

Klimatické pomery Vysokých Tatier



Odborná štúdia k projektu OPVV 26220220087 „Vývoj ekologických
metód pre kontrolu populácií vybraných druhov lesných škodcov
v zraniteľných vysokohorských oblastiach Slovenska“

Scientica, s.r.o.

Klimatické pomery Vysokých Tatier

Odborná štúdia k projektu OPVV 26220220087

„Vývoj ekologických metód pre kontrolu populácií vybraných druhov
lesných škodcov v zraniteľných vysokohorských oblastiach Slovenska“

Zhotoviteľ: Slovenská lesnícka spoločnosť, Banská Bystrica

Tatranská Lomnica, 2012



Európska únia

Európsky fond regionálneho rozvoja



Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Vývoj ekologických metód pre kontrolu populácií vybraných druhov lesných škodcov v zraniteľných vysokohorských oblastiach Slovenska, kód ITMS: 26220220087, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

„Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EU“.

Obsah

Úvod.....	5
1 Klíma TANAP-u a hlavné determinujúce faktory	7
1.2 Vegetačné pomery.....	14
1.3 Atmogénne znečistenie – imisie	26
1.4 Ozón	28
1.5 Klimatické extrémny.....	33
1.6 Vetrové kalamity	34
2 Prírodné kalamity ako zdroj informácií o klimatických zmenách	39
2.2 Lesy TANAP-u a ich stav do roku 2004.....	41
2.3 Vetrová kalamita v Tatrách v roku 2004	43
2.4 Vetrová kalamita ako objekt výskumu	48
3 Klimatické pomery územia postihnutého vetrovou kalamitou pred a po roku 2004	54
3.2 Teplota, vlhkosť vzduchu a veterné pomery na kalamitných plochách.....	61
3.3 Vlhkosť a teplota pôdy	63
3.4 Radiačné pomery a energetická bilancia	67
3.5 Zrážkové a odtokové pomery na kalamitných plochách.....	71
4 Fyziologické procesy na kalamitných plochách	77
4.2 Primárna produkcia	77
4.3 Pôdna respirácia	82
4.4 Transpirácia lesných porastov.....	91
4.5 Evapotranspirácia	92
4.6 Strata živín	93
4.7 Erózia	97
5 Vplyv klímy na populácie podkôrneho hmyzu	99
5.2 Dynamika populácií podkôrneho hmyzu v TANAP-e po roku 2004	101
Záver	104
Použitá literatúra	105

Úvod

Klimatické faktory sú rozhodujúcim prvkom, ktorý pôsobí na populácie všetkých živých organizmov v konkrétnom priestore. Teplota, vlhkosť, zrážky, vietor v súčinnosti s mikroklimatickými podmienkami determinujú početnosť lesných škodcov či už priamo, alebo prostredníctvom ich hostiteľa. Lykožrút smrekový je výborným príkladom vplyvu klímy. Dlhodobé zrážky dokážu takmer úplne zdecimovať jeho populácie. Na druhej strane silné víchrice, spôsobujúce neraz rozsiahle škody na porastoch smreka, môžu vytvoriť ideálne podmienky na jeho masívne až kalamitné premnoženie. Poznanie klimatických faktorov a ich dynamiky je preto mimoriadne dôležité nielen v reálnej lesníckej praxi, ale taktiež pri výskume a vývoji metód monitorovania populácií lykožrúta, či vývoji biologických metód na kontrolu ich početnosti. Pri príprave projektu preto logicky vyplynula potreba vypracovania štúdie, ktoré by komplexnejšie vyhodnotila historický vývoj ale tiež dynamiku klimatických pomerov v mieste jeho realizácie.

Vysoké Tatry sú obzvlášť vhodným priestorom pre tento typ výskumu. V roku 2004 mohutný padavý vietor typu bóra v priebehu niekoľkých hodín úplne zlikvidoval rozsiahle plochy tatranského lesa. Rozsah ekonomických a environmentálnych škôd bol natoľko rozsiahly, že katastrofa čoskoro získala prívlastok národná. Ohromný objem drevnej hmoty, ktorú sa nepodarilo včas odstrániť, alebo bola ponechaná na postihnutom území z iných dôvodov, vytvorila priaznivé podmienky pre masívne premnoženie lykožrútov.

Akcelerujúce celosvetové klimatické zmeny sa v našom geografickom priestore prejavujú intenzívnym oteplením. Dopady klimatických zmien sa týkajú prakticky všetkých prírodných a socioekonomických sfér. Zvlášť sa to ale dotýka horských a lesných oblastí, keďže práve tie sú už v súčasnosti najviac atakované.

Proces zmeny teploty nemá univerzálny charakter a nie je celoplošný. Na niektorých miestach východnej Európy je evidentný trend schladzovania. Podobný priebeh je evidovaný aj pri zrážkach. Kým severná Európa zaznamenáva 10 až 50% nárast zrážok, stredná a južná Európa má vyše 20% deficit. Výsledkom týchto asymetrických procesov je rast napätia medzi prudko sa otepľujúcimi a chladnejšími časťami pevniny, spôsobujúci nárast nestability počasia s výskytom búrok, záplav, alebo dokonca tornád.

V rámci dohovoru OSN o klimatickej zmene sa už od r. 1995 vedci snažia pripravovať scenáre, odhady citlivosti a reakcie ekosystémov na možné dôsledky meniacej sa klímy. Národný klimatický program na Slovensku za najvážnejšie negatíva klimatickej zmeny považuje pokles vodných zdrojov, pokles prietoku v riekach, pokles pôdnej vlhkosti na juhu Slovenska, zmeny podmienok pre veľkú časť slovenských lesov, šírenie nepôvodných druhov a patogénov.

Súčasnú mimoriadne udalosť, medzi ktoré patrí aj veľkoplošná disturbancia lesných ekosystémov z r. 2004 vo Vysokých Tatrách, poskytujú príležitosť pre priame sledovanie možného stavu v budúcnosti. Zmena klímy má so súčasnými disturbanciami spoločný rýchly priebeh, ktorý prírodným ekosystémom nedáva veľa času na prispôbenie. Poznanie príčin a následkov veľkoplošného poškodenia prírodných ekosystémov, dopad na ich využívanie a funkcie, je predpokladom pre prípravu adaptatívneho manažmentu v jednotlivých sektoroch. Okrem toho, v podmienkach polyfunkčného Tatranského národného parku sa do popredia dostáva aj otázka opodstatnenia, spôsobu a miery zasahovania, resp. nezasahovania do prírodných procesov v chránenom území.

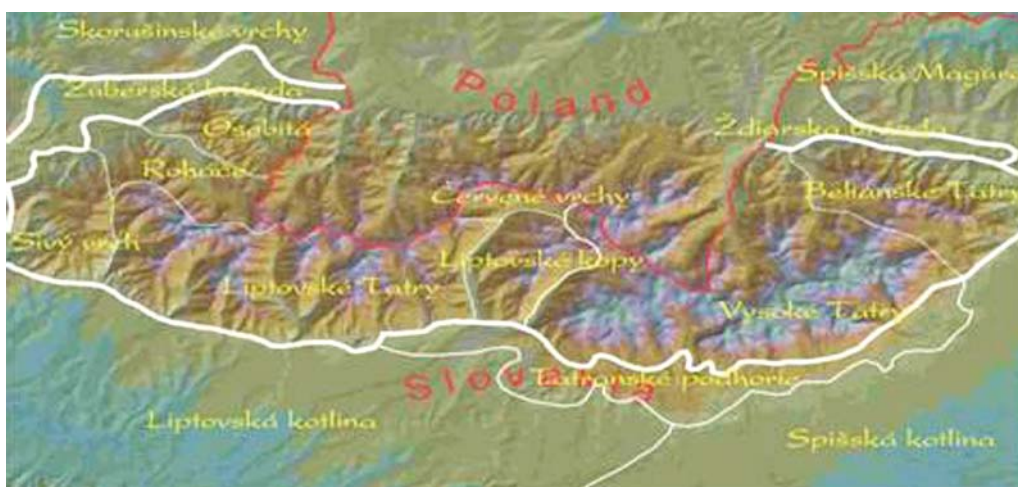
Vypracovaná štúdia prináša prehľad súčasných poznatkov o klimatických a bioklimatických faktoroch, ktoré určujúcimi spôsobmi ovplyvňujú stav najmä lesných ekosystémov vo Vysokých Tatrách. Zvlášť sme sa zamerali na územie poškodené vetrovou kalamiťou z už spomínaných dôvodov. Rozsah problematiky prekračuje rámec štúdie a nemôže dať kompletný prehľad

o všetkých vzťahoch medzi biotou a klimatickými parametrami. Sústredili sme sa preto predovšetkým na tie okruhy problémov, ktoré sú sledované v rámci tzv. pokalamitného výskumu vo Vysokých Tatrách.

1 Klíma TANAP-u a hlavné determinujúce faktory

Klíma Vysokých Tatier sa vyznačuje mnohými špecifickými vlastnosťami, ktoré zásadným spôsobom podmieňujú existenciu a vývoj prírodných ekosystémov, ale aj environmentálnych a socioekonomických javov. Klimatické pomery spolu s geologickým podkladom, reliéfom, pôdou a hydrickými pomermi predstavujú abiotickú zložku prírodného prostredia, ktorá tvorí relatívne trvalý základ pre diferenciáciu jednotlivých životných foriem v danom území.

Tatry (chápané v zmysle geomorfologickej typizácie MAZÚRA (1980)), predstavujú najvyššiu časť oblúka Západných Karpát. Delia sa na dva relatívne samostatné podcelky – Západné Tatry (Osobitá, Roháče, Sivý vrch, Liptovské Tatry, Liptovské kopy, Červené vrchy) a Východné Tatry (Vysoké Tatry, Belianske Tatry). Na južné svahy Vysokých Tatier nadväzuje Podtatranská kotlina. V rámci jej časti, Popradskej kotliny, tvorí severnú a najvyššiu časť morénové Tatranské podhorie a na okrajoch kotliny vystupuje Štrbská a Lomnická pahorkatina.

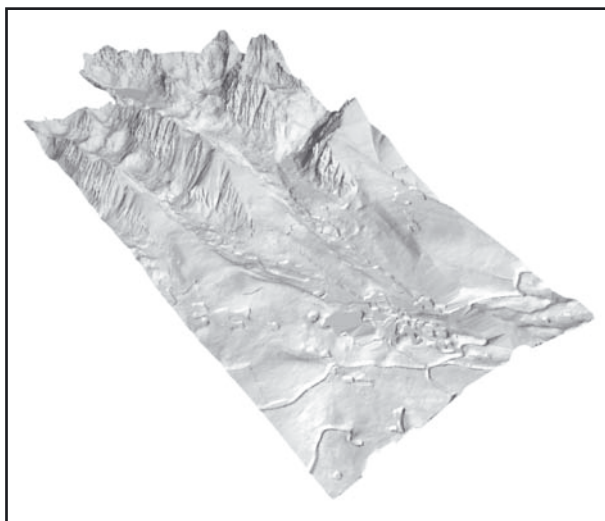


Obr. 1 Tatry – geomorfologické jednotky (KOREŇ 2005)

Reliéf Vysokých Tatier

Na území Vysokých Tatier dominujú dve reliéfové makroštruktúry – erózo-denudačná a akumulačná. Podmieňuje ich geologická stavba a morfogenetické procesy. Dnešná, mimoriadne dynamická forma reliéfu horského masívu Vysokých Tatier, je výsledkom predpleistocénnej riečnej erózie, najmä však pleistocenného zaľadnenia a periglaciálnych procesov. Žiadne iné pohorie v Karpatoch nebolo tak výrazne ovplyvnené štvrtohornou ľadovcovou činnosťou ako Vysoké Tatry. Opakované zaľadnenia (pravdepodobne 3–4) vtlačili tomuto územiu unikátny veľhorský ráz s typickými prvkami ako skalnaté kotly (kary), panvy, strmé hrebene a štíty, trógy v tvare „U“ a morény (NEMČOK, 1994). Počas pleistocénu bolo v Tatrách 21 ľadovcov, ktoré dosahovali hrúbku až 300 m. Najdlhší (14 km) bol v Bielovodskej doline. Najmohutnejšie nánosy uložili ľadovce na styku dolín, napr. pod Mlynickou, Mengusovskou a Studenými dolinami, kde dosahujú hrúbku až okolo 150 m. Nezaľadnené ostali svahy štítov (trojuholníkové fazety), ktoré predstavujú pôvodný – predpleistocénny reliéf. Na týchto pravidelných svahoch sa uplatňovali periglaciálne a svahové procesy, ich výsledkom sú hranáčové sutinové moria.

Morfometrickým parametrom dynamiky reliéfu je sklon a vertikálna členitosť terénu. V kotlinovej časti prevažujú sklony do 4° , podhorie má sklony do 25° , kým vo vysokohorskej časti prevládajú sklony nad 25° (LUKNIŠ 1973). Vertikálna členitosť do 30 m na 1 km (reliéf rovinný až nepatrne zvlnený) sa vyskytuje v kotline a na povrchoch glaciáluviálnych kuželov (MAZÚR & MAZÚROVÁ, 1965). Mierne zvlnený (do 100 m) až hlboko rezaný (do 470 m) sa vyskytuje na morénových valoch v podhorí. Vo vysokohorskom prostredí dominuje reliéf veľmi hlboko rezaný (do 640) až extrémny (nad 640 m na 1 km).



Obr. 2 Formy glaciálnych (a) a periglaciálnych (b) modelačných procesov

Geologické pomery Vysokých Tatier

Vysoké Tatry sú pohorím s paleoalpínskou príkrovovou stavbou. Kryštalinikum (biotické tonality, granodiority, granity) buduje centrálnu časť vysokohorského masívu Vysokých Tatier. Glaciálne kotliny sú vyplnené morénami a morénovými sedimentami najmladšieho (wurmského) zaľadnenia. Ich hrúbka v priemere dosahuje 70–100 m. Tieto glaciogénne balvanovito-blokové sedimenty dosahujú rozmery až do 5 m. Sú netriedené, hranaté, bez náznakov zvetrávania. Morény na dnách a úpätných polohách horských dolín sú často prekryté pleistocénno-holocennými sutinovými kuželmi a osypmi, v oblasti mylonitov aj hlinito-štrkovými kuželmi a murovými prúdmi.

Podtatranskú kotlinu budujú horniny centrálnokarpatského paleogénu (pieskovce, ílovce) s mladými glaciáluviálnymi a fluviálnymi pokryvmi vejárovito rozloženými v predpolí Tatier. Nivy väčších potokov vyplňajú fluviálne sedimenty. Hrúbka ich hlinitých pieskov dosahuje až 2 m. Bázu tvoria štrky, siahajúce do hĺbky 4 až 6 m. Menšie potoky tečú po piesčito-štrkovitých kuželloch a terasách. Tatranské podhorie budujú glaciálne, glaciáluviálne a fluviálne akumulácie s veľmi rôznorodou textúrou.

Hydrologické pomery

Južné svahy Vysokých Tatier odvodňuje množstvo potokov a bystrín s nápadne úzkymi povodiami. Cez tzv. štrbský prah prechádza rozvodie Čierneho mora (povodie Váhu) a Baltského mora (povodie Popradu). Množstvo vody v povodiach tatranských vodných tokov je závislé výlučne na atmosférických zrážkach, množstvo pretekajúcej vody výrazne modifikuje retenčná kapacita glaciogénnych sedimentov, sklonitosť terénu a vegetačný kryt. Na väčšine územia Vysokých Tatier sú zrážky takmer šesť mesiacov vo forme snehu. Akumulácia zrážok v snehovej pokrývke je príčinou, že minimálne prietoky v potokoch sú v zimných mesiacoch (vo februári priemerne 2 % z ročného prietoku). Maximálne prietoky sú v jarnom až letnom období (apríl – jún 48 % ročného prietoku).

Relatívne vysoké zrážkové úhrny a nízky výpar spôsobujú vysoký špecifický odtok ($50 \text{ l.s}^{-1} \text{ km}^{-2}$). Povrchový odtok tvorí asi 70 % ročného úhrnu zrážok. Potoky majú bystrinný ráz a tečú priemernou rýchlosťou $2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Po príválových dažďoch dochádza ku zvýšeniu hladín vodných tokov, vybreženiu, zvýšenej erózii a miestnym záplavám.

Pôdne pomery

Pôdne pomery sú výsledkom geologických, klimatických a vegetačných pomerov. Mozaikovito sa pôdy vyskytujú len na miestach, kde na povrch vystupujú pevné horniny. Hrubší pôdny pokryv sa nachádza v pásme bylinno-trávných porastov, kosodreviny a najmä lesa. Všeobecnou charakteristikou pôd Vysokých Tatier je kyslá až veľmi kyslá pôdna reakcia.

1. *Pôdy iniciálne - litozeme*
Ide o pôdy s veľmi tenkým, často nesúvislým humusovým horizontom. Pôdy neobsahujú žiadne diagnostické horizonty, okrem povrchového humusového horizontu.
2. *Fluvizeme*
Fluvizeme sú iniciálne pôdy na fluvialných recentných sedimentoch, niekedy s glejovým horizontom.
3. *Rankrové pôdy*
Rankre sú dvojhorizontové pôdy a vyskytujú sa na silne skeletnatých zvetralinách silikátových hornín. Obsah jemnozeme majú veľmi nízky (do 30 %), ale vysoký obsah humusu (10 % – 50 %). Ich výskyt je viac-menej ostrovčekovitý, buď ako ranker podzolový, alebo ranker kambizemný.
4. *Kambizeme*
Kambizeme sú trojhorizontové pôdy. Vyskytujú sa najčastejšie v pásme lesa. Pri vysokom obsahu skeletu tvoria prechod ku kambizemným rankrom a prejavy podzolizácie tvoria prechod ku kambizemným podzolom.
5. *Podzolové pôdy*
Podzolové pôdy sú skupinou pôd s výrazným procesom podzolizácie, vnútro pôdneho zvetrávania, translokácie a akumulácie oxidov a humusových látok. Indikátorom je eluviovaný, často svetlý E horizont a iluviálny (obohatený) horizont Bsh, ktorý sa vytvoril akumuláciou komplexných zlúčenín humusových látok so železom a mangánom. Podľa hodnôt pH sú podzoly kyslé až extrémne kyslé.
6. *Hydromorfné pôdy*
Sú pôdy v ktorých vlastnosti ovplyvňuje dlhodobé zvýšenie pôdnej vlhkosti za nedostatku kyslíka. Vyskytujú sa v nich mramorované (pseudoglejové), glejové, rašelinové (organozemné) horizonty.

Klimatické pomery

Horský masív Vysokých Tatier tvorí prirodzenú bariéru pre prúdenie vzduchových mäs a spolu s veľmi členitým povrchom tak vytvára predpoklady pre osobitú horskú klímu s náhlymi a často až extrémnymi zmenami počasia. Poloha Vysokých Tatier v centrálnej časti Európy je predpokladom pre relatívne kontinentálne podmienky, najmä na záveterných (juhovýchodných) svahoch. O celkovom charaktere klímy ale rozhodujú aj cirkulačné pomery, ktoré sú v tejto oblasti značne premenlivé.

Podľa klimatického členenia SR (KONČEK a kol., 1974) vysokohorská krajina Tatier patrí do oblasti chladnej a podoblasti výnimočne vlhkej, ktorú tvoria dva okrsky – chladný horský (C2 v 1600–1800 m n.m.) a studený horský (C3 nad 1800 m n.m.) s ročnými zrážkami 900–1200 mm. Spodný okraj C2 charakterizuje priemerná ročná teplota vzduchu 2 až 4 °C a priemerná júlová teplota 10 až 12 °C.

Podľa klimatickej rajonizácie (TARÁBEK 1980) je územie Vysokých Tatier začlenené do oblasti s veľmi studenou a studenou horskou klímou. Kritériom pre veľmi studenú (resp. studenú) horskú klímu, je priemerná januárová teplota –7 až –11 °C (–6 až –7 °C) a ročný úhrn zrážok

1200–2130 mm (resp. 1000–1400 mm). Podhorie je začlenené do oblasti chladnej horskej klímy s januárovou teplotou 5 až 6,5 °C a ročnými zrážkami 800–1000 mm.

Slnčný svit a globálne žiarenie

Dĺžka slnečného svitu narastá s nadmorskou výškou. Najviac hodín slnečného svitu pripadá na mesiac júl, najmenej na december. Pozoruhodná je dĺžka svitu v Tatrách, ktorá dokonca presahuje podstatne vyššie alpské lokality.

Tab.1 Maximálne mesačné sumy slnečného svitu v hodinách

Lokalita	m n.m.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
Sonnblick	3106	194	204	240	227	233	241	275	242	226	218	203	171	1946
Zugspitze	2962	203	219	234	233	232	277	248	258	249	258	188	196	2268
Smokovec	1100	156	183	252	250	275	283	261	282	240	244	128	114	2151
Lomnica	850	132	160	239	230	258	260	267	266	222	217	102	96	1980
Štrské Pleso	1360	187	196	250	242	297	273	290	293	248	256	134	148	2244
Skalnaté Pleso	1780	152	174	221	219	257	243	248	235	195	210	132	143	1880
Lomnický štít	2635	158	206	263	235	247	264	301	291	236	267	167	181	2378

Priemerne je bez slnečného svitu v Starom Smokovci 67 dní. Lomnica má 78, Štrbské Pleso 74, Skalnaté Pleso len 51 dní. Takmer 60 % ročnej sumy dní bez slnka pripadá na 1-dňové udalosti, vyše 20 % pripadá na 2-dňové, 8 % na 3-dňové a 4 % na 4-dňové obdobia. V krajných prípadoch ide až o 11-dňové obdobia (výskyt v Tatranskej Lomnici).

Hustota toku priameho slnečného žiarenia narastá s nadmorskou výškou. Maximálny príkon majú južné svahy so sklonom 35°. Maximálne hodnoty sa vyskytujú v poludňajších hodinách.

Tab. 2 Priemerné mesačné poludňajšie hodnoty celkového žiarenia vo W.m⁻²

Lokalita	zimné mesiace	jarné mesiace
Poprad	820–850	900–930
Skalnaté Pleso	950–1020	1030–1050
Lomnický štít	970–1060	1090–1100

UV žiarenie je na Skalnatom Plese celoročne vyššie o 20 % oproti údolným polohám, počas zimy však až dvojnásobne.

Oblačnosť

Oblačnosť spolu so slnečným svitom sú hlavným regulátorom termického režimu a mnohých poveternostných javov.

Tab. 3 Relatívny počet oblačných dní v záujmovej oblasti

	oblačnosť do 50 %	oblačnosť 50–80 %	oblačnosť nad 80 %
Poprad	17,2	79,5	3,3
Smokovec	10,3	85,3	4,4
Tatr Lomnica	12,8	82,8	4,4
Štrb Pleso	23,8	74,8	1,4
Skalnaté Pleso	12,9	80,0	7,1
Lomnický štít	12,9	82,5	4,6

V priemere zamračené dni predstavujú 30 % zo všetkých dní v roku na južných svahoch a 48 % na štítoch.

Teplota vzduchu

Vzhľadom na značné výškové rozpätie horstva a prilahlých kotlín, rôznej orientácie a sklonu svahov, je premenlivosť teploty vzduchu veľmi veľká. V zásade s nadmorskou výškou teplota klesá. Maximálne teploty sú v júli, minimálne v januári. Vo vrcholových polohách sa termín maxima posúva na august, minimum na február.

Osobitosťou tatranskej klímy je častý výskyt inverzií, teda situácií, keď vo vyšších polohách (okolo 1000–1200 m n.m.) je teplota vyššia ako v kotlinách. Najvýznamnejšie sú inverzie v januári, čo sa premieta aj do dlhodobých priemerných mesačných teplôt. Medzi Popradom a Starým Smokovcom je priemerne ročne až 143 dní s inverzným chodom teploty. Periódy trvajú často až 5–10 dní.

Teplotné rozdiely medzi letom a zimou sú značné, ale s rastúcou nadmorskou výškou sa zmenšujú. Kým v kotlinách sa rozdiely pohybujú okolo 22–23 °C, v najvyšších polohách rozdiel klesá na 15–16 °C. Oproti kotlinám je obdobie výskytu extrémnych teplôt vo vrcholových partiách časovo posunuté na neskoršie obdobie. Dôsledkom je to, že na horách je zvyčajne chladná jar a teplá jeseň.

Ak za zimné obdobie považujeme dni s priemernou teplotou pod 0 °C a za leto teplotu nad 15 °C, tak zima v kotline trvá okolo 90 dní a v najvyšších polohách 240. Leto v kotline priemerne trvá 80 dní, v horách nad 1000 m sa v podstate nevyskytuje.

Tab. 4 Priemerná, maximálna a minimálna mesačná a ročná teplota vzduchu v Starom Smokovci (1911–1960)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ROK	Ampl
AVG	-5,0	-4,2	-0,6	4,2	9,4	12,3	14,3	13,6	10,2	5,3	0,6	-2,8	4,7	19,3
MAX rok	-0,4 1921	1,4 1966	3,4 1934	9,5 1920	12,8 1937	15,7 1964	17,0 1936	16,2 1943	13,6 1942	9,7 1966	7,2 1926	0,7 1960	6,4 1934	27,8 1942
MIN rok	-13,1 1942	-11,8 1956	-5,7 1932	0,0 1929	4,2 1919	9,4 1923	11,3 1913	11,1 1940	4,7 1912	0,7 1946	-4,5 1956	-8,0 1940	3,1 1940	16,7 1918

Tab. 5 Priemerné denné maximálne teploty (1931–1960)

Lokalita	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ROK
Poprad	-1,7	0,5	5,3	11,4	16,8	20,0	22,1	21,6	18,1	12,1	5,0	0,8	11,0
S. Smokovec	-1,3	0,4	4,1	9,1	14,4	17,5	19,5	19,2	15,9	10,3	4,2	0,8	9,5
Štrbské Pleso	-1,9	-0,9	2,4	7,0	12,4	15,7	17,6	17,4	14,0	8,5	3,2	0,0	8,0
Skalnaté Pleso	-2,6	-2,6	-0,4	3,1	8,1	11,3	13,1	12,9	10,0	6,2	2,2	-0,6	5,1
Lomnický štít	-8,4	-8,5	-6,1	-2,7	2,5	5,6	7,3	7,1	4,3	0,6	-3,5	-6,5	-0,7

Tab. 6 Priemerné denné minimálne teploty (1931–1960)

Lokalita	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ROK
Poprad	-10,7	-8,6	-4,8	0,2	4,8	8,1	10,0	9,2	5,7	1,4	-2,2	-6,4	0,6
S. Smokovec	-9,6	-8,6	-5,5	-0,3	4,6	7,8	9,5	9,2	5,9	1,5	-2,7	-6,2	0,5
Štrbské Pleso	-9,6	-9,5	-7,0	-2,2	3,1	6,5	8,3	8,0	4,9	0,5	-3,5	-6,8	-0,6
Skalnaté Pleso	-10,3	-10,2	-7,7	-3,8	1,3	4,5	6,6	6,6	3,6	-0,2	-4,6	-7,8	-1,8
Lomnický štít	-14,7	-14,6	-12,4	-9,0	-3,9	-0,7	1,2	1,3	-1,1	-4,5	-9,0	-12,2	-6,6

Tropické dni s maximálnou teplotou nad 30 °C sa vyskytujú v kotline 2–5 krát ročne. Vo výške nad 1000 m n.m. sa už nevyskytujú. Počet letných dní s teplotou nad 25 °C je v kotline priemerne až 40, s výškou ich počet klesá. V 1000 m je priemerný počet 9. Vo výške 1750 m sa už nevyskytujú vôbec. Dni s mrazom sa v kotline vyskytujú priemerne 150 krát, na Lomnickom štíte (2630 m n.m.) je ich až 286. Pod –10 °C klesá teplota v kotline 30 krát, na Lomnickom štíte až 120.

Zrážky

V oblasti Vysokých Tatier množstvo zrážok narastá s nadmorskou výškou. V dôsledku orientácie tatranského masívu na smer prevládajúceho prúdenia oceánického vzduchu od západu, majú náveterné (severozápadné) svahy viac zrážok ako záveterné (juhovýchodné). Kým vo východnej časti Podtatranskej kotliny je dlhodobý priemerný ročný úhrn okolo 600 mm, vo vysokých polohách Tatier prevyšuje 2000 mm, pričom horizontálna vzdialenosť je približne 15 km. Najmenej zrážok je v centrálnej oblasti na južnej strane horského masívu. Priemerný počet dní so zrážkami predstavuje 30–60 % dní v roku, od 110 dní v kotline po 220 v najvyšších polohách. Vo forme snehu priemerne spadne 30 % v nižších a až vyše 80 % ročného úhrnu v najvyšších polohách. Sneh sa na predhorí priemerne udrží 110 dní, obvyčajne od polovice novembra do konca marca. V najvyšších polohách snehová pokrývka trvá priemerne okolo 230 dní

Najviac zrážok padá v júli a najmenej v jesennom období (babie leto). Dĺžka a intenzita dažďov býva veľmi rozdielna. Takmer 40 % zrážok trvá menej ako 1 hodinu. Najfrekvencovanejším typom sú zrážky v trvaní 1 až 2 hodiny s výdatnosťou 5–10 mm. Výnimočne sa vyskytujú aj denné zrážky s úhrnom 160 až 180 mm. Mimoriadne zrážky spôsobili v minulosti povodne napr. v r. 1925, 1934, 1948, 1958. Mimoriadnu výdatnosť mali zrážky v druhej polovici augusta 2011, kedy na Štarte za 2 hodiny spadlo 80 mm.

Tab. 7 Priemerné mesačné a ročné zrážkové úhrny (mm)

Lokalita	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Poprad	29	23	32	36	71	86	88	74	56	40	40	33	608
Tatr. Lomnica	44	38	47	51	87	114	117	105	71	58	53	48	833
S. Smokovec	50	45	56	60	94	126	129	108	80	66	63	54	931
Štrbské Pleso	60	58	60	64	95	122	125	103	78	67	69	63	964
Skalnaté Pleso	82	70	81	103	128	194	208	159	96	84	88	87	1380
Lomnický štít	118	120	99	126	120	187	188	142	91	93	129	148	1561

Vlhkosť vzduchu

Relatívna vlhkosť v ročnom priemere stúpa s nadmorskou výškou asi do výšky 1000 m.n.m. Poprad má ročnú relatívnu vlhkosť 76 %, Starý Smokovec 82 %. Ďalej vlhkosť vzduchu klesá asi do výšky 1800 m.n.m, Skalnaté Pleso má priemernú relatívnu vlhkosť 74 % a potom znovu stúpa, Lomnický štít 82 %. Počas anticyklonálnych typov počasia je v nižších polohách vzduch suchší asi o 8 % a na horách až o 16 %.

Hmly

Vo vysokých polohách je častá prítomnosť nízkych oblakov s veľmi malými vodnými kvapkami, ktoré znižujú viditeľnosť pod 1 km. V údolných polohách sa prevažne v jeseni vyskytujú radiačné hmly, vznikajúce v dôsledku stagnácie chladného vzduchu v kotlinách v ranných a večerných hodinách.

Tab. 8 Priemerný mesačný a ročný počet dní s hmlou

Lokalita	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Poprad	3,7	2,2	2,0	1,1	1,2	1,1	0,8	0,8	1,6	3,6	6,6	7,8	32,5
S. Smokovec	4,0	4,0	3,9	4,2	3,7	4,0	3,3	3,0	3,2	5,0	9,2	7,4	54,9
Tatr. Lomnica	6,4	5,2	5,2	3,6	3,9	3,8	3,0	2,3	3,7	5,4	9,3	8,0	59,8
Štrbské Pleso	11,2	9,8	8,8	8,2	8,4	8,6	8,4	6,8	7,8	10,4	13,8	12,0	114,2
Skalnaté Pleso	15,8	16,6	16,8	17,2	16,4	16,8	17,8	15,7	16,3	16,6	19,2	17,4	202,6
Lomnický štít	21,0	19,6	21,5	23,4	25,6	25,4	25,8	24,2	20,7	18,8	21,2	20,8	268,9

Veterné pomery

Smer prevládajúceho prízemného vetra je určovaný celkovou orientáciou orografického profilu širšej tatranskej oblasti. V Liptovskej a Popradskej kotline je najčastejší smer SZ-Z-JZ. Rovnako je to na južných úpätiach pohoria.

Horská bariéra Vysokých Tatier deformuje prúdenie vzduchu najmä zo severozápadných smerov. V niektorých častiach pohoria vznikajú výrazné náveterné a záveterné efekty. Osobitné postavenie majú padavé vetry typu bóra na záveterných svahoch pohoria.

Najveternejšie sú vrcholové polohy pohoria, kde silný vietor ($>10 \text{ m.s}^{-1}$) fúka viac ako 200 dní v roku. Najsilnejšie vetry sú pravidelne zaznamenávané na horných a stredných polohách záveterných svahov. Najvyššia rýchlosť 283 km.h^{-1} bola nameraná v r. 1965 na Skalnatom plese. Typický je aj výskyt miestnych (svahových) vetrov, ktoré vznikajú meniacimi sa podmienkami insolácie povrchu. Zostupné chladné vetry (s rýchlosťou vánku do 5 m.s^{-1}) vejú vo večerných hodinách. Cez deň fúkajú vzostupné vetry z údolia do vrcholových partií a transportujú vodné pary, čím prispievajú k častým prehánkam.

Tab. 9 Prevládajúce smery vetra v % a priemerná rýchlosť vetra (PRV v m.s^{-1})

Lokalita	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Calm	PRV
Poprad	3	9	6	8	6	13	27	4	24	5,3
S. Smokovec	15	6	7	5	7	9	5	9	37	2,4
Tatr. Lomnica	7	7	3	12	11	8	2	14	36	2,1
Štrbské Pleso	18	13	6	2	8	17	19	7	10	4,3
Skalnaté Pleso	7	9	6	5	12	16	8	3	34	5,6
Lomnický štít	17	3	3	3	8	12	22	26	6	6,5

Najveternejšie sú vrcholové polohy Vysokých Tatier, kde rýchlosť vetra dosahuje výrazné maximum v zimných a výrazné minimum v letných mesiacoch. Veternosť s ubúdaním nadmorskej výšky klesá, málo veterné polohy na južnej strane pohoria majú menšiu amplitúdu priemernej ročnej rýchlosti vetra a maximum sa posúva zo zimy na jar. Minimum má dve výrazné obdobia, jedno začiatkom zimy a druhé minimum na konci leta až začiatkom jesene.

Osobitosťou Tatier sú tzv. padavé vetry, spôsobené orografickým zosilňovaním sily vetra na severnej i južnej strane pohoria. Preto napr. Skalnaté Pleso má väčšiu frekvenciu víchríc ako Lomnický štít. Na Skalnatom Plese bola nameraná aj doteraz najvyššia rýchlosť vetra: 283 km.h^{-1} . Padavé vetry dosahujú maximálnu rýchlosť na stredných svahoch pohoria a spôsobujú katastrofálne škody na lesných porastoch – rok 1915, 1941, 1965, 1968, 1982.

Tab. 10 Relatívna početnosť silných vetrov v %, s rýchlosťou nad 10 m.s⁻¹

	Jar	Leto	Jeseň	Zima	Rok
Poprad	1,17	0,65	0,89	1,48	1,05
Starý Smokovec	0,03	0,01	0,02	0,10	0,04
Tatranská Lomnica	0,15	0,03	0,15	0,30	0,16
Štrbské Pleso	0,38	0,16	0,19	0,48	0,30
Skalnaté Pleso	1,34	0,82	1,14	1,76	1,26
Lomncký štít	1,93	1,33	2,05	4,26	2,14

Vysoké Tatry ako miesto klimatickej liečby

Osobité klimatické pomery Vysokých Tatier v podmienkach chladnej horskej klímy, ale s veľkým počtom jasných, slnečných a bezveterných dní, intenzívne slnečné žiarenie, suchý vzduch, ihličnaté lesy, spolu s estetickým prostredím boli dôvodom, že na konci 19-teho storočia sa Vysoké Tatry stali vyhľadávanými liečebnými kúpeľmi. Zásahu na úspechu novej aktivity v regióne mal najmä Dr. Szontagh, keď v r. 1875 nahradil vodoliečbu širšou aplikáciou špecifických podmienok vysokohorského prostredia v medicínskej praxi vo vlastnom zariadení v Novom Smokovci. Pri koncepcii klimatickej liečby sa opieral o poznatky zo stáží v Davose, Arose, Montane a Merane a tiež o vlastné meteorologické pozorovania. Úspech a prosperita Szontaghovho sanatória viedla k premene pôvodne turistických stredísk a hotelov na liečebne v ďalších tatranských osadách (Tatranská Polianka, Štrbské Pleso, Tatranská Lomnica).

1.2 Vegetačné pomery

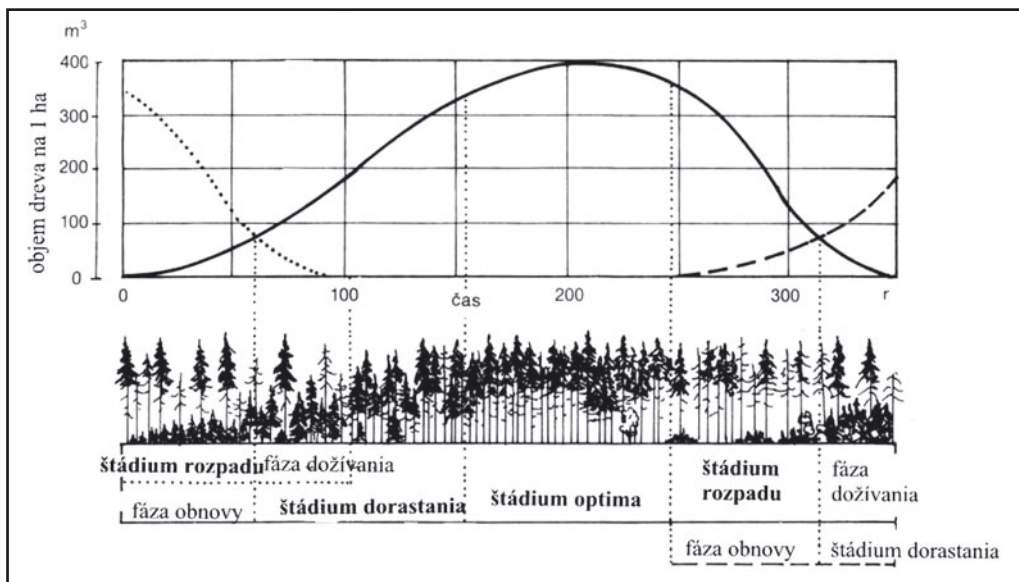
Lesná vegetácia

Lesy tvoria dominantnú zložku prírodného prostredia Vysokých Tatier, ich celková výmera je približne 60 000 ha. V rámci TANAP-u pokrývajú 85 % plochy a v širšom okolí približne 55 percent. Ich významná časť je súčasťou unikátneho prírodného dedičstva a ukážkou plne rozvinutých vysokohorských ekosystémov na relatívne malom a izolovanom území. Veľké plochy lesov a malý počet domácich obyvateľov spolu s komplikovaným prístupom do odľahlejších častí boli príčinou, že tunajšie lesy si udržali prírodný, pralesový charakter minimálne do 13. storočia. Osídľovanie, pastierstvo a baníctvo spôsobili redukciu ich výmery. Opakované holuby a neskôr zalesňovanie nepôvodným materiálom spôsobilo, že lesné porasty sa stali náchylnejšie na poškodenie prírodnými činiteľmi, najmä vetrom, hmyzom, prípadne požiarom. Napriek tomu si tatranské lesy na značnej výmere dodnes zachovali pôvodný charakter a sú domovom pre viac ako 10 000 druhov fauny a flóry. Lesné porasty spolu s kosodrevinou sú existenčnou podmienkou pre akumuláciu zrážkových vôd a ich vyrovnaný režim v potokoch a riekach v širokom okolí. Bez nich by nemala opodstatnenie ani tatranská klimatická liečba v pôvodných sanatóriách či dnešných liečebniach.

Napriek zdanlivej nemennosti, v lesoch prebiehajú sústavné zmeny. V mierke rádovo 1 000 rokov sa vyvíja les od doby ľadovej (fylogenetický vývoj). V stovkách rokov prebieha životný cyklus väčšiny tatranských drevín (smrek 200–300, limba až 800 rokov) a v desiatkach rokov prebiehajú vývojové fázy lesa (ontogenetický vývoj).

Súčasná drevinová zloženie prírodného lesa je odrazom klimatických a pôdných podmienok a šírenia lesných drevín v poľadovej dobe. Miestnym podmienkam dokonale prispôbený les je tvorený prevažne dlhovekými, tieň znášajúcimi drevinami, a označuje sa ako klimaxový les. Prirodzené biologické procesy dospievania, starnutia a odumierania, majú odraz v existencii vývojových cyklov, ktoré sa nazývajú štádia: štádium dorastania, štádium optima a štádium

rozpadu. V prírodnom lese sa tieto štádia a ich fázy striedajú po celej ploche prírodného lesa a tak udržiavajú les vo vyrovnanom stave.



Obr. 3 Vývojový cyklus jarabinovej smrečiny (podľa KORPELA 1980)



Obr. 4 Smrekovcové smrečiny v okolí Vyšných Hágov

V prípade veľkoplošného poškodenia lesa, napr. prírodnými katastrofami, ktoré sprevádza významná zmena pôdno-humusových a mikroklimatických pomerov, vývoj lesa prebieha so zastúpením tzv. pionierskych drevín cez sukcesné spoločenstvá (tzv. prípravný les). V tatranských podmienkach je to častý jav po vetrových kalamiťach. Vyvrátené plochy pomerne skoro obsadí breza, osika, jarabina, vrby a iné rýchlo rastúce listnaté dreviny. Pod ich ochranou postupne odrastajú klimaxové dreviny – smrek a jedľa. Osobitným prípadom vývoja lesa v centrálnej časti Vysokých Tatier je vývoj smrekovcovo – smrekových a borovicovo – smrekových lesov po devastálnych víchriciach typu bóra. V tzv. prechodnom lese majú zastúpenie tak slnne, rýchlorastúce dreviny smrekovec a borovica, ako aj tieň znášajúci smrek.

Výškový náskok rýchlorastúcich drevín sa po niekoľkých desiatkach rokov stratí a slnne dreviny ustúpia

konkurenčne zdatnejšiemu smreku. V lesných porastoch tak dominanciu prirodzene opäť získa smrek. Výnimkou sú len balvanité, resp. silne podmáčané lokality (tzv. azonálne stanovištia), ktoré sú pre výskyt smreka menej priaznivé.

Klimatické podmienky, najmä zmeny teploty a zrážok s meniacou sa nadmorskou výškou, podmieňujú druhové zloženie lesných spoločenstiev. V lesníckej terminológii sa tento jav označuje ako vegetačná stupňovitosť. Za základnú vegetačnú stupňovitosť sa považuje také zloženie vegetácie, ktoré plošne prevláda a odráža makroklimatické podmienky. Lesné vegetačné stupne (lvs) sú nazvané podľa prevládajúcich drevín a v zásade zodpovedajú ich prirodzenému vertikálnemu rozšíreniu. Počas pleistocénneho vývoja sa druhové zloženie lesov dramaticky menilo v dôsledku klimatických zmien. Začiatkom subatlantika sa ustálila vegetácia, ktorá je porovnateľná so súčasnou a slúži ako model pre rekonštrukciu potenciálnej vegetácie, teda takej, aká by sa sformovala bez vplyvu človeka.

Podľa ZLATNÍKA (1976) je súčasná základná stupňovitosť lesnej vegetácie v Karpatoch vyjadrená v týchto lesných vegetačných stupňoch (lvs):

1. lvs dubový
2. lvs bukovo-dubový
3. lvs dubovo-bukový
4. lvs bukový
5. lvs jedľovo-bukový
6. lvs smrekovo-jedľovo-bukový
7. lvs smrekový
8. lvs kosodrevinový

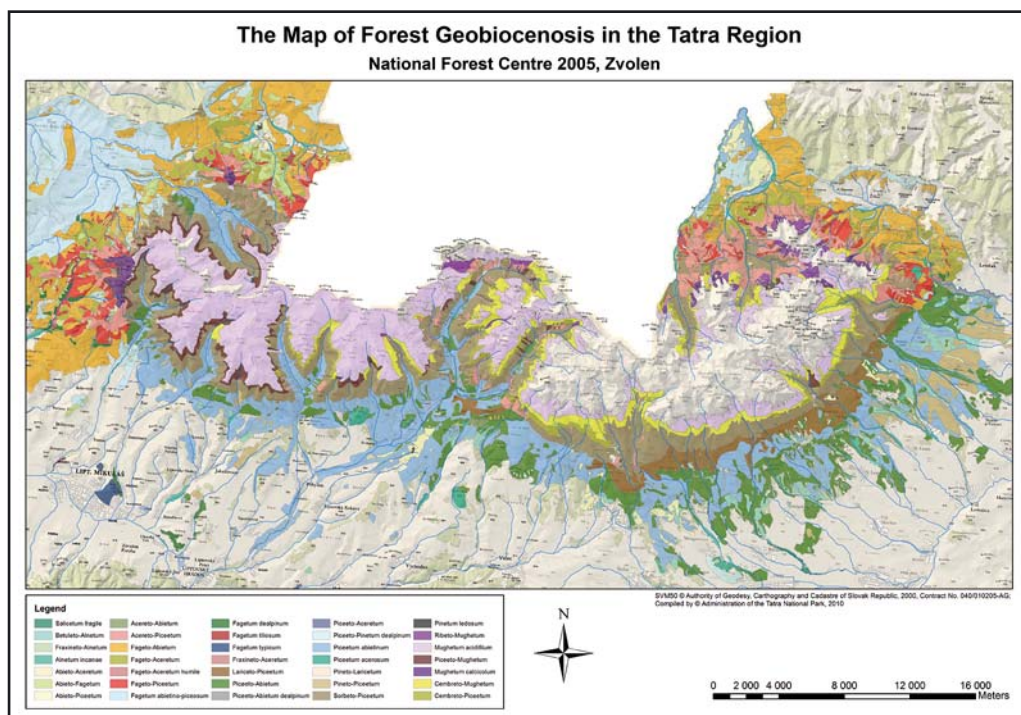
V tatranských lesoch má zastúpenie 5.–8. lvs, výnimočne 4. lvs. Prirodzená lesná vegetácia Tatier má určité odlišnosti od základnej karpatskej stupňovitosti, ktoré označujeme ako regionálne varianty. Prejavujú sa v drevinovom synuziálnom komplexe, spravidla gradáciou alebo úbytkom až neprítomnosťou určitej dreviny. Vo Vysokých Tatrách sa uplatňuje smrekovcovo-smreková centrálnokarpatská varianta, charakterizovaná prirodzeným výskytom smrekovca (od 5. lvs vyššie) a limby (v 7. lvs), najmä nízkym zastúpením až absenciou jedle a buka a predovšetkým absolútnou dominanciou smreka. Lesy tohto charakteru niektorí autori považujú za extrazonálnu ihličnatú boreálnu tajgu (MICHALKO a kol. 1986). Horná hranica lesa prebieha vo výške okolo 1 550 m n. m. Okrem iného ju charakterizuje obmedzený výškový rast stromov, úzke koruny a prerušovaný korunový zápoj, či prítomnosť kosodreviny.

Lesné vegetačné stupne z ekologického hľadiska predstavujú vertikálne členenie vegetácie. V horizontálnom členení sa rastové podmienky lesných spoločenstiev diferencujú najmä podľa pôdno-humusových pomerov do radov a medziradov a podľa hydrických podmienok do súborov. Typu daných klimatických a pôdných podmienok zodpovedá určitý typ lesnej biocenózy, ktorý sa označuje ako lesný typ. Na území Vysokých Tatier ich bolo zistených okolo 100. Ich výskyt je graficky



Obr. 5 Horná hranica lesa pod Skalnatým plesom, 1500 m n. m.

zobrazený na lesných mapách v mierke 1:10 000. Podľa ekologickej podobnosti sa lesné typy združujú do skupín lesných typov (slt), ktoré okrem iného predstavujú aj rámec potenciálnej drevinovej vegetácie. Model prirodzenej vegetácie je jedným zo základných východísk pre prírodu blízke obhospodarovanie lesov.



Obr. 6 Mapa rozšírenia skupín lesných typov na príklade LHC Vysoké Tatry: (upravené podľa NLC – Lesoprojekt)

Lesné spoločenstvá – biotopy európskeho a národného významu

Významná časť lesných spoločenstiev vo Vysokých Tatrách si zachovala prírodný, alebo málo pozmenený charakter. Sú medzi nimi aj spoločenstvá, ktoré z hľadiska národného alebo európskeho predstavujú biotopy ohrozené vymiznutím, malým prirodzeným areálom, či predstavujú ukážky jednej alebo viacerých biogeografických oblastí.

Prehľad lesných biotopov na území Tatier je spracovaný podľa *Katalógu biotopov Slovenska* (STANOVÁ, VALACHOVIČ – eds. 2002). Kód a názov biotopu zodpovedá hodnoteniu podľa *NATURA 2000*, je doplnený o označenie národného biotopu a kurzívou je uvedené označenie skupiny lesných typov (SLT) podľa lesníckej typológie (LESOPROJEKT 2000).

/2/ *Ls1* Lužné lesy

Ls1.4 Horské jelšové lužné lesy, SLT: *Alnetum incanae*

Porasty jelše sivej a smrekra na alúviách horských potokov a okolo pramenísk s občasnými záplavami, alebo podmäčané podzemnou vodou. Pôdy sú štrkovité až kamenité gleje. Typická je viacvrstvová štruktúra porastu, v krovinovom poschodí dominujú nitrofilné a hygrophilné druhy *Aegopodium podagraria*, *Astrantia major*, *Caltha palustris*, *Cardamine amara*, *Crepis paludosa*, *Doronicum austriacum*, *Equisetum sylvaticum*, *Filipendula ulmaria*, *Petasites albus*, *Stellaria nemorum* a iné.

/2/ Ls4 Lipovo-javorové sutinové lesy

Javorové horské lesy, SLT: *Fraxineto-Aceretum*, *Abieto-Aceretum*, *Fageto-Aceretum*, *Abieto-Aceretum*.

Lesné spoločenstvá zmiešaných javorovo-jaseňových porastov so smrekom, jedľou a bukom na svahových, úžľabinových a roklinových sutinách, najmä na karbonátovom podloží. Porasty sú viacvrstvové s bohatou krovinovou vrstvou. Z bylín sa uplatňujú najmä nitrofilné a heminitrofilné druhy: *Aconitum variegatum*, *Actea spicata*, *Aruncus vulgaris*, *Campanula rapunculoides*, *Cheledonium majus*, *Clematis lina*, *Cortusa matthioli*, *Geranium robertianum*, *Lamium maculatum*, *Lunaria rediviva*, *Mercurialis perennis*, *Urtica dioica* a iné.

/2/ Ls5 Bukové a zmiešané bukové lesy

Ls5.1 Bukové a jedľobukové kvetnaté lesy, SLT: *Fageto typicum*, *Fageto-Abietum* časť, *Abieto-Fagetum*, *Fageto-Aceretum*.

