

CLONNÁ OBNOVA BOROVICE LESNÍ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) VE VZTAHU KE STANOVIŠTNÍM A POROSTNÍM PODMÍNKÁM

SHELTERWOOD REGENERATION OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) WITH RESPECT TO SITE AND STAND CONDITIONS

IVA ULBRICHOVÁ ✉ - VLADIMÍR JANEČEK - JAN VÍTÁMVÁS - TOMÁŠ ČERNÝ - LUKÁŠ BÍLEK

Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta Lesnická a dřevařská, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 - Suchdol, Czech Republic

✉ e-mail: ulbrichova@fld.czu.cz

ABSTRACT

The aim of the study was to evaluate the impact of micro-site conditions on natural regeneration prosperity and quality of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in shelterwood regeneration system. Data were collected in four localities across the Czech Republic in 26 forest stands. In each forest stand with pine natural regeneration a square 0.25 ha research plot was established. We evaluated pine regeneration density, dendrometric characteristics (height, diameter of root collar, increment in last five years, crown diameter), quality characteristics including angle of branching and silvicultural value of each individual. As independent explanatory variables we measured light conditions based on hemispheric image analysis, ground vegetation characteristics such as composition and coverage, thickness of surface humus horizons and competition expressed as distance to the nearest individuals of natural regeneration and to the nearest mature tree. Results showed high variability in natural regeneration density (for seedlings higher than 25 cm), its mean values amounted to 4,285 (Hradec) – 18,570 (Plasy) pc.ha⁻¹ with 75% quantile of values 5,714 – 30,000 pc.ha⁻¹. Number of regeneration individuals was significantly influenced by light conditions (the openness and diffuse PPFD (photosynthetic photon flux density) and by ground vegetation characteristics, especially the cover of mosses. The dendrometric and growth characteristics (height, diameter, increment, and crown diameter) were significantly influenced by intraspecific competition, but relative values of both the increment and crown diameter depended also on the diffuse PPFD. Relative height increment between 10% and 15% was reached at values higher than 2 MJ·m⁻²·day of diffuse PPFD corresponding to stand basal area below 25 m²·ha⁻¹. The best quality individuals (with straight stem and regular crown) occurred mainly in the upper height class of the natural regeneration.

For more information see Summary at the end of the article.

Klíčová slova: přirozená obnova pod porostem; borovice lesní; přizemní vegetace; světelné podmínky; PPFD – hustota fotosynteticky aktivního záření

Key words: understory natural regeneration; Scotch pine; ground vegetation/herb layer; light intensity; photosynthetic photon flux density – PPFD

ÚVOD

Borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) je jednou z nejvýznamnějších hospodářských dřevin Evropy (MARCOS et al. 2007; MATÍAS, JUMP 2012), Českou republiku nevyjímaje (ŠINDELÁŘ et al. 2007a, 2007b; SLODIČÁK et al. 2011; SLOUP, LEHNEROVÁ 2016). V oblastech s významnějším zastoupením borovice byly vzhledem k jejím nárokům jako světlo milné dřeviny (CHANTAL et al. 2003; BEGHIN et al. 2010) a snadné organizaci práce většinu 20. století používány metody holosečného hospodaření, a to nejen v podmínkách ČR, ale i v rozlehlých oblastech Skandinávie (HILLE, OUDEN 2004; EREFUR et al. 2008), Německa a Polska (MIRSCHERL et al. 2011).

Přesto již poměrně záhy lesníci projeví zájem i o alternativní metody hospodaření, od druhé poloviny 20. století byly tyto snahy navíc akcelerovány rostoucím významem ekologických a mimoprodukčních funkcí lesa (NILSSON et al. 2002; EREFUR et al. 2008; POMMERING 2006; MIRSCHERL et al. 2011), případně snahou o zvyšování stability lesních porostů v měnícím se klimatu (MARCOS et al. 2007; MATÍAS, JUMP 2012). Začínají se objevovat publikace soustřeďující se na obnovu borovice pod porostem (BÉLAND et al. 2000; SCOTT et al. 2000; NILSSON et al. 2002; KARLSSON, NILSSON 2005; MARCOS et al. 2007; BURRASCANO et al. 2011; MIRSCHERL et al. 2011; GRIGORIADIS et al. 2014).

Mezi ekologické výhody obnovy pod porostem patří udržení zástinu, který omezuje přízemní vegetaci, zpravidla menší narušení lesní půdy (KUULUVAINEN, PUKKALA 1989; PALUCH, BARTKOWICZ 2004; KARLSSON, NILSSON 2005), ochrana proti poškození mrazem (EREFUR et al. 2008), ale i vysycháním a teplotními extrémy v letních měsících (HOLGEN, HANELL 2000; SLODIČÁK et al. 2011). Materský porost může i zvyšovat dostupnosti vody v povrchových vrstvách půdy (NILSSON et al. 2002; MATÍAS, JUMP 2012), nebo naopak brání zamokření půdy na stanovištích s vysokou hladinou podzemní vody. Současně podrostní způsob hospodaření může vést i k větší věkové variabilitě vznikajících porostů a ovlivnit produktivitu z hlediska přírůstu (GARCÍA-ABRIL et al. 2007).

S obnovou borovice pod porostem je ale spojena řada problémů, protože se jedná o světlomilnou dřevinu. Nedostatek světla může výrazněji omezovat růst obnovy a její kvalitu. V přírodních lesích umožňuje obnovu borovice pod porostem přítomnost mezer v porostním zápoji (LINDER et al. 1997; SCOTT et al. 2000; MARCOS et al. 2007; BEGHIN et al. 2010). V hospodářských lesích je pak potřeba optimalizovat zápoj mateřského porostu tak, aby umožnil počáteční fázi obnovy. V dalších těžebních fázích musí být primárním cílem zajištění dostatečné hustoty, výškového přírůstu a kvality obnovy, jako základu nového porostu (ŠINDELÁŘ et al. 2007a; SLOUB, LEHNEROVÁ 2016).

Borovice má jako pionýrská dřevina také specifické nároky na povrchové vrstvy půdy. Narušení povrchových organických horizontů a obnažení minerálního profilu má kladný vliv na obnovu především v období klíčení semenáčků (KUULUVAINEN, PUKKALA 1989; NILSSON et al. 2002; HILLE, OUDEN 2004; EREFUR et al. 2008; MIRSCHEL et al. 2011; TARVAINEN et al. 2011), nicméně zajistit takovou přípravu půdy může být pod porostem problematictější než na volné ploše. Jako světlomilná dřevina je borovice navíc daleko více citlivá na podzemní kompetici, než dřeviny tolerující zástin (EREFUR et al. 2008). Drobná keříčková vegetace, zejména brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus* L.), je z tohoto pohledu zásadním faktorem pro úspěšnost počátečních fází obnovy (SCOTT et al. 2000; HILLE, OUDEN 2004; MIRSCHEL et al. 2011). Brusnice borůvka je omezoována zástínem a v porostu má obvykle menší pokryvnost než na volné ploše (KUULUVAINEN, PUKKALA 1989). Při holosečném způsobu může být nicméně přízemní vegetace zcela odstraněna přípravou půdy např. naoráním, což je v lesním porostu možné jen omezeně. Důležitá je i blízkost dospělých borovic, které jsou na jedné straně významným zdrojem diaspor, současně ale i konkurentem pokud jde o živiny, vodu a světlo (CHANTAL et al. 2003; GARCÍA-ABRIL et al. 2007; BEGHIN et al. 2010).

Naším cílem bylo zjistit, jaké stanovištní a porostní charakteristiky jsou zásadní a významně ovlivňují přežívání, odrůstání a produkční možnosti obnovy pod porostem. Důraz byl přitom kladen na analýzu světelných podmínek, jejichž regulace je obvykle nutnou podmínkou pro podporu a nástup přirozené obnovy. Součástí této práce je i popis kvalitativních a kvantitativních znaků přirozené obnovy ve sledovaných lokalitách.

MATERIÁL A METODIKA

Charakteristika lokalit

Pro hodnocení kvantitativních a kvalitativních parametrů obnovy borovice pod porostem byly vybrány lokality, kde se již přirozená obnova borovice vyskytuje jako důsledek cílených pěstebních opatření nebo částečného rozvolnění zápoje v důsledku nahodilých těžeb v minulosti. Kritéria výběru lokalit byla: mateřský porost v mýtním věku, zápoj mateřského porostu nad 50 % a přirozená obnova pod porostem se střední výškou 1–3 m.

Sběr dat probíhal v následujících lokalitách:

Doksy: průměrná roční teplota 8–8,5 °C; roční průměr srážek je 670 mm (TOLASZ et al. 2007); matečnou horninou jsou svrchnokřídové pískovce (ČGS 2014) a převažující půdní typ podzol arenický.

Třeboň: průměrná roční teplota 6,8–7,8 °C; roční průměr srážek je 650 mm (TOLASZ et al. 2007); matečnou horninou jsou tercierní sedimenty-pískovce a slepence (ČGS 2014); převažující půdní typ podzol arenický, pseudoglej.

Hradec Králové: průměrná roční teplota 6,9 °C; roční průměr srážek je 770 mm (TOLASZ et al. 2007); kvarterní pískovce (ČGS 2014); dystrická kambizem arenická, podzol arenický.

Plasy: průměrná roční teplota 6–7 °C; roční průměr srážek je 550 mm (TOLASZ et al. 2007); matečnou horninou jsou karbonické pískovce a slepence (ČGS 2014); převažující půdní typ podzol arenický, kambizem podzolová.

