

## VLIV KEŘŮ KLEČE NA VÝVOJ PŘÍZEMNÍCH TEPLŮT A VZDUŠNÉ VLHKOSTI V NEJBLIŽŠÍM OKOLÍ

### EFFECT OF MOUNTAIN PINE SHRUBS ON GROUND TEMPERATURES AND AIR HUMIDITY IN THEIR CLOSE VICINITY

ONDŘEJ ŠPULÁK

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno

#### ABSTRACT

The paper aims to investigate the effect of mountain pine shrubs on ground air temperatures and relative air humidity in its vicinity. Temperature and humidity sensors were placed 35 cm above the ground in two locations: 1) inside mountain pine shrub, at an edge of the shrub and in a gap, and 2) in detailed transect from a shrub into a gap. Vegetation periods from May to September were evaluated. Ground temperatures inside the mountain pine shrub were the most stable; temperature amplitude grew with increasing distance from the shrub to the gap. However, in sunny days maximal temperatures near the edge of the shrub often exceeded values in forest gap. Relative air humidity of forest gap was lower than in the interior and close vicinity of shrubs, it decreases with an increasing distance from the shrub. Air temperature and humidity gradients of the monitored south-western edges of the mountain pine shrub were short, the influenced space near other more shaded sides of the shrub would reach further. Terrain micro-variability can influence temperature and especially humidity of the ground air layer and suppresses expected differences coming from the distance to the nearest mountain pine shrub.

**Klíčová slova:** kleč, porostní mezera, teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, hory

**Key words:** mountain pine, gap, air temperature, humidity, mountains

#### ÚVOD

Klimatické podmínky jsou jedním ze základních faktorů vymezujících výskyt a vývoj rostlinných společenstev i složení celé biocenózy. Charakter místního klimatu je vytvářen zeměpisnou polohou, nadmořskou výškou, orientací svahu, variabilitou terénu, stanovištěm aj. (OBREBSKA-STARKEL 1984). Na úrovni mikroklimatu pak v součinnosti s vlastnostmi půdy klimatické poměry ovlivňují prosperitu a vývoj jednotlivých druhů a jedinců daného společenstva (GEIGER 1950; AUSSENAC 2000).

Na druhou stranu také zvláště stromovité dřeviny, ale i porosty přízemní vegetace, zpětně ovlivňují a vytvářejí specifické porostní mikroklima (KREČMER 1962; CHEN et al. 1993, 1999; AUSSENAC 2000). Vliv dřevin na podmínky prostředí v nejbližším okolí je výrazněji patrný v extrémních růstových podmínkách, jako jsou vyšší horské polohy či mrazové lokality (PADILLA, PUGNAIRE 2006). Přirozená obnova se zde často formuje v rozšiřujících se skupinách, které jsou výškově i věkově diferencovány. Na základě výzkumných šetření je doporučováno využít předpokládané příznivé působení blízkosti jedinců přípravného porostu také při přeměnách porostů náhradních dřevin (BALCAR et al. 2007) i při obnově lesa ve vyšších horských polohách postihovaných extrémními mrazovými stresy (BALCAR et al. 2011). V předchozích pracích bylo zpracováno několik studií potvrzujících vliv jednotlivých jedinců smrku i porostních stěn mladých porostů náhradních dřevin na redukci teplotních extrémů v jejich blízkosti (ŠPULÁK 2009; BALCAR, ŠPULÁK 2006; BALCAR et al. 2009; ŠPULÁK, SOUČEK 2010). Pozornost byla věnována především smrku a bříze,

pouze v jedné studii byl publikován dílčí pokus s borovicí klečí (*Pinus mugo* Turra) (BALCAR et al. 2009). Kromě ovlivňování teplot v blízkosti mladých dřevin bezpochyby dochází také k redukci vstupu přímého záření. Je však otázkou, jak je v blízkosti keřů kleče pozměněn vývoj vzdušné vlhkosti. Ta v součinnosti s teplotou může mít svůj význam např. při ovlivňování vodního režimu rostlin (GROOT et al. 1997; KOZŁOWSKI, PALLARDI 2002), formování námrazy apod. V dospělém lesním porostu bývá absolutní vlhkost vzduchu a tlak vodních par mírně vyšší než mimo porost. Relativní vlhkost v porostu bývá většinou vyšší řádově o 5 až 10 % v souvislosti s nižším průběhem teplot. Větší rozdíly byly pozorovány v přízemní vrstvě vzduchu (FLEMMING 1987). Studie monitorující vlhkost vzduchu v porostech nízkých dřevin dosud chybí. Detailnější znalost vývoje teplot a vlhkosti vzduchu může sloužit jako podpůrný materiál pro formulaci pěstebních opatření v těchto porostech.

Cílem studie je vyhodnotit ovlivnění přízemních teplot a relativní vlhkosti vzduchu porostem borovice kleče ve vyšších horských polohách, a to na základě porovnání interiéru keře kleče s jeho okrajem a porostní mezerou a v detailním transektu z interiéru kleče do mezery.

#### MATERIÁL A METODIKA

Průběh teplot vzduchu (°C) a relativní vzdušné vlhkosti (poměr mezi okamžitým množstvím vodních par ve vzduchu a množstvím par, které by měl vzduch o stejném tlaku a teplotě při plném nasycení, %) v přízemní vrstvě vzduchu v nejbližším okolí keřů kleče byl sledován

ve dvou případových studiích: 1) rozdíl vývoje charakteristik v keři kleče a při jeho okraji v porovnání s porostní mezerou byl monitorován v podzimním období roku 2009, jarním období roku 2010 a v roce 2011 na výzkumné ploše (VP) Kleč v Jizerských horách; 2) gradient charakteristik v těsné blízkosti jihozápadního okraje pásu kleče byl měřen v letech 2009–2010 na VP Lesní bouda v Krkonoších. Hodnoty byly zaznamenávány v středoevropském čase (SEČ) v 15min. intervalech, s výjimkou lokality Kleč v roce 2012, kde byly záznamy prováděny v 30min. intervalu. Interval byl vždy shodný pro celou sérii loggerů na plochách. Hodnocena byla vegetační období od května do září.

Na mírně zvlněném terénu na VP Kleč v mrazové poloze údolí Malé Jizerské louky byl pro sledování vybrán keř kleče o šířce koruny cca 4 m a maximální výšce výhonů cca 1,8 m s přilehlou porostní mezerou o průměru cca 5 m. Senzory automatického záznamníku teplot (typ S3631, firma Comet System) byly instalovány uvnitř keře kleče (P1), při západním vnějším okraji keře (P3) a ve středu porostní mezery (P5). V každé poloze byly teploty měřeny ve dvou opakováních: interním čidlem záznamníku společně s relativní vlhkostí vzduchu a externím čidlem ve vzdálenosti 1,5 až 2 m od čidla interního. Vlhkost vzduchu byla měřena bez opakování. Senzory byly umístěny ve výšce 35 cm nad zemí a stíněny proti přímému slunečnímu záření pomocí bílých plastových okrouhlých krytů o průměru 28 cm.

