

Scintilometrické měření aktuální evapotranspirace cukrové řepy

USING SCINTILLOMETRY TO ESTIMATE ACTUAL SUGAR BEET EVAPOTRANSPIRATION

Gabriela Pozníková¹, Petr Hlavinka^{1,2}, Milan Fischer^{1,2}, Matěj Orság^{1,2}, Zdeněk Žalud^{1,2}, Miroslav Trnka^{1,2}

¹Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i.

²Medelova univerzita v Brně

Zabýváme-li se spotřebou vody vegetací, jde o tzv. transpiraci, což je voda, která projde rostlinou a vypaří se z jejích průduchů. Pokud hodnotíme pole či ekosystém, musíme z pohledu výparu zohlednit i vodu, která se vypaří z aktivních povrchů (většinou půdy), tzv. evaporaci. Společně s intercepcí, což je výpar zachycené vody (deště či rosy), tyto procesy výparu nazýváme termínem aktuální evapotranspirace (ET_a). Podíl mezi hlavními složkami ET_a se v čase mění v závislosti na vývoji a fyziologické aktivitě vegetačního pokryvu, dostupnosti vody v kořenové zóně, ovlhčení svrchní vrstvy půdy a dalších faktorech. Probíhající klimatická změna znamená nejen často zmiňovaný nárůst teploty, ale např. i posun agroklimatických podmínek střední Evropy, včetně Česka (1), s narůstajícím počtem a intenzitou epizod zemědělského sucha (2). Z těchto důvodů se otázka nároků polních plodin na půdní vláhu stává velmi aktuálním tématem. Jak ukázaly situace v posledních letech, sucho způsobilo značné škody u řady plodin napříč různými regiony a dopady se nevyhnuly ani cukrové řepě. Studium vazeb mezi potřebou půdní vláhy, růstem, vývojem a výnosem plodin je významné z několika důvodů. Jednak v podmínkách, kdy se voda stává limitujícím faktorem, je pro danou plodinu klíčová její efektivita využití vody pro tvorbu biomasy a výnosu. Mimoto je

neméně důležitá schopnost odolávat suchu (např. díky možnosti hlubokého kořenění), ale také schopnost porostu regenerovat po poškození nepříznivými povětrnostními podmínkami včetně epizod sucha. V případě komplexního pohledu na polní produkci je však nutné zohledňovat i faktory, jako je vliv předplodiny, zařazení meziplodiny a celkové agrotechniky.

O tom, že cukrová řepa patří mezi plodiny náročné na vláhu, vypovídá i její transpirační koeficient 200–400 (tj. kolik gramů vody spotřebuje rostlina na vytvoření jednoho gramu sušiny). Ve srovnání s jinými plodinami není její relativní spotřeba vody příliš vysoká, avšak její absolutní spotřeba na 1 ha je významná, v důsledku vysoké produkce celkové sušiny. V literatuře se uvádí spotřeba 3 600–8 000 m³·ha⁻¹ (3), tedy 360–800 mm vodního sloupce dle dostupnosti vody, charakteru ročníku a agrometeorologických podmínek. Na jedné straně může cukrová řepa oproti jiným plodinám profitovat z postupného prodlužování vegetační sezony (4), na druhé však může přinášet i vyšší spotřebu vody. Komplexní a objektivní hodnocení výše uvedených aspektů v rámci meziročníkové variability podmínek, včetně zohlednění vlivu nových odrůd apod., se nemůže obejít bez měření evapotranspirace. Ve srovnání s měřením základních meteorologických prvků, jako je teplota vzduchu, úhrn srážek, suma slunečního záření atd., je však měření ET_a technologicky i finančně podstatně náročnější procedurou. Moderní a nově dostupnou metodou, jak kvantifikovat evapotranspiraci konkrétních plodin v rámci zemědělských pozemků, je tzv. scintilometrie. Cílem předkládaného článku je představit tuto perspektivní metodu a současně na příkladu měření na lokalitě Polkovic v sezoně 2017 seznámit odbornou veřejnost s prvními výsledky z porostů cukrové řepy. Experimentální plocha se nachází na Hané (v okrese Přerov), v kraji, který se tradičně řadil do řepařské výrobní oblasti. Změnou klimatických podmínek však dnes spíše do oblasti kukuřičné (5). Tento posun předpovídaly klimatické modely už před deseti lety (5), a to především v důsledku zvyšující se průměrné teploty vzduchu, která zvyšuje nároky na evapotranspiraci.

