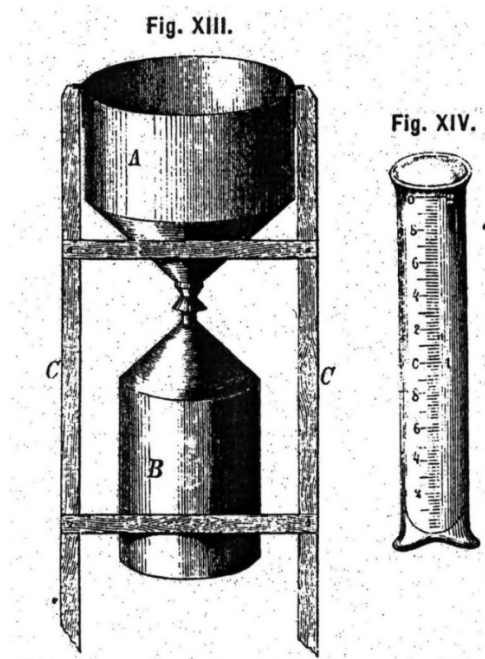
V návodu pro pozorovatele, který vydal ředitel Centrálního úřadu pro meteorologii a geodynamiku Carl Jelinek v roce 1869 byl uveden srážkoměr o záchytné ploše jedné čtvereční pařížské stopy, tj. průměr 366,5 mm (1054,4cm<sup>2</sup>) uvedený na obrázku 2.

Pruská meteorologická ročenka za rok 1885 uvádí obrázek srážkoměru a sněhoměru (měření sněhových srážek), který je uveden na obrázku 3.

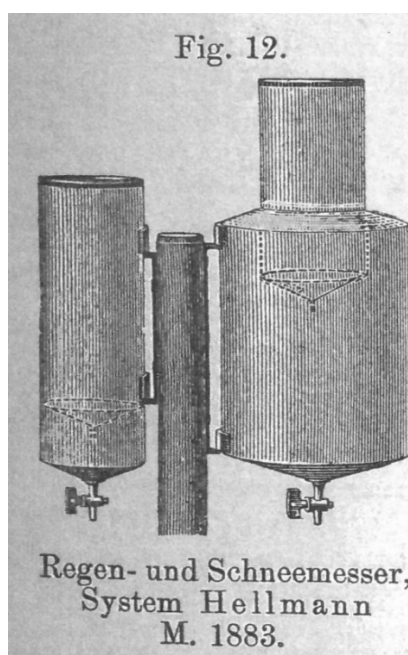
V publikaci Instrukce pro provádění meteorologických pozorování, 6. přepracované vydání návodu C. Jelinka, zpracoval Dr. Anton Schlein, vydal ZAMG Vídeň v roce 1915 je uveden obrázek ombrografu typu Hellmann se záchytnou plochou 200 cm<sup>2</sup>, dále registrační váhový srážoměr (sněhoměr) typu Fuess se záchytnou plochou 400 cm<sup>2</sup> a fotografie manuálního srážkoměru typu Hellmann se záchytnou plochou 200 cm<sup>2</sup>.

Na obrázcích 7 až 9 jsou uvedeny ukázky srážkoměrů používaných francouzskou meteorologickou službou. Převzato z publikace: Instrukce pro pozorovatele meteorologických stanic, vydal Alfred Angor, ředitel ústředního meteorologického úřadu, Paris, 1918.

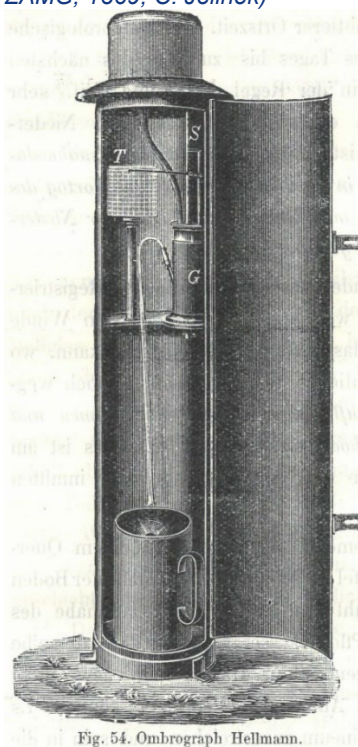
V Návodu pro pozorovatele od Aloise Gregora z roku 1927 je uveden srážkoměr a ukázka odečtu srážek v odměrcce.



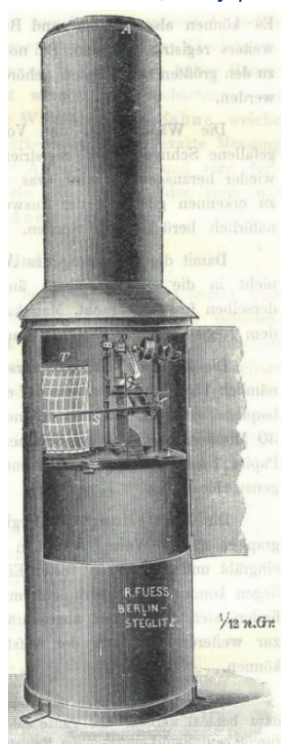
Obr. 2 Obrázek srážkoměru a odměrky z publikace ZAMG, 1869, C. Jelinek)



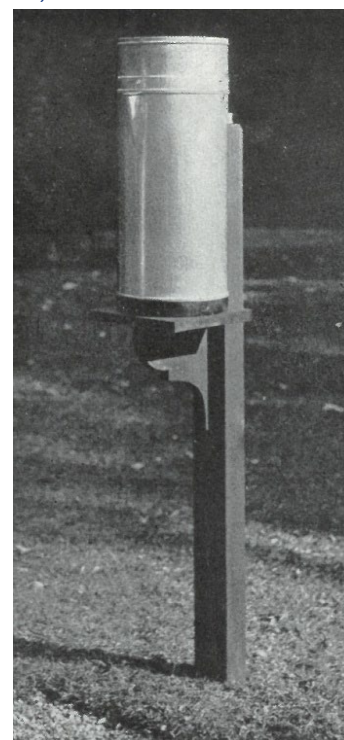
Obr. 3 Obrázek srážkoměru a sněhoměru typu Hellmann z roku 1883, zdroj: pruská ročenka 1885)



Obr. 4 Ombrograf Hellmann (200 cm<sup>2</sup>)



Obr. 5 Registrační váhový srážkoměr (sněhoměr), 400 cm<sup>2</sup>

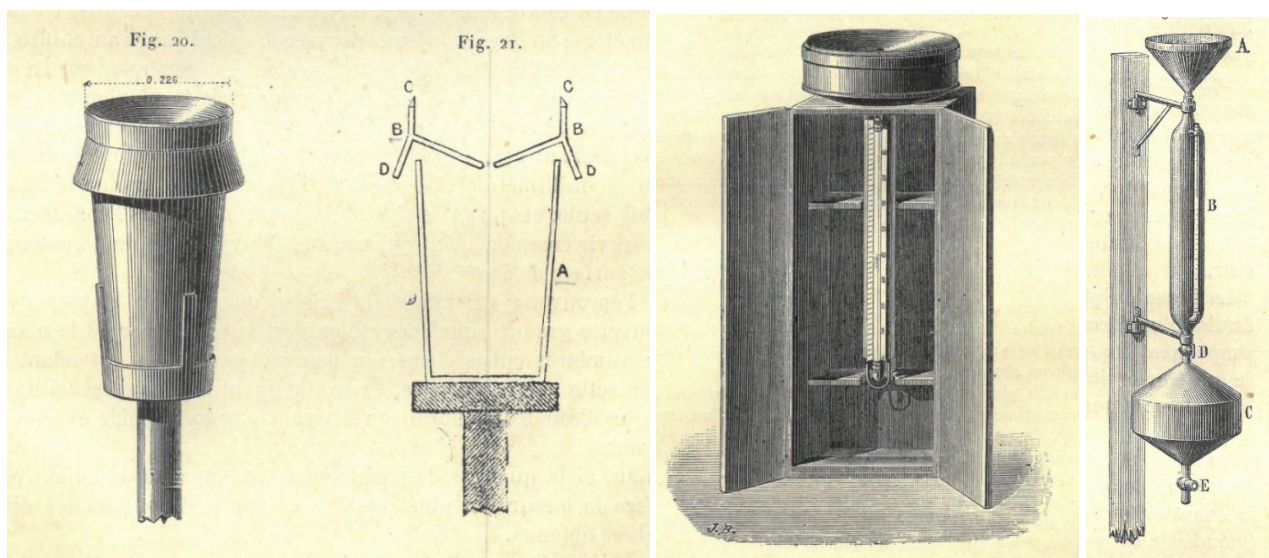


Obr. 6 Srážkoměr Hellmann (200 cm<sup>2</sup>)

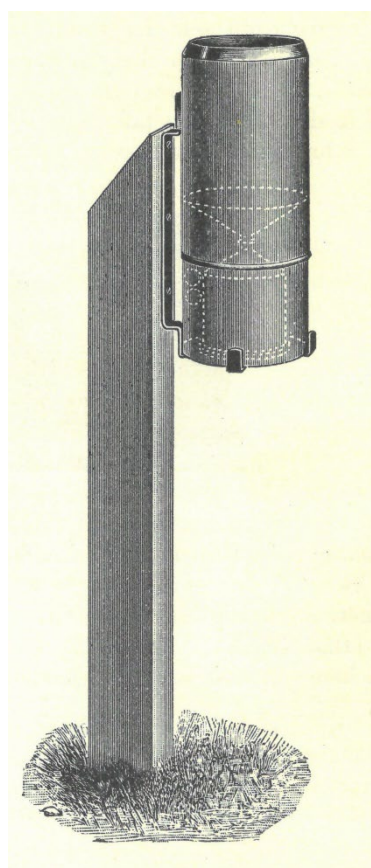
V publikaci Instrukce říšské meteorologické služby pro meteorologická pozorování stanic I. – III. řádu (Julius Springer) vydané v roce 1938 je uveden obrázek srážkoměru Hellmann (obrázek 10) a jeho jednotlivé části (obrázek 11).

V roce 1951 vyšla v Moskvě publikace Meteorologie – učebnice pro studenty vysokých škol od M. S. Averkijeva v roce 1951, kterou přeložil F. Šamaj. Zajímavostí je, že pro srážkoměry se uváděla poloha záchytné plochy 2 metry nad zemí.

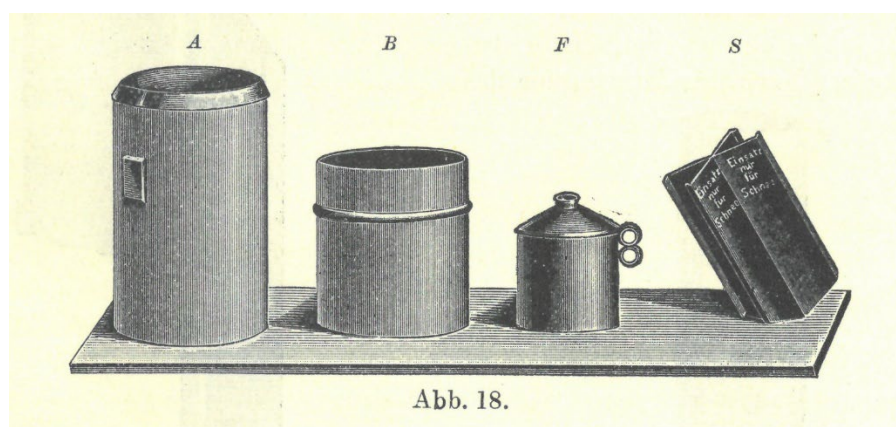
Návod pro pozorovatele povětrnostních stanic meteorologické služby v ČSR, kterou vydal Hrubeš a Kocourek v roce 1955, uvádí stejný srážkoměr, jako v publikaci Gregora z roku 1927.



Obr. 7 srážkoměr, 400 cm<sup>2</sup>, francouzská meteorologická služba, 1918 Obr. 8 Srážkoměr, průměr 20 cm (314 cm<sup>2</sup>)  
Obr. 9 Totalizátor



Obr. 10 Srážkoměr Hellmann z publikace *Instrukce říšské meteorologické služby pro meteorologická pozorování stanic I. – III. řadu* (Julius Springer) vydané v roce 1938

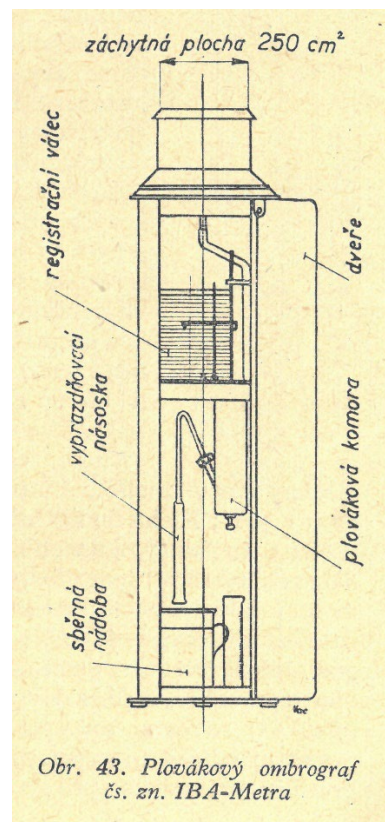
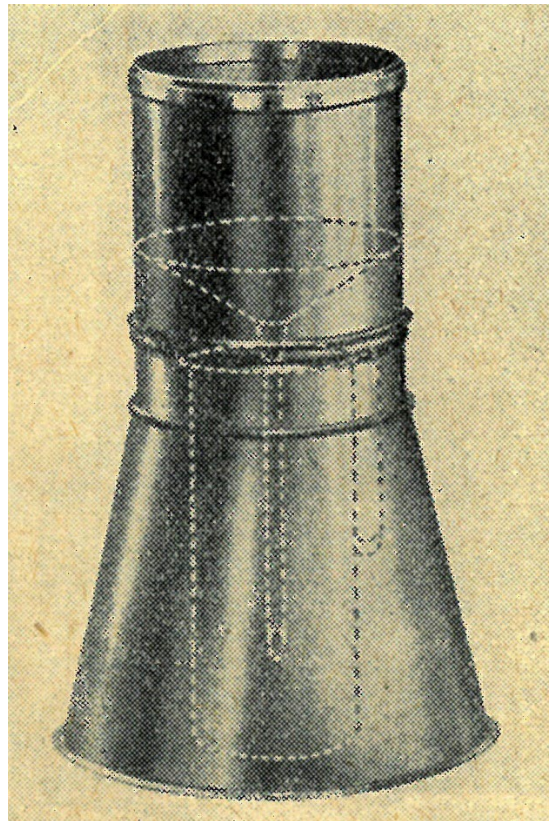
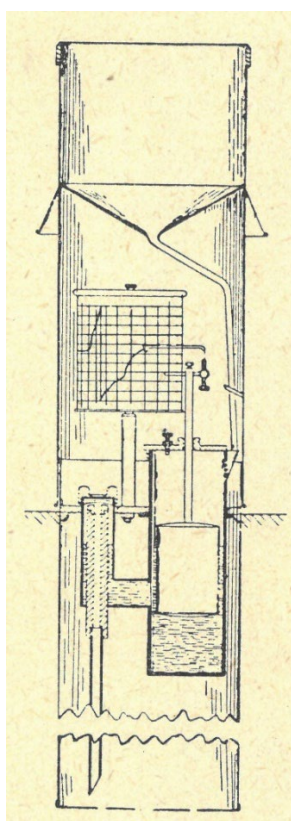


Obr. 11 Srážkoměr Hellmann z publikace *Instrukce říšské meteorologické služby pro meteorologická pozorování stanic I. – III. řadu* (Julius Springer), vydané v roce 1938

Srážkoměr Hellmann se zachytnou plochou 200 cm<sup>2</sup>, výška zachytné plochy 100 cm nad zemí (výška 1,25–1,5 m v místech s vysokou sněhovou pokrývkou). Na zimní sezonu se do srážkoměru vkládala křížová přepážka (na obrázku 14 s označením S), která měla zabraňovat vyfoukání sněhu ze srážkoměru.

V publikaci, kterou napsal Ferdinand Kocourek v roce 1956 *Měřicí metody v meteorologii* je uveden obrázek anglického plovákového ombrografu (obrázek 12), anglický srážkoměr který měl zachytnou plochu ve výšce 30 cm nad zemí (obrázek 13) a byl zde rovněž uveden obrázek plovákového ombrografu IBA-Metra se zachytnou plochou 250 cm<sup>2</sup> (obrázek 14). Ve výše uvedené publikaci byly rovněž uvedeny obrázky srážkoměru Hellmann se zachytnou plochou 200 cm<sup>2</sup> a schema srážkoměru Metra se zachytnou plochou 500 cm<sup>2</sup> a také registrátor intenzity srážek typu Jardi-Richard. V publikaci čtenář rovněž najde obrázek člunkového ombrografu (obrázek 15), obrázek 16 ukazuje v česku dobře známý

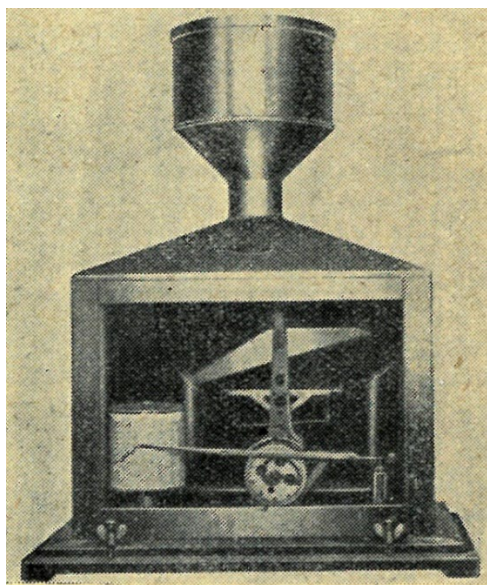
totalizátor (švýcarský typ Mougin s Nipherovou ochranou) a na obrázku 17 je váhový srážkoměr (chionograf) – Sprungův-Fuessův.



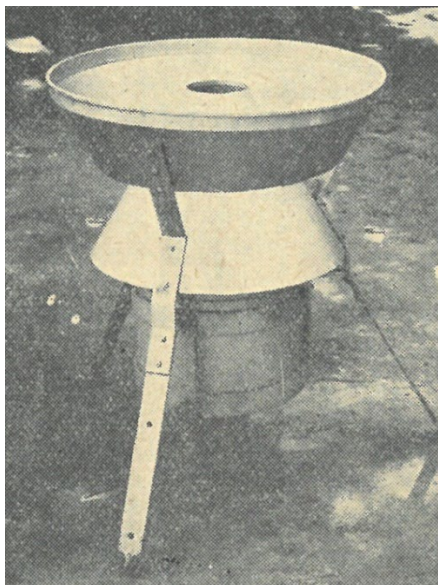
Obr. 43. Plovákový ombrograf  
čs. zn. IBA-Metra

Obr. 12 Anglický plovákový ombrograf Obr. 13 anglický srážkoměr Obr. 14 Plovákový ombrograf IBA-Metra

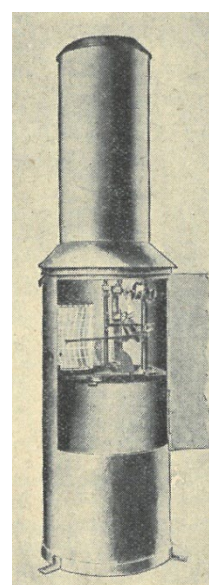
V roce 1956 vydal Stružka publikaci Meteorologické přístroje. V publikaci nalezneme obrázek terénního srážkoměru, schéma větrné zábrany Nipherovy a Tretjakovova, je zde k vidění Hellmannův srážkoměr a nákres jednotlivých jeho částí, schematický nákres Hellmannova ombrografu a schéma „normálního“ srážkoměru (IBA-Metra).



Obr. 15 Člunkový ombrograf



Obr. 16 totalizátor (švýcarský typ)

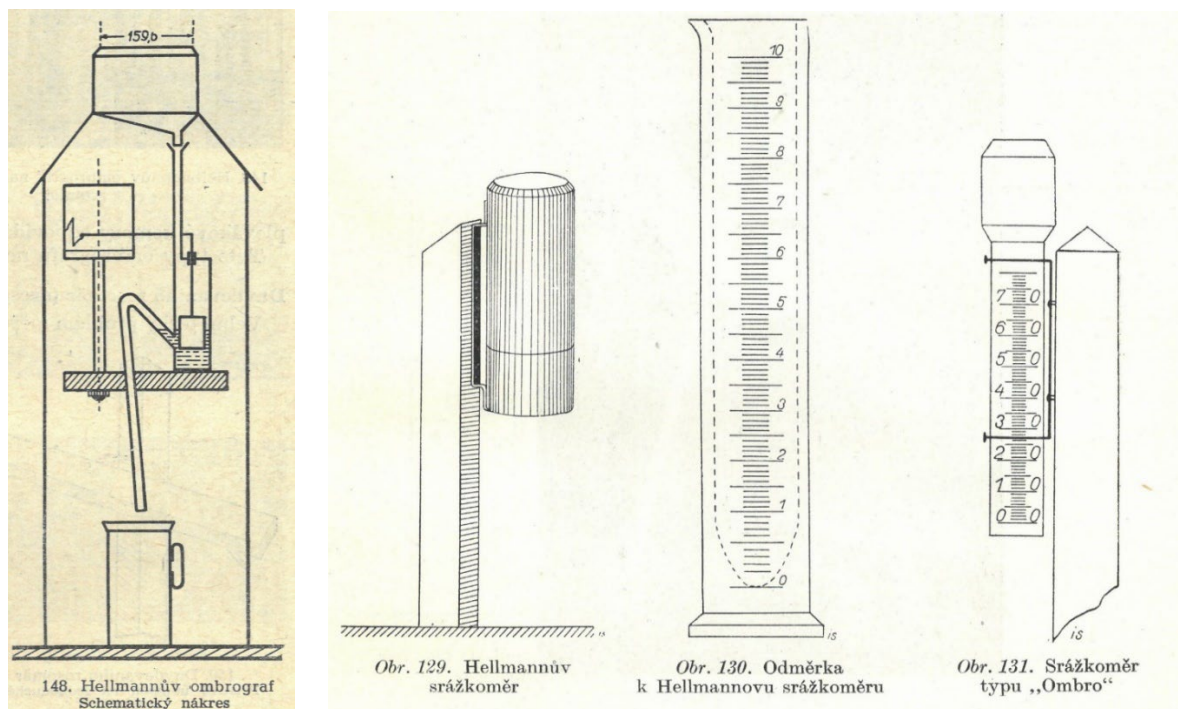


Obr. 17 Váhový srážkoměr

V publikaci Stružky a Smolíka Inženýrská meteorologie a klimatologie vydané v roce 1959 je uveden Hellmannův srážkoměr (obrázek 19), odměrka k Hellmannově srážkoměru (obrázek 20) a schéma srážkoměru „Ombro“ (terénní srážkoměr) na obrázku 21.