Na VP Lesní bouda byl pro měření vybrán JV–SZ orientovaný pás kleče o šířce 5 m a výšce porostu cca 1,8 m s přilehlou cca 4 m širokou porostní mezerou. Kombinované záznamníky teploty a relativní vlhkosti vzduchu (typ S3631 nebo R3121, firma Comet System) byly instalovány ve výšce 35 cm nad rovinatým terénem. Čidla byla umístěna v jedné linii (transektu) kolmo na pás kleče, tedy v JZ směru: 60 cm uvnitř keře (P1), při vnitřním okraji keře (cca 20 cm od okraje; P2), při vnějším okraji keře (cca 20 cm od okraje; P3), ve vzdálenosti 60 cm (P4) a 100 cm (P5; pouze čidlo teploty) od okraje, bez opakování. Senzory byly stíněny proti vlivu přímého slunečního záření shodným způsobem, jako na VP Kleč.

Naměřená data z jednotlivých poloh v rámci experimentů byla vzájemně porovnávána, byly vypuštěny výrazně odlehle hodnoty (např. vliv přímého slunečního záření na čidlo v ranních a večerních hodinách apod.; z důvodu jejich výskytu nebyly porovnávány maximální teploty v transektu na VP Lesní bouda ve všech polohách). Z měření ve dvou opakováních na VP Kleč byly vypočteny průměry v jednotlivých termínech pro každou polohu. Jednotlivé polohy byly srovnávány na základě průměrného průběhu teplot a vlhkosti, dále na základě minimálních denních teplot a hodnot vlhkosti vzduchu v 10 hod. SEČ. Okolo této hodiny byly pozorovány největší rozdíly vlhkosti mezi hodnocenými polohami čidel. Minimální denní teploty a vlhkosti vzduchu mezi vedle sebe stojícími hodnocenými polohami

byly porovnávány pomocí párového Wilcoxonova testu. Statistické výpočty byly zpracovány v prostředí R 2.13 (R Development Core Team 2012).

## VÝSLEDKY

### 1) Porovnání keře kleče, okraje a porostní mezery na VP Kleč

#### Teploty

Průběh teplot ve vegetačním období v pokusu na VP Kleč vykazoval nejvyšší amplitudu v porostní mezeře (tab. 1). Rozdíly teplot v porostní mezeře (P5) oproti okraji (P3) a poloze uvnitř keře kleče (P1) byly nejvyšší v dopoledních hodinách a ve vrcholném létě. Nejnižší denní maximální teploty, stejně tak nejvyšší denní minimální teploty, byly naměřeny v poloze uvnitř keře kleče. Na rozdílech hodnot průměrného dne mezi hodnocenými polohami se výrazně projevoval průběh počasí daného měsíce (obr. 1).

Přes shodnou průměrnou minimální teplotu vzduchu za vegetační období 2011 v mezeře a při okraji (tab. 1) byla denní minima nejčastěji nejnižší v porostní mezeře. Rozdíl denních minim okraje oproti porostní mezeře se většinou pohyboval do 0,3 °C, výjimečně dosáhl 0,9 °C. Průměrná minimální teplota v poloze v kleči byla o 0,7 °C vyšší než v polohách při okraji a v mezeře. Rozdíly mezi minimálními teplotami v keři a při okraji kleče i mezi okrajem a porostní mezerou byly průkazné ( $p < 0,001$  a  $p = 0,033$ ).

Průměrná maximální teplota rostla ve směru z kleče do mezery, v poloze v kleči byla o téměř 3 °C nižší než teplota v porostní mezeře. Rozptýl minim i maxim rostl ve směru z keře kleče do mezery (tab. 1). Rozdíly mezi maximálními teplotami v keři a při okraji kleče i mezi okrajem a porostní mezerou byly vysoce průkazné ( $p < 0,001$ ).

#### Vlhkost vzduchu

Průběh relativní vlhkosti vzduchu průměrného dne za vegetační období roku 2011 mezi sledovanými polohami se výrazně lišil. Nejnižší průměrné hodnoty vlhkosti v průběhu dne byly naměřeny v mezeře, nejvyšší pak při okraji keře kleče, stejný trend byl zjištěn i v nočních hodinách (obr. 2). Průměrná denní vlhkost vzduchu v mezeře byla oproti keři kleče ve většině případů nižší (průměrně o 6,2 %), výskyt dní s vyšší nebo shodnou průměrnou vlhkostí byl do 1%. Rozdíly v průměrné minimální vlhkosti byly v řádu 10% (tab. 1). V mezeře vlhkost častěji než uvnitř keře klesala pod hodnotu 60%, naproti tomu při okraji keře nebyl v hodnoceném období zaznamenán pokles vlhkosti pod 20% a pokles pod hodnotu 60% byl méně častý než v keři kleče (obr. 2).

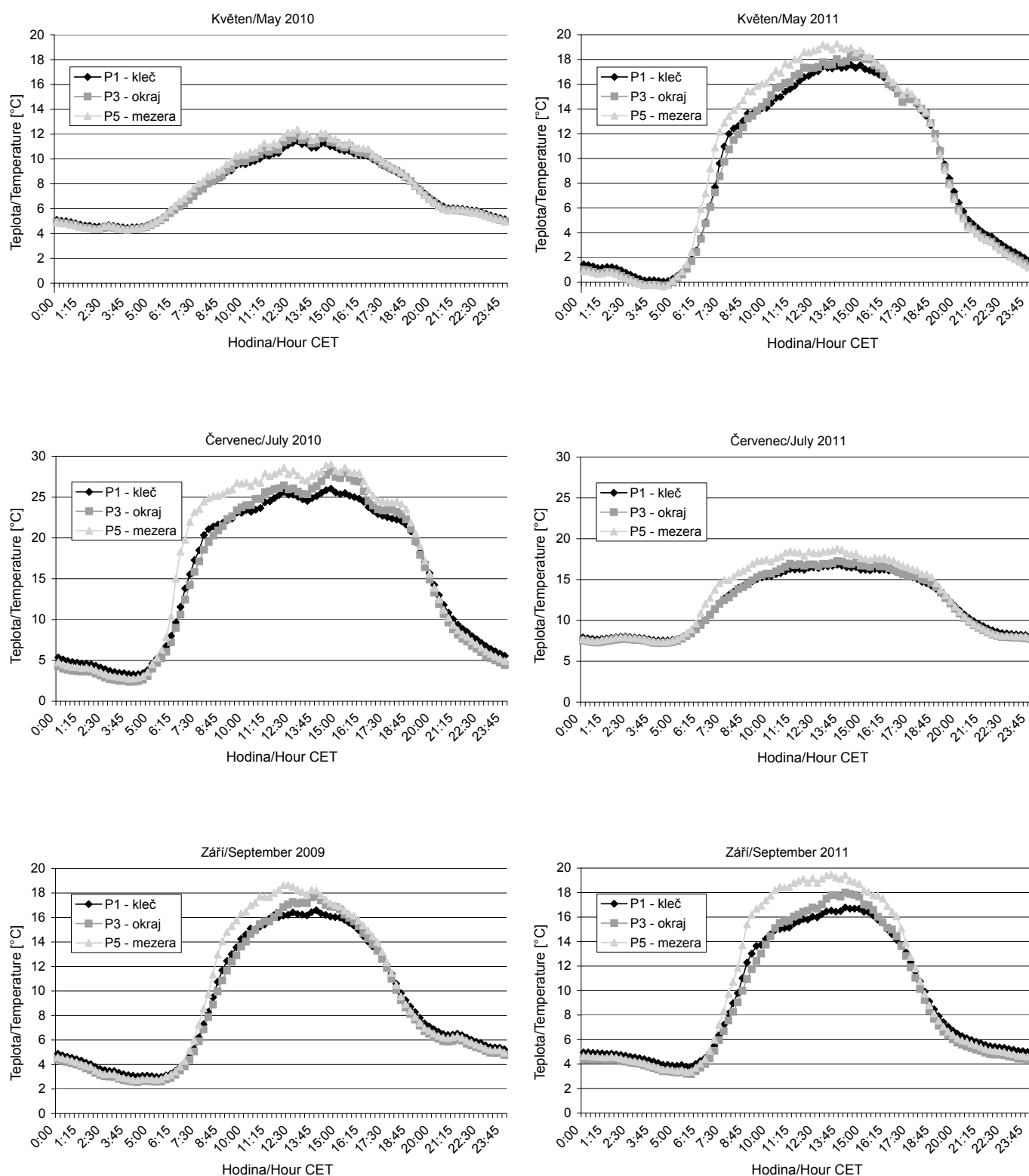
Tab. 1.