V rámci sledovaného porostu byla vždy vytyčena čtvercová zkušná plocha o výměře 50 m × 50 m (2500 m²). V rámci této plochy byly zaměřeny GPS souřadnice a nadmořská výška, a u stromového patra stanoven průměrný zápoj a změřena střední výška a výčetní tloušťka porostu (tab. 1). Dále byla vyhodnocena průměrná pokryvnost hlavních druhů bylinného patra.

V rámci každé čtvercové plochy pak bylo pravidelně (jedna ve středu a 12,5 m úhlopříčně od rohů) rozmístěno pět kruhových ploch o poloměru 1,5 m (7,07 m²), na kterých probíhala vlastní inventarizace přirozené obnovy. Charakteristiky přirozené obnovy byly zjišťovány na začátku vegetační doby v dubnu až květnu 2016 (Doksy 1–4) či na konci vegetační doby v říjnu až listopadu 2016 (Doksy 5–8, Třeboň, Hradec, Plasy).

Sběr dat

Charakteristika obnovy borovice:

Pro každého jedince obnovy byla změřena výška (H, přesnost 1 cm), tloušťka kořenového krčku (D, přesnost 1 mm), průměrná šířka koruny (Q, přesnost 5 cm), jednotlivé výškové přírůsty v posledních pěti letech (P, přesnost 0,5 cm), z nichž byl stanoven i přírůst relativní vztahený k výšce jedince v daném roce ($P_{\%}$) a relativní šířka koruny vztahená k celkové výšce jedince (Q %).

Pro každého jedince obnovy byly dále stanoveny následující kvalitativní parametry: třída pěstební kvality (1 – přímý kmen, dobře vyvinutá koruna, velmi kvalitní jedinec; 2 – mírně zvlněný kmen, ale přímý růst, mírně nesouměrná koruna; 3 – výraznější dvoják, výrazněji zkroucený kmen nebo nesouměrná koruna; 4 – nekvalitní neperpektivní jedinec s omezeným růstem, bez terminálu, nebo stáječící se k zemi) a průměrný úhel větví druhého přeslenu od vodorovné roviny (α_{br} , přesnost 5°).

Charakteristika podmínek prostředí pro jednotlivé kruhové plochy:

Světelné poměry v místě přirozené obnovy byly vždy měřeny pomocí hemisférické fotografie snímáné v centru kruhové plošky, ve výšce 1,3 m nad terénem. Použit byl fotoaparát Canon EOS, fotografie snímáné ve třech možných expozicích byly následně upraveny v programu Adobe Photoshop 8.0 na černobílý kontrastní snímek a vybrané světelné parametry vyhodnoceny v programu WinSCANOPY 2012a (REGENT INSTRUMENTS CANADA Inc. 2012). Pro výpočet byla zadávána vegetační sezóna (1. 4. – 1. 10.), sklon svahu, GPS souřadnice a nadmořská výška. K dalšímu hodnocení výsledků byla použita převrácená hodnota zápoje (Open; – procento světlých pixelů v rámci záběru) a přímé (PPFD_dir, rozptýlené (PPFD_diff) a celkové (PPFD_tot) fotosynteticky aktivní sluneční záření (MJ. m⁻².den⁻¹) pod korunami (pro stanovenou dobu vegetační sezóny).

Relaskopickým sklíčkem (Haglöf BAF Factor Gauge) byla změřena výčetní kruhová základna mateřského porostu (BA) individuálně pro každou hodnocenou plošku.

Půdní podmínky byly charakterizovány změřením mocnosti jednotlivých L, F, H, Ah horizontů a vzhledem k tomu, že ve všech případech šlo o humusovou formu mor a mocnost Ah byla téměř vždy 1–1,5 cm, ve výpočtech pak byla používána hodnota poměru nerozloženého a rozloženého nadložního humusu (L+F)/H (Humus).

Dále byl proveden záznam druhů bylinného patra a jejich pokrývnosti, ve výsledcích byla zpracována pokrývnost hrabanky (Litter),

pokrývnost *Vaccinium myrtillus* (Vac_m) a mechu (Moss) vzhledem k jejich převažujícímu zastoupení.

Konkurenční vztahy s mateřským porostem a dalšími jedinci přirozené obnovy byly zachyceny následujícími charakteristikami: vzdálenost nejbližšího dospělého jedince (d_{mat}) a dvou nejbližších jedinců (d_1 , d_2) přirozené obnovy ke každému měřenému jedinci. Dále počet jedinců obnovy na plošku ($Dens_N$) a kruhová základna obnovy, vypočítaná z tloušťky kořenových krčků všech jedinců obnovy na plošce ($Dens_{BA}$).

Tab. 1.

Přehled stanovištních parametrů lokalit a ploch pro hodnocení přirozené obnovy borovice
Overwiev of main stands and plots characteristics, used for pine natural regeneration evaluation

Doksy:	GPS coordinates		Nadmoř. výška/ Altitude [m]	SLT/ Ecosite	Zápoj/ Canopy %	Počet [ks.ha ⁻¹]/ Number [pcs.ha ⁻¹]	BA m ² .ha ⁻¹	H (m)	D (cm)	Vac_m %
Do_1	N 50°33.939	E 14°40.567	285	0M	60	550	19-22	24	31,2	80
Do_2	N 50°33.879	E 14°40.674	284	0M	50	450	20-25	23,4	34,2	40
Do_3	N 50°33.892	E 14°40.575	273	0M	65	500	23-26	22,4	31,5	30
Do_4	N 50°33.988	E 14°40.584	275	0M	65	540	21-25	22,2	32,2	40
Do_5	N 50°32.339	E 14°40.729	270	0M	70	600	21-29	24,5	27,4	20
Do_6	N 50°32.352	E 14°40.734	279	0M	65	550	20-25	23,4	27,1	5
Do_7	N 50°32.284	E 14°40.749	285	0M	75	580	27-30	24,6	28,7	0
Do_8	N 50°32.297	E 14°40.760	285	0M	70	550	20-25	24,4	28,5	0
Třeboň:										
Tr_1	N48°55.545	E14°50.098	450	0M	70	600	20-35	23,1	27,8	75
Tr_2	N48°55.513	E14°49.994	449	0M	55	500	16-31	20,6	28,9	70
Tr_3	N48°55.484	E14°50.096	460	0G	70	750	20-29	22,6	30,2	60
Tr_4	N48°55.444	E14°50.420	458	0M	70	600	19-26	21,2	27,2	45
Tr_5	N48°55.962	E14°53.669	444	0M	60	500	18-26	23,7	27,2	70
Tr_6	N48°49.558	E14°57.932	482	0K	50	350	12-28	20,9	28	40
Tr_7	N48°56.656	E14°55.367	453	0K	70	700	23-33	21,8	29,4	90
Tr_8	N48°56.649	E14°55.260	453	0G	80	700	23-33	17,6	20,9	70
Hradec:										
Hr_1	N 50°5.322	E 16°2.808	300	2M	50	500	17-20	21	28,8	30
Hr_2	N 50°5.310	E 16°2.755	300	2M	80	750	18-28	21,5	26,9	30
Hr_3	N 50°5.287	E 16°2.752	295	2M	65	600	13-26	20,8	26,8	25
Hr_4	N 50°5.332	E 16°2.813	295	2M	65	630	14-26	20,4	25,2	30
Plasy:										
PI_1	N 49°54.613	E 13°12.493	586	0Q	65	700	16-24	19,6	34,2	50
PI_2	N 49°54.142	E 13°12.848	580	0Q	75	750	22-25	18,7	24,6	70
PI_3	N 49°54.141	E 13°12.835	569	0Q	50	420	16-26	19,8	27,1	90
PI_4	N 49°54.142	E 13°13.765	514	0Q	25	120	11-15	21,1	35,6	50
PI_5	N 49°54.600	E 13°12.502	518	0Q	50	230	11-18	20,8	32,4	80
PI_6	N 49°54.185	E 13°13.623	523	0Q	60	250	17-20	20,5	30,6	90

Vysvětlivky: SLT- soubor lesních typů, BA - výčetní kruhová základna mateřského porostu, H - střední výška mateřského porostu, D - střední výčetní tloušťka mateřského porostu, Vac_m - pokrývnost *Vaccinium myrtillus*

Captions: BA - stand basal area, H - stand average height, D - stand average diameter, Vac_m *Vaccinium myrtillus* cover. Ecosite (VIEWEGH et al. 2003): 0G - *Piceeto-Pinetum palludosum*; 0K - *Pinetum acidophilum*; 0M - *Pinetum oligotrophicum*, 0Q - *Pinetum quercino-abietinum variohumidum acidophilum*, 2M - *Fageto-Quercetum oligotrophicum*.

Zpracování dat

Statistické vyhodnocení dat probíhalo v programu R (verze 2.15.2, R Core Development Team 2012). Většina závislých proměnných (tj. sledované charakteristiky) ukázala odchylky od normálního rozdělení (Kolmogrov-Smirnov test), křivka byla mírně vychýlená doleva (díky většímu množství malých jedinců). Proto byla pro výpočty používána logaritmická transformace dat a u relativních proměnných (relativní přírůst a šířka koruny) angulární transformace dat (LEPŠ, ŠMILAUER 2016). V rámci hodnocení výsledků byl testován i celkový rozdíl mezi třemi výškovými třídami přirozené obnovy, zvolenými v rozsahu: < 1,0 m (třída 1), 1,0-2,0 m (třída 2) a > 2,0 m (třída 3). Pro toto porovnání byla použita data ze všech lokalit současně.

