Evapotranspirace vybraných druhů zemědělských a lesních porostů

Jiří Kučera[1], Josef Urban[1,2], Miroslav Trnka[2,3], Milan Fischer[2,3], Karel Krofta[4], Renata Duffková[5]

[1]EMS Brno, Turistická 3, Brno
[2]Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, Brno
[3]CzechGlobe, Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., Poříčí 124/3b, Brno
[4]Chmelařský institut s.r.o., Kadaňská 2525, Žatec
[5]Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha, Žabovřeská 250, Praha 5

Abstrakt

Cílem článku je porovnat evapotranspiraci (ET) z porostů různých plodin (trávník, jetel luční (*Trifolium pratense*), ozimá pšenice (*Triticum aestivum*), chmel (*Humulus lupulus*) a plantáž topolu (J-105, *Populus nigra x Populus Maximowiczii*) s potenciální evapotranspirací (PET) a rámcově popsat vývoj ET těchto porostů v průběhu vegetační sezóny. Druhým cílem je stanovit podíl transpirace na celkové ET u dvou kontrastních porostů – chmele a plantáže topolu. Denní suma ET trávníku, stejně jako většiny dalších porostů, dosahovala maximálně 5 – 6 mm, což odpovídá 85 – 93 % PET. Výrazně vyšší ET byla naměřena v porostu jetele, naopak nejnižší v porostu topolu v prvním roce po jeho smýcení. Podíl transpirace na ET činil u chmelu 40 – 70 %, kdežto u topolu 80 – 90 %.

Klíčová slova: evapotranspirace, transpirace, vodní bilance, potenciální evapotranspirace, Bowenův poměr, topol, chmel, trávník, pšenice, jetel.

Použité zkratky: PET – potenciální evapotranspirace [$mm.h^{-1}$, $mm.den^{-1}$], ET – měřená, aktuální evapotranspirace [$mm.h^{-1}$, $mm.den^{-1}$], LAI – index plochy listoví [$m^2.m^{-2}$], SF – transpirační proud.

Úvod

Evapotranspirace (ET) představuje v našich podmínkách zpravidla nejvýznamnější ztrátovou složku vodní bilance určité lokality (Pokorný et al. 2005). Je považována za významně závislou na druhu plodiny, která na ní roste. Proto např. FAO (Allen et al. 1998) poskytuje pro 120 různých porostů zemědělských plodin tzv. plodinové koeficienty („crop coefficient“), určující vztah mezi referenční evapotranspirací trávníku (stanovenou dle Penman-Monteith rovnice) a ET konkrétní plodiny. ET je tvořena dvěma základními složkami – evaporací (výpar z holé půdy, z povrchu rostlin) a transpirací. Poměr a absolutní velikost těchto dvou složek se v průběhu vegetační sezóny mění, zejména v závislosti na vývoji listové plochy a zastínění volné půdy (Bréda a Granier 1996; Sakuratani 1987). Například pro plně vyvinuté obilniny je udáván plodinový koeficient 1,1, zatímco pro vzcházející obilniny pouze 0,15 a pro obilniny po sklizni 0,25 (Allen et al. 1998).

Hlavním cílem tohoto příspěvku je srovnat evapotranspiraci vybraných zemědělských plodin a porostů dřevin různého věku a v různém stádiu vývoje s potenciální evapotranspirací v daném časovém období. Druhým cílem je zhodnotit podíl transpirace na celkové ET u dvou kontrastních porostů – chmele a topolu.

Materiál a metodika

Studované porosty

Evapotranspirace metodou Bowenova poměru byla měřena v rozmezí let 2004 – 2010 v porostech pěti různých plodin na třech lokalitách. Transpirační proud byl měřen metodou tepelné bilance na dvou lokalitách v letech 2009–2010 (tabulka 1).

Tabulka 1: Seznam lokalit, měřené porosty a veličiny (ET – evapotranspirace, SF – transpirační proud).

Lokalita	Nadmořská výška [m]	Průměrná roční teplota [°C]	Roční srážkový normál [mm]	Rostlina	Rok měření	Měřené veličiny
Bystřice nad Pernštejnem				trávník	2009–10	ET
	530	6,9	588	topol (7 let)	2009	ET, SF
				topol (1. rok)	2010	ET, SF
Žatec	201	9,0	458	chmel otáčivý	2009	ET, SF
Dehtáře	513–534	6,7	660	jetel luční	2010	ET
	506			trávník	2004	ET
	513–534			pšenice ozimá	2004	ET

Metodika měření

Výpočet evapotranspirace porostů (ET) vychází z upravené rovnice energetické bilance a stanovení Bowenova poměru. Gradienty teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu pro výpočet Bowenova poměru byly měřeny senzorem EMS 33 (EMS Brno) v minutových intervalech s ukládáním desetiminutových průměrů. U trávníku, jetele a obilí byly zjišťovány ve dvou úrovních nad povrchem půdy (0,5 a 2,0 m). U chmele a topolu byly měřeny ve třech výškách nad porostem, s rozestupem sousedních čidel 2 m.