V polském návodu pro pozorovatele vydané IMGW v roce 1962 je uveden obrázek srážkoměru (obrázek 32), na obrázku 33 a 34 je uvedena fotografie a schéma horského srážkoměru. Obrázek 36 ukazuje části horského srážkoměru a obrázek 37 části „běžného“ srážkoměru Hellmann.

V Návodu pro pozorovatele z roku 1972 od Natálie Slabé je uveden srážkoměr s dřevěným podstavcem a také velký kovový stojan pro umístění srážkoměru. V Návodu pro pozorovatele meteorologických stanic z roku 1994 od Fišáka je uveden obrázek (schema) klasického manuálního srážkoměru.



Obr. 18 Hellmannův ombrograf Obr. 19 Hellmannův srážkoměr Obr. 20 Odměrka Obr. 21 Srážkoměr „Ombro“

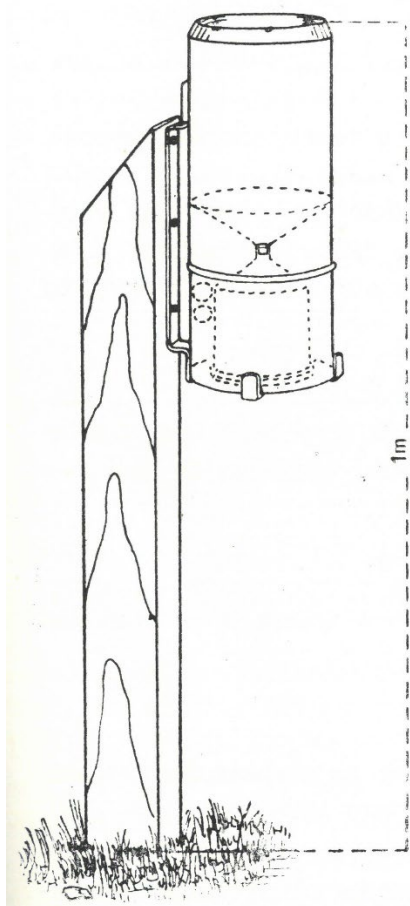
Ve staniční síti ČHMÚ se standardně na mnohých stanicích používaly registrační přístroje pro záznam množství a intenzity srážek. Byl to ombrograf Metra se zachytnou plochou 250 cm<sup>2</sup> a polský pluviograf (200 cm<sup>2</sup>).

Na manuálních stanicích ČHMÚ se používá standardní srážkoměr Metra 886 od dodavatele Anemo), nebo v posledních letech od slovenské firmy Mercator-kovo.

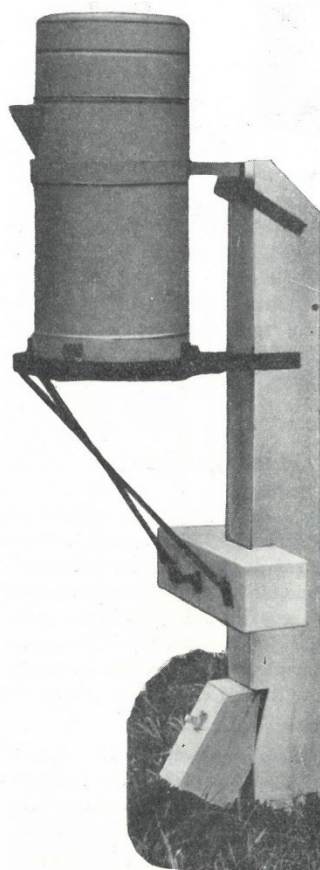
Od roku 1996 se začaly v síti Českého hydrometeorologického ústavu instalovat první člunkové (klopné) srážkoměry, které byly součástí systému automatizované meteorologické stanice jak v dobrovolnické, tak profesionální staniční síti. Tento trend byl zachycen v návodech pro pozorovatele meteorologických stanic, který vyšel v roce 2003.

V návodu pro pozorovatele meteorologických stanic jsou popsány jednotlivé vývojové typy člunkových (klopných) srážkoměrů, které byly nevytápěné, nebo s různým stupněm vytápění až po poslední verzi MR3H-FC (procesor srážkoměru analyzuje intenzitu srážek a v určitém okamžiku přidá umělý pulz, který má zabránit ztrátě záznamu srážek při vysoké intenzitě). V návodu je rovněž popsán váhový srážkoměr MRW500 (Meteoservis Vodňany), kterým byl instalován v síti ČHMÚ od roku 2010 a slovenský váhový srážkoměr TRWS 504, který byl instalován na leteckých meteorologických stanicích a v současné době je již nahrazen váhovým srážkoměrem od Meteoservisu.

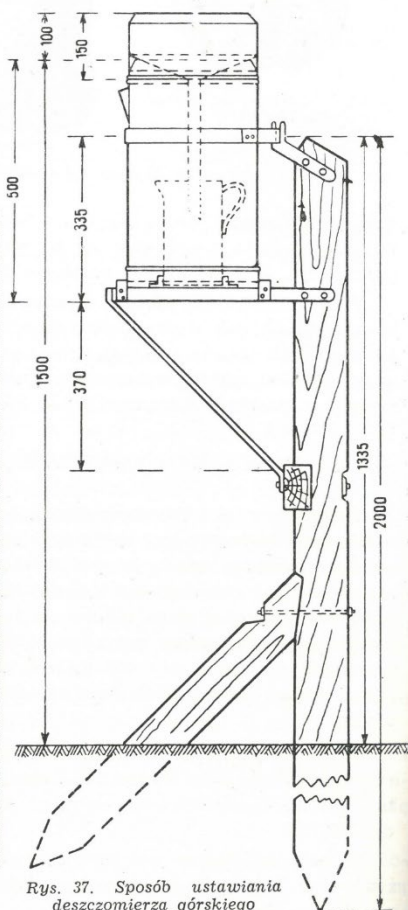
Vylepšený váhový srážkoměr MRW503 je v posledních třech letech instalován do staniční sítě ČHMÚ (vylepšená diagnostika systému srážkoměru) a testuje se váhový srážkoměr MW7 Meteoservisu Chelčice, který bude určen do teplejších oblastí.



Obr. 22 Schema srážkoměr



Rys. 36. Deszczomierz górski



Rys. 37. Sposób ustawiania deszczomierza górskiego

Obr. 23 Foto horského srážkoměru Obr. 24 Schema horského srážkoměru

## 4. Zvláštní, speciální nebo účelové typy srážkoměrů

### 4.1 Totalizátor

V meteorologii srážkoměr určený k měření úhrnu srážek za delší dobu, zpravidla za půl roku. Často se instaluje na odlehlých nebo těžko dostupných místech. Srážky se zachycují do nádoby dostatečného obsahu, do které se na začátku měření nalije určité množství nemrznoucího roztoku. Přidaná vhodná látka, např. olej, zabráňuje výparu. Úhrn srážek se určí z přírůstku celkového objemu roztoku v nádobě za dobu měření. Průkopníkem měření kapalných i tuhých srážek pomocí tzv. srážkoměrného sběrače neboli totalizátoru, byl francouzský glaciolog P. Mougín (1912).

### 4.2 Zemní srážkoměr

Jedná se o manuální srážkoměr Metra 886 z poloviny zapuštěný v zemi proti zámruzu a výparu zachycených srážek. Uvnitř plechové nádoby je umístěn plastový 10 litrový kanystř. Slouží zpravidla pro měření měsíčních úhrnů srážek na odlehlých lokalitách s omezeným přístupem a v období dokud zcela nezapadá sněhem (na horách většinou duben/květen - listopad).

### 4.3 Mini-totalizátor

V horských oblastech s omezeným přístupem v období zimního půlroku se instaluje pro měření srážek 2 m vysoká plastová roura s ostrou hranou hrdla a záchytnou plochou 200 cm<sup>2</sup>. Mini-totalizátor je opatřen ochranným nerezovým límcem (Nipherův prsteneček) proti působení větru. Měření výšky vodního sloupce, případně výšky ledu, se provádí podle dostupnosti a vhodnosti podmínek od října nebo listopadu do konce března, na horách pak do konce dubna.

#### 4.4 Zimní nádrž

Objemná plastová kruhová nádrž o záchytné ploše 1 m<sup>2</sup> a výšce horní hrany v 1 m byla původně určena pro měření sněhové vodní hodnoty sněhu na horách v zimních měsících. Vzhledem ke stále častějším teplým a deštivým periodám ale slouží převážně jen k měření zimních srážek na hůře dostupných lokalitách, ale neovlivněných působením větru. Poskytuje přesnější výsledky a vhodně tak doplňuje měření srážek výše uvedenými mini-totalizátory, vzhledem k mohutnější konstrukci je ale její využití v horském terénu omezené.

#### 4.5 Měření srážek v lesním porostu

V lesnické hydrologii se často setkáváme s nutností sledování srážek v lesních porostech pod korunami stromů. Vzhledem k plošné nehomogenitě zapojení porostů nad srážkoměry umístěnými na půdním povrchu pod korunami stromů je zřejmé, že nevystačíme s jedním srážkoměrem, a proto se osazují různé typy srážkoměrů ve větším počtu, přičemž se jejich umístění rovněž může významně lišit (náhodná síť, pravidelný spon, analýza zapojení lesního patra nad srážkoměry, lesnická analýza porostu, atd.). Často se rovněž používají srážkoměrné žlaby svedené na člunkový (korečkový) čítač pulzů s patřičně dimenzovaným objemem.



Obr. 25 Zemní srážkoměr  
(foto Pavel Lipina)



Obr. 26 Mini-totalizátor  
(foto Miroslav Tesař)



Obr. 27 Zimní nádrž  
(foto Miroslav Tesař)

Samostatnou specializovanou kapitolou je potom měření srážek stékajících po kmeni v lesních porostech. Tento prvek vodní bilance lesního patra je významný zejména v listnatých porostech, kdy toky vody mohou být velmi významné díky velikosti koruny stromů a architektuře jejich zavětvení. Pro zachycení stoku po kmeni se využívají různé typy límců, z nichž je voda svedena do nádob na měření jejich objemu; často se množství a intenzita stoku měří člunkovými průtokoměry.



Obr. 28 Měření srážek v lesním porostu a ukázka měření srážek stékajících po stromech (foto Miroslav Tesař)



Obr. 29 Měření srážek v lesním porostu (foto Miroslav Tesař)

## 5. Termíny pozorování

Mezinárodní meteorologický kongres ve Vídni v roce 1873 doporučil standardizovat termíny pozorování 7, 14 a 21 hodin.

V termínech měření srážkových úhrnů je situace u historických dat mnohem lepší než u klimatologických stanic, kde bylo v českých zemích identifikováno 31 časových schémat měření. U měření srážek se vyskytují termíny měření v 6, 7, nebo 8 hodin. V minimu případů byl čas 6.30. Je velmi pozitivní z pohledu zpracování dat a klimatologických hodnocení, že zcela převažuje termín měření v 7 hodin. Pouze na nejstarších stanicích se měřilo častěji v 6 hodin, méně často v 8 hodin. Od roku 1979, kdy byl zaveden letní čas, se v definovaném období roku měří v letním čase. Každá meteorologická stanice má podle zeměpisné délky stanoven tzv. místní střední sluneční čas, tj. přesný čas měření.

## 6. Závěr

Tradice měření srážek na našem území je stará již více než 250 let. V tomto příspěvku představujeme ukázky typu přístrojů v jednotlivých historických obdobích. Jedná se o přístroje z našeho území a okolních států, které měly vliv na formování meteorologických měření u nás. Konstrukce manuálního srážkoměru se ustálila u nás již dávno a zásadně se nemění. Záchytná plocha je v českých zemích dlouhodobě 500 cm<sup>2</sup> a výška záchytné plochy 1 m nad zemí. V posledních 25 letech dochází k intenzivnímu vývoji různých typů automatických srážkoměrů, srážkových detektorů a větrných ochran. Svou historickou úlohu plnily po více jak 100 let registrační přístroje (ombrograf a pluviograf) pro záznam množství, času a intenzity srážek. V dnešní době se používají jen zcela výjimečně, byly nahrazeny elektronickými přístroji. Na některých horách na odlehlých lokalitách ještě stále provozujeme zvláštní typy srážkoměrů, tzv. totalizátory, jež jsou vzhledem k jejich sporadickému výskytu, robustnosti a nutnosti výměny náplní s nemrznoucí směsí doplňovány mini-totalizátory, zemními srážkoměry nebo zimními nádržemi, které tuto potřebu nevyžadují.

Stejně jako u meteorologických stanic můžeme uvést ještě další členění meteorologických stanic na profesionální amatérské (poloprofesionální) a „hobby“. Profesionální stanice a srážkoměry jsou standardizované stanice a přístroje podléhající zpravidla pravidelné kontrole a kalibraci v kalibrační laboratoři. Stanice a srážkoměry jsou na základě definovaných požadavků ve vyšší cenové hladině. Amatérské stanice a srážkoměry jsou zpravidla stanice a přístroje v dostatečné kvalitě, jež data mohou přebírat i meteorologické služby zpravidla jako tzv. doplňkové stanice. Tzv. „hobby“ manuální nebo automatické jsou levné stanice a srážkoměry zpravidla nízké kvality, některá jejich čidla se specificky využívají pro zajištění některých činností, jedná se o tzv. kompakty, to znamená, že všechna čidla jsou v jednom celku a měření tak zpravidla neodpovídají základním pravidlům meteorologických měření.



**Literatura:**

- ANGOT, A., 1918. Instruction Météorologiques (Instrukce pro pozorovatele meteorologických stanic). Paris. 183 s.
- ASCHER, A., 1887. Ergebnisse der Meteorologischen Beobachtungen im Jahre 1885. Berlin: Königlich Preussischen Meteorologischen Institut. 246 s.
- AVERKIJEV, M., S. (přeložil M. Konček), 1954. Meteorologia. Praha: Naše vojsko. 490 s.
- BRÁZDIL, R., et al., 2012. Temperature and precipitation Fluctuations in the Czech Lands During the Instrumental Period, Brno: Masarykova univerzita. 235 s. ISBN 978-80-210-6052-4.
- FIŠÁK, J., 1994. Návod pro pozorovatele srážkoměrných stanic. Metodický předpis č. 11a. Praha: Český hydrometeorologický ústav. 3. přepracované vydání, 62 s. ISBN 80-85813-13-0.
- GREGOR, A., 1927. Stručný návod k povětrnostním pozorováním v síti Státního ústavu meteorologického. Praha: SÚM. 38 s.
- HRUBEŠ, P., KOCOUREK, F., 1955. Návod pro pozorovatele povětrnostních stanic meteorologické služby v ČSR. Praha: Hydrometeorologický ústav. 160 s.
- IMGW, 1962. Instrukcja dla stacji meteorologicznych. Warszawa: IMGW. 235 s.
- JELINEK, C., 1869. Anleitung zur Anstellung meteorologischer Beobachtungen und Sammlung von Hilfstaffeln. Wien: Central-Anstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus. 195 s.
- KRŠKA, K., VLASÁK, V., 2008. Historie a současnost hydrometeorologické služby na jižní Moravě. Příspěvek k dějinám Českého hydrometeorologického ústavu. Praha: Český hydrometeorologický ústav. 1. vyd., 256 s. ISBN 978-80-86690-52-0.
- KRŠKA, K., ŠAMAJ, F., 2001. Dějiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku. Praha: Nakladatelství Karolinum. ISBN 80-7184-951-0.
- LIPINA, P., ŽIDEK, D., KAIN, I., 2014. Návod pro pozorovatele automatizovaných meteorologických stanic ČHMÚ. Metodický předpis ČHMÚ č. 13a, 2. vyd. 96 s. Praha: ČHMÚ. ISBN 978-80-87577-34-9.
- LIPINA, P., JIRAK, J., BERCHA, Š., KAIN, I., ŽIDEK, D., 2022. Návod pro pozorovatele automatizovaných meteorologických stanic ČHMÚ. Metodický předpis ČHMÚ č. 13a, 3. vyd. 104 s. Praha: ČHMÚ.
- SCHLEIN, A., 1915. Anleitung zur Ausführung und Verwertung meteorologischer Beobachtungen (Instrukce pro provádění meteorologických pozorování) 6. přepracované vydání návodu C. Jelinka, Wien: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG). 180 s.
- SLABÁ, N., 1972. Návod pro pozorovatele meteorologických stanic ČSSR. Sborník předpisů. Svazek 7. Praha: Hydrometeorologický ústav. 2. přepracované vydání, 224 s.
- SMOLÍK, L., STRUŽKA, V., 1959. Inženýrská meteorologie a klimatologie. Praha: Státní nakladatelství technické literatury. 1. vyd., 298 s.
- SPRINGER, J., 1938. Anleitung für die Beobachter an den Wetterbeobachtungsstellen des deutschen Reichswetterdienstes. Ausgabe für den Klimadienst. Allgemeiner Teil für die Stationen I. – III. Ordnung (Instrukce říšské meteorologické služby pro meteorologická pozorování stanic I. – III. řádu). Berlin: Reichsamt für Wetterdienst. 60 s.
- STRUŽKA, V., 1956. Meteorologické přístroje a měření v přírodě. Praha: Státní pedagogické nakladatelství. 1. vyd., 519 s.
- TYDLITÁT, R., RÉPAL, V., 1999. Dějiny meteorologie v datech. Brno: Vojenská akademie v Brně. 1. vyd., 56 s.
- ŽIDEK, D., LIPINA, P., 2003. Metodický předpis č. 13: Návod pro pozorovatele meteorologických stanic ČHMÚ. Ostrava: ČHMÚ.

# Nárůst plodů jabloní jako indikátor vodního stresu při použití kapkové závlahy

## Fruit growth of apple trees as an indicator of water stress when using drip irrigation

Tomáš Litschmann

AMET, Žižkovská 1230, 691 02 Velké Bílovice, amet@email.cz

### Abstrakt

Kapková závlaha patří mezi zavlažovací systémy, u nichž se předpokládá úspora vody při zachování objemu produkce pěstovaných plodin obdobně jako u jiných způsobů závlahy. S ohledem na lokální dodávání vody do omezeného půdního objemu přímo ke kořenům rostlin je nutno věnovat zvýšenou pozornost správnému řízení této závlahy a návrhu závlahového detailu.

Príspevek analyzuje průběh nárůstu plodů jabloní odrůdy Red Cap v průběhu vegetačních sezón 2022 a 2023 s ohledem na průběh počasí a dodávku závlahové vody. Závlahovou hadicí s roztečí kapkovačů 1 m, umístěnou na drátěnce, byla dodávána voda do prostoru příkmenného pásu. Vzdálenost jednotlivých stromů byla rovněž 1 m. Řízení závlahy probíhalo ve dvou režimech – časovém, podle uvážení pěstitele, a automatickém, založeném na monitorování půdní vlhkosti pod kapkovačem. Pravidelně, přibližně v týdenních intervalech, byl měřen příčný průměr 12-ti označených plodů v každé variantě, který byl následně převeden na objem jednotlivých plodů a zprůměrován. V roce 2022 byla poměrně bohatá násada plodů a bylo zjištěno, že i při dostatečné vlhkosti půdy v prostoru pod kapkovači došlo k poklesu nárůstu objemů plodů v důsledku vodního stresu stromů po několikátýdenním období s nedostatečnými úhrny ovzdušných srážek. Ukazuje se, že při rozteči kapkovačů 1 m navlažený objem zasáhne pouze malou část kořenového systému a nepomůže ani zvýšená dodávka závlahové vody. Jako jedno z možných řešení bylo v roce 2023 testováno použití kapkovací hadice s roztečí kapkovačů 0,5 m. V tomto roce však byla poměrně slabá násada plodů a ani přes výskyt period sucha nebyly získány průkazné výsledky potvrzující vhodnost použití hadice s menší roztečí kapkovačů.

**Klíčová slova:** jabloně, závlaha, růst plodů

### Abstract

Drip irrigation is one of the irrigation systems that are expected to save water while maintaining the production volume of cultivated crops, similar to other irrigation methods. With regard to the local supply of water to a limited soil volume directly to the roots of plants, it is necessary to pay increased attention to the correct management of this irrigation and the design of the irrigation detail.