Vzhledem k tomu, že pokusné plochy mají hierarchicky závislé uspořádání v prostoru, byl pro další vyhodnocení použit lineární model se smíšenými efekty se zakomponováním této hierarchické struktury (lokality/plocha/podplocha) (linear mixed-effects model) s testem REML, použita knihovna *nlme* v programu R, (PINHEIRO et al. 2012). Hodnocen byl vliv 3 typů prediktorů (pevné efekty): porostní, světelné a biotopové. Rozklad variability dat byl proveden dle prostorové hierarchické struktury. Data byla transformována, abychom mohli použít následující analýzy: P – multifaktoriální Anova (DF 813), lineární model se smíšenými efekty. Rovněž byly vypočítány Spearmanovy (vzhledem k nenormalitě rozdělení dat) korelační koeficienty mezi měřenými charakteristikami.

VÝSLEDKY

Parametry prostředí

Na všech lokalitách výzkum probíhal v dospělých porostech v mýtném věku, se zápojem 50–80 %, střední výška porostu se pohybovala mezi 19–24 m a střední tloušťka dosahovala 21–34 cm (tab. 1), výčetní kruhová základna pak činila 13–33 m². ha⁻¹. Vzdálenost nejbližšího dospělého stromu k obnově byla mezi 0,5–7 m, se střední hodnotou 2,5 m. Světelné podmínky hodnocené pomocí hemisférické fotografie v průměru ukázaly otevřenost zápoje 30 %. Fotosynteticky aktivní světelné záření pod porostem (předpokládaná průměrná hodnota na volné ploše 34,5 MJ. m⁻². den⁻¹) se pohybovalo kolem hodnot přímého záření (PPFD_dir) v průměru 15 MJ. m⁻². den⁻¹, u difúzního záření (PPFD_diff) v průměru 2,3 MJ. m⁻². den⁻¹. Pokryvnost borůvky se pohybovala v rozmezí 0–90 %, se střední hodnotou 50 %, pokryvnost hrabanky 30 % a pokryvnost mechu v průměru 70 %. Tloušťka nadložního humusu činila v průměru 6–13 cm, mocnost horizontu Ah 1–2 cm, humusová forma v naprosté většině mor.

Vzájemná vzdálenost nejbližších jedinců obnovy a jejich počet na plochu spolu silně korelovaly (tab. 2) ($r = -0,36$ a $-0,46$). Hustota mateřského porostu měla významný vliv na světelné podmínky pod porostem ($r = -0,44$ až $-0,57$) i na počty jedinců přirozené obnovy ($r = -0,34$). V bylinném patře se podíly brusnice borůvky, mechu a volného opadu navzájem doplňují a opět mezi nimi byla zřejmá korelace

Tab. 2.

Matice korelačních koeficientů (Spearman) pro měřené parametry prostředí; tučně vyznačené koeficienty jsou statisticky průkazné na hladině 5 %

Interrelations (Spearman correlation coefficient) among environmental variables characteristics; bold font points out significance $p < 0.05$

Parametr/ Parameter	Faktory kompetice/Competition factors						Světelné podmínky/Light conditions				Půdní povrch/Soil surface		
	d _{mat}	d ₋₁	d ₋₂	dens _{-N}	dens _{-BA}	BA	Open	PPFD_dir	PPFD_diff	PPFD_tot	Humus	Vac_m	Litter
d _{mat}	1												
d ₋₁	-0.11	1											
d ₋₂	-0.11	0.73	1										
dens _{-N}	0.25	-0.39	0.49	1									
dens _{-BA}	0.23	0.15	-0.09	0.21	1								
BA	-0.31	0.12	0.14	-0.27	-0.17	1							
Open	0.25	0.01	0.05	0.14	0.16	-0.52	1						
PPFD_dir	0.26	-0.02	0.04	0.12	0.14	-0.38	0.69	1					
PPFD_diff	0.28	-0.02	0.04	0.13	0.12	-0.54	0.90	0.64	1				
PPFD_tot	0.27	-0.03	0.04	0.17	0.16	-0.41	0.74	0.98	0.69	1			
Humus	0.04	-0.12	0.17	0.16	0.02	-0.07	-0.33	-0.24	-0.24	-0.25	1.00		
Vac_m	-0.26	-0.04	0.07	0.04	-0.30	0.07	-0.09	0.01	0.09	0.01	0.16	1	
Litter	-0.06	0.08	0.03	0.15	0.14	-0.25	0.43	0.36	0.28	0.37	-0.23	-0.34	1
Moss	-0.11	0.03	0.04	0.05	0.15	0.24	-0.39	-0.23	-0.36	-0.24	0.14	-0.23	-0.26

Vysvětlivky: d_{mat} – vzdálenost nejbližšího dospělého jedince; d_{-1,2} – vzdálenost 2 nejbližších jedinců obnovy; dens_{-N} – četnost přirozené obnovy na ploše; dens_{-BA} – kruhová základna přirozené obnovy počítaná z plochy kofenového krčku; BA – kruhová výčetní základna porostu; Open – otevřenost zápoje; PPFD – fotosynteticky aktivní záření (tok fotonů) (dir – direct; diff – diffuse; tot – total) %; Humus – proporce humusových horizontů; Vac_m – pokryv *Vaccinium myrtillus* (%); Litter – pokryv opadanky (%); Moss – pokryv mechu (%)

Captions: d_{mat} – the closest mature tree distance; d_{-1,2} – two closest natural regeneration individuals distance; dens_{-N} – density/number of natural regeneration on the plot; dens_{-BA} – basal area of natural regeneration on the plot calculated from the root collar diameter; BA – stand basal area; Open – canopy openness; PPFD – Photosynthetically active flux density (dir – direct; diff – diffuse; tot – total) %; Humus – humus horizons proportion; Vac_m – *Vaccinium myrtillus* cover (%); Litter – litter cover (%); Moss – moss cover (%)

($r = -0,23$ až $-0,34$), současně byly silně ovlivněny parametry světelného záření.

Matrice korelačních koeficientů pro sledované parametry přirozené obnovy, světelných podmínek a půdních podmínek je uvedena v tab. 2.

Parametry přirozené obnovy

Počty přirozené obnovy (obr. 1) se na lokalitách statisticky významně lišily a jejich střední hodnoty se pohybovaly mezi 4285–18570 ks.ha⁻¹, přičemž současně tyto počty měly velkou variabilitu jak v rámci lokalit, tak jednotlivých ploch.

Základní dendrometrické charakteristiky hodnocené přirozené obnovy (obr. 2) ukázaly rovněž mírně odlišnou strukturu výšky přirozené obnovy na různých lokalitách. U základních dendrometrických charakteristik (H, D, P_avg) existuje poměrně velký rozdíl mezi lokalitami ve středních hodnotách, ale současně je z grafů patrná významná variabilita i v rámci jednotlivých lokalit a ploch. V parametrech kvality jedinců (tvar) a relativní šířce koruny a relativním přírůstu jsou si lokality navzájem značně podobné (obr. 2) a výrazněji se odlišuje vždy jen jedna z nich (Plasy). Relativní šířka koruny se přitom pohybovala kolem 20–100 % výšky a relativní přírůst měl rozsah hodnot 5–25%.

Vzhledem k tomu, že se jednalo o různověké zmlazení ve výškovém rozpětí 25 cm až ca 5 m, byly testovány i rozdíly mezi třemi výškovými třídami (plošně v rámci celého souboru dat), přičemž rozdíl byl podle očekávání ve všech parametrech korelovaných se základními třídícím kritériem (výškou). Menší jedinci měli významně větší poměr šířky koruny k výšce a také významně větší relativní přírůst. Výšková třída měla vliv i na kvalitu obnovy – nejmenší výšková třída s horším přístupem ke světlu měla nejnižší průměrnou kvalitu. Neprůkazný rozdíl byl i v úhlu větvení ($p = 0,06$), přičemž ale vyšší jedinci měli tendenci mít úhel větvení ve druhém přeslenu spíše v rozpětí 20–30°, zatímco nejmenší jedinci mají větve nasazené spíše vodorovně, nebo v úhlu do 5° od horizontály (obr. 3).

Mezi sledovanými dendrometrickými charakteristikami obnovy borovice přirozeně existují významnější pozitivní korelace: výška jedince a tloušťka kořenového krčku ($r = 0,83$); výška a šířka koruny v absolutní hodnotě ($r = 0,84$). Některé z těchto hodnot jsou však také významně ovlivněny prostředím, takže se, zvláště v relativních číslech, jejich hodnoty snižují až na $r = 0,5$: výška a přírůst v absolutní hodnotě ($r = 0,51$); výška a relativní přírůst ($r = -0,57$); výška a relativní šířka koruny ($r = -0,33$). Úhel větvení druhého přeslenu má pak významnější korelaci pouze s absolutním přírůstem.

Vliv prostředí na charakteristiky jedinců obnovy

Hustota jedinců obnovy, která je určující nejen pro kompetiční vztahy, ale i pro hodnocení úspěšnosti obnovy porostu, byla prokazatelně závislá na světelných podmínkách (prosvětlení koruny porostu), ale i na kvalitě humusové vrstvy určené poměrem surové a rozložené organické hmoty a současně i na vegetačním krytu.

Základní (navzájem korelované) růstové charakteristiky (H, D, P a Q v absolutní hodnotě) byly nejvíce ovlivněny kompetičním tlakem (tab. 2) – vzdáleností nejbližšího dospělého nebo i podobně starého jedince a celkovým počtem, nebo celkovou biomasou okolních konkurenčních jedinců (Dens_BA).