Zmiešané porasty buka s jedľou, smrekom a javorom na vlhších kambizemiach s dobrou humifikáciou. Krovinové poschodie chýba, alebo je len slabo zastúpené. V bohatej bylinnej vrstve prevládajú typické bučínové druhy ako je *Asarum europeum*, *Actea spicata*, *Dentaria bulbifera*, *D. glandulosa*, *Carex pilosa*, *Dryopteris filix-mas*, *Geranium robertianum*, *Lilium martagon*, *Melica nutans*, *Mercurialis perennis*, *Myosotis sylvatica*, *Oxalis acetosella*, *Paris quadrifolia*, *Polygonatum verticillatum*, *Prenthes purpurea*, *Salvia glutinosa*, *Sanicula europea*, *Veronica montana*.

Ls5.2 Kyslomilné bukové lesy, SLT: *Fagetum abietino-piceosum*, *Fageto-Abietum* časť.

Bukové porasty s prímiesou jedle s smreka na minerálne chudobných, plytkých a skeletnatých pôdach. Krovinové poschodie je nevýrazné. Medzi bylinami prevažujú acidofilné a oligotrofné druhy nad bučínovými: *Avenula flexuosa*, *Calamagrostis arundinacea*, *C. villosa*, *Dryopteris dilatata*, *Hieracium murorum*, *Luzula luzuloides*, *L. pilosa*, *Maianthemum bifolium*, *Melampyrum pratense*, *Oxalis acetosella*, *Poa nemoralis*, *Vaccinium myrtillus*

Ls5.3 Javorovo-bukové horské lesy, SLT: *Fageto-Aceretum* časť.

Ostrovčekovite rozšírené spoločenstvo javorovo-bukových porastov s prímiesou jedle a smreka, najmä na karbonátovom podloží v Západných a Belianskych Tatrách. Pôdy sú plytké, skeletnaté s priaznivou humifikáciou. Bylinný podrast je druhovo bohatý, tvoria ho najmä horské vysokobylinné druhy: *Aconitum firmum*, *Adenostyles alliariae*, *Alium victorialis*, *Athyrium distentifolium*, *Cortusa matthioli*, *Crepis paludosa*, *Delphinium elatum*, *Epilobium alpestre*, *Geranium pheum*, *Petasites albus*, *Ranunculus lanuginosus*, *R. platanifolius*, *Senecioi sublpinus*, *Soldanella carpatia*, *Valeriana tripteris*

Ls5.4 Vápnomilné bukové lesy, SLT: *Fagetum dealpinum*, *Fageto-Piccetum*, *Fageto-Abietum* časť.

Zmiešané (buk, jedľa, smrek, javor, borovica) lesy na strmých skalnatých svahoch s renzinovými pôdami na karbonátovom podloží v Belianskych a Západných Tatrách. Krovinová vrstva býva bohato rozvinutá. V bylinnej vrstve sa mozaikovo uplatňujú druhy rôznych ekologických skupín – lesostepné vápnomilné, mezotrofné, ale aj oligotrofné a prvky kvetnatých bučín: *Aconitum vulparia*, *Aquilegia vulgaris*, *Calamagrostis varia*, *Campanula carpatia*, *C. persicifolia*, *C. rapunculoides*, *Carduus glaucinus*, *Carex alba*, *C. digitata*, *C. montana*, *Cephalantera rubra*, *Clematis alpina*, *Cortusa matthioli*, *Cypripedium calceolus*, *Epipactis microphylla*, *Hedera helix*, *Laserpitium latifolium*, *Lilium martagon*, *Poa stiriaca*, *Solidago virgaurea*, *Valeriana tripteris* a iné. Porasty sú zaraďované do kategórie ochranných lesov.

/2/ Ls6 Suchomilné borovicové a borovicové zmiešané lesy

Borovicové porasty alebo listnato-ihličnaté zmiešané lesy s prevládajúcou borovicou na suchých a výslnných stanovištiach.

Ls6.2 Reliktné vápnomilné borovicové a smrekovcové lesy, SLT: *Pineto-Laricetum*. Riedke reliktné porasty borovice borovice a/alebo smrekovca na extrémnych skalných stanovištiach. Pôdy sú plytké, skeletnaté, vysychavé. Bylinné poschodie je bohaté so zastúpením mnohých endemických druhov.

Ls6.3 Lesosotepné borovicové lesy, SLT: *Piceeto-Pinetum dealpinum*.

Borovicové lesy lesostepného charakteru na vápencových ostrovoch v Podtatranskej kotline. V bylinnej vrstve má zastúpenie: *Anemone sylvestris*, *Aster amelloides*, *Brachypodium pinnatum*, *Carex montana*, *Epipactis atrorubens*, *Galium schultesi*, *Inula salicina*, *Lathyrus niger*, *Luzula luzuloides*, *Melica nutans*, *Pulsatilla slavica*, *Poa nemoralis*, *Vicia tenuifolia* a iné.

/2/ Ls7 Rašeliniskové lesy

Ls7.1 Rašeliniskové brezové lesy, SLT: *Betuleto-Alnetum* časť, sú riedke brezové porasty so smrekom, krušinou a borovicou na oglejených, podzolovaných pôdach. V bylinnom podraсте sú zastúpené: *Carex canescens*, *Eriophorum vaginatum*, *Oxycoccus palustris*, *Trientalis europea*, *Vaccinium myrtillus*. Dominantne sú zastúpené machorasty: *Polytrichum strictum*, *Sphagnum fallax*, *S. flexuosum*, *S. palustre*, *S. squarrosum*, *Warmstorfia fluitans* a iné.

Ls7.2 Rašeliniskové borovicové lesy, SLT: *Pinetum ledosum*, majú rozvoľnenú štruktúru, okrem smreka a borovice býva zastúpená aj kosodrevina. Bylinný podrast je jednoduchý, prevládajú ostrice a machorasty. Zastúpené sú: *Andromeda polifolia*, *Calluna vulgaris*, *Empetrum nigrum*,

Eriophorum vaginatum, *Ledum palustre*, *Oxycoccus palustris*, *Vaccinium uliginosum*, *Pleurozium schreberi*, *Polytrichum strictum*, *Sphagnum fallax*, *S. fuscum* a iné.

Ls7.3 Rašeliniskové smrekové lesy, SLT: *Abieto-Picetum* sú spoločenstvá smreka s primiešanou brezou a jarabinou na organogénnych pôdach s vysokou hladinou spodnej vody, na hladkom reliéfe, napr. na fluvioglaciálnych kuželloch a terasách. Porasty sú nepravidelne až riedko zapojené, často nízkeho vzrastu, druhovo chudobné. Dominujú machorasty s prevahou rašelinníkov. V bylinnom podraсте má zastúpenie: *Calamagrostis villosa*, *Carex canescens*, *Equisetum sylvaticum*, *Eriophorum angustifolium*, *E. vaginatum*, *Listera cordata*, *Luzula luzuloides*, *Lycopodium annotinum*, *Trientalis europea*, *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, z machorastov: *Polytrichum commune*, *Sphagnum capillifolium*, *S. centrale*, *S. girgensohnii*, *S. palustre*, *S. squarrosum* a iné.



Obr. 7 Rašeliniskové brezové lesy, južný svah Slavkovského štítu



Obr. 8 Rašeliniskové smrekové lesy, NPR Studené doliny – Christlováp



Obr. 9 Jedľovo-smrekové lesy, Kežmarské Žľaby

/2/ Ls8 Jedľové a jedľovo-smrekové lesy, SLT: *Pineto-Piceetum*, *Piceetum abietinum*, *Piceeto-Abietum* časť, *Acereto-Abietum*, *Abieto-Aceretum*, *Piceeto-Aceretum* časť, *Fagetum abietino-piceosum* časť, *Lariceto-Piceetum* časť. Porastové zmesi jedle najčastejšie so smrekom. V synúzii prevládajú nízkobylinné oligotrofné a acidofilné druhy, časté sú paparade: *Athyrium filix-femina*, *Calamagrostis arundinacea*, *Circea alpina*, *Dryopteris filix-mas*, *Galeobdolon luteum*, *Galium rotundifolium*, *G. schultesii*, *Hieracium bifidum*, *Luzula luzulina*, *Lysimachia nemorum*, *Melampyrum sylvaticum*, *Oxalis acetosella*, *Prenthes purpurea*, *Soldanella hungarica*, *Symphytum cordatum*, *Vaccinium myrtillus*, *Veronica montana* a iné.

/2/ Ls9 Smrekové a zmiešané smrekové lesy

Ls9.1 Smrekové lesy čučoriedkové, SLT: *Fageto abietino-piceosum* časť, *Pineto-Piccetum* časť, *Lariceto-Piceetum* časť, *Sorbeto-Piceetum*, *Acereto-Piceetum* časť, *Piceeto-Mughetum* sú klimaticky podmienené zonálne smrečiny od 1 000 m n. m. po hornú hranicu lesa s absolútnou prevahou smreka a prímiesou smrekovca a jarabiny. Pôdy sú chudobné, často podzlované s hromadením surového humusu. Bylinná synúzia je chudobná, dominujú oligotrofné a acidofilné druhy: *Avenella flexuosa*, *Calamagrostis arundinacea*, *C. villosa*, *Dryopteris dilatata*, *Homogyne alpina*, *Huperzia selago*, *Listera cordata*, *Luzula sylvatica*, *Melampyrum sylvaticum*, *Oxalis acetosella*, *Polygonatum verticillatum*, *Silene dioica*, *Soldanella carpatica*, *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idea*.

Ls9.2 Smrekové lesy vysokobylinné, SLT: *Acereto-Piceetum*, *Sorbeto-Piceetum* časť, *Fageto-Piceetum* časť predstavujú zonálne smrekové lesy na vlhších a troficky priaznivejších stanovištiach. Spravidla sú vertikálnym pokračovaním javorovo-bukových horských lesov. Vyskytujú sa na humózných karbonátových pôdach a kambizemiach, len zriedkavo na kryštaliniku na humusových podzloch. V stromovom poschodí dominuje smrek s primiešaným javorom a jarabinou. V kričkovitej etáži je zastúpená ríbezľa a v bohatej bylinnej vrstve dominujú vysoké nitrofilné byliny. Oligotrofné druhy sú menej zastúpené. Typické druhové zloženie: *Aconitum firmum*, *Adenostyles*



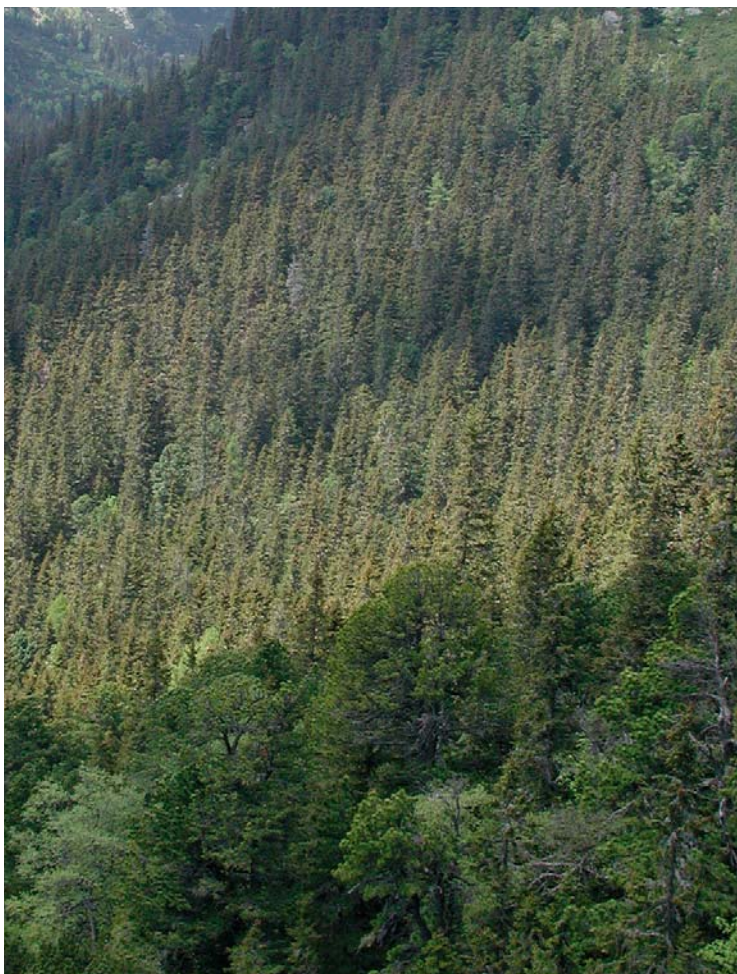
Obr. 10 Smrekový les čučoriedkový, Štrbské Pleso 1250 m n.m.

alliariae, *Athyrium distentifolium*, *A. filix-femina*, *Chaerophyllum hirsutum*, *Cicerbitia alpina*, *Cortusa matthioli*, *Dentaria glandulosa*, *Doronicum austriacum*, *Geranium sylvaticum*, *Homogyne alpina*, *Luecanthemum rotundifolium*, *Luzula sylvatica*, *Oxalis acetosella*, *Petasites albus*, *Ranunculus plataniifolius*, *Senecio subalpinus*, *Stellaria nemorum*, *Streptopus amlexifolius*, *Vaccinium myrtillus* a iné.

Ls9.3 Podmäčané smrekové lesy, SLT: *Fageto abietino-piceosum* časť, *Fageto-Abietum* časť, *Piceeto-Abietum* časť sú fragmentálne rozšírené smrekové lesy s prímiesou jedle, brezy, borovice a osiky na oglejených, ale nerašelinných pôdach. Rozšírené sú na podhorí, na fluvio-glaciáli s nepatrným sklonom a vysokou hladinou podzemnej vody. Druhovú zloženie bylinnej vrstvy: *Calamagrostis villosa*, *Caltha palustris* ssp. *laeta*, *Deschampsia cespitosa*, *Equisetum sylvaticum*, *Filipendula ulmaria*, *Homogyne alpina*, *Luzula sylvatica*, *Lycopodium annotinum*, *Maianthemum bifolium*, *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*.

Ls9.4 Smrekovcovo-limbové lesy, SLT: *Cembreto-Piceetum*, *Lariceto-Piceetum* vst, *Sorbeto-Piceetum* časť, *Acereto-Piceetum* časť, *Fageto-Piceetum* časť, *Cembreto-Mughetum* sú porasty smreka s limbou a smrekovcom pri hornej hranici lesa na karbonátovom i kryštalinickom podloží na humusových podzoloch. V bylinnej vrstve prevládajú oligotrofné druhy: *Avenella flexuosa*, *Calamagrostis villosa*, *Calluna vulgaris*, *Empetrum nigrum*, *Homogyne alpina*, *Huperzia selago*, *Luzula sylvatica*, *Melampyrum sylvaticum*, *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*.

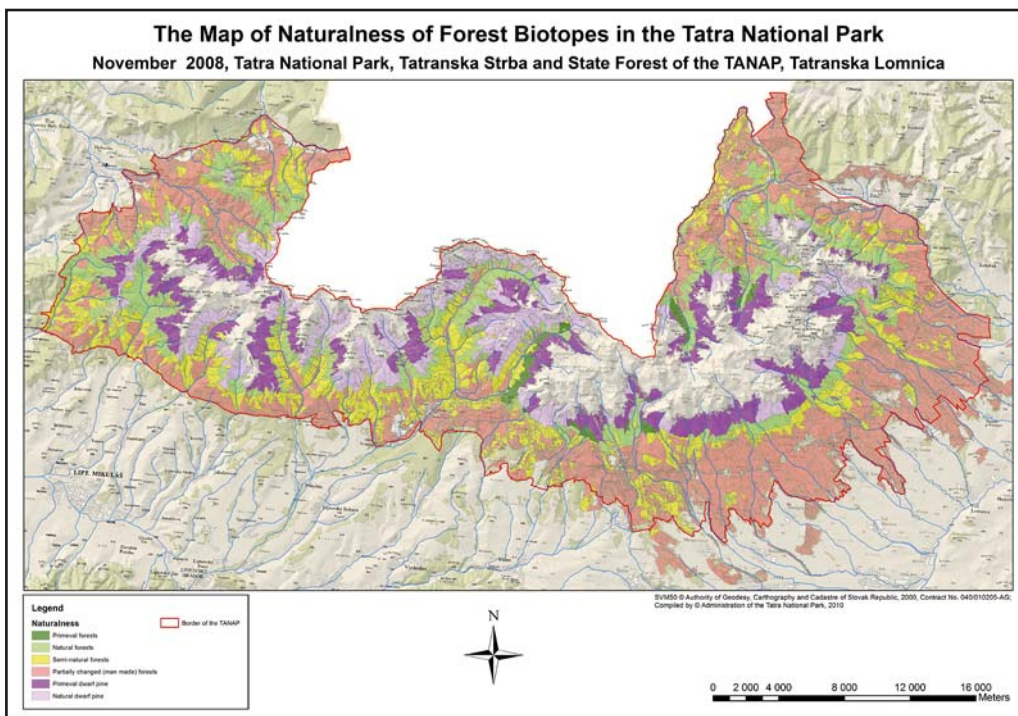
/2/ **Kr10 Kosodrevina**, SLT: *Mughetum*, sú krovinové porasty borovice horskej – kosodreviny, tvoriacej samostatný vegetačný stupeň. Rozšírená je v súvislom páse od 1 550 m do 1 800 (1 900) m n. m. Výškovovo nadväzujú na klimaxový smrekový les a na svojej hornej hranici prechádzajú do stupňa alpínskych holi na karbonátových renzinách i humusových rankroch a podzoloch.



Obr. 11 Prirodzené porasty smreka s limbou a jarabinou pri hornej hranici lesa, NPR Studené doliny

Prirodzenosť lesnej vegetácie

Skutočná, aktuálna lesná vegetácia je od pôvodnej často vzdialená. Najnápadnejšie sú zmeny v druhovom zložení porastov. Príčinou týchto zmien boli najmä hospodárske záujmy v posledných dvoch storočiach, keď sa v pestovaní lesov uplatňovala zásada vysokého podielu málo stabilného, ale rýchlo rastúceho smreka na úkor iných drevín. Lesníci sa pokúšali zvýšiť druhovú pestrosť porastov aspoň v okolí tatranských obcí. Z historických údajov vyplýva, že napr. smrekovec sa vo Vysokých Tatrách vysádzal už pred vyše 150 rokmi. Aj po vzniku TANAP-u sa na zalesňovanie rozsiahlych holín po vetrových kalamitách používal predovšetkým dostupný smrek. V tatranských podmienkach, kde je pôvodnou a najrozšírenejšou drevinou, je dnes zložité odlíšiť pôvodné, prírodné lesy od porastov umelo založených. Mnohé umelo založené porasty dosahujú v súčasnosti vek nad 100 rokov a typické znaky umelo založeného lesa (rovnovekosť, vysoká hustota, jednovrstevnatosť, krátke koruny, vysoký štíhlostný koeficient, absencia podrastu) sa vekom strácajú.



Obr. 12 Mapa so štyrmi stupňami prirodzenosti lesných porastov a dvoma stupňami prirodzenosti kosodreviny

Poznanie prírodných lesov je v podmienkach lesníckej starostlivosti o lesy Vysokých Tatier zvlášť významné. Prirodzenou selekciou počas desiatok generácií sú tým najlepšie prispôbeným ekosystémom na zložité horské podmienky a pre neopakovateľné vlastnosti uložené v ich genetickom materiáli musia byť zodpovedne chránené. Súčasne slúžia na štúdium prírodných procesov, ktoré nachádzajú uplatnenie v prírode blízkom lesnom hospodárstve, konkrétne v mnohoročnej snahe tatranských lesníkov o prebudovanie zmenených lesov na lesy prírode blízke.

/1/ **Prírodné lesy**

Sú to porasty pralesovitého vzhľadu. V minulosti mohli byť ovplyvnené málo intenzívnou ťažbou bez zalesňovania. Za ich súčasť považujeme i tie časti prírodných lesov, ktoré boli v minulosti postihnuté prírodnými katastrofami a ponechané na prirodzený vývoj.

Hlavné znaky:

- pôvodný genofond lesných drevín
- drevinové zloženie v súlade so stanovištnými podmienkami
- autoregulačné a autoregeneračné procesy.

/2/ **Prírodné lesy**

Sú to lesné porasty s prirodzeným alebo čiastočne zmeneným druhovým zložením a zmenou priestorovou výstavbou, spôsobenou extenzívnou činnosťou človeka. Prírodné znaky prírodného lesa prevyšujú znaky antropické.

Hlavné znaky:

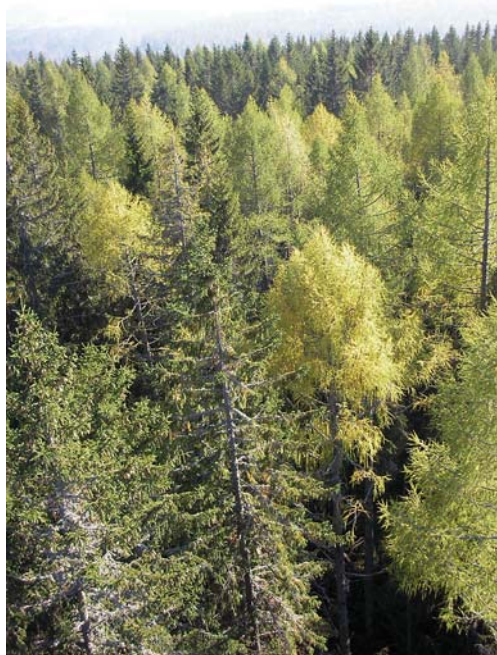
- pôvodný genofond lesných drevín
- drevinové zloženie v súlade so stanovištnými podmienkami alebo čiastočne zmenené
- autoregulačné a autoregeneračné procesy sú v prevahe, nevyžadujú usmernenie a reguláciu

/3/ **Prevažne prírodné lesy**

Lesné porasty so zastúpením prírodných a antropických znakov, pričom prírodné znaky a procesy sú približne rovnako zastúpené ako znaky antropické. Porasty vyžadujú čiastočné usmernenie a reguláciu vývojových procesov s cieľom nasmerovať ich na autoregulačné a autoreprodukčné procesy.

Hlavné znaky:

- lesné porasty v procese rekonštrukcie (premena) vrátane lokalít, na ktorých sa uskutočňuje alebo bude uskutočňovať rekonštrukcia hornej hranice lesa a kosodreviny.



Obr. 13 Prírodné porasty smreka a smrekovca, Vyšné Hágy – Smrekovec



Obr. 14 Prevažne prírodný les, Vyšné Hágy – Smrekovec, 1100 m n.m.

/4/ Zmenené porasty

Sú lesné porasty so zastúpením prírodných a antropických znakov, pričom antropické znaky prevládajú.

Hlavné znaky:

- porast s kombinovaným pôvodom (obnova umelá s vhodným druhovým zložením v súlade so stanovištnými podmienkami, prirodzené zmladenie a podsadby)
- porasty v iniciálnom štádiu rekonštrukcie, kalamitné plochy, na ktorých sa uskutočňuje obnova zalesňovaním, asanácie, aktívna obrana proti škodcom.



Obr. 15 Zmenený les, monokultúra. Pod Ostrvou, 1300 m n.m.

Za prírodné znaky považujeme:

- relatívna stálosť druhového zloženia (prevaha klimaxových drevín v rámci vývojového cyklu alebo vývojových cyklov na tej istej ploche)
- ekologická samostatnosť a vyrovnanosť (autoregulácia)
- rôznovekosť, v ojedinelých prípadoch sa za prírodný znak môže považovať aj rovnovekosť, pokiaľ ide o rovnorodé prírodné porasty (veľkoplošné kalamitné plochy, prirodzená mortalita niektorých úsekov vývojových fáz, dlhodobé intervaly medzi semennými rokmi atď.)
- vyrovnanosť drevnej zásoby v širších plošných rámcoch
- autoregenerácia (prirodzená obnova)
- plošné striedanie vývojových fáz a cyklov
- drevinové zloženie zodpovedajúce stanovištným podmienkam a vývojovému cyklu
- pôvodný genofond lesných drevín.

1.3 Atmogénne znečistenie – imisie

Vysoké Tatry, ako mohutná horská bariéra, sú prvou prekážkou pre vzduchové masy prichádzajúce prevažne zo západných smerov. Emisie zo zdrojov na západ od Tatier (z priemyslu, dopravy a poľnohospodárstva) sú transportované nad Tatry a prevažne vo forme mokrej depozície vstupujú do horských ekosystémov. Najvýznamnejší podiel na zaťažení tatranskej oblasti imisiami mali diaľkové zdroje (z Poľska, Česka, Nemecka). Regionálne zdroje predstavovali priemyselné centrá v Liptove a na Spiši v tom čase s nedostatočnou odľučovacou technológiou. Miestne zdroje predstavovala predovšetkým intenzívna automobilová doprava a vykurovanie. Prvé prejavy poškodzovania tatranskej prírody imisiami sa objavili začiatkom 80-tych rokov. Medzi inými zhoršujúci sa stav indikovala acidifikácia plies, rastúci obsah cudzorodých látok v rastlinných a živočíšnych pletivách, a zhoršovanie vitality lesných porastov. Nápadné bolo hlavne hynutie smrekových porastov na hrebeňoch a v plytkých pôdach. Začiatkom 90-tych rokov strata asimilačných orgánov smreka v oblasti Vysokých Tatier prekračovala slovenský priemer. Okrem redukcie prírastku, sme zaznamenali aj pokles kvality generatívnej reprodukcie. Zmeny pôdných vlastností vplyvom kyslej depozície na Lomnickom tranzekte uvádza BUBLINEC (1999) a v Bielowodskej doline KOREŇ (2002). Negatívne zmeny v spoločenstvách okolo hornej hranice lesa v Tomanovej doline dokumentuje RUSEK (2004) na príklade dlhodobého sledovania od r. 1959. Časové a priestorové zmeny v zložení a početnosti pôdneho edafónu sú výnimočným indikátorom vplyvu globálnych zmien a vplyvu mikroklimatických podmienok (zvýšený vstup polutantov v zrážkovo bohatých turbulentných lokalitách). Dramatické zmeny v zložení vegetácie (ústup svahových rašelinísk) sa považujú za dôsledok depozície dusíka. Vstup dusíka a následná zmena chemizmu organickej zložky pôdy spôsobili výraznú redukciu pôvodne oligotrofných alpínskych a subalpínskych ekosystémov. Vážne dôsledky pre vysokohorskú vegetáciu za predpokladu pokračujúceho rastu depozície dusíka uvádza BOWMANN et al. (2008) na základe viacročného experimentu na Salatíne. Paradoxný pokles tvorby biomasy alpínskeho trávnatého spoločenstva pri rastúcom vstupe dusíka je spôsobený stratou Fe z tlmivého komplexu a pokračujúcom procese acidifikácie.

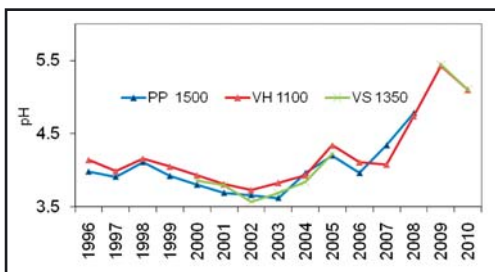
Znečistenie ovzdušia spôsobilo dramatické zmeny aj v ekosystémoch vysokohorských jazier. Tento hydrobiologický výskum sa robí od r. 1978 a hoci s lesnými ekosystémami bezprostredne nesúvisí, poznatky o časovom a priestorovom vplyve acidifikácie, vstupe polutantov a klimatických zmenách sú aplikovateľné i na ostatné tatranské ekosystémy (STUHLÍK & KOPÁČEK, 2004, ŠPORKA & ŠTEFKOVÁ, 2004).

Kyslé dažde

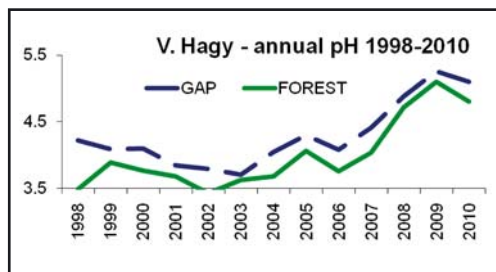
Kyslosť (pH) zrážok, ako univerzálny indikátor kvality ovzdušia, v tatranskej oblasti potvrdzovala v polovici 80-tych rokov vážnosť situácie. S priemerom pH 4.2 bola oblasť Tatier najviac zaťaženou v Európe.

Od polovice 90-tych rokov Výskumná stanica TANAP-u začala systematicky sledovať chemizmus zrážok. Podľa metodiky ICP sú vzorky odoberané v 14-dňových intervaloch a analyzované na pH, vodivosť, obsah aniónov (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-) a kationov (NH_4^+ , H^+ , Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Al^{3+} , Mg^{2+}). Na analýzu vzoriek sa používa chromatograf Specol (Jena, Nemecko) a ITC analyzátor Labeco (Sp. Nová Ves, Slovensko). Výrazné zlepšenie hodnôt pH nastalo až po r. 2007. Na obr. 16 uvádzame ročný priemer pH zrážok z troch lokalít v rôznych nadmorských výškach od r. 1996: PP - Popradské pleso (1500 m n.m.), VH - Vyšné Hágy (1100 m n.m.), VS - Veľká Studená dolina (1350 m n.m.).

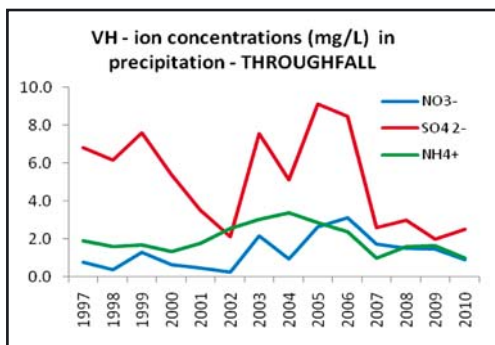
Zrážky prechádzajúce korunovým priestorom sú obohacované o látky usadené na povrchu asimilačných orgánov. Na obr. 17 uvádzame pH zrážok v porastovej medzere (gap) a pod korunami (forest) na ploche Vyšné Hágy od r. 1998. Rozdiel sa postupne znižuje, čo je odrazom preriedovania lesného porastu poškodzovaného podkôrnym hmyzom po r. 2006.



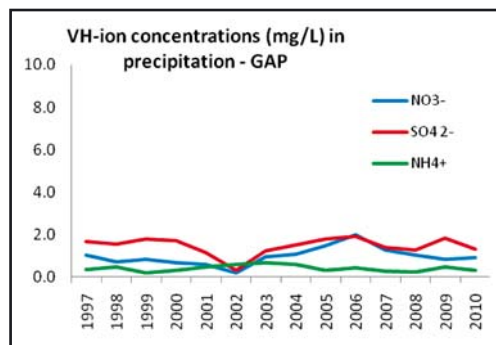
Obr. 16 Kyslosť zrážok v rozdielnych nadmorských výškach v r. 1996–2010



Obr. 17 Kyslosť zrážok v porastovej medzere (gap) a pod korunami (forest) na lokalite Vyšné Hájky, 1998–2010

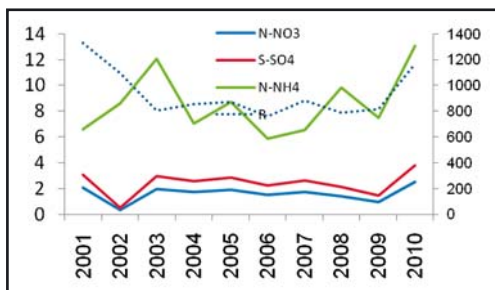


Obr. 18 Priemerná koncentrácia aniónov (NO_3^- , SO_4^{2-}) a kationov (NH_4^+) v podkorunových zrážkach a na voľnej ploche, Vyšné Hájky 1997–2010



Rozdiel v obsahu kľúčových iónov pri hodnotení kvality zrážok (N-NH_4^+ , N-NO_3^- , S-SO_4^{2-}) v porastových zrážkach a na voľnej ploche je na obr. 18.

Vstupy tzv. zakysľujúcich látok (S) majú klesajúci trend, výrazný po r. 2006. V súčasnosti ročná depozícia S-SO_4^{2-} v porastoch v nadmorskej výške 1100 m n.m. je okolo 10,5 kg/ha, na voľnej ploche 5,3 kg. Depozícia dusíka vo forme N-NO_3^- do porastov i na voľnej ploche je 2,3 kg/ha. Amoniakálny dusík (N-NH_4^+) v poraste priemerne 12,8 kg/ha a mimo porastu 4 kg/ha, čo približne zodpovedá priemerným pomerom na Slovensku. Vývoj depozície hlavných komponentov od r. 2001 pre výskumnú lokalitu na Vyšných Hájoch je na obr. 19. Bodkovane je na grafe zobrazený ročný úhrn zrážok. Pri pomerne malých rozdieloch v koncentráciách látok, je hlavný faktor depozície množstvo zrážok.



Obr. 19 Ročná depozícia N-NO_3 , N-NH_4 a S-SO_4 na lokalite Vyšné Hájky, 2001–2010

Veľmi kyslé pôdne prostredie, minimum bázických kationov boli zrejme už v minulosti dôvodom, že na niektorých lokalitách bol zistený vysoký obsah voľných hliníkových kationov (Al_3^+). Chemickým kritériom pre úroveň začiatku poškodzovania niektorej zložky ekosystému (tzv. kritická záťaž) je pomer bázických kationov (Ca, Mg, K) ku hliníku. Hodnotenie koncom 90-tych rokov (KUNCA et al. chýba rok) potvrdilo prekračovanie kritickej záťaže. Hodnotenie sa zopakovalo v r. 2010 na plochách poškodených vetrovou kalamitou. Výsledky uvádzame v 4. kapitole.



Obr. 20 Kolektor na odber vzoriek podkorunových zrážok pre chemické rozborý

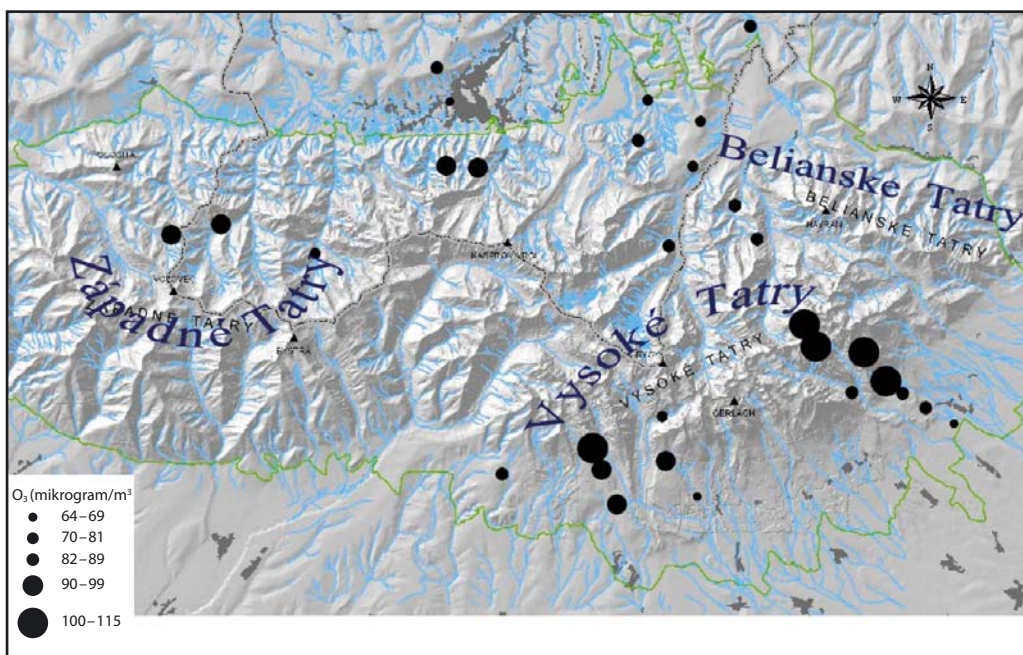
1.4 Ozón

Rastúca koncentrácia prízemného ozónu (O_3) je považovaná za jeden zo sprievodných prejavov globálnych zmien. Nielen znečistenie ovzdušia, ale aj zmena chemizmu klímy akcelerovaná zvyšujúcou sa teplotou spôsobujú nárast škôd na lesných drevinách v globálnej mierke. Prízemný ozón na ihličnatých drevinách priamo poškodzuje epikutikulárne a epistomatálne vosky. Zvyšuje tak ich citlivosť na poškodenie ďalšími stresovými faktormi ako sucho, mráz, imisie, fytofágny hmyz.

Systematický monitoring ozónu sa vo Vysokých Tatrách začal v r. 1998. Postupne na 25 lokalitách na južnej i severnej strane Tatier sa koncentrácia O_3 sledovala pomocou pasívnych snímačov (Ogawa, Japan) až do r. 2004. Indikátorom koncentrácie O_3 bola oxidácia NO_2^- na NO_3^- , ktorá sa stanovila na celulóзовom snímači, exponovanom v teréne v 14 dňových cykloch, pomocou chromatografu (Dionex, USA) na Ústave botaniky PAV v Krakove.

Priemerná 14-dňová koncentrácia O_3 sa za celé sledované obdobie pohybovala v rozpätí od 63 do 115 $\mu g.m^{-3}$ t.j. 32–58 ppb (obr. 21). Priemerná hodnota 60 $\mu g.m^{-3}$ počas vegetačného obdobia je považovaná za počiatočnú hodnotu pre chronické poškodenie vegetácie (Direktíva ES 92/72/EEG). Nielen priemer za sledované obdobie na všetkých lokalitách bol vyšší ako táto hodnota, ale ani v jednotlivých rokoch sezónny priemer neklesol pod 60 $\mu g.m^{-3}$. Najvyšší priemer koncentrácie O_3 počas 7-ročného sledovania sme zaznamenali na lokalitách Deviatka (pod Skalnatým plesom, 1500 m n.m. – 115 $\mu g.m^{-3}$) v Lomnickom sedle a na Štarte (2180 m n.m., resp. 1 200 m n.m. – 110 $\mu g.m^{-3}$). Naopak, najnižší priemer za 7 ročné obdobie sme zaznamenali na lokalite Rownia Krupowa (850 m n.m.) a v Starej Lesnej (810 m n.m.) – 64 $\mu g.m^{-3}$.

Sezónny chod O_3 mal dve výrazné maximá, jarné v máji a letné v prvej polovici augusta. Očakávaný rozdiel medzi severnou a južnou stranou Vysokých Tatier sa nepotvrdil. Na hranici



Obr. 21 Poloha pasívnych snímačov a priemerná koncentrácia O_3 ($\mu\text{g.m}^{-3}$) v r. 1998–2004 na slovenskej aj poľskej strane Tatier

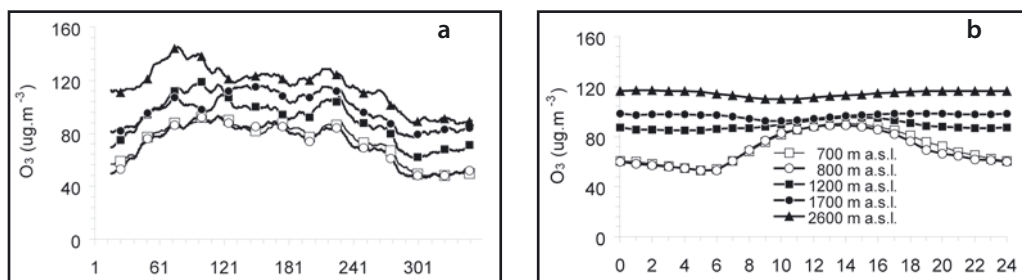
štatistickej významnosti sme zistili rozdiel v koncentrácii O_3 medzi otvorenými pravidelnými južnými svahmi s priemernou hodnotou $98 \mu\text{g.m}^{-3}$ a chránenými údolnými polohami s koncentráciou $69 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Aktívne monitory (UV absorbčný spektrofotometer Thermoelectron, USA, ČR) sú v prevádzke od v r. 2000 na lokalite Štart a Skalnaté Pleso. Postupne boli prístroje osadené až na deviatich lokalitách. V súčasnosti sú funkčné 2 (Skalnaté Pleso a Javorina).

Tab. 11 Priemerná ročná koncentrácia O_3 ($\mu\text{g.m}^{-3}$) a smerodajná odchýlka (SD) na sledovaných lokalitách v rokoch 2000–2008

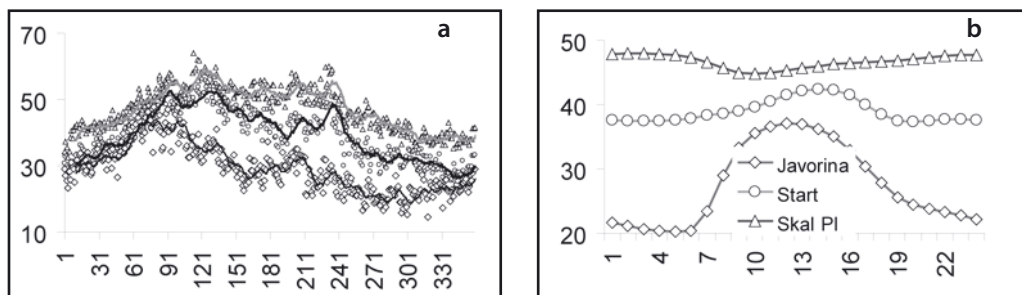
Lokalita	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	avg
Štart	68 (11)	72 (12)	82 (12)	90 (12)	80 (11)	66 (10)	72 (12)	86 (13)	80 (11)	78 (12)
Skal. Pleso	96 (11)	100 (10)	102 (9)	96 (10)	88 (8)	72 (10)	92 (11)	112 (10)	92 (9)	94 (11)
Lom. štít	-	96 (11)	106 (8)	112 (10)	98 (7)	-	-	-	-	103 (9)
Javorina	-	-	-	-	54 (8)	58 (10)	60 (9)	62 (10)	42 (7)	58 (7,3)

Medziročné zmeny koncentrácií O_3 nenaznačili žiaden výraznejší trend vývoja, ale potvrdili zmenu koncentrácie O_3 s nadmorskou výškou. Na obr. 22 ilustrujeme zmenu O_3 s nadmorskou výškou na „lomnickom“ transekte rozšírenom o meranie ozónu S-HMÚ v Starej Lesnej a Gánovciach (FLEISCHER et. al., 2005).



Obr. 22 Ročný (a) a denný (b) priebeh O_3 (v $\mu g \cdot m^{-3}$) na výškovom transekte Lomnica, 700–2600 m n.m., rok 2003

V ročnom chode ozónu sú výrazne dve maximá. Jedno jarne druhé letné. Kým jarne je všeobecne dávané do súvislosti s prirodzenou globálnou cirkuláciou, letné je považované za dôsledok antropogénneho znečistenia atmosféry (ZÁVODSKÝ, 1998). Priemerné denné koncentrácie O_3 na Štarte a na Skalnatom Plese v r. 2000 až 2008 a v Javorine (2004–2008) sú na obr. 23a. Priebeh ročného chodu potvrdzuje, že koncentrácie O_3 kulminujú v jarnom období (koniec marca až začiatok mája). V tom čase sú rozdiely medzi jednotlivými lokalitami minimálne. Druhé, menej výrazné maximum je začiatkom tretej augustovej dekády, v Javorine je takmer neznateľné. Minimálne hodnoty sme na všetkých lokalitách zaznamenali v novembri a decembri.



Obr. 23 Ročný a denný priebeh koncentrácie O_3 (v ppb) v Javorine, na Štarte a na Skalnatom Plese a) ročný priebeh, čiary sú 10-dňový kľzavý priemer b) denný priebeh

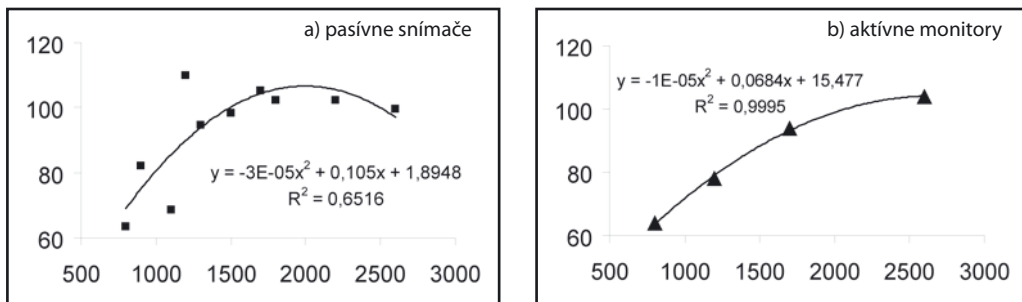
Výrazne odlišný je aj denný chod O_3 v jednotlivých nadmorských výškach. V nižších polohách (napr. Javorina a Stará Lesná) po rannom minime O_3 výrazne narastá do popoludňajšieho maxima. S rastom nadmorskej výšky sa amplitúda znižuje a nevýrazne maximálne hodnoty sa posúvajú do skorých ranných hodín (obr. 23b). Takmer identický chod O_3 ako v Starej Lesnej sme zistili v Zakopanem, neskôr pri porovnávacom meraní aj v Starom Smokovci, Tatranskej Lomnici. Nápadne prudký rast ranných koncentrácií sme zistili najmä v Javorine, lokalita Podmuráň (obr. 23b).

Faktory určujúce koncentráciu O_3

Koncentrácia ozónu je výslednicou multifaktorového pôsobenia meteorologických, fyzikálnych a chemických podmienok prostredia. Na základe doterajších poznatkov sa pre koncentráciu O_3 v tatranských podmienkach javia ako významné nasledujúce faktory:

Nadmorská výška

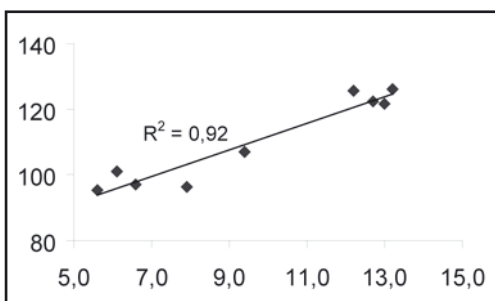
Obe použité metódy potvrdili rast koncentrácie O_3 s nadmorskou výškou. Podľa výsledkov z analyzátorov, priemerný nárast na sledovanom transekte je $2,6 \mu\text{g.m}^{-3}$ ($1,3 \text{ ppb}$). 100 m^{-1} . Výrazný je nárast najmä vo výškových hladinách 800–1200 m a 1200–1700 m n.m. ($3,6$ resp. $3,2 \mu\text{g.m}^{-3}$) na 100 m, kým v hladine 1700–2600 m n.m. sme zistili len $0,6 \mu\text{g.m}^{-3}$ na 100 m výšky. Pasívne snímače naznačili dokonca výrazný pokles koncentrácie O_3 nad 2000 m n.m. s priebehom blízkym polynómu 2. stupňa ($R^2=0,65$), ako prezentujeme na obr. 24.



Obr. 24 Zmena koncentrácie O_3 (v $\mu\text{g.m}^{-3}$) s nadmorskou výškou

Teplota a vlhkosť vzduchu

Teplota a vlhkosť vzduchu majú rozhodujúci vplyv na tvorbu prízemného ozónu (KREMLER, 2001) a tiež na funkciu prieduchov, teda aj na príjem O_3 do rastlinných pletív. Najvyššie ročné koncentrácie O_3 na všetkých sledovaných lokalitách korešpondujú s teplotne nadnormálnym letom 2003 a 2007. Pri pasívných snímačoch bol vzťah s teplotou voľnejší, najmä v lesných porastoch. Veľmi tesný vzťah sa prejavil na otvorenejších plochách. Na príklade lokality Deviatka (pravidelný J-JV svah pod Skalnatým plesom so súvislým porastom kosodreviny, 1500 m n.m.) na obr. 25 dokumentujeme tesný vzťah teplota vzduchu – koncentrácia O_3 pre 14 dňové priemerné hodnoty vo vegetačnom období r. 2001.

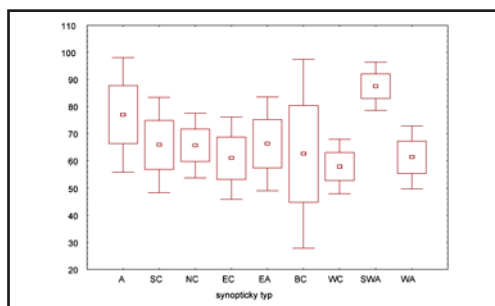


Obr. 25 Zmena koncentrácie O_3 ($\mu\text{g.m}^{-3}$) s teplotou vzduchu ($^{\circ}\text{C}$), 14-dňový priemer, Deviatka 1500 m n.m., r. 2001

Náhle zmeny teploty vzduchu sa ukázali ako relatívne významný faktor pri analýze výskytu vysokých koncentrácií O_3 (viac ako $110 \mu\text{g.m}^{-3} = 55 \text{ ppb}$ počas 8 hodín). Na lokalite Štart sme počas vegetačného obdobia (máj–august) v r. 2006 zaznamenali takýchto dní 49 a v r. 2007 až 85. Zistili sme, že vysoké koncentrácie O_3 sa zhodovali s nárastom maximálnej dennej teploty oproti predchádzajúcemu dňu v 95 % prípadoch. Rovnako vysoká zhoda bola aj v prípade relatívnej vlhkosti vzduchu. Vysoké koncentrácie sa vyskytovali, keď vlhkosť vzduchu klesla pod 50 %. Ukazuje sa, že aj strmý ranný nárast O_3 v Javorine na lokalite Podmuráň súvisí s náhlým prehriatím vzduchu, ktorému je okolie analyzátoru vystavené po dopade slnečných lúčov spoza masívu Muráňa.

Synoptické typy

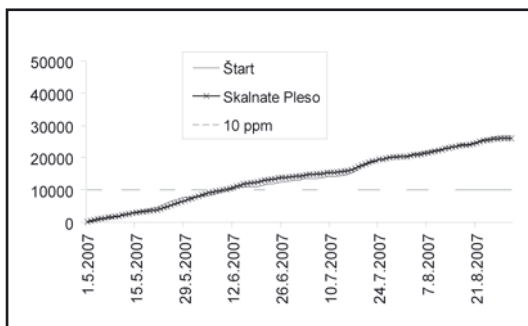
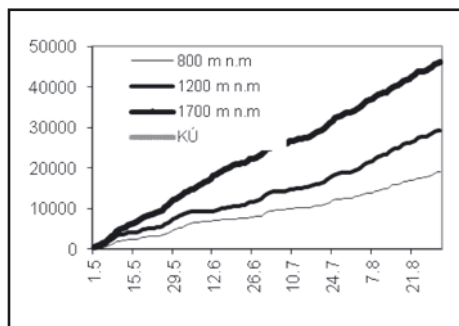
Pôsobenie negatívnych účinkov troposférického ozónu nie je viazané len na miesto jeho vzniku, ale vzduchovými masami môže byť prenášané na značné vzdialenosti. Vysoké Tatry ako izolovaná vysoká horská bariéra majú všetky predpoklady, aby boli diaľkovým prenosom zasiahnuté. Analýza variancie koncentrácie ozónu podľa synoptických typov v r. 2003 potvrdila najvyššie koncentrácie ozónu pri juhozápadnej anticyklóne (SWA), teda pri podmienkach priaznivých na prenos znečisteného ovzdušia z veľkých západných priemyselných a mestských aglomerácií. V priemere sú mierne vyššie koncentrácie pri anticyklonálnych typoch počasia, s vyššou teplotou a nižšou relatívnou vlhkosťou vzduchu (napr. anticyklonála nad strednou Európou – A, východná anticyklonála – EA). Pri cyklonálnych typoch počasia je nižšia koncentrácia O_3 najmä pri západnej a východnej cyklonále – WC, EC. Najväčšiu variabilitu O_3 mala najčastejšie sa vyskytujúca synoptická situácia BC – brázda nízkeho tlaku nad strednou Európou.



