

VYUŽITÍ ALTERNATIVNÍCH ZÁVLAHOVÝCH STRATEGIÍ PŘI PĚSTOVÁNÍ JABLONÍ

ALTERNATIVE IRRIGATION STRATEGIES IN APPLE ORCHARDS

Martin Mészáros, Klára Scháňková, Jan Náměstek

VÝZKUMNÝ A ŠLECHTITELSKÝ ÚSTAV OVOCNÁŘSKÝ HOLOVOUSY s.r.o.,
Holovousy 129, 508 01

email: martin.meszaros@vsuo.cz, ORCID: [0000-0003-1335-496X](https://orcid.org/0000-0003-1335-496X)

ABSTRAKT

Klimatická změna přináší nutnost adaptace pěstitelských systémů k zajištění stabilní produkce kvalitního ovoce. Ve výsadbě jabloní odrůdy 'Red Jonaprince' bylo provedeno hodnocení vybraných závlahových strategií a jejich potenciálního přínosu pro zvýšení efektivity zavlažování v podmínkách mírně vlhkého klimatu mírného pásma. Vláhový režim byl hodnocen v souvislosti s vláhovou bilancí pozemku a vlhkostí půdy. U jabloní byl hodnocen celkový růst, intenzita kvetení, celkový výnos a výnos v dílčích velikostních třídách a zatížení stromů násadou plodů. Výsledky studie potvrzují nutnost využívání závlahy zejména v letech s vysokou plodností a vysokou sezónní evapotranspirací. Bylo zjištěno, že pro pokrytí potřeb odrůdy, vzhledem k její menší citlivosti k vodnímu deficitu, postačuje doplnění 50 % sezónní evapotranspirace nezávisle na využití závlahové strategie. Půdní vlhkost by neměla klesat pod 50 % využitelné vodní kapacity. Optimální zatížení stromů této odrůdy o výšce 3,2 m by mělo představovat 160–180 plodů, které při sponu 3,5×1,2 m odpovídá potenciálnímu výnosu 70–80 t/ha.

Klíčová slova: *Malus*, efektivita zavlažování, vláhový režim, závlahová potřeba, specifický výnos, zatížení stromů

ABSTRACT

For ensuring a sustainable production of high-quality fruits, the fruit growing systems needs to adapt for climate change. Different irrigation strategies and their potential advantages for improving apple tree production of cultivar 'Red Jonaprince' in conditions of temperate climate were tested. The water regimes of the orchard were analysed through evapotranspiration balance and soil moisture. In apple trees, total growth, flowering intensity, total yield and yield in different fruit size classes including the crop load were evaluated. The results of the study confirm the need for supplementary irrigation of the trees, especially in years with high yields and evapotranspiration. Considering the lower susceptibility to drought of triploid apple tree cultivars, 50 % coverage of evapotranspiration helps to maintain their water needs throughout the vegetation season irrespectively to used irrigation strategy. However, the soil moisture should not fall under 50% of available soil water capacity. Optimal crop load of the cultivar should be with 3,2 m high crowns between 160–180 fruits per tree allowing with plant distance of 3,5×1,2 m production of 70–80 t/ha.

Keywords: *Malus*, efficient irrigation, irrigation regime, irrigation need, specific yield, tree fruit load

ÚVOD

Jabloně představují významný ovocný druh, jehož pěstování je široce rozšířeno zejména v podmínkách mírného a sub-tropického klimatu zahrnující širokou škálu oblastí od mírně vlhkých až po aridní. Vzhledem k vysokému procentu vody v plodech jabloní je pěstování tohoto ovocného druhu do značné míry závislé na dostupnosti závlahy. Ta v dnešní době představuje především kvůli postupnému oteplení souvisejícímu s globální změnou klimatu, a tím zvýšenému výparu vody z pozemku (Tolasz *et al.*, 2007; Střešík *et al.*, 2014), neodmyslitelnou součástí managementu pěstování ovocných dřevin. Cílem závlahy je poskytnout ovocným dřevinám doplňkové pokrytí vláhové potřeby v sušších obdobích, a zajistit tak vysokou produkci kvalitního ovoce.

Celková potřeba závlahy pro jabloně se podobně, jako pro jiné plodiny, odvíjí od klimatických a půdních podmínek stanoviště (Pereira and Alves, 2013). Atmosférické podmínky zahrnují zejména aktuální vodní bilanci pozemku pozůstávající z příjmové a ztrátové části. Příjem vody na pozemek zahrnuje dešťové srážky nebo povrchový či podpovrchový přítok vody na pozemek a ztrátová část pozůstává z evapotranspirace a odtoku vody do hlubších vrstev nebo pryč z pozemku (Ritchie, 1998). Mezi důležité půdní vlastnosti především půdní fyzikální vlastnosti ovlivňující půdní hydrolimity, tedy schopnost půdy zadržovat vodu a její využitelnost pro rostliny (Kuklík, 1985; Boland *et al.*, 2002; Chai *et al.*, 2015).

Jelikož se lidstvo v posledních dekádách stále více potýká s nedostatkem vody pro závlahu zemědělských plodin, je nezbytné těmito zdroji šetřit a zvyšovat tak efektivitu závlahy. Proto je důležité správně stanovit potřeby pěstovaných ovocných dřevin. K tomuto účelu nám v dnešní době slouží řada metod a závlahových strategií. Zatímco stanovení potřeby vody pro závlahu nám umožňuje určit vhodné dávky vody a interval zavlažování (Mészáros *et al.*, 2023), rozličné závlahové strategie nám poskytují návod, jak se přiblížit biologickým potřebám rostlin a dále zvýšit efektivitu zavlažování (Costa *et al.*, 2007). Jedná se o různé přístupy aplikující určitou míru deficitu vody v prostoru a čase při pěstování ovocných dřevin.

