

Optimalizace množství dodané vody při kapkové závlaze jabloní s využitím snímačů půdní vlhkosti

Tomáš Litschmann

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

Abstrakt

Častější výskyty sucha, nerovnoměrné rozložení srážek a klesající zásoby vody využitelné pro závlahy vyžadují sofistikovanější přístupy k aplikaci a řízení závlah. Rozšiřování kapkových závlah v ovocných sadech přispívá ke snižování mimoprodukčních ztrát vody neproduktivním výparem, je však zapotřebí zabránit i perkolaci do hlubších vrstev nevhodným řízením. Časové spínače, běžně v sušších krajinách používané, se ukazují v našich klimatických podmínkách jako nepřiliš vhodné, jelikož jejich nastavení do značné míry závisí na subjektivním odhadu pěstitele.

V předloženém článku jsou popsány zkušenosti s řízením závlahy na základě přímo měřené půdní vlhkosti v kořenové zóně jabloní pěstovaných ve tvaru štíhlého větene. Pokus byl založen v roce 2019 a běží doposud, v tomto článku je vyhodnoceno čtyřleté období 2019 – 2022. Bylo zjištěno, že řízením na základě půdní vlhkosti lze ušetřit polovinu až dvě třetiny závlahové vody oproti množství dodaném na základě časového spínače nastaveného zkušeným sadařem, bez dopadu na výnosy.

Byly provedeny pokusy sestavit rovnice vláhové bilance a počítat množství potřebné závlahové vody na základě meteorologických údajů a dalších dostupných parametrů, nebylo však doposud dosaženo prakticky využitelných výsledků. Na základě tříletých výsledků bylo zjištěno, že v dlouhodobějším časovém úseku jsou jabloně na daném pokusném pozemku s daným typem ozelenění schopny využít přibližně 50 % spadlých srážek během vegetačního období, druhá polovina připadá na ztrátové položky, jako např. evapotranspirace meziřadí, případná perkolace apod.

1. Úvod

Zvyšující se intenzifikace pěstování jabloní a současně probíhající klimatická změna, projevující se větší variabilitou srážek a častějšími epizodami půdního sucha, vedly v minulých desetiletích k masovému rozšíření kapkové závlahy v nově vysazovaných sadech a zároveň i ve starších výsadbách. Současně s vybudováním kapkové závlahy je uživatel nucen řešit problematiku optimálního řízení zavlažování tak, aby nedocházelo k nadměrnému plýtvání vodou, ale ani aby nebyl snížen výnos v důsledku nedostatku vláhy v půdě. Optimální řízení kapkové závlahy vyžaduje častější dodávku určitého množství vody ve správný okamžik a ve správném množství. Ve velké většině případů tak převládá řízení na základě subjektivního hodnocení vztahu mezi vláhovou potřebou jabloní, srážkami a dodaným závlahovým množstvím. Časový způsob řízení kapkové závlahy nejen v sadech je v našich podmínkách poměrně rozšířen, záleží při něm hodně na uživateli, jak často a po jakou dobu závlahu provozuje. K odbornému stanovení těchto parametrů je zapotřebí mít dostatek informací o výsušnosti atmosféry, srážkách a fyziologických potřebách pěstovaných plodin. Tyto většinou komplikované výpočty pěstitelé nahrazují odhadem, takže dochází v některých případech k nedostatečnému, anebo naopak nadměrnému zavlažování. Jak uvádí Mounzer et al. (2008), měření půdních vlhkostí je rozhodující pro stanovení vláhové potřeby porostu a efektivní řízení závlahy. Obdobně Jiang a Hi (2021) uvádějí, že závlaha řízená na základě údajů snímačů půdních vlhkostí přispěla k úspoře vody a zvýšila výnosy. Na základě zkušeností bez přesných naměřených údajů lze jen těžko stanovit, zda-li bylo dodané závlahové množství vody dostatečné. Ve světě moderních technologií lze bez problémů a s minimálními finančními nároky zajistit kontinuální monitorování půdních vlhkostí přímo v zavlažovaném sadu a na základě takto získaných hodnot provádět závlahu.

Vera et al. (2021) ve svém přehledovém článku uvádějí mezi přednostmi při řízení kapkové závlahy na základě měřené půdní vlhkosti úsporu až 40 % vody a s tím spojených dalších nákladů oproti metodám řízení založených na vypočítané potenciální evapotranspiraci. V případě, že jsou údaje o půdních vlhkostech přenášeny na webové rozhraní, patří mezi další výhody tohoto řízení přehled o vlhkostech půdy v jednotlivých částech sadu, možnost připojení a přenášení dat i z jiných snímačů, např. teploty, vodoměru apod., jakož i možnost varování při selhání některého z prvků ovládání

závlahy a tím i zabránění vzniku škod např. podmáčením, vyplavením živin při nezavření ventilu, ale zároveň též i vzniku vodního stresu při poruše dodávky vody k jednotlivým kapkovačům. Autoři rovněž uvádějí i slabá místa takového řízení, mezi něž patří malý objem půdy měřený snímači vlhkosti půdy (nutnost jejich optimálního umístění), v případě větší variability půdních vlastností je zapotřebí použít více snímačů, náklady spojené s vybudováním měřících stanovišť a rovněž náklady spojené se zajištěním správné funkce celého systému. Lze však předpokládat, že vývoj povětrnostních podmínek v dalších letech pod vlivem klimatických změn povede ke zvýšenému nedostatku, popřípadě i zvýšení ceny, závlahové vody, čímž se toto řízení stane ještě více rentabilnější.

Předložený příspěvek popisuje výsledky tříletého poloprovozního pokusu s řízením závlahy v jablňovém sadu na základě údajů půdní vlhkosti v porovnání se subjektivním řízením zkušeného sadaře.

2. Materiál a metody

Pokud byl založen průběhu měsíce června 2019 ve výsadbě jabloní odrůdy Red Cap, mutace Jeronime na podnoži M9, výsadba jaro 2013, spon 3,5x1m, patřící firmě Agrosad s.r.o. Velké Bílovice, s cílem posoudit přínos řízení závlahy na základě hodnot půdní vlhkosti v kořenové zóně oproti tradičnímu řízení časovým spínačem dávkujícím vodu pravidelně v každodenních intervalech. K pokusu byly vybrány dva řádky jabloní o délce 160 metrů, každý o výměře 0.0594 ha. Umístění výsadby je na Obr. 1, její orientace je ve směru jihozápad - severovýchod. V jednom řádku byl ponechán uživatelsky řízený způsob závlahy, ve druhém byla závlaha řízena regulátorem půdní vlhkosti RPV 2b (AMET Velké Bílovice). Meziřadí je ozeleněno jetelotravní směskou, pravidelně sežínanou. Místo k pokusu bylo vybráno na základě předchozích měření hodnot půdních vlhkostí v rámci jiného výzkumu, kdy bylo konstatováno, že množství vody, dodávané uživatelským způsobem, má za následek vysoké hodnoty půdních vlhkostí v navlaženém objemu pod jednotlivými kapkovači. Polní vodní kapacita pro danou středně těžkou půdu se pohybuje kolem 32 obj. %.

Kromě regulátoru půdní vlhkosti bylo měřící stanoviště osazeno i dalšími snímači půdní vlhkosti VIRRIB (AMET Velké Bílovice), přičemž jejich hodnoty byly zaznamenávány dataloggerem VIRRIBLOGGER od stejné firmy. Napájení všech zařízení bylo pomocí solárních panelů. Měřící sestava na pokusném stanovišti je na Obr. 2. Celkem byly nainstalovány 4 snímače půdní vlhkosti:

- 1 – uprostřed zatravněného meziřadí
- 2 – přímo pod kapkovač do řádku s regulací závlahy, dodávající informace i pro regulátor půdní vlhkosti
- 3 – 50 cm vedle kapkovací hadice probíhající řádkem s regulací závlahy
- 4 – pod kapkovač s uživatelsky řízenou závlahou časovačem

Všechny snímače v prováděném pokusu byly umístěny tak, aby monitorovaly půdní vlhkost ve vrstvě cca 10 – 30 cm pod povrchem půdy. Umístění snímačů vlhkosti půdy přímo pod kapkovač doporučují rovněž Domínguez-Niño et al. (2020), neboť v této poloze poskytují bezprostřední reakci na závlahu i na příjem vody kořeny. Dále uvádějí, že snímače umístěné mezi dvěma kapkovači mají tendenci zachycovat pomalejší dynamiku, která lépe reprezentuje kumulativní zůstatek za předchozí období několika dnů. Umístění snímače do hloubky 30 cm se shoduje s maximální kořenovou aktivitou.

K měření skutečně spotřebované vody jednotlivými řádky byl u každého z nich do kapkovací hadice vsazen vodoměr. V roce 2020 byl pokus upraven tak, že na kraji každého z obou sledovaných řádků bylo ponecháno 10 stromů bez závlahy jako další varianta, mající za cíl zjistit, jak by vypadaly výnosy bez doplňkové závlahy. Tato varianta byla rovněž vybavena snímači půdní vlhkosti podobně jako závlahové varianty.