Obr. 26 Koncentrácia O_3 ($\mu g \cdot m^{-3}$) podľa hlavných synoptických typov lokalita Štart 2003

Ohrozenie vegetácie

Potenciálne riziko poškodenia ozónom pre vegetáciu vyjadruje index AOT40. Jeho kritická hodnota je pre lesnú vegetáciu stanovená na 10 000 ppb hodín. Je to suma hodinových priemerov nad 40 ppb počas vegetačného obdobia, v našom prípade od 1. mája do 31. augusta počas denných hodín (05.00 do 19.00). Prekročenie kritickej úrovne na výškovom transekte v r. 2003 predstavuje graf na obr. 27a. Vo výške 800 m n.m. sme zistili hodnotu 20 000, teda 2-násobné prekročenie kritickej úrovne. Vo výške 1200 m n.m. bola prekročená 3-násobne a vo výške 1700 m n.m. až 5-násobne. Z časového priebehu kumulovanej hodnoty AOT40 v r. 2003 je zjavné, že kritická úroveň vo výške 800 m bola dosiahnutá v polovici júla, vo výške 1200 m n.m. v polovici júna a vo výške 1700 m n.m. dokonca v priebehu mája. V r. 2007 bola kritická hodnota 10 000 ppbh dosiahnutá na Štarte aj na Skalantom Plese v rovnakom čase, okolo 10. júna. Aj celková suma AOT indexu počas vegetačného obdobia bola takmer identická 25 000 ppbh, čo predstavuje 2,5-násobné prekročenie kritickej úrovne (obr. 27b). V Javorine sa AOT 40 pohybuje na hranici 10 000 ppbh.



Obr. 27a,b Kumulovaný index ozónu AOT 40 ppbh a) v r. 2003 vo výške 800, 1200 a 1700 m n.m. b) v r. 2007 vo výške 1200 a 1700 m n.m.



Obr. 28 Symptómy poškodenia ozónom na listoch jarabiny vtáče (r. 2003)

Pre poškodenie vegetácie je podstatné, či sa ozón dostane do pletív a či detoxikačný potenciál rastliny je dostatočný na zvládnutie takejto disturbancie. Príjem O_3 do pletív na lomnickom transekte pre r. 2001–2003 spracoval pomocou modelov ŤUPEK (2009). Na základe priepustnosti prieduchov, podmienených teplotou vzduchu, nasýtením vodných pár, radiáciou fotosynteticky aktívneho žiarenia určil podmienky pre vodivosť prieduchov a následný príjem O_3 . Príjem O_3 stúpa s teplotou, ale len do určitej miery, kedy ďalšie zvyšovanie teploty spôsobuje zatvorenie prieduchov. Preto paradoxne najnižší príjem O_3 sa určil pre

najteplejšie synoptické typy (SWa juhozápadná anticyklóna). Podľa poznatkov z aplských krajín, vodivosť prieduchov pre príjem O_3 exponenciálne rastie s teplotou u borovice limbovej (WIESER et. al., 2004). Predpokladáme, že rovnaký mechanizmus môže vysvetľovať náhle zhoršenie stavu limby pri hornej hranici lesa v TANAPe po mimoriadne teplom lete 2006 a 2007.

Viditeľné symptómy poškodenia ozónom sme zamenali najmä na listnatých drevinách – *Sorbus aucuparia*, *Betula carpatica*, *Salix caprea*. Z ihličnatých na smrekovci *Larix decidua* a najmä na limbe *Pinus cembra*. Výrazne ohraňované nekrózy na hornej strane listov a ihlíc zodpovedajú symptómom označovaným v literatúre ako „ozone like symptoms“ (obr. 28). Podrobnejšie informácie sú uvedené v príspevku GODZIK & FLEISCHER (2005).

1.5 Klimatické extrémny

V súčasnosti sa vplyvu extrémnych meteorologických podmienok na fyziologický stav lesných drevín a celých porastov venuje mimoriadna pozornosť. Dôvodom je nepriaznivý stav najmä smrekových lesov na celom Slovensku a nepriaznivá perspektíva spojená s očakávanou extremizáciou doterajších podmienok. Jedným z očakávaných negatívnych dopadov je pôsobenie sucha. Suché periódy v čase tvorby asimilačných a reprodukčných orgánov majú na lesné dreviny často fatálne dôsledky. Pôsobenie následných faktorov (napadnutie hubami, hmyzom) často komplikuje určenie primárnej príčiny degradácie stavu.

Lesné dreviny mierneho pásma nie sú vo všeobecnosti vybavené účinnými obrannými mechanizmami a stratégiami na zvládnutie intenzívnych klimatických anomálií. Odolnosť voči extrémnym hodnotám je závislá na druhu i proveniencii.

Zvýšená citlivosť lesných drevín na klimatické extrémny môže byť dôsledkom dlhodobého pôsobenia znečisteného ovzdušia, poruchy činnosti prieduchov, alebo narušenia výživy. Práve horské (smrekové) lesy sú najčastejšie vystavené takému synergickému pôsobeniu stresových faktorov. Fyziologicky oslabené porasty sú následne intenzívnejšie poškodzované ďalšími činiteľmi.

Za najvýznamnejšie klimatické extrémny v tatranských podmienkach považujeme:

- nízke zrážky vo vegetačnom období. Pod 300 mm boli zaznamenané zrážky aj v r. 1963, 1976, 1977, 1983, 1987, 1992–1994 a 2003. Najmä v posledných rokoch sa vyskytol deficit v jarných mesiacoch (apríl),
- nedostatočná snehová pokrývka, premrzanie pôdy,
- vysoké teploty vo vegetačnom období.

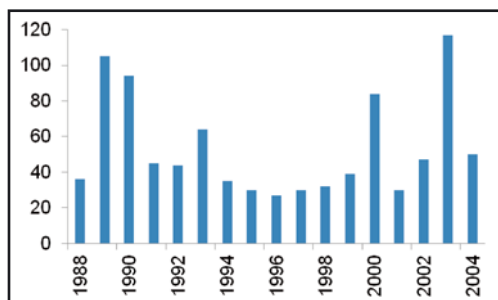
1.6 Vetrové kalamity

Vietor je nielen v Tatrách, ale aj v rámci Slovenska považovaný za hlavný činiteľ poškodzujúci lesy. Ako uvádzajú KONÔPKA & KONÔPKA (2005) boli na Slovensku zaznamenané veľké škody spôsobené vetrom v r. 1912, 1915 (1.3 mil m³), 1921, 1925, 1930, 1941, 1947–1949, 1964 (5 mil. m³), 1971, 1976 (1 mil. m³), 1981, 1982, 1989, 1990, 1996 (1,5 mil. m³). Narastajúci rozsah vetrových kalamít v lesoch sa často vysvetľuje ich jednostranným hospodárskym využívaním. Historické záznamy o mimoriadnych vetrových polomoch napr. z 13-teho storočia v Turci a na Liptove sú dôkazom, že dostatočne silnému vetru neodolá ani prírodný, človekom neovplyvnený les (prales).

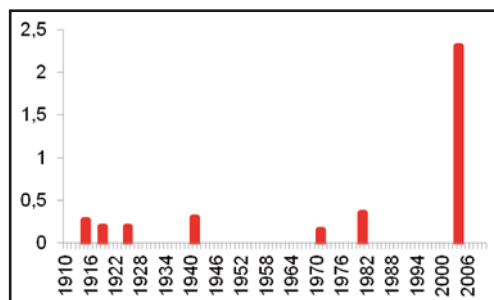
Lesná hospodárska evidencia dokumentuje vetrové kalamity v tatranskej oblasti od r. 1915. Škody spôsobené vetrom sa v tatranských lesoch prakticky vyskytujú každoročne. Prehľad od r. 1988 do r. 2004 (v tis. m³, stav pred novembrovou kalamitou) je na obr. 29.

Škody spôsobené vetrom na lesoch nemusia mať veľkoplošný charakter. Naopak, hodnotenie v období r. 1977–1997 potvrdilo, že najčastejšie (80 % prípadov) boli poškodené plochy s výmerou do 0,5 ha (FLEISCHER 1999).

Jednotlivé stromy vietor vyvracia a láme pri rýchlosti okolo 120 km/hod. Pri vyšších rýchlostiach, alebo pri rozmoknutej pôde, dochádza k celoplošnému rozvratu. Škody výnimočného rozsahu boli v tatranskej oblasti zaznamenané v r. 1915, 1919, 1925, 1941, 1971, 1981 a naposledy v r. 2004. Podľa objemu poškodeného dreva v lesoch (v mil. m³) sú uvedené na obr. 30.



Obr. 29 Škody spôsobené vetrom vo Vysokých Tatrách na lesných porastoch (v tis. m³), 1988–október 2004



Obr. 30 Veľké vetrové kalamity vo Vysokých Tatrách od r. 1915 (v mil. m³)

Je pozoruhodné, že tieto mimoriadne kalamity takmer výlučne postihovali južné svahy Tatier a spôsoboval ich studený S-SZ padavý vietor typu bóra. Severná strana Tatier bola silnými vetrami poškodzovaná zriedkavejšie (napr. v r. 1964) a aj tu bol príčinou padavý vietor južného smeru, označovaný ako foehn. Mimoriadnu frekvenciu mali ničivé víchrice v 60. rokoch minulého storočia. Prakticky každý rok územie od Tatranskej Lomnice po Javorinu postihli polomy tak, že jedna kalamita sa prelínala s nasledujúcou. Menej nápadne, ale minimálne rovnako deštruktívne na lesy pôsobili vetrové polomy na prelome 80. a 90. rokov. Vetry s menšou intenzitou fragmentovali oslabené zapojené porasty. Spravidla pri nich nevznikli veľké súvislé plochy, ale skupiny, ktoré postupne začal obsadzovať podkôrny hmyz. .

Jednotlivými udalosťami menšieho rozsahu však môže byť ohrozený každý lesný porast na území Tatier. Dôkazom sú napr. vývraty a zlomy kosodreviny vo výške 1600 m n.m. v Slavkovskej doline (poškodené v r. 1941), alebo porasty skryté v hlbokom záreze na sútoku Veľkého a Malého Studeného potoka (vyvrátené v r. 2007, obr. 31).

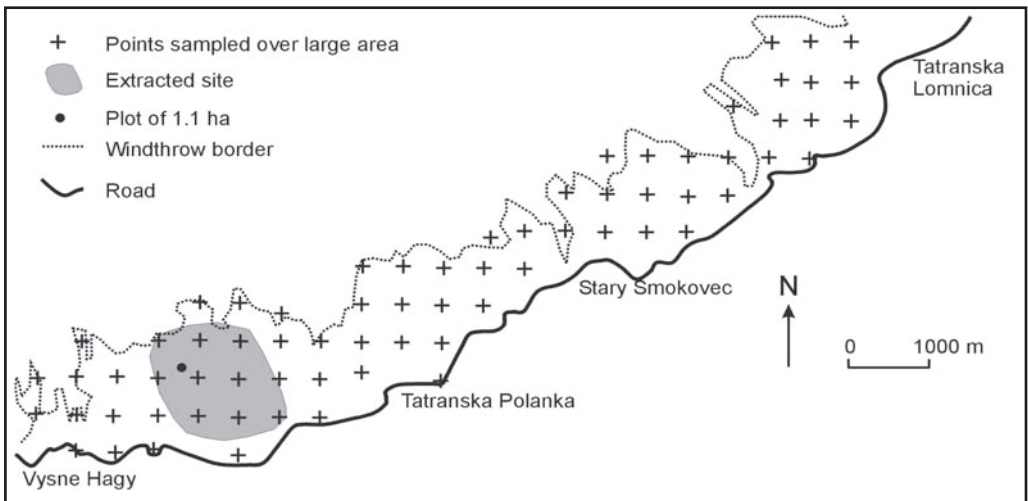
Nástrojom na posúdenie výskytu kalamitných situácií v dávnejšej minulosti je dendrochronológia. Na základe tvorby ročných radiálnych prírastkov umožňuje posúdiť zmenu intenzity



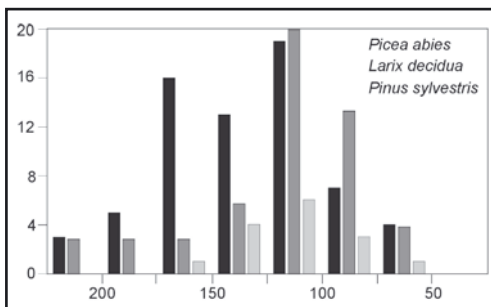
Obr. 31 Vetrom rozvrátené porasty v záveternej polohe Malej Studenej doliny, 2007

rastu jednotlivého stromu, alebo celých skupín až porastov v presne určených rokoch. Vetrová kalamita a následné spracovanie povalených stromov poskytli unikátnu možnosť na odobratie dostatočného množstva materiálu na podrobnú analýzu vývoja porastov v postihnutej oblasti.

Analýza sa vykonala na 3 plochách s rôznou priestorovou mierkou: 1.) veľká mierka, hodnotila sa územie približne 20 km², nad cestou slobody a medzi Tatranskou Lomnicou a Vyšnými Hágami, 2.) stredná mierka, na ploche s výmerou 100 ha na ploche pokalamitného výskumu so spracovanou kalamitou (EXT) pri Danielovom dome, 3.) malá mierka, na kruhovej ploche s výmerou 1,1 ha približne v strede plochy EXT, kde sa pred víchricou v r. 2004 vyskytovali stromy s vekom nad 200 rokov.



Obr. 32 Rozmiestnenie odberových bodov pre dendrochronologickú analýzu

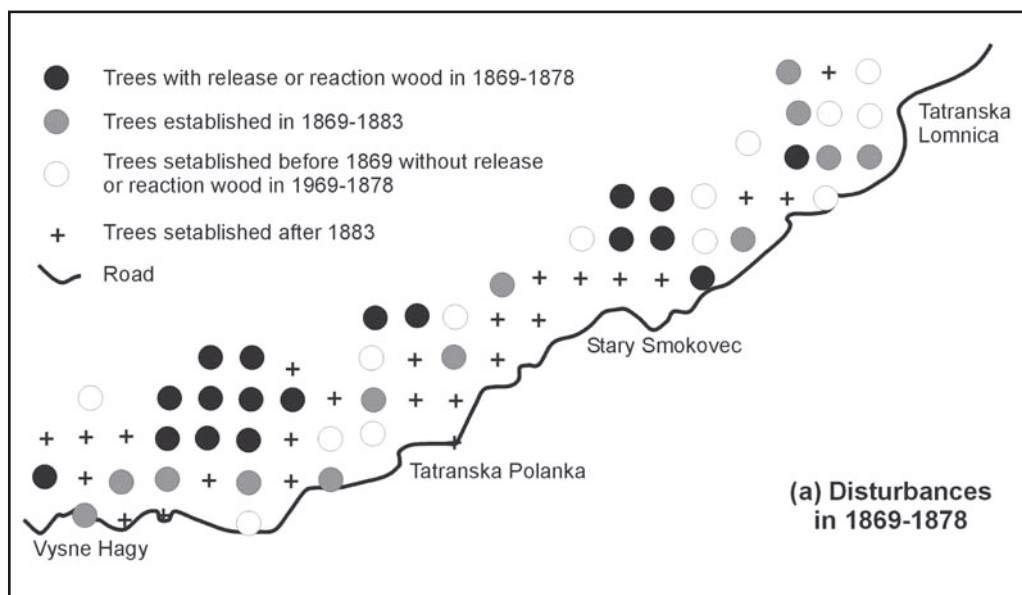


Obr. 33 Druh a počet stromov vo vekových kategóriách pri celoplošnom hodnotení (HOLEKSA et al., 2011)

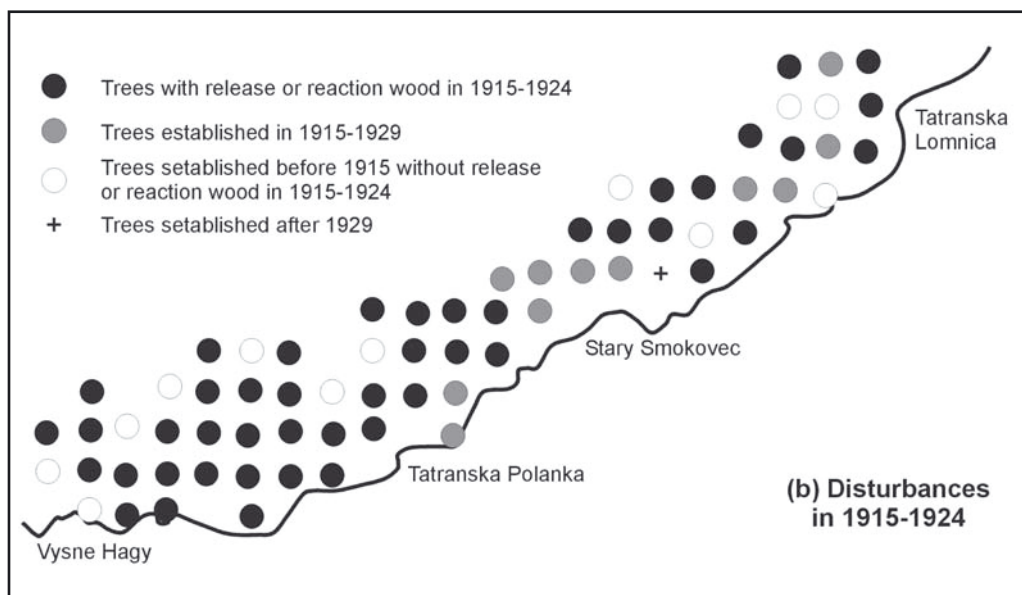
Vzorky (kotúče) boli odobraté z pňov po vývratoch a zlomoch, približne 30 cm od povrchu zeme. Plocha kotúča bola jemne vybrúsená a naskenovaná s vysokým rozlíšením. Programom WinDEndro sa hodnotil prírastok na dvoch kolmých líniach. Vek sa stanovil spočítaním letokruhov od stržňa. Obdobie disturbance sa stanovilo metódou náhlej zmeny z priemeru 10 predchádzajúcich a 10 nasledujúcich rokov. Ako indikátor možnej vetrovej kalamity sa využila aj následná tvorba reakčného dreva (HOLEKSA et al., 2011).

Vekové zloženie vzoriek z celoplošného hodnotenia je na obr. 33. Najstarší jedinec bol smrekovec (*Larix decidua*) s vekom 227 rokov. Najstarší smrek mal 215 rokov.

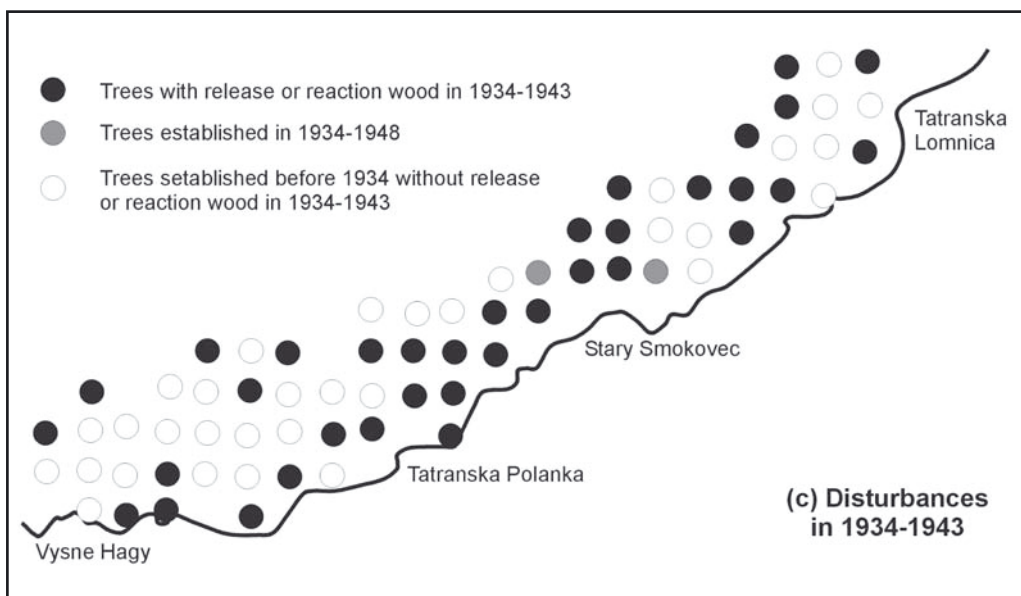
Priestorové vyhodnotenie pravdepodobných vetrových kalamít v záujmovej oblasti od r. 1869 uvádzame na obr. 34.



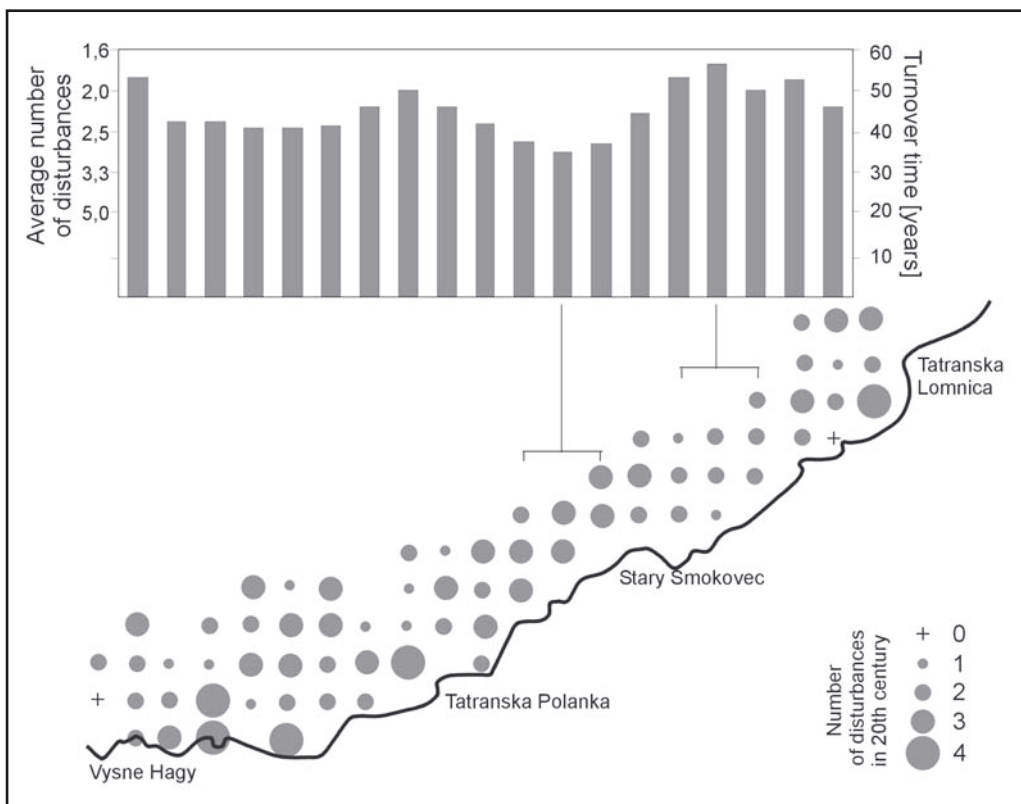
Obr. 34a Územie postihnuté vetrovými kalamitami v r. 1869–1878



Obr. 34b Územie postihnuté vetrovými kalamitami v r. 1915–1924



Obr. 34c Územie postihnuté vetrovými kalami v r. 1934–1943



Obr. 35 Priestorová variabilita frekvencie vetrových kalami. Podľa Holeksa et al., 2011

Z analýzy vyplýva, že hodnotené územie bolo od r. 1869 postihnuté 7 veľkoplošnými disturbanciami. Dá sa predpokladať, že udalosť okolo r. 1869 postihla celé hodnotené územie. Analýza potvrdila aj dokladovaný fakt, že kalamita v r. 1915 mala podobný rozsah ako tá v r. 2004. Naopak kalamita v r. 1934–1943, ktorá sa prelína s celoeurópskou kalamitou v roku 1941, mala v hodnotenom území len obmedzený rozsah (Tatranská Polianka, Starý Smokovec).

Frekvencia veľkoplošných disturbancií v hodnotenom území v 20. storočí je na obr. 35. V priemere boli porasty rozvrátené 2,2 krát, čo znamená, že cyklus veľkých kalamít je približne 45 rokov.

V rokoch 1865–1879 boli takmer všetky stromy vyvrátené, len málo ostalo do súčasnosti. Stromy, ktoré víchrica nevyvrátila, reagovali na zmenené svetelné podmienky zvýšeným prírastkom. Je pozoruhodné, že napr. v r. 1915 sa taký signál objavil u všetkých stromov pod 1150 m n.m., ale len výnimočne nad touto výškou (HOLEKSA et al., 2011). Prírastková reakcia smreka na zmenené podmienky je tak intenzívna (až 20 násobok predošlého rastu), že nemá obdobu v 300 ročnej histórii smrekových porastov na severnej strane Tatier, alebo Babej hory (HOLEKSA et al., 2011).

2 Prírodné kalamity ako zdroj informácií o klimatických zmenách

Geografická poloha, charakter reliéfu, smer prevládajúceho prúdenia vzduchu vytvárajú vo Vysokých Tatrách a ich okolí podmienky pre vznik extrémnych meteorologických situácií. Vzhľadom na osobité vegetačné pomery (smrekové lesy) sú dopady často veľkoplošné a devastačné. V lesníckej terminológii sa tento jav označuje ako kalamita. Aj v tomto texte kalamitou rozumieme zásadnú zmenu vo vývoji, alebo vo využívaní prírodných zdrojov, najmä lesov.

Okrem vetra, ako najčastejšej príčiny veľkoplošného poškodenia lesov, sú tatranské lesy poškodzované lavínami, požiarmi a čiastočne povodňami. Koncom minulého storočia lesy a horské ekosystémy vôbec boli postihnuté zvýšeným pôsobením imisií. Posledných dvadsať rokov degraduje stav tatranských lesov expanzia podkôrneho hmyzu, ktorý reaguje na zhoršujúci sa stav smrekových porastov v dôsledku dlhodobého pôsobenia imisií, klimatických extrémov a nevhodnej starostlivosti (v minulosti zakladanie nepôvodných porastov, tvorba neprirodzenej porastovej výstavby, v súčasnosti obmedzovanie sanitárnej ťažby).

História významných prírodných kalamít

Lesné požiare

Vypalovanie lesov bolo počas osídľovania tatranskej oblasti od 13. stor. bežným spôsobom na ich sprístupňovanie a premenu na pasienky. Historicky doložené sú až lesné požiare z 19. stor. V r. 1808 zachvátil požiar Stežky nad Kežnarskými Žlabami na výmere 22 ha. V r. 1921 v okolí Jamského plesa zorelo 140 ha lesa. Pri hornej hranici lesa horelo aj v r. 1928, keď na južnom svahu Slavkovského štítu zorela prevažne kosodrevina na výmere 150 ha. Požiar spôsobili turisti.



Obr. 36a,b,c,d Požiar pri Jamskom Plese (1921), na južnom svahu Slavkovského štítu (1928), pri Vyšných Hágoch (1953) a Tatranských Zruboch (2005)

Požiare často vznikajú pri likvidácii následkov vetrových kalamít, lebo po nich ostáva množstvo ľahko zápalného materiálu. Tak zhorelo 240 ha lesa v októbri 1943 v Kôprovej doline pri likvidovaní následkov vetrovej kalamity z r. 1941. Požiar až po týždni uhasil dážď. Podobne v r. 1953 pri Vyšných Hágoch zhorelo 105 ha lesa. Doteraz najväčší požiar vznikol tiež pri likvidácii vetrovej kalamity z r. 2004, dňa 31. júla 2005 nad osadou Tatranské Zruby. Zhorel les a zvyšky po vetrovej kalamite na výmere 250 ha.

Povodne a lavíny

Ničivé povodne vznikajú po výdatných zrážkach, najčastejšie v mesiacoch s najvyšším úhrnom (jún–august). Jarné povodne z topiaceho sa snehu sú skôr výnimočné a nespôsobujú také škody ako letné povodne.

Povodeň z oblasti Tatier v r. 1662 bola opísaná v levočskej kronike. Nočný lejak 12. augusta mal nebývalú intenzitu a prívalová vlna odplavila domy, stromy, polia v okolí Kežmarku a Spišskej Belej. Koncom augusta 1813 tatranskú oblasť postihol 50 hodinový dážď, ktorý zdvihol hladinu Váhu o 4,5 m. Vo Veľkej Lomnici voda odplavila 60 domov, v Kežmaruku zaplavila námestie. V júli 1845 po dvoch dňoch zrážok bol opäť zaplavený Kežmarok, okolité polia a lúky zanesol piesok. V júni 1958 spadlo v oblasti Tatier vyše 200 mm počas jedenej zrážkovej udalosti a rozvodnené potoky zničili mosty a cesty. V júli 2001 zrážky až 5 násobne prekročili priemerné mesačné úhrny a spôsobili poškodenie mostov, ciest, podmytie porastov na Liptove, v Javorine, ale aj vo Velickej doline. V auguste 2008 rozvodnená Javorinaka poškodila mosty a cesty v Javorovej doline (obr.18a). V auguste 2011 dvojhodinová prietrž s výdatnosťou až 80 mm spôsobila zaplavenie suterénov v Tatranskej Lomnici (obr. 37b).



Obr. 37a Škody spôsobené záplavami v Javorovej doline (2008)



Obr. 37b Škody spôsobené záplavami v T. Lomnici (2011)

Lavíny

Vzhľadom na charakter reliéfu Vysokých Tatier, nadmorskú výšku a rozšírenie lesnej vegetácie, je lavínami priamo ohrozená len pomerne malá časť lesných porastov. Miera ohrozenia je vyššia v Západných Tatrách, kde sa za posledných desať rokov opakovane vyskytli lavíny označované ako storočné. Najväčšie a najničivejšie lavíny spadli v Žiarskej doline v r. 2000 a 2009.



Obr. 38 Lavínisko v Tichej doline (jún 2009). Foto: M. Jurík

2.2 Lesy TANAP-u a ich stav do roku 2004

Pôsobenie človeka, a zvlášť lesnícka činnosť, je neporovnateľne kratšia ako obdobie, kedy sa lesy vyvíjali len vplyvom prírodných podmienok. Napriek tomu človek zasiahol do ich vývoja podstatným spôsobom. V dávnejšej minulosti to boli zásahy exploatačné (ťažba dreva, vypaľovanie porastov), posledných približne 150 rokov sú to zásahy aj pestovateľské. Pôvodná snaha udržať trvalý les pre stabilnú produkciu dreva, neskôr ochranu pôdy a vody, viedla ku vnášaniu druhovo a geneticky nevhodných drevín do lesných porastov. Kvantitatívne kritéria často prekryli kvalitatívne, napr. pri hektárových počtoch sadeníc (pri vzniku TANAPu dosahovali až 10 000 ks/ha). Omyly sa prejavili okamžite (stanovištne nevhodné listnáče), mnohé až s odstupom času (borovica vejmutová ako vektor sypavky, náchylnosť hustých mladín na poškodenie zverou a nízka statická stabilita a iné). Práve do takých porastov bola nasmerovaná rekonštrukcia ako ťažisková aktivita TANAP-u popri viac-menej pasívnej ochrane zvyškov prírodných lesov. Skutočná realizácia rekonštrukcie, napriek dobre vybudovanému systému modelových výskumných plôch (BURGAN, 1970), sa naplňala len čiastočne. Dôvodom sa stali náhodné ťažby, ktoré sa v zmysle platných zákonov, ale aj negatívnych skúseností s oneskoreným spracovaním kalamít, uprednostňovali. Potreba diferencovanej starostlivosti aj v podmienkach vysokých náhodných ťažieb a rizík z ich zanedbávania boli často zdôrazňované a kritizované (TUROK & KORPEL 1999, KOREŇ a kol. 1999, STOLINA 1999, KOREŇ 2004). Aktívnou lesníckou činnosťou boli v TANAP-e vytvorené mnohé porastové štruktúry, ktoré sa stali cieľom seminárov a pracovných návštev európskych lesníckych a ochranárskych inštitúcií.



Obr. 39 Stav lesov v r. 1870 a 2003 (kresba Forberger, foto Koreň)

Stav tatranských lesov bol už začiatkom 90-tych rokov minulého storočia označovaný za kritický. Nepriaznivý vývoj zdravotného stavu potvrdilo aj hodnotenie straty asimilačného aparátu (defoliácie) na monitorovacej sieti 2×2 km. Pri opakovanom hodnotení po 10 rokoch sme na živých stromoch zaznamenali nárast priemernej defoliácie o 5 %, (z 28 % v r. 1990 na 32 % v r. 2000). Alarmujúce však bolo zistenie až 20 % mortality za sledované obdobie na monitorovacích plochách (FLEISCHER et. al. 2004).

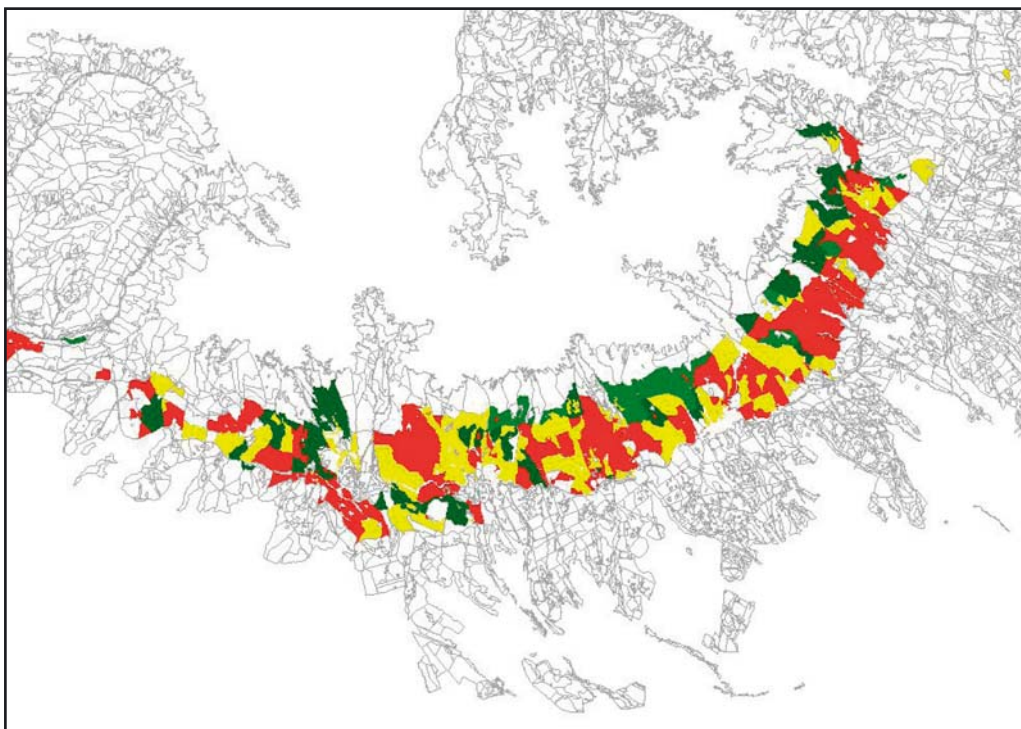
Všeobecne sa za rozhodujúcu príčinu poškodenia lesov považovalo synergické pôsobenie atmosférickej depozície, klimatických extrémov a aktivizácia tzv. biologických škodcov (podkôrny hmyz, huby) najmä v porastoch, ktoré boli vzdialené od prírodného stavu.

Koncom 90-tych rokov bolo na posúdenie ekologickej stability tatranských lesov vybrané jedno z plošne najvýznamnejších spoločenstiev – smrekovcové smrečiny. Okrem podkladov z lesnej hospodárskej evidencie sa založilo 50 výskumných plôch pre zistenie aktuálneho stavu lesa. Ekologická stabilita bola hodnotená ako isté vnútorné predpoklady pre rezistenciu voči vonkajším disturbačným faktorom. Za predpoklady sa považovali: zdravotný stav (defoliácia, podkôrny hmyz), náhodné ťažby za posledných 10–20 rokov, prirodzenosť, vekové a druhové zloženie, vertikálna a horizontálna štruktúra. Za vonkajšie faktory sa považovali: klimatické podmienky a imisie. Výsledné hodnotenie na úrovni lesných porastov je na obr. 40.

Najviac zastúpenou kategóriou boli porasty s najnižšou mierou potenciálnej ekologickej stability. Išlo o poloprírodné, vekovo, druhovo a vertikálne nediferencované porasty a umelo založené porasty s charakterom monokultúry. V nich sa očakával veľkoplošný rozpad v priebehu nasledujúceho decénia v objeme rádovo stotisíc m³ dreva (FLEISCHER et al., 2004).

Prognózu rizika napadnutia porastov a jednotlivých stromov vo východnej a severnej časti TANAPu podkôrnym hmyzom riešil v r. 1999–2002 medzinárodný projekt INCO Copernicus (SCHLYTER & JAKUŠ, 2004). Za najvýznamnejšie zistenia možno považovať:

- mezo a mikroklimatické podmienky predikujú rizikové miesta v teréne pre potenciálne premnoženie podkôrníkov



Obr. 40 Mapa potenciálneho rizika poškodenia porastov v spoločenstve smrekovcových smrečín s farebným vyznačením potenciálneho rizika. Zelená-nízke, žltá-stredné, červená-vysoké riziko (FLEISCHER et al., 2008)

- stromy s vysokou defoliáciou a zmenenou primárnou štruktúrou koruny majú vyššiu disponibilitu na napadnutie
- obsah fenolových látok je podstatou predispozície pre ne/napadnutie individuálneho stromu podkôrnym hmyzom
- medzi fyziologickým stavom jedinca a jeho napadnutím podkôrnym hmyzom je nepreukazný vzťah.

Istým pokračovaním tohto výskumu bol slovensko-holandský projekt na prognózovanie premnoženia podkôrneho hmyzu pomocou GISu v podmienkach TANAPu (KISSIYAR et al., 2005).

2.3 Vetrová kalamita v tatrách v roku 2004

Dňa 19. 11. 2004 sa Slovenskom prehnala mimoriadna víchrica, ktorá spôsobila značné materiálne škody, najmä v lesných porastoch. Objem vyvrátených a polámaných stromov sa odhadoval na 5,3 mil. m³. Najviac postihnutou oblasťou boli Vysoké Tatry, kde na súvislej ploche 12 000 ha, vietor poškodil vyše 2 mil. m³ (KOREŇ, 2005).

Priebeh, príčiny a následky

Dňa 18.11.2004 sa medzi tlakovou výšou s polárnym vzduchom nad SZ Európou a tlakovou nížou postupujúcou od JZ vytvoril mohutný frontálny systém. Na poludnie 19. 11. 2004 prechádzal stred výraznej tlakovej níže pozdĺž 50-tej rovnobežky v doprovide víchrice na hrebeňoch

Vysokých Tatier. V popoludňajších hodinách sa sformovala samostatná cyklóna medzi Českom a Slovenskom a s rýchlosťou okolo 100 km/h narazila na masív Vysokých Tatier. Cyklóna spôsobila nahromadenie studeného vzduchu na severnej strane Tatier. V Podtatranskej kotline sa v tom čase sformovala brázda nízkeho tlaku, čím vznikol mimoriadne veľký barický gradient. Okolo 15.30 sa začal studený vietor prevažovať cez tatranské sedlá a hrebene s rýchlosťou 170 km/h. Na Skalnatom plese vietor dosahoval až 190 km/h. O 16.56 meteorologická stanica v 1500 m n.m. (30 m nad terénom) zaznamenala náraz až 227 km/h. Vietor nepoškodil porasty v najvyšších polohách, lebo sa ako vodopád preniesol ponad hrebene Vysokých Tatier a zeme sa dotkol vo výške okolo 1200–1300 m n.m. Väčšina lesných porastov bola vyvrátená, alebo polámaná už pri prvých nárazoch vetra. Vietor so silou orkánu trval až do neskorých večerných hodín. Až na malé výnimky, padnuté kmene ležali v smere S(SZ) – J(JV).

V Tatranskom národnom parku (TANAP) vietor vyvrátil a polámal les na ploche okolo 12 500 ha a náhle vytvoril 2,3 mil. m³ kalamitného dreva. Medzi Vyšnými Hágami a Tatranskou Kotlinou (750–1 250 m n.m.) vznikla rozsiahla súvislá kalamitná plocha s objemom 1,8 mil. m³ vyvrátených a polámaných stromov. Veľké polomy vznikli aj v okolí Štrbského Plesa a na Podbanskom. Najväčšie poškodenie lesa bolo zaznamenané v lesoch v správe Štátnych lesov Tatranského národného parku (ŠL TANAP-u), keď z celkovej výmery 24 500 ha lesných porastov vo Vysokých Tatrách vietor deštruoval 8 600 ha s objemom kalamitného dreva 2 mil. m³, z toho v 5. stupni ochrany prírody (prírodné rezervácie – bezzásahová zóna) 600 000 m³ a v 3. stupni 1 400 000 m³. V poškodených lesných porastoch prevládali vývraty (približne 65 %) nad zlomami (približne 35 %). Z nešťátnych subjektov boli najviac postihnuté lesy mesta Spišská Belá a obce Mengusovce (po 100 000 m³), Batizovce a Štôla (90 000 m³), Tatranská Štrba (50 000 m³), Východná (35 000 m³) a Važec (25 000 m³ kalamitného dreva).

Objem kalamitného dreva podľa drevín približne zodpovedal zastúpeniu drevín v lesných porastoch. Najväčší podiel kalamity tvoril prevládajúci smrek (72 %), no poškodené boli aj



Obr. 41 Lesné porasty zničené orkánom 19. 11. 2004, okolie Tatranskej Polianky

staticky relatívne stabilnejšie dreviny ako smrekovec (11 %), borovica (9 %), jedľa (4 %), listnaté dreviny (4 %) (KOLEKTÍV 2004). Drevinové zloženie, priestorová výstavba a ani miera prirodzenosti nemali zásadný vplyv na to, aby lesné porasty odolali mimoriadne silnému vetru. Podľa veku boli najviac poškodené porasty vo veku 60–120 rokov. Prekvapujúco vysoký bol podiel (13 %) mladých porastov do 40 rokov.

Hoci vietor a vetrové kalamity sú v horských smrekových lesoch Tatier prirodzenou súčasťou prírodných procesov, také rozsiahle poškodenie lesov tu ešte nebolo zaznamenané. V Západných Karpatoch a v stredoeurópskom priestore išlo teda o historicky ojedinelú až výnimočnú udalosť v dynamike horského smrekového lesa. Koncentrovaný a mnohorozmerný devastačný účinok vo forme priamych a nepriamych dopadov na lesné ekosystémy a infraštruktúru ju zaradil medzi desať najvýznamnejších európskych víchríc v posledných desaťročiach (GARDINER et al. 2010).

Riziká pokalamitného vývoja

Otázky týkajúce sa spracovania, resp. ponechania vyvrátených porastov boli najmä v médiách diskutovaná skôr emotívne ako vecne. Argumentov pre objektívne rozhodovanie bolo málo. S kalamitou takého rozsahu a najmä intenzity neboli skúsenosti nielen na Slovensku, ale ani v okolitých krajinách. Urýchléné spracovanie podporovali negatívne skúsenosti s menšími kalamitami a následnými požiarimi a premnožením podkôrneho hmyzu (Podbanské v 40-tych, Javorina v 90-tych rokoch minulého storočia). Ako akútne sa javilo riziko záplav zo zablokovaných vodných tokov. Zástancovia bezzásahového vývoja doporučovali ponechať ďalší vývoj kalamitnej plochy na prírodu, ako jediný spôsob pre dosiahnutie prírodného, ekologicky stabilného lesa a krajiny národného parku v budúcnosti. Tento názorový prúd marginalizoval riziko premnoženia podkôrníkov do okolitých, často prírodoochránarsky ďaleko hodnotnejších porastov, ako boli tie poškodené.

Výsledkom diskusií zodpovedných organizácií, zohľadnením súčasného právneho stavu a predstáv o budúcom priestorovom usporiadaní (zonácii) národného parku, ale aj požiadaviek výskumu a NGO je skutočnosť, že na tzv. samovývoj bolo ponechaných 10 % kalamitnej plochy. V zmysle požiadaviek ochrany prírody na priaznivejšiu mikroklimu, tvorbu nekromasy a zásobu živín, bolo na kalamitnom území ponechaných v priemere 25 % až 30 % drevnej hmoty z pôvodných porastov.

Riziko požiarov

Vývoj hneď v nasledujúcom roku po kalamite potvrdil opodstanenosť obáv zo vzniku požiarov. Po sérii extrémne teplých a veterných dní vznikol požiar na čiastočne spracovanej kalamitnej ploche pri Tatranskej Polianke na 31. 7. 2005. Požiar sa šírila ponad cestu Slobody smerom na Tatranské Zruby a Nový Smokovec. Požiar poškodil les na výmere 250 ha. Od vetrovej kalamity v r. 2004 do súčasnosti vzniklo 30 požiarov, ktoré sa podarilo včas lokalizovať bez vzniku väčších škôd. Plocha kalamitiska bola do r. 2007 kontinuálne monitorovaná z dôvodu včasného varovania pred požiarom. Rizikový stupeň č. 3, ako najvyššie riziko bol v roku 2007 vyhlásený 12 krát. V súčasnosti je riziko vzniku požiaru na kalamitnej ploche už podstatne nižšie z dôvodu zahŕňovania zvyškov haluziny na zemi. Zvýšené riziko požiarov sa prenieslo do stojacich usychajúcich smrečín. Suché porasty postupne vytvárajú súvislú plochu a vedú cez ne mnohé značené turistické chodníky. Počas letnej turistickej sezóny za suchého, teplého a veterného počasia predstavujú akútne riziko pre bezpečnosť návštevníkov.

Riziko šírenia podkôrneho hmyzu

Šírenie podkôrneho hmyzu z kalamitnej plochy do okolitých porastov zástancovia bezzásahového režimu zväčša nepripúšťali (ŠVAJDA a kol., 2005). V r. 2005 a čiastočne i v r. 2006 populácia podkôrneho hmyzu ostala na kalamitnej ploche. Masívne šírenie do okolitých porastov začalo



Obr. 42 Hasenie požiaru pri Tatranských Zruboch leteckou technikou, august 2005

v r. 2007 aj 2008. Rýchlosť a rozsah hynutia okolitých porastov prekročil aj pesimistické prognózy z r. 2005 (VAKULA a kol, 2007). Prekvapujúce je zistenie, že napadnuté boli viac lokality vzdialené od kalamitnej plochy ako samotné porastové okraje (FLEISCHER & FERENČÍK, 2008). Príčinu vskutku nebývajúcej populačnej hustoty vidíme jednak v luxusných potravinových možnostiach po kalamite, ale aj v mimoriadnych klimatických podmienkach, nielen v posledných rokoch od kalamity, ale minimálne od polovice 90-tych rokov minulého storočia. Analýza dynamiky podkôrníkov je obsahom samostatného príspevku v tejto štúdii.

Riziko záplav

Zablokované korytá horských tokov boli vážnym rizikom pre vznik povodňových vĺn z náhle sa topiaceho snehu, prípadne letných prívalových zrážok. Našťastie, topenie snehu na jar 2005 bolo veľmi pozvoľné a do termínu vyčistenia tokov od prekážok sa nevyskytli mimoriadne zrážkové udalosti.

Diferencovaný manažment kalamity

Lesy deštruované vetrovou kalamitou v Tatranskom národnom parku sú súčasťou prírodných rezervácií a tiež súčasťou celoeurópskej siete chránených území NATURA 2000. Podľa aktuálnej legislatívy (Zákon 543/2002 a Výnos 3/2004-5.1) v nich v čase vzniku kalamity (2004) platil 3. a 5. stupeň, od 1. 4. 2005 3. až 5. stupeň ochrany prírody. Spracovanie kalamity (k čomu zaväzuje vlastníka lesa zákon 326/2005 o lesoch), je v takom prípade podmienené udelením výnimky zo zakázaných činností orgánom životného prostredia (Krajský úrad ŽP, Ministerstvo ŽP SR). Ministerstvo ŽP verbálne súhlasilo s generálnou výnimkou na spracovanie kalamity, ale orgány štátnej správy ju realizovali len čiastočne a so značným časovým sklzom. V zásade kalamita v území s 5. stupňom ochrany prírody ostala nespracovaná. Na základe dohody medzi Správou TANAP-u a ŠL TANAP-u nebolo spracované drevo v budúcej A zóne, tak ako predpokladá návrh rozdelenia územia TANAPu (MORAVČÍK et al. 2007).

Z viac ako 90 % celkovej plochy vetrovej kalamity boli vyvrátené a polámané stromy odstránené. Okrem územia prírodných rezervácií v 5. stupni ochrany prírody a územia v predpokladanej A zóne v oblasti Podbanského vetrová kalamita ostala nespracovaná aj v 4. stupni ochrany prírody. Nespracovaná kalamita tak pokrývala približne 800 ha lesa s celkovým objemom kalamitného dreva 230 000 m³, z toho 160 000 m³ v správe ŠL TANAP-u. Požiadavkou orgánov ochrany prírody bolo ponechať určité množstvo odumretej organickej hmoty (nekromasy) pre zlepšenie mikroklimatických a živinových pomerov na kalamitných plochách. V lesných rezerváciách s povoleným spracovaním kalamity (4. stupeň ochrany prírody) bolo nariadené ponechať 30 %, v lesných porastoch v 3. stupni 10 % kalamitného dreva. Len v lesoch v správe ŠL TANAP-u ostalo podľa údajov lesohospodárskej evidencie ŠL TANAP-u takmer 420 000 m³ nespracovaného kalamitného dreva. Ponechanie časti kalamitného územia bez spracovania bolo v neposlednom rade motivované aj snahou vedeckými metódami študovať a monitorovať vývoj vetrom ovplyvneného územia a jeho okolia bez lesníckych a iných antropických vplyvov.

Revitalizačné práce (zalesňovanie, ochrana kultúr a pod.) vyžadovali čiastočnú úpravu kalamitných plôch. Tenčina, haluzina a poškodená hrubina boli uhádzané na kopy. Kopy haluziny boli prednostne umiestňované na koreňové vývraty a strže, čo malo zmierniť odnos jemných častí z pôdy narušenej vývratmi, ale aj vyrovnávať (zmiernovať) teplotné a vlhkosťné extrémny na kalamitných plochách. Kopy haluziny pokrývali podľa údajov lesohospodárskej evidencie ŠL TANAP-u už 1 620 ha. Tak nemalá časť celkovej kalamitnej plochy bola zámerne vylúčená z výsadies i prirodzeného zmladenia s cieľom prírodného formovania vekovej a priestorovej mozaiky budúcich lesných porastov.

Vetrové kalamity sú prirodzenou súčasťou anemo-orografického systému Vysokých Tatier. Ak sa má územie postihované padavými vetrami bezpečne využívať pre rekreačné, liečebné, turistické, ubytovacie a pracovné účely, je nutná dlhodobá a intenzívna starostlivosť o lesy, ktoré sú prirodzenou a neodmysliteľnou súčasťou tatranského prostredia. Prírodným podmienkam zodpovedajúce druhové zloženie lesných porastov, ich výrazne diferencovaná veková, výšková a priestorová heterogenita sú jedinou šancou na zmiernenie dopadov silných vetrov na prírodné prostredie Vysokých Tatier.



