

RŮSTOVÁ REAKCE SMRKOVÝCH MLAZIN NIŽŠÍCH POLOH NA VÝCHOVNÝ ZÁSAH

GROWTH RESPONSE OF NORWAY-SPRUCE THICKET TO THINNING AT LOWER ALTITUDES

DAVID DUŠEK  - RENÁTA SMOLÍKOVÁ - DUŠAN KACÁLEK

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i, Výzkumná stanice Opočno, na Olivě 550, 517 73 Opočno, Czech Republic

 e-mail: dusek@vulhmop.cz

ABSTRACT

Growing Norway spruce at relatively warmer and drier conditions poses a threat of its die-off. Despite recent focus of silviculture on conversion of tree species composition, foresters still have to cope with existence of monospecific young spruce stands. Four thinning experiments were established at lower altitudes to investigate a response of stand characteristics to early thinning. Experimental thinning accelerated diameter increment of spruce crop trees significantly. Thinning also slowed pace of the slenderness ratio development thus impacting on the h/d values positively. Live crowns got short more slowly following thinning compared to control. Spruce stands at lower altitudes must be thinned as early as possible when mean height of dominant trees achieves 5 m. Given the risk of growing spruce at lower sites, all suitable tree species should be left on site. Spruce should be no longer grown in monospecific stand over the whole rotation, however silviculture measures should focus on maintenance of its share in future species composition.

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

Klíčová slova: *Picea abies*; výchova mlazin; štíhlostní kvocient; korunový poměr

Key words: Norway spruce; precommercial thinning; slenderness quotient; crown ratio

ÚVOD

Smrk ztepilý je v poslední době na ústupu vzhledem k rozsáhlým kalamitám ve smrkových monokulturách (Zpráva 2021) a jeho další pěstování v polohách 1.–4. LVS je považováno za vysoce rizikové (DUŠEK et al. 2017) i z pohledu probíhající změny klimatu (HLÁSNÝ et al. 2011, 2017), která má a bude mít dopad na management lesů (BOLTE et al. 2009; ALLEN et al. 2010; LINDNER et al. 2010; CHOAT et al. 2012; MASON et al. 2012; JANDL et al. 2019). V současné době je i v podmínkách České republiky (ČR) zřetelný trend pěstování lesů s bohatší druhovou skladbou (PODRÁZSKÝ et al. 2019; HAMMOND et al. 2020), od nichž se očekává větší odolnost vůči klimatickým změnám. Také podíl smrku na umělé obnově klesl ze 43 % v roce 2000 na 31 % v roce 2020 (Zpráva 2021). Přesto existuje stále významný podíl nesmíšených smrkových mlazin založených v minulosti. Tyto mlaziny z umělé obnovy představují nestabilní ekosystém, který není schopen zdárného vývoje bez aktivní porostní výchovy (SLODIČÁK et al. 2005; SLODIČÁK, NOVÁK 2006; DUŠEK et al. 2021b). Výchova by v tomto případě neměla směřovat k udržení stávajících smrkových monokultur, ale k zachování určitého podílu stabilních jedinců smrku v budoucí

druhové skladbě (DUŠEK et al. 2019). Pro dosažení individuální stability však smrk potřebuje dostatek růstového prostoru, zejména v mládí, kdy lze výchovou nejsnadněji pozitivně ovlivnit vývoj spádných kmenů a zpomalit nežádoucí zkracování korun. Absence výchovných zásahů v mladých smrkových porostech vede ke vzniku nestabilních porostů s přeštíhlenými jedinci v porostní úrovni a jejich následnému rozvratu v důsledku negativního působení sněhu a větru (SLODIČÁK, NOVÁK 2007). Ke kulminaci tloušťkového přírůstu dochází v uměle založených porostech smrku již ve věku 10–15 let, výškový přírůst kulminuje ve věku 20–30 let. Po dosažení horní porostní výšky ca 10 m již není možné stabilitu jednotlivých stromů pomocí výchovných zásahů výrazněji zlepšit a je nutno se spolehnout na vzájemné krytí jedinců v plně zapojeném porostu.

Porostní výchova dále hraje významnou roli při úpravě druhového složení lesních porostů a nesporný je její vliv na změnu porostního prostředí úpravou radiačního, tepelného a vodního režimu porostů (CHROUST 1997) a vliv na zrychlení koloběhu živin změnou množství opadu a rychlosti dekompozice organických půdních horizontů (PRESCOTT et al. 1993; PODRÁZSKÝ et al. 2005; SLODIČÁK et al. 2005;

PODRÁZSKÝ 2006; NOVÁK, SLODIČÁK 2012). Pozitivní vliv porostní výchovy smrku na zmírnění nepříznivých dopadů sucha uvádí řada autorů (LAURENT et al. 2003; KOHLER et al. 2010; SOHN et al. 2013; GEBHARDT et al. 2014; DUŠEK et al. 2021a;). Tento poznatek je zvláště důležitý pro smrkové porosty rostoucí v nižších nadmořských výškách, kde se nepříznivý vliv sucha projevuje nejvýrazněji.

Experimenty s výchovou smrkových porostů mají v ČR bohatou tradici (ŠTEFANČÍK et al. 2018). Tyto experimenty však byly v minulosti většinou zakládány v porostech ve stáří 30–40 let a o jejich výchově před tímto obdobím často neexistují spolehlivé informace. Z tohoto důvodu jsou poznatky o vlivu výchovy na vývoj smrkových porostů od stadia mlazin stále nedostatečné. Cílem práce je vyhodnotit růstovou reakci smrku na provedené výchovné zásahy z hlediska tloušťkového přírůstu, štíhlostního kvocientu a korunového poměru po čtyřech růstových sezónách od prvního výchovného zásahu. Předpokladem bylo dosažení zpomalení nárůstu štíhlostního kvocientu a zkracování korun cílových stromů vlivem prvního výchovného zásahu.

MATERIÁL A METODIKA

Experimentální plochy byly založeny v roce 2016 v nesmíšených smrkových mlazinách z umělé obnovy (Velká Bukovina I a III), v mlazině z přirozené obnovy s přimíseným bukem (Velká Bukovina II) a v mlazině z umělé obnovy se vtroušenou borovicí z přirozené obnovy (Lejšovka). Experimentální plochy leží v PLO 23 a 17 (Lejšovka), v prvním (Lejšovka) a třetím LVS. Typologicky se jedná o SLT 1P, 3S a 3K (tab. 1). Půdním typem je kambizem arenická kyselá (Velká Bukovina I–III) a podzol glejový arenický (Lejšovka).

Na každé ze čtyř lokalit byly založeny dvě srovnávací plochy, kontrolní a zásahová. O umístění variant do jednotlivých ploch na dané lokalitě bylo rozhodováno losem. Výměra každé jednotlivé plochy činí 0,01 nebo 0,02 ha. Plochy byly stabilizovány trvalým číselným značením jednotlivých stromů. Experimentální výchovný zásah spočíval ve výběru 1 300–1 700 kvalitních a nepoškozených stromů na hektar porostu z úrovně, resp. porostní nadúrovně. Ostatní jedinci, s výjimkou nekonkurující podúrovně, byly z porostu odstraněny.

