



DLHODOBÝ VÝSKUM EKOLOGICKÝCH POMEROV V SPOLOČENSTVE SMREKOVCOVÝCH SMREČÍN VO VYSOKÝCH TATRÁCH PO PRÍRODNÝCH DISTURBANCIAČ

PETER FLEISCHER, ZUZANA HOMOLOVÁ

Výskumná stanica ŠL TANAP-u, SK – 059 60 Tatranská Lomnica,
email: pfleischer@lesytanap.sk, zhomolova@lesytanap.sk

FLEISCHER P., HOMOLOVÁ Z., 2011: Long-term research on ecological condition in the larch-spruce forests in High Tatras after natural disturbances. Lesn. Čas. – Forestry Journal, 57(4): 237-250, 9 fig., tab. 6, ref. 20. Original paper. ISSN 0323 – 1046.

Larch-spruce forest (*Lariceto-Piceetum*) belongs to the most spread communities on the south-oriented slopes of the High Tatra Mts. Climax stage of this community occurs on shallow rocky podsols mostly in the 7th forest vegetation rank (1300-1500 m a.s.l.). So called “blocked stage” - a transition forest community between succession and climax stage occurs in lower elevation (6th forest vegetation rank, 900-1300 m a.s.l.) on deeper, loamy cambisols. This type of larch-spruce forest has been continuously affected by irregular but repeated heavy windstorm disturbances. Intensive ecological monitoring started in middle 1990's when this community was identified as very susceptible to large-scale disturbances. The windstorm in 2004 flattened 12 000 hectares and larch-spruce forest was heavily affected. This event offered an opportunity to study long-term ecological changes caused by large-scale natural disturbance in order to adopt natural processes and its consequences in the Tatra National Park forest's management. In this paper we present selected results from site (climate, soil), vegetation and forest stand analysis before and after the disturbance derived from permanent research plots and sites with different post-windstorm management. Many parameters have confirmed elevated dynamic of energy and nutrient flows with significant impact on forest ecosystem components, structure and function. Further monitoring is needed to confirm current tendency in Larch-spruce ecosystem to rehabilitate its status to the pre-windstorm stage.

Key words: *The Tatra Mts., larch-spruce forest, windfall, disturbance ecology, succession*

Smrekovcové smrečiny (*Lariceto-Piceetum*) patria medzi najrozšírenejšie lesné spoločenstvá na južných svahoch Vysokých Tatier. V nich sme identifikovali dva typy s rozdielnym vývojovým cyklom: 1.) spoločenstvá blízke klimaxové stavu, ktoré sa vyskytujú najmä v 7. lesnom vegetačnom stupni (1 300 – 1 500 m n. m.), na plytkých, balvanitých podzoloch, 2.) spoločenstvá s blokovaným vývojom medzi sukcesiou a klimaxom, ktoré sa vyskytujú v 6. lesnom vegetačnom stupni (900 – 1 300 m n. m.), na hlbších, vlhších, hlinitých kambizemiach. Najmä druhý typ smrekovcových smrečín je dlhodobo postihovaný opakujúcimi sa veľkoplošnými vetrovými kalamitami. Intenzívny ekologický výskum začal v 90-tych rokoch min. stor., kedy sa analýzou potvrdila vysoká pravdepodobnosť opätovného veľkoplošného poškodenia. V roku 2004 vetrová kalamita postihla lesné porasty na výmere 12 000 ha, výrazne boli poškodené najmä smrekovcové smrečiny. Táto rozsahom výnimočná udalosť sa stala príležitosťou pre sledovanie dlhodobých ekologických zmien v lesných ekosystémoch vyvolaných veľkoplošnými prírodnými disturbanciami a uplatnenia prírodných procesov v starostlivosti o lesy v Tatranskom národnom parku. V tomto príspevku uvádzame vybrané poznatky o stanovištných pomeroch (klíma, pôda), vegetácii a lesných porastoch pred vetrovou kalamitou a po nej, získané z trvalých výskumných plôch a lokalít s rozdielnym spôsobom následnej lesníckej starostlivosti. Mnohé sledované parametre potvrdili zvýšenú dynamiku energo-materiálových tokov s významným vplyvom na zloženie, štruktúru a fungovanie lesného ekosystému bezprostredne po disturbancii. Ďalší monitoring je potrebný na potvrdenie súčasného trendu smrekovcových smrečín k obnove stavu pred kalamitou.

Kľúčové slová: *Vysoké Tatry, smrekovcové smrečiny, vetrová kalamita, ekologické disturbance, sukcesia*

1. Úvod a problematika

Stavu a vývoju lesných spoločenstiev vo Vysokých Tatrách je dlhodobo venovaná mimoriadna pozornosť. Cieľom starostlivosti o lesy v TANAP-e je nielen chrániť najzachovalejšie fragmenty prírodných a málo zmenených lesov, ale aj aktívne manažovať tie porasty, ktoré sa nevhodným využívaním v minulosti od prírodného stavu odchýlili, poškodili ich prírodné katastrofy alebo nezabezpečovali požadované funkcie v potrebnej miere. Pozornosť výskumu sa sústredila najmä do prírodných, prípadne antropicky málo ovplyvnených lesných porastov, ktoré zodpovedali predstave o ideálnom stave lesov v národnom parku. V nich sa zakladali trvalé výskumné plochy (TVP) zamerané na sledovanie zmien nielen porastovej štruktúry (KORPEL 1989, TUROK 1990) ale aj ostatných zložiek lesného ekosystému, najmä pôdy a vegetácie (STRNKA 1970). Poznatky z vývoja v prírodných lesoch sa mali uplatňovať pri rekonštrukcii zmenených porastov na stav prírode blízky. Pre tieto účely sa v tatranských lesoch založili desiatky výskumných a monitorovacích plôch.

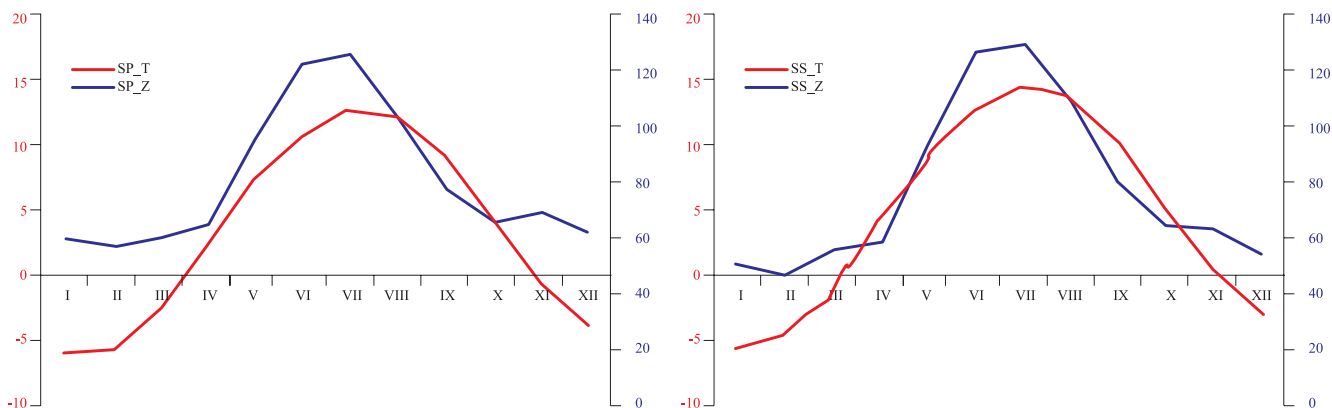
V príspevku hodnotíme dlhodobé zmeny v spoločenstve smrekovcových smrečín (*Lariceto-Piceetum*). Prvé TVP boli v tomto spoločenstve založené už v r. 1953. Výskum a monitoring smrekovcových smrečín (LP) sa zintenzívnil v 90. rokoch minulého storočia. Dôvodom bol fakt, že lesné porasty (LP) mali mnohé znaky, ktoré ich predisponovali pre veľkoplošné poškodenie (FLEISCHER *et al.* 2009). V r. 2004 centrálnu časť Vysokých Tatier a ich predhoria postihla vetrová kalamita mimoriadneho rozsahu. Vietor s rýchlosťou až 230 km/h vyvrátil a polámal lesné porasty na ploche 12 600 ha s objemom dreva 2,3 mil m³ (KOREŇ 2005). Udalosť sa stala silným impulzom pre ekologický výskum a systematické sledovanie zmien, ktoré spôsobila prírodná disturbancia v lesnom ekosystéme a jeho okolí. Diferencovaný spôsob spracovania kalamity umožnil sledovať aj dôsledky rozdielneho manažmentu postihnutého územia. Na sledovanie zmien sa sformoval medzinárodný tím s programom „Pokalamitný výskum“. Výskum sa sústredil do 100 ha modelových porastov, vybraných na základe maximálnej podobnosti stanovištných podmienok. Výberovým kritériám najlepšie vyhovovalo spoločenstvo LP. Vetrovou kalamitou postihnuté porasty reprezentuje plocha so spracovanou kalamitnou hmotou (EXT), plocha nespracovaná, ponechaná na tzv. samovývoj (NEX) a plocha postihnutá následným požiarom (FIR). Referenciou pre hodnotenie zmien je vetrovou kalamitou nepostihnutý porast (REF). Podrobný opis a charakteristika stanovištných pomerov modelových porastov je uvedená v práci FLEISCHER (2009).

Dlhodobý výskum LP má ambíciu prispieť k pochopeniu príčin a dôsledkov opakujúcich sa disturbancií na stav a vývoj lesných ekosystémov a k hľadaniu optimálneho modelu lesníckej starostlivosti v podmienkach polyfunkčného Tatranského národného parku.

