

POŠKOZENÍ ALOCHTONNÍCH SMRKOVÝCH POROSTŮ SNĚHEM: ANALÝZA A NÁVRH MANAGEMENTU S PODPOROU GEOINFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Štěpán KRÍSTEK¹, Jaroslav HOLUŠA^{2,3}, Tomáš HLÁSNÝ^{3,4}, Jiří TROMBIK⁵

¹ Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem, pobočka Frýdek-Místek, Nádražní 2811, 738 01, Frýdek-Místek, Česká republika

kristek.stepan@uhul.cz

² Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i., pracoviště Frýdek-Místek, Na Půstkách 39, 738 01, Frýdek-Místek, Česká republika

holusaj@seznam.cz

³ Katedra ochrany lesa a myslivosti, Fakulta lesnická a dřevařská, Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 1176, 165 21, Praha 6 – Suchbátka, Česká republika

⁴ Národné Lesnícke Centrum – Lesnícky Výskumný Ústav Zvolen, T. G. Masaryka 22, 960 92, Zvolen, Slovenská republika

hlasny@nlcsk.org

⁵ Přírodovědecká fakulta, Ostravská univerzita v Ostravě, 30. dubna 22, 701 03, Ostrava, Česká republika

jiri.trombik@gmail.com

Abstrakt

Sníh je ekologickým faktorem významně limitujícím distribuci, růst a obnovu vegetace; lze očekávat, že jeho význam bude v zeměpisných šířkách střední Evropy v budoucnu narůstat. Bylo studováno poškození nepůvodních smrkových porostů v povodí vodní nádrže Šance (cca 14500 ha) v Moravskoslezských Beskydech. V letech 2006 – 2011 byl opakovaně měřen sníh a hodnoceno poškození porostů na 364 zkušných plochách, každoročně bylo hodnoceno poškození cca 40 000 stromů.

Pomocí regresního modelování s využitím umělých neuronových sítí byl studován vztah mezi čtyřmi typy poškození sněhem (vrškový zlom, korunový zlom, kmenový zlom a vývrat) jako vysvětlovanou proměnnou a vlastnostmi porostu a prostředí jako vysvětlující proměnnou. Bylo analyzováno poškození sněhem pro dvě situace, kdy došlo k výraznému poškození porostů: zima 2005/2006 a říjen 2009. Podle analýzy byly vybrány pro každou událost a typ poškození 4 nejlivnější proměnné a bylo modelováno poškození porostů v těchto dvou situacích. Porostní charakteristiky byly aktualizovány k roku 2015 pomocí růstových tabulek a byl vytvořen model ohrožení porostů s aktualizovanými parametry pro tři hypotetické modelové situace. Pro 25 % nejvíce ohrožených porostů byla navržena opatření podle modelů vývoje porostů, věku, zakmenění a poškození sněhem. Výsledný GIS zobrazuje jednotlivé faktory, jejich vliv na poškození sněhem, výsledné modelové poškození porostů a scénář návrhu opatření. Základní územní jednotkou je lesnický detail – polygony porostních skupin.

Abstract

Snow is an important ecological factor limiting vegetation distribution, growth, and regeneration, while the importance of snow in the latitudes of Central Europe is expected to increase in the future. The damage caused by the snow was studied in the secondary spruce stands at the basin (about 14500 ha) of dam "Šance" in the Moravian-Silesian Beskids. In the years 2006 – 2011, the snow cover was repeatedly measured and the vegetation damage was assessed at 364 plots where the annual damage was estimated to about 40,000 trees.

Using the neural networks-based regression modelling, the relationship between four types of snow damage (top tree, crown, and stem breakage, and uprooting) as the dependent variable and stand and environmental parameters as the explanatory variable was studied. The snow damage was analysed for two situations with significant damage to stands: winter 2005/2006 and October 2009. According to the analysis, the four most influential variables were selected for each event and the type of damage, and the snow damage was modelled for these two situations. Stand parameters were updated to 2015 using growth charts and the risk

model of stand damage with was updated with the parameters for the three hypothetical model situations. According to the modelled stand development, age, stocking and snow damage, the set of suitable management practices was proposed for the 25% of the most threatened stands. The resulting GIS shows the individual factors and their influence to the snow damage, damage resulting model and variant management. The basic territorial unit is expressed by the detailed forest stand polygon.

Klíčová slova: lesní porost; škody sněhem; smrk ztepilý; řízení rizik; umělé neuronové sítě

Keywords: forest stand; snow damage; Norway spruce; risk management; artificial neural networks

1 ÚVOD

Sníh je charakteristickým sezónním fenoménem mírných až subpolárních pásem Země. Jeho množství a doba trvání sněhové pokrývky je úzce svázána s průběhem teplot a srážek a také např. s délkou vegetačního období (Tolasz et al. 2007). Zatímco v zimní sezóně tvoří sněhová pokrývky přirozenou zásobárnu vody (Škvarenina et al. 2002) a kryt půdního povrchu i podzemních a přizemních částí vegetace, výskyt sněhu ve vegetačním období – časný nebo pozdní sníh – bývá často spojen s kalamiťnými disturbancemi, doprovázejícími mezní teplotní a synoptické situace (Hlásny et al. 2011). Sníh zachycený na povrchu vegetace představuje mechanickou zátěž, která přirozeně vegetaci narušuje. Narušení vegetace sníh působí např. gravitačními svahovými pohyby: plazivý sníh, laviny. Rovněž při přirozeném gravitačním sesedání sněhu ve vertikálním směru spojeném se zvyšováním hustoty sněhu a jeho metamorfózou dochází k utlačování těl zakrytých vytrvalých rostlin, především dřevin. U vyšších dřevin (keřů a stromů) zvyšuje sníh zachycený v korunách vertikální polohu jejich těžiště a zároveň zatěžuje kmeny a větve; zvyšuje tak celkové mechanické namáhání a snižuje stabilitu dřeviny. Pokud síly působící na dřevo stromu (keře) překročí mez pevnosti, dojde k poškození (Peltola et al. 1999): prasknutí, zlomu, ohnutí, příp. vyvrácení stromu. Série těchto poškození v lesním porostu znamená sněhový příp. námrazový, větrný nebo kombinovaný polom (Vicena 2003).

Se sněhovými polomy se lesníci setkávají od počátku cílevědomého lesního hospodářství. V současnosti je sníh druhým nejvýznamnějším abiotickým škodlivým činitelem v ČR a třetí nejčastější příčinou nahodilých těžeb, na kterých se podílí v dlouhodobém průměru přibližně 10 % (Rychecká & Urbaňcová 2008). V Moravskoslezských Beskydech byl v období let 1875 – 2008 zaznamenán sněhový polom v celkem 26 sezónách, z toho v 5 případech se jednalo o kalamitu rozsahem překračující roční etát, naposledy v zimě 2005/2006 (Holuša et al. 2010). Sněhová kalamita v říjnu 2009 dosáhla podobného rozsahu prakticky na celém území ČR v nižších nadmořských výškách – v Beskydech do 670 m n.m. (Hlásny et al. 2011), a na listnáčích.