Obr. 43 Kopy haluziny na spracovanej kalamite, Vyšné Hágy, r. 2007



Obr. 44 Výškovo, vekovo a priestorovo diferencovaný porast – cieľ lesníckej starostlivosti v TANAP-e

2.4 Vetrová kalamita ako objekt výskumu

Vetrová kalamita v roku 2004 bola svojím rozsahom, ale najmä intenzitou poškodenia lesov tak mimoriadnou udalosťou, že vyvolala veľký záujem v domácej i zahraničnej vedeckej komunite o sledovanie ekologických zmien najmä v súvislosti s vplyvom klimatických zmien. Veľkým stimulom pre ekologický výskum a monitoring bolo rozhodnutie ponechať časť kalamitného územia bez ľudského zásahu. Spracovanie kalamity je v TANAP-e oproti tradičnému lesníckemu spôsobu obmedzené záujmami ochrany prírody. Po novembrovej kalamite v r. 2004 sa konsenzuálne dohodlo, že nespracované ostane okolo 10 % územia, jednak z dôvodu ochrany vzácných biotopov a tiež pre potreby ekologického výskumu. Nielen lesnícka prax, ale ani veda sa doteraz s takým rozsahom vetrovej kalamity nezaoberala. Prirodzene, že pre výber optimálneho modelu manažmentu postihnutého územia chýbali exaktné poznatky. Ponúkla sa tak unikátna príležitosť pre základný a aplikovaný výskum prírodných disturbancií a diferencovaný manažment lesných ekosystémov. V polovici r. 2005 bola podpísaná dohoda o trojročnom spoločnom výskumnom programe medzi ŠL TANAPu, Inštitútom Maxa Plancka v Jene a talianskymi inštitúciami (Univerzita Viterbo, Centrum pre vysokohorskú ekológiu v Trente, Biometeorologický ústav vo Firenze). Program sa nazval Pokalamitný výskum. Postupne sa ku programu prihlásilo ďalších vyše 20 domácich i zahraničných výskumných inštitúcií.

Ciele a účel pokalamitného výskumu

Ciele pokalamitného výskumu môžeme zhrnúť do nasledovných bodov:

- identifikovať priame i nepriame (energo-materiálové toky) zmeny prírodných prvkov a ich parametrov spôsobené víchricou
- kvantifikovať časové a priestorové zmeny parametrov

- vybudovať monitorovací systém pre dlhodobé sledovanie vývoja prírodných prvkov.

Účelom pokalamitného výskumu je zhromažďovať a poskytovať informácie o stave a vývoji územia postihnutého kalamitou a jeho okolia pre rozhodovacia, riadiacu a vedecko-výskumnú činnosť, predovšetkým pri obnove lesných ekosystémov na poškodenom území. Obnova lesných ekosystémov by mala smerovať k vyššej ekologickej stabilite.

Princípy a metodické prístupy

Hodnotenie zmien prírodného prostredia postihnutého vetrovou kalamitou a jeho okolia si vyžaduje multidisciplinárny prístup, tímovú prácu, akceptovanie cieľov a dohodnutých postupov. Kľúčovým termínom pri pokalamitnom výskume a monitoringu je stav ekosystému. Spájame ho s predstavou kontinuálnosti a diskretnosti času a priestoru, t. j. ako stav vo zvolenom časovom momente alebo intervale, resp. vo vybranom území, ploche alebo bode. Stav sa dá empiricky zistiť (parameter) a na jeho základe sa dá objasniť zmena. Stav je v korelácii s procesom zmeny (vývoja). Opisujeme ho parametrami vybranými z hľadiska zamerania, ako aj časovej a priestorovej mierky formou ukazovateľov stavu. Stav ekosystému hodnotíme podľa prírodných prvkov (atmosféra, voda, pôda, vegetácia, fauna, les a pod.). Na základe poznania významu jednotlivých ukazovateľov a ich parametrov pre stav prírodných prvkov objasníme mechanizmy správania jednotlivých prvkov, čo umožní ich prognózovanie (KOREŇ & KOREŇ, 1995).

Podľa miery integrácie uvažujeme s dvomi úrovňami výskumu a monitoringu:

- základná, ktorá je zameraná na zber a vyhodnocovanie o znakoch a vlastnostiach vyčlenených prírodných prvkov
- integrovaná, zameraná na zhodnotenie vlastností a znakov čiastkových systémov, teda akési rezy prírodným systémom s väzbami rovnakej kvality a príslušnými prírodnými prvkami.

Časová zhoda pri výskume zmien spôsobených vetrovou kalamitou má zásadný význam. Zmeny prírodného systému, okrem náhlej disturbancie, spôsobujú aj prirodzené zmeny s rôznou stálosťou vlastností a znakov. Ide najmä o zmeny spojené s:

- denným, sezónnym a ročným chodom klimatických prvkov
- rastom a reprodukciou organizmov
- prirodzeným vývojom (evolučné zmeny).

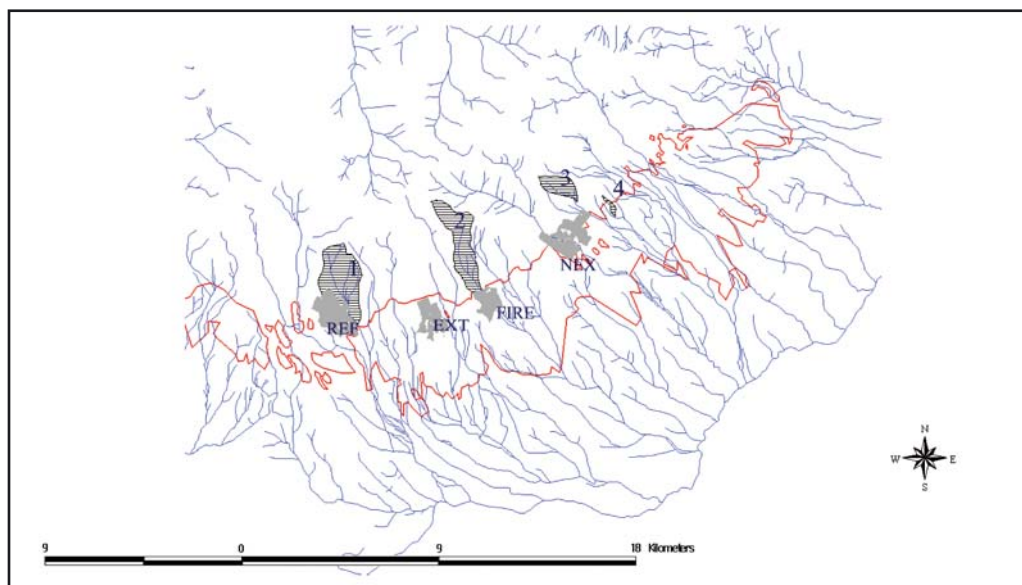
Pre účely poznania priestorových vzťahov a zmien v stave prírodného prostredia sa použili dva metodické prístupy: pozemný a distančný. Pozemný je priestorovo diskretný, viazaný na fixovanú sieť výskumných území, výskumných plôch a bodov. Distančný (letecký, príp. satelitný) poskytuje celoplošné hodnotenie niektorých ukazovateľov stavu. Letecké snímkovanie sa v období 2004–2008 uskutočnilo každoročne, obvyčajne na konci vegetačnej sezóny. Pre oba prístupy sa opierajú o „multiscaling“, zisťovanie stavu v rôznych mierkach tak, aby poznatky bolo možné ďalej extrapolovať na celé záujmové územie.

Podľa miery reprezentatívnosti, zamerania výskumu, vybavenosti a veľkosti rozdeľujeme výskumné objekty do týchto kategórií:

- výskumné územia (lokality s veľkosťou okolo 100 ha, reprezentujú rozdielny manažmentový prístup a typ poškodenia)
- výskumné plochy (sukcesné zmeny vegetácie, modelové povodia a hydrologicky manažované plochy, zalesňované plochy a pod.)
- monitorovacie body (kontinuálne, alebo opakované sledovanie fyzikálnych parametrov: teplota, zrážky, pH, respirácia, mineralizácia, strata živín a pod.)
- monitorovacie siete (pravidelné umiestnené monitorovacie body, zachytávajú stav vo výskumných objektoch (napr. 250 × 250 m na hodnotenie prirodzeného zmladenia, škôd zverou) aj mimo výskumných objektov (500 × 500m prirodzené zmladenie, nekromasa, stav výsadiel).

Tab. 12 Základná charakteristika modelových lokalít

Lokalita charakteristika	REF	EXT	FIR	NEX
Plocha (ha)	110	95	90	115
Nadmorská výška (m n.m.)	1100–1250	1040–1260	1000–1200	1050–1150
Nadmorská výška meteorologickej veže	1210	1260	1065	1100
Súradnice meteorologickej veže (WGS, N, E)	49.121 20.121	49.121 20.164	49.136 20.199	49.160 20.251
Sklon (%)	10–20	10	5–10	5–10
Orientácia	JV	J	JV	JV
Pôdny typ	kambizem podzolovaná	kambizem podzolovaná	kambizem podzolovaná	kambizem podzolovaná
Skupina lesných typov	<i>Lariceto-Piceetum</i>	<i>Lariceto-Piceetum</i>	<i>Lariceto-Piceetum</i>	<i>Lariceto-Piceetum</i>
Drevinové zloženie (%) pred kalamitou	smrek 80 smrekovec 20	smrek 90 smrekovec 10	smrek 70 smrekovec 30	smrek 70 smrekovec 20 borovica 10
Priemerný vek porastov pred kalamitou	120/25	80	80	125/60/25
Geologický podklad	moréna mindel-riss	moréna donau-mindel	polygenetické sute moréna donau-mindel	moréna wurm



Obr. 45 Poloha veľkoplošných výskumných plôch na hydrologickej mape záujmového územia s obvodom vetrovej kalamity 2004, kde

■ sú modelové lokality: REF, EXT, FIRE a NEX

■ sú modelové povodia: 1 – Veľký Šum, 2 – Slavkovský potok, 3 – Škaredý potok, 4 – Jazierkový potok

Pre umiestnenie výskumných plôch v teréne sa zvažovala: reprezentatívnosť, homogénnosť stanovištných podmienok (nadmorská výška, sklon, pôdne a vegetačné pomery), historické údaje. Kritériám najlepšie zodpovedalo spoločenstvo *Lariceto-Piceetum*, ktoré je dôsledkom padavých vetrov v tatranskej oblasti. Spoločenstvo bolo už pred r. 2004 označené za mimoriadne rizikové z dôvodu vysokej predispozície na veľkoplošné poškodenie (FLEISCHER et al, 2009) a od polovice 90-tych rokov min. stor. bolo intenzívne študované (vegetácia, pôda, atmosférická depozícia, potenciálna erózia, meteorologické údaje, biometrické charakteristiky lesných porastov a iné).

V súlade s cieľmi výskumu, boli vybraté 4 typy výskumných (modelových) lokalít, ktoré podľa typu poškodenia a spôsobu manažmentu označujeme :

1. EXT - Tradične spracovaná kalamita, hrubé drevo vyvezené, haluzina uhádzaná, plochy zalesňované
2. NEX – Nespracovaná kalamita, popadané stromy ponechané bez spracovania, bez zalesňovania
3. REF - Referenčný porast, plocha nepoškodená vetrovou kalamitou v r. 2004
4. FIR – Spálenisko, lokalita s čiastočne spracovanou vetrovou kalamitou, následne zasiahnutá požiarom.

Prehľad sledovaných prírodných prvkov a ukazovateľov stavu v rámci výskumu zmien v lesných ekosystémoch postihnutých vetrovou kalamitou je v Tab. 13. Do prehľadu sme dali len tie prvky a indikátory, ktoré boli v r. 2005–2010 predmetom reálneho výskumu v teréne. Pri indikátoroch uvádzame trvanie výskumu, frekvenciu zberu údajov a použité metódy, resp. model pri elektronických prístrojoch.

Tab. 13 Sledované prírodné prvky a ukazovatele stavu na lokalitách pokalamitného výskumu

prírodný prvok	ukazovateľ stavu (indikátor)	obdobie sledovania frekvencia záznamu	použitá metóda (prístroj)
atmosféra	teplota vzduchu	od 2005, celoročne, 60 (10) min	HOBO®, Vaisala®, PT100
	vlhkosť vzduchu	od 2005, celoročne, 60 min	HOBO®, Vaisala®, PT100
	vietor, smer, rýchlosť	od 2005, celoročne, 60 min avg	Gill Sonic® Young © Vaisala
	radiácia (G, Rn, PAR, UVB)	od 2005, celoročne, 60 min avg	Skye®, Kipp-Zone®, NR lite®, Schultze®
	zrážky – úhrn	od 2005, V-IX, 60 min a 24h	Davis®, Young®, Vaisala®
	zrážky – chemizmus	od 1995, celoročne, 14 dní	ICP Forest, ITCH a spektrofotometer
	ozón, prízemný O ₃	od 1998, celoročne, 60 min avg	Thermoelectron®
pôda	zrornosť	2005	Sedimentácia
	vlhkosť	od 2005, celoročne, 60 min avg od 2008 ad-hoc	Delta theta ML2x® Gravimetria, Aquaterr®
	teplota	od 2005, celoročne, 60 min avg	NTC®
	tok tepla	od 2005, celoročne, 60 min avg	Hukseflux®
	pH	2005, 2009	1M KCl, H ₂ O extrakt
	Cox	2005	Walkey-Black
	Ntot	2005	Jodlbauer
	C/N	2005	VarioMax®
	výmenné kationy	2005-2008, 2x ročne	ICP-AES
	stopové prvky	2005-2008, 2x ročne	HF extract ICP-AES

prírodný prvok	ukazovateľ stavu (indikátor)	obdobie sledovania frekvencia záznamu	použitá metóda (prístroj)
	živiny a vylúhovanie	2005-2008, 2x ročne	SIA©, ICP-AES
	N-mineralizácia	2005-2008, 2x ročne	SIA©
	rozklad humusu	2005-2008, 2x ročne	Litter bags - gravimetria
	hrúbka humusu	2010, 30 dní	Meranie výšky voči ref. bodu
	respirácia	od 2008, V-X, 14 dní	Vaisala CarboCap©
	C and N cyklus	2005-2008	
	CO2 toky	2005-2008	Eddy covariance, LiCOR©
	DOC v pôdnej vode	2005-2008	Sacie lyzimetre
	erózia	od 2007 2x ročne od 2009 kontinuálne	Meranie odnosu deluvometre
	mikrobiálna biomasa	od 2007, 2x ročne	Schinner 1993
	diverzita	od 2007, 2x ročne	Biolog©
	aktivita	od 2007, V-X, 30 dní	Celulóзовé testy, gravimetria
voda	prietok	od 2007, kontinuálne	Hydromerný profil, Fiedler-Magr
	prívalové vlny	od 2007, kontinuálne	Schulla-Jasper, 1999
	chemizmus potokov	od 2007, celoročne, 14 dní	ITCH, spektrofotometria
	morfológia koryt	2007	GIS, fotokomparácia
vegetácia	druhovité zloženie	od 2005, 2x ročne	Fixované plochy 20x20 m
	sukcesia	od 2005, 2x ročne	Fixované plochy 20x20 m
	biomasa	od 2005, 2x ročne	Fixované plochy 1x1 m
	zdravotný stav – hubové inf.	od 2008, tranzekty, 4x ročne	
	invázivné druhy	od 2007, ad hoc	Mapovanie GIS
lesy	zdravotný stav	od 2005 od 2008, 500x500m 1/5 r.	Letecké snímky, GIS Šmelko et al. 2007
	biomasa	od 2008, 500x500m 1/5 r.	ICP Forest, Šmelko et al. 2007
	štruktúra	od 2008, 500x500m, 1/5 r.	ICP Forest, Šmelko et al. 2007
	transpirácia	2007- 2010, V-X, 30 min avg	TBH, Čermák-Kučera 2004
	biotický škodcovia	od 2008, kontinuálne	Šmelko et al. 2007
	prirodzená obnova	od 2008, 250x250 m, 1x ročne	Šmelko et al. 2007
	výsadby	od 2008, 250x250 m, 1x ročne	
	historické vplyvy	Od 2008, ad hoc	Dendrochronológia
fauna	Nematoda druhovité zloženie, abundancia trofické a ekologické skupiny	od 2006, kampaň, tranzekty	Baerman 1917, Ferris et al., 2001, Wasileska 1997
	Artropoda druhovité zloženie, abundancia	od 2006, kampaň	
	Lietajúci hmyz druhovité zloženie, letová aktivita	od 2006, kampaň	Malaiseho pasce

prírodný prvok	ukazovateľ stavu (indikátor)	obdobie sledovania frekvencia záznamu	použitá metóda (prístroj)
	Bystruškovité druhové zloženie, abundancia	od 2006, tranzekty, 30 dní	Formalínové zemné pasce
	Podkôrny hmyz druhové zloženie, abundancia	od 2006, V-X, trvalé body, 10 dní	Feromónové pasce
	Drobné zemné stavovce druhové zloženie, abundancia biomasa, cudzorodé látky	od 2006, V-X, tranzekty, 2x ročne	Živolovky, značkovanie
	Vtáky druhové zloženie, abundancia potravinové vzťahy	2006-2008, celoročne, tranzekty	Mapovanie, bodová metóda
	Prežúvavce abundancia, poškodenie drevín	Od 2010, ad-hoc, 250x250m, 1x ročne	Šmelko et al., 2007
	Parazitické zoonózy	od 2006, ad-hoc	

Podrobnosti o používaných metódach a riešiteľoch sú uvedené v zborníkoch FLEISCHER a MATEJKA (eds). 2007a, 2008, HOMOLOVÁ A FLEISCHER (eds.) 2009. Údaje, ktoré sú priestorovo lokalizované mimo stabilnej monitorovacej siete sú doplnené polohovými atribútmi a spracované v prostredí GIS na koordinačnom pracovisku - Výskumnej stanici TANAPu.

Dostupnosť a využitie údajov

Výsledky monitoringu jednotlivých parametrov v rámci pokalamitného výskumu sú archivované vo forme databáz, správ a publikovaných príspevkov. K dispozícii sú všetkým výskumným partnerom na základe dohody o spolupráci na výskume a monitoringu. Ostatným záujemcom po konzultácii a súhlase autora.

Významným poslaním monitoringu stavu poškodených ekosystémov je poskytovať hodnotné informácie o vhodnosti a úspešnosti revitalizačných postupov vzhľadom na konkrétne, najmä klimatické pomery a výskyt a účinok pre obnovu postihnutého územia nepriaznivých faktorov (neprimerané počty zveri a drobných zemných herbivorov, šírenie nepôvodnej vegetácie, konkurenčné vzťahy obnovovaných lesných drevín a sukcesnej trávovitej vegetácie).

V roku 2010 sa tatranský „pokalamitný výskum“ stal súčasťou podporovaného európskeho ekologického výskumu, ako technologicky vhodná platforma (HIOS - highly instrumented observation site) pre medzinárodný výskum v 7. Rámcovom programe EÚ (www.expeer.fr).

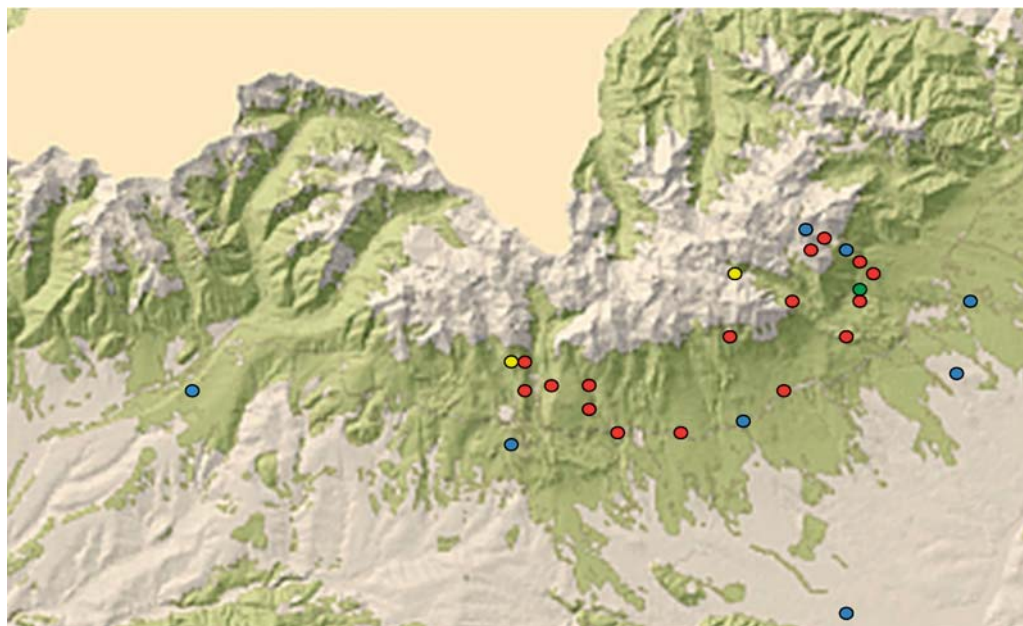
Výskum prebiehal aj v ďalších lokalitách, vrátane prírodných rezervácií v 5. stupni ochrany prírody, napríklad v NPR Tichá, Kôprová a Furkotská dolina a v PR Mokriný (napríklad ČABOUN a ŠTEFANČÍK 2008, SANIGA et al. 2009, TOPERCER 2009, ZACH et al. 2009).

3 Klimatické pomery územia postihnutého vetrovou kalamitou pred a po roku 2004

Klimatické merania majú v oblasti Vysokých Tatier dlhú tradíciu. Budovanie klimatických kúpeľov v Tatranskom podhorí v 19. storočí prispelo ku vzniku spontánnych (napr. SZONTAGH 1877) a neskôr systematických a štandardných meteorologických pozorovaní. V Tatranskej Lomnici (830 m n.m.) sa okrem obdobia svetových vojen sleduje počasie viac menej neprerušovane od r. 1897. Vo vysokohorskom prostredí sa meteorologické záznamy vedú od r. 1943 (Skalnaté Pleso, Lomnický štít). Pozorovaciu sieť SHMÚ dopĺňajú totalizátory vo vysokohorskom prostredí, ktoré sa začali budovať začiatkom 40-tych rokov minulého storočia. Pre klimatické hodnotenie majú význam predovšetkým dlhodobé sledovania. Výskyt extrémnych javov v posledných rokoch (prívalové dažde, nadnormálne teploty, veterné smršte) s vážnymi dôsledkami na prírodné prostredie si vynútili rozšírenie sledovania meteorologických pomerov aj nad rámec doterajšej siete, resp. aj o mikroklimatické pozorovania.

Zmena teploty vzduchu a zrážok podľa siete SHMÚ

V súčasnosti je v oblasti Vysokých Tatier a Podtatranskej kotliny 8 meteorologických staníc SHMÚ (modré body na obr. 46). Okrem toho, na južných svahoch Vysokých Tatier je od rokov 2000–2002 aj meteorologická monitorovacia sieť Výskumnej stanice a Múzea TANAP-u (VSaM) a medzinárodného združenia pre dlhodobý ekologický výskum (ILTER, červené body), spolu 16 lokalít. Od r. 2010 je v prevádzke automatická meteorologická stanica TU Zvolen na predpoveď požiarného rizika (zelený bod). Od r. 2007 vo vysokohorskom prostredí je v prevádzke meteorologická sieť Horskej záchrannej služby (HS) pre sledovanie rizika lavín (žlté body). Prehľad sledovaných parametrov a obdobie merania je v tab. 14. Lokality sú zoradené podľa klesajúcej nadmorskej výšky.



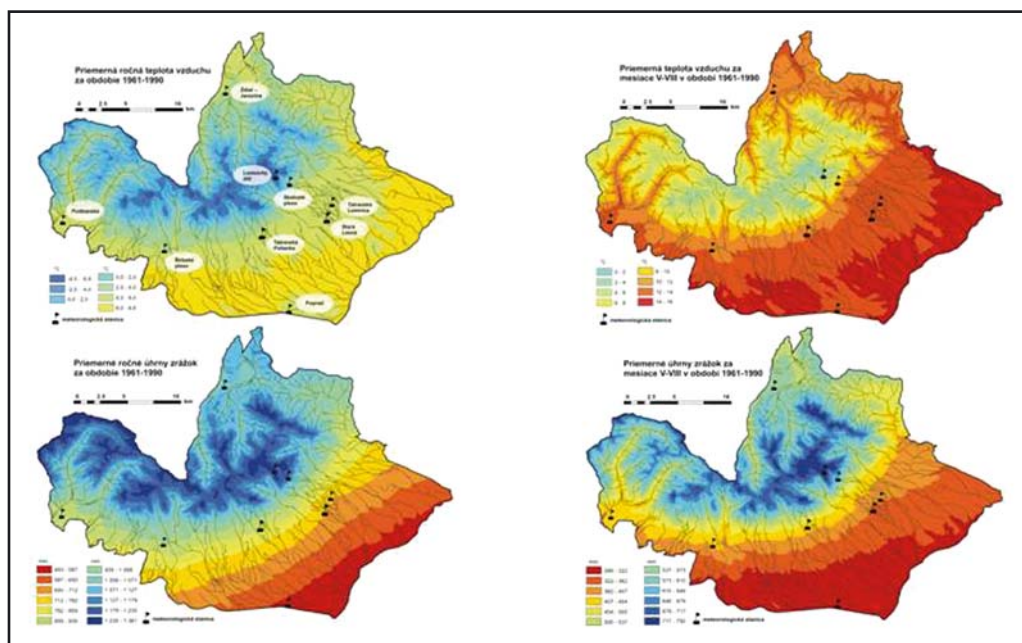
Obr. 46 Poloha meteorologických staníc v záujmovej oblasti

Tab. 14 Charakteristika lokalít s meteorologickým zameraním v záujmovom území

č.	Lokalita	Nadm. výška	prevádzka od–do	Prevádzkovateľ	Sledované parametre, poznámka
1	Lomnický štít	2630	1942	SHMÚ	AT, RH, R, GR, W, P
2	Lomnické sedlo	2300	2002–2004	ILTER, VSaM	AT, RH, R, GR, W, poškodil blesk
3	Ľadové pleso	2000		HS	AT, RH, R, W, Veľká St. d., on line
4	Lievikový kotol	2100	2000–2004	ILTER, VSaM	AT, RH, R, zničila lavína, Skalnatá d.
5	Solisko	1800	2000–2004	ILTER, VSaM	AT, RH, R, zničil vietor
6	Solisko	1800		HS	AT, RH, R, W, on line
7	Skalnaté Pleso	1750		SHMÚ	AT, RH, R, GR, W, P
8	Sliezsky dom	1700	2008–2010	ILTER, VSaM	R, Velická dolina
9	Deviatka	1500	2000–	ILTER, VSaM	AT, RH, R, W, Skalnatá d.
10	Popradské Pleso	1500	2000–	ILTER, VSaM	AT, RH, R
11	Pod Ostrvou	1500	2000–	ILTER, VSaM	AT, RH, R, J svah Tupej
12	Esíčko	1500	2000	ILTER, VSaM	AT, RH, J svah Solíska
13	V. Studená d.	1400	2000–	ILTER, VSaM	AT, RH, R
14	Štrbské Pleso	1300		SHMÚ	AT, RH, R, GR, W, P
15	Štart I	1200	2000–2005	ILTER, VSaM	AT, RH, R, GR, W, pri budove medzistanice
15	Štart I	1200	2005–	ILTER, VSaM	R
16	Štart II	1200	2010–	ILTER, VSaM	AT, RH, R, ST, SM, pri Hlbokom potoku
17	Štart III	1200	2010–	TU ZV	AT, RH, R, GR, W, ST, pri Hlbokom potoku
18	Jamy	1100	2005–	ILTER, VSaM	AT, RH, R, GR, NET, W, ST, SM, nad T. Lomnicou
19	Smrekovec	1100	2005–	ILTER, VSaM	AT, RH, R, GR, W, ST, SM, P, J svah Tupej
20	Vyšné Hágy	1100	2000–	ILTER, VSaM	AT, RH, R
21	Danielov dom	1000	2005–	ILTER, VSaM	AT, RH, R, GR, NET, W, ST, SM
22	Tatran. Polianka	1000		SHMÚ	AT, RH, R
23	Tatranské Zruby	1000	2005	ILTER, VSaM	AT, RH, R, GR, NET, W, ST, SM
24	Podbánske	950		SHMÚ	AT, RH, R, W
25	Tatran. Lomnica	830	1897–	SHMÚ	AT, RH, R, W
26	Stará Lesná	800		SHMÚ	AT, RH, R, GR, W, ST, P
27	Poprad-Ietisko	700		SHMÚ	AT, RH, R, GR, W, P

AT – teplota vzduchu, RH – vlhkosť vzduchu, R – zrážky, W – vietor, GR – globálne žiarenie, NET – bilancia žiarenia, ST – teplota pôdy, SM – vlhkosť pôdy, P – tlak vzduchu

Teplotné a zrážkové pomery v mierke regionálnej klímy pre územie Vysokých Tatier spracovala SITKOVÁ a kol. (2011). Pre priestorovú interpretáciu údajov zo 7 staníc SHMÚ vo forme tematických teplotných a zrážkových máp (obr. 47) použila údaje z troch období: 1961–1990 (referenčná klíma), 2001–2004 (obdobie pred kalamitou) a 2006–2009 (obdobie po kalamite). V referenčnom období sa ročná teplota vzduchu pohybovala v predmetnom území v rozpätí od -4°C do $6,6^{\circ}\text{C}$ a vo vegetačnej sezóne v rozsahu od 0°C do 16°C . Priemerné ročné úhrny zrážok sa nachádzali v rozsahu 493–1381 mm a priemerné úhrny vo vegetačnom období (máj–august) v intervale od 289 do 792 mm. Uvedené intervaly reprezentujú 30-ročný rad údajov odvodený z denných meraní, preto ich je možné považovať za rámce tzv. „normálnej klímy“.



Obr. 47 Mapa distribúcie dlhodobých (1961–1990) klimatických prvkov (ŠITKOVA a kol. 2011)

- priemerná ročná teplota vzduchu
- priemerná teplota vzduchu vo vegetačnom období (V–VIII)
- priemerné zrážkové úhrny
- priemerné zrážkové úhrny vo vegetačnom období

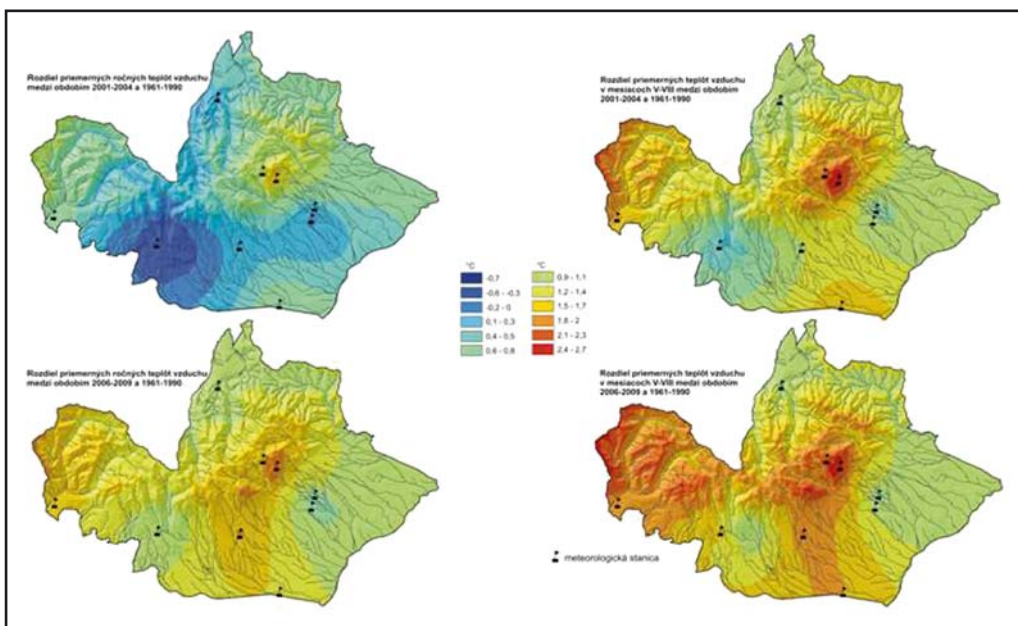
Geoštatistickou interpoláciou boli vyhodnotené aj distribúcie odchýlok teplôt vzduchu a zrážkových úhrnov od dlhodobého priemeru (1961–1990) v obdobiach pred kalamitou (2001–2004) a po kalamite (2006–2009). Údajovú bázu pre tvorbu máp v uvedených rokoch tvorili údaje o denných teplotách vzduchu a úhrnoch zrážok z 9 klimatologických staníc SHMÚ. Mapa teplôt vzduchu vo vegetačnom období rokov 2006–2009 bola doplnená o údaje z 5 meteorologických staníc VS TANAPu.

Odchýlky **teplôt vzduchu** sa pre obidve časové hladiny (pred a po kalamite) nachádzajú v rozsahu od $-0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zmeny priemerných ročných teplôt vzduchu v období **pred kalamitou** (2001–2004) oproti dlhodobému priemeru indikujú na väčšine územia záporné hodnoty (ochladenie najmä vo východnom podhorí) alebo hodnoty blízke normálu (obr. 48). Výraznejšie kladné odchýlky (oteplenie) pozorujeme vo vegetačnom období toho istého obdobia, najmä vo vrcholových partiách územia (okolo Lomnického štítu). Podobne bol s dlhodobým priemerom konfrontovaný štvorročný priemer teplôt vzduchu z obdobia **po kalamite** (2006–2009), kde je zrejmé zvýšenie teplôt na celom území. Najvyšší nárast teplôt o $2,0\text{--}2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ je možné pozorovať vo vegetačnom období 2006–2009, najmä vo vyšších polohách.

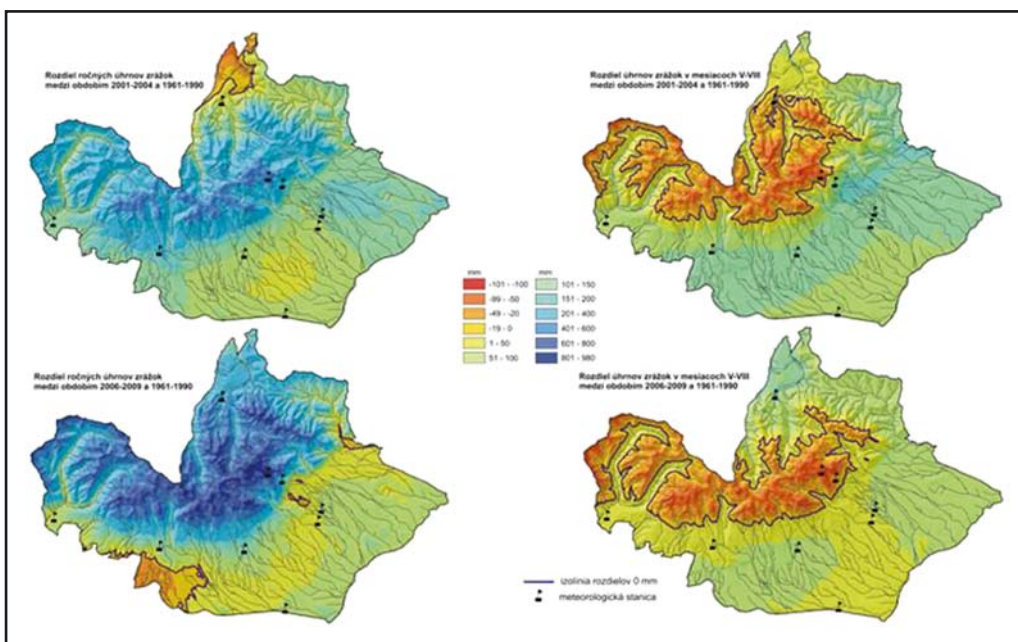
Zvýšený rast teploty vzduchu vo vyšších polohách do istej miery vysvetľuje doteraz nevidané šírenie podkôrneho hmyzu do oblasti hornej hranice lesa.

Porovnanie odchýlok **zrážkových úhrnov** od dlhodobého priemeru 1961–1990 poukázalo na rozdiely v ich distribúcii v roku aj vo vegetačnom období (obr. 49). Oblasti úhrnov zrážok nižších ako dlhodobý priemer sú v mapách znázornené ohraničením nulovej izolínie (izohyety), ktorá predstavuje hranicu zhody hodnôt s normálovými úhrnmi 1961–1990.

Najväčší nárast priemerných **ročných úhrnov** zrážok oproti dlhodobému priemeru bol zistený v období po kalamite 2006–2009, kedy vďaka veľmi vysokým úhrnom snehových zrážok



Obr. 48 Priestorová distribúcia rozdielov priemernej dlhodobej teploty vzduchu a
a) ročnej teploty pred kalamitou
b) teploty vo vegetačnom období pred kalamitou
c) ročnej teploty po kalamite
d) teploty vo vegetačnom období po kalamite



Obr. 49 Priestorová distribúcia rozdielov priemernej dlhodobej zrážkových úhrnov a
a) ročných zrážok pred kalamitou
b) zrážok vo vegetačnom období pred kalamitou
c) ročných zrážok po kalamite
d) zrážok vo vegetačnom období po kalamite

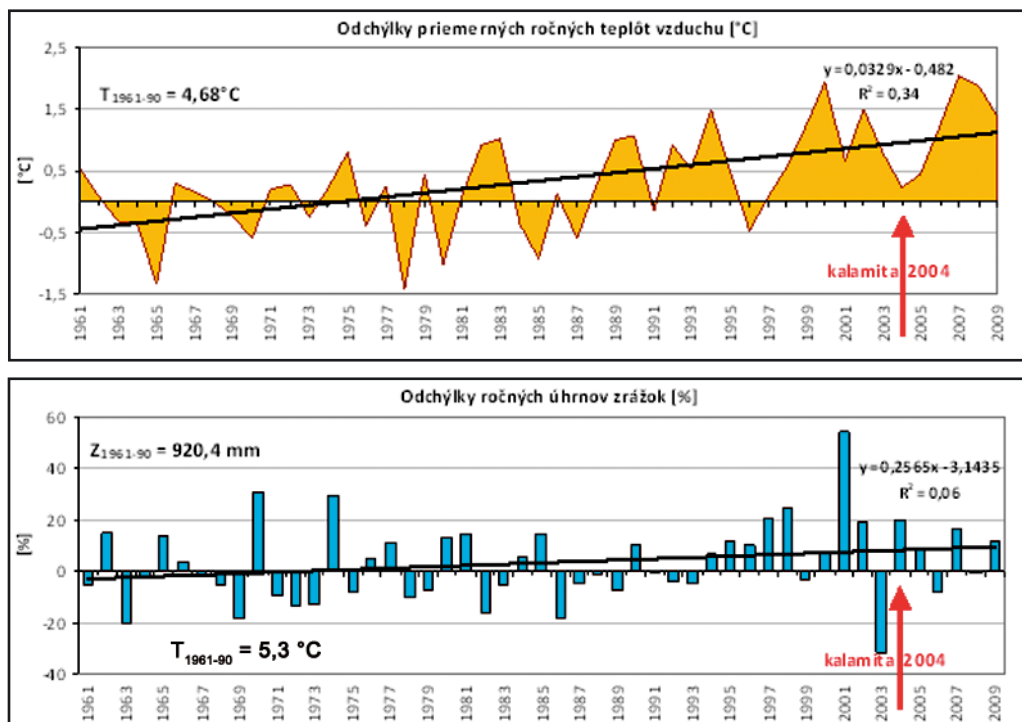
v zimných mesiacoch, najmä na hrebeňoch Vysokých Tatier bol prekročený zrážkový normál pre rok až o takmer 1000 mm. Rozdielna situácia nastala **vo vegetačnom období** rokov pred a po kalamite, kedy naopak v horských partiách územia pozorujeme v porovnaní s dlhodobým priemerom mierny zrážkový deficit (do 100 mm).

Priestorová analýza klimatických prvkov nepotvrdila vplyv rozsiahleho kalamitného odlesnenia v novembri 2004 na zmenu mezoklímy v tejto oblasti. Výsledky porovnania s referenčnou klímou potvrdzujú v ostatnej dekáde výraznejší nárast teplôt vzduchu vo vegetačnom území a vo vyšších polohách. Ďalej bola zistená rozdielna priestorová distribúcia odchýlok zrážok v rámci územia (odlišnosti medzi horskými a kotlinovými polohami), aj ich časové rozloženie počas roka (rok, vegetačné obdobie).

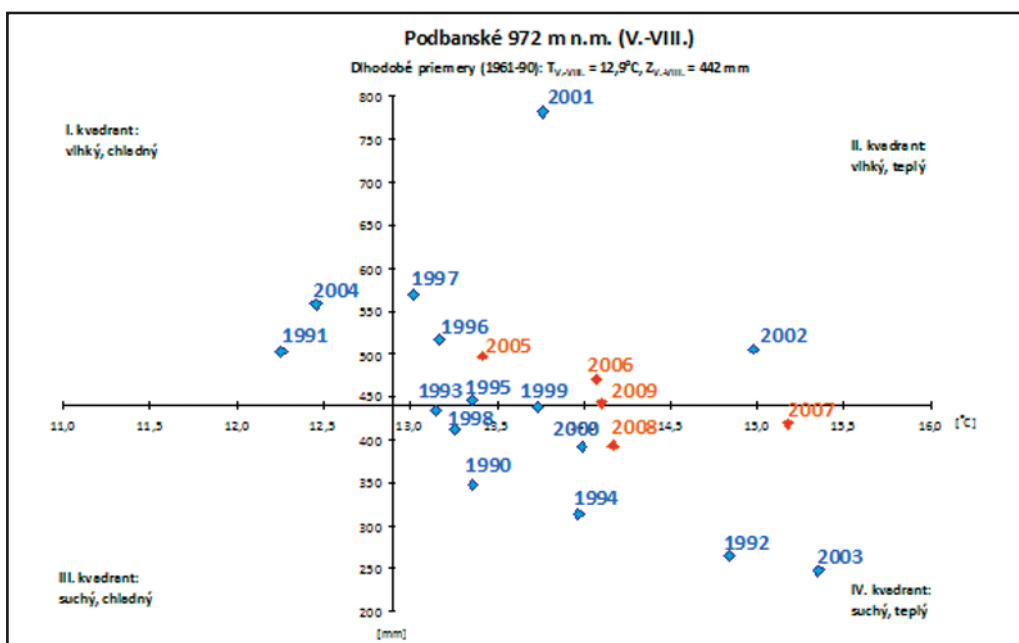
Analýza vybraných klimatických prvkov na úrovni jednotlivých staníc

Na posúdenie zmien klimatických prvkov a ich variability v pred a pokalamitnom období je potrebná podrobnejšia analýza údajov z jednotlivých meteorologických staníc. Pre tento účel boli vybrané stanice SHMÚ na Podbanskom a v Tatranskej Lomnici.

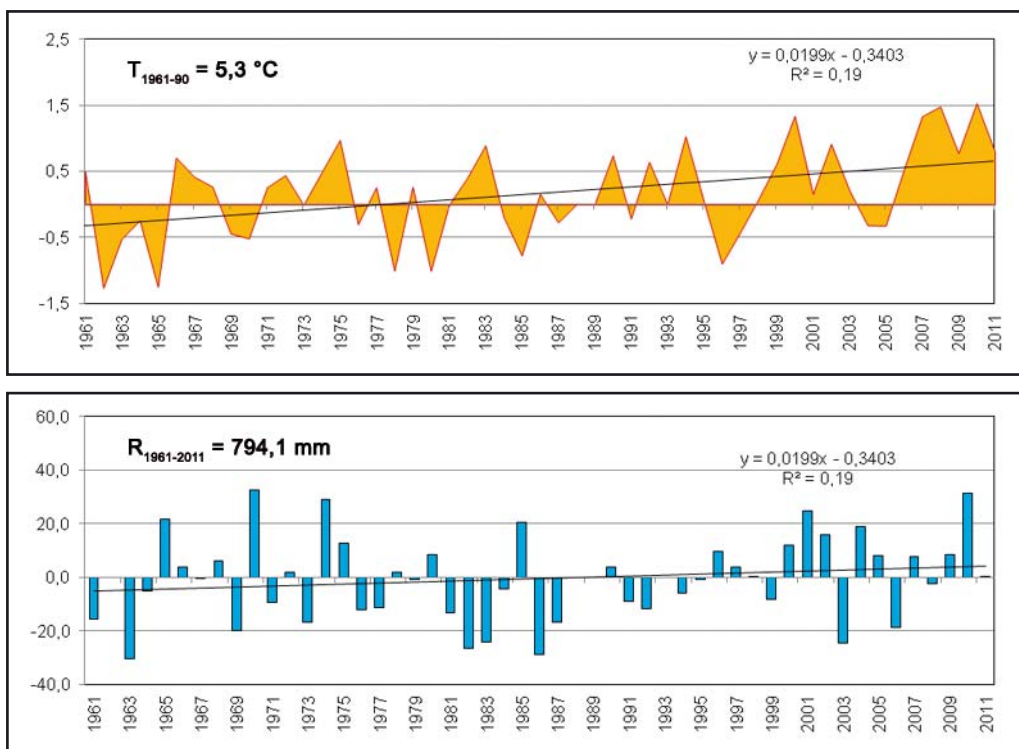
Dlhodobý vývoj priemerných **ročných** teplôt vzduchu a zrážkových úhrnov v období 1961–2009 na stanici Podbanské je uvedený na obr. 50. Grafy prezentujú odchýlky teplôt vzduchu (v °C) a zrážkových úhrnov (v %) od dlhodobého priemeru 1961–1990 (4,68 °C a 920,4 mm). Výsledky ukázali, že od roku 1988 boli všetky roky, s výnimkou rokov 1991 a 1996, teplotne nadpriemerné. Lineárny trend nárastu teplôt ($r^2 = 0,34$) bol štatisticky vysoko významný na 1% hladine významnosti. Trend vývoja ročných úhrnov zrážok od roku 1961 je na stanici Podbanské nevýznamný. Za zmienku však stoja dva zrážkovo extrémne roky – zrážkovo bohatý rok 2001 a výrazne suchý rok 2003.



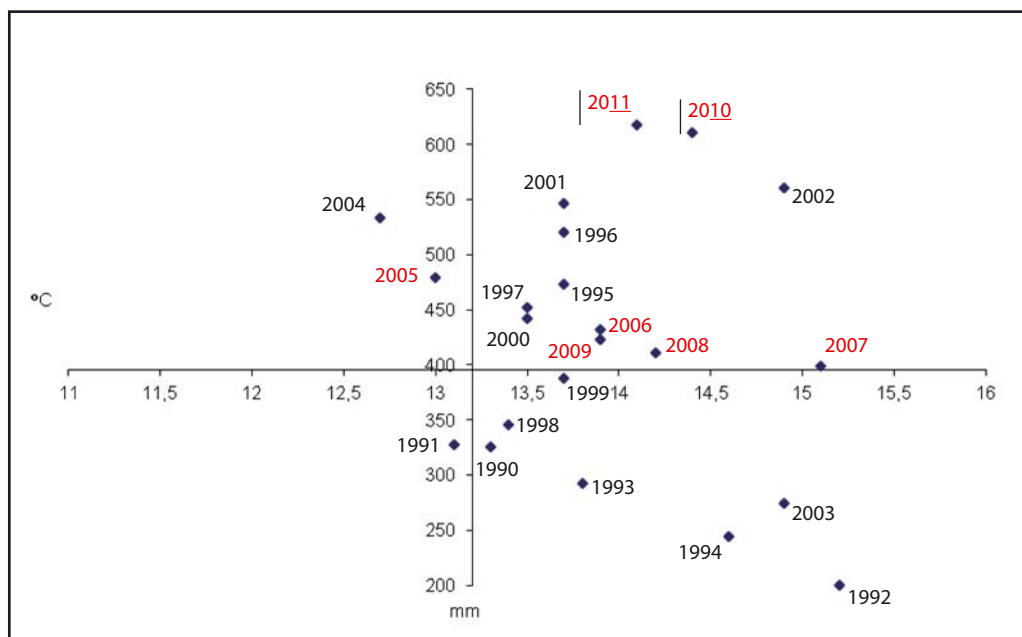
Obr. 50 Odchýlka priemerných ročných tepôt vzduchu (a) a ročných zrážkových úhrnov (b) od normálu, Podbanské, 1961–2009



Obr. 51 Modifikovaný termopluviogram pre klimatologickú stanicu Podbanské (SHMÚ) vo vegetačnom období (V.-VIII.) rokov 1990–2009



Obr. 52 Odchýlka priemerných ročných teplôt vzduchu (a) a ročných zrážkových úhrnov (b) od normálu, Tatranská Lomnica, 1961–2011



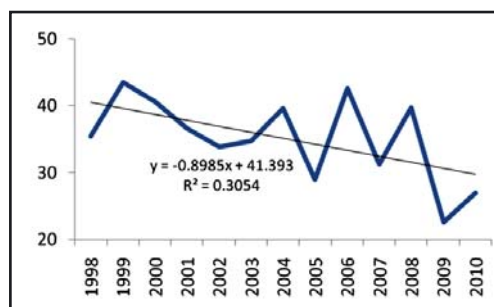
Obr. 53 Modifikovaný termopluiogram pre klimatickú stanicu Tatranská Lomnica (SHMÚ) vo vegetačnom období (V.-VIII.) rokov 1990–2011.

Na konfrontáciu teplôt vzduchu a zrážok **vo vegetačnom období** rokov 1990–2009 v porovnaní s dlhodobým priemerom pre stanicu Podbanské (12,9 °C a 442 mm) bol použitý modifikovaný termopluiogram (obr. 51), podľa metodiky STŘELCOVÁ & ŠKVARENINA (2004). Z rozloženia rokov v jednotlivých kvadrantoch je zrejmé, že vegetačné obdobie všetkých pokalamitných rokov bolo teplotne nadpriemerné, najmä v roku 2007. V hodnotených dvoch dekádach bola zrážkovo najviac deficitná a zároveň teplotne nadpriemerná predovšetkým vegetačná sezóna rokov 1990, 1992, 1994, 2003 a 2008. Uvedené „suché“ roky boli často diskutované najmä v súvislosti s rozpadom horských smrečín v TANAP-e (SITKOVÁ 2006) a s vplyvom na kalamitné premnoženie podkôrneho hmyzu (KOREŇ et al. 1997, VAKULA & GUBKA 2007).

Klimatické pomery na stanici v Tatranskej Lomnici uvádzame na obr. 52. Trend nárast teploty nie je tak markantný ako na Podbanskom.

Na termopluiograme pre Tatranskú Lomnicu (obr. 53) sú podľa jednotlivých rokov zobrazené odchýlky od dlhodobého priemeru teploty vzduchu (1961–2009, 13,4 °C) a sumy zrážok (403 mm). Červene sú zobrazené roky po kalamite 2004.

Zrážky skutočne dopadajúce na povrch pôdy v zapojenom poraste sú oproti voľnej ploche nižšie, lebo sú redukované intercepciou korún. Podľa dlhodobého sledovania (od r. 1998) zrážkových úhrnov na voľnej ploche a pod korunami porastu na súčasnej ploche REF je priemerná dlhodobá intercepcia 35 %. Priemerná ročná hodnota nadobúda rozdielne hodnoty (22 až 44 %) a má klesajúci trend, ako uvádzame na obr. 54. Medziročná variabilita intercepce, vyplýva z meniaceho sa zápoja korún v dôsledku hynutia stromov (pokles



Obr. 54 Intercepcia zrážok (v %) v smrekovom poraste na ploche REF a trend v období 1988–2010

intercepcie) a následného úmyselného presunu kolektorov do hustejších častí porastu (zvýšenie intercepcie). Pokles intercepcie, napriek prekladaniu kolektorov do zapojených častí porastu svedčí o postupnom zhoršovaní ich stavu.