2. Materiál a metódy

Smrekovcové smrečiny (*Lariceto-Piceetum* podľa ZLATNÍKA 1957, 1976) sú najrozšírenejšou skupinou lesných typov (slt) v centrálnej časti TANAP-u. Nachádzajú sa na výmere takmer 4 500 ha. Na východe začínajú v doline Bielej vody kežmarskej a súvislý výskyt na západe končí na Podbanskom. Vertikálne spoločenstvo siaha približne od 1 000 m n. m. po hornú hranicu lesa (1 550 m n. m.), vyskytuje sa v 6. a 7. vegetačnom stupni (Ivs) (FLEISCHER 1999). Pôdne pomery spoločenstva sú výrazne odlišné v 6. a 7. Ivs. Vyššie položené spoločenstvá na odnosovom type reliéfu sú najmä na plytkých, hruboskeltnatých, prevažne balvanitých sutiach s rankovými podzolovými pôdami. Nižšie položené spoločenstvá sú na akumuláčnom reliéfe a najmä na starších (mindel) morénach s glacifluviálnymi prekryvmi, kde sa často vyskytujú hlbšie, piesčito-hlinité pôdy typu kambizemí. Smrekovcové smrečiny prevažne patria do kategórie ochranných lesov. Vzhľadom na svoju polohu v okolí liečebných, rekreačných a sídelných objektov, plnia aj významnú zdravotno-rekreačnú a estetickú funkciu. Smrekovcovo-smrekové porasty, ako osobitosť vymykajúcu sa z rámca vegetačnej stupňovitosti v Karpatoch i ako paralelu s pomermi v Alpách, opísal TSCHERMAK (1944, ex FLEISCHER 1999). Pri stanovištnom a typologickom prieskume lesov Slovenska sa smrekovcové smrečiny mapovali ako podskupina spoločenstva jarabinových smrečín (*Sorbeto-Piceetum*, RANDUŠKA *et al.* 1959, HANČINSKÝ 1972, ex FLEISCHER 1999), spočiatku len 7. Ivs, od roku 1987 aj v 6. Ivs (Lesoprojekt, 1990). Pri obnove LHP v r. 1997 bola časť spoločenstva v 6. Ivs preradená do jedľových smrečín (*Piceto abietinum*). Podľa zürriško-montpeliérskej školy sa smrekovcové smrečiny klasifikujú ako asociácia *Vaccinio myrtilli – Piceetum*, zväz *Vaccinio-Piceion* (ŠOLTĚS *et al.* 2010). RYBNÍČEK (ex MICHALCO 1986) považuje smrekovcové smrečiny za súčasť extrazonálnej ihličnatej boreálnej tajgy v strednej Európe. Z východných a centrálnych Alp uvádza MUCINA *et al.* (1993, ex FLEISCHER, 1999) spoločenstvo *Larici-Picetum*, fytoocenologicky zhodné s tatranským *Lariceto-Piceetum*. Klimatické pomery južných svahov Vysokých Tatier sú jedným z faktorov podmieňujúcich výskyt smrekovcových smrečín. Teplotné a zrážkové pomery na spodnom okraji rozšírenia charakterizuje klimadiagram na obrázku 1 pre meteorologickú stanicu Starý Smokovec (1 020 m n. m.) a pri hornom okraji rozšírenia stanice Štrbské Pleso (1 330 m n. m.) pre obdobie 1930 – 1960. Priemerná ročná teplota v Smokovci je 4,7 °C, na Štrbskom Plese 3,4 °C, vo vegetačnom období (V. – VIII.) v Starom Smokovci 12,6 °C a na Štrbskom Plese 10,8 °C. Ročné zrážky v Starom Smokovci sú 931 mm, na Štrbskom Plese 964 mm, vo vegetačnom období zhodne po 450 mm (KONČEK *et al.* 1974).

V r. 2000 bola v porastoch LP uvedená do prevádzky meteorologická sieť Výskumnej stanice a múzea



Obr. 1. Klimadiagram meteorologickej stanice Štrbské Pleso (a) a Starý Smokovec (b), kde T – teplota vzduchu v °C, Z – zrážky v mm (podľa KONČEK *et al.* 1974)

Fig. 1. Climadiagrams of meteorological station Štrbske Pleso (a) and Sary Smokovec (b), where T – air temperature in °C, Z – precipitation in mm (KONČEK *et al.* 1974)

TANAP-u (VSaM), ktorú tvorilo 5 staníc zaznamenávajúcej teplotu a vlhkosť vzduchu (Onset Hobo, USA) a zrážky (Davis, USA). V r. 2005 v rámci tzv. pokalamitného výskumu bola sieť doplnená o ďalšie 4 lokality s rozšíreným sledovaním meteorologických prvkov. V 60 minútovom intervale sú registrované – teplota a vlhkosť vzduchu v 50 a 200 cm (EMS Brno ČR, Hygromer Rotronic USA, Vaisala Finland), smer a rýchlosť vetra (v 5 m, Gill Windsonic USA, Young 0032 USA), globálne a FAR žiarenie, NET bilancia (Kipp-Zone, Netherland).

Na posúdenie fyzikálnych a chemických vlastností pôd v sledovanom spoločenstve boli v rámci pokalamitného výskumu založené pôdne sondy. Prehľad poznatkov o pôdnych pomeroch sme uviedli v práci FLEISCHER & KOREŇ (2009). Za jeden z kľúčových faktorov podmienajúcich vývoj sledovaných lesných spoločenstiev považujeme humusové pomery. Hrúbku humusu sledujeme pomocou pevne osadených kovových tyčiek (9 bodov v pravidelnej sieti 3 × 3 m na 4 modelových plochách, spolu 36 merísk) s vyznačenou referenčnou hladinou voči ktorej počas vegetačného obdobia v 2 týždňových intervaloch sledujeme zmeny pomocou milimetrového meradla. Obsah humusu v hornej 10 cm vrstve a pH stanovujeme podľa CIESARIKA (ŠÁLY & CIESARIK 1991). Na rozhraní medzi organickým a minerálnym humusovým horizontom umiestňujeme celulózu v polyetylénových sieťkach pre posúdenie intenzity rozkladu podľa ŠKOLEKA (1981). Na vybraných lokalitách v hĺbke 8, 16 a 32 cm celoročne sledujeme teplotu (snímač Pt107) a vlhkosť (Delta Theta ML2x, UK) pôdy. Po narušení lesného ekosystému prírodnou, alebo antropogénnou disturbanciou nastáva zvýšený rozklad organickej hmoty (mineralizácia). Pri rozklade bielkovín sú hlavnými produktmi amoniak (po nitrifikácii dusičnany NO₃⁻) a oxid uhličitý CO₂. Dusíkaté látky sledujeme v pôdnej vode odobranej pomocou kremíkových platňových sacích lyzimetrov

(podtlak 400 mb). Kumulovanú vzorku na analýzu pH, vodivosti (Orion 5 Star, Thermo Electron Corp., USA), koncentráciu iónov NO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, Ca²⁺, Na+K⁺, Mg²⁺ (kapilárna elektroforéza, EA-102, Villa Labeco, Slovensko) a NH₄⁺, Al³⁺ spektrofotometricky (Specord 50, Jena Germany) odoberáme počas vegetačnej sezóny v 2 týždňovom intervale. Tok CO₂ z pôdy (pôdna respirácia) sledujeme na trvalých meracích bodoch komorovou metódou IR analyzátorom (Vaisala MI70, Finland) podľa postupu opísaného v práci FLEISCHER *et al.* (2009).

Vodu zo sledovaných potokov odoberáme s frekvenciou 1× za 14 dní. Vo vzorkách stanovujeme tie isté charakteristiky ako v pôdnej vode.

V práci kladieme osobitný dôraz na fytoocenologickú charakteristiku porastov LP postihnutých vetrovou kalamitou. Súčasné dynamické zmeny porovnávame so stavom v týchto porastoch v r. 1956 až 1983 (práce ÚHÚL a Lesoprojekt, nepublikované, súhrn v práci FLEISCHER 1999). Fytoocenologické zápisy v letnom aspekte sme vykonávali na plochách 20 × 20 m. Súradnice stredov fytoocenologických plôch uvádzame v tabuľke 1. Rastlinné druhy sme hodnotili BRAUN-BLANQUETOVOU kombinovanou stupnicou abundancie upravenou a zjemenou ZLATNÍKOM (1953). Zmeny vegetácie analyzujeme na základe fytoocenologických zápisov z r. 1956, 1983 (Lesoprojekt Zvolen) – 25 fytoocenologických zápisov a z roku 2010 – 6 zápisov z kalamitného územia. Zápisy z paralelných výskumných plôch sme analyzovali kombinovanou technikou numerickej klasifikácie metódou TWINSpan (HILL 1979). Cieľom bolo získať poznatky o druhovom zložení bylinnej synúzie, dominantných, charakteristických a diferenciálnych druhov pre štádium nepoškodeného a kalamitného štádia porastov smrekovcových smrečín.

Na ploche fytoocenologického zápisu (20 × 20 m) sme založili tzv. frekvenčné štvorce s veľkosťou 1 m², kde sa pred každým odberom spočítali jedince každého

zastúpeného druhu. Následne sme stanovili priemerný počet jedincov na 1 m². V rovnakých podmienkach bol odobratý stanovený počet 30 jedincov z každého druhu. Po vysušení biomasy v sušičke pri teplote 85 °C, sme zo suchej hmotnosti 30 jedincov vypočítali priemernú hmotnosť jedinca. Z počtu jedincov na m² a priemernej hmotnosti jedinca sme stanovili celkovú biomasu druhu (t.ha⁻¹). Pre stanovenie primárnej produkcie sme zvolili metódu nepriameho odberu (KUBÍČEK 1977). Odbery sme uskutočnili v roku 2010 v troch mesačných cykloch jún, júl a august.

Pre ordinačné analýzy zápisov zo stojaceho lesa a kalamitného územia sme použili balík programov CANOCO (TER BRAAK & ŠMILAUER 2002). Testy detrendovanou metódou ukázali, že vo všetkých analyzovaných prípadoch ide o lineárnu závislosť na všetkých analyzovaných faktoroch ($Length\ of\ 1st\ gradient < 3$), z toho dôvodu sme použili lineárnu analýzu RDA (*reduced-rank regression*) (TER BRAAK & ŠMILAUER 2002).

Tabuľka 1. Súradnice stredov plôch fytoocenologického výskumu na kalamitnom území

Table 1. Coordinates of the phytocenological plots on a windfall area

Lokalita ¹⁾	E	N
REF	20°06,2417'	49°07,2919'
EXT	20°09,7729'	49°07,2791'
FIR	20°11,8013'	49°07,8225'
NEX	20°15,2002'	49°09,5749'

¹⁾Locality

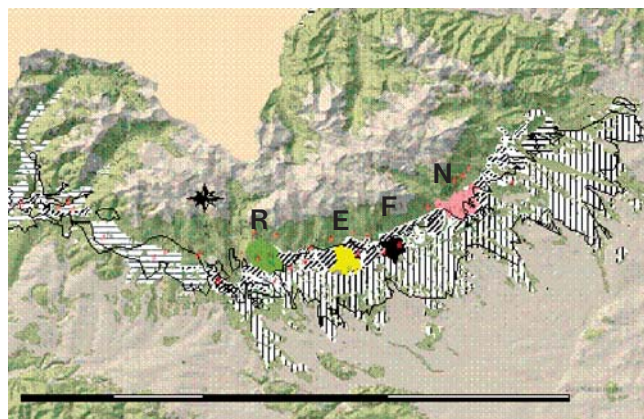
Na kalamitnom území sledujeme na pravidelnej sieti 250 × 250 m umiestnených na 100 ha modelových plochách prirodzené zmladenie. Pričom ako podklad sme použili monitorovaciu sieť 500 × 500 m založenú pracovníkmi NLC Zvolen pre účely hodnotenia stavu lesa (ŠEBEŇ *et al.* 2011). Na každom bode, ktorý sa nachádzal v rámci 100 ha modelových plôch sme vytýčili 4 satelitné kruhy s polomerom 3 m vzdialené od stredu 8 m. Počet monitorovacích plôch uvádzame v tabuľke 2.

