

Mendelova univerzita v Brně
Lesnická a dřevařská fakulta
Ústav ekologie lesa



**POROSTNÍ KLIMA V JEDLO-BUKOVÉM
CLONNÉM KOTLÍKU**

Diplomová práce

2014/2015

Bc. Vajda Michal

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci “Porostní klima v jedlo-bukovém clonném kotlíku” zpracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací. Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona. Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne

Podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji **Doc. RNDr. Ireně Markové, CSc.** za cenné rady a odborné vedení při zpracování mé diplomové práce a celému kolektivu jejích spolupracovníků za pomoc při zpracování dat použitých v diplomové práci.

ABSTRAKT

Jméno: Michal Vajda

Téma diplomové práce: Porostní klima v jedlo-bukovém clonném kotlíku

Klíčová slova: teplota a relativní vlhkost vzduchu, FAR, LAI, smrková monokultura

Cílem diplomové práce bylo zhodnocení porostního klimatu v jedlo-bukovém porostu vysazeném ve clonném kotlíku v dospělém smrkovém porostu na ekosystémové stanici Rájec (Drahanská vrchovina) ve vegetačním období (květen – říjen) roku 2014. Na jedlo-bukový porost ve clonném kotlíku dopadalo v průměru za celé vegetační období pouze 11 % FAR dopadající na dospělý smrkový porost. Ve vertikálním profilu jedlo-bukového porostu pod clonou dospělého smrkového se teplota vzduchu snižovala směrem k zemskému povrchu. Srovnáním hodnot teploty vzduchu ve výšce 2 m nad zemí v dospělém smrkovém porostu a v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku bylo zjištěno, že teplota vzduchu v jedlo-bukovém porostu byla nižší než ve smrkovém porostu. Relativní vlhkost vzduchu ve výšce 2 m nad zemí v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku byla nižší než relativní vlhkost vzduchu ve stejné výšce v dospělém smrkovém porostu. Úhrn podkorunových srážek za vegetační období byl v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku a v dospělém smrkovém porostu nižší než úhrn srážek nad korunovou vrstvou dospělého smrkového porostu. Úhrn podkorunových srážek byl vyšší v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku než v dospělém smrkovém porostu – rozdíl činil téměř 17 %. Analýza porostního klimatu v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku pod clonou dospělého smrkového porostu prokázala, že přestavba smrkové monokultury na les blízky přírodě metodou skupinové seče clonné je vhodná, protože takto vysazený jedlo-bukový porost se vyvíjel ve vhodných světelných i vláhových podmínkách.

ABSTRACT

Name: Michal Vajda

The name of diploma thesis: Stand microclimate within fir-beech stand in forest gap

Key words: air temperature and relative humidity, PAR, LAI, spruce monoculture

The aim of the thesis was to evaluate the stand microclimate within fir-beech stand planted in the gap under the adult spruce stand canopy protection at the ecosystem station of Rájec (Drahanská vrchovina Highlands, the Czech Republic) during the growing season (May – October) in 2014. On the fir-beech stand incident on average for the whole growing season only 11 % of photosynthetically active radiation incident on the adult spruce stand. Values of air temperature were decreasing in the vertical profile of fir-beech stand under the adult spruce stand canopy protection toward to the ground. Air temperature in the height of 2 meters above the ground was lower in the fir-beech stand in the gap compared with the adult spruce stands. The relative air humidity in the height of 2 meters above the ground was higher in the fir-beech stand compared with the adult spruce stands. Total precipitation sum was 447 mm at the ecosystem station of Rájec after the growing season (May – October) in 2014, which corresponds to the long-term averages for this locality. Different distribution of rainfall during the growing season were found out. Total throughfall sum was higher in fir-beech stand in the gap compared with the throughfall sum in the adult spruce stand – the difference was almost 17 %. Analysis of the stand microclimate within the fir-beech stand under the adult spruce stand canopy protection showed that conversion of forest monoculture on the forest close to the nature by the trees planting in forest gaps is useful due to appropriate light and moisture conditions in the gap.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK:

FAR – fotosynteticky aktivní radiace
LAI – index listové plochy
EUS – elevační úhel Slunce
SP – dospělý smrkový porost
JBP – jedlo-bukový porost ve clonném kotlíku
PAR – photosynthetically active radiation

SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ:

- Tab. 1: Popis ekosystémové stanice Rájec (Drahanská vrchovina)
- Tab. 2: Statistické zhodnocení denních sum fotosynteticky aktivní radiace (MJ/m^2) dopadající na jedlo-bukový porost ve clonném kotlíku (JBP) a na dospělý smrkový porost (SP) na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014
- Tab. 3: Statistické zhodnocení denních sum fotosynteticky aktivní radiace (MJ/m^2) dopadající na jedlo-bukový porost ve clonném kotlíku (JBP) a na dospělý smrkový porost (SP) třech stanovených obdobích podle vývoje indexu listové plochy dospělého smrkového porostu na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014
- Tab. 4: Statistické zhodnocení průměrných denních teplot vzduchu ($^{\circ}\text{C}$) ve vertikálním profilu jedlo-bukového porostu ve clonném kotlíku a nad dospělým smrkovým porostem na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014
- Tab. 5: Statistické zhodnocení průměrných denních teplot vzduchu ($^{\circ}\text{C}$) ve výšce 2 m nad zemí v dospělém smrkovém porostu a v jedlo-bukového porostu ve clonném kotlíku na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014
- Tab. 6: Statistické zhodnocení průměrných denních teplot vzduchu ($^{\circ}\text{C}$) ve vertikálním profilu jedlo-bukového porostu ve clonném kotlíku a nad dospělým smrkovým porostem třech stanovených obdobích podle vývoje indexu listové plochy dospělého smrkového porostu na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014
- Tab. 7: Statistické zhodnocení průměrných denních relativních vlhkostí vzduchu (%) ve výšce 2 m nad zemí v dospělém smrkovém porostu a v jedlo-bukového porostu ve clonném kotlíku na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014
- Tab. 8: Statistické zhodnocení průměrných denních relativních vlhkostí vzduchu (%) ve výšce 2 m nad zemí v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku (JBP) a v dospělém smrkovém porostu (SP) ve třech stanovených obdobích podle vývoje indexu listové plochy dospělého smrkového porostu na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014
- Foto 1: Clonný jedlo-bukový kotlík vysazený v dospělém smrkovém porostu na ekosystémové stanici Rájec s meteorologickým stožárem (Drahanská vrchovina)
- Foto 2: Dospělý smrkový porost na ekosystémové stanici Rájec s meteorologickou věží (Drahanská vrchovina)
- Obr. 1: Mapa umístění dospělého smrkového porostu a clonného jedlo-bukového kotlíku na ekosystémové stanici Rájec (Drahanská vrchovina)

- Obr. 2: Rozmístění čidel na měření fotosynteticky aktivní radiace v jedlo-bukovém clonném kotlíku
- Obr. 3: Vývoj indexu listové plochy (LAI) dospělého smrkového porostu na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014
- Obr. 4: Denní sumy fotosynteticky aktivní radiace (FAR) dopadající na jedlo-bukový porost ve clonném kotlíku (JBP) a na dospělý smrkový porost (SP) na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014
- Obr. 5: Horizontální distribuce fotosynteticky aktivní radiace (FAR) ve vybraném jasném (A - 04. 09.) a zataženém (B - 02. 09.) v jedlo-bukový porostu ve clonném kotlíku v dospělý smrkové porostu stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014
- Obr. 6: Sumy fotosynteticky aktivní radiace (FAR) dopadající na dospělý smrkový porost (SP) a jedlo-bukový porost ve clonném kotlíku (JBP) ve třech stanovených obdobích podle vývoje indexu listové plochy dospělého smrkového porostu na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014 (I – hladina významnosti $\alpha = 0,05$)
- Obr. 7: Podíl sum fotosynteticky aktivní radiace (FAR)) dopadající na dospělý smrkový porost a jedlo-bukový porost ve clonném kotlíku ve třech stanovených obdobích podle vývoje indexu listové plochy dospělého smrkového porostu na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014 (I – hladina významnosti $\alpha = 0,05$)
- Obr. 8: Průměrné denní teploty vzduchu (AT) nad dospělým smrkovým porostem (SP) a ve vertikálním profilu jedlo-bukového porostu ve clonném kotlíku (AT JBP) ve výškách 8; 5,5; 5 a 0,2 m nad zemí na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014
- Obr. 9: Průměrné denní teploty vzduchu ve výšce 2 m nad zemí (AT2) v dospělém smrkovém porostu (SP) a v jedlo-bukového porostu ve clonném kotlíku na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014
- Obr. 10: Průměrné denní teploty vzduchu (AT) ve vertikálním profilu jedlo-bukového porostu ve clonném kotlíku ve výškách 8; 5,5; 5 a 0,2 m nad zemí na ekosystémové stanici Rájec v roce 2014
- Obr. 11: Průměrné teploty vzduchu (AT) ve vertikálním profilu jedlo-bukového porostu ve clonném kotlíku (výšky 8; 5,5; 2 a 0,2 m nad zemí) a nad dospělým smrkovým porostem (SP) ve třech stanovených obdobích podle vývoje indexu listové plochy dospělého smrkového porostu na ekosystémové stanici Rájec (I – hladina významnosti $\alpha = 0,05$)
- Obr. 12: Průměrná denní relativní vlhkost vzduchu (RH) ve výšce 2 m nad zemí v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku (JBP) a v dospělém smrkovém porostu (SP) na ekosystémové stanici Rájec v roce 2014
- Obr. 13: Průměrné denní relativní vlhkosti vzduchu (RH) ve výšce 2 m nad zemí nad dospělým smrkovým porostem (SP) a v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku (JBP) ve třech stanovených obdobích podle vývoje indexu listové plochy dospělého smrkového porostu na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014 (I – hladina významnosti $\alpha = 0,05$)
- Obr. 14: Denní úhrn srážek na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014
- Obr. 15: Úhrn srážek nad korunovou vrstvou dospělého smrkového porostu (SP) a úhrn podkorunových srážek v dospělém smrkovém porostu (SP – P) a v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku (JBP – P) na ekosystémové stanici Rájec za vegetačního období (květen – říjen) roku 2014
- Obr. 16: Úhrny srážek ve třech stanovených obdobích podle vývoje indexu listové plochy dospělého smrkového porostu na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014 (I – hladina významnosti $\alpha = 0,05$)

OBSAH:

1. ÚVOD.....	1
2. CÍL PRÁCE.....	2
3. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY.....	3
4. METODA	6
5. VÝSLEDKY A DISKUZE.....	10
5.1. Vývoj indexu listové plochy dospělého smrkového porostu	10
5.2. Radiační režim v jedlo-bukovém clonném kotlíku.....	11
5.3. Teplotní režim v jedlo-bukovém clonném kotlíku	16
5.4. Vlhkostní režim v jedlo-bukovém clonném kotlíku	20
5.5. Srážkové poměry v jedlo-bukovém clonném kotlíku.....	22
6. ZÁVĚR.....	27
7. SUMMARY.....	30
8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	32

1. ÚVOD

Lesy střední Evropy jsou významně změněny intenzivním hospodářstvím. Zavádění smrkových a borových monokultur i na stanoviště, kde se smrk a borovice ve větší míře v přirozených podmínkách nevyskytovaly, začalo na území Evropy zejména na přelomu 18. a 19. století. Zákładání smrkových a borových monokultur bylo řešením hrozící civilizací krize z nedostatku dřeva, které se začalo intenzivně využívat v důsledku 1. průmyslové revoluce. Jedině tyto vysoce produktivní dřeviny byly schopny z části vyrovnat produkční základnu, která se zmenšila neřízenou exploatací lesních porostů (Kenk a Guehne 2001, Diaci 2002, Tesař a kol. 2004). Bohužel se brzy začaly ukazovat nevýhody těchto lesních monokultur způsobované kalamitami (abiotickými – vítr, sníh, nebo biotickými - kůrovec, apod.) a nestabilitou monokultur (Kazda 1995, Kazda a Pichler 1998). Od poloviny 20. století se proto začínají projevovat snahy na přestavbu lesních monokultur (Bray 1956, Čížek a kol. 1959, Peřina 1960). Přestavba lesa je dlouhodobý proces přizpůsobování umělých, člověkem nevhodně vytvořených, lesních ekosystémů na druhově bohatší a prostorově více členěný les – tzv. les blízký přírodě (např. Čížek 1977, Tesař 1997, Poleno 2000, Černý a kol. 2001, Poleno a kol. 2007, Vacek a kol. 2007), přičemž přestavba umělého lesa na les blízký přírodě není jednoduchá. Přestavbu je nutné provádět citlivě jednak s ohledem na ekologické nároky lesních dřevin (Kazda 1995), jednak s ohledem na ekonomické aspekty.

Jednou z možností přestavby umělých lesních monokultur na les přírodě blízký je skupinová seč clonná. Obnovním prvem jsou skupiny založené uvnitř mateřského dospělého porostu (clonné kotlíky). Tato seč umožňuje vznik nestejnověkých a zpravidla i smíšených porostů, protože v první fázi se do jehličnatých porostů často vnášejí výsadbou buky a jedle (Poleno a kol. 2007). Porosty vysazované pod clonou dospělého porostu se vyvíjejí v jiných mikroklimatických podmínkách než porosty vysazované na nezalesněných plochách (Gray a kol. 2002, Ritter a kol. 2005, Diaci a kol. 2012, Goisser a kol. 2013). Při studiu produkčních procesů porostů vysazovaných ve clonných kotlících je tedy nutné sledovat také jejich porostní klima.

