



Abiotické poškození smrkových porostů ve střední Evropě: příkladová studie sněhových polomů z let 2005–2011 v Moravskoslezských Beskydech

Abiotic damage of spruce stands in central Europe: case study of snow damage from the period 2005–2011 in the Moravian-Silesian Beskids

Štěpán Křístek^{1, 2*}, Jaroslav Holuša¹

¹Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Kamýčká 1176, CZ – 165 21 Praha 6 – Suchbátka, Česká republika

²Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem, pobočka Frýdek-Místek, Nádražní 2811, CZ – 738 01 Frýdek-Místek, Česká republika

Abstract

In the case study from the basin of the Šance reservoir in the Moravian-Silesian Beskids, we examined the differences in the extent of damage in individual winter seasons and differences in the quantity of snow in individual situations. The intensity of damage to predominantly spruce stands was evaluated as the ratio of the number of individual trees damaged in the particular season to the total number of trees in the study plots. The quantity of snow was measured using quantitative parameters of snow cover. The objective of this paper was to describe model scenarios characterised by the expected intensity of stand damage corresponding to the course of winter expressed in quantitative parameters of snow cover on the base of similar/dissimilar situations. Individual winter seasons were thoroughly described in the results. The output is the description of three model scenarios with different intensities of stand damage that differ in the measured values of snow quantity.

Keywords: forest stand; snow damage; Norway spruce; model scenario

Abstrakt

Na příkladové studii v povodí vodní nádrže Šance v Moravskoslezských Beskydech byla zkoumána odlišnost rozsahu poškození v jednotlivých zimních sezónách a odlišnost množství sněhu v jednotlivých situacích. Intenzita poškození převážně smrkových porostů sněhem byla vyhodnocena jako podíl počtu v aktuální sezóně poškozených jedinců k celkovému počtu stromů na zkušných plochách. Množství sněhu bylo měřeno kvantitativními parametry sněhové pokrývky. Cílem příspěvku je na základě podobných/rozdílných situací popsat modelové situace charakterizované předpokládanou intenzitou poškození porostů odpovídající průběhu zimy vyjádřenému pomocí kvantitativních parametrů sněhové pokrývky. Ve výsledcích jsou popsány jednotlivé zimní sezóny a výstupem je charakteristika tří modelových situací s různou intenzitou poškození porostů, které se zároveň odlišují naměřenými hodnotami množství sněhu.

Klíčová slova: lesní porost; škody sněhem; smrk ztepilý; modelová situace

Úvod

S disturbancemi lesů způsobenými abiotickými živelními faktory se lesníci setkávají od počátku cílevědomé hospodářské úpravy lesů. Poškození lesů větrem, sněhem a námrazou je častým fenoménem v lesním hospodářství založeném na umělé obnově s jednou převažující dřevinou (Spiecker 2000) při odpovídajících klimatických podmínkách – v České republice zejména v pohraničních horách, Karpatech, ale také v Brdech nebo na Českomoravské vrchovině (Tolasz et al. 2007). Živelní lesní kalamity a polomy jsou běžné nejen ve všech středoevropských zemích ale i na Britských ostrovech, v Austrálii, na Novém Zélandě, nebo v Japonsku (Slodičák 1996). V Evropě je každoročně vytěženo cca 35 mil. m³ dříví jako důsledek přirozených disturbancí, způsobených především větrem (Schelhaas et al. 2003). Také v České republice patří sníh, námraza a především vítr k nejvýznamnějším příčinám nahodilých těžeb (Rychtecká & Urbaňcová 2008).

Pravděpodobnost a intenzita působení abiotických škod (vítr a sníh) může být hodnocena různými metodami. Podle použitých postupů mohou být rozděleny do tří kategorií:

empirické, statistické a mechanické (Kamimura & Shirashi 2007). Empirické metody jsou založeny především na terénních pracích a (nebo) historických záznamech, ze kterých jsou vymezeny rizikové oblasti. Pro Moravskoslezské Beskydy byl empirický postup použit v Oblastním plánu rozvoje lesů (Holuša 2000). Tyto postupy předkládají snadno srozumitelné výsledky, ale nedokáží detailně statisticky zachytit způsobené škody (Gardiner & Quine 2000). Historické záznamy nejsou dostatečně podrobné a úplné (Holuša et al. 2010), terénní šetření má zase omezený prostorový a hlavně časový rozsah a naráží na velkou časovou proměnlivost obrazu poškození (Křístek et al. 2012).

Statistické metody hodnotí a předpovídají škody z dlouhého časového období pomocí regresních analýz a modelů v úrovni i jednotlivých porostů (Jalkanen & Mattila 2000, Kamimura & Shirashi 2007). Použití statistických modelů je omezeno dostupností a věrohodností použitých dat (Kamimura & Shirashi 2007).

Mechanické modely pohlíží na strom jako na jednostranně vetknutý nosník resp. na porost jako soustavu jednostranně vetknutých nosníků a hodnotí odolnost této

*Corresponding author. Štěpán Křístek, e-mail: stepan.kristek@uhul.cz, phone: +420 720504271

soustavy vůči namáhání větrem a sněhovou zátěží fyzikálními metodami technické mechaniky. Pravděpodobnost škod je pak odhadována pomocí modelů kritických rychlostí větru nebo kombinací výšky sněhu s touto rychlostí, spolu s klimatickými modely zachycujícími předpokládané rychlosti větru a výšky sněhové pokrývky ve zvoleném území. Výhodou těchto modelů je adaptabilita pro různé klimatické podmínky a charakteristiky porostů, včetně zhodnocení vlivu lesního hospodářství na stabilitu lesního ekosystému (Gardiner et al. 2000).

V současnosti se používají dva mechanické modely: HWind vytvořený pro hodnocení rizika škod větrem a sněhem v jehličnatých porostech severovýchodních zemí (Peltola et al. 1999) a ForestGALES vyvinutý ve Velké Británii (Gardiner & Quine 2000). Existují i další modely pro působení větru („WINDARC“ – Lekeš & Dandul 2000), které však nezohledňují sněhovou zátěž. Pääta et al. (1999) kombinoval pro krátkodobou zátěž sněhem regresní statistický model se simulací mechanickým modelem HWind. Vicena (2003) navrhuje pro námrazové polomy postup empirického zjišťování rozsahu, který lze s úspěchem použít i pro sběr dat o poškození sněhem. Jeho metodou zjištěná podrobná data se mohou stát vstupem do statistického modelu.