Relativní růstové parametry, jako je relativní přírůst a relativní šířka koruny (obr. 3) pak závisely na konkurenci o něco méně, zásadní byly světelné poměry na stanovišti, a to především difúzní záření. Pro relativní přírůst existuje samozřejmě vztah mezi tímto zářením a stanovištními charakteristikami mateřského porostu, jako je např. výčetní kruhová základna (obr. 4), ale i zápoj porostu. Úhel větvení pak záleží především na přímém slunečním záření, ale i na konkurenci okolních

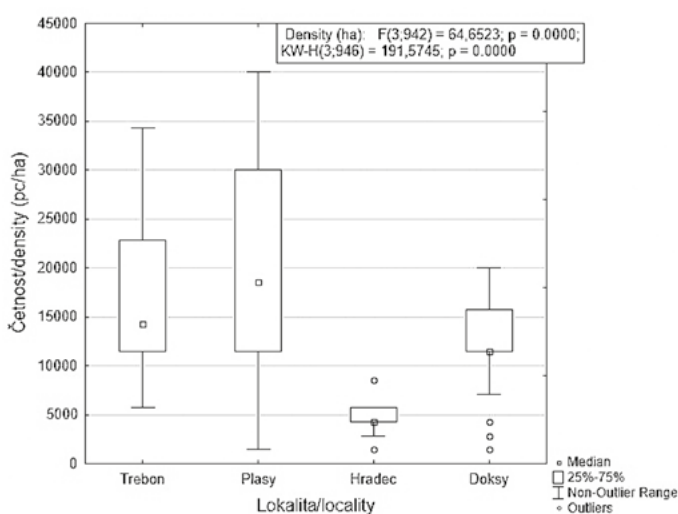
jedinců, což je částečně vidět i na rozdílu tohoto úhlu mezi výškovými třídami (obr. 3).

Kvalita jedinců je závislá na nejbližších jedincích a konkurenci, ale i světelných parametrech, opět především difúzním záření (obr. 5). Nejvyšší jedinci v rámci skupiny mají obvykle vyšší dostupnost záření a tomu odpovídá i vyšší třída pěstební kvality (obr. 6).

DISKUSE

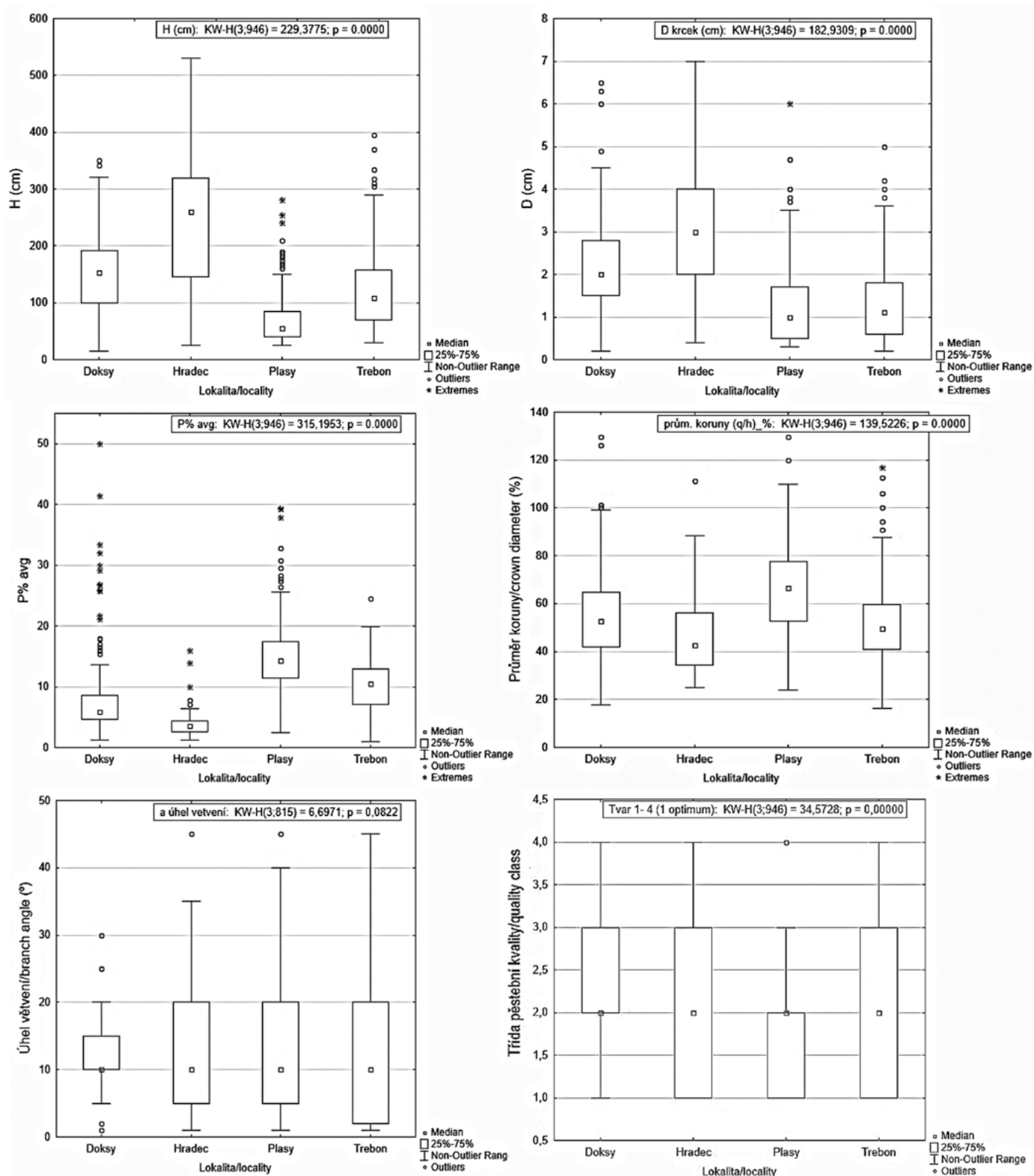
Počty jedinců obnovy se na jednotlivých ploškách i lokalitách lišily a jejich variabilita byla poměrně vysoká. Střední hodnoty se pohybovaly mezi 0,5–2 ks.m⁻², s maximem až 4 ks.m⁻². Odpovídá to počtům, které pro přirozenou obnovu v borových porostech jsou obvykle uváděny v rozmezí 0,5–2,3 ks.m⁻² (SCOTT et al. 2000; NILSSON et al. 2002; KARLSSON, NILSSON 2005; EREFUR et al. 2008; MARCOS et al. 2007; MAROZAS et al. 2007; BEGHIN et al. 2010; MIRSCHEL et al. 2011; JÄÄRATS et al. 2012; SLOUB, LEHNEROVÁ 2016) s tím, že maximum je kolem 10 ks.m⁻² (MIRSCHEL et al. 2011). Závislost výskytu obnovy na dostupném světle je zřejmá, avšak neplatí jednoduchá lineární závislost. Vztah je nejčastěji nelineární, kdy při určité hladině prosvětlení porostu (relativním záření 10 %) nastává vhodný okamžik pro iniciaci obnovy, ale výraznější vliv na její přežívání mají i charakteristiky půdního povrchu a přízemní vegetace (tab. 3). Nicméně i pod porostem je možné docílit počtů obnovy odpovídajícím podle vyhlášky (č.139/2004 Sb.) nárokům na založení kvalitního porostu.

Výškový a tloušťkový přírůst borovic jsou na sobě vzájemně silně závislé (MÄKINEN 1998; ŠINDELÁŘ et al. 2007b) a totéž platí i pro celkovou výšku a výškový přírůst (OLEKSYN et al. 2001). Námi zjištěný korelační koeficient mezi výškou a tloušťkou tomu odpovídá ($r = 0,83$), nicméně korelace výšky a přírůstu byla zřetelně nižší ($r = 0,5$). Patrně se zde projevil výrazný vliv zástiny mateřským porostem. Rovněž absolutní hodnoty průměrného ročního přírůstu byly nižší (v relativních hodnotách 5–12 % z celkové výšky obnovy), než jsou uváděny pro podobně staré výsadby na volné ploše (např. OLEKSYN et al. 2001 uvádějí roční běžný přírůst desetiletých výsadeb v rozmezí 40–80 cm a současně relativní přírůst 14–19 % z celkové výšky obnovy).