The paper analyzes the progress of fruit growth of the Red Cap variety during the growing seasons of 2022 and 2023 with regard to the course of the weather and the supply of irrigation water. Water was supplied to the area of the perpendicular belt with an irrigation hose with a dropper spacing of 1 m, placed on the wire. The distance between individual trees was also 1 m. Irrigation control was carried out in two modes – timed, at the grower's discretion, and automatic, based on monitoring soil moisture under the dripper. Regularly, at approximately weekly intervals, the transverse diameter of 12 marked fruits in each variant was measured, which was then converted to the volume of individual fruits and averaged. In 2022, there was a relatively rich set of fruits and it was found that even with sufficient soil moisture in the area under the drippers, there was a decrease in the growth of fruit volumes due to water stress of the trees after a period of several weeks with insufficient amounts of air precipitation. It turns out that with a dripper spacing of 1 m, the moistened volume reaches only a small part of the root system, and even an increased supply of irrigation water does not help. As one of the possible solutions, the use of a drip line with a dripper spacing of 0.5 m was tested in 2023. This year, however, there was

a relatively weak set of fruits, and despite the occurrence of periods of drought, conclusive results were not obtained confirming the suitability of using a drip line with a smaller dripper spacing

**Keywords:** apple trees, irrigation, fruit growth

## 1. Úvod

Kapková závlaha představuje v současnosti nejrozšířenější způsob závlahy v našich ovocných sadech a vinohradech. Přes svoje nesporné výhody má pochopitelně i několik nedostatků oproti klasické závlaze postřikem. Jedním z nich je i omezený objem půdy, do něž se dostává voda dodávaná jednotlivými kapkovači. To s sebou přináší i zvýšené nároky na její dávkování tak, aby byla využita co nejefektivněji. Nejčastějším vedením závlahy v sadech ČR je jedna kapkovací hadice v řádku s roztečí kapkovacích otvorů po 1 m. Ukazuje se však, že za situací s vysokými transpiračními požadavky kořeny stromů nejsou schopny z takto navlaženého objemu získat dostatečné množství vody. Ani zvýšená dodávka závlahové vody přitom nezajistí, že stromy nejsou vystaveny alespoň částečnému stresu suchem, jak bylo potvrzeno níže prezentovaným pokusem založeným na měření nárůstu průměru jablek v závlahových podmínkách.

Optimální řízení dodávky vody pomocí doplňkové závlahy má zajistit, že nedochází k jejímu plýtvání a zároveň rostliny netrpí jejím nedostatkem. V případě závlahy postřikem, která byla v minulosti převažujícím způsobem závlahy ovocných sadů, a v některých případech je stále sadaří upřednostňována, dochází k víceméně rovnoměrnému provlžení celé plochy řádku včetně malé části meziřadí do určité hloubky. Voda se tak dostane prakticky ke všem kořenům pěstovaných (i nepěstovaných) plodin. Cenou za to je větší spotřeba vody. Poněkud jiná je situace u kapkové závlahy, u níž voda pozvolna vytéká z kapkovačů a v půdě pod nimi vytváří tzv. navlažený objem. Ten představuje objem půdy většinou nepravidelného tvaru, který se provlhní závlahou v závislosti na půdním druhu, existenci preferenčních cest průtoku vody, podloží apod. Má tendenci zasahovat spíše do hloubky než do šířky. V závislosti na vzdálenosti kapkovacích otvorů, případně počtu hadic na jeden řádek, pak obsáhne pouze část kořenového systému pěstovaných stromů. V hustých výsadbách štíhlých vřeten jabloní jsou jednotlivé stromy od sebe vzdáleny většinou jeden metr, přičemž používané závlahové hadice mají z pravidla stejnou rozteč kapkovačů. Na každý strom tedy připadá jeden výtok z kapkovače. Dlouhodobým monitorováním půdních vlhkostí v některých sadech bylo zjištěno, že ačkoliv tam jejich pěstitelé dodávají i menší množství závlahové vody, než by odpovídalo teoretické spotřebě stromů, většinou bývá půda pod kapkovači převlažena. Snímače tak nezaznamenávají potřebnou dynamiku v půdních vlhkostech, která by zajišťovala pravidelné provzdušňování půdního profilu. Přestože je tedy i v suchých obdobích pod kapkovači vysoká vlhkost půdy, často je pozorován stres suchem, provázený poklesem intenzity růstu plodů a jejich nižší finální velikostí. Vzhledem k narůstající variabilitě srážek nás uvedená situace vede k úvahám, zdali je takto navržený závlahový detail schopen pokrýt potřeby ovocných dřevin v obdobích s intenzivnějšími projevy sucha. K potvrzení této hypotézy vedla i podrobnější analýza výsledků měření průměru plodů v rámci poloprovozního pokusu prováděného v jabloňových sadech v podmínkách jižní Moravy.



Obr. 1 Celkový pohled na pokusnou výsadbu

## 2. Materiál a metody

Tento pokus probíhal ve vegetačních sezónách led 2022 a 2023 v jabloňovém sadu pěstovaném ve tvaru štíhlých větven, odrůda Red Cap. Meziřadí bylo zatravněno a příkmený pás byl udržován v bezplevelném stavu kultivací. Kapkovací hadice s roztečí kapkovačů 1 m byla zavěšena na drátěnku nad zemí (Obr. 1). Byly použity dva režimy řízení závlahy – jeden podle uvážení sadaře s nastavenými pravidelnými dávkami vody v týdenním cyklu, a druhý na základě přímo měřené půdní vlhkosti přímo pod kapkovačem mezi dvěma stromy. Od konce května, kdy nasazené plody dosáhly měřitelné velikosti 1–2 cm, byl jednou týdně až do září měřen v každé variantě příčný průměr dvanácti označených plodů (Obr. 2). V roce 2022 byly měřeny 3 varianty: 1) režim závlahy podle uvážení sadaře časovačem (kapkovače po 1 m), 2) režim závlahy na základě půdní vlhkosti (kapkovače po 1 m), 3) bez závlahy. Na základě výsledků v tomto roce byly v roce 2023 přidány ještě další dvě varianty: 4) režim závlahy podle uvážení sadaře časovačem (kapkovače po 0,5 m), 5) režim závlahy na základě půdní vlhkosti (kapkovače po 0,5 m). Kromě toho byly měřeny i další potřebné veličiny přímo v pokusném sadu – vlhkost půdy pod kapkovači ve variantách 1 a 2 a v řádku stromů ve var. 3, vlhkost půdy ve vzdálenosti 50 cm od kapkovací hadice ve var. 1 a od středu řádku ve var. 3, vlhkost půdy uprostřed meziřadí mezi var. 1 a 2 a uprostřed meziřadí ve var. 3. Údaje o teplotách vzduchu a srážkách byly měřeny na automatické meteorologické stanici umístěné v sousedním sadu.

Hodnoty průměrů jednotlivých plodů byly převedeny na přibližný objem plodů podle vztahu

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3$$

kde  $r$  – poloměr plodu

Tento přepoččet nemusí být zcela přesný, pro potřeby tohoto výzkumu je však dostačující.

Naměřené hodnoty průměrů a vypočítaných objemů byly vynášeny do grafů v závislosti jak na kalendářích dnech, tak i na sumě efektivních teplot, což se ukázalo zejména v roce 2023 s vysokou variabilitou teplot ve vegetačním období jako přesnější.

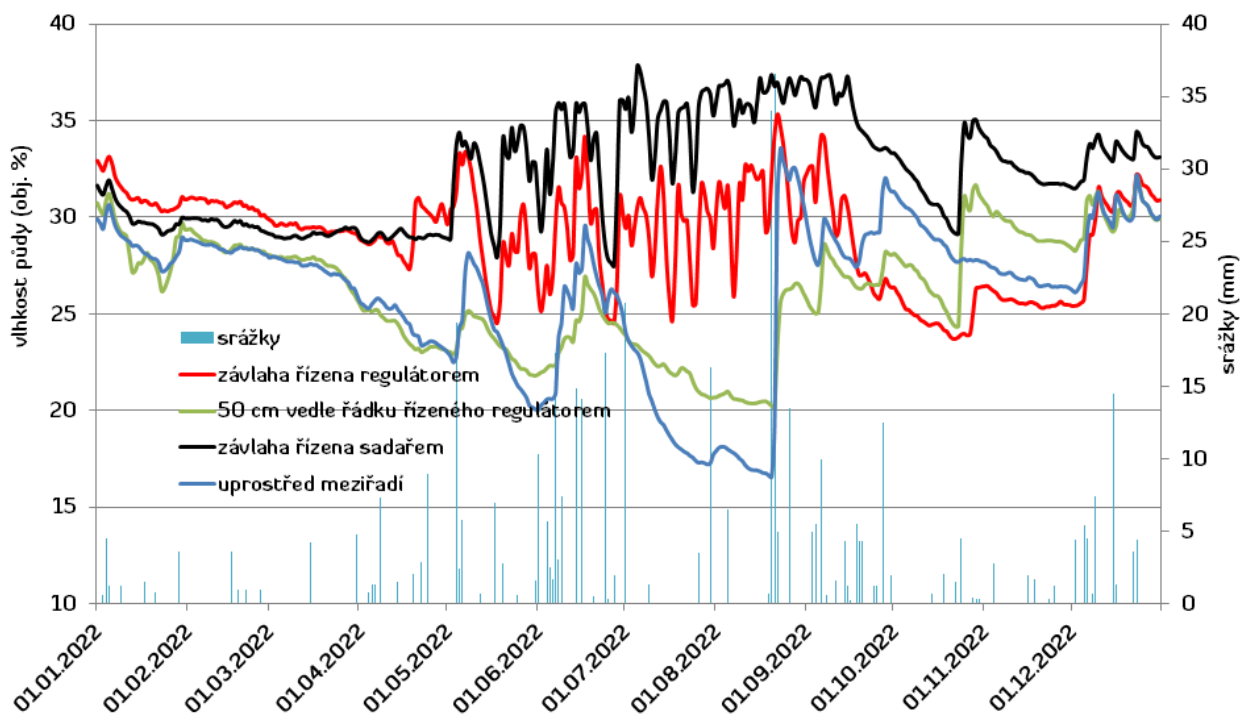


Obr. 2 Označení jednotlivých měřených plodů. Stav z 28. 8. 2023

### 3. Výsledky

Vegetační období roku 2022 se v dané lokalitě vyznačovalo nerovnoměrným rozdělením srážek. Vlhčí byl začátek května a červen, zatímco v průběhu července a po větší část srpna se již srážky vyskytovaly jenom ojediněle a v menších úhrnech, které neprosakovaly hlouběji do půdního profilu. V poslední dekádě srpna a rovněž i v průběhu září se vyskytly výraznější srážky, doplňující vodu v půdním profilu. Velmi dobře to znázorňují křivky půdních vlhkostí a srážek, uvedené na Obr. 3. Zejména půdní vlhkosti měřené 50 cm od kapkovací hadice a uprostřed meziřadí zaznamenaly v letním období výrazný pokles hluboko pod bod snížené dostupnosti.

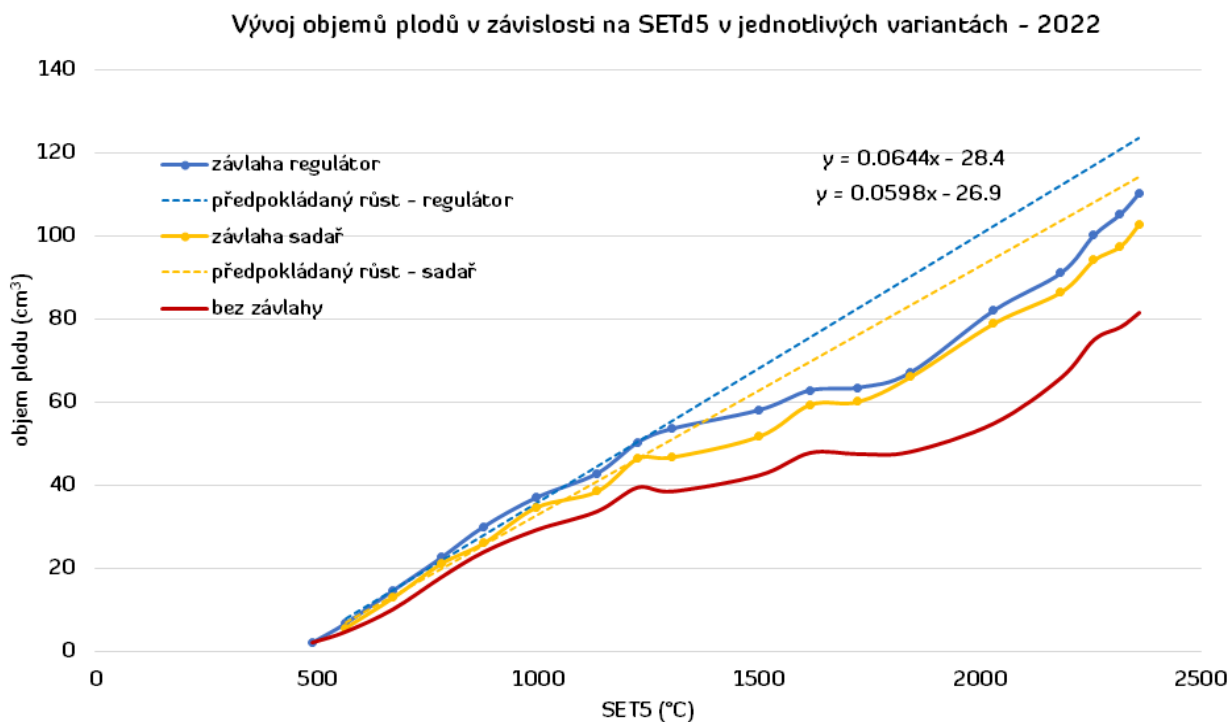
## Průběh půdních vlhkostí v pokusu se závlahou jabloní v roce 2022



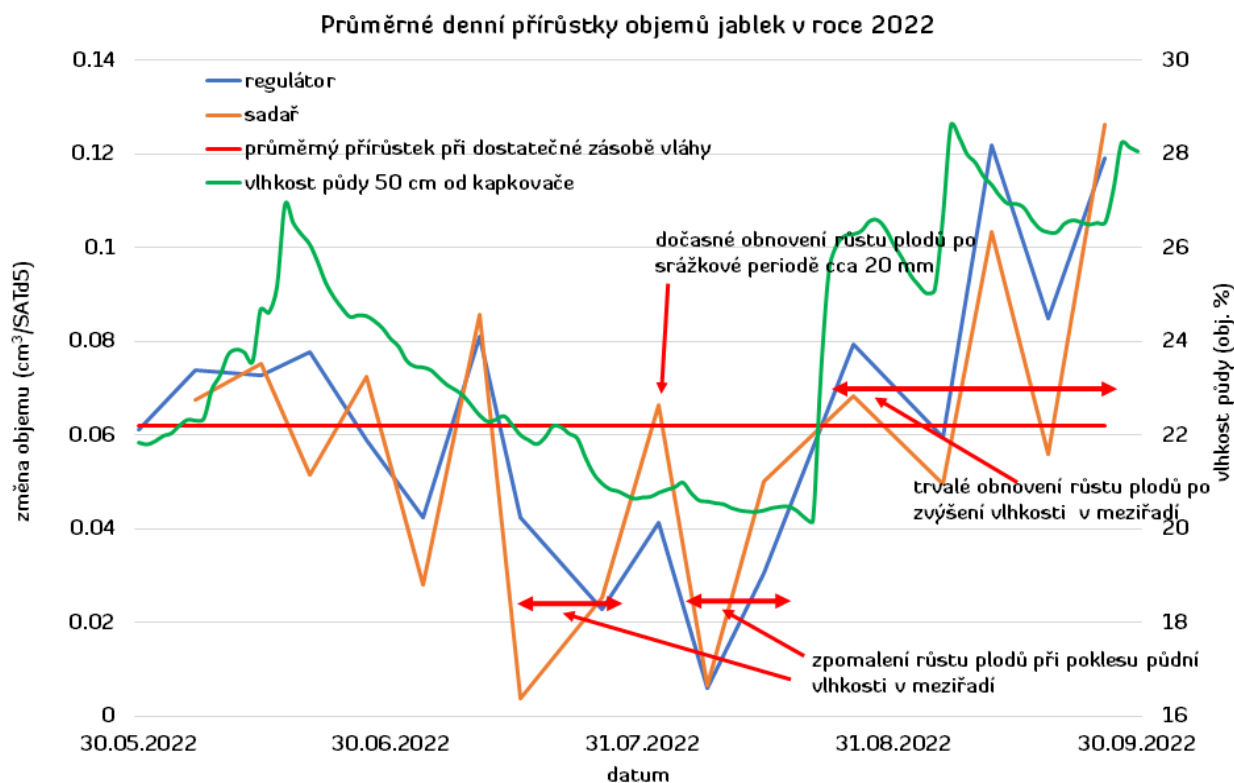
Obr. 3 Průběh půdních vlhkostí v pokusu se závlahou jabloní v roce 2022

Za ideálních podmínek zvětšování průměru malvic v průběhu vegetace probíhá poměrně rovnoměrně v závislosti na čase bez nějakých výkyvů, jaké je možno zaznamenávat např. u peckovin, u nichž v období tvrdnutí pecky dochází ke zpomalení růstu plodů. Křivka, podle níž se toto zvětšování děje, má tvar podobný parabole, kdy v průběhu prvního měsíce růstu plody nabývají na objemu pouze pozvolně vzhledem k intenzivnímu množení jejich buněk. Následný růst plodů probíhá v důsledku zvětšování objemu již namnožených buněk. Denní přírůstek jejich objemu se v závislosti na teplotní sumě ustaluje a až do zrání plodů zůstává spíše lineární (Obr. 4). Ideální trend dalšího růstu plodů na tomto grafu naznačují proložené přímky. Avšak jak je zřejmé, v průběhu července se naměřené velikosti plodů od nich začaly výrazněji odchylovat, což naznačilo, že jejich růst neprobíhá za optimálních podmínek a dojde ke snížení celkového výnosu. Ke konci srpna se opět sklon obou křivek začal přibližovat ideálnímu růstu plodů.

Růst plodů je citlivý na některé vnější faktory, v našich podmínkách je to především nedostatek vody přijímaný kořeny rostlin. Na Obr. 5 jsou vyneseny průměrné přírůstky objemů jablek připadající na 1 °C SETd5, včetně optimální hodnoty, vypočítané ze sklonu přímků znázorněných na grafu 1. Je zřejmé, že přibližně v polovině července tyto přírůstky poklesly na poměrně nízkou hodnotu, což značí výrazné zpomalení nárůstu plodů. V posledních červencových dnech napršelo kolem 20 mm srážek a díky jim se nárůst objemů plodů na pár dnů opět vrátil k optimálním hodnotám, avšak v následujícím období bylo zaznamenáno opět výrazné zpomalení nárůstu objemů plodů, které trvalo až do vydatnějších dešťů na počátku poslední dekády srpna. Od tohoto období až do sklizně již nárůst objemů plodů nebyl nijak omezen. Za povšimnutí však stojí, že k poklesům přírůstku objemů plodů došlo i v případě, kdy je porost pod kapkovou závlahou a jak je možné vyčíst z grafu 2, vlhkost půdy pod kapkovačem ve variantě řízení závlahy sadařem se pohybovala po většinu vegetačního období nad polní vodní kapacitou, ve variantě řízení na základě půdní vlhkosti se tato vlhkost pohybovala mezi bodem snížené dostupnosti a polní vodní kapacitou, tedy v rozmezí, kdy by rovněž nemělo docházet k snížení schopnosti rostlin přijímat vodu. Dodávka vody sadařem přitom vysoce převyšovala dodávku vody na základě řízení regulátorem, což ukazuje, že pokles v nárůstu plodů není způsoben případně nesprávně nastaveným regulátorem a nižší dodávkou vody.

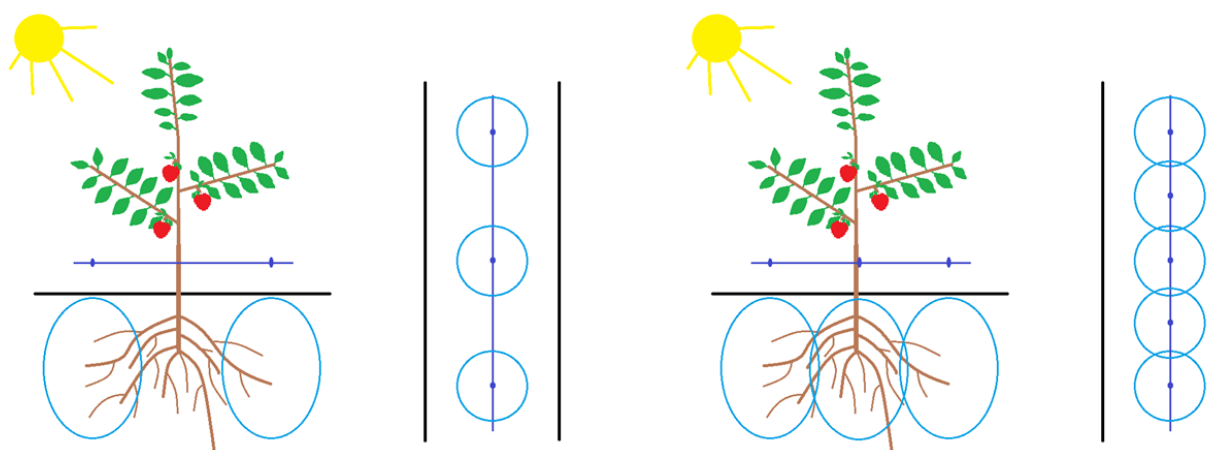


Obr. 4 Vývoj objemů plodů v závislosti na SETd5 v jednotlivých variantách – 2022



Obr. 5 Průměrné denní přírůstky objemů jablek v roce 2022

Příčinu tohoto stavu je zřejmě nutno hledat ve skutečnosti, že část kořenů lokalizovaných v navlaženém objemu pod kapkovou závlahou není schopna pokrýt celkovou spotřebu rostlin na transpiraci. Zbývající potřebnou vodu získávají kořeny i z širšího příkmenného pásu, zasahujícího částečně do meziřadí v závislosti na schopnostech kořenů pronikat do tohoto prostoru. Značnou roli v tomto případě má způsob obdělání meziřadí (černý úhor, ozelenění), popřípadě omezení růstu kořenů pod utuženými vrstvami způsobenými pojezdy techniky. Ve sledovaném případě se takto utužené vrstvy vyskytují ve vzdálenosti cca 1 m od středu řádků. Vliv vlhkosti v širším příkmenném pásu jako zdroj vody pro stromy může potvrzovat i vývoj půdních vlhkostí uprostřed zatravněného meziřadí a ve vzdálenosti 50 cm od kapkové hadice, vykreslený na Obr. 3. Tyto části půdy se nacházejí mimo navlažený objem a jsou spojeny pouze s uvedeným průběhem srážek. Pro větší názornost je půdní vlhkost ve vzdálenosti 50 cm od kapkové hadice zakomponována i do Obr. 5. Je zde zcela evidentní, že ke snížení přírůstků objemů plodů dochází v případě, kdy půdní vlhkost ve vzdálenosti 50 cm od kapkové hadice klesá přibližně pod 22 obj. %, tedy hluboko pod bod snížené dostupnosti. Nedostatek půdní vláhy se v tomto období výrazně projevil i na stavu zatravnění v meziřadí, kdy začalo docházet k jeho částečnému usychání. Jednou z možných příčin nedostatečného příjmu vody kořeny stromů může být navlažení pouze jejich části při vzdálenosti kapkovačů po 1 m. Jak znázorňuje schematicky Obr. 6, při této vzdálenosti vznikají i ve středně těžkých půdách mezi jednotlivými navlaženými objemy mezery. V nich je půda a v ní uložené kořeny suchá, závislá jenom na příjmu vody ze srážek. V případě delšího bezsrážkového období z ní nemůžou kořeny čerpat vodu, stejně tak jako z meziřadí, a jsou tak odkázány na čerpání vody prostřednictvím pouze malé části zavlažovaných kořenů. Potenciálním řešením by mohlo být zkrácení vzdálenosti kapkovačů na 0,5 m, které umožnilo zvýšit podíl kořenové masy s dostatečným přístupem k vodě.