Dendrometrická měření (výčetní tloušťky, výšky) probíhala s roční periodicitou mimo růstovou sezónu. Na podzim 2020 byla také měřena výška nasazení korun u cílových stromů. Štíhlostní kvocient h/d byl vypočítán jako stonásobek poměru výšky stromu k jeho výčetní tloušťce, korunový poměr cr vyjadřuje poměr délky živé koruny stromu k jeho celkové výšce.

Byl vyhodnocen průměrný roční tloušťkový přírůst středního kme-ne cílových stromů za období let 2016 až 2020. Dále byl vyhodnocen aritmetický průměr výčetní tloušťky (d), výšky stromů (h), štíhlostního kvocientu (h/d) a korunového poměru (cr) na konci růstového období roku 2020. Analýzy byly provedeny v prostředí jazyka R (R CORE TEAM 2021) s využitím knihoven *markdown* (ALLAIRE et al. 2019) a *ggplot2* (WICKHAM 2009). K testování rozdílů mezi variantami byla použita ANOVA s blokovým uspořádáním (lokalitou jako blokem), stejného výsledku by v tomto případě bylo dosaženo za použití párového t-testu. Použití lineárních modelů se smíšenými efekty a GAMM modelů (WOOD 2017) dávalo prakticky shodné výsledky jako ANOVA se zprůměrovanými hodnotami za plochu, a proto je zde neuvádíme. Průměrováním navíc došlo k žádoucímu přiblížení rozdělení výběrových průměrů normalitě a rovněž nebyly zaznamenány relevantní odchylky od homogenity rozptylů. Analýza reziduí z modelu analýzy rozptylu rovněž neindikovala výrazné narušení předpokladů. Za hranici statistické průkaznosti zde používáme hodnotu $p \leq 0,05$, ačkoli ji považujeme za poněkud arbitrárně zvolenou konvenci (HURLBERT, LOMBARDI 2009).

VÝSLEDKY

Tloušťkový přírůst

První experimentální výchovné zásahy vedly ke zřetelné akceleraci tloušťkového přírůstu cílových stromů smrku. Cílové stromy tří ze čtyř zásahových ploch byly v době založení experimentů méně tloušťkově vyspělé v porovnání s kontrolami, ale v roce 2020 již jasně všechny zásahové plochy tloušťkově kontroly převyšují (obr. 1). Průměrný roční tloušťkový přírůst cílových stromů činil 0,62 cm na kontrolní a 0,88 cm na zásahové variantě, rozdíl byl statisticky průkazný ($p = 0,004$; tab. 2).

Výčetní tloušťka

Průměrná výčetní tloušťka cílových stromů v roce 2020 se na jednotlivých plochách pohybovala od 7,6 do 10,2 cm na kontrolních a od 8,0 do 10,8 cm na zásahových plochách. V průměru činila 10,1 na kontrole a 10,9 na zásahové variantě; rozdíl nebyl statisticky průkazný ($p = 0,088$; tab. 3). Důvodem je patrně již zmíněná nižší tloušťková vyspělost zásahových porostů v době založení experimentů. Nejmarkantnější byl rozdíl výčetních tlouštěk na lokalitě Velká Bukovina III, na lokalitách Velká Bukovina I a II je patrně větší procento zastoupení nejvyšších tloušťkových stupňů na zásahových variantách (obr. 2).

Tab. 1.
Základní charakteristiky experimentálních ploch (rok 2016)
Characteristics of experimental plots (2016)

Lokalita ¹	LT ²	HS ³	Nadm. výška ⁴ (m)	Výměra ⁵ (ha)	Věk ⁶	Výška ⁷ (m)	Počet CS ⁸ (n × ha ⁻¹)
L	1P4	27	260	2×0,02	12	6,5	1 300
VB I	3S8	45	395	2×0,01	10	4,5	1 700
VB II	3K1	43	410	2×0,02	13	5,5	1 700
VB III	3S8	45	380	2×0,01	10	5,0	1 700

Captions: ¹locality; ²ecosites of oak (1) and oak with beech (3) on pseudogley (P), nutrient-medium (S) and acidic (K) soils; ³target management units; ⁴altitude; ⁵number of treatments × area [ha]; ⁶age; ⁷height; ⁸number of crop trees per hectare

Výška

Průměrná výška cílových stromů v roce 2020 se na jednotlivých plochách pohybovala od 6,5 do 9,4 m na kontrolních a od 6,4 do 9,3 m na zásahových plochách. V průměru činila 9,4 m na kontrole a 9,2 m na zásahové variantě; rozdíl nebyl statisticky průkazný ($p = 0,625$; tab. 4). Není zde zřejmá vazba mezi výchovným zásahem a výškou cílových stromů (obr. 3).

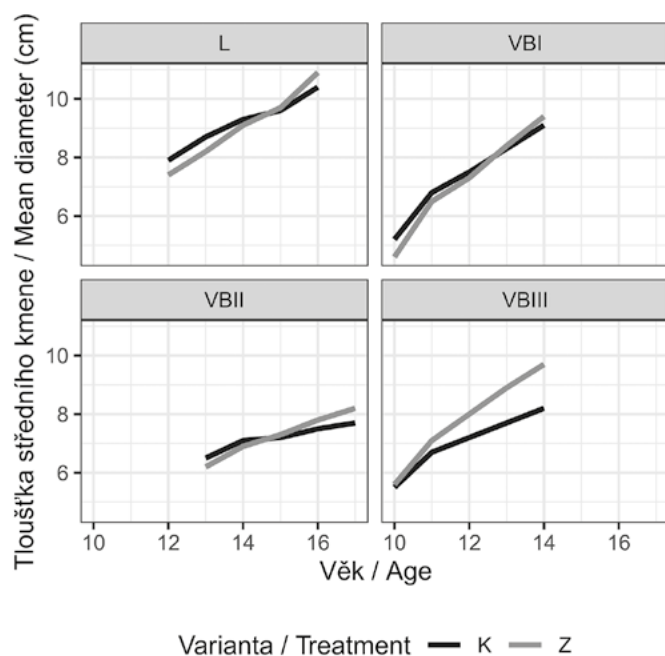
Štíhlostní kvocient

Průměrný štíhlostní kvocient cílových stromů v roce 2020 se na jednotlivých plochách pohyboval od 86 do 94 na kontrolních a od 76 do 87 na zásahových plochách. V průměru činil 95 na kontrole a 86 na zásahové variantě; rozdíl byl statisticky průkazný ($p = 0,015$; tab. 5).

