

THE COMPARISON BETWEEN THE EVAPOTRANSPIRATIONS OF SHORT ROTATION COPPICE AND THE REFERENCE GRASSY SURFACE

Fischer M., Žalud Z.

Department of Agrosystems and Bioclimatology, Faculty of Agronomy, Mendel University of Agriculture and Forestry in Brno, Zemedelska 1, 613 00 Brno, Czech Republic

E-mail: fischer.milan@gmail.com

ABSTRACT

Within a presented study a seasonal and daily dynamics of actual evapotranspiration was investigated in poplar short rotation coppice culture (SRC) and was also compared with the evapotranspiration of grassy reference surface. The main aim of the overall study is to find a correlation between the basic meteorological inputs and the yields of biomass and to create a model which will be able to choose suitable areas for growing of SRC and to predict their yields. Very important part of such accessing is the evaluation of water balance – especially rains, evapotranspiration and soil moisture patterns. To measure the evapotranspiration, two Bowen ratio systems were constructed above SRC and the reference surface in the summer 2008. The high-density experimental field plantation for the verification of the performance of poplar clone J-105 (*P. nigra* x *P. maximowiczii*) is situated in Domaníněk (Czech Republic, 49°32' N, 16°15' E and altitude 530 m) and was established in the spring 2002 on agricultural land previously cropped predominantly for cereals and potatoes.

During the observed period the daily and monthly sums of evapotranspiration in different growths were compared. The SRC showed higher values of the evapotranspiration in the course of months with the highest rains – June and July. When a longer period without rains and lower soil moisture came, evapotranspiration of SRC decreased more than the reference and at that time the grassy surface reached higher values. Generally the highest evapotranspiration rate was recorded in the days with occurrence of rains in combination with high solar radiation. In these cases especially culture of SRC attained to highest evapotranspiration amounts. The divergence in such days could be explained with larger leaf area index of poplars and so with considerable ability to transpire. In addition, leaf area of poplars can catch much more water from precipitations (interception) which can be consequently evaporated. With due regard to soil water deficit, our results indicate that poplars culture compared to reference turf grass is much more sensitive to this type of limitation. The results of this work confirm the well known pivotal role of solar radiation and sufficiency of soil water in evapotranspiration rate.

Key words: short rotation coppice, reference grassy surface, evapotranspiration.

Acknowledgements: The presented study was supported by In-house Grant Agency at MUAF in Brno (IGA 14/2009) and by the Research plan No. MSM 6215648905 “Biological and technological aspects of the sustainability of controlled ecosystems and their adaptability to climate change“ financed by the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic.

ÚVOD

Dle řady autorů (Kauter et al., 2003; Londo, 2002, Afas et al. 2008) se rychle rostoucí dřeviny (RRD) pěstované ve velmi krátké době obmýtí na zemědělské půdě mohou stát v zemích EU, a tedy i v ČR, důležitým zdrojem obnovitelné energie. Závěry jejich analýz vycházejí jednak z vysokého podílu energeticky využitelné biomasy v celkovém výnosu s technologickými vlastnostmi blízkými pevným palivům a dále z existence dostatečných ploch relativně kvalitní orné půdy využitelné pro tyto účely (Kauter et al., 2003). Energii z RRD lze také získat za relativně nízkých výrobních nákladů (Kauter et al., 2003) a především poměrně šetrně k životnímu prostředí (Rafaschieri, 1999). Posledním z argumentů, který ve světle nových prognóz dopadů změny klimatu a návrhu adaptačních opatření v rámci EU (EEA, 2004) nabývá na důrazu, je schopnost plantáží RRD zvýšit depozici uhlíku a současně napomáhat ke zmírnění klimatické změny i při energetickém využití. Příčinou je tzv. CO₂ neutrální bilance (Liberloo et al., 2006). Kromě toho mají RRD pozitivní vliv na biodiverzitu (malí savci, ptáci, hmyz atd.), akumulaci živin, ochranu půdy před vodní a větrnou erozí (Isebrands a Karnonsky, 2001) a v neposlední řadě rovněž i na akumulaci a lepší hospodaření s vodou v ekosystému (Perry et al., 2001). Přesto je celková plocha v současné době využívaná pro pěstování RRD pro energetické účely poměrně malá s největší plochou plantáží (celkově několik desítek tisíc hektarů) ve Skandinávii, Velké Británii, Itálii, Belgii a Francii (Christersson, 1999; Slatter et al., 2001; Kauter et al., 2003). Hlavním faktorem, který brání většímu rozšíření tohoto obnovitelného zdroje je ekonomika pěstování neboť produkce záměrně pěstovaných RRD stále čelí tvrdé konkurenci fosilních paliv a rovněž zbytkové biomasy ze zemědělské výroby a zpracování dřeva. Jednou z cest, která může napomoci zvýšení efektivity pěstování RRD, je kromě v současnosti poskytovaných dotací (např. na zakládání a údržbu plantáží v prvních letech) i optimalizace technologie pěstování RRD na zemědělské půdě. I když se řada zahraničních i domácích studií touto problematikou zabývala aplikovatelnost jejich závěrů u ploch RRD na orné půdě v ČR je omezená. U celé řady zahraničních prací pocházejí výsledky buď z 1) velmi specifických podmínek rašelinných půd ve Skandinávii popřípadě půd antropogenního původu (Hytönen, 1996; Bungart, 1999); nebo 2) obtížně srovnatelných klimatických podmínek Severní Ameriky (Lo a Abrahamson, 1996; Scarascia-Mugnozza, 1997). Množství prakticky využitelných experimentálních dat z oblasti střední Evropy zůstává omezené, i přes značný pokrok učiněný v posledních letech. Je tomu tak proto, že tyto studie nemohly pokrýt všechny uvažované druhy RRD a existující přírodní podmínky a zároveň neexistovaly dostatečně rozsáhlé plochy porostů, které by tyto studie umožnily. Většina těchto prací tak buď nezahrnuje nejslibnější biologický materiál vhodný pro specifické podmínky ČR (např. Hoffman- Schille et al., 1999, Jug et al., 1999a; Jug et al., 1999b) nebo se zabývají pěstováním RRD oblastech s restrikcemi na množství použitých živin a výběr biologického materiálu dané platnými právními předpisy o ochraně přírody a krajiny (např. Benetka et al., 2002). Předkládaná práce se zaměřuje na problematiku pěstování RRD na poměrně kvalitní zemědělské půdě s příznivými podmínkami pro přístup techniky nicméně v oblasti, která je ale z pohledu „klasické“ zemědělské prvovýroby považována spíše za marginální. Právě v těchto oblastech je možné reálně předpokládat značný zájem ze strany jednotlivých pěstitelů o RRD v okamžiku, kdy se pěstování stane ekonomicky rentabilním.