Obr. 6 Schéma zavlažení kořenů ovocných stromů při rozteči kapkovačů 1 m (vlevo) a 0,5 m (vpravo)

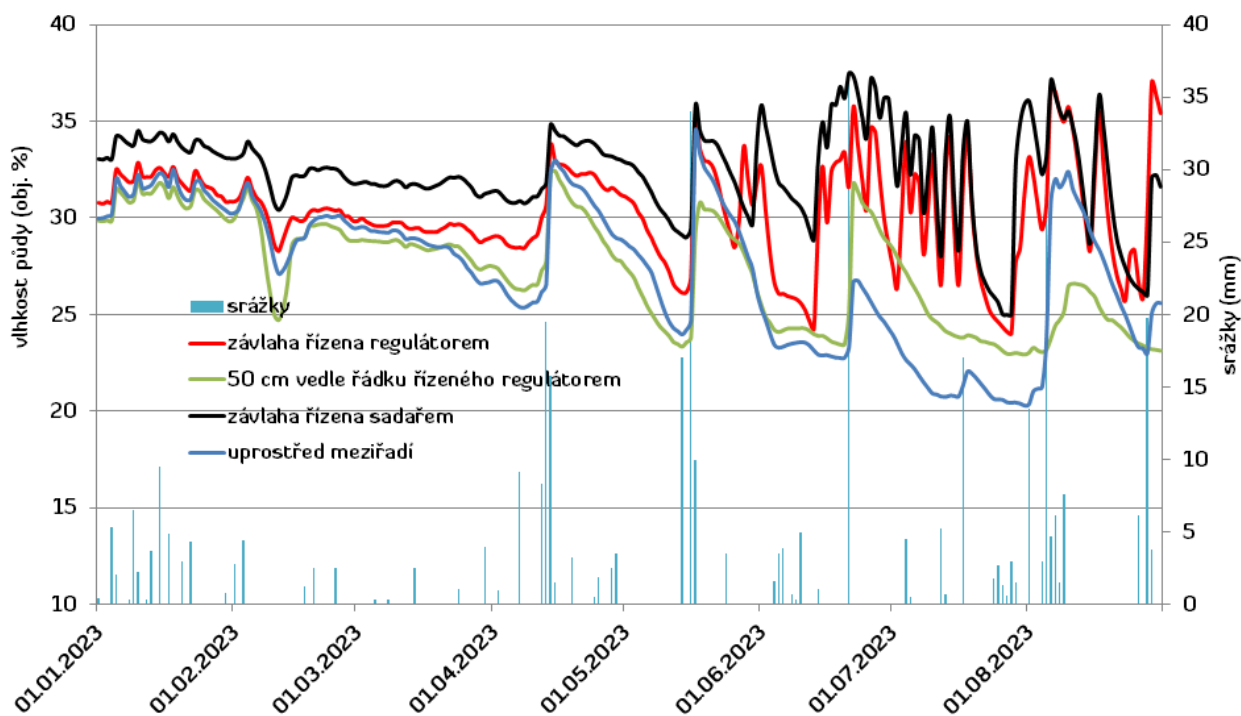
Varianty se vzdáleností kapkovačů po 0,5 m byly realizovány v roce 2023 nahrazením původních kapkových hadic se vzdáleností kapkovačů 1 m v úsecích o délce 20 m v části pokusných řádků.

Průběh srážek a půdních vlhkostí je znázorněn na Obr. 7. Ačkoliv úhrn srážek od dubna do srpna byl v obou letech téměř totožný (308 mm v roce 2022, 315 mm v roce 2023), v roce 2023 zřejmě z důvodu jejich rovnoměrnějšího rozložení v čase nedošlo k takovému poklesu půdních vlhkostí jako v roce předchozím. Násada plodů v roce 2023 byla podstatně menší než v roce 2022, kdy došlo k přeplození a nebyla v pokusném sadu provedena probírka. Z tohoto důvodu docházelo k podstatně většímu nárůstu plodů, jak znázorňuje Obr. 8. Jestliže v roce 2022 byl před sklizní objem plodů v průměru 100 ml, v roce 2023 je to již více jak dvojnásobek, průměry jablek se pohybují přes 8 cm. Z Obr. 8 by bylo možno vyčíst, že ve variantách s kapkovači po 0,5 m dochází k většímu nárůstu plodů, k potvrzení této hypotézy však bude nutno provést stejná měření i v dalších letech, jelikož varianta bez závlahy vykazovala podobně rychlý nárůst plodů, ačkoliv stromy byly závislé jenom na přirozených srážkách. Logicky by se tak dalo usuzovat na to, že v podmínkách roku 2023 by i s podstatně nižším množstvím závlahové vody plody dosáhly optimální velikosti kolem 7 cm, popřípadě i větší. Na Obr. 8 jsou vykresleny zároveň i maximální teploty v jednotlivých dnech, jelikož i v tomto roce se vyskytlo několik vln



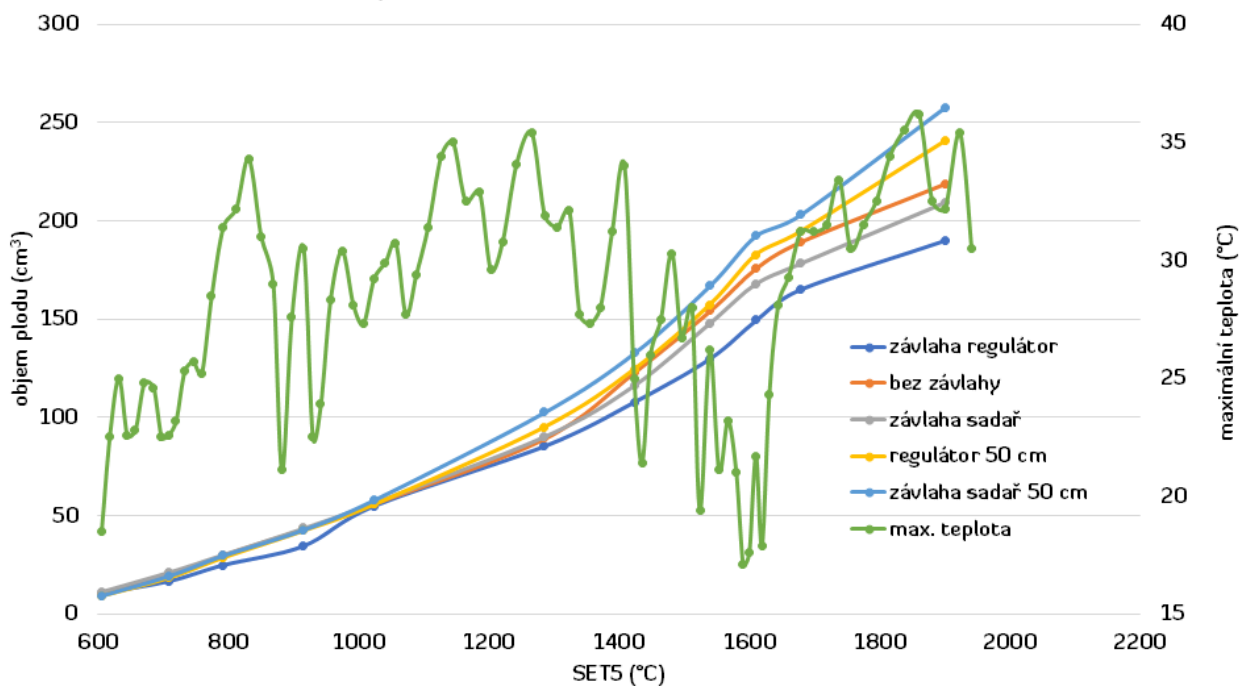
s teplotami přesahujícími 30 °C, zdá se však, že neměly vliv na rychlost nárůstu plodů, z čehož lze odvodit, že rozhodujícím stresovým faktorem je v těchto případech nedostatek vláhy potřebný na transpiraci a fotosyntézu.

### Průběh půdních vlhkostí v pokusu se závlahou jabloní v roce 2023



Obr. 7 Průběh půdních vlhkostí v pokusu se závlahou jabloní v roce 2023

### Vývoj objemů plodů v závislosti na SETd5 v jednotlivých variantách - 2023



Obr. 8 Vývoj objemů plodů v závislosti na SETd5 v jednotlivých variantách – 2023

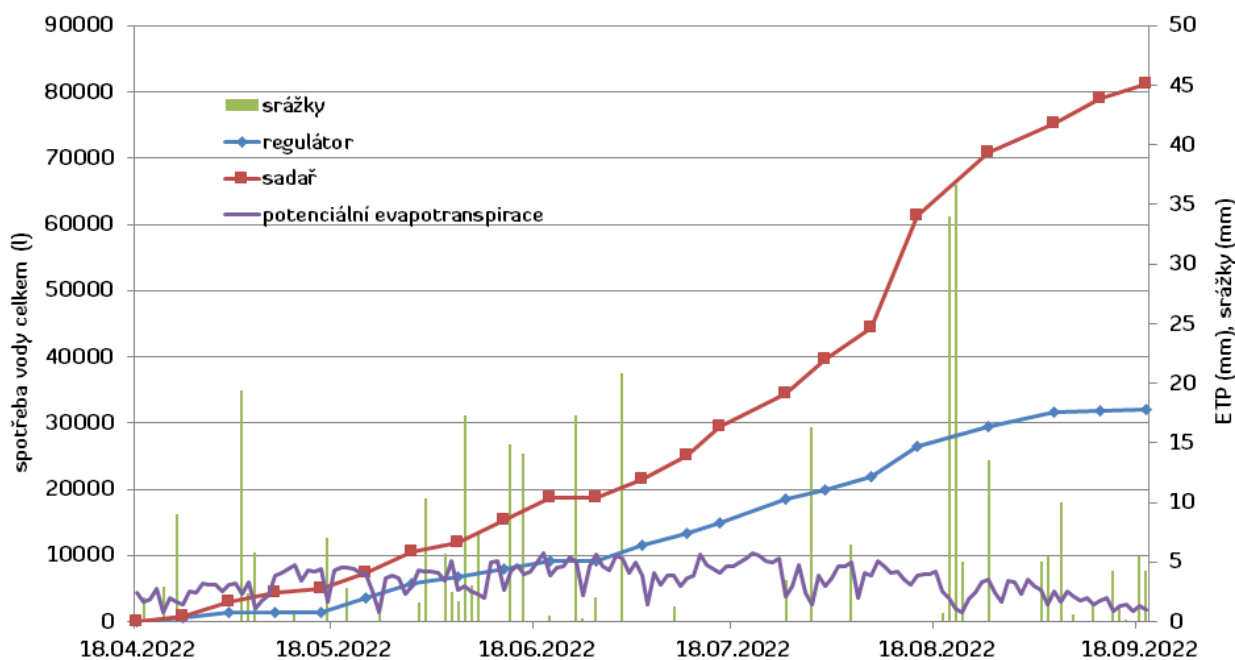
Množství spotřebované závlahové vody v obou letech je znázorněno na Obr. 9 a 10. V roce 2022 během bezsrážkového období v červenci a srpnu sadař zvýšil dodávku vody ve snaze obnovit růst plodů, měření jejich průměru však neprokázala efekt takového opatření. Ve variantě závlahy řízené sadařem se spotřebovalo přes 80 m<sup>3</sup> závlahové vody na jeden 150 m dlouhý řádek sadu, zatímco při řízení regulátorem to bylo pouze přes 30 m<sup>3</sup>. Je zde tedy podstatná úspora vody. V roce 2023 se zavlažovalo méně, množství dodané vody bylo přibližně poloviční, avšak i v tomto roce se dosáhlo ve variantě s regulátorem poloviční úspory vody.

#### 4. Závěr

Ukazuje se, že provozování kapkové závlahy ovocných sadů v našich podmínkách s sebou přináší celou řadu námětů na jejich efektivní využití, počínaje návrhem závlahového detailu až po způsoby řízení dodávky vody ve vhodném termínu a množství tak, aby bylo dosaženo očekávaného hospodářsky významného zvýšení úrody. V dané pokusné lokalitě se ukázalo, že větší množství dodané závlahové vody v sušším období nevede ke zvýšení přírůstku plodů, jelikož kořeny stromů nejsou schopny absorbovat veškerou dodanou vodu. Při vzdálenosti kapkovačů 1 m, tj. při počtu 1 kapkovač na 1 strom, dojde k pouze částečnému zasažení kořenové soustavy a zbývající část se nachází v prostředí s nízkou půdní vlhkostí. Pokusy prováděné v roce 2023 zatím prokazatelně nepotvrdily s ohledem na nízkou násadu plodů a rovnoměrnější rozložení srážkových úhrnů pozitivní vliv zdvojnásobení počtu kapkovačů na jeden strom, určité kladné indicie se zde však vyskytují.

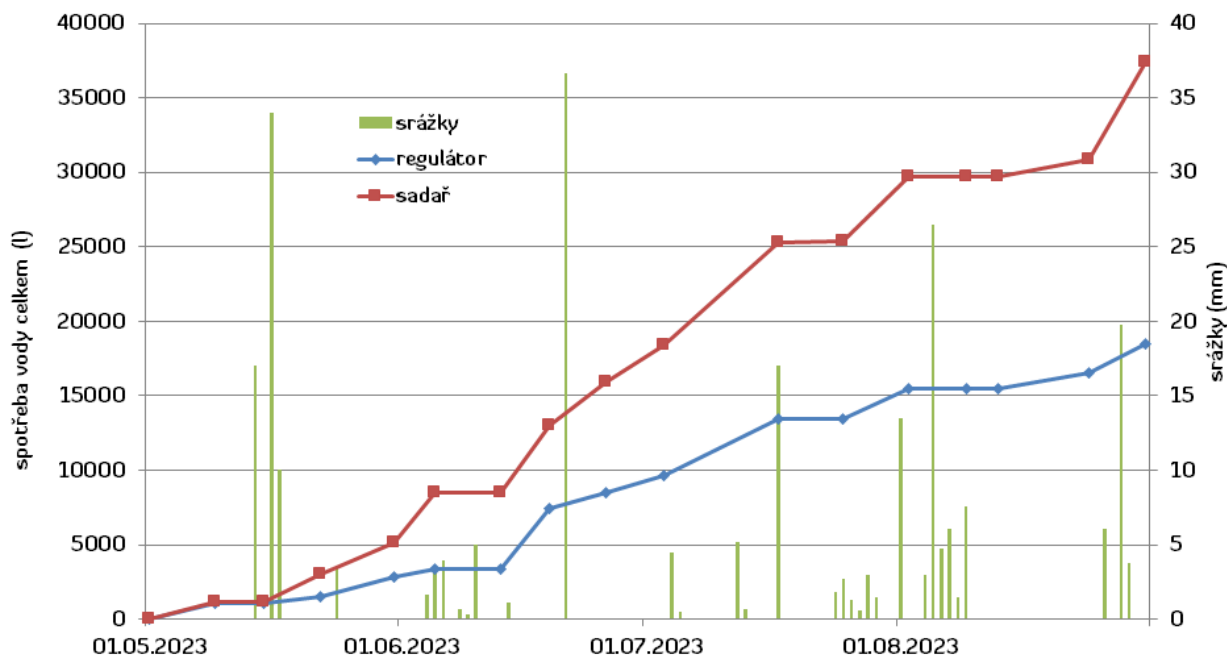
S ohledem na větší množství vlivů, působících na růst plodů v jednotlivých letech, jako jsou teplotní a vláhové poměry, počet plodů na stromech, úroveň agrotechniky apod., se jeví sledování růstu plodů jako další veličina, vstupující do rozhodovacího procesu řízení závlah a umožňující úsporně nakládat se závlahovou vodou tak, aby došlo k minimalizaci ztrát. V roce 2022 na pokusné lokalitě ani zvýšené množství dodané závlahové vody nevedlo k rychlejšímu růstu plodů, spíše by zde měla příznivý vliv probírka, neboť plody se svou velikostí jenom těsně přiblížily k hranici 60 mm v průměru, naopak v roce následujícím by s menším množstvím vody anebo i bez závlahy bylo dosaženo o něco menšího průměru, blížícího se optimální hodnotě kolem 70 mm.

Kumulativní spotřeba závlahové vody v jednotlivých variantách 2022



Obr. 9 Kumulativní spotřeba závlahové vody v jednotlivých variantách v roce 2022

Kumulativní spotřeba závlahové vody v jednotlivých variantách 2023



Obr. 10 Kumulativní spotřeba závlahové vody v jednotlivých variantách v roce 2023

## Literatura

- ATAY, E. PIRLAK, L. ATAY, N., 2010. Determination of Fruit Growth in Some Apple Varieties. *Journal of Agricultural Sciences* 16 p. 1–8
- FORSHEY, C.G., 1971. Predicting harvest size of McIntosh apples. *New York's food and life sciences bulletin* No. 9
- HIROKAZU G., KAZUKI K., 2019. Apple growth evaluated automatically with high-definition field monitoring Images. *Computers and Electronics in Agriculture* 164 (2019) 104895
- LECAROS-ARELLANO, F. ET AL., 2021. Effects of the number of drip laterals on yield and quality of apples grown in two soil types. *Agricultural Water Management* 248
- ORTEGA-FARIAS, S., FLORES, L. LEÓN, L., 2002. Elaboration of a predictive table of apple diameter cv. Granny Smith using growing degree days. *Agricultura Técnica* 62: 616–623
- SHATKOVSKIY, A. ET AL. 2022. Dependence of apple productivity and fruit quality on the method of drip irrigation terms appointment. *Zemdirbyste-Agriculture*, vol. 109, No. 3, p. 277–282, ISSN 1392-3196 / e-ISSN 2335-8947
- YOCUM, W. W., 1937. Root Development of Young Delicious Apple Trees as Affected by Soils and by Cultural Treatments. *Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln Extension*. 910.

## Poděkování

Príspevek byl zpracován v rámci projektu QK1910165 „Moderní postupy v závlahovém režimu ovocných dřevin v podmínkách vodního deficitu“

# IS RESTEP – Modul VODA

## IS RESTEP – WATER module

Vladimír Papaj, Tomáš Vojtěchovský, Matěj Janoušek

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., oddělení Půdní služba, Žabovřeská 250, 156 00 Praha-Zbraslav, [papaj.vladimir@vumop.cz](mailto:papaj.vladimir@vumop.cz), [vojtechovsky.tomas@vumop.cz](mailto:vojtechovsky.tomas@vumop.cz), [janousek.matej@vumop.cz](mailto:janousek.matej@vumop.cz)

### Abstrakt

Cílem příspěvku je představení možnosti modulu VODA vyvíjeného v rámci IS RESTEP v oblasti hospodaření s vodou v zemědělství a lesnictví v regionálním i národním měřítku. Možnosti modulu jsou prezentovány na příkladu kvantifikace tří vybraných charakteristik: 1) vláhové bilance vybraných zemědělských plodin na orné půdě, 2) spotřeby vody v živočišné výrobě a 3) celkového odtoku vody z lesních ekosystémů. K vyčíslení vláhové bilance na orné půdě jsou použita klimatická data za dekádu 2011–2020 a relevantní půdní data. Spotřeba vody plodinami je vyčíslena podle metodiky FAO-56. K vyčíslení spotřeby vody v živočišné výrobě jsou použita data o počtu zvířat v regionech, údaje o spotřebě vody pro jednotlivé druhy a kategorie zvířat a odborné odhady o způsobech jejich ustájení. Kvantifikace vláhové bilance v lesních ekosystémech vychází rovněž z klimatických dat a údajů o spotřebě vody dřevinami. Hodnoty uvedených charakteristik jsou vyčísleny na úrovni krajů v absolutním vyjádření i jako průměrné hodnoty pro možnost srovnání. Z výsledků vyplývá, že vláhová bilance zemědělských plodin spočtená podle nové metodiky je ve všech krajích deficitní. Porovnáním s dlouhodobým průměrem úhrnu srážek za klimatický normál 1991–2020 dosahuje deficit 12–35 %. Z hlediska míry vodního stresu až 69 % (1,7 mil. ha) území trpí takovou mírou vodního stresu, který již může mít vliv na výnosy plodin. Naproti tomu hodnoty celkového odtoku z lesních ekosystémů jsou ve všech krajích výrazně pozitivní. Lesní ekosystémy jsou z hlediska vodní bilance výrazným stabilizačním prvkem. Dochází v nich k zadržování vody, ke zpomalování jejího pohybu a k její akumulaci. Modul VODA se aktuálně nachází v poslední fázi vývoje, která přinese rozšíření a výrazné zpřesnění zejména ve výpočtu vláhové bilance zemědělských plodin. Tím dojde ke zpřesnění informací pro podporu rozhodování o umístění a aplikaci vhodných opatření na zlepšení hospodaření s vodou v zemědělství a lesnictví v národním i regionálním měřítku.