Vytvoření modelu potenciálního ohrožení smrkových porostů sněhem může být jedním z nástrojů lesního managementu pro plánování a realizaci opatření s ohledem na odolnost porostů i případnou sanaci škod. Z ekonomického hlediska narušení hospodářských lesů snižuje výnos z těžby dříví a naopak zvyšuje náklady na nahodilé těžby a obnovu a způsobuje problémy v lesním hospodářství (Savill 1983). Všechny modely potřebují podrobná data o poškození lesních porostů i jednotlivých stromů (Křístek et al. 2012, Hlásny et al. 2011) a také o parametrech škodlivého činitele (Křístek et al. 2011b, Hlásny et al. 2011). Většina studií bere v úvahu pouze poškození vedoucí k odumření stromů (např. Peltola et al. 2000; Klopčic et al. 2009; Gardiner & Quine 2000), nebo intenzitu poškození (Jalkanen & Matilla 2000) často jen na základě evidence nahodilých těžeb lesním provozem (Konôpka et al. 2007). Pro sestavení modelu je důležité vymezení modelových situací, tj. charakteristických kombinací hodnot jednotlivých veličin, které vznikají poškození ovlivňují. Cílem příspěvku je popsat modelové situace (Hlásny et al. 2011) z hlediska důsledku: projevu (intenzity) poškození porostů na straně vysvětlované proměnné (receptoru) a z hlediska příčiny: (kvantitativních parametrů) sněhu na straně vysvětlující proměnné (stresoru). Údaje z jednotlivých zimních sezón a (nebo) meteorologických situací jsou rozřazeny a sdruženy podle podobnosti, resp. rozdílnosti naměřených hodnot.

2. Materiál a metody

2.1. Studované území

V letech 2006–2011 bylo poškození porostů sněhem předmětem intenzivního studia v povodí přehradní nádrže Šance v Moravskoslezských Beskydech (49°23'19" – 49°33'03" N; 18°21'50" – 18°32'24" E; obr. 1). Celková plocha povodí je 14,5 tis. ha, z toho plocha lesů 12,6 tis. ha; nadmořská výška území je od 508 m n.m. (střední hladina

vodní nádrže) do 1323 m n.m. (vrchol Lysé hory). Území patří k oblastem s nejvyššími srážkovými úhrny v ČR (Tolasz et al. 2007), na Lysé hoře byla zaznamenána nejvyšší sněhová pokrývka ze všech meteorologických stanic v České republice (491 cm dne 8.–9. března 1911).

V dřevinné skladbě převládá z 80 % smrk *Picea abies* (L.) Karst., převážně na nepůvodních stanovištích (75 % – Culek 1996). Pokrývá 5. až 7. lesní vegetační stupeň (LVS) podle lesnicko-typologické klasifikace (Plíva 1971), přičemž 80 % území leží v pátém jedlobukovém LVS (Holuša 2004). Původní jedlobukové lesy byly téměř vytěženy během valašské kolonizace v 16. století (Pavelka & Trezner 2001), současné smrkové porosty jsou alochtonními (ve smyslu COUNCIL DIRECTIVE 1999/105/EC) neboli sekundárními lesy (Slodičák 1996; Slodičák & Novák 2006). Obnova lesů Beskyd smrkem v 19. století byla založena převážně reprodukčním materiálem pocházejícím z jižních Tyrol (oblast Innsbrucku; Holuša 2004), který není přizpůsoben přírodním podmínkám středoevropských Karpat. Vyznačuje se vysokou produkcí, širokou korunou a nízkou odolností vůči mechanickému poškození abiotickými činiteli – větrem, sněhem a námrazou (Nykänen et al. 1997; Rottmann 1985; Valinger et al. 1993).



Obr. 1. Poloha zájmového území

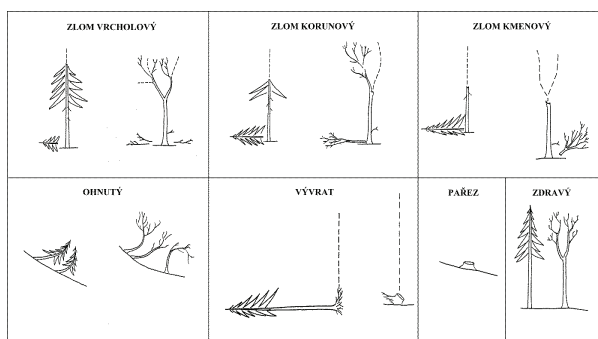
Fig. 1. Study area's location.

Legend: 1323 m a.s.l. Lysá hora, 508 m a.s.l. Šance reservoir, 2×2 km grid; Study plots: Snow measurement, Snow damage

2.2. Poškození porostů sněhem

Data o poškození porostů sněhem byla sbírána v síti studijních ploch – transektů proložených polygony porostních skupin. Design výběru studijních ploch byl stanoven kombinací systematického vzorkování a stratifikovaného náhodného vzorkování (Křístek et al. 2012). Pro výběr studijních ploch byla zájmovým územím proložena čtvercová

síť 2×2 km. V každém čtverci pak bylo vybráno po jedné porostní skupině z každé dvacetileté věkové třídy (zpravidla 6–8 porostních skupin na čtverec), která splňovala další výběrová kritéria (převaha zastoupení smrku ztepilého, jednoduchost vertikální struktury, výskyt na úhlopříčce proložené čtvercem). Studijní plocha byla založena jako transekt vybranou porostní skupinou; šířka transektu byla volena přímo v terénu tak, aby se na studijní ploše vyskytovalo nejméně 100 stromů (Hlásny et al. 2011). Celkem bylo vybráno 365 porostních skupin, což je přibližně 6,8 % všech porostních skupin v oblasti, a proběhlo šest opakovaných hodnocení vždy okolo 45 tis. jedinců. Stromy byly zařazovány do typů poškození (Vicena 2003, Křístek et al. 2012, viz obr. 2): zdravý, ohnutý, vrcholový zlom, korunový zlom, kmenový zlom, vývrát, pařez z asanační těžby, staré poškození sněhem a námrazou. Poškození bylo vyčísleno jako procento nově poškozených (zlomených, vyvrácených nebo ohnutých) stromů z celkového počtu stromů na transektu. Jako poškozený strom byl počítán také čerstvý pařez z asanační těžby.



Obr. 2. Typy mechanického poškození stromů sněhem a námrazou (obr. převzat z Křístek et al. 2012, autorka kreseb Petra Vojteřelová) **Fig. 2.** Types of snow and ice damage to trees (Křístek et al. 2012). Left to right, upper: Top breakage, Crown breakage, Trunk breakage; bottom: Bending, Uprooting, Stump, Without damage.