Mezi základní deficitní závlahové strategie se řadí především celosezónní deficitní závlaha (SDI – sustained deficit irrigation), řízená deficitní závlaha (RDI – regulated deficit irrigation), nebo závlaha parciální části kořenového systému (PRD – partial rootzone drying). Každá z těchto metod má svá specifika a její uplatnitelnost je závislá na podmínkách prostředí (Leib *et al.*, 2006; Mészáros *et al.*, 2021). Zatímco při celosezónní deficitní závlaze aplikujeme kontinuálně snížené množství vody vůči vypočtené evapotranspiraci (celkový výpar z pozemku) v průběhu celé vegetační sezóny, při řízené deficitní závlaze se suchá a vlhká perioda zavlažování střídá podle určitých pravidel. Tato metoda je založena na rozdílné citlivosti pěstovaných plodin k suchu během vegetační sezóny. Tedy v citlivých fenologických fázích je ovocným dřevinám jejich výpar plně hrazen, zatímco v méně citlivých fázích jsou rostliny vystavovány určité míře vodního deficitu (Mészáros *et al.*, 2023). Závlaha parciální části kořenového systému je strategií, při které se zalévá širší část kořenového systému zpravidla pomocí dvou souběžných kapkovacích hadic nebo mikropostřikovačů. Tento systém svým záběrem střídavě pokrývá přibližně polovinu kořenového systému, zatímco druhá polovina půdy je vystavována vodnímu deficitu. To umožňuje rostlinám regulovat výpar prostřednictvím přivírání průduchů. Cílem deficitních strategií aplikovaných u ovocných dřevin je snížit celkovou spotřebu vody pro závlahu při zachování objemu a kvality produkce ovoce (Costa *et al.*, 2007).

Jak již bylo v textu zmíněno, fyziologická citlivost jabloní k nedostatku vody se během vegetační sezóny mění. Mezi citlivé fáze růstu z tohoto pohledu patří především období rašení, kvetení a zejména první fáze růstu mladých plůdků (Boland *et al.*, 2002). První fáze růstu mladých plůdků je náročná především z důvodu zvyšování vnitřního počtu buněk, prostřednictvím něhož plody rostou. Tento proces je považován za náročnější na respiraci plodů a výskyt stresu suchem. V tomto období stres suchem výrazně omezuje celkovou násadu plodů i celkový potenciál zbývajících plodů pro dosažení komerčně uplatnitelné sklizně

(Lakso a Goffinet, 2013). Následný růst plodů se odehrává pomocí zvětšování objemu již konečného počtu buněk, a je v zásadě lineární. Intenzivní stres suchem v průběhu této fáze růstu plodů může omezovat jeho intenzitu a ovlivňovat tak finální velikost a kvalitu plodů (Mpelasoka *et al.*, 2001; Fallahi *et al.*, 2010). Současně s vnějšími podmínkami prostředí je výsledná produkce a kvalita plodů ovlivňována také vnitřními požadavky rostlin na výpar. Mezi takové požadavky patří celkové zatížení ovocných stromů násadou plodů, které ovlivňuje jejich vodní režim i alokaci asimilátů (Naor, 2008). Současně s růstem plodů v průběhu jarního období narůstají i letorosty jabloní a tím i celková listová plocha stromů zvyšující její míru transpirace. Vegetativní růst letorostů je přitom považován za citlivější k suchu nežli růst plodů (Ebel *et al.*, 1995). Smyslem suché periody v rámci řízené deficitní závlahy od konce první fáze růstu plodů je tedy omezit vegetativní růst. To napomáhá kompenzovat ztrátu vody nadměrným výparem a využít ji pro potřeby růstu plodů (Goodwin a Boland, 2002).

Cílem předložené práce bylo porovnat efektivitu jednotlivých závlahových strategií a stanovit limity jejich využití pro potřeby bujně rostoucí odrůdy jabloní v podmínkách mírně vlhkého klimatu mírného pásma.

MATERIÁL A METODY

Studie byla provedena v letech 2019–2022 v pokusné výsadbě jabloní odrůdy 'Red Jonaprince', vysazené ve VŠÚO Holovousy na jaře v roce 2013. Jabloně byly pěstovány na podnoži M9 ve sponu 3,5×1,2 m a použitým pěstitelským tvarem bylo štíhlé vřeteno s modifikací řezu „na klik“. Sad se nacházel na středně těžké, hlinité půdě v mírném svahu. Příkmenné pásy byly udržovány v bezplevelném stavu pomocí herbicidů, zatímco meziřadí bylo zatrávněno s pravidelným sežínáním. U jabloní byla provedena ruční probírka plodů ve fenologické fázi BBCH 72 (plody ve velikosti 20 mm) s využitím pomůcky pro stanovení optimálního množství plodů na větev, „equilifruit“ (INRA Montpellier, Francie). Probírka tak zohledňovala potenciál stromů s přihlédnutím k tloušťce průřezu větví na jejich bázi a odrůdě. Aplikace závlahové vody probíhala pomocí systému kapkové závlahy v samostatných sekcích. V každé závlahové sekci byla instalována jedna nebo dvě kapkovací hadice. V prvním případě byla hadice vedena nad povrchem středem výsadbového řádku. V sekcích s dvěma kapkovacími hadicemi byly tyto umístěny na bočním drátu vodící konstrukce podél řady, přibližně 40 cm od středu řádku z každé jeho strany. Jejich vzájemná rozteč tak činila 80 cm. Všechny použité hadice měly zabudované kapkovací otvory o vydatnosti 2,3 l/hod ve vzdálenosti 0,5 m od sebe.

Ve výsadbě bylo hodnoceno 9 závlahových variant uvedených v tabulce 1. Zavlažovací období probíhalo vždy od první dekády dubna do konce září. Potřeba vody pro závlahu byla stanovena na základě výpočtu přes vodní bilanci pozemku, tedy pomocí aktuální plodinové evapotranspirace (ETc) a vydatnosti a rozložení srážek. Údaje pro výpočet vodní bilance pozemku byly získávány z lokální meteostanice umístěné v porostu a ověřovány na datech z nejbližší meteorologické stanice ČHMÚ. Půdní vlhkost byla měřena pomocí vlhkostních snímačů Virrib umístěných v hloubce 30 cm v každé z hodnocených variant. U variant s dvěma kapkovacími hadicemi byly půdní snímače instalovány pod kapkovací hadici, konkrétně jeden snímač u varianty Dvoukapka a dva snímače ve variantě PRD, každý pod jedním ramenem závlahy.