Výběr ploch a zakládání plantáží RRD (v případě, že investor předpokládá využití dotace) se děje podle požadavků legislativy ve spolupráci s akreditovanými odborníky a na základě projektu

(např. Weger a Havlíčková, 2003). Odhad budoucí produkce na těchto plochách je ale věc subjektivního posouzení daným expertem a nemůže brát v úvahu skutečné meteorologické, půdní, fytopatologické a herbologické podmínky konkrétní sezóny. I z těchto důvodů se od 60. let rozvíjí interdisciplinární obor produkční ekologie založený na matematickém modelování růstu a vývoje záměrně pěstovaných druhů rostlin. Snahou autorů těchto modelů je formulovat výsledky exaktních měření základních životních procesů a jejich vazeb na abiotické podmínky do obecných algoritmů. Tyto modely jsou obvykle koncipovány tak, aby po příslušné kalibraci a verifikaci byly přenositelné mezi jednotlivými lokalitami. V kombinaci s kvalitním datovým zázemím a správnou interpretací výstupů mohou sloužit např. k optimalizaci data výsadby (stanovení optimálního data případně nejranějšího a nejpozdějšího termínu), hnojení (např. dávkování a termínu), odhadu roční produkce biomasy (i s několikaměsíčním předstihem před sklizní) či ke stanovení pěstitelských rizik v souvislosti s výskytem extrémních meteorologických událostí. Mezi takovými riziky je třeba uvést zejména možný vliv období sucha, výskyt extrémních teplot či dlouhodobě nízkých úhrnů globální radiace apod.). Využití těchto nástrojů je ale podmíněno získáním dostatečného množství kvalitních experimentálních dat ke kalibraci a verifikaci těchto modelů. Za předpokladu, že jedním z rozhodujících faktorů pro úspěšné pěstování RRD je dostatek vody, je pozornost v této práci zaměřena právě na vyhodnocení dat týkající se vodní bilance. Dílčí cíle mohou být následovně shrnuty:

- 1) Srovnat a popsat měsíční a denní úhrny evapotranspirace u porostu RRD a referenčního travního porostu,
- 2) vybrat a vysvětlit faktory mající na chod a míru evapotranspirace řídicí vliv.

MATERIÁL A METODIKA:

Klíčové parametry pro sestavení modelu určeného k výběru vhodných oblastí pro pěstování RRD a rovněž k predikci výnosů v podmínkách ČR představuje zejména hodnocení vodní bilance (srážky, evapotranspirace, půdní vlhkost), sledování nárůstu biomasy a další nezbytné meteorologické a půdně-klimatické charakteristiky (teplota vzduchu, sluneční radiace, teplota půdy, fyzikální a chemické vlastnosti půdy atd.). Předkládaná práce se zaměřuje na srovnání evapotranspirace dvou různých ekosystémů – porostu RRD a tzv. referenčního travního porostu (TP) - jedná se o standardizovaný travní porost navržený dle metodiky FAO založený na Penman-Monteithově přístupu, který se vyznačuje během celého kalendářního roku konstantní výškou (0,12 m), konstantním albedem (0,23), konstantním povrchovým odporem (70 s.m^{-1}), plným (maximálním) zápojem a optimálním zásobováním srážkovou vodou (Allen et al., 2005).