Lepší hodnoty h/d zásahových ploch jsou patrné i z grafů empirické distribuční funkce (obr. 4). Hodnoty h/d jednotlivých stromů byly příznivější na stromech s větší výčetní tloušťkou a zároveň je patrný i pozitivní posun na zásahových plochách v porovnání s plochami kontrolními (obr. 5).

Korunový poměr

Průměrný korunový poměr cílových stromů v roce 2020 se na jednotlivých plochách pohyboval od 0,74 do 0,80 na kontrolních a od 0,77 do 0,82 na zásahových plochách. V průměru činil 0,75 na kontrole a 0,78 na zásahové variantě; rozdíl byl statisticky průkazný ($p = 0,018$; tab. 6). Ačkoli se zatím nejedná o prakticky významný rozdíl, je pravděpodobné, že se, za předpokladu pokračování ve výchovných zásadách, bude do budoucna zvětšovat (obr. 6).

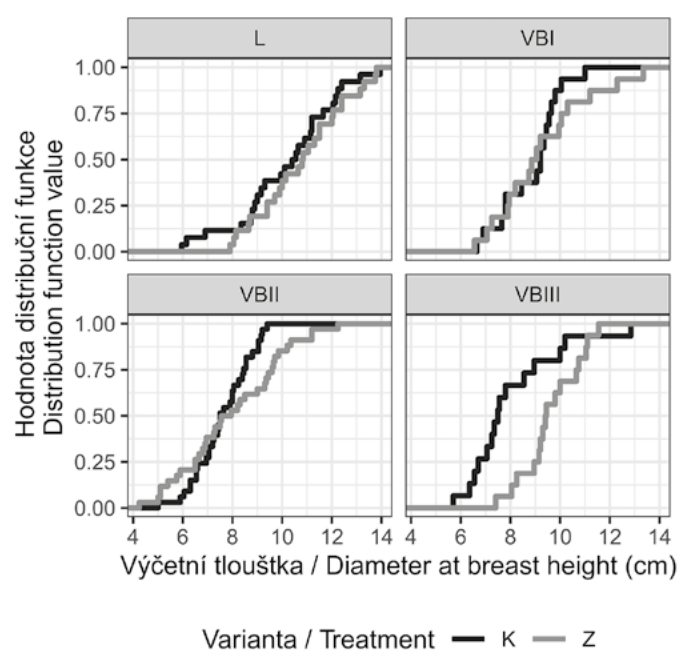


Obr. 1.
Vývoj střední tloušťky (dg) cílových stromů smrku
Fig. 1.
Development of mean diameter (dg) of spruce crop trees

Tab. 2.
ANOVA – Průměrný tloušťkový přírůst
ANOVA – Mean diameter increment

	DF ⁴	SS ⁵	MS ⁶	F ⁷	P ⁸
Varianta ¹	1	0,1313281	0,1313281	60,759	0,004
Lokalita ²	3	0,4889844	0,1629948		
Residua ³	3	0,0064844	0,0021615		

Captions: ¹treatment; ²locality; ³residuals; ⁴degrees of freedom; ⁵sum of squares; ⁶mean squares; ⁷F test statistic; ⁸p-value

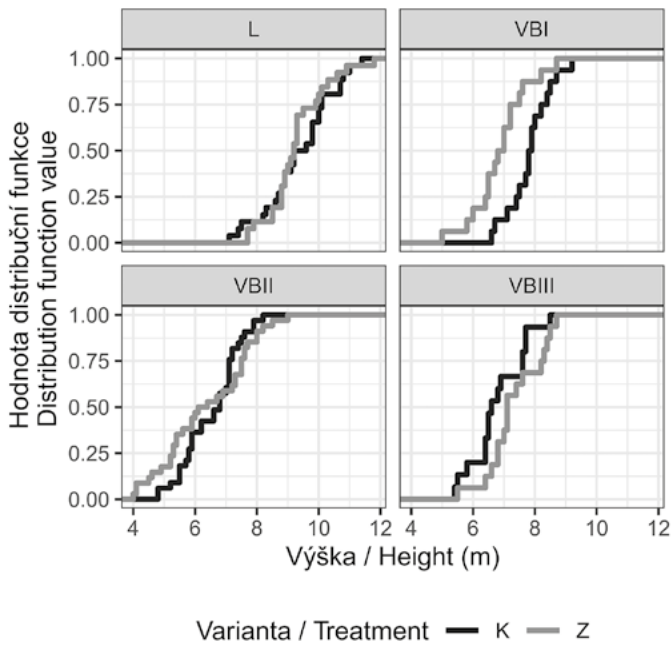


Obr. 2.
Empirické kumulativní distribuční funkce výčetní tloušťky
Fig. 2.
Empirical cumulative distribution functions of DBH

Tab. 3.
ANOVA – Výčetní tloušťka
ANOVA – DBH

	DF ⁴	SS ⁵	MS ⁶	F ⁷	P ⁸
Varianta ¹	1	1,0852914	1,0852914	6,260	0,088
Lokalita ²	3	7,4635565	2,4878522		
Residua ³	3	0,5201372	0,1733791		

Captions: ¹treatment; ²locality; ³residuals; ⁴degrees of freedom; ⁵sum of squares; ⁶mean squares; ⁷F test statistic; ⁸p-value



Obr. 3.
Empirické kumulativní distribuční funkce výšky
Fig. 3.
Empirical cumulative distribution functions of height

Tab. 4.
ANOVA – Výška stromů
ANOVA – Height of trees

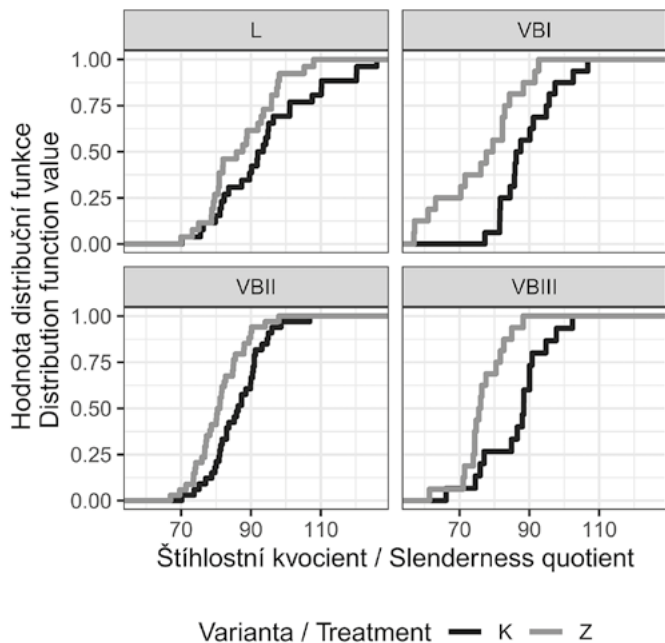
	DF ⁴	SS ⁵	MS ⁶	F ⁷	P ⁸
Varianta ¹	1	0,0560788	0,0560788	0,294	0,625
Lokalita ²	3	9,2688245	3,0896082		
Residua ³	3	0,5716010	0,1905337		