Tabuľka 2. Počty trvalých monitorovacích plôch výskumu prirodzeného zmladenia v pravidelnej sieti 250 × 250 m

Table 2. Number of permanent monitoring plots for natural regeneration on regular mash 250 × 250 m

	Modelové územie ¹⁾		
	EXT	FIR	NEX
Počet TMP ²⁾	21	15	20

¹⁾Research area, ²⁾Number of permanent monitoring plots



Obr. 2. Smrekovcové smrečiny (v 6. lvs-šikmá šrafáž), borovicové smrečiny (zvislá šrafáž), smrečiny s jedľou (vodorovná šrafáž), obvod vetrovej kalamity (plná čiara), poloha výskumných objektov s rozdielnym manažmentom (R-REF, E-EXT, F-FIR, N-NEX), typologické plochy (+), meteorologické stanice (■), plochy na hodnotenie porastovej štruktúry (●) v spoločenstve LP

Fig. 2. Larch-spruce forest (diagonal strips), pine-spruce forest (vertical strips), fir-spruce forest (horizontal strips), windfall area (line), research sites with different type of management and disturbance (R-reference, E-extracted, F-fire, N-non extracted) geobiocenological research sites (+), meteorological stations (■), forest structure plots (●) in spoločenstve LP

3. Výsledky a diskusia

Vzájomný prekryv LP a územia postihnutého vetrovou kalamitou z r. 2004 v prostredí GIS (ArcMap) poukázal na ich dobrú priestorovú zhodu. V rámci súvislej kalamitnej plochy tvorili smrekovcové smrečiny 35 %, smrečiny s jedľou 15 %. Najväčší podiel (55 %) mali borovicové smrečiny. Spoločenstvo smrekovcových smrečín bolo postihnuté najmä v 6. vls, v 7. lvs ostalo viac-menej nenarušené. Na obrázku 2 je poloha vetrovej kalamity z r. 2004, lesné spoločenstvá, modelové (100 ha výskumné plochy), typologické plochy, plochy na sledovanie porastovej štruktúry a meteorologické stanice v spoločenstve LP.

Súhlasná poloha spoločenstiev s druhmi náročnými na svetlo (smrekovec – *Lariceto-Piceetum* a borovica – *Pineto-Piceetum*) a kalamitnej plochy je v zhode so závermi dendrochronologického výskumu tejto oblasti, že spoločenstvo smrekovcových smrečín je dokázateľne viac ako 200 rokov sústavne ovplyvňované ničivými víchricami a je nutnou podmienkou pre dočasnú koexistenciu dvoch hlavných drevín s kontrastnými ekologickými nárokmi – smrek a smrekovec (ZIELONKA *et al.* 2010).

3.1. Pôdne pomery

Opakujúce sa vývraty a polomy na tom istom území sú príčinou veľmi dynamického kopčekovitého mikroreliefu (tzv. *pit and mound*), preto sú morfogenetické,

fyzikálne a chemické pôdne znaky a vlastnosti tak veľmi premenlivé (FLEISCHER & KOREŇ 2009). ROJAN (2010) uvádza, že v priemere až 10 % pôdneho povrchu na kalamitnej ploche bolo narušené vývratmi (jamy, kopčky). Opakujúce sa odkrytie pôdneho povrchu spôsobuje intenzívnejší rozklad povrchového humusu. Podľa údajov z pôdnych opisov z r. 1955 – 1983 sme zistili, že priemerná hrúbka nadložného humusu v starých, vetrovými kalamitami nepostihnutých porastoch bola priemerne o 50 % väčšia ($p > 0,05$) ako na kalamitami postihovaných lokalitách (FLEISCHER & KOREŇ 2009). Výsledky priameho merania strát humusu však nepotvrdili očakávanú zmenu hrúbky nadložného humusu. Počas vegetačného obdobia v r. 2009 sme prakticky nezistili žiadne straty. Na dvoch vetrom poškodených plochách (spolu 18 merísk) sme zistili priemerný rozdiel 0,0 cm, na ploche po požari (9 merísk) stratu 0,3 cm. Domnievame sa, že najväčšie zmeny v transformácii humusu prebehli v prvých rokoch po kalamite a naše hodnotenie sa uskutočnilo až vo fáze stabilizácie, ako z borovicových porastov po opakovaných požiaroch a holoruboch v severnej Amerike konštatujú LEDUC & ROTHSTEIN (2007). Ku rýchlej stabilizácii humusových pomerov určite prispel aj intenzívny vývoj sukcesnej vegetácie ako dôsledok priaznivých klimatických pomerov po r. 2004. V minulosti po podobnom rozvrate bola lesná pôda zrejme dlhodobejšie exponovaná a humus nielen intenzívnejšie mineralizoval, ale bol aj transportovaný do minerálnej vrstvy pôdy. Vysoký obsah humusu v minerálnych horizontoch podzolovaných kambizemí smrekovcových smrečín (v A horizonte priemerne 16 %, v Bh priemerne 7 %) bol zistený pri stanovištnom a typologickom prieskume (FLEISCHER & KOREŇ 2009). Rovnako aj MIČUDA *et al.* (2006) uvádzajú v referenčnom poraste (REF) 13 % podiel a na kalamitnej ploche (EXT) 11 % podiel humusu. Kvalita humusu vyjadrená pomerom C/N bola v spoločenstve smrekovcových smrečín hodnotená aj v minulosti, počas typologického prieskumu (FLEISCHER & KOREŇ 2009). Hodnoty sa nachádzali v intervale 10 – 22 (priemer v A horizonte 18 a v B horizonte 16). Podobné výsledky uvádza GÖMÖRYOVÁ *et al.* (2010). ZIEGLER *et al.* (2007) z porastov smrekovcových smrečín uvádza za sledované obdobie 2006 – 2007 hodnoty C/N v intervale 33 – 35 pre stojace porasty a 32 – 42 pre kalamitné plochy. Z tých istých lokalít MIČUDA *et al.* (2006) uvádza pomer Cox/N_{tot} na ploche referenčného porastu v intervale 9,6 – 25,4 a na kalamitnej ploche (EXT) 6,6 – 11,8. VILČEK *et al.* (2005) za optimálnu považuje hodnotu okolo 10. Hodnota C/N nad 20 je považovaná za hranicu kedy dochádza ku tlmeniu mineralizácie. GUNDERSEN *et al.* (1998) konštatuje, že v smrekových lesoch strednej Európy s ročnou atmosférickou depozíciou nad 10 kg/ha N a pomerom C/N pod 25 významne stúpa riziko pôdnych strát dusíka ($N - NO_3$) vyplávaním (leaching). Dlhodobé sledovanie atmosférickej depozície dusíka (od r. 1997) v areáli

smrekovcových smrečín potvrdzuje, že ročná depozícia dusičnanového a amoniakálneho dusíka (Nt ako suma $N - NO_3^- + N - NH_4^+$) pri spodnom okraji rozšírenia (VH – Vyšné Hágy 1 100 m n. m.) je na voľnej ploche priemerne 5,9 kg N/ha. Pomer $N - NH_4^+ / N - NO_3^-$ má hodnotu 1,6. Maximálna ročná depozícia Nt bola 9,2 kg N/ha (r. 2004) a minimálna 3,4 kg (v r. 1999). V zrážkach pod korunami celkový dusík vstupoval do porastov s priemernou hodnotou 13,5 kg/ha a amoniakálneho dusíka bolo 5-násobne viac ako dusičnanového. Na hornom okraji smrekovcových smrečín (PP – Popradské pleso, 1 500 m n. m.) je dlhodobý (1998 – 2008) priemerný vstup Nt 8,1 kg/ha, max. 13,0 (2004), min. 4,5 (2000). V porastových zrážkach sme namerali hodnoty ako na ploche VH. Z hľadiska trendov môžeme konštatovať, že na všetkých sledovaných plochách celkový dusík kulminoval v r. 2004, potom nastal prudký pokles a od r. 2008 sledujeme opäť postupný nárast (FLEISCHER *et al.* 2010). Prevalu fulvokyselín v humuse smrekovcových smrečín pred ich rozvratom uvádza FLEISCHER (1999). Ich prevládajúci podiel korešponduje s nízkym pH. V povrchovej 10 cm vrstve sme zistili na kalamitnej ploche $pH H_2O$ 3,75 – 3,86, v stojacom poraste 3,5, čo ich klasifikuje ako extrémne kyslé. Podobné výsledky zo stanovištného a typologického prieskumu uvádzajú FLEISCHER & KOREŇ (2009), a po vetrovej kalamite MIČUDA *et al.* (2006), GÖMÖRYOVÁ *et al.* (2010). Spolu s nízkym, až extrémne nízkym obsahom báz a nasýtenia sorbčného komplexu (FLEISCHER & KOREŇ 2009) majú smrekovcové smrečiny predispozíciu pre nízku úroveň tlmenia acidifikácie.

3.2. Mikroklimatické pomery

V stojacom (referenčnom) poraste sme zistili asi 50 % pokles globálneho žiarenia oproti otvorenej kalamitnej ploche. Teplota vzduchu počas vegetačného obdobia (V. – VIII.) je v lese nižšia priemerne o 2 °C. Ku miernemu zvýšeniu teploty vzduchu na nespracovanej kalamite (NEX) prispieva menšie prúdenie vzduchu v prízemnej vrstve. Zvrstvenie teploty vzduchu nad povrchom je silne ovplyvňované vlhkosťou pôdy zvlášť na lokalitách bez vegetácie (MATEJKA & HURTALOVÁ 2007). V r. 2006 počas extrémne teplých dní bez zrážok dosahovala teplota nad povrchom pôdy hodnoty okolo 40 °C (MIŠÍKOVÁ & ŠKAVRENINA 2009), čo spôsobilo fyziologický stres výsadbám a prirodzenému zmladeniu najmä na ploche postihnutej požiarom. Na plochách pokrytých odrastenou sukcesnou vegetáciou sa tento problém nevyskytol.