Vypočtené hodnoty ET byly z původních desetiminutových intervalů přepočteny do hodinových a denních hodnot spotřeby vody v mm. Radiační bilance R_n byla měřena v minutových intervalech bilancoměrem (fy Schenk, typ 8110, roční stabilita 3 %). Stanice v Žatci nebyla vybavena čidlem na přímé měření radiační bilance; R_n proto byla stanovena na 70 % hodnoty globální radiace, a to na základě odhadu albeda travního porostu z literatury a výpočtu dlouhovlnného vyzařování Země (Allen et al. 1998).

Potenciální evapotranspirace (PET) pro travní porost dobře zásobený vodou [$mm.den^{-1}$] se vypočítala ze vztahu dle Penmana (Penman 1948).

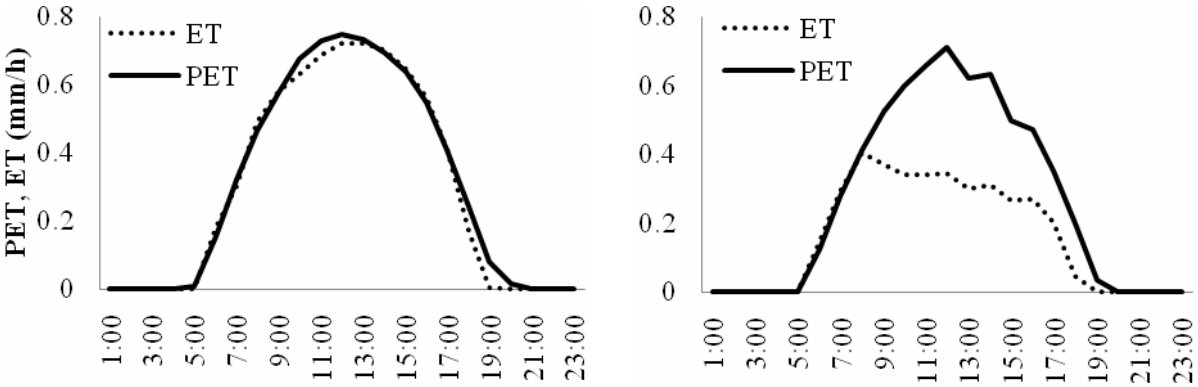
Transpirační proud byl měřen na kmenech, respektive na stoncích jednotlivých rostlin. V porostu chmele bylo měřeno 12 vzorníků v období 29. 6. – 8. 9. 2009, v porostu topolových výmladků 4 vzorníky v období 5. 9. – 25. 9. 2010. Vzorníky byly vybrány tak, aby charakterizovaly tloušťkové rozpětí rostlin v porostu. Ve vzrostlém topolovém porostu byl transpirační proud měřen na čtyřech jedincích nejvyšších tloušťkových tříd v roce 2009. Vždy byla použita metoda tepelné bilance (Tatarinov et al. 2005; Čermák et al. 2004).

Přístroje vyrobila firma EMS Brno (modely EMS 51 a EMS 62). Data měřená v minutových intervalech byla ukládána do paměti dataloggeru jako desetiminutové průměry. Transpirační proud byl extrapolován z měřených jedinců na porostní transpiraci [mm] pomocí regrese mezi tloušťkou jedince a měřenou hodnotou transpiračního proudu ve vybraném časovém období (Cienciala et al. 1998; Čermák et al. 2004). Z dat byly vypočteny hodinové průměry a denní sumy. V delším časovém horizontu (např. dny) bylo množství transpiračního proudu považováno za shodné s transpirací.