2. CÍL PRÁCE

Od poloviny 20. století se dostávají po popředí zájmu lesníků postupy přírodě blízkého obhospodařování lesních porostů. Les přírodě blízký je les, jehož dřevinná skladba odpovídá převážně poměrům stanovištním, avšak prostorová struktura i dřevinná skladba je jednodušší než v původním lese. Tyto porosty vznikají činností člověka. Jednou z metod, jak na stanovištích, které jsou dnes osázeny převážně smrkovými monokulturami, postupně vypěstovat les přírodě blízký je metoda skupinové clonné seče (clonné kotlíky). Porost vysazený ve clonných kotlících se vyvíjí v odlišných mikroklimatických podmínkách (porostní klima) než na nezalesněné ploše.

Cílem diplomové práce bylo zhodnocení porostního klimatu v jedlo-bukovém porostu vysazeném ve clonném kotlíku v dospělém smrkovém porostu na ekosystémové stanici Rájec (Drahanská vrchovina) ve vegetačním období (květen – říjen) roku 2014.

3. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Jehličnaté monokultury (smrkové a borové), které byly v Evropě intenzivně zakládány od přelomu 18. a 19. století, v důsledku nárůstu spotřeby dřeva s rozvojem průmyslu, nahradily na většině území Evropy původní smíšené porosty (Kenk a Guehne 2001, Diaci 2002, Tesař a kol. 2004). Podle některých autorů se produkce dřevní hmoty při tomto způsobu hospodaření a při využití nejvhodnějších dřevin zvýšila o více než 50 % proti produkci dřevní hmoty z původních lesních porostů (Průša 2001).

Změna druhové skladby lesních porostů způsobila změnu struktury lesních porostů. V mnoha případech byly smrkové a borové monokultury vysazovány jako polní plodiny, tedy s důrazem na jednoduchou soustavu, přehlednost, časový a prostorový pořádek porostu – tzv. saské porostní hospodářství (Poleno 1997), a byly vysazovány i na nepůvodních stanovištích. Tento způsob lesního hospodářství však ukázal, kromě produkčních výhod, i svoje negativní stránky. Smrkové a borové monokultury se totiž vyznačují menší biodiverzitou (Spiecker 2003, Felton a kol. 2010, Brukas a kol. 2013) a menší odolností vůči škodlivým biotickým a abiotickým vlivům (Kazda 1995, Kazda a Pichler 1998).

Negativními abiotickými činiteli je v lesních monokulturách zejména působení větru, sněhu a námrazy, které mohou způsobovat rozsáhlé kalamity (Vicena 1976, Peltola a kol. 1997, Valinger a Fridman 1997, Talkkari a kol. 2000, Hanewinkel a kol. 2004, Slodičák a Novák 2006, Vicena 2006, Hlásny a kol. 2011, Halle a kol. 2015). Smrkové monokultury jsou poškozovány sněhem a námrazou zejména v mladém věku, od středního věku převážně větrnými polomy a vývraty (Janovský 2008). Rozsáhlé kalamity mohou znamenat mnohem větší ekonomickou ztrátu než částečná přeměna monokultury, a s ní spojená redukce nejžádanější dřeviny (Polanský 1941, Polanský a kol. 1966). Dalšími negativními abiotickými činiteli může být nebezpečí eroze, vyčerpání živin z půdního horizontu, nižší schopnost zadržovat srážkovou vodu a větší konkurence kořenového systému (Khanna 1997, Vejre 1999, Führer 2000, Thelin a kol. 2002, Ludley a kol. 2009, Gebauer a kol. 2012, Carnol a Bazgir 2013, Gilbert a kol. 2013).

Negativními biotickými činiteli jsou v lesních monokulturách převážně fytopatogenní houby, např. václavka (*Armillaria sp.*), kořenovník vrstevnatý (*Heterobasidion anosus*), pevník krvavějící (*Stereum sanguinolentum*), a hmyzí škůdci, např. bekyně mniška (*Lymatria monacha*) a kůrovci rodu (*Ips* a *Pytiogenes*) (Kommedahl a Windels 1979, Grodzky a kol. 2004, Seidl a kol. 2008, Jönsson a kol. 2012, Gunulf a kol. 2013, Morrison a kol. 2014, Lygis a kol. 2014).

Lesní monokultury jsou málo stabilním ekosystémem a vyžadují cílenou pěstební péči, aby jejich pěstování přineslo očekávaný hospodářský výsledek (Spiecker a kol. 2004). V minulosti byla hlavním důvodem výsadby lesních monokultur produkce dřevní hmoty. V současné době se však stále více sleduje i kvalita vyprodukované dřevní hmoty a do popředí zájmu vystupují, kromě produkční funkce lesa, také jeho ostatní (mimoprodukční) funkce. Přestavba lesních monokultur na lesy blízké přírodě by měla zajistit lepší ekonomické, ekologické i sociální funkce lesa (Hanewinkel 2001, Knoeke a Plusczyk 2001, Malcolm a kol. 2001, Průša 2001, Nord-Larsen a kol. 2003, Souček a Tesař 2008, Gamfeldt a kol. 2013). Zejména by měla zajistit ekologickou stabilitu lesních ekosystémů.

Výsadba smrkových monokultur na nepůvodních stanovištích je velice problematická a je tedy vhodné provádět postupnou přestavbu smrkových monokultur na lesy přírodě blízké, a to z důvodu trvale udržitelného hospodaření v lesích, zachování biologické diverzity. Přestavba smrkových monokultur na lesy přírodě blízké není v České republice žádnou novinkou, protože o úpravu dřevinné skladby usilovali čeští lesníci na některých panstvích již od 20. let minulého století a zejména od 40. let minulého století byla snaha o přestavbu smrkových monokultur na lesy přírodě blízké velice významná (Konias 1946, Konias a Mottl 1956, Mezera 1963). Význam přestavby smrkových monokultur opět nabývá na významu, a to zejména v souvislosti s očekávanou změnou klimatu. Očekávaná globální změna může totiž ovlivnit vývoj a rozložení lesních porostů (Steenberg a kol. 2001, Liang a kol. 2011, Liberato a kol. 2011, Koo a kol. 2014, Booth a kol. 2015).

Jednou z metod přeměny smrkové monokultury na les přírodě blízký je skupinová seč clonná. Při této metodě jsou uvnitř dospělého (mateřského) porostu zakládány různě velké clonné kotlíky osazené různými dřevinami – nejčastěji jedlí a bukem (Liu a

Hytterborn 1991, Huth a Wagner 2006, Dobrowolska a Veblen 2008, Rentch a kol. 2010, St-Denis a kol. 2010, Nilson a kol. 2011, Richards a Hart 2011. Kotlíky se většinou zakládají v mateřském porostu v určitém systému, aby se postupně spojily v žebro (Tesař a kol. 2004, Poleno a kol. 2007, Souček a Tesař 2008, Tesař a Dobrovolný 2012).

Ve clonných kotlících, příp. porostních mezerách, se vytvářejí odlišné mikroklimatické podmínky (porostní klima) než na nezalesněné ploše (Yoshida a kol. 1998, Frazer a kol. 2001, Ammer a kol. 2002, Diaci 2002, Paul a kol. 2004, Ritter a kol. 2005, Leuchner a kol. 2011, Schliemann a kol. 2011). Odlišné radiační, teplotní, vlhkostní i srážkové poměry, jsou vhodné pro obnovu lesních dřevin s odlišnými nároky na světlo a vláhu. Na lesní porosty vysazené ve clonných kotlících dopadá více sluneční radiace, která modifikuje teplotní a vlhkostní režim, a dopadá na ně více srážek, což modifikuje vodní bilanci porostů v kotlících, než je tomu v dospělém porostu v okolí clonných kotlíků. Míra vlivu okolního dospělého porostu na porostní klima ve clonných kotlících závisí na stupni proclonění (Souček a Tesař 2008).

4. METODA

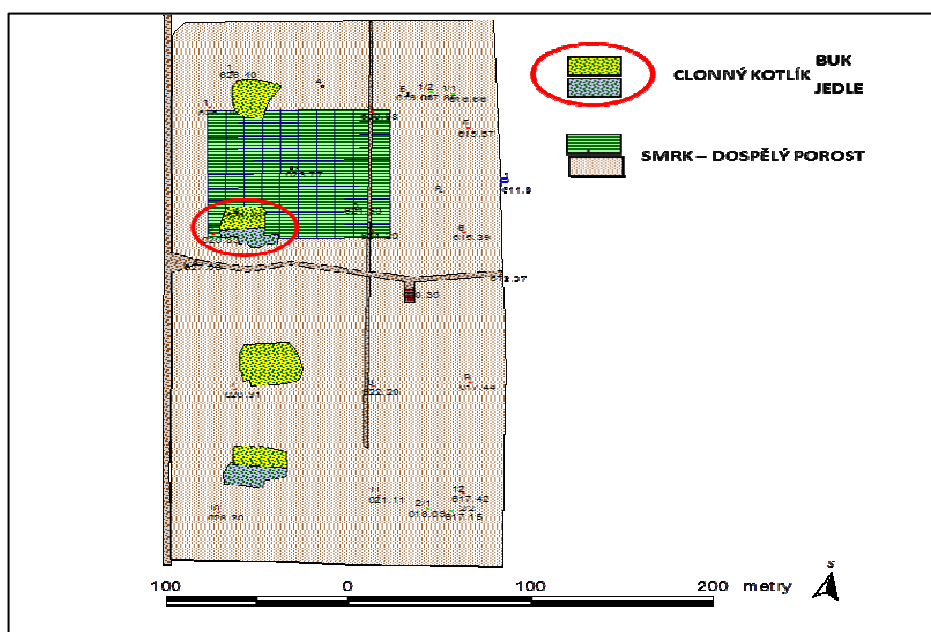
Ve vegetačním období (květen – říjen) roku 2014 byly sledovány vybrané parametry porostního klimatu v jedlo-bukovém porostu vysazeném ve clonném kotlíku v dospělé smrkové monokultuře na ekosystémové stanici Rájec (Drahanská vrchovina) – Tab. 1.

Jedlo-bukový porost byl založen umělou výsadbou ve sponu 1 x 1 m ve clonném kotlíku v roce 2002. Ve clonném kotlíku byl vysazen na ploše 0,03 ha buk (*Fagus sylvatica* L.) a na ploše 0,05 ha jedle (*Abies alba* MILL.) (Menšík, ústní sdělení) – Obr. 1, Foto 1. Dospělý smrkový porost (100 % SM) byl založen na přelomu 19. a 20. století na holině vzniklé po vytěžení původního bukového porostu. Jedná se tedy o 1. generaci smrkového porostu (*Picea abies* (L.) Karst.) (Klimo a Hruška 1991). Průměrná výška jedle ve clonném kotlíku byla v roce 2014 $2,9 \pm 0,92$ m a průměrná výška buku byla $1,6 \pm 0,61$ m. Průměrná výška dospělé smrkové monokultury byla v roce 2014 $33,1 \pm 2,68$ m.

Tab. 1: Popis ekosystémové stanice Rájec (Drahanská vrchovina)

Zeměpisné souřadnice	49°29' S, 16°43' V
Nadmořská výška	610 – 625 m
Sklon	S-V
Geologické podloží	kyselý granodiorit
Klimatické charakteristiky ¹⁾	průměrná roční teplota vzduchu 6,95 °C průměrný roční úhrn srážek 643 mm
Vegetační stupeň	4. (jedlo-bukový)
Lesní typ	svěží jedlová bučina šřavelová (5S1) (4AB3 - <i>Fageta quercino abietina</i> , svaz <i>Luzulo-Fagion</i> , asociace <i>Luzulo-Fagetum</i>)

¹⁾ Drápelová a kol. (2010)



Obr. 1: Mapa umístění dospělého smrkového porostu a clonného jedlo-bukového kotlíku na ekosystémové stanici Rájec (Drahanská vrchovina)

Sledované parametry porostního klimatu v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku:

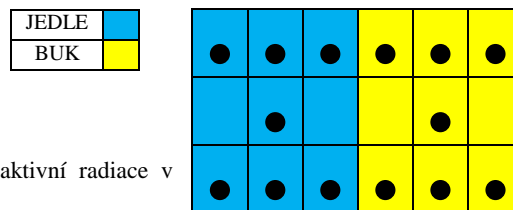
- **teplota vzduchu** byla měřena teplotními čidly EMS 33, Rotronics (EMS, Česká republika) umístěnými v několika výškových úrovních (0,2; 2; 5,5 a 8 metrů nad zemí) na meteorologickém stožáru (Foto 1),
- **vlhkost vzduchu** byla měřena vlhkostním čidlem EMS 33, Rotronics (EMS, Česká republika) umístěným ve výšce 2 metry nad zemí na meteorologickém stožáru (Foto 1),



Foto 1: Clonný jedlo-bukový kotlík vysazený v dospělém smrkovém porostu na ekosystémové stanici Rájec s meteorologickým stožárem (Drahanská vrchovina)

- **dopadající fotosynteticky aktivní radiace (FAR)** byla měřena radiačními čidly EMS 12 (EMS, Česká republika) umístěnými na kovových tyčích ve výšce 3

metry nad zemí. Celkem bylo použito 14 čidel, jejichž rozmístění je uvedeno na Obr. 2,



Obr. 2: Rozmístění čidel na měření fotosynteticky aktivní radiace v jedlo-bukovém clonném kotlíku

- **úhrn podkorunových srážek** byl měřen plastovými srážkoměry vlastní výroby se záchytnou plochou 335 cm². Výška umístění záchytné plochy srážkoměru byla 40 cm nad zemí. V jedlovém porostu byly umístěny 2 srážkoměry, na rozhraní jedlového a bukového porostu 1 a v bukovém porostu 2 srážkoměry.

