ROZDÍLNÝ PRŮBĚH TEPLOT NA VRCHNÍ A SPODNÍ STRANĚ JEHLIČÍ VÝHONŮ SAZENIC JEDLE V JARNÍM OBDOBÍ

DIFFERENT RUN OF TEMPERATURE ON UPPER AND LOWER SIDE OF SHOOTS OF EUROPEAN FIR SEEDLINGS IN SPRING

Ondřej Špulák

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno, Na Olivě 550, CZ - 517 73 Opočno

🖾 e-mail: spulak@vulhmop.cz

ABSTRACT

The paper aims to evaluate the temperature dynamics of upper and lower side of shoots of European fir seedlings during spring. Calibrated miniature thermocouples were stuck to the upper and lower surface of needles on shoots of six young firs ca 45 cm in height (i.e. six replications). Two sunny periods with frosts and one overcast period with rain were evaluated. Temperatures were recorded every minute. Data were evaluated in relation to air and soil temperatures, global radiation, wind speed and precipitation recorded every hour. In sunny days, temperatures of upper side of shoots were higher compared to lower side, with maximum difference in about 11 a.m. During cloudless nights, temperatures of lower side of shoots were higher. Afternoon and night temperatures of the lower side of shoots in clear days were increased by convection from soil surface. In cloudy days with rain, the temperature differences during day and night were insignificant. Wind decreased temperature differences in daily and night hours.

Klíčová slova: povrchová teplota, výhony, jehličí, ohřev, vedení, proudění tepla, záření, mráz

Key words: surface temperature, shoots, needles, heating, conduction, convection, radiation, frost

ÚVOD

Sluneční záření je významný přímý zdroj tepla ovlivňující teplotní bilanci, ale i další parametry prostředí (vlhkost, pohyb vzduchu apod.). Záření dopadající na povrch listu je z části odraženo, částečně absorbováno a část prochází listem. Vzájemný poměr těchto složek je dán strukturou povrchu, vnitřní strukturou listu a radiačními vlastnostmi hlavních listových pigmentů, hlavně chlorofylu a karotenoidů (OKE 1987). Ze sluneční energie absorbované listem je pro fotosyntézu využíváno méně než 20%, její největší část je přeměněna na teplo (RIT-CHIE, LANDIS 2005). Dalšími podstatnými parametry ovlivňujícími výslednou teplotu listu jsou fyzikální vlastnosti vzduchu – jeho teplota, proudění a vlhkost (OKE 1987).

Teplota je základní klíč k porozumění toku energií v biosféře (LEE 1978). Pro rostliny je tepelná energie jedním ze základních předpokladů života. Intenzita přeměny slunečního záření listy na teplo (LEU-ZINGER, KRÖNER 2007) i tolerance rostlin k teplotním extrémům je druhově specifická (např. НАМЕRLYNCK, KNAPP 1994; ROBAKOWSKI 2005; GODOY et al. 2011), citlivost rostlinných pletiv se v průběhu roku mění (GLERUM 1985).

Rostliny se pomocí adaptačních mechanismů přizpůsobují fyzikálním vlastnostem přirozeného prostředí a jsou schopny účinně regulovat vnitřní teplotu fotosyntetizujících listů. Teplotní bilanci ovlivňují biofyzikální procesy spojené se stomatální vodivostí, transpirací a fotosyntézou, díky kterým je průměrná teplota listu nepatrně nižší než je teplota prostředí, s výjimkou podmínek vysoké vzdušné vlhkosti (JACKSON et al. 1981). Mezi další mechanismy teplotní bilance patří mj. velikost a tloušťka, postavení a orientace listů (jehlic), jejich vzájemný překryv a stínění (AUSSENAC 2000; ROBAKOWSKI et al. 2003). Teplota listů může být odhadnuta na základě bilanční rovnice, která započítává energii vstupující do listu a vystupující z něho (DEAR-DORFF 1978). Povrch listu je primárně ohříván přeměnou absorbovaného slunečního záření na teplo; teplo je dál v rámci listu šířeno vedením, mimo list pomocí proudění a laminárního vedení.