2.3. Vlastnosti sněhové pokrývky

Kvantitativní parametry sněhové pokrývky byly měřeny v identické dvoukilometrové čtvercové síti: V každém z 52 čtverců byl založen nejméně jeden duplex studijních ploch pro měření sněhu – vždy jedna volná plocha mimo les a nejméně jedna plocha v přilehlém lesním porostu. Výběr studijních ploch vycházel ze stratifikace, kde na jednotlivých úrovních se uplatnily metody selektivního vzorkování, prostorového výběru (jitteringu), ale rozhodující roli hrál výběr podle přístupnosti (accessibility sampling). Na studijních plochách byla měřena výška sněhové pokrývky, objem a hmotnost odebraných vzorků sněhu. Z naměřených hodnot byly vypočteny parametry: průměrná výška sněhové pokrývky, hustota a vodní hodnota sněhu (tabulka 1, Křístek et al. 2011b). Měření bylo opakováno několikrát během zimní sezóny, přednostně v období kulminace vodní hodnoty sněhu před začátkem jarního tání a v období, kdy docházelo ke sněhovému polomu, např. říjen 2009 (Křístek et al. 2011a). Celkově bylo provedeno 15 opakování expedičního měření na až 122 dílčích podplochách a shromážděna data o celkem 1547 případech průměrné výšky sněhové pokrývky, hustoty a vodní hodnoty sněhu.

Tabulka 1. Kvantitativní parametry sněhové pokrývky

Table 1. Quantitative parameters of snow cover.

Parametr ¹⁾	Značka ²⁾	Měrná jednotka ³⁾	Vzorec ⁴⁾
Výška sněhu ⁵⁾	d	cm	přímé měření ⁶⁾
Výška odebraného vzorku ⁷⁾	d _{sn}	cm	přímé měření ⁶⁾
Hmotnost vzorku ⁸⁾	m	kg	přímé měření ⁶⁾
Kalibrační objem odběrného válce ⁹⁾	V _k	l	přímé měření ⁶⁾
Průměrná výška sněhové pokrývky ¹⁰⁾	SCE	cm	$\frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$
Hustota sněhu ¹¹⁾	SHU	kg.m ⁻³	$\frac{\sum_{i=1}^n m_i}{\sum_{i=1}^n V_i \cdot 1000}$
Objem odebraného vzorku ¹²⁾	V	l	$\frac{V_i \cdot d_{sn}}{100}$
Vodní hodnota sněhu ¹³⁾	SVH	mm	$\frac{SCE \cdot SHU}{100}$

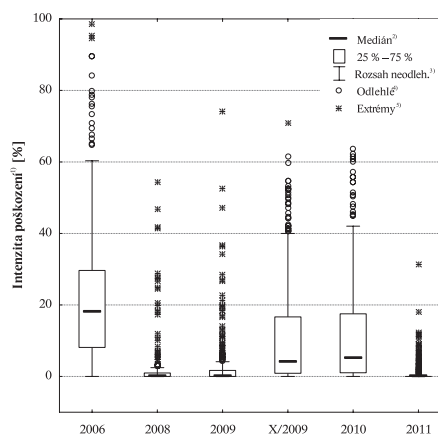
¹⁾Parameter, ²⁾Symbol, ³⁾Unit, ⁴⁾Formula, ⁵⁾Snow depth, ⁶⁾Direct measurement, ⁷⁾Depth of collected sample, ⁸⁾Sample weight, ⁹⁾Calibration volume of sampling cylinder, ¹⁰⁾Average snow cover depth, ¹¹⁾Snow density, ¹²⁾Volume of collected sample, ¹³⁾Snow water equivalent

2.4. Typizace modelových situací

Modelové situace byly hledány jako skupiny výsledků, které jsou charakteristické intenzitou poškození porostů a (nebo) parametry sněhové pokrývky. Soubory hodnoty z jednotlivých let a cyklů měření byly vzájemně porovnávány a situace s podobnými středními hodnotami a variabilitou byly sdruženy do typových skupin, pro každou skupinu pak byly stanoveny typické rozsahy hodnot a tyto použity jako modelové situace. Rozdíly mezi jednotlivými situacemi byly testovány neparametrickou ANOVOU – Kruskal-Wallisovým testem (Kruskal & Wallis 1952) v software Statistica v. 12.

3. Výsledky

Podle intenzity polomů byly výsledky rozděleny do tří typových skupin: (i) Jaro 2006, kdy byl zaznamenán polom ze zimy 2005/2006; (ii) listopad 2009 a jaro 2010, kdy obě měření zachytila polom způsobený sněhovou kalamitou ve dnech 13.–16. 10. 2009 a (iii) jarní měření 2008, 2009 a 2011, odpovídající zimním sezónám 2007/2008, 2008/2009 a 2010/2011, které se vyznačovaly minimálním poškozením (obr. 3, tabulky 2 a 3).



Obr. 3. Intenzita poškození smrkových porostů sněhem v letech 2006–2011 (X/2009 = sněhový polom z října 2009; v roce 2007 byly škody zanedbatelné a intenzita nebyla vyhodnocena)

Fig. 3. Intensity of snow damage to Norway spruce stands during 2006–2011 (X/2009 = snow damage in October 2009; damage was negligible in 2007 and intensity was not evaluated).

¹⁾Intensity of damage, ²⁾Median, ³⁾Non-outlying range, ⁴⁾Moderate outliers, ⁵⁾Extreme outliers

Tabulka 2. Počty hodnocených stromů podle typů poškození v jednotlivých letech (X/2009 = sněhový polom z října 2009)
Table 2. Number of trees evaluated by type of damage for each year (X/2009 = snow damage in October 2009).

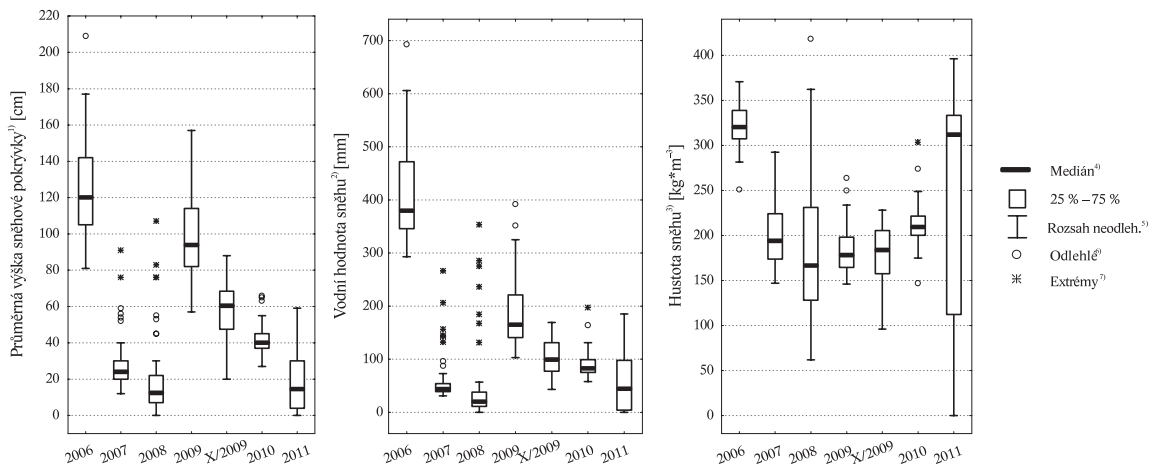
Rok ¹⁾	Zdravý ²⁾	Ohnutý ³⁾	Vrcholový zlom ⁴⁾	Korunový zlom ⁵⁾	Kmenový zlom ⁶⁾	Vývrát ⁷⁾	Pařez ⁸⁾	Staré poškození ⁹⁾
2006	29212	2420	2548	2505	1156	359	303	4343
2008	14415	386	38	13	22	30	111	7283
2009	32907	626	170	74	47	52	239	11457
X/2009	30855	1085	2022	1561	605	362	98	8686
2010	29262	676	1755	1452	591	319	370	9046
2011	26238	55	31	10	25	61	200	16365