Sledované parametry porostního klimatu v dospělém smrkovém porostu:

- **teplota vzduchu** byla měřena teplotními čidly EMS 33, Rotronics (EMS, Česká republika) umístěnými ve výšce 2 a 42 metrů nad zemí na meteorologické věži (Foto 2),
- **vlhkost vzduchu** byla měřena vlhkostním čidlem EMS 33, Rotronics (EMS, Česká republika) umístěným ve výšce 2 metry nad zemí na meteorologické věži (Foto 2),



Foto 2: Dospělý smrkový porost na ekosystémové stanici Rájec s meteorologickou věží (Drahanská vrchovina)

- **dopadající fotosynteticky aktivní radiace (FAR)** byla měřena radiačním čidlem EMS 12 (EMS, Česká republika) umístěným na meteorologické věži ve výšce 42 metrů nad zemí,
- **úhrn srážek dopadajících na porost** byl měřen srážkoměrem Precipitation Gauge 386C (MetOne Instruments, Inc, USA),

- **úhrn podkorunových srážek** byl měřen plastovými srážkoměry vlastní výroby se záchytnou plochou 335 cm². Výška umístění záchytné plochy srážkoměru byla 1 metr cm nad zemí. V porostu bylo umístěno 5 srážkoměry.

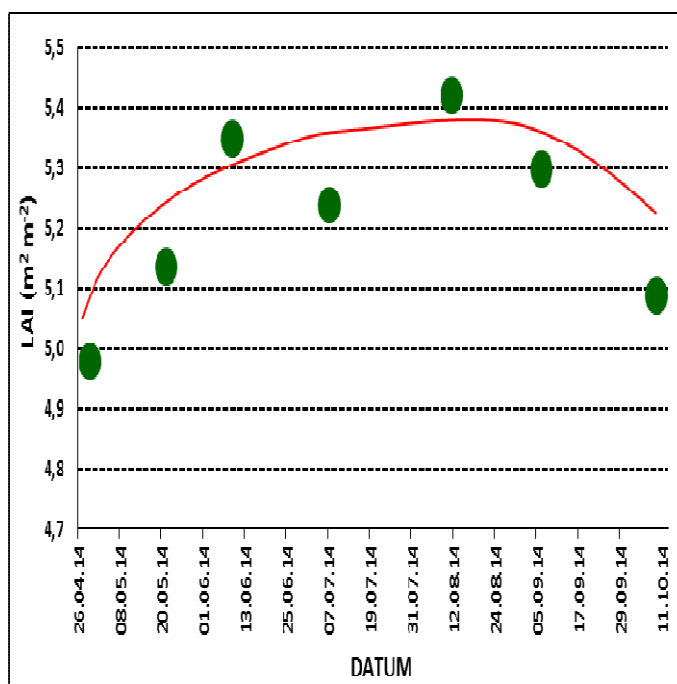
Hodnoty teploty a vlhkosti vzduchu a dopadající FAR byly zaznamenávány každých 30 sekund a do automatické ústředny byly ukládány 30-minutové průměry z těchto naměřených hodnot. Podkorunové srážky byly odebírány manuálně v intervalu 14 dní.

Naměřené hodnoty porostního klimatu byly statisticky zpracovány pomocí programu Microsoft – Excel (Microsoft, USA) a Statistica 9.0 (StatSoft, USA).

5. VÝSLEDKY A DISKUZE

5.1. Vývoj indexu listové plochy dospělého smrkového porostu

Korunová vrstva dospělého smrkového porostu vytvářela částečnou clonu pro vývoj jedlo-bukového porostu vysazeného ve clonném kotlíku. Množství listoví v korunové vrstvě smrkového porostu se mění během vegetačního období, což lze vyjádřit hodnotami indexu listové plochy (LAI). Ontogenetický vývoj listoví v korunové vrstvě významně modifikuje průnik sluneční radiace korunovou vrstvou (Lindroth a Perttu 1981, Wang a kol. 2007, Vajda 2013), což následně ovlivňuje ostatní mikroklimatické charakteristiky. Hodnoty LAI se zvyšovaly na začátku vegetačního období vzhledem k nárůstu nových letorostů. Nárůst nových letorostů byl ukončen přibližně na konci první dekády července (1. období vývoje LAI). Poté se hodnoty LAI příliš neměnily (2. období vývoje LAI) a od druhé dekády září došlo k mírnému poklesu hodnot LAI v důsledku přirozeného opadu starších ročníků jehlic, příp. opadu suchých jehlic (3. období vývoje LAI) (Obr. 3).



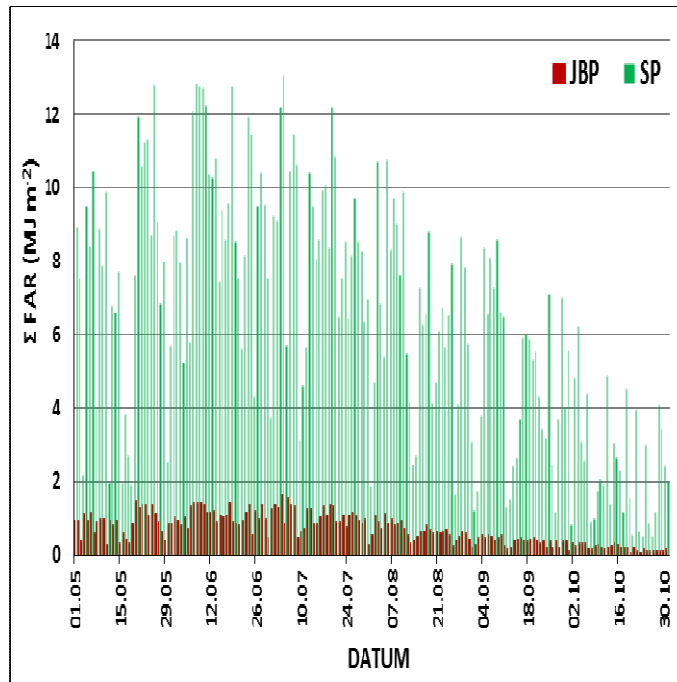
Obr. 3: Vývoj indexu listové plochy (LAI) dospělého smrkového porostu na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014

5.2. Radiační režim v jedlo-bukovém clonném kotlíku

Rozdíly v hodnotách FAR dopadající na ekosystémovou stanici (dospělý smrkový porost) byly způsobeny jednak změnami elevačního úhlu Slunce (EUS), jednak změnami propustnosti atmosféry pro sluneční radiaci (Marková a Janouš 2003, Donatelli a kol. 2006). Průměrná sezónní hodnota “clearness indexu” (podíl sluneční radiace dopadající na horní hranici atmosféry a na zemský povrch) byl 42 %, což odpovídá literárním údajům (Krečmer 1980). Celková suma fotosynteticky aktivní radiace (FAR) za vegetační období (květen – říjen) roku 2014 dopadající na dospělý smrkový porost byla 1178,5 MJ/m² a dopadající na jedlo-bukový porost ve clonném kotlíku 130,1 MJ/m² (Obr. 4). Na jedlo-bukový porost tedy dopadalo v průměru za celé vegetační období pouze 11 % FAR dopadající na dospělý smrkový porost (Tab. 2). Clona korunové vrstvy dospělého smrkového porostu tak významně ovlivňovala množství FAR dopadající na jedlo-bukový porost, čímž se ve clonném kotlíku vytvářely specifické radiační podmínky pro růst dřevin (Diaci 2002, Leuchner a kol. 2011). Pro růst jedle i buku jsou tyto podmínky vhodné, protože jsou to dřeviny, které jsou velice málo náročné na světlo (Poleno a kol. 2007, Kučeravá a kol. 2013, Paluch a Jastrzebski 2013, Schütz a Pommerening 2013). Zejména jedle vyžaduje v mladém věku zastínění, na nezalesněných pasekách je její růst pomalý a může trpět letními přísušky.

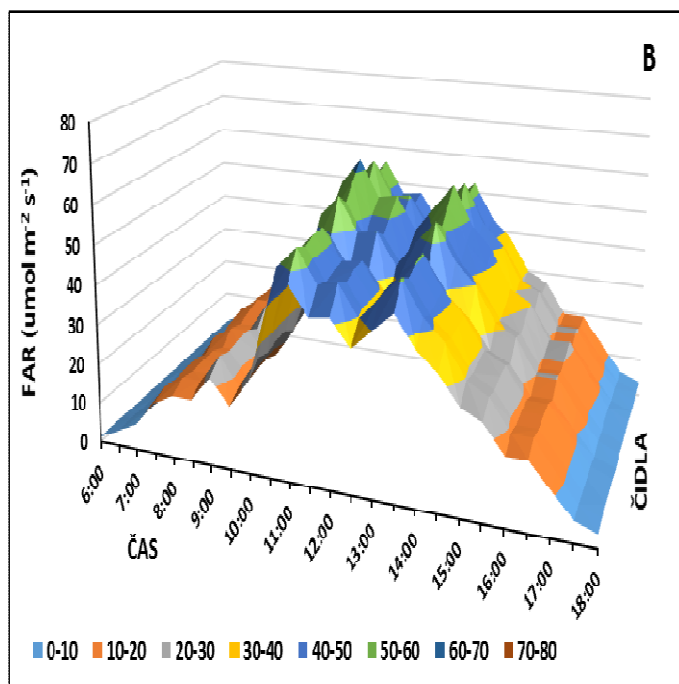
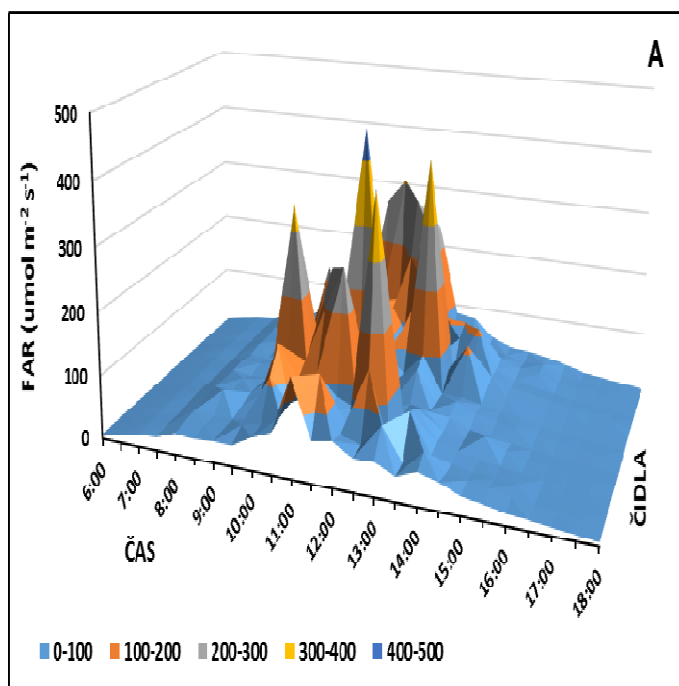
Tab. 2: Statistické zhodnocení denních sum fotosynteticky aktivní radiace (MJ/m²) dopadající na jedlo-bukový porost ve clonném kotlíku (JBP) a na dospělý smrkový porost (SP) na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014

	JEDLO-BUKOVÝ POROST	SMRKOVÝ POROST
Střední hodnota	0,7	6,4
Směrodatná odchylka	0,4	3,4
Minimum	0,1	0,5
Maximum	1,6	13,1



Obr. 4: Denní sumy fotosynteticky aktivní radiace (FAR) dopadající na jedlo-bukový porost ve clonném kotlíku (JBP) a na dospělý smrkový porost (SP) na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014

Rozdílně pronikala FAR skrz částečnou clonu dospělého smrkového porostu v jasném a zataženém dni (Obr. 5). Pro srovnání byly vybrány dva dny z období maximálních hodnot LAI korunové vrstvy dospělého smrkového porostu. Konkrétně 04. 09. – jasný den, 02. 09. – zatažený den. V zataženém dni pronikalo na jedlo-bukový porost ve clonném kotlíku mnohem méně FAR, což je pochopitelné vzhledem k množství FAR dopadající na korunovou vrstvu smrkového porostu, které je při zataženém dni nízké. Nicméně prostorové rozložení hustoty toku FAR na jedlo-bukový porost bylo mnohem příznivější než za jasného dne. Za jasného dne v porostu vytvářejí sluneční skvrny, které vyznačují větší hustotou toku FAR a zastíněná místa, ve kterých je hustota toku FAR menší. Takže radiační režim je za jasného dne odlišný než za zataženého dne (Myneni a kol. 1986, Vales a Brunnell 1988, Larcher 2003).



Obr. 5: Horizontální distribuce fotosynteticky aktivní radiace (FAR) ve vybraném jasném (A - 04. 09.) a zataženém (B - 02. 09.) v jedlo-bukový porostu ve clonném kotlíku v dospělý smrkové porostu stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014

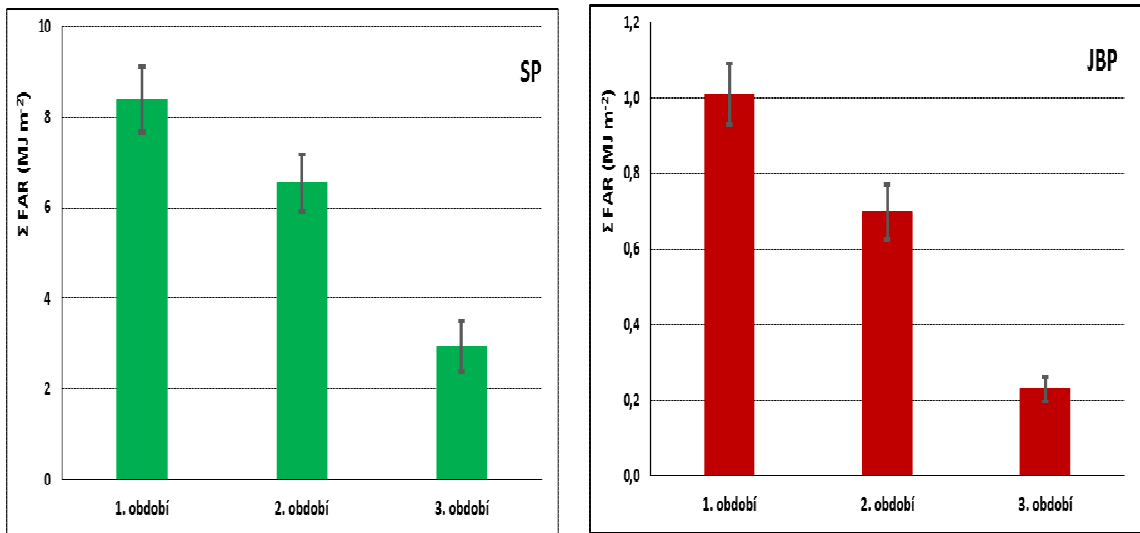
Při srovnání charakteristik radiačního režimu ve třech obdobích vývoje LAI dospělého smrkového porostu (viz 5.1.) byl největší příkon FAR dopadající na dospělý smrkový porost i na jedlo-bukový porost ve clonném kotlíku v 1. období a nejmenší ve 3. období (Obr. 6, Tab. 3), což bylo způsobeno změnami elevačního úhlu Slunce a

ontogenetickým vývojem korunové vrstvy dospělého smrkového porostu (Vales a Brunnell 1988, McFarlane a kol. 2003, Hardy a kol. 2004, , který vytvářel clonu nad jedlo-bukovým porostem. Rozdíly v hodnotách FAR dopadající na jedlo-bukový porost ve srovnávaných obdobích podle vývoje LAI korunové vrstvy dospělého smrkového porostu však byly výrazně vyšší než v hodnotách FAR dopadajících na dospělý smrkový porost. Významné rozdíly v hodnotách FAR dopadajících na jedlo-bukový porost ve clonném kotlíku byly způsobeny zejména výrazně odlišným elevačním úhlem Slunce (maximální hodnota EUS byla v 1. období 64° a ve 3. období 42°), což ovlivnilo jednak odlišný úhel dopadu FAR na jedlo-bukový porost, jednak odlišný způsob průniku FAR korunovou vrstvou dospělého smrkového porostu (Cescatti 1997, Leuchner a kol. 2011, Hertel a kol. 2012).