**Klíčová slova:** vláhová bilance, odtok z lesa, spotřeba vody zvířaty, modul VODA, RESTEP

### Abstract

The aim of the contribution is to present the possibility of the WATER module developed within IS RESTEP in the field of water management in agriculture and forestry. The possibilities of the module are presented on the example of the quantification of three selected characteristics: 1) moisture balance of selected agricultural crops (Duffková et al. 2020), 2) water consumption in animal production and 3) total water runoff from the forest. Climatic data for the decade 2011–2020 and relevant soil data are used to determine the moisture balance of crops. Crop water consumption is determined according to the FAO-56 methodology. Data on the number of animals in the regions, standards for water consumption by animals and estimates on the methods of housing them are used to quantify water consumption in animal production. The total runoff from the forest is based on climate data and data on water consumption by woody plants. The values of the mentioned characteristics are calculated at the regional level both absolutely and as average values for comparison. The results show that the moisture balance of agricultural crops calculated according to the new methodology is negative in all regions. The deficit reaches 12–35% of the long-term average total precipitation for the climate normal 1991–2020. Up to 69% (1.7 million ha) of the territory suffers from such a degree of water stress that it can already affect crop yields. In contrast, the values of total runoff from forest ecosystems are positive in all regions. Water is retained in them, its movement slows down and it accumulates. The WATER module is currently in the final stage of development, which will bring expansion and refinement. This will refine the information to support decision-making about the location and application of appropriate measures to improve water management on a national and regional scale.

**Keywords:** moisture balance, forest runoff, animal water consumption, VODA module, RESTEP

## 1. Úvod

**Informační systém RESTEP** (<https://restep.vumop.cz>) vznikl jako jeden z hlavních výstupů projektu ReStEP (Regional Sustainable Energy Policy) v roce 2014. Od začátku řešení byl koncipován a prezentován jako: „*Interaktivní mapa obnovitelných zdrojů pro regionální udržitelné plánování v energetice*“. Cílem projektu bylo vypracovat a zavést do praxe novou metodu pro navrhování a posuzování energetických záměrů, a to z hlediska efektivního využití přírodních zdrojů a ochrany životního prostředí. Jedná se o mapovou aplikaci, která uživatelům umožňuje modelovat vliv zavádění OZE. V další etapě rozvoje IS RESTEP došlo k odklonu od původně energetického zaměření projektu směrem k zemědělství. V této fázi rozvoje vznikli moduly BIOMASA a EKONOMIKA. Aktuálně probíhá vývoj modulu VODA a modulu TAXONOMIE. **Modul Biomasa** (<https://biomasa.vumop.cz>) byl vytvořen v roce 2018. Byl definován jako nástroj pro komplexní podporu strategických a rozhodovacích procesů zejména veřejné správy vedoucí k optimálnímu využití biomasy při respektování potravinové soběstačnosti. Systém tedy umožňuje hodnotit dopady různých způsobů využití zemědělské půdy ve vztahu k potravinové soběstačnosti, udržitelnosti kvality zemědělské půdy a možnosti využívání biomasy jako obnovitelného zdroje energie. **Modul Ekonomika** (<https://ekonomika.vumop.cz>) byl vytvořen v roce 2020. Jeho cílem je ekonomická podpora strategických a rozhodovacích procesů vedoucí k optimálnímu využití OZE, především pak biomasy, při respektování potravinové soběstačnosti a ochrany půdy. Cílem projektu bylo nalezení a ověření vhodných metod pro ekonomické hodnocení různých scénářů energetického využití zemědělské biomasy a odpadní biomasy při zohlednění potřeby pěstování potravin a krmiv a při zohlednění limitů ve využití půdy a prevenci její degradace. Vývoj **Modulu Voda** (<https://nexus.vumop.cz>) bude ukončen v roce 2023. Účelem projektu je využití obnovitelné energetiky v lokálních a regionálních řešeních pro nakládání s vodami a udržení vody v krajině. Cílem je tedy zlepšení vodní bilance a efektivního využití energie za pomoci soustav malých OZE a přebytků ze stávajících technologií, ale i identifikace vhodných lokalit pro umístění malých systémů OZE pro podporu nakládání s vodou v zemědělství a lesnictví. Posledním z vyvíjených modulu IS RESTEP je **Modul Taxonomie**. Vývoj modulu je zatím v přípravné fázi. Ukončení je plánováno na rok 2025. Cílem projektu je příprava vhodného prostředí pro zavedení požadavků EU na hodnocení udržitelnosti hospodaření v resortu zemědělství a lesnictví, tzv. Taxonomie, a to jak pro cílové podniky, které budou mít povinnosti či záměr hodnocení provádět a zveřejňovat, tak pro finanční instituce a investory.

Cílem příspěvku je bližší představení možností modulu VODA v oblasti hospodaření s vodou. Modul mimo jiné poskytuje uživatelům informace o vláhové bilanci vybraných plodin na zemědělské půdě, spotřebě vody v živočišné výrobě a celkovém odtoku z lesných ekosystémů pro zvolenou zájmovou oblast. V příspěvku budou prezentovány výsledky těchto tří charakteristik v jednotlivých krajích. Informace mohou být využity při rozhodování o vhodném zacílení a aplikaci možných opatření na zlepšení vodní (vláhové) bilance v regionech.

## 2. Metodika

### 2.1 Vláhová bilance zemědělských plodin

Je agroklimatická charakteristika, která představuje rozdíl mezi množstvím vody, které může rostlina využít (srážky, voda v půdě) a množstvím vody, které rostlina (s)potřebuje pro svůj růst (plodinová evapotranspirace). Pokud se bilance stanovuje za delší časové období, zpravidla vegetační období, tak mluvíme o dlouhodobé vláhové bilanci (Duffková et al. 2020). V té nejjednodušší formě ji lze vyjádřit jako rozdíl množství využitelné vody a její potřeby pro optimální růst plodin:

$$VB = Sr + Wz + Wk - Vc$$

kde:  $VB$  – vláhová bilance ve vegetačním období [mm],  $Sr$  – srážkový normál vegetačního období [mm],  $Wz$  – využitelná zásoba vody v půdě na začátku vegetačního období [mm],  $Wk$  – využitelné množství vztlínající podzemní vody pro vegetační období [mm],  $Vc$  – plodinová vláhová potřeba za vegetační období [mm].

V příspěvku jsou prezentovány výsledky  $VB$  vybraných zemědělských plodin (celkem 22 plodin) podle jejich zastoupení v krajích podle údajů Českého statistického úřadu (ČSÚ). Zastoupení je spočteno jako pětiletý průměr (2018–2022). Vzhledem k tomu, že vláhový deficit nemusí automaticky znamenat problém pro zemědělskou produkci jsou hodnoty  $VB$  podle půdních hydrolimitů (plní vodní kapacita, bod snížené dostupnosti, bod vadnutí) vyjádřeny v kategoriích

vodného stresu (bez stresu, mírný, střední, silný), které zohledňují různou dostupnost vody pro plodiny (Duffková et al. 2020).

## 2.2 Spotřeba vody v živočišné výrobě

Pro identifikaci spotřeby vody u různých druhů a věkových kategorií zvířat byla využita data z evidence hospodářských zvířat MZe (skot, prasata, ovce, kozy a drůbež). Dále byla využita data z projektů staveb pro živočišnou produkci, kde je odborně vypočítána, nebo odhadnuta spotřeba vody pro určité druhy hospodářských zvířat a pro konkrétní typ ustájení. Ve vztahu ke spotřebě vody byly systémy ustájení rozděleny na: pastvu, stelivové stáje, roštové ustájení, klecové ustájení, ustájení v hale na podestýlce a voliérové ustájení. Poslední tři typy ustájení se týkají ustájení drůbeže. Pro porovnání úrovně spotřeby vody mezi jednotlivými druhy hospodářských zvířat byla spotřeba vody přepočtena podle příslušných koeficientů z původní roční spotřeby v m<sup>3</sup> na 1 ks na roční spotřebu v m<sup>3</sup> na velkou dobytčí jednotku (VDJ). Na přepočet byly využity upravené koeficienty uvedené v zákoně č. 100/2001 Sb., kde se využívá definice uvedené v ustanovení § 3 odst. 1 písm. d) zákona č. 166/ 1999 Sb., (veterinární zákon) (Pokorná, 2022).

V modulu VODA jsou využita data z centrální evidence zvířat aktuální k roku 2020. Data jsou strukturována podle druhů a věkových kategorií zvířat v členění na katastrální území. Z důvodu ochrany citlivých informací o počtu zvířat jsou informace agregovány na vyšší územní jednotky (ORP až kraje).

## 2.3 Odtok vody z lesa

Definuje tzv. kvantitativní (vodohospodářskou) hydrickou funkci lesů, která vyjadřuje schopnosti lesních ekosystémů vytvářet příznivé účinky ve formě zabezpečení disponibilních zásob vody pro potřeby samotných lesních ekosystémů i lidské společnosti (Hruban a kol. 2020). Kvantitativní hydrická funkce je postavena na vyčíslení vodní bilance. Základní rámec vodní bilance tvoří (za předpokladu nedostupnosti podzemní vody): srážky, celkový výpar a odtok vody (Poleno, Vacek, 2009). Atmosférické srážky v jakékoliv podobě představují příjmovou složku a sumární výpar, který se zpravidla člení na intercepci (I), evaporaci z půdy (E) a transpiraci (T), tvoří výdajovou složku vodní bilance lesa. Vzájemný vztah uvedených komponent vodní bilance lze zapsat v nejjednodušší podobě jako:

$$S = I + E + T + O$$

kde: S – srážky, I – intercepce, E – evaporace, T – transpirace, O – odtok.

Celkový odtok je tedy dán rozdílem srážek a evapotranspirace. Vyjadřuje celkovou produkci vody pocházející (odtékající) z lesních ekosystémů a je vyjádřen v [mm].

V modulu VODA je pro výpočet použita rastrová vrstva celkového odtoku pro lesní půdu v rozlišení 100 m s platností k 1.1.2023 v rozsahu celé ČR. Vrstvu pro účely projektu poskytl Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem (ÚHÚL).

## 3. Výsledky

V *Tab. 1* níže je porovnání hodnot 3 charakteristik souvisejících s hospodařením s vodou v jednotlivých krajích: 1) vláhová bilance vybraných plodin na orné půdě, 2) spotřeba vody v živočišné výrobě a 3) celkový odtok z lesa. U každé charakteristiky je uvedena sumární hodnota na relevantní výměru (orné půdy a lesa), nebo všechny VDJ v kraji a pro porovnání i průměrné hodnoty na 1 hektar, nebo 1 VDJ.

Tab. 1 Přehled vláhových bilancí a spotřeby vody v krajích

Kraj	VB na OP (m <sup>3</sup> )	Průměrná VB na OP (mm)	Spotřeba vody v ŽV (m <sup>3</sup> )	Průměrná spotřeba vody (m <sup>3</sup> /VDJ/rok)	Celkový odtok z lesa (m <sup>3</sup> )	Průměrný odtok z lesa (mm)
Hlavní město Praha	-15 319 353	-157	33 883	36,83	5 583 894	102
Středočeský kraj	-701 004 609	-151	4 696 492	26,82	455 687 148	149
Jihočeský kraj	-280 985 841	-116	5 895 444	26,64	976 891 913	246
Plzeňský kraj	-233 070 873	-117	4 128 230	26,08	851 249 800	271
Karlovarský kraj	-47 735 695	-139	1 056 299	22,96	372 098 503	247
Ústecký kraj	-215 802 623	-145	1 536 543	22,78	427 185 213	254
Liberecký kraj	-45 353 113	-122	1 379 701	27,20	677 254 198	466
Královéhradecký kraj	-205 610 209	-127	2 914 380	27,67	645 553 333	408
Pardubický kraj	-263 089 316	-153	3 368 209	28,07	386 237 819	268
Kraj Vysočina	-410 616 931	-151	5 780 997	27,66	386 581 507	182
Jihomoravský kraj	-617 993 697	-195	2 654 644	26,21	266 502 627	128
Olomoucký kraj	-237 522 313	-136	2 427 719	26,08	659 789 031	349
Zlínský kraj	-137 225 296	-153	1 952 829	27,85	620 627 984	370
Moravskoslezský kraj	-116 842 671	-96	2 353 605	26,54	867 392 707	438
<b>Celkem</b>	<b>-3 528 172 540</b>	<b>-144</b>	<b>40 178 975</b>	<b>26,66</b>	<b>7 598 635 677</b>	<b>275</b>

Pozn. příznivé hodnoty jsou zeleně, nepříznivé hodnoty červeně.

Z uvedených hodnot vyplývá, že použitím popsané metody výpočtu vláhové bilance (Duffková et al. 2020) a při zohlednění současné skladby plodin je VB ve všech krajích negativní. Nejvyšší hodnoty vláhového deficitu jsou v krajích: Jihomoravském, Zlínském a Pardubickém. Naopak nejnižší úroveň vláhového deficitu dosahují kraje: Moravskoslezský, Jihočeský a Plzeňský. V porovnání z dlouhodobým ročním srážkovým úhrnem za klimatický normál 1991–2020 (ČHMÚ 2022) představuje deficit v těchto krajích 12–35 %. O dopadu na hospodaření více vypovídá zastoupení kategorií míry vodního stresu. V ČR jsou pouze 3 % ploch bez vodního stresu, 28 % s mírným vodním stresem, 58 % trpí středním vodním stresem a 11 % silným vodním stresem. Jak uvádí Duffková (2020) mírný vodní stres by neměl snižovat výnosy plodin. Naopak plochy, kde plodiny trpí středním a silným vodním stresem jsou navrženy pro doplňkovou závlahu. Tyto plochy zabírají 69 % orné půdy, co představuje celkovou plochu cca 1,7 mil. ha. Naopak celkový odtok z lesa je ve všech krajích výrazně přebytečný. Nejlépe plní vodohospodářskou funkci lesy v krajích: Libereckém, Moravskoslezském a Královéhradeckém. Úroveň celkového odtoku tu přesahuje 150 % průměru ČR. Naopak nejhorší situace je v krajích: Jihomoravském, Středočeském a v kraji Vysočina, kde úroveň celkového odtoku nepřesahuje 66 % průměru ČR.

#### 4. Diskuse

K uvedeným výsledkům je nezbytné uvést několik zásadních a limitujících skutečností. Nová metodika vláhové bilance (Duffková et al. 2020) využívá pro výpočet vláhových potřeb plodin ( $V_c$ ) metodiku FAO-56 (Allen a kol. 1998). Oproti dříve používaným hodnotám podle ČSN 75 0434 (Meliorace – Potřeba vody pro doplňkovou závlahu) jsou nové hodnoty  $V_c$  mnohem vyšší. To může být jeden z hlavních důvodů, proč je VB deficitní ve všech krajích. Např. pro pšenici ozimou a žito v Polabí uvádí ČSN hodnotu  $V_c = 2300 \text{ m}^3/\text{ha}$  zatímco podle metodiky FAO-56 vychází průměrná hodnota  $V_c = 4000 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Obdobné je to i na Jižní Moravě, kde pro stejné plodiny uvádí ČSN hodnotu  $V_c = 2400 \text{ m}^3/\text{ha}$  zatímco podle metodiky FAO-56 vychází hodnota  $V_c = 4200 \text{ m}^3/\text{ha}$ . To představuje nárůst  $V_c$  o 74 %, resp. 75 %. Modul VODA nezohledňuje vliv závlah a odvodnění na VB plodin. U závlah je hlavním důvodem skutečnost, že nejsou k dispozici data o funkčnosti závlahových systémů ani data o spotřebě vody pro závlahy. U odvodnění nejsou k dispozici dostatečně přesné podklady o jejich prostorovém umístění ani informace o jejich funkčnosti.

Pro výpočet spotřeby vody v živočišné výrobě je limitujícím faktorem dostupnost dostatečně přesných informací o způsobech ustájení jednotlivých druhů zvířat. Vzhledem k tomu, že tyto informace dostupné nejsou, vycházejí hodnoty použité v modulu VODA pouze z odporného odhadu o podílu jednotlivých způsobů ustájení. Pro výpočet celkového

odtoků z lesních ekosystémů je limitující dostupnost relevantních údajů o evapotranspiraci jednotlivých dřevin. Literární zdroje uvádějí pro některé plodiny poměrně široké rozpětí. Např. pro SM 476–616 mm, nebo pro BK 344–554 mm. Pro některé plodiny navíc nejsou hodnoty evapotranspirace dostupné vůbec. Proto musí být hodnoty odhadovány podle jiných dřevin. Podrobněji v metodice Hruban (2022).

## 5. Závěr

Cílem příspěvku bylo představit možnosti modulu VODA vyvíjeného v rámci IS RESTEP při podpoře rozhodování v oblasti hospodaření s vodou v regionálním i národním měřítku. Účelem modulu není poskytovat detailní informace na úrovni jednotlivých pozemků, ale přehledové informace na úrovni vyšších správních jednotek (kraje, okresy, ORP). Proto byli v příspěvku prezentovány výsledky výpočtu tří charakteristik z oblasti hospodaření s vodou na krajské úrovni. Jedná se o: 1) vláhovou bilanci vybraných zemědělských plodin, 2) spotřebu vody v živočišné výrobě a 3) celkový odtok z lesa jako kritérium úrovně plnění vodohospodářské funkce lesa. Pro jednotlivé kraje byli spočteny absolutní hodnoty uvedených charakteristik (na celkovou výměru, nebo celkový počet jednotek), a pro možnost vzájemného porovnání i průměrné hodnoty (na 1 ha, nebo 1 VDJ). Kromě uvedených informací poskytuje modul VODA i řadu dalších podrobnějších informací k hospodaření s vodou. Mimo jiné nabízí i mapu „Nedostatku zdrojů vody“, která vyjadřuje podíl zdrojů vody, které chybí do vyrovnané vláhové bilance. Mapa byla odvozena z deklarovaného rozmístění plodin z geoprostorových žádostí v roce 2022. Mapu je možné využít na identifikaci oblastí s největším nedostatkem zdrojů vody, co je následně možné využít pro zacílení opatření v suchých oblastech. Modul je v závěrečné fázi vývoje, která přinese zásadní zpřesnění zejména ve výpočtu vláhové bilance zemědělských plodin. Ve výpočtu budou nově použity data o prostorovém rozmístění plodin podle geoprostorových žádostí (GPŽ). VB tak bude počítána v největším možném detailu na díly půdních bloků LPIS a až následně bude agregována na vyšší správní jednotky. To přinese výrazné zpřesnění podkladů k rozhodování o vhodných opatřeních pro zlepšení dostupnosti vody v zemědělství.

### Literatura:

ALLEN, R. G., PEREIRA, L., S., RAES, D., SMITH M., 1998. Crop evapotranspiration, Guidelines for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper, 56. Rome: FAO. ISBN 92-5-304219-2. <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm#Contents>

ČHMÚ 2022, Historická data o počasí, Územní srážky. Dostupné online: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky>

ČSN 75 0434 Meliorace – Potřeba vody pro doplňkovou závlahu. Účinnost od 1. 4. 2017. Česká technická norma, ICS 13.060.10, 65.020.20

DUFFKOVÁ, R., FUČÍK, P., HOLUB, J. et al., 2020. Metodika hodnocení vláhových potřeb zemědělských plodin pro účely závlah: Certifikovaná metodika. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. ISBN 978-80-88323-12-9.

HRUBAN, R. et al., 2020. Hodnocení funkcí lesů: Metodika a pracovní postupy. Oblastní plány rozvoje lesů. Brandýs nad Labem: Ústav pro hospodářskou úpravu lesů.

POKORNA, K., 2022. Spotřeba vody u různých druhů hospodářských zvířat v rozdílných systémech ustájení: Průběžná zpráva projektu TK03010098 – Klima a krajina: Water – Energy Nexus. Praha: Česká zemědělská univerzita; Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů.

POLENO, Z., VACEK, S. et al., 2009. Pěstování lesů. III., Praktické postupy pěstování lesů. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce. ISBN 978-80-87154-34-2.



# Změny hydrologického režimu lesních půd v souvislosti se zvyšováním průměrné teploty a úbytkem srážek

## Changes in the hydrological regime of forest soils in relation to average temperature increase and precipitation decrease

Luboš Sedlák<sup>1,2</sup>, Jakub Prudil<sup>1,3</sup>, Lubica Pospíšilová<sup>1,2</sup>, Šedová Lucie<sup>1</sup>, Krula Šimon<sup>1</sup>, Tomáš Vichta<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno, [lubos.sedlak@mendelu.cz](mailto:lubos.sedlak@mendelu.cz)

<sup>2</sup> Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno

<sup>3</sup> Zemědělský výzkum, spol. s r. o., Zahradní 1, 664 41 Troubsko

### Abstrakt

Klimatické extrémy (přivalové deště, sucho, povodně apod.) jsou v posledních letech velmi častým jevem. Zásadně ovlivňují specifický hydrologický režim půd a vitalitu lužních lesů. Přešlé hydrotechnické a meliorační opatření (včetně regulace koryta slepého ramena řeky Dyje) byly provedeny za účelem kontroly každoročních povodní na dané lokalitě. Následná revitalizační opatření, obnova mokřadů a integrované plánování byly zaměřeny na zamezení poklesu hladiny podzemních vod. Cílem této studie bylo sledovat dynamiku hladiny podzemní vody, klimatické podmínky a hydrofyzikální vlastnosti půdy s ohledem na probíhající klimatickou změnu. Výzkumem, probíhajícím mezi lety 2019–2023, byly získány fyzikální a hydrofyzikální parametry půdy a klimatické údaje, které přímo ovlivňují redistribuci vody v půdním profilu. Pravidelný měsíční monitoring ukázal, že nedostatek srážek, resp. jejich nerovnoměrné rozložení, má za následek pokles hladiny podzemní vody s negativním dopadem jak na ekosystém lužního lesa, tak na obyvatele. Všechny sledované parametry byly statisticky vyhodnoceny jednofaktorovou analýzou ANOVA ( $p=0,05$ ). Výsledkem výzkumu je podpořit dlouhodobý monitoring půd lužního lesa. Zajištění funkčních revitalizačních opatření (např. umělé záplavy) ovlivňuje ochranu ekosystému lužního lesa, hospodaření s vodou v krajině a kvalitu na dané lokalitě. Dále je možné získaná data využít k matematickému modelování hydrologického režimu půdy při různých klimatických scénářích. Matematické modelování nám umožňuje predikci změn v ekosystému a poskytuje nezbytné informace k přípravě na klimatickou změnu.