Denní minimální a maximální teploty a denní minimální relativní vlhkosti vzduchu v jednotlivých polohách na VP Kleč (viz obr. 1) za vegetační období roku 2011 – průměr a směrodatná odchylka

Daily minimal and maximal air temperatures and daily minimal relative air humidity in respective positions on the Kleč research plot (see Fig. 1) of the vegetation period 2011: average and standard deviation

Poloha/Position	Teplota/Temperature				Vlhkost/Humidity	
	minimální		maximální		minimální	
	průměr <sup>1</sup>	sm. odch. <sup>2</sup>	průměr	sm. odch.	průměr	sm. odch.
P1 – kleč	2,5	5,0	19,5	5,0	50,2	21,5
P3 – okraj	1,8	5,1	20,6	5,2	60,9	18,8
P5 – mezera	1,8	5,3	22,4	5,5	42,7	18,1

<sup>1</sup>average, <sup>2</sup>standard deviation



**Obr. 1.**

Teploty průměrného dne [°C] ve vybraných měsících (květen, červenec, září) sledovaného období v hodnocených polohách na VP Kleč; P1 – uvnitř keře kleče, P3 – při vnějším okraji, P5 – v porostní mezeře

**Fig. 1.**

Temperatures of the average day [°C] in selected months (May, July, September) in the monitored positions on the Kleč research plot; P1 – inside the mountain pine shrub, P3 – edge of mountain pine shrub; P5 – gap

Ve většině dní byla průměrná vlhkost nejvyšší při okraji keře a nejnižší v mezeře, rozptyl hodnot klesal ve směru z kleče do mezery (tab. 2). Ve zbývajících 18 % dní, při vyšší vzdušné vlhkosti, průměrné hodnoty klesaly ve směru z keře kleče do mezery, zatímco rozptyl rostl. Rozdíly minimální vlhkosti mezi polohami byly vysoce průkazné ( $p < 0,001$ ).

## 2) Transekt od pásu kleče na VP Lesní bouda

### Teploty

Na průběhu teplot průměrného dne v liniovém transektu kolmém na pás kleče na VP Lesní bouda lze v obou hodnocených periodách pozorovat gradientové změny související s polohou čidla. Nejvýraznější rozvrstvení teplot průměrného dne bylo pozorováno v dopoledních hodinách. V obou sledovaných periodách teploty rostly rychleji a dosáhly vyšších maxim v polohách vně keře kleče, v roce 2010 byl vliv zvyšující se vzdálenosti od kleče patrný více (obr. 3).

V nočních hodinách průměrného dne po západu a před východem slunce docházelo k vyššímu poklesu teplot v polohách vně keře kleče (obr. 3). V roce 2009 byly noční teploty ve vzdálenosti 100 cm od okraje nejnižší, rozdíly mezi polohami uvnitř keře byly minimální. V roce následujícím byl průměrný průběh nočních teplot všech tří čidel (P3, P4 a P5) vně kleče vyrovnaný, nejvyšší noční teploty byly naměřeny v poloze při vnitřním okraji keře.

Průměry denních minimálních teplot v jednotlivých polohách v roce 2009 klesaly ve směru z vnitřku keře do mezery. V následujícím vegetačním období již pokles nebyl plynulý, stále však byly patrné nižší hodnoty v polohách mimo kryt kleče (tab. 3). Série párových testů v obou hodnocených obdobích potvrdila vysoce průkazné ( $p < 0,001$ ) rozdíly mezi teplotními minimy v sousedících polohách s výjimkou poloh P4 a P5, mezi kterými v roce 2009 nebyly rozdíly potvrzeny a v roce 2010 pouze na hladině významnosti  $p = 0,05$ . Denní maximální teploty v kleči byly v jednotlivých letech v průměru o 0,9 a 1,3 °C nižší než v porostní mezeře, nejvyšších hodnot dosahovaly při okraji porostu (tab. 3).

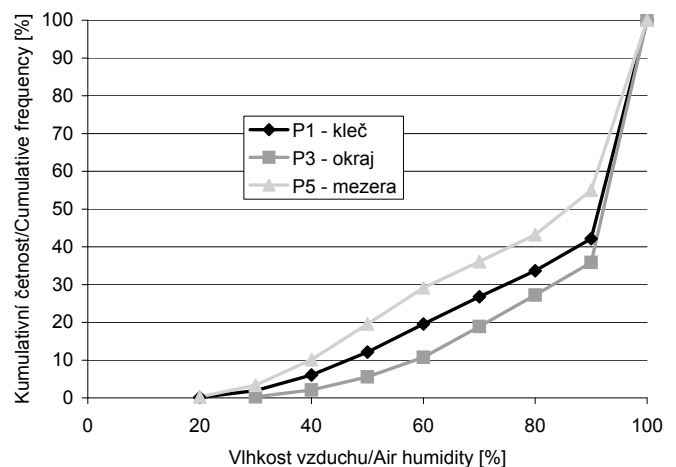
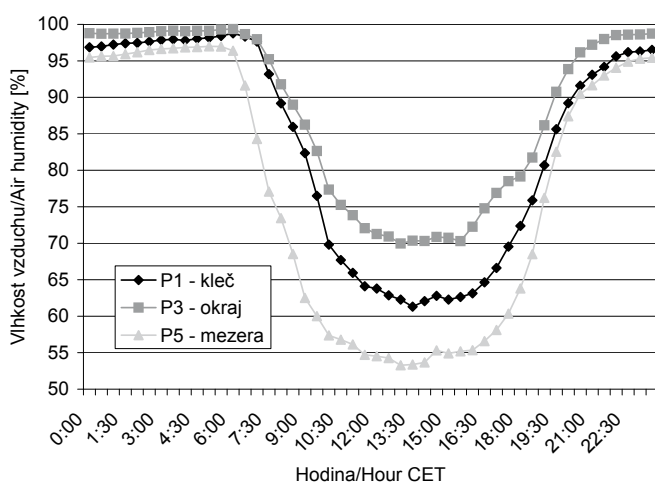
Tab. 2.

