

PARAMETRY STABILITY RŮZNĚ VYCHOVÁVANÝCH SMRKOVÝCH POROSTŮ

STABILITY PARAMETERS OF DIFFERENTLY THINNED SPRUCE STANDS

JIRÍ NOVÁK ✉ - DAVID DUŠEK - DUŠAN KACÁLEK - MARIAN SLODIČÁK

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

✉ e-mail: novak@vulhmop.cz

ABSTRACT

Wind and snow are the most important abiotic agents, which negatively affect Norway spruce forest stands in Europe. To prevent the spruce stands from damage, silvicultural measures were verified using data from 15 long-term thinning experiments. Thinning began at the age of 38–67 years (older stands, OS) and 15–20 years (younger stands, YS). These two groups differ also in terms of thinning intensity, i.e. light thinning in OS and heavy thinning in YS experiments. Initial densities in OS stands were about 10 thousand plants.ha⁻¹, while the densities in YS stands were about 2.5–3.5 thousand plants.ha⁻¹. It can be concluded that thinning affected positively DBH and slenderness ratio of both mean stem and dominant trees. As for YS stands, the response to thinning was greater. The YS stands also showed longer live crown and higher crown length/stem height ratio (%) compared to unthinned control plots. Heavy early thinning in Norway spruce stands is recommended to stabilize them against abiotic agents. The stabilized spruce stands are then prepared to start species composition conversion towards more stable mixtures with other species (e.g. broadleaves, European larch or Douglas-fir).

Klíčová slova: výchova, stabilita porostu, smrk ztepilý

Key words: thinning, stand stability, Norway spruce

ÚVOD

Škody způsobené v lesích abiotickými činiteli jako je vítr a sníh mohou způsobit významné hospodářské ztráty. Problematikou typů škod, dopadem na vývoj lesních ekosystémů a jejich důsledky pro lesní hospodářství se zabývali např. FISCHER et al. (2013). Rizika spojená se škodami větrem a sněhem modelovali již dříve např. PELTOLA et al. (1999). V evropských podmínkách jsou škody větrem hodnoceny jako závažnější než škody sněhem (KONŌPKA et al. 2008; HANEWINKEL et al. 2011). Pouze dostatečně stabilní porosty totiž mohou zajišťovat plnění požadovaných funkcí lesa. Na lesních majetcích s převahou smrkových monokultur lze k budoucí stabilitě porostů přispět přeměnou druhové skladby (vnášením dalších dřevin při obnově porostů). Například již alespoň 10% příměs listnáčů nebo větru-odolných jehličnanů (douglaska, modřín) znamenala menší poškození smrkových porostů v průběhu vichřice Lothar v roce 1999 ve Švýcarsku (SCHÜTZ et al. 2006). Pokud jde o formování korun, BAYER et al. (2013) našli významný vliv smíšení smrku a buku na délku větví a vyšší objemy korun smrků, nicméně jiné strukturální parametry korun se od neshíšených porostů smrku nelišily. Ve vztahu ke škodám sněhem uvádí HANEWINKEL et al. (2011) jako významné právě parametry korun a sbíhavost kmenů.

Tyto charakteristiky je možné ovlivnit prováděním odpovídajících výchovných opatření ve smrkových porostech (KONŌPKA, KONŌPKA 2009). Ve smrkových porostech bez výchovy totiž dochází k přeštíhlení kmenů a jejich následnému poškození sněhem a později větrem. Na druhou stranu ŠTOFKO (2012) zjistil, že parametry stability jednotlivých smrků nemusí vždy odpovídat skutečné schopnosti jedinců odolávat vyvrácení větrem. CAMERON a DUNHAM (1999) nic-

méně našli vyšší podíl tlakového dřeva ve vzorcích ze zlomených a vyvrácených smrků sitka a zlomených borovic lesních ve srovnání s nepoškozenými stromy. Příznivý vliv intenzivních zásahů v mladých smrkových porostech na jejich přírůst i zdravotní stav byl již experimentálně doložen (TESAŘ 1976; CHROUST 1991). Udržování volného zápoje v mladých smrkových porostech má navíc kladný efekt na individuální odolnost jedinců vůči sněhu a větru (PAŘEZ 1972; CHROUST 1980; SLODIČÁK 1988; SLODIČÁK, NOVÁK 2006). Důležitost výchovných zásahů ve smrkových porostech je tedy všeobecně uznávána. Otázkou zůstává umístění zásahů ve vztahu k věku porostu a následný dlouhodobý vývoj takto pěstovaných porostů (HALE et al. 2012). Stabilita smrkových porostů je většinou posuzována parametry jako jsou štíhlostní kvocient kmene nebo poměry šířky a délky koruny k výšce stromu (VICENA et al. 1979; KONŌPKA 1992). Některé zásahy do porostů mohou vyústit také v jejich destabilizaci. Tak například ALBRECHT et al. (2012) hodnotí jako vysoce rizikové odstraňování dominantních dospívajících a dospělých stromů a upozorňují na potřebu modifikace uplatňovaných modelů výchovy. Takzvaná odstupňovaná výchova smrkových porostů (např. CHROUST 1980), kdy je v mládí silnými zásahy budována individuální stabilita jedinců (opatření vůči škodám sněhem) a později je třeba pro vnitřní zpevnění porostů přejít k slabším zásahům nenarušujícím příliš zápoj (opatření vůči škodám větrem), je tedy stále aktuálním doporučením.

Cílem příspěvku je vyhodnotit dlouhodobý efekt výchovy zahájené v různém věku na parametry stability smrkových porostů s využitím dlouhodobých experimentálních sérií Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i. (VŮLHM). Pozornost je věnována výčetní tloušťce, štíhlostnímu kvocientu a délce koruny.

MATERIÁL A METODIKA

Pro vyhodnocení dlouhodobého efektu výchovy na parametry stability smrkových (*Picea abies* /L./ Karst.) porostů byly využity údaje z dlouhodobých experimentů VÚLHM, založených v letech 1958 až 1980. Byly vybrány dvě skupiny sérií, ve kterých byla zahájena výchova v různé věkové fázi v kontextu s tehdejšími poznatky. První skupinu tvoří série založené v šedesátých letech minulého století (PAŘEZ 1985; SLODIČÁK, NOVÁK 2003), kdy byla výchova zahájena ve věku porostů 38 až 67 let. Druhou skupinu tvoří série založené v sedmdesátých až osmdesátých letech (PAŘEZ 1972; CHROUST 1987; SLODIČÁK 1993), s počátkem výchovy v podstatně nižším věku, tj. 15 až 20 let.

Každá série se skládá z dílčích ploch o výměře 0,10 ha (založené v mladších porostech) nebo 0,25 ha (založené ve starších porostech). Vždy jedna dílčí plocha (označena číslicí 1) je kontrolní, bez úmysl-

ných zásahů. Na kontrolních plochách je prováděna pouze těžba nahodilá, tj. jsou odstraňovány souše, zlomy či vývraty. Na plochách s úmyslnými výchovnými zásahy je aplikován buď pozitivní výběr v úrovni (označeny číslicí 2), nebo negativní výběr v podúrovni (označeny číslicí 3). Ve starších porostech bylo hodnoceno celkem 10 sérií s 10 kontrolními plochami, 8 variantami s výchovou úrovnovou a 4 variantami s výchovou podúrovnovou. Ve skupině mladších porostů bylo hodnoceno celkem 5 sérií s 5 kontrolními plochami, 2 variantami s výchovou úrovnovou a 5 variantami s výchovou podúrovnovou (tab. 1).

Uvedené skupiny sérií se nelišily jen různým věkem porostů při zahájení výchovy, ale také intenzitou zásahů. V porostech s později zahájenou výchovou byly zásahy méně intenzivní a bylo při nich odstraňováno (zejména při prvních zásazích) ca 10 % až 30 % počtu stromů, odpovídajících ca 10 % až 25 % výčetní základny sdruženého porostu (podrobněji viz SLODIČÁK, NOVÁK 2007a, 2007b). Ve skupině

Tab. 1.