**Klíčová slova:** změna klimatu, hladina podzemní vody, přivalové deště, sucho

### Abstract

Climatic extremes such as heavy rains, droughts, floods, etc. have been recently more common. These events fundamentally affect floodplain forests' specific hydrological regime, vitality, and productivity. The previous land reclamation and hydro-technical measures (including riverbed regulation and regulation of meanders of the river Dyje) were carried out to control annual floods in the study area. Subsequently, revitalization measures were later aimed at wetland restoration. The integrated planning was implementing the measures of the prevention of groundwater table decrease. The main objective of this study was to monitor monthly groundwater level dynamics, soil physical and hydro-physical properties, and climatic data. The research was conducted during the period of 2019–2023. The collected data set was statistically evaluated by a one-way ANOVA analysis ( $p=0.05$ ). Regular monitoring showed that the lack of precipitation and their uneven redistribution resulted in groundwater levels decreasing. The last had negative consequences for forest productivity and municipalities. The main result of our research is to support the ongoing continuous monitoring of soil parameters, climate, and groundwater level, which is important for improving forest management, revitalization measures (e.g., artificial flooding), and preparing other models that are necessary to prepare for climate change. In addition, the obtained data can be used for mathematical modelling of the soil hydrological regime under

different climate scenarios. Mathematical modelling will allow us to predict changes in the ecosystem and provide the necessary information to prepare for climate change.

**Keywords:** climate change, groundwater level, heavy rainfall, drought

## 1. Úvod

Specifický vodní režim půd lužních lesů a jejich ekosystémů je ohrožen klimatickou změnou, která současně ohrožuje nezbytnou a hlavní kvartérní zásobárnu pitné vody. Neobhospodařované chráněné lesní oblasti podél řek jsou důležité jako zásobárny pitné vody a současně jejich obsah a kvalita je ovlivněna lesním hospodařením. Pokles hladiny je ovlivněn více faktory, především klimatickou změnou, která negativně ovlivňuje půdu a její hydrický režim (Prax, 2004; Kuglerová et al., 2014). Goudie (2006) uvádí, že z důvodů změny množství a rozdělení srážek se v průběhu let mění evapotranspirace a půdní vlhkost. Často vyskytující se klimatické extrémy jsou spojeny se zvyšováním globální teploty vzduchu o 3–4 °C, což má negativní vliv na existenci lužních lesů a mokřadů (Ravengda et al., 2000; Kowalska et al., 2020).

## 2. Materiál a metodika

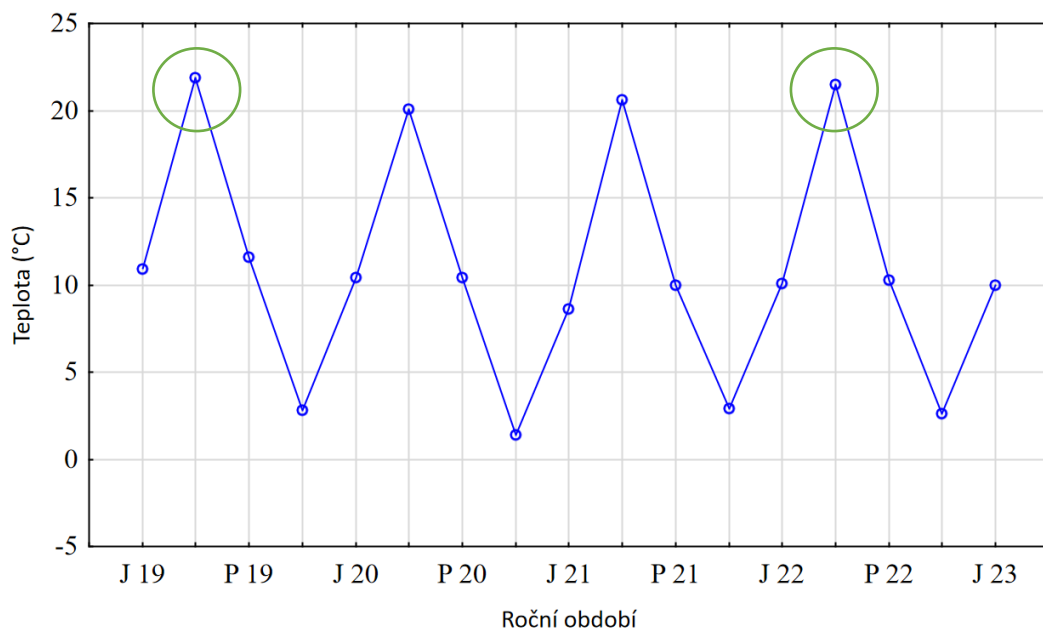
Objektem studia byla fluvizem glejová na lokalitě Lednice na Moravě. Monitoring probíhal na experimentální ploše lužního lesa Ing. Ferdinanda Vašíčka, CSc., Lesnické a dřevařské fakulty Mendelovy univerzity v Brně. Byl měřen úhrn srážek a hladina podzemní vody. Dále byly využity standardní metody pro získání chemických, fyzikálních a hydrofyzikálních parametrů půd. Lokalita se nachází v klimatickém areálu T4 s průměrnými ročními srážkami 500–650 mm a průměrnou roční teplotou 9–10 °C (Květoň, 2001). Půdní typ dle Němečka a kol. (2011) byl klasifikován jako fluvizem glejová. Hladina podzemní vody byla měřena ručním hladinometrem s opticko-akustickou signalizací (ENVIRO GLOBAL, ČR), půdní vlhkost byla měřena gravimetricky. Základní chemické, fyzikální a hydrofyzikální parametry byly hodnoceny dle Zbírala a kol. (2022). Hladina podzemní vody byla měřena v 10 hydrologických sondách K1–K10 (z důvodu pádu stromu na hydrologickou sondu K3 v říjnu 2021 následně pouze 9 sond). Srážky byly měřeny ve 3 srážkoměrech.

## 3. Výsledky

Výsledky za jednotlivá sledovaná období (jaro 2019–jaro 2023) vykazují značné výkyvy u sledovaných parametrů, jako je: hladina podzemní vody, srážky, vlhkost či průměrná teplota. Z tabulky č. 1 lze vyčíst velké výkyvy, především hluboká hladina podzemní vody za léto a podzim roku 2022. S tím i související průměrné vlhkosti za tatáž období. Samozřejmě je potřeba vzít v úvahu rozdíl mezi jednotlivými ročními obdobími. Ačkoli srážky nekorelují s hladinou podzemní vody, je patrné, že veškeré spádené srážky byly ihned využity vegetací nebo odtékly.

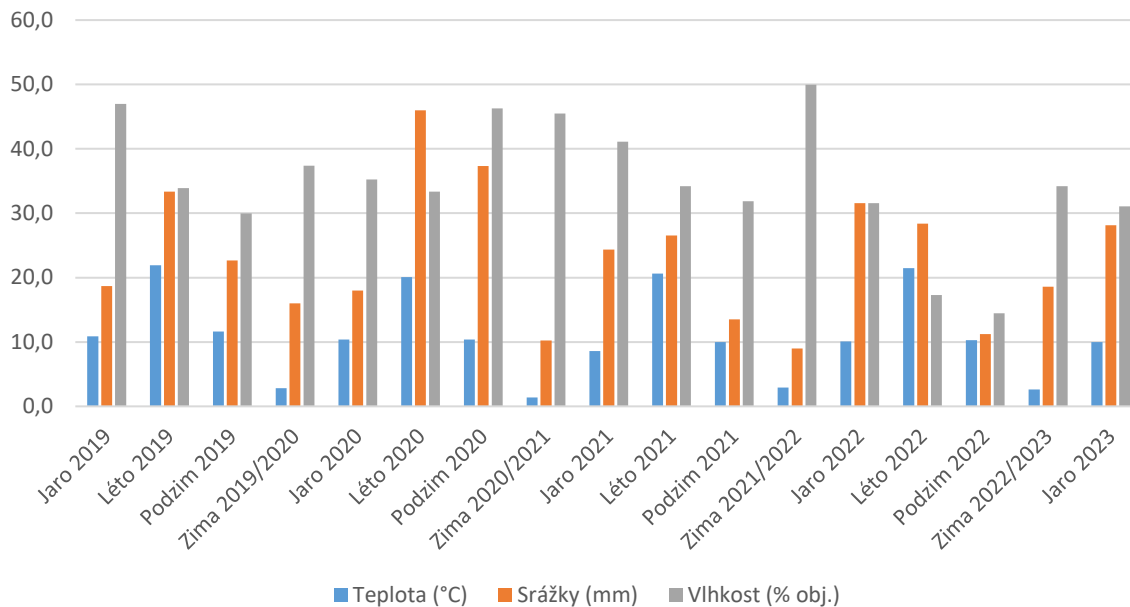
Průměrná roční teplota se každým rokem zvyšuje, jak uvádí obr. č. 1. Z obrázku je patrné, že každým rokem se zvyšuje průměrná roční teplota v každém ze sledovaných období, kdy nejvyšší je vidět za léto 2022, srovnatelné je to i v létě 2019.

Podobné hodnoty ukazuje obrázek č. 2, kde je patrné, že ačkoli srážek neubývá, tak jejich spád není dostatečný. Problém tkíví v nerovnoměrné rozložení srážek po celý rok. Tento fakt je ještě umocněn extrémními vlivy, jako je například přívalový déšť a následný neefektivní odtok spadlých srážek.



Obr. 1 Průměrná roční teplota (°C) za roční období 2019–2023 (J–jaro; P–podzim; přičemž mezi těmito hodnotami je léto a podzim).

### Porovnání teploty, vlhkosti půdy a srážek



Obr. 2 Průměrné hodnoty teploty, vlhkosti půdy a srážek za jednotlivá roční období.

Tab. 1 Hladina podzemní vody, vlhkost a srážky za jednotlivá roční období

	Vlhkost (%)	Srážky (mm)	Hladina podzemní vody (cm)
Jaro 2019	47,00	18,67	-76,67
Léto 2019	33,92	33,33	-116,67
Podzim 2019	29,96	22,67	-116,33
Zima 2019/2020	37,40	16,01	-113,33
Jaro 2020	35,26	18,00	-103,33
Léto 2020	33,35	46,00	-102,50
Podzim 2020	46,30	37,33	-110,00
Zima 2020/2021	45,51	10,22	-94,00
Jaro 2021	41,09	24,35	-77,33
Léto 2021	34,20	26,56	-142,33
Podzim 2021	31,84	13,49	-163,00
Zima 2021/2022	49,95	9,00	-147,00
Jaro 2022	31,55	31,57	-112,67
Léto 2022	17,31	28,37	-163,00
Podzim 2022	14,45	11,24	-162,00
Zima 2022/2023	34,18	18,58	-73,50
Jaro 2023	31,05	28,12	-28,00

#### 4. Závěr

Klimatická změna je závažný problém, se kterým se setkáváme dnes a denně. Podobné výzkumy jsou nezbytné pro pochopení složitých procesů, jenž zajišťují správné fungování ekosystému lužního lesa. Podle naměřených dat a zjištěných výsledků je patrné, že každoročně dochází k zásadním klimatickým změnám, které by mohly v blízké budoucnosti vést až k zániku tohoto cenného ekosystému a biodiverzity. Z tohoto důvodu je zcela nezbytné uzpůsobit trend hospodaření v ekosystému lužního lesa tak, aby byly tyto negativní vlivy omezeny či přímo eliminovány. Je nezbytné, aby lokalita i nadále byla sledována, neboť pouze tehdy mohou být vyřčena revitalizační doporučení/opatření k optimálnímu hospodaření na dané lokalitě.

#### Dedikace:

Príspevek byl vypracován s podporou projektu FW0601006 „Semiautonomní systém optimalizace degradovaných půd hloubkovou injektáží“ technologické agentury České republiky a institucionální podpory Ministerstva zemědělství České republiky.

#### Literatura:

Goudie, A S. 2006. Global warming and fluvial geomorphology, *Geomorphology*, Volume 79, Issues 3–4. Pages 384–394. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.023>.

Hřib M., Kordiovský E. (2004): Lužní les v Dyjsko-moravské nivě. (Alluvial forest in the Dyje River floodplain). Břeclav: Moraviapress.

Klimo E., Hager H. (2001): *The floodplain forests in Europe*, Brill NV, Leiden, the Netherlands: 267.

Kowalska N., Šigut, L., Stojanović M., Fisher M., Kysselka I., Pavelka M. (2020): Analysis of floodplain forest sensitivity to drought. *Phil. Trans. R. Soc. B* 375. Article 20190518. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2019.0518>.

- Kuglerová L., Ågren A., Jansson R., Laudon H. (2014): Towards optimizing riparian buffer 338 zones: Ecological and biogeochemical implications for forest management. *Forest Ecology and Management*, 334: 74–84.
- Květoň V. (2001): Normální teploty vzduchu na území České republiky v období 1961-1990 a vybrané teplotní charakteristiky období 1961-2000. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2001. Národní klimatický program České republiky. ISBN 80-85813-91-2.
- Menšík L., Vahalík P., Hybler V., Kostková E., Hadaš P., Prax A., Kulhavý J. (2015): Dynamika podzemních vod v Pomoravské nivě. Praha: Zprávy lesnického výzkumu, 60 (3): 206–213.
- Němeček J., Muhlanselová M., Macků J., Vokoun J., Vavříček D., Novák P. (2011): Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. 2nd eds, Praha: Česká zemědělská univerzita.
- Prax A. (2004): Hydrologický a vlhkostní režim půd lužního lesa. In *Lužní les v Dyjsko – moravské nivě (Hydrological and water regime of soils in alluvial forest)*. Břeclav: Moraviapress. 41–47.
- Ravenga C., Brunner J., Henninger N., Kasem K., Rayne R. 2000 Pilot analysis of global ecosystems. *Freshwater systems*. Washington, DC: World Resources Institute.

# Analýza databáze odběrů závlahové vody v ČR

## Analysis of the database of irrigation water withdrawals in the Czech Republic

Pavla Schwarzová<sup>1</sup>, Tereza Petříčková<sup>1</sup>, Jan Šálek<sup>2</sup>, Václav Kuráž<sup>1</sup>, Tomáš Dostál<sup>1</sup>, Martin Dočkal<sup>1</sup>

<sup>1</sup> České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Thákurova 7, 16629 Praha 6, [pavla.schwarzova@fsv.cvut.cz](mailto:pavla.schwarzova@fsv.cvut.cz)

<sup>2</sup> Česká společnost vodohospodářská při ČSSI, Staroměstská 1504/1, 370 04 České Budějovice, [salek.j@centrum.cz](mailto:salek.j@centrum.cz)

### Abstrakt

V rámci řešení projektu TAČR Centrum Voda byl mimo jiné řešen potenciál pro budoucí rozvoj závlah v ČR, což zahrnovalo i problematiku možného navýšení odběrů závlahové vody pro předpokládaný vývoj klimatu. Jako zdroj informací byla poskytnuta databáze podniků Povodí, kterou ze zákona č. 254/2001 Sb. (Vodní zákon) a na základě vyhlášky č. 431/2001 Sb. o vodní bilanci, spravuje VÚV TGM. Poskytnuto k analýze bylo 2 733 evidovaných údajů o zpoplatněných odběrech vody v letech 2014–2021. Příspěvek popisuje stav databáze, velikosti závlahových odběrů, nutnost postupných úprav databáze i výsledky z hlediska potenciálu navýšení odběrů závlahové vody. Provedená analýza byla vztažena ke 1112 vymezeným Útvarům povrchových vod.

Stanoven byl podíl odběrů z povrchových i podzemních vod, velikosti závlahových odběrů pro jednotlivé kategorie v ČR (zemědělství, golfové hřiště, lesní školky, apod.) stejně jako vývoj v jednotlivých, zejména suchých letech. Pro srovnání byly v analýze také stručně popsány i podmínky odběrů závlahové vody ve vybraných Evropských státech. V rámci řešení potenciálu závlah v horizontu 2050 byly zjišťovány též podmínky dostupnosti dat o plochách závlahových systémů (Informační systém melioračních staveb, portál SOWAC-GIS, VÚMOP) a o kulturách vymezených v databázi LPIS jako potenciální možnost upřesnění budoucích potřeb závlahové vody.

**Klíčová slova:** závlahy, odběry závlahové vody, vodoprávně povolená výše odběru

### Abstract

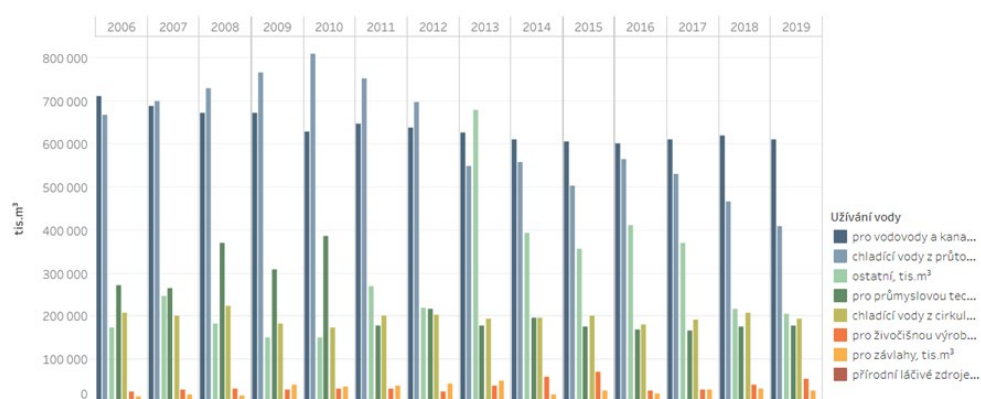
Within the framework of the TAČR Centrum Voda project, the potential for the future development of irrigation in the Czech Republic was explored. This included addressing the issue of possible increases in water intake for irrigation in light of predicted climate developments. The data source used for this analysis was the database of water management companies (Povodí), managed by the Water Management Institute (VÚV TGM) in accordance with Act No. 254/2001 Coll. (Water Act) and Decree No. 431/2001 Coll. on water balance. A total of 2,733 recorded data on chargeable water withdrawals between 2014 and 2021 were made available for analysis. The contribution describes the current state of the database, the sizes of irrigation water withdrawals, the need for gradual database adjustments, and the results regarding the potential increase in irrigation water withdrawals. The analysis was related to 1,112 defined Water Management Authorities (Útvarům povrchových vod).

The contribution also determined the share of withdrawals from both surface and groundwater sources, the sizes of irrigation water withdrawals for various categories in the Czech Republic (agriculture, golf courses, forest nurseries, etc.), and the developments in various years, particularly during dry periods. For comparison, the analysis also briefly described the conditions for irrigation water withdrawals in selected European countries. As part of addressing the potential for irrigation systems until 2050, conditions for accessing data on the areas of irrigation systems (Information System of Drainage Structures, SOWAC-GIS portal, VÚMOP) and the crops defined in the LPIS database were also investigated as potential means of refining future irrigation water needs.

**Keywords:** irrigation, irrigation water withdrawals, water management permit levels

## 1. Úvod

V rámci řešení projektu TAČR Centrum Voda (2020-2023) „odhady potřeb vody pro různá odvětví hospodářství ČR v horizontu roku 2050 (vodárenství, průmysl a chlazení, zemědělství a závlahy, a další) a rovněž možnosti jejich zabezpečení“, bylo pokračováno v popisu současné závlahové problematiky ČR. Navázáno bylo na aktualizovanou charakteristiku závlahového detailu, SCHWARZOVÁ A KOL. 2022. V roce 2023 byl pracovištěm ČVUT, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství řešen potenciál pro budoucí rozvoj závlah v ČR, s ohledem na předpovídaný vývoj klimatu, DOSTÁL A KOL. 2023. Z řady poskytnutých i dohledaných zdrojů byla shromážděna vstupní data pro rozhodovací proces a mj. byla řešena i problematika možného navýšení odběrů závlahové vody. Jako zdroj informací pro analýzu odběrů závlahové vody byla poskytnuta databáze podniků Povodí, kterou ze zákona č. 254/2001 Sb. (Vodní zákon) a na základě vyhlášky č. 431/2001 Sb. o vodní bilanci, spravuje VÚV TGM. Data jsou volně k použití a jsou dostupná i na portálu ISVS – voda, VÚV TGM 2021. V porovnání s ostatními účely odběru vody jsou závlahové odběry minimální, viz obr. č.1.



Obr. 1 Účel užívání odebrané vody, VÚV TGM 2021.

Závlahové odběry tvořily v letech 2006–2019 v průměru zhruba 1,4 % z celkové spotřeby vody v České republice, VÚV TGM 2023. Největší množství vody bylo odebíráno pro vodovody a kanalizace a dále jako chladičící vody pro průtočné chlazení.

