

Sucho a biodiverzita

Jaroslav Vido & Zbyšek Šustek

Oikos 2021

Autori:

doc. Ing. Jaroslav Vido, PhD.

Katedra prírodného prostredia, Lesnícka fakulta,

Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 2117/24, 960 01 Zvolen

Ing. Zbyšek Šustek, PhD.

Ústav zoológie Slovenskej akadémie vied, Dúbravská cesta 9, 845 06 Bratislava

SUCHO A BIODIVERZITA

Vedecká monografia

Recenzenti:

prof. Ing. Jaroslav Škvarenina, CSc.

Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene

prof. RNDr. Bernard Šiška, PhD.

Slovenská bioklimatologická spoločnosť pri SAV

I. vydanie v rozsahu 110 strán, 7,58 AH, 7,91 VH

Náklad: 100 CD

Vydané: elektronicky na CD

Vydavateľ: Oikos, Na karasíny 247/21, 971 01 Prievidza

Rok vydania: 2021

Redakčná úprava: Vydavateľstvo Technickej univerzity vo Zvolene

Grafická úprava: doc. Ing. Jaroslav Vido, PhD., Ing. Zbyšek Šustek, PhD.

Foto na obálke: doc. Ing. Jaroslav Vido, PhD.

Za vedeckú úroveň tejto publikácie zodpovedajú autori a recenzenti. Rukopis neprešiel jazykovou úpravou.

© Oikos, Na karasíny 247/21, 971 01 Prievidza

© doc. Ing. Jaroslav Vido, PhD.

Ing. Zbyšek Šustek, PhD.

Citácia: Vido, J., Šustek, Z. (2021): Sucho a biodiverzita. Prievidza, Zvolen: Oikos, 2021. 110 s. ISBN 978-80-973746-3-1

Podakovanie: Vznik a vydanie vedeckej monografie bolo podporené projektom VEGA 1/0370/18 s názvom: Hodnotenie zraniteľnosti vybraných prírodných a narušených ekosystémov voči hydrometeorologickým extrémom, APVV-18-0347 s názvom: Zmeny klímy a prírodné riziká: zraniteľnosť a adaptačné kapacity lesných ekosystémov Západných Karpát a APVV-18-0390 s názvom: Rast a produkcia horských ekosystémov v podmienkach aridizácie klímy.

ISBN 978-80-973746-3-1

Všetky práva vyhradené. Žiadna časť textu ani ilustrácie nemôžu byť použité na ďalšie šírenie akoukoľvek formou bez predchádzajúceho súhlasu autorov alebo vydavateľa.

Zoznam použitých symbolov a značiek	5
Úvod	7
1. Rozbor problematiky	8
1.1 Sucho	8
1.2 Obdobie sucha	9
1.3 Sucho a vodný režim pôdy	10
1.3.1 Vodný režim pôdy	10
1.3.1.1 Determinanty vodného režimu pôdy	11
1.3.1.2 Bilancia vody v zóne aerácie pôdy	12
1.4 Sucho a klimatická zmena	13
1.4.1 Severoatlantická oscilácia (NAO)	15
1.4.2 Dôsledky vzostupu teploty vzduchu	15
1.5 Sucho a biodiverzita	17
1.5.1 Dopady sucha na rôznych úrovniach ekologickej hierarchie	18
1.5.1.1 Predispozičné faktory	18
1.5.2 Dôsledky sucha v časových horizontoch	19
1.5.3 Dopady sucha na biodiverzitu na príklade antropogénnych zmien VRP	21
1.6 Sucho v TANAPe	23
1.7 Modelovanie vodného režimu pôdy	26
1.7.1 Model GLOBAL	27
1.8 Indexy sucha	28
1.8.1 Štandardizovaný zrážkový index – SPI	29
1.8.2 Štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index	30
2. Ciele	31
3. Materiál a metódy	32
3.1 Vybrané výskumné plochy	32
3.1.2 Charakteristiky výskumných plôch	32
3.1.3 Pôdne a hydrologické pomery	33
3.1.4 Klimatické charakteristiky	33
3.1.5 Charakteristiky vegetačného krytu	34
3.2 Metodika	34
3.2.1 Vstupné údaje	34
3.2.2 Výpočet indexov <i>SPI</i> a <i>SPEI</i>	35

3.2.2.1	Vyhodnotenie indexov a testovanie štatistickej významnosti kor. koef.....	36
3.2.3	Trend časového radu priemernej ročnej teploty vzduchu.....	37
3.2.4	Technika priestorového zobrazenia indexu SPI a jeho charakteristík.....	37
3.2.4.1	Vytvorenie siete uzlových bodov a hľadanie hlavnej deliacej čiary	38
3.2.4.2	Tvorba reg. rovníc a výpočet zrážkových úhrnov v uzlových bodoch	40
3.2.4.3	Priestorový model	41
3.2.5	Výpočet zmien obsahu vody v pôde pomocou modelu GLOBAL....	42
3.2.5.1	Odber pôdnych vzoriek v prirodzenom uložení.....	42
3.2.5.2	Laboratórne stanovenie hydrofyzikálnych charakteristík pôdy	42
3.2.5.3	Vstupné údaje modelu GLOBAL	43
3.2.5.4	Modelovanie priebehu zmien objemovej vlhkosti pôdy	44
3.2.5.5	Vyhodnotenie modelovaných hodnôt obsahu vody v pôde.....	44
3.2.6	Hodnotenie štruktúry spol. bystruškovitých vo vzťahu k indexom sucha a výstupom modelu GLOBAL	44
4	Výsledky a diskusia	46
4.1	Komplexné hodnotenie výskytu sucha v oblasti TANAP-u.....	46
4.1.1	Výskyt epizód sucha v období 1961–2010	46
4.1.2	Trendy časových radov výskytu suchých epizód podľa SPI a SPEI na staniciach v oblasti Tatier	49
4.1.3	Priestorové rozloženie výskytu suchých epizód	56
4.1.4	Potenciálne dopady sucha v oblasti Tatier	60
4.2	Modelovaný priebeh zmien objemovej vlhkosti pôdy na pokalamitných plochách v období 2007–2011.....	64
4.3	Vplyv sucha a pôdnej vlhkosti na štruktúru spoločenstiev bystruškovitých (Coleoptera, Carabidae).....	70
4.3.1	Všeobecná charakteristika spoločenstiev bystruškovitých v postihnutej oblasti	71
4.3.2	Zmeny spoločenstiev bystruškovitých vo vzťahu k suchu a vlhkosti pôdy	75
5.	Záver	86
6.	Literatúra.....	89
	Prílohy.....	106

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A ZNAČIEK

A	– nadmorská výška uzlového bodu (m n. m.)
A–RK	– subsystém prenosu energie a hmoty (Atmosféra – Rastlina)
A–RK–ZAP–PV	– systém prenosu energie a hmoty (Atmosféra – Rast. – Pôda)
b	– konštanta (v lineárnom regresnom modeli)
$c(h_w)$	– merná vodná kapacita (cm^{-1})
CO_2	– oxid uhličitý
CH_4	– metán
C++	– programovací jazyk
ČSSR	– Československá socialistická republika
DAISY	– model dynamiky vody v zóne aerácie pôdy (HANSEN <i>et al.</i> 1990)
DAIR	– model dynamiky vody v zóne aerácie pôdy (PETROVIČ 1995)
DCA	– detrendovaná korešpondenčná analýza
E	– evaporácia
E_o	– potenciálna evapotranspirácia
EXT	– plocha s vytlačenou kalamitnou drevnou hmotou (Vysoké Tatry)
F^{-1}	– inverzná funkcia normálneho rozdelenia $N(0,1)$
FIR	– plocha zhoreniska (Tatranské Zruby – Vysoké Tatry)
G	– kumulatívna distribučná funkcia zrážkových úhrnov
GLOBAL	– model dynamiky vody v zóne aerácie pôdy (MAJERČÁK <i>et al.</i> 1994)
GLOBAL4	– posledná verzia modelu GLOBAL
HPV	– hladina podzemnej vody
h_w	– vlhkostný potenciál pôdy (cm^{-1})
HYDRUS	– model dynamiky vody v zóne aerácie pôdy (ŠIMÚNEK <i>et al.</i> 1997)
I_i	– prítok vody infiltráciou zo zrážok
I_{in}	– intercepcia porastu
I_k	– kapilárny prítok vody
I_p	– odtok vody zo zóny aerácie pôdy priesakom do nižších horizontov
INGLO	– program pre univerzálne vstupy do modelu GLOBAL
IPCC	– medzinárodný panel pre klimatickú zmenu
IS 92	– scenáre klimatickej zmeny
K	– klimatický ukazovateľ zavlaženia (TOMLAIN 1991)
$k(h_w)$	– nenasýtená hydraulická vodivosť pôdy (cm/d^{-1})
LAI	– index listovej plochy
LDF	– Langov d'ážďový faktor (index sucha)
LINEST	– parameter regresnej rovnice (EXCEL)

MOVOREP	– model dynamiky vody v zóne aerácie pôdy (BENETIN <i>et al.</i> 1985)
MS–EXCEL	– tabuľkový procesor
NAO	– severoatlantická oscilácia
NDMC	– The National Drought Mitigation Center (Lincoln–NE)
NEX	– plocha s ponechanou kalamitou (Lokalita Jamy – Vysoké Tatry)
N ₂ O	– oxid dusný
P	– zrážky (mm)
PDSI	– Palmerov index sucha (PALMER 1965)
Q _{hp}	– hypodermický laterálny prítok
Q _{h0}	– hypodermický laterálny odtok
r ²	– koeficient determinácie
REF	– referenčná plocha s nepoškodeným lesom (Vyšné Hágy)
RETC	– program na výpočet vlhkostných retenčných kriviek
rSPEI	– relatívny index SPEI (viď. heslo SPEI)
rSPI	– relatívny index SPI (viď. heslo SPI)
S(z,t)	– intenzita odberu vody koreňami rastlín z jednotkového objemu pôdy za čas (cm ³ /cm ³)d–1
SHMÚ	– Slovenský hydrometeorologický ústav
SPEI	– štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index (index sucha)
SPI	– štandardizovaný zrážkový index (index sucha)
T	– transpirácia
t	– časová súradnica (s ⁻¹) (v modeli GLOBAL)
TANAP	– Tatranský národný park
UH SAV	– Ústav hydrológie Slovenskej akadémie vied
UNINPNEW	– podporný program pre vytváranie vstupov do modelu GLOBAL
VD	– vodné dielo
VL	– lokalita Vodný Les (Nový Smokovec)
VRP	– vodný režim pôdy
VS ŠL TANAP	– výskumná stanica štátnych lesov Tatranského národného parku
W _t	– obsah vody v pôde v časovom horizonte
W ₀	– východiskový obsah vody v zóne aerácie pôdy
x	– priemerná hodnota znaku vo výstupnom rastrí
x _{mod.}	– hodnota znaku v modelovanom rastrí
x _r	– hodnota znaku v rastrí s nameranými hodnotami na staniciach
z	– vertikálna súradnica (cm)
ZAP	– zóna aerácie pôdy
θ	– objemová vlhkosť pôdy (cm ³ /cm ³)

Úvod

Extrémne meteorologické javy, ktoré v súvislosti s krajinou a jej zložkami nazývame bioklimatologickými rizikami, sa v kontexte zmien klimatického systému Zeme stávajú významnými prírodnými činiteľmi. Ich dopady v krajine sa vplyvom ľudskej činnosti významne zosilňujú. Medzi najrizikovejšie bioklimatologické riziká patrí povodeň, veterná smršť, extrémna teplota a sucho (SIVAKUMAR *et al.* 2005). Práve posledne menované sa vyskytuje v súvislosti s disturbanciami v krajine čoraz častejšie, a preto je vybrané ako predmet výskumu v práci, ktorú čítate. Dôvodom závažného dopadu sucha na ekosystémy a biodiverzitu sú fyziologické nároky prakticky všetkých organizmov vyskytujúcich sa na Zemi. Sucho podmienené „vhodnými“ meteorologickými a klimatickými podmienkami môže mať vplyv na rôzne fyziologické procesy. Organizmy, ktoré nie sú priamo zasiahnuté suchom, môžu byť postihnuté dôsledkami, ktoré tento fenomén vyvolá v hlavných zložkách ekosystému modifikujúcich prostredie.

Sucho tiež oslabením niektorých druhov v ekosystéme vyvoláva expanziu iných druhov, ktoré takto oslabené jedince napádajú. Následným úspešným procesom na uvoľnených nikách dochádza k prenikaniu druhov, ktoré by inak nemali priestor, a tým diverzitu ekosystému aspoň dočasne zvyšujú.

Je teda otázkou, či tento fenomén, ktorý je v našich klimatických podmienkach, občasným javom, hodnotiť z pohľadu možných dopadov na biodiverzitu ekosystémov ako pozitívny, negatívny alebo neutrálny.

Treba však poznamenať, že klimatický systém v súčasnosti prebieha významnými zmenami, ktoré môžu spôsobovať nepredvídateľné dopady sucha na rôzne taxóny a ich biotopy (LAPIN 2010). Taktiež antropický tlak fragmentujúci ekosystémy zvyšuje dopady sucha prostredníctvom prerušenia alebo obmedzenia energomateriálových a informačných tokov. Tým môže spôsobiť zánik súčasných ekosystémov alebo podmieniť ich významnú premenu (TOWNSEND *et al.* 1994).

Problematika sucha a jeho dopadov je veľmi široká téma. Preto sme sa zamerali na výskum vplyvu pôdnej vlhkosti, resp. sucha a jeho parciálnych meteorologických prvkov na štruktúru spoločenstiev a parametre populácií druhov z čelade bystruškovitých na území štyroch pokalamitných výskumných plôch v TANAP-e.

1 ROZBOR PROBLEMATIKY

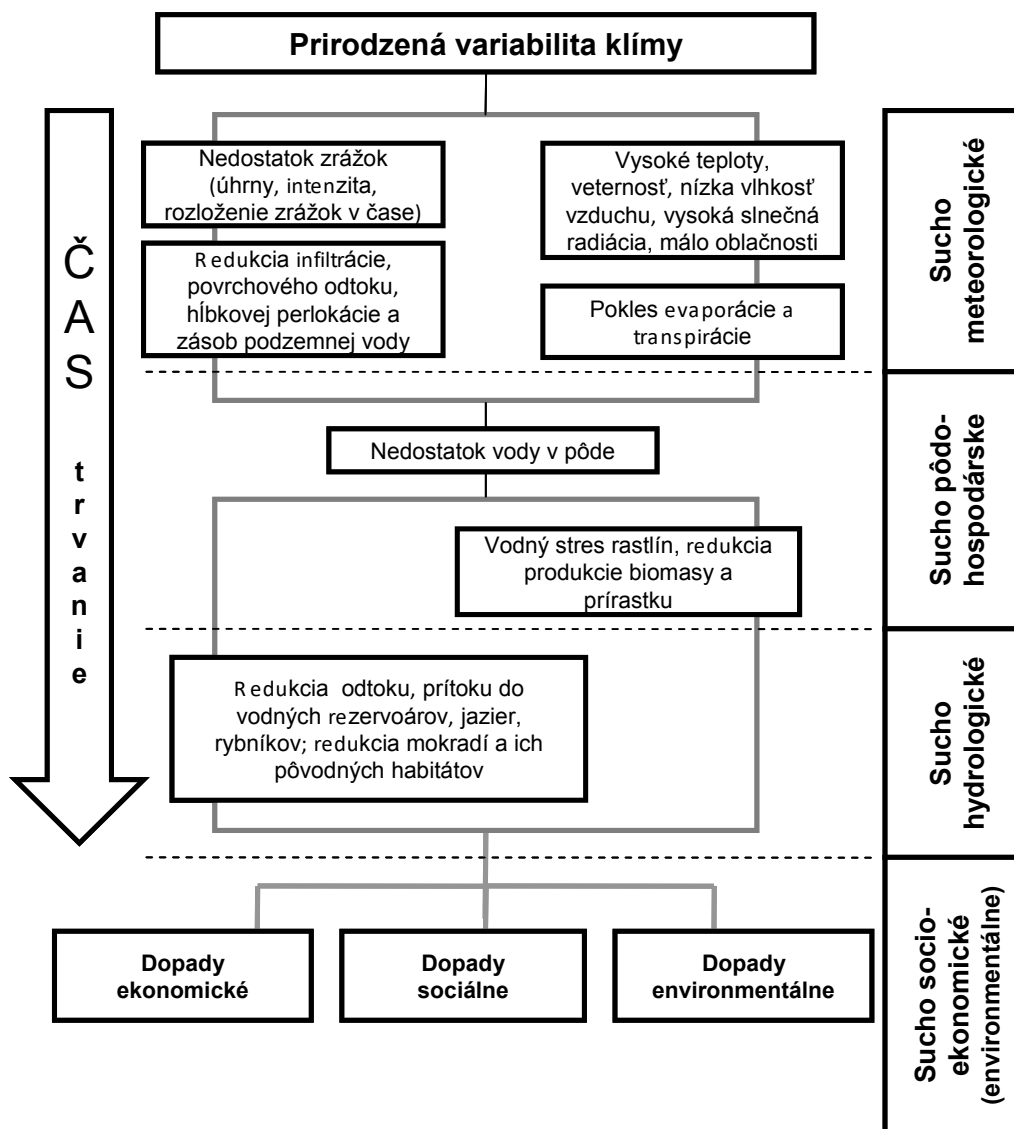
1.1 Sucho

Meteorologický slovník definuje sucho ako veľmi neurčitý, avšak v meteorológii často používaný, pojem znamenajúci vo všeobecnosti nedostatok vody v pôde, rastlinách alebo v atmosfére (SOBÍŠEK *et al.* 1993). Predstavuje zložitý komplex činiteľov, ktorých pôsobením vzniká nedostatok vlhky. V krajine s dostatkom vody, sa chápe ako mimoriadny jav, prípadne sa považuje až za živelnú pohromu (ŠKVARENINA *et al.* 2008). Sucho je prechodná odchýlka a nie je totožné s pojmom aridita, ktorý je obmedzený na oblasti s nízkymi zrážkami a predstavuje trvalú vlastnosť klímy. Tento fenomén predstavuje neočakávateľné prírodné riziko. Vyjadruje zápornú odchýlku vodnej bilancie od normálu. Významne ovplyvňuje ekosystémy, populácie a jedince rôznych druhov organizmov (HULME 2003), či významne limituje ľudské aktivity v krajine (ŠIŠKA *et al.* 2005, BRÁZDIL *et al.* 2008).

Primárnou príčinou vzniku sucha v našich podmienkach je deficit zrážok v určitom časovom intervale, napríklad v priebehu vegetačného obdobia alebo jeho časti. Spolupôsobenie ostatných meteorologických prvkov, hlavne vysokej teploty vzduchu, intenzívnejšieho prúdenia vzduchu, prípadne nízkej relatívnej vlhkosti vzduchu, môže významne prispieť k prehĺbeniu dôsledkov tohoto deficitu (BRÁZDIL *et KIRCHNER et al.* 2007).

Pretože prakticky nie je možné odvodiť všeobecne platnú a rôznymi disciplínami uznávanú definíciu sucha, väčšina autorov rozlišuje štyri typy sucha podľa dominantných prejavov, a to sucho meteorologické, pôdohospodárske, hydrologické a socioekonomické (HEIM 2002). Medzi jednotlivými typmi sucha existuje zrejma časová postupnosť, pričom jeho prejavy sa môžu vyskytovať súčasne. Meteorologické sucho, ktoré môžeme definovať ako zápornú odchýlku zrážok od normálu behom určitého časového obdobia, podmieňuje vznik sucha pôdohospodárskeho a následne hydrologického až socioekonomického (BRÁZDIL *et KIRCHNER et al.* 2007).