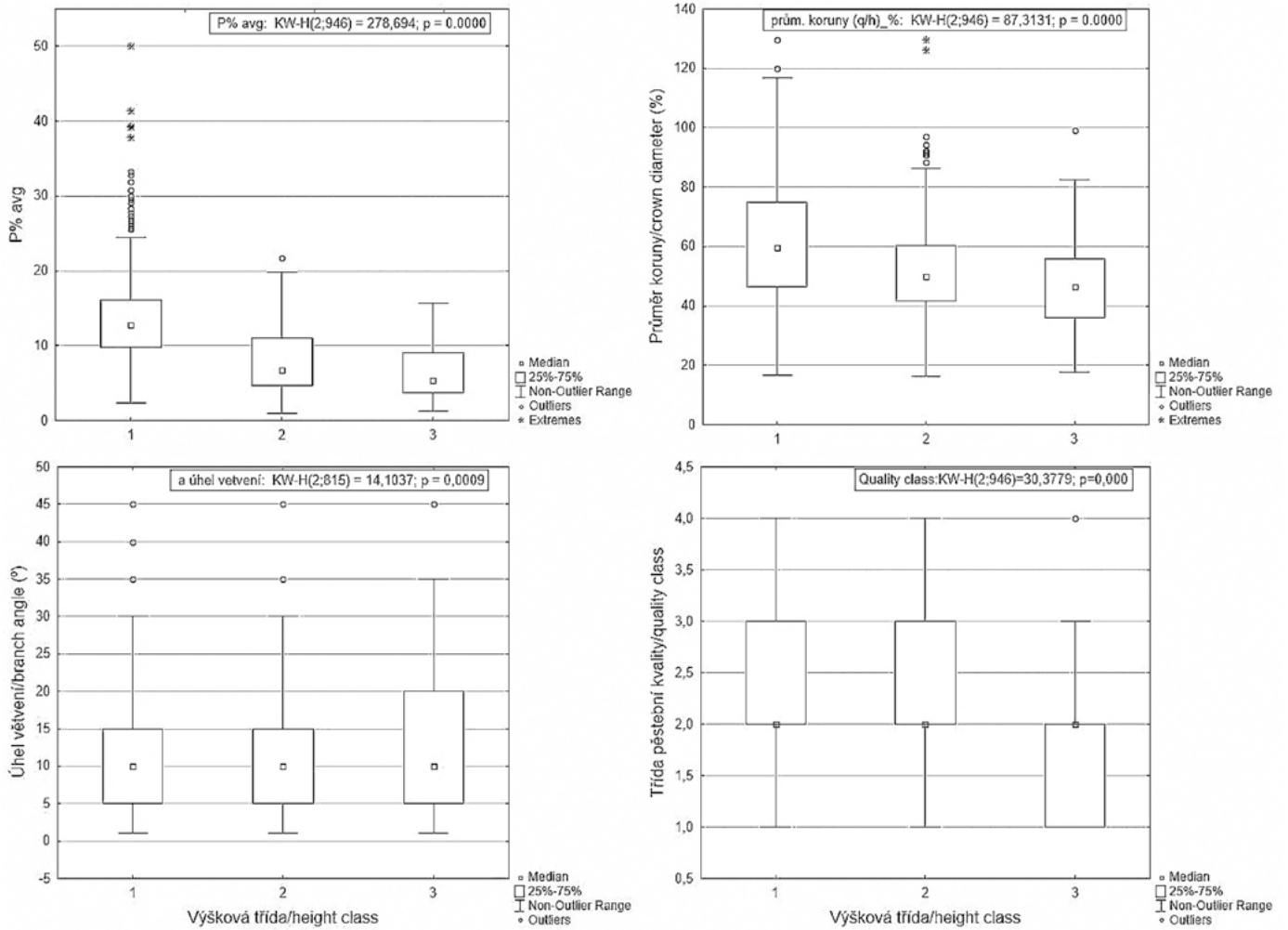
Obr. 1. Variabilita počtů přirozené obnovy na jednotlivých lokalitách
Fig.1.

The number of pine regeneration variability within and among particular locality

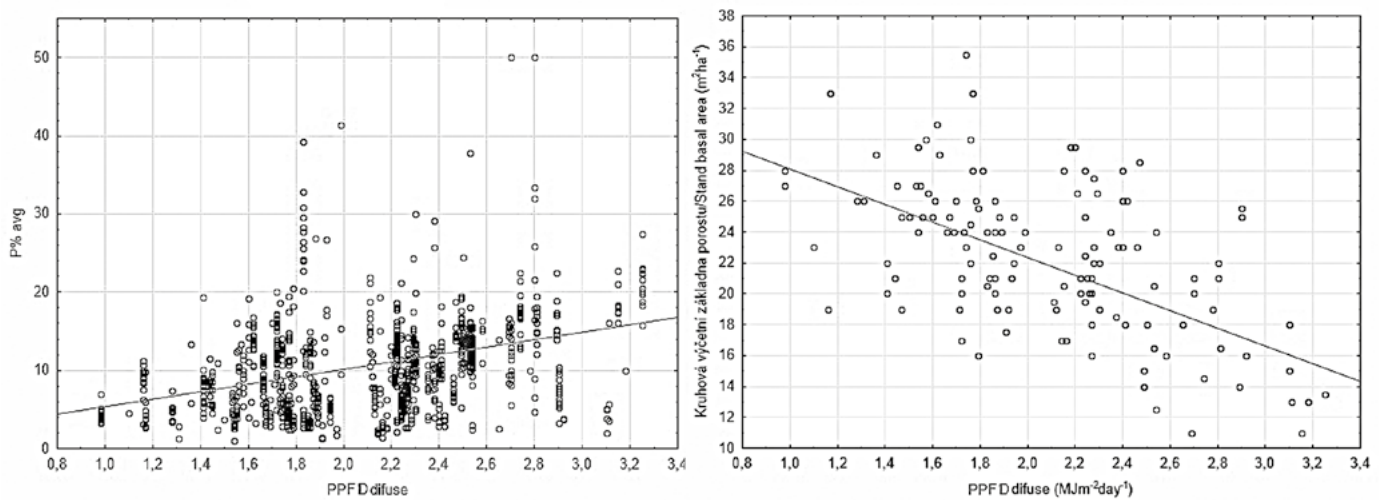


Obr. 2.
 Základní parametry přirozené obnovy borovice na různých lokalitách
Fig. 2.
 Pine regeneration growth characteristics according to height class

Vysvětlivky: H – výška jedinců, D – tloušťka kořenového krčku, P% – relativní výškový přírůst
 Captions: H- regeneration height; D - regeneration diameter; P% - regeneration height increment (relative)



Obr. 3.
 Růstové charakteristiky obnovy borovice podle výškových tříd
Fig. 3.
 Pine regeneration growth characteristics according to height class
 P% – relativní výškový přírůst/P% – regeneration height increment (relative)



Obr. 4.
 Vzájemný vztah mezi výčetní kruhovou základnou porostu, difúzním zářením pod porostem a relativním výškovým přírůstem přirozené obnovy
Fig. 4.
 Interrelation among stand basal area, PPFD diffuse and pine regeneration relative height increment
 Vysvětlivky: P% – relativní výškový přírůst, PPFD diffuse – fotosynteticky aktivní difúzní záření pod porostem
 Captions: P% – regeneration height increment (relative), PPFD diffuse – photosynthetically active photon flux density (diffuse)

Zjevný rozdíl v korelacích mezi výškou a absolutními hodnotami přírůstu a šířky koruny ($r = 0,51$, $r = 0,84$) a relativními hodnotami přírůstu a šířky koruny ($r = -0,57$ a $r = -0,33$) ukazuje na relativní snížení rychlosti růstu a relativní zúžení koruny u starších jedinců obnovy. Současně u vyšších jedinců lze očekávat mírně stoupající nároky na světlo (MIRSCHHEL et al. 2011). Při hodnocení růstových charakteristik různých výškových kategorií obnovy se jasně prokázal rozdíl mezi obnovou nižší – do výšky 1 m a obnovou ve výšce nad 2 m – a to z hlediska jak intenzity růstu, tak tvaru koruny, úhlu větvení a pěstební kvality obnovy. Celkově kvalitnější jsou vyšší jedinci obnovy (obr. 6), což je opačná situace, než která nastává u mladé kultury borovice s tzv. „předrostlíky“ a „obrostlíky“ (SLOUP, LEHNEROVÁ 2016). Je to dáno vysokou mírou kompetice uvnitř obnovní skupiny a celkově nižší světelnou intenzitou po relativně dlouhé období iniciačního růstu obnovy, kdy se optimálních růstových podmínek dostává právě jedincům v úrovni až nadúrovni.

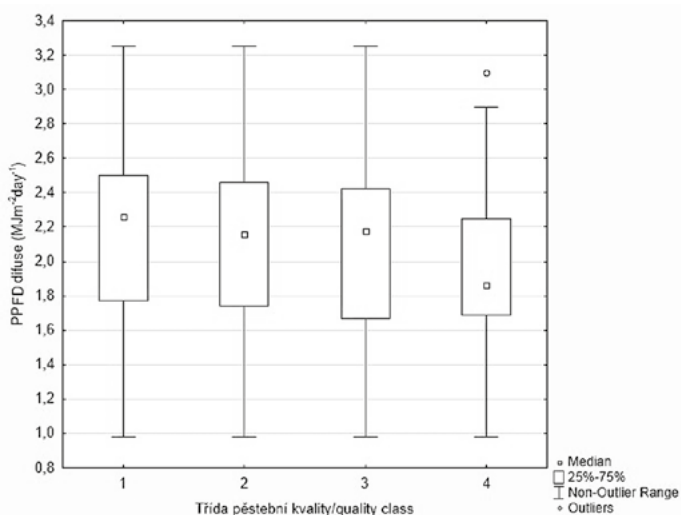
Charakteristiky větví v koruně, zejména jejich síla a úhel, jsou ovlivněny jak geneticky, tak zástiněm a konkurencí ostatních jedinců (GORT et al. 2010). V případě malého zástiněm (jak okolními jedinci, tak mateřským porostem) dochází k zesílení větví v koruně a snížení kvality kmene (SLOUP, LEHNEROVÁ 2016). Úhel větvení je také významně ovlivněn přímým slunečním zářením. Šířka koruny je ovlivněna jak zástiněm mateřským porostem, tak okolními jedinci stejné generace, přičemž rozdíl mezi hodnotou u výsaděb a pod porostem v přírodních lesích může být až desetinásobný (MARCOS et al. 2007).