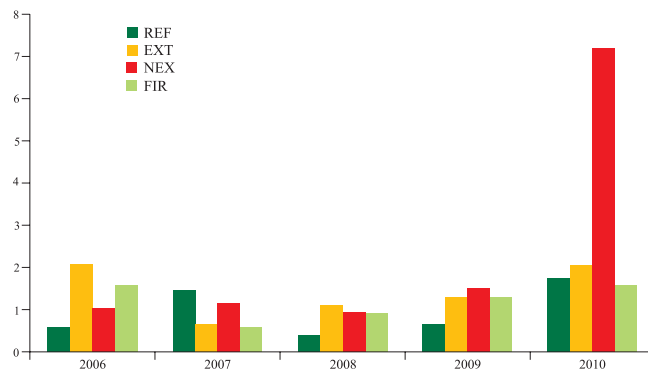
3.3. Vlhkosť pôdy

Vlhkosť pôdy sa od začiatku merania (leto 2005) pohybuje v priemere okolo 33 objemových %. Len počas dlhších období bez zrážok (> 7 dní) sme zaznamenali pokles pod 20 %. Vyrovnaný chod pôdnej vlhkosti je dôsledkom unikátneho zrnitostného zloženia pôd sledovaných porastov smrekovcových smrečín. Na jednej strane majú vysoký podiel skeletu, (> 2 mm), čo prispie-

va ku mimoriadne vysokému infiltračnému potenciálu sledovaných pôd. Vysokú skeletnosť sme konštatovali už v minulosti (FLEISCHER & KOREŇ 2009) na základe posúdenia výsledkov 16 plôch typologického prieskumu v spoločenstve smrekovcových smrečín (v A horizonte priemerne 32 % a v B horizonte 44 %). Infiltrácia zrážkovej vody sa ešte zvýšila zdrsnením pôdneho povrchu po vývratoch spôsobených vetrovou kalamitou v r. 2004. Na druhej strane, strate vody z dosahu vegetácie zabraňuje vysoký podiel vododržnej hlinitej frakcie a humusu, najmä vo vrchných vrstvách pôd. Hodnotenie fyzikálnych vlastností pôd na sledovaných lokalitách potvrdilo, že podiel pórov v pôdach spoločenstva LP tvorí v priemere 65 až 71 % pôdneho objemu. Aj z tohto dôvodu objemová hmotnosť dosahuje hodnoty do 1 g.cm⁻³ (NOVÁK *et al.* 2008, FLEISCHER & FLEISCHER 2009). Veľmi dobrá schopnosť pôdneho prostredia vyrovnávať hydrické pomery sa potvrdila aj v zrážkovo extrémnom r. 2010. Napriek mimoriadnym zrážkovým úhrnom (na meteorologickej stanici Tatranská Lomnica v máji – 182 mm, čo je 210 % normálu a v júli – 213 mm, čo je 155 % normálu), nedošlo na sledovanom území ku pozorovateľnému povrchovému odtoku a vzniku erózie. Faktom ale je, že v r. 2010 sa holá, vegetáciou nepokrytá plocha na kalamitou postihnutom území prakticky už nenachádzala. Spoločným znakom pôdnej vlhkosti na všetkých sledovaných plochách je jej mimoriadna priestorová variabilita a to i za výnimočných meteorologických podmienok (FLEISCHER & FLEISCHER 2009). Spolu s teplotne nadnormálnymi a zrážkovo dostatočnými vegetačnými obdobiami od r. 2004 to považujeme za kľúčový faktor pre úspešné a intenzívne šírenie bylinnej vegetácie, krov a drevín na kalamitných plochách.

3.4. Rozklad celulózy, respirácia, mineralizácia

Intenzita rozkladu celulózy ako indikátor biologickej aktivity pôdy bola v spoločenstve LP sledovaná už v r. 1997. Podľa hustoty porastového zápoja a typu prízemnej vegetácie bola strata hmotnosti celulózy od 0,371 do 1,229 mg za deň. Minimálne hodnoty boli v zapojenom poraste s machmi v prízemnej vrstve a najvyššie na otvorených plochách po pálení haluziny (FLEISCHER 1999). Hodnotenie v r. 2006 – 2010 potvrdzuje nárast intenzity rozkladu organického materiálu na kalamitných plochách. Kým v nepoškodenom (referenčnom) lese je priemerný úbytok za r. 2006 – 2010 na hmotnosti vzorky celulózy 0,94 mg.deň⁻¹, na kalamitnej ploche 1,41 (EXT), až 2,3 mg.deň⁻¹ (NEX). Na ploche po požiari 1,18 mg.deň⁻¹. Teplotne nadnormálny a zrážkovo deficitný rok 2007 bol všeobecne rokom s nízkou intenzitou rozkladu. Od r. 2008 sledujeme na všetkých plochách sústavné rastúci trend. Pribeh priemernej intenzity rozkladu na jednotlivých plochách za sledované obdobie je na obrázku 3. Extrémny nárast rozkladu na ploche NEX v r. 2010 pravdepodobne súvisí s opakovaným vyhrabaním vzoriek celulózy zverou.



Obr. 3. Priemerný rozklad celulózy (mg.deň⁻¹) na sledovaných plochách v r. 2006 – 2010

Fig. 3. Average decomposition of cellulose (mg.day⁻¹) on research sites in 2006-2010

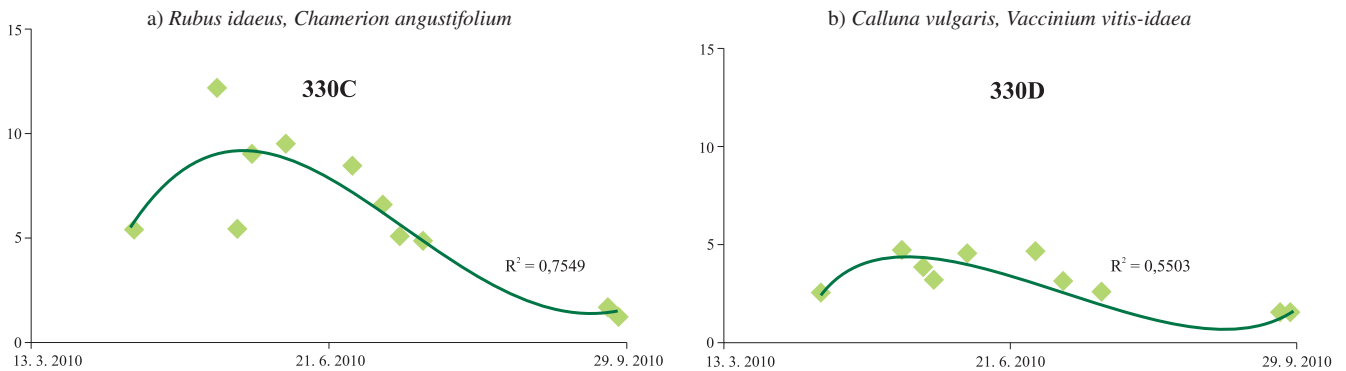
Indikátorom biologickej aktivity je aj pôdna respirácia. Po oba sledované roky bola najvyššia respirácia na ploche postihnutej vetrovou kalamitou a následným požiarom (FIR), ako uvádzame v tabuľke 3. V r. 2009 boli vysoké aj hodnoty v nepoškodenom poraste (REF), pravdepodobne kvôli významnej koreňovej respirácii stromov. V r. 2010 sme zaznamenali mierny nárast respirácie na spracovanej kalamitnej ploche EXT. Pokles sme zistili na ploche spáleniska (FIR) a v stojacom lese (REF). Domnievame sa, že v referenčnom poraste to môže byť odrazom zníženej koreňovej respirácie v dôsledku nárastu počtu suchých stromov napadnutých podkôrnym hmyzom. Predpokladáme, že heterotrofná zložka respirácie (pôdne mikroorganizmy) sa zásadne nezmenila, čo potvrdzuje mierny nárast intenzity rozkladu celulózy. Navyiac, výrazne sa nezmenila ani prízemná vegetácia, ktorá by mohla ovplyvniť pôdnu respiráciu zmenou autotrofnej zložky. Pôdna respirácia počas sledovaného obdobia (máj – október) predstavuje únik 7,5 t C ha v nepoškodenom, referenčnom poraste a na kalamitných plochách 9,9 (EXT) až 13,7 (FIR) t C/ha. Takmer 50%-né zvýšenie respirácie na ploche s nespracovaou kalamitou (NEX) v r. 2010 je len orientačné. Meracie body boli v r. 2010 viackrát poškodené zverou, čo spôsobilo menší

Tabuľka 3. Priemerná pôdna respirácia (CO₂ v μmol.m⁻².s⁻¹) na sledovaných plochách v r. 2009 a 2010

Table 3. Average soil respiration (μmol CO₂.m⁻².s⁻¹) on research sites in 2009 and 2010

Lokalita ¹⁾	avg 2009	Sx	avg 2010	sx
REF	6,6	2,5	5,5	2,0
EXT	4,1	1,6	4,9	2,6
FIR	6,7	1,4	7,1	3,8
NEX	4,6	1,1	6,2	—

¹⁾Locality



Obr. 4. Sezónny priebeh pôdnej respirácie (IV. – IX. v $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) na ploche spracovanej kalamity (EXT) v kontrastných stanovištných typoch