Na jaře roku 2002 byl na lokalitě Domanínec (Česká republika, $49^{\circ}32' \text{ s. š. a } 16^{\circ}15' \text{ v. d.}$) nacházející se na katastrálním území města Bystřice nad Pernštejnem založen na ploše o celkové výměře 3,5 ha porost RRD. Jedná se o monokulturální plantáž v ČR nejpoužívanějšího rychle rostoucího topolového klonu J-105 (*P. nigra* x *P. maximowiczii*). Porost byl vysázen do tzv. dvojřádků ve sponu 0,7 m, které jsou od sebe odděleny meziřadím o šířce 2,7 m umožňující přístup příslušné techniky. Takto zvolené schéma umožnilo dosažení doporučené hustoty 10 000 jedinců/ha. V těsné blízkosti topolové plantáže se nachází pravidelně sečený (jednou až dvakrát týdně) TP o rozloze 2 ha.

Sledovaná lokalita leží na mírném svahu (3 °) s východní expozicí v nadmořské výšce 530 m n.m. Z pedologického hlediska reprezentuje stanoviště širší územní oblast charakterizovanou hlubokou luvickou kambizemí s nízkým obsahem skeletu, ovlivněnou glejovými procesy. Zdejší oblast je vystavena chladnému a relativně vlhkému klimatu typickému pro zdejší část stěnů Evropy mírného podnebného pásma s mísícím se kontinentálním a přímořským vlivem. Dle dlouhodobého normálu je průměrná roční teplota 6,6 °C a průměrný roční úhrn srážek 580,6 mm. Ačkoli zdejší klimatické podmínky pro pěstování topolových porostů RRD již dosahují limitních hodnot, stanoviště je pro pěstování ještě stále vhodné (Havlíčková et al., 2006). Sedmi roční dobu obmytí (2002 – 2009) charakterizoval vlhkově příznivý první rok, což je velmi důležité zejména pro úspěšné založení porostu. V posledních letech však docházelo k častějším výskytům sucha. V průběhu celého období byly v porovnání s dlouhodobým průměrem zaznamenány vyšší průměrné roční teploty (7,3 °C) a i nepatrně vyšší roční úhrny srážek (590,6 mm).

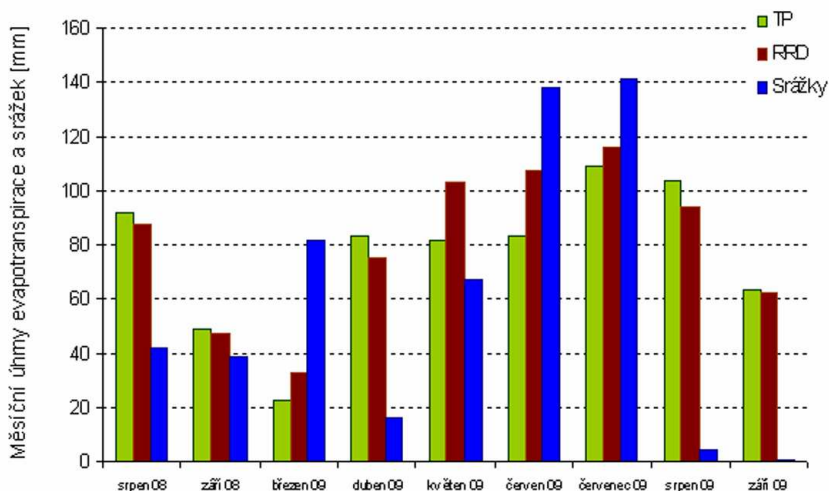
Na počátku léta 2008 byl zahájen podrobný monitoring vodní bilance u obou zmiňovaných porostů RRD a TP. Tato měření jsou založena jednak na přesném stanovení aktuální evapotranspirace, stanovení referenční evapotranspirace travního porostu, sledování dynamiky půdní vlhkosti a sacího potenciálu půdní vody v různých hloubkách a měřením srážkových úhrnů. Výpočet aktuální evapotranspirace je založen na měření tzv. Bowenova poměru, který udává podíl mezi teplem pocitovým a teplem skupenským (jinými slovy energií spojenou s ohřevem vzduchové hmoty a energií využitou na změnu skupenství vody kapalné ve vodní páru). V souladu s teorií turbulentní difúze za předpokladu, že turbulentní přenos tepla a vodních par je totožný, lze Bowenův poměr vyjádřit jako podíl rozdílu teploty a rozdílu koncentrace vodních par ve dvou různých výškách. Využitím základní rovnice energetické bilance $R_n = G + H + LE$, která vyjadřuje rozdělení čisté energie slunečního záření (R_n) na tok tepla do půdy (G), teplo pocitové (H) a skupenské teplo výparu (LE), lze po její jednoduché matematické úpravě a dosazení Bowenova poměru vyjádřit hodnotu aktuální evapotranspirace (Lloyd, 1997).