Porost dospělé borovice výrazně sníží množství světla dopadajícího na povrch půdy (EREFUR et al. 2008). Vliv zástiněm je nicméně nejednoznačný. Mírné stínění snižující konkurenci bylinného patra (PALUCH, BARTKOWICZ 2004) a zvyšující stabilitu dostupnosti vody v povrchových vrstvách půdy (NILSSON et al. 2002) může zvýšit počty jedinců přirozené obnovy oproti volné ploše (HOLGEN, HANELL 2000; EREFUR et al. 2008). Na druhou stranu výraznější zástiněm přirozenou obnovu omezuje co do počtů, tak i přírůstu (SCOTT et al. 2000; NINEMETS et

al. 2002; NILSSON et al. 2002; ROUVINEN, KOUKI 2011; SLOUP, LEHNEROVÁ 2016). Ve většině porostů, ve kterých se vyskytuje přirozená obnova borovice, má zápoj hodnoty v rozmezí 40–70 % (MIRSCHHEL et al. 2011). Na našich plochách toto rozmezí bylo 50–80 %, s dolním limitem (pro výšket přirozené obnovy) celkového světelného záření v intenzitě kolem 5 MJ.m⁻².d⁻¹ a horním limitem mezi 10–22 MJ.m⁻².d⁻¹. Z hlediska vlivu kvality slunečního záření byly počty přirozené obnovy statisticky významně ovlivněny zápojem a prokazatelně zejména dostupným difúzním zářením. Tento typ záření ovlivnil i relativní přírůst přirozené obnovy a relativní šířku koruny. Podobně ovlivnění morfologie koruny a asimilačního aparátu difúzním zářením uvádí např. NINEMETS (et al. 2002), GORT et al. (2010).

Vliv přímého slunečního záření pod porostem je podle očekávání menší, patrně díky jeho větší variabilitě a kolísání a byl prokázán jeho vliv pouze na úhel větvení, kdy při nižší intenzitě záření byly větve postaveny vodorovně, při vyšší intenzitě a zejména u nejvyšších jedinců obnovy ve skupince se úhel pohyboval kolem 30–35°. Vliv světla na morfologii asimilačního aparátu může být ovlivněn i rychlostí růstu obnovy a živinovou bohatostí stanoviště (NINEMETS et al. 2002), avšak v našem rozsahu podmínek spíše chudých stanovišť se tento efekt neprojevil a efekt lokality byl minimální.

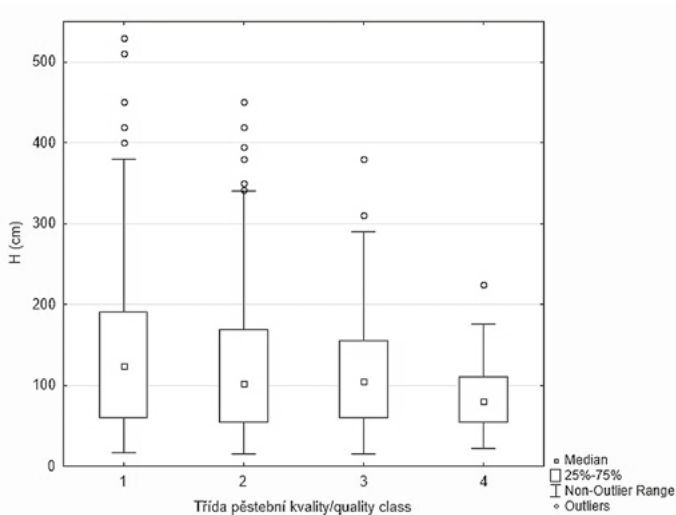
Charakter půdního povrchu je pro uchycení semenáčků pionýrských dřevin, jako je borovice, zásadním faktorem (NILSSON et al. 2002; WARDLE et al. 2003; KARLSSON, NILSSON 2005; ROUVINEN, KOUKI 2011; GRIGORIADIS et al. 2014). Podstatná je zvláště mocnost organických horizontů, zejména nerozložených horizontů L a F, ale i minerálního podílu v blízkosti nebo na povrchu půdy (HILLE, OUDEN 2004; EREFUR et al. 2008). V našich podmínkách byla nadložní humusová vrstva obvykle poměrně mocná (4–10 cm) v kombinaci s mocností horizontu Ah (1–2 cm) vytvářející typicky humusovou formu mor (s poměrem nerozložené a rozložené organické hmoty (L+F/H) 0,4–8). Podobné hodnoty pro borové porosty uvádí i MIRSCHHEL et al. (2011). Význam může mít nejen celková mocnost nadložního



Obr. 5. Vztah mezi difúzním zářením a hodnotou pěstební kvality u obnovy borovice

Fig. 5. Relation between PPFD diffuse and pine regeneration silvicultural quality

PPFD diffuse – fotosynteticky aktivní difúzní záření pod porostem
PPFD diffuse – photosynthetically active photon flux density (diffuse)



Obr. 6. Vztah mezi výškou obnovy a hodnotou pěstební kvality

Fig. 6. Relation between regeneration height and its silvicultural quality

humusu, ale i jeho kvalita, se kterou souvisí pH, obsah bází, nebo dostupností dusíku, ale roli hrají i obsahy fenolů a taninů. Borovice lesní má např. v jehličí nízký obsah dusíku a relativně pomalý rozklad (MIRSCHHEL et al. 2011), který se zrychluje až u staršího opadu. Poměrně vysoký obsah dusíku je např. v opadu borůvky, která má však současně vysoký obsah fenolů a taninů a je díky tomu považována za pokryv s negativním vlivem na klíčení semenáčků borovice (MIRSCHHEL et al. 2011). Mechy, které jsou svojí pokrývností v borových porostech poměrně významné, mají rozklad zhruba dvakrát pomalejší, ale jsou lépe schopné zadržovat vodu (WARDLE et al. 2003). To může být pro počátky obnovy významnější (KUULUVAINEN, PUKKALA 1989; CHANTAL et al. 2003) vzhledem k nenáročnosti borovice na živiny (PALUCH, BARTKOWICZ 2004; MIRSCHHEL et al. 2011). V pohledu na význam půdního povrchu a pokrývku se kombinují jak výše zmíněné

vlivy pedologických charakteristik, tak konkurenceschopnost druhu, který tvoří bylinné patro. Mech z toho pohledu konkurencí pro semenáčky není, protože z půdy neodebírání vodu ani živiny. Zcela jiná situace je s vyššími bylinami nebo keříky. Negativní vliv zejména *Vaccinium myrtillus* zmiňuje řada autorů (SCOTT et al. 2000; CHANTAL et al. 2003; HILLE, OUDEN 2004; MAROZAS et al. 2007; MARCOS et al. 2007; MIRSCHHEL et al. 2011) a projevil se i v našem případě, kdy v porostu brusnice borůvky se obnova vyskytovala pouze ojediněle a pouze pokud výška keříků nepřesahovala 10–15 cm. V našich podmínkách borůvka v průměru pokrývala 40–45 %, mechové patro 70 % plochy a hrabanka kolem 24 %. Pokrývnost borůvky je v přírodních borových lesích obvykle poměrně vysoká a pohybuje se mezi 40–80 %, s průměrem 63 % u dospělých porostů (MARCOS et al. 2007). Odstranění takto konkurenčně významného bylinného patra v počátcích obnovy

Tab. 3.

Výsledky smíšených lineárních modelů ukazující faktory prostředí s výrazným vlivem na charakteristiky obnovy
Mixed linear effects model results, showing environmental characteristics with significant influence to the pine regeneration characteristics

Závislá proměnná/ Dependent variable	Kompetice/Competition	Světelné podmínky/Light conditions	Půdní povrch/Soil surface	Rozklad variability/ Variability decomposition
Četnost obnovy/ Density R²=60.6	X	Open. F=14.63***; value=0.138, t=2.17 * PPFD_diff F=14.60 ***; value=-3.027, t= -3.84***	Humus F=67.00, *** value = 1.8, t=8.35*** Moss F=16.56***; value=0.026, t= 4.07***	Locality =0.23 Plot =0.29 Subplot =0.00
H R ² =58.6	d_{-mat} F=3.91 *, value = 0.193, t=1.796 *; Dens_{-BA} ; F=46.0*** value=0.054, t=6.78***	X	X	Locality =0.36 Plot =0.11 Subplot =0.19
D R ² = 43.3	d₋₁ ;F=3.98 *, value=0.057, t=2.21 * Dens_{-N} F=11.43**; value = -0.0199, t= -7.39*** Dens_{-BA} DF=139;***; value = 0.008 , t=11.79***	X	X	Locality =0.34 Plot = 0.06 Subplot =0.11
P R ² =35.2	d_{-mat} F=12.81***; value=0.052, t=3.24** Dens_{-BA} F=45.07*** value = 0.0066, t= 6.63***	X	X	Locality =0.2 Plot = 0.14 Subplot =0.13
P_% R ² =71.5	Dens_{-BA} F=3.85*; value = 0.0005, t = -1.97*	Open F=8.42**; value =-0.0007, t= -0.35 PPFD_diff F=5.27*; value =0.056; t=2.296*		Locality =0.2 Plot =0.29 Subplot =0.25
Q R ² = 35%	Dens_{-N} F=8.359***; value=-0.91 t= -6.1*** Dens_{-BA} F=96.41***; value=0.040, t= 9.81***	X	X	Locality =0.25 Plot =0.05 Subplot =0.12
Q_% R ² = 38,9%	d₋₁ F=24.91***; value= 0.048, t=4.69***	PPFD_diff F=4.51*; value= +0.038, t=2.11*	Vac_m F=9.92**; value= -0.0007, t= -2.5* Litter F=4.54*; value=0,001; t=2,13*	Locality =0.21 Plot = 0.14 Subplot =0.05
α_bran R ² =37.2%	Dens_{-BA} F=6.086*; value =0.004, t=9.38*	PPFD_dir F=10.95**; value = 0.037, t=3.3 **	X	Locality =0.00 Plot = 0.19 Subplot =0.13

(* - p = 0.05; ** - p = 0.001; *** - p < 0.0001)