Denní relativní vlhkosti vzduchu (průměr a směrodatná odchylka) v hodnocených polohách na VP Kleč (viz obr. 1) v rozdílných situacích vegetačního období roku 2011: A – dny, ve kterých byla průměrná vlhkost nejvyšší při okraji a nejnižší v mezeře (82 % dní), B – dny, ve kterých průměrná vlhkost klesala ve směru z keře kleče do mezery (18 % dní)

Daily relative air humidity (average and standard deviation) in respective positions on the Kleč research plot (see Fig. 1) and different circumstances of the vegetation period 2011: A – days with the highest mean humidity at the mountain pine edge and the lowest in the gap (82% of days), B – days with mean humidity decreasing from the mountain pine shrub to the gap (18% of days)

Situace/ Circumstances	A		B		A+B	
Poloha/Position	průměr <sup>1</sup>	sm. odch. <sup>2</sup>	průměr	sm. odch.	průměr	sm. odch.
P1 – kleč	80.4	10.3	96.4	4.9	83.2	22.0
P3 – okraj	86.1	9.2	95.6	5.4	87.8	17.9
P5 – mezera	74.3	8.7	89.7	9.5	77.0	24.1

<sup>1</sup>average, <sup>2</sup>standard deviation

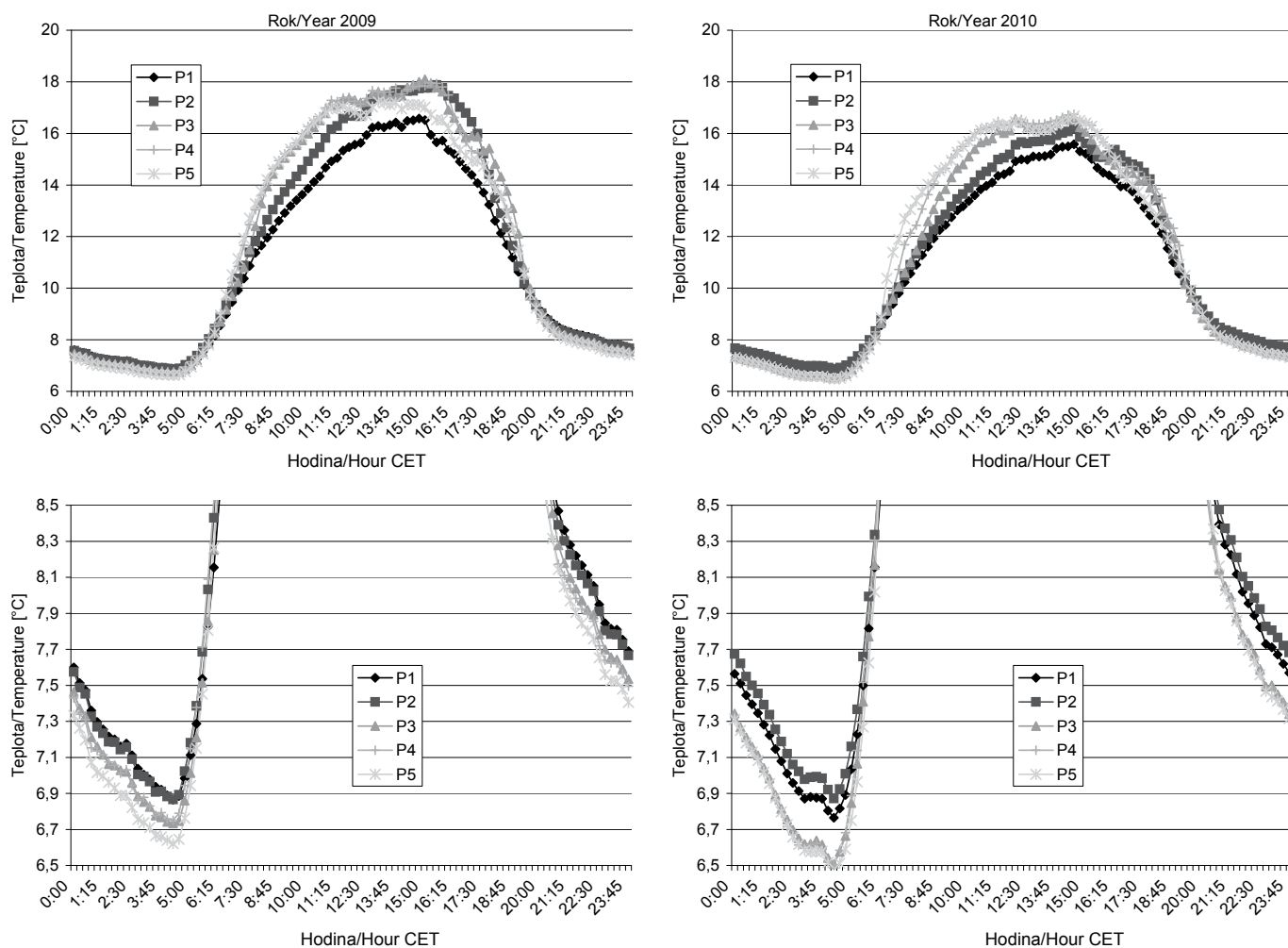


Obr. 2.

Relativní vlhkost vzduchu v průběhu průměrného dne [%] (vlevo) a kumulativní četnosti vlhkosti vzduchu (10% interval) (vpravo) v hodnocených polohách na VP Kleč (viz obr. 1); vegetační období 2011

Fig. 2.