Dosavadní výzkumné práce sledující teplotu listů a porostu se většinou soustředily na aplikaci bezkontaktního infračerveného měření, často v souvislosti s hodnocením vodního stresu (např. REMORINI, MASSAI 2003; UDOMPETAIKUL et al. 2011). Nevýhodou univerzálních infračervených teploměrů je nižší přesnost měření, která běžně dosahuje ±1 °C, u špičkových přístrojů pak až ±0,75 °C při přesném nastavení emisivity měřeného povrchu; kontinuální měření je technicky náročné a nemožné při záporných teplotách. Použití kontaktních miniaturních termočlánkových senzorů v kombinaci s kvalitními záznamníky nabízí významné zvýšení přesnosti měření (HIC-KLENTON, HEINS 1997), odpadají také další zmiňované nevýhody bezkontaktních teploměrů. Umožňují efektivněji provádět detailní šetření, např. šíření tepla v rámci listů a výhonů, na kterém se podílí kombinace vnějších i vnitřních faktorů. Zpřesnění znalostí této problematiky může napomoci bližšímu porozumění souvislostem toku energií v porostu. V průběhu jara mohou být i minimální teplotní rozdíly podstatné např. pro výskyt poškození rašících výhonů pozdními mrazy.

Cílem příspěvku je na příkladu dvou období s jasnými dny a výraznými nočními mrazíky a období s vysokou oblačností a deštěm vyhodnotit a popsat teplotní dynamiku povrchu vrchní a spodní strany jehličí výhonů sazenic jedle bělokoré během jara.

METODIKA

Pokus sledování teplotních rozdílů mezi vrchní a spodní stranou jehličí výhonů jedle bělokoré se uskutečnil na přelomu února a března 2011 v pokusné školce areálu Výzkumné stanice Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., v Opočně.

Pro měření byly vybrány šestileté sazenice jedle o průměrné výšce cca 45 cm, vysazené ve sponu 40 × 60 cm, povrch půdy byl bez vegetace. Teploty byly měřeny pomocí digitálních teploměrů GMH 3250 (výrobce Greisinger) s vysokou přesností měření (0,03 % MV \pm 0,05 % FS) a interní pamětí, osazených dvěma teplotními čidly GTF 300 na principu termočlánku typu K. Měřicí prvek těchto čidel je subtilní, cca 4,5 mm dlouhý a 0,2 mm široký, s maximální rychlostí odezvy (0,3 s) a měřicím rozsahem -65 až 300 °C. Měřicí systémy (teploměr s čidly) byly kalibrovány trojbodovou kalibrací (-20 °C, 1 °C a 25 °C).

Měřicí prvek obou čidel byl v náhodném pořadí pomocí čirého silikonového tmelu přilepen na povrch vrchní nebo spodní strany jehličí na jednoletých výhonech (ve dvou třetinách jejich délky) přibližně na jižní straně horní části korunky prosperujících jedlí (cca 35 cm nad zemí). Měření probíhalo na 6 jedincích jedle, tzn. vrchní i spodní strana výhonů byla zastoupena v 6 opakováních. Z důvodu minimalizace vlivu drátkového vedení senzorů nebylo spodní a vrchní čidlo umístěno na shodných výhonech. Pro detailní zachycení průběhu teplot byl nastaven minutový interval odečtu hodnot, měření probíhalo ve středoevropském zimním čase. Vzhledem k odlišným materiálovým vlastnostem a biofyzikálním procesům v jehličí se mohou vyskytovat určité rozdíly mezi teplotou povrchu jehličí a teplotou snímanou. Díky minimálním rozměrům čidel však tyto rozdíly nebudou výrazné. Vyšší albedo senzoru oproti albedu jehličí pak může při dopadu přímého slunečního záření částečně kompenzovat ochlazování povrchu jehlic respirací.