Na začátku pokusu se ukázalo, že dochází k rozdílům v naměřených půdních vlhkostech mezi jednotlivými snímači umístěnými v řadách při stejné závlahové dávce. Tento problém byl vyřešen pomocí distančních rozpěrek, zajišťujících prohnutí kapkovací hadice v místě nad umístěným snímačem, takže voda z nejbližšího kapkovače stéká do měřeného místa. Rozpěrky je nutno pevně přichytit k vodícímu drátu, neboť vlivem změn teploty kapkovací hadice dochází k jejím délkovým změnám a posunům, nepřipevněné rozpěrky vypadnou (Obr. 3). Toto opatření je nutné ve všech případech, kdy má být měřena půdní vlhkost pod kapkovači a její hodnoty využity k řízení závlahy. Zajistí se tím správnost měření po celou vegetační dobu, v případě více snímačů pak vzájemná porovnatelnost naměřených hodnot. Při vzdálenostech kapkovačů 1 m a více je navlažený objem víceméně nespojitý a v podélném směru dochází k výrazným rozdílům v hodnotách půdní vlhkosti, takže při špatné instalaci může dojít i k tomu, že nejsou pozorovány rozdíly v naměřených půdních vlhkostech v průběhu závlahy (viz. např. naměřené půdní vlhkosti 50 cm od kapkovací hadice na Obr. 6). U kapkovacích linek položených na zemi se ukázalo jako vhodné opatření umístění snímače pod kapkovač, přičemž na

obou stranách od něj je na hadici v malé vzdálenosti umístěna zábrana (stačí namotat provázek, popřípadě stahovací pásku apod), omezující stékání vody po hadici mimo prostor monitorovaný snímačem.



Obr. 1 Umístění pokusné výsadby jabloní



Obr. 2 Umístění měřicí a regulační sestavy v pokusném sadu. Regulátor půdní vlhkosti RPV 2b je druhý shora, VIRRIBLOGGER druhý zdola. Vše je napájeno solárními panely.

Ve vzdálenosti cca 200 m od pokusné výsadby je umístěna meteorologická stanice, z níž jsou použity údaje o teplotách a srážkách za jednotlivé roky.

V průběhu sklizně byly každý rok sklizeny všechny plody na každém řádku samostatně ze všech stromů (celkem 160 na jednom řádku), po vyčlenění varianty bez závlahy byly zvlášť sklizeny nejprve stromy bez závlahy v obou řádcích a pak odděleně zbývající části obou řádků (150 stromů). Sklizené množství bylo následně přepočítáno z důvodů porovnatelnosti výsledků na kg/strom.



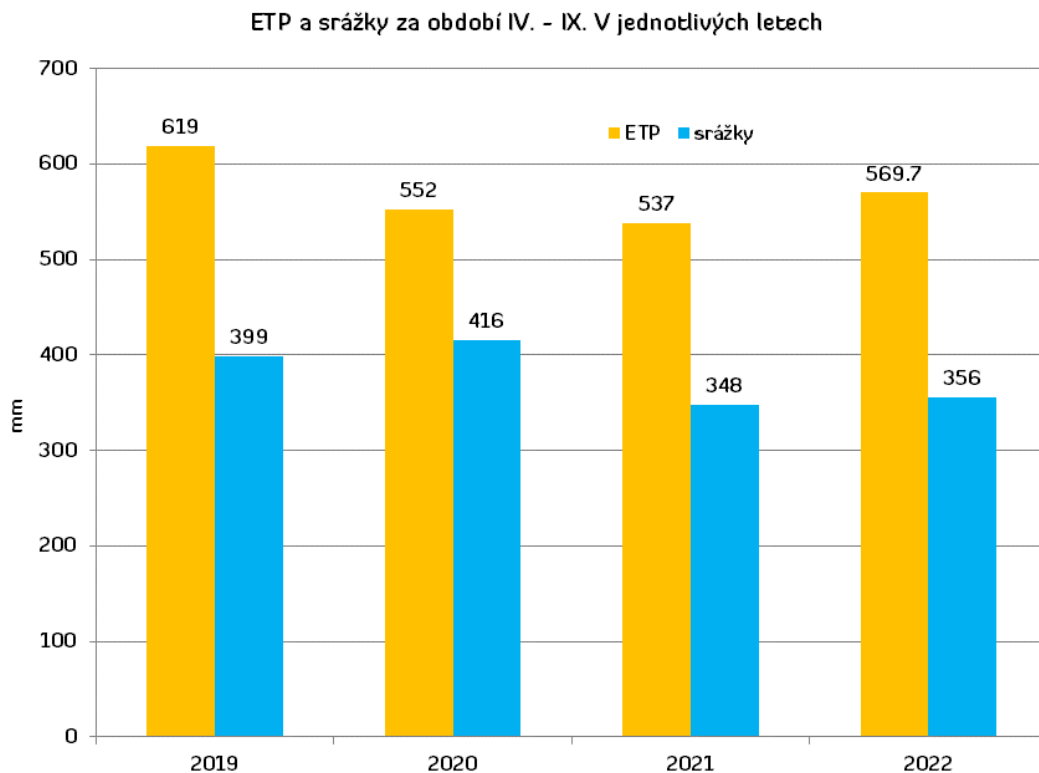
Obr. 3 Prohnutí kapkovací hadice pomocí rozpěrky v místě nad snímači půdní vlhkosti umístěnými v řadách

3. Výsledky a diskuse

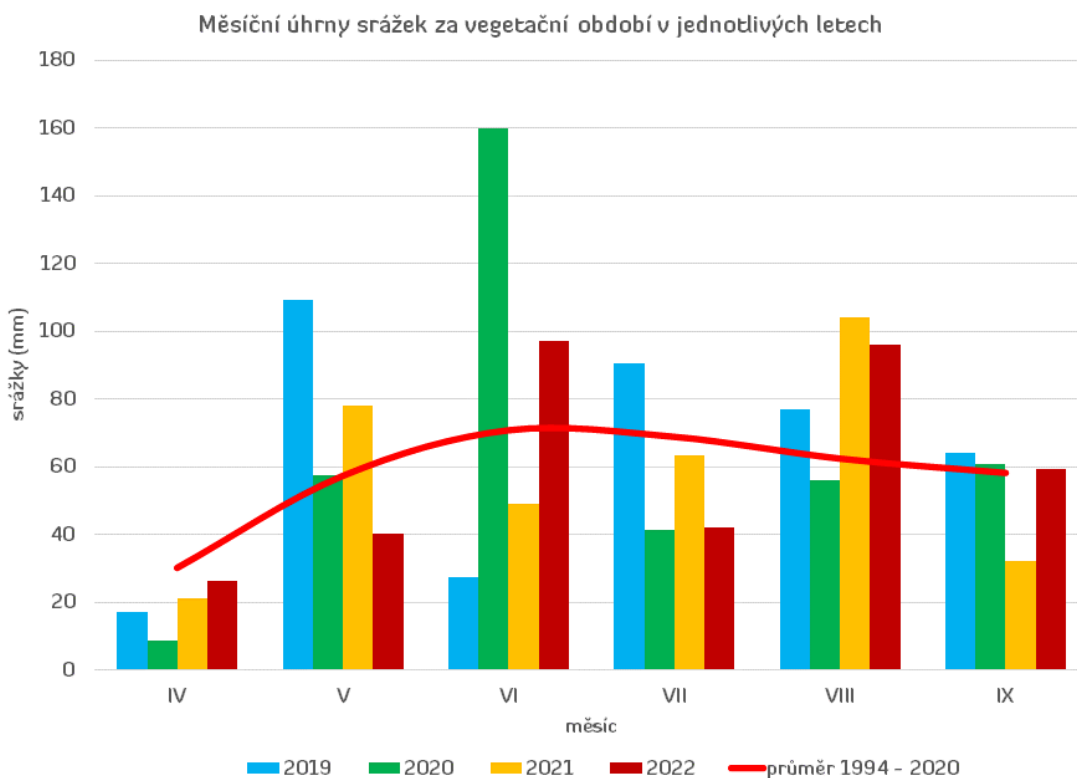
3.1 Průběh povětrnosti v jednotlivých letech

Po předchozích letech 2015 – 2018 s nízkými úhrny srážek, se od roku 2019 do roku 2021 začaly srážkové úhrny zvyšovat a i přes rozkolísanost v jednotlivých měsících se jejich množství za vegetační období pohybovalo kolem dlouhodobého průměru. Na Obr. 4 jsou znázorněny tyto úhrny za vegetační období společně s hodnotami potenciální evapotranspirace. Ve všech sledovaných letech byla potenciální evapotranspirace vyšší než úhrn srážek, což je charakteristické pro danou oblast s výskytem černozemí. Při podrobnější analýze jednotlivých měsíců (Obr. 5) je zřejmé, že docházelo ke střídání srážkově podnormálních a nadnormálních měsíců, i z tohoto důvodu bylo zapotřebí aplikovat doplňkovou závlahu ve výsadbách jabloní. Společně se závlahou bylo v některých termínech prováděno i přihnojování.