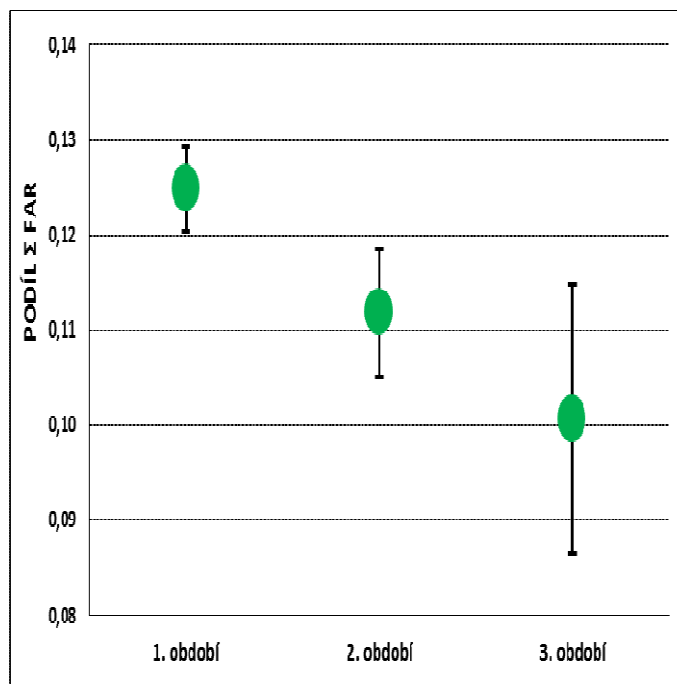
Rozdíly v příkonu FAR dopadající na dospělý smrkový porost a na jedlo-bukový porost ve clonném kotlíku jsou patrné také z Obr. 7, na kterém je vyjádřen podíl sumy FAR dopadající na dospělý smrkový porost a na jedlo-bukový porost ve třech obdobích vývoje LAI dospělého smrkového porostu (viz 5.1.). Mezi 1. a 2. obdobím byly dokonce zjištěny statisticky významné rozdíly v příkonu FAR na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. To potvrzuje, že průnik FAR skrz korunovou vrstvu a ontogenetický vývoj korunové vrstvy dospělého smrkového porostu se během vegetačního období mění.

Tab. 3: Statistické zhodnocení denních sum fotosynteticky aktivní radiace (MJ/m^2) dopadající na jedlo-bukový porost ve clonném kotlíku (JBP) a na dospělý smrkový porost (SP) ve třech stanovených obdobích podle vývoje indexu listové plochy dospělého smrkového porostu na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014

	1. období		2. období		3. období	
	JBP	SP	JBP	SP	JBP	SP
Střední hodnota	1,0	8,4	0,70	6,54	0,23	2,95
Směrodatná odchylka	3,1	3,1	0,3	2,7	0,1	1,8
Minimum	0,3	2,0	0,2	1,2	0,1	0,5
Maximum	1,6	13,1	1,4	12,2	0,5	7,1



Obr. 6: Sumy fotosynteticky aktivní radiace (FAR) dopadající na dospělý smrkový porost (SP) a jedlo-bukový porost ve clonném kotlíku (JBP) ve třech stanovených obdobích podle vývoje indexu listové plochy dospělého smrkového porostu na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014 (I – hladina významnosti $\alpha = 0,05$)



Obr.7: Podíl sum fotosynteticky aktivní radiace (FAR)) dopadající na dospělý smrkový porost a jedlo-bukový porost ve clonném kotlíku ve třech stanovených obdobích podle vývoje indexu listové plochy dospělého smrkového porostu na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014 (I – hladina významnosti $\alpha = 0,05$)

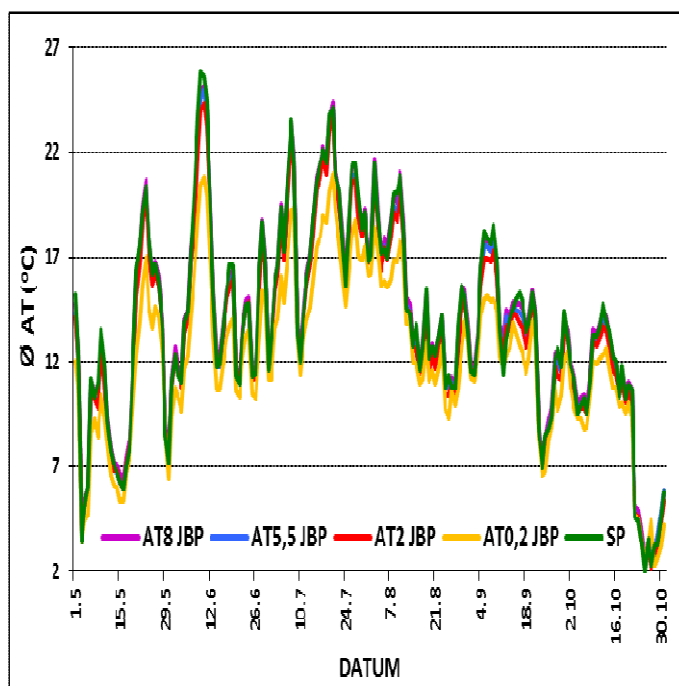
5.3. Teplotní režim v jedlo-bukovém clonném kotlíku

Ve vertikálním profilu (teplota vzduchu nad dospělým smrkovým porostem a teplota vzduchu ve výškách 8; 5,5; 2 a 0,2 nad zemí v jedlo-bukovém clonném kotlíku) byla zjištěna nejvyšší průměrná sezónní teplota vzduchu (květen – říjen) v roce 2014 ve výšce 8 m nad zemí v jedlo-bukovém clonném kotlíku (Obr. 8). To mohlo být způsobeno zejména odlišným prouděním vzduchu nad dospělým smrkovým porostem a nad jedlo-bukovým porostem v clonném kotlíku. Proudění vzduchu je proces, který významně působí na přenos energie a látek mezi jednotlivými vrstvami atmosféry a je značně ovlivňováno parametry povrchu (drsnot povrchu), nad kterým probíhá (Greens a kol. 1995, Quine a Gardiner 2007, Sypka a Starzak 2013).

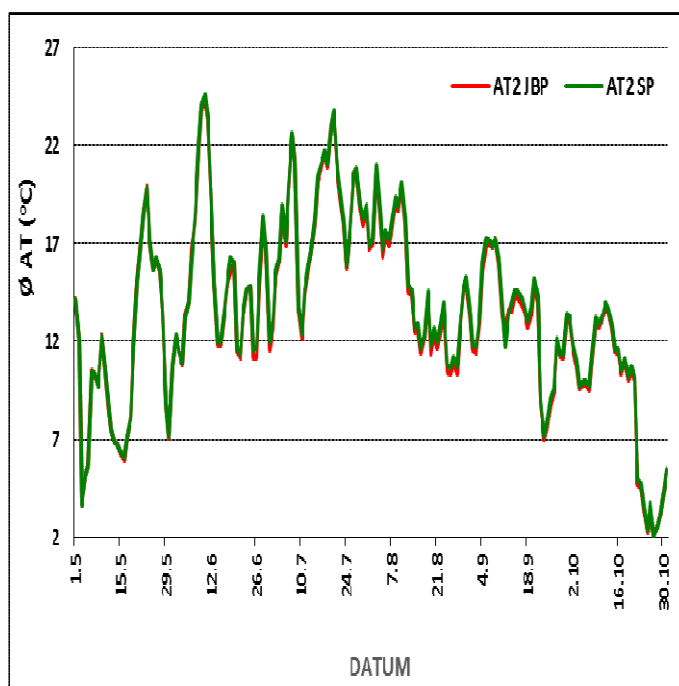
V jedlo-bukovém porostu vysazeném pod clonou dospělého smrkového porostu se ve vertikálním profilu teploty vzduchu snižovaly směrem k zemskému povrchu (Obr. 9, Tab. 4). Nejnižší hodnoty teploty vzduchu byly zjištěny ve výšce 0,2 m nad zemí, přičemž byl zjištěn statisticky významné rozdíly mezi hodnotami teploty vzduchu v této výšce a v ostatních výškách jedlo-bukového porostu. Tento významný rozdíl v teplotě vzduchu těsně nad zemským povrchem mohl být způsoben rozdílným příkonem sluneční radiace (Grace a kol. 1987, Renaud a Rebete 2009, Božka 2014) způsobeným změnou v množství listoví (Yang a kol. 1993, Knyazikhin a kol. 1997, Umeki a kol. 2010) nebo rozdílným tepelným vyzařováním zemského povrchu (Ritter a kol. 2005, Graham a kol. 2010).

Tab. 4: Statistické zhodnocení průměrných denních denních teplot vzduchu (°C) ve vertikálním profilu jedlo-bukového porostu ve clonném kotlíku a nad dospělým smrkovým porostem na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014

	JEDLO-BUKOVÝ POROST				NAD SMRKOVÝM POROSTEM
	8 m nad zemí	5,5 m nad zemí	2 m nad zemí	0,2 m nad zemí	
Střední hodnota	14,1	13,7	13,5	12,2	13,9
Směrodatná odchylka	4,8	4,7	4,7	4,0	4,9
Minimum	2,6	2,3	2,2	2,3	2,0
Maximum	25,2	25,0	24,3	21,0	25,8



Obr. 8: Průměrné denní teploty vzduchu (AT) nad dospělým smrkovým porostem (SP) a ve vertikálním profilu jedlo-bukového porostu ve clonném kotlíku (AT JBP) ve výškách 8; 5,5; 5 a 0,2 m nad zemí na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014

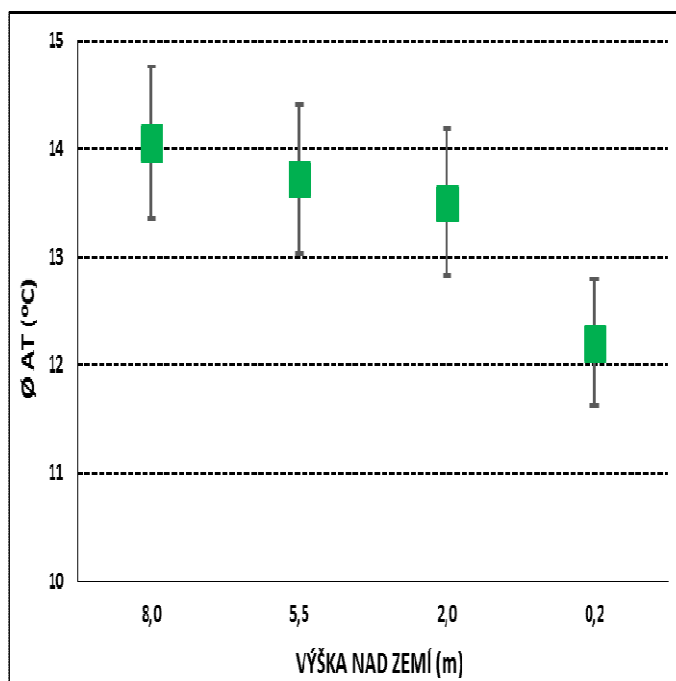


Obr. 9: Průměrné denní teploty vzduchu ve výšce 2 m nad zemí (AT2) v dospělém smrkovém porostu (SP) a v jedlo-bukového porostu (JBP) ve clonném kotlíku na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014

Srovnáním hodnot teploty vzduchu ve výšce 2 m nad zemí v dospělém smrkovém porostu a v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku bylo zjištěno, že teplota vzduchu v jedlo-bukovém porostu byla nižší než ve smrkovém porostu (Obr. 10, Tab. 5), i když nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly. V jedlo-bukovém porostu však byly zjištěny menší rozdíly v maximálních a minimálních hodnotách, což znamená, že podrost pod clonou dospělého smrkového porostu zmírňoval teplotní extrémy. To mohlo být způsobeno odlišným prouděním vzduchu (Greens a kol. 1995, Quine a Gardiner 2007, Sypka a Starzak 2013) a odlišným tokem tepla (Ogée a kol. 2001, Graham a kol. 2010).