Měření aktuální evapotranspirace je v porostu RRD zajištěno sestavou 3 čidel EMS 33 na měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu. Čidla jsou umístěna v radičních krytech ALO 73 na hliníkovém stožáru ve výškách 14, 12 a 10 m. Ve výšce 14 m je dále umístěno čidlo Schenk 8110 na měření čisté radiace a čidlo EMS 11 pro stanovení globální radiace. Měření toku tepla do půdy zajišťuje senzor HFP01. Současně s monitoringem aktuální evapotranspirace probíhá měření objemové půdní vlhkosti (3 čidla EC 10), teploty půdy (3 čidla PT 100) a sacího tlaku půdní vody (6 sádrových bločků). Všechny zmíněné přístroje jsou napojeny na datalogger ModuLog, který zaznamenává naměřené hodnoty každou minutu každých 10 min. ukládá jejich průměr. Měření evapotranspirace nad TP je obdobné jako u RRD. Liší se pouze v počtu čidel na měření teploty a vlhkosti vzduchu – v tomto případě jsou pouze dvě, ve výšce jejich umístění - jsou upevněna ve 0,5 a 2 m nad zemí. Mimoto je sestava na TP doplněna o anemometr MetOne 034B pro měření rychlosti a směru větru a automatický srážkoměr MetOne 370/376. Všechna čidla jsou opět napojena na samostatný datalogger ModuLog nastavený na stejný časový krok jako u RRD.

VÝSLEDKY A DISKUZE

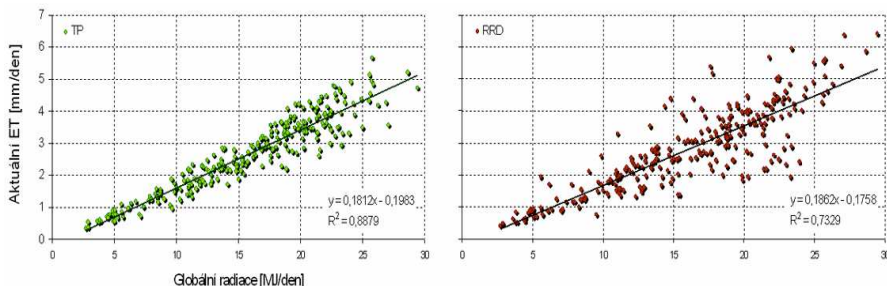
Během sledovaného období byly nejvyšší měsíční úhrny evapotranspirace u obou typů porostů (RRD a TP) zaznamenány v průběhu letního období, kdy je na jednu stranu nejvyšší přísun sluneční radiace – tedy energie, a na stranu druhou jsou především v měsících červnu a červenci nejvyšší úhrny srážek. Tuto situaci znázorňuje graf 1., kde rovněž můžeme pozorovat vztah mezi rozdíly v evapotranspiraci obou porostů a srážkami. Jak je vidět, při vyšších úhrnech srážek (cca nad 60 mm) dosahuje evapotranspirace RRD větších hodnot, v sušších obdobích (srpen a září 2008 a 2009) je tomu naopak. Tento předpoklad bude dále podrobněji popsán při hodnocení denního chodu. V měsíci dubnu, kdy je sice půda ještě stále dobře zásobena vodou po tání sněhu, nedochází ještě k plné transpiraci, poněvadž stromy nejsou plně olistěny.

Graf 1 Měsíční úhrny aktuální evapotranspirace v jednotlivých měsících. Zelené sloupce znázorňují evapotranspiraci travního porostu, hnědé jsou vyznačeny úhrny evapotranspirace výmladkové plantáže RRD a modře úhrny srážek.



Kromě zásoby vody v půdě (která ve většině případů nebyla limitujícím prvkem) hraje při evapotranspiraci řídicí roli sluneční radiace (Steduto, Hsiao, 1997). Na grafu 2. je patrná těsnější korelace mezi radiací a evapotranspirací u travního porostu ($r = 0,94$). U RRD ($r = 0,85$) jsou hodnoty charakteristické větším rozptylem. To naznačuje, že radiace má sice na evapotranspiraci velmi výrazný statisticky průkazný vliv, ale v jistém množství případů do vztahu vstupují ještě další faktory. Může se jednat především o deficit vody v půdě, teplotu půdy, teplotu vzduchu, vlhkost vzduchu respektive sytostní doplněk. Využitím odhadu potenciální evapotranspirace dle Penmanovy rovnice, která v sobě zahrnuje energetickou bilanci (především vliv radiace a teploty) a složku aerodynamickou zohledňující zejména vlhkostní poměry vzduchu a rychlost větru (Strangeways, 2003), lze ovlivnění jednotlivými faktory nepřímo vyloučit nebo naopak potvrdit.

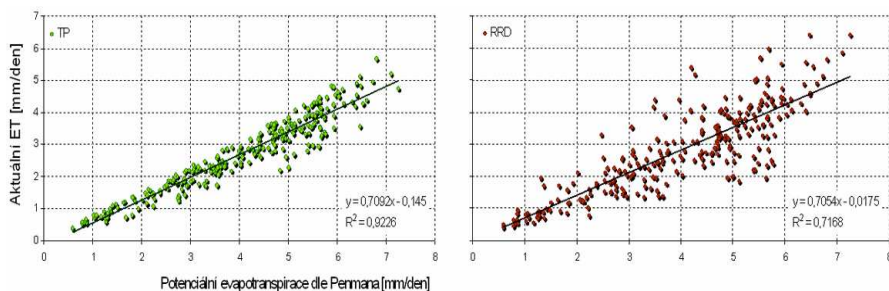
Graf 2 Vztah mezi denními sumami globální radiace a denními úhrny aktuální evapotranspirace (ET). Zelenou barvou jsou znázorněny hodnoty pro TP a hnědou barvou pro RRD.