Na jaře a na počátku léta v roce 2019 ještě doznívalo předchozí suché teplejší období, které se projevilo mj. i nízkými červnovými úhrny srážek a vyššími hodnotami ETP za vegetační období. Rok 2020 se vyznačoval srážkově normálním květnem, po němž následoval vysoce nadnormální červen a mírně podnormální červenec, zbývající měsíce byly srážkově normální. Nižší celkový úhrn srážek v roce 2021 byl způsoben zejména nízkými úhrny v září, kdy již probíhají sklizně ovoce, navíc tento měsíc následoval po srážkově vydatnějším srpnu, takže závlaha již byla vypnuta. Přestože rok 2022 vykazuje obdobné úhrny srážek jako rok předcházející, v důsledku jejich nerovnoměrného rozdělení se v červenci a v srpnu vyskytlo několikatýdenní období s nedostatkem vláhy, umocněné ještě vyššími hodnotami evapotranspirace. V měsíčních úhrnech srážek (Obr. 5) se tato skutečnost neprojevuje, jelikož v srpnu začalo pršet až ke konci měsíce a v důsledku toho dosáhl jeho úhrn vysoce nadnormálních hodnot.



Obr. 4 Hodnoty potenciální evapotranspirace a srážek v jednotlivých letech

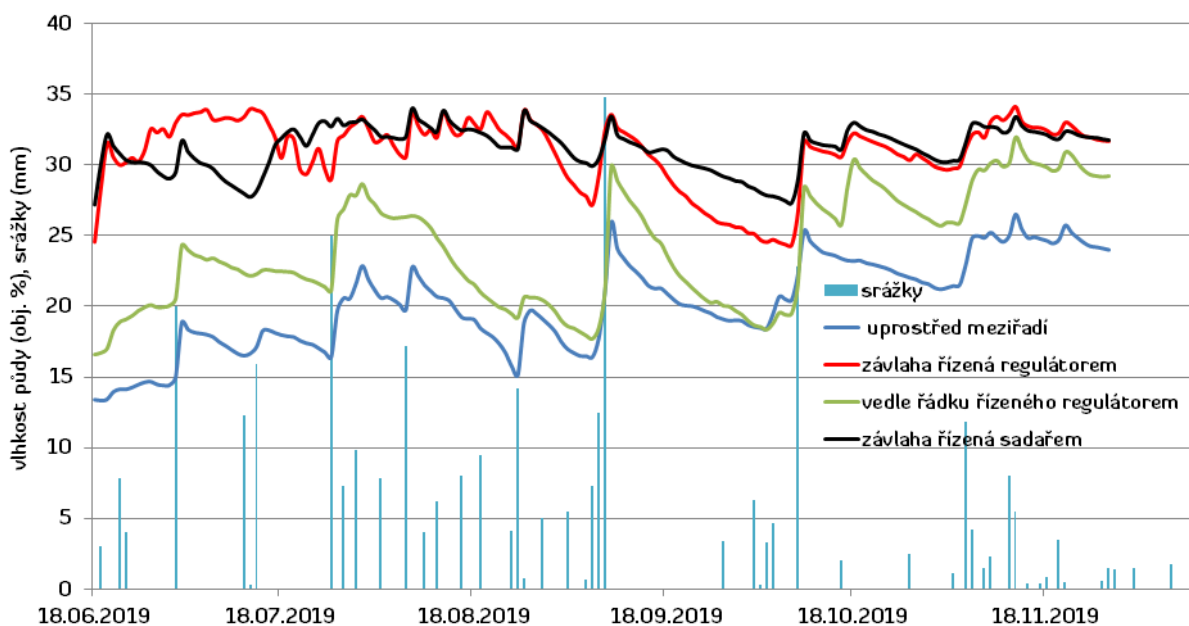


Obr. 5 Měsíční úhrny srážek v jednotlivých letech

3.2 Průběhy půdních vlhkostí

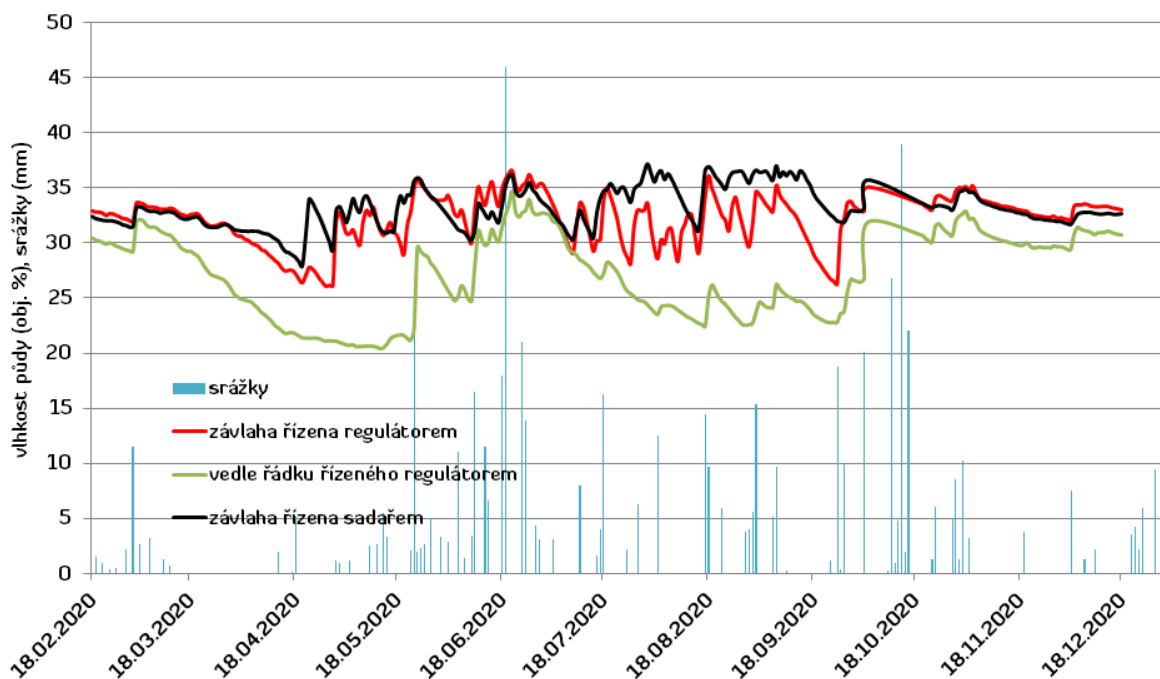
Regulátor závlahy byl nastaven tak, že v případě, kdy klesne půdní vlhkost pod 30 obj. %, provede se v nejbližším termínu, kdy časovač pustí vodu i do sousedních linek, závlaha. Pokud je vlhkost vyšší, tak se závlaha provádí pouze na vedlejších linkách. Nastavená hodnota 30 obj. % odpovídá více než 80 % využitelné vodní kapacity, takže je zde vždycky ještě dostatečná rezerva pro případ, že by se závlaha z nějakého důvodu neprovedla. Průběhy půdních vlhkostí v jednotlivých letech jsou na Obr. 6–9. Hodnota 25 obj. %, na níž vlhkost půdy klesla v polovině července 2021 v důsledku vynechání jedné anebo dvou závlahových dávek, stále ještě odpovídá cca 60 % využitelné vodní kapacity, tj. hodnotě, při níž by nemělo docházet k vodnímu stresu. Ve všech letech se půdní vlhkosti uprostřed příkmeného pásu pohybovaly na poměrně vysokých hodnotách kolem PVK a neklesaly ani v období, kdy byla závlaha vypnuta. Výjimku tvoří pouze konec roku 2021, kdy v důsledku suššího podzimu došlo k výraznějšímu poklesu vlhkostí půdy. Za povšimnutí stojí rovněž průběh vlhkostí půdy měřený snímačem umístěným 50 cm kolmo od kapkovací hadice a dalším uprostřed ozeleněného meziřadí. Zde byly půdní vlhkosti podstatně nižší než pod kapkovacími hadicemi, což dokazuje, že ani ve středně těžké půdě nedochází u kapkové závlahy k výraznému zvětšení navlaženého objemu a jeho rozšíření mimo příkmený pás. Během zimního období dochází v meziřadí k doplnění zásoby půdní vláhy ve svrchní vrstvě téměř až na hodnoty PVK, jelikož je však meziřadí ozeleněno, půdní vlhkost zde začíná klesat dříve než v příkmeném pásu a zpět na hodnoty PVK se vrací jenom po déletrvalejších vydatnějších deštích, jaké se vyskytovaly např. v červnu 2020, kdy bylo dosaženo téměř stejných vlhkostí ve všech měřených bodech. Dosažení tohoto stavu mj. svědčí i o dobré kalibraci a funkci použitých snímačů půdní vlhkosti. Nedostatek srážek v červenci a srpnu v roce 2022 je patrný zejména na nízkých hodnotách půdních vlhkostí v meziřadí a 50 cm od kapkovací linky (Obr. 9)