¹⁾Year, ²⁾Undamaged, ³⁾Bending, ⁴⁾Top breakage, ⁵⁾Crown breakage, ⁶⁾Trunk breakage, ⁷⁾Uprooting, ⁸⁾Stump, ⁹⁾Old damage

Tabulka 3. Vícenásobné porovnání poškození smrkových porostů sněhem v jednotlivých zimních obdobích (Kruskal-Wallis test: $H(5, N = 2025) = 851,25; p = 0,000$; statisticky významný rozdíl: * $p < 0,0001$, ** $p < 0,05$; zvýrazněny hodnoty, kde nebyl zjištěn významný rozdíl)

Table 3. Multiple comparisons of damage to spruce stands for each winter (Kruskal–Wallis test: $H(5, N = 2025) = 851.25; p = 0.000$; statistically significant difference: * $p < 0.0001$, ** $p < 0.05$; highlighted values indicate insignificant differences).

		2008	2009	X/2009	2010	2011
2006	R:1561,3	17,27803*	19,73767*	8,46346*	7,53252*	23,08679*
2008	R:678,6		0,53230	10,10728*	10,87835*	2,32434
2009	R:705,8			11,28973*	12,19481*	3,36726**
X/2009	R:1194,4				0,92060	14,64924*
2010	R:1234,3					15,54910*
2011	R:560,0					



Obr. 4. Parametry sněhové pokrývky v zimách 2006–2011 (X/2009 = sněhová kalamita 13.–16. 10. 2009)

Fig. 4. Snow cover parameters in winters of 2006–2011 (X/2009 = heavy snowfall from 13–16/10/2009).

¹⁾Snow cover depth, ²⁾Snow water equivalent, ³⁾Snow density, ⁴⁾Median, ⁵⁾Non-outlying range, ⁶⁾Moderate outliers, ⁷⁾Extreme outliers

Poškození porostů koresponduje s naměřenými parametry sněhové pokrývky (obr. 4) a lze je rovněž přiřadit ke třem typům situací zimních sezón. (i) Největší množství sněhu bylo zjištěno v zimě 2005/2006 (výška sněhové pokrývky 245 cm, dne 8. 3. 2006 na hřebeni hory Smrk, 1194 m n.m., maximum vodní hodnoty sněhu 693 mm). (ii) Ve dnech 13.–14. 10. 2009 napadla přívalová sněhová srážka na nezamrzlou půdu a nepřipravenou vegetaci před začátkem období vegetačního klidu o průměrné výšce sněhové pokrývky podle mikroklimatické situace od 26 do 88 cm. (iii) Roky 2007–2008 a 2010–2011 se vyznačovaly mírnými zimami s nízkým množstvím sněhu. Výjimkou je pouze situace v únoru–březnu 2009, kdy dosahovala výška sněhové pokrývky (maximum 248 cm, 26. 3. 2009 pod vrcholem Lysé hory, 1291 m n.m.) hodnot srovnatelných se zimou 2005/2006 (tabulka 4). Vodní hodnota sněhu byla sice o něco nižší, než v roce 2006, přesto však signifikantně vyšší než v ostatních případech, včetně října 2009. Hustota sněhu pak byla podobná, jako v letech 2007, 2008 a říjnu 2009 (obr. 4).

Podle výšky sněhové pokrývky lze naměřené sněhové situace rozdělit do tří skupin (tabulka 4, obr. 4): (i) zima 2005/2006 + zima 2008/2009, (ii) říjen 2009 + zima 2009/2010, (iii) zima 2006/2007 + 2007/2008 + 2010/2011. Podle vodní hodnoty sněhu jsou skupiny totožné, pouze zima 2008/2009 se vyčleňuje jako samostatný typ, který je svými hodnotami nižší než hodnoty ze zimy 2005/2006, ale vyšší než všechny ostatní změřené situace (tab. 5). Nejmenší odlišnosti jsou mezi středními hodnotami hustoty sněhu (tab. 6). Statisticky zde také vyplývají tři signifikantně odlišné situace, jejich uspořádání se ale částečně liší: (i) Zima 2005/2006 zůstává jako sezóna nejbohatší na sněhové srážky a s největšími škodami, (iii) říjen 2009 se příliš neliší od ostatních sezón 2006/2007 + 2007/2008 + 2008/2009 a přiřadit sem lze i zimu 2009/2010, (ii) měření v roce 2011 se pak kromě vysokých středních hodnot (podobných zimě 2005/2006) vymyká především velkou variabilitou vypočtené hustoty sněhu (obr. 4).

Tabulka 4. Vícenásobné porovnání výšky sněhové pokrývky v jednotlivých zimních obdobích (Kruskal-Wallis test: $H(6, N = 388) = 305,1381$, $p = 0,000$; statisticky významný rozdíl: $***p < 0,0001$, $**p < 0,01$; zvýrazněny hodnoty, kde nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl)

Table 4. Multiple comparisons of snow cover depth for each winter (Kruskal-Wallis test: $H(6, N = 388) = 305,1381$; $p = 0,000$; statistically significant difference: $***p < 0,0001$, $**p < 0,01$; highlighted values indicate no significant difference determined).