Obr. 1. Meteorologická stanice uprostřed pole cukrové řepy v Polkovicích (2017)



Metodika

Popis lokality

Od roku 2013 se na experimentální lokalitě v Polkovicích (49°23'42,8" S, 17°14'47,3" V, 200 m n. m.) provádí nepřetržitě měření evapotranspirace nad zemědělskými plodinami. Dané území lze klimaticky zařadit do oblasti teplé, s průměrnou teplotou vzduchu 9,3 °C a průměrnými ročními srážkami 556 mm (1981–2010). Půda je luvická černozem, typická pro oblast Hané. V roce 2017 byla na experimentálním pozemku pěstována cukrová řepa (odráda Yucatan), s termínem setí 13. 3. 2017 a sklizní 26. 11. 2017. Rovinatý pozemek o výměře 26 ha je ideální k mikrometeorologickému pozorování. Uprostřed této plochy byla umístěna meteorologická stanice (obr. 1.) s čidly na měření teploty a vlhkosti vzduchu, směru a rychlosti větru (ve třech výškových úrovních), slunečního záření, srážek a dalších proměnných. Dále byl na pozemku umístěn scintilometrický systém BLS900 od německého výrobce Scintec AG.

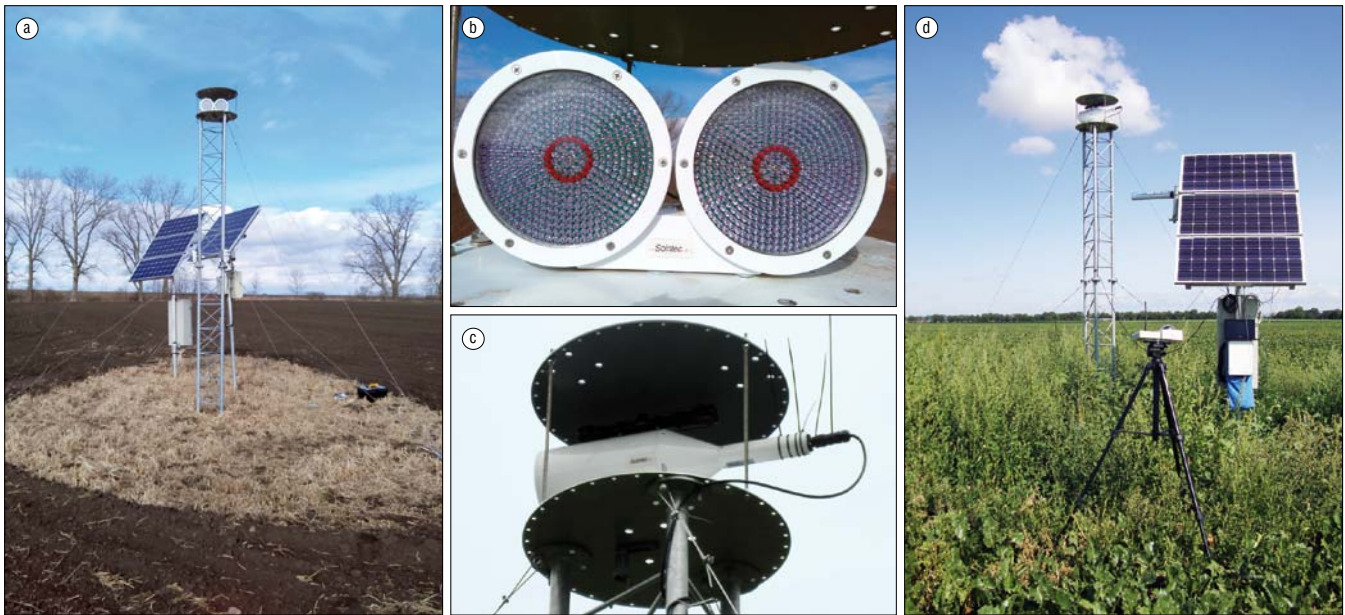
Scintilometrická metoda

Scintilometrie je moderní optická metoda založená na měření intenzity paprsku, který prochází turbulentní atmosférou mezi přijímačem a vysílačem. Turbulence a s ní spojený přenos tepla a vodních par mezi povrchem (polem) a atmosférou způsobuje

zdánlivé vlnění („tetelení“ = scintilace) vzduchu. Přístroj – scintilometr (obr. 2.), se skládá z vysílače, který emituje infračervené elektromagnetické záření o vlnové délce 880 nm, a přijímače, které jsou namířeny proti sobě na protilehlých okrajích pole. Vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem je možné přizpůsobit velikosti pole v rozsahu od stovek metrů po 6 km. V našem případě byl vysílač (obr. 2.a,b) i přijímač (obr. 2.c,d) instalován na 4 m vysoké stožáry, které byly umístěny diagonálně napříč polem a dělila je od sebe vzdálenost 617 m. Přístroj je tak schopen monitorovat procesy probíhající podél celé trasy měřicího transektu a v přilehlém okolí. To představuje hlavní výhodu scintilometru oproti ostatním in situ metodám, založeným na bodovém měření, které nedokáží pokrýt tak rozsáhlou zájmovou oblast. Přijímač tedy zachycuje změny v intenzitě záření jako rozptýl paprsku přicházejícího z vysílače a interpretuje jej jako energetický tok pocitového tepla (H). Využitím měření čisté radiace (R_n) a toku tepla do půdy (G) na meteorologické stanici můžeme dosadit H ze scintilometru do rovnice energetické bilance ($R_n = G + H + LE$) a dopočítat tak tok latentního tepla výparu (LE): $LE = R_n - H - G$, přičemž přepočtem LE ($W \cdot m^{-2}$) získáme ET_a (mm) ($LE = \lambda ET_a$, kde λ = skupenské teplo vypařování).

Primární data ze scintilometru jsou spolu s dalšími proměnnými, včetně meteorologických dat, zpracována v integrovaném počítači pomocí software SRun. Výsledné hodnoty obsahují jednak H ($W \cdot m^{-2}$), LE ($W \cdot m^{-2}$), ale i ET_a (mm vodního sloupce).

Obr. 2. Scintilometr: a) vysílač na 4m stožáru napájený solární energií, b) detail vysílače, c) detail přijímače, d) přijímač na 4m stožáru



Pozn.: porost v těsném okolí stožárů nebyl chemicky ošetřován, a tudíž nereprezentuje kvalitu porostu řepy na pozemku.