Základní charakteristiky experimentálních sérií v porostech smrku ztepilého
Basic characteristics of experimental series in Norway spruce stands

Lokalita (série) ¹	Zkratka ²	Nadm. výška ³ (m)	SLT ⁴	Varianty ⁵	Věk při začátku výchovy ⁶ (roky)	Charakteristika porostu při hodnocení ⁷		
						Věk ⁸ (roky)	N ⁹ (%)	G ¹⁰ (%)
Planá	Plan	620	5I <i>Abieto - Fagetum illimerosum acidophilum</i>	1	67	107	100	100
				3			43	65
Vimperk II	Vimp	1045	6K <i>Piceeto - Fagetum acidophilum</i>	1	51	106	100	100
				2			71	89
				3			84	93
Ž. Ruda II	Zrud	930	5K <i>Abieto - Fagetum acidophilum</i>	1	40	80	100	100
				3			73	93
Nasavrky	Nasa	660	5S <i>Abieto - Fagetum mesotrophicum</i>	1	38	83	100	100
				2			90	103
Frýdek-Místek	Fryd	730	6K <i>Piceeto - Fagetum acidophilum</i>	1	49	99	100	100
				2			104	100
Ostravice	Ostr	570	6P <i>Piceeto - Abietum variohumidum acidophilum</i>	1	43	93	100	100
				2			89	93
				3			74	98
Karlovice I	Karl	656	6S <i>Piceeto - Fagetum mesotrophicum</i>	1	54	104	100	100
				2			97	112
Karlovice II	KarII	660	6S <i>Piceeto - Fagetum mesotrophicum</i>	1	52	104	100	100
				2			141	135
V. Karlovice II	Vkal	794	6B <i>Piceeto - Fagetum eutrophicum</i>	1	48	98	100	100
				2			106	118
V. Karlovice III	Vkall	734	6V <i>Piceeto - Fagetum humidum (acerosum)</i>	1	41	90	100	100
				2			92	100
Polom	Polo	770	6K/5K <i>Piceeto/Abieto - Fagetum acidophilum</i>	1	15	48	100	100
				2			104	106
				3			89	100
Kristiánov	Kris	860	7K <i>Fageto - Piceetum acidophilum</i>	1	20	49	100	100
				2			44	80
				3			85	88
Machov	MachI	700	5I/6I <i>Abieto/Piceeto - Fagetum illimerosum acidophilum</i>	1	20	48	100	100
				3			34	62
Vítkov I	Vitkl	600	5V <i>Abieto - Fagetum humidum (fraxinosum)</i>	1	15	47	100	100
				3			27	67
Vítkov II	VitkII	600	5V <i>Abieto - Fagetum humidum (fraxinosum)</i>	1	15	47	100	100
				3			25	61

¹Locality, ²Abbreviation, ³Elevation, ⁴Forest type group according to VIEWEGH et al. (2003), ⁵Treatment (1 – kontrolní plocha bez výchovy/control unthinned, 2 – plocha s úrovnovými zásahy/plot with thinning from above, 3 – plocha s podúrovnovými zásahy/plot with thinning from below), ⁶Stand age at the start of thinning, ⁷Stand characteristics at the stage of observation, ⁸Age, ⁹Hustota porostu – poměr vůči kontrolní ploše/Stand density – compared to control plot, ¹⁰Basal area – poměr vůči kontrolní ploše/Basal area - compared to control plot

sérií s dříve zahájenou výchovou byly provedeny zásahy intenzivnější (zejména první zásah). Bylo odstraněno ca 30 % až 50 % počtu stromů, odpovídajících ca 20 % až 45 % výčetní základny sdruženého porostu (podrobněji viz SLODIČÁK, NOVÁK 2003; SLODIČÁK 2006).

Kromě věku, ve kterém byl zahájena výchova, a intenzity, s jakou byla provedena, se obě skupiny sérií lišily i v počáteční hustotě smrkových porostů. Starší porosty byly zakládány v tehdy obvyklé hustotě, tj. 10 tisíc jedinců na hektar. Naopak ve skupině mladších sérií se původní hustota pohybovala mezi 2,5–3,5 tisíci jedinců na hektar.

Na všech sériích jsou v pravidelných intervalech (ve starších porostech pětiletých a v mladších jednoletých) měřeny dendrometrické charakteristiky: výčetní tloušťka všech stromů milimetrovou průměrkou na trvale označených měřistiších 1,3 metrů nad zemí, celková výška stromů a výška nasazení zelené koruny přístrojem Blume-leiss na souboru třiceti stromů reprezentujících tloušťkovou strukturu měřeného porostu. Výškové křivky byly vypočítány dle Näslunda (NÄSLUND 1937).

Pro účely prezentované analýzy byla použita data z posledních revizí provedených v letech 2009 až 2013. Porosty první skupiny (později zahájená výchova) byly v době hodnocení měření 80–107leté, tj. v podstatě na konci obmýtí. Porosty druhé skupiny (výchova zahájena v mladším věku) vykazovaly v době hodnocení věk 47–49 let, a byly tedy ca v polovině doby obmýtí. Vzhledem k tomu, že na některých kontrolních plochách byla zaznamenána vyšší nahodilá těžba, byly pro porosty v roce hodnocení vypočteny procentické poměry v hustotě N (podle počtu stromů na hektar) a výčetní základně G (podle m^2 na hektar) na plochách s výchovou ve srovnání s příslušnými plochami kontrolními (kontrolní plochy měly přiřazeny hodnotu 100 %; tab. 1).

Pro každou dílčí plochu byly vypočteny čtyři charakteristiky středního kmene (střední výčetní tloušťka D v cm, štíhlostní kvocient H/D , délka koruny L v metrech a v % vůči celkové výšce stromu) a horního stromového patra, tj. sto nejtlustších stromů na hektar (tloušťka D_{100} v cm, štíhlostní kvocient H/D_{100} , délka koruny L_{100} v metrech a v % vůči celkové výšce stromu).

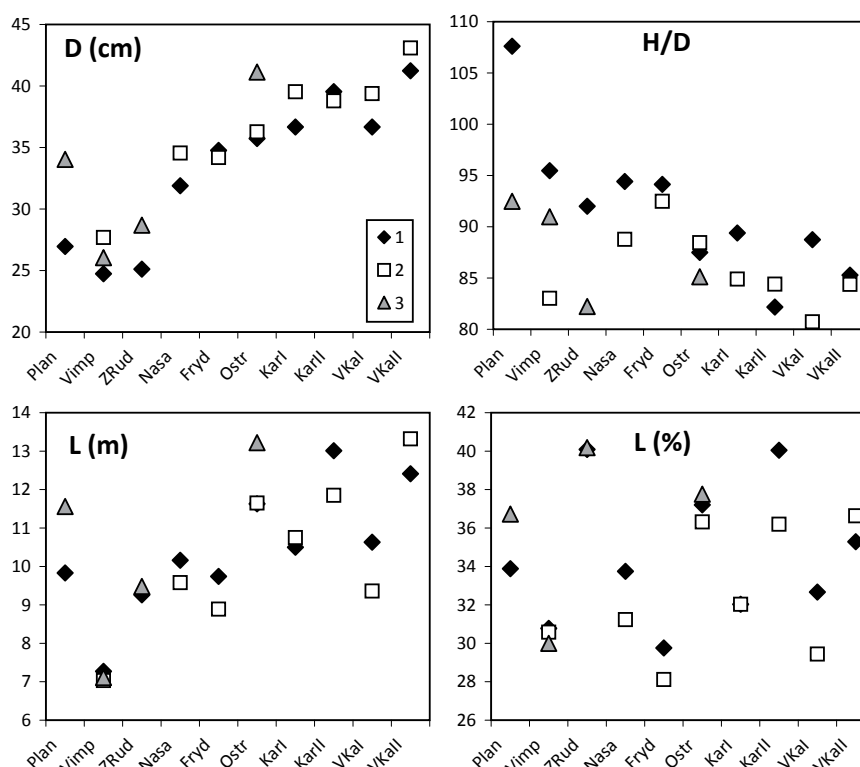
Vliv výchovy na výše uvedené parametry stability byl hodnocen porovnáním s kontrolními plochami, a to jednak graficky, a jednak pomocí parametrického párového t-testu. U skupiny mladších porostů byl test využit pouze pro dvojice ploch kontrolních a ploch s podúrovňovými zásahy, protože ploch se zásahy v úrovni byl příliš malý počet (dvě série).

Následně byl vypočítán procentický poměr v hodnotě H/D , H/D_{100} a L , L_{100} na plochách s výchovou ve srovnání s příslušnými plochami kontrolními (kontrolní plochy měly přiřazeny hodnotu 100 %). Výsledky analýzy vlivu výchovy na štíhlostní kvocient byly dány do vztahu (vyjádřeného graficky) s hodnotami procentických poměrů hustoty porostů N v době hodnocení (tab. 1).