Captions: ¹treatment; ²locality; ³residuals; ⁴degrees of freedom; ⁵sum of squares; ⁶mean squares; ⁷F test statistic; ⁸p-value

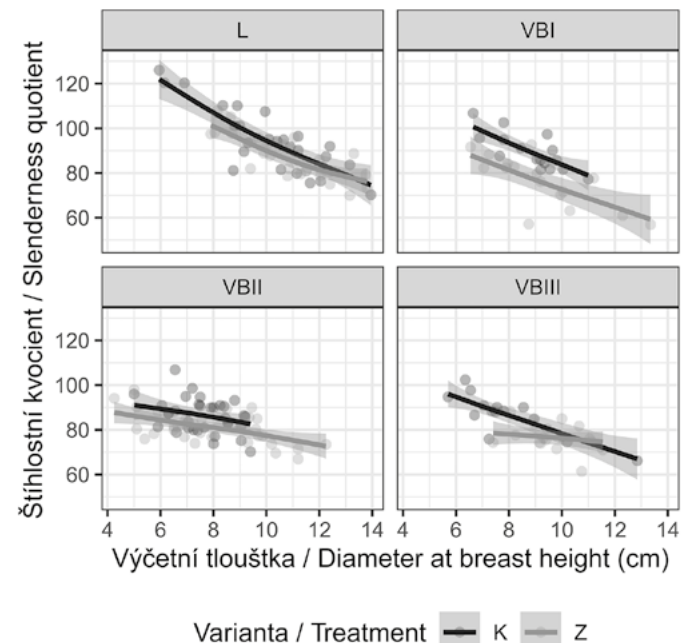
Tab. 5.
ANOVA – Štíhlostní kvocient
ANOVA – Slenderness ratio

	DF ⁴	SS ⁵	MS ⁶	F ⁷	P ⁸
Varianta ¹	1	157,65106	157,51064	26,106	0,015
Lokalita ²	3	105,03970	35,013234		
Residua ³	3	18,11634	6,038781		

Captions: ¹treatment; ²locality; ³residuals; ⁴degrees of freedom; ⁵sum of squares; ⁶mean squares; ⁷F test statistic; ⁸p-value



Obr. 4.
Empirické kumulativní distribuční funkce štíhlostního kvocientu
Fig. 4.
Empirical cumulative distribution function of slenderness ratio



Obr. 5.
Průběh štíhlostního kvocientu (h/d) v závislosti na výčetní tloušťce (d); vyrovnáno kubickým splinem s 95% intervaly spolehlivosti
Fig. 5.
Development of slenderness ratio (h/d) in relation to DBH (d); smoothed using a cubic spline with 95% confidence intervals

Na lokalitě Lejšovka a Velká Bukovina II rostly hodnoty *cr* společně s výčetní tloušťkou, u zbylých ploch není trend jednoznačný (obr. 7). Nicméně i zde je vidět posun k příznivějším hodnotám na zásahových plochách.

DISKUSE

Positivní vliv výchovných zásahů na statickou stabilitu porostů prostřednictvím ovlivnění štíhlostního kvocientu byl potvrzen v tuzemských (SLODIČÁK, NOVÁK 2006; DUŠEK et al. 2021b) i zahraničních (MÄKINEN 2004; MÄKINEN, ISOMÄKI 2004; ŠTEFANČÍK et al. 2012) studiích. Vliv různé probírkové intenzity ve 33letém smrkovém porostu smrku na štíhlostní kvocient a korunový poměr cílových stromů konstatují také KONÓNOPKA a KONÓNOPKA (2017). Rovněž BRÜCHERT et al. (2000) uvádějí, že porostní hustota má u smrku zásadní vliv na morfologii kmene a relativní délku korun. Naproti tomu WALLEN-TIN a NILSSON (2013) konstatují, že silné výchovné zásahy provedené v 33letých smrkových porostech v jižním Švédsku zvýšily poškození těchto porostů větrem a sněhem. Zde se však pravděpodobně projevil negativní efekt opožděného zásahu, který tak podtrhuje nutnost včasného zahájení výchovy smrku již od stadia nárostů a mlazín.

Positivního efektu na tloušťkový přírůst, vývoj štíhlostního kvocientu a délky korun lze dosáhnout také volbou řídkší počátečního sponu při výsadbě (ŠTEFANČÍK 2020). NILSSON (1994) konstatuje v podmínkách chudých stanovišť severního Švédska vyšší tloušťkový přírůst na variantách s řídkým sponem, ovšem bez ovlivnění štíhlostního kvocientu. Řídký spon zde totiž byl spojen s vyšším výškovým přírůstem, který pravděpodobně anuloval benefit z tloušťkového přírůstu. Pozna-

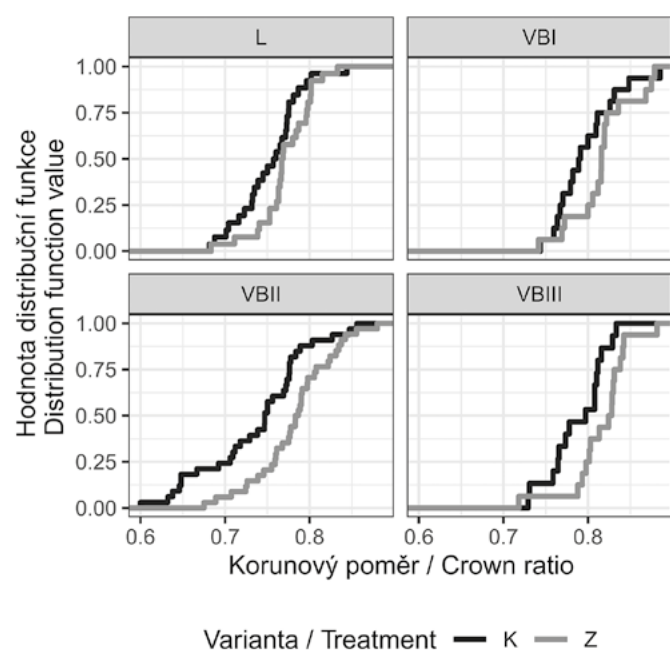
tek o akceleraci výškového přírůstu vlivem řídkšího sponu či intenzivní výchovy nebyl v našich podmínkách potvrzen. Může však jít o jev, který se vyskytuje v oblastech živinově chudých půd s vysokou mírou kompetice o živiny (NILSSON 1994). GIZACHEW et al. (2012) zjistili nižší hodnoty výčetní kruhové základny a nižší porostní zásobu ve smrkových porostech vysázených v řídkším sponu. Řídkší spon zde vedl k vyšším hodnotám výčetní tloušťky stromů bez ovlivnění výškového přírůstu dominantních stromů. Řídkší spon se může negativně projevit vyšším ovětvením a s ním spojenou nižší kvalitou dřevní suroviny (MÄKINEN a HEIN 2006). Naproti tomu LIZINIEWICZ et al. (2016) v podmínkách jižního Švédska po 21 letech od provedení experimentálních zásahů nezjistili signifikantní vliv typu výchovného zásahu na kvalitu kmenů smrku.