Ke studiu pravděpodobnosti a intenzity abiotických živelních: větrných, sněhových nebo námrazových poškození lesních porostů jsou užívány různé metody, které lze podle použitých postupů rozdělit do tří skupin: empirické, statistické a mechanické (Kamimura & Shirashi 2007). Empirické metody vycházejí především ze sledování míst a oblastí s výskytem škod studiím historických záznamů nebo přímým sledováním v terénu – metody dálkového průzkumu jsou pro účel sledování poškození zejména sněhem dosud málo propracovány. Empirický přístup se v českém lesnictví uplatnil např. v oblastních plánech rozvoje lesů (OPRL), který byl zpracován také pro lesní oblast Moravskoslezské Beskydy (Holuša et al. 2000). Takový postup dává srozumitelné výsledky, ale zpravidla nemůže detailně 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.

Statistické metody hodnotí a předpovídají škody za dlouhé časové období pomocí regresních analýz a modelů, které umožňují snadno hodnotit jednotlivé porosty (Jalkanen & Mattila 2000, Kamimura & Shirashi 2007). Využitelnost statistických modelů je však omezena dostupností a věrohodností použitých dat (Kamimura & Shirashi 2007). Pro námrazové polomy navrhl Vicena (2003) postup empirického zjišťování,

kteřý lze s úspěchem použít i pro sběr dat o poškození sněhem a takto zjištěná podrobná data se mohou stát vstupem do statistického modelu.

Mechanické modely pohlíží na strom jako na jednostranně vetknutý nosník resp. na porost jako soustavu těchto jednostranně vetknutých nosníků a hodnotí odolnost této 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 namáháním větrem, spolu s klimatickými modely kalkulujícími předpokládané rychlosti větru a výšky sněhové pokrývky ve zvoleném území. Výhodou těchto modelů je možnost nastavení parametrů pro různé klimatické podmínky a charakteristiky porostů, včetně zhodnocení vlivu pěstebních zásahů a lesnického managementu (Gardiner et al. 2000). V současnosti se používají především dva mechanické modely: HWind vytvořený pro hodnocení rizika škod větrem a sněhem jehličnatých porostů (Peltola et al. 1999) a ForestGALES vyvinutý ve Velké Británii (Gardiner & Quine 2000). Byly vyvinuty i další modely pro působení větru: WindArc, STORM, které ale nezohledňují sněhovou zátěž. Pääta et al. (1999) kombinoval pro krátkodobou zátěž sněhem regresní statistický model se simulací mechanickým modelem HWind.

2 METODIKA

2.1 Zájmové území

Poškození porostů sněhem bylo studováno v letech 2006 – 2010 v povodí vodní nádrže Šance v Moravskoslezských Beskydech (Vnější Západní Karpaty) na území České republiky (49°23'19" – 49°33'03" N; 18°21'50" – 18°32'24" E). 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). V dřevinné skladbě převládá z cca 80 % smrk *Picea abies* (L.) Karst., převážně na nepůvodních stanovištích (75 % – Culek 1996). Jedná se polohy 5. až 7. lesního vegetačního stupně (LVS) podle lesnicko-typologické klasifikace (Plíva 1971), s převahou 5., tj. jedlobukového LVS – cca 80 % území (Holuša 2004).

2.2 Data

Pro statistické vyhodnocení byla na straně vysvětlované proměnné shromážděna data o poškození porostů sněhem, která byla sbírána v síti zkusných ploch – transektů proložených polygony porostních skupin. Design výběru zkusných ploch byl stanoven kombinací systematického vzorkování a stratifikovaného náhodného vzorkování. Pro výběr zkusných ploch byla zájmovým územím proložena pravidelná čtvercová síť 2x2 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). Zkusná plocha byla založena jako transekt vybranou porostní skupinou; šířka transektu byla volena přímo v terénu tak, aby se na zkusné ploše vyskytovalo nejméně 100 stromů (Hlásny et al. 2011). Celkem bylo vybráno 364 porostních skupin, což je cca 6,8 % všech porostních skupin v oblasti, a hodnoceno více než 40 tis. jedinců. Stromy byly zařazovány do typů poškození podle Viceny (2003): zdravý, ohnutý, vrcholový zlom, korunový zlom, kmenový zlom, vývrat, pařez z asanační těžby, staré poškození sněhem a námrazou.

Pro sestavení množiny vysvětlujících proměnných byly měřeny kvantitativní parametry sněhové pokrývky, která je bezprostřední příčinou poškození, tj. škodlivým činitelem podle tradičního přístupu ochrany lesů nebo stresorem v terminologii teorie stresu. V každém z 52 čtverců dvoukilometrové sítě byl založen nejméně jeden duplex zkusných ploch pro měření sněhu: vždy jedna volná plocha mimo les a nejméně jedna plocha v přilehlém lesním porostu. Výběr zkusných 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 zkusných plochách byly měřeny parametry sněhové pokrývky: výška sněhové pokrývky, hustota a vodní hodnota sněhu (Křístek et al. 2011) přednostně v období kulminace vodní hodnoty sněhu před začátkem jarního tání a v období, kdy docházelo ke sněhovému polomu (říjen 2009).

Dále byly jako vysvětlující proměnné hodnoceny parametry vyjadřující podmínky, za kterých k poškození porostů sněhem dochází: vlastnosti počasí, stanoviště a porostu. Data o klimatu a průběhu počasí v jednotlivých zimních sezónách byla poskytnuta ČHMÚ. V zájmovém území a vlivném okolí se nachází celkem 17 klimatologických nebo srážkoměrných stanic. Některé klimatické charakteristiky byly převzaty z Atlasu podnebí ČR (Tolasz et al. 2007). Data o vlastnostech stanoviště byla převzata z OPRL (Holuša 2000) – především lesnická typologie a z ní odvozené charakteristiky. Z digitálního modelu terénu ÚHÚL (grid 10x10 m) byly odvozeny parametry orografie reliéfu: nadmořská výška, sklon a expozice svahu a různé varianty sklon-expozičních indexů. Data o stavu a parametrech porostních skupin, taxační charakteristiky včetně GIS vrstvy polygonů porostních skupin byla převzata z lesního hospodářského plánu (LHP) platného k 1. 1. 2005 (Kopřiva 2005). Pro validaci modelu byla poskytnuta data o nahodilých těžbách z evidence lesní výroby Lesů České republiky, s.p., lesní správy Ostravice.