VÝSLEDKY

Porosty starší – střední kmen

Ve skupině porostů, kde byla zahájena výchova později, byla tloušťka středního kmene (D) v osmi případech z deseti vždy větší na plochách s úrovňovou (o 2–12 %) nebo podúrovňovou (o 5–26 %) výchovou, v porovnání s kontrolními plochami bez výchovy (obr. 1).



Obr. 1.

Charakteristiky středního kmene ve starších porostech (viz tab. 1) smrku ztepilého. D – střední výčetní tloušťka, H/D – štíhlostní kvocient, L – délka živé koruny v metrech a v procentech výšky stromu, 1 – kontrolní plocha bez výchovy, 2 – plocha s úrovňovými zásahy, 3 – plocha s podúrovňovými zásahy

Fig. 1.

Characteristics of mean stem in older Norway spruce stands (see Tab. 1). D – mean diameter at breast height, H/D – quotient of slenderness, L – live crown length in metres and in percentage of tree height, 1 - control unthinned, 2 - plot with thinning from above, 3 - plot with thinning from below

Pouze v případě sérií Frýdek-Místek a Karlovice II byla tloušťka středního kmene na ploše vychovávané úroňovými zásahy o 2 % menší ve srovnání s kontrolní plochou. V těchto případech však rozdíly mezi plochami nepřesahovaly 1 cm. Výsledek párového t-testu potvrdil signifikantně větší střední výčetní tloušťku na plochách s úroňovou (p = 0,03) nebo podúroňovou (p = 0,04) výchovou ve srovnání s kontrolními plochami. Štíhlostní kvocient (H/D) se na polovině sérií (Ostravice, Karlovice I a II, Velké Karlovice II a III) pohyboval na všech dílčích plochách pod hodnotou 90 (obr. 1). U ostatních sérií byly hodnoty H/D zejména na kontrolních plochách méně příznivé. Z těchto pěti sérií se ve čtyřech případech (Planá, Vimperk II, Železná Ruda II a Nasavrky) podařilo výchovou významně snížit hodnotu H/D. Celkově byly hodnoty štíhlostního kvocientu v osmi případech z deseti nižší na plochách s úroňovou (o 1–13 %) nebo podúroňovou (o 3–14 %) výchovou. Přestože byl v případě sérií Ostravice (jen plocha 2 s úroňovými zásahy) a Karlovice II štíhlostní kvocient středního kmene o 1–3 % ve srovnání s kontrolou vyšší, výsledek párového t-testu potvrdil, že výchova se projevila v signifikantním poklesu štíhlostním kvocientu středního kmene (p = 0,07) ve srovnání s kontrolou.

Živá koruna tvořila ve sledovaných porostech 30 % až 40 % celkové výšky stromu. Výsledky porovnání délky korun středního kmene různých vychovávaných smrkových porostů nebyly tak jednoznačné jako u předchozích charakteristik (obr. 1).

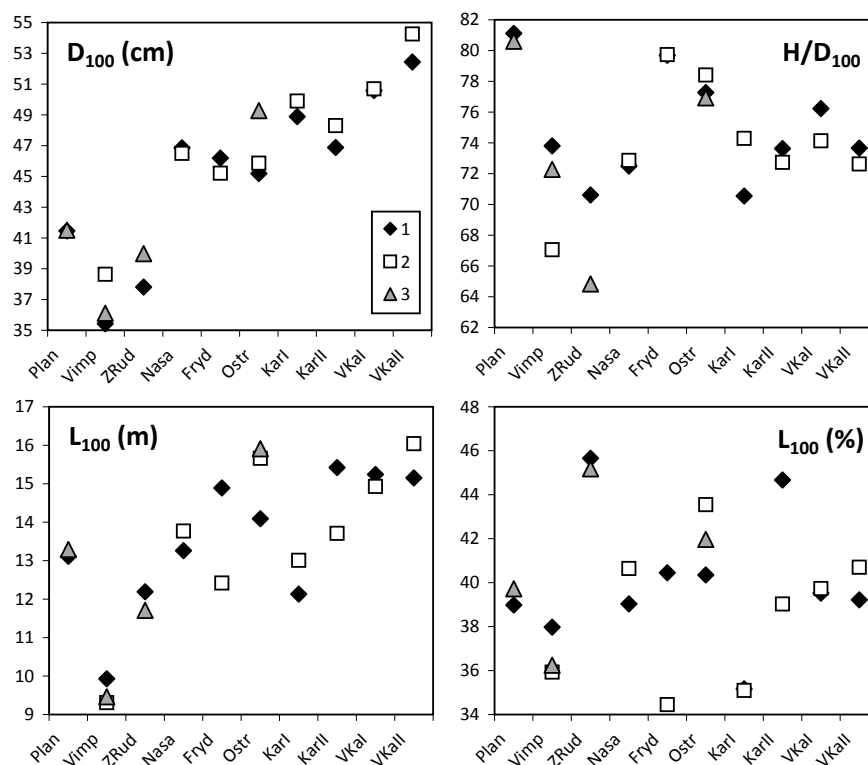
Ve čtyřech případech vykazoval střední kmen v úroňově vychovávaných porostech (Nasavrky, Frýdek-Místek, Karlovice II, Velké Kar-

lovice II) kratší koruny o 6–12 % ve srovnání s kontrolními porosty. Naopak ve třech případech (Planá, Ostravice – podúroňově vychovávané porosty, Velké Karlovice II – úroňově vychovávané porosty) měl střední kmen delší korunu o 4–18 % na plochách s výchovou ve srovnání s kontrolními. Na zbylých třech sériích byly rozdíly v délce koruny středního kmene mezi porovnávanými variantami výchovy velmi malé (do 3 %). Byly tedy detekovány pouze trendy dlouhodobého efektu výchovy na délku koruny: v porostech s podúroňovou výchovou byly koruny ve srovnání s kontrolou spíše delší, a naopak v porostech s úroňovou výchovou spíše kratší. Nejednoznačnost trendů potvrdil i výsledek párového t-testu, který dosáhl $p \leq 0,10$ pouze u porovnání délky koruny (v %) mezi porosty kontrolními a těmi vychovávanými úroňově.

Porosty starší – horní stromové patro

Průměrná tloušťka horního stromového patra D_{100} byla v polovině případů vyšší u porostů s výchovou (úroňovou na sériích Vimperk II, Karlovice II a Velké Karlovice III a podúroňovou na sériích Železná Ruda II a Ostravice). U zbylých pěti sérií nepřekročil rozdíl v hodnotách D_{100} mezi plochami kontrolními a s výchovou 2 %, tj. do 1 cm (obr. 2). Výsledek párového t-testu rozdílů v hodnotách D_{100} mezi kontrolními plochami a plochami s úroňovou nebo podúroňovou výchovou se pohyboval nad úrovní $p = 0,10$.

Na všech plochách sledovaných sérií se štíhlostní kvocient horního stromového patra H/D_{100} pohyboval pod hodnotou 81 (obr. 2). Rozdíly v hodnotách H/D_{100} různých vychovávaných porostů nepřesáhly



Obr. 2.

Charakteristiky horního stromového patra (100 nejtlustších jedinců na hektar) ve starších porostech (viz tab. 1) smrku ztepilého. D_{100} – střední výčetní tloušťka, H/D_{100} – štíhlostní kvocient, L_{100} – délka živé koruny v metrech a v procentech výšky stromu, 1 – kontrolní plocha bez výchovy, 2 – plocha s úroňovými zásahy, 3 – plocha s podúroňovými zásahy

Fig. 2.

Characteristics of dominant trees (100 thickest trees per hectare) in older Norway spruce stands (see Tab. 1). D_{100} – mean diameter at breast height, H/D_{100} – quotient of slenderness, L_{100} – live crown length in metres and in percentage of tree height, 1 – control unthinned, 2 – plot with thinning from above, 3 – plot with thinning from below

na většině (šesti) sériích 1%. Pozitivní vliv výchovy (úrovňové na sériích Vimperk II a Velké Karlovice II a podúrovňové na sérii Železná ruda II) se projevil snížením H/D_{100} o 3% až 9%. Naopak na sérii Karlovice I byla lepší (o 5% nižší) hodnota H/D_{100} zaznamenána v kontrolním porostu ve srovnání s výchovou.