Tabulka 1. Intenzita zavlažování, její načasování a intenzita regulace plodů u pokusných variant jableň odrůdy 'Red Jonaprince'**Table 1.** Intensity of irrigation, its timing and intensity of fruit set regulation in different treatments of 'Red Jonaprince' apple trees

Varianta ¹⁾	Dávka závlahy ²⁾	Období ³⁾	Regulace násady plodů ⁴⁾
K-0	Nezavlažovaná ⁵⁾	v průběhu celé veg. sezóny ⁶⁾	s plnou násadou plodů ⁷⁾
ETc-50	50 % plné dávky ⁸⁾	v průběhu celé veg. sezóny	s plnou násadou plodů
ETc-75	75 % plné dávky	v průběhu celé veg. sezóny	s plnou násadou plodů
ETc-100	100 % plné dávky	v průběhu celé veg. sezóny	s plnou násadou plodů
ETc-200/0	200/0 %* plné dávky	v průběhu celé veg. sezóny	s plnou násadou plodů
RDI-50	100/50 % plné dávky	BBCH 72–77**	s plnou násadou plodů
RDI-50a	100/50 % plné dávky	BBCH 72–77	50–60% násada plodů ⁹⁾
Dvoukapka	100 % plné dávky, 2 kapkovací hadice současně ¹⁰⁾	v průběhu celé veg. sezóny	s plnou násadou plodů
PRD	100 % plné dávky, 2 kapkovací hadice střídavě ¹¹⁾	v průběhu celé veg. sezóny	s plnou násadou plodů

1) Treatment, 2) Irrigation dose, 3) Period, 4) Fruit set regulation, 5) No irrigation, 6) during the whole growing season, 7) full fruit set, 8) 50 % of full dose of irrigation, 9) 50–60% of fruit set, 10) 100% irrigation dose, 2 drip hoses simultaneously, 11) 100% irrigation dose, 2 drip hoses alternately

* Plná dávka závlahy vypočtená na základě evapotranspirace aplikovaná v delším intervalu (v každém druhém termínu aplikace 200 % dávka vody),

** Období se sníženou dávkou vody na 50 %,

* Double dose of irrigation based on the crop evapotranspiration applied once per two consecutive irrigation treatments

** Part of the season with reduced irrigation dose to 50 % of ETc-100

Celkové množství závlahové vody použité při plné dávce závlahy v jednotlivých letech představovalo 298 mm v roce 2019, 54 mm v roce 2020, 196,5 mm v roce 2021 a 273 mm v roce 2022. Varianty pokusu s řízenou deficitní závlahou (RDI) byly zalévány dvěma odlišnými dávkami v závislosti na stanovené vlhké a suché periodě pro jednotlivé fáze vývoje plodiny během vegetační sezóny. Tyto varianty byly zavlažovány plnou dávkou v období od rašení (BBCH 56 – fenofáze zeleného poupěte, první polovina dubna) až do 30 dnů po odkvětu (BBCH 71–72 – velikost plodů 15–20 mm, první polovina června). Následně byla aplikována 50 % dávka vody při každé závlahce až do přibližně 4–6 týdnů před plánovanou sklizní (BBCH 77 – velikost plodů 50 mm, začátek srpna), kdy byla opět obnovena závlaha 100% dávkou vody. Ve variantách s RDI byla celková roční spotřeba vody pro závlahu ve výši 196 mm, 48 mm, 151,5 mm a 205,5 mm. U varianty označené malým písmenem „a“ byla navíc provedena intenzivnější probírka plodů představující přibližně 50–60 % v pokusu běžně ponechaného zatížení jableň pro odrůdu 'Red Jonaprince'.

V každé variantě pokusu bylo vyznačeno 10 stromů, u kterých byly hodnoceny následující parametry: intenzita kvetení (bodová stupnice 1–9, 1 = nejmenší intenzita, 9 = nejvyšší intenzita kvetení), celkový výnos (kg/strom) a počet plodů ve velikostních třídách do 65 mm = nestandard, 65–75 mm = 1. třída a nad 75 mm Ø plodu = výběr), plocha průřezu kmene (PPK, cm²) počítaná z terénních měření obvodu kmene ve výšce 10 cm pod prvním rozvětvením, specifická plodnost přepočítaná na plochu kmene (kg/cm²). Data byla statisticky zpracována

v programu „R-studio, verze 2023.06.1“ společně s „R“ software, verze 4.3.0 (R Development Core Team, 2020) pomocí ANOVA testu s následným porovnáním variant pomocí Tukeyho HSD testu. Před provedením ANOVA testu byla dat podrobena testu normality a homogenity variance pomocí Shapiro-Wilk and Cochran-Hartley-Bartlett testu. Statistická významnost výsledků byla hodnocena na hladině významnosti $\alpha < 0,05$.

VÝSLEDKY

Vlhkostní podmínky půdy a atmosféry

V průběhu vegetačního období (duben–září) v roce 2019 byl v Holovousích celkový úhrn srážek 250,2 mm a celková plodinová evapotranspirace 564,9 mm (Graf 1A). V uvedeném roce se během vegetační sezóny vyskytly dvě suché periody. První suché období nastalo na jaře mezi obdobími rašení (BBCH 10) a kvetením (BBCH 65). Druhé období sucha nastalo na začátku června (BBCH 72) a trvalo přibližně dva měsíce až do začátku srpna (BBCH 77). V průběhu letního sucha byly významnější srážky, převyšující 10 mm, pozorovány pouze ojediněle. Toto období bylo spojeno s vysokými teplotami a s tím související vysokou denní plodinovou evapotranspirací pohybující se v průměru na úrovni 4,2 mm s extrémně sporadicky přesahujícími až 6 mm. Uvedená perioda sucha vedla k poklesu půdní vlhkosti v hloubce 30 cm u varianty K-0 (Graf 1B) až na 35 % využitelné vodní kapacity (VVK). Ve variantě ETc-100 půdní vlhkost po celý rok nepoklesla pod 70 % VVK.