Průběh půdních vlhkostí v pokusu se závlahou jabloní v roce 2019



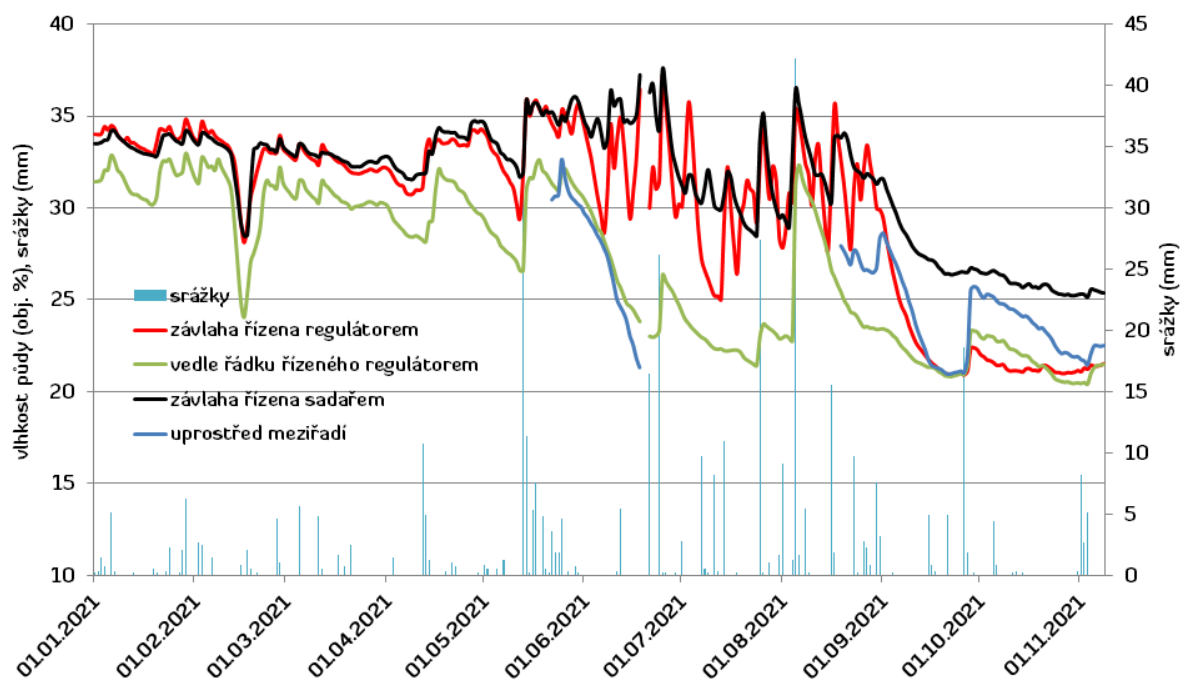
Obr. 6 Průběh půdních vlhkostí v pokusu se závlahou jabloní v roce 2019

Průběh půdních vlhkostí v pokusu se závlahou jabloní v roce 2020



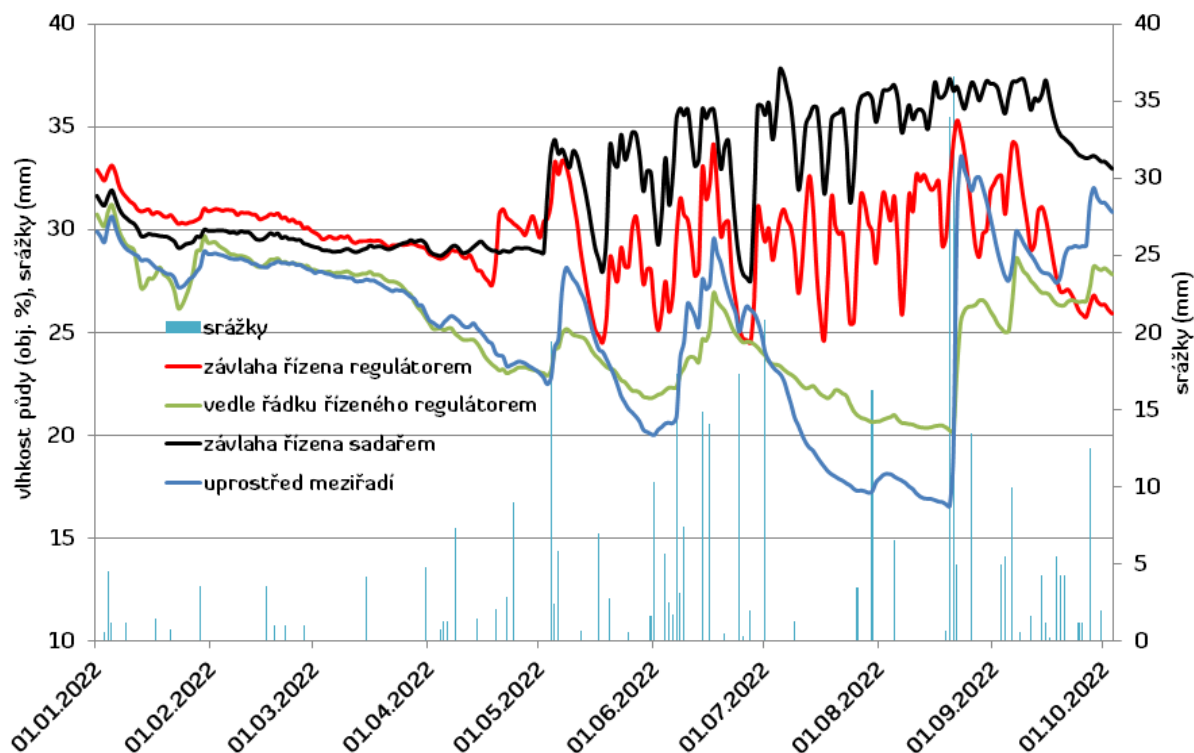
Obr. 7 Průběh půdních vlhkostí v pokusu se závlahou jabloní v roce 2020

Průběh půdních vlhkostí v pokusu se závlahou jabloní v roce 2021



Obr. 8 Průběh půdních vlhkostí v pokusu se závlahou jabloní v roce 2021

Průběh půdních vlhkostí v pokusu se závlahou jabloní v roce 2022



Obr. 9 Průběh půdních vlhkostí v pokusu se závlahou jabloní v roce 2022

3.3 Spotřeba závlahové vody

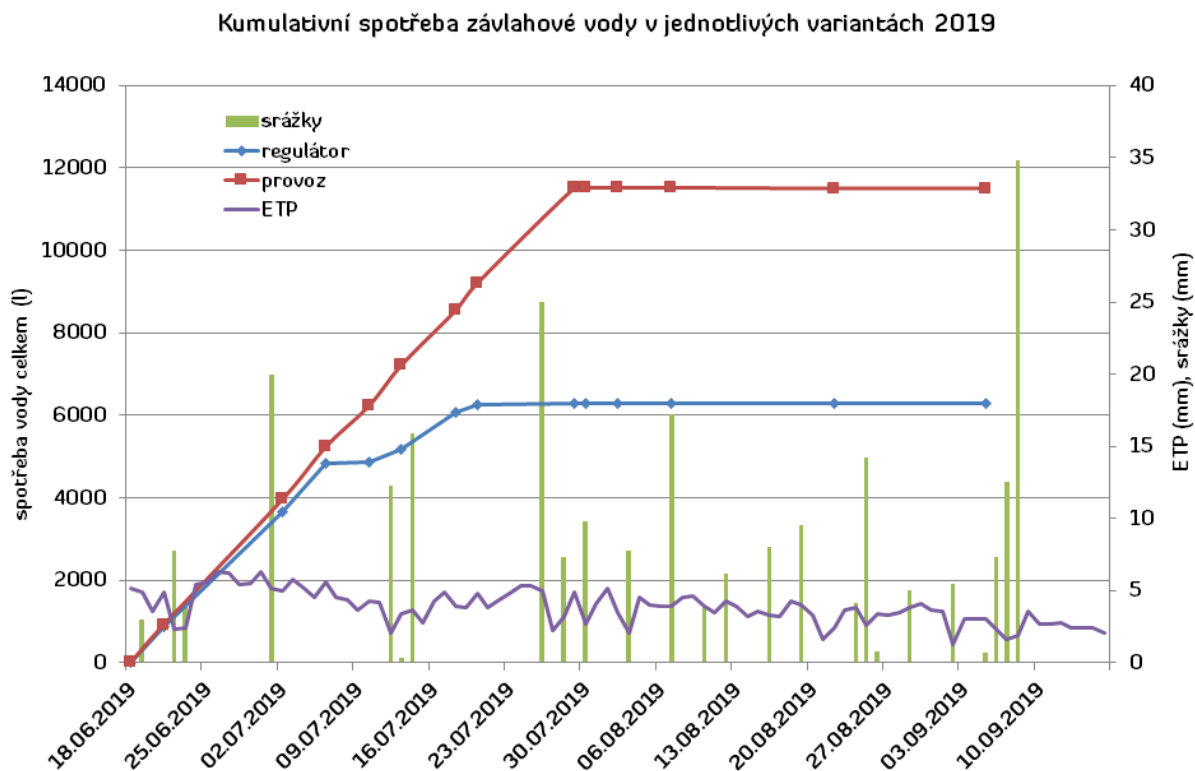
Průběh celkově spotřebované závlahové vody v průběhu jednotlivých sezón je na Obr. 9 až 12, souhrnný přehled množství dodané vody v litrech na jeden zavlažovaný strom je pak v tab. 1. V roce založení pokusu 2019 byla závlahová sezóna poměrně krátká, v průběhu července se začaly vyskytovat četnější a vydatnější srážky, takže regulátor zablokoval závlahu již 20. 7. 2019, uživatel vypnul závlahu o něco později, 29. 7. 2019. Z Obr. 9 je vidět, že závlaha podle uživatele probíhala pravidelně na základě spouštění časovým spínačem bez jakékoliv korekce, takže čára kumulativní spotřeby závlahové vody tvoří v tomto případě přímku. Naproti tomu v případě řízení závlahy regulátorem byla tato omezoována již při výskytu prvních srážek v červenci a následně ukončena. I přes poměrně krátkou dobu provádění závlahy od založení pokusu do příchodu dešťů byla použitím regulátoru ušetřena téměř polovina vody oproti řízení pouze na základě časovače. V roce 2020 (Obr. 10) probíhala závlaha po krátkou dobu v květnu, po období dešťů byla na více než jeden měsíc přerušena a opětovně spuštěna až v polovině července. Po srážkách ke konci srpna již ve variantě s regulátorem nebyla závlaha až do konce sezóny prováděna, zatímco ve variantě řízené uživatelem bylo na základě subjektivních poznatků dodáno ještě před sklizní poměrně značné množství vody. Ve variantě s regulátorem tak bylo spotřebováno pouze 32 % z množství vody dodané uživatelem. Z Obr. 7 je zřejmé, že zvýšené množství vody nevedlo k výraznějšímu zvýšení půdní vlhkosti v příkmeném pásu, tato se pohybovala mírně nad hranici polní vodní kapacity a nelišila se příliš od půdní vlhkosti ve variantě s regulátorem.

