

INTENZITA TRANSPIRACE PŘÍPRAVNÉHO POROSTU BŘÍZY BĚLOKORÉ (*BETULA PENDULA* ROTH) VE SROVNÁNÍ SE STEJNORODÝM A STEJNOVĚKÝM POROSTEM SMRKU ZTEPILÉHO (*PICEA ABIES* (L.) KARST.) V RŮSTOVÉ FÁZI TYČKOVIN

TRANSPIRATION INTENSITY OF SILVER BIRCH PREPARATORY STAND (*BETULA PENDULA* ROTH) COMPARED TO A HOMOGENEOUS AND EVEN-AGE NORWAY SPRUCE STAND (*PICEA ABIES* (L.) KARST.) IN THE POLE STAND GROWING STAGE

PAVEL BEDNÁŘ¹⁾ ✉ - ŠTĚPÁNKA ŘEHOŘKOVÁ^{1,2)}

¹⁾Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivost, v. v. i., Výzkumná stanice Opočno, Na Olivě 550, 517 73 Opočno, Czech Republic

²⁾Environmental Measuring Systems Ltd., Kociánka 85/39, 612 00 Brno, Czech Republic

✉ e-mail: pavelbednar13@seznam.cz

ORCID: P. Bednář 0000-0003-1963-9894

Š. Řehořková 0009-0006-8705-1741

ABSTRACT

Two different forest types at the pole stand growing stage were compared regarding their transpiration during the peak of the growing season: a pure, artificially established even-aged Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) pole stand and a pure, naturally regenerated silver birch (*Betula pendula* Roth) preparatory pole stand. Both sites were comparable, as evidenced by the non-significant differences between daily averages of potential evapotranspiration on both sites. Both forest stands had been managed in the past and were reduced to 1,800 and 900 trees/ha for Norway spruce and silver birch, respectively. The forest transpiration of the silver birch preparatory pole stand was significantly higher than that of the Norway spruce pole stand, representing a transpiration rate over 1.4 times higher. Over a 56-day period, the cumulative transpiration was 127 mm for the silver birch stand and 90 mm for the Norway spruce stand. When transpiration was correlated to the potential of transpiration for particular sites, it was found that the portion was over 71% for silver birch and 42% for Norway spruce stand, respectively. Significant correlation of transpiration with the potential of evapotranspiration was established for both forest types, with this relationship being more distinct for the Norway spruce stand, indicating that its transpiration rate is more under control.

[For more information see Summary at the end of the article.](#)

Klíčová slova: transpirace porostu; potenciál evapotranspirace; přípravný porost; tyčkovina; stejnorodý porost; srážkový úhrn

Key words: forest transpiration; potential of evapotranspiration; preparatory stand; pole stand; pure stand; precipitation amount

ÚVOD

Sekundární jehličnaté monokultury, typicky monokultury smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst.) jsou ekologicky nestabilní ekosystémy (LÖF et al. 2010). I bez ohledu k současné bezprecedentní kalamitě, způsobené lýkožroutem jako sekundárním činitelem, je ohrožení sekundárních jehličnatých monokultur hmyzími (biotickými) škůdci historicky velmi významné. Jehličnaté monokultury prokazují tuto svoji ekologickou a mechanickou labilitu a náchylnost k rozvrátům historicky dlouhodobě, a to v důsledku biotických i abiotických fak-

torů (SKUHRAVÝ 2002; HERING, IRRGANG 2005; NILSSON 2008). Tím vznikají kromě celé řady ekologických úskalí také značné ekonomické ztráty (NYKÄNEN et al. 1997), dlouhodobě vyčíslené v rámci celé Evropy na úrovni stovek milionů dolarů každý rok (VALINGER, FRIDMAN 1999).

Otázky obnovy pokalamitních ploch tak úměrně tomu stále nabývají na svém významu, přičemž do hry vstupuje (kromě tradičních hledisek jako je rychlost, efektivita a nákladovost obnovy) více než kdy dříve potřeba zásadní změny druhové skladby budoucích porostů

(AMMER et al. 2008; KERR et al. 2010). K tomu se připojují hlediska potřeby znovuobnovení lesního ekosystému (lesního prostředí) na rozsáhlých kalamitních plochách po velkoplošném rozpadu porostů jako nutnost prevence degradace lesních stanovišť (typicky erozí aj.) a obnovení existence lesního ekosystému pro plnění celé řady mimo-produkčních funkcí (BENS et al. 2007; MARTINÍK 2019). To vše při nutnosti vnášet optimálními pěstebními technikami vhodné dřeviny cílové druhové skladby, včetně stín snášejících dřevin (MALCOLM et al. 2001; KERR et al. 2010; ČATER, LEVANIČ 2013), a to i těch, kterým obnova v extrémních mikroklimatických podmínkách velkoplošných holin ekologicky nevyhovuje. A také těch dřevin (typicky plagiotropně rostoucích), jejichž morfologický vývoj (a tím budoucí potenciál hodnotové produkce v následné generaci lesa) je na holé ploše dramaticky ohrožen tvorbou netvárných, zavětvených nebo sukatických kmenů (ČATER 2010; JARČUŠKA, BARNA 2011). I proto dnes narůstá význam využití přípravných porostů pionýrských dřevin, a zvláště pak obecně rodu bříza (*Betula* sp.) (MARTINÍK 2019; JONCZAK et al. 2020). I díky tomu, že na holých sečích vzniklých typicky nahodilou těžbou a následujících po smrkových porostech se často spontánně a intenzivně zmlazují pionýrské listnáče jako bříza nebo jeřáb ptačí (*Sorbus aucuparia* L.) a jejich využití jako ekologického krytu pro vnášení dřevin cílové druhové skladby je z mnoha důvodů vysoce vhodné (LÖF et al. 2010).

Z tohoto důvodu je třeba vnímat ekologické nároky jednotlivých druhů dřevin, a to jaké mikroklimatické podmínky jsou schopné akceptovat, ale které i dokáží sami utvářet v průběhu svého růstu (typicky pro následnou obnovu jiných dřevin). Eliminace extrémních tepelných hodnot jakýmkoliv lesním porostem vychází ze schopnosti stromů zachycovat a distribuovat sluneční energii v důsledku transpirace a tvorby biomasy (POKORNÝ et al. 2010). Transpirace se často liší mezi druhy a je především silně závislá na vlhkosti půdy (HINKLEY et al. 1978; OREN et al. 1996; PATAKI et al. 2000) a celkovou výši transpirace ekosystému může ovlivnit jeho vertikální struktura, resp. počet přítomných pater (SABATER et al. 2020). Vlhkost půdy je však sama ovlivněna vegetací, přestože je úzce spjata s půdním typem a charakterem stanoviště (GERIS et al. 2015). Na suchých stanovištích vegetace přispívá ke zvyšování hydraulické vodivosti (THOMPSON et al. 2010) a na vlhkých stanovištích ji naopak snižuje (WOODWARD et al. 2014). Dochází k tomu v důsledku zvyšováním infiltrace vody do půdy, evapotranspirací, zachycením a doplňováním podzemní vody (WOLTON et al. 2014; DIXON et al. 2016; DADSON et al. 2017). Např. i velmi mladý porost může zvýšit infiltraci až 67krát a snížit povrchový odtok o 78 % ve srovnání se zatravněnými plochami (MARSHALL et al. 2013). Měření porostní transpirace je nám tak schopné poskytnout důležité informace o interakcích mezi porostem, atmosférickými a půdními vlhkostními podmínkami (SHUTTLEWORTH 1988; GRECO, BALDOCCHI 1996).

Předložený článek porovnává intenzity porostní transpirace dvou mladých porostů přibližně v růstové fázi tyčkoviny na srovnatelných stanovištích. Konkrétně porovnává „konvenční“ pasečný les reprezentovaný stejnorodým a stejnověkým porostem smrku ztepilého založený umělou obnovou (v roce 2006) s přípravným porostem břízy bělokoré (*Betula pendula* Roth) vzniklým přirozenou obnovou v rámci sukcesního vývoje pokalamitní plochy při uplatnění dvoufázové obnovy porostu (po rozvratu porostu v roce 2007). Uvedené mladé porosty srovnává v časové výseči letního období od 1. 7. 2021 do 25. 8. 2021, přičemž srovnání je provedeno z pohledu celkové porostní transpirace obou porostních typů.