Podrobné znázornenie priebehu, následnosti a dopadov jednotlivých typov sucha je vyobrazené na obrázku 1.1.



Obr. 1.1 Definovanie chápania sucha pre rôzne sektory činností a jeho časová postupnosť (podľa HAYES *et al.* 1999, HEIM 2002)

1.2 Obdobie sucha

Vo všeobecnosti obdobie so súvislým neprerušným trvaním deficitu zrážok v kombinácii s ostatnými vplyvmi meteorologických prvkov zvýrazňujúcimi tento deficit, hodnotené na základe rôznych meteorologických či hydrologických indexov, sa považuje za obdobie alebo epizódu sucha. Avšak aj v tomto smere existuje u rôznych autorov viacero terminologických rozdielov. Tieto najčastejšie vznikajú z dôvodu používania rôznych metodických prístupov pri hodnotení výskytu suchých období, ktoré však nie sú v logickom protiklade. Podľa niektorých prác (KOLEKTÍV 1960, ČIMO *et* ŠPÁNIK 2007) sa suchou epizódou rozumie obdobie bez zrážok s trvaním 5 dní a viac, pritom epizódu sucha neprerušia dni so zrážkami nižšími ako 1 mm. Hlavnou príčinou

je podľa týchto autorov fyziologická vlastnosť rastlín prežívať bez významného poškodenia krátkodobé obdobie bez zrážok. Tento prístup je vhodný aj z dôvodu jednoduchosti určenia začiatku sucha. Iné práce (HAYES *et al.* 2005, BRÁZDIL *et al.* KIRCHNER *et al.* 2007, TRNKA *et al.* 2009a) považujú za epizódu sucha súvislé obdobie vymedzené zápornými hodnotami *SPI* (štandardizovaný zrážkový index) a *PDSI* (Palmerov index závažnosti sucha), pričom musí byť dosiahnutá istá presne stanovená záporná hodnota týchto indexov (*SPI* (-1), *PDSI* (-2), počas súvislého obdobia s hodnotami aspoň (-1)). Tento prístup je presnejší pre potreby ekologickej praxe, nakoľko sa v ňom integrálne pracuje s pôdnymi podmienkami a rastlinným krytom. Meteorologické sucho, ako prvý stupeň, resp. typ predchádzajúci ostatným typom sucha, je pomerne bežný jav, ktorého výskyt nemusí zásadne znamenať počiatok dlhšej epizódy sucha časom smerujúcej k ďalším typom sucha, ktorá by predstavovala hrozbu pre ekosystémy a ľudské aktivity (ŠKVARENINA 2008). Ale i jeho výskyt môže predstavovať riziko pre organizmy z dôvodu zvýšenej schopnosti atmosféry odnímať vodu výparom z ich tkanív, ktorá nemôže byť dostatočne rýchlo nahrádzaná napr. u rastlín koreňovým systémom (KREČMER 1980).

1.3 Sucho a vodný režim pôdy

1.3.1 Vodný režim pôdy

Vodný režim pôdy predstavuje komplexný priebeh obehu vody na vymedzenom mieste, v krajine, území alebo v určitom médiu (KREČMER 1980). Tento režim je ovplyvňovaný zákonitostami zmien hydrologických časovo-priestorových javov, ktoré sú závislé na fyzicko-geografických činiteľoch, a to hlavne režimoch prietokov riek, hladín podzemných vôd, ľadových režimoch alebo režimoch splavenín (ŠÚTOR *et al.* 2000). Hydrologickými javmi, resp. procesmi rozumieme prírodné úkazy ako povrchový odtok, infiltrácia vody do pôdy, intercepcia, evaporácia, či kapilárne vzlianie (ŠÚTOR *et al.* ŠTEKAUEROVÁ 2000).

Dynamika vody v pôde vplyvom zmien prírodných činiteľov sa v literatúre popisuje ako vlhkostný režim pôdy, ak hovoríme o vlhkosti a integrálnom obsahu vody v jednotlivých horizontoch (MCDONALD *et al.* 1994, BEKE *et al.* GRAHAM 1993), alebo vodný režim pôd, pokiaľ ide o súhrn všetkých zmien fyzikálneho stavu, obsahu a transportu vody v pôde za daný čas (BEDRNA 1977, ŠÚTOR 2000). V hydrológií sa vodný režim pôd často priestorovo vymedzuje v zóne aerácie pôdy (NAGY *et al.* ŠTEKAUEROVÁ 2006, ŠÚTOR *et al.* ŠTEKAUEROVÁ 2000). Zóna aerácie pôdy (*ZAP*) predstavuje oblasť litosféry medzi povrchom pôdy a prvým horizontom podzemnej vody,

pozostávajúcej z pevnej fázy jemno až hrubo disperzného zrnitostného zloženia, ktorá vytvára štruktúru pórovitého prostredia s fyzikálne definovanými charakteristikami, v ktorom sa vyskytuje voda v rôznych formách, vzhľadom na skupenstvo a jej väzbu s pevnou fázou, pričom plynná fáza zaplňa priestory pórov spolu s vodou do hodnoty plnej pórovitosti, čiže zaplňa tú časť pórov, ktorá je vodou nenasýtená (ŠÚTOR 2001). Dôležitosť vymedzenia zóny aerácie pôdy spočíva v jej schopnosti sústrediť vodu, čím predstavuje vodný zdroj pre vegetačný kryt záujmového územia (ŠÚTOR 1991).

Vzhľadom na schopnosť zóny aerácie pôdy vytvárať zásoby disponibilnej vody pre biosféru (MORAVEC *et al.* 1994) sa považuje voda v zóne aerácie pôdy za tretí zdroj vody, popri prvom – povrchové vody a druhom – podzemné vody (ŠÚTOR 2001).

1.3.1.1 Determinanty vodného režimu pôdy

Zóna aerácie pôdy existuje ako čiastkový subsystém systému: atmosféra – rastlinný kryt – zóna aerácie pôdy – podzemná voda (*A-RK-ZAP-PV*). Tento komplexný systém predstavuje realitu dynamiky vody v najširšom interakčnom a fyzikálnom zmysle *ZAP*. Interaguje s ostatnými subsystémami okrajovými hranicami, ktoré sú v tomto prípade, povrch pôdy a hladina podzemnej vody (*HPV*) (ŠÚTOR *et* ŠTEKAUEROVÁ 2000). Reakciou *ZAP* na toky vody cez okrajové hranice je jej meniaci sa vodný režim v čase a priestore, tzn. *VRP* je determinovaný charakteristikami a parametrami jednotlivých častí systému *A-RK-ZAP-PV* (ŠÚTOR *et* MAJERČÁK 2000), medzi ktoré patria meteorologické a klimatické charakteristiky, charakteristiky vegetačného pokryvu, hydrologické charakteristiky, hydrofyzikálne charakteristiky pôdy a topografické charakteristiky lokality *ZAP*. V literatúre sa uvádza, že vstupy a výstupy *ZAP* sú realizované cez jej okrajové podmienky patriace do súboru údajov potrebných pre modelovanie podmienok *VRP* (ŠÚTOR *et* ŠTEKAUEROVÁ 2000), avšak medzi determinantami uvedenými v Tab. 1.1 nie sú uvedené explicitne, pričom sú vystriedané hydrofyzikálnymi charakteristikami pôd, aby sa zvýraznil ekologický význam uvedených determinantov a ich potenciálny vplyv na vodný režim. Tým však nie je dotknutý fakt, že okrajové podmienky, ktorými sa realizujú vstupy a výstupy zo systému *A-RK-PV* do *ZAP*, podstatným spôsobom ovplyvňujú *VRP* v *ZAP*. Do determinantov *VRP* je potrebné započítať tiež činnosť človeka, ktorá sa však prelína medzi všetkými ostatnými charakteristikami, teda je implicitne zahrnutá. V tabuľke sú uvedené determinanty, ktoré ovplyvňujú vodný režim pôdy v nenasýtenej zóne. Nakoľko systém *A-RK-ZAP-PV* je štruktúra dávajúca vzhľadom na čas do vzájomnej súvislosti vstup, príčinu alebo podnet hmotného, energetického alebo informačného charakteru a výstup, účinok a odpoveď hmotnej, energetickej alebo informačnej povahy (DODGE 1967 *ex* ŠÚTOR *et* ŠTEKAUEROVÁ 2000), môžeme predpokladať dôsledky zmien meteorologických charakteristík vplyvom klimatickej zmeny vo vodnom režime zóny

aerácie pôdy za podstatné, vzhľadom na relatívnu stálosť, resp. závislosť ostatných determinantov *VRP* (KMEŤ *et al.* KURJAK 2010, PRIWITZER 2010, HLAVÁČOVÁ *et al.* 2008, ŠKODA *et al.* 2008, TUŽINSKÝ 1999).

Tab. 1.1 Determinanty vodného režimu pôd podľa (ŠÚTOR *et al.* ŠTEKAUEROVÁ 2000)

Meteorologické a klimatické charakteristiky	Charakteristiky vegetačného pokryvu	Hydrologické charakteristiky	Hydrofyzikálne charakteristiky pôd	Topografické údaje záujmo- vého územia
– zrážky – teplota vzduchu – rýchlosť vetra – tlak vodných pár – sýtosť doplnok – slnečný svit – energetická bil.	– výška porastu – zápoj porastu – index. list. pokr. – hĺbka kor. syst. – albedo porastu – drsnosť porastu – fenolog. char. – druhové zloženie	– hladinový režim podzem- ných vôd – hladinový režim povrchových vôd – charakteristiky kapilár. prítoku – charakteristiky priesaku zo ZAP	– vlhk. ret. čiara – nasýtená hydr. vodivosť – nenasýtená hydr. vodivosť – drenážna pór. – zrnitosťné zlož. – objem. hmotnosť	– expozícia – reliéf – sklon

1.3.1.2 Bilancia vody v zóne aerácie pôdy

Kvantitatívne vyjadrenie *VRP* sa dosahuje bilancovaním aktívnych (prítokových) a pasívnych (odtokových) zložiek vody v *ZAP* (ŠÚTOR 2001).

Aktívne zložky *VRP* sú:

- zrážky, zmenšené o množstvo intercepčne zachytenej vody (Oreňák *et al.* 2010),
- kapilárny prítok od *HPV* ak ovplyvňuje *VRP*,
- povrchový prítok,
- podzemný prítok.

Pasívne (odtokové) zložky sú:

- výpar, evaporácia,
- transpirácia,
- povrchový odtok, v zimnom režime odvatie snehovej pokrývky,
- podpovrchový odtok.

Pre samotné bilancovanie týchto zložiek vodného režimu *ZAP*, v určitom časovom období sa používajú bilančné rovnice (BENETIN 1970). Napríklad jednoduchá bilančná rovnica (1):

$$W_t = W_0 + I_k + I_i + Q_{hp} - E - T - Q_{ho} - I_p \quad (1)$$

pričom

W_t – obsah vody v pôde v časovom horizonte

W_0 – východiskový obsah vody v zóne aerácie pôdy

I_k – kapilárny prítok vody

I_i – prítok vody infiltráciou zo zrážok

Q_{hp} – hypodermický laterálny prítok

E – odtok vody fyzikálnym výparom vody z povrchu pôdy za časový interval dt

T – odtok vody výparom z rastlinného krytu,

Q_{h0} – hypodermický laterálny odtok

I_p – odtok vody zo zóny aerácie pôdy priesakom do nižších horizontov, do *HPV*

Zjednodušenou rovnicou, pri ktorej sa vynechávajú parametre Q_{hp} a Q_{h0} sa môže bilancovať *ZAP* v rovinnatom teréne, nakoľko uvedené charakteristiky zásadne vystupujú v sklonitom teréne. Pri bilancovaní infiltrácie zrážok je potrebné počítať s I_i ošetrotným od zložky intercepcie, teda $I_i = P - I_{in}$, pričom P predstavuje zrážky na voľnej ploche a I_{in} intercepciu porastu (mm). V takomto prípade nadobudne bilančná rovnica tvar:

$$W_t - W_0 = (I_k + P) - (E + T + I_{in} + I_p) \quad (2)$$

Z uvedených rovníc opäť vyplýva skutočnosť, že klimatické charakteristiky sú zásadným činiteľom *VRP*, nakoľko determinujú I_p resp. P , zásadne ovplyvňujú E , T a nepriamo I_k , I_p . Znamená to, že vplyv meteorologických faktorov na výskyt sucha ako záporného výsledku vodnej bilancie, môže byť do istej miery tlmený rôznymi typmi ekosystémov (ZHA *et al.* 2010) nesúcich vegetačné, resp. ekologické, pôdne (hydrofyzikálne) či topografické determinanty. V kontexte ľudských činností v krajine je teda *VRP* do veľkej miery možné ovplyvňovať negatívne alebo pozitívne (IZAKOVIČOVÁ 2009, MIKLÓS 2009, KOVÁČ 2009). Prírodné pohromy, ktorých účinok nie je explicitne spojený s bilanciou vody v nenasýtenej zóne, majú taktiež významný vplyv, ktorý spočíva v devastálnych účinkoch na ekosystémy a ich väzby (strata, alebo obmedzenie funkčnosti hlavných zložiek), čím nie sú schopné zachovávať pôvodnú dynamiku *VRP*. Typickým príkladom je veterná kalamita v TANAP-e (HOLKO *et al.* 2009).

1.4 Sucho a klimatická zmena

Globálne klimatické zmeny sú prirodzenou súčasťou klimatického systému Zeme, ktoré spôsobovali rôzne faktory ako zmena solárnej konštanty, intenzívna vulkanická činnosť či zmeny astronomických, alebo orografických parametrov Zeme. V ostatných desaťročiach však žiadna výrazná zmena parametrov vyššie uvedených nebola zaznamenaná, čo vedie k logickému záveru o antropogénnych príčinách prudkej zmeny v globálnom klimatickom systéme Zeme (LAPIN 2004).

Za predchádzajúce dve storočia zaznamenávame prudký nárast zväčša priemyselne podmienených emisií skleníkových plynov, hlavne CO_2 , CH_4 a N_2O (IPCC 2001), ktorých vysoké koncentrácie pôsobia na zosilnení skleníkového efektu atmosféry. IPCC uvádza, že od konca poslednej doby ľadovej sa do roku 1750 menila koncentrácia skleníkových (radiačne aktívnych) plynov v atmosfére iba nepatrne, odvtedy sa zrýchľuje prírastok všetkých skleníkových plynov okrem vodnej pary. V roku 2009 sa koncentrácia CO_2 pohybovala na úrovni 138,5 % roku 1750, avšak na úrovni až 127 % koncentrácie roku 1950 (BATES *et al.* 2008).

Bez výskytu skleníkových plynov v atmosfére by bola priemerná prízemná teplota vzduchu Zeme $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (KIEHL *et al.* 1997). Stúpajúca koncentrácia skleníkových plynov v atmosfére zvyšuje schopnosť zadržiavať dlhovlnné žiarenie, čím spôsobuje nerovnováhu v radiačnej bilancii atmosféry Zeme, zvýšenie globálnej teploty vzduchu, globálne zmeny distribúcie zrážok, teda podmieňuje zásadné zmeny v globálnej atmosferickej cirkulácii.

Vzostup koncentrácie CO_2 na súčasnú hodnotu 365 ppm predstavuje radiačné zosilnenie spôsobené zadržiavaním dlhovlnného vyžarovania Zeme o $1,9\text{ W.m}^{-2}$. V roku 1992 bolo radiačné zosilnenie na úrovni $1,25\text{ W.m}^{-2}$. Do roku 2100 sa predpokladá rast sumárneho radiačného zosilnenia skleníkových plynov a radiačného zoslabenia aerosólov z asi $1,25\text{ W.m}^{-2}$ v roku 1992 na asi $6,25\text{ W.m}^{-2}$ (LAPIN *et al.* ŠŤASTNÝ 2000).

Vykonalé klimatologické analýzy na území juhozápadného Slovenska ukazujú nárast priemernej ročnej teploty (hodnotená meraniami zo stanice Hurbanovo) o $0,62\text{ }^{\circ}\text{C}$ v roku 1991 oproti roku 1900 (LAPIN *et al.* 1999). Na území Slovenska však vzrástla priemerná teplota vzduchu v období 1881 až 2010 o $1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Výsledky nezávislých analýz viacerých autorov potvrdzujú, napriek istým malým nepresnostiam, nárast priemernej globálnej teploty vzduchu od začiatku storočia asi o $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, na severnej pologuli až o $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (IPCC 2001).

V roku 1992 boli pripravené scenáre vývoja klimatickej zmeny tzv. IPCC IS92 scenáre (najpravdepodobnejšie a,b scenáre, okrajové c,e scenáre a stredne extrémne d,f scenáre) a v roku 1999 boli upresnené. Predpokladá sa pri nich sumárny efekt radiačného zosilnenia v roku 2100 o $4,1\text{ W.m}^{-2}$ pri IS92c scenári až po $8,0\text{ W.m}^{-2}$ pri IS92e scenári.

V súčasnosti sa už pripúšťa, v súvislosti s nevelkou ochotou redukovať emisie skleníkových plynov zo strany rozhodujúcich krajín, že vývoj klímy bude prebiehať podľa stredne extrémneho scenára IS92f, ktorý uvažuje 1 % rast koncentrácie CO_2 v atmosfére ročne až do roku 2100. Radiačné zosilnenie by v takomto prípade predstavovalo do roku 2100 zvýšenie o $7,2\text{ W.m}^{-2}$ a koncentrácia 2x CO_2 už v roku 2060 (LAPIN *et al.* ŠŤASTNÝ 2000). Nárast teploty vzduchu by v tomto prípade predstavoval hodnotu od $0,2 - 0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ za desaťročie, čo predstavuje predpokladaný nárast teploty vzduchu na konci storočia až o $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ v porovnaní s rokom 2000 (LAPIN *et al.* 2000).

1.4.1 Severoatlantická oscilácia (NAO)

Severoatlantická oscilácia (*NAO* – North Atlantic Oscillation) je atmosferická, resp. troposferická makrooscilácia, ktorá sa uplatňuje v severnej časti Atlantického oceánu. Jedná sa o makro osciláciu vzduchových hmôt medzi regiónom subtropickej (Azorskej) tlakovej výše a subpolárnej (Islandskej) tlakovej níze (DOLEŽELOVÁ 2007).

Meteorologickým prvkom používaným pre vyjadrenie Severoatlantickej oscilácie je tlak na hladine mora (LAMB *et* PEPPLER 1987). Severoatlantická oscilácia sa pohybuje medzi dvoma krajnými stavmi – pozitívnu a negatívnou fázou. Tieto fázy sa najviac prejavujú v zimnom období, kedy dochádza k najväčšej výmene tepla medzi oceánom a atmosférou a kedy je teda pozorovaný najväčší vplyv *NAO* na teploty v oblasti severného Atlantiku a priľahlej pevniny (CAHYNOVÁ 2005).

Pozitívna fáza *NAO* je charakterizovaná výrazným prehĺbením Islandskej tlakovej níze (3 hPa) oproti normálu a zvýšenie tlaku v Azorskej výši o 1 hPa oproti normálu (KAPALA *et al.* 1998). V zimách pri pozitívnej fáze *NAO* spôsobuje prehĺbená Islandská níz do našej oblasti zosilnené juhozápadné prúdenie teplejšieho vzduchu oproti normálu a pri negatívnej fáze opačne (DOLEŽELOVÁ 2007).