Relative air humidity of average day [%] (left) and cumulative frequency of humidity (in 10% intervals) (right) in respective positions on the Kleč research plot (see Fig. 1); vegetation period of 2011


**Obr. 3.**

Teploty průměrného dne za vegetační období 2009 a 2010 v jednotlivých polohách při okraji porostu kleče na VP Lesní bouda, dole detail nočních hodin; polohy: 60 cm a 20 cm uvnitř keře kleče (P1 a P2) a ve vzdálenosti 20 cm, 60 cm a 100 cm od okraje směrem do mezery (P3, P4 a P5)

**Fig. 3.**

Temperatures of the average day in respective positions near the edge of the mountain pine shrub on the Lesní bouda research plot; averages of the vegetation periods 2009 and 2010, detail of the night hours (below); positions: 60 cm and 20 cm from the edge of the shrub inside (P1 and P2), 20 cm, 60 cm and 100 cm from the edge of the shrub outside (P3, P4 and P5)

**Tab. 3.**

Denní minimální a maximální teploty za vegetační období 2009 a 2010 v jednotlivých polohách na VP Lesní bouda; průměr a směrodatná odchylka; polohy: viz obr. 3

Daily minimal and maximal temperatures of the vegetation periods 2009 and 2010 in respective positions on the Lesní bouda research plot; average and standard deviation; positions: see Fig. 3

Poloha/ Position	Minimální teploty/Minimal temperatures				Maximální teploty/Maximal temperatures			
	2009		2010		2009		2010	
	průměr <sup>1</sup>	sm. odch. <sup>2</sup>	průměr	sm. odch.	průměr	sm. odch.	průměr	sm. odch.
<b>P1</b>	5,08	3,60	5,26	3,76	19,24	5,68	17,89	6,37
<b>P2</b>	4,95	3,72	5,33	3,81	*		19,38	7,38
<b>P3</b>	4,72	3,77	4,91	3,86	*		19,73	7,26
<b>P4</b>	4,63	3,79	4,80	3,81	*		*	
<b>P5</b>	4,62	3,79	4,84	3,85	20,12	5,18	19,23	6,94

<sup>1</sup>average, <sup>2</sup>standard deviation, \* Teplotní maxima v polohách P2 až P4 byla ovlivněna přímým slunečním zářením a přestože extrémní hodnoty byly odfiltrovány, nebyla hodnocena, \* Maximal temperatures in the P2, P3 a P4 positions were influenced by direct radiation; outliers were reduced, but values were not evaluated

**Vlhkost vzduchu**

Rozdíly relativní vlhkosti vzduchu v jednotlivých polohách sledovaného transektu u pásu kleče byly závislé na vývoji počasí daného dne. V nočních hodinách se ve sledovaných polohách vlhkost blížila nebo dosáhla bodu nasycení (100%) s tím, že mírně vyšší hodnoty byly pozorovány v polohách uvnitř keře. V denních hodinách průměrného dne bylo pozorováno rozvrstvení hodnot. V obou sledovaných obdobích v dopoledních hodinách vlhkost vzduchu výrazněji klesala v polohách vně keře kleče, rozdíly v průběhu mezi polohami P3 a P4 byly nízké. Mezi čidly uvnitř keře (P1 a P2) byly rozdíly výraznější, v průměru roku 2009 byla nejvyšší dopolední vlhkost pozorována v poloze P1, naproti tomu v roce 2010 v poloze P2 (obr. 4). V odpoledních hodinách se vlhkost průměrného dne v jednotlivých sledovaných obdobích lišila. Zatímco v roce 2009 byly nejvyšší hodnoty minimální vlhkosti zjištěny v poloze P1 (60 cm uvnitř keře kleče) a nejnižší při P2 (vnitřní okraj keře), v následujícím roce došlo k záměně relativní pozice těchto poloh (obr. 4).

Průměrná vlhkost v 10:00 hodin za vegetační období 2009 klesala ve směru z kleče do mezery, rozdíly mezi sousedními polohami byly vysoce průkazné. V roce následujícím byla nejvyšší průměrná vlhkost pozorována v poloze P2, rozdíly byly vysoce průkazné s výjimkou poloh P3 a P4, ve kterých byly vlhkosti v danou hodinu bez rozdílů (tab. 4). Rozptýl hodnot v obou letech rostl ve směru z keře kleče do mezery.

**Tab. 4.**

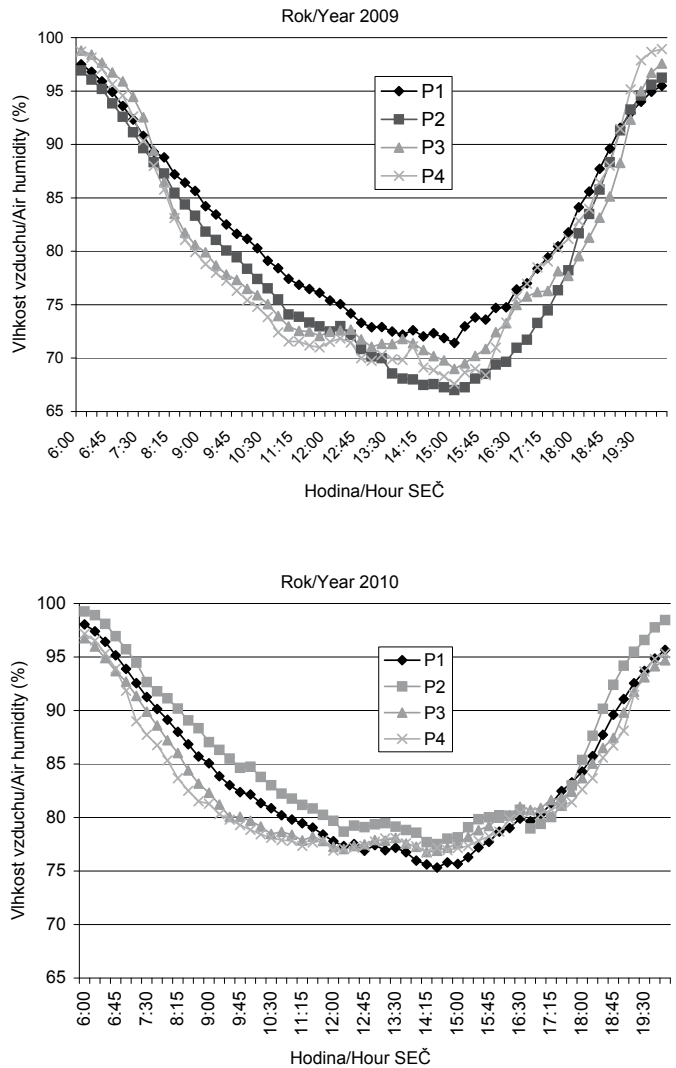
Vlhkost vzduchu v 10 hod. SEČ v jednotlivých polohách na VP Lesní bouda, průměry a směrodatné odchylky za vegetační období 2009 a 2010; polohy: viz obr. 3, v poloze P5 nebyla vlhkost vzduchu měřena  
Relative air humidity at 10 a.m. CET in respective positions on the Lesní bouda research plot, averages and standard deviations of the vegetation periods 2009 and 2010; positions: see Fig. 3., humidity was not measured at the P5 position

Poloha/ Position	2009		2010	
	průměr <sup>1</sup>	sm. odch. <sup>2</sup>	průměr	sm. odch.
<b>P1</b>	81.2	15.1	82.1	16.5
<b>P2</b>	78.4	16.0	84.7	17.0
<b>P3</b>	76.5	18.0	79.7	17.2
<b>P4</b>	75.4	20.4	78.9	17.7