Výsledky a diskuse

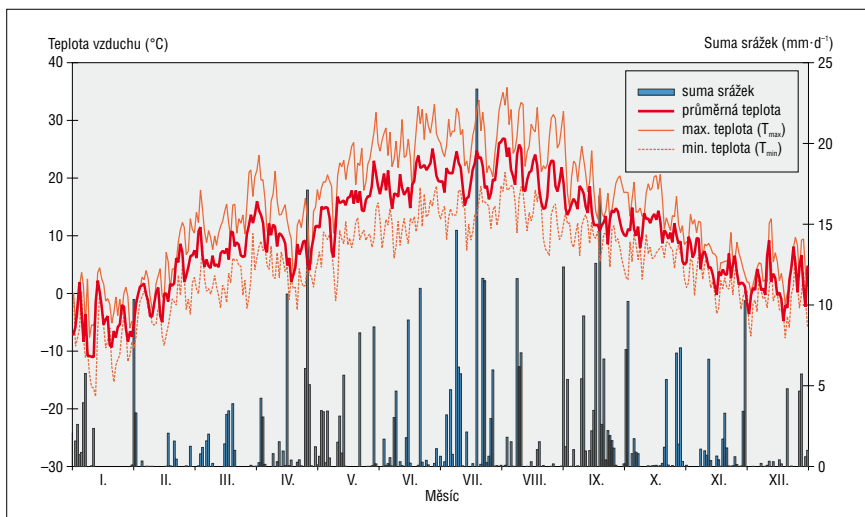
Na experimentální lokalitě v Polkovicích byla v roce 2017 naměřena průměrná teplota vzduchu 10,1 °C. Ve srovnání s dlouhodobým průměrem (1981–2010) byl rok **teplý**, průměrná teplota byla vyšší o 0,8 °C (o 1,4 °C vyšší oproti normálu 1961–1990, rok 2017 tak hodnotíme jako velmi nadnormální). Ve srovnání s dlouhodobým průměrem (1981–2010) přibýlo 15 letních dnů (kdy maximální teplota T_{max} vystoupila nad 25 °C) a 15 tropických dnů (T_{max} nad 30 °C). Ledových dnů bylo o tři méně (T_{max} nevystoupila nad bod mrazu), mrazových dnů (minimální teplota T_{min} poklesla pod bod mrazu) o devět méně. Ve srovnání s normálovým obdobím (1961–1990) se nevyskytl ani jeden arktický den (T_{max} nevystoupila nad -10 °C), naopak přibýla tropická noc (T_{min} nepoklesla pod 20 °C). Vzhledem k dlouhodobému průměru (1981–2010) byly dva měsíce v roce 2017

charakterizovány jako teplé (říjen a prosinec) a tři měsíce jako velmi teplé (březen, červen a srpen). Průběh teploty vzduchu ve 2 m nad zemí (obr. 3.) ukazuje na přítomnost několika vln veder v letních měsících.

Stejně jako u ostatních plodin je i u cukrovky rozdělení srážek důležitější než jejich množství (6). Počáteční růst cukrové řepy následně výrazně omezuje letní sucho. Sklizeň naopak komplikují podzimní deště. Na výnos řepy má největší vliv snížení zásoby vláhy v půdě v červenci a srpnu (6). V případě srážkově nadnormálního jarního období je cukrová řepa zvláště citlivá na následné sucho, kdy snadno vadne, až odumírá její mohutný listový aparát. Naproti tomu, podzimní přebytky vláhy mají sice za následek vyšší výnos kořene, zhorší se však kvalita cukrovky a obsah cukru, zejména pak při chladnějším počasí.