Z výsledkov výskumu tejto autorky vyplýva, že vplyv *NAO* sa prejavuje významne na anomáliách teploty vzduchu, zatiaľ čo vplyv na zrážky je nevýrazný. Výsledky dlhodobých trendov indexu *NAO* pre územie strednej Európy vykazujú v ostatných desaťročiach (NEKOVÁŘ *et* BAGAR 2010) nárast indexu *NAO* pre mesiac január, čo v súvislosti s uvedeným môže vysvetľovať výskyt zím s nadpriemernými teplotami (TOMLAIN 1996).

V súvislosti s výskytom sucha v horských oblastiach môže vplyv severoatlantickej oscilácie zasahovať do procesu akumulácie vody v snehovej pokrývke čo, v súvislosti so zvýšenou teplotou vzduchu narúša hydrologický režim povodia. PEKÁROVÁ (2010) však uvádza, že existuje významná záporná závislosť medzi vodnosťou roka a zimným indexom severoatlantickej oscilácie pre daný rok.

1.4.2 Dôsledky vzostupu teploty vzduchu

Ak predpokladáme, že sa v budúcnosti budú vyskytovať podobné epizódy extrémneho počasia ako v minulosti, ale pri teplote vyššej o 2 – 4 °C, tak existujú viaceré reálne možnosti meteorologických, resp. bioklimatologických dôsledkov. V prípade výskytu cyklonálnych situácií v letnom období s relatívnou vlhkosťou takmer 100% a pri predpokladanej vyššej teplote vzduchu o 4 °C, môžeme očakávať vyšší výpar (merná vlhkosť vzduchu vzrastie o 25 % – 40 %) a s tým spojený väčší sýtosťný doplnok, čo môže zapríčiniť nedostatok zrážok vo vegetačnom období a častejší výskyt suchých období (LAPIN *et al.* 2008).

Nedostatok zrážok, resp. zmena v ich časovej a priestorovej distribúcií vplyvom zmien v klimatickom systéme Zeme sa prejavuje už v súčasnosti v podobe extrémnych povodní alebo naopak extrémnym suchom (TSCHAKERT *et al.* 2010, ROUAULD *et al.* 2006, SIVAKUMAR *et al.* 2005, FAŠKO *et al.* 2003, LAPIN *et al.* 1996). Na území Slovenska sa tieto dôsledky prejavujú najmä v poklese úhrnu zrážok vo vegetačnom období (ČIMO *et al.* ŠPÁNIK 2007), poklese prietokov povrchových tokov v teplom polroku, resp. v extremalizácii prietokov počas dlhodobých zrážkových úhrnov či náhlych búrkových situácií (PECHO *et al.* 2010, HLAŤOVÁ *et al.* 2008).

Nedostatok zrážkových úhrnov bude v spolupôsobení so vzrastom evapotranspirácie o 18 – 60 % (ŠIŠKA *et al.* 2005) vystavovať krajinu a jej čiastkové ekosystémy vplyvom sucha a suchých períód (LAPIN 2010, ŠIŠKA *et al.* 2004, MIĎÁŠ *et al.* ŠKVARENINA 2003). Sucho a riziko jeho výskytu je v súčasnosti, vzhľadom na závislosť globálnej populácie od poľnohospodárskej a lesnej produkcie, jeden z najdiskutovanejších problémov sveta (OLESEN *et al.* 2011, FALLOON *et al.* BETTS 2010, NEKOVÁŘ 2010, HAYES *et al.* 2005, SIVAKUMAR *et al.* 2005, WATSON *et al.* 1996).

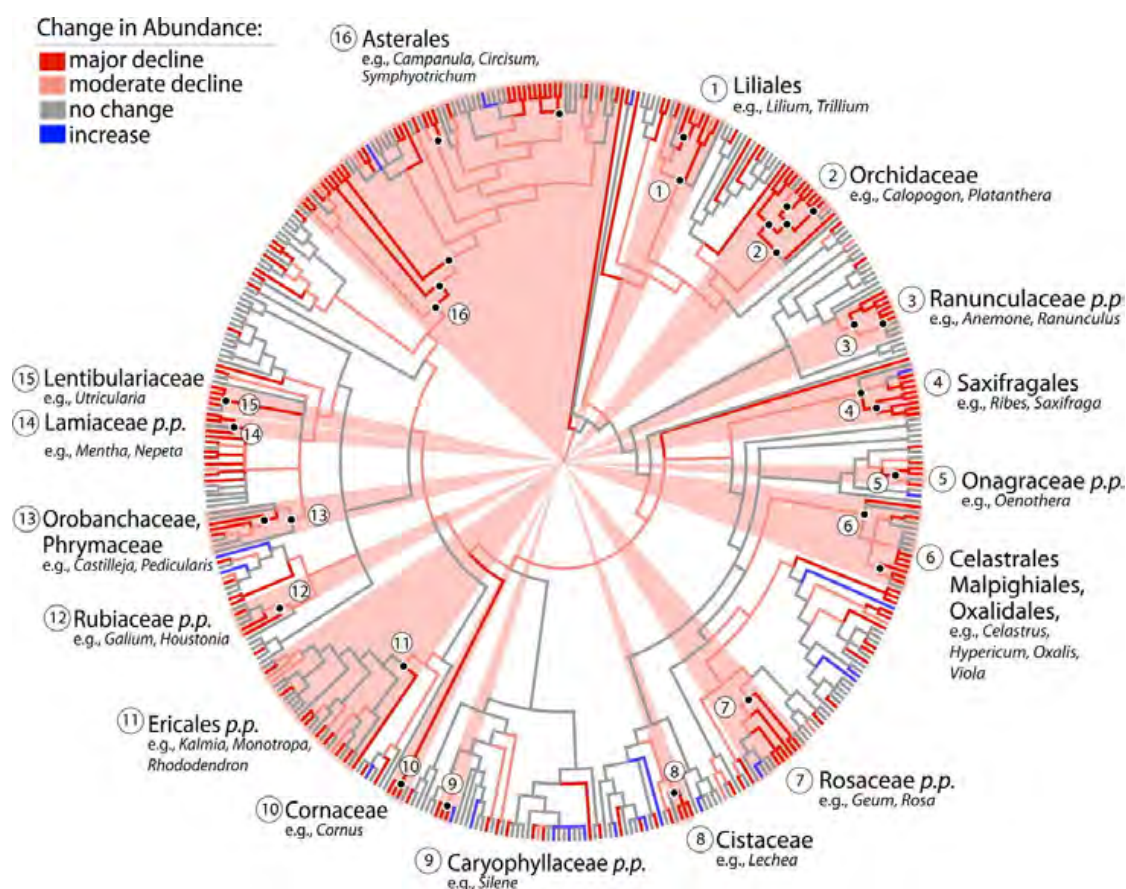
Avšak dopady sucha na biodiverzitu, krajinu a krajinné zložky, ktoré sú prostredníctvom ekosystémových väzieb, spätných väzieb a systémom ekologickej stability funkčne a neoddeliteľne prepojené so socio-ekonomickými produkčnými, alebo mimoprodukčnými aktivitami v prírodnom prostredí človeka, sú rovnako dôležitými aspektami vedeckého výskumu klimatickej zmeny (LOVEJOY *et al.* HANNAH 2005, HULME 2003).

Vzhľadom na predpokladané scenáre klimatickej zmeny v akcente na pravdepodobne častejší a závažnejší vplyv sucha na krajinu (LAPIN 2010, HAYES *et al.* 2005), sa budú prejavovať v ekosystémoch, v trofických štruktúrach a populáciách, nerovnovážne stavy vplývajúce na ekologickú stabilitu, napr. zmenou priestorovej, sexuálnej či vekovej štruktúry populácií (BRÉDA *et al.* 2006, BATTISTI *et al.* 2005, BALE *et al.* 2002), abundančnej dynamiky, hlavne u expanzívnych druhov (MAINKA *et al.* HOWARD 2010, ZACH *et al.* KULFAN 2010, KŘÍŠTÍN 2001, FLEMING *et al.* VOLNEY 1995), alebo časovým posunom fenologických fáz u rastlín a živočíchov (JAKUBÍKOVÁ *et al.* 2010, VÍDO *et al.* 2010, ŠKVARENINOVÁ *et al.* 2008, CLELAND *et al.* 2007, MENZEL *et al.* 2006).

Dopady klimatickej zmeny sprostredkované závažnými, resp. dlhotrvajúcimi períódami sucha majú svoj východiskový stav vo fyziologických nárokoch organizmov (KMEŤ *et al.* KURJAK 2010, STŘELCOVÁ *et al.* 2010, PRIWITZER 2010), ktoré sú dané evolučným vývojom organizmov (MAYR 2001, DAWKINS 1976) a sú do istej miery riadené práve klimatickými podmienkami prostredia, v ktorom ich vývoj prebieha (HALLSTRÖM *et al.* JANKE 2010).

Rýchla zmena klimatických podmienok habitatov organizmov môže mať za následok oslabenie konštitúcie jedincov vedúce k zmenám štruktúry populácie (KŘÍSTEK *et al.* URBAN 2004), čo v lepšom prípade spôsobí zmenu abundancie druhov v spoločen-

stvách, v horšom prípade vedie ku kvalitatívnym zmenám druhovej skladby alebo až k vymiznutiu druhov z krajiny (KONAR *et al.* 2010, WILLIS *et al.* 2008).



Obr. 1.2 Grafické znázornenie pomeru počtu taxónov lesných rastlín, ktorých abundancia klesá vplyvom klimatickej zmeny; prípadová štúdia Thoreau's woods (WILLIS *et al.* 2008)

1.5 Sucho a biodiverzita

V širšom zmysle slova spočíva riziko sucha pre biodiverzitu v zasahovaní do fyziologických, sexuálnych, ontogenéznych, fenologických a sociálnych procesov organizmov (ETTERSON *et al.* SHAW 2001, ABRAMS 1994). ARCHAUX *et al.* WOLTERS (2006) uvádzajú, že nedostatok výskumu dopadov sucha na biodiverzitu a jej parciálne zložky spočíva v lokalizovaní výskumu zväčša na semiarídne až arídne biómy Európy a prevažujúcom zameraní na flóru.

Autori ďalej uvádzajú, že dáta, z ktorých pochádza súčasný stav poznatkov, majú svoju odbornú bázu skôr v experimentálnych výskumoch ako v pozorovaniach, čo môže vytvárať neistoty pri evaluáciách dopadov sucha na biodiverzitu vzhľadom na riziko ignorovania ekosystémových spätných väzieb.

Tab. 1.2 Obranné mechanizmy organizmov voči suchu podľa (Archaux *et* Wolters 2006)

Organizmy	Adaptačný mechanizmus odolnosti
Živočíchy	Termoregulácia
	Únik do bezpečia
	Letná diapauza
Rastliny	Uzatvorenie prieduchov
	Zmena zloženia bunkových membrán
	Rapídna defoliácia
	Morfologická adaptácia (hlbka koreň. sústavy)
	Semenná banka

Organizmy majú viaceré fyziologické alebo morfologicky podmienené mechanizmy, ktorými odolávajú negatívnym účinkom sucha (Tab. 1.2), čo poukazuje na istý stupeň adaptovania autochtónnych organizmov na občasný výskyt sucha vo vegetačnom období resp. obdobia mimo štádium dormancie. Tieto skutočnosti podporuje fakt, že sucho vo vzťahu k organizmom pôsobí viac deštruktívne a závažne v ročných obdobiach mimo leta (GORDON *et al.* 1999).

Taktiež klimatologické charakteristiky sucha hodnotiteľné napr. indexami sucha sú podstatnými činiteľmi dopadov sucha na zložky biodiverzity, pričom podstatnejší vplyv má dĺžka suchej periódy ako jeho extremalita, resp. závažnosť (FAY *et al.* 2000).

1.5.1 Dopady sucha na rôznych úrovniach ekologickej hierarchie

1.5.1.1 Predispozičné faktory

V prípade náchylnosti zložiek biodiverzity k poškodeniu alebo deštrukcii suchom je možné rozlišovať medzi nimi podľa ekologických úrovní, tj. úrovni jedinca, druhov alebo ekosystémov (ARCHAUX *et* WOLTERS 2006).

Na úrovni jedinca determinujú náchylnosť na poškodenie suchom: vek (KOVALČÍKOVÁ *et al.* 2010), výskyt jedinca na hraniciach rozšírenia, resp. reakcia rôznych proveniencií drevín (PŠIDOVÁ *et al.* 2010), postavenie vo vertikálnej hierarchii porastu a podmienky habitatu, pričom sa javí, že jedince rastúce na stredne suchých stanoviškách sú v rýchlosti obnovy rastu po perióde sucha vo výhode oproti jedincom, ktorých stanoviisko je prirodzene vlhké (ORWIG *et* ABRAMS 1997).

Na úrovni druhov je náchylnosť na poškodenie suchom determinovaná väčšinou ekologickými nárokmi, alebo anatomickými či fyziologickými vlastnosťami zahŕňajúcimi veľkosť listovej plochy, ktorá určuje úroveň evaporácie u rastlín (MATEJKA *et* HURTALOVÁ 2008), úzkou ekologickou valenciou (MORECROFT *et al.* 2002, ŠUSTEK 1994a), či obmedzenou schopnosťou mobility, pomalým vývojom či vnútrodruhovou konkurenciou (ARCHAUX *et* WOLTERS 2006).

Na úrovni ekosystémov sa príčiny náchylnosti na systémové poškodenia suchom pripisujú vo všeobecnosti druhovej diverzite ekosystému, pričom vplyvom stresu môže dôjsť k disturbanciám ekosystému, rozpadu, resp. nástupu inváznych druhov obsadzujúcich otvorené ekologické niky (HOOPER *et al.* 2005) alebo k premnoženiu istých organizmov (KŘÍSTEK *et* URBAN 2004). Predpokladom väčšej odolnosti diverzifikovaných ekosystémov môže prispieť rezerva taxónov schopných pri poškodení menej odolných zložiek z časti aj dominantných, tieto dočasne funkčne nahradiť (TOWNSEND *et al.* 2008).

Môžu sa však vyskytovať aj nepriame dopady sucha na ekosystémy, a to zvyšovanie intenzity iných prírodných živlov, resp. podpora ich vzniku. Typickým príkladom môže byť vznik krajinných a lesných požiarov v období po nástupe periódy sucha (VIDA *et al.* 2008).

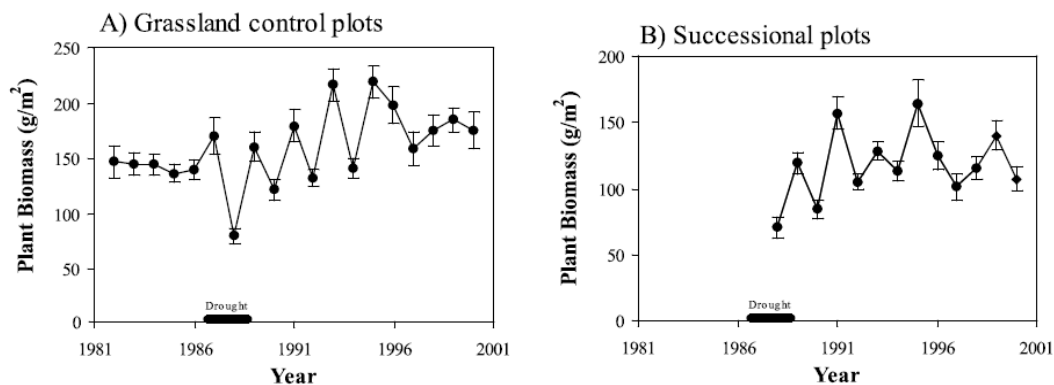
V prípade dopadov sucha na ekosystémy, ich funkčnosť, stabilitu a zachovanie systémových väzieb je dôležité poznamenať, že k ich zníženej odolnosti prispievajú veľkou mierou: antropogénne disturbance, ktoré hospodársky smerovanými opatreniami ovplyvňujú diverzitu hlavne lesných ekosystémov (HAIS 2008), a fragmentácia biotopov, vytvárajúca ostrovy funkčne neprepojených pozostatkov ekosystému, do ktorých často prenikajú druhy, narušajúce štruktúry spoločenstiev, obsadzovaním ekologických ník málopočetných oslabených charakteristických druhov (POHAJÁŠOVÁ *et al.* 2010, ŠUSTEK 1994a, ŠUSTEK 1994b).

1.5.2 Dôsledky sucha v časových horizontoch

Dôsledky sucha v ekosystémoch sa v bezprostrednom časovom slede po výskyte javu, môžu výrazne líšiť od tých, ktoré sa prejavujú v dlhodobejšom horizonte počas obnovných procesov (DUNETT *et al.* 1998). Pružnosť (reziliencia) je nie vždy výhodná, nakoľko pri tejto stratégii dochádza krátko po nástupe extrémnych javov k deštrukcii, pričom rezistentné organizmy prežívajú takéto obdobia bez väčších dôsledkov (MACGILLIVRAY *et al.* 1995), popri tom však záleží na dĺžke trvania javu. Všeobecne rozšíreným dôsledkom sucha ale i iných hydrometeorologicky podmienených extrémov je znížená produkcia biomasy (MINĐÁŠ *et al.* 1996) alebo vyššia mortalita juvenilných i dospelých jedincov živočíchov i rastlín (KŘÍSTEK *et* URBAN 2004, MORAVEC *et al.* 1994).

Veľmi reprezentatívny môže byť výsledok výskumu (POHAJÁŠOVÁ *et al.* 2008), ktorý poukázal na významný dopad extrémne nepriaznivej klimateckej situácie v roku 2003 (FAŠKO *et al.* 2003), keď po predchádzajúcom priaznivom roku bol zaznamenaný významný pokles počtu jedincov chrobákov z čelade bystruškovitých a ich biomasy na výskumných plochách (agrocénózy).

Zaujímavý príklad oscilujúcej produkcie biomasy vplyvom sucha uvádza HADDAD *et al.* (2002). V tomto prípade produkcia biomasy trávnatých spoločenstiev oscilovala po dobu deviatich rokov po výskyte sucha s dvojročnou periódou, pričom príčinu tejto dynamiky pripisujú autori spätnoväzbovej závislosti produktivity na rozkladných a nitrifikačných procesoch v pôde. Tento príklad poukazuje na možné dlhodobé dôsledky sucha na ekosystémové funkcie a ich chemicko-energetický cyklus, ktorý je podstatou ich stability.



Obr. 1.3 Následná oscilácia produkcie biomasy po výskyte sucha (HADDAD *et al.* 2002)

Navzdory súčasným poznatkom o negatívnych dôsledkoch stresu suchom na príklade horských smrečín (STŘELCOVÁ *et al.* 2010, PRIWITZER 2010, KMEJ *et al.* 2010), existujú príklady z Európy, ktoré hodnotia les ako odolný resp. aspoň čiastočne odolný ekosystém voči tomuto extrémnemu javu (ARCHAUX *et al.* 2006). Pri tom tvrdenie vychádza z výsledkov výskumu reakcií lesov vo Francúzsku na extrémne suchý a horúci rok 2003, kedy sa nepreukázali žiadne významné dopady v lesných ekosystémoch.