Výsledky a diskuse

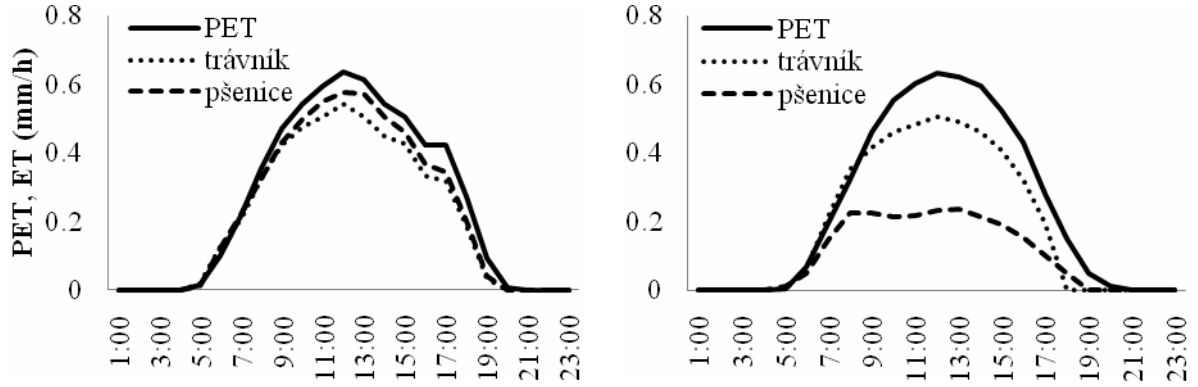
ET trávníku a jednotlivých plodin

Nejvyšší ET ze všech měřených plodin byla naměřena v porostu jetele lučního. V rámci celé sezóny, až do postřiku herbicidem Roundup 12. 8. 2010, činila 92 % PET. I v suchém období července 2010 dosahovala evapotranspirace porostu jetele 88 % PET, tedy o 14 % více než trávník ve stejném období. To ukazuje na fakt, že jetel je, na rozdíl od mělce kořenícího trávníku, středně hluboce kořenící bylina, s hloubkou zakořenění do 2 m (Borg a Grimes 1986). Pouze po kosení v termínech 9. 6. a 20. 7. ET krátkodobě poklesla na cca 70 % PET (obrázek 1), avšak už po jednom týdnu se vrátila na původní úroveň. Výrazný pokles ET byl naměřen po postřiku porostu herbicidem, kdy ET poklesla z původních 102 % PET (11. – 12. 8.) na úroveň 58 % PET (21. – 22. 8.) a na takto nízké úrovni zůstala až do konce měřeného období.



Obr. 1: Denní průběh ET (čárkovaná čára) v porostu jetele před sklizní (11. 7. 2010) a po sklizni (20. 7. 2010). Plnou čarou je znázorněna potenciální evapotranspirace.

ET pšenice byla po většinu sezóny vyšší než ET trávníku (obr. 2a), podobně jako např. ve studii (Matejka a Hurtalová 2005). Po žních se ET strniště skokově snížila na cca 35 % PET (obr. 2b).

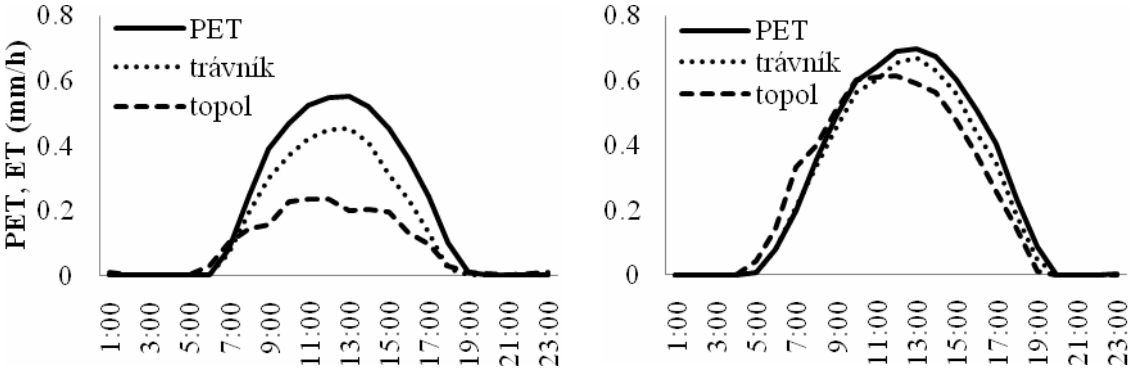


Obr. 2: Porovnání denních průběhů ET pšenice a trávníku s PET. Obr. 2a (vlevo) – situace 4.7. 2004; obrázek 2b – situace 31.7. 2004, po sklizni.