Korelace mezi naměřenou aktuální (ET) evapotranspirací a potenciální evapotranspirací (PET) dle Penmana je u TP velmi těsná ($r = 0,96$). U porostu RRD je tato vazba poněkud volnější, ale přesto stále statisticky významná ($r = 0,84$). Pokud procházíme data zvlášť pro jednotlivé dny, můžeme sledovat určitý vztah mezi výskytem srážek, radiací a aktuální evapotranspirací. Ve dnech, kdy byl zaznamenán jakýkoliv srážkový úhm (alespoň 2 mm) a přitom byla vysoká globální radiace (R_G) byly zaznamenány nejvyšší denní sumy ET. Tento jev lze vysvětlit velkým množstvím radiací dodané energie schopné odpařovat vodu (evaporace) z ovlhčených povrchů (půda, listy a kmeny) a schopné ohřát povrch, zvýšit tak teplotu vzduchu a tím sytostní doplněk, jehož míra je přímo úměrná se zvýšením transpirace. Za předpokladu, že listová plocha u dřevin (LAI v průběhu roku dosahoval až k hodnotám kolem 7) je až třikrát větší než u krátce stříženého travního porostu, můžeme očekávat rozdílné hodnoty transpirace. Za stejného předpokladu může být porostem RRD zachyceno více vody na povrchu listů (intercepce), která je následně za vhodných radičních a vlhkostních podmínek odpařena. Touto teorií by bylo možné vysvětlit extrémně vysoké úhrny ET u RRD a tedy i důvod proč korelace v tomto případě není tak těsná jako u TP. Vazba mezi denními sumami ET, radiací, dny se srážkami a jejich úhrny a je patná v tabulce 1. Bylo zjištěno, že ve dnech se srážkami a vysokou radiací byla naměřena nejvyšší ET během celého sledovaného období, přičemž u RRD byla ve srovnání s TP téměř 40 % vyšší. V průběhu dubna, kdy topoly ještě nebyly zcela olistěny (proces olistování byl zahájen 13. 4. 2009) byly však vyšší hodnoty ET téměř ve všech případech vyšší než u RRD. To je možné vysvětlit tak, že zatímco u TP docházelo jak ke transpiraci porostu tak i k evaporaci z půdy a intercepce, u RRD probíhala téměř výhradně jen evaporace z půdy, i když po tání sněhu dobře zásobenou vodou. V následujících měsících došlo k plnému olistění a mohla tedy probíhat jak transpirace, tak evaporace z půdy (ta byla ale značně omezena zastíněním hustého listoví) tak výpar vody zadržené intercepce. V polovině srpna a dále pak v průběhu září se však zejména na topolové plantáži začal z důvodu dlouhodobějšího nedostatku srážek projevovat vláhový deficit a došlo k omezení transpirace. Tyto případy odpovídají nízkým hodnotám ET, které lze vidět jak v uvedené tabulce, tak i na grafech 2 a 3. Na těchto grafech je rovněž zřejmý rozdíl mezi TP a RRD. Vyšší rozptyl hodnot ET u RRD naznačuje vyšší citlivost topolů k nedostatku vláhy, dřívější uzavírání průduchů a snížení transpirace. Průběh srážek a dynamiku půdního sacího potenciálu, indukujícího stres suchem vyobrazuje graf 4. Na grafu můžeme sledovat výskyt vláhového deficitu u TP již v průběhu května. Oproti tomu u RRD došlo jen k mírnému zvýšení půdního sacího potenciálu. Během července a části

srpna byla díky vysokým srážkovým úhmům půda dostatečně zásobena vodou. Konec srpna a celé září byly charakteristické delším obdobím beze srážek a hodnota půdního potenciálu u obou typů porostů vzrostla.

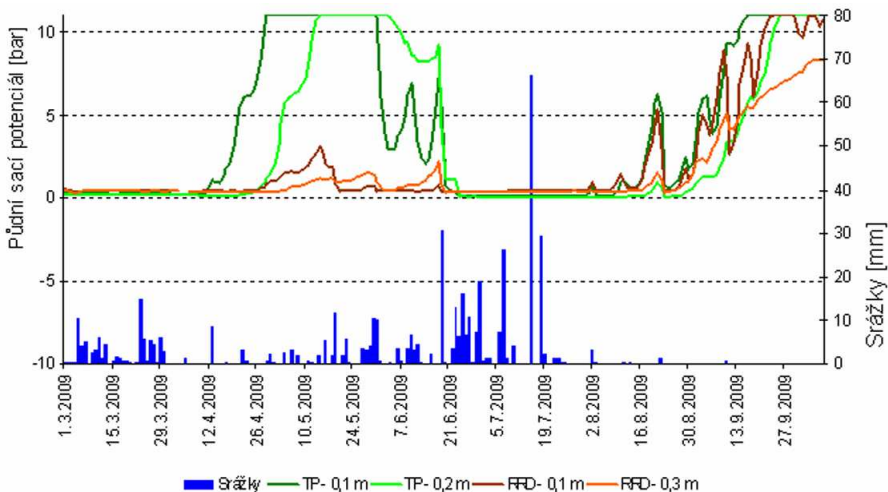
Graf 3 Vztah mezi denními potenciálně dosažitelnými úhrny evapotranspirace dle Penmana a mezi evapotranspirací reálnou – aktuální evapotranspirací (ET). Zelenou barvou jsou znázorněny hodnoty pro TP a hnědou barvou pro RRD.