Zaujímavý príklad dlhodobého negatívneho (pozitívneho) dopadu sucha na lesný ekosystém však uvádzajú PETERKEN *et al.* (1996). Autori hodnotili dlhodobý dopad sucha na porast buka lesného (*Fagus sylvatica*, L.). Po rýchlom rozpade dominantnej vrstvy stromov tvoriacej porastovú klenbu, neprebíhala takmer 15 rokov žiadna prirodzená obnova lesa vzhľadom na extrémne sucha, ktoré zdecimovalo aj zatižené zmladenie. Avšak po tomto období došlo k náhlemu významnému nárastu zmladenia buka, čím sa zmenila štruktúra porastu. Príklad ukazuje „negatívny“ účinok sucha, ktorý dokázal veľmi dlhé obdobie zdržiavať vývoj hlavnej zložky lesného ekosystému, pričom relativita tvrdenia o negativite tohto javu spočíva v pozitívnych účinkoch sucha na vekovú stratifikáciu lesného ekosystému, ktorá má vo všeobecnosti ekostabilizačné účinky (VOLOŠČUK 2003).

Pozitívny účinok rozpadu, resp. odumretia suchom narušených jedincov stromov v lesných ekosystémoch, môžeme tiež ilustrovať na príklade zvýšeného množstva mŕtveho dreva, ktoré je limitujúcim faktorom rozvoja a života mnohých živočíšnych

a rastlinných druhov (SVOBODA 2007, SVOBODA 2005, KOCIAN *et al.* 2005). Tento príklad taktiež ilustruje dlhodobý (niekoľkoročný) účinok sucha na ekosystémy.

Súhrn možných krátkodobých a strednodobých dôsledkov účinkov sucha na rôzne úrovne ekologickej hierarchie sú uvedené v Tab. 1.3.

Tab. 1.3 Dôsledky sucha podľa ekohierarchie a časových horizontov podľa ARCHAUX *et* WOLTERS (2006)

Hierarchická úroveň	Krátkodobé dôsledky
Jedince	Redukcia rastu, redukcia plodnosti, resp. úrodnosti, zvýšenie mortality
Druhy	Zvýšenie rozmanitosti saproxylických druhov
Ekosystémy	Redukcia produktivity, pokles druhovej bohatosti, spomalenie ekosystémových funkcií, zmena druhovej skladby, zmena medzidruhových interakcií
Hierarchická úroveň	Strednodobé dôsledky
Jedince	Trvalá redukcia rastu, citlivosť na choroby a patogény
Druhy	Zvýšenie počtu stresotolerantných druhov
Ekosystémy	Mikroevolučné zmeny
	Oscilácia produktivity, zmena druhovej skladby

1.5.3 Dopady sucha na biodiverzitu na príklade antropogénnych zmien vodného režimu pôdy

Vodný režim pôdy je determinujúcim faktorom množstva organizmov, ktorých je pôda trvalým alebo dočasným životným prostredím. Antropogénne zásahy do vodného režimu pochopiteľne významne zasahujú do ich životného cyklu. Na území bývalej ČSSR vzniklo viacero gigantických vodohospodárskych projektov, ktoré svojim uvedením do prevádzky zásadne narušili vodný režim blízkych ekosystémov, napr. Vodné dielo Gabčíkovo alebo juhomoravské vodné dielo Nové Mlýny (KLIMÁNEK 2002). Dopady cielenej regulácie hladín podzemnej vody je možné hodnotiť na základe výsledkov výskumu reakcií špecifických skupín organizmov na tieto zásahy pred a po spustení sústav vodných diel do prevádzky. Takto orientovaný výskum poskytol cenné informácie o dopadoch vysušovania krajiny a sucha na biodiverzitu z hľadiska štruktúrnych znakov spoločenstiev vhodných bioindikačných druhov (ŠUSTEK 2003, ŠUSTEK 1994a).

Ukážkový príklad reakcie spoločenstiev chrobákov z čeľade bystruškovitých na zmenu vodného režimu pôd opísal ŠUSTEK (1994b). Autor uvádza, že vybudovanie vodohospodárskej sústavy Nové Mlýny, ktoré malo za úlohu chrániť priľahlé územia v povodí rieky Dyje pred povodňami, malo za následok výrazný pokles hladiny spodnej vody (cca 1 m), a eliminovanie prirodzených periodických jarných záplav lužných

lesov, vyskytujúcich sa na tomto území až do konca 70. rokov dvadsiateho storočia, teda do obdobia začiatku budovania vodného diela. Tento zásah mal dôsledok vo výraznom ochudobnení diverzity tejto čeľade chrobákov z pôvodných 23 druhov na 11 stálych druhov, pričom ostatné úplne vymizli alebo sa ich početnosť pohybovala na hranici registrovateľnosti. Taktiež materiálovo-energetické toky, ktoré zabezpečovali zástupcovia týchto spoločenstiev prostredníctvom viazanej biomasy, boli zmenou ich štruktúry významne zmenené. Súvislosť medzi zmenami v spoločenstvách bystruškovitých v príčinnosti na zmenu vodného režimu autor potvrdzuje poukázaním na výsledky podobného výskumu vykonávaného na spoločenstvách drevín, ktoré taktiež vykazovali silné disturbancie po poklese hladiny spodnej vody (VYSKOT 1984). Výsledky tiež poukázali na dva zásadné determinanty určujúce disturbancie v zložení spoločenstiev bystruškovitých, a to pokles vlhkosti pôdy a narušenie priestorovej integrity územia. Vzájomné variácie týchto determinantov potom určujú rôzny charakter spoločenstiev.

Vplyv zmien vodného režimu, ktorý po vybudovaní VD Nové Mlýny viedol k vysušovaniu okolitých ekosystémov, skúmali na príklade spoločenstiev múch čeľade Sarcophagidae (mäsiarkovité) autori POVOLNÝ *et* ŠUSTEK (1988). Skúmané prekonumbiálne spoločenstvá parazitoidných múch preukázali zásadný pokles početnosti v roku 1981, kedy sa uviedla do prevádzky stredná tzv. Věstonická nádrž. Dopad zmeny úrovne spodnej vody bol podľa autorov natoľko enormný, že došlo k všeobecnému poklesu početnosti druhov na 50% oproti referenčnému obdobiu 1978 – 1980. Dokonca hojne rozšírená *Sarcophaga lehmanni* sa v predmetnom roku vôbec nedohľadala. Spoločenstvá čeľade mäsiarkovitých v nasledujúcich rokoch už nedosiahli hodnoty abundancie z predchádzajúceho obdobia. Príčinu autori vidia v parazitoidnej väzbe múch na hostiteľov (hlavne suchozemské mäkkýše), čo naznačuje dopad odvodnenia územia na ďalšiu skupinu živočíchov. Tento príklad je hodnotný aj z hľadiska ukážky ekologických následkov hydrologického sucha v trofickej štruktúre lesného ekosystému. Hodnoty alfa diverzity preukázali pozvoľna klesajúci trend. Je však potrebné podotknúť, že ostatné muchy z iných čeľádí túto väzbu nezaznamenávajú, dokonca ich priaznivému vývoju arídne podmienky vyhovujú (KRIŠTOFÍK *et* ŠUSTEK 1996).

Výskum dôsledkov narušenia štruktúry spoločenstiev bystruškovitých vplyvom periodicity, resp. neperiodicity záplav na príklade vybraných trstinových porastov preukázal (ŠUSTEK 2010), že pravidelnosť záplav, ktorú môžeme s istou mierou abstrakcie nazvať klimatogénne determinovanou dynamickou stálosťou abiotických podmienok habitatu, je určujúca pre diverzitu spoločenstiev. Spoločenstvá pravidelne zaplavovaných biotopov vykazovali druhovú diverzitu na vysokej úrovni s jasne dominujúcimi hygrofilnými druhmi, zatiaľ čo spoločenstvá nepravidelne zaplavovaných habitatov vykazovali nestálosť dominantných druhov, nižšiu diverzitu a neustále prenikanie druhov z okolitých agroecénóz. Tento fakt môžeme abstrahovať na príklady

rôznych typov lokalít, kde môžeme taktiež očakávať, že vplyvom zmenených hydroedologických podmienok môžu nastať zmeny v štruktúrach spoločenstiev niektorých taxónov a vplyvom fragmentovanosti biotopu môže dôjsť k prenikaniu iných druhov organizmov, čím sa môžu narušiť alebo pozmeniť energomateriálové toky v ekosystéme, čo môže viesť k jeho postupnému zániku. Podobný prípad popísal ŠUSTEK (1994a) na príklade fragmentov lužného lesa v okolí Bratislavy.

1.6 Sucho v TANAP-e

Sucho, ako objekt výskumu, sa v súčasnosti vyskytuje najmä v nižších nadmorských výškach, v oblastiach s prevažujúcimi agroekosystémami (TAKÁČ *et al.* ŠIŠKA 2009, BRÁZDIL *et al.* KIRCHNER *et al.* 2007, ČIMO *et al.* ŠPÁNIK 2007). Jedným z hlavných dôvodov tohto stavu je „priaznivý“ chod klimatologických faktorov determinovaných abiotickými podmienkami prostredia (reliéf a nadmorská výška) (ŠKVARENINA 2008). Veľkoplošné agroecenózy s prevažujúcimi monokultúrami poľnohospodárskych plodín sú z hľadiska limitujúceho faktora – zrážkovej vody (TAKÁČ *et al.* ŠIŠKA 2008) veľmi dobre kontrolovateľné, čo je zásadný rozdiel od lesných ekosystémov v porovnateľných krajinných podmienkach (TUŽINSKÝ 1999). Avšak väčšina lesov sa na území SR nachádza vo vyšších polohách, kde sa so stúpajúcou nadmorskou výškou významne mení radiačná, termická a energetická bilancia krajiny (ŠKVARENINA *et al.* 2008).

Lesné ekosystémy Tatranského národného parku tvoria plošne najvýznamnejší prírodný element zaberajúci 75 % rozlohy (FLEISCHER *et al.* 2007). V kontexte spomínaných abiotických determinantov klimatických prvkov, je možné konštatovať istý stupeň odolnosti krajinného priestoru TANAP-u voči riziku sucha, aj keď je potrebné spomenúť pravdepodobnosť rastu úhrnov evapotranspirácie vplyvom klimatickej zmeny v lesných výškových stupňoch, ktoré predpokladajú vzrast evapotranspirácie o 14,5 % v roku 2075 oproti referenčnému obdobiu 1951 – 1980 pre nadmorskú výšku 901 m (TOMLAIN 1999). Aj napriek možným scenárom je tvrdenie o rezistencii krajinej štruktúry Tatier voči suchu v súlade so závermi najobsiahlejšej klimatologickej štúdie z predmetného územia – Klíma Tatier (KONČEK *et al.* 1974).

Autori uvádzajú, že výskyt sucha je v letnom období veľmi zriedkavý a obmedzuje sa na záveterné polohy a je podmienený zotrvávaním anticyklóny nad strednou Európou. Pritom uvádzajú, že nepriaznivé účinky sucha vo vysokohorských a zalesnených oblastiach, sa prejavujú zriedkavejšie vzhľadom na zimný zrážkový režim tvoriaci zásobu vody v podobe snehovej pokrývky.

Je teda zrejmé, že v hodnotení sucha a výskytu suchých období sa nezaobídeme bez hodnotenia zimného zrážkového režimu.

Ďalším aspektom vplývajúcim na výskyt sucha, resp. na vodnú bilanciu územia Tatier je intercepcia zrážok v lesných porastoch. Intercepcia snehových zrážok smrekového porastu v Tatrách sa podľa HOLKO *et al.* (2009) v rokoch 2003 – 2009 pohybovala v rozmedzí 28 až 65 %, čo predstavuje významnú čiastku vodnej bilancie územia. Intercepcia snehových zrážok má podľa vyššie citovaných autorov významný vplyv na výšku snehovej pokrývky a vodnú hodnotu snehu v zalesnených územiach v porovnaní s otvorenou plochou, čo vo vzťahu k veternej kalamite v roku 2004 môže mať významný vplyv na priebeh akumulácie a uvoľňovania vody zo snehu.

Predpokladalo sa, že vzhľadom k otvoreniu značnej časti krajiny môže dochádzať k prudkým a náhlym zvýšeniam odtoku z povodia horských bystrín a potokov v jarnom období, čo sa však nepotvrdilo (HOLKO *et* KOSTKA 2008). Tento fakt naznačuje, že vodná bilancia krajiny v kontexte jarného topenia snehu sa vplyvom zmeny štruktúry ekosystémov významne nezmenila.

Pasívne zložky vodnej bilancie územia v letnom, resp. vegetačnom období, evaporácia a transpirácia, zaznamenali v pokalamitnom období významné zmeny. Tieto nastali vplyvom rozdielov vlastností vyparujúceho povrchu na pokalamitných plochách (MATEJKA *et* HURTALOVÁ 2008).

Autori uvádzajú, že zmenami vlastností vyparujúceho povrchu na lokalitách *FIR* (zhorenisko) a *EXT* (s vytŕaženou kalamitnou drevnou hmotou) v súvislosti s veternou kalamitou sa významne modifikujú mikroklimatické charakteristiky prízemnej vrstvy atmosféry vo vzťahu k vlhkosti pôdy. V porovnaní s referenčnou plochou *REF* však prekvapivo plochy *FIR* a *EXT*, resp. *NEX* aj napriek vlastnosti zvyšovať teplotu vzduchu a sýtosťný doplnok v prízemnej vrstve atmosféry a schopnosti ekosystému plochy *EXT* pri rovnakých hodnotách rezistencie povrchu pre prenos vodnej pary vyparovať vodu intenzívnejšie než referenčný lesný porast alebo plocha zasiahnutá požiarom, nevykazujú schopnosť zvyšovať potenciálne riziko výskytu sucha.

Podľa MATEJKU *et* HURTALOVEJ (2008) to súvisí s rozdielmi v štruktúre energetickej bilancie povrchu experimentálnych plôch a s reakciou prieduchov na zmenu evaporačných požiadaviek ovzdušia, pretože v prípade referenčného lesného porastu boli totiž hodnoty toku tepla do pôdy oveľa nižšie než na plochách *FIR* a *EXT*, čo znamenalo, že referenčný lesný porast mal k dispozícii pre energetické zabezpečenie výparu takmer 55 % z radiačnej bilancie, kým v prípade povrchu na ploche *FIR* pre energetické zabezpečenie výparu zostalo len 42 % z energetickej bilancie povrchu, teda napriek všeobecne vyšším hodnotám rezistencie referenčného lesného porastu pre prenos vodnej pary bol sezónny úhrn evapotranspirácie na tejto ploche najvyšší spomedzi všetkých troch analyzovaných plôch.

Tento zjavný paradox potvrdzujú aj výsledky výskumu FLEISCHER *et* HYBLER (2008), ktorí upozorňujú, že objemová vlhkosť pôdy (%) dosahovala počas meraní vlhkosti pôdy najnižšie priemerné hodnoty v referenčnom lese (19 %) ako logický

dôsledok transpirácie a vysokej intercepcie dospelého smrekovcovo-smrekového porastu.

Uvedené fakty naznačujú, že existuje pravdepodobnosť výskytu sucha aj v územiach s vyššou nadmorskou výškou, pričom rozhodujúcimi činiteľmi môžu byť jednak abiotické faktory (expozícia, nadmorská výška), ktoré determinujú klimatologické faktory prostredia, ale rovnako aj porastové charakteristiky a štruktúrne vlastnosti ekosystému určujúce vlhkosťnú a energetickú bilanciu územia.

Závažným dôsledkom týchto skutočností môže byť významný dopad klimatickej zmeny na ekologickú stabilitu krajiny, v kontexte Zlatníkovej tzv. hlavnej klimatickej čiary Slovenska (ZLATNÍK 1959 ex ŠKVARENINA *et al.* 2008), (Obr. 1.4). Hlavná klimatická čiara je výrazným odlíšením distribúcie druhov a lesných spoločenstiev.



Obr. 1.4 Oblasti rozdelené SR „Zlatníkovou klimatickou čiarou“ (ŠKVARENINA *et al.* 2008)

Na sever od nej, v oblasti nápadne chladnejšej a vlhšej suboceánskej klímy, dominuje spoločenstvo zaradené do skupín lesných typov *Abieto-Fagetum* (Jedľová bučina), a v južnej oblasti vyznačujúcej sa suchou a teplou panónskou klímou je rozšírená skupina lesných typov *Fagetum pauper* (Bučina), ktorá s klesajúcou nadmorskou výškou prechádza do skupín lesných typov *Querceto-Fagetum* (Dubová bučina), *Fageto-Quercetum* (Buková dúbrava) až *Carpineto-Quercetum* (Hrabová dúbrava) (ŠKVARENINA *et al.* 2008).

Suchá panónska oblasť má svoje ekosystémy čiastočne adaptované na riziko výskytu sucha, a teda proces destabilizácie ekosystémov bude pravdepodobne pomalší, zatiaľ čo v suboceánskej klimatickej oblasti, kde z pohľadu trendov sucha najrizikovejšie vystupujú južné expozície Tatier (prakticky celá kalamitná oblasť), môžeme očakávať oslabenie súčasných ekosystémov a ich destabilizáciu, prístup nových inváznych druhov a iné dramatické zmeny vo vegetačných stupňoch (ŠKVARENINA *et TOMLAIN* 2000, MINĐÁŠ *et al.* 1996).

1.7 Modelovanie vodného režimu pôdy

Na určovanie zložiek vodnej bilancie pôdy môžu byť použité v zásade dva prístupy. Prvý prístup je založený na priamych meraniach in situ v záujmovej lokalite. Táto metóda je najpresnejšia avšak aj materiálovo a finančne najnáročnejšia, zatiaľ čo druhý prístup sa opiera o matematické simulovanie dynamiky vody v zóne aerácie pôdy modelovaním pomocou programových aplikácií, ako MOVOREP (BENETIN *et al.* 1985), DAISY (HANSEN *et al.* 1990), DAIR (PETROVIČ 1995), GLOBAL (MAJERČÁK *et al.* NOVÁK 1994), či HYDRUS (ŠIMÚNEK *et al.* 1997). Existuje viacero typov simulačných modelov využívaných pre účely modelovania VRP:

- Bilančné modely – napr. model MOVOREP (BENETIN *et al.* 1985). Účelom tohto typu modelov je určovanie hodnôt prebytku a nedostatku vody vo vegetačnom období a výpočet zložiek vodnej bilancie v rôznych častiach pôdného profilu.
- Numerické modely založené na riešení diferenciálnej Richardsovej rovnice. Do tejto skupiny patrí aj Model GLOBAL (MAJERČÁK *et al.* NOVÁK 1994), ktorý sa na Slovensku ale i v zahraničí v problematike VRP v ZAP v rôznych aspektoch hojne využíva (JÁNOS *et al.* NAGY 2009, HIMMELBAUER *et al.* 2008, ORFÁNUS *et al.* 2008, IGÁZ *et al.* 2007, TALL 2007, STEHLOVÁ *et al.* ŠTEKAUEROVÁ 2006, IGÁZ *et al.* 2005).

Pre matematické modelovanie vodného režimu pôdy sú potrebné kvalitné vstupné údaje, ktoré zahŕňajú charakteristiky a parametre jednotlivých častí systému A-RK-ZAP-PV, ktoré boli v predchádzajúcej časti nazvané determinanty vodného režimu pôdy (viď. Tab. 1.1). Ako bolo uvedené v predchádzajúcej kapitole, v Tab. 1.1 bola účelovo vynechaná charakteristika okrajových podmienok ako determinantov VRP, čo však v prípade matematického modelovania nie je možné vykonať, teda v Tab. 1.4 sú okrajové podmienky a ich zdroje už uvedené.