2.3 Použitý software a základní zpracování dat

Data byla uložena do souvislé databáze na serveru MSSQL2000, geografická složka dat ve formátu Intergraph Geomedia. Pro zpracování gridových dat byl použit software Geomedia Grid a Golden Surfer. Jako základní prostorový prvek GIS byly zvoleny vektorové polygony porostních skupin (F_A_PSK) z LHP a polygony transektů zkusných ploch. Přiřazení transektů a porostních skupin bylo provedeno překryvnou analýzou – prostorovým průnikem. Zkusné plochy měření sněhu byly reprezentovány bodovou geometrií. Z naměřených hodnot parametrů sněhové pokrývky bylo vytvořeno bodové pole, které bylo interpolováno nad digitálním modelem terénu do souvislého gridu 10x10 m metodou ČHMÚ, která je založena na kombinaci lineární regrese metodou nejmenších čtverců (v případě sněhu v říjnu 2009 bylo nutné použít nelineární polynomické regrese) a prostorové interpolace metodou inverzních vzdáleností (IDW), příp. krigingem. Jednotlivým polygonům transektů a porostních skupin byly přiřazeny průměrné hodnoty parametrů sněhové pokrývky výpočtem z těchto gridů.

Pro statistické vyhodnocení byl využit software MS Excel a Statistica. Výsledný model byl sestaven v software Intergraph Geomedia a distribuován s volně šiřitelným prohlížečem Geomedia Viewer.

2.4 Umělé neuronové sítě

Význam vysvětlujících proměnných pro jednotlivé typy poškození sněhem byl studován pomocí umělých neuronových sítí v programu Statistica 8 (StatSoft Inc. 2004). Umělé neuronové sítě (ANN) jsou velice vhodné pro modelování složitých nelineárních vztahů velkých datových souborů a na rozdíl od tradičních statistických metod nevyžadují další statistické předpoklady (Haykin 1998). Výše uvedené parametry porostů a proměnné prostředí byly použity jako vstupy do neuronové sítě, zatímco pozorovaná intenzita poškození představovala výstup. Data byla rozdělena do tří skupin: trénovací, testovací a validační v poměru 70:15:15 (Hlásny et al. 2011). Učení sítí je opakující se proces, který upravuje váhy nervových spojů a snaží se přizpůsobit a minimalizovat rozdíly mezi pozorovanými a predikovanými hodnotami. Použili jsme perceptronových neuronových sítí (Bishop 1995, Rumelhart & McClelland 1986), které využívají perceptron jako typ neuronu (Rosenblatt 1958). Sítě byly vytvořeny pomocí back-propagation algoritmu (Patterson 1996). Celkem bylo trénováno 2000 neuronových sítí s různými architekturami pro každý typ poškození sněhem (zlom vrcholový, korunový, kmenový a vývrat) (Hlásny et al. 2011). Následně byl vybrán soubor 15 nejvýkonnějších sítí pro identifikaci rozhodujících nezávislých proměnných.

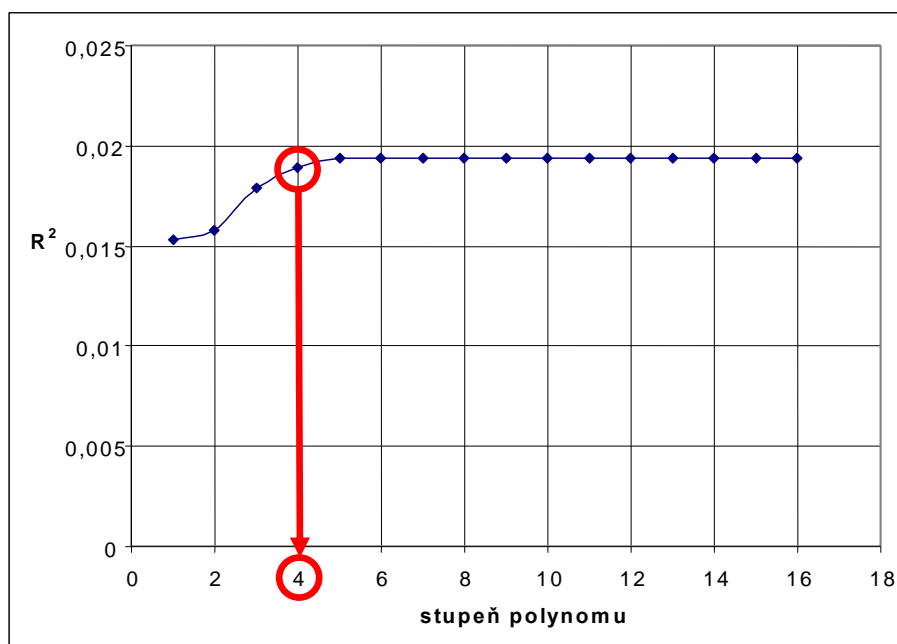
Dalším krokem byla analýza citlivosti k posouzení významu používaných vysvětlujících proměnných. Analýza citlivosti odhaduje rychlost změny v modelu (Saltelli et al. 2000). Míra citlivosti je poměr chyb vytvořené neuronové sítě s chybějící proměnnou vzhledem k původní chybě s úplnou sadou vstupních proměnných (Hunter et al. 2000). Čím citlivější je síť na vstupující proměnnou, tím větší zhoršení výkonnosti bude a tím větší je poměr mezi chybami (Hlásny et al. 2011).

2.5 Model poškození a ohrožení porostů

Podle analýzy citlivosti neuronových sítí byly vybrány čtyři nejlivnější faktory pro každou událost (rok) a typ poškození. Jednoduchou regresní analýzou byl vztah mezi příslušným faktorem a poškozením vyjádřen polynomem n-tého stupně ($1 \leq n \leq 16$):

$$Y = b + \sum_{n=1}^{16} a_n X^n = \sum_{n=0}^{16} a_n X^n \quad (1)$$

Pro každý případ »vysvětlující proměnná – rok – typ poškození« byl vybrán takový nejmenší stupeň polynomu, jehož zvyšováním již nedochází k významnému zvyšování hodnoty koeficientu determinace. „Optimální“ stupeň polynomu byl přitom hodnocen vizuálně na grafu závislosti koeficientu determinace na stupni polynomu (viz obr. 1). Přehled jednotlivých významných faktorů podle jednotlivých let a typů poškození s jejich stupni, koeficienty determinace a parametry regresních polynomů viz tabulka 1.



Obr. 1. Příklad výběru optimálního stupně polynomu podle koeficientu determinace;
rok: 2009, poškození: vývrát, faktor: kamenitost, optimální stupeň polynomu: 4

Regresní polynomy byly použity pro vyrovnání hodnot jednotlivých faktorů na stupnici $\langle 0,1 \rangle$, kde 0 představuje potenciálně nulové (žádné) poškození a 1 představuje 100 % poškození, tedy poškození všech stromů v daném roce daným typem poškození. Při hranicích definičního oboru v některých případech polynomy vracely hodnoty výrazně se vymykající oboru hodnot $\langle 0,1 \rangle$, tj. výrazně podnulové hodnoty nebo naopak hodnoty mnohonásobně vyšší než 1. V těchto případech bylo sledováno, k jakým hodnotám polynom konverguje uvnitř definičního oboru, a extrémní hodnoty pak byly nahrazeny příslušnou hodnotou z oboru hodnot. Z takto vyrovnaných hodnot faktorů byl pak vypočten vážený aritmetický průměr, kde jako váhy bylo použito průměrné skóre z analýzy citlivosti, které představuje význam faktoru pro daný model (Hlásný et al. 2011). Výsledná hodnota představuje modelové poškození porostu vyjádřené jako podíl stromů poškozených daným typem poškození v daném roce na celkovém počtu stromů v porostní skupině. Výsledný model lze schematicky vyjádřit takto:

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^4 \left(w_i \sum_{j=0}^{16} a_j X_i^j \right)}{\sum_{i=1}^4 w_i} \quad (2)$$

kde w je průměrné skóre citlivosti (viz tab. 2).