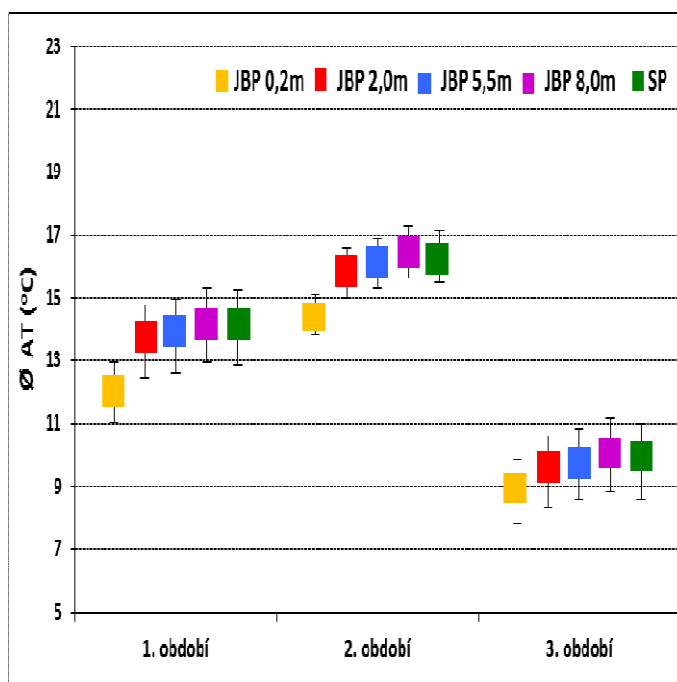
Tab. 5: Statistické zhodnocení průměrných denních teplot vzduchu (°C) ve výšce 2 m nad zemí v dospělém smrkovém porostu a v jedlo-bukového porostu ve clonném kotlíku na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014

	JEDLO-BUKOVÝ POROST	SMRKOVÝ POROST
Střední hodnota	13,5	13,7
Směrodatná odchylka	4,7	4,7
Minimum	2,2	2,2
Maximum	24,3	24,6



Obr. 10: Průměrné denní teploty vzduchu (AT) ve vertikálním profilu jedlo-bukového porostu ve clonném kotlíku ve výškách 8; 5,5; 5 a 0,2 m nad zemí na ekosystémové stanici Rájec v roce 2014

Při srovnání průměrných teplot vzduchu stanovených pro tři období vývoje LAI dospělého smrkového porostu (viz 5.1.) nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi teplotami vzduchu ve vertikálním profilu v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku a nad dospělým smrkovým porostem v 1. a 3. období, ale ve 2. období byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi teplotou vzduchu ve výšce 0,2 m nad zemí v jedlo-bukovém porostu a ostatními výškami v jedlo-bukovém porostu a nad dospělým smrkovým porostem (Obr. 11, Tab. 7). To mohlo být způsobeno změnou olistění buku v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku.



Obr. 11: Průměrné teploty vzduchu (AT) ve vertikálním profilu jedlo-bukového porostu ve clonném kotlíku (výšky 8, 5,5, 2 a 0,2 m nad zemí) a nad dospělým smrkovým porostem (SP) ve třech stanovených obdobích podle vývoje indexu listové plochy dospělého smrkového porostu na ekosystémové stanici Rájec (I – hladina významnosti $\alpha = 0,05$)

Tab. 6: Statistické zhodnocení průměrných denních teplot vzduchu (°C) ve vertikálním profilu jedlo-bukového porostu ve clonném kotlíku a nad dospělým smrkovým porostem třech stanovených obdobích podle vývoje indexu listové plochy dospělého smrkového porostu na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014

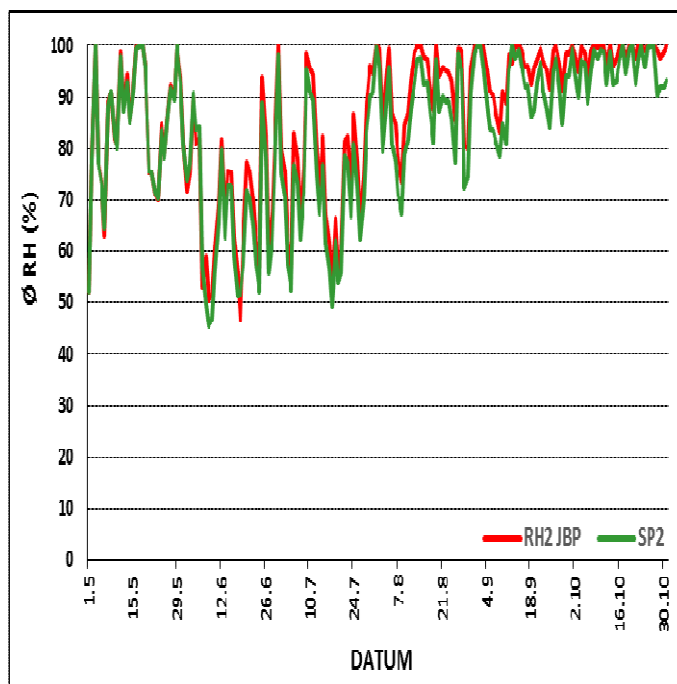
		JEDLO-BUKOVÝ POROST				NAD SMRKOVÝM POROSTEM
		8 m nad zemí	5,5 m nad zemí	2 m nad zemí	0,2 m nad zemí	
Střední hodnota	1. období	14,1	13,8	13,6	12,0	14,0
Směrodatná odchylka		4,9	4,9	4,8	4,1	5,1
Minimum		3,9	3,6	3,7	3,4	3,4
Maximum		25,2	25,0	24,3	20,8	25,8
Střední hodnota	2. období	16,5	16,2	15,8	14,5	16,3
Směrodatná odchylka		3,4	3,4	3,4	2,8	3,5
Minimum		10,9	10,6	10,4	9,3	10,7
Maximum		24,4	24,0	23,7	21,0	24,1
Střední hodnota	3. období	9,9	9,6	9,5	8,8	9,8
Směrodatná odchylka		3,8	3,7	3,7	3,4	3,9
Minimum		2,6	2,3	2,2	2,3	2,0
Maximum		15,4	15,1	14,9	14,0	15,9

5.4. Vlhkostní režim v jedlo-bukovém clonném kotlíku

Srovnáním hodnot relativní vlhkosti vzduchu ve výšce 2 m nad zemí v dospělém smrkovém porostu a v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku bylo zjištěno, že relativní vlhkost vzduchu v jedlo-bukovém porostu byla vyšší než ve smrkovém porostu (Obr. 12, Tab. 7), i když nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly. V jedlo-bukovém porostu však byly zjištěny menší rozdíly v maximálních a minimálních hodnotách, což znamená, že podrost pod clonou dospělého smrkového porostu zmírňoval vlhkostní extrémy. To mohlo být způsobeno odlišným prouděním vzduchu (viz 5.3.) a odlišnými evapotranspiračními parametry jedlo-bukového porostu ve clonném kotlíku (Kelliher a kol. 1990, Zirlewagen a von Wilpert 2001).

Tab. 7: Statistické zhodnocení průměrných denních relativních vlhkostí vzduchu (%) ve výšce 2 m nad zemí v dospělém smrkovém porostu a v jedlo-bukového porostu ve clonném kotlíku na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014

	JEDLO-BUKOVÝ POROST	SMRKOVÝ POROST
Střední hodnota	86,4	83,2
Směrodatná odchylka	14,1	14,4
Minimum	46,7	45,6
Maximum	100	100

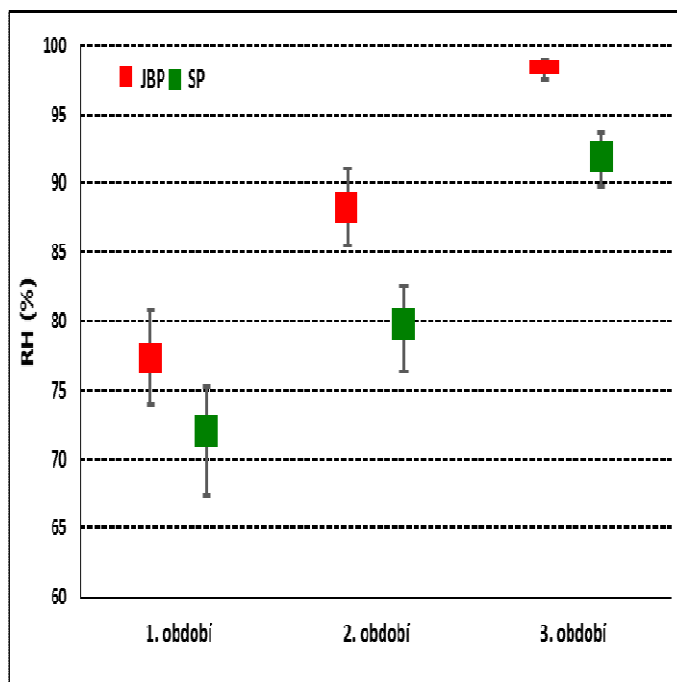


Obr. 12: Průměrná denní relativní vlhkost vzduchu (RH) ve výšce 2 m nad zemí v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku (JBP) a v dospělém smrkovém porostu (SP) na ekosystémové stanici Rájec v roce 2014

Při srovnání průměrných relativních vlhkostí vzduchu stanovených ve výšce 2 m nad zemí pro tři období vývoje LAI dospělého smrkového porostu (viz 5.1.) byly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi relativní vlhkostí vzduchu v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku a dospělým smrkovým porostem ve 2. a 3. období (Obr. 13, Tab. 8). Z výsledků je patrné, že clona dospělého smrkového porostu vytvářela vhodné podmínky pro vlhkostní režim v jedlo-bukovém porostu ve clonném porostu. Vzduch v jedlo-bukovém porostu byl více nasycen vodní parou, což mohlo příznivě ovlivňovat vodní bilanci porostu (Bugmann a Cramer 1998, Rodríguez-Calcerrada a kol. 2008, Ruehr a kol. 2012).

Tab. 8: Statistické zhodnocení průměrných denních relativních vlhkostí vzduchu (%) ve výšce 2 m nad zemí v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku (JBP) a v dospělém smrkovém porostu (SP) ve třech stanovených obdobích podle vývoje indexu listové plochy dospělého smrkového porostu na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014

	1. období		2. období		3. období	
	JBP	SP	JBP	SP	JBP	SP
Střední hodnota	77,4	75,5	88,3	83,7	98,2	83,7
Směrodatná odchylka	14,4	15,3	11,8	12,5	2,3	4,3
Minimum	46,8	45,6	53,1	49,3	91,2	84,1
Maximum	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0



Obr. 13: Průměrné denní relativní vlhkosti vzduchu (RH) ve výšce 2 m nad zemí nad dospělým smrkovým porostem (SP) a v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku (JBP) ve třech stanovených obdobích podle vývoje indexu listové plochy dospělého smrkového porostu na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014 (I – hladina významnosti $\alpha = 0,05$)

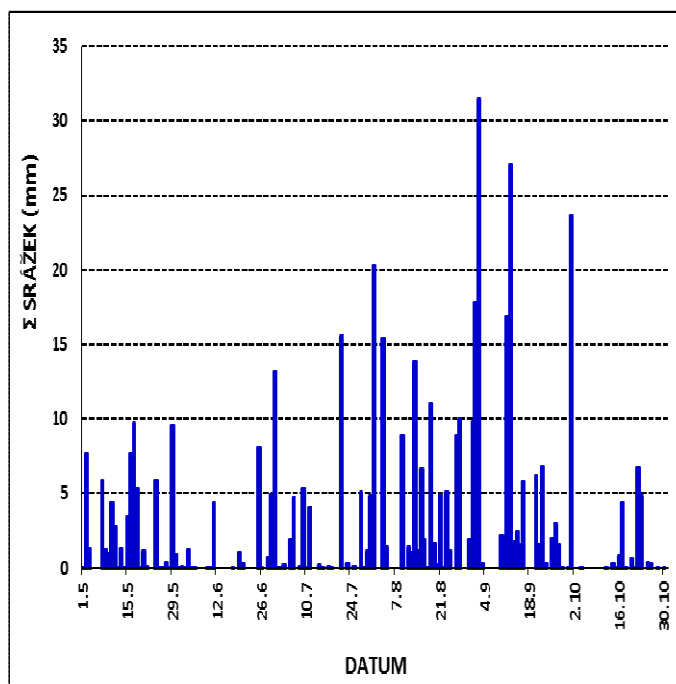
5.5. Srážkové poměry v jedlo-bukovém clonném kotlíku

Úhrn srážek dopadajících na dospělý smrkový porost za vegetační období (květen – říjen) roku 2014 byl na ekosystémové stanici Rájec 447 mm (Obr. 14). Dlouhodobý průměr stanovený pro tuto lokalitu je $427 \pm 38,3$ mm (Marková, ústní sdělení), takže množství srážek odpovídalo ve vegetačním období roku 2014 průměru. Rozdílné však bylo rozložení srážek během vegetačního období (Tab. 9). Z hlediska dlouhodobého průměru byl měsíc červen srážkově podprůměrný a měsíc září srážkově nadprůměrný.