Vysvětlivky: „value“ = hodnota příslušného regresního koeficientu, H - výška obnovy, D - tloušťka kořenového krčku, P - výškový přírůst obnovy (absolutní a relativní), Q - průměr koruny obnovy (absolutní a relativní), α_bran - úhel větvi 2. přeslenu

d_mat - vzdálenost nejbližšího dospělého jedince; d_{-1,2} - vzdálenost 2 nejbližších jedinců obnovy; dens_{-N} - četnost přirozené obnovy na ploše; dens_{-BA} kruhová základna přirozené obnovy počítaná z plochy kořenového krčku; BA - kruhová výčetní základna porostu; Open - otevřenost zápoje; PPFD - fotosynteticky aktivní záření (tok fotonů) (dir- direct; diff- diffuse; tot- total) %; Humus - proporce humusových horizontů; Vac_m - pokryv *Vaccinium myrtillus* (%); Litter - pokryv opadanky (%); Moss - pokryv mechu (%)

Captions: „value“ - regression coefficient value; H - regeneration height; D - regeneration diameter; P - regeneration height increment (actual and relative); Q - regeneration crown diameter (actual and relative); α_bran - branch angle within second whorl

d_mat - the closest mature tree distance; d_{-1,2} - two closest natural regeneration individuals distance; dens_{-N} - density/number of natural regeneration on the plot; dens_{-BA} - basal area of natural regeneration on the plot calculated from the root collar diameter; BA - stand basal area; Open - canopy openness; PPFD - Photosynthetically active flux density (dir- direct; diff- diffuse; tot- total) %; Humus - humus horizons proportion; Vac_m - *Vaccinium myrtillus* cover (%); Litter - litter cover (%); Moss - moss cover (%)

může její počty výrazně zvýšit (HYPPÖNEN et al. 2013; GRIGORIADIS et al. 2014). To zvyšuje význam volné plochy bez bylinného patra pouze s hrabankou, kdy její minimální podíl 10 % zvyšuje počty přirozené obnovy až trojnásobně (SCOTT et al. 2000).

Vzdálenost k nejbližšímu jedinci mateřského porostu a blízkost a hustota okolní obnovy měla významný vliv na celou řadu charakteristik sledovaných jedinců. Zásadní roli hrála zejména četnost a celková velikost jedinců obnovy na ploše, která měla významný vliv na výšku, tloušťku kořenového krčku, přírůst, šířku koruny i úhel větvení ve druhém přeslenu. Význam negativního vlivu ostatních jedinců obnovy, a to především vyšších a tlustších (tzv. předostlíků a obrostlíků), je dobře znám i z praxe (SLOUP, LEHNEROVÁ 2016). PALUCH, BARTKOWICZ (2004) uvádějí tendenci obnovy borovice pod porostem růst ve skupinkách o průměru 3–4 m a podobnou tendenci jsme pozorovali také na našich stanovištích. Nicméně takováto kumulace jedinců obnovy zvyrazňuje jejich kompetiční vztahy.

V pohledu na efekt dospělých stromů se různí autoři liší, protože může být jak pozitivní – vyšší zástin snižuje kompetici bylinného patra (KUULUVAINEN, PUKKALA 1989), porost je důležitým a blízkým zdrojem semen (KUULUVAINEN, PUKKALA 1989; SCOTT et al. 2000) – tak negativní, kdy nastává vyšší intercepce srážek, vyšší kompetice o vodu a živiny v těsnější blízkosti mateřského jedince (MITCHELL 2001). Dostupnost vody, živin a světla se se vzdáleností od dospělého jedince mění a může zásadně formovat prostředí vhodné pro přežívání semenáčků. Významná je zejména blízkost jedinců do tří, resp. šesti metrů (KUULUVAINEN, PUKKALA 1989; PALUCH, BARTKOWICZ 2004; GARCÍA-ABRIL et al. 2007), vzdálenost dospělých jedinců menší než jeden metr ovšem počty obnovy významně snižuje (KUULUVAINEN, PUKKALA 1989; EREFUR et al. 2008). Jako optimální uvádí EREFUR et al. 2008 pro semenáčky vzdálenost 4–7 m od dospělého jedince. Na našich plochách byla vzdálenost dospělého jedince od obnovy v průměru nižší a pohybovala se v rozmezí 2–4 m a opět významně ovlivnila (zvýšila) výšku a přírůst jedinců obnovy.

ZÁVĚR

Přirozená obnova borovice pod porostem (ve výškovém rozpětí 0,25–4 m) měla na všech sledovaných lokalitách střední hodnoty četnosti jedinců v rozmezí 4,3–18,5 tisíc ks.ha⁻¹. Tyto počty jsou variabilní v rámci lokalit i mezi nimi a má na ně významný vliv charakter mateřského porostu ($r = -0,34$). Při kruhové základně nad 25 m².ha⁻¹ se už přirozená obnova pod porostem vyskytovala minimálně. Základní dendrometrické charakteristiky jsou ovlivněny zejména konkurenčními vztahy s jedinci stejné generace nebo i mateřského porostu. Obnova pod porostem se svým charakterem významně liší od obnovy vznikající na volné ploše. Relativní přírůst je nižší než u obnovy na volné ploše a pohybuje se v rozsahu 5–25 %. Přírůstu přes 10 % je dosaženo u porostů s kruhovou výčetní základnou 18–24 m².ha⁻¹. Kruhová výčetní základna nad 25–26 m².ha⁻¹ vede ke snížení dostupného difúzního záření pod 1,2–1,4 MJ. m⁻².den⁻¹ a k omezení počtů i přírůstů přirozené obnovy. Přes značnou heterogenitu dat mezi jednotlivými lokalitami lze konstatovat, že úhel větvení a výškový přírůst, případně relativní šířka koruny, jsou významnými indikátory kvality obnovy, potažmo kvality světelného mikroklimatu. Z hospodářského pohledu nejkvalitnější jedinci měli v rámci obnovní skupiny nadprůměrnou výšku, následující výchovné zásahy by tedy měly směřovat do porostní úrovně takto vzniklých porostů.

Poděkování:

Tato studie byla realizována a prezentována díky finanční podpoře MZE v rámci projektu QJ1520037 „Zvyšování adaptability borového hospodářství v podmínkách České republiky“. Dík také patří studentkám Ivě Kratochvilové a Haně Závorkové za spolupráci při terénním měření.

LITERATURA

- BEGHIN R., LINGUA E., GARBARINO M., LONATI M., BOVIO G., MOTTA R., MARZANO R. 2010. *Pinus sylvestris* forest regeneration under different postfire restoration practices in the northwestern Italian Alps. *Ecological Engineering*, 36: 1365–1372.
- BÉLAND M., AGESTAM E., EKÖ P.M., GEMMEL P., NILSSON U. 2000. Scarification and seedfall affects natural regeneration of Scots pine under two shelterwood densities and a clear-cut in southern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 15: 247–255. DOI: 10.1080/028275800750015064
- BURRASCANO S., SABATINI F.M., BLASI C. 2011. Testing indicators of sustainable forest management on understorey composition and diversity in southern Italy through variation partitioning. *Plant Ecology*, 212: 829–841.
- ČGS (Česká geologická služba). 2014. Geologická mapa 1 : 50 000, poslední aktualizace: 2014 (cit. 10. 9. 2017). Dostupné na/Available on: < http://mapy.geology.cz/geoc_50/ >.
- EREFUR CH., BERGSTEN U., CHANTAL M. DE 2008. Establishment of direct seeded seedlings of Norway spruce and Scots pine: effects of stand conditions, orientation and distance with respect to shelter tree, and fertilisation. *Forest Ecology and Management*, 255: 1186–1195. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.10.024
- GARCÍA-ABRIL A., MARTIN-FERNÁNDEZ S., GRANDE M.A., MANZANERA J.A. 2007. Stand structure, competition and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in a Mediterranean mountainous environment. *Annals of Forest Science*, 64: 825–830. DOI: 10.1051/forest:2007069
- GORT J., ZUBIZARRETA-GERENDIAIN A., PELTOLA H., KILPELAINEN A., PULKKINEN P., JAATINEN R., KELLOMAKI S. 2010. Differences in branch characteristics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) genetic entries grown at different spacing. *Annals of Forest Science*, 67: 701–708.
- GRIGORIADIS N., SPYROGLOU G., GRIGORIADIS S., KLAPANIS P. 2014. Effect of soil scarification on natural regeneration of mature Scots pine (*Pinus sylvestris*) stands in Greece. *Global NEST Journal*, 16 (4): 732–742.
- HILLE M., OUDEN J. DEN 2004. Improved recruitment and early growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings after fire and soil scarification. *European Journal of Forest Research*, 123: 213–218. DOI: 10.1007/s10342-004-0036-4
- HOLGÉN P., HÄNELL B. 2000. Performance of planted and naturally regenerated seedlings in *Picea abies*-dominated shelterwood stands and clearcuts in Sweden. *Forest Ecology and Management*, 127 (1–3): 129–138. DOI: 10.1016/S0378-1127(99)00125-5
- HYPPÖNEN M., HALLIKAINEN V., NIEMELÄ J., RAUTIO P. 2013. The contradictory role of understory vegetation on the success of Scots pine regeneration. *Silva Fennica*, 47 (1): article id. 903 ref. 61.
- CHANTAL M. DE, LEINONEN K., KUULUVAINEN T., CESCATTI A. 2003. Early response of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings to an experimental canopy gap in boreal spruce forest. *Forest Ecology and Management*, 176: 321–336. DOI: 10.1016/S0378-1127(02)00273-6
- JÄÄRATS A., SIMS A., SEEMEN H. 2012. The effect of soil scarification on natural regeneration in forest microsites in Estonia. *Baltic Forestry*, 18 (1): 133–143.
- KARLSSON M., NILSSON U. 2005. The effects of scarification and shelterwood treatments on naturally regenerated seedlings in southern Sweden. *Forest Ecology and Management*, 205: 183–197. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.10.046