		2007	2008	2009	X/2009	2010	2011
2006	R:351,54	10,25959***	12,48726***	1,73729	5,369802***	7,626686***	12,38836***
2007	R:126,87		2,08240	8,83007***	4,863978***	2,808088	1,98200
2008	R:82,707			11,11272*	7,010377***	4,970550***	0,10224
2009	R:314,14				3,795024**	6,093753***	11,01048***
X/2009	R:232,86					2,147251	6,91096***
2010	R:186,68						4,86875***
2011	R:84,836						

Tabulka 5. Vícenásobné porovnání vodní hodnoty sněhu v jednotlivých zimních obdobích (Kruskal-Wallis test: $H(6, N = 388) = 264,3829$, $p = 0,000$; statisticky významný rozdíl: $***p < 0,0001$, $**p < 0,01$, $*p < 0,05$; zvýrazněny hodnoty, kde nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl)

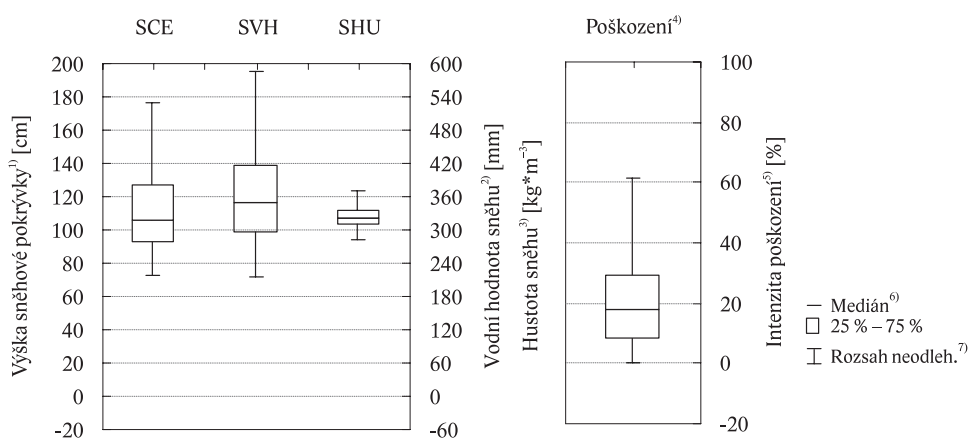
Table 5. Multiple comparisons snow water equivalent for each winter (Kruskal-Wallis test: $H(6, N = 388) = 264,3829$; $p < 0,000$; statistically significant difference: $***p < 0,0001$, $**p < 0,01$, $*p < 0,05$; highlighted values indicate no significant difference determined).

		2007	2008	2009	X/2009	2010	2011
2006	R:361,60	10,87284***	13,08904***	3,26607*	6,784186***	8,002332***	11,13013***
2007	R:123,50		2,06006	7,91141***	4,045636**	3,057366*	0,07154
2008	R:79,81			10,15445***	6,155708***	5,201709***	2,02501
2009	R:291,28				3,717915**	4,908490***	8,12943***
X/2009	R:211,65					1,071284	4,18670**
2010	R:188,61						3,18552*
2011	R:121,98						

Tabulka 6. Vícenásobné porovnání hustoty sněhu v jednotlivých zimních obdobích (Kruskal-Wallis test: $H(6, N = 379) = 135,1488$, $p = 0,000$; statisticky významný rozdíl: $***p < 0,0001$, $**p < 0,01$, $*p < 0,05$; zvýrazněny hodnoty, kde nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl)

Table 6. Multiple comparisons of snow density for each winter (Kruskal-Wallis test: $H(6, N = 379) = 135,1488$; $p = 0,000$; statistically significant difference: $***p < 0,0001$, $**p < 0,01$, $*p < 0,05$; highlighted values indicate insignificant differences).

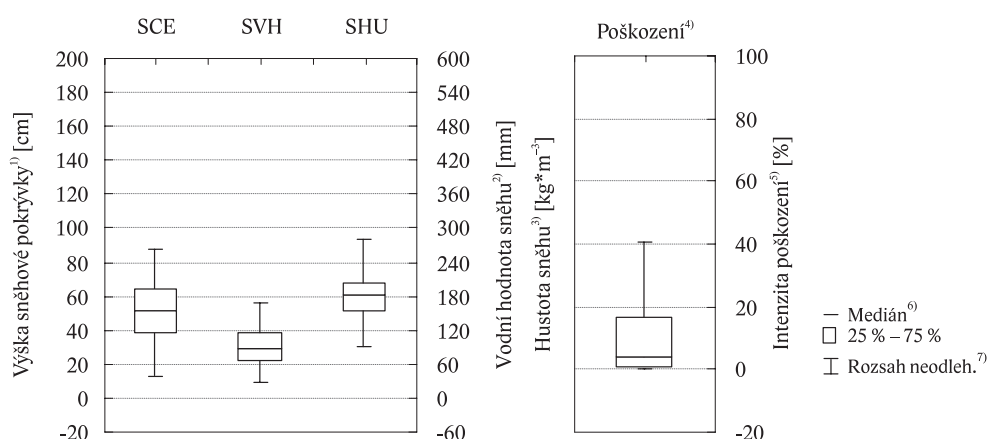
		2007	2009	2009	X/2009	2010	2011
2006	R:325,08	7,283428***	8,082172***	9,383691***	9,232443***	6,065490***	4,092347**
2007	R:169,28		0,986311	2,004979	2,044991	1,332539	3,366353*
2008	R:147,96			0,951116	1,018242	2,297838	4,283687**
209	R:127,74				0,095181	3,389656*	5,469897***
X/2009	R:125,75					3,391485*	5,413808***
2010	R:197,00						2,056408
2011	R:239,02						



Obr. 5. Parametry sněhové pokrývky a intenzita poškození porostů, modelová situace 1; SCE = výška sněhové pokrývky, SVH = vodní hodnota sněhu, SHU = hustota sněhu

Fig. 5. Snow cover parameters and intensity of snow damage, model scenario 1; X: SCE = snow cover depth, SVH = snow water equivalent, SHU = snow density.

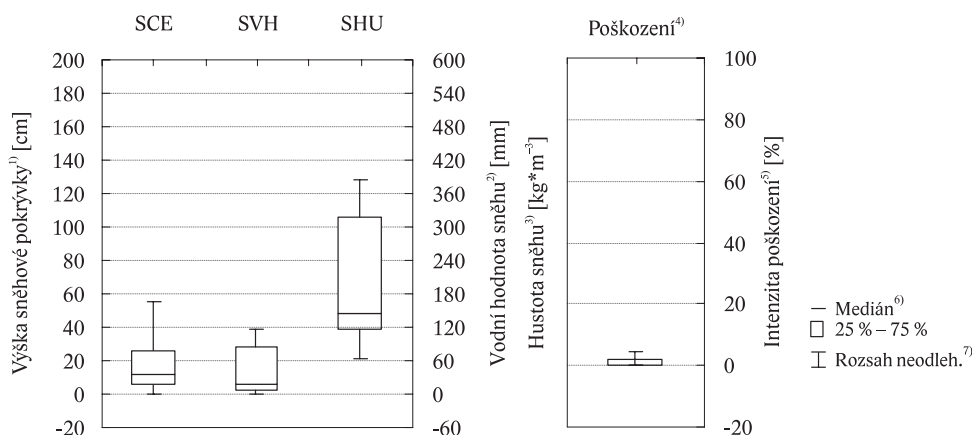
¹⁾ Snow cover depth, ²⁾ Snow water equivalent, ³⁾ Snow density, ⁴⁾ Damage, ⁵⁾ Intensity of damage, ⁶⁾ Median, ⁷⁾ non-outlying range.