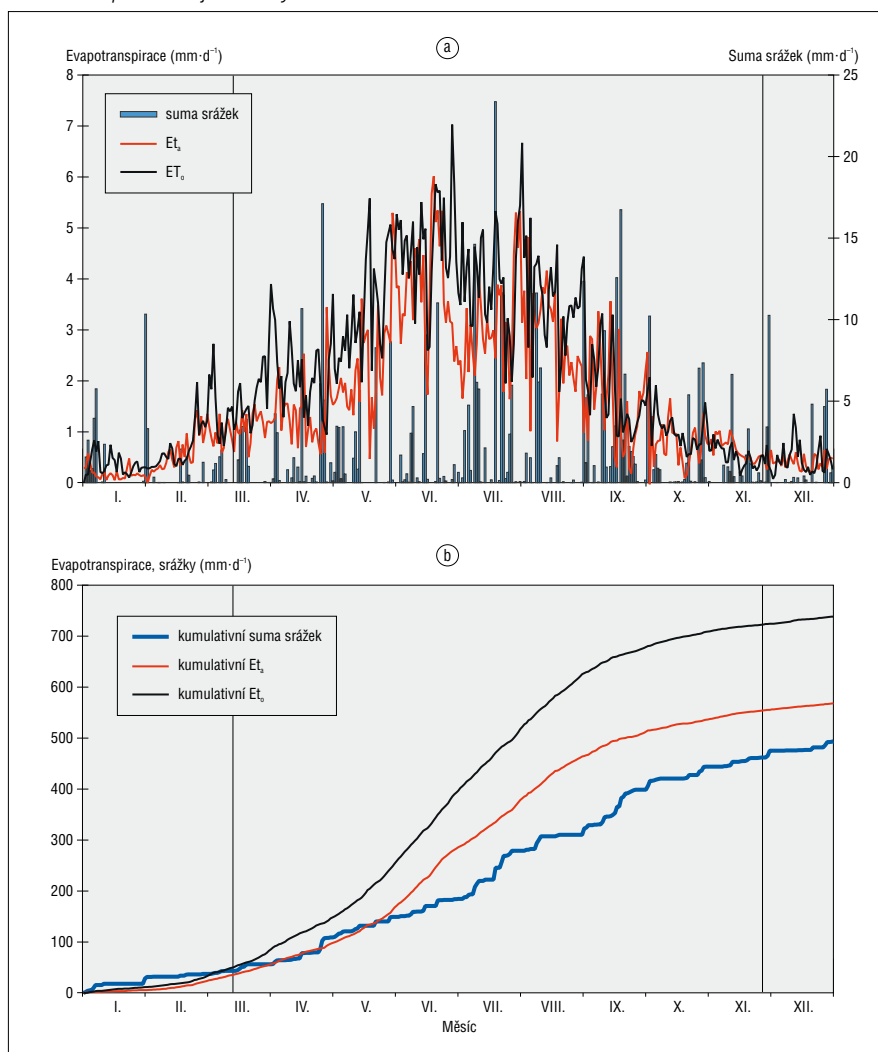
Srážkové úhmy byly v průběhu vegetace roku 2017 rozloženy nerovnoměrně (obr. 3.). Srážkově nejbohatšími měsíci byly červenec (95 mm) a září (88 mm). Naopak nejméně srážek spadlo v průběhu února (9 mm). Ve srovnání s dlouhodobým průměrem byl velmi suchý červen, suchý byl únor, srpen a prosinec. Celkově na dané lokalitě v roce 2017 spadlo 494 mm srážek, což představuje 89 % dlouhodobého průměru (1981–2010), a tak rok hodnotíme jako **suchý**. Deficit představuje 63 mm srážek (oproti normálu 1961–1990 je to pak deficit 62 mm).

Obr. 3. Průměrná denní teplota vzduchu, denní maximální a minimální teplota a denní suma srážek v průběhu roku 2017 na lokalitě Polkovice



Tzv. referenční evapotranspirace (ET_0) představuje hypotetickou hodnotu evapotranspirace za předpokladu, že by na pozemku byl ideálně zavlažený, standardizovaný referenční travnatý povrch (7). Je vhodným srovnávacím parametrem pro představu, kolik vody by se vypařilo z porostu, pokud by voda v půdě byla neomezeně dostupná a vyjadřuje tak evaporační požadavek atmosféry. Oproti

Obr. 4. Srovnání denních (a) a kumulativních (b) úhrnů srážek, referenční (ET_o) a aktuální (ET_a) evapotranspirace řepného porostu v Polkovicích v roce 2017; svislé čáry reprezentují termíny setí a sklizně



dlouhodobému (1981–2010) průměru vzrostla roční suma ET_o v roce 2017 o 56 mm. Po odečtení ET_o od sumy srážek dospějeme k bilanční hodnotě -239 mm oproti -120 mm pro dlouhodobý průměr (1981–2010). Zvyšující se požadavek na výpar lze považovat za zhoršující se trend, kdy ET_o pro rok 2017 dosáhla 733 mm, avšak pro dlouhodobý průměr (1981–2010) to bylo pouze 677 mm a pro normálové období (1961–1990) byla 656 mm.