Tab. 1. Parametry regresních polynomů vlivných faktorů

Událost	Y	X	a0	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	R ²	polynom	
2006	vrcholovy	vek	-3,7892 E-1	1,6729 E-1	2,1347 E-3	-4,6772 E-5	1,7279 E-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,3178 E-1	4
2006	vrcholovy	vyska	1,3909 E+0	-2,9279 E+0	2,3785 E+0	-5,9654 E-1	7,2052 E-2	-4,8220 E-3	1,8903 E-4	-4,3266 E-6	5,3582 E-8	-2,7742 E-10	0	0	0	0	0	0	0	0	9,0900 E-2	9
2006	vrcholovy	zas_ha	2,4330 E+0	2,1474 E-2	-2,1343 E-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,6168 E-2	2
2006	vrcholovy	SAI	6,2077 E+0	-3,1196 E+0	-4,4577 E+2	4,5485 E+2	2,3013 E+4	-1,9007 E+4	-4,4180 E+5	3,1340 E+5	4,1511 E+6	-2,4389 E+6	-2,1127 E+7	9,5271 E+6	5,9497 E+7	-1,8066 E+7	-8,7219 E+7	1,3224 E+7	5,1952 E+7	0	1,1774 E-1	16
2006	korunovy	vek	-4,8565 E+0	1,0588 E+0	-2,1981 E-2	1,6351 E-4	-4,1240 E-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,2987 E-1	4
2006	korunovy	vyska	-6,6421 E-1	1,8442 E+0	-8,5101 E-2	1,0197 E-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,8024 E-1	3
2006	korunovy	tloustka	4,3219 E+0	-5,9137 E+0	1,3817 E+0	-1,1063 E-1	4,2977 E-3	-8,8394 E-5	9,2607 E-7	-3,8905 E-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,0163 E-1	7
2006	korunovy	zas_ha	3,9835 E+0	8,7245 E-2	-3,9251 E-4	5,9977 E-7	-3,1056 E-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,4597 E-2	4
2006	kmenovy	vek	1,9322 E+0	-9,6318 E-1	1,3800 E-1	-6,1872 E-3	1,3275 E-4	-1,5535 E-6	1,0180 E-8	-3,5117 E-11	4,9701 E-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,7158 E-1	8
2006	kmenovy	vyska	-6,4424 E-1	4,0695 E+0	-2,2769 E+0	5,4403 E-1	-6,3026 E-2	4,0231 E-3	-1,4987 E-4	3,2532 E-6	-3,8175 E-8	1,8729 E-10	0	0	0	0	0	0	0	0	2,1169 E-1	9
2006	kmenovy	tloustka	1,6946 E+0	-1,4449 E+1	6,5214 E+0	-1,3391 E+0	1,6768 E-1	-1,3791 E-2	7,6294 E-4	-2,8667 E-5	7,3045 E-7	-1,2402 E-8	1,3417 E-10	-8,3588 E-13	2,2809 E-15	0	0	0	0	0	2,0181 E-1	12
2006	kmenovy	zas_ha	1,4108 E+0	1,2108 E-1	-9,1445 E-4	2,5452 E-6	-3,0521 E-9	1,3294 E-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5154 E-1	5
2006	vyvrat	vek	1,6397 E+0	-1,1202 E+0	1,9710 E-1	-1,2764 E-2	4,2471 E-4	-8,3012 E-6	1,0089 E-7	-7,7253 E-10	3,6258 E-12	-9,5283 E-15	1,0736 E-17	0	0	0	0	0	0	0	2,3500 E-1	10
2006	vyvrat	vyska	-5,7146 E-1	9,2103 E-1	-8,4021 E-2	2,5912 E-3	-2,6209 E-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,0338 E-1	4
2006	vyvrat	tloustka	1,3652 E+0	2,9493 E-1	-2,5377 E-2	6,1708 E-4	-4,6338 E-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5301 E-1	4
2006	vyvrat	zas_ha	1,2653 E+0	3,8810 E-2	-3,6143 E-4	1,0990 E-6	-1,3886 E-9	6,2678 E-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5129 E-1	5
2009	vrcholovy	vek	1,8023 E+0	-2,8591 E-1	1,6334 E-2	-2,5291 E-4	1,5498 E-6	-3,3475 E-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,3728 E-2	5
2009	vrcholovy	vyska	-6,5890 E-1	3,5366 E-1	-5,4866 E-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,7967 E-2	2
2009	vrcholovy	zas_ha	3,4086 E-1	5,1182 E-1	-1,9391 E-2	2,9606 E-2	-2,3464 E-6	1,0628 E-8	-2,8482 E-11	4,4568 E-14	-3,7565 E-17	1,3156 E-20	0	0	0	0	0	0	0	0	4,1718 E-1	9
2009	vrcholovy	nadm	5,5777 E+1	-1,1179 E-1	5,4762 E-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,7518 E-1	2
2009	korunovy	vek	-3,0579 E+0	5,8921 E-1	-1,1918 E-2	8,7327 E-5	-2,1809 E-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,0369 E-2	4
2009	korunovy	AVB	4,6094 E+2	-7,7314 E+1	4,6545 E+0	-1,1948 E-1	1,1114 E-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,6547 E-2	4
2009	korunovy	zas_ha	1,6116 E+0	3,3597 E-2	1,5607 E-3	-3,6122 E-5	2,7205 E-7	-9,9401 E-10	1,9199 E-12	-1,8847 E-15	7,4063 E-19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,9069 E-1	8
2009	korunovy	nadm	-1,7543 E+3	1,0307 E+1	-2,3506 E-2	2,6138 E-5	-1,4218 E-8	3,0337 E-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5206 E-1	5
2009	vyvrat	stihlostQ	6,6680 E+5	-2,7140 E+6	3,0636 E+6	9,4291 E+5	-3,2341 E+6	7,9534 E+5	-9,2713 E+5	3,8575 E+6	-3,3361 E+6	8,8524 E+5	0	0	0	0	0	0	0	0	1,2075 E-1	9
2009	vyvrat	zakm	-5,0102 E+3	4,7199 E+3	-1,8764 E+3	4,0800 E+2	-5,2401 E+1	3,9759 E+0	-1,6504 E-1	2,8922 E-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,9231 E-2	7
2009	vyvrat	kamenitost	8,6312 E-1	1,7162 E+0	-1,4368 E+0	3,8345 E-1	-3,3942 E-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,8921 E-2	4
2009	vyvrat	SAI	1,1444 E+0	1,8524 E+0	-2,9315 E+1	-1,2902 E+2	6,5064 E+2	2,0321 E+3	-4,9722 E+3	-1,2499 E+4	1,4987 E+4	3,3024 E+4	-1,5503 E+4	-3,1282 E+4	0	0	0	0	0	0	3,7271 E-2	11