Jednotlivé súbory a ich charakteristiky pre potreby simulácie VRP v prostredí numerických modelov sa získavajú rôznym spôsobom, preto bola podľa práce ŠÚTOR *et al.* ŠTEKAUEROVÁ (2000) zostavená tabuľka zdrojov údajov charakteristík determinantov VRP pre jednoduchšiu orientáciu.

Tab. 1.4 Zdroje údajov pre charakteristiky determinantov VRP podľa (ŠÚTOR *et al.* ŠTEKAUEROVÁ 2000)

Determinant VRP	Meteorologické klimatické charakteristiky	Charakteristiky vegetačného pokryvu	Hydrologické charakteristiky	Počiatočné a okrajové podmienky	Hydrofyzikálne charakteristikypôd	Topografické údaje záujmového územia
Zdroj údajov determinantu	SHMÚ, Miroklim. stanice	Literatúra, Čiastkové merania, DPZ	SHMÚ, Skálová <i>et al.</i> 1996, 1994	Monitoring	Lab. merania, Pedotransfer. f.	GIS

1.7.1 Model GLOBAL

V práci vykonávame výpočty *VRP* práve týmto modelom, preto mu bude venovaná zvláštna pozornosť. Model GLOBAL je simulačný matematický model pohybu vody v pôde, umožňujúci výpočet rozdelenia vlhkosti pôdy a vlhkostného potenciálu v čase (MAJERČÁK *et* NOVÁK 1994). V modeli sú použité originálne metódy určenia evapotranspirácie a zložiek jej štruktúry, odberu vody koreňmi rastlín a intercepcie, čo dovoľuje podstatne upresniť výsledky výpočtu elementov vodnej bilancie pôdy a rozdelenia vlhkosti v pôdnom profile (MAJERČÁK, 2002). Model neuvažuje horizontálne toky vody (Q_{hp} , Q_{h0}).

Základom modelu je numerické riešenie nelineárnej parciálnej diferenciálnej rovnice (RICHARDS 1931) pohybu vody v zóne aerácie pôdy v tvare:

$$\frac{\partial h_w}{\partial t} = \frac{1}{c(h_w)} \frac{\partial}{\partial z} \left[k(h_w) \left(\frac{\partial h_w}{\partial z} + 1 \right) \right] - \frac{S(z,t)}{c(h_w)} \quad (3)$$

$$c(h_w) = \frac{\partial \theta}{\partial h_w} \quad (4)$$

kde:

h_w – vlhkostný potenciál pôdy,

z – vertikálna súradnica,

$k(h_w)$ – nenasýtená hydraulická vodivosť pôdy,

$S(z,t)$ – intenzita odberu vody koreňmi rastlín z jednotkového objemu pôdy za čas ($\text{cm}^3/\text{cm}^3\text{d}^{-1}$)

$c(h_w)$ – merná vodná kapacita (cm)

θ – objemová vlhkosť pôdy (cm^3/cm^3)

z – vertikálna súradnica (cm)

t – časová súradnica (s)

Simuláciu pomocou modelu GLOBAL je možné vykonať v jednoduchovom kroku avšak pre konkrétne potreby alebo z dôvodu nedostatku jednoduchých údajov chodu meteorologických prvkov je možné použiť i priemerné mesačné hodnoty (VÍTKOVÁ *et* PÁSZTOROVÁ 2010).

V modeli GLOBAL sa pre výpočet vlhkosti a vlhkostného potenciálu používa metóda Van Genuchtena (VAN GENUCHTEN 1980 *ex* ŠÚTOR *et* ŠTEKAUEROVÁ 2000), ktorá dovoľuje zároveň určiť aj hodnoty nenasýtenej hydraulickej vodivosti. Okrajová podmienka *A-RK* a *ZAP* je určená štandardne meteorologickými charakteristikami a vlastnosťami porastu (ŠÚTOR *et* ŠTEKAUEROVÁ 2000). Aktívne zložky *VRP* sú determinované zrážkovými úhrnmi a pasívne transpiráciou a evaporáciou. Hydrofyzikálne

charakteristiky pôdy ako už bolo naznačené, sú v modeli GLOBAL okrem retenčných čiar aproximovaných van Genuchtenom, určené metódami podľa MUALEM (1976 *ex* ŠÚTOR *et* ŠTEKAUEROVÁ 2000) a hyteréza retenčných čiar zohľadnená v modeli z dôvodu vylúčenia istých nepresností pri ignorovaní hysteréznych javov je aplikovaná podľa metódy KOOL *et* PARKER (1987 *ex* ŠÚTOR *et* ŠTEKAUEROVÁ 2000).

Pre získanie koeficientov van Genuchtena pre konkrétnu pôdu sú potrebné laboratórne merania na odobratných vzorkách, čo je časovo náročné, avšak existuje aj metóda použitia pedotransferových funkcií pre pôdy, na ktorých v minulosti prebehli laboratórne hodnotenia (napr. SKÁLOVÁ 2003). Autor modelu venoval pri jeho tvorbe osobitnú pozornosť simulácii procesu evapotranspirácie, pričom výsledky poukázali na veľmi dobrý stupeň aproximácie modelovaných a nameraných hodnôt (ŠÚTOR *et* ŠTEKAUEROVÁ 2000).

Výstupmi modelu sú rozdelenie vlhkosti a vhlkostného potenciálu v jednotlivých modelovaných vrstvách, úhrny intercepcie, úhrny evapotranspirácie a jej zložiek, infiltrácia, súčasný deficit vody v pôde a iné.

Najdôležitejšia vlastnosť numerických simulačných modelov je ich presnosť. Model GLOBAL a jeho presnosť bola testovaná v práci IGAZ *et al.* (2007) s pozitívnym výsledkom. Autor konštatuje, že model GLOBAL pracoval v relatívne uspokojivej zhode s nameranými hodnotami počas testu. Pričom za uspokojivé považuje výsledky s presnosťou $\pm 15\%$ (ŽALUD 1999 *ex* IGAZ *et al.* 2007). Percentuálne vyjadrenie zhodných meraní modelu GLOBAL autor uvádza v rozmedzí 75 – 85,7%.

1.8 Indexy sucha

Pre indikáciu, zvýraznenie, porovnanie alebo kvantifikáciu sucha sa používa množstvo rôznych charakteristík (HEIM 2000, MCKEE *et al.* 1993, PALMER 1965, KONČEK 1955). Medzi najpoužívanejšie indexy sucha v súčasnosti sa radia najmä tri. Palmerov index závažnosti sucha (*PDSI*), Štandardizovaný zrážkový index (*SPI*) a novší Štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index (*SPEI*). Na území Slovenska boli pre potreby klimatologickej praxe v minulosti navrhnuté a používané hlavne indexy (*LDF*) Langov dažďový faktor alebo Končekov index zavlaženia. Posledný spomínaný index je v súčasnej klimatologickej praxi stále využívaný, čo sa prejavilo aj v jeho použití pre klimatologické charakteristiky v Atlase krajiny Slovenskej republiky (LAPIN *et al.* 2002).

Zahraničná literatúra sa však zameriava pri hodnotení klimatológie sucha najmä na *SPI* a *PDSI* (CUTORE *et al.* 2009, ZEREINI *et* HÖTZL 2008, CANCELLIERE *et al.* 2007, PAULO *et* PEREIRA 2007, PEREIRA 2007, TSAKIRIS *et* VANGELIS 2004), ale v posledných dvoch rokoch čoraz viac aj na *SPEI* (POTOP *et al.* 2011, SIVAKUMAR *et al.* 2011). *PDSI*

je svojou konštrukciou viazaný na poľnohospodárske oblasti (TRNKA *et al.* 2009b, BRÁZDIL *et al.* 2009, LITSCHMANN *et al.* ROŽNOVSKÝ 2001, KLEMENTOVÁ *et al.* LITSCHMANN 2001) a nakoľko viacero z jeho parametrov nie veľmi korešponduje s podmienkami v horskej krajine (SIVAKUMAR *et al.* 2011), nebol v predkladanej práci použitý pri výpočtoch.

Štandardizovaný zrážkový index bol už pri svojom vzniku koncipovaný ako jednoduchý a geograficky nezávislý index (McKEE *et al.* 1993). V práci sa budú na hodnotenie sucha používať indexy *SPEI* a *SPI* z dôvodu jednoduchej konštrukcie a interpretovateľnosti.

1.8.1 Štandardizovaný zrážkový index – *SPI*

Tento index (*Standardised precipitation index*) je definovaný ako normovaná hodnota úhrnu zrážok (*P*) za dané obdobie, teda *SPI* má normálne rozdelenie $N(0,1)$. *SPI* je možné charakterizovať vzťahom:

$$SPI = F^{-1} [G(P)] \quad (5)$$

kde

G – kumulatívna distribučná funkcia zrážkových úhrnov,

F^{-1} – inverzná funkcia normálneho rozdelenia $N(0,1)$

Distribučná funkcia *G*, vychádza z dlhodobých pozorovacích radov. Minimálny časový rad zaznamenaných zrážkových úhrnov, ktorý je potrebný pre signifikantný výsledok, pri ktorom je v dostatočnej miere implicitne zahrnutá klimatológia chodu zrážkových a bezzrážkových období je 30 rokov (HAYES *et al.* 1999). Štandardizovaný zrážkový úhrn je priamoúmerný zrážkovému deficitu a jeho hodnotu je možné ľahko vyjadriť prostredníctvom pravdepodobnosti výskytu, prípadne v podobe bezrozmerného indexu *SPI* (McKEE *et al.* 1993).

Index nadobúda s pravdepodobnosťou 95 % hodnoty v rozmedzí $\pm 1,96$, pričom záporné hodnoty indexu popisujú obdobie podpriemerných zrážok. Východiskovým krokom pre výpočet *SPI* je nájdenie funkcie popisujúcej rozloženie mesačných a viac-mesačných zrážkových úhrnov, pričom sa obvykle predpokladá, že ním je gama rozdelenie (McKEE *et al.* 1993). BRÁZDIL *et al.* KIRCHNER *et al.* (2007) uvádzajú, že podľa viacerých autorov je toto rozdelenie vhodné pre štúdium sucha vo väčšine častí Európy. Po odvodení parametrov gama rozdelenia je vypočítaná kumulovaná pravdepodobnosť zrážkového úhrnu v danom mesiaci a prevedená na hodnotu normálneho rozdelenia.

Takto zistená veličina je vlastne hodnotu *SPI* pre daný mesiac (BRÁZDIL *et al.* 2009). Pre možnosť vzájomného porovnávania výsledkov geograficky a klimaticky odlišných lokalít a regiónov bola vyvinutá metóda tzv. relative *SPI* (*rSPI*), ktorá je

založená na vypočítaní prvkov gama rozdelenia nie pre jednotlivé lokality ale pre celý súbor lokalít, a následne vypočítané *SPI* je možné vzájomne klimatologicky porovnávať (DÚBROVSKÝ *et al.* 2009).

Periódou sucha je pre tento index obdobie vymedzené súvislými zápornými hodnotami *SPI* pre jednotlivé mesiace, pričom sa požaduje aby aspoň v jednom mesiaci bola dosiahnutá hodnota $(-1,0)$. Periódou sucha začína prvým mesiacom so zápornou hodnotou a končí posledným mesiacom so zápornou hodnotou.

Pre danú epizódu sucha je tak možné stanoviť intenzitu a dĺžku trvania a za predpokladu dostatočne dlhej rady pozorovaní tiež pravdepodobnosť opakovania periódy s danou intenzitou (BRÁZDIL *et al.* 2007).

1.9.2 Štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index

Štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index, v skratke *SPEI* (*standardized precipitation and evapotranspiration index*), patrí medzi novšie indexy sucha, ktorý svojou štruktúrou pripomína index *SPI* (VINCENTE-SERRANO *et al.* 2011).

Podobne ako *SPI*, či *PDSI*, aj štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index umožňuje nasadenie v rôznych vedných disciplínach, kde vzniká potreba hodnotenia závažnosti sucha, alebo dĺžky jeho trvania. Index *SPEI* umožňuje porovnanie závažnosti sucha v čase a priestore vzhľadom na možnosť jeho použitia v rôznorodých klimatických podmienkach, podobne ako *SPI*. Najzásadnejšou prednosťou indexu *SPEI* oproti štandardizovanému zrážkovému indexu je kalkulácia s potenciálnou evapotranspiráciou, čiže s najvýznamnejšou pasívnou zložkou vodného režimu krajiny.

Potenciálna evapotranspirácia je predmetným indexom prepočítavaná z teploty vzduchu na základe výpočtu podľa THORNTHWAITA (1948).

Výpočet, resp. konštrukcia indexu je založená na rovnakom princípe ako *SPI*, avšak v prípade *SPEI* sa nepočíta s úhrnom zrážok, ale s rozdielom medzi kalkulovanou potenciálnou evapotranspiráciou a zrážkami.

Podobne ako *SPI* je možné výpočty vykonávať v rôznorodých časových horizontoch (započítavajúc do indexu daného mesiaca hodnoty stanoveného počtu predchádzajúcich mesiacov), a taktiež v dvoch základných časových krokoch (týždeň a mesiac). *SPEI* bol úspešne použitý pre potreby klimatologického hodnotenia sucha aj v Českej Republike (POTOP *et al.* 2011).

2 CIELE

Monografia je zameraná na splnenie troch základných cieľov zameraných na zhodnotenie výskytu sucha a suchých epizód na území TANAP-u v období rokov 1960 – 2010 a pokalamitného vývoja vlhovej bilancie vrchnej vrstvy pôdy na výskumných plochách pokalamitného výskumu VS ŠL TANAP-u (FLEISCHER 2008) s potenciálnym dopadom na vybrané druhy bezstavovcov. Konkrétne ciele sú formulované nasledovne:

- Vyhodnotiť výskyt sucha v oblasti TANAP-u v rokoch 1961 – 2010 za použitia indexov sucha SPI, SPEI a klimatického indexu zavlaženia.
- Zhodnotiť vlhovou bilanciu vrchnej vrstvy pôdy (0 – 5cm) pomocou modelu GLOBAL na monitorovacích plochách pokalamitného výskumu (FLEISCHER 2008) v rokoch 2007 – 2011.
- Vyhodnotiť vplyv pôdnej vlhkosti, resp. sucha na štruktúru spoločenstiev bystruškovitých (*Coleoptera*, *Carabidae*) v rokoch 2007 – 2011 na monitorovacích plochách pokalamitného výskumu (FLEISCHER 2008) doplnených o dve plochy podľa ŠUSTEKA (2008).

3 MATERIÁL A METÓDY

3.1 Vybrané výskumné plochy

Veterná smršť, ktorá sa prehnala 19. novembra 2004 územím Tatranského národného parku, spolu s následným požiarom z júla 2005 spôsobili rozsiahle zmeny zložiek krajinného prostredia. Tým sa otvoril priestor pre jedinečné výskumné príležitosti. Aby bol výskum zložiek krajinného prostredia porovnateľný a reprezentatívny, boli založené štyri výskumné plochy (FLEISCHER 2008). Tento súbor plôch: (*REF*) – referenčná plocha nad Vyšnými Hágmi, (*EXT*) – plocha s vyťaženou kalamitnou drevnou hmotou, (*FIR*) – zhorenisko po lesnom požiari v roku 2005 a (*NEX*) – plocha s nevyťaženou kalamitou ponechanou na samovývoj, bol rozšírený o plochu horného stacionáru na zhorenisku (*FIR2*) a plochu Vodný les (*VL*) za účelom komplexného zhodnotenia vplyvov sucha na spoločenstvá bystruškovitých. Plocha Vodný les, **nemá** žiadnu logickú, priestorovú ani inú príslušnosť k projektu Ing. Michala Kravčíka a zhoda názvov je náhodná.

3.1.2 Charakteristiky výskumných plôch

Charakteristiky výskumných plôch sú prebrané z práce ŠUSTEK (2007).

Vyšné Hágy (*REF*) – $49^{\circ} 07' 17.7'' N$, $20^{\circ} 06' 15.0'' E$, výška $1233 m n. m.$, južný svah, sklon približne 20° , dospelý, $80 - 90$ -ročný súvislý porast, povrch pôdy pokrytý zväčša surovým humusom a ihličím, miestami machmi, porastom čučoriedky (pokryvnosť $20 - 30\%$) a jednotlivými semenáčikmi smreka. Nedotknutá referenčná plocha.

Danielov dom (*EXT*) – $49^{\circ} 07' 15.3'' N$, $20^{\circ} 09' 46.0'' E$, výška $1060 m n. m.$, južný svah, sklon približne 20° , pôvodne dospelý, asi $80 - 90$ -ročný porast, drevo takmer úplne odstránené, na ploche ponechané iba $1 - 1,5 m$ dlhé pne a konáre. Na ploche ostali ojedinelé dospelé smrekovce a roztrúsené mladé smrečky z prirodzeného zmladenia.

Tatranské Zruby, spodná plocha (*FIR 1*) – $49^{\circ} 07' 49.3'' N$, $20^{\circ} 11' 49.1'' E$, výška $1015 m n. m.$, sklon $2 - 3^{\circ}$, pôvodne dospelý, asi $80 - 90$ -ročný porast, drevná hmota takmer úplne odstránená, na ploche ponechané iba $1 - 1,5 m$ dlhé pne. Na ploche ostali ojedinelé dospelé smrekovce. Plocha dodatočne postihnutá požiarom (2005).

Tatranské Zruby, horná plocha (*FIR 2*) – $49^{\circ} 08' 2.7'' N$, $20^{\circ} 11' 30.1'' E$, výška $1095 m n. m.$, juhovýchodný svah, sklon $20 - 30^{\circ}$, pôvodne dospelý, asi $80 - 90$ -ročný porast, drevná hmota takmer úplne odstránená, na ploche ponechané iba $1 - 1,5 m$ dlhé pne a ťažobný odpad, dodatočne postihnutá požiarom (2005). Ojedinelo na ploche prežili dospelé smrekovce.

Nový Smokovec – Vodný les (*VL*) – $49^{\circ} 08' 7.6'' N$, $20^{\circ} 12' 24.8'' E$, výška $1022 m n. m.$, južne orientovaný žľab potoka, pôvodne dospelý, asi $80 - 120$ -ročný porast, drevná hmota takmer úplne odstránená, ponechané len $1 - 1,5 m$ dlhé pne a ťažobný odpad. Miestami zachované skupiny mladých smrekov (výška si $3 m$), pozdĺž potoka s prímiesou jelší a vrb. Celá plocha porastená *Calamagrostis* spp. (pokryvnosť $80 - 90\%$), miestami *Rubus* spp. a *Vaccinium myrtillus*, zatiaľ umelo nezalesnená.

Tatranská Lomnica – Jamy (*NEX*) – $49^{\circ} 09' 33.7'' N$, $20^{\circ} 15' 7.9'' E$, výška $1062 m n. m.$, silne zvlnený morénový terén, prevažne južne a juhovýchodne orientovaný, sklon $5 - 25^{\circ}$, pôvodne dospelý, asi $80 - 90$ -ročný porast, prežili je ojedinelé dospelé borovice a smrekovce, v značnom rozsahu zachované prirodzené zmladenie smreka, drevná hmota ponechaná v plnom rozsahu. Bylinný zárasť tvoria menšie plôšky nízkych tráv. Značná časť povrchu pôdy pokrytá ihličím. Plocha sprístupnená vysekaním úzkeho priechodu pozdĺž pôvodného chodníka.