<sup>1</sup>average, <sup>2</sup>standard deviation

**DISKUSE**

Vliv jehličnatých dřevin na porostní mikroklima v průběhu roku se výrazně neodvíjí od fenologických fází dřeviny, jako je tomu v případě dřevin listnatých (GÖHRE, LÜTZKE 1956), u kterých se některé vlastnosti mikroklimatu porostu mohou výrazněji odlišovat od porostní mezery pouze ve vegetační době (RITTER et al. 2005). I u jehličnanů však rašení a prolonační růst výhonů zvyšuje zápoj porostu, a tím mění podmínky prostředí (KREČMER 1962). S růstem kleče, ale i s novým postavením větví po zimě mohly souviset relativní změny průběhu teplot i vlhkosti vzduchu mezi jednotlivými polohami sledovaného transektu na VP Lesní bouda mezi roky 2009 a 2010. U borovice kleče na výzkumné ploše Kleč se v našem pokusu v opačném směru projevoval opad starších ročníků jehličí způsobený sypavkou borovou. Dalším nezastupitelným faktorem je vývoj počasí daného roku – vegetační období roku 2009 bylo výrazně chladnější než roky následující, také rozložení srážek se mezi lety lišilo (BALCAR et al. 2012a, b).



**Obr. 4.**

Relativní vlhkost vzduchu [%] v době od 6 do 20 hod v jednotlivých polohách na VP Lesní bouda, průměr za vegetační období 2009 a 2010; polohy: viz obr. 3, v poloze P5 nebyla vlhkost vzduchu měřena  
**Fig. 4.**

Relative air humidity [%] from 6 a.m. to 8 p.m. CET in respective positions on the Lesní bouda research plot, averages of the vegetation periods 2009 and 2010; positions: see Fig. 3, humidity was not measured at the P5 position

Ke změnám charakteru mikroklimatu během vegetační doby přispívá i rozvoj přízemní vegetace, a to jak na holině (GROOT et al. 1997), tak v porostu (KREČMER 1962). Také samotná vrstva humusu ovlivňuje nejen teplotu půdy, ale i přízemní vrstvy vzduchu pohlcováním slunečního záření a izolací minerální půdy od vzduchu (FACELLI, PICKET 1991). V obou našich pokusech nebyly pozorovány rozdíly v charakteru přízemní vegetace i humusové vrstvy v jednotlivých sledovaných polohách mimo keř kleče, ve stíněných polohách prostoru keřů však byla vegetace omezena.

Studie zabývající se efektem okraje porostu na teplotu a vzdušnou vlhkost byly dosud směřovány do dospělých porostů stromovitých dřevin. I přes předpokládané opodstatněné rozdíly mezi chováním teplot a vlhkosti vzduchu mezi dospělými stromovitými porosty a porosty borovice kleče jsou některé tyto studie do diskuse zahrnuty.

Při studiu letního mikroklimatu podél transektu na holině v bukovém porostu (GODEFROID et al. 2006) byla zjištěna pozitivní korelace teploty vzduchu, půdy a intenzity světla se vzdáleností od okraje porostu směrem do středu holiny. Naproti tomu vlhkost vzduchu se vzdáleností od okraje klesala. Zjištění z hlediska teplot koresponduje s výsledky našich experimentů, byla pozorována pozitivní korelace se vzdáleností od kleče do porostní mezery i v malém měřítku tohoto porostu. Vlhkost však tomuto schématu gradientu odpovídala pouze v dopoledních hodinách v detailním transektu na VP Lesní bouda.

Při studiu mikroklimatu porostu, okraje a holiny v dospělém pralesovitém porostu douglasky tisolisté o horní výšce 55–65 m v Severní Americe bylo zjištěno, že sledované charakteristiky mikroklimatu okraje vykazovaly podmínky mezi holinou a vnitřkem porostu pouze u rychlosti větru a slunečního záření. Neextrémnější denní teploty a vlhkosti vzduchu se vyskytovaly při okraji porostu (CHEN et al. 1993, 1995). V našich pokusech v porostu borovice kleče, na rozdíl od citovaných studií, hodnoty teplot na okraji keře kleče ležely mezi hodnotami zaznamenanými v interiéru keře a porostní mezerou.

MUSCOLO et al. (2010) ve studii popisující mikroklima holosečných kotlíků v porostu jedle pozorovali pozitivní vztah mezi teplotou půdy a velikostí obnovního prvku, teplota vzduchu malé (185 m<sup>2</sup>) a střední (410 m<sup>2</sup>) mezery však byla obdobná. Naproti tomu LATIF a BLACKBURN (2010) ve vegetační době v listnatých porostech popisují nárůst teploty jak půdy, tak i vzduchu s velikostí porostní mezery (40 až 286 m<sup>2</sup>). NEWMARK (2001) zjistil, že gradienty mikroklimatu porostního okraje dospělého lesa jsou dynamické a v čase nestálé. Okolo třetiny jím měřených gradientů teplot a intenzity záření a přibližně polovina gradientů tlaku vodní páry nebyly přímo závislé na okrajovém efektu jako takovém. CHEN et al. (1993) v porostu douglasky, shodně s naším pozorováním na VP Kleč, popisují vyšší podíl dní s nejvyšší průměrnou vlhkostí při okraji porostu (cca 70 % dní). V jejich případě se však jednalo o dny s humidními podmínkami, tedy vysokou vlhkostí vzduchu. Naproti tomu pouze v takovýchto dnech byl na VP Kleč pozorován průběžný gradient vlhkosti. Relativní vlhkost vzduchu v transektu na VP Lesní bouda zvláště v dopoledních hodinách, až na výjimky, klesala směrem z keře kleče do mezery. Na častých nejvyšších průměrných hodnotách vlhkosti vzduchu při okraji keře na VP Kleč se pravděpodobně projevil vliv morfologie terénu, mírné deprese, ve které byla čidla (obě opakování) umístěna. Ta mohla díky zvýšené hladině podzemní vody na stanovišti zajistit udržování vyšší vlhkosti v přízemní vrstvě vzduchu.

Ve studii popisující změny charakteristik mikroklimatu v transektech vedených lesními fragmenty (GELHAUSEN et al. 2000) bylo zjištěno, že také denní průběh teplot a relativní vlhkosti vzduchu interiéru porostu navazujícího na porostní okraj jsou významně závislé na orientaci vůči světovým stranám. Zjištění bude pravděpodobně souviset s podsvícením dospělých stromovitých porostů, které bude však v případě keřovitě kleče v našem pokusu minimální. Přímé sluneční záření do porostu vstupuje shora přes koruny keřů. Intercepce porostu negativně působí na úhrn srážek pod porostem, zachytávání srážek porostem dřevin je větší než u travního porostu (CHROUST 1997). Zjištěná vyšší relativní vlhkost vzduchu v porostu (keři) kleče tak bude více souviset s nižší ozářeností prostoru uvnitř porostu, i přes nižší úhrn srážek.