Živá koruna horního stromového patra (L_{100}) tvořila ve sledovaných porostech 35% až 45% celkové výšky stromu. Efekt výchovy na délku koruny horního stromového patra nebyl jednoznačný. Ve čtyřech případech vykazovalo horní stromové patro ve vychovávaných porostech (Vimperk II, Železná Ruda II, Frýdek-Místek, Karlovice II) kratší koruny o 6–17% ve srovnání s kontrolními porosty. Naopak na čtyřech dalších sériích (Nasavrky, Ostravice, Karlovice I a Velké Karlovice III) měl střední kmen delší korunu o 4% až 13% na plochách s výchovou ve srovnání s kontrolami. Na zbylých dvou sériích byly rozdíly v délce koruny středního kmene mezi porovnávanými variantami výchovy velmi malé (do 2%).

Nejednoznačnost trendů v porovnání charakteristik H/D_{100} a L_{100} se odrazil ve výsledku párového t-testu ($p > 0,10$) u porovnání mezi kontrolními a vychovávanými porosty.

Porosty mladší – střední kmen

Efekt výchovy (zejména negativním výběrem v podúrovni) na charakteristiky stability se v mladších porostech smrku projevil jednoznačně pozitivně (obr. 3). Tloušťka středního kmene D byla na plochách

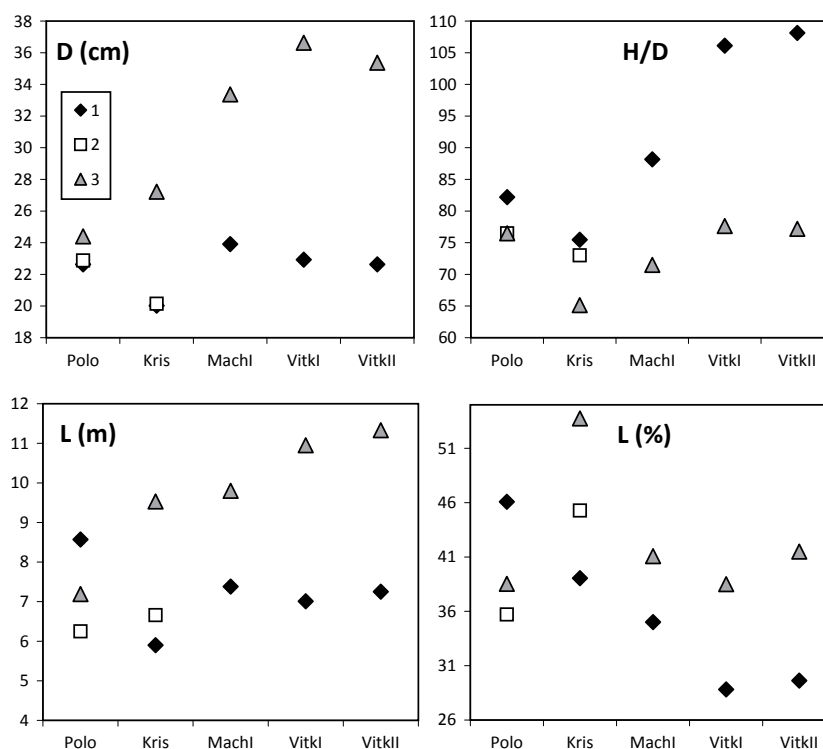
s podúrovňovou výchovou signifikantně ($p = 0,01$) vyšší o 8% až 60% (tj. o 2 až 14 cm) ve srovnání s kontrolními porosty bez výchovy. Střední kmen na plochách s úrovňovou výchovou vykazoval pouze o 1% větší tloušťku ve srovnání s kontrolními porosty.

Štíhlostní kvocient středního kmene H/D dosahoval na kontrolních plochách hodnot 75 až 108 a na plochách s výchovou 72 až 77. Podúrovňové zásahy se projevíly signifikantně ($p = 0,02$) snížením H/D o 7% až 29%. Na plochách s úrovňovými zásahy bylo zaznamenáno toto snížení pouze o 3% až 7%.

Efekt výchovy mladších porostů na jejich stabilitu se projevil signifikantním ($p = 0,07$) prodloužením živé koruny, a to o 62% až 56% (tj. o 2 m až 4 m) ve srovnání s porosty bez výchovy. Živá koruna tvořila ve sledovaných porostech 30% až 50% celkové výšky kmene. Jedinou výjimkou s opačným výsledkem (tj. kratší koruny na plochách s výchovou) byla série Polom, kde délka koruny dosahovala 73% (plocha s úrovňovými zásahy) a 84% (plocha s podúrovňovými zásahy) délky koruny středního kmene v porostu kontrolním.

Porosty mladší – horní stromové patro

Podobně jako u středního kmene, také na parametrech stability horního stromového patra se pozitivně projevíla výchova (zejména negativním výběrem v podúrovni). Tloušťka D_{100} byla na plochách s podúrovňovou výchovou signifikantně ($p = 0,03$) vyšší o 16% až 25% (tj. o 6 cm až 9 cm) ve srovnání s kontrolními porosty bez vý-



Obr. 3.

Charakteristiky středního kmene v mladších porostech (viz tab. 1) smrku ztepilého. D – střední výčetní tloušťka, H/D – štíhlostní kvocient, L – délka živé koruny v metrech a v procentech výšky stromu, 1 – kontrolní plocha bez výchovy, 2 – plocha s úrovňovými zásahy, 3 – plocha s podúrovňovými zásahy

Fig. 3.

Characteristics of mean stem in younger Norway spruce stands (see Tab. 1). D – mean diameter at breast height, H/D – quotient of slenderness, L – live crown length in metres and in percentage of tree height, 1 – control unthinned, 2 – plot with thinning from above, 3 – plot with thinning from below

chovy (obr. 4). Hodnota D_{100} na plochách s úrovňovou výchovou byla pouze o 5 % větší ve srovnání s kontrolními porosty. Výjimku tvořila podobně jako u středního kmene série Polom, kde se hodnoty D_{100} lišily na ploše kontrolní nebo na plochách s výchovou pouze o 1 % až 2%, tj. méně než o 1 cm.

Štíhlostní kvocient horního stromového patra H/D_{100} dosahoval na kontrolních plochách hodnot 70 až 82 a na plochách s výchovou 55 až 69. Podúrovňové zásahy se projevily signifikantně ($p = 0,005$) snížením H/D_{100} o 7 % až 17%. Na plochách s úrovňovými zásahy bylo zaznamenáno toto snížení pouze o 8 % až 9%.

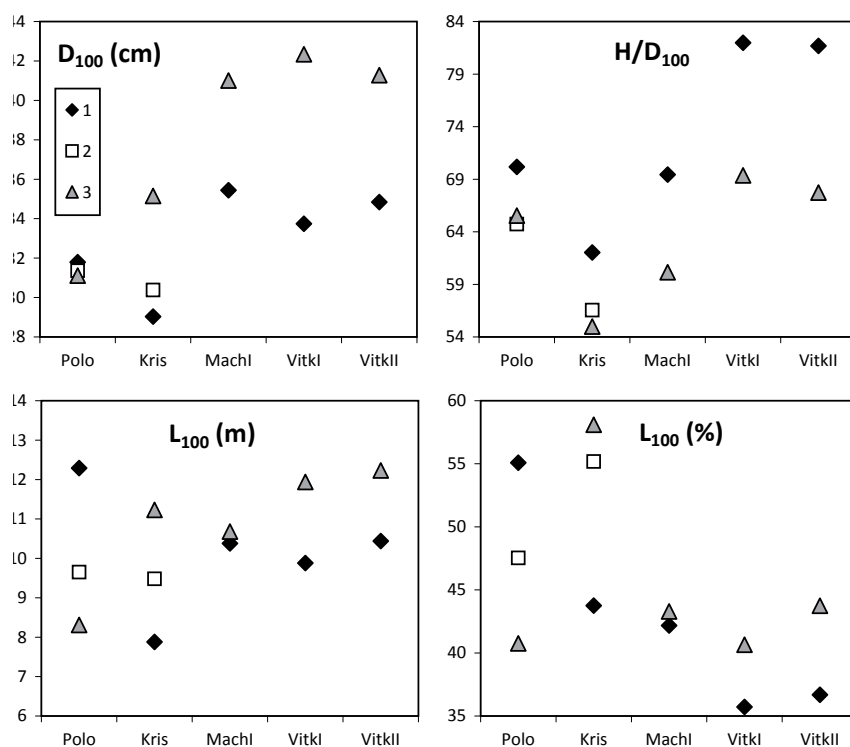
Také u horního stromového patra se výchova projevila prodloužením korun, a to o 3 % až 43 % (tj. o 0,5–3,5 m). Efekt výchovy však nebyl signifikantní ($p \geq 0,10$). Živá koruna tvořila ve sledovaných porostech 36 až 58 % celkové výšky kmene. Opět byla výjimkou s opačným výsledkem (tj. kratší koruny na plochách s výchovou) série Polom, kde délka koruny dosahovala 86 % (plocha s úrovňovými zásahy) a 74 % (plocha s podúrovňovými zásahy) délky koruny středního kmene v porostu kontrolním.