## 2. Metodika

Pro vyhodnocení potenciálně možného navýšení odběrů závlahové vody byla poskytnuta databáze hlášených odběrů vody (2014–2021), u kterých bylo evidováno využití na zavlažování (dále jen „**databáze odběrů**“). Hranice pro zapsání odběru do databáze byla legislativně stanovena (do konce roku 2022) překročením odběru vody 6 000 m<sup>3</sup> za rok nebo 500 m<sup>3</sup> za měsíc (poplatek za odběr vody), od roku 2023 je odběratel povinen měřit množství vody a předávat výsledky příslušnému správci povodí již pokud je odběr vody větší než 1 000 m<sup>3</sup> za rok nebo 100 m<sup>3</sup> za měsíc. Státní podniky Povodí tyto údaje evidují a následně dojde ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka k doplnění identifikace do finální podoby „databáze odběrů“, viz. Obr. 2.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J																
1	ICOC	JEV	POVODI	VLASTNIK	ICO	PROVOZOVATEL	ICO_PRODV	CZ_NACE	NAZICO	NAZ_MIS_2															
2	120602	POV	Vitava	Závlahy Vitava III, spol. s r.o.	62956418	Závlahy Vitava III, spol. s r.o.	62956418	011100	ZS Vitava III Mělník	vodní tok															
3	120602	POV	Vitava	Závlahy Vitava III, spol. s r.o.	62956418	Závlahy Vitava III, spol. s r.o.	62956418	011100	ZS Vitava III Mělník	vodní tok															
4	451488	POV	Labe	AGROKOMPLEX OHŘE a.s.	120511	AGROKOMPLEX OHŘE a.s.	120511	011000	Závlaha Prosmky - čerpad. stanice																
5	441433	POV	Labe	Závlahové družstvo Labe 5	63082560	První Labská, společnost s ručením omezeným	49825763	011000	Závlaha - Kostly - Lobkovice	parc.č. 237															
6	441391	POV	Labe				25600311	011000	Závlaha - Přerov nad Labem - Lysá - Litol - Zbudov																
K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB								
1	KATASTR	KATASTR_C	OBEC	OBEC_C	OKRES	OKRES_C	KRAJ	KRAJ_C	HG	RAJON	MC	CP	CHP	TOK	IDVT	RKMOPP	X	Y	Z	Y	AA	AB			
2	Bukol	615749	Vojkovice	535290	Mělník	CZ0206	Středočeský	CZ020	1172	1387700	410	1-12-02-0950-0-00	Vitava	10100001	9.15	-741831,4	-1017389,3	1000				PML5			
3	Bukol	615749	Vojkovice	535290	Mělník	CZ0206	Středočeský	CZ020	1172	1387700	410	1-12-02-0950-0-00	Vitava	10100001	9.15	-741831,4	-1017389,3	1000				PML5			
4	Prosmky	733482	Lovosice	565229	Litoměřice	CZ0423	Ústecký	CZ042	1180	1440000	500	1-13-05-0030-0-00	Labe	10100002	789.074	759169		992374	560						
5	Lobkovice	703664	Neratovice	535087	Mělník	CZ0206	Středočeský	CZ020	1172	1130300	816	1-05-04-0340-0-00	Labe	10100002	852.635	-730797,75	-1026235,05	450							
6	Litol	689556	Lysá nad Labem	537454	Nymburk	CZ0208	Středočeský	CZ020	1171	1104928	999	1-04-07-0320-0-00	Labe	10100002	878.985	711893		1036649	480						
AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP												
1	PMM3	ROK	PMM3	MES	VHPOV	VYDAL	CI	DATUM	DAT	PL	DO	PUV	ODB_V	VP	UPR_V	MVM1	MVM2	MVM3	MVM4	MVM5	MVM6				
2	1900	450	MĚÚ	Kralupy n. Vltavou	MUKV	50797/2017	OŽP	24.07.2017	31.12.2030	0	0	0	0	44.447	349.612	349.976									
3	1900	450	MĚÚ	Kralupy n. Vltavou	MUKV	50797/2017	OŽP	24.07.2017	31.12.2030	0	0	0	0	175.658	150.993	440.943									
4	3411.1	500	Městský úřad	Lovosice, odbor stavební	7033/2008/OŽP	14.04.2008	01.01.2028			0	0	0	0	51.642	221.97	193.582									
5	1500		Městský úřad	Neratovice	28730/2306/07/OŽP/Vh	10.04.2009	30.10.2019			0	0	0	0	89.667	294.435	291.903									
6			Městský úřad	Lysá nad Labem	ZP/27/24/06/jel	7.2.2006	31.12.2015			0	0	0	0	33.535	75.529	248.266	192.591								
AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM				
1	MVM7	MVM6	MVM9	MVM10	MVM11	MVM12	RM	MHV1	MHV2	MHV3	MHV4	MHV5	MHV6	MHV7	MHV8	MHV9	MHV10	MHV11	MHV12	RH	ZP_MER	MN	KOD	OD_P	CHL
2	349.653	334.91	39.664	98.858	0	0	1567.06	0	0	31	242	243	243	232	27	58	0	0	1076	vypočet			260340		
3	449.361	110.066	67.329	40.53	0	0	1434.88	0	0	125	105	306	312	76	46	27	0	0	997	měření			260341	0	
4	301.698	298.074	98.452	75.802	0	0	1241.22	0	0	171	735	641	744	744	326	251	0	0	3612	měření			260351		
5	249.659	129.461	96.134	64.857	0	0	1216.116	0	0	166	545	541	462	240	178	120	0	0	2252	vypočet			260352		
6	262.514	201.949	121.98	57.433	0	0	1193.797	0	0	744	720	744	720	744	744	0	0	0	5880	vypočet			40406		
BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV															
1	KOD	OD_P	CHL	OD_C	CHL	OD_ZAVL	OD_ZIV_V	OD_PR_T	OD_VER_V	OD_OST	OD_PLZ	PMV	ROK	UPOV	ID										
2	260340					1477.105			89.955				2018	DVL	0820										
3	260341	0	0	1264.435	0	0	0	170.445					2019	DVL	0820										
4	260351			1241.22									2018	OHL	0750										
5	260352			1216.116									2018	HSL	2090										
6	40406			1193.797									2015	HSL	1680										

Obr. 2 Ukázka zdrojové databáze odběrů pro vybraných 5 odběrných míst závlahové vody, VÚV TGM 2021.

Tab. 1 Struktura dat v databázi odběrů závlahové vody, PETŘÍČKOVÁ, 2023.

Akronym	Popis	TOK	Název toku
ICOC	Identifikační číslo odběru - přiřazuje Povodi a. s. (dtto ICO)	IDVT	Identifikátor toku dle CEFT
JEV	POV-odběr povrchové vody, POD-odběr podzemní vody	RKM	Říční km
POVODI	Název Povodi	X	Souřadnice X_JTSK
VLASTNIK	Vlastník	Y	Souřadnice Y_JTSK
ICO_VL	Podnikatelské identifikační číslo ICO - vlastník	PML_S	Vodoprávně povolené množství l/s
PROVOZOVATEL	Provozovatel	PMM3_ROK	Vodoprávně povolené množství tis.m3 za rok
ICO_PRODV	Podnikatelské identifikační číslo ICO - provozovatel	PMM3_MES	Vodoprávně povolené množství tis.m3 za měsíc
CZ_NACE	Klasifikace ekonomických činností - od roku 2009	VHPOV_VYDAL	VH rozhodnutí vydal
NAZICO	Název uživatele (odběru nebo vypouštění)	CI	Číslo jednací VH rozhodnutí
NAZ_MIS_2	Zdroj	DATUM	Datum vydání VH rozhodnutí
KATASTR	Katastr - název	DAT_PL_DO	Datum platnosti VH povolení
KATASTR_C	Katastr - číslo	PUV_ODB_V	Původ odebrané vody (hlubinná, mělká, neurčeno)
OBEC	Obec - název	ZP_UPR_V	Způsob úpravy vody (desinfekce, bez úpravy, jiná)
OBEC_C	Obec - číslo	MVM1	Odebrané (vypouštěné) množství v tis.m3 za měsíc - leden
OKRES	Okres - název	MVM2	Odebrané (vypouštěné) množství v tis.m3 za měsíc - únor
OKRES_C	Okres - číslo	MVM3	Odebrané (vypouštěné) množství v tis.m3 za měsíc - březen
KRAJ	Kraj - název	MVM4	Odebrané (vypouštěné) množství v tis.m3 za měsíc - duben
KRAJ_C	Kraj - číslo	MVM5	Odebrané (vypouštěné) množství v tis.m3 za měsíc - květen
HG_RAJON	Číslo hydrogeologického rajonu	MVM6	Odebrané (vypouštěné) množství v tis.m3 za měsíc - červen
MC	Horní maticové číslo úseku toku podle Strukturálního modelu	MVM7	Odebrané (vypouštěné) množství v tis.m3 za měsíc - červenec
CP	Číslo polohy na úseku toku	MVM8	Odebrané (vypouštěné) množství v tis.m3 za měsíc - srpen
CHP	Číslo hydrologického pořadí	MVM9	Odebrané (vypouštěné) množství v tis.m3 za měsíc - září

Obsahem „databáze odběrů“ jsou data o identifikaci odběru, o vlastníkově a provozovateli, o místě odběru (katastr, obec, okres, kraj, úsek toku, souřadnice), o vodoprávně povoleném množství odběru (okamžitě, měsíční, roční), o množství odběru (měsíční, roční), o počtu hodin odběru (měsíční, roční), o identifikaci útvaru povrchové vody a o využití odebrané vody. Kompletní struktura evidovaných dat je popsána v Tabulce 1 a informace podbarvené modře byly použity pro kompletní vyhodnocení v rámci bakalářské práce, PETŘÍČKOVÁ 2023. Nevýhodou databáze pro řešení projektu je zahrnutí pouze odběrů přesahující uvedený limit (hranici 6 000 m<sup>3</sup> za rok nebo 500 m<sup>3</sup> za měsíc), čímž není kompletně popsána situace všech odběrů závlahové vody v ČR (nejsou zahrnuty malé odběry závlahové vody).

Datový soubor obsahuje velké množství údajů (2 733) a před vlastním vyhodnocením vyžadoval vytvoření metodiky pro rozřazení a úpravu dat. Zahrnoval totiž data pro závlahové vyhodnocení neúplná, která například kvantifikovala souhrnně více účelů (nebylo možno stanovit měsíční závlahové množství), viz tabulky 2 a 3, nebylo vhodně uvedeno povolené množství a další. Z důvodu omezeného rozsahu tohoto článku, jsou uvedena pouze základní zjištění. V prvním kroku byla vytvořena omezující podmínka „závlahového odběratele.“ Odběratel byl klasifikován jako závlahový, pokud jim odebrané množství vody využitě pro závlahu bylo minimálně 50 % z jeho celkové roční spotřeby vody. Z celkového počtu 2 733 evidovaných odběrů vody bylo takto odebráno 537 záznamů a vznikla upravená „databáze závlahových odběratelů“ se 2 196 záznamy o odběrech vody, PETŘÍČKOVÁ 2023.



Tab. 2 Příklad uvedených odběrů vody s různým využitím, PETŘÍČKOVÁ 2023.

Uživatel	Roční množství odebrané vody podle využití [m <sup>3</sup> ]							
	Průtočné chlazení	Cirkulační chlazení	Závlahy	Živočišná výroba	Průmysl	Veřejné vodovody	Ostatní	Přírodní léčivé zdroje
OKD OKK STARÉ HAMRY 2	0	0	11	66	0	3 995	335	0
Maximus Resort - Kníničky, vrтанá studna	0	0	13	0	0	9 795	0	0
Vězeňská služba ČR Valdice	0	0	50	0	10 354	78 483	0	0
Plavecký bazén Pardubice	0	0	50	0	0	0	35 950	0
Domov pro seniory Mítrov	0	0	50	0	0	5 557	0	0

Tab. 3 Příklad uvedení měsíčních odběrů vody s různým využitím, PETŘÍČKOVÁ 2023.

Uživatel	Odběry vody [m <sup>3</sup> ]												
	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Rok
OKD OKK STARÉ HAMRY 2	183	222	237	301	379	549	675	815	323	280	240	203	4 407
Maximus Resort - Kníničky, vrтанá studna	1 205	730	1 013	1 788	1 232	588	515	379	380	441	772	765	9 808
Vězeňská služba ČR Valdice	5 419	6 194	7 175	7 239	6 602	7 980	9 484	8 550	7 891	7 902	6 977	7 474	88 887
Plavecký bazén Pardubice	3 058	2 762	3 058	2 959	3 058	2 959	3 058	3 058	2 958	3 057	2 958	3 057	36 000
Domov pro seniory Mítrov	475	387	519	429	503	458	487	471	453	519	456	450	5 607

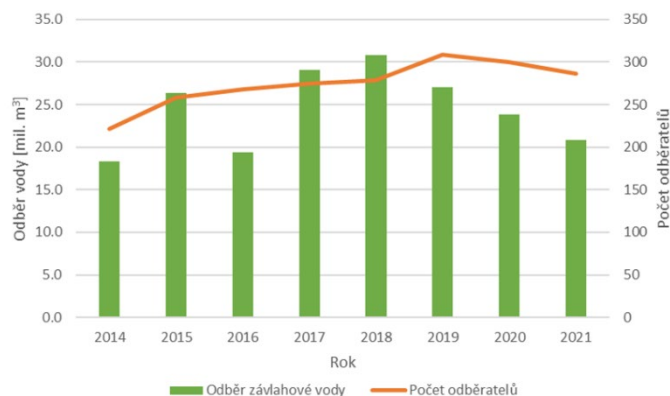
Další úpravou ve zdrojové databázi odběrů byla nutnost **sjednocení kategorie „druh závlahy“**. U každého odběru byl v databázi uveden číselný kód, podle kterého by bylo možné určit druh zavlažované plochy, viz tab. 4. Tento kód však nebyl uveden u všech záznamů odběrů vody a do roku 2016 se navíc používal jiný číselný systém kódu (ke kterému nebyla uvedena legenda). Vytvořen byl proto vlastní kódový systém, který sjednocoval různé hodnocení v uplynulých letech.

Tab. 4 Druhy zavlažovaných ploch podle kódu uvedeném v databázi odběrů.

Popis	Kód
závlahy	260340
závlahy zelenina	260341
závlahy drnový fond (louky a pastviny)	260342
závlahy sportoviště	260343
závlahy golfové hřiště a odpaliště	260344
závlahy chmelnice	260345
závlahy sady	260346
závlahy vinice	260347
závlahy lesní školky	260348
závlahy ve správním území Povodí Labe	260350
závlahy Dolní Labe	260351
závlahy SL: Brandýs n.L. - ústí Vltavy	260352
závlahy v povodí Jizery	260353
závlahy SL: Pardubice - Brandýs n.L.	260354
závlahy v povodí Labe nad Pard. a Chrudimka	260355
závlahy ve správním území Povodí Ohře	260360
závlahy ve správním území Povodí Vltavy	260370
závlahy ve správním území Povodí Odry	260380
závlahy ve správním území Povodí Moravy	260390

### 3. Výsledky

Z „databáze závlahových odběratelů“ bylo provedeno několik vyhodnocení. Bylo stanoveno **celkové roční množství odebrané vody, roční odebrané množství z podzemních vod a zvláště i z povrchových vod, využití povoleného odběru, jeho případné překračování, i stav na jednotlivých povodích**. Kompletní vyhodnocení lze nalézt v PETŘÍČKOVÁ 2023. Celkově lze říci, že voda pro účely závlah byla za řešené období odebírána především z povrchových vod, z vody podzemní bylo ve všech letech odebíráno méně než 10 % z celkového množství, viz obr. 3 a tab. 5. a 6. Obr. 4 a 5 pak popisují podíl jednotlivých kategorií závlah a vývoj ročních odběrů na významných povodích.



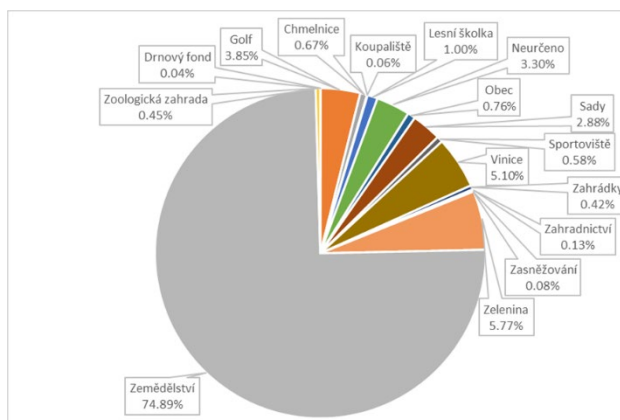
Obr. 3 Množství odebrané vody a počet odběratelů (pro podmínku závlahového odběratele), PETŘÍČKOVÁ 2023.

Tab. 5 Roční odběry závlahové vody (pro podmínku závlahového odběratele), PETŘÍČKOVÁ 2023.

	Rok							
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Odběr závlahové vody [mil.m <sup>3</sup> ]	18.3	26.4	19.4	29.1	30.8	27.0	23.8	20.8
Počet odběratelů	221	258	268	275	279	309	300	286
Množství vody na 1 odběratele [tis.m <sup>3</sup> ]	81.7	101.8	71.9	105.5	109.6	86.8	77.7	72.3

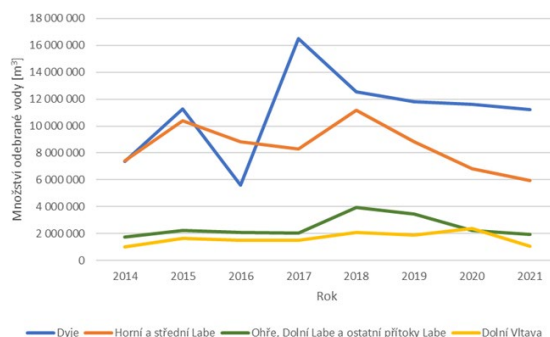
Tab. 6 Závlahové odběry z podzemních a povrchových vod (pro podmínku závlahového odběratele), PETŘÍČKOVÁ 2023.

	Rok							
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Odběr závlahové vody [mil.m <sup>3</sup> ]	18.3	26.4	19.4	29.1	30.8	27.0	23.8	20.8
<b>Podzemní voda</b>								
Odběr [mil.m <sup>3</sup> ]	0.9	1.0	1.2	1.1	1.6	1.5	2.2	1.2
Počet odběratelů	62	67	78	82	87	101	101	94
Množství na 1 odběratele [tis.m <sup>3</sup> ]	14.0	14.6	15.1	13.0	17.8	14.5	21.7	13.2
<b>Povrchová voda</b>								
Odběr [mil.m <sup>3</sup> ]	17.4	25.4	18.2	28.0	29.2	25.6	21.6	19.6
Počet odběratelů	159	191	190	193	192	208	199	192
Množství na 1 odběratele [tis.m <sup>3</sup> ]	109.6	133.1	95.6	145.2	152.2	123.0	108.7	101.9



Obr. 4 Průměrné množství odebrané vody v letech 2014–2021 podle kategorie zavlažované plochy, PETŘÍČKOVÁ 2023.

Z uvedeného vyplývá, že hlediska druhů závlahového odběru bylo v letech 2014–2021 jednoznačně průměrně odebíráno nejvíce vody pro zemědělství, a z hlediska vztahu k oblasti odběru závlahové vody byly největší odběry na povodí Dyje.



Obr. 5 Vývoj množství odebrané vody v dílčích povodích, jejichž průměrné roční množství odebrané závlahové vody tvořilo více než 2% z celkové roční spotřeby vody pro závlahu, PETŘÍČKOVÁ 2023.

#### 4. Závěr

Z analýz databáze závlahových odběrů 2014–2021 vyplývá, že roční hodnoty objemu odebrané vody využívané pro závlahu se pohybovaly v rozmezí 18–31 mil. m<sup>3</sup>, což tvořilo zhruba 1,4 % z celkové roční spotřeby vody v ČR. Nejvíce závlahové vody bylo odebráno v roce 2018 a od tohoto roku se množství postupně snižovalo. Voda byla odebírána převážně z povrchových vod, z vod podzemních bylo za celé řešené období odebíráno méně než 10 %. Nejvíce závlahové vody bylo průměrně využito pro zemědělství, průměrný objem vody odebrané pro zemědělství tvořil téměř 75 % z celkového průměrného množství odebrané vody. Nejvíce závlahové vody bylo za řešené období odebíráno v dílčím povodí Dyje. Průměrný roční odběr zde tvořil 45 % z celkového průměrného množství odebrané vody.

Vyhodnocována byla i míra využití vodoprávně povoleného měsíčního množství odebrané vody v měsících obecného vegetačního období. Pohybovala se nejčastěji okolo 30 %. Z těchto hodnot byla posouzena možnost rozšíření závlahových systémů právě v závislosti na míře využití povoleného měsíčního limitu odběru. Místa, ve kterých došlo k překročení limitu odběru byla vyhodnocena jako nevyhovující pro rozšíření závlahových systémů. Vzhledem k tomu, že trend průměrných ročních teplot je rostoucí, dá se předpokládat, že požadavky na vodu využitou pro závlahu budou vyšší.

#### Poděkování:

Tento příspěvek vznikl za podpory projektu TAČR SS02030027 Centrum Voda: „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu“ a projektu Fakulty stavební ČVUT SGS17/173/OKH1/3T/11 „Experimentální výzkum erozních a transportních procesů v zemědělsky využívané krajině“.

#### Literatura:

SCHWARZOVÁ, P., ŠÁLEK, J., DOSTÁL, T., DOČKAL, M. 2022. Hospodaření s vodou v závlahách, In: *Sborník mezinárodní konference Hospodaření s vodou v krajině 2022*, 13.-14.9.2022, Třeboň. Brno, ČHMÚ, s. 75–82. ISBN 978-80-7653-045-4

DOSTÁL, T., SCHWARZOVÁ, P., DOČKAL, M. 2023. Dílčí zpráva za ČVUT v Praze Projektu SS02030027 – Vodní systémy a vodní hospodářství ČR v podmínkách změny klimatu Centrum voda WP1.

VÚV TGM, 2021. Odběry a vypouštění vod podle evidence pro vodní bilanci, 23. května 2021. [vid. 2023-5-18].

Dostupné z:

<https://public.tableau.com/app/profile/heis.vuv.tgm/viz/Odbryavypoutnvodpodlevidenceprovodnbilanci/bilance>

VÚV TGM, 2023. Data o vodní bilanci, odběry povrchových a podzemních vod. Dostupné z:

[https://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/isvs/utvarypov/HTML\\_ISVSS\\$UtvaryPOV\\$stazeni.asp?doc=full](https://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/isvs/utvarypov/HTML_ISVSS$UtvaryPOV$stazeni.asp?doc=full)

PETŘÍČKOVÁ, T. 2023. Posouzení vývoje odběrů závlahové vody v ČR. Bakalářská práce ČVUT v Praze, 95 stran.