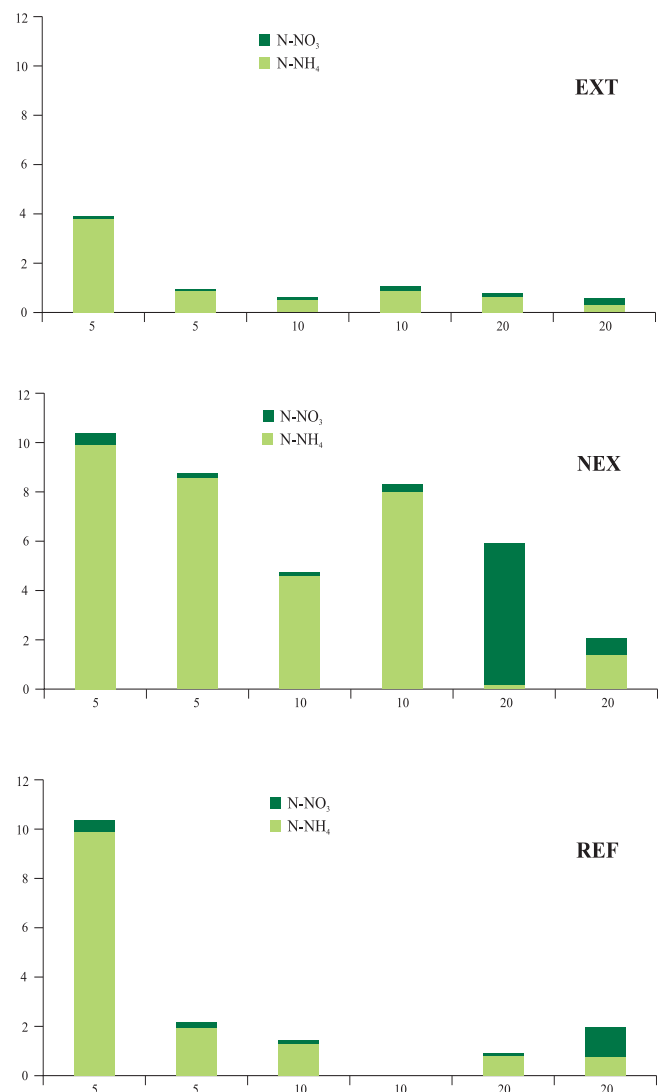
Fig. 4. Seasonal course of soil respiration (IV-IX in $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) on managed windfall site (EXT) in contrast habitat types

počet meraní a vyššie hodnoty unikajúceho CO_2 z pôdy. Nárast tzv. rúbaňovej vegetácie a nápadné zvýšenie intenzity rozkladu celulózy však potvrdzuje, že aj na plochách s nespracovanou kalamitou nastali intenzívnejšie biochemické pochody, ktoré sme doteraz sledovali len na plochách so spracovanou kalamitou, resp. požiarom (EXT, FIR). Vetrová kalamita zmenila toky uhlíka v postihnutých lesných porastoch. Kým stojace porasty boli depóniom uhlíka (sink), kalamitné plochy sa stali jeho zdrojom (source), ako sme uviedli v predchádzajúcich prácach (FLEISCHER *et al.* 2009).

Najvyššie hodnoty pôdnej respirácie sme zaznamenali v cenózach *Rubus idaeus* – *Chamaenerion angustifolium* (hlbšie, hlinité, a vlhšie pôdy), najmenej v porastoch *Vaccinium vitis-idaea*, *Calluna vulgaris* (plytké, skeletnaté a presýchavé pôdy), ako uvádzame na obrázku 4.

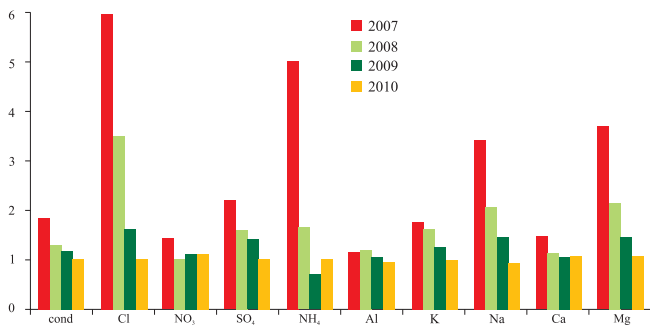
Zvýšenú mineralizáciu v dôsledku odclonenia pôdneho povrchu zaznamenal v minerálnom A horizonte BISHOFF *et al.* (2008) pomocou SAI absorbérov. V hĺbke 20 cm na ploche s nespracovanou kalamitou (NEX) uvádza až $23 \text{ kg N} - \text{NH}_4^+/\text{ha}$, kým v referenčnom, stojacom poraste len $2 \text{ kg}/\text{ha}$. Podiel dusíka vo forme NH_4^+ a NO_3^- bol na kalamitnej ploche v pomere 1 : 1 až 3 : 1, ale v opačnom pomere (1 : 3) v nepoškodenom, referenčnom poraste. V hĺbke 60 cm bolo dusíka výrazne menej a na kalamitných plochách bol pomer $\text{N} - \text{NH}_4^+$ a $\text{N} - \text{NO}_3^-$ od 1 : 5 až 1 : 10, čo autori považujú za prejav intenzívnej amonifikácie a nitrifikácie.

Hodnotenie obsahu dusíkatých látok bolo v r. 2010 založené na analýze koncentrácie jednotlivých foriem v lyzimetrických vodách. Aj tu sa potvrdilo, že na kalamitných plochách je viac dusíka (Nt v 5 cm na EXT $2,5 \text{ mg}/\text{L}$ a $9 \text{ mg}/\text{L}$ na NEX, v referenčnom REF poraste $2 \text{ mg}/\text{L}$). V hĺbke 10 a 20 cm boli rozdiely menšie (obr. 5). Zo zastúpenia $\text{N} - \text{NH}_4^+$ a $\text{N} - \text{NO}_3^-$ môžeme odvodiť, že na rozhraní organického a minerálneho horizontu je sezónny pomer 5 : 1 na všetkých sledovaných lokalitách. Vyšší podiel amoniakálneho dusíka naznačuje



Obr. 5. Obsah dusíka ($\text{N} - \text{NO}_3^-$ a $\text{N} - \text{NH}_4^+$) v lyzimetrických vodách (v $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) v r. 2010 na plochách s rôznym manažmentom v 5, 10 a 20 cm hĺbke

Fig. 5. Nitrogen ($\text{N} - \text{NO}_3^-$ a $\text{N} - \text{NH}_4^+$) in lysimetric water (in $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) in 2010 on sites with different windfall management in 5, 10 and 20 cm depth



Obr. 6. Index obohatenia vôd Studeného potoka sledovanými látkami prechodom cez kalamitnú plochu, 2007 – 2010

Fig. 6. Index of Studený potok creek enrichment by elements when passing through a windfall area in 2007-2010

spomalenie nitrifikácie alebo zvýšený príjem nitrátového dusíka rastlinami. Veľmi podobné hodnoty koncentrácie dusíka v lyzimetrických vodách naznačujú, že chemické a mikrobiologické pomery na jednotlivých lokalitách sa v niektorých parametroch začínajú výrazne približovať. Toto konštatujú v posledných prácach aj GÖMÖRYOVÁ *et al.* (2010), HANAJÍK (2010).

Narušenie pôdneho povrchu vetrovou kalamitou, veľké množstvo nekromasy a mineralizácia humusu boli príčinou zvýšeného prísunu látok do povrchových vôd. Na obrázku 6 uvádzame index obohatenia (I_{ofi}) vôd Studeného potoka ako podiel koncentrácie látky meranej na výstupe (o – out) vodného toku z kalamitného územia a na vstupe (i – in). Najmä Studený potok má za sledované obdobie 2007 – 2010 výrazne klesajúci trend „obohacovania“ povrchových vôd o sledované látky. Kým v r. 2007 mal index I_{ofi} priemernú hodnotu 2,8, v r. 2010 klesol dokonca 1,0. Výsledky považujeme za prejav stabilizácie pôdno-humusových pomerov na kalamitných plochách najmä v dôsledku veľmi dynamického vývoja sukcesnej vegetácie.

3.5. Porastové pomery

Porastové pomery v spoločenstve LP v 7. lvs hodnotil v 80. rokoch TUROK (1990) a v 90. rokoch minulého storočia sme na základe 50-tich výskumných plôch konšatovali vysoké porastové zásoby (priemer 610 m³/ha v 6. lvs vo veku nad 90 rokov, veľké počty stromov s hrúbkou nad 2 cm (priemerne v 6. lvs 900 – 1 400 ks/ha), nepriaznivé ukazovatele statickej a ekologickej stability (jednovrstvové porasty v 6. lvs tvoria 40 %, podiel smrekovca v porastoch najčastejšie do 10 %, sústredenie hmoty do stromov v nadúrovni, ubúdanie podúrovňových stromov, zjednodušovanie vertikálnej a druhej štruktúry, nižšia konkurencieschopnosť smrekovca v zapojených porastoch – v jednovrstvových porastoch do 90 rokov podiel smrekovca 3 % nad 90 rokov 1,5 %, vo viacvrstvových porastoch do 90 rokov 25 % nad 90 rokov 17 %, ktoré boli považované za vážne riziko pre stabilitu týchto porastov (FLEISCHER 1999). Vetrová kalamita zničila väčšinu

z týchto výskumných plôch na dlhodobé sledovanie porastovej štruktúry. Priebežné výsledky z hodnotenia rastových pomerov dendrochronologickou metódou (FLEISCHER 2009) naznačujú že vo vetrom nepoškodených porastoch dochádza ku zvýšenej tvorbe prírastku. Aj opakované hodnotenie na TVP T-20 (Pod Slavkovským, založenej v r. 1972 (TUROK 1990, s opakovaným meraním v r. 1998 (FLEISCHER 1999) poukazujú na nárast kruhovej plochy i ročný hmotový prírastok. Výsledky prirodzene nemožno zovšeobecňovať na celé spoločenstvo, pre overenie trendu je nutné opakované hodnotenie na ďalších vetrom nepoškodených TVP.

Tabuľka 3. Základné porastové charakteristiky TVP Pod Slavkovským (prepočítané na 1 ha)

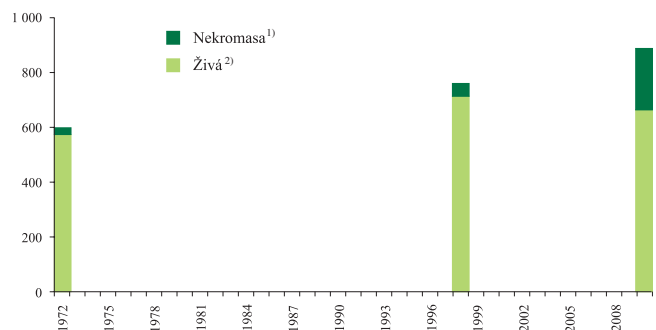
Table 3. Basic stand characteristics of PRP Pod Slavkovským (values per 1 hectare)

	1972	1998	2010
N	1 514	1 443	1 358
KP	900	1 032	1 131
PKPJ	0,6	0,7	0,8

N – počet stromov (ks/ha) – number of trees per ha, KP – kruhová plocha porastu (m²/ha) – basal area (m²/ha), PKPJ – priemerná kruhová plocha jedince (m²) – Average single tree basal area (m²).

Na TVP sa výrazne zvýšil priemerný ročný hmotový prírastok. Kým do r. 1998 bol 6 m³/ha, v poslednom období dosiahol až 9 m³/ha. Na obrázku 8 uvádzame vývoj zásob (m³/ha) v sledovaných rokoch v členení na živú (nadzemnú) biomasu a nekromasu (stojaca + ležiaca).