Porostní hustota má signifikantní vliv na zásobu a objemový přírůst porostu. ALLEN et al. (2020) na základě analýzy 229 smrkových expe-

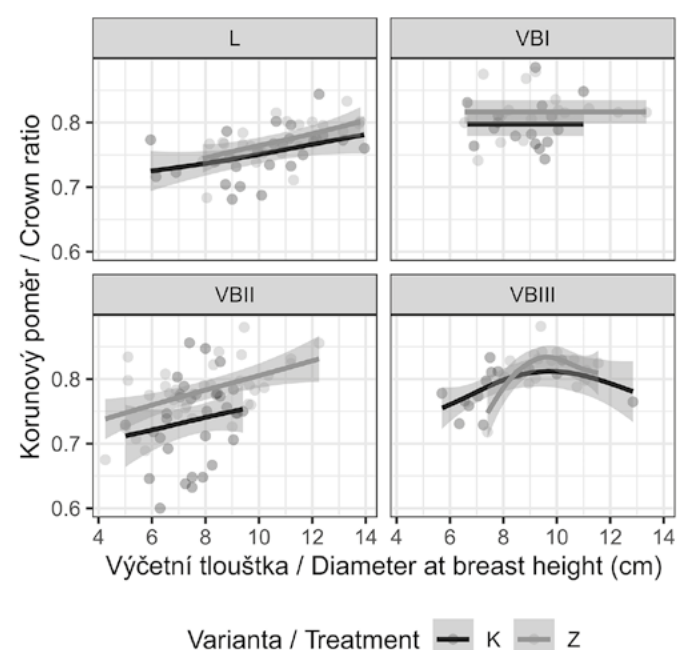
Tab. 6.
ANOVA – Korunový poměr
ANOVA – Crown ratio

	DF ⁴	SS ⁵	MS ⁶	F ⁷	P ⁸
Varianta ¹	1	0,0015724	0,0015724	21,970	0,018
Lokalita ²	3	0,0038321	0,0012774		
Residua ³	3	0,0002147	0,0000716		

Captions: ¹treatment; ²locality; ³residuals; ⁴degrees of freedom; ⁵sum of squares; ⁶mean squares; ⁷F test statistic; ⁸p-value



Obr. 6.
Empirické kumulativní distribuční funkce korunového poměru
Fig. 6.
Empirical cumulative distribution functions of crown ratio



Obr. 7.
Průběh korunového poměru v závislosti na výčetní tloušťce; vyrovnáno kubickým splinem s 95% intervaly spolehlivosti
Fig. 7.
Development of crown ratio in relation to DBH; smoothed using a cubic spline with 95% confidence intervals

rimentálních ploch v Norsku vytvořili model, který ukazuje na kontinuální nárůst porostní zásoby až do výše výčetní kruhové základny ca 50 m² na hektar, poté zůstává zásoba víceméně konstantní. SKOVSGAARD (2009) konstatuje určité produkční ztráty v případě aplikace silných výchovných zásahů v porostech smrku sítky v Dánsku, Velké Británii, Norsku a Švédsku. K podobným závěrům došli GIZACHEV a BRUNNER (2011) na základě analýzy dat národní inventarizace v porostech smrku a borovice. Také SLODIČÁK et al. (2005) a DUŠEK et al. (2021b) zjistili ve smrkových porostech experimentální série IUFRO nejvyšší zásobu v porostech bez výchovy, avšak s nejmenším podílem stabilních stromů. Cílem výchovy zde však nebyla maximalizace produkce, ale zvýšení její bezpečnosti z hlediska odolnosti vůči škodám sněhem a větrem.

Výchovné zásahy ve smrkových mlazinách měly pozitivní vliv na tloušťkový přírůstek také v porostech v oblastech chronického chřadnutí smrkových porostů na severní Moravě a ve Slezsku, ačkoli nedokázaly uspokojivě zabránit zhoršování zdravotního stavu cílových stromů. Trend zhoršování zdravotního stavu byl jen mírně a statisticky neprůkazně příznivější v porovnání s cílovými stromy na kontrolních plochách (DUŠEK et al. 2019). Pěstování smrku v řídkém sponu však umožní případné vnášení dalších dřevin, např. formou podsadeb, čímž se dosáhne nejen větší druhové pestrosti, ale i nestejnověkosti porostů. Nestejnověkost může podle některých poznatků vést k větší odolnosti porostů vůči škodlivému působení větru (HANEWINKEL et al. 2014). IVANCHINA a ZALESOV (2019) konstatují, že se snižující se hustotou porostů rostla resilience smrku vůči suchu a klesalo zastoupení přirozené mortality. Tento poznatek je důležitý v situaci, kdy je značná část lesních porostů v ČR ohrožována suchem.

Námi provedené experimentální zásahy spočívaly v individuální selekci jedinců. Schématické či kombinované zásahy považujeme za vhodné pouze v přerostlých nárostech a mlazinách z přirozené obnovy. (MÄKINEN et al. 2005) uvádějí, že kombinovaný schématický a individuální výběr při výchově smrkových porostů v Norsku pravděpodobně nevede k výrazným produkčním ztrátám, ale aplikace čistě schématických zásahů již způsobila snížení objemového přírůstu. Také ŠTEFANČÍK (2020) považuje za nevhodnější individuální výběr jednotlivých stromů, například v oblastech s vysokým tlakem spárkaté zvěře, za předpokladu individuální ochrany cílových stromů. Ponechávání aspoň části nekonkurující podúrovně při zásazích sice částečně zvyšuje intercepci porostu, na druhou stranu může tato podúroveň představovat určitou rezervu při náhlém zhoršení zdravotního stavu cílových stromů. Např. DUŠEK et al. (2017) zaznamenali v chřadnoucích mlazinách v oblasti severní Moravy a Slezska vyšší podíl žlutnoucích jedinců u stromů vyšších dimenzí; podíl žlutnoucích stromů v podúrovni byl průkazně nižší. KONONOPKA a KONONOPKA (2020) doporučují v rámci výběru 300 až 400 cílových stromů smrku zachovat a výchovným zásahem podpořit i určité procento rezervních stromů pro případ zhoršení zdravotního stavu cílových stromů.

ZÁVĚR

- Experimentální výchovné zásahy vedly k průkazné akceleraci tloušťkového přírůstu cílových stromů smrku.
- Zásahy pozitivně ovlivnily (zpomalily) vývoj štíhlostního kvocientu v porovnání s kontrolou.
- Zásahy také měly pozitivní vliv na zpomalení zkracování korun cílových stromů. Efekt je vzhledem ke krátké době od provedení zásahů malý, ale již statisticky detekovatelný.