Obr. 6. Parametry sněhové pokrývky a intenzita poškození porostů, modelová situace 2; SCE = výška sněhové pokrývky, SVH = vodní hodnota sněhu, SHU = hustota sněhu

Fig. 6. Snow cover parameters and intensity of snow damage, model scenario 2; X: SCE = snow cover depth, SVH = snow water equivalent, SHU = snow density.

¹⁾Snow cover depth, ²⁾Snow water equivalent, ³⁾Snow density, ⁴⁾Damage, ⁵⁾Intensity of damage, ⁶⁾Median, ⁷⁾Non-outlying range.



Obr. 7. Parametry sněhové pokrývky a intenzita poškození porostů, modelová situace 3; SCE = výška sněhové pokrývky, SVH = vodní hodnota sněhu, SHU = hustota sněhu

Fig. 7. Snow cover parameters and intensity of snow damage, model scenario 3; X: SCE = snow cover depth, SVH = snow water equivalent, SHU = snow density.

¹⁾Snow cover depth, ²⁾Snow water equivalent, ³⁾Snow density, ⁴⁾Damage, ⁵⁾Intensity of damage, ⁶⁾Median, ⁷⁾Non-outlying range

Souhrnem statistického hodnocení podobnosti výsledků intenzity poškození porostů i parametrů sněhové pokrývky je rozdělení sezón do tří modelových situací (tab. 7, Hlásny et al. 2011):

- (i) Katastrofální poškození porostů dlouhotrvající zátěží těžkého sněhu odpovídá zimě 2005/2006 (obr. 5).
- (ii) Střední diferencované poškození především v nižších polohách časným sněhem odpovídá přívalové sněhové srážce 13.–14. 10. 2009. Jeho následky se promítly i do hodnocení zimy 2009/2010 (obr. 6).
- (iii) Normální průběh zimy s průměrným až podprůměrným množstvím sněhu nezpůsobuje významné škody. Střední hodnota intenzity poškození nedosahuje 3 % (obr. 7). Průběh zimy odpovídá sezónám 2006/2007, 2007/2008 a 2010/2011.

Tabulka 7. Multikriteriální vymezení modelových situací podle sněhových sezón 2005–2011

Table 7. Multi-criteria analysis of model scenarios by snow seasons 2005–2011.

Sezóna ¹⁾	Poškození ²⁾	Výška sněhové pokrývky ³⁾	Vodní hodnota sněhu ⁴⁾	Hustota sněhu ⁵⁾	Celkem ⁶⁾
2005/2006	i	i	i	i	i
2006/2007	iii*	iii	iii	iii	iii
2007/2008	iii	iii	iii	iii	iii
2008/2009	iii	i	iv	iii	—
X/2009	ii	ii	ii	iii	ii
2009/2010	ii	ii	ii	iii	ii
2010/2011	iii	iii	iii	ii	iii

* V roce 2007 nebylo poškození s finančních důvodů hodnoceno, protože bylo velmi nízké.

¹⁾Winter, ²⁾Damage, ³⁾Snow cover depth, ⁴⁾Snow water equivalent, ⁵⁾Snow density, ⁶⁾Total

Zima 2008/2009 se vyznačovala větším množstvím převážně lehkého až středně těžkého sněhu, který nezpůsobil významné škody, a nelze ji pro vymezení modelových situací použít.

4. Diskuse

Při výzkumu v povodí nádrže Šance v letech 2006–2011 byly zaznamenány dvě události s výskytem rozsáhlých sněhových polomů (obr. 3, Hlásny et al. 2011). Při hodnocení na jaře 2006 byl zachycen polom vzniklý během zimy 2005/2006, především na počátku prosince 2005 (Konôpka et al. 2007). Druhým případem byl polom způsobený sněhovou kalamitou ve dnech 13.–16. 10. 2009, který byl zaznamenán ihned při následném šetření v listopadu 2009 po odtátí většiny časného sněhu a poté znovu při pravidelném hodnocení na jaře 2010. Protože většinu polomu z října 2009 nebylo možné v krátkém meziobdobí po roztátí časného sněhu (konec října) do nástupu normální zimy asanovat a při pravidelném terénním šetření rozsahu polomů na jaře 2010 nebylo možné vizuálně odlišit škody vzniklé v říjnu 2009 od případných následných poškození vzniklých až během normální zimní sezóny, zahrnují výsledky prezentované za rok 2010 hlavně škody z října 2009. Srovnání výsledků z října 2009 s jarem 2010 (tab. 3) neukazuje statisticky významné rozdíly a napovídá, že během normální zimy 2009/2010 již k významným škodám nedošlo. Během zim 2007/2008, 2008/2009 a 2010/2011 nedošlo k vážnému poškození porostů, ¾ všech hodnocených porostů byly poškozeny s intenzitou maximálně 2 % (v roce 2011 bylo dokonce více než 80 procent smrkových porostů zcela bez známek čerstvého poškození), přičemž bylo-li v každém roce zaznamenáno několik extrémních hodnot s vyšší intenzitou poškození, jednalo se převážně o poškození mladých porostů ohybem (viz tab. 2), které má nulový hospodářský význam. V zimě 2006/2007 bylo poškození porostů tak malé (srovnatelné s rokem 2011), že v roce 2007 se terénní šetření neuskutečnilo, a škody ze zimy 2006/2007 můžeme považovat za prakticky nulové.

Kvantifikované parametry sněhové pokrývky jsou měřítkem množství sněhu jako škodlivého činitele v ochraně lesů (Stolina 1985), který je v kauzálním pojetí příčinou výše popsaných následků – poškození porostů. Mezi vodní hodnotou sněhu, výškou sněhové pokrývky a hustotou sněhu je vztah, který lze vyjádřit matematickou funkcí $SVH = 0,01 * SCE * SHU$, kde SVH je vodní hodnota sněhu v mm, SCE je výška sněhové pokrývky v cm a SHU je hustota sněhu v $kg * m^{-3}$; 0,01 je přepočtový koeficient použitý pro přepočet rozdílných jednotek, ve kterých jsou jednotlivé veličiny měřeny. Množství sněhu v jednotlivých zimních situacích dobře vyjadřuje výška sněhové pokrývky i vodní hodnota sněhu; nejlépe je množství sněhu vyjádřeno právě vodní hodnotou (Lehtonen et al. 2014), v praxi se však častěji používá výška sněhové pokrývky, neboť její měření je technicky výrazně méně náročné (odpadá složité zjišťování objemu a hmotnosti vzorků, Krístek et al. 2011b) a přitom dobře koreluje s vodní hodnotou sněhu ($r = 0,93$ podle výsledků 2006–2011). Ačkoliv hustota sněhu je významnou vlastností, která by mohla mít klíčový význam pro vznik poškození (viz např. Stolina 1985, Konôpka et al. 2008, Vicena et al. 1979),

naměřené hodnoty tomu příliš nenasvědčují. Problematická je zejména velká variabilita naměřených hodnot hustoty při nízkých výškách sněhové pokrývky (variační koeficient hustoty negativně koreluje s průměrnou výškou sněhové pokrývky $r = -0,373$ – srovnaj výsledky z roku 2011, kdy byla výška sněhové pokrývky extrémně nízká), což je způsobeno zejména sníženou přesností měření při malých objemech odebíraných vzorků profilu sněhové pokrývky (podrobněji Krístek et al. 2011a,b).