To, že v případě radiačních dní byla denní teplotní maxima nejvyšší při okraji keřů kleče, může být způsobeno ohřevem povrchu větví keře a tím i vrstev vzduchu v blízkém okolí. Na teplotách JZ okraje keře na VP Lesní bouda se tento jev projevil výrazněji, i na průměrných maximálních teplotách. Zjištění odpovídá sledování vývoje teplot v nejbližším okolí mladého jedince smrku, kdy při obvodu jeho koruny byla v radiačních dnech rovněž zvýšena teplotní maxima v porovnání s polohami dál od okraje (ŠPULÁK, SOUČEK 2010).

Průběh teplot i relativní vlhkosti vzduchu v jednotlivých polohách sledovaného transektu na VP Lesní bouda se výrazněji lišil mezi polohami uvnitř keře a polohami vně. Rozdíly mezi čidly umístěnými dál od okraje keře (porostní stěny) směrem do porostní mezery již byly malé, což svědčí o rychlém doznívání vlivu keře. Prodloužení monitoračního transektu by přineslo zpřesňující informace o maximální hranici vlivu v daných podmínkách. Podstatná z hlediska ovlivňovaného prostoru bude i orientace vůči světovým stranám. Sledovaná poloha při jihozápadním okraji pásu keřů kleče vzhledem k potenciální vysoké době a intenzitě ozáření pravděpodobně představuje polohu s menším rozsahem ovlivňovaného prostoru porostní mezery, než je tomu např. v prostoru mezi západním, severním a východním okrajem korun.

## ZÁVĚR

Při hodnocení vlivu porostu borovice kleče na teplotu a relativní vlhkost přízemní vrstvy vzduchu (ve výšce cca 35 cm nad zemí) v nejbližším okolí keřů bylo zjištěno, že:

- V interiéru keře byly teploty vzduchu nejvíce vyrovnané. Byly zde zjištěny nižší denní maxima a vyšší denní minima v porovnání s polohami při okraji keře a v porostní mezeře. S narůstající vzdáleností od okraje keře do mezery rostla denní teplotní amplituda.
- Okraj keře kleče představoval z hlediska teplot u většiny charakteristik střed mezi interiérem keře a porostní mezerou. V případě radiačních dní však maximální teploty při okraji vystupovaly nad hodnoty v porostní mezeře.
- Relativní vlhkost vzduchu v porostní mezeře byla nižší než v nejbližším okolí keře kleče, s narůstající vzdáleností od kleče vlhkost klesala. Rozdíly byly nejvýraznější v dopoledních hodinách, přetrvávaly však i v průběhu noci.
- Při sledovaném přibližně jihozápadním okraji porostu kleče byl pozorován rychlý pokles vlivu kleče na průběh teplot a vlhkosti s narůstající vzdáleností od okraje do porostní mezery. Lze však předpokládat, že v okolí více stíněných okrajů (např. severozápadní až východní) bude ovlivněný prostor mezery rozsáhlejší.
- Mikrorelief terénu se ukázal jako významný faktor ovlivňující zvláště relativní vlhkost vzduchu v přízemní vrstvě; terénní deprese na vodou ovlivněném stanovišti může změnit rozdíly vlhkosti dané polohou vůči keřům kleče.

Z výsledků studie vyplývá, že předpoklad ovlivnění přízemních teplot, ale i relativní vlhkosti vzduchu v blízkosti keřů borovice kleče je opodstatněný a jeho využití v extrémních růstových podmínkách je možné. Ovlivněné růstové prostředí v prostoru a blízkosti keřů tak může napomoci odrůstání výsadby např. ve vyšších horských polohách na lokalitách ohrožených pozdním mrazem. Doporučovaná poloha výsadby z hlediska předpokládaných parametrů prostředí by však měla zvážit také světlostní nároky dřevin. Kombinace těchto faktorů by si zasloužila další výzkum.

## Poděkování:

Příspěvek vznikl díky podpoře výzkumného záměru MZE0002070203 „Stabilizace funkcí lesa v antropogenně narušených a měnících se podmínkách prostředí“ a projektu KUS QJ1230330 „Stabilizace lesních ekosystémů vyváženým poměrem přirozené a umělé obnovy lesa“.