Při zvýšené teplotě ($+0,8$ °C oproti dlouhodobému průměru) můžeme mluvit o zvýšeném evaporačním požadavku atmosféry a větším tlaku na transpiraci rostlin. Z toho vyplývá i značné zvýšení nároků porostu na vláhu. Jako důsledek vyšší evapotranspirace velmi rychle ubývala zásoba půdní vláhy a v kombinaci se suchým rokem (o 63 mm srážek méně oproti dlouhodobému průměru) se rostliny dostávaly do stresové situace.

Pro podrobnější analýzu sezony 2017 na experimentální lokalitě v Polkovicích z hlediska ET_a byla použita data ze scintilometru (obr. 4.a). Průběh denních hodnot naměřené aktuální ET_a , tedy skutečné evapotranspirace zohledňující vlastnosti cukrové řepy a reálnou dostupnost půdní vláhy, na pokusném pozemku v průběhu roku 2017 je srovnán s tzv. referenční evapotranspirací (obr. 4.a,b). Dále je vykreslen výskyt a úhrn atmosférických srážek, přičemž v případě obr. 4.b se jedná o kumulativní hodnoty uvedených veličin od počátku roku. Naměřená aktuální evapotranspirace za rok 2017 činila 568 mm, zatímco úhrn srážek byl 532 mm. K pokrytí vyšší spotřeby vody byla tedy využita zásoba půdní vláhy z předcházejícího období, případně voda z hlubších vrstev půdy. Za období od setí (13. 3. 2017) do sklizně (26. 11. 2017) cukrové řepy byla suma ET_a naměřena 521 mm vodního sloupce. Srážky v tomto období pokryly

471 mm. Maximální denní aktuální evapotranspirace cukrové řepy v daných podmínkách dosáhla hodnoty 6 mm (20. 6. 2017).

V roce 2017 byl (při vyhodnocené spotřebě vody v podobě ET_a) dosažen velmi vysoký průměrný výnos řepy standardní jakosti $95 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (při 16% cukernatosti) za celý experimentální pozemek. Jedná se o $28,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a $27,6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ více než v roce 2017 činil průměrný výnos řepy za celé Česko a Olomoucký kraj (v uvedeném pořadí) (8).

Na základě získaných zkušeností a dosažených výsledků lze konstatovat, že využití scintilometrie v kombinaci s mikrometeorologickým měřením v přízemní vrstvě atmosféry poskytuje unikátní možnost, jak detailně (z časového hlediska) a ve velkém rozsahu (z prostorového hlediska) monitorovat spotřebu a využití půdní vláhy polními plodinami, včetně cukrové řepy, pro kterou je dostupnost vody, vzhledem k její celkové spotřebě, jedním z klíčových faktorů tvorby výnosů. Prezentovanou metodu lze díky možnému rozsahu sledovaného území využít jako vhodný nástroj k ověřování vypovídací schopnosti satelitních snímků vegetačního povrchu z hlediska dostupnosti vody v průběhu jednotlivých let.

Příspěvek byl připraven s podporou projektu SustES – Adaptační strategie pro udržitelnost ekosystémových služeb a potravinové bezpečnosti v nepříznivých přírodních podmínkách (CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000797) a projektu NAZV č. QK1910338 „Agrometeorologický systém včasné výstrahy biotických a abiotických rizik“.