V roce 2021 byla závlaha v důsledku chladného jara prováděna až od poslední květnové dekády a v obou variantách množství dodané závlahové vody narůstalo přibližně lineárně až do ukončení koncem srpna. Během tohoto období se vyskytovaly občas i vydatnější srážky, nevedly však ani u varianty řízené regulátorem k déletrvajícimu přerušování závlahy, v průměru však zde byla prováděna každá třetí závlaha oproti variantě řízené uživatelem. V tomto roce bylo spotřebováno největší množství závlahové vody, ve variantě řízené regulátorem se opět spotřebovala pouze třetina vody oproti variantě řízené uživatelem, přestože průběh půdních vlhkostí v obou variantách (Obr. 8) je opět velmi podobný. Září v roce 2021 bylo oproti předcházejícím letům poměrně suché a proto půdní vlhkosti začaly poměrně rychle klesat, nejvíce ve variantě řízené regulátorem, ve variantě řízené uživatelem o něco méně. Příčinou tohoto rozdílu může být buď větší množství vody nalézající se v půdním profilu ve variantě řízené uživatelem, anebo omezenější schopnost kořenů přijímat vodu v důsledku déletrvalejšího přemokření v příkmeném pásu, popřípadě kombinace obojího.

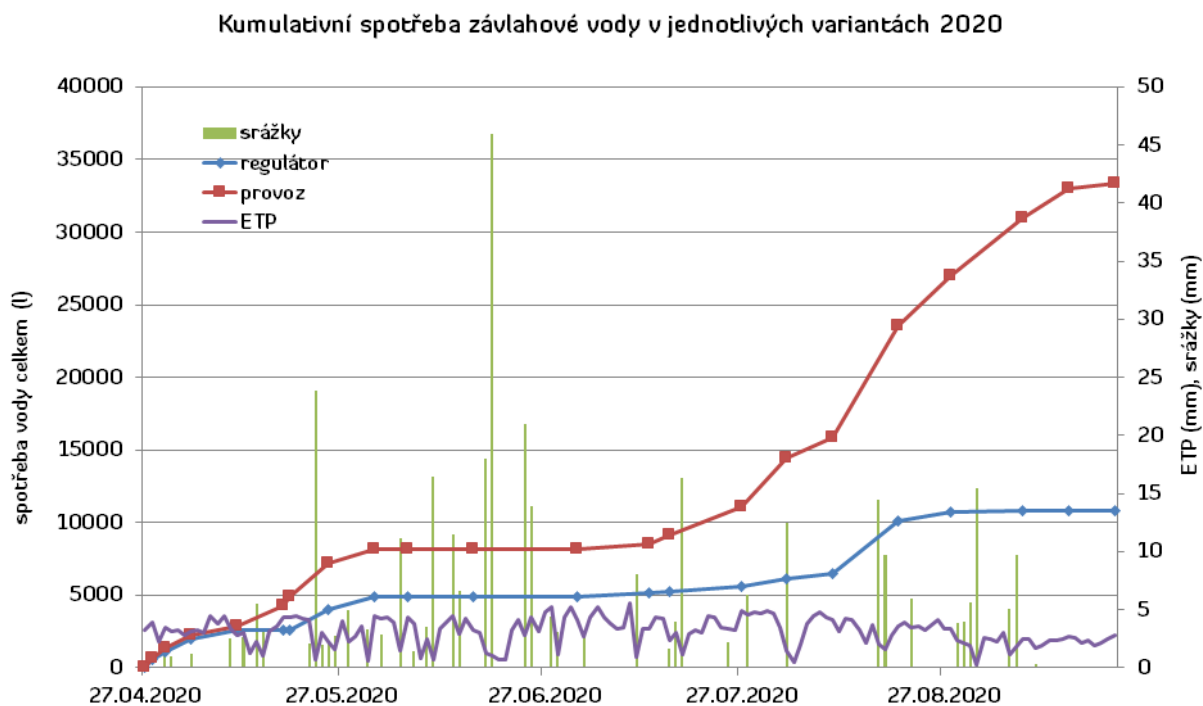
V roce 2022 byla v důsledku několikátýdenního období sucha zaznamenána největší spotřeba vody v obou závlahových variantách, zavlažovat se začalo již v polovině dubna a byla tudíž nejdélsí závlahové sezóna. Zejména v suchém srpnu sadař zvýšil frekvenci zavlažování, zřejmě kvůli obavám z nedostatku vody v kořenové zóně, čímž se zvýšila její spotřeba, jednotlivé stromy však nebyly schopny toto množství absorbovat a došlo k její ztrátě průsakem.

Tab. 1 spotřebované množství závlahové vody v l/strom v jednotlivých letech

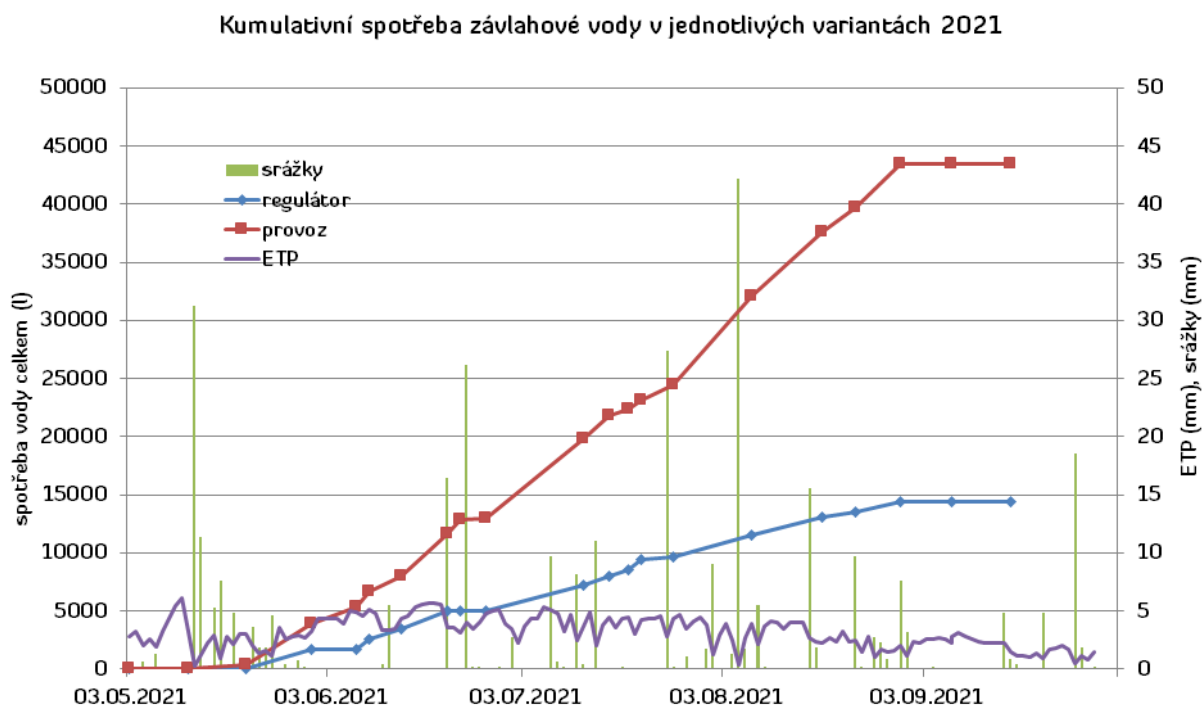
rok	regulátor	uživatel	% (uživatel = 100 %)
2019	42	77	55
2020	72	223	32
2021	96	290	33
2022	213	541	39



Obr. 10 Kumulativní spotřeba závlahové vody v jednotlivých variantách v roce 2019