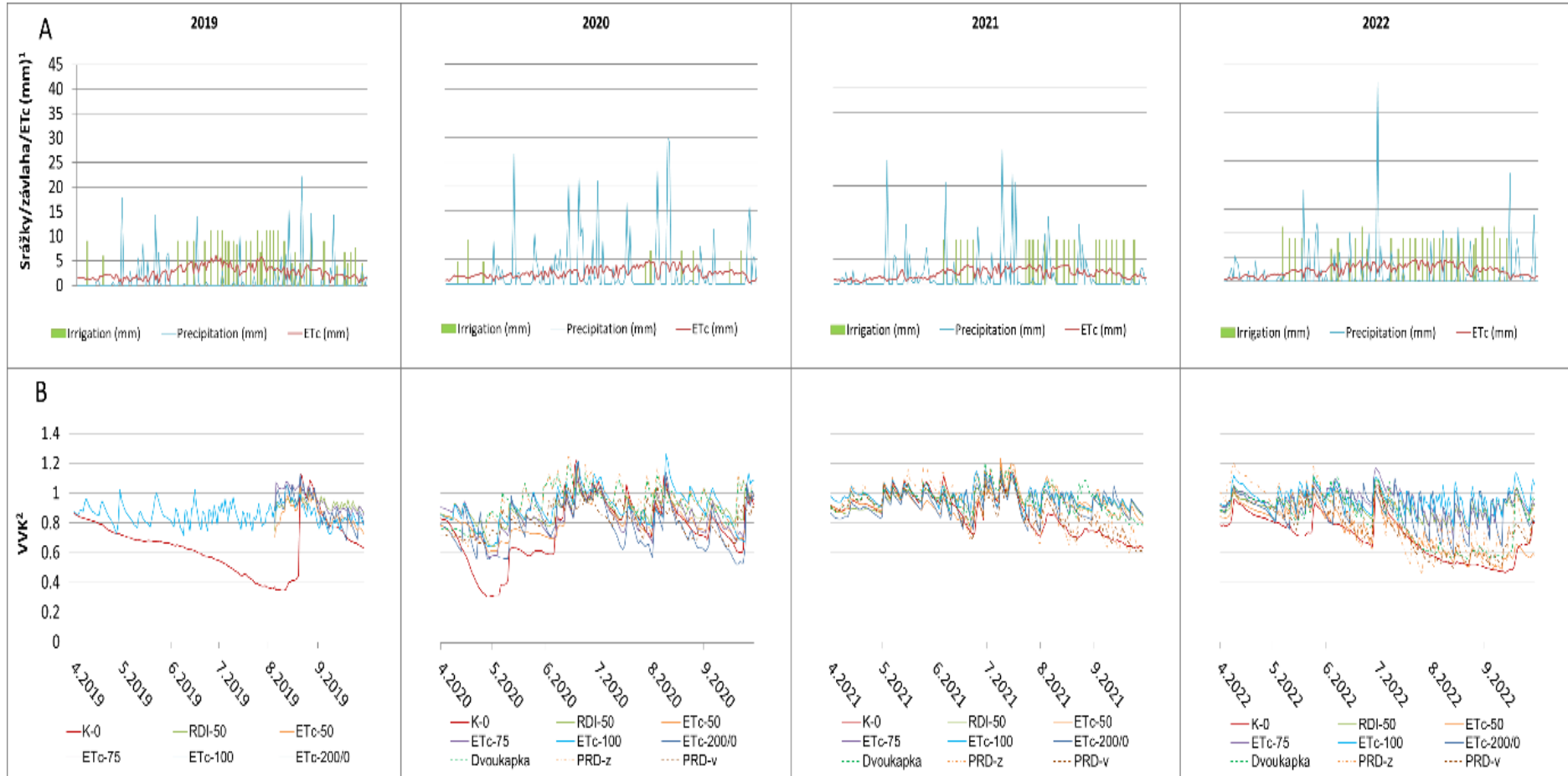
V roce 2020 byl celkový úhrn srážek 501,9 mm přesahující sumu denní evapotranspirace 494,1 mm za vegetační sezónu (Graf 1A). Jediná delší suchá perioda nastala od druhé poloviny března do konce dubna, kdy u hodnocených jabloní stejně jako v předchozí sezóně probíhalo rašení pupenů a kvetení. V tomto období byl zjištěn pokles půdní vlhkosti ve variantě K-0 až k 35 % VVK, a to na přibližně 1 měsíc (Graf 1B). Nižší hodnoty byly pozorovány také u ETc-50, ETc-75 a ETc-200/0, avšak půdní vlhkost v těchto variantách nepoklesla pod 56 % VVK.

Rok 2021 se projevoval jako srážkově průměrný, kdy během vegetační sezóny v pokusné výsadbě spadlo celkem 409 mm (Graf 1A). Suma evapotranspirace ve stejném období dosahovala 493 mm. Rok 2021 byl vláhově poměrně vyrovnaný, i když v druhé polovině vegetační sezóny byl objem srážek nižší. Půdní vlhkost však za celou dobu neklesala pod 70 % VVK (Graf 1B) s výjimkou u variant K-0 a PRD, kde však k poklesu blízko k 60 % VVK došlo až ve druhé polovině září po sklizni plodů.

Celkový objem srážek v roce 2022 představoval přibližně 260 mm a celkový výpar 450 mm během vegetační sezóny (Graf 1A). Suchá byla spíše druhá polovina vegetační sezóny, kdy půdní vlhkost ve variantě K-0 pozvolně klesala již od druhé poloviny července (Graf 1B). Nejnižší hodnoty v kontrolní variantě představovaly přibližně 49 % VVK půdy a byly dosaženy přibližně v polovině září. Podobného průběhu vlhkosti půdy v tomto období dosahovaly také varianty ETc-50 a Dvoukapka. Jejich vlhkost půdy však neklesla pod 50 % VVK. Na druhou stranu nízké hodnoty a relativně rychlý pokles půdní vlhkosti byl pozorován i ve variantě PRD, která již na konci července klesala pod úroveň vlhkosti naměřené u K-0, tedy pod 50 % VVK. Relativně nízká vlhkost (přibližně 50–60 % VVK) se ve variantě PRD pak držela až do poloviny září.

Graf 1. Množství srážek, závlahy a aktuální plodinová evapotranspirace v denním sledu (A) a využitelná vodní kapacita (VVK) půdy v hloubce 30 cm (B) u jabloní odrůdy 'Red Jonaprince' v letech 2019–2022

Graph 1. Daily precipitation, irrigation, and crop evapotranspiration (A), available water capacity of the soil in 30 cm depth (B), of 'Red Jonaprince' apple trees in 2019–2022



1) Precipitation/irrigation/ETc (mm), 2) Available water capacity

Růst, plodnost a kvalita plodů jabloní

Intenzita kvetení byla v průběhu pokusu obecně vyšší v letech 2019 a 2021, zatímco nižší v letech 2020 a 2022 (Tabulka 2). V jednotlivých letech byly rozdíly v tomto znaku pozorovány v roce 2019 mezi jabloněmi ve variantě ETc-50 (5,7) a ETc-75 (7,8) a v roce 2021 byl rozdíl průkazně odlišný ve variantě RDI-50a od všech ostatních variant mimo RDI-50 a PRD. Vysoká intenzita kvetení se v roce 2019 promítla i do poměrně vysoké sklizně plodů. Nejvyšší výnosy jabloní odrůdy 'Red Jonaprince' byly v tomto roce dosaženy ve variantě ETc-75 (44,2 kg/strom) a RDI-50 (39,7 kg/strom) v porovnání s variantami ETc-200/0 (34,9 kg/strom), resp. RDI-50a (30,2 kg/strom). Nejvyšší výnos v roce 2020 byl dosažen u jabloní ve variantě RDI-50a (29,2 kg/strom), zatímco nejnižší hodnoty byly zjištěny u ETc-75 (5,9 kg/strom) a ETc-100 (7,4 kg/strom). V roce 2021 byl výnos plodů vysoký téměř ve všech variantách s výjimkou RDI-50a (21,6 kg/strom), ve které byla provedena intenzivnější probírka plodů. V roce 2022 byl nejvyšší výnos zjištěn ve variantách Dvoukapka (37,4 kg/strom) a PRD (41,2 kg/strom). Nižší výnos byl zjištěn především u variant ETc-100 (23,2 kg/strom), RDI-50 (25,1 kg/strom) a RDI-50a (19,7 kg/strom). Výsledky počtu plodů měly obdobný trend jako výnosy. Plocha průřezu kmene byla mezi hodnocenými variantami pokusu v průběhu celého hodnoceného období přibližně vyrovnaná.