Na základě výsledků experimentu a zhodnocení poznatků z dalších literárních zdrojů lze pro výchovu smrku v nižších vegetačních stupních doporučit následující:

- Výchovné zásahy v nižších vegetačních stupních je nutné u smrku započít včas, nejlépe při horní porostní výšce 5 m. Odsunutí výchovy do stadia porostu přesahující horní výšku 7 m již zvyšuje riziko snížení porostní stability a po překonání horní výšky 10 m je již toto riziko velmi vysoké.
- Vzhledem k rizikovitosti pěstování smrku v nižších nadmořských výškách mimo jeho ekologické optimum doporučujeme při výchovných zásazích preferovat příměs všech stanovištně vhodných dřevin. Výchova smrku zde má vést pouze k zachování jeho určitého podílu v budoucí porostní směsi. Pěstování smrku v řídkém sponu je také možným východiskem pro vnášení dalších, především listnatých dřevin v případě individuální mortality cílových smrků.

Poděkování:

Príspevek vznikl na základě institucionální podpory Ministerstva zemědělství ČR MZE-RO0118 a během řešení projektu NAZV QK1810443: „Postupy pro minimalizaci škod způsobených větrem a sněhem na lesních porostech v návaznosti na klimatickou změnu.“

LITERATURA

- ALLAIRE J., HORNER J., XIE Y., MARTI V., PORTE N. 2019. Markdown: Render markdown with the c library 'sundown' [on-line]. Dostupné na/Available on: <https://rdr.io/cran/markdown/>
- ALLEN C.D., MACALADY A.K., CHENCHOUNI H., BACHELET D., MCDOWELL N., VENNETIER M., KITZBERGER T., RIGLING A., BRESHEARS D.D., HOGG E.H.(TED), GONZALEZ P., FENSHAM R., ZHANG Z., CASTRO J., DEMIDOVA N., LIM J.-H., ALLARD G., RUNNING S.W., SEMERCI A., COBB N. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259: 660–684. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.09.001
- ALLEN M., BRUNNER A., ANTÓN-FERNÁNDEZ C., ASTRUP R. 2020. The relationship between volume increment and stand density in Norway spruce plantations. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 94: 151–165. DOI: 10.1093/forestry/cpaa020
- BOLTE A., AMMER C., LÖF M., MADSEN P., NABUURS G.-J., SCHALL P., SPATHELF P., ROCK J. 2009. Adaptive forest management in central Europe: Climate change impacts, strategies and integrative concept. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24: 473–482. DOI: 10.1080/02827580903418224
- BRÜCHERT F., BECKER G., SPECK T. 2000. The mechanics of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst]: mechanical properties of standing trees from different thinning regimes. *Forest Ecology and Management*, 135: 45–62. DOI: 10.1016/S0378-1127(00)00297-8
- DUŠEK D., NOVÁK J., SLODIČÁK M., KACÁLEK D. 2017. Zdravotní stav smrkových mlazin v oblasti chřadnutí smrku po prvních výchovných zásazích. [Health condition of Norway spruce thickets after first precommercial thinning in localities affected by spruce decline]. *Zprávy lesnického výzkumu*, 62: 16–22.
- DUŠEK D., NOVÁK J., SLODIČÁK M., KACÁLEK D. 2019. Vliv výchovných zásahů na vývoj mladých chřadnoucích smrkových porostů. [The impact of thinning on development of young declining spruce stands]. *Zprávy lesnického výzkumu*, 64: 37–44.
- DUŠEK D., NOVÁK J., ČERNÝ J., KACÁLEK D. 2021a. Vliv prvních výchovných zásahů v mlazinách na obsah vody ve svrchní vrstvě minerální půdy. [Impact of the first thinning on topsoil moisture in young growth]. *Zprávy lesnického výzkumu*, 66: 270–276.