Hodnocení výsledků ve vztahu k současné hustotě porostů

Podle metodiky byl vypočítán procentický poměr v hodnotě H/D , H/D_{100} a L , L_{100} na plochách s výchovou ve srovnání s příslušnými plochami kontrolními (kontrolní plochy měly přiřazeny hodnotu 100 %). Ve fázi hodnocení vykazovaly většinou porosty s výchovou

ve skupině starších sérií nižší hustotu N ve srovnání s porosty kontrolními (100 %), i když u některých sérií šlo o rozdíl jen několika procent (tab. 1). Ve třech případech (Frýdek-Místek, Velké Karlovice II a Karlovice II) byla naopak hustota v porostech s výchovou vyšší o 4 %, 6 % a 41 % ve srovnání s kontrolami. U mladších sérií byla hustota na plochách s výchovou vždy nižší (25–85 % ve srovnání s kontrolou) s výjimkou série Polom, kde hustota na ploše s úrovňovou výchovou dosahovala 104 % a na ploše s podúrovňovou výchovou 89 % kontroly.

Z porovnání výše uvedených poměrů hustoty porostů a hodnot štíhlostního kvocientu středního kmene H/D a horního stromového patra H/D_{100} je zřejmá pozitivní korelace u obou skupin sérií, starších (obr. 5) i mladších (obr. 6). Čím více se tedy vychovávané porosty přiblížily svou hustotou hodnotám zjištěným v kontrolních porostech, tím více se také hodnoty štíhlostního kvocientu (H/D i H/D_{100}) na vychovávaných plochách blížily (méně příznivým) hodnotám zjištěným na kontrole. Výjimku z tohoto trendu tvořily hodnoty H/D_{100} zjištěné na podúrovňově vychovávaných plochách ve starší skupině sérií, kde byla detekována korelace záporná. Šlo o celkem čtyři případy a ve všech byla hustota porostů na plochách s výchovou nižší než na odpovídajících kontrolách. Naopak trend pozitivní korelace platil i v případech, kdy hustota porostů s výchovou byla vyšší než na kontrole, tj. byly vyšší i hodnoty H/D i H/D_{100} . Porovnání poměrů hustoty porostů a hodnot délky koruny L a L_{100} (v % výšky stromu) ukázalo negativní korelaci u obou skupin sérií (obr. 7 a 8).

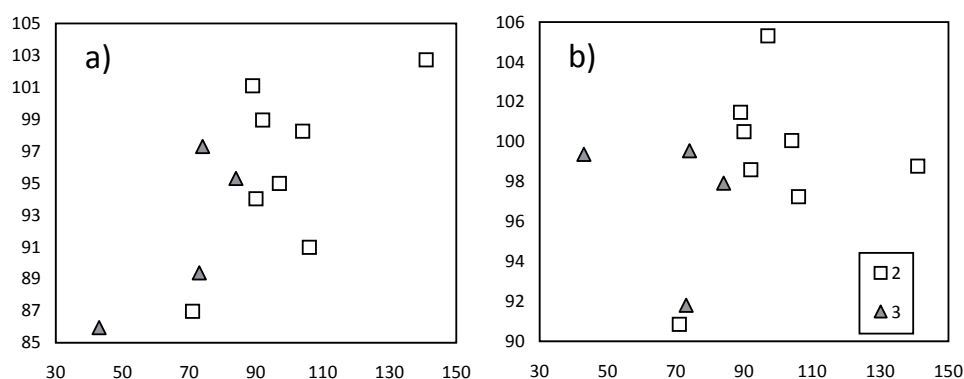


Obr. 4.

Charakteristiky horního stromového patra (100 nejtlustších jedinců na hektar) v mladších porostech (viz tab. 1) smrku ztepilého. D_{100} – střední výčetní tloušťka, H/D_{100} – štíhlostní kvocient, L_{100} – délka živé koruny v metrech a v procentech výšky stromu, 1 – kontrolní plocha bez výchovy, 2 – plocha s úrovňovými zásahy, 3 – plocha s podúrovňovými zásahy

Fig. 4.

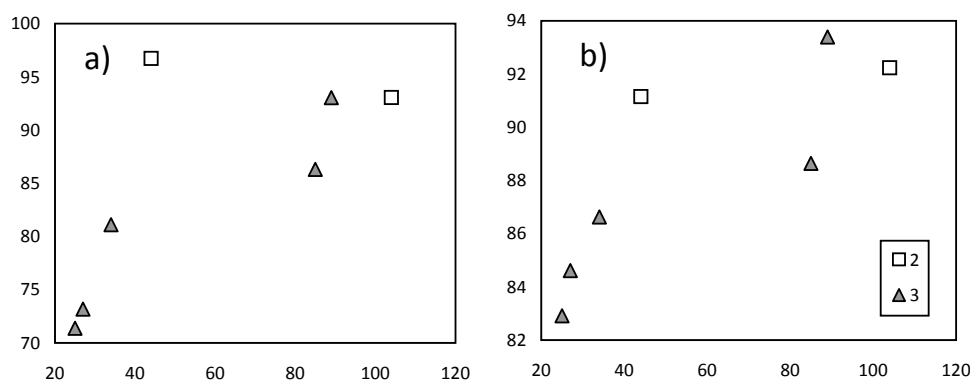
Characteristics of dominant trees (100 thickest trees per hectare) in younger Norway spruce stands (see Tab. 1). D_{100} – mean diameter at breast height, H/D_{100} – quotient of slenderness, L_{100} – live crown length in metres and in percentage of tree height, 1 – control unthinned, 2 – plot with thinning from above, 3 – plot with thinning from below

**Obr. 5.**

Starší porosty – vztah mezi poměrem hustoty porostů (osa x) kontrolních (100%) a vychovávaných a štíhlostního kvocientu (osa y) středního kmene (a) a horního stromového patra (b) v porostech kontrolních (100%) a vychovávaných (2 – plochy s úrovněnými zásahy, 3 – plochy s podúrovněnými zásahy)

Fig. 5.

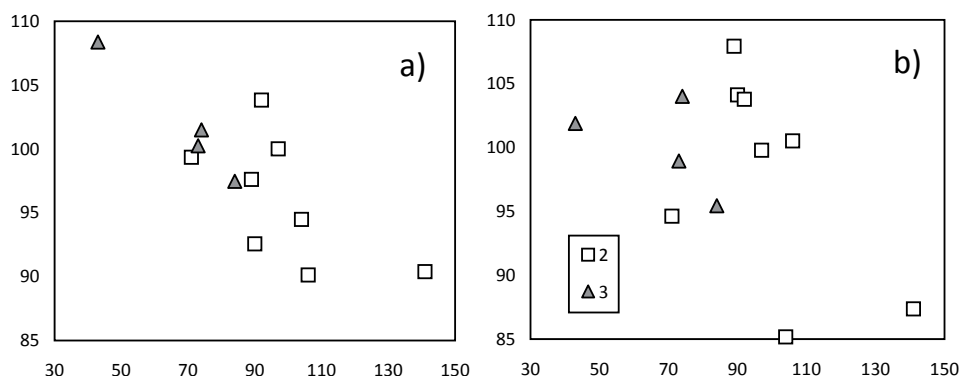
Older stands – relationship between ratio of density (x-axis) of control (100%) and thinned stands and quotient of slenderness (y-axis) for mean stem (a) and for dominant trees (b) in control (100%) and thinned stands (2 – plot with thinning from above, 3 – plot with thinning from below)

**Obr. 6.**

Mladší porosty – vztah mezi poměrem hustoty porostů (osa x) kontrolních (100%) a vychovávaných a štíhlostního kvocientu (osa y) středního kmene (a) a horního stromového patra (b) v porostech kontrolních (100%) a vychovávaných (2 – plochy s úrovněnými zásahy, 3 – plochy s podúrovněnými zásahy)

Fig. 6.