MATERIÁL A METODIKA

Pro cíle tohoto článku byly vybrány dvě reprezentativní plochy charakterizující oba porovnávané porostní typy, které jsou si blízké přírodními podmínkami i geografickou polohou.

Březový přípravný porost přirozeně obnovený

Přípravný porost na výzkumné ploše Nemojov (50,4774169 N, 15,7720664 E) vznikl přirozenou obnovou samovolným sukcesním vývojem na pokalamitní ploše. Plocha se nachází 6 km severozápadně od Dvora Králové nad Labem a 38 km severozápadně od smrkové plochy Křivina; jde o výzkumnou plochu dvoufázové obnovy lesa při využití přirozené obnovy (sukcesního vývoje) přípravného porostu pionýrských dřevin na pokalamitní holé ploše. Stanovištní typizací jde o kyselá stanoviště středních poloh – HS 43, resp. o SLT 4I a 4K – tj. o kyselou uléhavou bučinu a kyselou bučinu (*Fagetum illimerosum acidophilum* a *Fagetum acidophilum*), resp. o STG 4 AB 3 – jedlodubovou bučinu (*Fageta abietino-quercina* – *Faq*).

Výzkumná plocha se nachází v nadmořské výšce 460 m n. m. s přibližným ročním srážkovým úhrnem 825 mm. Plocha byla založena na kalamitní holině vzniklé rozvratem původního převážně smrkového porostu vichřicí Kyrill v lednu 2007.

Po deseti letech samovolného vývoje je na přibližně 3 ha vytvořen souvislý porost břízy bělokoré a topolu osiky (*Populus tremula* L.). Na části plochy byl v roce 2017 proveden výchovný zásah na dílčích segmentech uplatňující různou intenzitu porostní výchovy. Cílem byla podpora kvalitní složky přípravného porostu i zlepšení podmínek pro odrůstání cílových dřevin pod ekologickým krytem přípravného porostu, tedy porostní složky, která vznikla kombinovanou obnovou (částečně přirozenou obnovou a také umělou).

Výchova porostu probíhá kladným výběrem, kdy před zásahem byly v porostu vybrány a označeny stromy s vysokým potenciálem kvality – tj. nadějně stromy – čekatelé (dle kvalitativních kritérií jako rovný kmen, nadprůměrná objemová produkce, náležitě vyvinutá koruna apod.).

Předmětná sub-plocha (základní dendrometrické charakteristiky obsahuje tab. 1), která byla do této studie zahrnuta, je varianta s 900 čekateli/ha (přibližný spon cca 3 m × 3 m) (Souček in LEUGNER et al. 2021).

Tab. 1.

Základní charakteristiky srovnávaných porostních typů – březové tyčkoviny přirozeně obnovené (900 ks/ha) a smrkové tyčkoviny uměle založené (1800 ks/ha)

Main characteristics of both compared forest types – silver birch pole stand regenerated naturally (900 individuals/ha) and Norway spruce pole stand established artificially (1,800 individuals/ha)

	Dřevina porostního typu/ Tree species		
	bříza/ silver birch	smrk/ Norway spruce	
	střední hodnota/median	10,2	11,6
	průměr/mean value	10,0	11,5
DBH [cm]	minimum	2,4	5,1
	maximum	17,7	19,1
výčetní kruhová základna/ basal area (m ² /ha)		14,21	22,42
počet stromů na hektar/ number of trees per hectare		900	1800

Smrková tyčkovina uměle založená

Stejnorodý a stejnověký porost smrku ztepilého v růstové fázi tyčkoviny leží na výzkumné ploše Křivina (50,2152586 N, 16,1141497 E), nacházející se 6 km jižně od Opočna. Plocha je předmětem experimentu zkoumajícího vliv intenzity porostní výchovy na ekofyziologické parametry porostu na spodním limitu ekologické valence smrku ztepilého; jedná se o porost založený umělou obnovou na holé ploše. Věk porostu v roce 2021 byl 15 let od založení. Stanovištní typizací jde o živná stanoviště středních poloh – HS 45, resp. o SLT 3H – hlinitou dubovou bučinu (*Querceto-Fagetum illimerosum trophicum*); resp. o STG 3 B 3 – typickou dubovou bučinu (*Quercifagetum typica* – QF). Výzkumná lokalita Křivina se nachází v nadmořské výšce 402 m n. m. s přibližným ročním úhrnem srážek cca 606 mm.

Předmětná sub-plocha (základní dendrometrické charakteristiky obsahuje tab. 1) je o výměře 40 m × 65 m a odrůstala do roku 2019 (včetně) ve sponu odpovídajícím hektarovému počtu cca 4500 jedinců/ha; v únoru 2020 byl proveden výchovný zásah redukující hektarový počet jedinců na 1800 ks/ha (Černý in LEUGNER et al. 2021).

Měření transpiračního proudu a porostního mikroklimatu a výpočet potenciálu evapotranspirace

Na obou stanovištích byly na volných plochách přiléhajících zájmovým porostům kontinuálně měřeny objemová vlhkost půdy (SWC) a základní meteorologické parametry: globální záření (Rg), teplota vzduchu (T) a relativní vlhkost vzduchu (Rh) pomocí Minikin RTHi senzoru (EMS, Brno, Česká republika) ve výšce 2 m a 0,3 m nad povrchem půdy. Vlhkost půdy byla měřena pomocí CS616 (Campbell Scientific, USA) v hloubkách 20 cm (plocha Křivina) a čidly Virriblogger (AMET Velké Bílovice) v gradientu 15–30 cm (plocha Nemojov). Na ploše Křivina byl navíc ještě přímo měřen i vodní potenciál půdy (SWP; Terros 21, METER Environment, USA). Data byla ukládána v 10minutových intervalech. Srážky na volné ploše a podkorunové byly měřeny pomocí srážkoměru Pronamic Pro (Pronamic Aps., Dánsko).

Pro měření transpiračního proudu (SF) byly na základě střední tloušťky porostu zvoleny dva reprezentativní jedinci v obou porostech, kteří byli vybráni na základě porostních inventarizací tak, aby byla umožněna efektivní kalkulace porostní transpirace. Pro měření transpiračního proudu (SF) byli v obou porostech na základě plné inventarizace výzkumných ploch vybráni dva reprezentativní jedinci, a to s ohledem na hodnotu střední tloušťky porostů tak, aby představovali horní a spodní hranici vhodně zvolené tloušťkové třídy zahrnující střední kmen, a následně byl pomocí standardně prováděné interpolace a extrapolace tzv. scalingového koeficientu proveden přepočít (z výsledků porostních inventarizací) na úroveň porostní transpirace. K monitorování SF byla použita metoda tepelné bilance kmene (THB; ČERMÁK, DEML 1974; KUČERA et al. 1977) se systémem SF81, zahrnující elektronické dendrometry DR26 (EMS, Brno, Česká republika). Všechna data byla zaznamenávána v 10minutových intervalech. Na základě příslušné metodiky (EMS Brno 2015) byl vypočítán hodinový průměr SF celého stromu [kg.h⁻¹], denní suma SF_{day} [kg.d⁻¹] a maximální denní přírůstek kmene [mm]; následně byla data transpirace přepočtena podle výsledků porostní inventarizace na úroveň celého porostu (hodinová transpirace [kg.h⁻¹] a denní transpirace porostu [kg.d⁻¹]) a dále za celé období na kumulativní transpirace (mm) dle příslušné metodiky (ČERMÁK, KUČERA 1990; ČERMÁK et al. 2004).