Tab. 1 Vztah mezi globální radiací (RG), výskytem srážek a jejich úhrny a aktuální evapotranspirací (ET). V jednotlivých sloupcích jsou vypsány úhrny ET pro určitá rozmezí sum denní globální radiace. Seřazením do řádků jsou tyto ET při současné závislosti na radiaci seřazeny dle srážkových úhmů (rovněž vyjádřených v určitých rozmezích denních sum srážek). Rozdílné barvy symbolizují období (duben – září), ve kterých byla data naměřena.

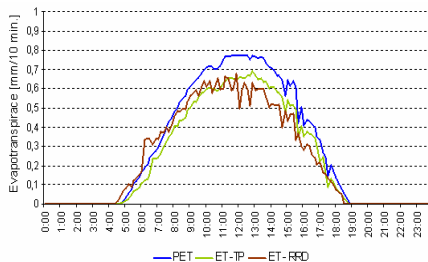
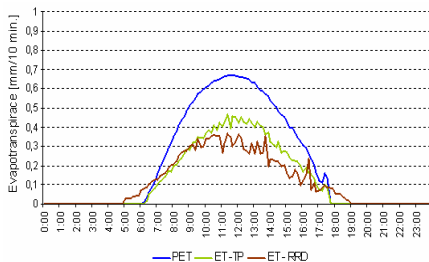
		TTP					Suma ET [mm]	RRD					Suma ET [mm]	Měsíce			
R_0 [μm^2]	Srážky [mm]	0.5	5.10	10.15	15.20	20.25		25.30	R_0 [μm^2]	Srážky [mm]	0.5	5.10			10.15	15.20	20.25
		0.54	1.16	1.59	3.71	3.20	5.49			0.51	1.23	1.77	3.78	2.48	5.49		
	0.1-0.5			1.95	2.74	3.98	4.86					3.54	3.89	4.44	4.94		
				2.33	2.69	3.11	4.69					2.21	2.73	3.66	4.94		
				2.25	2.69	3.11	4.69					2.29	3.06	3.66	5.35		
				1.86	1.86	1.86	1.86					2.12	2.12	2.12	2.12		
				1.92	1.92	1.92	1.92					1.90	1.90	1.90	1.50		
	0.5-1	0.56		2.21	2.20	4.81	8.83			0.52		3.42	3.85	3.88	6.40		
				2.20	2.81	4.78	9.80					2.60	5.16	4.28	12.11		
				1.97	1.97	1.87	1.87					3.07	3.07	3.07	8.29		
				2.91	2.91	2.91	2.91					1.86	2.41	1.86	2.51		
				1.71	2.26	2.94	8.02					0.86	1.66	2.41	1.86		
				1.86	3.31	3.86	9.73					0.86	3.28	3.51	4.86		
	1.2	0.77		1.67	3.15	3.63	6.55					2.23	3.66	5.02	11.08		
				2.42	2.42	2.42	6.05					3.03	3.03	3.03	8.72		
				0.00	0.00	0.00	0.00								0.00		
				1.36	2.11	3.23	9.07					1.16	2.78	3.89	2.60		
	3.4	1.23		1.72	2.11	2.94	8.68					0.86	1.66	4.26	9.73		
				3.63	3.63	3.63	3.63					4.16	4.16	2.94	9.21		
	4.5	0.91		2.16	2.94	3.33	6.69					0.67	4.16	4.16	9.21		
				1.33	2.00	3.13	9.04					1.56	2.69	3.16	2.73		
				0.97	1.92	1.92	5.73					1.70	2.93	1.70	7.99		
	5-10	1.23		0.99	2.83	3.63	6.33					0.86	1.78	3.03	6.77		
				1.27	1.46	1.46	0.97					2.11	1.69	1.69	1.78		
				0.76	2.11	2.11	2.87					0.72	2.52	2.52	3.30		
				1.68	1.68	1.68	1.80					1.86	1.86	1.86	1.86		
				1.39	1.39	1.39	1.39					1.70	1.70	1.70	1.70		
	15-20	0.53		0.00	0.00	3.70	3.70					0.45	0.45	0.45	3.46		
	20-30	0.81		0.00	0.00	7.45	7.45					0.69	0.69	4.52	4.52		
	30-60	0.00		0.00	0.00	4.23	4.23					0.00	0.00	3.34	3.34		
Suma ET [mm]		2,23	13,08	41,69	73,25	44,60	8,22	Suma ET [mm]		2,31	14,94	52,75	89,74	45,97	11,90		

Graf 4 Dynamika půdního sacího potenciálu a průběh srážkových úhrnů v období březen – září 2009. Odstíny zelené znázorňují průběh dostupnosti vody pro rostliny pod povrchem TP a hnědá s oranžovou průběh dostupnosti vody u RRD. Dostupnost vody je vyjádřena pomocí půdního sacího potenciálu a je měřena v hloubkách 0,1 a 0,3 m. Modré sloupce odpovídají jednotlivým denním srážkovým úhrnům.