Vysvětlivky Událost: 2006 = zima 2005/2006, 2009 = 13. – 16. října 2009; Y: vrcholovy = vrcholový zlom, korunovy = korunový zlom, kmenovy = kmenový zlom, vyvrat = vývrat; X: vek = věk porostu, vyska = střední porostní výška, zas_ha = průměrná hektarová zásoba hroubí, SAI = index expozice svahu, tloustka = střední výčetní tloušťka porostní, nadm = průměrná nadmožská výška porostu, AVB = absolutní výšková bonita, stihlostQ = štihostní kvocient, kamenitost = relativní podíl skeletu nad 3 cm v Ah půdním horizontu; Soubor kmenových zlomů z října 2009 nedával konzistentní výsledky a jeví se vůči sledovaným veličinám jako náhodný.

Tab. 2. Průměrné skóre citlivosti (váha w)

Rok	Y	Vek	Vyska	Tloustka	StihlostQ	AVB	Zas_ha	Zakm	Kamenitost	Nadm	SAI
2006	vrcholovy	2,269	1,273				1,234				1,191
2006	korunovy	2,288	1,676	2,621			1,494				
2006	kmenovy	1,513	1,327	2,320			1,361				
2006	vyvrat	1,595	1,541	1,145			1,250				
2009	vrcholovy	2,720	4,975				3,956			5,836	
2009	korunovy	1,222				1,384	1,384			2,199	
2009	vyvrat				1,487			1,629	1,67		1,459

Pomocí modelu poškození porostů byly definovány modelové situace. Prognóza byla sestavena aktualizací dat vstupních proměnných k roku 2015 a následným výpočtem modelových situací pro jednotlivé typy poškození. Potenciální ohrožení porostů je pro každou modelovou situaci dáno součtem všech typů poškození.

2.6 Validace modelu

Vypočtené hodnoty modelového poškození pro jednotlivé události a porostní skupiny byly srovnávány (i) s údaji o poškozeních lesních porostů získanými v terénu; (ii) s údaji o nahodilých těžbách a (iii) rovněž byly srovnány údaje o poškozeních lesních porostů získané v terénu s údaji o nahodilých těžbách. V případě nahodilých těžeb byla použita jednak celková nahodilá těžba a jednak také nahodilá těžba živelní, tedy mechanické poškození způsobené abiotickými faktory vítr, sníh a námraza. Soubory byly analyzovány v programu Statistica 9 pomocí modulu Regresní analýza.

2.7 Návrh managementu

Pro porostní skupiny ze čtvrtého kvartilu potenciálního ohrožení sněhem podle vytvořených prognóz byly sestaveny návrhy lesohospodářských obranných opatření. Ohrožené porostní skupiny byly rozříděny podle cílového hospodářského souboru (modelového rámce hospodářských zásahů), věku a zakmenění. Ke každé vybrané porostní skupině byla vypočtena z dat LHP pravděpodobná hustota porostu v počtech jedinců na hektar a modelová hustota podle modelů výchovy pro porosty ohrožené sněhem (Slodičák 1996). Intenzita zásahů byla stanovena porovnáním pravděpodobné a modelové hustoty porostu. Na základě věku, zakmenění, cílového hospodářství, intenzity a naléhavosti zásahu byly porosty podle jejich předpokládaného vývoje zařazeny do 6 variant opatření. Protože tyto modely nerespektují jiná zohlednění nadřazená produkci dříví, byly vytvořeny mapy překryvu podle vrstev OPRL (Holuša 2000). Jedná se o překryvy se zájmy ochrany přírody (plány péče): maloplošná chráněná území, 1. zóny CHKO; zájmem ochrany vod: 1. ochranné pásmo ochrany vod; a o území postihované větrnými polomy.

2.8 GIS

Uživatelským výstupem je expertní systém pro podporu managementu ohrožených porostů, jehož základem je databáze založená na serveru MSSQL 2000, s možností distribuce ve formátu MDB. Pro GIS je vytvořeno geoprostředí s uloženým nastavením přístupu k datům, nastavením souřadnicového systému, mapovými kompozicemi a pohledy na data (analytickými dotazy); geoprostředí je soubor v proprietárním formátu volně šiřitelného prohlížeče Geomedia Viewer – systém byl vybudován pomocí software Intergraph Geomedia Professional. Nedílnou součástí expertního systému je metodika výpočtu (interní logika). GIS zahrnuje jednotlivé faktory, informaci o jejich vlivu na poškození porostů sněhem, modelové poškození porostů, prognózu potenciálního ohrožení každé porostní skupiny pro jednotlivé modelové situace a návrh opatření. Základní územní jednotkou je lesnický detail – polygony porostních skupin. Veškerá prostorová data jsou uložena a zobrazena v souřadnicovém systému S-JTSK.

3 VÝSLEDKY

Porovnáním souborů dat o poškození porostů z jednotlivých sezón a událostí a paralelním porovnáním souborů parametrů sněhové pokrývky byly definovány tři modelové situace: (i) K největšímu poškození smrkových lesů došlo v zimě 2005/2006, kdy byla rovněž zjištěna maximální sněhová pokrývka. Změřená výška sněhové pokrývky se pohybovala od 56 cm do 245 cm (maximum bylo naměřeno na hřebeni hory Smrk, v nadmořské výšce cca 1190 m). Sněhová pokrývka ležela v nejvyšších polohách od 16. listopadu 2005 do 3. května 2006, i v nejnižších polohách trvala sněhová pokrývka nejméně 112 dní (Hlásny et al. 2011). (ii) Ve dnech 13. – 16. října 2009 napadl časný mokrý sníh na nepřipravené porosty před ukončením vegetační sezóny na nezamrzlé půdě. Ačkoli jeho množství bylo spíše průměrné (maxima výšky sněhové pokrývky okolo 100 cm), způsobil rozsáhlé škody zejména v nižších nadmořských výškách. Zatímco do cca 670 m n.m. bylo poškození porostů prakticky srovnatelné se situací (i), s rostoucí nadmořskou výškou

přibývalo porostů zcela nepoškozených. (iii) V zimě 2006/2007 nové poškození sněhem prakticky nevzniklo, rovněž v zimách 2007/2008 a 2008/2009 byl podíl nově poškozených jedinců zanedbatelný.