Younger stands – relationship between ratio of density (x-axis) of control (100%) and thinned stands and quotient of slenderness (y-axis) for mean stem (a) and for dominant trees (b) in control (100%) and thinned stands (2 – plot with thinning from above, 3 – plot with thinning from below)

**Obr. 7.**

Starší porosty – vztah mezi poměrem hustoty porostů (osa x) kontrolních (100%) a vychovávaných a podílu živé koruny na výšce (osa y) středního kmene (a) a horního stromového patra (b) v porostech kontrolních (100%) a vychovávaných (2 – plochy s úrovněnými zásahy, 3 – plochy s podúrovněnými zásahy)

Fig. 7.

Older stands – relationship between ratio of density (x-axis) of control (100%) and thinned stands and live crown length in percentage of tree height (y-axis) for mean stem (a) and for dominant trees (b) in control (100%) and thinned stands (2 – plot with thinning from above, 3 – plot with thinning from below)

DISKUSE

Z abiotických škodlivých činitelů jsou ve smrkových porostech v ČR nejvýznamnější vítr a sníh. Sníh poškozuje mladší porosty (ca do poloviny doby obmýti) a zejména v oblastech s nadmořskou výškou 300–900 m (VICENA et al. 1979). Typickým poškozením je zlom kmene, přičemž přednostně jsou postiženi jedinci se zkrácenou korunou rostoucí v podúrovni. Předpokladem pro vznik takového poškození je určitý typ počasí vedoucí k akumulaci velkého množství vlhkého sněhu na stromech (FISCHER et al. 2013).

Poškození větrem (pokud nejde o větrné bouře) je častější v porostech dospělých a zejména v těch rostoucích na zamokřených půdách, kde i přirozeně mělce kořenící smrk vytváří nedostatečný kořenový systém. Oproti poškození sněhem jsou při působení větru častější vývraty. Často však může docházet ke kombinaci působení obou zmíněných faktorů. Dochází k takzvané synergii, kdy například stromy zatížené sněhem jsou navíc vystaveny působení větru.

Z uvedeného je zřejmé, že o rozsahu a způsobu poškození lesních porostů sněhem nebo větrem (nebo jejich spolupůsobením) rozhoduje mnoho faktorů, které v podstatě nemůže lesní hospodář ovlivnit: věk porostů, stanoviště, vlhkost půdy, rychlost větru, úhrn srážek atd. Na druhou stranu však může přispět ke zlepšení stability (a tím snížení rizika jejich rozvratu) smrkových porostů odpovídajícími pěstebními postupy při obnově a výchově.

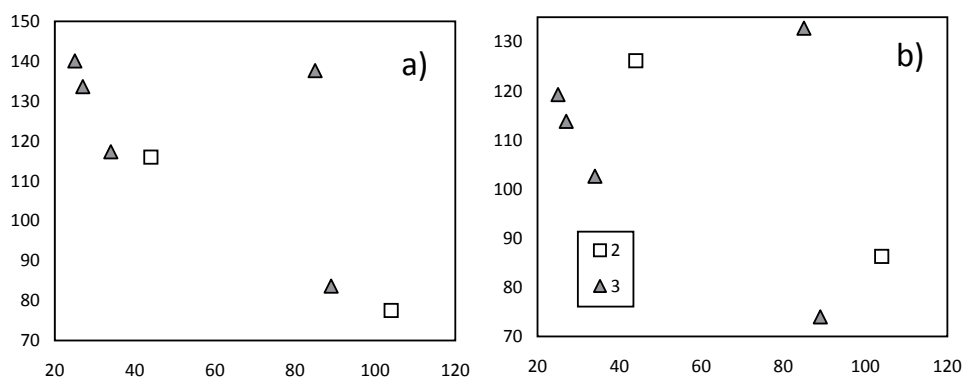
Bez ohledu na druh škodlivého činitele jsou za více odolné považovány stromy s větší výčetní tloušťkou. Tloušťka kmene ovlivňuje jeho stabilitu mnohem výrazněji než všechny ostatní faktory (VICENA et al. 1979). V tomto směru naše výsledky potvrdily pozitivní efekt výchovy na tloušťku středního kmene i horního stromového patra. Pokud jde o novější poznatky, nárůst relativní výčetní tloušťky v důsledku výchovy doložil např. COJZER et al. (2014). V souladu s poznatků Chrousta (CHROUST 1980) byl efekt zvětšení tloušťky výraznější při zahájení výchovy v mladším věku a s větší intenzitou.

Dalším parametrem popisujícím stabilitu stromu (zejména vůči škodlivému působení sněhu) je štíhlostní kvocient (H/D), tj. poměr výšky stromu a výčetní tloušťky. Podle dosavadních poznatků (MILNE 1995; WANG et al. 1998; LEKES, DANDUL 2000) štíhlostní kvocient přesahující hodnotu 100 indikuje obecně nízkou stabilitu porostů. Ve vztahu k poškození sněhem je pro mladé smrkové porosty uváděna kritická

hodnota štíhlostního kvocientu 90 (MILDNER 1967; KONÓPKA et al. 1987; NAVRÁTIL 1995). Stromy s H/D nad touto hranicí klasifikuje jako vysoce ohrožené větrem MICKOVSKI et al. (2005).

V polohách pátého až sedmého vegetačního stupně by z hlediska odolnosti smrkového porostu proti větru měl dosahovat H/D optimální hodnoty 79 až 52, maximálně však 83 až 58 (VICENA et al. 1979). Štíhlostní kvocient nad hodnotou 80 považují KONÓPKA a KONÓPKA (2003) za nedostatečný z hlediska stability smrku vůči sněhu, větru a námraze v sedmém vegetačním stupni na Slovensku. V porovnání s těmito kritérii je zřejmý pozitivní vliv výchovy zejména ve sledovaných mladších porostech. V porostech kontrolních bylo u štíhlostního kvocientu dosaženo kritických hodnot (i přes 100). Navíc lze předpokládat, že silnými zásahy vytvořené spádné kmeny a mohutný kořenový systém se nebudou v budoucnu příliš měnit. Smrkové porosty po dosažení výšky 15 m mění tyto charakteristiky velmi málo (CREMER et al. 1982). Hodnoty štíhlostního kvocientu se s věkem a postupným odezníváním akcelerace výškového přírůstu přirozeně snižují. To je patrné u našich výsledků ze starších sérií, kdy lze z pohledu výše uvedených kritérií považovat za stabilní jedince horního stromového patra na všech sledovaných sériích bez ohledu na aplikovaný způsob výchovy. Význam dominantních jedinců pro zajištění stability porostu zmiňují také ALBRECHT et al. (2012) a ŠEBEŇ et al. (2013). Efekt výchovy se tak u těchto porostů projevil zejména u parametrů středního kmene, který většinou vykazoval vyšší štíhlostní kvocient na plochách bez výchovy.

Dalšími parametry, kterými se popisuje stabilita stromů, jsou charakteristiky živé koruny, tj. délka koruny a její podíl na celkové výšce stromu. Delší koruna sice představuje větší záchytnou plochu pro působení větru, zároveň však významně snižuje těžiště stromu, a tím zvyšuje jeho celkovou stabilitu. Ve vztahu ke stabilitě stromu je lépe než délku koruny uvádět podíl koruny na výšce stromu (KONÓPKA 1992). Podle již zmiňované studie (VICENA et al. 1979) by smrk měl v pátém až sedmém vegetačním stupni vykazovat délku koruny minimálně 15,0 m až 13,5 m a optimálně 16,5 m až 15,0 m. Koruna by tedy měla tvořit minimálně 46 % až 63 % a optimálně 52 % až 72 % celkové výšky stromu. V naší studii dosahovaly koruny délky podle uvedených kategorií (10–16 m) pouze u horního stromového patra ve starších porostech. Střední kmen vykazoval délku koruny 7 m až 13 m. V mladších porostech byly živé koruny kratší 6 m až 11 m u středního kmene a 8 m až 13 m u horního stromového patra.



Obr. 8.

Mladší porosty – vztah mezi poměrem hustoty porostů (osa x) kontrolních (100 %) a vychovávaných a podílu živé koruny na výšce (osa y) středního kmene (a) a horního stromového patra (b) v porostech kontrolních (100 %) a vychovávaných (2 – plochy s úrovněnými zásahy, 3 – plochy s podúrovněnými zásahy)

Fig. 8.