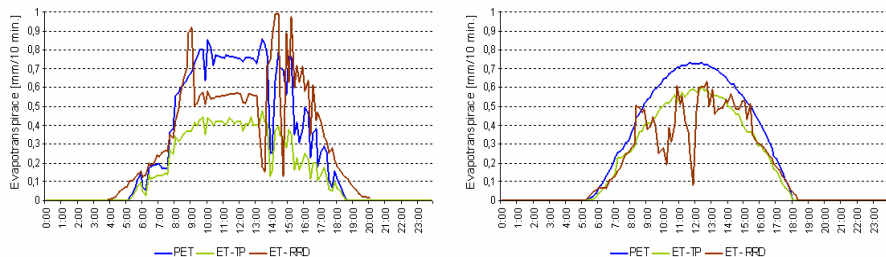


Následující grafy 5. a 6. ukazují desetiminutový krok potenciální a aktuální evapotranspirace u obou porostů během vybraných dnů. Na grafu 5. vlevo můžeme vidět charakteristický denní průběh v období, kdy topoly ještě nejsou olistěny. V tomto případě dosahuje vyšší evapotranspirace TP, u něhož na rozdíl od RRD probíhá kromě evaporace také transpirace. Vpravo je vyobrazena situace při plném olistění. Díky transpiraci u obou porostů jsou naměřené hodnoty již téměř vyrovnané. Vlevo na grafu 6. je denní průběh za dne s nejvyšším úhrnem ET u RRD. Tento den byl charakteristický vysokým úhrnem srážek v kombinaci s vysokou sumou radiace – viz. tab. 1. Vpravo jsou pak na grafu vyznačeny křivky pro den, kdy byl u RRD zaznamenán stres suchem, čemuž odpovídá typicky rozkolísaný průběh ET.

Graf 5 Vztah mezi potenciálně dosažitelnými úhrny evapotranspirace dle Penmana (PET) a mezi evapotranspirací reálnou – aktuální evapotranspirací (ET). Modrá barva znázorňuje potenciální evapotranspiraci, zelená hodnoty pro TP a hnědá pro RRD. Levý graf popisuje průběh evapotranspirací během 13.4.2009 – den před olistěním RRD. Pravý graf ukazuje situaci při plném olistění – 17.7.2009.



Graf 6 Vztah mezi potenciálně dosažitelnými úhrny evapotranspirace dle Penmana (PET) a mezi evapotranspirací reálnou – aktuální evapotranspirací (ET). Modrá barva znázorňuje potenciální evapotranspiraci, zelená hodnoty pro TP a hnědá pro RRD. Levý graf popisuje průběh evapotranspirací během 3.6.2009 – den s nejvyšší naměřenou hodnotou ET u RRD. Pravý graf je typickým vyobrazením rozkolísanosti křivky u RRD během období s vláhovým deficitem – 20.8.2009.



ZÁVĚR

V průběhu vegetační sezóny 2009 byly naměřeny nejvyšší hodnoty aktuální evapotranspirace v letních měsících červen červenec. V této době byly rovněž zaznamenány nejvyšší úhrny srážek a vysoké sumy globální radiace. Korelační analýzou bylo potvrzeno, že radiace hraje spolu s dostatkem vody v půdě pro evapotranspiraci rozhodující roli.

Srovnáním evapotranspirace u RRD a TP bylo zjištěno, že v měsících květen až červenec, kdy byl v půdě dostatek vláhy bylo vyšších úhrnů dosaženo u porostu RRD. Převážnou část dubna nebyl porost dřevin ještě zcela olistěn a na rozdíl od TP nemohlo docházet ke transpiraci, ale pouze k evaporaci, což vedlo k vyšším hodnotám evapotranspirace u TP. V měsících srpen a září, které byly charakteristické výskytem suchých period, došlo v porovnání s TP u dřevin k prudšímu snížení evapotranspirace a měsíční sumy tak byly pro TP vyšší. V souvislost s tím lze dle naměřených dat předpokládat, že topoly jsou ve srovnání s TP více citlivé ke stresu suchem a transpirace je redukována zavíráním průduchů již při nižších hodnotách půdního sacího potenciálu.

Ve dnech, kdy byl zaznamenán výskyt srážek byla ve většině případů vyšší evapotranspirace u RRD. V těchto případech byl rozdíl umocněn mírou radiace. Celkově byl nejvyšší úhrn evapotranspirace naměřen v den, kdy přšelo a současně byla vysoká suma globální solární radiace. To nepřímou poukazuje na větší schopnost intercepce u RRD. Kromě transpirující vody dochází v těchto dnech ke značnému odparu z ovlhčených povrchů

LITERATURA

Afas, N.A., Marron, N., Van Dongen, S., Laureysens, I., Ceulemans, R., Dynamics of biomass production in a poplar coppice culture over three rotations (11 years), *Forest Ecology and Management* 255, 2008, 1883–1891.

Allen, G.A., Walter, I.A., Elliot, R.L., Howell, T.A. Asce, Standardized Reference Evapotranspiration Equation, *American Society of Civil Engineers*, 2005, p. 216.