- KUULUVAINEN T., PUKKALA T. 1989. Effect of Scots pine seed trees on the density of ground vegetation and tree seedlings. *Silva Fennica*, 23: 159–167.
- LEPŠ J., ŠMILAUER P. 2016. Biostatistika. České Budějovice, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích: 438 s.
- LINDER P., ELFVING B., ZACKRISSON O. 1997. Stand structure and successional trends in virgin boreal forest reserves in Sweden. *Forest Ecology and Management*, 98: 17–33. DOI: 10.1016/S0378-1127(97)00076-5
- MÄKINEN H. 1998. The suitability of height and radial increment variation in *Pinus sylvestris* (L.) for expressing environmental signals. *Forest Ecology and Management*, 112: 191–197. DOI: 10.1016/S0378-1127(98)00337-5
- MARCOS J.A., MARCOS E., TABOADA A., TÁRREGA R. 2007. Comparison of community structure and soil characteristics in different aged *Pinus sylvestris* plantations and a natural pine forest. *Forest Ecology and Management*, 247 (1–3): 35–42. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.04.022
- MAROZAS V., RACINSKAS J., BARTKEVICIUS E. 2007. Dynamics of ground vegetation after surface fires in hemiboreal *Pinus sylvestris* forests. *Forest Ecology and Management*, 250: 47–55. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.03.008
- MATÍAS L., JUMP A.S. 2012. Interactions between growth, demography and biotic interactions in determining species range limits in a warming world: The case of *Pinus sylvestris*. *Forest Ecology and Management*, 282: 10–22. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.06.053
- MIRSCHER F., ZERBE S., JANSSEN F. 2011. Driving factors for natural tree rejuvenation in anthropogenic pine (*Pinus sylvestris* L.) forests of NE Germany. *Forest Ecology and Management*, 261: 683–694. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.11.025
- MITCHELL A.K. 2001. Growth limitations for conifer regeneration under alternative silvicultural systems in a coastal montane forest in British Columbia, Canada. *Forest Ecology and Management*, 145: 129–136. DOI: 10.1016/S0378-1127(00)00580-6
- NIINEMETS Ü., CESCATTI A., LUKJANOVA A., TOBIAS M., TRUUS L. 2002. Modification of light-acclimation of *Pinus sylvestris* shoot architecture by site fertility. *Agricultural and Forest Meteorology*, 111: 121–140. DOI: 10.1016/S0168-1923(02)00011-4
- NILSSON U., GEMMEL P., JOHANSSON U., KARLSSON M., WELANDER T. 2002. Natural regeneration of Norway spruce, Scots pine and birch under Norway spruce shelterwoods of varying densities on a mesic-dry site in southern Sweden. *Forest Ecology and Management*, 161: 133–145. DOI: 10.1016/S0378-1127(01)00497-2
- OLEKSYN J., REICH P.B., TJOELKER M.G., CHALUPKA W. 2001. Biogeographic differences in shoot elongation pattern among European Scots pine populations. *Forest Ecology and Management*, 148: 207–220. DOI: 10.1016/S0378-1127(00)00537-5
- PALUCH J.G., BARTKOWICZ L.E. 2004. Spatial interactions between Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), common oak (*Quercus robur* L.) and silver birch (*Betula pendula* Roth.) as investigated in stratified stands in mesotrophic site conditions. *Forest Ecology and Management*, 192: 229–240. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.01.041
- PINHEIRO J., BATES D., DEBROY S., SARKAR D. 2012. nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-105.
- POMMERENING A. 2006. Transformation to continuous cover forestry in a changing environment. *Forest Ecology and Management*, 224: 227–228. DOI: 10.1016/j.foreco.2005.12.036
- R CORE DEVELOPMENT TEAM 2012. R: a language and environment for statistical computing, version 2.15.2. – R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Dostupné na/Available on: <http://www.R-project.org/>.
- REGENT INSTRUMENTS CANADA Inc. 2012. WinSCANOPY 2012a For Canopy Analysis (software). Retrieved from: http://regentinstruments.com/assets/winscanopy_about.html
- ROUVINEN S., KOUKI J. 2011. Tree regeneration in artificial canopy gaps established for restoring natural structural variability in a Scots pine stand. *Silva Fennica*, 45 (5): 1079–1091.
- SCOTT D., WELCH D., THURLOW M., ELSTON D.A. 2000. Regeneration of *Pinus sylvestris* in a natural pinewood in NEScotland following reduction in grazing by *Cervus elaphus*. *Forest Ecology and Management*, 130: 199–211. DOI: 10.1016/S0378-1127(99)00191-7
- SLODIČÁK M., NOVÁK J., DUŠEK D. 2011. Canopy reduction as a possible measure for adaptation of young Scots pine stand to insufficient precipitation in Central Europe. *Forest Ecology and Management*, 262: 1913–1918. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.02.016
- SLOUP M., LEHNEROVÁ L. 2016. Vliv prvních výchovných zásahů na růst a vývoj borové mlaziny z přirozené obnovy. *Zprávy lesnického výzkumu*, 61 (3): 213–222.
- ŠINDELÁŘ J., FRÝDL J., NOVOTNÝ P. 2007a. Příspěvek k charakteristikám regionálních populací – ekotypů borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) v České republice. *Zprávy lesnického výzkumu*, 52 (2): 148–159.
- ŠINDELÁŘ J., FRÝDL J., NOVOTNÝ P., ČÁP J. 2007b. Hodnocení proměnlivosti potomstev borovice lesní *Pinus sylvestris* L. na základě geografických charakteristik lokalit jejich původu. *Zprávy lesnického výzkumu*, 52 (3): 214–225.
- TOLASZ R. et al. 2007. Atlas podnebí Česka. Praha; Olomouc: Český hydrometeorologický ústav: 255 s. ISBN 978-80-244-1626-7
- VIEWEGH J., KUSBACH A., MIKESKA M. 2003. Czech forest ecosystem classification. *Journal of Forest Science*, 49 (2): 85–93.
- WARDLE D.A., NILSSON M.-C., ZACKRISSON O., GALLET CH. 2003. Determinants of litter mixing effects in a Swedish boreal forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 35 (6): 827–835.

SHELTERWOOD REGENERATION OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) WITH RESPECT TO SITE AND STAND CONDITIONS

SUMMARY

In Central Europe, regeneration of Scots pine stands is traditionally achieved after clear-cut, but in some cases there is also a possibility to use shelterwood regeneration method. Data were collected in four localities (Třeboň, Plasy, Hradec and Doksy) across the Czech Republic in 26 forest stands covering the altitude of 270–570 m a.s.l. with average yearly temperature 8–8.5 °C, and average yearly precipitation 550–670 mm (Tab. 1). Mostly acidic and nutrient poor soils were represented. Selected forest stands were characterised by the age of 90–140 years, canopy 50–80%, and presence of young natural pine regeneration in the understory. In each forest stand a square 0.25 ha research plot was established. Consequently, 5 circular (diameter 3 m) subplots were selected in regular pattern within each research plot.

Further we evaluated pine regeneration density, dendrometric characteristics (height, diameter of root collar, increment in last five years, crown diameter), quality characteristics including angle of branching (2nd whorl, branch angle with horizontal level) and silviculture value of each individual (1 – being the highest value, 4 – the lowest). As independent explanatory variables we measured light conditions based on hemispheric image analysis (openness, direct, diffuse and total photosynthetic photon flux density /PPFD/), ground vegetation characteristics such as composition and coverage, thickness of surface humus horizons and competition expressed as a distance to the nearest individuals of natural regeneration and to the nearest mature tree. We used Canon Eos camera with fisheye lenses, Photoshop 7 to adjust photographs regime to black and white and WinSCANOPY 2012 software to light characteristics calculation.

For statistical analyses we used R software: Kolmogrov-Smirnov was used to test normal distribution; logarithmic and angular data transformation was performed for values without normal distribution. Linear-mixed-effects model with test REML, nlme library, was used for data evaluation (PINHEIRO et al. 2012). Basic dendrometric characteristics were evaluated considering not only the locality, but also height class of regeneration (class 1: > 1m; class 2: 1–2 m; class 3: > 2 m).

Results showed high variability in natural regeneration density (for seedlings higher than 25 cm), its mean values amounted up to 4285–18570 pc.ha⁻¹ and maximum value 40,000 pc.ha⁻¹ (Fig. 1). There was significant difference in basic dendrometric characteristics between some of the plots and localities (Fig. 2), also for the three height classes of natural regeneration (Fig. 3). Number of regeneration individuals was significantly influenced by light conditions (the openness and diffuse PPFD (photosynthetic photon flux density) and by ground vegetation characteristics, especially the cover of mosses. Relation between environmental variables and regeneration characteristics is shown in Tab. 2. Dendrometric and growth characteristics (height, diameter, increment and crown diameter) were significantly influenced (Tab. 3) by intraspecific competition, but relative values of both the increment and crown diameter depended also on the diffuse PPFD. Relative height increment between 10% and 15% (Fig. 4), was reached at values higher than 2 MJ.m⁻².day of diffuse PPFD corresponding to stand basal area below 25 m².ha⁻¹. The quality of individuals (Fig. 5) depends also on diffuse PPFD, but can be strongly influenced by competition. Amount of direct radiation also correlates with the angle of branches in the 2nd whorl. The horizontally oriented branches generally indicate low amount of direct PPFD. The best quality individuals (with straight stem and regular crown) occurred mainly in the upper height class of the natural regeneration (Fig. 6).

Zasláno/Received: 01. 12. 2017

Přijato do tisku/Accepted: 22. 03. 2018