Modelové situace vybrané z let 2006–2011 na základě pozorovaného poškození porostů kvantifikovaného podílem poškozených jedinců k celkovému počtu jsou popsány také z hlediska klimatických podmínek: množství sněhu vyjádřené výškou sněhové pokrývky (nad 100 cm v roce 2006, 40 a více cm při jednorázové srážce 13.–15. října 2009, srovnaj Lehtonen et al. 2014), vodní hodnotou a hustotou sněhu. Podle Lehtonena et al. (2014) začíná poškození nevychovaných porostů při sněhové zátěži mezi 20 až 30 $kg * m^{-2}$, ale velikost zátěže potřebné ke vzniku poškození se podstatně liší podle typu (kvality) sněhu v korunách stromů a je podstatný rozdíl mezi zatížením sněhem (suchým, mokřím nebo přemrzlým) a námrazou. Statistické testy v naší studii potvrzují návaznost poškození na klimatické situace (výšku sněhové pokrývky) v roce 2006, říjnu 2009 i v letech 2007–2008 a 2010–2011. Výjimkou je zima 2008/2009, kdy i přes velké množství sněhu (srovnatelné s rokem 2006), k významnému poškození porostů nedošlo. To naznačuje závislost poškození i na dalších faktorech (Konôpka et al. 2007, 2008, Lehtonen et al. 2014), včetně klimatických, jako např. na nástupu zimy a sněžení: 13. 10. 2009 začalo sněžit v nižších polohách z nízké oblačnosti (do 900 m n.m.) a teprve postupně do 15. 10. 2009 sněžení nastupovalo výše spolu se vzestupem oblačnosti a poklesem teploty vzduchu, takže rozložení sněhové pokrývky 16. 10. 2009 mělo výrazně nelineární charakter: do 900 m n.m. stoupala vrstva sněhu s nadmořskou výškou, ale nad 900 m n.m. již byla více méně rovnoměrná. Nástupu a průběhu přívalové srážky časného sněhu pak odpovídalo i poškození porostů. Do 670 m n.m. byly poškozeny všechny porosty a rozsah kalamity byl přibližně stejný jako v roce 2006, ale nad touto hranicí postupně přibývalo zcela nepoškozených porostů, přičemž nad 900 m n.m. se poškození vyskytovalo již jen ojediněle (Hlásny et al. 2011).

5. Závěr

Výsledky ukazují, že se průběh zimy z pohledu nástupu a množství sněhových srážek promítá do poškození porostů. V zimách s průměrnými nebo podprůměrnými sněhovými srážkami k významnému poškození porostů sněhem nedošlo. Byly však zaznamenány dvě odlišné situace rozsáhlých škod: zima 2005/2006 s velkým (nadnormálním) množstvím středně těžkého až těžkého sněhu a přívalová sněhová srážka časného sněhu 13.–15. 10. 2009, která poškodila nepřipravené porosty před ukončením vegetačního období.

Na základě dat o sněhu a poškození porostů byly jednotlivé sezóny rozděleny do tří typických modelových situací. Ty nepostihují všechny možné situace, které mohou v zájmovém území z hlediska poškození porostů sněhem vzniknout, ani nemohou podchytit všechny klimatické faktory, které vznik

poškození podmiňují. Popis modelových situací z hlediska příčiny (množství sněhu) a následku (poškození porostů) je podmínkou nutnou, ale nikoli dostačující, pro vytvoření modelu potenciálního ohrožení porostů sněhem. Tím nelze mít vývoj za dokončený, ale prezentované výsledky dávají dobrý předpoklad pro další rozvoj práce na vytvoření modelu.

Poděkování

Článek vznikl v rámci projektu č. A01/14 financovaného Interní grantovou agenturou FLD ČZU Praha a na základě výsledků projektu NAZV č. QH81334 „Geoprostorové modelování potenciálního ohrožení lesních porostů“ financovaného Ministerstvem zemědělství ČR – Národní agenturou pro zemědělský výzkum.