Objemová vlhkost půdy (SWC) na ploše Nemojov byla přepočítána dle modelu retenční křivky pro hlinité půdy na vodní potenciál půdy (SWP) (GENUCHTEN 1980). Získaná meteorologická data byla použita pro výpočet sytostního doplnku (resp. deficitu tlaku vodních par

– VPD; MONTEITH 1965) a potenciální evapotranspirace (PET) podle Penman-Monteithovy rovnice (ALLEN et al. 1998) upravené pro odhad stomatální vodivosti (KUČERA et al. 2017; vzorec 1, příloha č. 1).

$$PET = \frac{(\Delta (Rn - G) + \rho c_p VPD g_a) / \lambda}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{g_a}{g_c}\right)} \quad (1)$$

kde: PET je potenciální evapotranspirace [mm.d⁻¹], Rn je radiační bilance [W.m⁻²], G je tok tepla do půdy [W.m⁻²], Δ je směrnicí závislosti tlaku nasycené vodní páry na teplotě [Pa.K⁻¹], ρ je hustota suchého vzduchu [kg.m⁻³], c_p je měrné teplo vzduchu [J.K⁻¹.kg⁻¹], VPD je deficit tlaku vodních par [Pa], λ je teplotní kapacita vody [J.kg⁻¹], γ je psychrometrická konstanta [Pa.K⁻¹], g_c je stomatální vodivost [m.s⁻¹] a g_a aerodynamická vodivost [m.s⁻¹].

Zpracování dat

Pro zpracování dat SF byl použit software Mini32 (EMS Brno, 2023). Pro statistické analýzy a grafické zobrazení bylo použito softwarové prostředí „R“ (R Development Core Team 2008) a Statistica 14.0.0.15 (StatSoft ČR 2020).

VÝSLEDKY

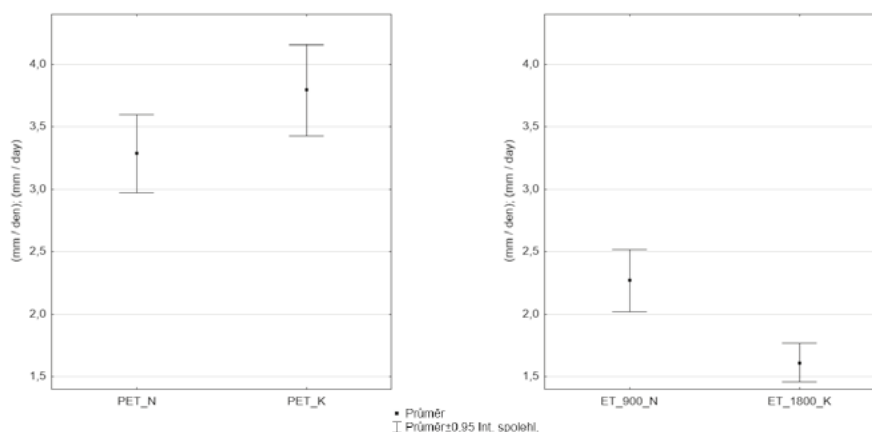
Srovnání podmínek obou stanovišť

Celkový srážkový úhrn volné plochy za období měření byl na ploše Nemojov (březový přípravný porost) 194 mm a na ploše Křivina (smrková tyčkovina) 219 mm. Průměrná denní hodnota PET byla obdobná (korelace R² = 0,98), a potvrdila tak srovnatelnost ploch pro dané hodnocení; na ploše Nemojov (BR) byla ale přesto nižší a dosahovala ve sledovaném období průměru hodnoty 3,3 mm/den (SD = 1,2), zatímco na ploše Křivina (SM) dosahovala průměrné hodnoty 3,8 mm/den (SD = 1,4); rozdíl ale nebyl statisticky průkazný (obr. 1). Podobný průběh PET na obou plochách dokládá i obr. 2 a 3, ze kterého je patrný téměř totožný trend vývoje PET ve sledovaném období, i srovnatelné hodnoty.

Srovnání intenzity porostní transpirace obou porostních typů

Průměrná denní intenzita transpirace byla u přípravného porostu břízy (900 ks/ha) ve výši 2,3 mm/den (SD = 0,9) a byla vyšší než ve smrkové tyčkovině (1800 ks/ha), kde činila 1,6 mm/den (SD = 0,6); rozdíl byl statisticky průkazný (obr. 1).

Transpirace březové tyčkoviny činila průměrně 71,9 % (SD = 27,6) PET, zatímco u smrkové tyčkoviny byl průměrný podíl transpirace na PET na úrovni 42,6 % (SD = 11,3), tedy o výrazných 29,2 % nižší, a zjištěný rozdíl byl statisticky průkazný (obr. 4 – vlevo). Celková kumulativní transpirace porostů za sledované období 56 dní byla u smrkové tyčkoviny na Křivině 90 mm a u přípravného březového porostu v Nemojově 127 mm, což opět dokazuje, že mladý přípravný březový porost o celkově nižším hektarovém počtu jedinců (i v podmínkách mírně nižšího PET, byť nikoliv signifikantně) transpiroval více než mladý smrkový porost o vyšším hektarovém počtu jedinců (i v podmínkách mírně vyššího PET). Porostní transpirace s PET u obou porostů signifikantně korelovala a vykazovala vysokou míru závislosti, a to ještě více u smrkového porostu (obr. 4 – uprostřed a vpravo). Poměr porostní transpirace vůči PET byl vyrovnaný, konstantní, u smrku ještě s těsnější korelací (R² = 0,76) než u břízy (R² = 0,36), a byl tedy druhově specifický a u smrku celkově nižší než u břízy (71,9 % vs. 42,6 %).

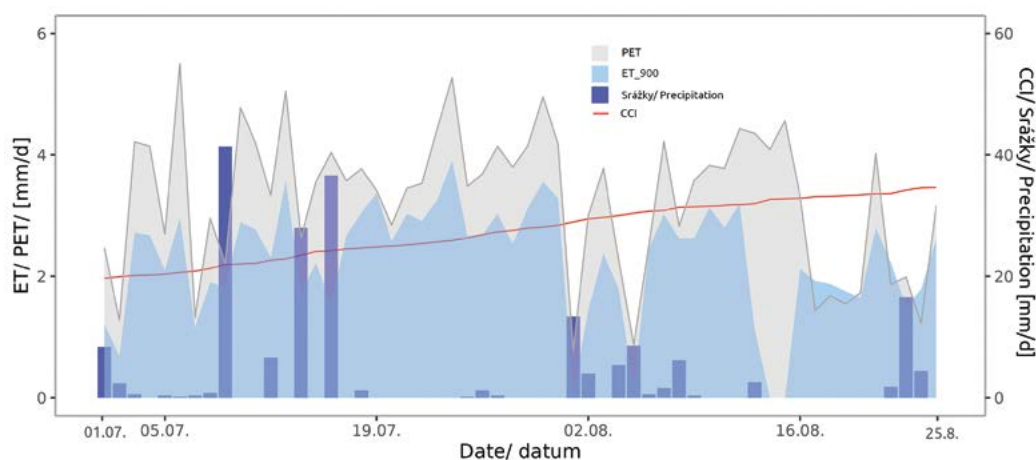


Obr. 1.

Srovnání průměrů a intervalů spolehlivosti na hladině významnosti 95 % (denní data); vlevo: srovnání potenciálu evapotranspirace (PET) na lokalitách Nemojov – březový porost (N) a Křivina – smrkový porost (K); vpravo: srovnání transpirace březové tyčkoviny (ET_{900_N}) a smrkové tyčkoviny (ET_{1800_K})

Fig. 1.

The comparison of mean values and 95% confidence intervals (daily values): on the left: comparison of potential evapotranspiration (PET) between the Nemojov birch stand (N) and Křivina spruce stand (K) sites; on the right: comparison of transpiration rates between the pure silver birch pole stand (ET_{900_N}) and the pure Norway spruce pole stand (ET_{1800_K})

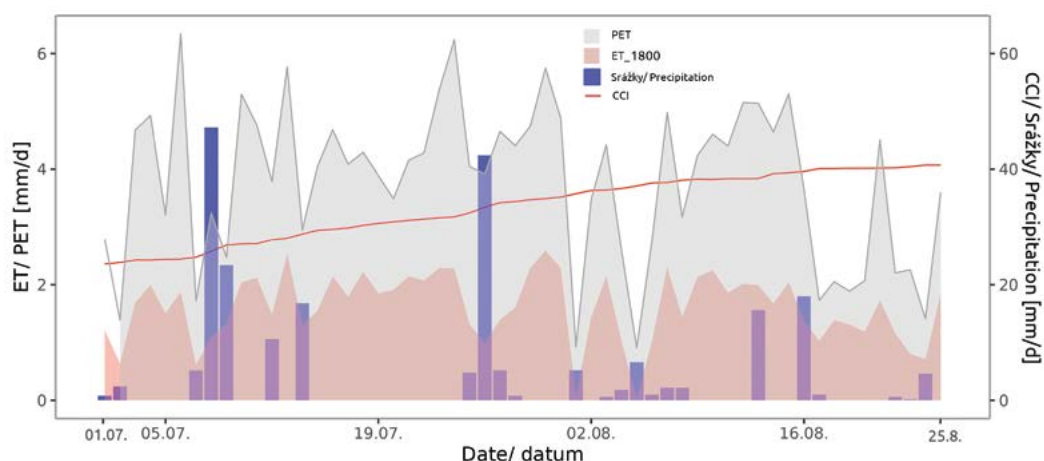


Obr. 2.