3.1.3 Pôdne a hydrologické pomery

Pôdny prieskum preukázal relatívne rovnaké pôdne podmienky na všetkých výskumných plochách. Zaznamenaný je všeobecný trend redukcii vrstvy organickej hmoty, pričom najväčšie zmeny sú na ploche zhoreniska (*FIR*). Nedostatok humusu zapríčiňuje preukázateľný pokles retenčnej kapacity pôd. Pôdy sú výsušné, pričom ich vlhkosť klesá rýchlo po skončení zrážkovej činnosti (FLEISCHER *et* GIORGI 2007). Počas letnej sezóny, množstvo vody v pôde klesá pod 15% . Počas leta 2007 sa podobná situácia vyskytla štyrikrát počas jedného mesiaca. Najvyššie hodnoty vlhkosti pôdy boli zaznamenané na nevyťaženej ploche (*NEX*).

3.1.4 Klimatické charakteristiky

Teplotné pomery od roku 2004 potvrdzujú dlhotrvajúci trend vzostupu teploty vzduchu odvodený od 110 ročného časového radu meraní teplôt na stanici Tatranská Lomnica. V pokalamitnom období bol zatiaľ najteplejší rok 2006. Odchýlka teploty vzduchu bola $+2^{\circ}C$ od dlhodobého normálu. V rokoch 2006 a 2007 bola jar o $2,5^{\circ}C$ teplejšia oproti dlhodobému priemeru. Ročné úhrny zrážok nevykazujú odchýlku s výnimkou roka 2007, kedy napríklad v apríli spadlo len $6 mm$ zrážok, pričom normál

pre tento mesiac je 50 mm. Na kalamitných plochách je priemerná ročná teplota o 1,2 °C vyššia ako v referenčnom lesnom poraste. Zmena evapotranspirácie vedie k nedostatku rastlinám prístupnej vody (KŇAVA *et al.* 2007 *ex* FLEISCHER 2008). Vzostup úhrnu evapotranspirácie má súvislosť so zvýšenou veternosťou nad otvorenými plochami (FLEISCHER *et* GIORGI 2007).

3.1.5 Charakteristiky vegetačného krytu

Najväčšie zmeny vzhľadom na veternú smršť a následný požiar zaznamenal práve vegetačný kryt. Uvádza sa, že k najpodstatnejším zmenám v pokalamitnom období došlo v rokoch 2006 a 2007 (ŠOLTÉS *et al.* 2007). Najväčšími zastúpenými druhmi na všetkých plochách bol smlz chlpkatý (*Callamagrostis villosa*) a na zhorenisku kypřina úzkolistá (*Chamaerion angustifolium*). Taktiež bol zaznamenaný nástup inváznej *Reynoutria japonica*, a *Lupinus polyphylus*, na narušené územia. Prirodzená obnova lesa začala v sezóne 2007 (FLEISCHER 2008). Najčastejšie vyskytujúcimi druhmi boli, smrek obyčajný (*Picea abies*), jarabina vtáčia (*Sorbus aucuparia*), vřba rakytová (*Salix caprea*), breza karpatská (*Betula carpatica*) a smrekovec opadavý (*Larix decidua*).

3.2 Metodika

3.2.1 Vstupné údaje

Na výpočet charakteristík štandardizovaného zrážkového indexu *SPI* a štandardizovaného zrážkového a evapotranspiračného indexu *SPEI* boli použité namerané hodnoty priemerného mesačného úhrnu zrážok a priemernej mesačnej teploty vzduchu vo výške 2 m. Údaje boli získané zo siete klimatologických staníc a siete leteckých meteorologických staníc SHMÚ v oblasti Západných Tatier, Východných Tatier a príľahlého okolia uvedených v (Tab. 3.1). Údaje boli získané a spracované do podoby indexov sucha za pozorovacie obdobie január 1961 až december 2010. Výnimku tvorili stanice, ktoré začali svoju činnosť po roku 1961, resp. ju ukončili pred rokom 2010. Údaje z týchto staníc boli taktiež použité vo výpočtoch ako doplnkové, čím zahustili databázu údajov a spresnili výpočty nevyhnutné pre priestorové zhodnotenie indexu *SPI*. Výstupné charakteristiky indexov však boli samostatne vyhodnocované iba pre klimatologické stanice v tabuľke označené hviezdíčkou.

Tab. 3.1 Klimatologické stanice použité vo výpočtoch indexov sucha

Stanica	Sev. Zem. šírka	Vých. Zem. Dĺžka	Nadm. výš. (m n. m.)	Pozorovacie obdobie
Červený Kláštor*	49° 23'	20° 25'	463	1961– 2010
Liptovský Mikuláš	49° 05'	19° 36'	569	1961– 2010
Podolíneč	49° 15'	20° 32'	573	1961– 2010
Liptovský Hrádok*	49° 2'	19° 43'	640	1961– 2010
Liesek	49° 21'	19° 40'	692	1961– 2010
Poprad*	49° 4'	20° 14'	694	1961– 2010
Habovka	49° 16'	19° 36'	745	1980– 2002
Tatranská Lomnica*	49° 9'	20° 17'	827	1961– 2010
Podspády	49° 16'	20° 10'	913	1961– 2010
Podbanské*	49° 8'	19° 54'	972	1961– 2010
Tatranská Javorina*	49° 15'	20° 8'	1007	1961– 2010
Starý Smokovec	49° 8'	20° 13'	1010	1961– 1990
Hrebienok	49° 9'	20° 13'	1270	1961– 1990
Štrbské Pleso*	49° 7'	20° 4'	1354	1961– 2010
Skalnaté Pleso*	49° 11'	20° 14'	1778	1961– 2010
Lomnický Štít	49° 11'	20° 12'	2635	1961– 2010

*- stanice pre ktoré boli vypočítané výstupné charakteristiky sucha

3.2.2 Výpočet indexov *SPI* a *SPEI*

Výpočet indexov sucha bol realizovaný v dvoch fázach. V prvej prebehlo zostavenie meteorologických údajov do príslušnej vstupnej formy použiteľnej pre kalkulátory týchto indexov. Kalkulátory indexov *SPI* a *SPEI* sú kódované v programovacom jazyku C++, čo znamená, že nie je prítomný intuitívny grafický interface, ale ovládanie programu prebieha cez *command line* v systéme *Windows XP* resp. *Windows 7*. Vstupná forma údajov je uvedená v metodike ovládania procesu výpočtu prístupnej online:

pre *SPI*: <http://digital.csic.es/handle/10261/10006>

pre *SPEI*: <http://digital.csic.es/handle/10261/10002>

V druhej fáze prebehol samotný výpočet indexov pre vopred stanovených časových kritérií. Časové kritérium predstavuje počet mesiacov, pre ktoré bude index vypočítavaný s výstupom pre aktuálny mesiac. Teda index *SPI* či *SPEI* pre 3 mesiace, predstavuje odchýlku normalizovaného zrážkového úhrnu v aktuálnom mesiaci a v dvoch predchádzajúcich. Podľa tohto prístupu boli časové kritériá, resp. intervaly pre výpočet *SPI* a *SPEI* stanovené na 3, 12 a 24 mesiacov. Následne prebehol samotný výpočet a úprava výstupných údajov v prostredí *MS EXCEL*.

3.2.2.1 Vyhodnotenie vypočítaných indexov a testovanie štatistickej významnosti korelačného koeficienta

Vyhodnotenie vypočítaných indexov bolo vykonané pre meteorologické stanice uvedené v tabuľke (3.1) podľa zadaných časových kritérií. Tým bolo získaných 16 časových radov odchýlok indexu *SPI* a *SPEI* preložených lineárnou trendovou čiarou s vypočítaným koeficientom determinácie.

Štatistická významnosť lineárnych trendov časových radov bola overovaná testom významnosti výberového korelačného koeficienta porovnaním s kritickou hodnotou Studentovho *t*-rozdelenia (SCHEER *et* SEDMÁK 2007).

Pre zhodnotenie počtu závažných období sucha v oblasti Tatier bol vypočítaný priemerný index *SPI* spracovaním databázy staníc uvedených v (Tab. 3.1). Časové kritérium indexu bolo stanovené na dvanásť a dvadsaťštyri mesiacov. Závažnosť epizód sucha bola stanovená podľa klasifikačnej tabuľky MCKEEHO (1993) (Tab. 3.2).

Tab. 3.2 Klasifikácia intenzity odchýlok SPI podľa MCKEEHO (1993)

Hodnota SPI	Vyjadrenie intenzity odchýlky
$\geq 2,0$	Extrémne vlhká
1,5 do 1,99	Veľmi vlhká
1,0 do 1,49	Priemerne vlhká
-0,99 do 0,99	Blízko normálu
-1,0 do -1,49	Priemerne suchá
-1,5 do 1,99	Mimoriadne suchá
$\leq -2,0$	Extrémne suchá

Pre hodnotenie počtu závažných období sucha boli vzhľadom na vysoký priemerný úhrn zrážok v oblasti Tatier vybraté iba epizódy sucha počas ktorých sa aspoň v jednom mesiaci zistila hodnota indexu menšia ako (-1,5).

Relatívny štandardizovaný zrážkový index *rSPI* bol aplikovaný z dôvodu potreby porovnania aridity v zrážkovo odlišných oblastiach reprezentovaných stanicami v nížinách a vo vyšších nadmorských výškach. Túto metódu použil BRÁZDIL *et al.* (2007) pre potreby porovnania aridity prostredia v klimaticky heterogénnej krajine Moravy a Sliezka.

Modifikácia pôvodnej metódy *SPI* do podoby *rSPI* spočíva v odvodení parametrov gama rozdelenia zrážkových úhrnov nie pre jednotlivé stanice, ale na základe mesačných zrážkových úhrnov celého súboru staníc uvedených v (Tab. 3.1). Výsledná hodnota relatívneho *SPI* pre danú stanicu je pomerom jej hodnoty indexu k indexu všetkých staníc. V tejto práci bol experimentálne vyhotovený aj relatívny štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index *rSPEI*, metódou popísanou vyššie.

Pre potrebu zistenia vzťahu hodnôt indexov sucha k zaužívaným metódam bol vyhotovený klimatický ukazovateľ zavlaženia podľa TOMLAINA (1991), popísaný vo vzorci (6), pre stanice Červený Kláštor, Štrbské Pleso a Tatranská Javorina.

$$K = Eo - P \quad (6)$$

kde:

Eo – potenciálna evapotranspirácia podľa (BUDYKO *et* ZUBENOK 1961)

P – zrážky

Tento bol porovnávaný v ročnom chode s priemernými hodnotami SPI pre uvedené stanice.

3.2.3 Trend časového radu priemernej ročnej teploty vzduchu

Za účelom priblíženia problematiky rozdielov hodnotenia indexov SPI a $SPEI$ bol ako doplnok zostavený trend časového radu priemernej ročnej teploty vzduchu zo staníc: Liptovský Hrádok, Poprad a Štrbské Pleso za obdobie rokov 1961 – 2010. Časový rad bol preložený lineárnym trendom a bola vypočítaná štatistická významnosť korelačného koeficienta metódou popísanou v predchádzajúcej podkapitole.

3.2.4 Technika priestorového zobrazenia indexu SPI a jeho charakteristik

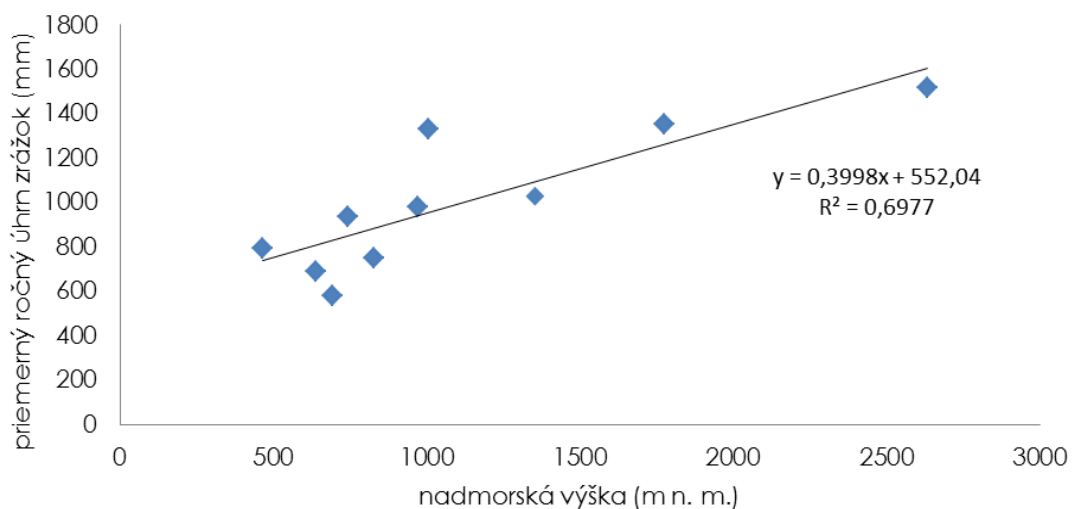
Základom pre vytvorenie priestorového modelu, hodnotiaceho index SPI , resp. jeho odvodené charakteristiky je formulácia modelu. V predbežnom overovaní bola za týmto účelom sledovaná závislosť stúpajúcej nadmorskej výšky a stúpajúcich úhrnov zrážok, teda bol hľadaný tvar korelačnej závislosti, ktorý by najefektívnejším spôsobom aproximoval formulovanú korelačnú závislosť. Pre jednoduchosť a pre nevýznamné rozdiely v koeficientoch korelácie sa pristúpilo k použitiu lineárneho regresného modelu.

Test signifikantnosti modelu bol vyhotovený na vzorke staníc s homogénnym dátovým radom uvedených v (Tab. 3.3).

Tab. 3.3 Meteorologické stanice zaradené do overovania signifikantnosti lineárneho modelu

Stanica	Sev. Zem. šírka	Vých. Zem. Dĺžka	Nadm. výš. (m n. m.)
Liptovský Hrádok	49° 2' 21''	19° 43' 31''	640
Podbanské	49° 8' 24''	19° 54' 38''	972
Lomnický Štít	49° 11' 43''	20° 12' 54''	2635
Skalnaté Pleso	49° 11' 23''	20° 14' 9''	1778
Štrbské Pleso	49° 7' 26''	20° 4' 9''	1354
Poprad	49° 4' 8''	20° 14' 44''	694
Tatranská Lomnica	49° 9' 52''	20° 17' 17''	827
Tatranská Javorina	49° 15' 47''	20° 8' 37''	1007
Červený Kláštor	49° 23' 30''	20° 25' 36''	463

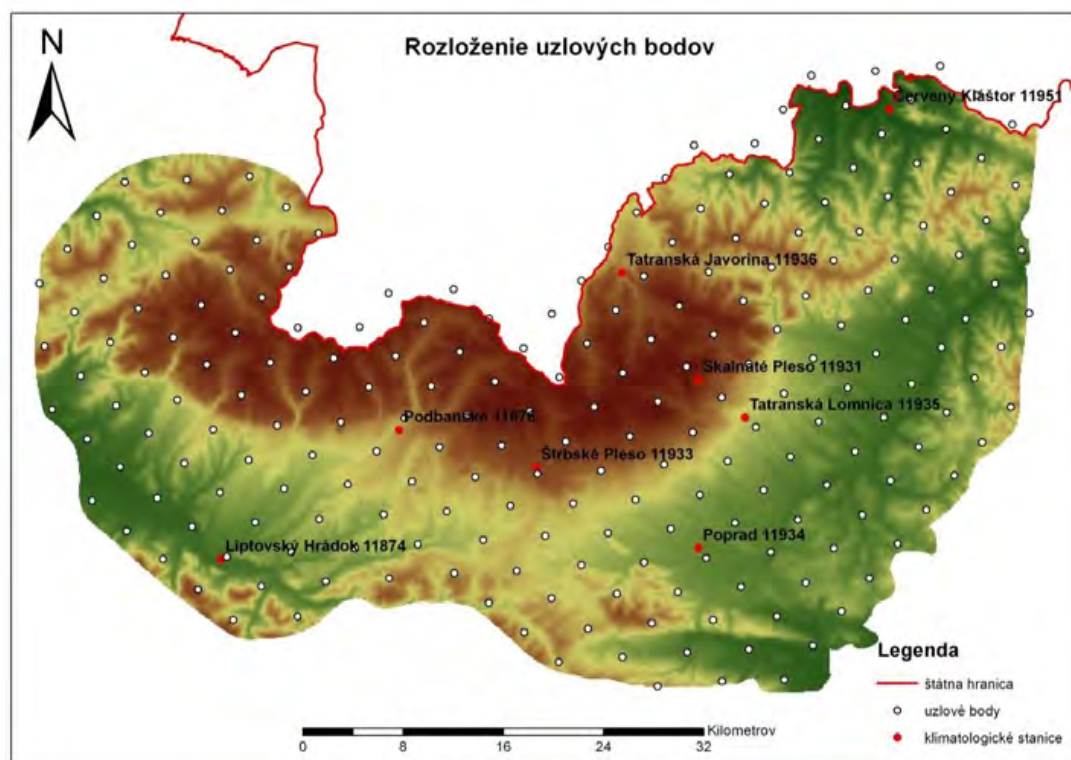
Test významnosti korelačného koeficienta porovnaním s kritickou hodnotou Studentovho t -rozdelenia preukázal signifikantnosť lineárnej závislosti medzi nadmorskou výškou a zrážkami na hladine významnosti $\alpha = 0,01$ (Obr. 3.1). Tým sa potvrdila vhodnosť použitia lineárnej regresie na výpočet modelovaných zrážkových úhrnov, ktoré sú východiskovou veličinou pre výpočet indexov *SPI*.



Obr. 3.1 Závislosť medzi nadmorskou výškou a zrážkovým úhrnom

3.2.4.1 Vytvorenie siete uzlových bodov a hľadanie hlavnej deliacej čiary

Pre kvalitné priestorové zobrazenie informácií o výskyte sucha či jeho charakteristikách je potrebné vykonať výpočty na čo najväčšom počte bodov, ktoré vstupujú vo forme databázy do Geografického informačného systému. Pre tento účel bola zvolená sieť uzlových bodov so vzdialenosťou $3,8\text{ km}$ (Obr. 3.2). V týchto bodoch sa následne vykonávali výpočty zrážkových úhrnov. Dovedna bolo vygenerovaných 220 uzlových bodov.



Obr. 3.2 Rozloženie siete uzlových bodov, pre ktoré boli vykonávané výpočty zrážkových úhrnov.

Pri prvotnom modelovaní zrážkových úhrnov pre celú sieť uzlových bodov na základe regresných rovníc vypočítaných z celkového ansáblu staníc sa ukazovali v niektorých mesiacoch významné prepady hodnoty korelačného koeficienta. Táto chyba bola spôsobená významnou rozdielnosťou zrážkových úhrnov netienenej časti Tatier a podhoria, východne od Tatranskej Lomnice a severne od hlavného hrebeňa Východných Tatier. Teda sa pristúpilo k vytvoreniu dvoch skupín staníc, pre ktoré boli počítané regresné rovnice samostatne, čo viedlo k významnejšej kvalite výpočtov. Tieto dve skupiny staníc boli vymedzené hľadaním hlavnej deliacej čiary, ktorá bola stanovená umelo, v línii, Rysy – hlavný hrebeň Vysokých Tatier – Kopské sedlo – Rakúsy – Spišská Belá. Rozdelenie staníc do západného a východného sektoru uvádzame v (Tab. 3.4).