Průměrné zatížení stromů, vyjádřeno jako výnos plodů na jednotku plochy kmene, bylo v roce 2019 vysoké. Vyšší průměrné hodnoty 2,88 kg/cm² kmene a 2,73 kg/cm² kmene byly dosaženy u jabloní ve variantách ETc-75 a ETc-200/0. Naopak nižších hodnot bylo dosaženo ve variantě RDI-50a (2,16 kg/cm²). V roce 2020 bylo průměrné zatížení stromů velmi nízké, pohybující se od 0,26 kg/cm² u varianty ETc-75 a 0,40 kg/cm² u varianty ETc-100, až středně vysoká 1,58 kg/cm² u varianty RDI-50a. Tyto varianty pokusu se od sebe v násadě plodů vztahované na jednotku kmene významně lišily. V roce 2021 bylo zatížení jabloní opět vyšší, avšak bez průkazných statistických rozdílů mezi variantami pokusu. Nejvyšší zatížení jabloní v roce 2022 bylo zjištěno ve variantách Dvoukapka a PRD (1,58 a 1,56 kg/cm²), zatímco nejnižší hodnoty byly vedle RDI-50a (0,77 kg/cm²) pozorovány i ve variantách ETc-75 a ETc-100 (0,83 a 0,85 kg/cm²).

V roce 2019 byl stanoven vyšší výnos plodů výběrové kvality v porovnání s 1. třídou ve variantách ETc-50, ETc-200/0, RDI-50 a RDI-50a (Graf 2A). Nejvyšší výnos plodů výběrové kvality byl zjištěn u varianty RDI50a. Podíl jablek 1. třídy zde tvoří pouze kolem 11 % a hmotnost jablek nestandardní velikosti byla zanedbatelná. Nejslabší výsledky byly pozorovány ve variantách K-0 a ETc-75, kde hmotnost plodů v 1. třídě již mírně převyšovala výnos ve výběrové třídě. V roce 2020 byl výnos plodů ve výběrové kvalitě vzhledem k nízkému celkovému výnosu jabloní odrůdy 'Red Jonaprince' v porovnání s ostatními třídami vysoký (Graf 2B). Rozdíly mezi výnosem výběrových plodů, tak i mezi jednotlivými variantami pokusu souvisí pouze s celkovým výnosem plodů. V roce 2021 byl navzdory vysoké produkci plodů výnos výběrové třídy mezi jednotlivými variantami přibližně stejný (Graf 2C). Nižší výnos ve výběrové třídě a zároveň nižší výnos dalších hodnocených tříd plodů byl pozorován pouze u RDI-50a. Mírně vyšší zastoupení, avšak nižší výnos plodů výběrové kvality, byl v roce 2022 (Graf 2D) zjištěn ve všech variantách, s výjimkou jabloní ošetřovaných ve variantách PRD a Dvoukapka.

Tabulka 2. Intenzita kvetení, celkový výnos na strom, počet plodů na strom, plocha průřezu kmene (PPK), specifický výnos na jednotku plochy kmene u jabloní odrůdy 'Red Jonaprince' v letech 2019–2022.

Table 2. Flowering intensity, total yield per tree, number of fruits per tree, trunk cross-sectional area (TCSA), yield efficiency per TCSA of 'Red Jonaprince' apple trees in 2019–2022