Tab. 9: Úhrny srážek v jednotlivých měsících vegetačního období (květen – říjen) roku 2014 a dlouhodobé průměry (\pm směrodatná odchylka) na ekosystémové stanici Rájec

	2014	Dlouhodobý průměr \pm směrodatná odchylka ¹⁾
Květen	70	75 \pm 34
Červen	34	91 \pm 35
Červenec	65	82 \pm 43
Srpen	107	78 \pm 56
Září	129	62 \pm 37
Říjen	42	40 \pm 26

¹⁾ Marková (ústní sdělení)

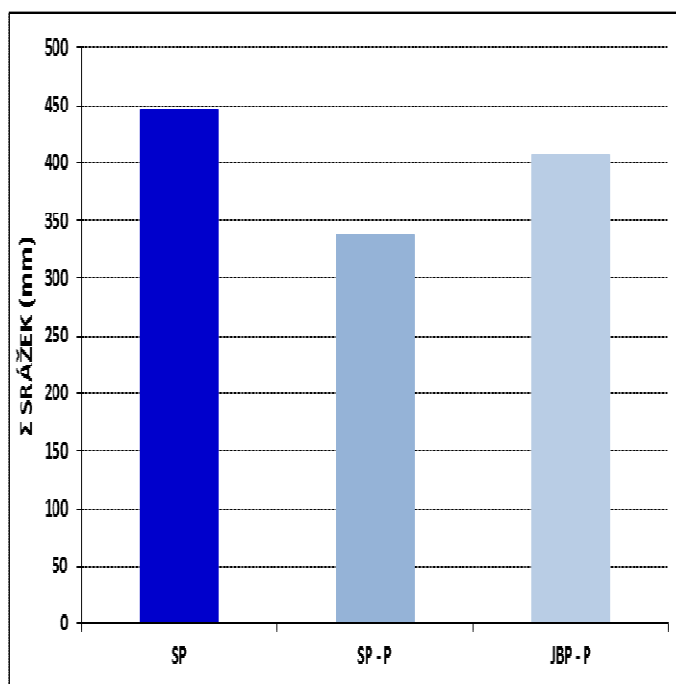


Obr.14: Denní úhrn srážek na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014

Úhrn podkorunových srážek za vegetační období (květen – říjen) roku 2014 byl v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku a v dospělém smrkovém porostu nižší než úhrn srážek nad korunovou vrstvou dospělého smrkového porostu (Obr. 15). Korunová vrstva dospělého smrkového porostu zachytila část dopadajících srážek (intercepční ztráty), takže pod korunovou vrstvou jich proniklo méně (Beier a kol. 1993, Whelan a Anderson 1996). Úhrn podkorunových srážek za vegetační období (květen – říjen) roku 2014 byl vyšší v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku než v dospělém mateřském smrkovém porostu – rozdíl činil téměř 17 %. Větší množství podkorunových srážek v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku bylo způsobeno tím, že korunová vrstva dospělého smrkového porostu nad clonným kotlíkem byla částečně odstraněna, takže

skrz ní pronikalo více srážek než v místech se souvislou korunovou vrstvou (Zhu a kol. 2003, Ritter a kol. 2005, Powers a kol. 2009).

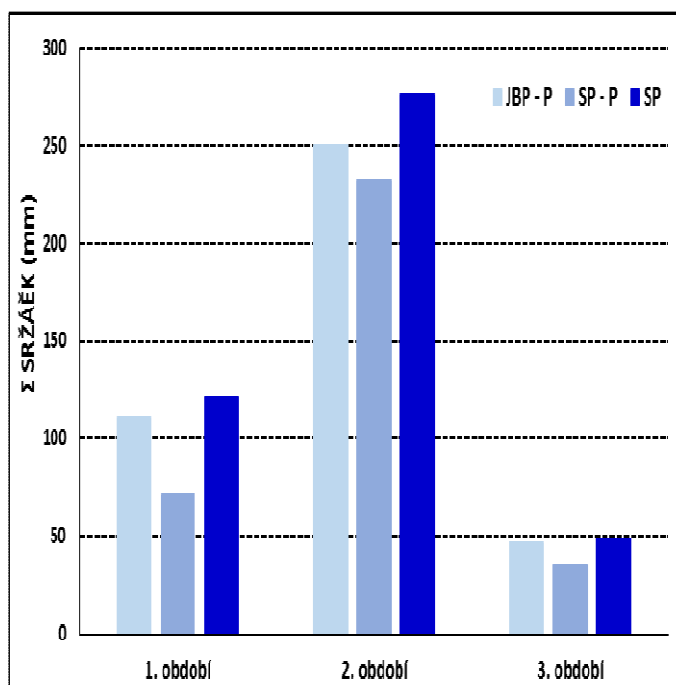
Vzhledem k tomu, že podkorunové srážky byly odebírány manuálně ve 14-denních intervalech, nebylo možné provést statistické zhodnocení množství podkorunových srážek v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku a v dospělém smrkovém porostu.



Obr.15: Úhrn srážek nad korunovou vrstvou dospělého smrkového porostu (SP) a úhrn podkorunových srážek v dospělém smrkovém porostu (SP – P) a v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku (JBP – P) na ekosystémové stanici Rájec za vegetačního období (květen – říjen) roku 2014

Srovnáním úhrnů srážek ve třech stanovených obdobích podle vývoje LAI dospělého smrkového porostu (viz 5.1.) bylo zjištěno, že nejmenší srážkové úhrny byly ve 3. období a nejvyšší ve 2. období (Obr. 16). V 1. období představoval úhrn srážek dopadajících na korunovou vrstvu dospělého smrkového porostu i úhrn podkorunových srážek v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku a v dospělém smrkovém porostu 25 % z celkového sezónního úhrnu srážek, ve 2. období 64 % a ve 3. období pouze 11 %. Rozdíl v úhrnu podkorunových srážek v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku a v úhrnu srážek nad korunovou vrstvou dospělého smrkového porostu byl ve všech sledovaných obdobích kolem 10 %, zatímco v dospělém smrkovém porostu se

rozdíl úhrnu srážek nad korunovou vrstvou a pod korunovou vrstvou pohyboval v rozmezí 15 – 40 %.



Obr. 16: Úhrny srážek ve třech stanovených obdobích podle vývoje indexu listové plochy dospělého smrkového porostu na ekosystémové stanici Rájec během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014 (I – hladina významnosti $\alpha = 0,05$)

Porostní klima v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku pod částečnou clonou dospělého smrkového porostu bylo na ekosystémové stanici Rájec ve vegetačním období (květen – říjen) roku 2014 odlišné od mikroklimatických podmínek, které se vytvářely v místech se souvislou korunovou vrstvou dospělého smrkového porostu. Ve clonném kotlíku byl zaznamenán větší úhrn srážek (Zhu a kol. 2003, Ritter a kol. 2005, Powers a kol. 2009) a menší příkon sluneční radiace (Diaci 2002, Leuchner a kol. 2011). Pro růst jedle i buku byly tyto podmínky vhodné, protože jsou to dřeviny, které jsou málo náročné na světlo, ale vyžadují určité vláhové podmínky (Poleno a kol. 2007, Kučeravá a kol. 2013, Paluch a Jastrzebski 2013, Schütz a Pommerening 2013). Příklad růstu jedle i buku byl proti roku 2013 průměrně 0,35 m (Božka 2014).

Při studiu celkového porostního klimatu v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku je vhodné sledovat také vláhové a teplotní poměry v půdě. Tento výzkum byl zahájen v

průběhu vegetačního období, takže nebyla k dispozici souvislá řada měření teploty a vlhkosti půdy v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku, a proto tato měření nebyla do diplomové práce zahrnuta.

6. ZÁVĚR

Lesy střední Evropy jsou významně změněny intenzivním hospodářstvím. Lesní monokultury, které byly z důvodů hospodářských v minulosti často vysazovány i na nepůvodních stanovištích, jsou málo stabilním ekosystémem a vyžadují cílenou pěstební péči. Proto je snahou lesníků provádění postupné přestavby lesních monokultur na lesy blízké přírodě. Jednou z metod přeměny lesních monokultur na les blízký přírodě je skupinová seč clonná. Porost vysazený ve clonných kotlících se vyvíjí v odlišných mikroklimatických podmínkách (porostní klima) než na nezalesněné ploše.

Cílem diplomové práce bylo zhodnocení porostního klimatu v jedlo-bukovém porostu vysazeném ve clonném kotlíku v dospělém smrkovém porostu na ekosystémové stanici Rájec (Drahanská vrchovina) ve vegetačním období (květen – říjen) roku 2014.

Korunová vrstva dospělého smrkového porostu vytvářela clonu pro vývoj jedlo-bukového porostu vysazeného ve clonném kotlíku. Množství listoví v korunové vrstvě smrkového porostu se měnilo během vegetačního období a významně modifikovalo průnik sluneční radiace korunovou vrstvou smrkového a následně ostatní mikroklimatické parametry.

Celková suma FAR za vegetační období (květen – říjen) roku 2014 dopadající na dospělý smrkový porost byla $1178,5 \text{ MJ/m}^2$ a dopadající na jedlo-bukový porost ve clonném kotlíku $130,1 \text{ MJ/m}^2$. Na jedlo-bukový porost tedy dopadalo v průměru za celé vegetační období pouze 11 % FAR dopadající na dospělý smrkový porost. Průnik FAR se měnil během vegetačního období jednak v závislosti na změnách elevačního úhlu Slunce a propustnosti atmosféry pro sluneční radiaci, jednak vzhledem k ontogenetickému vývoji korunové vrstvy dospělého smrkového porostu, ve kterém byl jedlo-bukový clonný kotlík vysazen.

Jedlo-bukový porost ve clonném kotlíku ovlivňoval teplotní režim. Ve vertikálním profilu jedlo-bukového porostu pod clonou dospělého smrkového se teplota vzduchu snižovala směrem k zemskému povrchu. Srovnáním hodnot teploty vzduchu ve výšce 2 m nad zemí v dospělém smrkovém porostu a v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku bylo zjištěno, že teplota vzduchu v jedlo-bukovém porostu byla nižší než ve

smrkovém porostu. V jedlo-bukovém porostu však byly zjištěny menší rozdíly v maximálních a minimálních hodnotách, takže, že porost pod clonou dospělého smrkového porostu zmírňoval teplotní extrémy.

Relativní vlhkost vzchuchu ve výšce 2 m nad zemí v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku byla vyšší než relativní vlhkost vzduchu ve stejné výšce v dospělém smrkovém porostu a v jedlo-bukovém porostu byly zjištěny menší rozdíly v maximálních a minimálních hodnotách.

Úhrn srážek dopadajících na dospělý smrkový porost za vegetační období (květen – říjen) roku 2014 byl na ekosystémové stanici Rájec 447 mm, což odpovídalo dlouhodobému průměru stanovenému pro tuto lokalitu. Rozdílné však bylo rozložení srážek během vegetačního období. Z hlediska dlouhodobého průměru byl měsíc červen srážkově podprůměrný a měsíc září srážkově nadprůměrný.

Úhrn podkorunových srážek za vegetační období (květen – říjen) roku 2014 byl v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku a v dospělém smrkovém porostu nižší než úhrn srážek nad korunovou vrstvou dospělého smrkového porostu. Úhrn podkorunových srážek byl vyšší v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku než v dospělém smrkovém porostu – rozdíl činil téměř 17 %.

Porostní klima v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku pod částečnou clonou dospělého smrkového porostu bylo na ekosystémové stanici Rájec ve vegetačním období (květen – říjen) roku 2014 odlišné od mikroklimatických podmínek, které se vytvářely v místech se souvislou korunovou vrstvou dospělého smrkového porostu. Ve clonném kotlíku byl zaznamenán větší úhrn srážek a menší příkon sluneční radiace. Pro růst jedle i buku byly tyto podmínky vhodné, protože jsou to dřeviny, které jsou málo náročné na světlo, ale vyžadují určité vláhové podmínky.

Porostní klima v jedlo-bukovém porostu vysazeném ve clonném kotlíku v dospělém smrkovém porostu během vegetačního období (květen – říjen) roku 2014 bylo ovlivněno:

- množstvím sluneční radiace dopadající na studovanou lokalitu, které bylo řídícím prvkem ostatních mikroklimatických charakteristik a které záviselo na elevačním úhlu Slunce a propustnosti atmosféry pro sluneční radiaci,
- ontogenetickým vývojem korunové vrstvy dospělého smrkového porostu charakterizovaného hodnotami indexu listové plochy.

Analýza porostního klimatu v jedlo-bukovém porostu ve clonném kotlíku pod clonou dospělého smrkového porostu prokázala, že přestavba smrkové monokultury na les blízky přírodě metodou skupinové seče clonné je vhodná, protože takto vysazený jedlo-bukový porost se vyvíjel ve vhodných světelných i vláhových podmínkách.

7. SUMMARY

Forests of the Central Europe are significantly altered with intensive forest management. In the past forest monocultures were often planted due to economic reasons. But forest monocultures were often planted on unoriginal habitats and they are less stable ecosystem and require targeted cultivation care. Therefore, the foresters are trying to the gradual conversion of forest monoculture on the forests close to nature. One of the methods of conversion of forest monoculture on the forest close to nature is trees planting in forest gaps. Stand planting in forest gaps is growing in different microclimate conditions (stand climate) than on open place.

The aim of the diploma thesis was to evaluate the stand climate within fir-beech stand planted in gap below the adult spruce stand on the ecosystem station of Rájec (the Dražanská vrchovina Highlands, the Czech Republic) during the growing season (May – October) in 2014.

The canopy of the adult spruce stand created the protection for the development of fir-beech stand planted in the gap. The amount of foliage in the adult spruce stand canopy changed during the growing season and significantly modified the penetration of solar radiation through the canopy and subsequently other microclimatic parameters.

Total sum of photosynthetically active radiation (PAR) incident on the adult spruce stand during the growing season (May – October) in 2014 was 1178.5 MJ/m² and incident on the fir-beech stand in the gap was 130.1 MJ/m². On the fir-beech stand thus incident on average for the whole growing season only 11 % of PAR incident on the adult spruce stand. Transmission of PAR changed during the growing season partly due to changes of the sun elevation angle and changes of atmospheric throughput for solar radiation, partly due to the ontogenetic development of the spruce stand canopy below which the gap was created.

Fir-beech stand in the gap influenced temperature regime. Values of air temperature were decreasing in the vertical profile of fir-beech stand under the adult spruce stand

canopy protection toward to the ground. Air temperature in the height of 2 meters above the ground was lower in the fir-beech stand in the gap compared with the adult spruce stands. Lower differences between maximum and minimum values of air temperature were found in the fir-beech stand, so that the stand in the gap under the adult spruce stand canopy protection mitigated temperature extremes.