Takýto objem drevnej biomasy v poraste vo výške 1 300 m n. m., na plytkej, minerálne chudobnej pôde (podzol rankrový) je prekvapujúci výsledok. Porast bol pravdepodobne v minulosti postihnutý vetrovou kalamitou, o čom svedčí prítomnosť predrastavých 150 – 180-ročných smrekovcov a 80 – 130-ročných



Obr. 7. Zásoba (m³·ha⁻¹) TVP Pod Slavkovským v r. 1972, 1998 a 2010 v členení na živú a nekromasu

Fig. 7. Stand stock (m³·ha⁻¹) on PRP Pod Slavkovským in 1972, 1998 a 2010 presented as living biomass and deadwood
¹Deadwood, ²Living biomass

smrekov v nižších vrstvách. BORMANN *et al.* (1995) uvádza zmenu akumulácie uhlíka z pôdy do nadzemnej biomasy v boreálnych lesoch severnej Ameriky po opakovaných prírodných disturbanciách. Potvrdenie toho trendu by mohlo znamenať ďalšie riziko rozvratu doteraz nepoškodených lesných porastov v oblasti Vysokých Tatier, ktoré boli v minulosti postihnuté rozsiahlymi vetrovými disturbanciami. Vysoké teploty vzduchu a dostatočné zrážky vo vegetačnom období, stúpajúce depozície dusíka sa v posledných rokoch pravidelne opakujú a môžu vplývať na intenzitu rastu stromov a tak ešte zvýšiť nepriaznivé dôsledky na lesné porasty. KORPEL (1989), na základe dlhodobých sledovaní, v tatranských lesoch považoval zásobu nad 500 m³.ha⁻¹ za kritickú hodnotu, jej prekročenie znamenalo vysoké riziko rovrátenia porastov vetrom.

3.6. Prírodné zmladenie

Prírodné zmladenie v porastoch LP sme sledovali aj pred r. 2004. Konštatovali sme síce vysoké počty semenáčikov, ale aj mimoriadne vysokú mortalitu a prudko klesajúce počty jedincov vývojovo starších kategórií. V zapojených porastoch sa takmer výlučne zmladzoval len smrek (FLEISCHER 1999). V r. 2010 sme na sledovaných kalamitných plochách evidovali 12 druhov zmladzujúcich sa drevín. Na kalamitných plochách dominovali smrek (*Picea abies*), breza (*Betula* sp.), jarabina (*Sorbus aucuparia*) a rakyta (*Salix caprea*), ktoré podľa jednotlivých rastových stupňov dosahovali okolo 80 – 90 % podiel. Ďalšími drevinami boli borovica (*Pinus sylvestris*) a smrekovec (*Larix decidua*). S malým podielom na celkovej početnosti sa vyskytovali jedľa (*Abies alba*), jaseň (*Fraxinus excelsior*), javor horský (*Acer pseudoplatanus*), limba (*Pinus cembra*) a osika (*Populus tremula*). Prírodné zmladenie na kalamitných plochách sa vyznačuje vysokou variabilitou a výskytom v hlúčkoch. K priestorovej distribúcii prírodného zmladenia a sukcesnej vegetácii vôbec prispieva heterogenita mikroreliefových (korene, vývraty, obnažená pôda) a vlhkostných pomerov.

Tabuľka 4. Počty jedincov prírodzenej obnovy na kalamitných plochách

Table 4. Numbers of natural regeneration on windfall sites

Plocha ¹⁾	tis ks/ha
EXT	4,53 ± 1,31
FIR	4,19 ± 0,66
NEX	4,44 ± 0,95

¹⁾Area

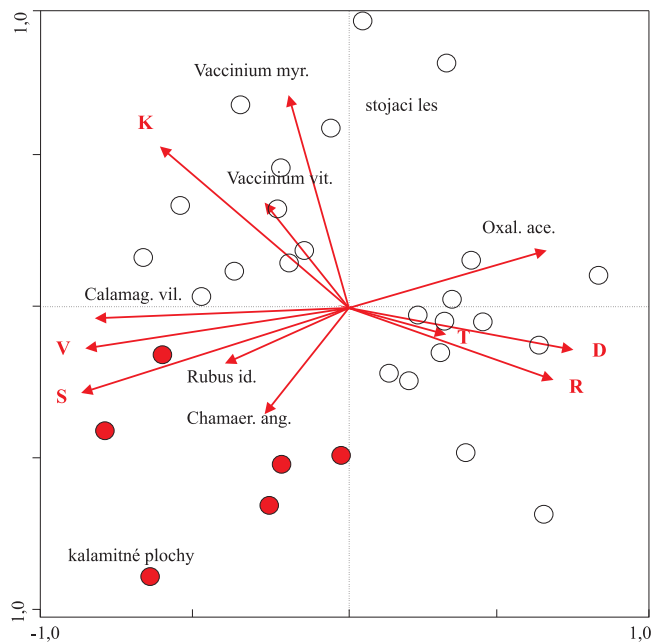
3.7. Vegetačné zmeny

Zloženie vegetácie v spoločenstve LP sa pred kalamitou dalo charakterizovať ako veľmi jednoduché a druhovo

chudobné. Na základe analýzy 25 fytoocenologických zápisov z r. 1952 – 1983 sme konštatovali že charakteristickými až dominantnými druhmi synúzie podrastu stojaceho lesa sú acidofilné druhy: *Vaccinium myrtillus*, *Oxalis acetosella*, *Rubus hirtus*, *Prenanthes purpurea*, *Polygonatum verticillatum* a paprade: *Dryopteris dilatata*, *Athyrium filix-femina*, ktoré znášajú zatiene a nižšie teploty, ale sú náročnejšie na vlhkosť vzduchu i pôdy. Vo vyšších nadmorských výškach pristupujú subalpínske druhy: *Homogyne alpina*, *Luzula sylvatica*.

Na základe analýzy zápisov TWINSPAN, ktorá rozdelila zápisy na základe príslušnosti k vývojovému štádiu (tab. 5). Druhy *Calamagrostis villosa* a *Vaccinium myrtillus*. V štádiu stojaceho lesa dosahujú často dominantný charakter. Druhy: *Oxalis acetosella*, *Luzula luzuloides*, *Dryopteris dilatata*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Homogyne alpina* a *Mainthemum bifolium* predstavujú charakteristické druhy spoločenstva. Diferenciálnymi druhmi stojaceho lesa sú druhy: *Hieracium murorum*, *Polygonatum vericillatum*, *Gentiana asclepiadea*. Diferenciálnymi druhmi kalamitného štádia (šesť rokov po kalamite) sú *Chamaerion angustifolium* a *Rubus idaeus*.

RDA analýza (zápisy pred a po kalamite) (obr. 7) rozdelila zápisy do dvoch skupín, na zápisy z kalamitnej plochy a zo stojaceho lesa. Vzťah medzi enviromentálnymi premennými a vybranými rastlinnými druhmi v spoločenstve smrekovcových smrečín naznačuje pozitívnu koreláciu medzi faktormi reakcia pôdy a obsah dusíka



Obr. 8. RDA, triplot, vzťah medzi enviromentálnymi premennými (S – svetlo, T – teplota, K – kontinentalita, V – vlhkosť, R – pôdna reakcia, N – obsah dusíka) a vybranými rastlinnými druhmi

Fig. 8. RDA, triplot, relationship between environmental variables (S – light, T – temperature, K – continentality, V – moisture, R – acidity, N – nitrogen) and selected plants

Tabuľka 5. Primárna produkcia biomasy vybraných druhov v roku 2010

Table 5. Primary production of selected species in year 2010

Biomasa ¹⁾ (t/ha)	REF			EXT			FIR			NEX		
	jún ²⁾	júl ³⁾	august ⁴⁾	jún ²⁾	júl ³⁾	august ⁴⁾	jún ²⁾	júl ³⁾	august ⁴⁾	jún ²⁾	júl ³⁾	august ⁴⁾
<i>Vaccinium myrtillus</i>	0,350	0,364	0,271	0,273	0,394	0,335	0,039	0,077	0,083		0,316	
<i>Homogyne alpina</i>	0,015	0,015	0,023									
<i>Melapyrum sylvaticum</i>	0,025	0,038	0,038	0,002	0,002	0,004						
<i>Oxalis acetosella</i>	0,001	0,080	0,005	0,217	0,217	0,062	0,000	0,000	0,001	0,006	0,008	0,006
<i>Calamagrostis villosa</i>	0,027	0,302	0,066	1,693	1,693	2,412	1,726	3,955	3,207	4,023	4,766	5,063
<i>Avenela flexuosa</i>	0,001	0,003	0,004	0,009	0,009	0,011	0,003	0,016	0,021	0,002	0,013	0,018
<i>Luzula luzuloides</i>	0,006	0,013	0,015	1,053	1,053	1,086	0,060	0,094	0,103	0,031	0,047	0,050
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	0,023	0,031	0,001	0,052	0,052	0,041	0,040	0,040	0,041	0,045	0,048	0,065
<i>Chamaerion angustifolium</i>	0,015	0,094	0,121	0,104	0,104	0,125	5,298	6,090	6,455	0,060	0,068	0,061
<i>Calluna vulgaris</i>										0,096	0,034	0,115
<i>Mainthemum bifolium</i>	0,004	0,010	0,010									
<i>Rubus idaeus</i>							0,040	0,326	0,331	0,032	0,143	0,166
Suma ⁵⁾ (t/ha)	0,47	0,95	0,55	3,40	3,52	4,08	7,21	10,60	10,24	4,30	5,44	5,54

¹⁾Biomass, ²⁾June, ³⁾July, ⁴⁾August, ⁵⁾Total

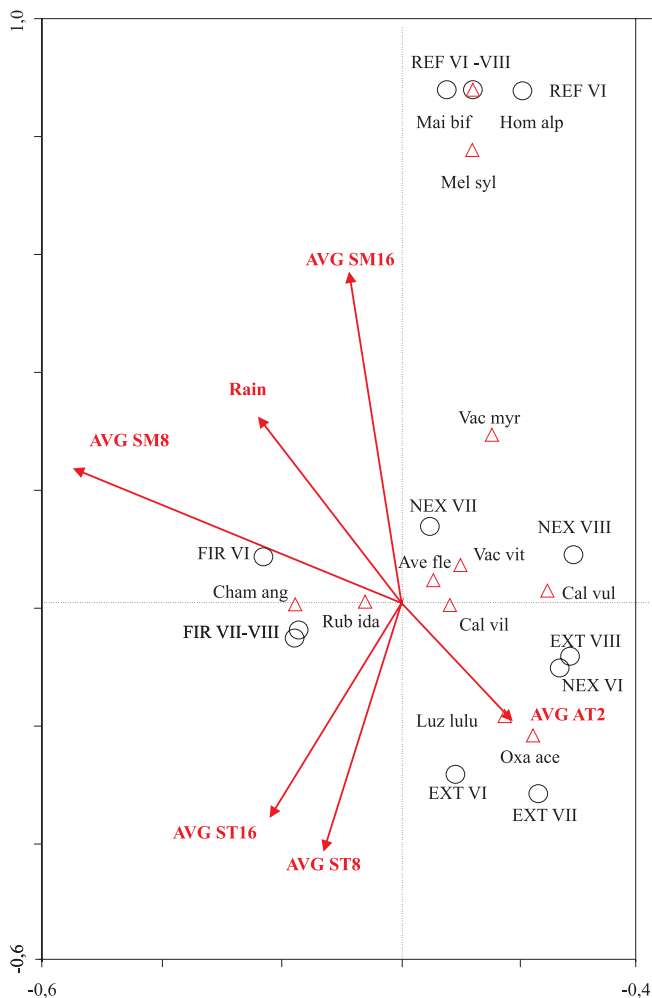
v pôde ($r = 0,86$). Svetlo negatívne koreluje s obsahom dusíka v pôde ($r = -0,93$), (svetlo $p = 0,002$, $F = 10,39$; kontinentalita $p = 0,002$, $F = 5,44$; vlhkosť $p = 0,002$, $F = 5,29$; dusík $p = 0,004$, $F = 05,04$; reakcia $p = 0,056$, $F = 2,34$; teplota $p = 0,092$, $F = 1,92$). Ide o výraznú negatívnu koreláciu, ktorá znamená, že nárast svetelného pôžitku na plochách v stojacom lese spôsobuje zníženie pokryvnosti nitrofilných druhov. Na zvýšený svetelný pôžitok na kalamitných plochách reagujú pozitívne druhy: *Rubus idaeus* a *Chamaerion angustifolium*.