Younger stands – relationship between ratio of density (x-axis) of control (100 %) and thinned stands and live crown length in percentage of tree height (y-axis) for mean stem (a) and for dominant trees (b) in control (100 %) and thinned stands (2 – plot with thinning from above, 3 – plot with thinning from below)

Podíl koruny byl ve starších porostech 28 % až 40 % u středního kmene a 35 % až 45 % u horního stromového patra. V mladších porostech dosahovala živá koruna většího podílu vůči výšce stromu, u středního kmene 28 % až 52 % a u horního stromového patra 35 % až 58 %. Zároveň ve starších porostech byl vliv výchovy na sledované parametry koruny nejednoznačný, v mladších porostech byla koruna delší a tvořila větší podíl na výšce stromu v porostech vychovávaných než v porostech kontrolních bez výchovy. CAMERON a DUNHAM (1999) také upozorňují na vyšší podíl tlakového dřeva ve vzorcích ze zlomených a vyvrácených smrků sitka a zlomených borovic lesních. Toto zjištění připisují častějšímu ohýbání později poškozených jedinců a připouští, že jedním z přispívajících faktorů je také asymetrie korun.

Zejména u starších porostů došlo v některých případech k tomu, že současná hustota na plochách s výchovou přesahuje hustotu porostů kontrolních kvůli postupnému prořezávání nahodilou těžbou. Při zohlednění této skutečnosti byl potvrzen trend vyšších hodnot štíhlostního kvocientu a kratších korun se zvyšující se hustotou porostu a to jak mladších, tak starších.

ZÁVĚR

Po vyhodnocení dlouhodobého efektu výchovy na parametry stability smrkových porostů lze konstatovat, že provádění výchovy pozitivně ovlivnilo výčetní tloušťku a štíhlostní kvocient, a to jak u středního kmene, tak u horního stromového patra. V mladších porostech byl tento efekt výraznější. Vliv výchovy na délku živé koruny a podíl koruny na výšce stromu byl ve starších porostech nejednoznačný. Naopak v porostech mladších vykazovaly porosty s výchovou delší korunu a větší podíl koruny na výšce stromu ve srovnání s kontrolními porosty bez výchovy. Na základě těchto poznatků lze doporučit v současných mladých smrkových porostech časné a intenzivní výchovné zásahy, které podpoří jejich stabilizaci. Ve stabilních porostech pak lze v druhé polovině doby obmýti připravovat úpravu druhové skladby směrem ke směsí smrku se dřevinami s přirozeně větší stabilitou (listnáče, modřín, douglaska apod.).

Poděkování:

Článek byl zpracován v rámci projektu Ministerstva zemědělství ČR NAZV QJ1220316 a poskytnuté institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace MZe ČR – Rozhodnutí č. RO0114 (č. j. 8653/2014- MZE-17011).

LITERATURA

ALBRECHT A., HANEWINKEL M., BAUHUS J., KOHNLE U. 2012. How does silviculture affect storm damage in forests of south-western Germany? Results from empirical modeling based on long-term observations. *European Journal of Forest Research*, 131: 229–247. DOI: 10.1007/s10342-010-0432-x

BAYER D., SEIFERT S., PRETZSCH H. 2013. Structural crown properties of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* [L.]) in mixed versus pure stands revealed by terrestrial laser scanning. *Trees*, 27: 1035–1047.

CAMERON A. D., DUNHAM R. A. 1999. Strength properties of wind- and snow-damaged stems of *Picea sitchensis* and *Pinus sylvestris* in comparison with undamaged trees. *Canadian Journal of Forest Research*, 29: 595–599.

COJZER M., DIACI J., BRUS R. 2014. Tending of young forests in secondary succession on abandoned agricultural lands: an experimental study. *Forests*, 5: 2658–2678.

CREMER K. W., BOROUGH C. J., MCKINNEL F. H., CARTER P.R. 1982. Effects of stocking and thinning on wind damage in plantations. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 12: 244–268.

FISCHER A., MARSHALL P., CAMP A. 2013. Disturbances in deciduous temperate forest ecosystems of the northern hemisphere: their effects on both recent and future forest development. *Biodiversity Conservation*, 22: 1863–1893.

HALE S.E., GARDINER B.A., WELLPOTT A., NICOLL B.C. ACHIM A. 2012. Wind loading of trees: influence of tree size and competition. *European Journal of Forest Research*, 131: 203–217. DOI: 10.1007/s10342-010-0448-2

HANEWINKEL M., HUMMEL S., ALBRECHT A. 2011. Assessing natural hazards in forestry for risk management: a review. *European Journal of Forest Research*, 130: 329–351.

CHROUST L. 1980. Tvar kmene a velikost korun při výchově smrkových porostů ve vztahu ke škodám působeným sněhem a větrem. *Práce VÚLHM*, 56: 31–52.

CHROUST L. 1987. Results of the 5 thinning experiments established in young Norway spruce stands on the zone snow and wind damage. In: Knutell, H. (ed.): Development of thinning system to reduce stand damages. Proceedings of the meeting of IUFRO Project group P4.02 and Subject group S.1.05-05. Scandinavia 9–18 June, 1987. Garpenberg, Institutionen: 165–182. Research Notes No. 98/1987.

CHROUST L. 1991. Ekologické aspekty porostní výchovy mladých smrkových porostů v imisních podmínkách. *Lesnictví*, 37: 193–212.

KONÔPKA B., KONÔPKA J. 2003. Static stability of forest stands in the seventh altitudinal vegetation zone in Slovakia. *Journal of Forest Science*, 49: 474–481.

KONÔPKA J., PETRÁŠ R., TOMA R. 1987. Štíhlostný koeficient hlavných drevín a jeho význam pri statickej stabilite porastov. *Lesnictví*, 33: 887–904.

KONÔPKA J. 1992. Modely cieľových stromov smreka z hľadiska statickej stability. Praha, AZV ČSFR: 106 s.

KONÔPKA J., KONÔPKA B., NIKOLOV C. 2008. Analysis of salvage timber felling according to injurious agents and forest regions. *Forestry Journal*, 54: 107–126.

KONÔPKA J., KONÔPKA B. 2009. Krátkodobá prognóza ohrozenia smreka obyčajného škodlivými činiteľmi v najrizikovejších oblastiach Slovenska. *Zprávy lesníckeho výzkumu*, 54: 52–68.

LEKES V., DANDUL I. 2000. Using airflow modelling and spatial analysis for defining wind damage risk classification (WINDARC). *Forest Ecology and Management*, 135: 331–344.

MICKOVSKI S.B., STOKES A., BEEK L.P.H. 2005. A decision support tool for windthrow hazard assessment and prevention. *Forest Ecology and Management*, 216: 64–76.

MILDNER H. 1967. Die Widerstandsfähigkeit von Fichtenjungbeständen gegenüber atmosphärischen Einwirkungen. *Sozialistische Forstwirtschaft*, 17: 57–59.

MILNE R. 1995. Modelling mechanical stresses in living Sitka spruce stems. In: Coutts M.P., Grace J. (eds.): Wind and trees. Cambridge, Cambridge University Press: 165–181.

NÄSLUND M. 1937. Die Durchforstungsversuche der Forstlichen Versuchsanstalt Schwedens in Kiefernwald. In: Meddelanden fran Statens Skogsförsöksanstalt. Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Schwedens. Stockholm, Heft 29: 121–169.

NAVRATIL S. 1995. Minimizing wind damage in alternative silviculture systems in boreal mixedwoods. Edmonton, Alberta, Canadian Forestry Service: 74 s. Canada-Alberta Partnership Agreement in Forestry Report, 124.

PAŘEZ J. 1972. Vliv podúrovňové a úrovňové probírky na výši škod sněhem v porostech pokusných probírkových ploch v období 1959–1968. *Lesnictví*, 18: 143–154.