The relative air humidity in the height of 2 meters above the ground was higher in the fir-beech stand compared with the adult spruce stands. Lower differences between maximum and minimum values of relative air humidity were found in the fir-beech stand, so that the stand in the gap under the adult spruce stand canopy protection mitigated temperature extremes.

Total precipitation sum was 447 mm at the ecosystem station of the Rájec after the growing season (May – October) in 2014, which corresponds to the long-term averages for this locality. Different distribution of rainfall during the growing season were found out.

Total throughfall sum was lower in the fir-beech stand in the gap and in the adult spruce stand than the rainfall incident on the adult spruce stand canopy during the growing season (May – October) in 2014. Total throughfall sum was higher in fir-beech stand in the gap compared with the throughfall sum in the adult spruce stand – the difference was almost 17%.

Stand microclimate within the fir-beech stand in the gap under the adult spruce stand canopy protection was different compared with the stand microclimate within the adult spruce stand at the ecosystem station of Rájec in the growing season (May – October) in 2014. For the growth of fir and beech those microclimatic conditions were appropriate because these trees are less demanding on the light, but require certain conditions of the moisture.

Analysis of the stand microclimate within the fir-beech stand under the adult spruce stand canopy protection showed that conversion of forest monoculture on the forest close to the nature by the trees planting in forest gaps is useful due to appropriate light and moisture conditions in the gap.

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- AMMER, CH., MOSANDL, R., KATEB, H.E., 2002: Direct seeding of beech (*Fagus sylvatica* L.) in Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) stands—effects of canopy density and fine root biomass on seed germination. *Forest Ecology and Management*, vol. 159, no. 1–2, s. 59–72.
- BEIER, C., HANSEN, K., GUNDERSEN, P., 1993: Spatial variability of throughfall fluxes in a spruce forest. *Environmental Pollution*, vol. 81, no. 3, s. 257–267.
- BOOTH, T.H., BROADHURST, L.M., PINKARD, E., PROBER, S.M., DILLON, S.K., BUSH, D., PINYOPUSARERK, K., DORAN, J.C., IVKOVICH, M., YOUNG, A.G., 2015: Native forests and climate change: Lessons from eucalypts. *Forest Ecology and Management*, vol. 347, s. 18–29.
- BOŽKA, J., 2014: *Teplotní režim v porostní mezeře dospělého smrkového porostu*. Bakalářská práce. LDF MENDELU v Brně: Brno.
- BRAY, J.R., 1956: Gap phase replacement in a maple–bass–wood forest. *Ecology*, vol. 37, s. 598–600.
- BRUKAS, V., FELTON, A., LINDBLADH, M., SALLNÄS, O., 2013: Linking forest management, policy and biodiversity indicators – A comparison of Lithuania and Southern Sweden. *Forest Ecology and Management*, vol. 291, s. 181–189.
- BUGMANN, H., CRAMER, W., 1998: Improving the behaviour of forest gap models along drought gradients. *Forest Ecology and Management*, vol. 103, no. 2–3, s. 247–263.
- CARNOL, M., BAZGIR, M., 2013: Nutrient return to the forest floor through litter and throughfall under 7 forest species after conversion from Norway spruce. *Forest Ecology and Management*, vol. 309, s. 66–75.
- CESCATTI, A., 1997: Modelling the radiative transfer in discontinuous canopies of asymmetric crowns. II. Model testing and application in Norway spruce stand. *Ecological Modelling*, vol. 101, no. 2–3, s. 275–284.
- ČERNÝ, M., ZAHRADNÍČEK, J., PAŘEZ, J., 2001: Metoda integrované hospodářské úpravy lesů v lesích s bohatou strukturou. *Lesnická práce*, 80, s. 24–27.
- ČÍŽEK, J., 1977: Objemová produkce holosečného a podrostního lesa. *Lesnictví*, 23, s. 575–590.

- ČÍŽEK, J., KRATOCHVÍL, F., PEŘINA, V., 1959: *Přeměny monokultur*. SZN: Praha, 191 s.
- DIACI, J., 2002: Regeneration dynamics in a Norway spruce plantation on a silver fir-beech forest site in the Slovenian Alps. *Forest Ecology and Management*, vol. 161, s. 27–38.
- DIACI, J., ADAMIC, T., ROZMAN, A., 2012: Gap recruitment and partitioning in an old-growth beech forest of the Dinaric Mountains: Influences of light régime, herb competition and browsing. *Forest Ecology and Management*, vol. 285, s. 20–28.
- DOBROWOLSKA, D., VEBLEN, T.T., 2008: Treefall-gap structure and regeneration in mixed *Abies alba* stands in central Poland. *Forest Ecology and Management*, vol. 255, no. 8–9, s. 3469–3476.
- DONATELLI, M., CARLINI, L., BELLOCCHI, G., 2006: A software component for estimating solar radiation. *Environ. Modelling & Software*, vol. 21, no. 3, s. 411–416.
- DRÁPELOVÁ, I., MENŠÍK, L., KULHAVÝ, J., MARKOVÁ, I., 2010: Sulphur and nitrogen concentrations and fluxes in bulk precipitation and throughfall in the mountain and highland spruce stands in the Czech Republic. *Journal of Forest Science*, vol. 56, no. 10, s. 429–441.
- FELTON, A., LINDBLADH, M., BRUNET, J., FRITZ, Ö., 2010: Replacing coniferous monocultures with mixed-species production stands: An assessment of the potential benefits for forest biodiversity in northern Europe. *Forest Ecology and Management*, vol. 260, no. 6, s. 939–947.
- FRAZER, G.W., FOURNIER, R.A., TROFYMOW, J.A., HAL, R.J., 2001: A comparison of digital and film fisheye photography for analysis of forest canopy structure and gap light transmission. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 109, no. 4, s. 249–263.
- FÜHRER, E., 2000: Forest functions, ecosystem stability and management. *Forest Ecology and Management*, vol. 132, no. 1, s. 29–38.
- GAMFELDT, L., SNÄLL, T., BAGCHI, R., JONSSON, M., GUSTAFSSON, L., KJELLANDER, P., RUIZ-JAEN, M.C., FRÖBERG, M., STENDAHL, J., PHILIPSON, C.D., MIKUSIŃSKI, G., ANDERSSON, E., WESTERLUND, B., ANDRÉN, H., MOBERG, F., MOEN, J., BENGTSSON, J., 2013: Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nat. Commun.*, vol. 4, s. 1340.

- GEBAUER, T., HORNA, V., LEUSCHNE, Ch., 2012: Canopy transpiration of pure and mixed forest stands with variable abundance of European beech. *Journal of Hydrology*, vol. 442–443, s. 2–14.
- GILBERT, S., MARTEL, J., KLEMOLA, T., NORRDAHL, K., 2013: Increasing vole numbers cause more lethal damage to saplings in tree monocultures than in mixed stands. *Basic and Applied Ecology*, vol. 14, no. 1, s. 12–19.
- GOISSER, M., ZANG, U., MATZNER, E., BORKEN, W., HÄBERLE, K.-H., MATYSSEK, R., 2013: Growth of juvenile beech (*Fagus sylvatica* L.) upon transplant into a wind-opened spruce stand of heterogenous light and water conditions. *Forest Ecology and Management*, vol. 310, s. 110–119.
- GRACE, J.C., JARVIS, P.G., NORMAN, J.M., 1987: Modelling the interception of solar radiant energy in intensively managed stands. *New Zealand Journal of Forest Science*, vol. 17, s. 193–209.
- GRAHAM, E.A., LAM, Y., YUEN, E.M., 2010: Forest understory soil temperatures and heat flux calculated using a Fourier model and scaled using a digital camera. *Agriculture and Forest Meteorology*, vol. 150, no. 4, s. 640–649.
- GRAY, A.N., SPIES, T.A., EASTER, M.J., 2002: Microclimatic and soil moisture responses to gap formation in costal Douglas-Fir forests. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 32, s. 332–343.
- GREENS, S.R., GRACE, J., HUTCHINGS, N.J., 1995: Observations of turbulent air flow in three stands of widely spaced Sitka spruce. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 74, no. 3–4, s. 205–225.
- GRODZKI, W., MCMANUS, M., KNÍŽEK, M., MESHKOVA, V., MIHALCIUC, V., NOVOTNY, J., TURČANI, M., SLOBODYAN, Y., 2004: Occurrence of spruce bark beetles in forest stands at different levels of air pollution stress. *Environmental Pollution*, vol. 130, no. 1, s. 73–83.
- GUNULF, A., WANG, L., ENGLUND, J.-E., RÖNNBERG, J., 2013: Secondary spread of *Heterobasidion parviporum* from small Norway spruce stumps to adjacent trees. *Forest Ecology and Management*, vol. 287, s. 1–8.
- HALE, S.E., GARDINER, B., PEACE, A., NICOLL, B., TAYLOR, P., PIZZIRANI, S., 2015: Comparison and validation of three versions of a forest wind risk model. *Environmental Modelling & Software*, vol. 68, s. 27–41.

- HANEWINKEL, M., ZHOU, W., SCHILL, Ch., 2004: A neural network approach to identify forest stands susceptible to wind damage. *Forest Ecology and Management*, vol. 196, no. 2–3, s. 227–243.
- HARDY, J.P., MELLOH, R., KOENIG, G., MARKS, D., WINSTRAL, A., POMEROY, J.W., LINK, T., 2004: Solar radiation transmission through conifer canopies. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 126, no. 3–4, s. 257–270.
- HERTEL, Ch., LEUCHNER, M., RÖTZER, T., MENZEL, A., 2012: Assessing stand structure of beech and spruce from measured spectral radiation properties and modeled leaf biomass parameters. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 165, s. 82–91.
- HLÁSNÝ, T., KRÍSTEK, Š., HOLUŠA, J., TROMBIK, J., URBAŇCOVÁ, N., 2011: Snow disturbances in secondary Norway spruce forests in Central Europe: Regression modeling and its implications for forest management. *Forest Ecology and Management*, vol. 262, no. 12, s. 2151 – 2161.
- HUTH, F., WAGNER, S., 2006: Gap structure and establishment of Silver birch regeneration (*Betula pendula* Roth.) in Norway spruce stands (*Picea abies* L. Karst.). *Forest Ecology and Management*, vol. 229, no. 1–3, s. 314–324.
- JANOVSKÝ, L., 2008: *Zdravotní stav a stabilita porostů zakládáných na zemědělských půdách*. Diplomová práce. LDF MZLU v Brně: Brno.
- JÖNSSON, A.M., SCHROEDER, L.M., LAGERGREN, F., ANDERBRANT, O., SMITH, B., 2012: Guess the impact of *Ips typographus* – An ecosystem modelling approach for simulating spruce bark beetle outbreaks. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 166–167, s. 188–200.
- KAZDA, M., 1995: Changes in alder fens following a decrease in the ground water level – Results of a GIS application. *Journal of Applied Ecology*, vol. 32, s. 100–111.
- KAZDA, M., PICHLER, M., 1998: Priority assessment for conversion of Norway spruce forests through introduction of broadleaf species. *Forest Ecology and Management*, vol. 102, s. 245–258.
- KELLIHER, F.M., WHITEHEAD, D., McANENEY, K.J., JUDD, M.J., 1990: Partitioning evapotranspiration into tree and understorey components in two young *Pinus radiata* D. Don stands. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 50, no. 3, s. 211–227.
- KENK, G., GUEHNE, S., 2001: Management of transformation in central Europe. *Forest Ecology and Management*, vol. 151, s. 107–119.

- KHANNA, P.K., 1997: Comparison of growth and nutrition of young monocultures and mixed stands of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. *Forest Ecology and Management*, vol. 94, no. 1–3, s. 105–113.
- KLIMO, E., HRUŠKA, B., 1991: *Historie a charakteristika půdních a geologicko-petrografických poměrů výzkumné stanice Rájec*. In *Struktura, produkce a procesy ve smrkové monokultuře 1. Generace. Projekt Rájec. Přehled výsledků za období 1976–1990*. Ústav ekologie lesa Lesnické fakulty Vysoké školy zemědělské v Brně: Brno, 299 s.
- KNOKE, T., PLUSCZYK, N., 2001: On economic consequences of transformation of a spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) dominated stand from regular into irregular age structure. *Forest Ecology and Management*, vol. 151, s. 163–179.
- KNYAZIKHIN, Y., MIEßEN, G., PANFYOROV, O., GRAVENHORST, G., 1997: Small-scale study of three-dimensional distribution of photosynthetically active radiation in a forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 88, no. 1–4, s. 215–239.
- KOMMEDAHL, T., WINDELS, C.-E. 1979: Chapter 1 – Fungi: Pathogen or Host Dominance in Disease. *Developments in Agricultural and Managed Forest Ecology*, vol. 5, s. 1–103.
- KONIAS, H., 1946: *Převody opočenských lesů*. Praha: Brázda, 46 s.
- KONIAS, H., MOTTTL, J., 1956: *Převody a přeměny porostů*. In: MOTTTL, J. a kol. (eds.): *Zkušenosti Huga Koniase*. Praha
- KOO, K.A., PATTEN, B.C., TESKEY, R.O., CREED, I.F., 2014: Climate change effects on red spruce decline mitigated by reduction in air pollution within its shrinking habitat range. *Ecological Modelling*, vol. 293, s. 81–90.
- KREČMER, V. (ed.), 1980: *Bioklimatologický slovník terminologický a explikativní*. Praha: Academia.
- KUČERAVÁ, B., DOBROVOLNÝ, L., REMEŠ, J., 2013: Responses of *Abies alba* seedlings to different site conditions in *Picea abies* plantations. *Dendrobiology*, vol. 69, no. 1, s. 49–58.
- LARCHER, W., 2003: *Physiological Plant Ecology*. Springer: Heidelberg.
- LEUCHNER, M., HERTEL, C., MENZEL, A., 2011: Spatial variability of photosynthetically active radiation in European beech and Norway spruce. *Agriculture and Forest Meteorology*, vol. 151, no. 9, 1226–1232.