## LITERATURA

- AUSSENAC G. 2000. Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Annals of Forest Science*, 57: 287–301.
- BALCAR V., SLODIČÁK M., KACÁLEK D., NAVRÁTIL P. 2007. Metodika postupů přeměn porostů náhradních dřevin v imisních oblastech. Recenzované metodiky pro praxi. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti: 34 s. *Lesnický průvodce* 3/2007.
- BALCAR V., ŠPULÁK O. 2006. Poškození dřevin pozdním mrazem a krycí efekt lesních porostů při obnově lesa v Jizerských horách. In: Jurásek A. et al. (eds.): Stabilization of forest functions in biotopes disturbed by anthropogenic activity. Research results presented on international scientific conference. Opočno, 5.–6.9.2006. Jiloviště-Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti – VS Opočno: 399–407.
- BALCAR V., ŠPULÁK O., KACÁLEK D. 2009. Příspěvek k problematice porostotvorné funkce jehličnatých dřevin – tlumení mrazových extrémů v horách. *Zprávy lesnického výzkumu*, 54: 157–165.
- BALCAR V., ŠPULÁK O., KACÁLEK D., KUNEŠ I. 2011. Obnova lesa ve vyšších horských polohách postihovaných extrémními mrazovými stresy. Certifikovaná metodika. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti: 36 s. *Lesnický průvodce* 1/2011.
- BALCAR V., ŠPULÁK O., KACÁLEK D., KUNEŠ I. 2012. Klimatické podmínky na výzkumné ploše Jizerka – I. Srážky a půdní vlhkost. *Zprávy lesnického výzkumu*, 57: 74–81.
- BALCAR V., ŠPULÁK O., KACÁLEK D., KUNEŠ I. 2012. Klimatické podmínky na výzkumné ploše Jizerka. II – teplota, vítr a sluneční svit. *Zprávy lesnického výzkumu*, 57: 160–172.
- FACELLI J.M., PICKETT S.T.A. 1991. Plant litter: its dynamics and effects on plant community structure. *The Botanical Review*, 57: 1–32.
- FLEMMING G. 1987. Wald, Wetter, Klima. Einführung in die Forstmeteorologie. Berlin, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag: 120 s.
- GEHLHAUSEN S.M., SCHWARTZ M.W., AUGSPURGER C.K. 2000. Vegetation and microclimatic edge effects in two mixed-mesophytic forest fragments. *Plant Ecology*, 147: 21–35.
- GEIGER R. 1950. The climate near the ground. Cambridge, Harvard University Press: 482 s.
- GODEFROID S., RUCQUOIJ S., KOEDAM N. 2006. Spatial variability of summer microclimates and plant species response along transects within clearcuts in a beech forest. *Plant Ecology*, 185: 107–121.
- GÖHRE K., LÜTZKE R. 1956. Der Einfluß von Bestandesdichte und -struktur auf das Kleinklima im Walde. *Mitteilungen aus dem Institut für Forstliche Meteorologie, Eberswalde*: 487–572.
- GROOT A., CARLSONI D.W., FLEMING R.L., WOOD J.E. 1997. Small openings in trembling aspen forest: microclimate and regeneration of white spruce and trembling aspen. Sault Ste. Marie, Great Lakes Forestry Centre: 25 s. NODA NFP Technical Report, 47.
- CHEN J., FRANKLIN J.F., SPIES T.A. 1993. Contrasting microclimates among clearcut, edge, and interior of old-growth Douglas-fir forest. *Agriculture and Forest Meteorology*, 63: 219–237.
- CHEN J., FRANKLIN J.F., SPIES T.A. 1995. Growing-season microclimatic gradients from clearcut edges into old-growth Douglas-fir forests. *Ecological Applications*, 5: 74–86.
- CHEN J.Q., SAUNDERS S.C., CROW T.R., NAIMAN R.J., BROSOFSKE K.D., MROZ G.D., BROOKSHIRE B.L., FRANKLIN J.F. 1999. Microclimate in forest ecosystem and landscape ecology – variations in local climate can be used to monitor and compare the effects of different management regimes. *BioScience*, 49: 288–297.
- CHROUST L. 1997. Ekologie výchovy lesních porostů. Opočno, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Výzkumná stanice: 227 s.
- KOZŁOWSKI T.T., PALLARDY S.G. 2002. Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. *The Botanical Review*, 68: 270–334.
- KREČMER V. 1962. Mikroklimatický a vodní režim borových kotlíků. IV. sdělení. *Práce výzkumných ústavů lesnických CSSR*, 25: 7–83.
- LATIF Z.A., BLACKBURN G.A. 2010. The effects of gap size on some microclimate variables during late summer and autumn in a temperate broadleaved deciduous forest. *International Journal of Biometeorology*, 54: 119–129.
- MUSCOLO A., SIDARI M., BAGNATO S., MALLAMACI S., MERCURIO R. 2010. Gap size effects on above- and below-ground processes in a silver fir stand. *European Journal of Forest Research*, 129: 355–365.
- NEWMARK W.D. 2001. Tanzanian forest edge microclimatic gradients: dynamic patterns. *Biotropica*, 33: 2–11.
- OBREBSKA-STARKEL B. 1984. Reflection of the orographic patterns in the micro- and mesoclimatic conditions. *GeoJournal*, 8.3: 259–263.
- PADILLA F.M., PUGNAIRE F.I. 2006. The role of nurse plants in the restoration of degraded environments. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4: 196–202.
- RITTER E., DALSGAARD L., EINHORN K.S. 2005. Light, temperature and soil moisture regimes following gap formation in a semi-natural beech-dominated forest in Denmark. *Forest Ecology and Management*, 206: 15–33.
- ŠPULÁK O. 2009. Příspěvek k poznání teplotních souvislostí prosadeb jehličnatých porostů náhradních dřevin. *Zprávy lesnického výzkumu (Special)*: 59–66.
- ŠPULÁK O., SOUČEK J. 2010. Differences of air temperature in the interior and around the crown of young Norway spruce tree. *Opera Corcontica*, 47 (Suppl. 1): 225–238.



**EFFECT OF MOUNTAIN PINE SHRUBS ON GROUND TEMPERATURES AND AIR HUMIDITY IN THEIR CLOSE VICINITY****SUMMARY**

Microclimatic conditions along with soil properties influence dispersion and prosperity of plants. On the other hand, tree species and stands of ground vegetation form a specific local microclimate. Positive effect of trees on environment in their vicinity is most obvious in extreme growing conditions such as higher mountain locations or frost hollows. In such conditions the natural regeneration forms expanding groups. There is a very limited knowledge of the crucial meteorological elements near young trees and forest stands in mountains, comprehensive study of air humidity and temperature in mountain pine stand is still missing. Detailed information would help to formulate adequate advice to forest praxis e.g. on the field of reconstruction of the substitute tree forest stands.

The aim of this study was to evaluate the influence of mountain pine stand on the ground air temperatures and relative air humidity in higher mountain locations. Two experiments were performed in vegetation periods from May to September of 2009–2011 (depending on the experiment). Air temperature and humidity were monitored 1) in a mountain pine shrub, at the edge of the shrub and in nearby gap (on the Kleč research plot (RP) in the Jizerské hory Mts., sensors were replicated), and 2) in a detailed transect from pine shrub to gap (on the Lesní bouda RP in the Krkonoše Mts.). The sensors of the transect were placed: 60 cm and 20 cm from the edge of the shrub inside (positions P1 and P2), 20 cm, 60 cm and 100 cm from the edge of the shrub outside in the gap (P3, P4 and P5 – temperature only). Sensors were placed 35 cm above the ground, records were taken in 15 or 30-minute intervals in CET.

Outlier data were released and data series of individual positions were mutually compared. The compared parameters were: averages, minima and maxima and course of the values in average day of selected periods. Paired-samples Wilcoxon tests were processed in the program R 2.13 (R Development Core Team 2012).

The most stable ground air temperatures were in the interior of mountain pine shrub (Fig. 1 and 3). Inside the shrub, there were lower daily maximal and higher minimal air temperatures as compared with edge of the shrub and with the gap (Tab. 1, 3). Daily temperature amplitudes increased with increasing distance from shrub. In the course of temperatures, the edge of the shrub represented a midpoint between the interior of the shrub and forest gap in most of parameters. However, in sunny days maximal temperatures of the edge often exceeded values in the forest gap.

Relative air humidity in the gap was lower than in the vicinity of the mountain pine shrub (Fig. 2, 4, Tab. 1, 2). Air humidity decreased with increasing distance from the edge of the shrub (Tab. 4). Differences were the highest in the morning and persisted through the night.

Effects of air temperature and relative humidity gradients in the monitored south-western edges of the mountain pine shrub reached to short distances from the edge only. We suppose that influenced space in other more shaded sides of the shrub (in-between western, northern and eastern edge of the mountain pine) would be larger.

Terrain micro-variability can influence temperature and especially humidity of the ground air layer and suppress expected differences coming from the distance to the nearest mountain pine shrub.

In conclusion, the assumption that mountain pine shrub influences ground air temperatures and humidity in its vicinity is reasonable and can be utilized in extreme growing conditions. Altered growth environment in the vicinity of the mountain pine shrubs can help to keep prosperity of plantations, e.g. on the higher mountain locations stressed by late frost. However, the position of plantations has to follow light requirements of the planted forest tree species as well. The optimal balance of air temperature, humidity and light could be a subject of further research.

Recenzováno

---

**ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:**

Ing. Ondřej Špulák, Ph.D., Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i, VS Opočno  
Na Olivě 550, 517 73 Opočno, Česká republika  
tel.: +420 494 668 391; e-mail: spulak@vulhmop.cz