Souhrn

Dostupnost a využití vláhy je jedním z klíčových faktorů produkce rostlinné biomasy a přímo souvisí s výparem – evapotranspirací (ET_a) porostu. Předkládaný článek popisuje jednu z moderních metod na určování ET_a pomocí scintilometrů. Scintilometrie je optická metoda využívající princip tetelení vzduchu nad povrchem a toto tetelení se „měří“ na základě rozptylu infračerveného paprsku. S doplňkovým měřením dalších proměnných, jako je sluneční záření,



teplota vzduchu, rychlost větru a toku tepla do půdy, můžeme pak určit ET_a – množství vody vypařené z porostu v milimetrech vodního sloupce. Srovnáním se srážkami na dané lokalitě snadno zjistíme nejvýznamnější části vodní bilance za dané období a případný deficit. Studie je zaměřena na měření a popis časového vývoje výparu vody z porostu cukrové řepy na Hané (lokalita Polkovice) v průběhu vegetačního období roku 2017. Za období od setí (13. 3. 2017) do sklizně (26. 11. 2017) byla naměřena suma ET_a 521 mm vodního sloupce a srážky v tomto období pokryly 471 mm.

Klíčová slova: evapotranspirace, vodní bilance, cukrová řepa, scintilometrie, výnos.

Literatura

1. ŽALUD, Z. ET AL.: *Změna klimatu a české zemědělství – dopady a adaptace*. Brno: MZLU, Folia Univ. Agric. Silv. Mendel. Brun., 2, 2009 (10), 154 s., ISBN 978-80-7375-369-6.
2. BRÁZDIL, R.; TRNKA, M. ET AL.: *Historie počasí a podnebí v českých zemích XI: Sucho v českých zemích: minulost, současnost a budoucnost*. Brno: ÚVGH AV ČR, v.v.i., 2015, 402 s., ISBN 978-80-87902-11-0.
3. PULKRÁBEK, J. ET AL.: *Řepa cukrová Pěstitelský rádce*. Praha: Kurent, 2007, 64 s., ISBN 978-80-87111-00-0.
4. TRNKA, M. ET AL.: A 200-year climate record in Central Europe: implications for agriculture. *Agron. Sustain. Dev.*, 31, 2011 (4), s. 631–641.
5. TRNKA, M. ET AL.: Climate-driven changes of production regions in Central Europe. *Plant Soil Environ.*, 2009, 55: 257–266.
6. CHOCHOLA, J.: *Průvodce pěstováním cukrové řepy* Semčice: KWS Osiva, Řepařský institut Semčice, 2010, 65 s.
7. ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O.: FAO-24 reference evapotranspiration factors. *J. Irrig. and Drain. Engrg.*, 117, 1991 (5), s. 758–773.
8. *Definitivní údaje o sklizni zemědělských plodin – 2017*. Český statistický úřad, 2018, [online] <https://www.czso.cz/csu/czso/definitivni-udaje-o-sklizni-zemedelskych-plodin-2017>.

Pozníková G., Hlavinka P., Fischer M., Orság M., Žalud Z., Trnka M.: Using Scintillometry to Estimate Actual Sugar Beet Evapotranspiration

Water availability is one of the key factors in the production of plant biomass and is directly related to the evapotranspiration (ET_a) of a stand. This article describes one of the modern methods of determining ET_a using scintillimeters. Scintillometry is an optical method that uses the principle of scintillations of air over the surface. The scintillations are “measured” based on the scattering of an infrared beam. With additional measurements of solar radiation, air temperature, wind speed, and soil heat flux, we can determine ET_a – the amount of water evaporated from the stand in mm of water column. Assessment of ET_a compared to precipitation is an easy way to determine the main parts of water balance or deficit at a given location. This study focuses on the evapotranspiration of sugar beet in the Haná region (location Polkovice) in 2017. It describes the development of reference evapotranspiration and measured ET_a throughout the season. During the vegetation period (13 March 2017 – 26 November 2017), ET_a estimated by scintillometry was 521 mm and precipitation covered 471 mm.

Key words: evapotranspiration, water balance, sugar beet, scintillometry, yield.

Kontaktní adresa – Contact address:

Ing. Gabriela Pozníková, Ph. D., Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, Česko, e-mail: poznikova.g@czechglobe.cz