Průběh potenciálu evapotranspirace stanoviště (PET) a transpirace přípravného porostu břízy bělokore (ET₉₀₀) na lokalitě Nemojov a vývoj kumulovaného obvodového přírůstu kmene ve výčetní tloušťce (CCI) pro vyjádření saturace / deficitu vody v kmeni

Fig. 2.

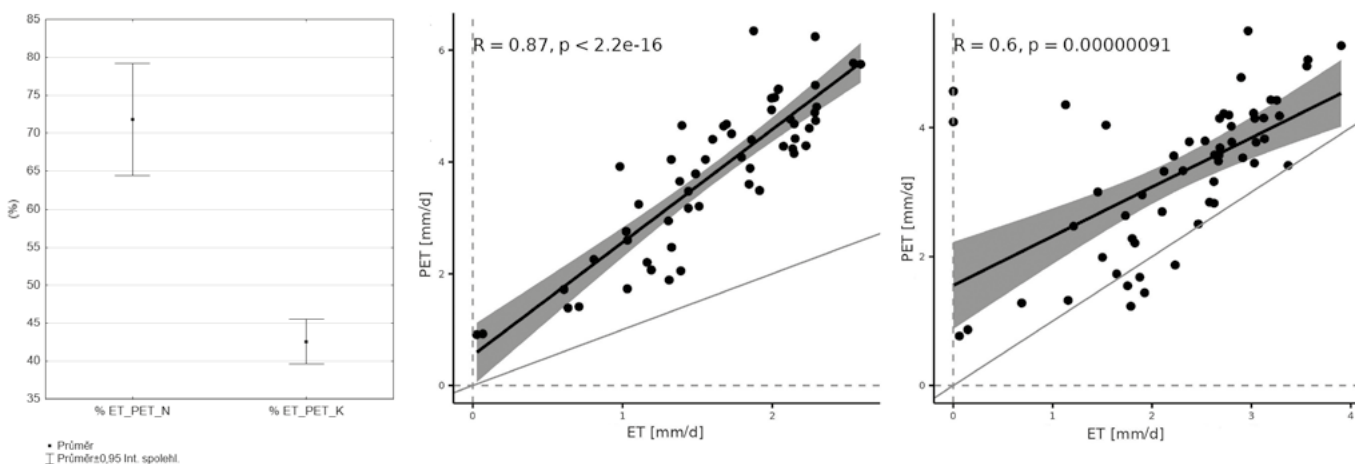
The development of the potential evapotranspiration (PET) at the Nemojov site compared to the transpiration rate of a pure silver birch pole stand (ET₁₈₀₀) at the same location and the development of stem cumulative circumference increment at breast height (CCI) expressing tree water saturation / deficit

**Obr. 3.**

Průběh potenciálu evapotranspirace stanoviště (PET) a transpirace tyčkoviny smrku ztepilého (ET_1800) na lokalitě Křivina a vývoj kumulovaného obvodového přírůstu kmene ve výčetní tloušťce (CCI) pro vyjádření saturace / deficitu vody v kmeni

Fig. 3.

Development of the potential evapotranspiration (PET) at the Křivina site compared to the transpiration rate of a pure Norway spruce pole stand (ET_1800) at the same location and the development of stem cumulative circumference increment at breast height (CCI) expressing tree water saturation / deficit

**Obr. 4.**

Porovnání transpirace smrkové tyčkoviny (1800 ks/ha) a přípravného porostu břízy (900 ks/ha) a závislosti na potenciálu evapotranspirace příslušných stanovišť

Vlevo: Srovnání průměrů a intervalů spolehlivosti na hladině významnosti 95% denního procentuálního podílu (v %) porostní transpirace březové tyčkoviny (% ET_PET_N) a smrkové tyčkoviny (% ET_PET_K) na denním potenciálu evapotranspirace příslušného stanoviště

Uprostřed: Signifikantní korelace porostní transpirace a potenciálu evapotranspirace smrkové tyčkoviny na lokalitě Křivina

Vpravo: signifikantní korelace porostní transpirace a potenciálu evapotranspirace přípravného porostu břízy bělokoré na lokalitě Nemojov

Fig. 4.

Comparison of transpiration of Norway spruce pole stand (1,800 individuals/ha) and silver birch preparatory pole stand (900 individuals/ha), their dependence on the potential of evapotranspiration of particular sites

Left: comparison of means and confidence intervals at the 95% significance level of daily percentage share (%) of stand transpiration of silver birch (% ET_PET_N) and Norway spruce pole stand (% ET_PET_K) on the daily potential of evapotranspiration of the particular site

Middle: significant correlation of stand transpiration and potential of evapotranspiration of Norway spruce pole stand at the Křivina site

Right: significant correlation of stand transpiration and potential of evapotranspiration of silver birch preparatory pole stand at the Nemojov site

DISKUSE

Bříza bělokorá je dřevinou, u které je prokázána vysoká ekologická valence ke stanovištním podmínkám (typicky k půdním podmínkám) a i díky tomu je druhem s vysokým sukcesním potenciálem (JONCZAK et al. 2020). Současně je také obecně, široce a dlouhodobě uznávána jako dřevina s vysokou meliorační schopností lesního stanoviště a například při zalesňování zemědělských půd jsou doloženy její schopnosti (ale i dalších listnatých dřevin) na úrovni mj. poklesu objemové hmotnosti půdy nebo nárůstu pórovitosti a provzdušnění půd (PODRÁZSKÝ, KUPKA 2011). Stejně tak je prokázána i vysoká schopnost transpirace březových porostů, a to i iničiálních růstových fází, typicky například na plochách po těžbě rašeliny (či jinak antropogenně narušených), a tím schopnost břízy ovlivnit či upravit hydrologický režim takových stanovišť (FAY, LAVOIE 2009), což potvrzují i poznatky SABATER et al. (2020) ze specifických podmínek subarktické oblasti, kteří zjistili, že v případech, kdy je v tamních ekosystémech tundry formována horní etáž břízy pýřité (*Betula pubescens* spp. *czerepanovii* (Orlova) Hamet-Ahti) nad přízemní vegetací typickou pro tundru, může tato horní březová etáž představovat 16–33 % celkové evapotranspirace tamních ekosystémů a mít z dlouhodobé perspektivy významný hydro-klimatický efekt. Bříza je dále také charakteristická nižší intenzitou stomatální kontroly (“relaxed stomatal control”) nad transpiračními ztrátami, a tím jako druh dřeviny s nízkou úrovní WUE (water-use efficiency) (SELLIN, LUBENETS 2010), což bývá dáváno do souvislosti právě s pionýrskou strategií dřevin (SELLIN et al. 2010). To ostatně potvrzují i DALEY, PHILLIPS (2006), kteří u břízy papírovité (*Betula papyrifera* Marsh.) také zjistili nejnižší míru kontroly intenzity transpirace pomocí průduchů, a to dokonce v případě noční transpirace, včetně porovnání s dalšími listnatými druhy – dubem červeným (*Quercus rubra* L.) a javorem červeným (*Acer rubrum* L.); tuto skutečnost dávají také shodně do souvislosti s pionýrskou strategií břízy oproti oběma dalším sledovaným listnatým dřevinám, které jsou dřevinami klimaxovými a v různé míře stín snajejší. Uvedený kontext poznatků podporuje naše zjištění, že průměrná denní hodnota transpirace (i celková kumulativní transpirace za celé sledované období) porostu břízy činila více než 140 % transpirace porostu smrku ztepilého; a to i v situaci, kdy březový porost disponoval polovičním počtem jedinců (900 ks/ha) než porost smrkový (1800 ks/ha) a výčetní kruhovou základnou na úrovni cca 63 %. Tento poznatek je plně v souladu s výsledky práce GARTNER et al. (2009), kteří rovněž porovnávali transpirace břízy bělokoré a smrku ztepilého ve třech letních měsících (červen, červenec a srpen roku 2003) a při dobrém zásobení stanoviště vodou zjistili třikrát vyšší transpiraci břízy oproti smrku (při uvážení veličiny SFS – sap flow per section v $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-1}$). Výrazně vyšší hodnotu porostní transpirace listnatých druhů dřevin obecně oproti jehličnanům dokládá řada dalších autorů (CATOVSKÝ et al. 2002; OLTCHEV et al. 2002a, 2002b). Vyšší intenzitu transpirace (a nízkou WUE) břízy bělokoré (i břízy pýřité – *Betula pubescens* Ehrh.) oproti smrku ztepilému prokázala studie BAUMGARTEN et al. (2019) v suchých periodách, ačkoliv stejný výsledek nepotvrdili i ve srážkově příznivých obdobích. Uvedená práce dále prokázala konstantní hodnoty obojího (transpirace i WUE) při porovnání suchých období i období s dostatečnými srážkami v případě břízy, zatímco v případě smrku ztepilého došlo k signifikantní redukci transpirace (a zvýšení WUE) během suchých period oproti periodám s dostatečnými srážkami (BAUMGARTEN et al. 2019).