Tab. 3.4 Rozdelenie staníc do sektorov so samostaným výpočtom regresných rovníc

Západný sektor	Stanica	Nadmorská Výška (m n. m.)
	Liptovský Mikuláš	569
	Liptovský Hrádok	640
	Liesek	692
	Poprad	694
	Habovka	745
	Tatranská Lomnica	827
	Podbanské	972
	Starý Smokovec	1010
	Hrebienok	1270
	Štrbské Pleso	1354
	Skalnaté Pleso	1778
Východný Sektor		
	Červený Kláštor	465
	Podolíneč	573
	Podspády	913
	Tatranská Javorina	1007

3.2.4.2 Tvorba regresných rovníc a výpočet zrážkových úhrnov v uzlových bodoch

Výpočet zrážkových úhrnov pre jednotlivé uzlové body prebiehal v jednomesečnom kroku na základe charakteristík regresnej rovnice pre príslušný sektor. Teda uzlovým bodom spadajúcim do oblasti príslušného sektoru prislúchali parametre regresnej rovnice vypočítané na podklade staníc nachádzajúcich sa v tejto oblasti. Regresné rovnice boli vypočítané v prostredí MS EXCEL príslušnými funkciami.

Výpočet úhrnu zrážok v uzlovom bode sa riadil funkciou:

$$P = LINEST(A) + b \quad (7)$$

Kde:

- P – zrážky v danom mesiaci (mm)
- $LINEST$ – parameter regresnej rovnice
- A – nadmorská výška uzlového bodu (m n. m.)
- b – konštanta

Týmto spôsobom boli získané úhrny zrážok pre uzlové body. Následným krokom bolo zostavenie tabuľky údajov pre každý jeden bod samostatne do formy použiteľnej pre kalkulátor *SPI* rovnakou metódou ako v prípade výpočtu indexu pre skutočné meteorologické stanice. Postupným výpočtom indexu *SPI* pre 3 a 12 mesiacov bolo získaných 220 sérií týchto údajov.

Úpravou výstupnej databázy boli získané údaje o absolútnom počte suchých období podľa metodiky BRÁZDIL *et al.* (2007) pre každý jeden bod v časových intervaloch 3 a 12 mesiacov.

3.2.4.3 Priestorový model

Údaje o počte suchých období boli dosadené do tabuľky v prostredí MS EXCEL a následne importované do geografického informačného systému ArcGis 10, kde prebiehala samotná priestorová analýza údajov a vyhotovenie výstupných máp.

Priestorová interpolácia charakteristík indexu *SPI* bola vykonaná pomocou modulu SPATIAL ANALYZIS, nástrojom SPLINE. Týmto procesom boli získané 2 priestorové zobrazenia pre charakteristiku priemernej dĺžky trvania suchého obdobia. Výstupná rastrová vrstva však predstavuje čisto modelované údaje, ktoré sú logicky zaťažené odchýlkami regresnej rovnice od skutočného stavu. Snaha o spresnenie priestorovej informácie viedla k vytvoreniu párovej rastrovej vrstvy s dátami interpolovanými rovnakým nástrojom, pochádzajúcimi z reálne nameraných úhrnov zrážok na klimatologických stanicich uvedených v (Tab. 3.1). Táto vrstva však predstavuje iba polovičné územie, nakoľko SPATIAL ANALYZIS je schopné priestorovej interpolácie v priestore vymedzenom dátovými bodmi, v našom prípade lokalizáciou klimatologických staníc.

Nástrojom RASTER CALCULATOR boli vytvorené vrstvy priemerných hodnôt znakov modelovaných a skutočne nameraných jednoducho popísateľné vzťahom:

$$\bar{x} = \frac{x_{mod.} + x_r}{2} \quad (8)$$

kde:

x – priemerná hodnota znaku vo výstupnom rastrovi

$x_{mod.}$ – hodnota znaku v modelovanom rastrovi

x_r – hodnota znaku v rastrovi s nameranými hodnotami na stanicich

Týmto postupom boli zmiernené rozdiely medzi interpolovanými modelovanými údajmi na základe regresných rovníc a hodnotami ktoré boli vypočítané na základe exaktne nameraných hodnôt na klimatologických stanicich.

Priemerné vrstvy boli vyhotovené do podoby mapového výstupu ktorý je súčasťou výsledkov predkladanej práce a tvoria najpresnejší možný priestorový priemet

indexu *SPI* a jeho charakteristík na časti územia TANAP-u. Vrstvy modelovaných indexov sucha sú súčasťou príloh. Výstupné overenie priestorového modelu bolo vykonané na základe porovnania nameraných zrážkových úhrnov na totalizátoroch v troch rokoch vyjadrujúcich nadpriemerné úhrny (2010), podpriemerné úhrny (2003) a priemerné úhrny (1997) k modelovaným zrážkam najbližšie ležiacich výpočtových bodov v daných rokoch. Hodnotenie signifikantnosti bolo vykonané Studentovým testom o zhodnosti priemerov (MATEJKA ET HUZULÁK 1987).

3.2.5 Výpočet zmien obsahu vody v pôde pomocou modelu GLOBAL

Výpočet zmien obsahu vody v pôde pomocou modelu GLOBAL bol vykonaný na lokalitách pokalamitného výskumu (FLEISCHER 2008).

3.2.5.1 Odber pôdných vzoriek v prirodzenom uložení

Pôdne vzorky boli odoberané z pôdneho profilu 0 – 5 cm kopeckého valčekmi s kalibrovaným objemom 100 cm³. Vzorky boli odoberané v prirodzenom uložení. Z dôvodu prítomnosti nadložného humusu, ktorý má vysokú pórovitosť a laminárnu štruktúru, bol tento odstránený. Pred samotným odberom bol priestor zmáčaný dostatočným množstvom vody. Po odbere pôdných vzoriek boli tieto označené a uzavreté do polyetylénových vreciek. Celkovo bolo odobratých 12 pôdných vzoriek, 3 vzorky na každú lokalitu výskumu. Reprezentatívnosť vzoriek vzhľadom na veľkú variabilitu pôdy na výskumných plochách nie je pri danom počte vzoriek zaručená. Vzorky boli odobraté v smere transektu, v ktorom boli umiestnené formalínové zemné pasce na odber chrobákov.

3.2.5.2 Laboratórne stanovenie hydrofyzikálnych charakteristík pôdy

Výpočet hydrofyzikálnych charakteristík pôdy prebiehal v klimatizovanom laboratóriu hydrofyzikálnych vlastností pôdy Ústavu hydrológie SAV v pretlakovom prístroji Soil Moisture Equipment. Laboratórne boli stanovené objemové vlhkosti pôdy pri vlhkočných potenciáloch -2, -60, -200, -560, -1000 a -3000 cm. Laboratórne bola stanovená nasýtená hydraulická vodivosť pôdy K (cm/d⁻¹). Taktiež boli vypočítané koeficienty van Genuchtena (α , n) a vyhotovené vlhkočné retenčné krivky pre jednotlivé vzorky pôdy v prostredí programu RETC podľa metodiky (VAN GENUCHTEN *et al.* 1991). Problematická reziduálna vlhkosť pôdy bola stanovená podľa (RAWLS *et al.* 1982). Súhrn vypočítaných hydrofyzikálnych charakteristík pôdy vstupujúcich do modelu GLOBAL uvádzam v (Tab. 3.5).

Tab. 3.5 Hydrofyzikálne vlastnosti pôdneho profilu 0 – 5 cm na výskumných plochách

plocha	K ($cm.d^{-1}$)	θ_s	θ_r	α	n
FIR	2075,68	0,68	0,09	0,1332	1,4933
NEX	1355,22	0,76		0,1431	1,4904
REF	778,03	0,64		0,2278	1,1218
EXT	950,44	0,65		0,1809	1,1159

K – nasýtená hydraulická vodivosť, θ_s – plná vodná kapacita, θ_r – reziduálna vlhkosť, α , n – koeficienty Van Genuchten

3.2.5.3 Vstupné údaje modelu GLOBAL

Okrem hydrofyzikálnych vlastností pôdneho profilu, pre ktorý sú vypočítavané samotné výstupné charakteristiky modelu, sú ako vstupy požadované: počiatkové podmienky, horno-okrajové podmienky a dolno-okrajová podmienka.

Počiatkové podmienky:

- Počiatková objemová vlhkosť pôdy bola získaná na základe priameho merania objemovej vlhkosti pôdy meracím zariadením.
- Vodná hodnota snehu v počiatkovom dni bola stanovená na 0, nakoľko počiatkový deň modelovania je v každom prípade deň 91.

Horno-okrajové podmienky:

- Meteorologické veličiny priemerná denná teplota vzduchu ($^{\circ}C$), priemerná denná rýchlosť vetra (m/s^{-1}), denný úhrn zrážok (mm), dĺžka slnečného svitu (h/d^{-1}), priemerný denný tlak vodných pár (hPa) boli získané z databázy automatických meracích staníc VS–TANAPu umiestnených na výskumných plochách. Tlak vodných pár a dĺžka slnečného svitu boli získané z databázy SHMÚ.
- Charakteristiky vyparujúceho povrchu boli použité podľa NOVÁK *et* KŇAVA (2011), uvedené v (Tab. 3.6).

Tab. 3.6 Charakteristiky vyparujúceho povrchu podľa NOVÁK *et* KŇAVA (2011)

Porast	Obdobie	LAI	Z_0 (m)	α
Smrek. Les	1.4. – 30.9.	6,0	0,3	0,11
Níz. Porast	1.4. – 31.5.	0,5	0,02	0,25
	1.6. – 30.6.	1,5	0,03	
	1.7. – 31.8.	5,0	0,05	
	1.9. – 30.9.	4,0		

LAI – index listovej plochy, Z_0 – drsnosť povrchu, α – albedo

- Fenologické údaje a parametre porastov boli získané od pracovníkov UH SAV v Bratislave, ktorí pre potreby obdobného výskumu vytvorili databázu fenologických údajov pre výskumné plochy.

Dolno-okrajová podmienka

- Objemová vlhkosť pôdy v dolnej časti uvažovaného pôdneho profilu bola stanovená na základe databázy údajov meraných vlhkostí pôdy na začiatku príslušného modelovaného roka a na jeho konci. Interpoláciou pomocou modulu UNINPNEW pre výpočet hodnôt dolnookrajových podmienok boli vytvorené súbory dát s týmto parametrom pre jednotlivé plochy a roky.
- Vstupné dáta boli editované do vstupnej databázovej formy podporným programom INGLO pre všeobecné pedofyzikálne charakteristiky a vlastnosti aktívneho povrchu. UNINPNEW sa použil na úpravu meteorologických a fenologických vstupov.

3.2.5.4 Modelovanie priebehu zmien objemovej vlhkosti pôdy

Samotné modelovanie bolo vykonané simulačným programom GLOBAL 4, pričom boli ako vstupy použité upravené databázy. Model bol vyhotovený pre roky 2007 až 2011. Model zmien objemovej vlhkosti bol vytvorený pre obdobie 1.4 – 30.9. daného roku s výnimkou v roku 2007, kde modelované obdobie skončilo 18.8.

3.2.5.5 Vyhodnotenie modelovaných hodnôt obsahu vody v pôde

Z výstupných veličín bola pre potreby práce vybratá objemová vlhkosť pôdy vzhľadom na častú aplikáciu tohto parametra v ekologických otázkach. Vyhodnotenie objemovej vlhkosti pôdy pozostávalo z výpočtu priemernej objemovej vlhkosti pôdy na danej lokalite v danom roku, medziročné porovnanie parametra na danej lokalite a porovnania vlhkostí medzi lokalitami navzájom. Výstupy boli zostavené do tabelárnej podoby.

3.2.6 Hodnotenie štruktúry spoločenstiev bystruškovitých vo vzťahu k indexom sucha a výstupom modelu GLOBAL

Zber chrobákov prebiehal metódou formalínových zemných pascí v rokoch 2007 až 2011. Pasce tvorili plastové pollitrové poháre s priemerom ústia 90 mm. Pasce boli vyberané v približne mesačných intervaloch. Sledovalo sa šesť výskumných plôch. Štyri základné lokality pokalamitného výskumu boli doplnené o hornú plochu spáleniska, vo vzdialenosti 800 m od lokality spáleniska (*FIR*) podľa FLEISCHERA (2008)

a plochu Vodný les (130 m SSV smerom od čerpacej stanice pohonných hmôt na západnom okraji Nového Smokovca). Na každej ploche bolo uložených šesť pascí v jednej línii vo vzdialenosti približne 5 m. V grafoch sú celoročné zbery označené prvým písmenom skratky lokality a poslednou číslicou letopočtu. Skratky spálenísk majú tvar *Fh* pre horné spálenisko a *Fd* pre dolné.

Ekologické údaje o jednotlivých druhoch sú prevzaté z prác BURMEISTERA (1939), HŮRKU (1996), LARSONA (1939), ŠUSTEKA (1984, 2000 a 2004) a THIELEHO (1977). Nomenklatúra bystruškovitých je upravená podľa HŮRKU (1996). Hierarchická klasifikácia spoločenstiev bola urobená metódou neváženého priemeru. Ako funkcia podobnosti bola použitá tetivová vzdialenosť vyjadrujúca proporcionálnu podobnosť kvantitatívneho zloženia porovnávaných vzoriek. Detrendovaná korešpondenčná analýza (*DCA*) bola použitá ako nepriama ordináčna metóda. Priama ordinácia (POOLE 1974) sa robila na základe preferencie zatienenia jednotlivých druhov a ich vlhkostných nárokov. Na charakterizovanie ekologických vlastností druhov bola použitá štvorčlenná semikvantitatívna škála preferencie vegetačného krytu a osemčlenná semikvantitatívna škála preferencie vlhkosti (ŠUSTEK 2004). Produktivita spoločenstiev je charakterizovaná kumulatívnym počtom jedincov a biomasou celoročných vzoriek. Biomasa bola stanovená výpočtom ako súčin počtu jedincov a tabuľkových hodnôt priemernej suchej biomasy jedinca príslušného druhu (ŠUSTEK 1984, tab. 2). Tieto hodnoty boli stanovené zvážením čo najväčšieho počtu jedincov na analytických váhach s presnosťou na 0,01 g vysušených 24 hodín pri 100 °C a vydelením ich počtom. Počet vážených jedincov aj vzácnych druhov neklesol pod 6 kusov. Rovnomernosť zastúpenia druhov v spoločenstve je charakterizovaná Shannon-Weaverovým indexom diverzity H' .

Vzťahy medzi ekologickými charakteristikami spoločenstiev bystruškovitých a suchom sú znázornené pomocou líniových grafov. Sucho bolo v tomto prípade charakterizované priemernou ročnou hodnotou indexu *SPEI* a *SPI* pre dvadsaťštyri mesiacov podľa stanice Tatranská Lomnica a priemernou ročnou hodnotou objemovej vlhkosti pôdy na príslušnej lokalite podľa modelu GLOBAL vyjadrenej v tabelárnej forme. Vzťah spoločenstiev bystruškovitých k vlhkosti a vegetačnému krytu v jednotlivých rokoch je číselne charakterizovaný aritmetickým priemerom preferencie jednotlivých druhov k týmto faktorom (ŠUSTEK 2004) váženým počtom ich jedincov v celoročnom zbere.

4 VÝSLEDKY A DISKUSIA

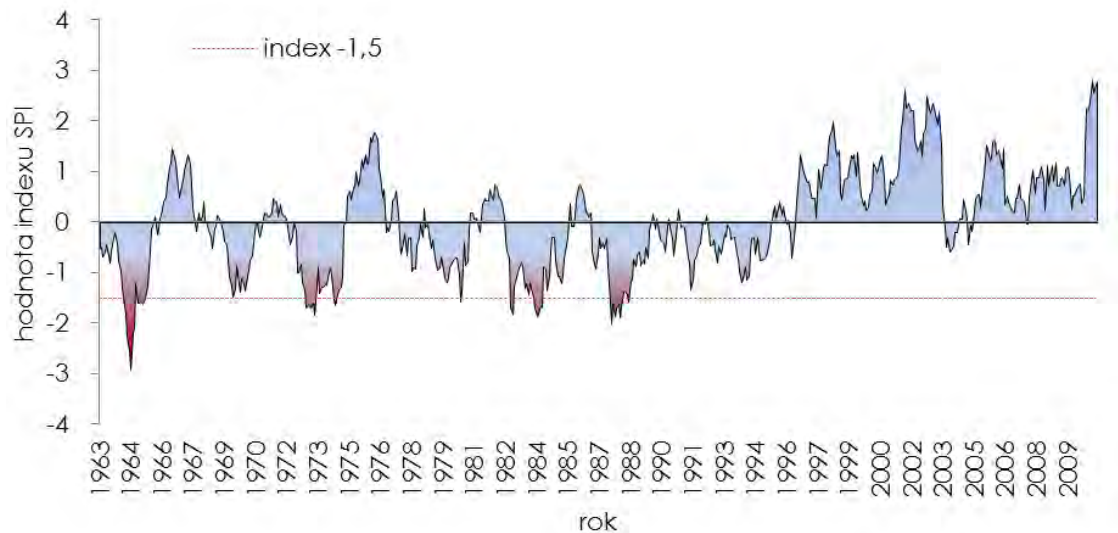
4.1 Komplexné hodnotenie výskytu sucha v oblasti Tatranského národného parku

Komplexné hodnotenie výskytu sucha v oblasti Tatier naráža na problém pomerne nízkeho úhrnu evapotranspirácie vo vyšších nadmorských výškach. Z pohľadu vlhovej zabezpečenia primárnych producentov tatranských ekosystémov, hodnoteného pomocou klimatického indexu zavlaženia ($E_o - P$), pozorujeme prebytkovú zrážkovú bilanciu v horských vegetačných stupňoch (ŠKVARENINA *et al.* 2008). Avšak dlhodobé zrážkovo podnormálne obdobie, ktoré vplyvom akumulácie zrážkového deficitu, napríklad prostredníctvom nízkych zimných úhrnov zrážok, môže spôsobiť dôsledky v ekosystémových väzbách, ktoré nemusia byť ihneď zreteľné. Indexy sucha ako štandardizovaný zrážkový, či štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index majú možnosť byť vyhotovované pre krátkodobé i dlhodobé časové úseky. Krátkodobé úseky, ako index pre jeden či tri mesiace, reagujú rýchlo na pokles či vzostup úhrnu zrážok, čím sa ich odozva podobá na krátkodobé *meteorologické sucho* (HEIM 2002). V kontexte uvedeného, vplyv krátkodobých odchýlok od dlhodobého normálu nemá v zrážkovo bohato zabezpečenom prostredí Tatier veľký význam, pokiaľ nie je v synergickom pôsobení s vysokou teplotou. Preto sú indexy pre tri mesiace v práci uvedené iba ako doplnková charakteristika. Pre splnenie účelov predkladanej práce bolo kľúčové nájsť časové kategórie indexov, ktorých hodnoty v zmysle metodiky MCKEE (1993) sú dostatočne citlivé na zhodnotenie potenciálnych vplyvov sucha na zložky biodiverzity, v našom prípade na spoločenstvá chrobákov z čeľade bystruškovitých, prípadne poskytnúť informáciu o potenciále sucha ako rizikového faktora vlhovej zabezpečenia ekosystému. Výsledkom bolo hodnotenie sucha na území Tatranského národného parku indexami *SPI* a *SPEI* pre dvanásť a dvadsaťštyri mesiacov.