Viacročné pozorovania potvrdili, že na sledovaných lokalitách na jučných svahoch Vysokých Tatier stúpa ročná suma zrážok o 115 mm na 100 m. CHOMICZ & ŠAMAJ (1974) uvádzajú priemer 70 mm na 100 m.

3.2 Teplota, vlhkosť vzduchu a veterné pomery na kalamitných plochách

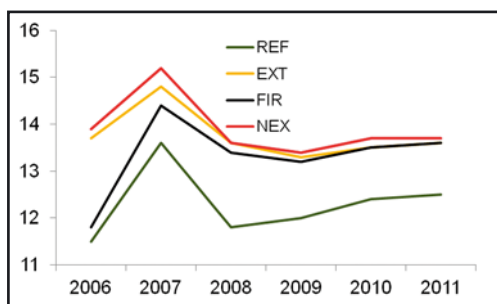
Teplotné pomery sa na kalamitou postihnutom území zmenili v dôsledku rozpadu porastového priestoru, ktorý vytváral podmienky pre menšie fluktuácie teploty a vlhkosti vzduchu ako je to na porovnateľnej voľnej ploche. Pravdepodobne najextrémnejšie podmienky boli hneď po spracovaní kalamity v r. 2005, ale kompletne údaje pre vegetačné obdobie (V.–VIII.) sú až od r. 2006. V tom čase rozhodne najextrémnejšie podmienky boli na ploche postihnutej požiarom (FIR), kde na rozdiel od ostatných plôch neostali po spracovaní dreva nielen zvyšky hrubiny, ale ani kopy haluziny, požiar zničil aj prízemnú vegetáciu. Rozdiel medzi kalamitnou plochou so spracovanou, resp. nespracovanou kalamitou bol od začiatku meraní takmer zanedbateľný. V priemere sa oproti porastovým podmienkam priemerná teplota vo vegetačnom období zvýšila o 1,8 °C a rozdiel má mierne klesajúci trend. Chápeme to ako dôsledok vyvíjajúcej sa vegetácie, ktorá postupne približuje kalamitnú plochu od holiny ku lesu. Presvedčivo to dokumentuje vývoj na ploche FIR, kde pre vývoj vegetácie bol prelomový rok 2008.

Vlhkosť vzduchu na sledovaných lokalitách podobne nevykazovala mimoriadne odlišnosti. V zásade bol vzduch na kalamitných plochách priemerne o 10 % suchší. Pre výpočet citelného tepla pri energetickej bilancii na pokalamitných plochách (MATEJKA & FLEISCHER, 2011), ale aj pre posúdenie vplyvu vegetácie na prehrievanie prízemnej vrstvy vzduchu sledujeme teplotu aj vo výške 50 cm na povrchu zeme. Najmä v prvých rokoch po požiari na lokalite FIR ŠKVARENINA & MIŠÍKOVÁ (2009) konštatovali extrémne hodnoty, ktoré v r. 2007 viedli k poškodeniu výsadbí i bylinnej etáže (FLEISCHER a kol., 2008).

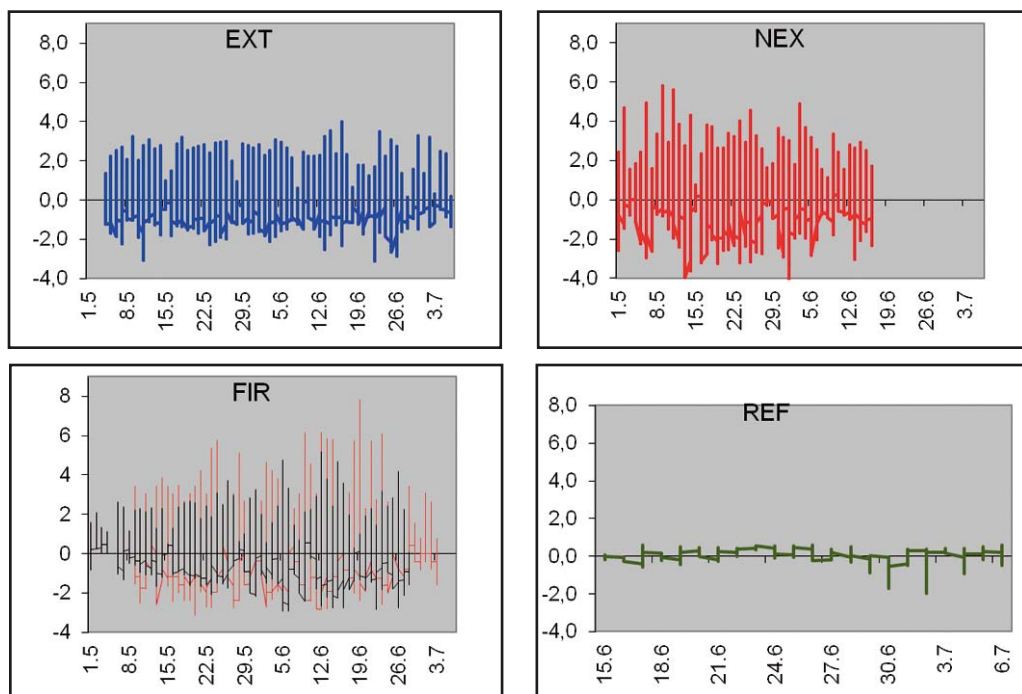
V súčasnosti sú rozdiely v prehrievaní prízemnej vrstvy prijateľné, bez rizika poškodenia vegetácie. Na obr. 56 uvádzame rozdiel v teplote vzduchu v 50 a 200 cm na sledovaných lokalitách z prvej polovice vegetačného obdobia r. 2011. V poraste je rozdiel minimálny, na kalamitných plochách sú v priemere od 2 do 3 °C. Najväčší rozdiel je na FIR, kde červené čiary v grafe reprezentujú plochu ešte aj dnes s charakterom spáleniska. Ide však o výnimočný prípad, slúži len ako

referencia pre úvahu ako by vývoj prebiehal bez úspešnej obnovy vegetácie. Na dlhodobu sledovanú plochu FIR je prehrievanie prízemnej vrstvy porovnateľné s ostatnými lokalitami.

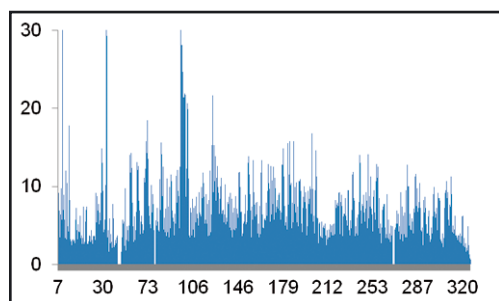
Veterné pomery závisia od konkrétnej meteorologickej situácie. Medzi kalamitnými plochami sú len minimálne rozdiely. Oproti porastovým pomeroch je na kalamitných plochách podstatne vyššia veternatosť. Na obr. 57 uvádzame maximálnu dennú rýchlosť vetra (m.s^{-1}) pre lokalitu FIR v r. 2011, ktorá sa nachádza približne v strede záujmového územia.



Obr. 55 Priemerná teplota vzduchu vo vegetačnom období na sledovaných plochách, r. 2006–2011

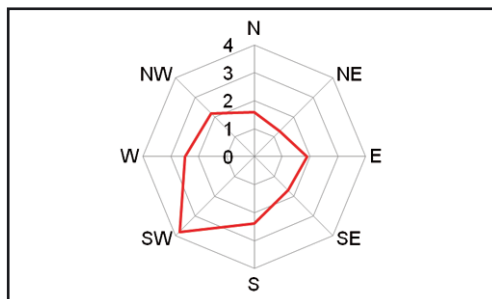
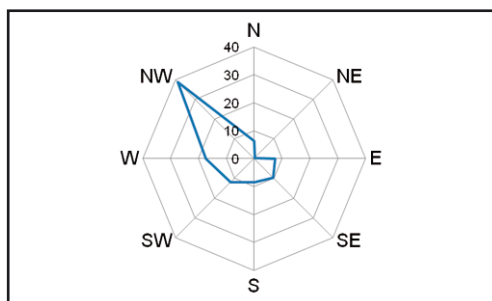


Obr. 56 Rozdiel teploty vzduchu v 50 a 200 cm (°C) na sledovaných lokalitách v r. 2011



Obr. 57 Maximálna denná rýchlosť vetra (m.s^{-1}) na výskumnej lokalite FIR v r. 2011

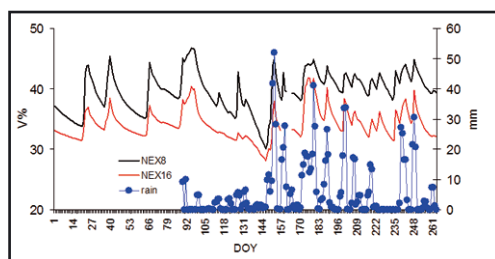
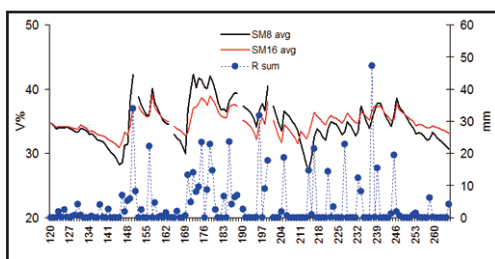
Priemerný smer vetra (60 min) z plochy FIR v r. 2011 uvádzame na obr. 58. Je zrejmé, že prevládajúce boli SZ smery (takmer 40 %). Najvyššiu priemernú rýchlosť majú vetry z JZ smeru ($3,8 \text{ m.s}^{-1}$).



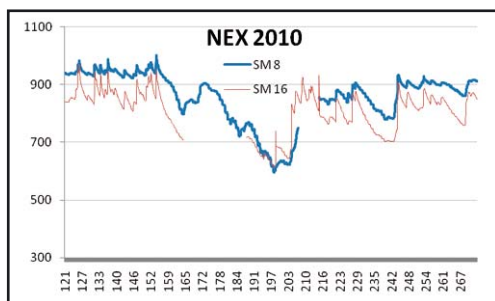
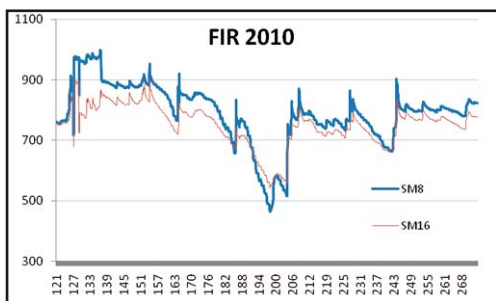
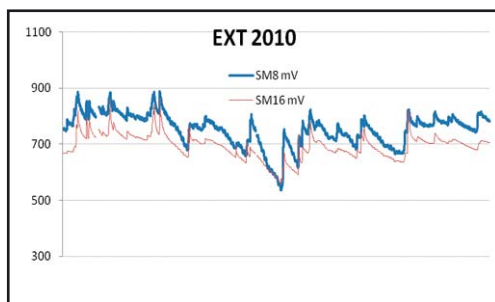
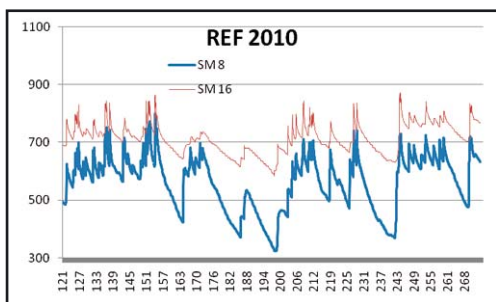
Obr. 58 Frekvencia priemerných 60 min smerov (%) a rýchlosti (m.s^{-1}) vetra na lokalite FIR v r. 2011

3.3 Vlhkosť a teplota pôdy

Pôdna vlhkosť je prejavom množstva vody v pôde. V tatranských podmienkach sú zdrojom vody najmä vertikálne zrážky, avšak aj tzv. kondenzačná voda. O význame podzemnej vody sa dá hovoriť len na depresných formách reliéfu, na povrchu glacifluviálnych kuželov a terás a na recentných nivách. Na vypuklých formách reliéfu (morénach, polygenetických sutinách) s hrubozrnným materiálom je podzemná voda hlbšie, mimo dosahu vegetácie, jej vývoj teda bezprostredne nepodmieňuje. Lesné, prevažne smrekové porasty sa pred kalamitou vyznačovali vysokým zápojom s veľmi vysokou intercepciou. Oproti voľnej ploche sa na pôdu v poraste dostávalo menej ako 50 % zrážok. Napriek tomu sa pôda v lesných porastoch vyznačovala priaznivou vlhkosťou. Prispievala k tomu mikroklima zapojených porastov s vysokou relatívnou vlhkosťou vzduchu, tlmenou radiáciou a obmedzeným prúdením vzduchu. Zánikom korunovej vrstvy lesa by sa malo do pôdy dostávať viac vertikálnych zrážok. Hrubá, niekedy presušená vrstva povrchového humusu má istý čas hydrofóbne účinky a môže byť príčinou zvýšenej povrchovej straty vody, dokonca s rizikom erózie. Na druhej strane zvýšená drsnosť povrchu spôsobená vývratmi toto riziko značne eliminuje.



Obr. 59 Pribeh 24 h sumy zrážok (mm) a priemernej pôdnej vlhkosti ($\theta_v\%$) na lokalite
a) EXT, 1. V.–30. 9. 2009 b) NEX 1. 1.–30. 9. 2009



Obr. 60 Pôdna vlhkosť na sledovaných lokalitách (v mV), V–VIII 2010

Pôdna vlhkosť a teplota sú systematicky sledované od začiatku pokalamitného výskumu v r. 2005. Na celoročný monitoring (v 60 min. intervale) objemovej vlhkosti (θ_v %) sa používajú snímače Delta theta M12x (Delta, UK). Priebeh teploty sledujú snímače Pt 107 umiestnené v 8, 16 a prípadne aj 32 cm hĺbke pod povrchom pôdy na všetkých sledovaných lokalitách.

Ročný chod pôdnej vlhkosti na všetkých lokalitách tesne súvisí s priebehom zrážkovej činnosti. Na spadnuté zrážky vyššou vlhkosťou bezprostredne reaguje najmä humusový pôdny horizont.

Rýchlosť presychania ovplyvňuje podiel piesčitej a jemnej (hlinito-prachovej) frakcie. Ľahké profily presychajú skôr. Viacročný monitoring potvrdil aj vplyv vyvíjajúceho sa vegetačného krytu na pôdnu vlhkosť. Na plochách s porastom slmzu sa prejavil vyrovnávajúci účinok miernejším poklesom vlhkosti ako na plochách bez vegetácie.

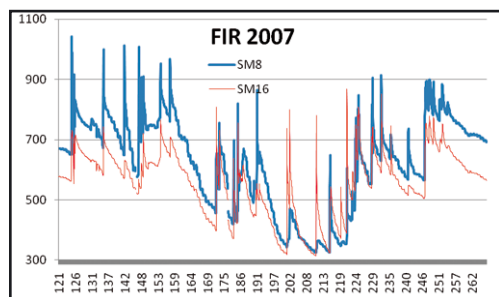
Priemerné 60 min hodnoty pôdnej vlhkosti v hĺbke 8 a 16 cm pre sledované lokality v období 1. 5. až 30. 9. 2010 sú na obr. 60. Hodnoty sú vyjadrené v mV.

Priemerné hodnoty a smerodajná odchýlka pôdnej vlhkosti počas sledovaného obdobia zodpovedajú objemovým podielom (θ_v %) tak, ako uvádzame v tab. 15. Pri vyjadrení v objemových percentách uvádzame rozpätie pôdnej vlhkosti pre nižší (do 7 %) a vyšší obsah humusu.

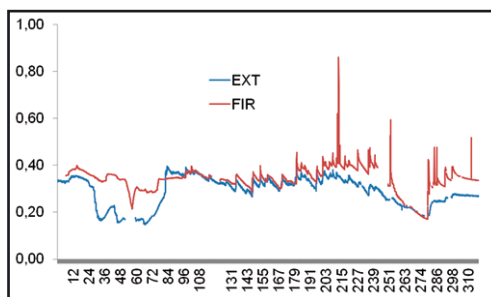
Tab. 15 Priemerná pôdna vlhkosť (avg v mV a θ_v %) a smerodajná odchýlka (sd θ_v %) na sledovaných lokalitách (V–VIII 2010)

hĺbka	8 cm			16 cm		
lokality	avg (mV)	avg (%)	sd (%)	avg (mV)	avg (%)	sd (%)
REF	563	23–38	2–4	714	30–36	1
EXT	753	32–39	1–2	693	29–35	1
FIR	791	34–41	1–5	752	32–39	2
NEX	855	38–46	1–4	805	35–42	3

Z prehľadu je zjavný podobný priebeh pôdnej vlhkosti na kalamitných lokalitách. K vyrovnanému priebehu pôdnej vlhkosti v r. 2010 prispeli najmä bohaté a pomerne rovnomerne rozložené zrážky. Zaujímavé je, že podobne vysoké rozpätie vlhkosti sme zistili v lesnom poraste, ako napr. na oveľa extrémnejšej lokalite spáleniska (FIR). Vzhľadom na vyrovnávajúci účinok korunového priestoru na teplotné a hydrické pomery v lesnom poraste sme očakávali iný výsledok. Potvrdzuje sa, že pre vlhkosťné pomery na sledovanom území má určujúci význam zrnitosťné zloženie pôdy, ako uvádza napr. Novák et al. (2008). Na ploche EXT je pomerne vysoký podiel hlinitej frakcie (FLEISCHER & FLEISCHER 2009) a prejavuje sa to vyrovnanejším chodom vlhkosti ako na ploche FIR i pri podobných vegetačných pomeroch. Vplyv vegetácie na charakter pôdnej



Obr. 61. Pôdna vlhkosť (v mV) na ploche FIR v r. 2007



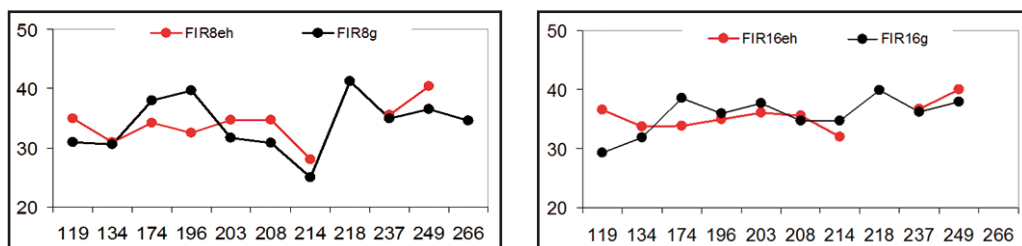
Obr. 62. Ročný priebeh vlhkosti pôdy (%) na lokalite EXT a FIR v r. 2011

vlhkosti má ale nesporne svoj význam. Na príklade lokality FIR môžeme dokumentovať jej vplyv na základe porovnania so stavom v r. 2007 (obr. 61). Na lokalite spáleniska sme zaznamenali najväčšie kvantitatívne i kvalitatívne zmeny vegetácie. V r. 2007 bola plocha osídlená len ojedinelými trsmi smlzu (*Calamagrostis villosa*) a riedkym porastom kypriny (*Chamaerion angustifolium*) a variabilita pôdnej vlhkosti bola výrazne vyššia ako v r. 2010. Rozdiel v pôdnej vlhkosti je samozrejme podmienený aj charakterom zrážok v jednotlivých rokoch, ale taký rozdiel sme na ostatných lokalitách nezaznamenali.

Výsledky merania pôdnej vlhkosti v r. 2011 dokonca potvrdili takmer zhodu počas vegetačného obdobia (deň 121–243) medzi požiarom postihnutou lokalitou FIR a spracovanou kalamitnou plochou EXT, ako uvádzame na obr. 62. Rozdiel v závere augusta spôsobili lokálne búrky, ktoré priniesli viac zrážok na plochu FIR.

Minimálnu pôdnu vlhkosť sme opakovane zistili v lesnom poraste. Najnižšie hodnoty vlhkosti v referenčnom lese sú hlavne dôsledkom intercepcie stále vitálneho smrekovcovo-smrekového porastu. Najvyššia pôdna vlhkosť bola opäť zaznamenávaná na lokalite NEX, kde sme pomocou fyzikálnych valčekov stanovili aj maximálnu vodnú kapacitu. Hodnota 80 % potvrdzuje doterajšie konštatovania o unikátnych fyzikálnohydraulických vlastnostiach pôd na kalamitou postihnutom území (Novák et al., 2008) a schopnosti eliminovať povrchový odtok i pri ešte vyšších zrážkových úhrnoch a zásobách vody v pôde ako bolo v zrážkovo mimoriadnom roku 2010 i auguste 2011.

Elektronické meranie pôdnej vlhkosti bolo kontrolované gravimetrickou metódou v r. 2009. Porovnanie výsledkov oboch metód na lokalite FIR v hĺbke 8 a 16 cm je na obr. 63.



Obr. 63 Porovnanie elektronického (červená) a gravimetrického (čierna) stanovenia pôdnej vlhkosti

Súčasťou laboratórneho vyhodnotenia gravimetrických vzoriek bolo aj určenie redukovanej objemovej hmotnosti (z neporušenej vzorky s momentálnou vlhkosťou a následne vysušenou pri 105 °C) p_d . Priemerné hodnoty na všetkých lokalitách a vo všetkých sledovaných hĺbkach neprekročili hodnotu 1,0 g.m⁻³. Na všetkých lokalitách p_d stúpala s hĺbkou pôdy. Najnižšie hodnoty p_s (0,7–0,8 g.m⁻³) sme zistili v silne humózných vrchných horizontoch na ploche NEX a REF, najvyššie (0,9–1,0 g.m⁻³) v hlbších horizontoch na ploche FIR a EXT. Podľa vzťahu

$$P\% = (1 - (p_d/pp)) \cdot 100$$

$P\%$ podiel pórov

P_d objemová hmotnosť pôdy

P_p merná hmotnosť minerálnej zložky (2,57 g.cm⁻³)

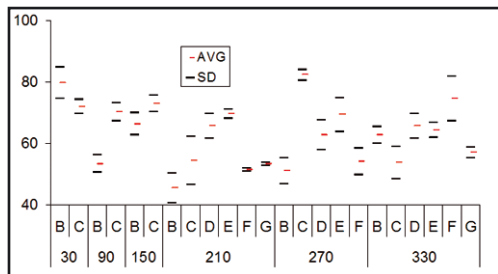
sme stanovili podiel pórov vo vzorke. Na všetkých lokalitách bol podiel pórov až extrémne vysoký, v priemere od 65 do 71 % a stúpala v poradí EXT<FIR< REF<NEX, s vyšším podiel pórov v horných vrstvách pôdy. Vysoká pórovitosť, spolu s vysokým obsahom skeletu (Novák et al., 2008), vysokým podielom ílu v jemnozemi vytvárajú podmienky pre unikátne pôdno-hydrologické pomery na skúmanom území. Ich dôsledkom je schopnosť pôdy infiltrovať aj intenzívne

zrážky aké sa napr. vyskytli v októbri 2009 a v auguste 2011, bez rizika povrchového odtoku a erózie. TUŽINSKÝ (2008) uvádza ojedinelý prípad povrchového odtoku na kalamitnej ploche po prívalových dažďoch v objeme 4%. Na druhej strane hlinité pôdy s vysokým podielom ílu a humusu má relatívne dlhodobú retenčnú schopnosť a môže rovnomerne zásobovať vegetáciu vodou.

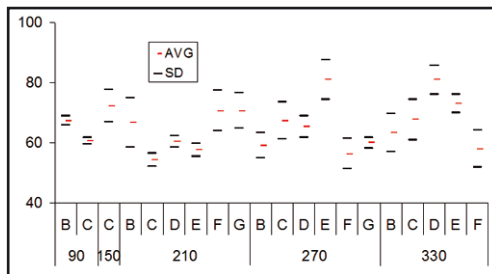
Priestorové hodnotenie pôdnej vlhkosti sme uskutočnili kapacitancnou metódou prístrojom Aquaterr 300, USA. V okolí trvalo fixovaných bodov pri meteorologických vežiach sme sledovali mieru saturácie pôdy vodou v hĺbke 10 cm. Hodnotenie potvrdilo značné rozdiely v obsahu pôdnej vody aj na relatívne malých vzdialenostiach na všetkých lokalitách (tab. 16). Výsledky hodnotenia v referenčnom poraste uvádzame na obr. 64.

Tab. 16 Priemerná saturácia (%), smerodajná odchýlka (SD) a variačný koeficient (sx%) pre jednotlivé lokality v r. 2009

Lokalita	dátum	avg S%	SD	Sx%
EXT	19. 7.	81,7	10,9	13
	28. 8.	60,5	15,3	25
REF	5. 6.	63,0	12,0	19
	10. 7.	67,0	8,9	13
	15. 7.	73,3	15,0	20
	24. 8.	65,6	11,1	17
NEX	1. 7.	70,3	10,9	16
FIR	23. 6.	73,8	11,7	16
	2. 7.	60,1	12,2	20
	10. 7.	70,7	11,7	17
	24. 8.	67,2	11,8	18



a) 5.6.2009



b) 24.8.2009

Obr. 64 Priemerné hodnoty (avg) a štandardná odchýlka (SD) saturácie na tranzektoch plochy REF za podobných meteorologických pomeroch

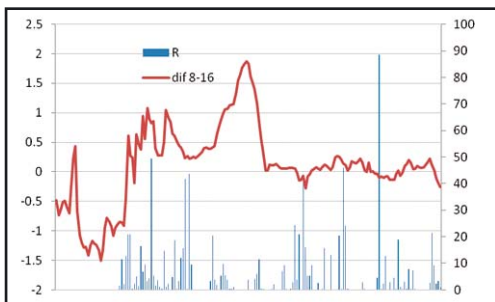
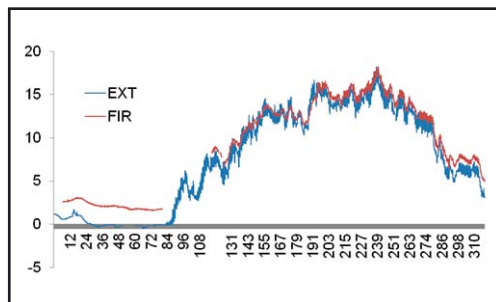
Teplota pôdy

Priemernú mesačnú teplotu pôdy na sledovaných lokalitách vo vegetačnom období r. 2010 uvádzame v tab. 17. Rozdiely medzi lokalitami, kde absentoval vegetačný kryt, boli v minulosti výraznejšie.

Šírenie tepla v pôde ilustruje rozdiel teplôt v rôznych hladinách. V r. 2010 boli najväčšie rozdiely v priemernej teplote v 8 a 16 cm hĺbke na lokalite NEX 1,0 °C, Na lokalite EXT a FIR rozdiel boli 0,5 °C a najmenší 0,2 °C bol na ploche REF. V sezónnom chode pôdnej teploty sa ako významný faktor potvrdila pôdna vlhkosť. V období s vyššou pôdnou vlhkosťou boli rozdiely menšie, pri nižšej vlhkosti rozdiely teploty pôdy v rôznych hladinách rástli, ako uvádzame na obr. 65 na príklade lokality FIR.

Tab. 17 Priemerná mesačná teplota pôdy (°C) na sledovaných lokalitách v 8 a 16 cm (V–VIII 2010)

mesiac	V		VI		VII		VIII		avg V-VIII	
Hĺbka	8	16	8	16	8	16	8	16	8	16
REF	4,8	4,3	9,0	8,6	11,4	10,8	12,1	11,8	9,1	8,8
EXT	9,0	8,3	13,1	12,2	15,5	14,6	15,8	15,1	12,8	12,2
FIR	10,0	9,7	13,5	12,7	14,7	14,4	14,5	14,4	12,7	12,4
NEX	6,4	6,5	10,4	9,3	12,6	11,4	13,0	12,3	10,3	9,3

**Obr. 65** Rozdiel priemernej dennej teploty pôdy v 8 a 16 cm (v °C) a denný zrážkový úhrn (v mm), lokalita FIR, V–VIII 2010**Obr. 66** Ročný chod teploty pôdy (°C) v r. 2011 v 8 cm na lokalite EXT a FIR

Teplota pôdy má kľúčový význam pre mnohé biologické a fyziologické procesy, napr. pre pôdnu respiráciu. Rok 2010 bol z hľadiska teploty pôdy výnimočný aj tým, že v dôsledku obmedzenej snehovej pokrývky pôda bola zamrznutá na lokalite NEX až do 28. 4., na FIR do 20. 3. dokonca aj v poraste, lokalita REF do 21. 4. V minulých rokoch pôda nepremrzala vôbec, alebo len výnimočne na krátky čas. Vysoká snehová prikrývka spôsobila, že pôda nezamrzla ani pri mimoriadne nízkych teplotách v zime 2011–2012. Vyrovnávanie teplotných rozdielov pôdy medzi lokalitami potvrdzuje postupný trend obnovy postihnutých lokalít. Na obr. 66 uvádzame vývoj teploty pôdy v 8 cm na lokalite EXT a FIR v r. 2011.

3.4 Radiačné pomery a energetická bilancia

Energetická bilancia zemského povrchu predstavuje tú časť žiarivej energie Slnka, pohltenej zemským povrchom, ktorá sa využíva na zohrievanie najnižších vrstiev ovzdušia a povrchových vrstiev pôdy a tiež na energetické zabezpečenie výparu vody z povrchu pôdy a z vegetácie. Vzhľadom na to, že zemský povrch predstavuje pre atmosféru jediný zdroj vodnej pary a dominantný zdroj tepla, má energetická bilancia zemského povrchu veľký význam z hľadiska tvorby a dynamiky mikroklimy porastu a v podstatnej miere určuje aj energiu využiteľnú pre hydrologické procesy (WILD & OHMURA, 1997).

Vlastnosti klimaticky aktívneho povrchu sa v dôsledku náhleho rozpadu porastov značne zmenili, čo bol predpoklad pre ovplyvnenie aj energetickej bilancie kalamitnej oblasti ako aj pomer jednotlivých členov rovnice energetickej bilancie.

Hodnotenie energetickej bilancie sme vykonali v r. 2006, pre obdobie od 1.V. do 30.IX. na všetkých plochách pokalamitného výskumu, kde v tom čase boli nainštalované snímače radiačnej bilancie, globálneho slnečného žiarenia, teploty, vzduchu a jeho vlhkosti, teploty pôdy a rýchlosti vetra (MATEJKA & FLEISCHER, 2011).

Energetická bilancia zemského povrchu je kvantitatívne vyjadrená rovnicou energetickej bilancie

$$R = H + LE + P$$

kde R je radiačná bilancia zemského povrchu, H znamená turbulentný tok tepla, LE predstavuje tok tepla spotrebovaného na výpar a symbol P označuje tok tepla do pôdy.

Hodnoty radiačnej bilancie boli získané z výsledkov meraní bilancometrom, turbulentný tok tepla H bol určený metódou Bowenovho pomeru, tok tepla do pôdy bol vypočítaný z výsledkov meraní teploty pôdy vo viacerých hĺbkach pod povrchom numerickou integráciou rovnice popisujúcej vedenie tepla v pôde, tok tepla spotrebovaného na výpar bol stanovený pomocou matematického modelu vzájomných vzťahov v systéme „pôda – rastlinný porast – atmosféra“ (MATEJKA, 1997), ktorý bol úspešne verifikovaný priamo v kalamitnej oblasti TANAP-u. Chýbajúce hodnoty radiačnej bilancie na plochách REF a FIR boli pre výpočet štruktúry rovnice energetickej bilancie doplnené na základe zistených štatistických vzťahov medzi radiačnou bilanciou meranou na plochách REF a FIR a na Meteorologickom observatóriu Geofyzikálneho ústavu SAV v Starej Lesnej (OSTROŽLÍK, 2006).

V r. 2006 bola na ploche REF meteorologická veža vysoká 35 m, kde sa sledovali údaje energetickej bilancie pre podmienky dospelého lesa.

Hodnoty radiačnej bilancie boli priamo merané s bilancometrami. Porovnanie mesačných súm ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mesiac}^{-1}$) je v tab 18. Hodnoty poskytujú obraz o celkovej energii, ktorú mal k dispozícii klimaticky aktívny povrch na analyzovaných výskumných plochách.



Obr. 67 Snímače bilancie žiarenia a globálneho žiarenia na meteorologickom stožiarí na ploche EXT

Tab. 18 Mesačné sumy radiačnej bilancie povrchu na štyroch výskumných plochách v r. 2006

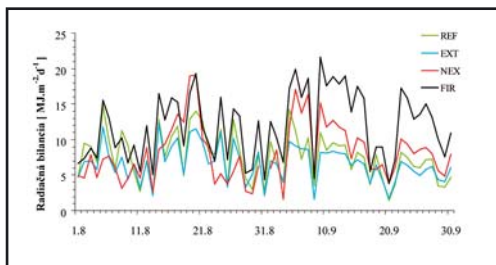
R [$\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mesiac}^{-1}$]	REF	NEX	EXT	FIR
V		293	236	
VI		395	307	
VII		368	337	374
VIII	256	224	218	329
IX	211	270	187	398

Najvyššie mesačné sumy radiačnej bilancie sme zistili na ploche FIR. V r. 2006 bol povrch spáleniska stále bez vegetácie. Tmavý povrch spáleniska intenzívne pohlcovao dopadajúce slnečné žiarenie, čo viedlo k značnému nárastu hodnôt radiačnej bilancie. Kvantitatívne vyjadrené, v priemere za celé hodnotené obdobie predstavovali mesačné sumy radiačnej bilancie na ploche FIR takmer 73 % z mesačných súm globálneho slnečného žiarenia dopadajúceho na povrch pôdy.

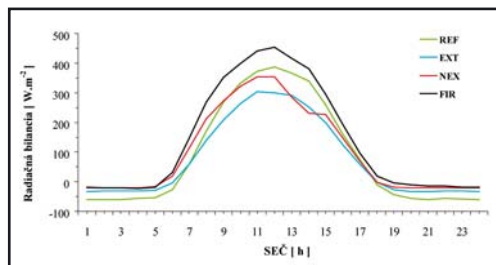
Pomerne vysoké sumy radiačnej bilancie povrchu pôdy sme zistili aj na ploche NEX s nerspracovanou kalamitou a na referenčnej ploche REF. Pre tieto dve výskumné plochy je z hľadiska hodnôt ich radiačnej bilancie významné to, že ich klimaticky aktívny povrch je vytvorený v jednom prípade zapojeným a v druhom prípade vetrom silne poškodeným ihličnatým lesom. Je totiž známe, že ihličnaté porasty z dopadajúceho slnečného žiarenia môžu absorbovať viac ako

90 %. V prípade plochy NEX nešlo o takýto extrémny prípad, keď priemerná hodnota pomeru radiačnej bilancie ku globálnemu slnečnému žiareniu za obdobie máj – september 2006 o niečo presiahla 58 %, aj to však postačilo k dosiahnutiu relatívne vysokých mesačných súm radiačnej bilancie. Počas celého sledovaného obdobia sa relatívne najnižšie mesačné sumy radiačnej bilancie povrchu vyskytli na ploche so spracovanou kalamitou EXT, kde radiačná bilancia tvorila v priemere za celé sledované obdobie len necelých 47 %.

Časový priebeh denných súm energetickej bilancie pre všetky štyri výskumné plochy za obdobie august – september 2006 je na obr. 68. Toto porovnanie je východiskom k stanoveniu, aké celkové množstvo energie mal k dispozícii klimaticky aktívny povrch na analyzovaných výskumných plochách a ako s touto energiou hospodáril.



Obr. 68 Denné sumy radiačnej bilancie povrchu výskumných plôch za obdobie august – september 2006



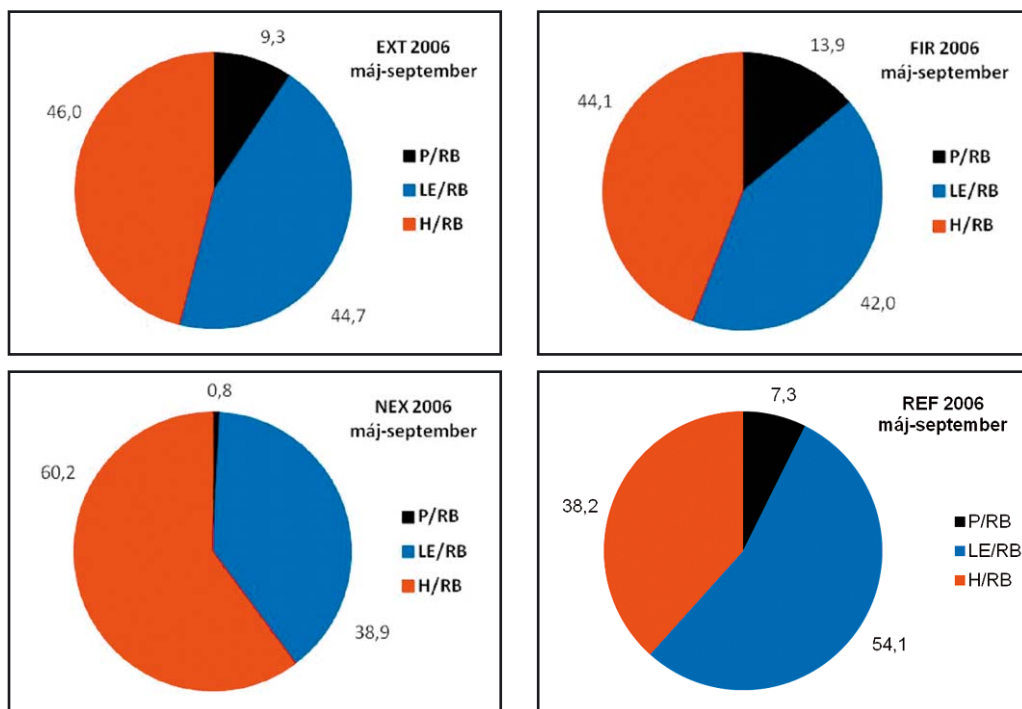
Obr. 69 Priemerné denné chody radiačnej bilancie povrchu na štyroch výskumných plochách v kalamitnej oblasti TANAP-u za obdobie august – september 2006.

Priebeh časových závislostí ilustruje radiačné pomery na výskumných plochách v kalamitnej oblasti, keď sa vysoké sumy radiačnej bilancie povrchu plochy FIR prejavili zvlášť výrazne najmä v mesiaci septembri. Tento fakt zrejme súvisí so skutočnosťou, že začiatkom septembra 2006 panoval ustálený charakter počasia s relatívne veľkou dĺžkou slnečného svitu a pomerne vysokými teplotami vzduchu. Za takýchto poveternostných podmienok mohol tmavý aktívny klimatický povrch, takmer nepokrytý vegetáciou, intenzívne absorbovať dopadajúce slnečné žiarenie a súčasne pomerne vysoké teploty vzduchu redukovali dlhovlnné tepelné vyžarovanie povrchu, čo v konečnom dôsledku viedlo k vysokým denným sumám radiačnej bilancie. Na druhej strane, denné sumy radiačnej bilancie na výskumnej ploche NEX boli, až na malé výnimky, počas oboch mesiacov stále najnižšie, pričom ich minimá klesali až k hodnotám okolo 1 MJ m⁻² za deň.

Aj denný (24 hodinový) chod radiačnej bilancie potvrdil výnimočné pomery na ploche FIR. Na obr. 69 vidieť, že priemerné hodinové hodnoty radiačnej bilancie povrchu FIR sú počas celých 24 hodín najvyššie zo všetkých sledovaných výskumných plôch a v poludňajších hodinách presahujú plochu EXT o viac než 100 Wm⁻². Veľkú fluktuáciu má plocha REF, keď cez deň presahuje kalamitné plochy, ale v noci hlboko klesá. Výsledný mesačný priemer je preto potom podobný ako na ploche s nespracovanou kalamitou NEX.

Z uvedeného vyplýva, že časovú dynamiku radiačnej bilancie nemožno interpretovať len na úrovni jej mesačných priemerov, ktoré sú prezentované v tab. 18 ale treba vziať do úvahy aj závery vyplývajúce z výsledkov meraní radiačnej bilancie v menšom časovom meradle na úrovni denných a hodinových priemerov.

Energiu radiačnej bilancie využíva klimaticky aktívny povrch v prvom rade k energetickému zabezpečeniu výparu z pôdy a rastlín a ďalej na zohrievanie najnižších vrstiev ovzdušia a povrchových vrstiev pôdy. Rozdelenie energie, ktorou povrch disponuje na tieto účely kvantifikuje štruktúra rovnice energetickej bilancie povrchu, teda vzájomný pomer jej jednotlivých zložiek. Pomer jednotlivých zložiek uvádzame vo forme grafov na obr. 70.



Obr. 70 Percentuálne vyjadrené pomery toku tepla do pôdy k radiačnej bilancii (P/RB), toku tepla spotrebovaného na výpar k radiačnej bilancii (LE/RB) a turbulentného toku tepla k radiačnej bilancii (H/RB) za obdobie máj – september rokov 2006 (podľa MATEJKA A FLEISCHER, 2011)

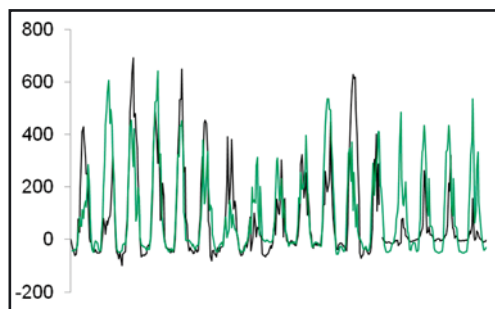
Plocha REF

Najviac energie z radiačnej bilancie, konkrétne 54,1 % pripadlo na energetické zabezpečenie transpirácie, (výparu vody z korún stromov) a výparu z lesnej pôdy, čo je na obr. vyjadrené tokom tepla spotrebovaného na výpar (LE). Na turbulentný tok tepla pripadlo na ploche REF v hodnotenom období 38,2 % z radiačnej bilancie. Malý podiel toku tepla v pôde, len 7,7 % na radiačnej bilancii je v súlade so skutočnosťou, že v prípade zapojeného lesného porastu úlohu klimaticky aktívneho povrchu preberá korunová vrstva.

Bowenov pomer (pomer turbulentného toku tepla k toku tepla spotrebovaného na výpar), mal hodnotu 0,71, čo svedčí o tom, že pôdna vlhkosť v koreňovej zóne bola dostatočne vysoká, takže celkove ne limitovala evapotranspiráciu.

Plocha FIR

V porovnaní s referenčným porastom na ploche FIR výrazne narástol podiel toku tepla do pôdy. V absolútnych hodnotách prekračuje suma toku tepla do pôdy na ploche FIR zodpovedajúcu hodnotu z plochy REF viac než trojnásobne, v relatívnom vyjadrení sa na tok tepla do pôdy spotrebovalo takmer 14 % z radiačnej bilancie. Na turbulentný tok tepla pripadlo 44 % z radiačnej bilancie, plochy FIR, čo



Obr. 71 Bilancia žiarenie ($W \cdot m^{-2}$, 60 min. priemer) nad stále holým spáleným povrchom (čierna) a nad vegetáciou pokrytým povrchom, plocha FIR, 1.–17. 6. 2011

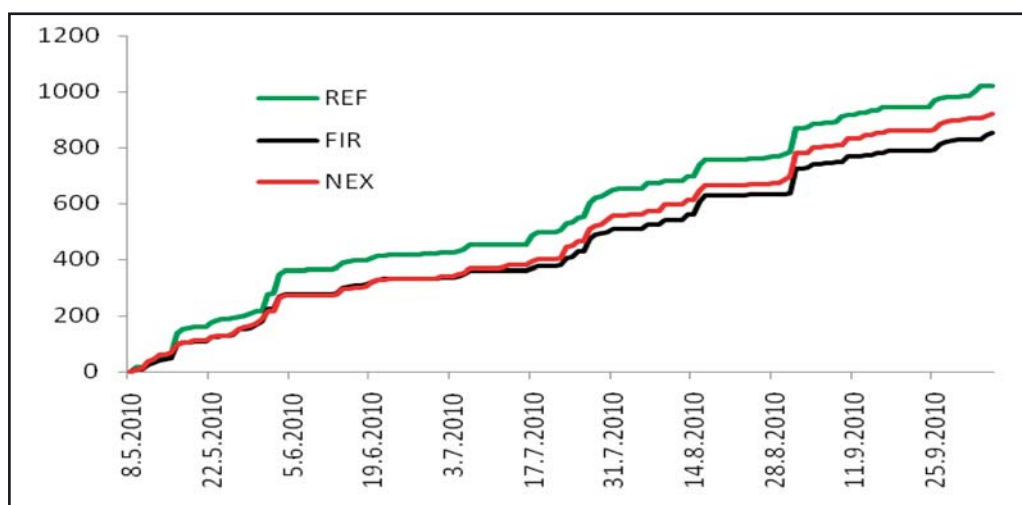
je výrazne viac než na ploche REF a dialo sa tak hlavne na úkor toku tepla spotrebovaného na výpar, ktorého podiel na radiačnej bilancii poklesol na 42 %. Z povrchu plochy FIR sa vyparilo za celé hodnotené obdobie len 244 mm vody, čo je o dosť menej než sa vyparilo za rovnaké obdobie z plochy REF. Priemerná hodnota Bowenovho pomeru pre plochu FIR narástla v porovnaní s plochou REF na 1,05.

Značná časť energie radiačnej bilancie, konkrétne 13,9 %, sa využila na ploche FIR na tok tepla do pôdy. V r. 2011 sa bilancia oproti roku 2006 výrazne zmenila. Podľa predbežných výpočtov počas vegetačného obdobia klesla o takmer 30 %. Bilancia nad vegetáciou pokrytou a stále holou plochou spáleniska ešte v r. 2011 v poludňajších hodinách udávali rozdiel okolo 200 W.m^{-2} (obr. 71). Predbežné výsledky z r. 2011 naznačujú, že tok tepla do pôdy sa dramaticky znížil v prospech tepla na výpar (ústna informácia Matejka).

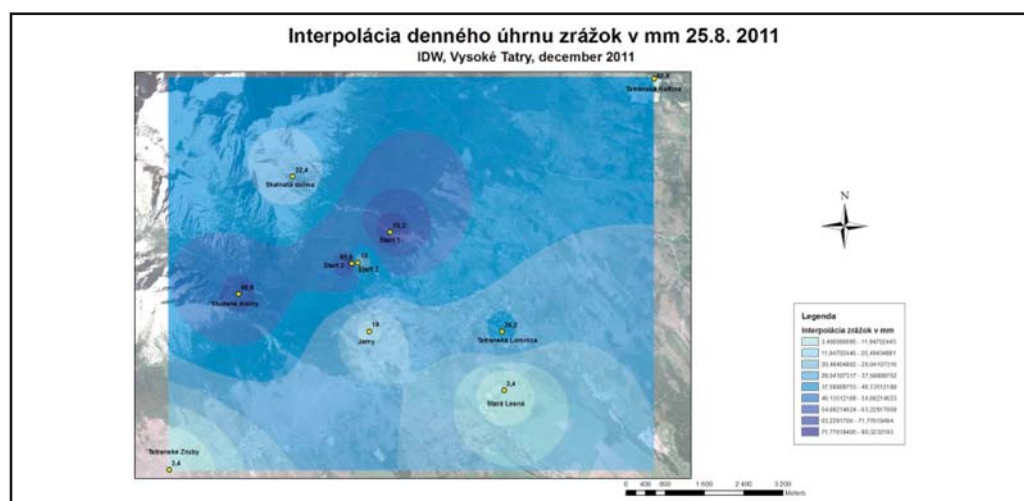
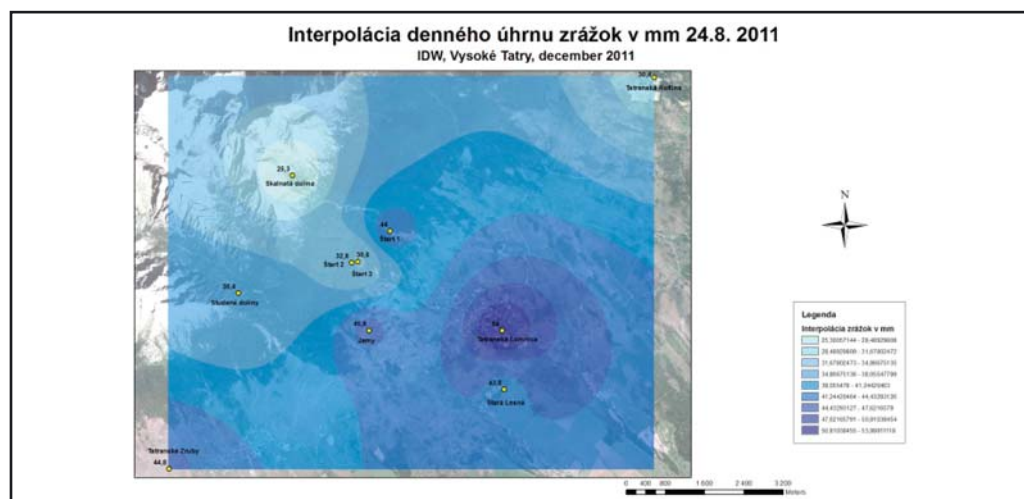
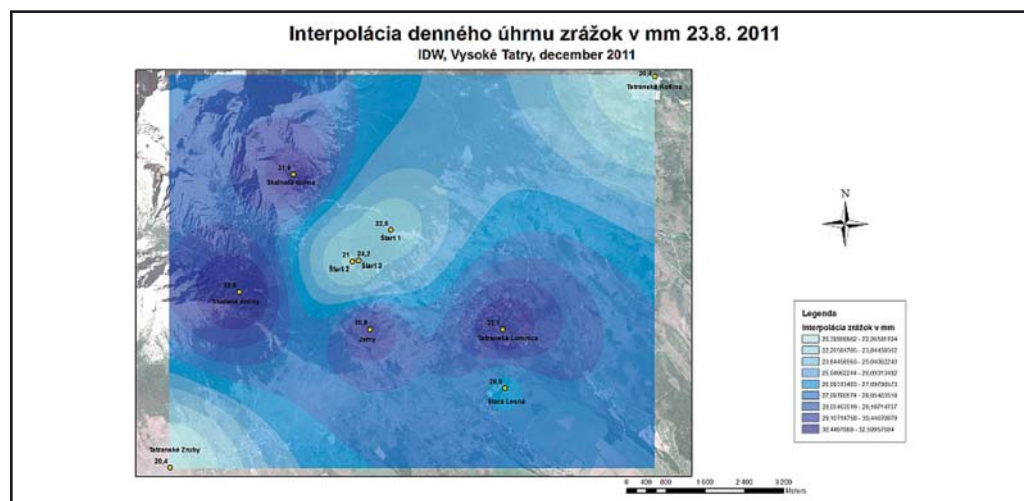
3.5 Zrážkové a odtokové pomery na kalamitných plochách

Zrážky na kalamitných plochách sú sledované minimálne počas vegetačného obdobia (V.–VIII.) pomocou preklápacích zrážkomerov Davis (USA) s citlivosťou 0,2 mm. Zrážkomery sú umiestnené na meteorologických staniciach v rámci každej plochy pokalamitného výskumu. V zásade zrážkové úhrny zodpovedajú hodnotám zo staníc siete SHMÚ a ILTER-SL TANAP najmä pri hodnotení celého vegetačného obdobia. Malé rozdiely v zrážkových úhrnoch na sledovaných lokalitách potvrdzujú podobnosť stanovištných pomerov ako významného kritéria pre vhodnosť plôch pre porovnávací výskum. Na obr. 72 uvádzame sumárny priebeh zrážok na ploche REF, FIR a NEX v r. 2010 v období 1. 5. do 30. 9. 2010.