Allen, G.A., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 'Crop Evapotranspiration – guidelines for Computing Crop Water Requirements' FAO irrigation and drainage, 56, 1998, 290p.

Benetka, V., Bartáková I., Mottl, J., Productivity of *Populus nigra* L. ssp. *nigra* under short-rotation culture in marginal areas, *Biomass and Bioenergy*, 23, 2002, 327-336.

Bungart R., 1999: Erzeugung von Biomasse zur energetischen Nutzung durch den Anbau schnellwachsender Baumarten auf Kippsubstraten des Lausitzer Braunkohlerevirs unter besonderer Berücksichtigung der Nährelementversorgung und des Wasserhaushaltes (Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung. Cottbus: Brandenburgische Technische Universität, 1999, 60p.

EEA (European Environment Agency), Impacts of Europe's changing climate, An indicator-based assessment, report no. 2, 2004, 107 p.

Perry, C.H., Miller, R.C., Brooks, K.N., Impacts of short-rotation hybrid poplar plantations on regional water yield, *Forest Ecology and Management*, 143 (2001): 143-151.

Hofmann-Schielle, C., Jug, A., Makeschin, F., Rehfuess, K.E., Short rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. I. Site-growth relationships. *Forest Ecology and Management*, 121, 1999, 41-55.

Hytönen J. Biomass production and nutrition of short-rotation plantations (Diss. University of Helsinki). (The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 589). Kannus, 1996, 61p.

Christersson L. Theoretical background to and practical utilization of shortrotation and energy forestry. In: Christersson L, Ledin S, editors. IEA. Bioenergy, Task 17: Short-rotation crops for energy purposes. Proceedings of the 7th meeting in Uppsala, Sweden (1999): 5–19.

Isebrands J.G. and Karnosky D.F, Environmental benefits of poplar culture. In: D.I. Dickmann, J.G. Isebrands, J.E. Eckenwalder and J. Richardson, Editors, *Poplar Culture in North America*, NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, Canada (2001): 207–218.

Jug, A., Hofmann-Schielle, C., Makeschin, F., Rehfuess, K.E., Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. II. Nutritional status and bioelement export by harvest of shoot axes. *For. Ecol. Manage.*, 121, 1999a, 67-83.

Jug, A., Hofmann-Schielle, C., Makeschin, F., Rehfuess, K.E., Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. III. Soil ecological effects. *For. Ecol. Manage.*, 121, 1999b, 85-99.

Kauter, D., Lewandowski, I., Claupein, W., Quantity and quality of harvestable biomass from *Populus* short rotation coppice for solid fuel use- a review of the physiological basis and management practices, *Biomass&Bioenergy*, 24, 2003, 411-427.

Lloyd, C.R., An intercomparison of surface flux measurement during HAPEX Sahel. *J.Hydrol.*, 1997, 188-9, 385-99.

Lo H. M., Abrahamson, L.P., Principal component analysis to evaluate the relative performance of nine year old hybrid poplar clones, *Biomass and Bioenergy*, 10, 1996, 1-6.

Londo M., Energy farming in multiple land use. An opportunity for energy crop introduction in the Netherlands. PhD thesis, University of Utrecht, Netherlands, 2002, 143p.

Liberloo, M., Calfaoifetra, C., Lukac, M., Godbold, D., Luo, Z., Polle, A., Hoosebeek, M.R., Kull, O., Marek, M., Raines, Ch., Rubino, M., Taylor, G., Scarascia-Mugnozza, G., Ceulemans, R., Woody biomass production during the second rotation of a bio-energy *Populus* plantation increases in a future high CO₂ world, *Global Change Biology*, 12, 2006, 1094–1106.

Scarascia-Mugnozza G.E, Ceulemans R, Heilman P.H., Isebrands J.G., Stettler R.F., Hinckley T.M., Production physiology and morphology of *Populus* species and their hybrids grown under short rotation. II. Biomass components and harvest index of hybrid and parental species clones. *Canadian Journal of Forest Research*; 27, 1997, 285–94.

Slater F.M., Heaton R.J., Randerson P.F.,: Growing SRC for biomass in the uplands—The task of convincing farmers. In: Kyritsis S et al., editors. *First World Conference on Biomass for Energy and Industry. Proceedings of the Conference held in Sevilla, Spain, 2000*. London: James & James, p. 2001, 1570–3.

Steduto, P., Hsiao, T.C., Maize canopies under two soil water regimes: I. Diurnal patterns of energy balance, carbon dioxide flux and canopy conductance. *Agric. For. Meteorol.* 89, 1998a, 173–188.

Strangeways, I., *Measuring the natural environment*. Cambridge university press, 2003, p.234.

Trnka M., Trnka M., Fialová J., Koutecký V., Fajman M., Žalud Z., Hejduk S.: Biomass production and survival rates of selected poplar clones grown under a short-rotation on arable land, *Plant Soil Environ.*, 54, 2008, 78-88.

Weger, J., Havlíčková, K. (eds.), *Biomasa obnovitelný zdroj energie v krajině VÚKOZ*, Průhonice, 2003, 51 p.