K velmi podobným výsledkům, jako jsou námi zjištěné hodnoty, dospěla také studie DALEY et al. (2007), a to při porovnání porostní transpirace břízy tuhé (*Betula lenta* L.) a jedlovce kanadského (*Tsuga canadensis* (L.) Carr.), při jejichž srovnání autoři zjistili cca. 1,6násobně vyšší transpiraci břízy (na vrcholu vegetačního období, v druhé polovině června). Autoři dále navíc srovnávali transpiraci obou dřevin na sklonku vegetačního období (přelom srpna a září), kdy byla transpi-

race břízy již pouze na úrovni 107 % transpirace jedlovce a v pozdním podzimu (první polovina října), kdy již byla nižší než u jehličnanu (a představovala 70 % transpirace jedlovce). Přítom podobný pokles transpirace u břízy i smrku v průběhu vegetačního období od vrcholu směrem ke sklonku vegetačního období (od června do srpna), navíc ale ještě výrazně umocněný nástupem intenzivního sucha v srpnu, ukazují i výsledky studie GARTNER et al. (2009). Ve srovnání s těmito poznatky dvou výše uvedených studií je třeba konstatovat, že naše práce se zabývá sice kontinuálním vývojem porostní transpirace, ale v poměrně krátké časové výšce 56 dní (v období od 1. 7. 2021 do 25. 8. 2021), proto trendy poklesu celkové transpirace od vrcholu vegetačního období k jejímu sklonku nelze jednoznačně dovodovat.

Zároveň je třeba konstatovat, že samotný počet jedinců (dvojnásobný ve smrkové tyčkovině – tj. 1800 ks/ha oproti 900 ks/ha v březové tyčkovině; resp. výčetní kruhová základna v březovém porostu na úrovni cca 63 % kruhové základny smrkového porostu) v této studii je u břízy kompenzován nejen výše uvedenými skutečnostmi, které ji předurčují k celkově vyšší porostní transpiraci i při nižším hektarovém počtu jedinců, ale i samotnou skutečností, že oproti smrku disponuje při stejné výčetní kruhové základně přibližně dvojnásobnou plochou bělového dřeva (sapwood) (BAUMGARTEN et al. 2019). To ve srovnání břízy tuhé a jedlovce kanadského (coby zástupce jehličnanů) potvrzují i DALEY et al. (2007).

Jestliže bříza je druhem, který intenzitu své transpirace nedokonale kontroluje regulací své stomatální vodivosti a kontrolou průduchů (DALEY, PHILLIPS 2006; SELLIN, LUBENETS 2010), je naopak smrk ztepilý dřevinou, která svoji transpiraci reguluje prostřednictvím kontroly průduchů (resp. stomatální konduktance) velmi efektivně, a to snižováním transpirace smrku ztepilého v případě zvýšeného poledního sytostního doplnku VPD (ZWEIFEL et al. 2002; GARTNER et al. 2009), ale i celkově v suchých obdobích s nedostatkem vody, resp. s nepříznivými vláhovými poměry (BAUMGARTEN et al. 2019). Nicméně i obecně vysoká efektivita kontroly transpirační ztráty u smrku ztepilého má své limity a smrk může v přímém srovnání s jinými, v této oblasti ještě efektivnějšími dřevinami vycházet hůře, jak dokazují poznatky práce URBAN et al. (2013) při srovnání smrku s douglaskou tisolistou (*Pseudotsuga menziesii* (Mír.) Franco) na retardaci radiálního přírůstu obou dřevin v obdobích slabších přírůstků.

Výše uvedené pak koresponduje s naším zjištěním nejen o celkově vyšší transpiraci porostu břízy, ale i o vyšším podílu transpirace břízy vzhledem k potenciálu evapotranspirace (PET) v porovnání se smrkem; ale na druhé straně také o těsnější korelaci mezi potenciálem evapotranspirace (PET) a porostní transpirací u smrku, který si svoji transpirační ztrátu prostřednictvím kontroly stomatální konduktance lépe kontroluje vzhledem k aktuální vyšší potenciálu evapotranspirace (PET). Popsané poznatky o nižší míře korelace mezi porostní transpirací břízy a potenciálem evapotranspirace dokládá skutečnost, že porostní transpirace březového porostu (byť zcela vzácně) v některých momentech překročila i samotný potenciál evapotranspirace, což je zcela v souladu s výsledky studie GARTNER et al. (2009). Na stranu druhou, GARTNER et al. (2009) je poněkud v rozporu především s poznatky BAUMGARTEN et al. (2019) (a v menší míře i s tvrzeními SELLIN, LUBENETS 2010), a to v otázce schopnosti břízy redukovat intenzitu porostní transpirace v suchých obdobích s výrazným nedostatkem vody. Protože zatímco ve studii BAUMGARTEN et al. (2019), jak bylo výše uvedeno, hovoří autoři u břízy v porovnání ke smrku ztepilému o poměrně konstantní úrovni porostní transpirace napříč obdobími s dobrým zásobením vodou a obdobími suchými; GARTNER et al. (2009) zjistili výrazný pokles transpirace v poměru vůči potenciálu evapotranspirace (PET) v obdobné míře jak u břízy bělokoré, tak i smrku ztepilého (a to tím více a těsněji, čím více v čase narůstala extremita suché periody). V naší studii podobná situace nebyla zaznamenána z toho důvodu, že v dané časové periodě nenastalo výrazné

snížení dostupnosti půdní vody (tj. výrazná suchá perioda). Toto tvrzení lze doložit i daty denních změn obvodu kmene, kde nebyla zaznamenána žádná stagnace kumulativního přírůstu (tj. pokles trendu kontinuálního nárůstu tohoto parametru), jenž může být použit jako indikátor stresu suchem (ZWEIFEL et al. 2005).

Rychlosti transpirace, jež je považována za vhodný parametr pro hodnocení vitality (JIA et al. 2002; CHRISTMANN et al. 2007), je také jedním z ukazatelů stresu suchem, který významně vitalitu ovlivňuje (LEE et al. 2019). Jak bylo uvedeno výše, je intenzita transpirace klíčovým parametrem především v okamžiku, kdy je vztahována vůči potenciálu evapotranspirace (PET), kdy její pokles v situaci vysokého PET indikuje nástup stresu suchem (GARTNER et al. 2009). V oblasti produkce dřevin je pak samotná intenzita transpirace často vztahována k objemovému přírůstu jako veličina water-use efficiency (WUE) (např. BAUMGARTEN et al. 2019), vyjadřující obecně poměr produkce biomasy vůči vytranspirované vodě (FORRESTER 2015). V naší studii byla předmětem zájmu intenzita transpirace z pohledu eko-fyziologického a vitalitního; přitom lze konstatovat (s přihlédnutím k limitům spočívající v kratší délce měření po dobu 56 dní v období od 1. 7. 2021 do 25. 8. 2021), že ve sledovaném období byl zaznamenán víceméně konstantní, druhově příslušný poměr transpirace vůči potenciálu transpirace (ET vs. PET) na sledovaných plochách, a nebyl tedy indikován předpoklad pro sníženou vitalitu jedné z dřevin z důvodu stresu suchem.