- PAŘEZ J. 1985. Zhodnocení výzkumných ploch ve smrkových a borových porostech. Jíloviště-Strnady, VÚLHM: 102 s.
- PELTOLA H., KELLOMÄKI S., VÄISÄNEN H., IKONEN V. P. 1999. A mechanistic model for assessing the risk of wind and snow damage to single trees and stands of Scots pine, Norway spruce, and birch. *Canadian Journal of Forest Research*, 29: 647–661.
- SCHÜTZ J.-P., GÖTZ M., SCHMID W., MANDALLAZ D. 2006. Vulnerability of spruce (*Picea abies*) and beech (*Fagus sylvatica*) forest stands to storms and consequences for silviculture. *European Journal of Forest Research*, 125: 291–302.
- SLODIČÁK M. 1988. Vývoj mladých smrkových porostů v podmínkách imisního zatížení po výchovných zásazích různé intenzity. *Lesnictví*, 34: 991–1004.
- SLODIČÁK M. 1993. Thinning regime in stands of Norway spruce subjected to snow and wind damage. In: *Wind and wind-related damage to trees*. Edinburgh, University Press: 436–447.
- SLODIČÁK M., NOVÁK J. 2003. Dlouhodobé experimenty s porostní výchovou smrku ztepilého - cíle a metodika. *Zprávy lesnického výzkumu*, 48: 149–152.
- SLODIČÁK M. 2006. Czech Republic (CZ 13, CZ 14). In: Herbstritt, S. et al. (ed.): *The European stem number experiment in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) 3. report*. IUFRO working party 1.05.05 "Thinning experiments". Freiburg, März 2006. Baden-Württemberg, Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Universität Freiburg und Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt: 64–73. *Freiburger forstliche Forschung. Berichte. Heft 66*.
- 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.
- SLODIČÁK M., NOVÁK J. 2007a. Růst, struktura a statická stabilita smrkových porostů s různým režimem výchovy. Kostelec nad Černými lesy, *Lesnická práce*: 128 s. *Folia Forestalia Bohemica*, 3.
- SLODIČÁK M., NOVÁK J. 2007b. Dlouhodobé experimenty s porostní výchovou smrku ztepilého – zhodnocení poznatků ze 4. série založené v letech 1964 – 1969. *Zprávy lesnického výzkumu*, 52: 205–213.
- ŠEBEŇ V., BOŠELA M., KONŮPKA B., PAJTÍK J. 2013. Indices of tree competition in dense spruces stand originated from natural regeneration. *Lesnický časopis – Forestry Journal*, 59: 172–179.
- ŠTOFKO P. 2012. Aboveground parameters of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stability in the light of discriminant analysis. *Folia Forestalia Polonica, series A*, 54: 153–158.
- TESAŘ V. 1976. Prvé výsledky z výchovy smrkových tyčovin ovlivněných imisemi. *Práce VÚLHM*, 48: 55–76.
- VICENA I., PAŘEZ J., KONŮPKA J. 1979. *Ochrana lesa proti polomům*. Praha, SZN: 244 s.
- VIEWEGH J., KUSBACH A., MIKESKA M. 2003. Czech forest ecosystem classification. *Journal of Forest Science*, 49: 85–93.
- WANG Y., TITUS S. J., LEMAY V. M. 1998. Relationships between tree slenderness coefficients and tree or stand characteristics for major species in boreal mixedwood forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 28: 1171–1183.

STABILITY PARAMETERS OF DIFFERENTLY THINNED SPRUCE STANDS

SUMMARY

Wind and snow damage to forests represent an important economic loss. Wind is mentioned as the major abiotic disturbance agent in European conditions. The most important native tree species such as Norway spruce is highly vulnerable to uprooting due to its shallow roots; this applies particularly to spruce stands on sites with high water-table level, which further weakens the anchoring. On better-drained sites, Norway spruce suffers from both uprooting and snapping as a result of strong wind. Broken stems, bending and bowing occur also as a result of heavy snow load. Environmental conditions resulting from particular weather events cannot be obviously influenced by foresters. There are, however, trees that remain unbroken after both wind-storm and snow-breakage events. It was revealed that these trees were shaped differently in terms of crown and stem dimensions, and it seemed that we can get these desired tree properties using silvicultural measures such as thinning. The objective of our study is to evaluate a long-term impact of thinning on Norway spruce stands. The research question is: Does thinning affect tree traits such as DBH, H/D ratio and crown length to get the spruce stands being less prone to wind and snow events?

Totally 15 thinning experiments were used in our study (Tab. 1). Thinning in older stands (OS) began at the age of 38–67 years, while younger stands (YS) were thinned firstly at the age of 15–20 years. Each series contains control treatment (marked with 1), where no deliberate cut has been done; the only trees removed were dry, snapped and uprooted ones. Both positive thinning from above (marked with 2), and negative thinning from below (marked with 3) were carried out. OS and YS stands differ not only in thinning beginning. The OS stands were planted at 10 000 plants.ha⁻¹ density, while 2 500–3 500 plants.ha⁻¹ were planted to establish the YS stands. Thinning intensities (particularly first thinning) were also different. About 10–30% trees representing 10–25% of basal area were removed from OS stands, which was the light thinning and about 30–50% trees representing 20–45% of basal area were removed from YS stands, which was the heavy thinning. Data were measured in 80- to 107-year-old OS stands at the end of the rotation and in 47- to 49-year-old YS stands in the middle of the rotation. Four mean-stem characteristics such as DBH, H/D ratio, crown length (L) and crown length/total height ratio were calculated. All these characteristics were also calculated for 100 dominant trees.ha⁻¹ (DBH₁₀₀, H/D₁₀₀, L₁₀₀). Thinned stands were compared to control ones both graphically and using paired t-test if applicable. H/D, H/D₁₀₀ and L, L₁₀₀ were related to the same characteristics from unthinned treatments; these were referred to as 100% value.

As for the OS stands, mean stem DBH was greater in both from-above thinned (2–12%) and from-below thinned (5–26%) treatments compared to control (Fig. 1). H/D ratios were lower by 1–13% in from-above thinned, while from-below thinned ones showed 3–14% lower ratios compared to control. Live crown shared 30–40% of the total stem height (crown index) in all the stands investigated; thinning from below contributed to longer live crowns, and thinning from above resulted in rather shorter live crowns compared to the respective controls. DBH₁₀₀ was greater in 50% experiments; the remaining half showed small difference amounting less than 1 cm (Fig. 2); the differences were not significant. H/D₁₀₀ was always below 81 on all plots. Two from-above plots and one from-below plot showed lower H/D₁₀₀ values being attributable to thinning; one plot showed lower H/D₁₀₀ in unthinned trees. L₁₀₀ shared 35–45% of the total stem height; the effect of thinning on the L₁₀₀ was found ambiguous.

As for the YS stands, thinning proved to be a positive measure to affect stability of spruce (Fig. 3). Mean stem DBH was significantly greater (i.e. 6–80%) in from-below-thinned trees compared to control. The effect of from-above thinning was found to be minor (1%) compared to control. H/D ratio was reduced positively using thinning from below; the effect of from-above thinning was again lower. Thinning of YS stands also increased length of live crown. The crowns were by 56–62% longer compared to control; live crown shared 30–50% of the total stem height in the stands investigated. DBH₁₀₀ was significantly greater compared to control in from-below thinned stands (Fig. 4). Effect of from-above thinning was not so clear. From-below thinning decreased also significantly H/D₁₀₀. Effect of thinning on L₁₀₀ was not significant either.

The thinned stands were usually thinner compared to denser ones, though some series showed only a few percent differences (Tab. 1). Three experiments had denser thinned treatments compared to controls. When comparing stand densities with H/D and H/D₁₀₀, a positive correlation in both OS (Fig. 5) and YS (Fig. 6) stands is obvious; the more similar thinned stands to the control densities, the higher (i.e. less beneficial) H/D and H/D₁₀₀ in thinned stands were similar to H/D and H/D₁₀₀ in controls. The only exception showed from-below OS stands, where the above-mentioned values showed a negative correlation. Comparison of stand densities to L and L₁₀₀ (expressed as percentage of the tree height) showed a negative correlation in both OS and YS stands (Fig. 7 and 8).

Based on the long-term thinning experiments investigation, it can be concluded:

- Thinning affected positively DBH and H/D ratio in terms of both mean stem and dominant trees upper stratum; YS stands responded to thinning more readily.
- Postponed thinning did not affect crown length and crown index in OS stands compared to control while both characteristics were greater in earlier thinned YS stands compared to the respective control.
- The spruce stands should be heavily and early thinned to get the more stable forest over the first half of the rotation. Later, it seems to be beneficial to prepare conversion of tree species composition using more wind- and snow-resistant species such as broadleaves, European larch or Douglas-fir creating mixtures which are less prone to be affected by the above-mentioned harmful events.