- DUŠEK D., NOVÁK J., KACÁLEK D., SLODIČÁK M. 2021b. Norway spruce production and static stability in IUFRO thinning experiments in the Czech Republic. *Journal of Forest Science*, 67: 185–194. DOI: 10.17221/188/2020-jfs
- GEBHARDT T., HÄBERLE K.-H., MATYSSEK R., SCHULZ C., AMMER C. 2014. The more, the better? Water relations of Norway spruce stands after progressive thinning. *Agricultural and Forest Meteorology*, 197: 235–243. DOI: 10.1016/j.agrformet.2014.05.013
- GIZACHEW B., BRUNNER A. 2011. Density growth relationships in thinned and unthinned Norway spruce and Scots pine stands in Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 26: 543–554. DOI: 10.1080/02827581.2011.611477
- GIZACHEW B., BRUNNER A., ØYEN B.-H. 2012. Stand responses to initial spacing in Norway spruce plantations in Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27: 637–648. DOI: 10.1080/02827581.2012.693191
- HAMMOND M.E., POKORNÝ R., DOBROVOLNÝ L., HIITOLA N., FRIEDL M. 2020. Effect of gap size on tree diversity of natural regeneration – case study from Masaryk Training Forest Enterprise Křtiny. *Journal of Forest Science*, 66: 407–419. DOI: 10.17221/78/2020-jfs
- HANEWINKEL M., KUHN T., BUGMANN H., LANZ A., BRANG P. 2014. Vulnerability of uneven-aged forests to storm damage. *Forestry*, 87: 525–534. DOI: 10.1093/forestry/cpu008
- HLÁSNÝ T., HOLUŠA J., ŠTĚPÁNEK P., TURČÁNI M., SITKOVÁ Z., ZAJÍČKOVÁ L. 2011. Expected impacts of climate change on forests: Czech Republic as a case study. *Journal of Forest Science*, 57: 422–431. DOI: 10.17221/103/2010-jfs
- HLÁSNÝ T., BARKA I., ROESSIGER J., KULLA L., TROMBIK J., SARVAŠOVÁ Z., BUCHA T., KOVALČÍK M., ČIHÁK T. 2017. Conversion of Norway spruce forests in the face of climate change: a case study in Central Europe. *European Journal of Forest Research*, 136: 1013–1028. DOI: 10.1007/s10342-017-1028-5
- HURLBERT S.H., LOMBARDI C.M. 2009. Final collapse of the Neyman-Pearson decision theoretic framework and rise of the neoFisherian. *Annales Zoologici Fennici*, 46: 311–349. DOI: 10.5735/086.046.0501
- CHOAT B., JANSEN S., BRODRIBB T.J., COCHARD H., DELZON S., BHASKAR R., BUCCI S.J., FEILD T.S., GLEASON S.M., HACKE U.G., JACOBSEN A.L., LENS F., MAHERALI H., MARTÍNEZ-VILALTA J., MAYR S., MENCUCINI M., MITCHELL P.J., NARDINI A., PITTMANN J., PRATT R.B., SPERRY J.S., WESTOBY M., WRIGHT I.J., ZANNE A.E. 2012. Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature*, 491: 752–755. DOI: 10.1038/nature11688
- CHROUST L. 1997. Ekologie výchovy lesních porostů. Opočno, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti: 277 s.
- IVANCHINA L.A., ZALESOV S.V. 2019. The effect of spruce plantation density on resilience of mixed forest in the Perm Krai. *Journal of Forest Science*, 65: 263–271. DOI: 10.17221/14/2019-JFS
- JANDL R., SPATHELF P., BOLTE A., PRESCOTT C.E. 2019. Forest adaptation to climate changes non-management an option? *Annals of Forest Science*, 76. DOI: 10.1007/s13595-019-0827-x
- KOHLER M., SOHN J., NÄGELE G., BAUHUS J. 2010. Can drought tolerance of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) be increased through thinning? *European Journal of Forest Research*, 129: 1109–1118. DOI: 10.1007/s10342-010-0397-9
- KONÓPKA J., KONÓPKA B. 2017. Výchova smrekových porastov z hľadiska statickej stability na výzkumných plochách IUFRO – Biely Váh (Slovensko). [Tending of spruce stands from static stability perspective at the Biely Váh IUFRO research plots (Slovakia)]. *Zprávy lesnického výzkumu*, 62: 223–233.
- KONÓPKA J., KONÓPKA B. 2020. Statická stabilita smrečín vychovávaných metódou cielových stromov. [Static stability of spruce stands subjected to target trees method tending]. *Zprávy lesnického výzkumu*, 65: 82–95.
- LAURENT M., ANTOINE N., JOËL G. 2003. Effects of different thinning intensities on drought response in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Forest Ecology and Management*, 183: 47–60. DOI: 10.1016/s0378-1127(03)00098-7
- LINDNER M., MAROSCHEK M., NETHERER S., KREMER A., BARBATI A., GARCIA-GONZALO J., SEIDL R., DELZON S., CORONA P., KOLSTRÖM M., LEXER M.J., MARCHETTI M. 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259: 698–709. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.09.023
- LIZINIEWICZ M., EKÖ P.M., KLANG F. 2016. Effects of five tree-selection strategies when thinning spruce (*Picea abies*) stands: a case study in a field trail in southern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 31: 495–506. DOI: 10.1080/02827581.2015.1130852
- MÄKINEN H. 2004. Thinning intensity and growth of Norway spruce stands in Finland. *Forestry*, 77: 349–364. DOI: 10.1093/forestry/77.4.349
- MÄKINEN H., ISOMÄKI A. 2004. Thinning intensity and long-term changes in increment and stem form of Norway spruce trees. *Forest Ecology and Management*, 201: 295–309. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.07.017
- MÄKINEN H., ISOMÄKI A., HONGISTO T. 2005. Effect of half-systematic and systematic thinning on the increment of Scots pine and Norway spruce in Finland. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 79: 103–121. DOI: 10.1093/forestry/cpi061
- MÄKINEN H., HEIN S. 2006. Effect of wide spacing on increment and branch properties of young Norway spruce. *European Journal of Forest Research*, 125: 239–248. DOI: 10.1007/s10342-006-0115-9
- MASON W.L., PETR M., BATHGATE S. 2012. Silvicultural strategies for adapting planted forests to climate change: From theory to practice. *Journal of Forest Science*, 58: 265–277. DOI: 10.17221/105/2011-jfs
- NILSSON U. 1994. Development of growth and stand structure in *Picea abies* stands planted at different initial densities. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 9: 135–142. DOI: 10.1080/02827589409382823
- NOVÁK J., SLODIČÁK M. 2012. Structure and accumulation of litterfall under Norway spruce stands in connection with thinnings. *Journal of Forest Science* 50: 101–108. DOI: 10.17221/4605-jfs
- PODRÁZSKÝ V., NOVÁK J., MOSER W.K. 2005. Vliv výchovných zásahů na množství a charakter nadložního humusu v horském smrkovém porostu. [Effect of thinning on amount and character of the surface humus in mountain spruce stand]. *Zprávy lesnického výzkumu*, 50 (4): 225–228.
- PODRÁZSKÝ V. 2006. Effect of thinning on the formation of humus forms on the afforested agricultural lands. *Scientia Agriculturae Bohemica*, 37: 157–163.
- PODRÁZSKÝ V., BALÁŠ M., LINDA R., KŘIVOHLAVÝ O. 2019. State of beech pole stands established at the clear-cut and in the underplanting. *Journal of Forest Science*, 65: 256–262. DOI: 10.17221/59/2019-jfs

- PRESCOTT C.E., TAYLOR B.R., PARSONS W.F.J., DURALL D.M., PARKINSON D. 1993. Nutrient release from decomposing litter in Rocky Mountain coniferous forests: influence of nutrient availability. *Canadian Journal of Forest Research*, 23: 1576–1586. DOI: 10.1139/x93-198
- R CORE TEAM 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- SKOVGAARD J.P. 2009. Analysing effects of thinning on stand volume growth in relation to site conditions: A case study for even-aged Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.). *Forestry*, 82: 87–104. DOI: 10.1093/forestry/cpn047
- SLODIČÁK M., NOVÁK J., SKOVGAARD J.P. 2005. Wood production, litter fall and humus accumulation in a Czech thinning experiment in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Forest Ecology and Management*, 209: 157–166. DOI: 10.1016/j.foreco.2005.01.011
- SLODIČÁK M., NOVÁK J. 2006. Silvicultural measures to increase the mechanical stability of pure secondary Norway spruce stands before conversion. *Forest Ecology and Management*, 224: 252–257. DOI: 10.1016/j.foreco.2005.12.037
- SLODIČÁK M., NOVÁK J. 2007. Výchova lesních porostů hlavních hospodářských dřevin. Recenzovaná metodika. Strnady, VÚLHM: 45 s. Lesnický průvodce 4/2007.
- SOHN J.A., GEBHARDT T., AMMER C., BAUHUS J., HÄBERLE K. H., MATYSSEK R., GRAMS T.E.E. 2013. Mitigation of drought by thinning: Short-term and long-term effects on growth and physiological performance of Norway spruce (*Picea abies*). *Forest Ecology and Management*, 308: 188–197. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.07.048
- ŠTEFANČÍK I., STRMEŇ S., PODRÁZSKÝ V., VACEK S. 2012. Growth responses of a Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) Small pole-stage stand in a region exhibiting extensive decline of allochthonous spruce forests to differentiated thinning. *Folia Oecologica*, 39: 77–87.
- ŠTEFANČÍK I., VACEK S., PODRÁZSKÝ V. 2018. The most significant results of long-term research on silviculture experiments focusing on spruce and beech in the territory of the former Czechoslovakia. *Central European Forestry Journal*, 64: 180–194. DOI: 10.1515/forj-2017-0042
- ŠTEFANČÍK I. 2020. Development of the Norway spruce (*Picea abies* /L./ Karst.) stand established by various spacings and affected by abiotic harmful factors and ungulate game. *Journal of Forest Science*, 66: 117–131. DOI: 10.17221/18/2020-jfs
- WALLENTIN C., NILSSON U. 2013. Storm and snow damage in a Norway spruce thinning experiment in southern Sweden. *Forestry*, 87: 229–238. DOI: 10.1093/forestry/cpt046
- WICKHAM H. 2009. ggplot2. Elegant graphics for data analysis. New York, Springer: 213 s. e-Book. DOI: 10.1007/978-0-387-98141-3
- WOOD S.N. 2017. Generalized additive models. An Introduction with R. New York, Chapman and Hall/CRC: 496 s. e-Book. DOI: 10.1201/9781315370279
- ZPRÁVA 2021. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České Republiky v roce 2020. Praha, MZe. 124 s.