K popisu meteorologických podmínek byla využita data z automatické meteorologické stanice (NOEL 2000, výrobce Ing. Libor Daneš (ČR)), vzdálené od pokusu asi 10 m, monitorující teplotu vzduchu (teplomě-ry typu Pt 100, výrobce Dorfi (ČR); °C), rychlost větru (anemometr W2, výrobce J. Tlusťák (ČR); m.s⁻¹) a globální radiaci (pyranometr SG005, výrobce J. Tlusťák; jako energii záření ve W.m⁻²) ve výšce 2 m nad zemí, teplotu půdy v hloubce cca 20 cm pod povrchem (teplomě-ry typu Pt 100, výrobce Dorfi; °C) a srážky (srážkoměr SR1, výrobce J. Tlusťák; mm), vše v hodinových intervalech.

První sledovanou periodou bylo období jasných dní s poklesem teplot pod bod mrazu a zvyšující se denní teplotou od 25. 2. do 1. 3. 2011. Druhou monitorovanou periodou bylo období s vysokou oblačností a deštěm od 16. do 18. 3. 2011. Třetí perioda zahrnovala jasné dny s nočními mrazíky v období od 21. do 25. 3. 2011.

Data jednotlivých teplotních čidel byla transformována pomocí kalibračních křivek a následně byl vypočten v jednotlivých termínech měření (tzn. minutách) průměr teplot za jednotlivé polohy (vrchní a spodní stranu výhonů). Hodnoceno bylo rozložení teplotních rozdílů mezi vrchní a spodní stranou jehličí výhonů v hodinových intervalech (tzn. zahrnuto vždy 60 minutových měření) v závislosti na vývoji teploty vzduchu, globální radiaci a rychlosti větru ve výšce 2 m nad zemí, teplotě půdy a srážkách.



Obr. 1.

Rozložení rozdílů průměrných teplot povrchů vrchní a spodní strany výhonů sazenic jedle v jednotlivých hodinách (měřeno v minutových intervalech; krabicové grafy) a průběh teploty vzduchu, rychlosti větru a globální radiace ve výšce 2 m nad zemí (měřeno v hodinových intervalech) za období jasných dní s mrazy od 25. 2. do 1. 3. 2011. Pozn.: kladný rozdíl teplot znamená vyšší teplotu povrchu vrchní strany výhonu **Fig. 1.**

Distribution of mean temperature differences between upper and lower surfaces of fir shoots in individual hours (measured every minute; box plots) and air temperature, wind speed and global radiation 2 m above ground (measured every hour) in the period of clear days with frosts from 25 February to 1 March 2011. Note: positive difference of temperatures shows higher temperature of upper side of the shoot

VÝSLEDKY

1. perioda - jasné dny s mrazovými teplotami od 25. 2. do 1. 3. 2011

Počátkem první sledované periody denní minimální teploty ve výšce 2 m nad zemí klesly až na hodnoty okolo -4 °C. Díky relativně vysoké intenzitě slunečního záření (až 533 W.m⁻²) docházelo ve sledovaných dnech k postupnému zvyšování denních maximálních teplot (obr. 1). Teplota půdy byla v celém sledovaném období prakticky konstantní (v noci z 25. na 26. 2 poklesla z 2,6 °C na 2,5 °C a do konce sledovaného období se nezměnila). Rychlost větru dosahovala maximálně 3,8 m.s⁻¹ s průměrem 0,8 m.s⁻¹. V nočních hodinách, s výjimkou noci z 26. na 27. 2., bylo pozorováno bezvětří nebo vítr do rychlosti vánku. Noci byly jasné, jak lze pozorovat z výrazného poklesu teplot – výskytu mrazových teplot vzduchu v průběhu každé z monitorovaných nocí (obr. 1).

Rozdíly teplot vrchní a spodní strany jehličí výhonu jedle byly výraznější a s větším rozptylem hodnot v denních než nočních hodinách. Přes den byly vyšší teploty vrchní strany výhonů, nejvyšší průměrné rozdíly za jednotlivé hodiny oproti teplotě strany spodní byly pozorovány v 11 hodin (až 2,5 °C). V noci byly pozorovány vyšší teploty na spodní straně výhonů, průměrné rozdíly v jednotlivých hodinách se pohybovaly do 0,5 °C, s maximem před východem slunce (obr. 1).