Přestože se v naší studii neprojevil stres suchem (z uvedeného důvodu dostatečného zásobení půdy vodou), na rozdíl zaznamenané v období sucha mezi transpirací mladých porostů břízy a smrku v jiných studiích má pravděpodobně velký vliv rozdílná stavba kořenového systému (GARTNER et al. 2009), kdy kořeny břízy zasahují do hlubších vrstev půdy (JONCZAK et al. 2020) a navíc dokáží prostor rhizosféry velmi efektivně obsadit (PRÉVOSTO, CURT 2004). Na rozdíl od smrku typického s laterálně se vyvíjejícím mělkým kořenovým systémem rozvinutým do plochy a rozloženým při povrchu (TASKINEN et al. 2003; TJOELKER et al. 2007; ČATER, SIMONČIČ 2010), který je citlivý na stres suchem a vůči dopadům globální změny klimatu (např. KÖLLING et al. 2009; CAMPIOLI et al. 2012; HANEWINKEL et al. 2011).

Poděkování:

Příspěvek vznikl na základě projektu TO01000345 „Plnění produkční a regulačních funkcí lesa v minulosti, současnosti a budoucnosti – co lze očekávat od lesních ekosystémů ovlivněných klimatickou změnou?“ [„Forest functions in the past, present and future from forests under climate change?“], podpořeného fondy EHP a TAČR v rámci Programu Kappa.

Děkujeme technikům Výzkumné stanice Opočno VÚLHM, v. v. i., za terénní práce a správu výzkumných ploch Nemojov a Křivina.

Příloha č. 1:

hodnoty fyzikálních konstant (obecně stanovené):

$\lambda = 2,45e6$; [J.kg⁻¹]..... tok latentního tepla výparu

$\gamma = 66$; [Pa.K⁻¹]..... psychrometrická konstanta

$\rho = 1,22$; [kg.m⁻³]..... měrná hmotnost vzduchu

$c_p = 1004$; [J.K⁻¹.kg⁻¹]..... měrná tepelná kapacita suchého vzduchu

aerodynamická konfigurace (na základě reálné výšky porostu):

$z = 10,2$ (bříza)/11.6 (smrk); [m]..... střední výška porostu

$z_d = 8$ (bříza)/9 (smrk); [m]..... nulová úroveň pro větrné pole

$z_0 = 1$; [m]..... drsnost porostu

odhadnuté proměnné a parametry:

albedo = 0,15; [W.m⁻²]..... míra odrazivosti povrchu

glim = 0,001; [m.s⁻¹]..... parametr maximální stomatální vodivosti

G = 0; [W.m⁻²]..... intenzita toku tepla do půdy

u = 1,5; [m/s]..... rychlost vzduchu

měřené proměnné:

T [°C]..... teplota vzduchu ve 2 m

Rh [%]..... relativní vlhkost vzduchu ve 2 m

Rg [W.m⁻²]..... globální radiace

SWP [MPa]..... půdní vodní potenciál

LITERATURA

- ALLEN R.G., PEREIRA L.S., RAES D., SMITH M. 1998. Crop evapotranspiration — guidelines for computing crop water requirements. Rome, FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations: 300 s. FAO Irrigation and drainage paper 56.
- AMMER C., BICKEL E., KÖLLING C. 2008. Converting Norway spruce stands with beech – a review of arguments and techniques. *Austrian Journal of Forest Science*, 125 (1): 3–26.
- BAUMGARTEN M., HESSE B.D., AUGUSTAITIENÉ I., MAROZAS V., MOZGERIS G., BYČENKIENÉ S., MORDAS G., PIVORAS A., PIVORAS G., JUONYTÉ D., ULEVIČIUS V., AUGUSTAITIS A., MATYSSEK R. 2019. Responses of species-specific sap flux, transpiration and water use efficiency of pine, spruce and birch trees to temporarily moderate dry periods in mixed forests at a dry and wet forest site in the hemi-boreal zone. *Journal of Agricultural Meteorology (Tokyo)*, 75 (1): 13–29. DOI: 10.2480/agrmet.D-18-00008
- BENS O., WAHL N.A., FISCHER H., HÜTTL R.F. 2007. Water infiltration and hydraulic conductivity in sandy cambisols: impacts of forest transformation on soil hydrological properties. *European Journal of Forest Research*, 126: 101–109. DOI: 10.1007/s10342-006-0133-7
- CAMPIOLI M., VINCKE C., JONARD M., KINT V., DEMARÉE G., PONETTE Q. 2012. Current status and predicted impact of climate change on forest production and biogeochemistry in the temperate oceanic European zone: review and prospects for Belgium as a case study. *Journal of Forest Research*, 17 (1): 1–18. DOI: 10.1007/s10310-011-0255-8
- CATOVSKY S., HOLBROOK N.M., BAZZAZ F.A. 2002. Coupling whole-tree transpiration and canopy photosynthesis in coniferous and broad-leaved tree species. *Canadian Journal of Forest Research*, 32: 295–309. DOI: 10.1139/x01-199
- ČATER M. 2010. Shoot morphology and leaf gas exchange of *Fagus sylvatica* as a function of light in Slovenian natural beech forests. *Dendrobiology*, 64: 3–11.
- ČATER M., SIMONČIČ P. 2010. Root distribution of under-planted European beech (*Fagus sylvatica* L.) below the canopy of a mature Norway spruce stand as a function of light. *European Journal of Forest Research*, 129: 531–539. DOI: 10.1007/s10342-009-0352-9
- ČATER M., LEVANIČ T. 2013. Response of *Fagus sylvatica* L., and *Abies alba* L. in different silvicultural systems of high Dinaric karst. *Forest Ecology and Management*, 289: 278–288. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.10.021