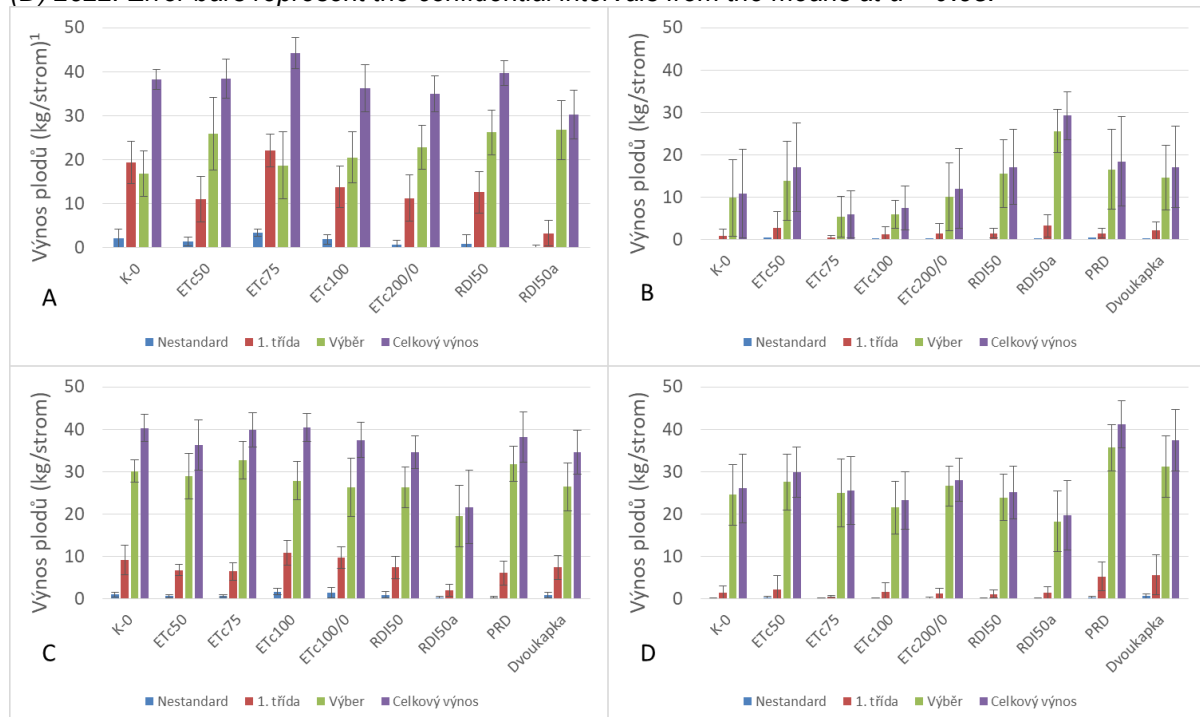
Rok ¹⁾	Varianta ²⁾	Intenzita kvetení (1–9) ³⁾	Výnos (kg/strom) ⁴⁾	Počet plodů na strom ⁵⁾	PPK (cm ²) ⁶⁾	Specifický výnos/PPK (kg/cm ²) ⁷⁾
2019	K-0	7,3 ab	38,2 abc	230,1 ab	14,7 a	2,63 ab
	ETc-50	5,7 b	38,4 abc	209,1 bc	15,6 a	2,50 ab
	ETc-75	7,8 a	44,2 a	274,2 a	15,5 a	2,88 a
	ETc-100	6,8 ab	36,3 abc	218,0 ab	14,4 a	2,53 ab
	ETc-200/0	6,5 ab	34,9 bc	195,4 bc	12,8 a	2,73 a
	RDI-50	6,0 ab	39,7 ab	219,3 ab	15,2 a	2,64 ab
	RDI-50a	5,8 ab	30,2 c	155,7 c	13,9 a	2,16 b
2020	K-0	2,6 a	10,8 ab	44,8 ab	23,3 a	0,53 ab
	ETc-50	3,5 a	17,0 ab	72,6 ab	22,8 a	0,88 ab
	ETc-75	1,8 a	5,9 b	19,6 b	25,2 a	0,26 b
	ETc-100	2,5 a	7,4 b	35,6 ab	23,7 a	0,40 b
	ETc-200/0	3,0 a	12,0 ab	53,1 ab	20,3 a	0,70 ab
	RDI-50	3,5 a	17,1 ab	67,2 ab	22,8 a	0,76 ab
	RDI-50a	4,4 a	29,2 a	125,9 a	19,0 a	1,58 a
	Dvoukapka	4,2 a	17,1 ab	75,0 ab	21,3 a	1,05 ab
PRD	4,0 a	18,4 ab	78,7 ab	19,4 a	1,00 ab	
2021	K-0	8,6 a	40,3 a	216,3 a	24,7 a	1,65 a
	ETc-50	8,3 a	36,2 a	197,9 a	25,4 a	1,49 a
	ETc-75	8,5 a	39,8 a	203,0 a	27,6 a	1,48 a
	ETc-100	8,8 a	39,3 a	228,4 a	25,8 a	1,62 a
	ETc-200/0	8,8 a	37,4 a	208,6 a	22,6 a	1,66 a
	RDI-50	8,1 ab	34,6 a	185,4 a	23,8 a	1,47 a
	RDI-50a	5,3 b	21,6 b	96,3 b	18,4 a	1,25 a
	Dvoukapka	8,5 a	34,6 a	183,1 a	22,4 a	1,59 a
PRD	8,0 ab	38,1 a	190,0 a	24,7 a	1,57 a	
2022	K-0	4,5 a	26,0 abc	111,5 bc	27,9 a	0,93 ab
	ETc-50	4,6 a	29,9 abc	132,0 abc	28,2 a	1,11 ab
	ETc-75	3,0 a	25,6 abc	101,0 bc	32,5 a	0,83 b
	ETc-100	3,4 a	23,2 bc	93,3 c	29,8 a	0,85 b
	ETc-200/0	3,8 a	28,0 abc	121,4 abc	25,1 a	1,15 ab
	RDI-50	3,5 a	25,1 bc	101,5 bc	27,6 a	0,92 ab
	RDI-50a	3,3 a	19,7 c	84,8 c	27,3 a	0,77 b
	Dvoukapka	5,3 a	37,4 ab	184,1 ab	23,9 a	1,58 a
PRD	5,6 a	41,2 a	200,9 a	27,6 a	1,56 a	

1) Year, 2) Treatment, 3) Flowering intensity (1–9), 4) Total yield of fruits per tree (kg/tree), 5) Number of fruits per tree, 6) Trunk cross-sectional area (cm²), 7) Yield efficiency per TCSA (kg/cm²)

Rozdílná písmena vyjadřují statisticky významný rozdíl na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Different letters indicate a statistically significant difference at the $\alpha = 0.05$ significance level.

Graf 2. Výnos plodů v jednotlivých kvalitativních třídách: modrá = nestandard, červená = 1. třída, zelená = výběr, a celkový výnos (fialová) u odrůdy 'Red Jonaprince' v letech (A) 2019, (B) 2020, (C) 2021 a (D) 2022. Chybové úsečky představují konfidenční intervaly průměrných hodnot na úrovni $\alpha = 0,05$.

Graph 2. Yield in different size classes: blue = non-standard, red = 1. class, green = selection, comparing to the whole tree yield of cultivar 'Red Jonaprince' in years (A) 2019, (B) 2020, (C) 2021 and (D) 2022. Error bars represent the confidential intervals from the means at $\alpha = 0.05$.



1) Yield of fruits (kg/tree)

DISKUZE

Z výsledků studie vyplývá, že průběh atmosférických a půdních vlhkostních podmínek byl značně variabilní, a to jak v rámci jednotlivých let hodnocení, tak i v porovnání mezi lety. Z pohledu výskytu vláhového deficitu lze na základě klasifikace podle autorů Chai *et al.* (2015) identifikovat několik krátkých, ale i poněkud delších period se středně intenzivním až intenzivním vývojem sucha. Rok 2019 je přitom možno vnímat jako výrazně suchý, zatímco rok 2020 lze pokládat za nadprůměrně vlhký. Roky 2021 a 2022 byly průměrně vlhké s mírně až středně suchými periodami, především v druhé půlce hodnocené vegetační sezóny 2022.

Celkový růst odrůdy 'Red Jonaprince' v hodnocených letech nebyl výrazně ovlivněn výskytem sucha. Zatímco řada studií uvádí možnost kontrolovat vegetativní růst letorostů pomocí snížené intenzity zavlažování (Ebel *et al.*, 1995; Goodwin and Boland, 2002; Lo Bianco and Francaviglia, 2012), v předložené studii změny růstu letorostů v závislosti na vláhovém režimu jabloní nebyly pozorovány (data neuvedena). Důvodem je pravděpodobně bujný růst odrůdy preferující výkon nad hydraulickou bezpečností vodivých svazků (Plavcová *et al.*, 2023) a poměrně pozdní nástup period sucha v lokalitách mírného pásma, odpovídající období, kdy je běžně ukončován vegetativní růst (červenec).