2. perioda - zatažené dny s deštěm od 16. do 18. 3. 2011

V průběhu druhé periody byla globální radiace díky zatažené obloze výrazně omezena (maximum 106 W.m⁻²), teploty vzduchu postupně

klesaly (obr. 2). Půda měla v průměru 7,6 °C, teplota půdy se zvyšovala (z 6,8 °C na 8,0 °C). Hodinový úhrn srážek dosahoval maximálně 1,4 mm, mezi srážkami bylo až 9 hodin bez deště. Rychlost větru dosahovala maximálně 3,4 m.s⁻¹ s průměrem 0,8 m.s⁻¹.

Průměrná teplota povrchu jehličí vrchní strany výhonů v jednotlivých hodinách byla oproti spodní straně v průběhu celé sledované periody mírně vyšší (až o 0,2 °C), rozdíly v rozložení hodnot mezi denní a noční dobou byly nepatrné (obr. 2).

3. perioda - jasné dny s nočními mrazíky od 21. do 25. 3. 2011

Na průběhu teplot třetí monitorované periody se projevila vysoká intenzita globální radiace (až 586 W.m⁻²). Denní maximální i minimální teploty se tak postupně zvyšovaly, přízemní mrazíky se vyskytovaly pouze v průběhu prvních třech monitorovaných nocí (obr. 3). Teplota půdy za sledovanou periodu rostla, její průměrná teplota dosahovala 6,8 °C (s minimem 6,0 °C a maximem 7,6 °C). Rychlost větru dosahovala maximálně 4,4 m.s⁻¹, jednalo se o výjimečnou hodnotu, druhá nejvyšší naměřená rychlost byla 3,1 m.s⁻¹ a průměr 0,7 m.s⁻¹. V nočních hodinách vítr dosahoval maximálně rychlosti vánku (obr. 3).

Teplota povrchu vrchní a spodní strany výhonů jedle vykazovala významně odlišný průběh v denním a nočním čase. Vyšších průměrných teplot v dopoledních hodinách dosahovala vrchní strana výhonů, nejvyšší průměrné rozdíly za jednotlivé hodiny byly pozorovány okolo 11 hodiny (až 1,6 °C). Rozptyl hodnot byl však významný, i přes den se v jednotlivých termínech měření vyskytovaly vyšší teploty na spodní straně výhonů. Ve večerních a nočních hodinách byla vyšší teplota na spodní straně výhonů, nejvyšší průměrný rozdíl teplot za jednotli-



Obr. 2.

Rozložení rozdílů průměrných teplot povrchů vrchní a spodní strany výhonů sazenic jedle v jednotlivých hodinách (měřeno v minutových intervalech; krabicové grafy), průběh teploty vzduchu, rychlosti větru a globální radiace ve výšce 2 m nad zemí (měřeno v hodinových intervalech) a průběh hodinových srážek za zatažené období s deštěm od 16. do 18. 3. 2011. Vysvětlivky viz obr. 1 **Fig. 2.**

Distribution of mean temperature differences between upper and lower surfaces of fir shoots in individual hours (measured every minute; box plots), air temperature, wind speed and global radiation 2 m above ground (measured every hour) and hourly precipitation in the period of overcast days from 16 to 18 March 2011. For notes see Fig. 1

vé hodiny byl pozorován kolem západu slunce mezi 17. a 19. hodinou (až 1,6 °C). Rozptyl hodnot v noci byl významně menší.

DISKUSE

Čidla na vrchní straně výhonů byla přes rozdílné albedo a absenci biofyzikálních pochodů shodně s povrchem jehličí vystavena přímému slunečnímu záření, tedy intenzívní přeměně sluneční energie na teplo. Na spodní stranu se teplo šíří vedením, případně též prouděním, dochází tedy oproti vrchní straně k časové prodlevě i tepelným ztrátám. K souběhu teploty povrchu a teploty vzduchu dochází jen za určitých situací. Například MARTIN et al. (1999) sledoval teplotu jehličí jedle (*Abies amabilis*) rostoucí na holině v porovnání s teplotou vzduchu. Zjistil, že za sledovanou letní periodu v 10% denních hodin byla teplota jehličí vyšší o 2 °C a více oproti teplotě vzduchu, maximální rozdíl byl 6 °C.