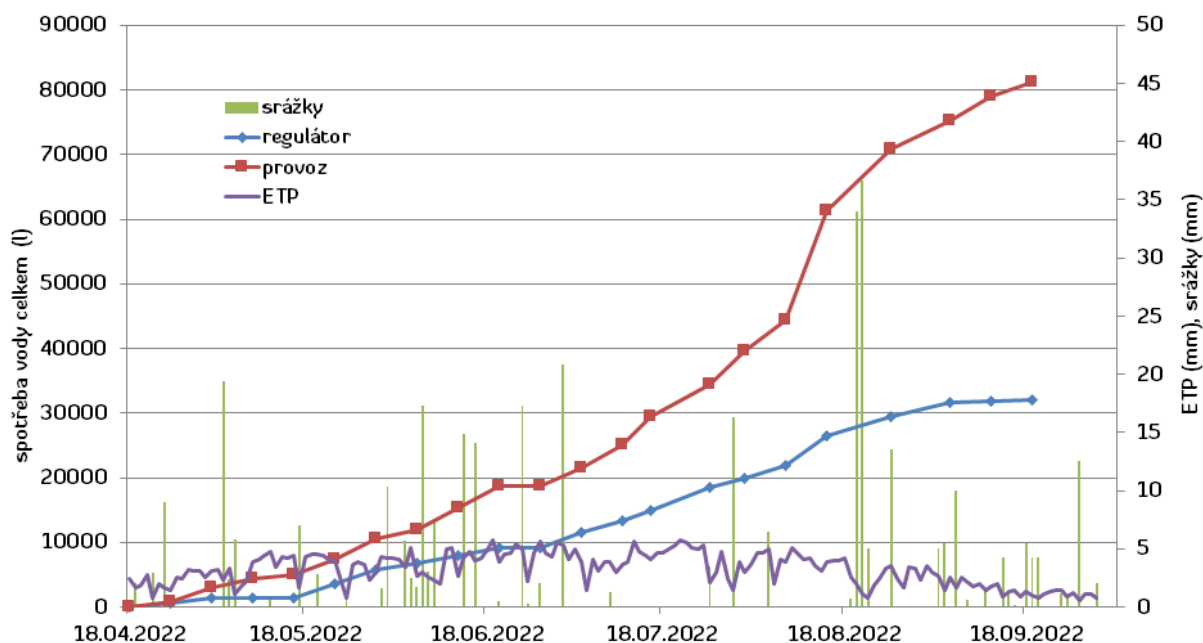


Obr. 11 Kumulativní spotřeba závlahové vody v jednotlivých variantách v roce 2020



Obr. 12 Kumulativní spotřeba závlahové vody v jednotlivých variantách v roce 2021

Kumulativní spotřeba závlahové vody v jednotlivých variantách 2022

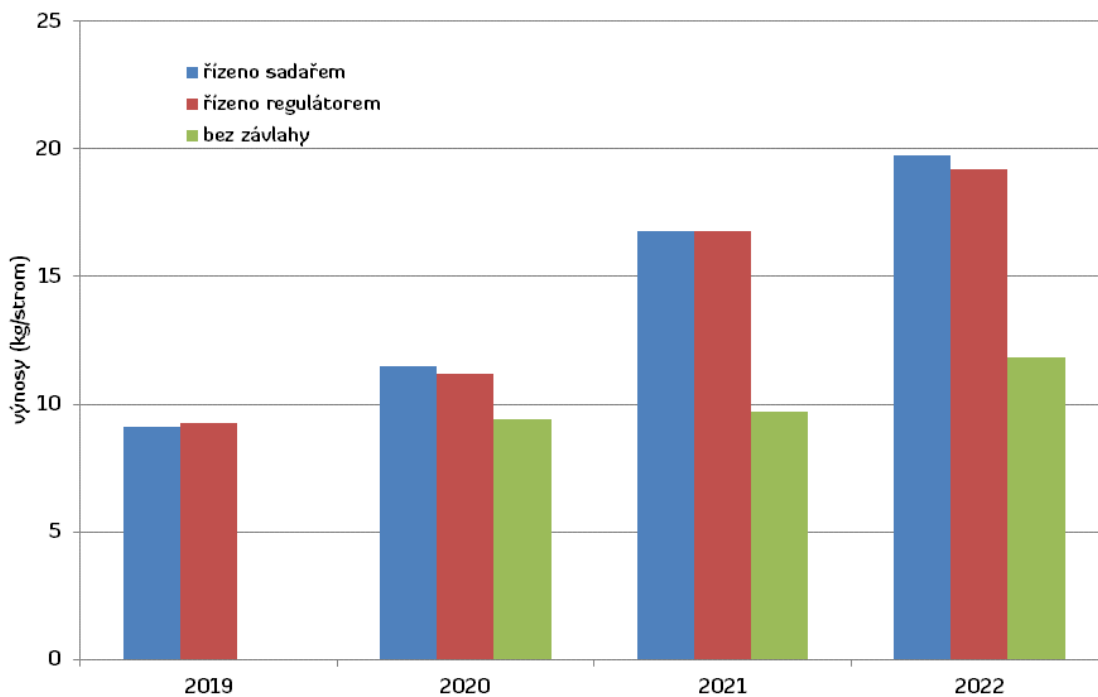


Obr. 13 Kumulativní spotřeba závlahové vody v jednotlivých variantách v roce 2021

3.4 Výnosy

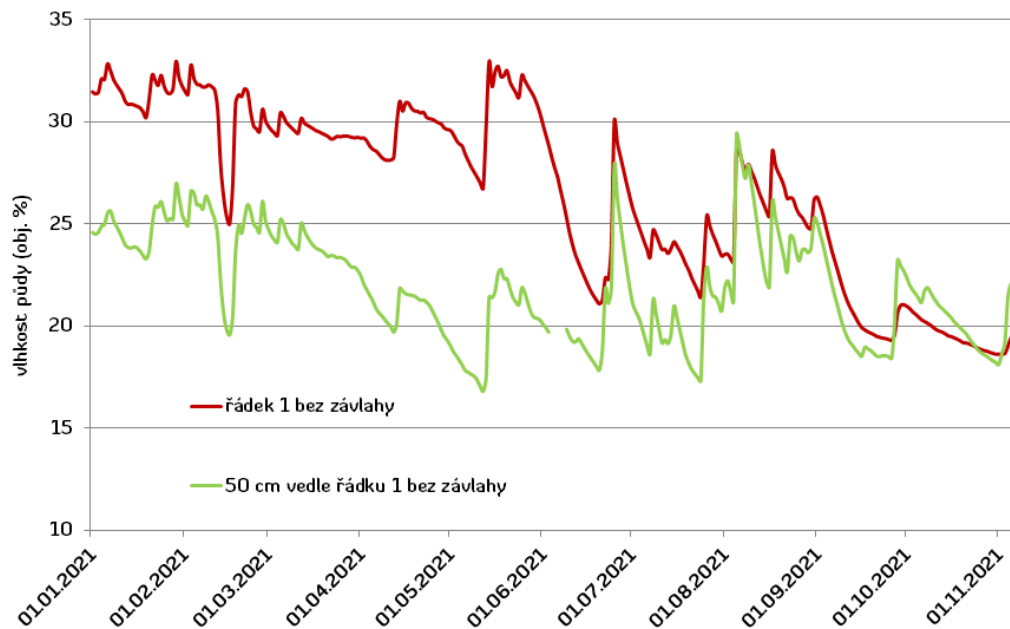
Po pečlivě provedené sklizni jablek v jednotlivých variantách byly celkové výnosy v jednotlivých letech v kg/strom znázorněny na Obr. 14. Ani v jednom ze sledovaných let se neprokázalo, že by řízení závlahy na základě měření půdní vlhkosti vedlo ke snížení výnosů oproti subjektivnímu řízení uživatelem. Úspora vody se však pohybovala od 45 do 68 %. Tyto hodnoty jsou však velmi ovlivněny subjektivním přístupem *konkrétního uživatele a mohou se tudíž pohybovat v poměrně širokém rozmezí v závislosti na tom, jak konkrétní uživatel vyhodnotí potřebu závlahy, popřípadě dostupnosti vody v dané lokalitě*. V našem případě však jsou dokladem toho, že větší množství dodané vody naštěstí nevede ke snížení výnosů, maximálně k jejímu plýtvání a dalším negativním jevům, mezi něž patří nadměrné promývání půdního profilu, vymývání živin a jejich případný průsak do podzemní vody. U nezavlažované varianty došlo v roce 2020 k mírnému snížení výnosů, v roce následujícím zůstaly na stejné hodnotě, avšak oproti zavlažovaným variantám byly podstatně nižší, částečně v důsledku nedostatku vláhy, částečně i vynecháním fertigace. Jak je zřejmé z Obr. 15, během vegetačního období se vyskytovaly nízké vlhkosti v příkmeném pásu v polovině června a ke konci července. Podobně i v roce 2022 byl výnos v nezavlažované variantě podstatně nižší, avšak o něco vyšší než v předchozích dvou letech, pravděpodobně v důsledku vynechání probírky před sklizní, což bylo zřejmě i příčinou vyšších výnosů v zavlažovaných variantách, avšak s vyšším podílem nestandardních plodů.