Tvorba ročnej biomasy rastlinných spoločenstiev a druhov potvrdila tesné závislosti s faktormi prostredia. Pri druhu *Luzula luzuloides* tvorba biomasy silne koreluje s teplotou vzduchu ($r = 0,99$). Nárast biomasy *Vaccinium myrtillus* pozitívne koreluje s pôdnou vlhkosťou v hĺbke 16 cm ($r = 0,93$). Biomasa druhu *Chamaerion angustifolium* pozitívne koreluje s pôdnou vlhkosťou v hĺbke 8 cm ($r = 0,96$) (obr. 9). (Pôdna vlhkosť v 8 cm (SM 8) $p = 0,16$, $F = 1,79$; pôdna vlhkosť v 16 cm (SM 16) $p = 0,008$, $F = 3,76$; teplota pôdy v 16 cm (ST 16) $p = 0,006$, $F = 2,42$; teplota pôdy vo 8 cm (ST 8) $p = 0,06$, $F = 2,77$; zrážky (Rain) $p = 0,632$, $F = 0,53$, teplota vzduchu (AT 2) $p = 0,12$, $F = 2,0$).

Primárna produkcia vybraných druhov bylinnej synúzie v roku 2010 odobratých v troch cykloch je uvedená v tabuľke 5. Najväčší podiel nadzemnej biomasy na kalamitných plochách má druh *Calamagrostis villosa*. Tento druh negatívne ovplyvňuje výskyt ostatných druhov bylín. V našich podmienkach je schopný odrásť vplyvu *Calamagrostis villosa* a následne potláčať jeho vitalitu zatiaľ iba *Chamaerion angustifolium* na lokalite FIR, ale iba na miestach ktoré boli viac prehorené. Na

plochách NEX a EXT je schopný úspešne odolávať konkurencii *Calamagrostis villosa* chamaefyt *Vaccinium myrtillus* a *Luzula luzuloides*, ktoré predstavujú pôvodné druhy lesných spoločenstiev *Lariceto-Piceetum*. Na kalamitných plochách s rôznym spôsobom spracovania dosahujú tieto druhy maximálne hodnoty produkcie biomasy v mesiaci júl, na ich úkor sa uplatňujú druhy: *Calamagrostis villosa*, *Chamaerion angustifolium* a na ploche NEX aj *Rubus idaeus*. Iné druhy vyššieho vzrastu s C – stratégiou sa doposiaľ vyskytujú s nízkymi hodnotami počtosti a pokryvnosti, ich kompetičný tlak sa na kalamitných plochách ešte neprejavil.

Primárnu produkciu na sledovaných lokalitách v priebehu vegetačného obdobia ovplyvňovali faktory teplota vzduchu a pôdna vlhkosť. Najnižšie hodnoty bylinnej biomasy počas vegetačného obdobia sme zaznamenali na lokalite REF, ktorý ovplyvňuje stojací les hlavne obmedzeným svetelným príjmom, zvýšenou transpiráciou a intercepciou. Na všetkých kalamitných plochách sa prejavuje druh *Calamagrostis villosa* ako expanzívny druh. K podobným záverom dospela KRIŽOVÁ et al. (2010) pri sledovaní primárnej produkcie nadzemnej biomasy bylinnej synúzie na kalamitných plochách vo Vysokých Tatrách v rokoch 2005 a 2009. Uvádza, že jediným druhom, ktorý sa vyskytoval na všetkých plochách v roku 2005 a 2009 je *Calamagrostis villosa*. Najnižšie hodnoty biomasy druhu *Calamagrostis villosa* boli hodnota zaznamenané v roku 2005 na lokalite REF 84,36 kg/ha (0,084 t/ha), v roku 2009 110,92 kg/ha (0,111 t/ha), najvyššie hodnoty biomasy druhu *Calamagrostis villosa* v roku 2005 boli namerané na lokalite NEX 280 kg/ha (0,28 t/ha) a v roku 2009 3 088,26 kg/ha



Obr. 9. CCA, triplot, vzťah medzi faktormi prostredia a vybranými rastlinnými druhmi. AVG AT 2 – priemerná teplota vzduchu v 2 m, AVG ST 8, AVG ST 16 – Priemerná teplota pôdy v 8 a 16 cm. AVG SM 8, AVG SM 16 – Priemerná vlhkosť pôdy v 8 a 16 cm, Rain – zrážky

Fig. 9. CCA, triplot relationship between environmental variables and selected plants. AVG AT 2 – average air temperature in 2 m, AVG ST 8, AVG ST 16 – average soil temperature in 8 and 16 cm. AVG SM 8, AVG SM 16 – average soil moisture in 8 and 16 cm, Rain – rain

(3,09 t/ha). Intenzívnym rozvojom tohto druhu sa vytvorila mohutná vrstva koreňov, odumretých a živých trsov s izolačným účinkom voči prestupu tepla a evaporácii.

4. Záver

Spoločenstvo smrekovcových smrečín považujeme za osobitné spoločenstvo, ktorého existenciu a vývoj okrem pôdnych a klimatických pomerov podmieňujú opakujúce sa vetrové kalamity.

V spoločenstve rozoznávame:

- klimaxový typ, dominantne v 7. lvs na balvanitých pôdach polygenetických sutí a najmladších morén
- prechodný typ, dominuje v 6. lvs, na hlbších, hlinitých a vlhších pôdach

Prechodný typ spoločenstva LP predstavuje spoločenstvá v rôznom vývojovom štádiu od prípravného po prechodný les. Klimaxové štádium vzhľadom na frekvenciu deštruktívnych víchric lesné porasty fakticky nemôžu dosiahnuť.

Druhovito je spoločenstvo veľmi jednoduché, v stromovej vrstve dominuje smrek, smrekovec je v porastoch zastúpený najčastejšie do 10 %. V procese ontogenézy porastu smrekovec nie je dostatočne kompetične odolný voči expanzívnejšiemu smreku a s narastúcim zápojom porastu sa jeho podiel znižuje.

V porastoch smrekovcových smrečín dochádza za zvýšenej tvorby biomasy. Vysoké porastové zásoby a ich akumulácia do hornej porastovej úrovne boli jednou z príčin rozsiahlej devastácie porastov počas víchrice 2004.

Predpoklad, že biomasa sa po opakovaných disturbanciách akumuluje do nadzemných častí vegetácie a len malý podiel je ukladajú do pôdy, čo je indikátorom spoločenstiev s trvalým disturbančným režimom, je potrebné overiť na reprezentatívnom súbore výskumných plôch.

Rozvrst porastov smrekovcových smrečín vetrovou kalamitou spôsobil, že tieto porasty sa z depónia uhlíka (sink) stali jeho zdrojom (source).

Mineralizácia organickej zložky pôdy, ktorá sa rozpadom lesných porastov mimoriadne zdynamizovala sa postupným vývojom sukcesnej vegetácie stabilizuje.

Prirodzená obnova smeruje ku druhovému zloženiu aké bolo pred kalamitou (smrek, smrekovec). Súčasný vyšší podiel pionierskych drevín je pravdepodobne len časovo obmedzeným stavom (r stratégia).

Celkový trend vývoja porastov smrekovcových smrečín 6 rokov po kalamite naznačuje návrat ku obnove pomerov pred kalamitou. Je to v rozpore s mnohými súčasnými názormi, ktoré považujú prírodné disturbancie za prechod lesného ekosystému na novú vývojovú trajektóriu a spochybňujú koncepciu klimaxu a stability (najmä lesných) ekosystémov (WU-LOUCK 1995 a ATTWIL 1994 ex LEDUC 2007).

Udržanie environmentálnych a ekologických funkcií porastov smrekovcových smrečín si vyžaduje sústavnú a intenzívnu lesnícku starostlivosť, ktorá by mala byť súčasťou aktívnej ochrany prírody v polyfunkčne chápanom Tatranskom národnom parku. Pokračovanie interdisciplinárneho výskumu a monitoringu spoločenstva smrekovcových smrečín môže prispieť aj ku riešeniu principiálnych otázok súčasnej disturbančnej ekológie.

Literatúra

- BISHOFF W.A., MAYER S., SCHRUMPF M., FREIBAUER A., 2008: Nutrient leaching from soils affected by windstorm in the High Tatra. In: FLEISCHER P., MATEJKA F. (eds.): *Zborník príspevkov zo seminára Pokalamitný výskum 2008*, Bratislava: SAV Bratislava, Tatranská Lomnica: VSaM, Tatranská Lomnica, CD ROM, p. 8-12.
- BORMANN B.T., SPALTENSTEIN M.H., MCCLELLAN F.C., UGOLINI K., CROMACK JR., NAGY S.M., 1995: Rapid soil development after windthrow in pristine forest. *Journal of Ecology*, 83:747-757.