V našem pokusu byly největší rozdíly teplot vrchní a spodní strany výhonů v obou slunečných periodách pozorovány před polednem, a to i přesto, že teplota vzduchu dále narůstala až do odpoledních hodin. Vzhledem k tomu, že se jedná o průměrné hodnoty z šesti opakování, jsou vyloučeny extrémy způsobené případně nereprezentativně volenou polohou čidel. Lze předpokládat, že se v té době začalo výrazněji projevovat teplo naakumulované povrchem půdy. Přízemní teploty oproti teplotám ve vyšších vrstvách vzduchu běžně vykazují vyšší teplotní amplitudy vlivem ohřevu a ochlazování povrchu půdy (GEIGER 1950; HASHIMOTO, SUZUKI 2004). Mezi jednotlivými prvky biosféry dochází ke stálé výměně dlouhovlnného tepelného záření (LEE 1978); v této situaci tepelné vyzařování povrchu půdy navyšovalo teplotu spodní strany výhonů.

Vlivu tepla z půdy odpovídá také skutečnost, že ve druhé slunečné periodě s vyšší teplotou půdy (průměrně 6,8 °C) byla teplota spodní strany výhonů vyšší než strany vrchní již v těsně popoledních hodinách, zatímco v první periodě (s nižší průměrnou teplotou půdy, 2,6 °C) k tomu došlo až před západem slunce. Tepelný tok z půdy závisí na charakteru povrchu půdy. Obnažený povrch, jako v případě našeho experimentu, je dobrý tepelný vodič v porovnání s půdou porostlou vegetací nebo pokrytou vrstvou humusu (LANGVALL 2000; LÖF et al. 2012).

V nočních hodinách je ztráta energie vyzařováním za normálních podmínek větší než teplo získané z rosy, nebo které je využito pro evapotranspiraci (OKE 1987). Vliv tepla povrchu půdy v noci, doplňující bilanci ztráty tepla tepelným vyzařováním, lze v naší studii pozorovat při porovnání rozdílů teplot mezi vrchní a spodní stranou jehličí výhonů v obou jasných periodách. V nočních hodinách v periodě s vyšší teplotou půdy (od 21. 3., obr. 3) byly rozdíly teplot mezi vrchní a spodní stranou jehličí vyšší než v předchozí jasné periodě (od 25. 2., obr. 1). Naproti tomu déšť a vysoká vzdušná vlhkost ve sledovaných deštivých dnech (od 16. 3., obr. 2) vyrovnaly rozdíly teplot mezi povrchem půdy a vzduchem, efekt dodání tepla od povrchu půdy se tak nemohl projevit.

Faktorem homogenizujícím teplotní poměry prostředí je vítr (MAR-TIN et al. 1999), jeho mírné zvýšení může výrazně změnit teplotní poměry i v hustém porostu (BOSVELD et al. 1999). Ve studii lze intenzivnějšímu proudění vzduchu přičítat např. snížení teplotních rozdílů



Obr. 3.

Rozložení rozdílů průměrných teplot povrchů vrchní a spodní strany výhonů sazenic jedle v jednotlivých hodinách (měřeno v minutových intervalech; krabicové grafy) a průběh teploty vzduchu, rychlosti větru a globální radiace ve výšce 2 m nad zemí (měřeno v hodinových intervalech) za období jasných dní s nočními mrazíky od 21. do 25. 3. 2011. Vysvětlivky viz obr. 1 **Fig. 2.**

Distribution of mean temperature differences between upper and lower surfaces of fir shoots in individual hours (measured every minute; box plots) and air temperature, wind speed and global radiation 2 m above ground (measured every hour) in the period of clear days with night frosts from 21 to 25 March 2011. For notes see Fig. 1

mezi vrchní a spodní stranou jehličí oproti předchozímu a následujícímu dni v denních i nočních hodinách 27. 2. (v 1. sledované periodě, obr. 1), v některých případech pravděpodobně také snížení rozdílů a variability zvláště v odpoledních hodinách slunečních period (obr. 1 a 3).