Pri mesačných, ale najmä denných zrážkových úhrnoch, sa hodnoty môžu výrazne odlišovať. Najväčšie rozdiely v úhrnoch sa vyskytujú najmä pri lokálnych búrkových situáciách. Z hľadiska intenzity zrážok bola výnimočná udalosť koncom augusta 2011. Počas mimoriadne silných búrok sme vo východnej časti kalamitou postihnutého územia od 23. do 25. 8. 2011 zachytili na sieti 9 zrážkomerov úhrny od 74 mm (Stará Lesná) do 136 mm (Štart) zrážok. Pozoruhodná bola najmä situácia dňa 25.8., keď na lokalite Štart za 2 hodiny spadlo 80,6 mm. Prietrž bola sústredená len na úzku oblasť, preto škody z vyliatych potokov boli relatívne malé vzhľadom ku množstvu a intenzite zrážok. Priestorový model distribúcie zrážok v uvedených dňoch je na obr. 73.



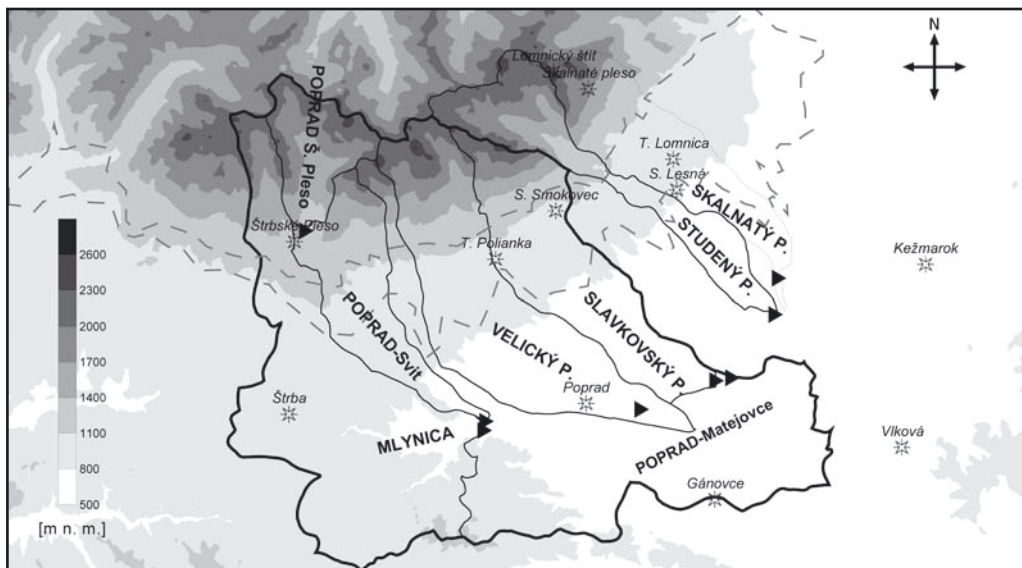
Obr. 72 Úhrn zrážok (mm) na lokalite REF, FIR a NEX (V.-IX., 2010)



Obr. 73 Priestorový model distribúcie zrážok, august 2011 (FLEISCHER a kol., 2011)

Odtokové pomery

Odlesnenie vo Vysokých Tatrách spôsobené veternou kalamitou 19.11. 2004 vyvolalo okrem iného aj obavy spojené so zmenou hydrologického režimu, najmä s väčším ohrozením povodňami. V tejto súvislosti KOSTKA et al. (2005) a KOSTKA & HOLKO (2005) urobili odhad možnej zmeny odtoku pomocou matematického modelovania, analýzu hydrologických pomerov v subpovodiach horného Popradu pred a po kalamite založenú na meraných údajoch (napr. HOLKO et al., 2009) a porovnali odtokové pomery v niekoľkých novozaložených mikropovodiach a reakciu povodí s rôznym stupňom odlesnenia (HOLKO et al, 2009b; HOLKO et al., 2011).

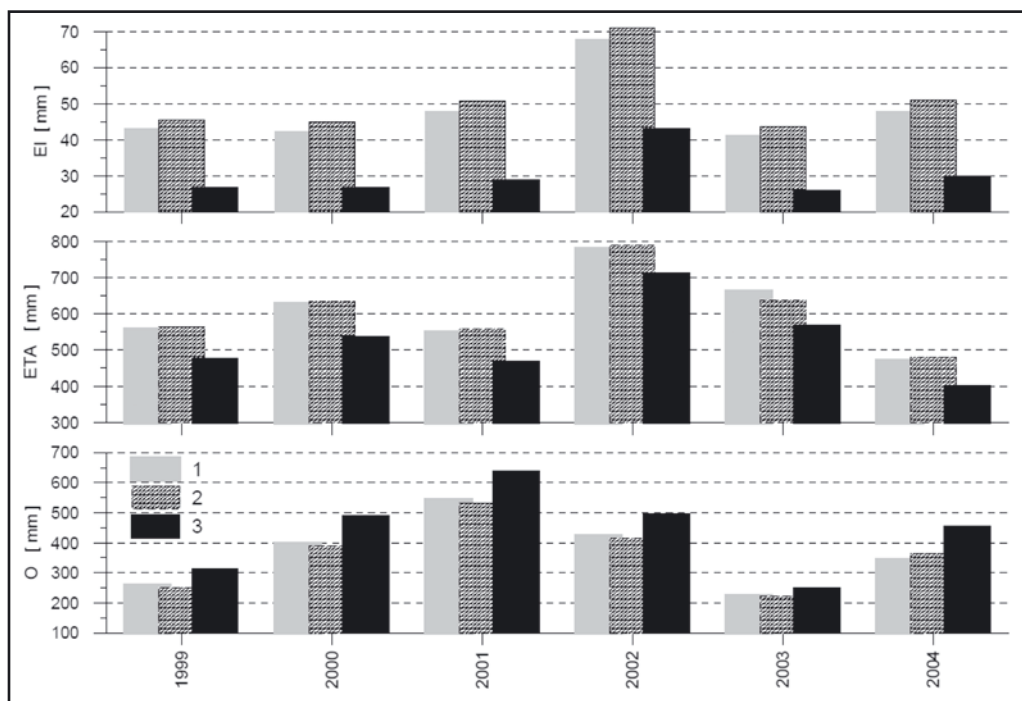


Obr. 74 Skúmané povodia (názov toku je tlačенými písmenami, pri rieke Poprad je uvedený aj merný profil), rozmiestnenie zrážkomerov použitých pri výpočte zrážkových úhrnov v povodiach (hviezdičky, názvy staníc) a hranica územia postihnutého veternou kalamitou (prerušovaná čiara); trojuholníky označujú limnigrafy v záverečných profiloch skúmaných povodí. Zdroj: HOLKO et al., 2011

Tab. 19 Sumárne výsledky analýzy hodinových údajov (jún – september) z hydrologických rokov 2002 – 2007 v povodiach z najväčším odlesnením; TC – čas koncentrácie, Q_0 – prietok na začiatku vlny, Q_{max} – kulminačný prietok (Holko et al. 2009a).

	Velický potok		Slavkovský potok	
	2002–2004	2005–2007	2002–2004	2005–2007
Počet vln	20	24	20	24
TC [hod.]	9	11	8	12
Q_0 [$m^3 \cdot s^{-1}$]	1,215	1,590	0,610	0,742
Q_{max} [$m^3 \cdot s^{-1}$]	6,049	3,921	3,330	2,550
Q_{max}/Q_0	4,8	2,7	5,4	3,5
$Q_{max}/Q_0/TC$	0,6	0,4	1,1	0,4

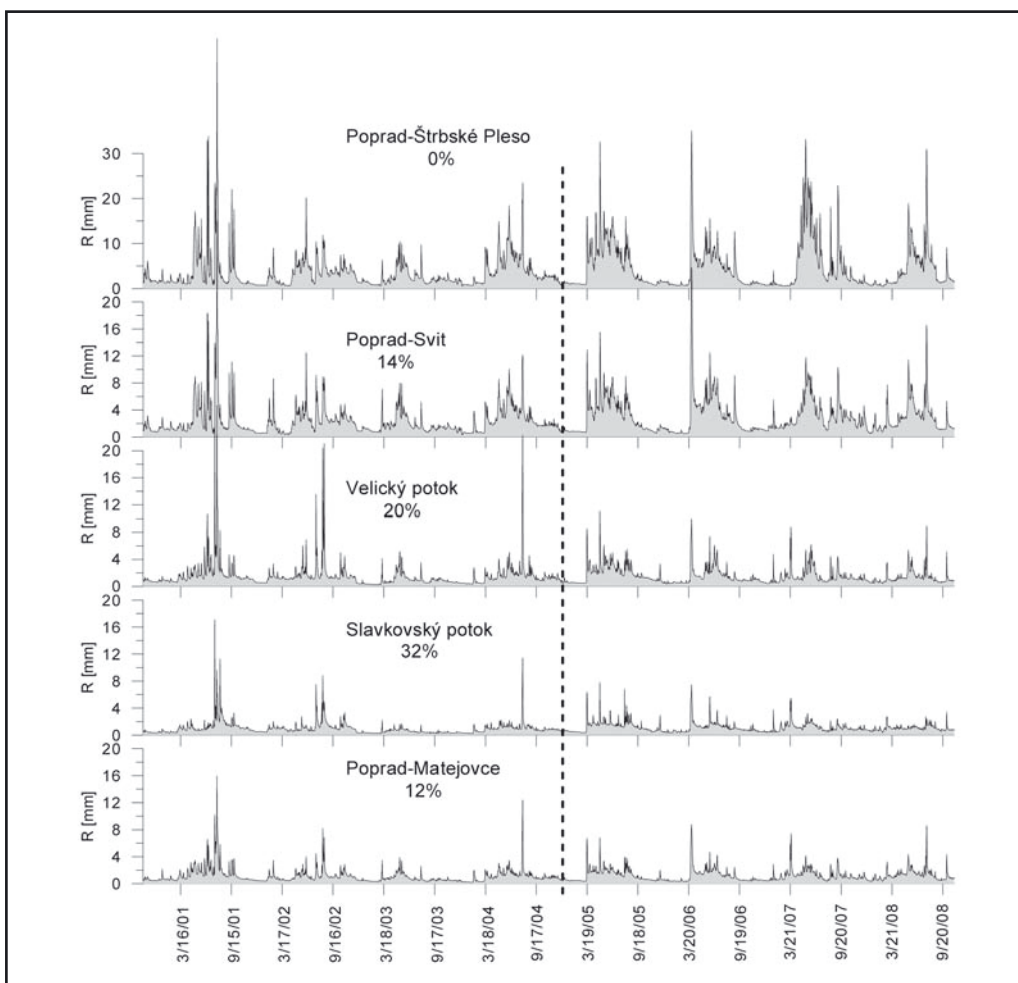
HOLKO et al. (2011) uvádza, že analýza meraných zrážkových a odtokových údajov pred a po kalamite nepreukázala významné zmeny hydrologického cyklu, čo potvrdili aj matematické modely. Na niektorých sledovaných tokoch (obr. 75) došlo k mierne zvýšenej variabilite odtoku



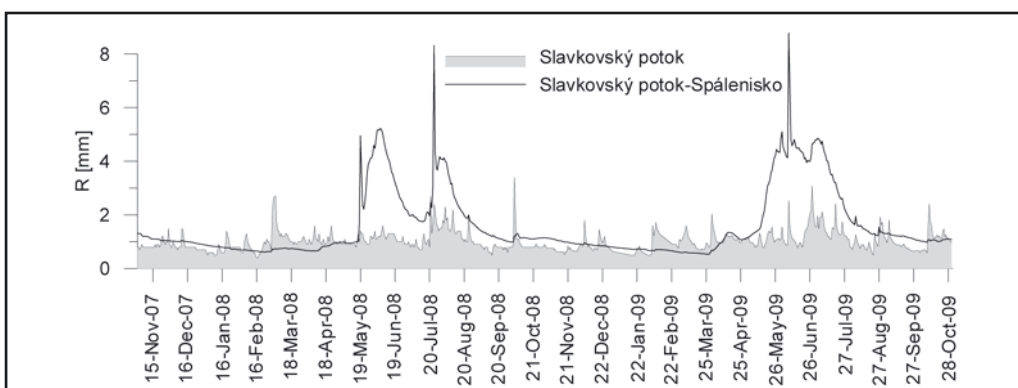
Obr. 75 Ročný úhrn simulovaného odtoku (O), aktuálnej evapotranspirácie (ETA) a intercepcie (EI) pre povodie Slavkovského potoka pre rôzne vegetačné scenáre; 1 – vegetačné pomery reprezentujúce stav do 19. 4. 2004, 2 – vegetácia na území postihnutom kalamitou nahradená kosodrevinou, 3 – vegetácia na území postihnutom kalamitou nahradená trávou (KOSTKA & HOLKO, 2005)

po kalamite, ale analýza vln (tab. 19) ani index prívalovosti nepotvrdili významné zmeny. Podľa Tab. 19 sa po kalamite mierne zvýšil počet vln a prietok na začiatku vlny, ale maximá sa znížili. Index prívalovosti po kalamite dokonca poklesol. Ani zmeny vypočítaného základného odtoku po kalamite nie je možné prisúdiť vplyvu odlesnenia. Z hľadiska zmeny celkového odtoku merané údaje nepotvrdili nárast odtoku v povodí Slavkovského potoka predpokladaný matematickým modelom.

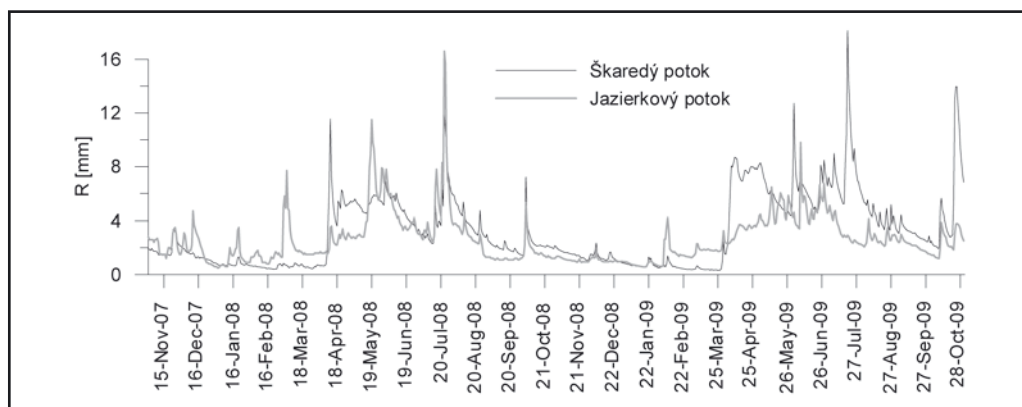
Merania v mikropovodiach s rôznym stupňom odlesnenia poskytli zaujímavé údaje o priebehu odtoku v povodí s dominantným postavením morén (obr. 77), ale porovnanie priebehu odtoku z odlesneného a zalesneného povodia neukázalo zmeny, ktoré by mohli byť prisúdené odlesneniu (obr. 78). Obr. 77 ukazuje, že odtok v mikropovodí Slavkovského potoka-Spálenisko nereaguje na všetky zrážkové udalosti tak, ako celé povodie Slavkovského potoka (obvyklá reakcia), ale iba na najväčšie dažde. Na priebeh odtoku v mikropovodí Slavkovského potoka-Spálenisko má podľa nášho názoru dominantný vplyv akumulačná funkcia morén v najvyššej časti povodia. Takýto priebeh odtoku v našich najvyšších horských povodiach podľa našich poznatkov dosiaľ nebol meraný. Obr. 78 ukazuje, že priebeh odtoku v úplne zalesnenom povodí Škaredého potoka a úplne odlesnenom povodí Jazierkového potoka nebol dramaticky odlišný (HOLKO et al., 2011).



Obr. 76 Denné hodnoty odtoku v subpovodiach horného Popradu pred a po kalamite; vznik kalamity je označený zvislou čiarkovanou čiarou; číslo v percentách pod názvom povodia udáva odlesnenie spôsobené kalamitou



Obr. 77 Neobvyklý priebeh odtoku z mikropovodia Slavkovský potok-Spálenisko v porovnaní s odtokom z celého povodia Slavkovského potoka



Obr. 78 Priebeh odtoku v zalesnenom povodí Škaredého potoka a v úplne odlesnenom povodí Jazierkového potoka v hydrologických rokoch 2008 a 2009

Výsledky matematického modelovania a analýzy meraných údajov nepotvrdili dramatické zmeny odtokového režimu v subpovodiach horného Popradu, ktoré boli postihnuté odlesnením spôsobeným veternou kalamitou v novembri 2004. Príčin je pravdepodobne niekoľko a za najvýznamnejšie považujeme:

- **rozsah a lokalizácia kalamity** – napriek tomu, že kalamita zasiahla veľké územie, odlesnenie v jednotlivých povodiach nebolo také extrémne, aby sa výrazne prejavilo na odtoku. Odlesnenie totiž prebiehalo naprieč povodiami, nie pozdĺž nich. Vďaka tomu nedošlo k úplnému odlesneniu väčších povodí. Väčšina zrážok v postihnutých povodiach padá vo vyšších nadmorských výškach. Tam sa dominantne rozhoduje aj o tvorbe odtoku a v týchto oblastiach sa kalamita nevyskytla.
- **geologická stavba územia a vlastnosti pôd** – pôdy na území postihnutom kalamitou majú vysoký obsah skeletu a sú dobre priepustné. Zvýšený prísun vody, ktorý sa dal krátko po odlesnení a odstránení kalamity (najkritickejšie obdobie z hľadiska tvorby odtoku) predpokladať vzhľadom na menšiu intercepciu teda mohol infiltrovať do podłożia, ktoré je tvorené najmä glaciáluviálnymi a glaciénnymi sedimentami s veľkou akumulácnou kapacitou.

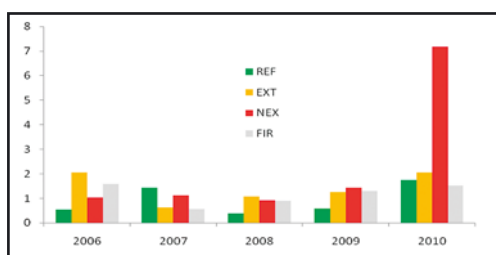
Všeobecne možno konštatovať, že úvahy o vplyve odlesnenia na odtok a povodne treba odvíjať od možnej retenčnej kapacity zalesnených území a konfrontovať ich so zrážkovými úhrnmi, ktoré sa v nich môžu vyskytnúť. Vplyv lesa na hydrologickú bilanciu z hľadiska pomeru evapotranspirácie a odtoku v dlhšom časovom úseku je väčší, ako vplyv inej krajinej pokrývky. Porovnávacie merania ukázali, že aj vplyv lesa na znižovanie odtoku počas dažďa býva vyšší ako pri inej vegetácii (kríky, tráva, poľnohospodárske plodiny). Odlesnenie však automaticky nemusí znamenať zvýšený výskyt povodní, čo sa potvrdilo aj po kalamite vo Vysokých Tatrách.

4 Fyziologické procesy na kalamitných plochách

Zvrat lesných porastov, úplný, alebo len čiastočný, na časti územia skombinovaný s požiarom spôsobil významné zmeny v mikroklimatických, hydrických, živinových pomeroch na postihnutom území. Fyziologickým zmenám predovšetkým v pôdnom prostredí sa na „kalamitných“ trvalých výskumných plochách systematicky venuje GOMORYOVÁ (2011), ŠIMONVIČOVÁ (2011), ČUCHTA et al. (2012)

Rozklad celulózy

Intenzita rozkladu celulózy ako indikátor biologickej aktivity pôdy bola v smrekovcových smrečinách 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)



Obr. 79 Priemerný rozklad celulózy (mg.deň⁻¹) na sledovaných plochách v r. 2006–2010

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 je pozorovaný na všetkých plochách sústavne rastúci trend. Priebeh priemernej intenzity rozkladu na jednotlivých plochách za sledované obdobie je na obr.79.

4.2 Primárna produkcia

Produkcia biomasy je spolu s ďalšími parametrami rastlinných spoločenstiev (pokryvnosť, druhovú zloženie, hustota populácie a iné) dôležitým indikátorom vitality druhu na stanovišti. Je odrazom úspešného vývoja, konkurenčných vzťahov a pôdno-hydrických pomeroch (KRÍŽOVÁ et al. 2007).

Tvorba biomasy po disturbanciách (vetrové kalamity, ťažba) obvyčajne prekračuje hodnoty v pôvodnom lese až niekoľkonásobne. V Krušných horách PYŠEK (1991) zistil až 8-násobný nárast. Vegetácia zvýšeným rastom reaguje na zmenené svetelné (teplotné) a trofické podmienky. V ranných fázach sukcesie sa uplatňujú druhy so schopnosťou rýchleho šírenia, s rýchlou tvorbou biomasy, vysokou regeneračnou schopnosťou, vyšším povrchom a sacím potenciálom koreňov (SLAVÍKOVÁ 1968).

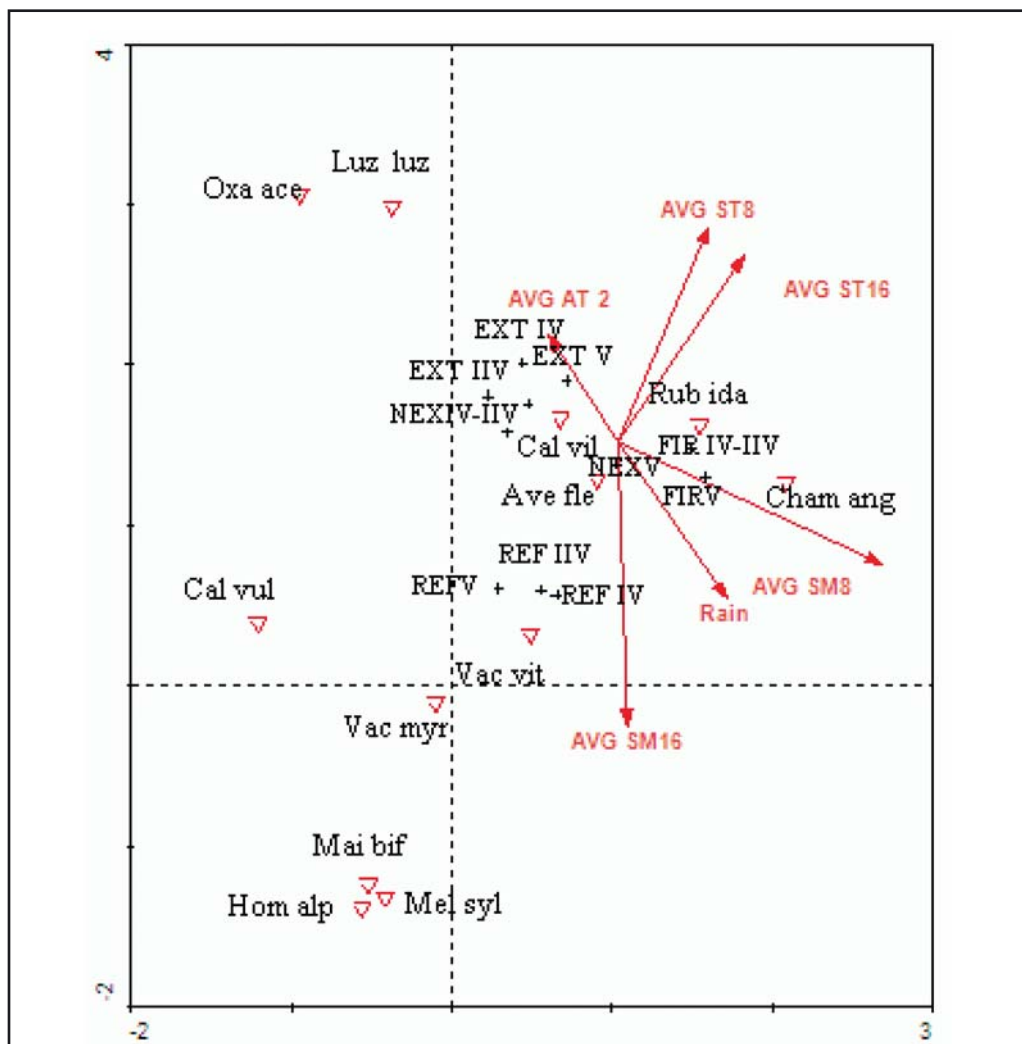
Primárnu produkciu nadzemnej biomasy sledovala KRÍŽOVÁ a kol. (2010) na plochách po kalamitného výskumu od r. 2005. Pozornosť sústredila na druhy typické pre čučoriedkovo-smrekové lesy (*Vaccinium myrtillus*) a druhy ovládajúce sukcesiu (*Calamagrostis villosa*, *Chamaerion angustifolium*). Hodnoty v jednotlivých rokoch sa vyznačovali skokovými zmenami, čo zatiaľ komplikuje jasnejšie definovanie vývojových trendov.

V referenčnom, nepoškodenom poraste konštatovala stabilný stav. Produkcia biomasy bola najnižšia a v r. 2010 bola 2100 kg.ha⁻¹. *Vaccinium myrtillus* tvoril vyše 90 %. Na ploche so spracovanou kalamitou ustúpili lesné druhy a nastúpili konkurenční stratégovia. Ako najvitálnejší

sa prejavil *Chamaerion angustifolium*, a to predovšetkým vo vzťahu k *Vaccinium myrtillus* a *Callamagrostis villosa*. Je pravdepodobné, že po odčerpaní zásob pôdneho dusíka tento druh ustúpi a uvoľní miesto pre *Callamagrostis villosa*. V r. 2010 bola biomasa s hmotnosťou okolo 3000 kg.ha⁻¹. Takmer 55 % tvoril *Callamagrostis villosa*, 33 % *Chamaerion angustifolium* a zvyšok *Vaccinium myrtillus*. Na nespracovanej ploche autorka v r. 2010 zistila biomasu s hmotnosťou 4400 kg.ha⁻¹. Absolútne dominantný na celkovej biomase bol *Callamagrostis villosa* s podielom 88 %.

Biomasa prízemnej vegetácie

Tvorba ročnej biomasy rastlinných spoločenstiev a druhov potvrdila tesné závislosti s faktormi prostredia (FLEISCHER & HOMOLOVÁ, 2012). Pri druhu *Callamagrostis villosa* tvorba biomasy silne koreluje s teplotou vzduchu ($r = 0,96$). Nárast biomasy *Vaccinium myrtillus* pozitívne koreluje s pôdnou vlhkosťou v hĺbke 16 cm ($r = 0,97$). Biomasa druhu *Chamaerion angustifolium* pozitívne koreluje s pôdnou vlhkosťou v hĺbke 8 cm ($r = 0,96$), ako je uvedené na obr. 80.



Obr. 80 CCA, triplot, vzťah medzi faktormi prostredia a vybranými rastlinnými druhmi. AVG AT 2 – priemerná teplota vzduch, 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.

Biomasa ako indikátor zmien

Primárna produkcia vybraných druhov bylinnej synúzie v roku 2010 odobratých v troch cykloch je uvedená v tab. 20. 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* a na lokalite FIR, ale iba na miestach ktoré boli viac prehorené. Na plochách NEX a REF EXT je schopný úspešne odolávať konkurencii *Calamagrostis villosa* chamaefyt *Vaccinium myrtillus* a *Luzula luzuloides* na lokalite EXT, ktoré predstavujú pôvodné druhy lesných spoločenstiev *Lariceto-Picetum*. Na plochách NEX a REF EXT je schopný úspešne odolávať konkurencii *Calamagrostis villosa* chamaefyt *Vaccinium myrtillus* a *Luzula luzuloides* na lokalite EXT. 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 pokrývnosti, ich kompetičný tlak sa na kalamitných plochách ešte neprejavil.

Tab. 20 Primárna produkcia biomasy (g.m⁻²) vybraných druhov na sledovaných kalamitných plochách

BIOMASA (g/m ²)	REF			EXT			FIR			NEX		
	jún	júl	august	jún	júl	august	jún	júl	august	jún	júl	august
<i>Vaccinium myrtillus</i>	34,95	36,41	27,14	27,30	39,39	33,54	3,89	7,69	8,25		31,62	
<i>Homogyne alpina</i>	1,45	1,52	2,31									
<i>Melapyrum sylvaticum</i>	2,49	3,76	3,78	0,18	0,23	0,36						
<i>Oxalis acetosella</i>	0,07	0,08	0,46	21,72	21,72	6,23	0,02	0,02	0,12	0,62	0,78	0,62
<i>Calamagrostis villosa</i>	2,72	30,2	6,55	169,28	169,28	241,17	172,58	395,45	320,65	402,33	476,56	506,28
<i>Avenella flexuosa</i>	0,06	0,29	0,38	0,90	0,90	1,12	0,33	1,62	2,13	0,21	1,26	1,75
<i>Luzula luzuloides</i>	0,60	1,30	1,50	105,3	105,3	108,6	6,01	9,44	10,25	3,13	4,72	5,01
<i>Vaccinium vitis-idaeus</i>	2,32	3,13	0,11	5,15	5,15	4,13	3,98	4,03	4,14	4,52	4,81	6,51
<i>Chamaerion angustifolium</i>	1,49	9,36	12,09	10,36	10,36	12,45	529,75	609	645,54	5,97	6,83	6,09
<i>Calluna vulgaris</i>										9,58	3,39	11,45
<i>Mainthemum bifolium</i>	0,44	0,98	1,00									
<i>Rubus idaeus</i>							4,03	32,58	33,07	3,21	14,27	16,57

Dominantnými druhmi lesov, ktoré sa vyskytujú v štádiu stojaceho lesa a kalamitnej plochy sú druhy *Avenella flexuosa*, *Calamagrostis villosa*, *Vaccinium myrtillus*. 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*. Druhy *Chamaerion angustifolium* a *Rubus idaeus* diferencujú kalamitné štádium smrekovej smrečiny od štádia stojaceho lesa.

Primárnu produkciu na sledovaných lokalitách v priebehu vegetačného obdobia ovplyvňovali faktory teplota vzduchu a pôdna vlhkosť. KUBÍČEK, 2001 uvádza, že pôdna vlhkosť je významným faktorom ovplyvňujúcim výšku produkcie biomasy bylinnej synúzie. Podobne aj FLEISCHER & KOREŇ (2009) potvrdzujú, že vývoj vegetácie má významný vplyv na pôdnu vlhkosť. Vzájomný vzťah medzi vegetáciou a pôdnou vlhkosťou sa prejavil aj v našich výsledkoch. Najnižšie hodnoty biomasy počas vegetačného obdobia synúzie bylín sme zaznamenali na lokalite REF, ktorú ovplyvňuje stojatý les hlavne obmedzeným svetelným prímom, transpiráciou, interceptiou. Na všetkých kalamitných plochách sa prejavuje *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*. Intenzívnym rozvojom tohto druhu sa vytvorila mohutná vrstva koreňov, odumretých a živých trsov s izolačným účinkom voči prestupu tepla a evaporácii.

Porastové pomery

Už v 90-tych rokoch min. stor. (FLEISCHER, 1999) sme na príklade 50-tich výskumných plôch v spoločenstve smrekovcových smrečín konštatovali vysoké porastové zásoby, veľké počty stromov, nepriaznivé ukazovatele statickej a ekologickej stability (sústreďenie hmoty do stromov v nadúrovni, ubúdanie podúrovňových stromov, zjednodušovanie vertikálnej a druhovej štruktúry).

Vetrová kalamita zničila väčšinu trvalých výskumných plôch na dlhodobé sledovanie porastovej štruktúry smrekovcových smrečín. Doteraz sme zhodnotili rastové pomery len na jednej takmer nepoškodenej ploche, založenej v r. 1972 (TUROK, 1990) s opakovaným meraním v r. 1995 (FLEISCHER, 1999). Výsledky prirodzene nemožno zovšeobecňovať na celé spoločenstvo, ale vzhľadom na dlhý časový rad ich uvádzame v tab. 21. Z výsledkov vyplýva, že napriek zníženému počtu stromov, pokračoval nárast kruhovej plochy takmer bez zmeny.

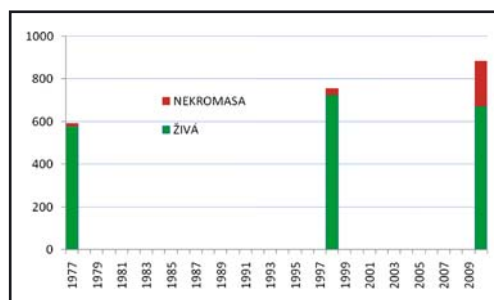
Tab. 21 Základné porastové charakteristiky TVP (prepočítané na 1 ha)

	1972	1995	2010
N	1514	1443	1358
KP	900	1032	1131
PKPJ	0,6	0,7	0,8

N – počet stromov, KP – kruhová plocha porastu (m^2/ha),
PKPJ – priemerná kruhová plocha jedince (m^2)

Výrazne sa zvýšil priemerný ročný hmotový prírastok. Kým do r. 1999 bol $6 \text{ m}^3/\text{ha}$, v poslednom období dosiahol až $9 \text{ m}^3/\text{ha}$. Na obr. 81 uvádzame vývoj zásob (m^3/ha) v sledovaných rokoch v členení na živú hmotu a nekromasu (stojaca + ležiaca).

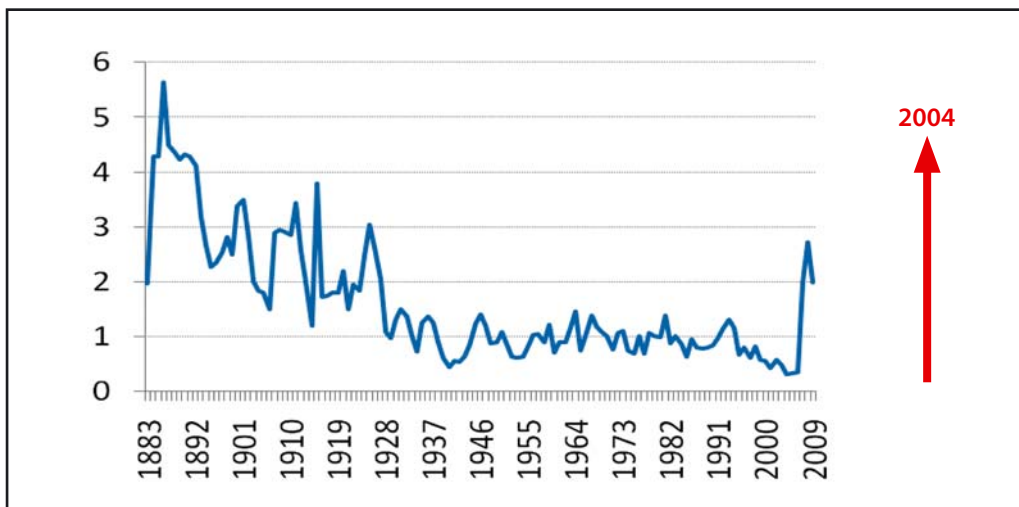
Takýto objem drevnej biomasy v poraste vo výške 1300 m n.m., na plytkej, minerálne chudobnej pôde (podzol rankrový) je prekvapujúci výsledok. Porast bol pravdepodobne v minulosti postihnutý vetrovou kalamitou, o čom svedčí prítomnosť predrastavých 150–180 ročných smrekovcov a 80–130 ročných smrekov v 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 rozvratmi. Rastúce teploty vzduchu, dostatočné zrážky vo vegetačnom období a stúpajúce depozície dusíka môžu intenzitu rastu stromov a jeho nepriaznivé dôsledky na lesné porasty ešte zvýšiť.



Obr. 81 Zásoba TVP Pod Slavkovským ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) v r. 1972, 1995 a 2010 v členení na živá hmotu a nekromasa

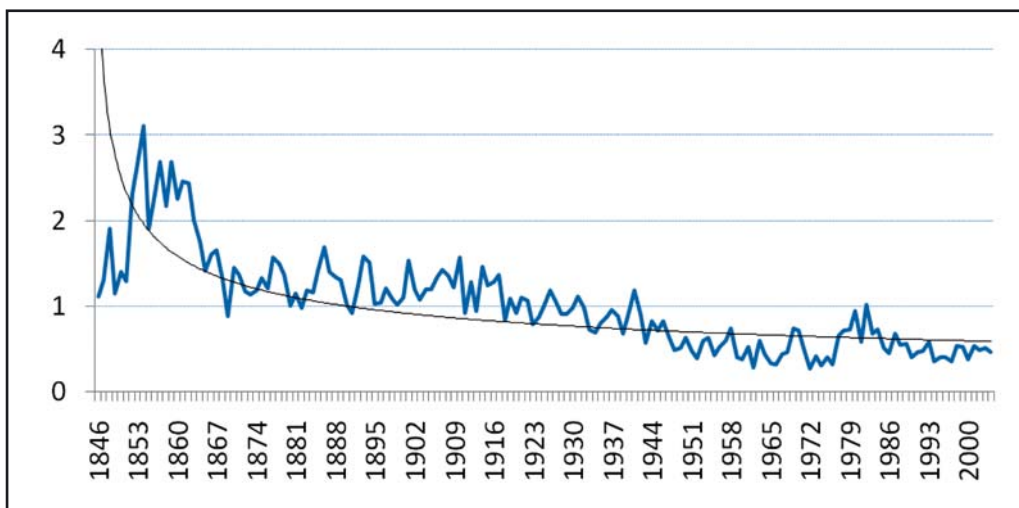
Rast na nepoškodených stromoch. Marker disturbancií.

Radiálny prírastok (v mm) na smrekovcoch, ktoré odolali víchrici v r. 2004 potvrdzuje skokový nárast (z hodnotu 0,3 v r. 2004 mm až na 2,8 v r. 2008), ktorý sa blíži intenzite rastu v najmladšom období. Takéto „skoky“ slúžia ako marker pre stanovenie výskytu podobných disturbancií v minulosti (HOLEKSA et al, 2011).



Obr. 82 Ročný radiálny prírastok (v mm) na smreku, ktorý prežil vetrovú kalamitu 2004, lokalita Vyšné Hágy. (Podľa FLEISCHER 2008)

Je pozoruhodné, že intenzívny rast v mladom veku sme nezistili na mimoriadne starých jedincoch (vek viac ako 150 rokov). V zhode s Backmanovou zákonitosťou o intenzite rastu a veku (napr. JANKOVIČ a kol., 2007), usudzujeme, že „disturbančný“ režim pravdepodobne bude limitujúcou podmienkou pre dosiahnutie vysokého fyzického veku aj obnovujúcich sa edifikátorov (najmä smrek) na hodnotených plochách v budúcnosti.



Obr. 83 Radiálny prírastok (v mm) na smreku trvalo rastúcom v zápoji, lokalita Štrbské Pleso (Podľa FLEISCHER 2008)

Súčasný mohutný výškový rast lesných drevín v luxusných svetelných a trofických podmienkach kalamitných plôch nie je zárukou pre dlhodobú ekologickú stabilitu týchto porastov, ale je nutnou podmienkou pre vytvorenie vhodnejších mikroklimatických podmienok už v relatívne krátkom čase.

4.3 Pôdna respirácia

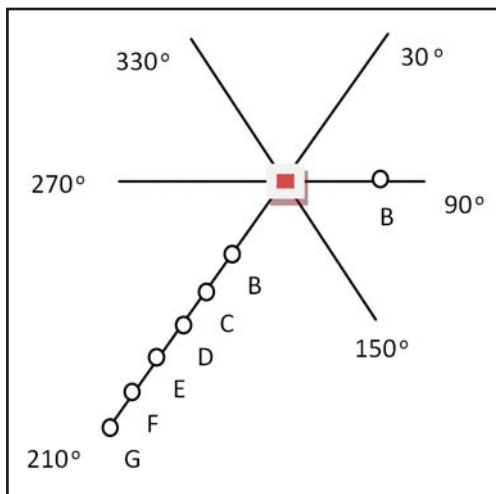
Pôdna respirácia ako hlavný tok uhlíka medzi terestrickými ekosystémami a atmosférou ročne uvoľňuje 68 až 80.10¹² kg uhlíka (REICH & SCHLESSINGER 1992, WAN & LUO 2003), čo je desaťnásobkom uhlíka unikajúceho do atmosféry zo spotreby fosílnych palív a odlesňovania spoločne (SULZMAN et al. 2004). Preto i malé zmeny v celkových tokoch môžu ovplyvňovať tepelnú bilanciu a chemizmus atmosféry resp. aj malá zmena v pôdnej respirácii môže významne spomaliť alebo urýchliť narastanie atmosférického CO₂ a jeho účinky na klimatické zmeny (REICH & SCHLESSINGER, 1992). V posledných rokoch sa rizikom pre akumuláciu uhlíka v lesoch stáva rastúca frekvencia a intenzita disturbancií (BALDOCCHI 2008), po ktorých sa lesy z depónia uhlíka stávajú jeho zdrojom. Za najvýznamnejší faktor pre jeho náhle uvoľnenie do atmosféry sú považované lesné požiare, vetrové polomy (SANO et al. 2010, USBECK et al. 2010) a hynutie lesov napadnutých hmyzom (KURZ et al. 2008). V súvislosti s globálnymi zmenami klímy sa očakáva nárast víchríc a vetrom poškodených lesov (IPCC 2007). Všeobecne je však informácií o dynamike uhlíka po veľkoplošných prírodných katastrofách veľmi málo (DON et al. 2006).

Lesné porasty poškodené víchricou v novembri 2004 vo Vysokých Tatrách sa stali vhodnou príležitosťou pre sledovanie dynamiky uhlíka v horských smrekových lesoch, najmä vzhľadom na diferencované spracovanie kalamity. Už v jeseni 2005 boli vďaka technickej a personálnej podpore a spolupráci s nemeckým Inštitútom M. Plancka z Jeny a talianskou Univerzitou vo Viterbo vybudované 3 lokality na sledovanie tokov uhlíka metódou eddy covariancie. Snímače CO₂ boli umiestnené na stožiaroch 5 m nad vegetáciou. Pre verifikáciu údajov o pôdnej respirácii boli v okolí meracích veží založené meracie body systematickým spôsobom. Meranie na eddy vežiach prebiehalo do r. 2007 a výsledky potvrdili, že kalamitou postihnuté porasty sa z depónia uhlíka stala jeho zdrojom (GIORGI et al. 2006, FLEISCHER et al. 2009). Pôdnu respiráciu ako najdynamickejšiu zložku tokov uhlíka v lesnom ekosystéme sme opäť začali sledovať v r. 2008 po získaní vhodného prístrojového vybavenia.

Cieľom sledovania pôdnej respirácie je zistiť rozdiely medzi lokalitami postihnutými vetrovou kalamitou, požiarom a nepoškodeným porastom. V rámci poškodených lokalít posúdiť vplyv následného manažmentu (spracovanie, resp. nespracovanie dreva z kalamity) na pôdnu respiráciu. Dôležitým cieľom je aj posúdenie vplyvu abiotických (teplota, vlhkosť) a biotických (typ vegetácie) faktorov na pôdnu respiráciu, rovnako ako časové (denné, sezónne a medziročné) a priestorové zmeny, ktoré sú východiskom pre stanovenie bilancie uhlíka v lesných ekosystémoch a teda i posúdenia funkcie lesov pre sekvestráciu uhlíka.

Pôdnu respiráciu stanovujeme pomocou uzatvoreného gazometrického systému (Vaisala MI70 s infračerveným detektorom GM 220, Finland). Detektor je umiestnený vo valcovej komore (tvrdený PE) s otvoreným dnom. Komora má priemer 30 cm a výšku 10 cm. Je v nej umiestnený malý ventilátor na premiešavanie vzorky plynu. Komora sa nakladá na trvalo osadené kruhy s priemerom 30 cm a výškou 15 cm. Kruhy sú pevne (2–10 cm) zapustené do pôdy. Meranie trvá približne 10 minút a koncentrácia CO₂ je registrovaná v 5 sekundovom intervale v jednotkách ppm po dobu približne 10 min. Vegetáciu z vnútorného priestoru meracích kruhov pravidelne odstraňujeme strihaním po ukončení merania. Meranie na lokalitách sa vykonáva priemerne v 1 týždennom intervale nutne v čase bez zrážok a prednostne v bezvetří. Z nameraných hodnôt pre ďalší výpočet používame časť údajov s lineárnym rastom koncentrácie CO₂. Z takto

upravených hodnôt na začiatku a konci merania odvodíme priemerný minútový nárast ($\text{ppm} \cdot \text{min}^{-1}$). Tok CO_2 stanovíme podľa DREWITT et al. (2002) a postupu uvedeného v predchádzajúcich prácach (FLEISCHER & FLEISCHER, 2011).



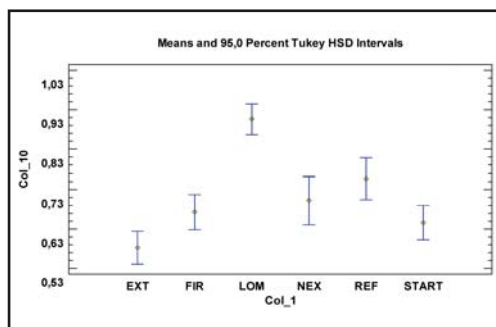
Obr. 84 Schéma rozmiestnenia meracích kruhov na výskumnej lokalite REF

Pre zachytenie priestorovej variability pôdnej respirácie sú meracie kruhy umiestnené od meteorologickej veže lúčovito pod uhlom 60° a vzdialenosť medzi kruhmi je 10 metrov. Na každej lokalite respiráciu sledujeme na 6–9 meracích bodoch.

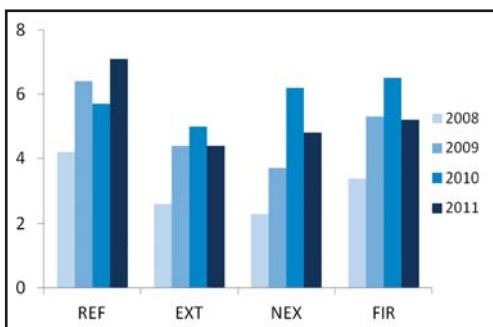
Faktory prostredia

Na základe literárnych poznatkov a doterajších meraní pôdnej respirácie (FLEISCHER a kol. 2011) považujeme za hlavné faktory teplotu a vlhkosť pôdy. Spolu s ďalšími meteorologickými parametrami sú kontinuálne sledované automatickými meteorologickými stanicami na výskumných lokalitách ako 60 min priemery (FLEISCHER a kol. 2011). Teplota pôdy je sledovaná v hĺbke 8, 16 a 32 cm pomocou pôdnych NTC a Pt100 teplomerov a pôdna vlhkosť dielektrickou metódou theta (Delta Devices, ML2X, UK) v rovnakých hĺbkach. Vegetačné pomery sa na sledovaných lokalitách vyhodnocujú 2 krát ročne fytoecologickým zápisom pracovníkmi VSaM. Pri každom meraní pôdnej respirácie meriame okamžitú teplotu pôdy zapichovacím teplomerom (LabThermo IP65, TFA, Germany) v hĺbke 2 a 10 cm a povrchovú pôdnu vlhkosť upraveným Delta snímačom v hĺbke 0–6 cm.

Výsledky z hodnotenia pôdnej respirácie v r. 2011 potvrdili štatisticky významné rozdiely medzi jednotlivými lokalitami. Výsledok ANOVA uvádzame na obr. 85, kde y os je logtransformovaná



Obr. 85 Rozdiely v pôdnej respirácii medzi sledovanými plochami v r. 2011

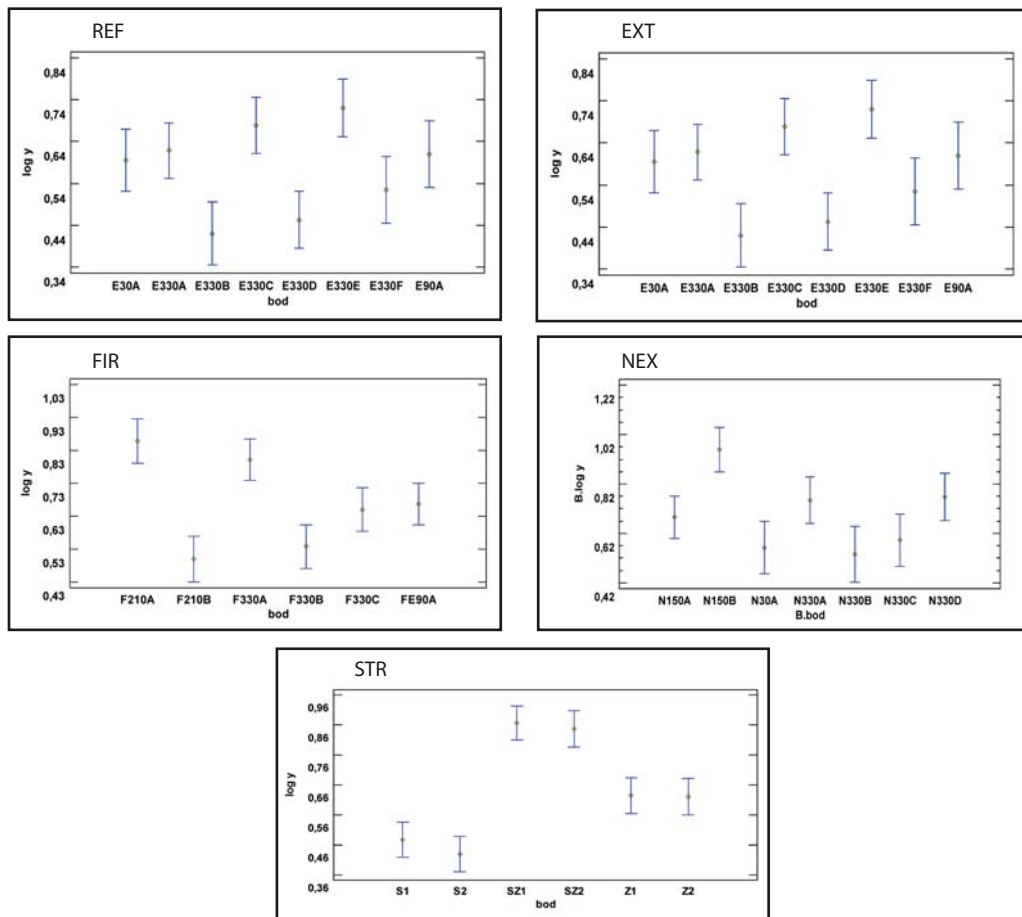


Obr. 86 Priemerná pôdna respirácia ($\text{umol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) na sledovaných plochách 2008–2011

hodnota respirácie nutná na odstránenie nehomogenity variancií a dosiahnutie normálovej distribúcie hodnôt.

Porovnanie výsledkov s predchádzajúcimi rokmi potvrdilo trend znižovania pôdnej respirácie na kalamitných plochách a nárast v referenčnom (nepoškodenom) poraste, ako uvádzame na obr. 86.