# Funkce příkopů v procesu hospodaření s vodou v zemědělské a lesní krajině

## Ditches function in the process of water management in the agricultural and forest landscape

**Jakub Štibinger**

Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Kamýcká 129, 165 00 Praha-Suchdol, [stibic@email.cz](mailto:stibic@email.cz), [stibinger@fzp.czu.cz](mailto:stibinger@fzp.czu.cz)

### Abstrakt

Soustava příkopů, spolu s vhodně navrženými pohyblivými stavítky, má v procesu hospodaření s vodou v zemědělské a lesní krajině svoji nezastupitelnou funkci. V případě povodňových událostí bude sloužit jako odvodňovací opatření, suchých periodách bude soustava pomocí pohyblivých stávek regulovat volnou hladinu vody v příkopech a zavlažovat krajinu. Matematicko-fyzikální popis v procesu příkopového odvodnění a závlah umožňuje použití analytických způsobů řešení, kde se parametry problematiky promítají přímo do parametrů výsledných řešení. Tyto postupy vhodným způsobem aproximují skutečné proudění vody v případě příkopového odvodnění a závlah v krajině. V příspěvku je uveden návrh obnovy stružek z prostředí horských luk v Jizerských horách a příkopový systém navržený v lužních lesích povodí Moravy. Navržené soustavy byly prověřené výzkumem v letech 2008–2016.

**Klíčová slova:** závlahy, odvodnění, pohyblivá stavítka, strouhy

### Abstract

A system of ditches, together with well-designed movable sluices, plays an irreplaceable role in water management in agricultural and forest landscapes. In the case of flood events, it serves as a drainage measure, while in dry periods, the system uses movable sluices to regulate the water level in the ditches and irrigate the landscape. The mathematical and physical description of the ditch drainage and irrigation process allows for the use of analytical methods where the parameters of the issue are directly reflected in the parameters of the results. These approaches appropriately approximate the actual flow of water in the case of ditch drainage and landscape irrigation. The contribution presents a proposal for the restoration of ditches in mountain meadows in the Jizera Mountains and a ditch system designed in the floodplain forests of the Morava River basin. The proposed systems were verified through research conducted between 2008 and 2016.

**Keywords:** irrigation, drainage, movable sluices, ditches

## 1. Úvod

V procesu hospodaření s vodou v zemědělské a lesní krajině je funkce příkopů klíčová. V případě povodňových událostí mohou příkopové soustavy sloužit jako odvodňovací opatření, suchých periodách může soustava příkopů s pomocí pohyblivých stávek regulovat volnou hladinu vody v příkopech a vyvolat závlahu krajiny. Jedná se tak o integrovaný příkopový systém „odvodnění – závlahy“, který přispěje ke snížení negativních dopadů povodní a sucha ve stávající dynamice klimatu.

Vhodnou regulací volné hladiny v příkopu je možné vyvolat proces odvodnění; v období sucha lze zvýšením vody v příkopu zavlažovat lužní les. Při odvodnění proudí nadbytečná voda z krajiny do příkopu, v procesu závlah z dochází k proudění vody z příkopu do krajiny (Bos, Wolters 2009).

Teoretické podklady pro funkci příkopů v procesu hospodaření s vodou v zemědělské krajině jsou uvedeny ve schématu návrhu obnovy stružek v lokalitě zvané „Křísák“ z prostředí výše položených luk v Jizerských horách. Průměrný dlouhodobý roční srážkový úhrn je vyšší než 1000 (mm/rok), oblast je charakteristická velmi vlhkým podnebím.

V lesní krajině je prezentován integrovaný příkopový systém z polesí Mikulčic, navržený v lužních lesích povodí jižní Moravy. Průměrný dlouhodobý roční srážkový úhrn v této oblasti kolísá přibližně od 300–400 (mm/rok); v některých obdobích je totožný nebo nižší než výpar z lužních lesů. Oblast lze charakterizovat jako suchou, s potřebou závlah. Možný zdroj vody pro případnou závlahu je drobný vodní tok Teplý Járek s vydatností kolem 3 (m<sup>3</sup>/s), situovaný nad lužními lesy. Jedná se o nadbytečné vody z chladírenských věží tepelné elektrárny Hodonín. Na obr. 1 je zachycen příkop s pohyblivým stavitkem, lužní les v období závlahy a síť integrovaného příkopového systému „odvodnění-závlahy“ na okraji v lužního lesa v oblasti Mikulčic.

Dlouhodobým výzkumem bylo prokázáno nezbytnost příkopových systémů; nejen pro zmírňování negativních dopadů povodňových událostí. Některé nivy řek na jižní Moravě (Gbelské louky) mají funkci poldrů v době povodní; chybí zde ale metodické pokyny, jak dále hospodařit s těmito nadbytečnými vodami. Příkopové systémy mohou tvořit vhodný nástroj pro zachycování a další využití těchto vod. V déle trvajících periodách období sucha je pak možné vhodným nastavením pohyblivých bariér vyvolat závlahu krajiny (Kovář, Štíbinger 2015).



Obr. 1 Lužní les v zájmové oblasti Mikulčic; foto: Štíbinger (zdroj: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz))

## 2. Metodika

### 2.1 Teoretické podklady

Matematicko-fyzikální popis v procesu příkopového odvodnění a závlah je založen na vhodné aplikaci vybraných hydraulických metod. Zavedení určitých zjednodušujících simulací (Darcyho zákon, Dupuitovy postuláty) umožňuje použití analytických způsobů řešení (Ritzema 2006), kde se parametry problematiky promítají přímo do parametrů výsledných řešení. Tyto postupy vhodným způsobem aproximují skutečné proudění vody v případě příkopového odvodnění a závlah v krajině.

Schémat v procesu závlah a odvodnění (obr. 5 a obr. 6) byla převzata z konkrétního případu „Křísák“ z návrhu obnovy stružek na horských loukách lokalitě Horní Lučany v Jizerských horách. V procesu závlah, s použitím parametru  $E_t$  (m/den) charakterizující evapotranspiraci, kde pravá strana rovnice (1) reprezentuje ztráty evapotranspirací (ztráty vody na jednotku plochy z hladiny podzemní vody), je možné rovnici (1) upřesnit pomocí Darcyho zákona a rovnice kontinuity:

$$-K \cdot y dy = E_t \left( \frac{L}{2} - x \right) dx \quad (1)$$

Vztah (1) je obyčejná diferenciální rovnice s okrajovými podmínkami  $x \in \left( 0, \left( \frac{x}{2} \right) \right)$ ,  $y \in (H_0, s)$ . Dále platí:

$$-K \cdot \int_{H_0}^s y dy = E_t \int_0^{x/2} \left( \frac{L}{2} - x \right) dx \quad (2)$$

resp.:

$$K \cdot \int_s^{H_0} y dy = Et \int_0^{x/2} \left(\frac{L}{2} - x\right) dx \quad (3)$$

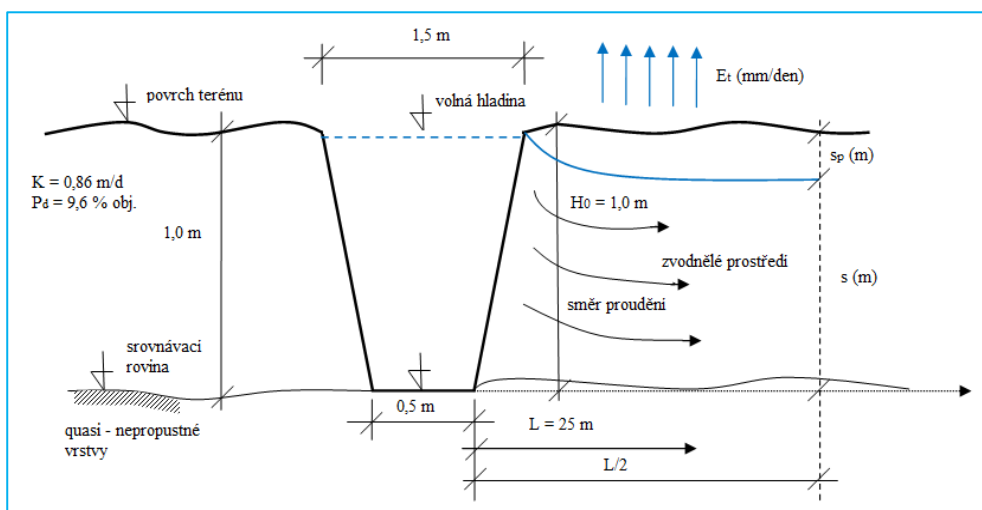
Po integraci a dalších úpravách obdržíme výsledný vztah ve tvaru

$$s = \sqrt{H_0^2 - \left(\frac{Et}{4K}\right) \cdot L^2} \quad (4)$$

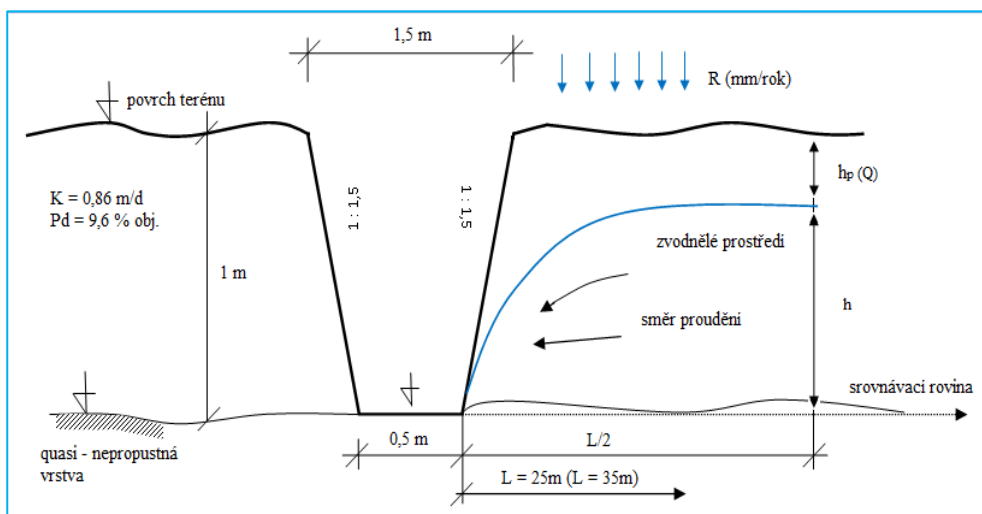
kteřá umožňuje určovat výšku vody  $s$  (m) nad nepropustným podložím uprostřed drénu (ve vzdálenosti  $x = L/2$  od drénu) v průběhu závlah s uvažováním vlivu evapotranspirace  $Et$  (m/den), za předpokladu volné hladiny vody v příkopu na úrovni  $H_0$  (m).

Na stejném principu je založen proces odvodňování (Štibinger, Ritzema 2020) s výslednou rovnicí

$$h = \sqrt{H_0^2 + \left(\frac{R}{4K}\right) \cdot L^2} \quad (5)$$



Obr.2 Návrh obnovy stružek s rozchodem  $L = 25$  m v procesu závlah; horské louky v zájmové lokalitě „Křísák“, oblast Lučany, Jizerské hory



Obr.3 Návrh obnovy stružek s rozchodem  $L = 25$  m ( $L = 35$  m) m v procesu odvodnění; horské louky v zájmové lokalitě „Křísák“, oblast Lučany, Jizerské hory

Vztah (4) umožňuje určovat výšku vody  $h$  (m) nad nepropustným podložím uprostřed drénů (ve vzdálenosti  $x = L/2$  od drénu) v průběhu odvodňovacího procesu s uvažováním vlivu dlouhodobého ročního srážkového úhrnu  $R$  (mm/den), za předpokladu volné hladiny vody v příkopu na úrovni  $H_0 = 0,05$  m.

## 2.2 Vstupní data

Vzhledem k tomu, že v dalším textu je uveden vzorový příklad ze závlahového procesu lužního lesa na jižní Moravě v zájmové lokalitě polesí Mikulčice, jsou dále uvedena vstupní data z této oblasti.

### 2.2.1 Lokalita Mikulčice

Poloha velmi málo propustné, přibližně vodorovné vrstvy v říční nivě Moravy je situována kolem 1,6 m pod terémem, hydraulická vodivost v okolí příkopu byla měřena jednosondovou metodou a kolísala v rozmezí  $K = 0,1$  až  $0,4$  (m/den). Navržené sběrné a svodné příkopy jsou lichoběžníkového tvaru se sklonem stran 1:1,5 (1), šířkou ve dně 1,0 m a s průměrnou hloubkou příkopů kolem 1,4 m. Sklon ve dně (sběrných i svodných příkopů) se přepokládá od 1,0 do 2 ‰ (Šlezinger a kol. 2015). Navržený parabolický (minimální) sklon terénu bude  $I_t = 1,5$  až  $2,0$  ‰. Evapotranspirace  $E_t$  (mm/den) byla uvažována od 1,5 do 3,0 mm/den. Integrovaný příkopový systém byl ověřován v procesu závlah pro rozchod příkopů  $L = 10$  m ( $K = 0,15$  m/den) a pro  $L = 20$  m ( $K = 0,35$  m/den).

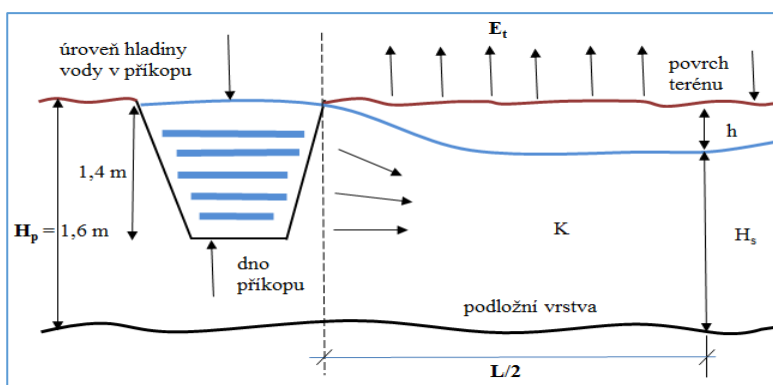
## 3. Výsledky

### 3.1 Lokalita „Mikulčice“

Podle rovnice (6), která je identická se vztahem (4) odvozeným pro závlahu

$$H_s = \sqrt{H_p^2 - \left(\frac{E_t}{4K}\right) \cdot L^2}; \quad h = H_p - H_s \quad (6)$$

byla stanovena výška vody  $H_s$  (m) nad nepropustným podložím uprostřed drénů (ve vzdálenosti  $x = L/2$  od drénu) v průběhu závlah s uvažováním vlivu evapotranspirace  $E_t$  (m/den), za předpokladu volné hladiny vody v příkopu na úrovni  $H_p$  (m) = 1,6 m. Zároveň byla určena výška vody  $h$  (m) pod úrovní terénu. Vstupní data a výsledné hodnoty použité v rovnici (6) jsou zobrazeny ve schématu na obr.4, výsledky jsou uvedeny v tabulkách 1 a 2.



Obr. 4 Schéma návrhu integrovaného příkopového systému „odvodnění-závlahy“ v oblasti Mikulčic.

Tab. (1) Stanovení hodnot  $H_s$  (m) a  $h$  (cm) podle rovnice (6) pro méně propustné svrchní vrstvy lužních lesů v lokalitě Mikulčice – les;  $L = 10$  m;  $K = 0,15$  m/den

$E_t$ (mm/den)	$H_s$ (m)	$h$ (cm)
1,5	1,52	8
2	1,49	11
2,5	1,46	13
3	1,43	16



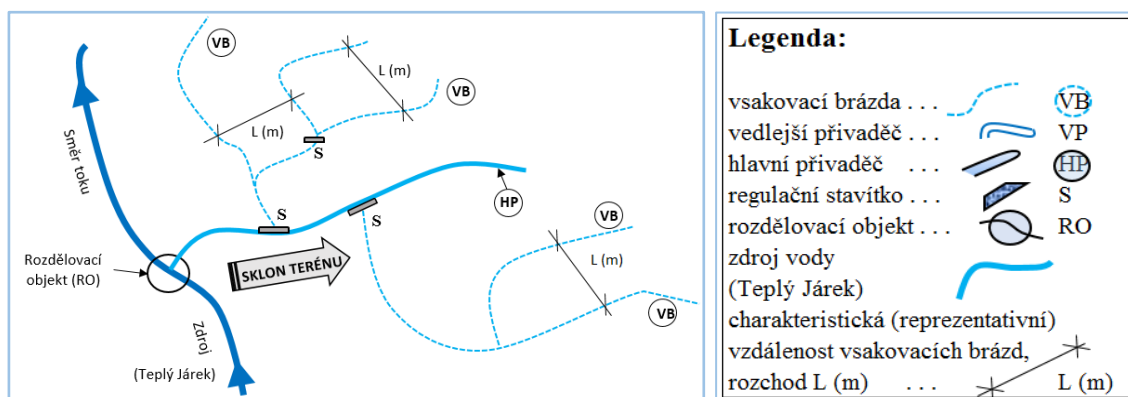
Tab. (2) Stanovení hodnot  $H_s$  (m) a  $h$  (cm) podle rovnice (6) pro středně propustné svrchní vrstvy lužních lesů v lokalitě Mikulčice – les;  $L = 20$  m;  $K = 0,35$  m/den

Et (mm/den)	$H_s$ (m)	$h$ (cm)
1,5	1,46	14
2	1,41	19
2,5	1,35	25
3	1,3	30

#### 4. Diskuse

Při menší propustnosti svrchních půdních vrstev spolu s horší prostupností porostu lužních lesů v oblasti Mikulčic, se nabízí možnost uplatnění řízeného povrchového vsakování systémem mělkých příkopů (obr. 5), vybavených regulačními prvky (Šlezinger a kol. 2015). Distribuci vody pro infiltraci zajistí soustava povrchových příkopů, situovaná v mírném sklonu směrem od zdroje vody, na který je napojená hlavním přivaděčem (HP).

Dotace vody do lužního lesa pomocí řízeného povrchového vsakování bude probíhat nejen povrchovou infiltrací ze vsakovacích brázd (VB), ale i prouděním podpovrchových vod v převládajícím horizontálním směru z hlavního přivaděče (HP) a z vedlejších přivaděčů (VP) a bude výrazně vyšší než u stávajících příkopových soustav, kde se uplatňoval převážně horizontální průsak. Předpokládá se, že intenzita horizontálních průsaků z příkopů (HP, VP) bude nižší než intenzita infiltrace v převládajícím vertikálním směru ze vsakovacích brázd, kde více propustné a místy rozpuštěné povrchové vrstvy vytvářejí vhodné podmínky pro uplatnění infiltračního procesu.



Obr. 5 Návrh řízené (regulovatelné) příkopové infiltrace pro zájmovou lokalitu Mikulčice – les

#### 5. Závěr

Teoretické předpoklady jsou založeny na analytickém řešení, není zde uvedeno numerické řešení problematiky a vzájemné porovnání s příslušnými hydrologickými modely typu MODFLOW. Další z mnoha témat pro odbornou rozpravu je menší hydraulická vodivost lužních lesů v lokalitě Mikulčic spolu s malou prostupností terénu; nabízené řešení ve formě řízené povrchové infiltrace je podrobněji uvedené v kapitole 3. Diskuse. Vlastní práce pak nabízí pohled na funkci příkopů v procesu hospodaření s vodou v zemědělské krajině a v krajině a lužních lesů. Zároveň ukazuje na nezbytnost a využitelnost integrovaného příkopového systému „odvodnění závlahy“ při ochraně vodního režimu zemědělských půd i lužních lesů. Vhodným nastavením pohyblivých stavítek lze v případě záplav, jarního tání nebo povodní uplatnit proces odvodnění; v případě období sucha je možné vyvolat závlahu. Funkce příkopů, spolu s vhodnou regulací volné hladiny, tak výrazným způsobem přispěje ke zmírňování negativních dopadů hydrologických extrémů ve stávající i prognózované dynamice klimatu.

### **Poděkování:**

Tato práce vznikla s finanční podporou výzkumného projektu NAZV č. QJ1220033 „Optimalizace vodního režimu na modelovém území pomoravské nivy“.

### **Literatura:**

BOS, M. G., WOLTERS W., 2006. Influences of irrigation on drainage. In: H. P. Ritzema, ed. Drainage Principles and Applications. 3rd edition, ILRI Publication 16, Wageningen, pp: 513–531.

KOVÁŘ, P., ŠTIBINGER, J., a kol. 2010. Metodika návrhu a realizace infiltračních a záchytných opatření v rámci obnovy hydrologických poměrů a způsobů hospodaření v krajině. Číslo grantu: QH 92 086/2010. Výroční zpráva za r. 2010. Vydavatel: ČZU Praha, FŽP, KBÚK, ČR.

RITZEMA, H., 2006. Subsurface Flow to Drains. In: H. P. Ritzema, ed. Drainage Principles and Applications. 3rd edition, ILRI Publication 16, Wageningen, pp: 279.

ŠTIBINGER, J., RITZEMA, H., 2020. WUR Wageningen handbook. Drainage of Agricultural Lands, International Classroom. „Design exercise – surface drainage system from Morava catchment alluvial forest.“ CASE STUDY – GBELY GRASSLAND (Czech Republic), handbook of WUR Wageningen University.

ŠLEZINGR, M., KULHAVÝ, J., PRAX, A., KOVÁŘ, P., ŠTIBINGER, J., BLAŽEJ, M., 2015. Biotechnická opatření pro úpravu vodního režimu ve vybraných lokalitách modelového území Pomoravské nivy-návrhy vzorových řešení. Certifikovaná metodika. Číslo grantu: QH 92 086/2010. Vydavatel: Mendelu Brno, ČZU Praha, ČR.

## **Hospodaření s vodou v krajině 2023**

Recenzovaný sborník příspěvků z mezinárodní konference

Příspěvky prošly recenzním řízením.

Recenzenti sborníku:

prof. Ing. Ilja Vyskot, CSc., Mendelova univerzita v Brně

doc. Dr. Ing. Petr Salaš, Mendelova univerzita v Brně

Vydalo nakladatelství Českého hydrometeorologického ústavu, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany

Praha 2023, 1. vydání

Publikace neprošla jazykovou úpravou, za obsah příspěvků odpovídají autoři.

ISBN 978-80-7653-066-9 (pdf)

ISBN 978-80-7653-066-9