Teplotní dynamika listů (jehličí) může být druhově specifická, jak vyplývá např. ze zjištěných rozdílů mezi odporem mezní vrstvy listu jehličnanů a listnáčů (LEUZINGER, KRÖNER 2007). Také u sazenic pod porostem, kde vzhledem k střídavému průniku přímého slunečního záření jsou fáze ohřevu krátkodobější (CARLSON, GROOT 1997; HOLST et al. 2004), lze očekávat časovou nepravidelnost a nižší rozdíly teplot vrchní a spodní strany jehličí oproti stromkům na holině. Přítomnost přízemní vegetace nebo vrstvy humusu bude snižovat akumulaci i vyzařování tepla povrchem půdy. Zjištěné poznatky tedy nelze paušalizovat. Přesto mohou být výsledky této studie podkladem pro lepší pochopení např. principů ekologického krytu, jehož výhody jsou přírodními procesy využívány při formování přirozené obnovy lesa. Ekologický kryt je doporučován a využíván také při lesnických opatřeních, jako jsou přeměny porostů náhradních dřevin a vnášení cílových dřevin, obzvlášť na extrémních stanovištích.

ZÁVĚR

Při sledování průběhu teplot vrchní a spodní strany jehličí výhonů sazenic jedle bělokoré v jarním období, kdy mohou být i minimální teplotní rozdíly podstatné např. pro výskyt poškození pozdními mrazy, byly zjištěny následující poznatky:

- za jasných dní byla maximální teplota vzduchu ve výšce 2 m nad zemí naměřena 2 až 4 hodiny po dosažení maximální intenzity slunečního záření
- v dopoledních hodinách za jasných dní byla teplota povrchu vrchní strany jehličí výhonů vyšší než teplota strany spodní; rozdíly se zvyšovaly do 11. hodiny, poté nastal jejich pokles
- v nočních hodinách jasných dní byl teplejší povrch spodní strany výhonů; variabilita rozdílů teplot vrchní a spodní strany výhonů při jasných dnech byla podstatně vyšší přes den než v noci
- za jasných dní vývoj odpoledních a nočních teplot spodní strany výhonů významně navyšovala teplota půdy: čím vyšší byla teplota půdy, tím vyšší byl v noci rozdíl teploty spodní strany výhonů oproti teplotě strany vrchní
- v období zatažených dní s deštěm byly rozdíly mezi teplotou vrchní a spodní strany výhonů jedle minimální; déšť a vysoká vzdušná vlhkost teploty homogenizovaly: ty byly v denních i nočních hodinách v průměru nepatrně vyšší na vrchní straně výhonů
- bylo potvrzeno, že vítr snižuje rozdíly mezi teplotami prostředí, a to jak v denních, tak nočních hodinách

Jak vyplývá ze studie, pozorované rozdíly teplot pocházejí zvláště z poměru přímé sluneční radiace, stínění a tepelného záření z povrchu půdy. I v rámci malých jehlic mohou být za určitých situací pro sazenice významné, např. při rozdílné regulaci průduchů, a tím i při ovlivňování respirace a hospodaření s vodou. Souvislost mezi těmito charakteristikami otevírá prostor pro další výzkum, směřující např. k bližšímu porozumění principu působení ekologického krytu rostlin a dřevin.

Poděkování:

Příspěvek vznikl díky podpoře výzkumného záměru MZE0002070203 "Stabilizace funkcí lesa v antropogenně narušených a měnících se podmínkách prostředí" a projektu QI102A085 "Optimalizace pěstebních opatření pro zvyšování biodiverzity v hospodářských lesích".