ET topolové plantáže ve věku 7 let (v roce 2009) odpovídala, při plném olistění, ET trávníku. Rozdíly byly naměřeny na jaře, kdy ET topolu byla nižší v důsledku neúplného olistění (Bréda a Granier 1996). Plného olistění (LAI = 7) bylo dosaženo přibližně v polovině července. Obdobně na podzim,

kdy se listová plocha opět snížila a evaporace z povrchu půdy byla omezena vrstvou listí, poklesla evapotranspirace topolového porostu na úroveň cca 50 % PET (obr. 3).

Maximální denní úhrny ET se u většiny plodin pohybují mezi 5 – 6 mm (tabulka 2). Maximální ET byla naměřena v porostu jetele (6,9 mm.den^{-1}). Naopak nejnižší ET byla naměřena v porostu topolových výmladků.



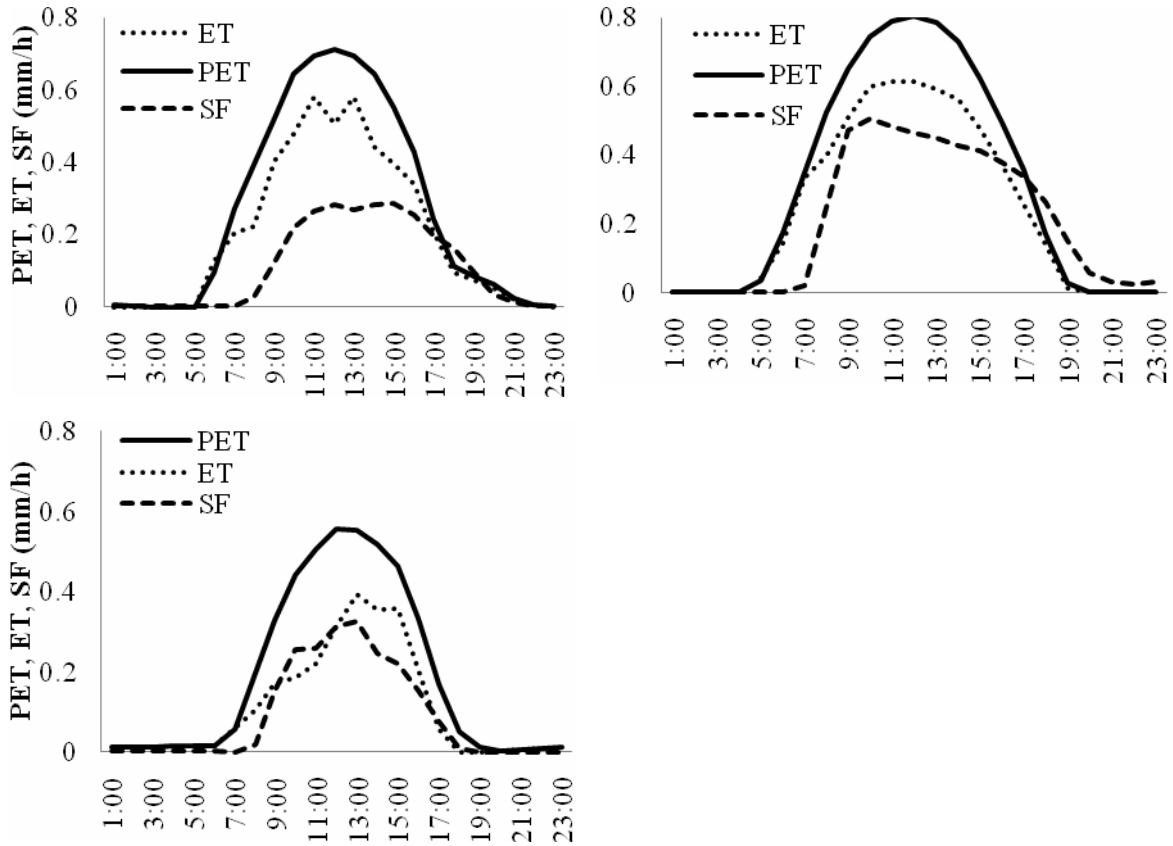
Obr. 3: Denní průběhy PET a ET trávníku a topolové plantáže ve věku 7 let. Obr. 3a (vlevo) – situace 12. 4. 2009, před olistěním. Obr. 3b (vpravo) – situace 17. 7. 2009, při plném olistění porostu topolu.

Tabulka 2. Maximální denní sumy evapotranspirace jednotlivých porostů.