GROWTH RESPONSE OF NORWAY-SPRUCE THICKET TO THINNING AT LOWER ALTITUDES

SUMMARY

Growing Norway spruce in climatic conditions where oaks and beech are expected to form dominant parts of forests poses a risk due to recent spruce die-off. Ongoing climate change is to have an impact also on silvicultural management. Despite that, we have still to cope with large monospecific spruce thickets where management interventions are needed. Priority is not just a maintenance of these artificially renewed ecosystems, but also a stabilization of spruce crop trees to maintain their share in future species composition. To get stable, young spruces need a growing space. Thinning affects the trees positively as both slenderness ratio of stems is kept lower, and undesirable shortening of crowns is slowed down whereas unthinned main-story spruces get unstable thus being vulnerable to damage due to snow and wind. In planted spruce stands, diameter increment culminates in 10th to 15th year, and height increment culminates in 20- to 30-year-old stands. Following achieved 10-m height of dominant trees, it is no longer possible to improve an individual stability of trees using thinning. In that case, the trees share a collective stability as they protect each other within full-canopy stand. The thinning of stands also plays an important role in conversion of tree species composition and its impact on below-canopy conditions as radiation, thermic and water regimes change following thinning. This is further accelerating nutrient cycles as less litter-fall accumulates on the soil surface and organic layers of soil decompose faster. All these changes are thus mitigating negative impacts of drought, which is particularly important in spruce stands grown at lower altitudes.

The objective of this study is to investigate a growth response of spruce to first thinning; data analysis focused on diameter increment, slenderness ratio and crown ratio development within four growing seasons following thinning.

The two planted monospecific spruce thickets (VB I, VB III), one naturally-regenerated thicket of spruce mixed with beech (VB II) and one thicket of planted spruce mixed with few naturally-regenerated pines (L) were thinned in 2016 (Tab. 1). Each of the four plots consists of two comparative treatments such as thinned and control. The design of the treatments was decided by drawing lots at each study site. The thinning consisted in selection of 1,300–1,700 dominant trees per hectare, which were of good quality with no signs of damage. Other trees excepting those of not-competing understory were removed from the stand.

Mensuration (DBHs, heights) was conducted every year in dormant seasons. Bases of live crowns in crop trees were measured in 2020. The slenderness ratio was calculated as height/DBH (h/d) multiplied by 100, crown ratio (cr) expresses a ratio of the live-crown length to tree's total height. Data were analyzed using R (R CORE TEAM 2021) with *markdown* (ALLAIRE et al. 2019) and *ggplot2* (WICKHAM 2009) libraries. The differences between the treatments were tested using ANOVA with a block design where locality was the block.

The first thinning accelerated the diameter increment of the spruce crop trees. In 2016, three thinned treatments showed crop trees diameters lower compared to controls. In 2020, all thinned plots exceeded the controls in terms of diameter (Fig. 1). The mean annual diameter increment of crop trees was 0.62 cm and 0.88 cm in control and thinned plot respectively; the difference was significant ($p = 0.004$; Tab. 2.).

Mean DBH of crop trees ranged between 7.6–10.2 cm in unthinned, and 8.0–10.8 cm in thinned plots. The mean values were 10.1 cm for control, and 10.9 cm for thinning; the difference was not significant ($p = 0.088$; Tab. 3). This was attributable to the lower diameter values in thinning treatments at the beginning. The greatest difference of DBH was observed in VB III, high percent share of the highest diameter classes was obvious in the thinned treatments of VB I and VB II (Fig. 2).

Mean height of crop trees ranged from 6.5 m to 9.4 m in control plots, and between 6.4 m and 9.3 m in thinned ones. The respective means were 9.4 m and 9.2 m in control and thinned treatments; the difference was not statistically significant ($p = 0.625$; Tab. 4). No relationship between the thinning and height of crop trees was found (Fig. 3).

Mean slenderness ratio ranged between 86 and 94 in control plots, and between 76 and 87 in thinned ones in 2020. Mean control value showed 95 whereas mean thinned one was 86, which was a statistically significant difference ($p = 0.015$; Tab. 5). Favorable h/d values from the thinned treatments are also presented in Fig. 4. The h/d values were more favorable for trees with higher DBH and also the thinned plots showed a positive development compared to control ones (Fig. 5).

Mean crown ratio of crop trees ranged between 0.74 and 0.80 in control plots, and between 0.77 and 0.82 in thinned plots. The respective mean values were 0.75 and 0.78 in control, and thinned treatment with statistically significant difference ($p = 0.018$; Tab. 6). Despite its lesser importance for practice, if thinning was further applied, increasing difference between the treatments is likely (Fig. 6). At L and VB II study sites, the cr values increased with DBH; other plots showed not so obvious trends (Fig. 7). Nevertheless, one can see a shift to more favorable values in the thinned plots.

Both domestic (SLODIČÁK, NOVÁK 2006; DUŠEK et al. 2021b) and foreign (MÄKINEN 2004; MÄKINEN, ISOMÄKI 2004; ŠTEFANČÍK et al. 2012) studies found the thinning as a measure affecting a static stability of stands positively. This was attributable to a stem morphology and relative length of crown (BRÜCHERT et al. 2000). Delayed thinning, however, poses a threat of snow and wind disturbance (WALLENTIN, NILSSON 2013), which accentuates the importance of early thinned thickets.

It can be concluded that experimental thinning accelerated diameter increment of spruce crop trees significantly. Thinning also slowed pace of the slenderness ratio development, thus impacting on the h/d values positively. Live crowns got short more slowly following thinning compared to control. Spruce stands at lower altitudes must be thinned as early as possible when mean height of dominant trees achieves 5 m. Given the risks of growing spruce at lower sites, all suitable tree species should be left on site. Silviculturist's interest in spruce should be focused on maintenance of its certain share in future stand species composition. Thin spacing also offers a possibility to interplant suitable broadleaves if spruce individuals die.

Zasláno/Received: 31. 01. 2022

Přijato do tisku/Accepted: 10. 06. 2022