Výnosy v jednotlivých variantách



Obr. 14 Výnosy v jednotlivých variantách

Průběh půdních vlhkostí v nezavlažované variantě v roce 2021



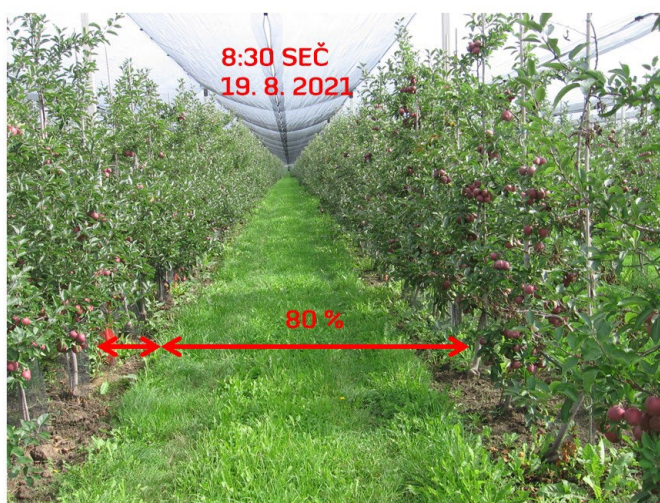
Obr. 15 Průběh půdních vlhkostí v nezavlažované variantě v roce 2021

3.5 Stanovení efektivně zastíněné plochy jabloněmi

Při výpočtech vláhové bilance je zapotřebí znát mj. i poměrnou část, jakou zaujímá pěstovaná plodina na celkové výměře pozemku. Existují velké rozdíly v zastínění plochy v rámci pěstitelských tvarů a orientací jednotlivých řad, při orientaci východ-západ je po většinu dne zastíněna větší část plochy než při orientaci sever-jih, při níž v poledních hodinách je zastíněna minimální část povrchu sadu.

V literatuře (Goodwin 2013) je v této souvislosti používán výraz „efektivní plocha zastínění“ (effective area of shade, EAS), v citované publikaci stanovená jako průměrná poměrná část zastíněné plochy pozemku měřená za slunečního počasí v poledne a 3,5 hodiny před ním a po něm.

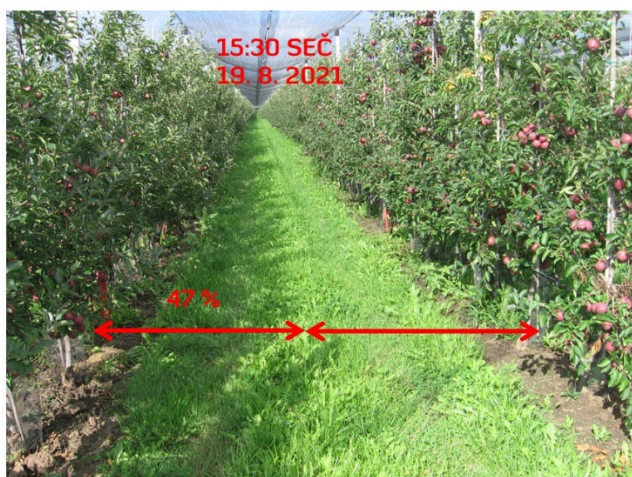
Na Obr. 16 je znázorněna poloha a velikost stínu, který vrhaly jednotlivé řady stromů v provozním pokusu v těchto termínech dne 19. 8. 2021. Průměrná hodnota poměrných částí zastínění vypočítaná z těchto tří termínů je 0,49, pokud uvažujeme přibližně 10% mezerovitost v ploše stínu, lze počítat orientačně s hodnotou EAS kolem 0,44.



V dopoledních hodinách stín pokrývá podstatnou část meziřadí a dosahuje prakticky až ke druhé řadě stromů



V poledne je zastíněn pouze úzký pás vedle jednotlivých řad, meziřadí je osvětleno téměř celé a může tak plně probíhat evapotranspirace z ozelenění mezi řadami



V odpoledních hodinách je zastíněna přibližně polovina meziřadí, evapotranspirace probíhá i na jeho částech, které byly v poledních hodinách zastíněny.

Obr. 16 Velikost zastíněné plochy meziřadí v jednotlivých částech dne

3.6 Rozbor vláhové bilance v jednotlivých letech

Pro výpočet vláhové bilance husté výsadby jabloní pod kapkovou závlahou je nutno uvažovat s těmito nejdůležitějšími komponentami:

Výdajové položky:

- transpirace jabloní
- evapotranspirace meziřadí
- zde neuvažovány – průsak do podloží, povrchový odtok

Příjmové položky:

- srážky
- kapková závlaha
- zde neuvažovány – přítok podzemní vody

Kapková závlaha – v našich podmínkách představuje doplňkový zdroj vláhvy pěstovaných jabloní. S ohledem na skutečnost, že jde o lokalizovaný zdroj, který dodává vodu pouze ke kořenům stromů, nelze ve výpočtech dodané množství bilancovat oproti celé ploše sadu anebo alespoň její části, ale pouze ve vztahu k transpiraci jabloní. Jelikož je množství závlahové vody uváděno v litrech, jeví se jako logické provádět bilanční výpočty nikoliv v milimetrech, kde je u této položky poněkud problematický a ne zcela exaktně odůvodnitelný přepočít, ale rovněž jako množství dodané vody v litrech na jeden strom.

Transpirace jabloní – v plodném sadu je nejdůležitější výdajovou složkou, za podmínky dostatečného zásobení vláhou lze předpokládat, že je v lineárním vztahu s vypočítanou potenciální evapotranspirací. Při výpočtu transpirace je zapotřebí správně stanovit relativní část sadu, kterou porost zastíňuje za rozdílných výšek Slunce. McClymont et al. (2009) uvádějí poměrně těsnou závislost mezi spotřebou vody stanovenou pomocí sap flow a součinem EAS.Eto. Z našich měření zastínění plochy vychází hodnota EAS 0,44, tedy přibližně necelá polovina vypočítané potenciální evapotranspirace. K podobné hodnotě dospěl ve své práci i Doko (2017) při zkoumání transpiračního koeficientu jabloňových sadů s odrůdami Cripps Pink a Golden Delicious (transpirační koeficient je stanoven jako poměr transpirace měřené pomocí sap flow a potenciální evapotranspirace) s obdobnou morfologií jako ve zkoumaném případě. V průběhu vegetačního období se tyto koeficienty pohybovaly přibližně v rozmezí 0,4–0,7, vyšší hodnoty byly naměřeny u odrůdy GD. Lze tedy zřejmě považovat hodnoty pohybující se kolem poloviny potenciální evapotranspirace v mm převedené na litry (v našem případě vynásobením 3,5 – plocha sadu přínaležející jednomu stromu) za odpovídající skutečné transpiraci porostu.

Srážky představují přirozený zdroj vláhvy nejen pro pěstované plodiny. Přestože se dají poměrně jednoduše měřit, jejich zahrnutí do výpočtu vláhové bilance je oproti jiným členům vláhové bilance poměrně komplikovanější, ne všechna vláhva pronikne ke kořenům pěstovaných plodin, částečně se zachytí intercepací a část je využita na evapotranspiraci porostu meziřadí. Podobně jako u transpirace jabloní byly údaje o srážkách vztaženy na plochu sadu přínaležející jednomu stromu vynásobením jejich úhrnu v mm koeficientem 3,5.

Evapotranspirace meziřadí – jak je patrné z Obr. 16, v průběhu slunečného dne je postupně osvětlena celá plocha ozeleněného meziřadí, nejvíce v poledních hodinách, kdy zároveň intenzita slunečního záření dosahuje největších hodnot a evapotranspirace z této části sadu nabývá při dostatku vláhy v půdě značné intenzity. Logicky lze předpokládat, že pokud hodnota EAS, tj. poměrná část plochy zastíněné řadami jabloní, dosahuje hodnoty 0,43, na meziřadí připadá doplněk do celkové plochy, tj. 0,57. V případě, kdy je zavlažována celá plocha sadu postřikovači, je možno počítat vláhovou bilanci z této plochy, avšak v případě kapkové závlahy, pokud je doplňková voda dodávána pouze ke kořenům ovocných stromů, je nutno počítat zvlášť vláhovou bilanci pro pěstovanou kulturu a zvlášť pro meziřadí. Jelikož u kapkové závlahy není voda dodávána do ozelenění, může toto v případě nedostatku srážek trpět vodním stresem a omezovat evapotranspiraci, zatímco pěstovaná kultura vodním stresem trpět nemusí. Jelikož se jedná o trvalé ozelenění, v suchých jarních měsících dochází k tomu, že je vláha v meziřadí spotřebovávána přednostně, a to ještě ve zvětšené míře, neboť stromy nejsou olistěny a zastiňují plochu daleko méně než ve vegetačním období.

Pokud vyjdeme z předpokladů, že:

- v důsledku pravidelného zavlažování příkmeného pásu a udržováním půdní vlhkosti v tomto prostoru na hodnotách nad bodem snížené dostupnosti netrpí pěstovaná kultura vodním stresem
- použitá regulace závlahy na základě měřené půdní vlhkosti doplňovala vodu v navlaženém objemu tak, aby nedocházelo k jejímu průsaku mimo kořenovou zónu

Lze sestavit jednotlivé komponenty vláhové bilance tak, jak jsou zachyceny v tab. 2 pro jednotlivé ročníky, vše přepočítané na litry připadající na jeden strom. Přestože závlahové období v každém roce bylo jinak dlouhé, nejkratší bylo v roce 2019 v důsledku pozdější instalace měřící a regulační aparatury a dřívějšího nástupu vlhčího období, lze vysledovat poměrně totožné výsledky.