- LIANG, J., ZHOU, M., VERBYLA, D.L., ZHANG, L., SPRINGSTEEN, A.L., MALONE, T., 2011: Mapping forest dynamics under climate change: A matrix model. *Forest Ecology and Management*, vol. 262, no. 12, s. 2250–2262.
- LIBERATO, M.L.R., PAOLETTI, E., DACAMARA, C.C., 2011: Climate Changes and Forests. *Forest Ecology and Management*, vol. 262, no. 10.
- LINDROTH, A., PERTTU, K., 1981: Simple calculation of extinction coefficient of forest stands. *Agricultural Meteorology*, vol. 25, s. 97–110.
- LIU, Q., HYTTERBORN, H., 1991: Gap structure, disturbance and regeneration in a primeval *Pinus abies* forests. *Journal of Vegetation Science*, vol. 2, s. 391–402.
- LUDLEY, K.E., JICKELLS, S.M., CHAMBERLAIN, P.M., WHITAKER, J., ROBINSON, C.H., 2009: Distribution of monoterpenes between organic resources in upper soil horizons under monocultures of *Picea abies*, *Picea sitchensis* and *Pinus sylvestris*. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 41, no. 6, s. 1050–1059.
- LYGIS, V., VASILIAUSKAS, R., STENLID, J., VASILIAUSKAS, A., 2004: Silvicultural and pathological evaluation of Scots pine afforestations mixed with deciduous trees to reduce the infections by *Heterobasidion annosum* s.s. *Forest Ecology and Management*, vol. 201, no. 2–3, s. 275–285.
- MACFARLANE, D.W., GREEN, E.J., BRUNNER, A., AMATEIS, R.L., 2003: Modeling loblolly pine canopy dynamics for a light capture model. *Forest Ecology and Management*, vol. 173, no. 1, s. 145–168.
- 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*, vol. 151, s. 7–23.
- MARKOVÁ, I., JANOUŠ, D., 2003: Radiation condition at Bílý Kříž (the Czech Republic) in 2000 and 2001. *Ekológia (Bratislava)*, vol. 22, No. 4, s. 381–393.
- MEZERA, A., 1963: Podporostní hospodářství jako soustava hospodaření ve vysokokmenných lesích. *Lesnický časopis*, vol. 4/5, s. 279–298.
- MORRISON, D.J., CRUICKSHANK, M.G., LALUMIÈRE, A., 2014: Control of laminated and Armillaria root diseases by stump removal and tree species mixtures: Amount and cause of mortality and impact on yield after 40 years. *Forest Ecology and Management*, vol. 319, s. 75–98.
- MYNENI, R.B., BURNETT, R.B., ASRAR, G., KANEMASU, E.T., 1986: Single scattering of parallel direct and axially symmetric diffuse solar radiation in vegetative canopies. *Remote Sensing of Environment*, vol. 20, no. 2, s. 165–182.

- NILSON, T., KUUSK, A., LANG, M., PISEK, J., KODAR, A., 2011: Simulation of statistical characteristics of gap distribution in forest stands. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 151, no. 7, s. 895–905.
- NORD-LARSEN, T., BECHSGAARD, A., HOLM, M., HOLTEN-ANDERSEN, P., 2003: Economic analysis of near-natural beech stand management in Northern Germany. *Forest Ecology and Management*, vol. 183, no. 1–3, s. 149–165.
- OGÉE, J., LAMAUD, E., BRUNET, Y., BERBIGIER, P., BONNEFOND, J.M., 2001: A long-term study of soil heat flux under a forest canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 106, no. 3, . 173–186.
- PALUCH, J.G., JASTRZEBSKI, R., 2013: Natural regeneration of shade-tolerant *Abies alba* Mill. in gradients of stand species compositions: Limitation by seed availability or safe microsites? *Forest Ecology and Management*, vol. 307, s. 322–332.
- PAUL, K.I., POLGLASE, P.J., SMETHURST, P.J., O'CONNELL, A.M., CARLYLE, C.J., KHANNA, P.K., 2004: Soil temperature under forests: a simple model for predicting soil temperature under a range of forest types. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 121, no. 3–4, s. 167–182.
- PELTOLA, H., NYKÄNEN, M.-L., KELLOMÄKI, S., 1997: Model computations on the critical combination of snow loading and windspeed for snow damage of scots pine, Norway spruce and Birch sp. at stand edge. *Forest Ecology and Management*, vol. 95, no. 3, s. 229 – 241.
- PEŘINA, V., 1960: *Přeměny borových monokultur na pleistocenních terasách*. Praha.
- POLANSKÝ, B., 1941: *Sněhové polomy z hlediska pěstebního*. Sborník ČAZ: Praha, s. 75–79.
- POLANSKÝ, B. a kol., 1966: *Pěstění lesů*. SZN: Praha, 514 s.
- POLENO, Z., 1997: *Trvale udržitelné obhospodařování lesů*. Agrospoj: Praha, 105 s.
- POLENO, Z., 2000: Criteria of felling maturity of individual trees in forest managed under system involving coupes. *Journal of Forest Science*, 46, s. 53–60.
- POLENO, Z., VACEK, S. a kol., 2007: *Pěstování lesů I. - Ekologické základy pěstování lesů*. Lesnická práce s.r.o.: Kostelec nad Černými Lesy, 315 s.
- POWERS, M.D., PREGITZER, K.S., PALIK, B.J., WEBSTER, Ch.R., 2009: Water relations of pine seedlings in contrasting overstory environments. *Forest Ecology and Management*, vol. 258, no. 7, s. 1442–1448.
- PRŮŠA, E., 2001: *Pěstování lesů na typologických základech*. Lesnická práce s.r.o.: Kostelec nad Černými lesy, 593 s.

- QUINE, Ch.P., GARDINER, B.A., 2007: Understanding how the interaction of wind and trees results in wind-throw, stem break-age, and canopy gap formation. *Plant Disturbance Ecology*, s. 103–155.
- RENAUD, V., REBETE, M., 2009: Comparison between open-site and below-canopy climatic conditions in Switzerland during the exceptionally hot summer of 2003. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 149, no. 5, s. 873–880.
- RENTCH, J.S., SCHULER, T.M., NOWACKI, G.J., BEANE, N.R., FORD, W.M., 2010: Canopy gap dynamics of second-growth red spruce-northern hardwood stands in West Virginia. *Forest Ecology and Management*, vol. 260, no. 10, s. 1921–1929.
- RICHARDS, J.D., HART, J.L., 2011: Canopy gap dynamics and development patterns in secondary *Quercus* stands on the Cumberland Plateau, Alabama, USA. *Forest Ecology and Management*, vol. 262, no. 12, s. 2229–2239.
- RITTER, E., DALSGAARD, L., EINHORN, K.S., 2005: Light, temperature and soil moisture régime following gap formation in semi-natural beech-dominated forest in Denmark. *Forest Ecology and Management*, vol. 206, s. 15–33.
- RODRÍGUEZ-CALCERRADA, J., PARDOS, J.A., GIL, L., ARANDA, I., 2008: Ability to avoid water stress in seedlings of two oak species is lower in a dense forest understory than in a medium canopy gap. *Forest Ecology and Management*, vol. 255, no. 3–4, s. 421–430.
- RUEHR, N.K., MARTIN, J.G., LAW, B.E., 2012: Effects of water availability on carbon and water exchange in a young ponderosa pine forest: Above- and belowground responses. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 164, s. 136–148.
- SEIDL, R., RAMMER, W., JÄGER, D., LEXER, M.J., 2008: Impact of bark beetle (*Ips typographus* L.) disturbance on timber production and carbon sequestration in different management strategies under climate change. *Forest Ecology and Management*, vol. 256, no. 3, s. 209–220.
- SCHLIEMANN, S.A., BOCKHEIM, J.G., 2011: Methods for studying treefall gaps: A review. *Forest Ecology and Management*, vol. 261, no. 7, s. 1143–1151.
- SCHÜTZ, J.P., POMMERENING, A., 2013: Can Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO) sustainably grow in complex forest structures? *Forests Ecology and Management*, vol. 303, s. 175–183.

- SLODIČÁK, M., NOVÁK, J., 2006: Silvicultural measures to increase the mechanical stability of pure secondary Norway spruce stands before conversion. *Forest Ecology and Management*, vol. 224, no. 3, s. 252–257.
- SOUČEK, J., TESAŘ, V., 2008: *Metodika přestavby smrkových monokultur na stanovištích přirozených smíšených porostů*. Recenzovaná metodika Lesnický průvodce 4/2008. VÚLHM: Jíloviště, ISBN 978-80-7417-000-3.
- SPIECKER, H., 2003: Silvicultural management in maintaining biodiversity and resistance of forests in Europe—temperate zone. *Journal of Environmental Management*, vol. 67, no. 1, s. 55–65.
- ST-DENIS, A., KNEESHAW, D., BERGERON, Y., 2010: The role of gaps and tree regeneration in the transition from dense to open black spruce stands. *Forest Ecology and Management*, vol. 259, no. 3, s. 469–476.
- STEENBERG, J.W.N., DUINKER, P.N., BUSH, P.G., 2011: Exploring adaptation to climate change in the forests of central Nova Scotia, Canada. *Forest Ecology and Management*, vol. 262, no. 12, s. 2316–2327.
- SYPKA, P., STARZAK, R., 2013: Simplified, empirical model of wind speed profile under canopy of Istebna spruce stand in mountain valley. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 171–172, s. 220–233.
- TALKKARI, A., PELTOLA, H., KELLOMÄKI, S., STRANDMAN, H., 2000: Integration of component models from the tree, stand and regional levels to assess the risk of wind damage at forest margins. *Forest Ecology and Management*, vol. 135, no. 1–3, s. 303–313.
- TESAŘ, V., 1997: Přírodě blízké pěstování lesa jako možnost trvale udržitelného lesnictví. *Zprávy lesnického výzkumu*, 42, s. 6–8.
- TESAŘ, V., DOBROVOLNÝ, L., 2012: *Přestavba smrkových monokultur - postupy a výsledky*. In: KULHAVÝ, J., MENŠÍK, L. (eds.) *Les a dřevo : podpora funkčně integrovaného lesního hospodářství a využívání dřeva jako obnovitelné suroviny : významné výsledky institucionálního výzkumu Lesnické a dřevařské fakulty Mendelovy univerzity v Brně v období 2005-2011*. Mendelova univerzita v Brně: Brno, s. 188–193. ISBN 978-80-7375-608-6.
- TESAŘ, V. a kol., 2004: *Dlouhodobá přestavba jehličnatého lesa na Hetlíně – kutnohorské hospodářství*. MZLU: Brno, 60 s.

- THELIN, G., ROSENGREN, U., CALLESEN, I., INGERSLEV, M., 2002: The nutrient status of Norway spruce in pure and in mixed-species stands. *Forest Ecology and Management*, vol. 160, no. 1–3, s. 115–125.
- UMEKI, K., KIKUZAWA, K., STERCK, F.J., 2010: Influence of foliar phenology and shoot inclination on annual photosynthetic gain in individual beech saplings: A functional – structural modeling approach. *Forest Ecology and Management*, vol. 259, no. 11, s. 2141–2150.
- VACEK, S., SIMON, J., REMEŠ, J. a kol., 2007: *Obhospodařování bohatě strukturovaných lesů a přírodě blízkých lesů*. Lesnická práce s.r.o.: Kostelec nad Černými Lesy, 447 s.
- VAJDA, M., 2013: *Využití sluneční radiace při tvorbě nové biomasy smrkového porostu*. Bakalářská práce. LDF MENDELU v Brně: Brno.
- VALES, D.J., BRUNNELL, F.L., 1988: Relationships between transmission of solar radiation and coniferous forest stand characteristics. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 43, no. 3–4, s. 201–223.
- VALINGER, E., FRIDMAN, J., 1997: Modelling probability of snow and wind damage in Scots pine stands using tree characteristics. *Forest Ecology and Management*, vol. 97, no. 3, s. 215–222.
- VEJRE, H., 1999: Stability of Norway spruce plantations in western Denmark – soil nutrient aspects. *Forest Ecology and Management*, vol. 114, no. 114, s. 45–54.
- VICENA, I., 1976: Ochrana lesa před vlivem klimatických činitelů. *Lesnická práce*, vol. 55, s. 110–114.
- VICENA, I., 2006: Současný stav ochrany lesa proti polomům. *Lesnická práce*, vol. 85, no. 11, s. 17–19.
- WANG, W.-M., LI, Z.-L., SU, H.-B., 2007: Comparison of leaf angle distribution functions: Effects on extinction coefficient and fraction of sunlit foliage. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 143, no. 1–2, s. 106–122.
- WHELAN, M.J., ANDERSON, J.M., 1996: Modelling spatial patterns of throughfall and interception loss in a Norway spruce (*Picea abies*) plantation at the plot scale. *Journal of Hydrology*, vol. 186, no. 1–4, s. 335–354.
- YANG, X., MILLER, D.R., MONTGOMERY, M.E., 1993: Vertical distributions of canopy foliage and biologically active radiation in a defoliated/refoliated hardwood forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 67, no. 1–2, s. 129–146.

- YOSHIDA, T., YANAGISAWA, Y., KAMITANI, T., 1998: An empirical model for predicting the gap light index in an even-aged oak stand. *Forest Ecology and Management*, vol. 109, no. 1–3, s. 85–89.
- ZHU, J.-J., MATSUZAKI, T., LEE, F.-Q., GONDA, Y., 2003: Effect of gap size created by thinning on seedling emergency, survival and establishment in a coastal pine forest. *Forest Ecology and Management*, vol. 182, no. 1–3, s. 339–354.
- ZIRLEWAGEN, D., VON WILPERT, K., 2001: Modeling water and ion fluxes in a highly structured, mixed-species stand. *Forest Ecology and Management*, vol. 143, no. 1–3 , s. 27–37.