- GUNDERSEN, P., CALLENS I., DE VRIES W., 1998: Nitrate leaching in forest ecosystems is related to forest floor C/N ratios. *Environmental Pollution* 102, S1 (1998): 403-417.
- FLEISCHER P., ml., 2009: Vlhkosť pôdy v r. 2009 v lesných porastoch postihnutých vetrovou kalamitou v novembri 2004 vo Vysokých Tatrách. In: TUŽINSKÝ, L., GREGOR, J. (eds.), *Zborník vedeckých prác Vplyv vetrovej calamity na vývoj lesných porastov vo Vysokých Tatrách*. Zvolen, TU Zvolen, s. 21-31.
- , KOREŇ M., 2009: Selected forest soil properties after windfall 2004 in the Tatra Mts. Sustainable development and bioclimate. In: PRIBULOVÁ A., BIČÁROVÁ S. (eds.): *Reviewed Conference Proceedings*. Stará Lesná, p. 77-78.
- , GIORGI S., GIOLI B., MATTESE A., KOLLE O., ZIEGLER W., MIGLIETA F., VALENTINI R., SCHULTZE E.D., TOSCANO P., VACCARI F., 2009: Carbon balance in Spruce ecosystems affected by heavy windstorm in the Tatra Mts. In PRIBULOVÁ A., BIČÁROVÁ S. (eds.): *Sustainable development and bioclimate*. Reviewed Conference Proceedings. SBS, Stará Lesná, p. 75-76.
- , ŠKVARENINA J., KUNCA V., BIČÁROVÁ S., 2010: Long-term monitoring of atmospheric deposition into forest ecosystems of the Tatra Mts. Int. conference Science for Carpathians. Book of abstracts, dostupné na internete: www.forumcarpathicum.org
- GÓMÖRYOVÁ E., STRELCOVÁ K., FLEISCHER P., GOMORY D., 2010: Soil microbial characteristics at the monitoring plots on the windthrow areas of the Tatra National Park: their assessment as environmental indicators. *Environmental Monitoring and Assessment*. Springer, 15 p.
- KONČEK M. *et al.*, 1974: Klíma Tatier. Bratislava: Veda, 856 s.
- KOREŇ M., 2005: Vetrová kalamita 19. 11. 2004 – nové pohľady a konzekvencie. *Tatry*, 44: 6-29.
- KORPEL Š., 1989: Výskum vývoja a štruktúry prírodných lesov TANAP-u a závery pre usmerňovanie lesov s integrovanými funkciami. In: Zborník k 40. výročiu vzniku TANAP-u, Tatranská Lomnica, s. 321-389.
- KRIŽOVÁ E., CHOVANCOVÁ G., HOMOLOVÁ Z., 2010: Primárna produkcia nadzemnej biomasy bylinnej vrstvy na kalamitných plochách v Tatranskom národnom parku. *Acta Facultatis Forestalis Zvolen*, 52(1): 7-25.
- KUBÍČEK F., 1977: Metódy štúdia produktivity rastlín. *Acta Ecol.*, IV/16, s. 1-30.
- LEDUC S. D., ROTHSTEIN D.E., 2007: Initial recovery of soil carbon and nitrogen pool and dynamics following disturbance in jack pine forests: A comparison of wildfire and clearcut harvesting. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(2007): 2865-2876.
- MATEJKA F., HURTALOVÁ T., 2007: Mikroklimatické podmienky v kalamitnej oblasti TANAP-u. In: FLEISCHER P., MATEJKA F. (eds.): *Zborník príspevkov zo seminára Pokalamitný výskum 2007*, Tatranská Lomnica: SAV a VSaM, CD ROM, s. 148-156.
- MIČUDA R., ŠIMONOVICOVÁ A., ĎURIŠ M., ŠIMKOVIČ I., LNCUCH P., HANAJÍK P., DLAPA P., 2006: Pôdno-ekologická charakteristika plôch a hodnotenie ich vybraných vlastností na území Vysokých Tatier po veternej kalamite. *Štúdie o TANAP*, č. 8 (41), s. 53-62.
- MICHALKO J. *et al.*, 1986: Geobotanická mapa ČSSR, časť Slovenská republika. Bratislava: Veda, 168 s.
- MIŠÍKOVÁ N., ŠKVARENINA J., 2009: Mikroklimatické podmienky kalamitnej plochy požiariska v TANAP-e a jej zmeny. *Meteorologický časopis*, 12(1): 31-36.
- NOVÁK V., KŇAVA K., ORFÁNUS T., 2009: Soil hydrophysical characteristics of experimental site FIR. In: FLEISCHER, P., MATEJKA, F. (eds.): *Pokalamitný výskum, zborník z III. seminára*, Bratislava: GFU SAV, Tatranská Lomnica: VSaM, CD ROM, s. 165-171.
- ROJAN E., 2010: Zmiany w ukształtowaniu powierzczeni terenu w granicach wiatrolomu z 19. 11. 2004 v slowckich Tatrach Wysokich. In: HOMOLOVA Z., FLEISCHER P. (eds.): *Zborník referátov zo seminára Pokalamitný výskum v TANAP-e 2009*. VSaM ŠL TANAP, CD ROM, ISBN 978-80- 970332-0-0.
- STRNKA M., 1970: Geobiocenologické štúdium trvalých výskumných plôch v TANAP-e. In: *Zborník prác o TANAPe*, Osveta, č. 12, s. 7-16.
- ŠÁLY R., CIESARIK M., 1991: Príručka k cvičeniam z pedológie. Zvolen: TU Zvolen, 120 s.
- ŠEBEŇ V., HOMOLOVÁ Z., FLEISCHER P., 2011: Vývoj obnovy na plochách pokalamitného výskumu, Štúdie o Tatranskom národnom parku, 10(43) v tlači.
- ŠKOLEK J., 1981: Rozklad celulózy v pôde kvetnatých bučín Chočských vrchov. *Biologické práce*, Bratislava: SAV XXVII/2, 107 s.
- ŠOLTĚS R., ŠKOLEK J., HOMOLOVÁ Z., KYSELOVÁ Z., 2010: Early successional pathways in The Tatra Mountains (Slovakia) forest ecosystems following natural disturbances. *Biologia* 65/5.
- TER BRAAK C. J. F., ŠMILAUER P., 2002: CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows, user's guide. Software for canonical community ordination (version 4.5). Biometris, Wageningen & České Budějovice, 500 pp.
- TUROK J., 1990: Vývoj, štruktúra a regenerácia prírodných lesov smrekovcových smrečín. Osveta. Správa TANAP, Tatranská Lomnica, Zborník prác o TANAP č. 30: 179-225.
- VILČEK J., HRONEC O., BEDRNA Z., 2005: Environmentálne pedológia. Bratislava-Nitra, 298 s.
- ZLATNÍK A., 1953: Fytocenologie lesa. Praha: SNZ, s. 26-48.
- , 1957: Poznámky k půvoniému složení a typologickému zařadení tatranských lesů. In: *Sborník Vysoké školy zemědělské a lesnické v Brně*, řada C: 227-228.
- , 1976: Lesnická fytocenologie. Učební texty. Praha: SNZ, p. 49-64.
- ZIEGLER W., FREIBAUER A., SCHRUMPF M., GLEIXNER G., DON A., BARWOLF M., NEBELUNG K., KIRCHSTEIN J., KLOTZING T., 2007: Effects of windthrow on carbon and nitrogen cycling in the Tatra Mts. CD proceedings from Windfall seminar. VSaM Tatranská Lomnica, Power point prezentácia 20 obr.
- ZIELONKA T., HOLEKSA J., FLEISCHER P., KAPUSTA P., 2010: A tree-ring reconstruction of wind disturbances in the mountain forest of the Slovakian Tatra Mountains, Western Carpathians. *Journal of Vegetation Science*, 21: 31-42.

Summary

Larch-spruce forest stands are the most common forest communities in the southern part of the High Tatras with an area of 4500 ha. Vertical scale is from 900 m.a.s.l. up to the upper forest limit of 1500 m.a.s.l. Vegetation at higher altitudes (7th vegetation rank) can be found particularly in shallow, rocky podsoles and it often represent the climax stage with a significant age, height and spatial variety. Vegetation in lower elevations (6th vegetation rank) occurs on deeper, loamy cambisol and is monotonous in age and species with a simple spatial structure. Particularly these stands are irregularly but relatively often affected by heavy windfalls caused by Bora. Natural forests can not reach the climax stage by succession due to repeated large-scale disturbance, but remain blocked at the stage of so called transition forest. A systematic research of this type of community began in the mid ,90s, when the larch-spruce forests were assessed as the most risky community for a large-scale decay. Research has proven extremely simple tree and herb species composition, naturally poor and acid soils.

Differentiated management of the windfall area (part of the affected stands with a high nature protection value left without processing) provided a unique opportunity to monitor natural processes and those affected by forestry after large-scale damage. The reference for assessing condition of forest community and its changes

are both historical data from identical research areas found before the calamity, and also current data – from stands directly unaffected by the windfall.

One of the key factors for success and speed of recovery in the affected sites is weather. Since 2004, unusually warm and rainy vegetation seasons have allowed fast and intense vegetation growth. An average temperature on the windfall sites was higher by 2.0 °C than in a canopy in a period May to August. Soil moisture remained relatively stable in all sites mainly due to the unique soil attributes (high porosity: 65–71%, high proportion of clay fractions, and humus). Despite the expectation, we found no significant changes in the thickness of the humus layer, while the analysis of elements content (K, Mg, Ca, N) in the rivers passing through the windfall sites confirmed an intense mineralization and nutrient flow. Enrichment index in the windfall area output reached in 2007 value 2.7, but dropped in 2010 to 1.0, what is considered as a sign of stabilization in the affected area. Soil respiration observed by a chamber method with IR CO₂ sensor was quite similar on windfall areas with a different management. The average values in 2009 and 2010 ranged from 4.9 to 7.1 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹ on a windfall area and about 5.5 in the reference stand.

Research immediately after stand damage (2005–2007) confirmed that the original carbon sinks became its source.

Repeated evaluation (1972, 1998, 2010) of the increment on 1 ha of the research area indicated a significant increase of the circular area (1.3 times) and the total growing stock (1.5 times). Such an increase in biomass in the 80–180 years old, natural, larch-spruce forest stand is surprising. According to the findings in boreal forest, we can assume that the disturbances change the allocation of carbon (from soil to above-ground biomass). This assumption is necessary to verify on a statistically representative set of research areas with a long-term biomass monitoring.

Primary production of herb layer was monitored in windfall areas of larch-spruce forests in 2010. Average values ranged from 4.1 to 10.0 t·ha⁻¹, in the reference (canopy) stand 0.9 t·ha⁻¹.

Dominant species in windfall areas is *Calamagrostis villosa*. The only competitive species are *Chamaerion angustifolium*, *Rubus idaeus*. These are also differential species for calamity stage of larch-spruce forests. On the other hand, differential species in a standing (unaffected) stand of this community are *Avenella flexuosa* and *Vaccinium myrtillus*.

Translated by J. LÁSKOVÁ