LITERATURA

- AUSSENAC G. 2000. Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. Annals of Forest Science, 57: 287–301.
- BOSVELD F.C., HOLTSLAG A.A.M., HURK B.J.J.M. van den 1999. Nighttime convection in the interior of a dense Douglas fir forest. Boundary-Layer Meteorology, 93:171–195.
- CARLSON D.W., GROOT A. 1997. Microclimate of clear-cut, forest interior, and small openings in trembling aspen forest. Agricultural and Forest Meteorology, 87 (4): 313–329.
- DEARDORFF J.W. 1978. Efficient prediction of ground surface temperature and moisture, with inclusion of a layer of vegetation. Journal of Geophysical Research, 83: 1889–1903.
- GEIGER R.1950. The climate near the ground. Cambridge, Harvard University Press: 482 s.
- GLERUM C. 1985. Frost hardiness of coniferous seedlings: Principles and applications. In: Duryea M.L. (ed.): Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Proceedings of the workshop held October 16–18, 1984. Corvallis, Forest Research Laboratory, Oregon State University: 107–123.
- GODOY O., LEMOS-FILHO J.P., VALLADARES F. 2011. Invasive species can handle higher leaf temperature under water stress than Mediterranean natives. Environmental and Experimental Botany, 71: 207–214.
- HAMERLYNCK E.P., KNAPP A.K. 1994. Leaf-level responses to light and temperature in two co-occurring *Quercus* (*Fagaceae*) species: implications for tree distribution patterns. Forest Ecology and Management, 68: 149–159.
- HASHIMOTO S., SUZUKI M. 2004. The impact of forest clear-cutting on soil temperature: a comparison between before and after cutting, and between clear-cut and control sites. Journal of Forest Research, 9: 125–132.
- HICKLENTON P.R., HEINS R.D. 1997. Temperature (Chapter 2). In: Langhans R.W., Tibbitts T.W. (eds.): Plant growth chamber handbook. Ames (Iowa), Iowa Agriculture and Home Economics Experiment Station: 31–41. North central regional research publication No. 340, Special Report, 99.
- HOLST T., MAYER H., SCHINDLER D. 2004. Microclimate within beech stands – part II: Thermal conditions. European Journal of Forest Research, 123: 13–28.
- JACKSON R.D., IDSO S.B., REGINATO R.J., PINTER P.J. Jr. 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. Water Resources Research, 17 (4): 1133–1138.
- LANGVALL O. 2000. Interactions between near-ground temperature and radiation, silvicultural treatments and frost damage to Norway spruce seedlings. Doctoral thesis. Alnarp, Swedish University of Agricultural Sciences: 35 s.
- LEE R.1978. Forest microclimatology. New York, Columbia University Press: 276 s.
- LEUZINGER S., KÖRNER CH. 2007. Tree species diversity affects canopy leaf temperatures in a mature temperate forest. Agricultural and Forest Meteorology, 146: 29–37.
- LÖF M., DEY D.C., NAVARRO R.M., DOUGLASS F. JACOBS D.F. 2012. Mechanical site preparation for forest restoration. New Forests, 43: 825–848.
- MARTIN T.A., HINCKLEY T.M., MEINZER F.C., SPRUGEL D.G. 1999. Boundary layer conductance, leaf temperature and transpiration of Abies amabilis branches. Tree Physiology, 19: 435–443.
- OKE T.R. 1987. Boundary layer climates. London, Methuen: 435 s.
- REMORINI D., MASSAI R. 2003. Comparison of water status indicators for young peach trees. Irrigation Science, 22: 39–46.

- RITCHIE G., LANDIS T.D. 2005. Seedling quality tests: chlorophyll fluorescence. In: Forest nursery notes. R6-CP-TP-11-04. Portland, USDA Forest Service, Pacific Norhwest Region: 12–16.
- ROBAKOWSKI P., MONTPIED P., DREYER E. 2003. Plasticity of morphological and physiological traits in response to different levels of irradiance in seedlings of silver fir (*Abies alba* Mill). Trees, 17: 431–441.
- ROBAKOWSKI P. 2005. Susceptibility to low-temperature photoinhibition in three conifers differing in successional status. Tree Physiology, 25: 1151–1160.
- UDOMPETAIKUL V., UPADHYAYA S. K., SLAUGHTER D., LAMPINEN B., SHACKEL K. 2011. Plant water stress detection using leaf temperature and microclimatic information. In: 2011 ASABE annual international meeting 2011. August 7– 10, 2011, Louisville, Kentucky. Red Hook (NY), Curran: 1–10.