- ČERMÁK J., DEML M. 1974. Method of water transport measurements in woody species, especially in adult trees (in Czech). Pat. (Certification authorship) CSFR, No. 155622.
- ČERMÁK J., KUČERA J. 1990. Scaling up transpiration data between trees, stands and watersheds. *Silva Carelica*, 15: 101–120.
- ČERMÁK J., KUČERA J., NADEZHINA N. 2004. Sap flow measurements with some thermodynamic methods, flow iteration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands. *Trees – Structure and Function*, 18: 529–546. DOI: 10.1007/s00468-004-0339-6
- DADSON S.J., HALL J.W., MURGATROYD A., ACREMAN M., BATES P., BEVEN K., HEATHWAITE L., HOLDEN J., HOLMAN I.P., LANE S.N., O'CONNELL E., PENNING-ROUSELL E., REYNARD N., SEAR D., THORNE C., WILBY R. 2017. A restatement of the natural science evidence concerning catchment-based “natural” flood management in the UK. *Proceedings of the Royal Society A*, 473: 20160706.
- DALEY M.J., PHILLIPS N.G. 2006. Interspecific variation in nighttime transpiration and stomatal conductance in a mixed New England deciduous forest. *Tree Physiology*, 26, 411–419. DOI: 10.1093/treephys/26.4.411
- DALEY M.J., PHILLIPS N.G., PETTIJOHN C., HADLEY J.L. 2007. Water use by eastern hemlock (*Tsuga canadensis*) and black birch (*Betula lenta*): implications of effects of the hemlock woolly adelgid. *Canadian Journal of Forest Research*, 37: 2031–2040. DOI:10.1139/X07-045
- DIXON S.J., SEAR D.A., ODONI N.A., SYKES T., LANE S.N. 2016. The effects of river restoration on catchment scale flood risk and flood hydrology. *Earth Surfaces Processes and Landforms*, 41: 997–1008. DOI: 10.1002/esp.3919
- EMS Brno 2015. Sap Flow System EMS 81 – user's manual. 2. issue. Brno, EMS: 29 s. Dostupné na/Available on: http://www.emsbrno.cz/r.axd/pdf_v_EMS81__usermanual_u_pdf.jpg?ver=
- FAY E.H., LAVOIE C. 2009. The impact of birch seedlings on evapotranspiration from a mined peatland: an experimental study in southern Quebec, Canada. *Mires and Peat*, 5.
- FORRESTER D.I. 2015. Transpiration and water-use efficiency in mixed-species forests versus monocultures: effects of tree size, stand density and season. *Tree Physiology*, 35 (3): 289–304. DOI: 10.1093/treephys/tpv011
- GARTNER K., NADEZHINA N., ENGLISCH M., ČERMÁK J., LEITGEB E. 2009. Sap flow of birch and Norway spruce during the European heat and drought in summer 2003. *Forest Ecology and Management*, 258 (5): 590–599. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.04.028.
- GENUCHTEN M.T.H. VAN 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44 (5): 892–898.
- GERIS J., TETZLAFF D., McDONNELL J., SOULSBY C. 2015. The relative role of soil type and tree cover on water storage and transmission in northern headwater catchments. *Hydrological Processes*, 29: 1844–1860. DOI: 10.1002/hyp.10289.
- GRECO S., BALDOCCHI D.D. 1996. Seasonal variations of CO₂ and water vapour exchange rates over a temperate deciduous forest. *Global Change Biology*, 2: 183–197. DOI: 10.1111/j.1365-2486.1996.tb00071.x
- HANEWINKEL M., HUMMEL S., ALBRECHT A. 2011. Assessing natural hazards in forestry for risk management: a review. *European Journal of Forest Research*, 130: 329–351. DOI: 10.1007/s10342-010-0392-1
- HERING S., IRRGANG S. 2005. Conversion of substitute tree species stands and pure spruce stands in the Ore Mountains in Saxony. *Journal of Forest Science*, 51: 519–525.
- HINCKLEY T.M., LASOIE J.P., RUNNING S.W. 1978. Temporal and spatial variations in the water status of forest trees. *Forest Science*, 24. (suppl. 1): a0001–z0001. <https://doi.org/10.1093/forestsience/24.s1.a0001>
- CHRISTMANN A., WEILER E.W., STEUDLE E., GRILL E. 2007. A hydraulic signal in root-to-shoot signalling of water shortage. *Plant Journal*, 52 (1):167–174. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2007.03234.x
- JARČUŠKA B., BARNA M. 2011. Plasticity in above-ground biomass allocation in *Fagus sylvatica* L. saplings in response to light availability. *Annals of Forest Research*, 54 (2): 151–160. DOI:10.15287/afr.2011.86
- JIA W., WANG Y., ZHANG S., ZHANG J. 2002. Salt-stress-induced ABA accumulation is more sensitively triggered in roots than in shoots. *Journal of Experimental Botany*, 53 (378): 2201–2206. DOI: 10.1093/jxb/erf079
- JONCZAK J., JANKIEWICZ U., KONDRAS M., KRUCZKOWSKA B., OKTABA L., OKTABA J., OLEJNICZAK I., PAWŁOWICZ E., POLLÁKOVÁ N., RAAB T., REGULSKA E., SŁOWIŃSKA S., SUT-LOHMANN M. 2020. The influence of birch trees (*Betula* spp.) on soil environment – A review. *Forest Ecology and Management*, 477: 118486. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118486
- KERR G., MORGAN G., BLYTH J., STOKES V. 2010. Transformation from even-aged plantations to an irregular forest: the world's longest running trial area at Glentrees, Scotland. *Forestry*, 83 (3): 329–344.
- KÖLLING C., KNOKE T., SCHALL P., AMMER C. 2009. Überlegungen zum Risiko des Fichtenanbaus in Deutschland vor dem Hintergrund des Klimawandels. *Forstarchiv*, 80: 42–54.
- KUČERA J., ČERMÁK J., PENKA M. 1977. Improved thermal method of continual recording the transpiration flow rate dynamics. *Biologia Plantarum*, 19 (6): 413–420.
- KUČERA J., BRITO P., JIMÉNEZ M.S., URBAN J. 2017. Direct Penman–Monteith parameterization for estimating stomatal conductance and modeling sap flow. *Trees*, 31: 873–885. DOI: 10.1007/s00468-016-1513-3
- LEE A.-Y., KIM S.Y., HONG S.J., HAN Y.-H., CHOI Y., KIM M., YUN S.K., KIM G. 2019. Phenotypic analysis of fruit crops water stress using infrared thermal imaging. *Journal of Biosystems Engineering*, 24 (1): 477–478. DOI: 10.1007/s42853-019-00020-2
- LEUGNER J. et al. 2021. Optimalizace pěstebních postupů pro adaptaci lesních ekosystémů na klimatickou změnu. Redakčně upravená výroční zpráva o řešení projektu NAZV QK21020307 v roce 2021. Opočno, VÚLHM – Výzkumná stanice: 39 s.
- LÖF M., BERGQUIST J., BRUNET J., KARLSSON M., WELANDER T. 2010. Conversion of Norway spruce stands to broadleaved woodland – regeneration systems, fencing and performance of planted seedlings. *Ecological Bulletins*, 53: 165–173.
- MALCOLM D.C., MASON W.L., CLARKE G.C. 2001. The transformation of conifer forests in Britain - regeneration, gap size and silvicultural systems. *Forest Ecology and Management*, 151: 7 –23. DOI: 10.1016/S0378-1127(00)00692-7
- MARSHALL M.R., BALLARD C.E., FROGBROOK Z., SOLLOWAY I., MCINTYRE N., REYNOLDS B., WHEATER H.S. 2013. The impact of