Situace v zimě 2005/2006 (i) a v říjnu 2009 (ii) byla analyzována s využitím umělých neuronových sítí. Účinnost trénovacích sítí byla obecně dobrá, i když průměrný Pearsonův korelační koeficient pozorovaných a predikovaných hodnot v podskupině n nejvýkonnějších sítí s konzistentními výstupy analýzy citlivosti se lišil mezi jednotlivými typy poškození sněhem a studovanými roky. Výsledky naznačují, že vrcholové zlomy jsou lépe kontrolovány používanými proměnnými v obou letech, zatímco kmenové zlomy a vývraty jsou všeobecně méně citlivé. Kromě toho se korelační koeficienty těchto typů škod výrazně liší mezi trénovacími, testovacími a validačními sadami, což ukazuje na nedostatky některých navržených modelů. Modely určené pro škody sněhem v roce 2009 v průměru překonaly modely pro rok 2006. Korelace pozorovaných a predikovaných hodnot vrcholových zlomů v roce 2009 je nejvyšší ze všech zbývajících typů škod v obou studovaných letech, což ukazuje na velmi efektivní model a silné kontroly použitých vysvětlujících proměnných týkajících se tohoto typu poškození (Hlásny et al. 2011).

Pomocí modelu byly vytvořeny mapy potenciálního poškození každého typu obou událostí (i a ii) pro každou porostní skupinu. Výsledky byly validovány regresní analýzou se skutečnými hodnotami poškození získanými v terénu a s daty o nahodilých těžbách. Mezi většinou modelových poškození a daty o nahodilých těžbách, mezi skutečným poškozením a nahodilými těžbami a mezi modelovým poškozením porostních skupin a zjištěným poškozením porostních skupin byla zjištěna statisticky signifikantní korelace na hladině $p = 0,1$ až $p = 0,001$.

Po aktualizaci taxačních parametrů porostů pomocí růstových tabulek byl proveden výpočet potenciálního ohrožení porostů do roku 2015 pro modelové události i, ii a iii (pro událost iii byly škody modelovány jako nulové, res. $< 0,02$). Na základě potenciálního poškození, porostní struktury a věku byl jednotlivých porostních skupinám přiřazen nejvíce vyhovující typ managementu. Ten odpovídá potenciálnímu ohrožení sněhem, ovšem některé segmenty lesa podléhají ochraně přírody, ochraně vod či se jedná o území poškozovaná větrem. Pak není možno akceptovat management proti ohrožení sněhem.

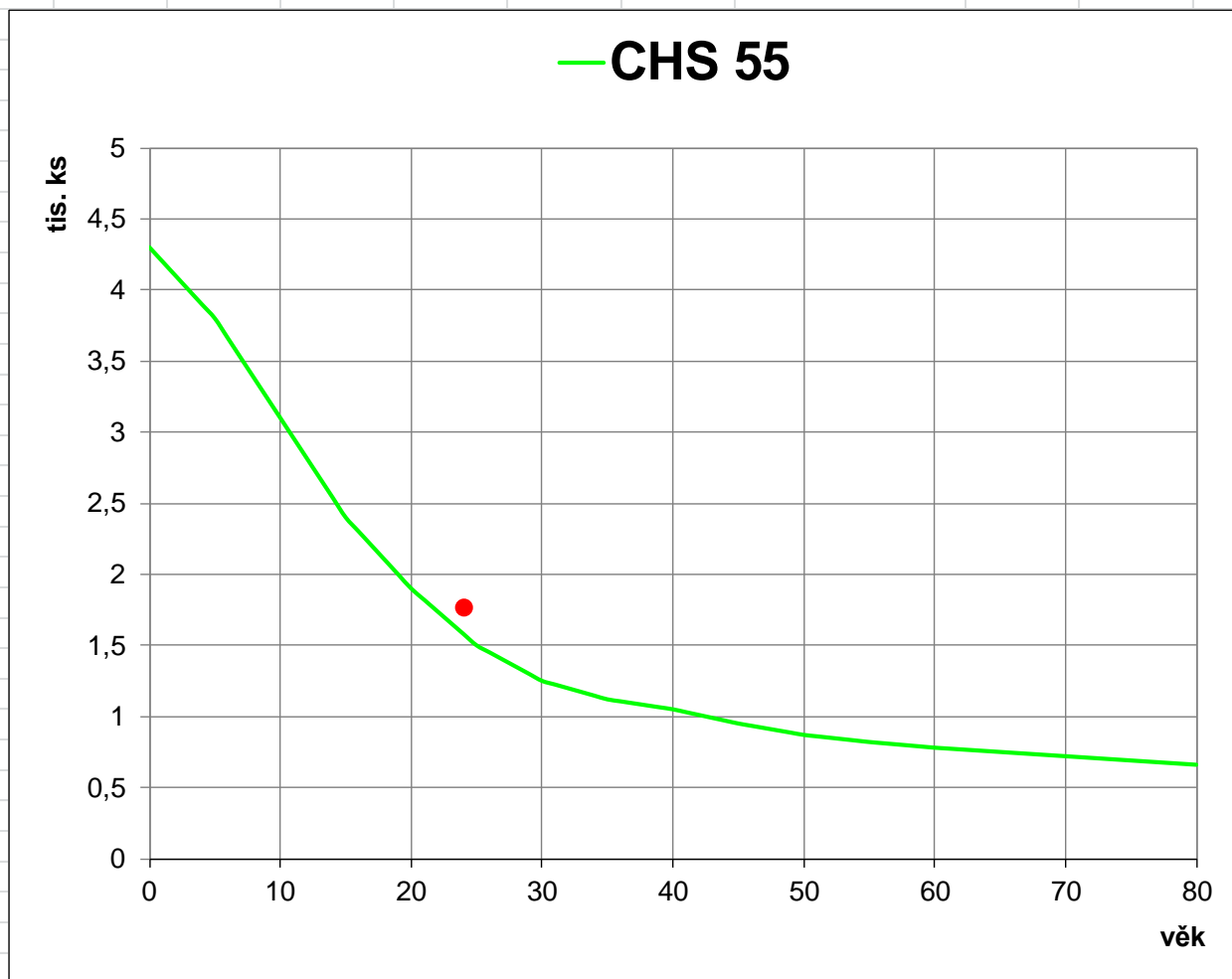
Výsledný GIS model zobrazuje jednotlivé faktory, jejich vliv na poškození sněhem, výsledné modelové poškození porostů a návrh opatření pro nejvíce ohrožené porostní skupiny (obr. 2). Rovněž zobrazuje střety managementu (obr. 3).