Literatura

- COUNCIL DIRECTIVE 1999/105/EC of 22 December 1999 on the marketing of forest reproductive material. Official Journal of the European Communities. 245 p.
- Culek, M. (ed.), 1996: Biogeografické členění České republiky. Praha, Enigma, 347 p.
- Gardiner, B. A., Peltola, H., Kellomäki, S., 2000: Comparison of two models for predicting the critical wind speeds required to damage coniferous trees. *Ecol. Model.*, 129:1–23.
- Gardiner, B. A., Quine, C. P., 2000: Management of forests to reduce the risk of abiotic damage – a review with particular reference to the effects of strong winds. *For. Exil. Manage.*, 135:261–277.
- Hlásny, T., Krístek, Š., Holuša, J., Trombik, J., Urbaňcová, N., 2011: Snow disturbances in allochthonous Norway spruce forests: an application of Neural Networks based regression modeling. *Forest ecology and Management*, 262(12):2151–2161.
- Holuša, J. (ed.), 2000: Oblastní plán rozvoje lesů. Přírodní lesní oblast 40. Moravskoslezské Beskydy. Textová část. Platnost 2000–2019. Frýdek-Místek, Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, 225 p.
- Holuša, J., 2004: Health condition of Norway spruce *Picea abies* (L.) Karst. stands in the Beskid Mts. *Dendrobiology* 51 (Suppl.):11–17.
- Holuša, J., Krístek, Š., Trombik, J., 2010: Stability of spruce forests in the Beskids: an analysis of wind, snow and drought damages. *Beskydy*, 3(1):43–54.
- Jalkanen, A., Mattila, U., 2000: Logistic regression models for wind and snow damage in northern Finland based on the National Forest Inventory data. *Forest Ecology and Management*, 135:315–330.
- Kamimura, K., Shirashi, N., 2007: A review of strategies for wind damage assessment in Japanese forests. *J. For. Res.*, 12:162–176.
- Klopčic, M., Poljanec, A., Gartner, A., Boncina, A., 2009: Factors related to natural disturbances in mountain Norway spruce (*Picea abies*) forests in the Julian Alps. *Ecoscience* 16(1):48–57.
- Konôpka, J., Konôpka, B., Nikolov, CH., Raši, R., 2007: Damage to forest stands by snow with regard to altitude in Orava, Pohronie and Kysuce regions. *Lesn. Čas. – Forestry Journal*, 53(3):173–190.
- Konôpka, J., Konôpka, B., Nikolov, CH., 2008: Sněhové polomy v lesních porostech na Slovensku. Analýza kalamity zo zimy 2005/2006. *Lesnícke štúdie* č. 59. Zvolen. Národné lesnícke centrum, Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 65 p.
- Kruskal, W., Wallis, W., A., 1952: Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260):583–621.
- Krístek, Š., Holuša, J., Urbaňcová, N., Trombik, J., Drápela, K., 2011a: Expeditionary measurements of snow in extensively forested Carpathian mountains: evaluating parameters variability. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 6(2):45–58.
- Krístek, Š., Urbaňcová, N., Holuša, J., Tomeček, P., 2011b: Měření vlastností sněhové pokrývky v lese a mimo les. Certifikovaná metodika. *Lesnícký průvodce* 2/2011. Jiloviště-Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i., 73 p.
- Krístek, Š., Urbaňcová, N., Holuša, J., 2012: Hodnocení škod způsobených sněhem na lesních porostech. Certifikovaná metodika. *Lesnícký průvodce* 7/2012. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i., 40 p.
- Lehtonen, I., Hoppula, P., Pirinen, P., Gregow, H., 2014: Modeling crown snow loads in Finland: a comparison of two methods. *Silva Fennica*, 48(3):1120. Dostupné na internete: <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1120>
- Lekeš, V., Dandul, I., 2000: Using airflow modeling and spatial analysis for defining wind damage risk classification (WIN-DARC). *Forest Ecology and Management* 135:331–344.
- Lipina, P., 2014: 491 cm celkové sněhové pokrývky na Lysé hoře v Beskydech v zimní sezóně 1910–11. *Infomet. Český hydro-meteorologický ústav*. Dostupné na internete: <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&id=1394453361>
- Nykänen, M. L., Peltola, H., Quine, C. P., Kellomäki, S., Broadgate, M., 1997: Factors affecting snow damage of trees with particular reference to European conditions. *Silva Fennica*, 31:193–213.
- Päätaalo, M. J., Peltola, H., Kellomäki, S., 1999: Modelling the risk of snow damage to forests under short-term snow loading. *Forest Ecology and Management*, 116: 51–70.
- Pavelka, J., Trezner, J. (eds.), 2001: Příroda Valašska. Vsetín, Český svaz ochránců přírody, ZO 76/06 Orchidea, 568 p.
- Peltola, H., Kellomäki, S., Vaisanen, 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. *Can. J. For. Res.*, 29:647–661.
- Peltola, H., Kellomäki, S., Hassinen, A., Granander, M., 2000: Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland. *Forest Ecology and Management*, 135:143–153.
- Plívs, K., 1971: Typologický systém ÚHÚL. Brandýs nad Labem, Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, 90 p.
- Rottmann, M., 1985: Schneebruchschäden in Nadelholzbeständen. Beiträge zur Beurteilung der Schneebruchgefährdung, Zur Schadensvorbeugung und Zur Behandlung schneegeschädigter Nadelholzbestände. Frankfurt am Main, J. D. Sauerlander's Verlag, 159 p.
- Rychtecká, P., Urbaňcová, N., 2008: Škodliví činitelé lesa v letech 1996–2006 – I. část Abiotičtí a antropogenní činitelé. *Lesnícká práce*, 6:14–15.
- Savill, PS., 1983: Silviculture in windy climate. *For. Abs.*, 44:473–488.
- Schelhaas, M. J., Nabuurs, G. J., Schuck, A., 2003: Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology*, 9:1620–1633.
- Slodičák, M., 1996: Stabilizace lesních porostů výchovou. *Lesnícký průvodce*, Jiloviště-Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 52 p.
- 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.

- Spiecker, H., 2000: The growth of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) in Europe within and beyond its natural range. In: Hasenauer, H. (ed.): International Conference on Forest Ecosystem Restoration. Ecological and Economic Impacts of Restoration Processes in secondary coniferous Forests. Proceedings of the International Conference held in Vienna, Austria, 10–12 April 2000, p. 247–256.
- Stolina, M. (ed.), 1985: Ochrana lesa. Bratislava, Príroda, 480 p.
- Tolasz, R., Brázdil, R., Bulíř, O., Dobrovolný, P., Dubrovský, M., Hájková, L. et al., 2007: Atlas podnebí Česka. 1. vydání. Praha, Olomouc, Český hydrometeorologický ústav, Universita Palackého, 255 p.
- Valinger, E., Lundqvist, L., Bondesson, L., 1993: Assessing the risk of snow and wind damage from tree physical characteristics. *Forestry*, 66:249–260.
- Vicena, I., Pařez, J., Konôpka, J., 1979: Ochrana lesů proti polomům. Praha, SZN, 244 p.
- Vicena, I., 2003: Námraza v našich lesích. Písek, Matice lesnická, 129 p.

Summary

During 2006–2011, snow damage to artificial spruce stands in the basin of the Šance reservoir (about 14,500 ha, Fig. 1) was monitored. Repeated measurements of snow and evaluation of damage to stands were performed in 364 experimental plots. In every year, damage to about 45,000 trees was evaluated.

The comparison of the extent of damage to spruce stands in individual winter seasons using the Kruskal-Wallis test (Table 3) indicates differences in damage intensity: while in the winters of 2007–2009 and 2010/2011 damage was negligible, in the winter of 2005/2006 a snowfall of calam-

ity proportions occurred, and in autumn 2009 snowfall was recorded during 13–16 October with corresponding damage intensity in spring 2010 (Fig. 3).

The Kruskal-Wallis test also confirmed significant differences in the quantitative parameters of snow cover between individual snow situations, even though the values of snow cover depth (Table 4), snow water equivalent (Table 5), and snow density (Table 6) differed only partially: the “catastrophic” winter of 2005/2006 differed in all parameters, while in the remaining situations snow density was not entirely informative, and mainly its variability changed, reaching its maximum at minimum snow cover depths (Fig. 4). The difference between the winters of 2005/2006 and 2008/2009 is seen mainly in snow water equivalent (Table 5). The torrent of early snow on 13–15 October 2009 was only slightly above-average from the perspective of quantitative parameters of snow cover. At first glance (Fig. 4) it was not an exception to the normal winters of 2007–2008 and 2010–2011, even though the differences in snow cover depth (Table 4) and snow water equivalent (Table 5) were revealed.

In evaluating the intensity of stand damage and quantitative snow parameters, three different scenarios were characterised (Table 7): (i) catastrophic damage caused by heavy snow in the winter of 2005/2006 (Fig. 5), (ii) damage caused by a torrential fall of early snow in October 2009 (Fig. 6), and (iii) the “normal” course of winter with minimal damage in the remaining cases (Fig. 7). Different intensities of stand damage and different amounts of snow expressed in quantitative parameters of snow cover corresponded to these model scenarios.