Vodní režim napříč variantami pokusu ovlivnil celkový výnos odrůdy 'Red Jonaprince' pouze částečně, a to v posledním roce hodnocení. Zde se zkušenosti získané jinými autory opět liší v souvislosti s vláhovým deficitem v hodnocené oblasti. Zatímco v aridních oblastech dochází častěji k poklesu produkce ovoce související s celkovým výnosem kvalitního ovoce (Ucar *et al.*, 2016), v oblastech mírného pásma s častějším výskytem srážek v průběhu vegetační

sezóny bývá výnos ovlivněn pouze ojediněle, a stres suchem se projevuje spíše na velikosti plodů (Mpelasoka *et al.*, 2001; Leib *et al.*, 2006; Mészáros *et al.*, 2021). Vyšší sklizně ve variantách se závlahou celé plochy kořenové zóny (Dvoukapka a PRD) v roce 2022 při porovnání s ostatními variantami pokusu jsou tedy trochu překvapivým výsledkem, vzhledem k podobnému podílu plodů jednotlivých kvalitativních tříd. Výsledek souvisí především s vyšší intenzitou kvetení, která byla ve dvouletém cyklu významně ovlivněna střídavou plodností. V tomto ohledu je možné roky 2019 a 2021 považovat za plodné a roky 2020 a 2022 za méně plodné. Odrůda však neprokázala citlivost k zakládání květních pupenů v podmínkách sucha, jako bylo zjištěno u odrůdy 'Gala Brookfield' (Mészáros *et al.*, 2021). Z výsledků je patrné, že vyrovnanější vláhový režim ve variantách Dvoukapka a PRD pravděpodobně přispěl ke zmírnění alternace plodnosti a umožnil ranější návrat k pravidelnému vyššímu výnosu. Výsledek by však bylo nutné ověřit dalším hodnocením.

V roce 2019 byla v pokusu pozorována změna kvality plodů jabloní odrůdy 'Red Jonaprince' z pohledu zastoupení výnosu jednotlivých kvalitativních tříd. Podle výsledků se tato změna projevila v souvislosti s výskytem pozdně jarního až letního intenzivního sucha a celkové násady plodů, která byla vlivem fyziologického zakládání násady jabloní v předchozím roce ovlivněna ročníkem 2018. Vzhledem k porovnatelné plodnosti jabloní ve většině hodnocených variant pokusu v tomto roce lze pokles výnosu ve výběrové kvalitě v porovnání s ostatními třídami u nezavlažované kontroly pokládat za důsledek vodního deficitu omezujícího růst plodů. Na druhou stranu dobré výsledky ve výnosu plodů výběrové třídy u ETc-50 ukazují na dostatečné zavlažení již při dávkách pokrývajících 50 % vypočtené plodinové evapotranspirace v průběhu celé vegetační sezóny. Výsledek je porovnatelný s prací autorského kolektivu Lo Bianco *et al.* (2012), kteří ve středomořské oblasti v Itálii pozorovali v obdobných vláhových podmínkách podobnou intenzitu růstu plodů. Toto zjištění rozšiřuje dosavadní poznatky a možnost uplatnění širokého spektra závlahových strategií, včetně řízené deficitní závlahy a celosezónní deficitní závlahy v mírně vlhkých oblastech mírného pásma. Důležité je však podotknout, že výsledky získané v prezentované studii se vztahují k podmínkám použitého závlahového systému, managementu sadu a odrůdě (Mészáros *et al.*, 2023), kdežto např. maloploché slaběji rostoucí odrůdy typu 'Gala' bývají citlivější k vodnímu deficitu (Mészáros *et al.*, 2021). Vzhledem k přirozenému sklonu odrůdy 'Red Jonaprince' k tvorbě velkých plodů, jsou jabloně této odrůdy více plastické v hraniční míře výnosu z pohledu aplikované závlahy. Zhoršené výsledky kvality plodů při celosezónní závlaze na úrovni 75 % pokrytí plodinové evapotranspirace lze spíše interpretovat v souvislosti s vyšším celkovým zatížením stromů výnosem jablek. Zde byl již růst plodů pravděpodobně limitován spíše objemem a transportem dostupných asimilátů, než dostupnou vláhou (Mpelasoka *et al.*, 2001).

Z našich výsledků vyplývá, že celkové zatížení stromů s finální výškou 3,2 m s 200 plody na strom (cca 2,5 kg/cm² plochy průřezu kmene) stále umožňuje dosažení vysoké kvality plodů již při využití alespoň 50% pokrytí evapotranspirace v průběhu suché periody vegetační sezóny. U dostatečně hlubokých půd lze při uvedeném vláhovém režimu půdní vlhkost ve 30 cm hloubky nechat klesnout až k 50 % VVK. Závlahou je však potřeba pokrýt alespoň polovinu kořenové zóny a při poklesu vlhkosti v suché části kořenové zóny provést doplnění chybějící vláhy alespoň na 70 % VVK v zavlažované části kořenové zóny. Vzhledem k určitému sklonu odrůdy ke střídavé plodnosti se pro zajištění pravidelné plodnosti jeví jako užitečnější zajišťovat celkové zatížení ve výši 160–180 plodů (cca 2,0 kg/cm² plochy průřezu kmene). Při uvedeném zatížení lze uvažovat o průměrném výnosu 30–35 kg/strom. Tento výsledek představuje při hustotě výsadby přibližně 2400 stromů jabloní na hektar ovocného sadu potenciální výnos 70–80 t/ha.

ZÁVĚR

U triploidních odrůd, např. 'Red Jonaprince', lze v podmínkách mírného pásma bezpečně využívat široké spektrum závlahových strategií zahrnující celosezónní deficitní závlahu,

řízenou deficitní závlahu i závlahu parciální části kořene. Odrůda za určitých podmínek umožňuje úsporu až 50 % vody z vypočtené evapotranspirace. Pro zajištění kvalitní produkce by dostupná vláhová kapacita v půdě neměla klesat pod 50 % využitelné vodní kapacity půdy. Při déletrvajících suchých obdobích je proto potřeba obnovit půdní vlhkost alespoň na 70 % využitelné vodní kapacity. Optimální zatížení pro zajištění pravidelné sklizně kvalitních plodů by nemělo přesahovat 160–180 plodů (cca 2,0 kg/cm² plochy průřezu kmene), což při průměrném výnosu 30–35 kg/strom a přibližně 2400 jabloních na hektar ovocného sadu s výškou stromů 3,2 m představuje potenciální výnos 70–80 t/ha dosažitelný relativně nezávisle na použité závlahové strategii.

PODĚKOVÁNÍ

Publikace byla realizována za finanční podpory Ministerstva zemědělství v rámci projektu QK1910165 a za podpory prostředků rozvoje organizace DKRVO – RO1523.