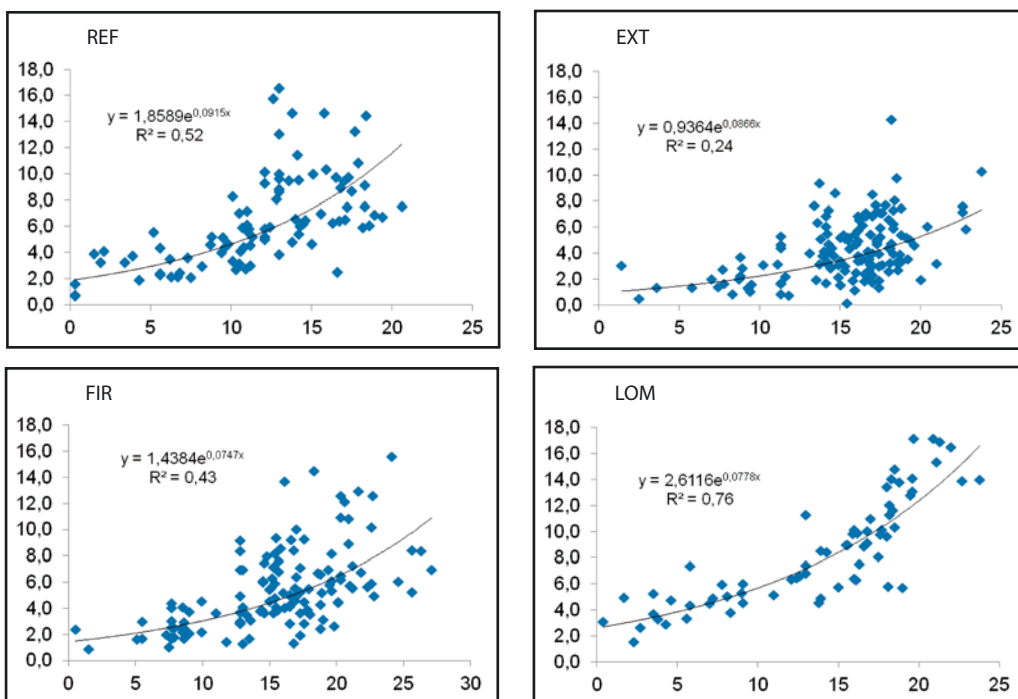
Hodnotenie pôdnej respirácie v rámci lokalít na jednotlivých bodoch potvrdilo veľkú variabilitu všetkých sledovaných lokalít, ako uvádzame na obr. 87.



Obr. 87a–e Pôdna respirácia (log y) na jednotlivých lokalitách v r. 2011, ANOVA

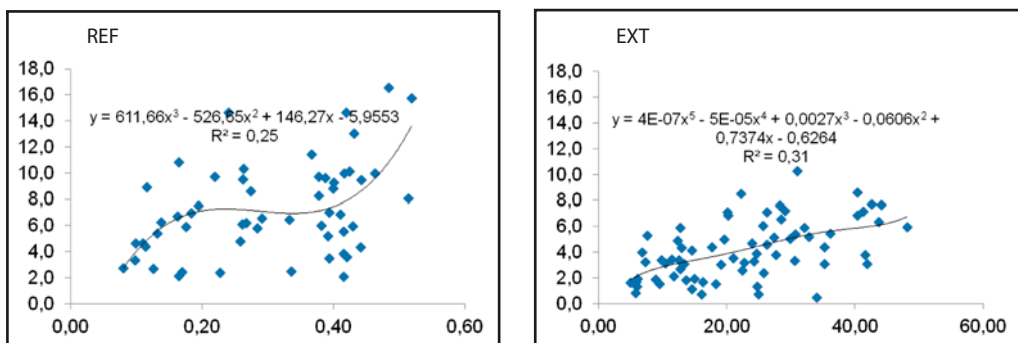
Faktory pôdnej respirácie

Na základe poznatkov z literatúry a vlastných pozorovaní z predchádzajúcich rokov sme za hlavné faktory ovplyvňujúce pôdnu respiráciu považovali teplotu (SCHLESSINGER 1992, , DAVIDSON et al. 1998, FANG-MONCRIEF 2000, KAMALIT, RAJESH, MIDMORE 2007) a vlhkosť pôdy (TANG et al. 2006, YUSTE et al. 2007, ZHOU et al. 2009, SUSEELA et al. 2012). Pri každom meraní PR sme zisťovali oba parametre. Z nameraných údajov na jednotlivých lokalitách sme zistili, že vzťah PR – pôdna teplota (ST) je prevažne exponenciálny (obr. 88). Najvýznamnejšie respirácia s teplotou narastá okrem lúky (LOM) v referenčnom poraste (REF), na spálenisku (FIR) a najmenej na ploche s odstránenou kalamitou (EXT). Neuvádzame priebeh na lokalite NEX a STR, majú podobný charakter ako EXT.



Obr. 88a–d Závislosť PR na pôdnej teplote, terénne údaje zo sledovaných lokalít

Pôdna respirácia mala závislosť na pôdnej vlhkosti (SM) volnejší. Závislosť s nízkym indexom determinácie popisoval polynóm vyššieho stupňa. Ako príklad uvádzame plochu REF a EXT na obr. 89a–b, kde vlhkosť (θ_v %) je na ose x, PR na ose y.



Obr. 89a–b Závislosť PR na pôdnej vlhkosti, terénne údaje zo sledovaných lokalít

Zistené závislosti sme použili pre výpočet pôdnej respirácie podľa exponenciálnych modelov závislých len na teplote pôdy $Y = ae^{b \cdot T}$ a modelov zohľadňujúcich teplotu aj vlhkosť pôdy $Y = (a \times s_m) e^{b \cdot T}$ a upraveného podľa Boltzmanovej krivky $Y = \left(b + \frac{a - b}{\frac{sm - c}{1 + e^{\frac{sm - c}{d}}}} \right) \times e^{e \cdot T}$, kde T je teplota pôdy, sm je vlhkosť pôdy a a, b, c, d, e sú parametre. Modely len s teplotou mali index determinácie s reálne zistenou respiráciou okolo 0,5. Kombinované modely až nad 0,8. Ich výpovedná hodnota však prudko klesla v odumretých lesoch, kde zásoba vody a transpirácia už na autotrofnú

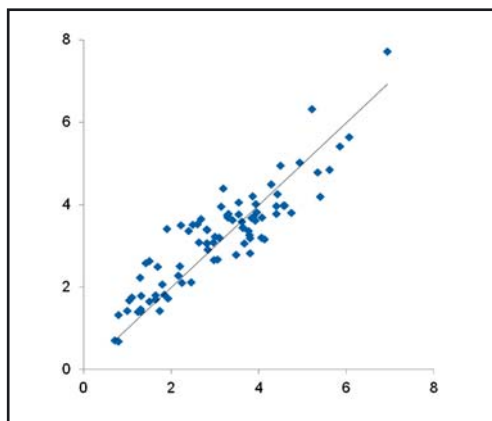
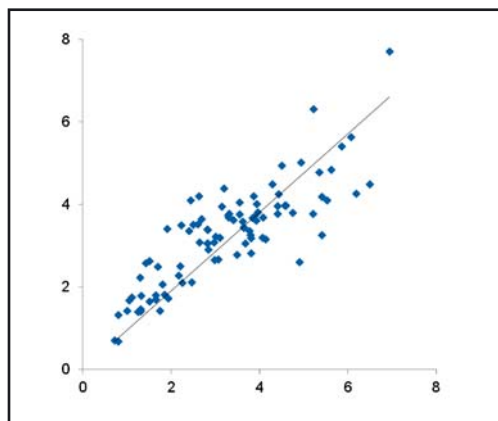
respiráciu nemala žiaden vplyv. Na kalamitných plochách sme pre kombinované modely zistili v priemere R^2 0,7 resp. 0,8.

Už prechádzajúce poznatky (FLEISCHER & FLEISCHER, 2011) naznačovali úzky vzťah PR ku stanovištným podmienkam. Hodnotenie v r. 2011 to len potvrdilo a podnietilo potrebu štatistického vyhodnotenia.

Pomocou metódy ANOVA (Fischerov LSD test, $\alpha = 0,05$) sme z nameraných hodnôt na kalamitných plochách vytvorili skupiny s homogénnym priebehom PR. Bez ohľadu na príslušnosť ku výskumným lokalitám tak vznikli 4 skupiny, ktorých stanovištné pomery môžeme zjednodušene charakterizovať pôdnymi pomermi a najmä typom vegetácie.

Tab. 22 Homogénne skupiny podľa PR a charakteristika stanovištných pomerov

skupina	Rozpätie PR	bod	Opis – pôda, vegetácia
1	2,4–3,5	E330B, E330D, E330F, F210B, F330B,	Plytké skeletnaté pôdy <i>Calluna vulgaris</i> , <i>V. vitis idea</i>
2	4,4–4,6	E330A, E90A, E30A, N330B, N30A	<i>Calamagrostis villosa</i>
3	4,8–5,1	F330C, F90A, E330C	<i>Chamaerion angustifolium</i>
4	6,2–7,9	E330E, F330A, F210A, N150B	Hlbšie, hlinité pôdy <i>Chamaerion angustifolium</i> , <i>Rubus i.</i> <i>Salix caprea</i>

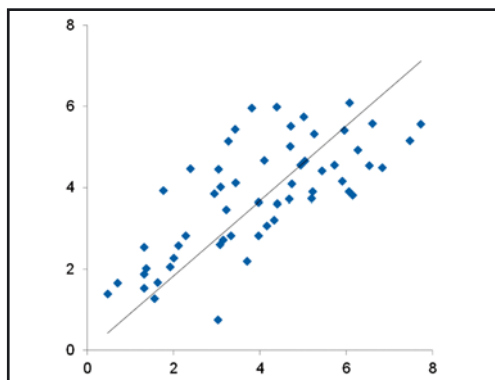
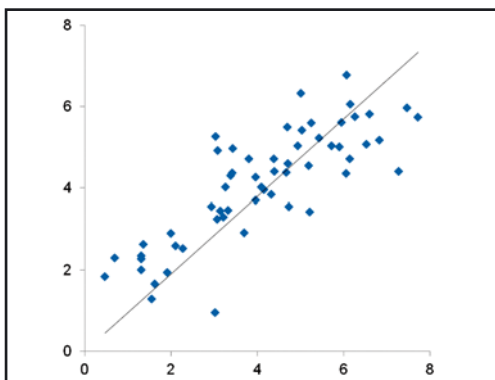


Obr. 90 a–b Merané (x) a modelované (y) hodnoty PR na súbore 1, plochy s najnižšou respiráciou
 Kombinovaný model $R^2 = 0,81$, $F = 543$, $n = 85$ Exponenciálny model $R^2 = 0,78$, $F = 1197$, $n = 85$
 $b = 1,457$, $a = 0,416$, $c = 0,284$, $d = 0,036$, $e = 0,061$ $a = 3,453$, $b = 0,063$

Pre oba prípady boli všetky parametre štatisticky významné pri $\alpha = 0,05$, T – test, oba F signifikantné na 99,9% pravdepodobnosti, $p < 0,0001$

Ročný priebeh pôdnej respirácie sme pre uvedené 4 typy vegetácie odvodili z exponenciálneho modelu. 1 hodinové údaje, ktoré uvádzame na obr. 94.

Celoročný priemer PR pre jednotlivé typy vegetácie na kalamitných plochách je rozpätí od 1,7 do 4,1 $\text{umol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ podľa exponenciálneho modelu. Prepočítanú produkciu CO_2 na uhlík (v t/ha/rok) uvádzame v tab. 23. Oba modely poskytli rovnaký výsledok pre skupinu 1, v 2. Skupine kombinovaný model dával v priemere o 25 % vyššiu respiráciu.



Obr. 91a–b Merané (os x) a modelované (osy) hodnoty PR na plochách 2. skupiny

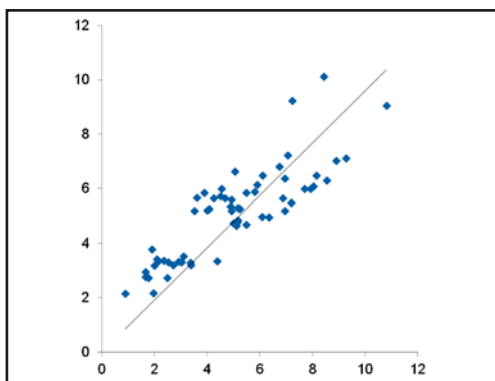
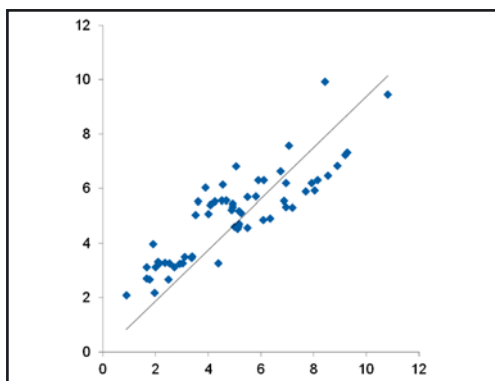
Kombinovaný model $R^2 = 0,80$, $F = 284$, $n = 54$

Exponenciálny model $R^2 = 0,53$, $F = 335$, $n = 60$

$b = 1,412$, $a = 0,694$, $c = 0,253$, $d = 0,0019$, $e = 0,077$

$a = 2,994$, $b = 0,092$, $p < 0,001$

$p < 0,05$ pre b, a, e.



Obr. 92a–b Merané (os x) a modelované hodnoty (os y) PR na plochách 3. skupiny,

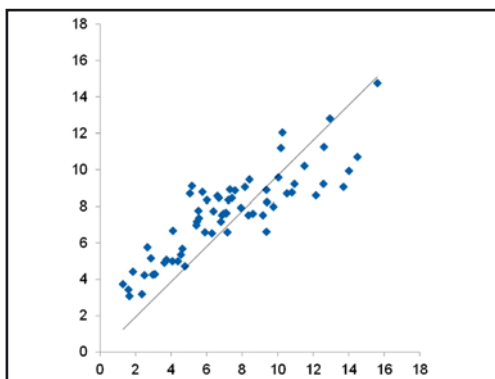
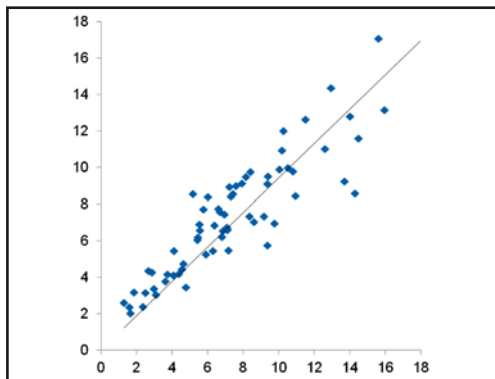
Kombinovaný model $R^2 = 0,73$, $F = 237$, $n = 61$

Exponenciálny model $R^2 = 0,71$, $F = 577$, $n = 61$

$b = 49,753$, $a = -1,1379$, $c = 1,442$, $d = 0,3868$,

$a = 5,0951$, $b = 0,0074$, $p < 0,001$

$e = 0,0744$ $p > 0,05$ pre b,a,c,d



Obr. 93a–b Merané (os x) a modelované hodnoty (os y) PR na plochách 4. skupiny

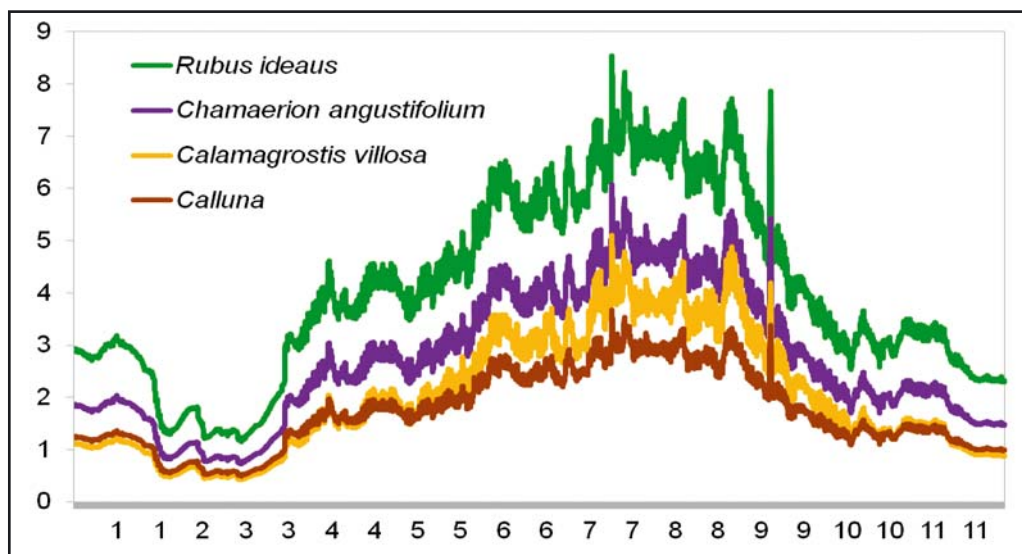
Kombinovaný model $R^2 = 0,81$, $F = 308$, $n = 67$

Exponenciálny model $R^2 = 0,7$, $F = 554$, $n = 67$

$b = 1809,5$, $a = -0,299$, $c = 1,734$, $d = 0,214$, $e = 0,067$

$a = 8,064$, $b = 0,0627$, $p < 0,001$

$p > 0,05$ pre b,a,c,d

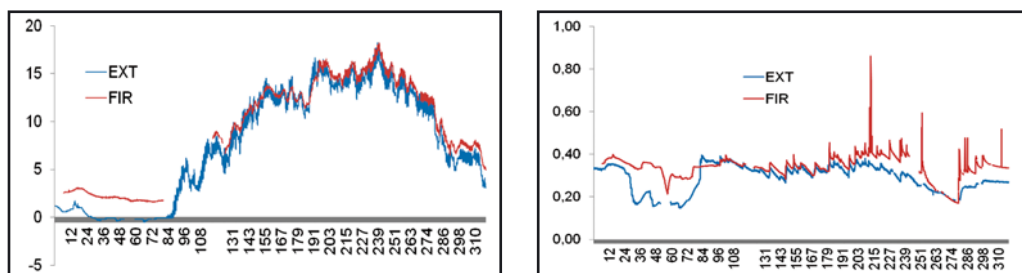


Obr. 94 Ročný priebeh (os x) 1 hodinových hodnôt pôdnej respirácie ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, os y) pre 4 základné typy vegetácie na kalamitných plochách odvodený z exponenciálneho modelu na základe pôdnej teploty a vlhkosti

Tab. 23 Priemerná ročná respirácia CO_2 a odvodená produkcia C podľa vegetačných typov na kalamitnom území

Typ	Kombinovaný model	Exponenciálny model	SD	produkcia C ($\text{t.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$)
<i>Calluna</i>	1,7	1,7	0,8	3,4
<i>Calamagrostis</i>	2,5	2,0	1,1	4,0
<i>Chamaerion</i>	–	2,7	1,3	5,4
<i>Rubus</i>	–	4,1	1,7	8,2

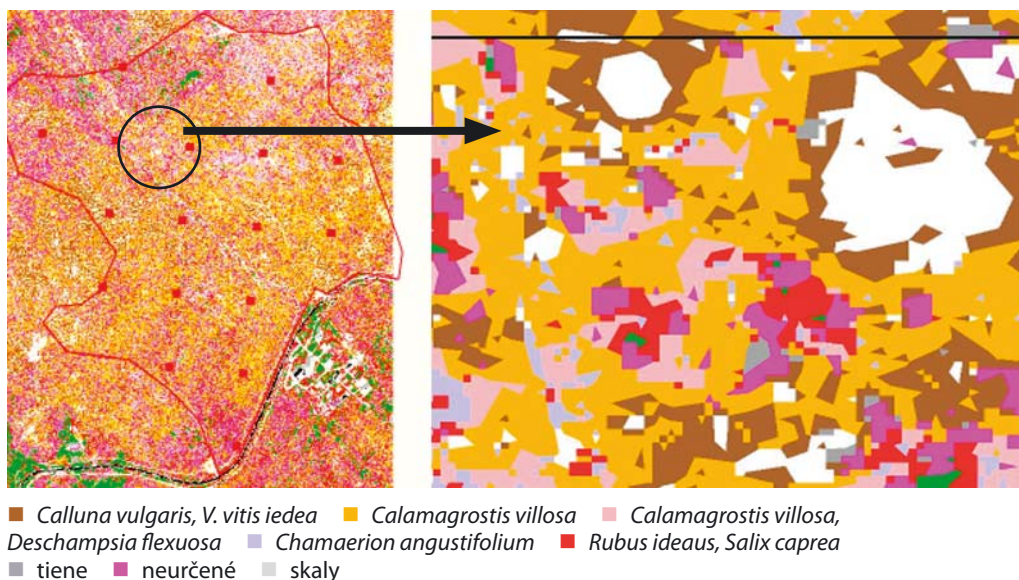
Ročný priebeh pôdnej vlhkosti a teploty sme použili napriek faktu, že ide o body z rôznych lokalít, len z jednej meteorologickej veže. Predpokladáme, že podobná vegetácia je odrazom podobných stanovištných pomerov. Navyše, ako sme zistili, rozdiely medzi lokalitami boli minimálne, ako uvádzame na obr. 95a,b.



Obr. 95a,b Ročný chod teploty a vlhkosti pôdy na lokalite EXT a FIR

Stanovenie repirácie výskumnej lokality

Zastúpenie vegetačných typov na testovanom území spáleniska (FIR) sme určili v programe ErdasImagine na základe leteckej ortofotomapy (obr. 96a). Typy vegetácie sme identifikovali porovnaním farebnej škály na ortomape v teréne a v programe Erdas pri kancelárskom spracovaní. Využili sme poznatky z mapovania na monitorovacích plochách 20×20 m, založených v spone 250×250 m na modelovom území FIR. Detail ortomapy a legendu typov vegetácie uvádzame na obr. 96b.



Obr. 96a,b Ortomapa lokality FIR a detail s typmi vegtácie

Okrem vegetácie, sme v modelom území identifikovali aj iné krajinné kategórie ako skaly, surovú pôdu, cesty. Ako nezaradené ostala plocha na 8 % hodnoteného územia. Overenie typu vegetácie a prípadnú potrebu inštalovania snímacieho zariadenia na PR posúdime až na začiatku nasledujúceho vegetačného obdobia. Tieni, ktoré tvorili 8 %, sme úmerne rozdelili medzi ostatné vegetačné typy. Zo známej respirácie a plochy jednotlivých typov, sme odvodili ročnú produkciu uhlíka (C). Výsledky uvádzame v tab. 24.

Tab. 24 Plošné zastúpenie hlavných vegetačných typov a krajinných kategórií v modelom území FIR a odvodená ročná produkcia C ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) z pôdnej respirácie na modelovom území

Typ vegetácie	%	C ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$)
Calluna	20	0,7
Calamagrostis, Deschampsia	33	1,3
Chamaerion	11	0,6
Rubus	16	1,3
Skal., cesty	12	0,0
nezaradené	8	0,3
spolu	100	4,2

Ročná respirácia na ploche vetrovej kalamity mala v r. 2011 hodnotu $4,2 \text{ t/ha}$ ($420 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2}$). Podľa hodnôt uvádzaných REICHOM A SCHLESSINGEROM (1992) by sa plocha podobala skôr na lúčne spoločenstvá. Podľa týchto autorov je v ihličnatých lesoch mierneho pásma ročná produkcia pôdnej respirácie $680 \text{ g} \pm 95 \text{ C/m}^2/\text{rok}$. Podľa predbežných výpočtov, plocha v zelenom lese (REF) je s hodnotou 860 g C/ha mierne nad priemerom.

Index Q10

Citlivosť pôdy na zvyšovanie teploty sme posúdili indexom Q10. Index sme vypočítali zo vzťahu.)

$$Q_{10} = e^{10\beta}$$

Konštantu β sme použili z exponenciálneho modelu $y = \beta_0 e^{\beta \cdot T}$ kde y je hodnota pôdnej respirácie ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), T je teplota pôdy v 2 cm ($^{\circ}\text{C}$) a β_0 a β sú konštanty odvodené metódou najmenších štvorcov (Levenberg-Marquardt, STATISTICA 8).

Index Q10 nadobúdal hodnoty od 0,5 do 4,9, čo znamená, že pri zvýšení teploty o 10°C by sa PR zvýšila v rozpätí od 50 do takmer 500 %. Prehľad Q10 podľa hodnotených lokalít, meraných bodov a hladinu štatistickej významnosti T-testu, $\alpha = 0,05$ (*), uvádzame v tab. 25.

Tab. 25 Index Q10 na hodnotených plochách

Lokalita	bod	Q10	Lokalita	bod	Q10
EXT	E330A	1,98	NEX	N330A	*2,91
EXT	E330B	1,52	NEX	N330B	*2,39
EXT	E330C	*2,21	NEX	N330C	2,16
EXT	E330D	1,74	NEX	N330D	*2,10
EXT	E330E	*2,04	NEX	N150A	*2,77
EXT	E330F	*2,17	NEX	N150B	*4,92
EXT	E30A	*2,77	NEX	N30A	0,50
EXT	E90A	*2,39			
FIR	F 90A	*1,98	STR	Z1	*2,01
FIR	F 330 A	*2,36	STR	Z2	*3,13
FIR	F330B	*2,06	STR	SZ1	*2,80
FIR	F330C	*1,94	STR	SZ2	*1,96
FIR	F210A	*1,60	STR	S1	*2,67
FIR	F210B	*2,08	STR	S2	*2,21
REF	R210B	*1,88	LOM	TLA	*1,93
REF	R210C	*1,89	LOM	TLB	*2,27
REF	R210D	*1,85			
REF	R210F	*2,15			
REF	R210G	*1,96			

Nami zistené hodnoty Q10 v lesnom poraste (1,9–3,1, vyššie v suchých porastoch), na kalamitnej ploche (1,5–2,9, extrémne 0,5 a 4,9 pravdepodobne dôsledok poškodenia zverou) zodpovedajú hodnotám ktoré uvádza BUCHMANN (2000) zo smrekových lesov Bavarska (2,4–3,2).

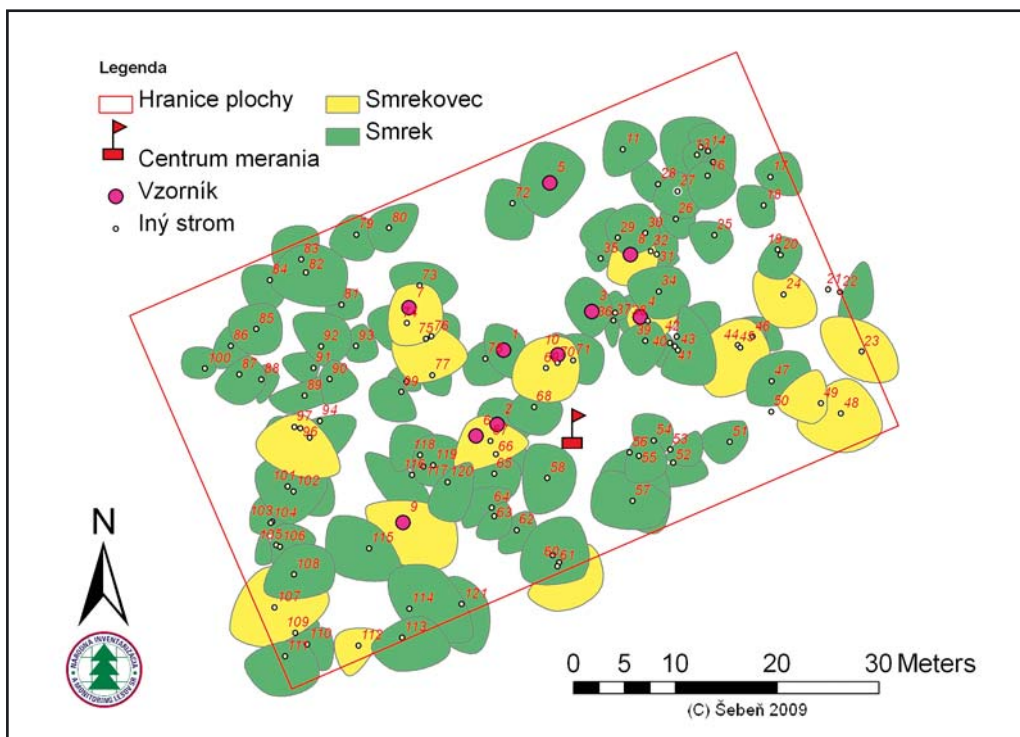
4.4 Transpirácia lesných porastov

Transpirácia vegetácie tvorí dôležité prepojenie medzi pôdou a atmosférou. Transpirácia ako dôležitá zložka vodnej bilancie závisí od klimatických podmienok a zároveň ich zásadným spôsobom ovplyvňuje. Listová plocha a vodivosť stomatálnych buniek preberajú funkciu vegetácie v kontexte SVAT (pôda-vegetácia-atmosféra-transfer) a hydrologických modelov (ARORA, 2002). Veľkosť transpiračného prúdu priamo závisí na mikroklimatických podmienkach stanovišta, najmä od zásob a dostupnosti pôdnej vody, evaporačných požiadaviek atmosféry (teplota a vlhkosťou vzduchu, rýchlosť a smer vetra). Transpirácia je citlivá na pôsobenie extrémnych faktorov a preto nachádza uplatnenie aj pri identifikácii fyziologického stresu (ČERMÁK et al. 2007).

Transpirácia dospelého smrekovo-smrekovcového porastu bola hodnotená v referenčnom poraste (REF) v rámci pokalamitného výskumu. STŘELCOVÁ et al. (2011) sledovala transpiračný prúd od r. 2006 metódou priameho merania prietoku kontinuálnou tepelnou bilanciou (KUČERA 2003, ČERMÁK et al. 2004).

Meranie sa uskutočnilo v časti porastu, ktorý reprezentuje priemerné pomery v dospelom poraste spoločenstva smrekovcových smrečín (Lariceto-Piceetum). Zastúpenie smreka 84 %, zastúpenie smrekovca 16 %. Priemerná výška stromov: 21,6 m, priemerná hrúbka v 1,3 m: 31,7 m. Hektárová zásoba hrubiny: 376 m³. Transpiračný prúd bol meraný na 5 smrekoch a 5 smrekovcoch.

Poloha vzorníkov na výskumnej ploche REF (STŘELCOVÁ a kol, 2011)



Obr. 97 Korunové projekcie na sledovanej ploche a poloha stromov s meraním transpiračného prúdu

Hodnoty transpiračného prúdu boli významne ovplyvnené priebehom počasia. Kým r. 2007 bol mimoriadne teplý a bohatý na zrážky v máji, rok 2009 bol teplotne normálny a zrážkovo deficitný do mája, ale nadnormálny v júni.

Časový rozdiel v transpirácii oboch drevín bol spôsobený jarným vývojom ihličia na smrekovci. Plná transpirácia nastala, až okolo 19. mája po dosiahnutí fenologickej fázy plného olistenia. Po plnom olistení, smrekovec transpiruje viac ako smrek.

Denné sumy transpiračného prúdu v sledovanom období r. 2007 a 2009 sú v tab. 26.

Tab. 26 Sumy transpiračného prúdu v sledovaných obdobiach na lokalite REF

Dátum	Smrek (l.deň ⁻¹)	Smrekovec (l.deň ⁻¹)
6. V.–17. V. 2007	226	162
18. V.–5. VI. 2007	254	364
6. V.–19. V. 2009	526	344
20. V.–5. VI. 2009	450	534

Súčasťou experimentu bolo aj sledovanie vodného potenciálu pomocou sadrových bločkov (MicroLog SP, EMS Brno). Snímače boli umiestnené v hĺbke 15 a 50 cm. Dostatočné zásoby vody v pôde v sledovanom období spôsobili, že zvýšený sací tlak koreňov na získavanie vody prakticky nebol zaznamenaný (STŘELCOVÁ et al. 2011).

4.5 Evapotranspirácia

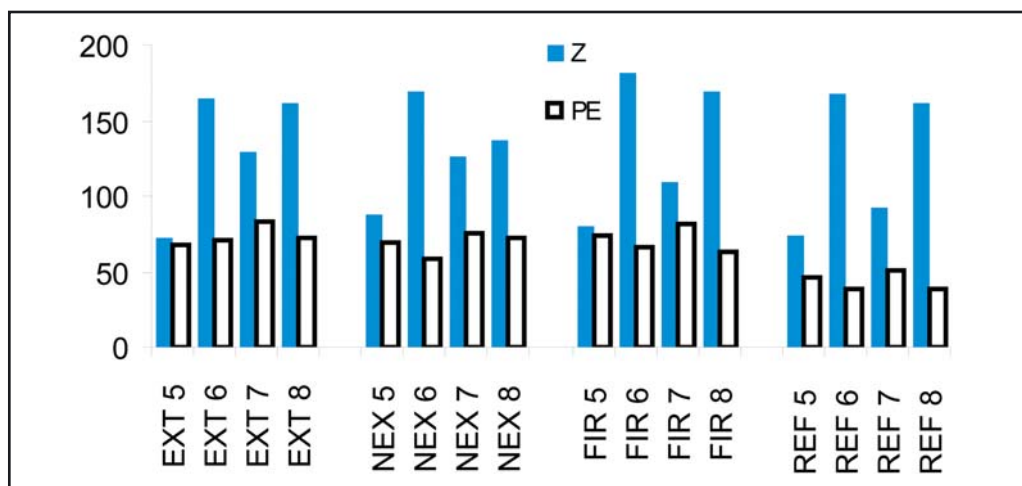
Na základe mesačných hodnôt teploty a vlhkosti vzduchu sme pre jednotlivé lokality stanovili potenciálnu evapotranspiráciu E_p podľa Ivanova (NOVÁK, 1995):

$$E_p = 0,0018 \times (25 + T_m)^2 \times (100 - r)$$

E_p – úhrn potenciálnej evapotranspirácie za mesiac (mm)

T_m – priemerná mesačná teplota (°C)

r – priemerná relatívna vlhkosť vzduchu (%)



Obr. 98 Mesačné zrážky (Z) a potenciálna evapotranspirácia (E_p) v mm na výskumných plochách, V–VIII 2009

Rozdiely medzi mesačnými zrážkami a potenciálnou evapotranspiráciou sa považujú za orientačný klimatický ukazovateľ zavlaženia (KZ). Ako je zrejmé z obr. 93, zrážky na všetkých lokalitách počas celého vegetačného obdobia prevyšovali E_p , ukazovateľ KZ nadobúdal len kladné hodnoty. Priemerná denná E_p na kalamitnej ploche (EXT, NEX, FIR) dosahovala vyrovnané hodnoty 2,2 až 2,4 a v stojacom lese (REF) 1,4 mm.

Podľa modelových výpočtov dosahovala potenciálna evapotranspirácia na kalamitných plochách priemerné denné hodnoty 2–5 mm (KŇAVA et al., 2007, MATEJKA & HURTALOVÁ, 2008) v závislosti od teplotných a veterných pomerov v prízemnej vrstve. S postupom vegetačnej sukcesie sa stabilizujú teplotné pomery (tlmenie prehrievania pôdy) a znižuje sa rýchlosť vetra, čo sa zákonite odrazí na postupnom poklese najmä evaporačnej zložky výparu. V kalamitou neporušenom lese STŘELCOVÁ a kol. (2009) uvádza denné hodnoty transpirácie 1–2 mm.

4.6 Strata živín

Predpokladaná zvýšená mineralizácia organických látok v dôsledku fyzikálnych a biochemických zmien po rozpade lesného porastu a narušenia pôdneho povrchu vývratmi po vetrovej kalamite a pravdepodobná strata živín sa sleduje viacerými spôsobmi

- v pôde iónovými absorbérmi SAI
- v pôdnej vode sacími lyzimetrami
- v potokoch priamym odberom vzorky.

Iónové absorbéry

Metóda je založená na zachytávaní katiónov a aniónov do valcov naplnených inertným materiálom a absorbentom (SAI – Self-Integrating Accumulators). Valce boli v r. 2005–2007 umiestnené na ploche REF, EXT a NEX v hĺbke 20 a 60 cm, čo približne zodpovedá polohe medzi nadloženým a minerálnym A, resp. B horizontu v kambizemiach ako prevládajúcim pôdnym type na sledovaných plochách. Výmena valcov sa uskutočnila raz za 6 mesiacov. Chemický rozbor robili laboratória MPI v Jene a TerrAquat Consultancy v Kolíne (Nemecko). Na každej ploche bolo osadených priemerne 25 párov (v 20 a 60 cm) valcových absorbérov v pravidelnom hviezdicovom dizajne. Výsledky publikoval BISCHOFF et al. (2007, 2008), z ktorých tu uvádzame najvýznamnejšie poznatky a ilustrácie.

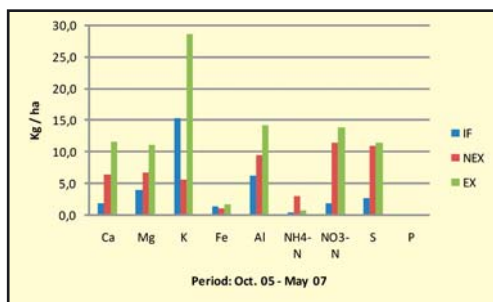
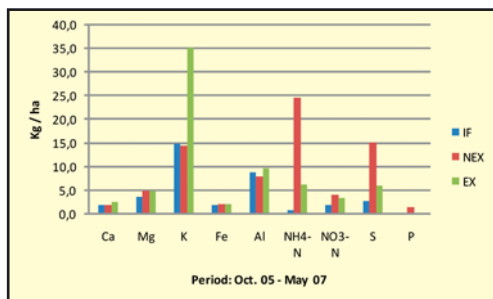
Sledovanie látok v uvedených hĺbkach vychádza z predpokladu, že v hornej časti sa zachytia látky uvoľnené pri mineralizácii a sú prístupné pre vegetáciu, kým látky v 60 cm sú považované za vyplavené (leaching), pre rastliny nedostupné.

Na všetkých kalamitných plochách došlo k významnej strate všetkých živín, okrem P. Viac na ploche EXT ako na NEX, najmenej na REF, ako uvádzame na obr. 100, kde REF je označený ako IF – intact forest. Autori upozornili na veľký vplyv mikrostanožištných pomerov. Pri vyššej pôdnej vlhkosti boli látky vyplavované oveľa intenzívnejšie ako na suchších stanovištiach. Vlhkosť pravdepodobne bola príčinou spomalenia nitrifikácie, čo sa výrazne prejavilo na ploche NEX (obr. 101).

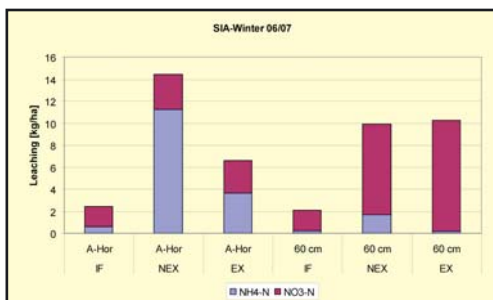
V hĺbke 20 cm na ploche s nespracovanou kalamitou (NEX) autori uvádzajú až 23 kg $N-NH_4^+$ /ha, kým v referenčnom, stojacom poraste len 2 kg/ha. Podiel dusíka vo forme NH_4^+ a NO_3^- bol na kalamitnej ploche v pomere 1:1 až 3:1, ale v opačnom pomere (1:3) v nepoškodenom, referenčnom poraste. V hĺbke 60 cm bolo dusíka výrazne menej a na kalamitných plochách bol pomer $N-NH_4^+$ a $N-NO_3^-$ od 1:5 až 1:10, čo autori považujú za prejav intenzívnej amonifikácie a nitrifikácie.



Obr. 99 Umiestnenie SAI v 60 cm a detail na absorbčný valec s kremíkovým pieskom (zdroj BISCHOFF et al. 2008)



Obr. 100 Množstvo vyplavených látok (kg.ha⁻¹) v 20 a 60 cm na ploche EXT, NEX a REF (BISCHOFF et al., 2008)



Obr. 101 Dynamika N-NH₄⁺ a N-NO₃⁻ v 20 cm a 60 cm hĺbke na ploche REF, NEX a EXT (BISCHOFF et al., 2008)

Sacie lyzimetre

Keramické sacie lyzimetre boli na sledovaných lokalitách REF, EXT a NEX osadené koncom roka 2005. Na každej lokalite v dvoch opakovaníach a troch hĺbkach (5, 10 a 20 cm). Akumulované vzorky sa odsávajú do špeciálnych sklenených fľaš s podtlakom 4 atm počas vegetačného obdobia v 14 dňových intervaloch. Odsávacie fľaše sú umiestnené v izotermických boxoch, zakopaných v pôde (obr. 102).

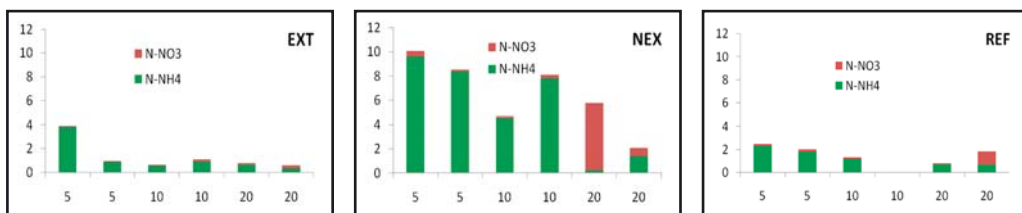


Obr. 102 Box s podtlakovými fľašami na zber vzoriek pôdnej vody a detail sukčného keramického lyzimetra

Výsledky z obdobia r. 2005–2006 uvádza Kirchstein (nepublikované) a FRIČ & ŠKVARENINA (2008). Analýzy vzoriek emisnou spektrofotometriou vykonalo laboratórium MPI Jena.

Priemerné koncentrácie sledovaných látok bezprostredne po kalamite potvrdili vysoký obsah dusičnanov (až 45 mg/l) na ploche EXT v 5 cm a čiastočne aj na ploche NEX v 20 cm (17 mg). Celkový organický uhlík (TOC) v horných 10 cm mal najvyšší priemerný obsah na NEX (109 mg/l), v REF poraste (19 mg/l), najmenej na EXT (16 mg/l).

Hodnotenie na identických lokalitách, ale s inou analytickou technikou pokračovalo od r. 2008. Aj tu sa potvrdilo, že na kalamitných plochách je viac dusíka, ale v oveľa menšom množstve ako v r. 2006. Celkový dusík Nt v 5 cm na ploche EXT bol v r. 2010 2,5 mg/L a 9 mg/L na ploche NEX, v referenčnom poraste 2 mg/L. V hĺbke 10 a 20 cm boli rozdiely menšie (obr. 98). Zo zastúpenia N-NH_4^+ a N-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 spomalenie nitrifikácie a (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 GOMORYOVÁ et al. (2010), HANAJÍK (2010).



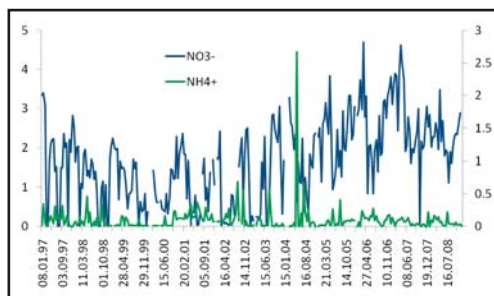
Obr. 103 Obsah dusíka (N-NO_3^- a N-NH_4^+) v lyzimetrických vodách (v mg.l^{-1}) v r. 2010 na plochách s rôznym manažmentom v 5, 10 a 20 cm hĺbke.

Z výsledkov obsahu katiónov v lyzimetrických vodách je pozoruhodný nárast Al^{3+} . Mera-
niami v 90-tych rokoch sme zistili koncentrácie okolo 0,5 mg/l ako maximálne, v súčasnosti sú to
priemerné hodnoty (FLEISCHER, 2010).

Chemické zloženie vody v potokoch

Naušenie pôdneho povrchu vetrovou kalamitou, veľké množstvo nekromasy a mineralizácia hu-
musu dávali predpoklad, že živiny budú vo väčšej miere splavené do povrchových vôd. Porovná-
vacím kritériom je obsah sledovaných látok pred vstupom vôd na kalamitné územie a tiež údaje
o chemizme potokov z obdobia pred kalamitou (archív VSaM). Na obr. 104 uvádzame zmeny
koncentrácie NO_3^- a NH_4^+ v potoku Veľký šum v období 1997-2008.

Obohatenie vodného toku pri prechode
kalamitným územím stanovujeme indexom
obohatenia, ako pomerom medzi koncentrá-
ciou látky na výstupe (out) a vstupe (in) potoka
na kalamitné územie. Predmetom sledova-
nia sú potoky Poprad, Veľký šum (pri ploche
REF), Studený potok (pri ploche NEX) a Hl-
boký jarok. Na obr. 105 Je pohľad na sledovaný
úsek Studeného potoka s polohou odberových
miest.

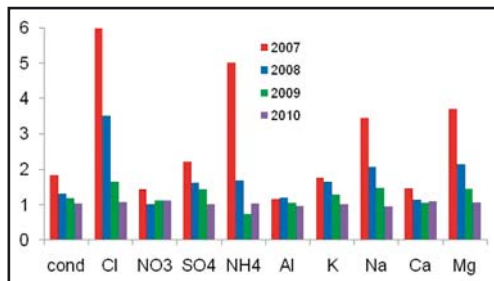


Obr. 104 Koncentrácia NO_3^- a NH_4^+ v potoku
Veľký šum, 1997–2008

Na obr. 106 uvádzame index obohatenia Studeného potoka v r. 2007–2010. Tento potok je
príkladom výrazne klesajúceho trendu „obohacovania“ povrchových vôd o sledované látky. Kým
v r. 2007 mal index $I_{I/O}$ priemernú hodnotu 2,8, v r. 2010 dokonca 1,0. Výsledky považujeme
za prejav stabilizácie pôdno-humusových pomerov na kalamitných plochách najmä v dôsledku
veľmi dynamického vývoja sukcesnej vegetácie.



Obr. 105 Studený potok s odberovými miestami
na nespracovanej kalamitnej ploche (NEX)



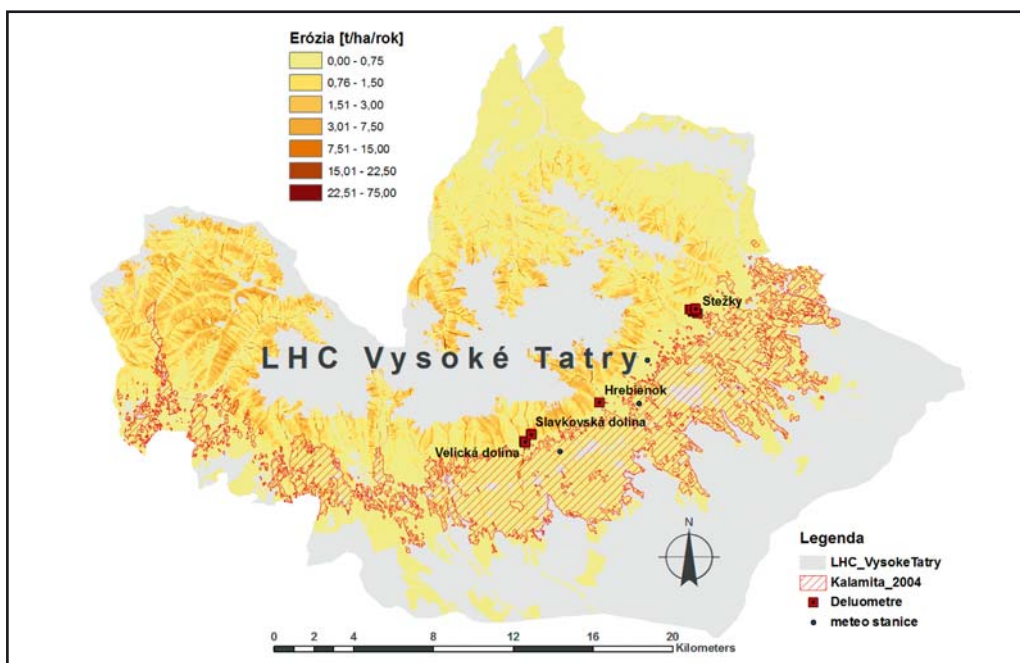
Obr. 106 Index obohatenia Studeného potoka
sledovanými látkami prechodom
cez kalamitnú plochu, 2007–2010

4.7 Erózia

Rozpad lesných porastov a narušenie pôdnej pokrývky vývratmi, prípadne spracovaním kalamitného dreva, vytvoril potenciálne podmienky pre vznik erózie na postihnutých plochách. Predpoklad zvýšeného odnosu povrchových vrstiev pôdy potvrdzovalo zistenie o významne menšej hrúbke nadložného a minerálneho A horizontu v lesných porastoch spoločenstva smrekovcových smrečín v minulosti postihnutých, alebo nepostihnutých veľkoplošným poškodením (FLEISCHER & KOREŇ 2009, FLEISCHER & HOMOLOVÁ 2011). Na overenie tohto predpokladu, boli na TVP inštalované kovové meradlá s vyznačením polohy povrchu pôdy (nadložného humusu). Hodnotenie v r. 2008–2009 nepotvrdilo merateľné zmeny.

Líniovú eróziu na zväžniciach sledovala ROJAN a kol. (2011). Zistila prehĺbenie a rozšírenie profilu intenzívne využívaných ciest, ale súčasne konštatovala minimálny transport unášaného materiálu. Na modelom území v okolí Tatranskej Polianky sledovala časovú zmenu manipulačných a dopravných koridorov. Konštatovala, že pri spracovaní sa dopravná sieť strojnásobila, ale po troch rokoch bolo takmer 70 % dopravných línií neidentifikovateľných. Rojan sledovala aj drsnosť povrchu spôsobenú koreňovými vývratmi na ploche vetrovej kalamity. Zistila, že až 10 % plochy bolo narušenej, čo prispelo ku zvýšeniu retenčnej schopnosti územia.

Plošnú eróziu na modelových plochách sledoval SRTKO a kol. od r. 2009 (SRTKO a kol., 2011). Pomocou stacionárnej deluometrickej metódy konštatoval minimálne erózne straty (0,09–2,5 kg/ha/deň). Ako vysoko významný faktor pre elimináciu erózie potvrdil vegetačný kryt na sledovaných plochách.. Podiel povrchového odtoku pri 30% pokrytí plochy vegetáciou stanovil na 6,2 % a pri dokonalom pokrytí vegetáciou dokonca na 0,6 %. Pozoruhodné je konštatovanie, že protierózný účinok sukcesnej vegetácie je takmer porovnateľný s účinkom dospelého lesného porastu. Výsledky korešpondujú s poznatkami v teréne, keď povrchový odtok v lesných porastoch, alebo kalamitných plochách nebol pozorovaný ani po veľmi intenzívnych zrážkach.



Obr. 107 Poloha deluometrov a potenciálna erózia v širšej oblasti Vysokých Tatier (Sitko a kol., 2011)

Potenciálne hodnotenie erózie pre širšie územie pomocou modelu MUSLE spracoval SITKO a kol. (2011) z údajov z r. 2010. Na hodnotenom území je 99 % plochy ohrozených len nepatrnou až nízkou eróziou.

Extrémne zrážky v auguste 2011 na lesnej dopravnej sieti spôsobili značné škody najmä v okolí Tatranskej Lomnice. Na spevnených povrchoch ciest a lyžiarskych tratiach sa prevažne uplatnil len povrchový odtok zrážok a jemnejší materiál, spolu so zvyškami po (ne) spracovaní dreva bol vyplavený a odnesený do priekop, korýt potokov, kde prispel k upchatiu priepustov a vybreženiu vodných tokov. Prehľad prietochnosti potokov v okolí Tatranskej Lomnice, riziká erózie a preventívno-nápravné opatrenia publikoval FLEISCHER a kol. (2011).