4 DISKUSE

V Moravskoslezských Beskydech byly zaregistrovány největší škody sněhem v letech 1909 a 1911 ($400\,000\text{ m}^3$). Takové katastrofické události jsou výsledkem mimořádných klimatických podmínek a bývají v přírodě náhodné (Canham, Papaik & Latty 2001; Frelich 2002; Ogris, Dzerovski & Jurc 2004). Na druhé straně události způsobující střední poškození lesních porostů jsou mnohem častější (Woods, 2004; Klopčic et al. 2009). V Moravskoslezských Beskydech se takové události vyskytují v přibližně desetiletých periodách. Během studovaného období došlo k události způsobující poškození po celém území mocnou sněhovou pokrývkou dlouhodobě trvající v období vegetačního klidu i ke krátkodobému působení těžkého sněhu (Hlásny et al. 2011).

Všechny modely se snaží pomoci lesnímu hospodářství eliminovat škody abiotickými činiteli na lesích. Ač je zřejmé, že frekvence a množství poškozených stromů jsou evidentně vyšší v porostech s převahou smrku (Nykänen et al. 1997; Dobbertin 2005), navrhnout správný způsob hospodaření není jednoduché. Opatření proti škodám sněhem lze rozdělit na pěstební a managementová. Zatímco managementová opatření jsou spíše záležitostí technicko-organizační s těžištěm v období zpracování polomu, pěstební opatření mají především preventivní význam s cílem vzniku nebo opakování polomu předejít. Především v první fázi po vzniku rozsáhlé kalamity je rychlé zjištění objemu a rozmístění polomového dříví klíčové pro minimalizaci škod a plánování kapacit na likvidaci následků kalamity. Naše práce se zaměřuje především na pěstební opatření s přesahem do managementu ve stanovení stupně naléhavosti jednotlivých opatření. Využití GIS usnadňuje představu celkového obrazu kalamity a umístění vhodných opatření.

Návrh pěstebních opatření ve smrkových porostech ohrožených sněhem

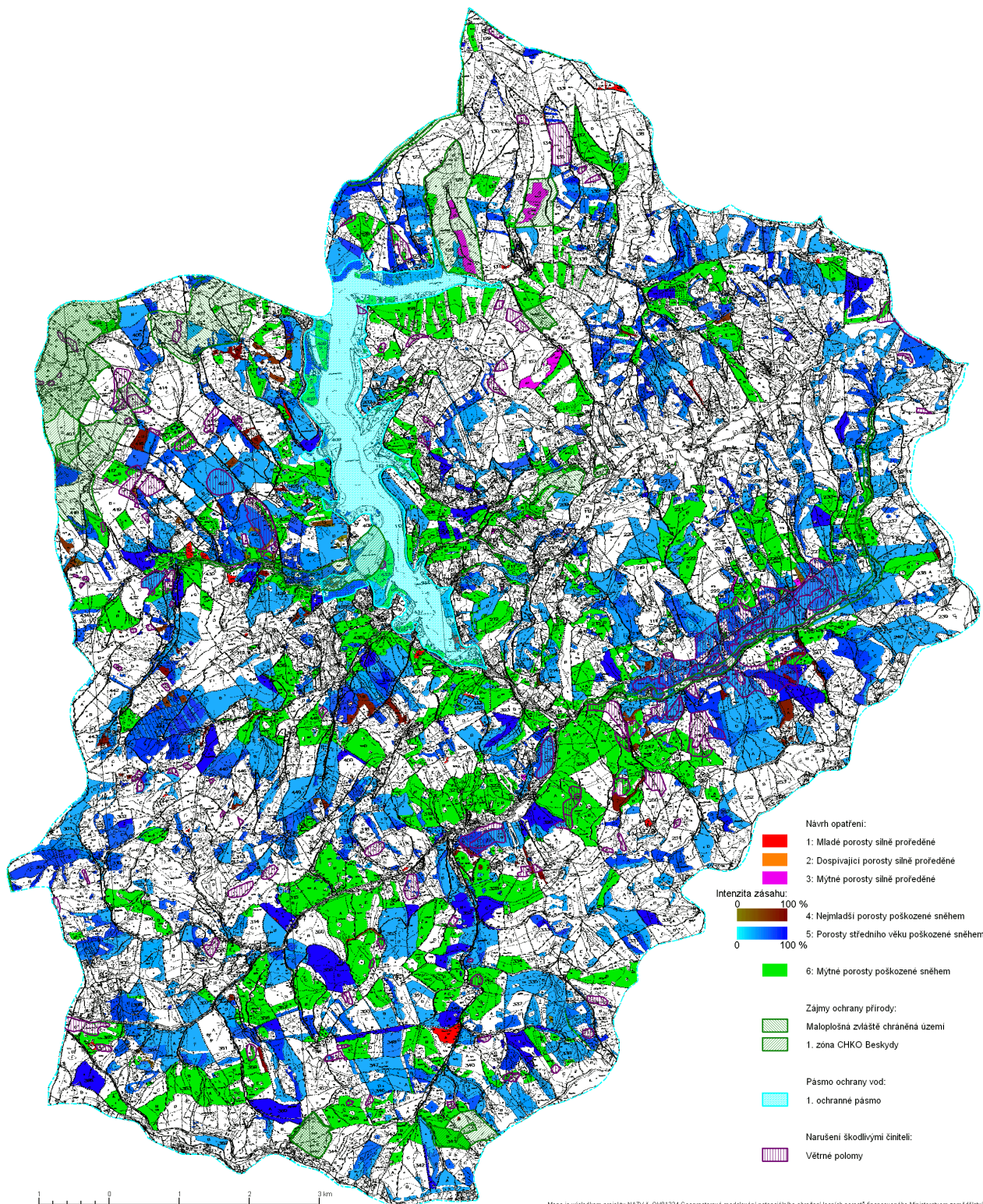


Hospodářský soubor:	551
Modelový CHS:	55
Věk:	24
Zakmenění:	9
Návrh opatření podle varianty:	5
Hustota porostu (počet stromů na hektar):	1769
Modelová hustota:	1198
Modelová intenzita zásahu:	32%
Naléhavost zásahu:	2

Obr. 2. Passport návrhu opatření pro porostní skupinu potenciálně ohroženou sněhem

Návrh opatření ve smrkových porostech poškozených sněhem: střety managementu

Povodí vodní nádrže Šance, Moravskoslezské Beskydy



Obr. 3. Návrh opatření podle potenciálního ohrožení porostů sněhem v kontextu omezujícím lesní hospodaření (ochrana přírody, ochrana vod, náchylnost k větrným polomům)

Neuronové sítě umožňují velice dobře popsat složitý systém vztahů vedoucí od sněhové srážky k poškození porostů. Nicméně prognóza na základě těchto zjištění je zatížena značnou nejistotou a „modelová“ opatření tak budou vždy jen rámcová a musí být upřesněna na základě konkrétního stavu a vývoje porostu a dalších požadavků, jakož i působení jiných faktorů prostředí včetně dalších škodlivých činitelů.