Lokalita	Porost	Datum	PET (mm)	ET plodiny (mm)	ET/PET (%)
Bystřice nad Pernštejnem	trávník 2009	17.7.	6.25	**5.8**	93
	trávník 2010	9.7.	6.24	**5.2**	84
	topol 2009	17.7.	6.25	**5.6**	89
	topol 2010	21.8.	4.78	**3.2**	66
Žatec	chmel 2009	1.7.	7.23	**6.1**	84
Dehtáře	jetel 2010	4.7.	6.8	**6.9**	101
	trávník 2004	24.6.	5.96	**5.1**	85
	pšenice 2004	24.6.	5.96	**5.5±0.5**	92±10

Podíl transpirace a evaporace na celkové ET

Podíl transpirace rév chmelu (obrázek 3) na celkové ET porostu se v průběhu sezóny postupně zvyšoval v závislosti na růstu a olisťování rév, ze 40 % na konci června na 70 % v září (obr. 4a). Tento nárůst byl způsoben postupným růstem rév a tedy zvětšováním listové plochy porostu. Podobný nárůst, ovšem až na hodnotu 90 % popsal např. (Sakuratani 1987). Podíl transpirace topolů na ET byl mnohem vyšší než u chmele a činil v průměru 80 – 90 % z ET (obr. 4b, c). Rozdíl v transpiraci těchto dvou porostů může být vysvětlen jejich rozdílnou listovou plochou, neboť u porostů s nízkým LAI je transpirace úměrná listové ploše (Maier a Clinton 2006). LAI v porostu chmele dosahoval na konci vegetační sezóny hodnoty 1,5, zatímco v dospělém porostu topolu 7.



Obr. 4: Srovnání PET, ET a porostní transpirace (SF). Obr. 4a (vlevo nahoře) – chmel 24. 8. 2009. Obr. 4b (vpravo nahoře) – sedmiletá plantáž topolu, 17. 7. 2009. Obr. 4c (dole) – topolové výmladky v prvním roce po obnově plantáže, 21. 9. 2010.

Poděkování

Práce vznikla za podpory EMS Brno. Stanovení evapotranspirace na výzkumné ploše Dehtáře bylo realizováno díky projektu NAZV – QH92034 Identifikace infiltračních oblastí vybraných povodí pomocí vodního vegetačního stresu. Výsledky z výzkumné stanice v Bystřici nad Pernštejnem jsou výstupem Centra CzechGlobe, jehož vybudování je v rámci OP VaVpI spolufinancováno z fondů EU a státního rozpočtu ČR (Projekt: CzechGlobe – Centrum pro studium dopadů globální změny klimatu, reg.č. CZ.1.05/1.1.00/02.0073). Měření evapotranspirace a transpirace chmelu bylo realizováno za podpory výzkumného záměru MSM 1486434701 „Výzkum a regulace stresových faktorů chmele“.

Literatura

Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998) Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome 300.

Borg H, Grimes DW (1986) Depth development of roots with time: an empirical description. Transactions of the ASABE 29:194–197.

Bréda N, Granier A (1996) Intra- and interannual variations of transpiration, leaf area index and radial growth of a sessile oak stand (Quercus petraea). Annals of Forest Science 53:521–536.

Cienciala E, Kucera J, Ryan MG, Lindroth A (1998) Water flux in boreal forest during two hydrologically contrasting years; species specific regulation of canopy conductance and transpiration. Annales des sciences forestieres 55:47–61.

Čermák J, Kučera J, Nadezhdina N (2004) Sap flow measurements with some thermodynamic methods, flow integration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands. Trees-Structure and Function 18:529–546.

Maier C, Clinton BD (2006) Relationship between stem CO2 efflux, stem sap velocity and xylem CO2 concentration in young loblolly pine trees. Plant, Cell and Environment 29:1471–1483.
Matejka F, Hurtalová T (2005) Vzťah medzi potenciálnou a referenčnou evapotranspiráciou. In: Rožnovský J, Litschmann T (eds) Evaporace a evapotranspirace. pp 39–46.
Penman HL (1948) Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences 193:120–145.
Pokorný R, Klimánková Z, Urban O, Krupicová L, Zvěřinová Z (2005) Transpirace a evapotranspirace v ekofyziologii lesních dřevin. In: Rožnovský J, Litschmann T (eds) Evaporace a evapotranspirace. Brno, pp 67–72.
Sakuratani T (1987) Studies on evapotranspiration from crops.(2) Separate estimation of transpiration and evaporation from a soybean field without water shortage. Journal of Agricultural Meteorology 42:309–317.
Tatarinov FA, Kučera J, Cienciala E (2005) The analysis of physical background of tree sap flow measurement based on thermal methods. Measurement Science and Technology 16:1157.