Obr. 108 Záplavy v Tatranskej Lomnici, august 2011

5 Vplyv klímy na populácie podkôrneho hmyzu

Prirodzenou súčasťou smrekových ekosystémov je viacero druhov podkôrneho hmyzu. Ich funkcia v prírodných lesoch je nenahraditeľná: pri selekcii najvhodnejších jedincov a populácií, pri striedaní vývojových fáz lesa, nahrádzaní starej generácie lesa novou, pri rozklade odumretej drevnej hmoty na minerálne látky. Rizikom pre smrekové ekosystémy, najmä tie ktoré boli človekom umelo založené, je schopnosť podkôrneho hmyzu mimoriadne rýchlo sa rozmnožovať a šíriť kalamitným spôsobom. Podkôrny hmyz pre svoj vývoj uprednostňuje oslabené stromy, čerstvé vývraty, stojace zlomy, stromy s poškodenou kôrou. Dostatok takejto potravy je spúšťacím mechanizmom kalamitného šírenia, ktorý zákonite nastáva po včas nespracovaných vetrových polomoch. Je známe, že v prípade premnoženia podkôrniky obsadzujú aj zdravé, plne vitálne stromy. Znížená rezistencia stromov však môže byť spočiatku skrytá, najmä ak je pôsobená chronicky pôsobiacim faktorom, napr. znečisteným ovzduším. Vetrové kalamity v smrekových lesoch Tatier vždy znamenali riziko rozvoja podkôrneho hmyzu. Preto sa zakaždým, ak to dovoľovali podmienky, polámané, poškodené a hmyzom napadnuté stromy zo smrekových porastov urýchlene odstraňovali. O nebezpečenstve podkôrnikovej kalamity pre stojace lesy sa prvý krát zmieňuje tatranská literatúra po veľkej vetrovej kalamite v roku 1915 s objemom polámaného dreva vyše 270 000 m³. V tom čase boli ešte v živej pamäti katastrofálne vetrové a následné podkôrnikové kalamity v západnej Európe z 80. a 90-tych rokov 19. storočia. Práve kvôli obavám zo šírenia podkôrnikov boli vyvrátené a polámané stromy odkôrnené už do začiatku leta r. 1916. V roku 1918 boli zlikvidované napadnuté okraje okolitých porastov a hrozba následnej kalamity bola eliminovaná. Rovnako razantný postup sa neuplatnil v javorinských lesoch, ktoré víchrica postihla v oveľa menšej miere, a problémy s podkôrnikom boli o to vážnejšie.

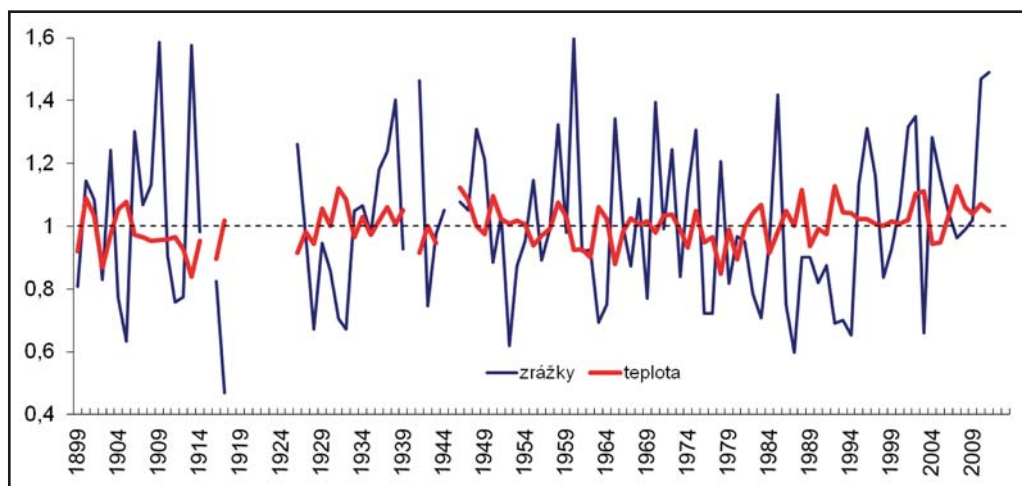
Ku katastrofálnemu premnoženiu podkôrneho hmyzu došlo po vetrovej kalamite v r. 1941 na Podbanskom. Kvôli vojnovým udalostiam sa vetrová kalamita z ústia Tichej a Kôprovej doliny nestihla včas spracovať. Následky v podobe hmyzích kalamít pokračovali v tejto časti Tatier až do r. 1963 a vyťažilo sa okolo 115 000 m³ chrobačiarov. Podkôrnikové kalamity po skončení vojny postihli ihličnaté lesy prakticky v celej Európe.

Podľa historických podkladov, bol priemerný podiel podkôrnikovej z vetrovej kalamity v lesoch dnešného TANAP-u okolo 20 %. Pred vznikom TANAP-u to bolo okolo 16%, po vzniku TANAP-u okolo 8 %. V 80. rokoch klesol podiel podkôrnikovej kalamity na menej ako 5 %. Dramatická zmena nastala v deväťdesiatych rokoch, keď podiel stúpol na vyše 50 %. Práve 90. roky boli zlomovým obdobím vo vzťahu ku spracovaniu kalamít v lesoch chránených území na Slovensku i v Tatrách. Kým dovtedy bolo spracovanie hmyzom napadnutých stromov bežnou súčasťou lesníckej praxe, legislatívne zmeny v roku 1994 (zákon o ochrane prírody č. 287) spôsobili náhle prerušenie dlhoročného prístupu, ktorý mal v sebe často ďaleko viac ochranárskych motívov ako hospodárskych ambícií.

Nespracovanie kalamity z konca 90. rokov a na začiatku milénia, viedlo k napadnutiu asi 80 000 m³ dreva v lesoch medzi Tatranskou Javorinou a Vyšnými Hágami.

Bionómiu podkôrneho hmyzu riadi predovšetkým teplota vzduchu. Po prezimovaní v pôde alebo v kôre stromov dochádza na jar k rojeniu a to pri dosiahnutí určitej teplotnej sumy, tzv. fyziologicky efektívnej teploty. Teplota ovplyvňuje aj prežívanie, počet generácií v priebehu roka a disperziu populácií. Optimálne podmienky pre vývoj podkôrnikov predstavuje mierna zima, teplá a suchá jar. Ešte v 80. rokoch minulého storočia sa za limitujúce pre vertikálne rozšírenie podkôrnikov považovali klimatické podmienky smrekového vegetačného stupňa (nad 1250 m n.m.). V praxi to znamenalo, že prípadné vývraty a zlomy sa v smrekovom vegetačnom stupni ponechávali v porastoch bez obáv z následnej kalamity.

Na obr. 109 sú priemerné teploty a zrážkové úhrny za vegetačné obdobie (máj–august) v r. 1899–2011 pre meteorologickú stanicu v Tatranskej Lomnici vyjadrené indexami, ako podielom skutočnej hodnoty a dlhodobého priemeru. Je prirodzené, že jednotlivé roky sa od 110 ročného priemeru viac či menej odchyľujú. Dlhodobá priemerná teplota vo vegetačnom období (máj–august) je 13,4 °C, posledných 10 rokov 13,8 °C. Najteplejšie vegetačné obdobia (nad 15,0 °C) boli zaznamenané v r. 1946, 1992 a 2007. Najchladnejšie s teplotou 11,2 °C v r. 1913. Priemerný dlhodobý zrážkový úhrn je 413 mm. Maximálne zrážky 663 mm boli v r. 1960, podobne v r. 1909 a 1913. Minimálne zrážky boli zaznamenané v r. 1917, len 194 mm. Pod 300 mm boli zaznamenané zrážky aj v r. 1963, 1976, 1977, 1983, 1987, 1992–1994 a 2003.



Obr. 109 Priebeh priemernej teploty a úhrnu zrážok vo vegetačnom období (máj–august) v Tatranskej Lomnici (1899–2011)

Na základe teploty vzduchu a zrážok môžeme sledované obdobie podľa vhodnosti pre vývoj podkôrneho hmyzu rozdeliť na nepriaznivé, menej priaznivé, veľmi priaznivé a indiferentné.

Obdobia klimaticky nepriaznivé pre podkôrny hmyz predstavujú teplotne podnormálne a zrážkovo nadnormálne roky (chladné a vlhké): 1903, 1906, 1907, 1908, 1909, 1913, 1926, 1934, 1941, 1949, 1955, 1960, 1965, 1970, 1978 a doteraz posledný bol r. 1985.

Obdobia klimaticky menej priaznivé predstavujú roky

a) teplotne a zrážkovo nadnormálne (teplé a vlhké), ktoré sa vyskytovali prevažne v prvej polovici sledovaného obdobia (1900, 1936–1938, 1948, 1958, 1972, 1975).

b) teplotne a zrážkovo podnormálne (chladné a suché), vyskytovali sa len na začiatku sledovaného obdobia v r.: 1899, 1902, 1910–1912, 1914

Obdobia klimaticky veľmi priaznivé pre kalamitný vývoj podkôrneho hmyzu, sú teplotne nadnormálne a zrážkovo podnormálne (teplé a suché). V minulosti išlo len o výnimočné, ojedinelé roky (1904–1905, 1917, 1931–1932, 1963). V 90. rokoch sa vyskytla nebývala perióda s takým typom počasia od 1987 do 1995. V poslednom období do tohto typu patrili r. 2003 a 2007.

Obdobia klimaticky indiferentné sú roky s teplotami a zrážkami zodpovedajúcimi priemerným hodnotám, tých je v sledovanom období 50 %.

Z uvedeného prehľadu je zrejmé, že vzhľadom na vývoj počasia pred tzv. Veľkou kalamiťou (r. 1915), musela byť populácia podkôrnikov veľmi nízka. Lúpaním a dôsledným spracovaním podkôrnikom napadnutých kmeňov sa predišlo vzniku následnej kalamity i po klimaticky extrémne suchom a teplom roku 1917. Horšia porastová hygiena po víchriciach v r. 1919 a 1925–1928 už bola príčinou prvej väčšej podkôrnikovej kalamity v 20. stor. v indiferentných



Obr. 110 Nespracovaná vetrová kalamita a teplé počasie spôsobili nekontrolované šírenie podkôrneho hmyzu do tatranských smrekových lesov, lokalita Štart, 1200 m n.m., r. 2011

Na základe poznania príčin vetrových kalamít v Tatrách dnes môžeme konštatovať, že vetrové polomy a následné hmyzie kalamity boli, sú a budú neodmysliteľnou súčasťou prirodzeného vývoja tunajších lesných ekosystémov. Pri terajšom trende vývoja klimatických pomerov hrozí, že kalamitné situácie prerastú do katastrofálnych rozmerov. V minulosti pri podobných, aj keď nie tak vyhrotených podmienkach ako dnes, sa podarilo včasnými lesníckymi zásahmi hrozbu dezintegrácie lesa a jeho funkcií odvrátiť. V súčasnosti už môžeme len konštatovať, že nedávne rozhodnutia o nezasahovaní proti vývoju podkôrneho hmyzu za tak mimoriadnych klimatických podmienok a pri tak akútnom ohrození porastov, rozhodne neboli v prospech tatranského lesa.

5.2 Dynamika populácií podkôrneho hmyzu v TANAP-e po roku 2004

Tesne pred r. 2004 bol stav lesných porastov najmä v J a JV časti predhoria Vysokých Tatier veľmi nepriaznivý. V dôsledku poškodenia porastov vetrom na prelome milénia a štátnymi orgánmi novo presadzovanou zásadou neodstraňovania napadnutých stromov z dôvodov ochrany prírodných procesov, poškodil podkôrny hmyz porasty v odhadovanom objeme 80 000 m³. Pri vetrovej kalamite v r. 2004 boli všetky napadnuté porasty vyvrátené a vytvorili sa ideálne podmienky pre šírenie podkôrnikov nielen do polomu, ale aj do okolo stojacich porastov. Vetrová kalamita bola síce spracovaná do 2 rokov, ale takmer 30 % hmoty poškodených porastov bolo ponechaných z dôvodov právnych predpisov ako stojaca a ležiaca nekromasa na podporu prírodných procesov.

až priaznivých klimatických podmienkach pre rozvoj populácie podkôrneho hmyzu.

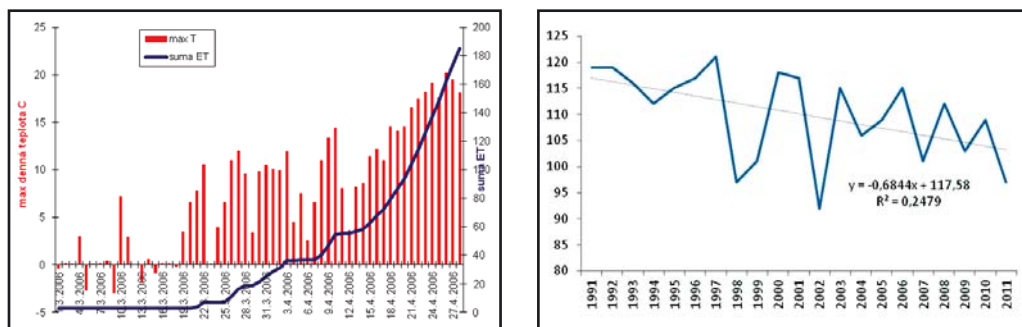
Vetrová kalamita z r. 1941 spadá do obdobia menej priaznivého pre rozvoj podkôrnikov, ale veľký objem nespracovanej atraktívnej hmoty spôsobil vleklú hmyziu kalamitu v indiferentných klimatických podmienkach.

60. a 70. roky charakterizovalo pomerne chladné a na zrážky bohaté počasie. Spolu s včasným spracovaním polomov, nedošlo k vážnejšiemu problému s podkôrnikom, napriek tomu, že objem poškodeného lesa vetrovými kalamitami bol až okolo 1 mil. m³.

Nízka populačná hustota podkôrneho hmyzu z predchádzajúceho obdobia a chladnejšie počasie pribrzdili prepuknutie podkôrnikovej kalamity po rozsiahlej a rozptýlenej vetrovej kalamite v r. 1981. Vetrové kalamity v 90. rokoch patrili objemom poškodeného dreva k tým menším, ale náhlým ponechaním čerstvého dreva v porastoch pri optimálnych podmienkach pre šírenie lykožrúta, došlo k explozívnemu napadnutiu a hynutiu smrekových porastov. Situácia sa ešte viac zdramatizovala po víchrici v novembri 2004, keď mimoriadne vhodné podmienky pre vývoj a rozmnožovanie podkôrnikov vznikli na ploche 12 000 ha a v nasledujúcich rokoch letné teploty prekónávali historické rekordy.

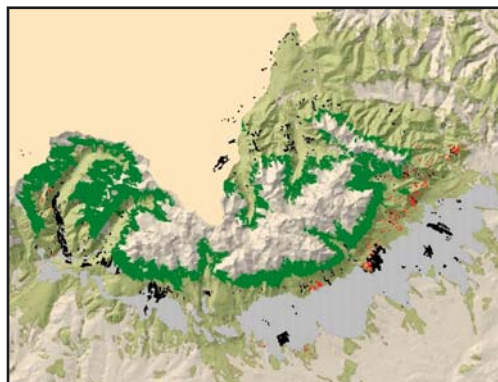
Takýto postup nemal obdobu v celej známej histórii lesníctva vo Vysokých Tatrách a preto o možných dôsledkoch sa v odborných kruhoch hovorilo s obavami. Pesimistické scenáre potvrdzoval aj fakt, že ešte po troch rokoch bola časť vývrátov a zlomov živá a mimoriadne atraktívna pre vývoj podkôrneho hmyzu. Pre napadnutie podkôrnym hmyzom boli atraktívne nielen porastové okraje, ale aj interiéry porastov, ktoré vietor poškodil len čiastočne.

Vývoj počasia od r. 2004 bol pre vývoj podkôrneho hmyzu, najmä spočiatku, veľmi priaznivý. Mierne zimy, teplé a suché letá (2006, 2007). Pozorovaný trend skoršej a najmä teplejšej jari sa prejavil aj na termíne rojenia hlavného škodcu tatranských smrekov – lykožrúta smrekového (*Ips typographus*). Skoršie rojenie dáva predpoklad pre vyrojenie aj viacerých generácií podkôrnikov, čo tlak na lesné porasty len zvyšuje. Na obr. 111 uvádzame vývoj tzv. efektívnej teploty v r. 2006 (rozdiel medzi maximálnou dennou teplotou a 7 °C) a jej sumy, ktorá pri hodnote 145 znamená začiatok a pri 180 masívne rojenie. Tento empirický model sme overili a chyba predikcie je v rozpätí 2–3 dní. Trend začiatku rojenia sa jednoznačne posúva do skorších dátumov. V 90-tych rokoch koncom apríla, v posledných rokoch už v polovici.

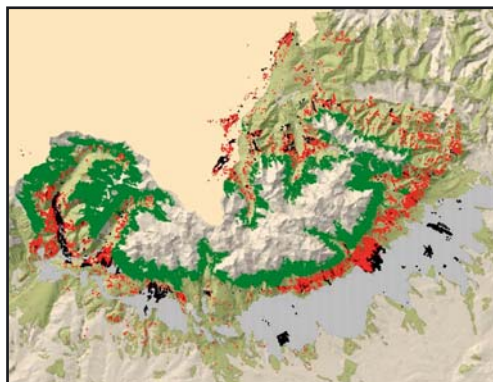


Obr. 111 Vývoj sumy efektívnej teploty v r. 2006 a dátum rojenia (poradové číslo dňa) v T. Lomnici, 830 m n.m., 1991–2011

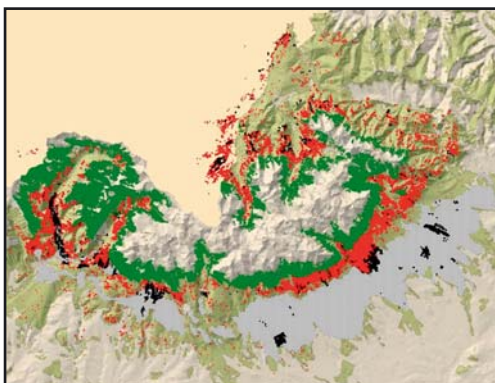
Do r. 2006 bol stav okolitých porastov bez mimoriadnych zmien, prelom priniesol r. 2007. Napriek tomu, že klimaticky boli následné roky menej priaznivé (síce teplotne normálne, ale aj zrážkovo nadnormálne vlhké) došlo ku bezprecedentnému šíreniu podkôrnikov do okolitých porastov. Vývoj populácie bol spočiatku monitorovaný feromónovými lapačmi, ale na celoplošné hodnotenie sa využívali predovšetkým letecké ortofotomapy. Dynamika napadnutia lesných porastov v okolí kalamitnej plochy je vyznačená na obr. 112–114. Sivou farbou je vetrom vyvrátená



Obr. 112 Šírenie podkôrneho hmyzu po vetrovej kalamite, stav porastov v r. 2006



Obr. 113 Šírenie podkôrneho hmyzu po vetrovej kalamite, stav porastov v r. 2008



Obr. 114 Šírenie podkôrneho hmyzu po vetrovej kalamite, stav porastov v r. 2011



Obr. 115 Suché stojace porasty v okolí výskumného objektu na lokalite Štart

plocha v r. 2004, čierne sú lokality, kde bola z rozhodnutia štátnej správy zámerne ponechaná nespracovaná vetrová kalamita, zelená je kosodrevina, červená je napadnutý porast.

Do konca roku 2011 v dôsledku šírenia podkôrneho hmyzu uhynulo približne 7 000 ha lesa, čo je už takmer 60 % z plochy, ktorá bola vyvrátená pri vetrovej kalamite 2004. Vývoj populácie zásadne nezmenilo ani mimoriadne daždivé počasie v r. 2010 a 2011, ani veľmi nízke teploty vo februári 2012. Na odchytených vzorkách je málo parazitov, kondícia populácie podkôrníkov je veľmi dobrá (FERENČÍK 2011). Na druhej strane stav okolitých porastov (vyšší vek, dlhodobé pôsobenie znečisteného ovzdušia) nedáva veľké nádeje aby prirodzenou rezistenciou odolali súčasnemu tlaku podkôrneho hmyzu.

Spočiatku kopy haluziny na kalamitných plochách, dnes stovky hektárov plôch suchého lesa, predstavujú akútne nebezpečenstvo požiarov. V r. 2007 bolo najvyššie požiarne riziko vyhlásené 12-krát. Každoročne vznikne okolo desať menších požiarov. Na včasný zásah v tejto mimoriadne rizikovej oblasti Hasičský a záchranný zbor zriadil v r. 2010 pracovisko v Starom Smokovci. Na sledovanie požiarneho rizika priamo v suchých porastoch slúži automatická meteorologická stanica TU Zvolen na lokalite Štart (1200 m n.m.) s online prenosom informácií o teplote a vlhkosti vzduchu a pôdy, žiarení, vetre a zrážkach a priamym výpočtom Angstromovho indexu požiarneho rizika (www.lesytanap.sk/rizikopoziaru).

Vážnym nebezpečenstvom sú v súčasnosti suché stromy, najmä v okolí turistických chodníkov. Pri vetre s rýchlosťou nad 20m.s^{-1} dochádza k ich hromadnému lámaniu. Padajúce stromy poškodili výskumné objekty a meraciu techniku VSaM opakovane v r. 2011 i 2012.

Otvorenou ostáva otázka zmeny hydrických vlastností pôd v oblasti s masívnym úhynom lesa. Odumretím porastu sa zastavila transpirácia. Na výskumnom objekte sme zistili zvýšenie vlhkosti pôdy, ktoré by mohlo znamenať zníženie jej retenčnej kapacity v prípade náhlych zrážkových udalostí. Na potvrdenie tohto poznatku je potrebný ďalší prieskum.

Záver

Úspešná kontrola početnosti populácie hmyzieho škodcu je založená na dôkladnom poznaní jeho biológie a faktorov prostredia, ktoré ju ovplyvňujú pozitívnym alebo negatívnym spôsobom. Pôsobenie týchto faktorov môže byť priame alebo nepriame. Vo všeobecnosti možno povedať, že zatiaľ čo priame vplyvy determinujú samotnú existenciu populácie, nepriame majú skôr modulačný charakter. Nepriamy účinok sa realizuje či už cez hostiteľa škodcu, alebo naopak cez jeho patogénov, parazitov alebo predátorov.

Klimatické faktory aj populácie lesnícky škodlivého hmyzu, predovšetkým lykožrúta smrekového, sa intenzívne sledujú vo Vysokých Tatrách od roku 2004, kedy veterná smršť zničila rozsiahle plochy smrekových porastov na tomto území. Získané poznatky nebývalého rozsahu otvárajú možnosti pre vývoj nových či zefektívnenie už existujúcich metód monitoringu škodcov, alebo vývoj doposiaľ málo využívaných metód biologického boja.

Všeobecne sa akceptuje názor, že dopad klimatických pomerov na konkrétnom území na populáciu škodcu sa premieta v značnej miere cez zdravotný stav jeho hostiteľa. Tak napríklad dynamika rozvoja populácie lykožrúta smrekového odráža zmeny v zdravotnom stave smrekových porastov. Klimatické podmienky pôsobiace negatívne na zdravotný stav smreka vytvárajú vhodné prostredie pre rozvoj populácie škodcu, ktorej početnosť môže dosiahnuť hodnoty fatálne pre hostiteľský porast.

Je tu však aj ďalší, doposiaľ v značnej miere prehliadaný aspekt a to zdravotný stav populácie samotného škodcu. Vysoká populačná hustota vytvára optimálne podmienky pre šírenie patogénov, či rozmnoženie parazitoidov a predátorov. Klimatické faktory majú značný vplyv aj na tento proces. Pochopenie vzájomných interakcií v reťazci prostredie – hostiteľ – škodca – jeho prirodzený nepriateľ umožní podstatne zvýšiť prognostickú hodnotu monitorovania a modelovania dynamiky populácie škodcu, ale taktiež efektívnejšiu kontrolu početnosti populácie škodcu.

Predložená štúdia sumarizuje existujúce poznatky z vývoja klimatických pomerov vo Vysokých Tatrách, ich prirodzenú dynamiku, ale tiež efekt globálnych klimatických zmien. Prináša viaceré, doposiaľ nepublikované údaje a nové interpretácie už existujúcich výsledkov. V spojení s ďalšími štúdiami plánovanými v rámci riešeného projektu umožní vytvorenie komplexného obrazu prírodných pomerov Vysokých Tatier, ich dynamiky a dopadu na lesné hospodárstvo v podmienkach vysokého stupňa ochrany prírody.

Použitá literatúra

- ARORA V., 2002. Modelling vegetation as a dynamic component in soil-vegetation-atmosphere transfer schemes and hydrological models. *Reviews of Geophysics*. Vol. 40, 1006, 26 pp, doi:10.1029/2001RG000103
- BALDOCCHI D., 2008. Breathing of the terrestrial biosphere-lessons learned from a global network of CO₂ fluxes measurement system. *Austr. J. Bot.* 56, 1-26
- BISCHOFF W.A., SCHRUMPF M., FREIBAUER A., 2007. Nutrient leaching from soils affected by windfall in the High Tatra. In FLEISCHER P., MATEJKA F. (eds.) *Pokalamitný výskum v TANAPe 2007*. CD zborník zo seminára. GFU SAV Bratislava, ISBN 978-80-85754-17-9
- BISCHOFF W.A., MAYER S., SCHRUMPF M., FREIBAUER A., 2008. Nutrient leaching from soils affected by windfall in the High Tatra. In FLEISCHER P., MATEJKA F. (eds.) *Pokalamitný výskum v TANAPe 2008*. CD zborník zo seminára. GFU SAV Bratislava, ISBN 978-80-85754-20-9
- BUBLINEC E., 1999. Zmeny kyslosti pôd s nadmorskou výškou v TANAPe. In Koreň M. (ed.) *Zborník referátov z konferencie, Vysoké Tatry*, s. 81-84
- BORMANN, B.T., SPALTENSTEIN, M.H., MCCLELLAN, F.C., UGOLINI, K., CROMACK J.R., NAGY, S.M., 1995. Rapid soil development after windthrow in pristine forest. *Journal of Ecology* 83:747-757
- BOWMAN W.D., CLEVELAND C.C., HALADA L., HREŠKO J., BARRON J.S., 2008. Negative impact of nitrogen deposition on soil buffering capacity. *Nature geoscience*. Vol.1, 4 p.
- BUCHMAN, N., 2000. Biotic and abiotic factors controlling soil respiration rates in *Picea Abies* stands. *Soil Biology and Biochemistry* 32(2000): 1625-1635
- BURGAN M., 1970. Prírodné prostredie ako objekt uspokojovania potrieb človeka. In *Národné parky bohactvo civilizácie. Zborník z medz. Konferencie. Vyd. Príroda, Bratislava*, s. 187-196
- ČERMÁK J, KUČERA J, NADEZHDINA N 2004. Sap flow measurements with thermodynamic methods, flow integration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands. *Trees* 18: 529–546
- ČERMÁK J., KUČERA J., BAUERLE W.L., PHILLIPS N., HINCKLEY T.M. 2007. Tree water storage and its diurnal dynamics related to sap flow and changes in stem volume in old-growth Douglas-fir trees. *Tree Physiology* 27: 181–198
- ČUCHTA P., MIKLISOVÁ D., KOVÁČ L., 2012. A three-year study of soil Collembola communities in spruce forest stands of the High Tatras Mts (Slovakia) after a catastrophic windthrow event. *European Journal of Soil Biology*, 50:151-158
- DAVIDSON E.A., BELK E., BOONE R.D., 1998. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Global Change Biology*, 4, 217-227
- DON A., FREIBAUER A., BARWOLF M., NEBELUNG K., SCHRUMPF M., SCHULZE D.E, 2006. C and N cycling in soils after a windthrow in the High Tatra Mts. Poster. Open Science Conference. Sissi-Lassithi, Crete, Book of abstract, p. 210
- DREWITT P. *et al.*, 2002. Measuring forest floor CO₂ fluxes in Douglas fir forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 110: 299 – 317
- FANG C., MONCRIEF J.B., 2001. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. *Soil Biology and Biochemistry*, 33, 155-165
- FERENČÍK J., 2011. Podkôrníkovité (Coleoptera, Scolytidae) – dôležití deštruenti lesa v pokalamitnom vývoji vo Vysokých Tatrách. *Štúdie o TANAP*, roč. 10 (43), s. 257-268

- FLEISCHER, P., 1999. Súčasný stav lesa v TANAPe ako východisko pre hodnotenie ekologickej stability na príklade spoločenstva smrekovcových smrečín. Dizertačná práca. TU Zvolen, 107 s.
- FLEISCHER P., 2008. Windfall research and monitoring in the Tatra Mts, objectives, principles, methods and current status. Contributions to Geophysics and Geodesy. Vol. 38/3, 2008, p. 233-248
- FLEISCHER P., FERENČÍK J., 2008. Korník atakuje od poludnia. Tatry TPN, Zakopane, No.3, (25), s. 54-57
- FLEISCHER, P., 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 kalamity na vývoj lesných porastov vo Vysokých Tatrách. LF TU Zvolen, 2009, s.21-31
- FLEISCHER P., HOMOLOVÁ Z., 2011. Dlhodobý výskum ekologických pomerov v spoločenstve smrekovcových smrečín vo Vysokých Tatrách po prírodných disturbanciách. Forestry Journal 57, 4/2011, 237-250
- FLEISCHER P., KOREŇ M., 2009. Selected soil properties after the windfall in the Tatra Mts. In: PRIBULLOVÁ A., BIČÁROVÁ S. (eds.), Sustainable development and bioclimatology. Reviewed proceedings from the scientific international conference, GFI SAS, Bratislava, p. 77-79
- FLEISCHER P., GODZIK B., BIČÁROVÁ S., BYTNEROWICZ A., 2005: Effects of air pollution and climate change on forests of the Tatra Mts. In: OMASA K., NOUCHI I., DE KOK L.J. (eds.) Plant Responses to Air Pollution and Global Change. Springer Verlag Tokyo 2005, p.111-121
- FLEISCHER, P., 2008. Windfall research and monitoring in the High Tatra Mts., objectives, principles, methods, and current status. Contributions to Geophysics and Geodesy 2008, Vol. 38, p. 233 -248
- FLEISCHER, P., KOREŇ, M., ŠKVARENINA, J., KUNCA, V., 2009. Risk Assessment of the Tatra Mts Forest. In: STŘELCOVÁ, K. et al. (eds.), Bioclimatology nad Natural Hazards. Springer, p. 145-154
- FLEISCHER, P., FLEISCHER, P. ML., 2010. Vlhkosť pôdy v r. 2009 v porastoch postihnutých vetrovou kalamitou vo Vysokých Tatrách. In: TUŽINSKÝ L., GREGOR, J. (eds), Vplyv vetrovej kalamity na vývoj lesných porastov vo Vysokých Tatrách, Zborník recenzovaných vedeckých prác, Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen, p. 21-31.
- FLEISCHER P., GAŠPAR D., FERENČÍK J., MICHELČÍK P., MARHEFKA J., KOVÁČ J., GAŽI P., PAVLARČÍK S., PITOŇÁK P., HOMOLOVÁ Z., KYSELOVÁ Z., ČERNICKÁ J., CHOVANCOVÁ B., 2011. Projekt komplexných a systémových preventívnych opatrení na revitalizáciu modelových povodí Studeného a Skalnatého potoka. (overovací project). ŠL TANAP, T. Lomnica, manuscript, 47 s.
- FRIČ, M., ŠKVARENINA, J., 2008. Vplyv mikroklimy na hydrochemické vlastnosti lyzimetrických vôd na kalamitných plochách v TANAPe. In: ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (ed): „Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině“, Sborník příspěvků z bioklimatologické konference, Mikulov 9. – 11.9.2008, ISBN 978-80-86690-55-1
- GARDINER, B. BLENOW K., CARNUS J.M., FLEISCHER P., INGEMARSON F., LANDMAN G., LINDNER M., MARZANO M., NICOLL B., ORAZIO C.H., PEYRON J.L., REVIRON M.P., SCHELHAS M.J., SCHUCK A., SPIELMAN M., USBECK T. 2010. Destructive Storms in European Forests-Past and Forthcoming Impact. EFI, Finland, 137 p.
- GIORGI S., FLEISCHER P., GIOLO B., KOLLE O., MANCA G., MATESSE A., ZALDEI A., ZIEGLER W., CESCATTI A., MIGLIETA F., SCHULTZE D.E., VALENTINI R., 2006. CO2 fluxes of a recent large windthrow in the High Tatra Mts forests. Poster. Open Science Conference CHG Cycle in the Northern Hemisphere. Sissi-Lassithi, Crete. Book of abstract, p.209

- GODZIK B., FLEISCHER P., 2005. Oddziaływanie ozonu na roślinność Tatr i innych obszarów chronionych. Zborník z konferencie Przyroda TPN a człowiek 2005, Tom 3, s.73-79
- GOMORYOVÁ E., STRELCOVÁ K., GOMORY D., 2011. Pôdne mikroorganizmy na kalamitných plochách. In: TUŽINSKÝ L., GREGOR J. (eds.) Veterná kalamita a smrekové ekosystémy, TU Zvolen, s. 125-133
- GÖMÖRYOVÁ 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, DOI 10.1007/s10661-1755-2, 15 p.
- HANAJÍK, P., 2010. Pedochemické a mikrobiologické charakteristiky pôd na území Tatranského národného parku postihnutom vetrovou kalamitou. UK Bratislava, dizertačná práca, 93 s.
- HOLEKSA J., ZIELONKA T., ZYWIEC M., FLEISCHER P., 2011. Disturbance history before 2004 in the area of large windstorm "Velka kalamita". Štúdie o TANAP, Tatranská Lomnica, roč. 10 (43), 25-35
- HOLKO L., HLAVATÁ H., KOSTKA Z., NOVÁK J., 2009. Hydrological regimes of small catchments in the High tatra Mts before and after extraordinary wind-induced deforestation. *Folia Geographica-Physica*, XL:33-44
- HOLKO L., KOSTKA Z., NOVÁK J., 2009. Estimation of groundwater recharge, water balance of small catchments in the Tatra Mts in hydrological year 2008. In PRIBULOVA A., BIČÁROVÁ S. (eds) Sustainable development and Bioclimate: Reviewed Conference proceedings, Stara Lesna, ISBN 978-80-900450, p.93-94
- HOLKO L., KOSTKA Z., 2011. Hodnotenie zmien hydrologického režimu v subpovodiach horného Popradu pred a po veternej kalamite. Štúdie TANAP, roč. 10 (43), s.87-98
- CHOMICZ K., ŠAMAJ F., 1974. Zrážkové pomery. In: Konček F. A kol. (ed.) Klíma Tatier. Veda Bratislava.
- JANKOVIČ J., CELER S., ČABOUN V., FLEISCHER P., GUBKA K., HLAVÁČ P., CHROMEK I., JULÉNY J., KAMENSKÝ M., KOREŇ M., KROŽOVÁ E., LÍŠKA P., MAJLINGOVÁ A., MARHEFKA J., RAŠI R., RIZMAN I., SANIGA M., SCHWARZ M., SPITZKOPF P., SUŠKOVÁ M., SZARKA P., ŠMELKO Š., ŠMELKOVÁ L., ŠTEFANČÍK I., TOMA P., TUČEKOVÁ A., VLADOVIČ J., 2007. Projekt revitalizácie lesných ekosystémov na území Vysokých Tatier postihnutom veternou kalamitou dňa 19.11.2004, Národné lesnícke centrum Zvolen, 75 s.
- KAUR, K., JALOTA, K.R., MIDMORE, D.J., 2007. Impact of temperature and defoliation (simulated grazing) on soil respiration of pasture grass (*Cenchrus ciliaris* L.) in a controlled experiment. *Journal of Agricultural, Food, and Environmental Sciences* Volume1, Issue 1,2007
- KISSIYAR O., BLAŽENEC M., JAKUŠ R., WILLEKENS A., JEŽÍK M., BALÁŽ P., VALCKENBORG J.V., CELER S., FLEISCHER P., 2005. TANABBO model – a remote sensing based early warning system for forest decline and bark beetle outbreaks in Tatra Mts-overview. In Grodzki W. (ed.) GIS and databases in the forest protection in Central Europe, FRI Warsaw, p.15-34
- KŇAVA K., NOVÁK V., ORFÁNUS T., 2007: Canopy structure changes and potential evapotranspiration- Possible influence of windthrow in the High Tatra Mts. In: STRELCOVÁ K., ŠKVARENINA J., BLAŽENEC M., (eds.), Bioclimatology and natural hazards. Proceedings from international Scientific Conference, ISBN 978-80-228-17-60-8
- KOLEKTÍV 2004. Harmonogram spracovania kalamity. ŠL TANAP, T. Lomnica, manuscript 6 pp.
- KONČEK, M., (ed.), 1974. Klíma Tatier. Veda, Bratislava, 856 s.
- KONÔPKA, J., KONÔPKA, B., 2005. Živelné pohromy, ich príčiny a dôsledky. Zborník referátov Aktuálne problem lesa, Banská Štiavnica, s.26-36
- Koreň M., 2002. Poznámky k vlastnostiam a genéze podzolových pôd Bielovodskej doliny. Štúdie o TANAP, č. 5 (38), s. 147-166

- KOREŇ M., 2004. Starostlivosť o lesné ekosystémy Tatier. In Horská a vysokohorská krajina. Zborník referátov z vedeckej konferencie. Banská Štiavnica, s.139-147
- KOREŇ, M., 2005. Vetrová kalamita 19. novembra 2004. Nové pohľady a dôsledky. Časopis Tatry, mimoriadne vydanie, 2005, s. 6–29
- KOREŇ M., KOREŇ, M. JR., 1995. Theoretical aspects and principles of the Montan Project. Ekologia (Bratislava), Supplement 2/1995, p.149-168
- KOREŇ, M.; FLEISCHER, P.; TUROK, J., 1997. Príčiny podkôrnikovej kalamity v ochrannom obvode Javorina a návrh озdravných opatrení. In: Štúdie o TANAPe č. 3 (36), s. 113–187
- KOREŇ M., FLEISCHER P., FERENČÍK J., SLIVINSKÝ J., 1999. Rozpad horských lesov a problem ich rekonštrukcie v podmienkach ŠL TANAPu. Zborník referátov z celoslovenského seminára v B. Štiavici, s. 37-46
- KOSTKA Z., HOLKO L., 2005. Vplyv veternej kalamity vo Vysokých Tatrách na hydrologický režim povodia horného Popradu. In: ŠÍR M., LICHNER E., TESAŘ M., HOLKO L. (eds.) Hydrologie malého povodí 2005, ÚH AVČR, Praha, s.173-179
- KOSTKA Z., HOLKO L., BABIAKOVÁ G., LEŠKOVÁ D., 2005. Simulácia vodnej hodnoty snehu v povodí Popradu v r.1999-2005 vplyvom zmeny vegetačných pomerov a predpoveď odtoku počas jarného obdobia. Acta Hydrologica Slovaca 6 (1), ÚH SAV, s.149-160
- KREMLER M., 2001. Prízemný ozón na Slovensku. Zborník referátov Extrémy počasia-limitujúce faktory biokliatologických procesov, Račkova dolina, CD ROM, ISBN-80-7137-910—7, 6 s.
- 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), s. 7-25
- KUBÍČEK F., 2001. Biomass of the herb and moss layer in forest ecosystems of the Tatra national Park. Ekologia (Bratislava), 20 (suppl.), p.181-191
- KUČERA J., 2003. Sap Flow Meter – P4.2, Instruction Manual. Výrobca EMS Brno, 10 pp.
- KURZ et al. 2008 KURZ W.A., DYMOND C.C., STINSON G., RAMPLEY G., NEILSON E.T., CARROLL A.L., EBATA T., SAFRANYIK L., 2008. Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. Nature 452:987-990
- KUNCA V., ŠKVARENINA J., FLEISCHER P., CELER S., VIGLAŠSKÝ J., 2003: Concept of Critical Loads applied in Landscape Ecology on an example of the geomorphological unit Tatry. Ekológia (Bratislava), Vol.22, Supplement2/2003, p.349-360
- LESOPROJEKT Zvolen, 2000. Prehľad typologických jednotiek lesov Slovenska. Zvolen
- LUKNIŠ M., 1973. Reliéf Vysokých Tatier a ich predpolia. Vydavateľstvo SAV, Bratislava, 375 s.
- MATEJKA F., 1997. A tree-layer SVAT model for homogenous land surfaces. Contr. Geophys. Ins. SAS, Ser. Meteorol., Vol. 17, 44-53
- MATEJKA F., FLEISCHER P., 2011. Energetická bilancia kalamitnej oblasti TANAPu. Štúdie o TANAP, Tatranská Lomnica, roč.10 (43), s. 77-86
- MATEJKA F., HURTALOVÁ T., 2008. Mikroklimatické podmienky v kalamitnej oblasti TANAPu. In: FLEISCHER P., MATEJKA F. (eds.), Pokalamitný výskum v TANAPe 2008, Zborník príspevkov z III. Seminára, GFU SAV Bratislava a VS TANAP, Tatranská Lomnica, CD ROM, ISBN 978-80-85754-20-9, s. 148-156
- MAZÚR E., KRIPPEL E., PORUBSKÝ A., TARÁBEK K., 1980. Atlas SSR, SAV Bratislava
- MAZÚR E., MAZÚROVÁ V., 1965. Mapa relatívnych výšok Slovenska a možnosť ich využitia pre geografickú regionalizáciu. Geogr. Časopis 17, 1, s.3-18
- MICHALKO, J. et al., 1986. Geobotanická mapa ČSSR, časť Slovenská republika, Veda, Bratislava, 168 s.
- MORAVČÍK, M., BALÁŽ, D., BALOGH, P., BOZALKOVÁ, I., CELER, S., DRAŽIL, T., FLEISCHER, P., KRAJČOVIČ, R., RIZMAN, I., POLÁK, P., ŠEFFER, J., 2007. Rozdelenie územia Tatranského národného parku na zóny ochrany prírody – návrh, NLC Zvolen, 15 pp

- NEMČOK J. a kol., 1994. Geologická map Tatier, GÚDŠ Bratislava
- NOVÁK V., KŇAVA K., ORFÁNUS T., 2008. Soil hydrophysical characteristics of experimental site FIR. In: FLEISCHER P., MATEJKA F. (eds.), Pokalamitný výskum v TANAPe 2008, Zborník príspevkov z III. Seminára, GFU SAV Bratislava a VS TANAP, Tatranská Lomnica, CD ROM, ISBN 978-80-85754- 20-9, p.165-171
- OSTROŽLÍK, 2006 OSTROŽLÍK, M., 2007. Meteorological observatories Skalnaté Pleso and Stará Lesná. Year-book 2006, Bratislava, Geofyzikálny ústav SAV, 34 s., ISBN 978-80-85754-16-2
- PYŠEK P., 1990. The influence of *Calamagrostis villosa* on species diversity of deforested sites in Krusne hory Mts. *Preslia*, Praha, 62:323-335
- REICH, J. W., SCHLESSINGER, W. H., 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus* (1992), 44b, p.81-99
- ROJAN E., 2011. Relief changes of the windthrown area in the Slovak High Tatra Mts. *Štúdie o TANAP*, 10 (43), s.131-142
- SANO T., HIRANO T., LIANG N., HIRATA R., FUJINUMA Y., 2010. Carbon dioxide exchange of a larch forest after a typhoon disturbance. *Forest Ecology and Manag.* 2160, 2214-2223
- REICH J.W., SCHLESSINGER W.H., 1992. The global CO₂ flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*, 44b, p.81-99
- SCHLYTER F., JAKUŠ R., 2004. Summary of work and results of Inco Copernicus Project – Tatry. *Štúdie o TANAP č.7* (40), s.413-419
- SITKO R., MIDRIAK R., FLEISCHER P., GOCELIAK T., PAVLARČÍK S., 2011. Výskum vodnej erózie po kalamitách vo Vysokých Tatrách. *Štúdie o TANAP*, roč. 10 (43), s.115-130
- SITKOVÁ Z., 2006. Vplyv vybraných ekologických faktorov na lesné ekosystémy v súvislosti s odumieraním horských smrečín v časti TANAPu. *Bulletin SBKS SAV Zvolen*, 25 (35): 3-16
- SITKOVÁ Z., HLÁSNY T., VIDA T., SITKO R., FLEISCHER P., 2011. Analýza klimatických pomerov Vysokých Tatier v súvislosti s vetrovou kalamitou v novembri 2004. In KONÔPKA B. (ed.) *Výskum smrečín destabilizovaných škodlivými činiteľmi*. NLC Zvolen, s. 249-266
- SLAVÍKOVÁ J., 1986. *Ekologie rostin*. SPN Praha, 366 s.
- SZONTAGH N., 1877. *Neu Tatrafured, Klimatologiai es guoguesmci taniimany* (Klimatologische und therapeutische Studie), 72 s.
- STANOVÁ V., VALACHOVIČ M., (eds.), 2002. *Katalóg biotopov Slovenska*. Daphne, Bratislava, 225 p.
- STOLINA M., 1999. Problémy ochrany horských smrečín v strednej Európe. In VOLOŠČUK I. (ed.) *Zborník referátov z konferencie*, Stará Lesná, s. 89-92
- STŘELCOVÁ, K., ŠKVARENINA, J., 2004. *Bioklimatológia a meteorológia*. Návod na cvičenia. Lesnícka fakulta Technickej univerzity vo Zvolene. 119 s
- STŘELCOVÁ K., KUČERA J., FLEISCHER P., GIORGI S., GOMORYOVÁ E., ŠKVARENINA J., DITMAROVÁ E., 2009. Canopy transpiration of mountain forest as a function of environmental conditions in boundary layer. *Biologia* 64/3:507-511
- STŘELCOVÁ K., MAGOVÁ D., FLEISCHER P., 2011. Priebeh transpiračného prúdu vybraných vzorníkov smreka a smrekovca na referenčnej ploche pokalamitného výskumu. *Štúdie o TANAP*, Tatranská Lomnica, roč. 10 (43), s.169-178
- STUCHLÍK E., KOPÁČEK J., 2004. Dvadsaťpäť rokov výskumu vysokohorských jazier v Tatrách. *Štúdie o TANAP*, roč. 7 (40), s.433-441
- SULZMAN, D.A., BRANT, J.B., BOWDEN, R.D., LAJTHA, K., 2005. Contribution of aboveground litter, belowground litter, and rhizosphere respiration to total soil CO₂ efflux in an old growth coniferous forest *Biogeochemistry* 2005 73: 231 – 256
- SUSEELA V.A., CONANT R.T., WALLENSTEIN M.D., DUKES J.S., 2012. Effects of soil moisture on the temperature sensitivity of heterotrophic respiration vary seasonally in an old field climate change experiment. *Global Change Biology*, 18:336-348

- ŠIMONOVICHOVÁ A., HANAJÍK P., VYKOUKOVÁ I., 2011. Zmena pôdných vlastností vo vzťahu k pôdnej mikrobiote a rastlinnému spoločenstvu na kalamitných plochách von Vysokých Tatrách. Štúdie TANAP, roč. 10 (43), s. 51-60
- ŠKVARENINA J., MIŠÍKOVÁ N., 2009. Mikroklimatické podmienky kalamitnej plochy požiariskav TANAPe a jej zmeny. Meteorologický časopis, roč.12, č.1, s.31-36
- ŠPORKA F., ŠTEFKOVÁ E., 2004. Výskum vysokotatranských jazier v rámci projektov EÚ. Štúdie o TANAP, roč.7 (40), s. 443-448
- ŠVAJDA J., VANČURA T., VOLOŠČUK I., 2005. Desať mesiacov po víchrici v Tatrách. Fakty a dokumenty. Monografické štúdie o národných parkoch.. ŠOP B. Bystrica, 295 s.
- TANG, X,L., ZHOU, G,I., LIU, S,G., ZHANG, D,Q., LIU, S,Z., LI, J., ZHOU, C,Y., 2006. Dependence of Soil Respiration on Soil Temperature and Soil Moisture in Successional Forests in Southern China. Journal of Integrative Plant Biology 2006, 48(6): 654-663
- TARÁBEK K., 1980. Klimatické pomery, Atlas SSR, SAV Bratislava
- ŤUPEK B., 2009. Zhodnotenie vplyvu troposférického ozónu na vybrané lesné ekosystémy SR. Dizertačná práca, TU Zvolen, 80 s.
- TUROK, J., 1990. Vývoj, štruktúra a regenerácia prírodných lesov smrekovcových smrečín. Osveta. Správa TANAP, T. Lomnica. Zborník prác o TANAP č. 30: 179-225
- KORPEE Š., TUROK J., 1999. Zásady starostlivosti o les podľa zón ochrany prírody. In VOLOŠČUK I. (ed.). Zborník referátov z konferencie, Stará Lesná, s.71-76
- TUŽINSKÝ L., 2008. Možné dopady na hydrologický režim po kalamitách v lesných ekosystémoch. In: FLEISCHER P., MATEJKA F. (eds.), Pokalamitný výskum v TANAPe 2008, Zborník príspevkov z III. Seminára, GFU SAV Bratislava a VS TANAP, Tatranská Lomnica, CD ROM, ISBN 978-80-85754-20-9, s. 227-233
- USBECK T., WOHLGEMUTH T., DOBBERTIN M., PFISTER C., BURGI A., REBETEZ M. 2010. Increasing storm damage to forest in Switzerland from 1858 to 2007. Agric. For. Meteorology, 150, 47-55
- YUSTE J.C., BALDOCCHI D.D., GERSHENSON A., GOLDSTEIN A., MISSON L., WONG S., 2007. Microbial soil respiration and its dependency on carbon inputs, soil temperature and moisture. Global Change Biology, 13:1-18
- VAKULA, V., GUBKA, A., 2007. Prognóza? Zanikne asi štvrt' milióna hektárov smrečín! Les & leto-kruhy, november-december 2007, <http://www.lesmedium.sk>
- VAKULA, J., ZÚBRIK, M., BRUTOVSKÝ, D., GUBKA, A., KAŠTIER, P., KUNCA, A., LEONTOVÝČ, R., LONGAUEROVÁ, V., NIKOLOV, CH., NOVOTNÝ, J., RAŠI, R., VARÍNSKÝ, J., 2007. Projekt ochrany lesa na území TANAPu po veternej kalamite zo dňa 19.11.2004 pre štátne subjekty, NLC Zvolen, 68 pp.
- WAN, S., LUO, Y., 2003. Substrate regulation of soil respiration in a tallgrass prairie – Results of a clipping and shading experiment. Global Biogeochemical Cycles, Vol. 17, No. 2, 1054, p. 1 – 12
- WIESER, G., 2004. Seasonal variation of soil respiration in a Pinus cembra forest at the upper timberline in the Central Austrian Alps. Tree Physiology 24, 475-480
- WILD, M. - OHMURA, A. 1997. GCM-Simulated fluxes in climate change experiments. In: J. Climate 10, 1997, No. 2, p. 3093-3110
- ZÁVODSKÝ D., 1998. Surface O3 monitoring and modelling in the Slovak Republic. Act. Met. Univ. Commenianae, Vol. XXVII, 1998, p.1-15
- ZHOU, X., TALLEY M., LUO, Y., 2003. Biomass, Litter, and Soil Respiration Along a Precipitation Gradient in Southern Great Plains, USA. Ecosystems p 1369-1380
- ZLATNÍK, A., 1976. Lesnícká fytocenologie. Učební texty. SNP, Praha, p. 49-64