DIFFERENT RUN OF TEMPERATURE ON UPPER AND LOWER SIDE OF SHOOTS OF EUROPEAN FIR SEED-LINGS IN SPRING

SUMMARY

Solar radiation is an important direct source of heat affecting temperature balance and other parameters of the environment (humidity, moisture, air movement etc.). Major part of the radiation absorbed by leaf is transformed to heat. Other parameters affecting leaf temperature are physical parameters of air: its temperature, movement and humidity. Surface of a leaf is heated by absorption of solar radiation; the heat is transmitted within the leaf by conduction, outside the leaf by convection or laminar conduction. Small-sized thermocouples enable measurement of temperatures in detail. The paper aims to evaluate temperature dynamics of upper and lower side of shoots of European fir seedlings during spring experimental periods of clear and overcast days.

Six-year old seedlings of European fir (ca 45 cm in height, planted in spacing of $40 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$, no ground vegetation) in the experimental forest nursery in the Opočno Research station were selected. Six high precision digital thermometers GMH 3250 (Greisinger) with two small-sized ($0.2 \text{ mm} \times 4.5 \text{ mm}$) thermocouple sensors GTF 300 (type K) of rapid response time (0.3 s) were calibrated and applied. Measuring elements of the sensors were stuck by transparent silicon paste to the upper or lower side of the one-year old shoot's needles in the upper part of the fir crowns. Both sides were measured in six replications (i.e. at six different fir seedlings). Due to differences in the material properties, temperature of the sensor can differ from real temperature of the needle. The highest differences can be expected during the periods of direct solar radiation. Nevertheless, the principles of temperature development should be maintained. Temperatures were recorded at one-minute intervals in winter Central European time. Meteorological data were recorded by nearby automatic logger every hour: air temperature (°C), global radiation (W.m⁻²) and wind speed (m.s⁻¹) at height of 2 m above the ground, soil temperature (at 20 cm soil depth) and precipitation (mm).

The monitored periods were: (i) clear days with frost and increasing daily temperatures (from 25 February to 1 March 2011); (ii) overcast days with rain (from 16 to 18 March 2011) and (iii) clear days with night frosts (from 21 to 25 March 2011).

Temperature data were transformed by calibration curves, averaged for every minute for upper and lower positions and temperature differences were computed. Hourly distributions of temperature differences between upper and lower side of the shoots were evaluated in relation to the selected meteorological factors.

During the first period, the soil temperature was steady (2.6 °C); it was increasing during the second (rainy) period (from 6.8 °C to 8.0 °C) and during the third period (from 6.0 °C to 7.6 °C). In sunny periods, differences in temperatures between upper and lower side of shoots were higher during day hours than during night hours (Fig. 1 and 3). Upper side of the shoots had higher temperatures during morning and early afternoon (the second clear period, Fig. 3) or close sunset (first clear period, Fig. 1); night temperatures were higher in lower side of the shoots. During the period of overcast days with rain the temperature differences were insignificant between upper and lower side of the shoots (Fig. 2).

In conclusion, this study revealed that:

- In cloudless days, maximum air temperature at the height of 2 m above ground was recorded 2 to 4 hours after the time of the maximal global radiation intensity.
- In the mornings of sunny days the temperature was higher on the upper side of the shoots compared to lower side. The highest differences were found in about 11 p.m.
- Night temperatures of clear days were higher in lower side of the shoots. The temperature variability during nights was significantly lower as compared to daily hours.
- In clear periods, afternoon and night temperatures of lower side of the shoots were influenced by soil temperature. The higher soil temperature, the higher night temperature of lower side of the shoot as compared to upper side.
- Temperature differences between opposite sides of shoots in overcast days with rain were small. Mean hour temperatures of the upper side were insignificantly higher as compared to the lower side, independently of the time of the day.
- It has been verified that wind reduces temperature differences of the environment both in day and night time.

The study showed that observed temperature differences were mostly originating from rate of direct solar radiation, shading and thermal radiation of soil surface. The differences can be a reason of different regulation of pores and thus respiration and water management of a plant. The relationship between these parameters is an open space for next research, e.g. focusing on principles of sheltering effect of plants and trees.

71