- rural land management changes on soil hydraulic properties and runoff processes: results from experimental plots in upland UK. *Hydrological Processes*, 28: 2617–2629. DOI: 10.1002/hyp.9826
- MARTINÍK A. 2019. Uplatnění břízy (*Betula pendula* Roth) a osiky (*Populus tremula* L.) při obnově a tvorbě lesa po disturbancích: příkladová studie z chlumních oblastí Moravy. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce: 136 s.
- MONTEITH J.L. 1965. Evaporation and environment. *Symposia of the Society for Experimental Biology*, 19: 205–234.
- NILSSON C. 2008. Windstorms in Sweden – variations and impacts. Ph.D. thesis. Dept. of Physical Geography and Ecosystem Science, Lund University: 180 s.
- NYKÄNEN M-L., BROADGATE M., KELLOMÄKI S., PELTOLA H., QUINE CH. 1997. Factors affecting snow damage of trees with particular reference to European conditions. *Silva Fennica*, 31 (2): 5618. DOI: 10.14214/sf.a8519
- OLTCEV A., ČERMAK J., NADEZHINA N., TATARINOV F., TISHENKO A., IBROM A., GRAVENHORST G. 2002a. Transpiration of a mixed forest stand: field measurements and simulation using SVAT models. *Boreal Environment Research*, 7: 389–397.
- OLTCEV A., ČERMAK J., GURTZ J., TISHENKO A., KIELY G., NADEZHINA N., ZAPPA M., LEBEDEVA N., VITVAR T., ALBERTSON J.D., TATARINOV F., TISHENKO D., NADEZHIN V., KOZLOV B., IBROM A., VYGODSKAYA N., GRAVENHORST G. 2002b. The response of water fluxes of the boreal region at the Volga's source area to climatic and land use changes. *Physics and Chemistry of the Earth*, 27: 675–690. DOI: 10.1016/S1474-7065(02)00052-9
- OREN R., ZIMMERMANN R., TERBORGH J. 1996. Transpiration in upper Amazonia floodplain and upland forests in response to drought breaking rains. *Ecology*, 77: 968–973. <https://doi.org/10.2307/2265517>
- PATAKI D.E., OREN R., SMITH W.K. 2000. Sap flux of co-occurring species in a western subalpine forest during seasonal soil drought. *Ecology*, 81 (9): 2557–2566. DOI: 10.1890/0012-9658(2000)081[2557:SFOCOS]2.0.CO;2
- PODRÁZSKÝ V., KUPKA I. 2011. Vliv douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii*/Mirb./Franco) na základní pedofyzikální charakteristiky lesních půd. *Zprávy lesnického výzkumu*, 56, Special Issue: 1–5.
- POKORNÝ J., BROM J., ČERMÁK J., HESSLEROVÁ P., HURYNA H., NADEZHINA N., REJŠKOVÁ A. 2010. Solar energy dissipation and temperature control by water and plants. *International Journal of Water*, 5 (4): 311–336. <https://doi.org/10.1504/IJW.2010.038726>
- PRÉVOSTO B., CURT T. 2004. Dimensional relationships of naturally established European beech trees beneath Scots pine and Silver birch canopy. *Forest Ecology and Management*, 194: 335–348. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.02.020
- SABATER A.M., WARD H.C., HILL T.C., GORNALL J.L., WADE T.J., EVANS J.G., PRIETO-BLANCO A., DISNEY M., PHOENIX G.K., WILLIAMS M., HUNTLEY B., BAXTER R., MENCUCINI M., POYATOS R. 2020. Transpiration from subarctic deciduous woodlands: Environmental controls and contribution to ecosystem evapotranspiration. *Ecohydrology*, 13 (3): e2190. DOI: 10.1002/eco.2190
- SELLIN A., LUBENETS K. 2010. Variation of transpiration within a canopy of silver birch: effect of canopy position and daily versus nightly water loss. *Ecohydrology*, 3 (4): 467–477. DOI: 10.1002/eco.133
- SELLIN A., EENSALU E., NIGLAS A. 2010. Is distribution of hydraulic constraints within tree crowns reflected in photosynthetic water-use efficiency? An example of *Betula pendula*. *Ecological Research*, 25: 173–183. DOI: 10.1007/s11284-009-0641-2
- SHUTTLEWORTH W.J. 1988. Evaporation from Amazonian rainforest. *Proceedings of the Royal Society London B*, 233: 321–346.
- SKUHRAVÝ V. 2002. Lýkožrout smrkový (*Ips typographus* L.) a jeho kalamity. Praha, Agrospoj: 196 s.
- TASKINEN O., ILVESNIEMI H., KUULUVAINEN T., LEINONEN K. 2003. Response of fine roots to an experimental gap in a boreal *Picea abies* forest. *Plant and Soil*, 255: 503–512.
- THOMPSON S.E., HARMAN C.J., HEINE P., KATUL G.G. 2010. Vegetation-infiltration relationships across climatic and soil type gradients. *Journal of Geophysical Research*, 115: G02023. DOI: 10.1029/2009JG001134
- TJOELKER M.G., BORATYŃSKI A., BUGAŁA W. 2007. Biology and ecology of Norway spruce. Dordrecht, Springer: 469 s.
- URBAN J., HOLUŠOVÁ K., MENŠÍK L., ČERMÁK J., KANTOR P. 2013. Tree allometry of Douglas fir and Norway spruce on a nutrient-poor and a nutrient-rich site. *Trees*, 27: 97–110. DOI: 10.1007/s00468-012-0771-y
- VALINGER E., FRIDMAN J. 1999. Models to assess the risk of snow and wind damage in pine, spruce, and birch forests in Sweden. *Environmental Management*, 24 (2): 209–217. DOI: 10.1007/s002679900227
- WOLTON R., POLLARD K., GOODWIN A., NORTON L. 2014. Regulatory services delivered by hedges: the evidence base. Report of Defra project LM0106. [online] [cit. 2017-03-01]. Dostupné na/ Available on: http://sciencesearch.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=12096_LM0106_final_report.pdf
- WOODWARD C., SHULMEISTER J., LARSEN J., JACOBSEN G.E., ZAWADZKI A. 2014. The hydrological legacy of deforestation on global wetlands. *Science*, 346: 844–847. DOI:10.1126/science.1260510
- ZWEIFEL R., BÖHM J.P., HÄSLER R. 2002. Midday stomatal closure in Norway spruce – reactions in the upper and lower crown. *Tree Physiology*, 22 (15/16): 1125–1136. DOI: 10.1093/treephys/22.15-16.1125
- ZWEIFEL R., ZIMMERMANN L., NEWBERY D. 2005. Modeling tree water deficit from microclimate: an approach to quantifying drought stress. *Tree Physiology*, 25: 147–156. DOI: 10.1093/treephys/25.2.147

TRANSPIRATION INTENSITY OF SILVER BIRCH PREPARATORY STAND (*BETULA PENDULA* ROTH) COMPARED TO A HOMOGENEOUS AND EVEN-AGE NORWAY SPRUCE STAND (*PICEA ABIES* (L.) KARST.) IN THE POLE STAND GROWING STAGE

SUMMARY

Especially after recent large-scale forest disturbances of formerly introduced intensively managed monocultures, mainly of Norway spruce, the importance of preparatory forest stands of pioneer tree species is continually increasing. This is due to the fact that pioneer deciduous trees like birch spontaneously and vigorously regenerate on clear-cuts, and their utilization as ecological cover for the introduction of target tree species is highly suitable and advantageous for many reasons. Among the main effects are the ability to mitigate extreme temperatures in forest stands, changes in soil hydraulic conductivity, increased infiltration, reduced surface runoff, and increased soil porosity and aeration, among others. The birch species (*Betula* spp.) itself has been proven to significantly influence and alter the hydrological regime, demonstrating a strong hydro-climatic effect, especially on extreme or anthropogenically influenced sites.

The aim of our study was to compare the effects of two different forest types at the pole stand growing stage concerning their transpiration during the peak of growing season: a pure, artificially established even-aged Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) pole stand, representing clear-felling intensive management under moderate tending intensity (1,800 trees/ha), and a pure, naturally established silver birch (*Betula pendula* Roth) preparatory pole stand under an intensive tending regime (900 trees/ha), preparing the forest stand for the future reintroduction of target tree species.

The selection of the specific research plots aimed to achieve the highest possible similarity and mutual comparability of factors such as site conditions (elevation, forest site type, annual precipitation etc.), and the age of the forest stands, which were both approximately 15 years old (the pure Norway spruce stand was artificially established in 2006, while the silver birch preparatory stand was regenerated naturally after 2007). Main characteristics of both forest stands are presented in Table 1.

On both sites, continuous measurements of soil water content (SWC) were taken on open areas adjacent to the target stands, as well as basic meteorological parameters: global radiation (R_g), air temperature (T), and relative humidity (R_h) at heights of 2 and 0.3 m above the soil surface, and soil moisture at depths of 20 cm (Křivina area) or within the range of 15–30 cm (Nemojov area). The thermal balance method was used to monitor the sap flow.

The total precipitation on the open areas was 194 mm for the Nemojov area (silver birch preparatory stand) and 219 mm for the Křivina area (Norway spruce pole stand) over a 56-day period, and potential of evapotranspiration (PET) of both sites was with no significant difference (Fig. 1). Meanwhile, the cumulative transpiration was 127 mm for the silver birch stand and 90 mm for the Norway spruce stand and its daily rate was significantly different between both forest types (Fig.1) and was generally over 1.4 times higher in silver birch preparatory pole stand.

When transpiration was correlated to the potential of transpiration (PET) for particular sites, it was found that the portion was over 71% for silver birch and 42% for Norway spruce stand, respectively, and was significantly higher in silver birch preparatory pole stand (see Fig. 2, 3 and 4). Significant correlations between transpiration and potential evapotranspiration were established for both forest types, with this relationship being more distinct for the Norway spruce stand, indicating that its transpiration rate is more controlled by spruce.

Although the birch stand exhibited half the number of individuals per unit area compared to the spruce stand, its transpiration was significantly higher, as was the proportion of birch transpiration compared to potential evapotranspiration (PET) when compared to spruce (see Fig. 4). This is general feature of broadleaves that is especially typical for silver birch based on the high portion of sapwood and on its pioneer growth strategy. However, on the other hand, a closer correlation between potential evapotranspiration (PET) and stand transpiration was found for Norway spruce, which better regulated its transpiration loss through stomatal conductance concerning the current potential evapotranspiration (PET). Furthermore, our study suggests that there was no significant reduction in soil water availability during the given time period – i.e. there was no pronounced drought stress period, as evidenced also by the absence of any stagnation of cumulative circumference increment that can be used as a drought stress indicator, as well.

Zasláno/Received: 26. 09. 2023

Přijato do tisku/Accepted: 06. 10. 2023