Průměrné denní hodnoty transpirace jednotlivých stromů se pohybují v jednotlivých letech v rozmezí cca od 4 do 6 l.den⁻¹. Množství srážek, připadající na jeden strom za jeden den, se pohybuje kolem 8 litrů, tj. více, než spotřebují stromy, je však nutno počítat se spotřebou vody v meziřadí. Závlaha se podílela na celkové transpiraci jabloní od 12 do 20 %, půdní vláhu, pocházející ze srážek, jabloně využívaly z 44 do 60 %. Zbývající přibližně polovina spadlých srážek připadla částečně na již zmíněnou intercepci a zbytek byl spotřebován ozeleněním v meziřadí. Této hodnotě přibližně odpovídá výše uvedený doplněk k EAS připadající na meziřadí, 0,57. Green a Clothier (1999) uvádějí, že vzdálenost kořenů pěstovaných jabloní s intenzivním odběrem vláhy z půdy dosahuje při plošné závlaze vzdálenosti přibližně 1,2 m od kmene stromu a zasahují 0,4 m do hloubky. Lze proto předpokládat, že i v našem případě kořeny stromů zasahují do značné části meziřadí a čerpají z něj vláhu i živiny. V opačném případě by dodané množství závlahové vody nebylo schopno saturovat transpirační požadavky jabloní.

Tab. 2 Hodnoty jednotlivých veličin za závlahové období v litrech/strom. Pro přepočet srážek a potenciální evapotranspirace, uváděných v mm, se předpokládá, že jeden strom zabírá plochu 3,5 m². Koeficient 0,88 při výpočtu transpirace vychází z předpokladu, že v husté výsadbě ve tvaru štíhlých větven pod protikroupovou sítí jsou sníženy hodnoty potenciální evapotranspirace vypočítané z údajů naměřených na volném prostranství.

Závlahové období	Počet dnů	závlaha	ETP	srážky	srážky/den	transpirace ETP*EAS*0.88	Transpirace /den	závlaha/transpirace	transpirace – závlaha / srážky
24. 6.–4. 8. 2019	41	42	657	344	8.40	249	6.07	0.17	0.60
28. 4.–22. 9. 2020	147	72	1613	1213	8.25	610	4.15	0.12	0.44
21. 5.–30. 8. 2021	101	96	1272	796	7.88	481	4.76	0.20	0.48
18. 4.–19. 9. 2022	154	213	1838	1147	7.45	696	4.52	0.31	0.42

Z Obr. 15, který znázorňuje vývoj půdních vlhkostí v meziřadí a v nezavlažovaném řádku sadu, lze odvodit ještě jeden předběžný závěr. Lze si povšimnout, že hodnoty půdních vlhkostí v řádku byly až do počátku července podstatně vyšší než v meziřadí, teprve v následujícím období za jejich hodnoty začaly postupně vzájemně přibližovat. Logicky by se dalo předpokládat, že pokud se kořeny stromů nacházejí v příkmeném pásu a jeho blízkosti, mělo by zde docházet ke zvýšené

spotřebě vody a vlhkosti půdy by měly nabývat hodnot podobných těm, jaké jsou v meziřadí, popřípadě i nižších. Z toho lze usuzovat, že přestože závlaha v této části řádků byla ukončena již na jaře předcházejícího roku, vlivem nadměrných dávek v předchozích letech a zejména pak v obdobích, kdy nebyly nutné, došlo pravděpodobně k omezení schopnosti stromů přijímat vodu, neboť jak uvádí např. Dziki et al. „nadměrný obsah vody v půdě vede k anaerobním podmínkám, což má za následek vážné poškození kořenového systému. Kořeny v podmáčených půdách přestávají růst, přestávají přijímat minerály, listy žloutnou a zůstávají malé a nakonec kořeny začnou odumírat. Kromě primárního poškození stromu a ovoce se kořenový systém stává náchylnější k infekcím“.

Spotřebou vody u intenzivně pěstovaných sadů a jejím nepřímým stanovením se zabývá celá řada autorů, přičemž vždy považují za základ takového výpočtu hodnotu potenciální evapotranspirace. Liší se však v přístupu, jak tuto hodnotu převést na aktuální evapotranspiraci, někteří uvažují s celou plochou sadu a plodinovým koeficientem, jako např. Jing a Hi (2021), kteří používají při svých výpočtech vlahové bilance pro výpočet aktuální evapotranspirace vztah

$$ET_c = K_c \cdot ET_r$$

kde K_c je plodinový koeficient (0,9) a ET_r potenciální evapotranspirace, zatímco jiní, např. Goodwin (2013) uvažují pouze část sadu zastíněnou porostem (EAS). V tomto případě se však počítá pouze transpirace porostu bez vlivu meziřadí. Ještě problematičtější je zahrnutí srážek do vlahové bilance, neboť zde je nutno kalkulovat s tzv. efektivním úhrnem srážek, tj. s množstvím vody, která se dostane ke kořenům pěstovaných plodin, v našem případě jabloní. Část této vody se zachycuje intercepční, část slouží k evapotranspiraci travního porostu v meziřadí a záleží na vlhkovém stavu povrchových vrstev půdy, jaká část srážek je využita přímo kořeny jabloní. V závislosti na způsobu obdělání meziřadí tato část může být velmi rozdílná. Je proto velmi obtížné stanovit hodnotu efektivních srážek v denním kroku.

Například Jing a Hi (2021) počítají vlahový deficit v itém dni ze vztahu

$$Wd_i = Wd_{i-1} + (P_i + I_i - ET_{c_i})$$

kde Wd_{i-1} je vlahový deficit v předcházejícím dni, P_i efektivní úhrn srážek a I_i závlahové množství dodané kapkovou závlahou přepočítané na milimetry. Autoři předpokládají, že navlažený objem zabírá svou šířkou přibližně třetinu plochy sadu, proto množství dodané závlahové vody násobí třemi. Závlaha je aplikována, jestliže vlahový deficit dosáhne hodnoty -25,4 mm, při dosažení kladných hodnot vlivem vydatnějších srážek je vlahový deficit snížen na nulu. Bohužel již není v této práci uveden postup výpočtu efektivních srážek, takže nelze tento postup ověřit.

Pravděpodobně složitost problematiky stanovení jednotlivých komponent celkové vlahové bilance při kapkové závlaze sadů vede většinu autorů k tomu, že se zabývají pouze výdajovou stránkou, tj. stanovením množství spotřebované vody, ale již nikoliv příjmovou stránkou, především ve formě srážek. V oblastech, kde jsou srážky během vegetačního období poměrně malé a hlavním zdrojem vláhy pro pěstované dřeviny je závlaha, může mít takový postup i své opodstatnění, je však nedostačující do našich podmínek, kde je naopak závlaha pouze dodatkovým zdrojem vláhy.

4. Závěr

Předložený příspěvek přináší vyhodnocení provozního pokusu se závlahou řízenou na základě kontinuálního měření půdní vlhkosti v příkmeném pásu pod kapkovačem v letech 2019–2022. Po předcházejících sušších letech tyto roky patřily spíše k vodnějším, proto je nutno dosažené výsledky považovat spíše za předběžné a orientační a pokračovat s pokusem i v následujících letech. Ukázalo se, že s řízeným dávkováním závlahové vody lze ušetřit její podstatné množství ve srovnání s řízením pomocí časovače nastaveným uživatelem. Přes tuto úsporu vody nebylo pozorováno žádné snížení výnosů ani v jednom z vyhodnocovaných let.

V rámci pokusu bylo provedeno i orientační posouzení jednotlivých komponent vlahové bilance, ukazuje se, že v případě ozelenění meziřadí stromy spotřebovávají přibližně polovinu srážkového množství v daném období.

Poděkování

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

Literatura:

- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome, Italy, 300.
- DOKO, Q. 2017. Quantifying the water use of apple orchards, MSc (Agric) Dissertation, University of Pretoria, Pretoria, <http://hdl.handle.net/2263/65885>
- DOMÍNGUEZ-NIÑO, J.M.; OLIVER-MANERA, J.; ARBAT, G.; GIRONA, J.; CASADESÚS, J., 2020. Analysis of the variability in soil moisture measurements by capacitance sensors in a drip-irrigated orchard. *Sensors*, 20, 5100. <https://doi.org/10.3390/s20185100>
- DZIKITI, S., 2018. Quantifying water use and water productivity of high performing apple orchards of different canopy sizes in winter rainfall areas of south Africa: Report to the Water Research Commission and Hortgro Science. Water Research Commission, ISBN 1431209805, 9781431209804 272 s.
- GOODWIN, I., 2013. Determining effective area of shade in orchards and vineyards to estimate crop water requirement. Agriculture notes (Victoria. Dept. of Primary Industries); AG1383 PANDORA electronic collection
- GREEN, S., CLOTHIER, B., 1999. The root zone dynamics of water uptake by a mature apple tree. *Plant and Soil*, 206(1), 61–77. <http://www.jstor.org/stable/42949436>
- JIANG, X., HE, L., 2021. Investigation of effective irrigation strategies for high-density apple orchards in Pennsylvania. *Agronomy*.11(4):732. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040732>
- McCLYMONT, L., GOODWIN, I., WHITFIELD, D.M., GREEN, S., 2009. The relationship between grapevine sap flow, ETo and effective area of shade. *Acta Hort* 846:185–192
- MOUNZER, O.H., VERA, J., TAPIA, L.M., GARCÍA-ORELLANA, Y., CONEJERO, W., ABRISQUETA, I., ABRISQUETA, J.M., 2008. Irrigation scheduling of peach trees by continuous measurement of soil water status. *Agrociencia*, 42, 857–868.
- VERA, J., CONEJERO, W., MIRA-GARCÍA, A. B., CONESA, M. R., RUIZ-SÁNCHEZ, C., 2021. Towards irrigation automation based on dielectric soil sensors, *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, DOI: 10.1080/14620316.2021.1906761