LITERATURA

- BOLAND, A.; ZIEHRI, A. a BEAUMONT, J. *Guide to Best Practice in Water Management: Orchard Crops*. Melbourne: Murray-Darling Basin Commission, State of Victoria, Department of Natural Resources and Environment, 2002.
- COSTA, J. M.; ORTUNO, M. F. a CHAVES, M. M. Deficit irrigation as a strategy to save water: Physiology and potential application to horticulture. *Journal of Integrative Plant Biology*. 2007, vol. 49, no. 10, p. 1421–1434. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1672-9072.2007.00556.x>. [cit. 2024-09-10].
- EBEL, R. C.; PROEBLSLING, E. L. a EVANS, R.G. Deficit irrigation to control vegetative growth in apple and monitoring fruit growth to schedule irrigation. *HortScience*. 1995, vol. 30, no. 6, p. 1229–1232. Dostupné z: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.30.6.1229>. [cit. 2024-09-11].
- FALLAHI, E.; NEILSEN, D.; NEILSEN, G. H.; FALLAHI, B. a SHAFII, B. Efficient Irrigation for Optimum Fruit Quality and Yield in Apples. *HortScience*. 2010, vol. 45, no. 11, p. 1616–1619. Dostupné z: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.11.1616>. [cit. 2024-09-11].
- GOODWIN, I. a BOLAND, A. M. *Scheduling deficit irrigation of fruit trees for optimizing water use efficiency*. In: Deficit Irrigation Practices. Water Reports Publication n. 22. Rome: FAO, 2002, p. 67–79. ISBN 92-5-104768-5.
- CHAI, Q.; GAN, Y.; XU, H. L.; WASKOM, R. M.; NIU, Y. a SIDDIQUE, K. H. M. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. *Agron. Sustain Dev*. 2015, vol. 36, no. 3, p. 1–21. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0338-6>. [cit. 2024-09-11].
- KUKLÍK, V. *Cvičení ze závlah*. Praha: Vysoká škola zemědělská Praha, 1985, 349 s.
- LAKSO, A. N. a GOFFINET, M. C. Apple fruit growth. *New York Fruit Quarterly*. 2013, vol. 21, no. 1, p. 11–14.
- LEIB, B. G.; CASPARI, H. W.; REDULLA, C. A.; ANDREWS, P. K. a JABRO, J. J. Partial rootzone drying and deficit irrigation of 'Fuji' apples in a semi-arid climate. *Irrigation Science*. 2006, vol. 24, p. 85-99. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00271-005-0013-9>. [cit. 2024-09-11].
- LO BIANCO, R., a FRANCAVIGLIA, D. Comparative responses of 'Gala' and 'Fuji' apple trees to deficit irrigation: Placement versus volume effects. *Plant and Soil*. 2012, vol. 357, p.41-58. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1149-z> [cit. 2024-09-11].
- MÉSZÁROS, M., a SCHÁŇKOVÁ, K. Řízená deficitní závlaha u jabloní Gala Brookfield. *Zahradnictví*. 2021, vol. 6, p. 16–21.
- MÉSZÁROS, M.; SCHÁŇKOVÁ, K.; NÁMĚSTEK, J.; PLAVCOVÁ, L.; FIALA, R.; SVOBODA, P.; HABERLE, J. a LITSCHMANN, T. *Stanovení potřeby a strategie zavlažování v ovocných sadech / Determining the need and strategy for irrigation in fruit orchards*. Certifikovaná metodika. Holovousy: VŠUO, 2023. ISBN 978-80-87030-88-2. Dostupné z: <https://doi.org/10.60615/VNNA-HQ23>. [cit. 2024-09-10].
- MPELASOKA, B. S.; BEHBOUDIAN, M. H. a MILLS, T. M. Water relations, photosynthesis, growth, yield and fruit size of 'Braeburn' apple: Responses to deficit irrigation and to crop load. *Journal of*

- Horticultural Science and Biotechnology*. 2001, vol. 76, no. 2, p. 150–156. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/14620316.2001.11511342>. [cit. 2024-09-09].
- NAOR, A.; NASCHITZ, S.; PERES, M. a GAL Y. Response of apple fruit size to tree water status and crop load. *Tree Physiology*. 2008, vol. 28, p. 1255–1261. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/treephys/28.8.1255>. [cit. 2024-09-06].
- PEREIRA, L. S. a ALVES, I. *Crop water requirements*. In: Encyclopedia of Soils in the Environment. Amsterdam: Elsevier/Academic Press. 2005, p. 322–334. ISBN: 978-0-12-348530-4.
- PLAVCOVÁ, L.; MÉSZÁROS, M.; JUPA, R.; SCHÁŇKOVÁ, K.; KOVALÍKOVÁ, Z. a NAMĚŠTEK, J. Yield and water relations of two apple cultivars under irrigation. *Irrigation Science*. 2023, vol. 41, p. 543–556. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00271-022-00839-2>. [cit. 2024-09-12].
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2020) R: a language and environment for statistical computing [software]. [přístup 2024-08-27]. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Dostupné z: <http://www.R-project.org/>.
- RITCHIE, J. T. Soil water balance and plant water stress. In: Tsuji, G.Y.; Hoogenboom, G. a Thornton, P. K. (eds). Understanding Options for Agricultural Production. Systems Approaches for Sustainable Agricultural Development, vol 7. Dordrecht: Springer. 1998. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-94-017-3624-4_3. [cit. 2024-09-13].
- STŘEŠTÍK, J.; ROŽNOVSKÝ, J.; ŠTĚPÁNEK, P. a ZAHRADNÍČEK, P. Increase of annual and seasonal air temperatures in the Czech Republic during 1961-2010. In: ROŽNOVSKÝ, J. a T. LITSCHMANN (eds.) Mendel and Bioclimatology. Conference proceedings, Brno, 3rd-5rd September 2014. Brno: Institute of Geophysics AS ČR. 2014. ISBN 978-80-210-6983-1.
- TOLASZ, R., et al. 2007. Atlas podnebí Česka. Praha: Český hydrometeorologický ústav, Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. ISBN: 978-80-86690-26-1 (ČHMÚ), 978-80-244-1626-7 (Univerzita Palackého)
- UCAR, Y.; KADAYIFER, A.; ASKIN, A. M.; KANKAYA, A.; SENYIGIT, U. a YILDIRIM, F. Yield and quality response of young 'Gala, Galaxy' trees under different irrigation regimes. *Erwerbs-Obstbau*. 2016, vol. 58, p. 159–167. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10341-016-0269-7>. [cit. 2024-09-11].