Základním doporučeným pěstební opatřením bývá uváděna změna druhové skladby. Jakkoli autoři tohoto příspěvku nechtějí polemizovat se současným trendem prosazování změny dřevinné skladby jako všeléku na všechny problémy lesnictví, je nutné v této souvislosti upozornit na skutečnost, že změna druhové skladby je dlouhodobá záležitost, která naráží na řadu dalších problémů, především na požadavky plnění jednotlivých funkcí lesa včetně funkce dřevoproductivní, kterým nemusí změna druhové skladby vyhovovat. Značná je míra nejistoty ohledně stability porostů se změněnou dřevinnou skladbou, zvláště pokud není dostatek modelových porostů, na kterých by bylo možné teorii ověřit. V zájmovém území je vysoký podíl smrkových porostů (zastoupení smrku činí 80 %) ve všech věkových třídách, radikální změna druhové skladby v krátké době proto není reálná. Výsledky šetření nepotvrzují vyšší odolnost jiných hospodářských dřevin vůči škodám sněhem (vlastní pozorování), byť to může být zapříčiněno jejich malým zastoupením v datových souborech. Z těchto důvodů se návrhy nezabývají možnou změnou dřevinné skladby, ale týkají se pěstebních opatření v existujících smrkových porostech.

5 ZÁVĚR

GIS může přinést významnou podporu lesnickému managementu při řešení sněhových polomů. V první fázi po sněhové kalamitě je především důležitá rychlá orientace v rozsahu škod jako podklad pro přípravu asanace polomů. V dlouhodobé péči o les pak umístění preventivních pěstebních opatření do nejvíce ohrožených porostů dává podklad pro rozhodování o hospodářských zásadách. Pěstování lesa je dlouhodobý proces, při kterém zásadní změny mohou trvat desetiletí i staletí a ve kterém se střetávají často protichůdné zájmy a tendence. Prostorové vymezení střetových oblastí je jedním ze základních úkolů GIS pro podporu ochrany lesů.

Dedikace: Referát vychází z výsledků výzkumného projektu NAZV č. QH81334 „Geoprostorové modelování potenciálního ohrožení lesních porostů“ financovaného z prostředků Ministerstva zemědělství ČR.

LITERATURA

- Bishop, C. M. (1995) *Neural Networks for Pattern Recognition*, chapter 7. Oxford University Press, Oxford.
- Caham, CD., Papaik, MJ., Latty, EF. (2001) Interspecific variation in susceptibility to windthrow as a function of tree size and storm severity for northern temperate tree species. *Canadian Journal of Forest Research* 31, pp 1–10.
- Culek, M. (ed.) (1996) *Biogeografické členění České republiky*. Enigma, Praha.
- Dobbertin, M. (2005) Erfassung der Bestandesdaten und Schäden auf dem repräsentativen Erfassung der Bestandesdaten und Schäden auf dem repräsentativen 4x4-km Sanasilva-Netz., in: Indermühle, M., Raetz, P., Volz, R. (Eds.), *Lothar Ursächliche Zusammenhänge und Risikoentwicklung. Synthese des Teilprogramms 6. Umwelt-Materialien Nr.184*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, pp. 39–50.
- Frelich, LE. (2002) *Forest Dynamics and Disturbance Regimes: Studies from Temperate Evergreen–Deciduous Forests*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gardiner, BA., Peltola, H., Kellomäki, S. (2000) Comparison of two models for predicting the critical wind speeds required to damage coniferous trees. *Ecol. Model.* 129, pp 1–23.
- Gardiner, BA., Quine, CP. (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, pp 261–277.
- Haykin, S. (1998) *Neural Networks: A comprehensive foundation*. Second ed. Prentice Hall, Upper Saddle River.

Hlásny, T., Křístek, 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, pp 2151-2161.

Holuša, J. (2004) Health condition of Norway spruce *Picea abies* (L.) Karst stands in the Beskid Mts. *Dendrobiology* 51 (Suppl.), pp 11-17.

Holuša, J. (ed.) (2000) Oblastní plán rozvoje lesů. Přírodní lesní oblast 40. Moravskoslezské Beskydy. Textová část. Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, Frýdek-Místek.

Holuša, J., Křístek, Š., Trombik, J. (2010) Stability of spruce forests in the Beskids: an analysis of wind, snow and drought damages. *Beskydy* 2010/3 (1), pp 43-54.

Hunter, A., Kennedy, L., Henry, J., Ferguson, I. (2000) Application of neural networks and sensitivity analysis to improved prediction of trauma survival. *Comput. Meth. Prog. Bio.* 62, pp 11-19.

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, pp 315-330.

Kamimura, K., Shirashi, N. (2007) A review of strategies for wind damage assessment in Japanese forests. *J. For. Res.* 12, pp 162–176.

Klopcic, 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, pp 48-57.

Kopřiva, J. (ed.) (2005) Lesní hospodářský plán LHC Ostravice. Lesnická projekce Frýdek-Místek a.s.

Křístek, Š., Urbaňcová, N., Holuša, J., Tomeček, P. (2011) Měření vlastností sněhové pokrývky v lese a mimo les. Certifikovaná metodika. *Lesnický průvodce* 2/2011. Výzkumný ústav pro lesní hospodářství a myslivost, Jíloviště-Strnady.

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 Fenn.* 31, pp 193–213.

Ogris, N., Dzerovski, S., Jurc, M. (2004) Windthrow factors: A case study on Pokljuka. *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 74, pp 59–76.

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, pp 51-70.

Patterson, D. (1996) *Artificial Neural Networks*. Prentice Hall, Singapore.

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. *Canadian Journal of Forest Research* 29, pp 647–661.

Plíva, K. (1971) Typologický systém ÚHÚL. Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem.

Rosenblatt, F. (1958) The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain, *Cornell Aeronautical Laboratory, Psychological Review* 65, pp 386–408.

Rumelhart, D.E., McClelland, J.L. (1986). *Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition*. Vols I and II. MIT Press, Cambridge.

Rychtecká, P., Urbaňcová, N. (2008) Škodliví činitelé lesa v letech 1996-2006 - I. část Abiotičtí a antropogenní činitelé (Natural disturbances in forest 1996-2006 – Part 1 Abiotic and anthropogenic factors). *Lesnická práce: Časopis pro lesnickou vědu a praxi* 2008/6, pp 14-15.

Saltelli, A., Chan, K., Scott M. (2000) *Sensitivity Analysis*. John Wiley & Sons publishers, New York.

Slodičák, M. (1996) Stabilizace lesních porostů výchovou. *Lesnický průvodce*. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivost, Jíloviště-Strnady.

Škvarenina, J., Tomlain, J., Križová, E. (2002) Klimatická vodní bilance vegetačních stupňů na Slovensku. Meteorologické zprávy 55, pp 103-109.

Tolasz, R. a kol. (2007). Atlas podnebí Česka. Český hydrometeorologický ústav, Universita Palackého, Praha, Olomouc.

Vicena, I. (2003) Námraza v našich lesích. Matice lesnická, Písek.

Woods, KD. (2004) Intermediate disturbance in a late-successional hemlock–northern hardwood forest. Journal of Ecology 92, pp 464–476.