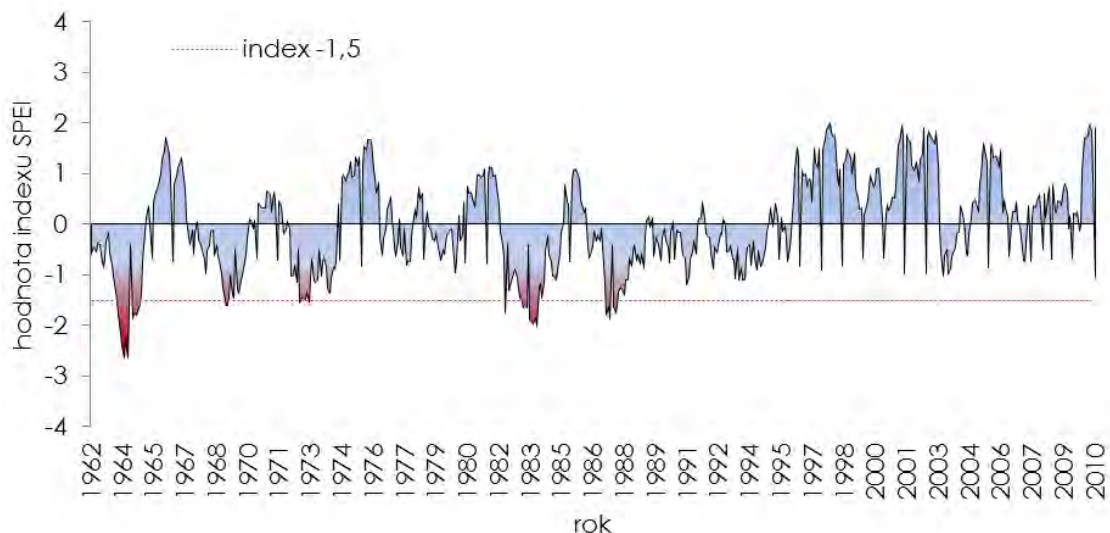
4.1.1 Výskyt epizód sucha v období 1961–2010

Ako uvádza KONČEK (1974), hlavným činiteľom zrážkového režimu Tatier, vzhľadom na svoje špecifické geografické postavenie v smere prevládajúceho prúdenia, je atmosferická cirkulácia a s ňou súvisiace striedanie vzduchových hmôt, sprevádzané prechodom atmosferických frontov. Teda môžeme predpokladať, že významné obdobia sucha sa budú vyskytovať súčasne v celom komplexe Tatier. Z tohto dôvodu bol vyhotovený priemerný index *SPI* a *SPEI*, ktorý hodnotí výskyt suchých epizód

v celom sledovanom území na podklade zrážkových a teplotných údajov všetkých klimatologických staníc uvedených v metodike. Obrázky 4.1 – 4.4 znázorňujú výskyt významných suchých epizód v oblasti Tatier.

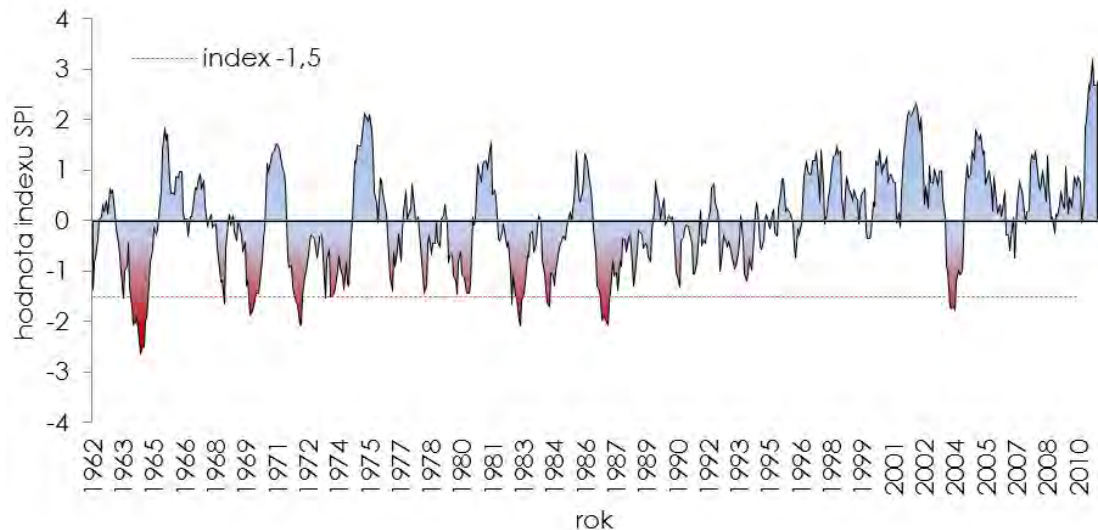


Obr. 4.1 Výskyt významných suchých epizód v oblasti Tatier podľa *SPI* pre 24 mesiacov

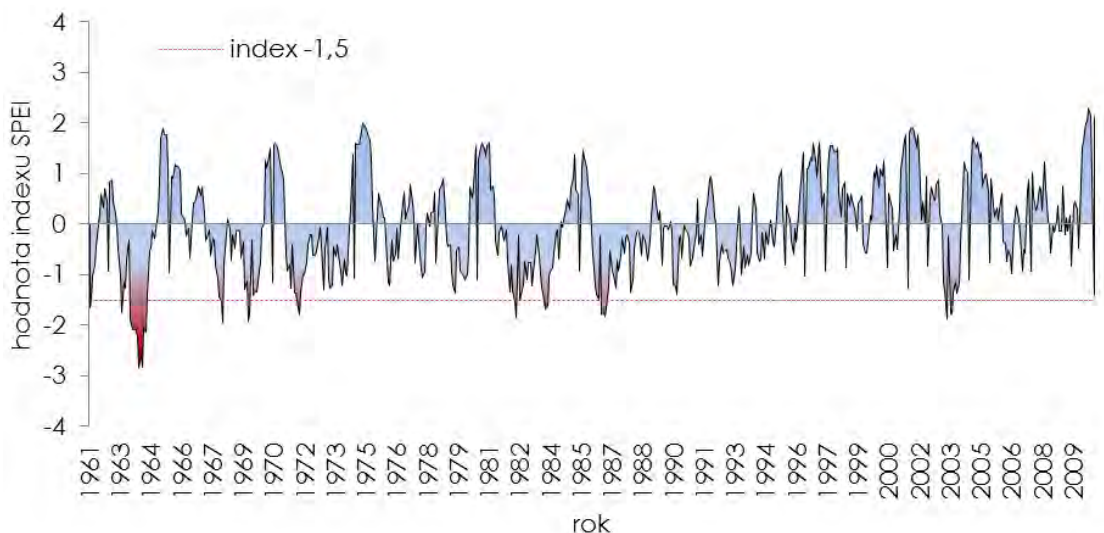


Obr. 4.2 Výskyt významných suchých epizód v oblasti Tatier podľa *SPEI* pre 24 mesiacov

V období 1961 – 2010 bolo v Tatranskej oblasti zaznamenaných podľa *SPI* a *SPEI* pre dvadsaťštyri mesiacov päť závažných epizód sucha (epizóda s indexom $\leq -1,5$). V prípade dvanásť mesačných indexov stúpol počet závažných období na sedem. Pričom ako extrémna, bola v zmysle metodiky McKeeho (1993) indexami vyhodnotená iba jedna epizóda spadajúca do začiatku sledovaného obdobia (apríl 1963 – apríl 1965).



Obr. 4.3 Výskyt významných suchých epizód v oblasti Tatier podľa *SPI* pre 12 mesiacov



Obr. 4.4 Výskyt významných suchých epizód v oblasti Tatier podľa *SPEI* pre 12 mesiacov

Z obrázkov je zreteľné, že mimoriadne epizódy sucha sa vyskytovali v období rokov 1960 – 1974 a 1982 – 1985. Mierne suché, ale dlhotrvajúce obdobie pokračovalo aj v druhej polovici osemdesiatych a začiatku deväťdesiatych rokov s málopočetnými prerušeniami. Na grafe je tiež viditeľný výrazný nárast výskytu vlhkých období, resp. zrážkovo nadnormálnych epizód po roku 1995. Ako uvádzajú LAPIN *et* FAŠKO (1996), zrážkové pomery na severe Slovenska sú najväčšmi ovplyvňované západným, resp. severozápadným zonálnym prúdením, v kontraste s južnou časťou územia republiky. Podľa NIEDZWIEDZA (1993) indexy hodnotiace zmeny atmosferickej cirkulácie vykazujú v prípade geografickej oblasti, do ktorej prináleží aj oblasť Tatier, výrazný vzostup západného zonálneho prúdenia po roku 1993, čo súvisí s vyššími územnými úhrnmi zrážok na severe Slovenska v posledných dvadsiatich rokoch. LAPIN *et al.* (2000) uvádza, že tieto vplyvy môžu súvisieť s prebiehajúcou klimatickou zmenou,

avšak PEKÁROVÁ (2009) poukazuje na cyklické striedanie vlhkých a suchých období v celoslovenskej mierke na príklade kolísania prietokov Dunaja. Autorka uvádza, že obdobie rokov 1950 – 1993 bolo významne suché oproti predchádzajúcemu obdobiu do roku 1950 a taktiež súčasne prebiehajúcemu obdobiu po roku 1993.

Zo starších prác hodnotiacich kolísanie zrážkových úhrnov na území Tatier, cyklickosť striedania sa suchých a vlhkých období potvrdil aj KONČEK (1974), avšak jeho analýzy sa datujú len do roku 1960. PEKÁROVÁ (2009) zhodne s výsledkami analýz KONČEKA (1974) uvádza striedanie sa vodných a suchých periód v intervale približne dvadsať rokov. Vzhľadom na uvedené môžeme predpokladať, že výrazne vodné obdobie posledného decénia bude v budúcnosti vystriedané zrážkovo podnormálnym obdobím, pričom vplyvom prebiehajúcej klimatickej zmeny môžu byť v budúcnosti prejavy a dopady sucha aj v humídnej oblasti Tatier významné. Sporadický výskyt významnejšieho sucha sa však nedá vylúčiť ani vo „vodnom“, období, podobne ako tomu bolo v roku 2003 či 2007. Avšak je možné do istej miery predpokladať výskyt týchto období napríklad pomocou indexu severoatlantickej oscilácie *NAO*.

PEKÁROVÁ (2010) uvádza, že existuje významná záporná závislosť medzi vodnosťou roka a zimným indexom severoatlantickej oscilácie pre daný rok. Na záver uvádzam tabuľku s prehľadom závažných epizód sucha podľa *SPI* a *SPEI* pre dvanásť a dvadsaťštyri mesiacov.

Tab. 4.1 Prehľad závažných epizód sucha (index $\leq -1,5$) v Tatrách v období 1961-2010

SPI 24 m.	SPI 12 m.	SPEI 24 m.	SPEI 12 m.
jan. 1963 – aug. 1965	mar. 1963 – mar. 1965	dec. 1962 – júl 1965	dec. 1961 – apr. 1962
feb. 1972 – nov. 1974	nov. 1967 – aug. 1968	feb. 1968 – jún 1970	apr. 1963 – mar. 1965
sep. 1978 – okt. 1980	dec. 1968 – jún 1970	jún 1972 – sep. 1974	aug. 1967 – aug. 1968
júl 1982 – júl 1985	júl 1971 – júl 1974	júl 1982 – jún 1985	okt. 1968 – máj 1970
sep. 1986 – jún 1989	okt. 1981 – sep. 1983	sep. 1986 – jún 1989	júl 1971 – aug. 1974
	nov. 1983 – mar. 1985		okt. 1981 – nov. 1984
	jún 1986 – apr. 1989		jún 1986 – apr. 1989
	aug. 2003 – jún 2004		júl 2003 – jún 2004

4.1.2 Trendy časových radov výskytu suchých epizód podľa *SPI* a *SPEI* na staniciach v oblasti Tatier

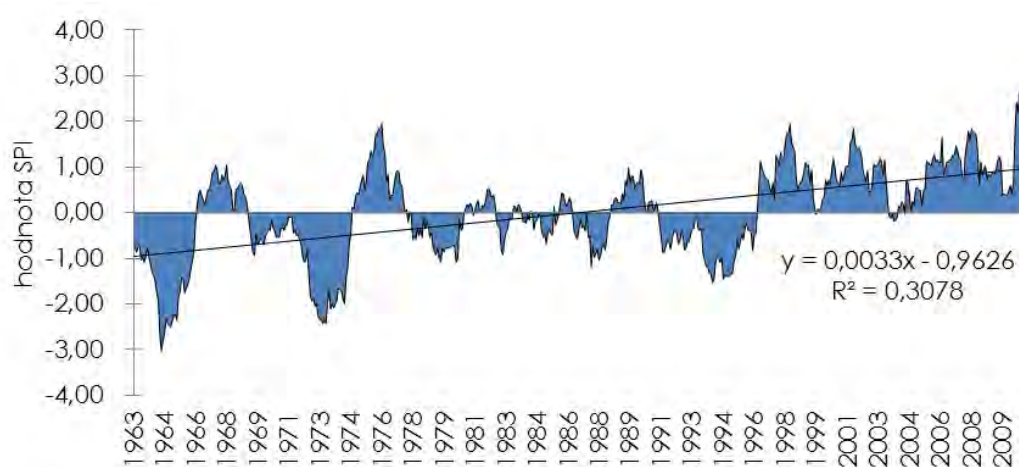
Analýza trendov časových radov preukázala rastúci trend kladných, teda zrážkovo nadnormálnych odchýlok indexov *SPI* pre dvadsaťštyri mesiacov na všetkých hodnotených staniciach.

Avšak je badateľné, že na nižšie položených staniciach Liptovský Hrádok, Poprad a Tatranská Lomnica nie je trend natoľko výrazný, čo je možné posúdiť i podľa

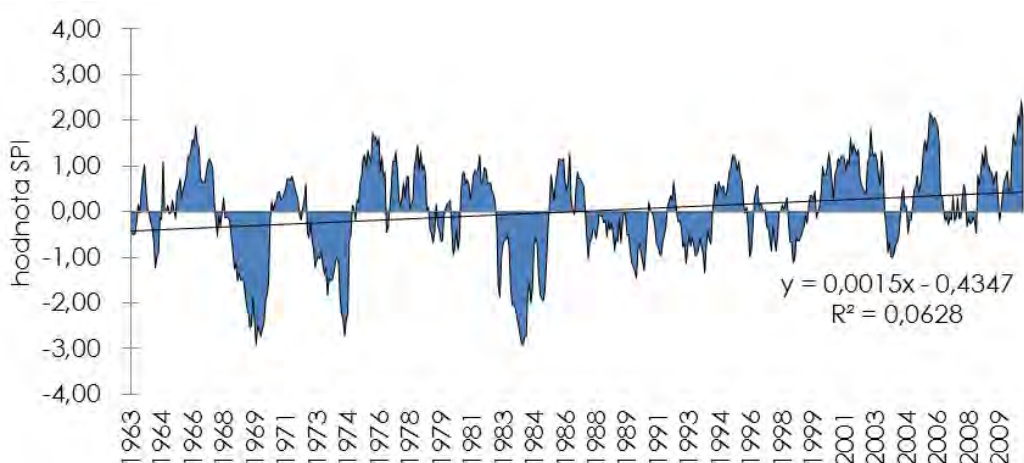
hodnoty koeficientu determinácie (Lipt. Hrádok $R^2 = 0,063$, Poprad $R^2 = 0,043$, T. Lomnica $R^2 = 0,01$) (Obr. 4.6 – 4.8). Jedinú výnimku tvorí stanica Červený Kláštor (Obr. 4.5). Napriek tomu, že je najnižšie položenou stanicou, zaznamenávame tu signifikantný vzostup početnosti kladných odchýlok indexu *SPI* od normálu, pričom tento trend je štatisticky významný na hladine $\alpha = 0,01$ s koeficientom determinácie $R^2 = 0,31$.

Príčina je pravdepodobne geografická lokalizácia stanice Červený Kláštor, mimo vplyv zrážkového tieňa hlavného hrebeňa Tatier.

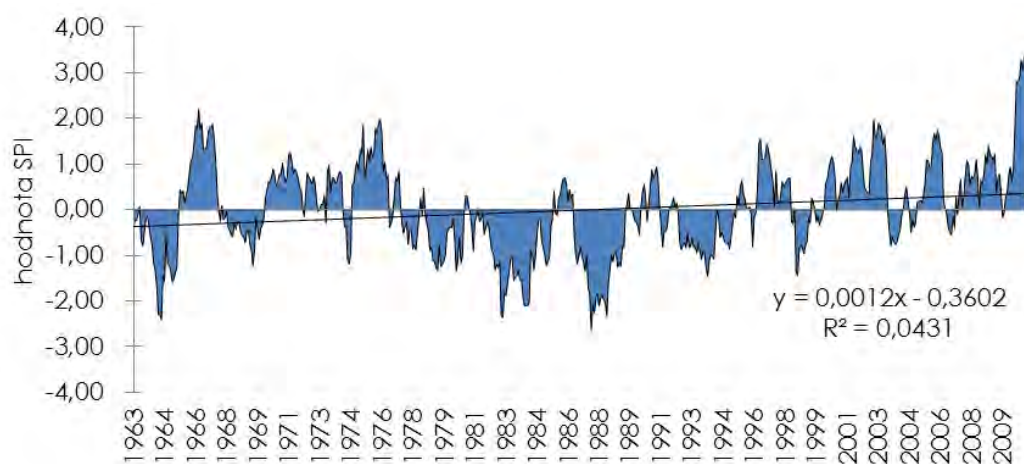
Signifikantnosť trendu vyššie položených staníc: Podbanské, T. Javorina, Štrbské i Skalnaté Pleso bola zaznamenaná na hladine významnosti $\alpha = 0,01$ (Obr. 4.9 – 4.12).



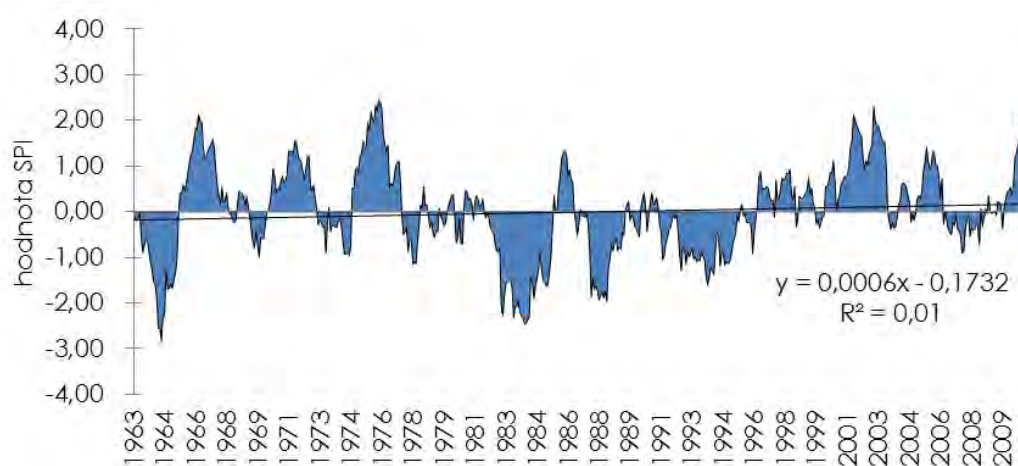
Obr. 4.5 Trend časového radu hodnôt *SPI* pre 24 mesiacov na stanici Červený Kláštor



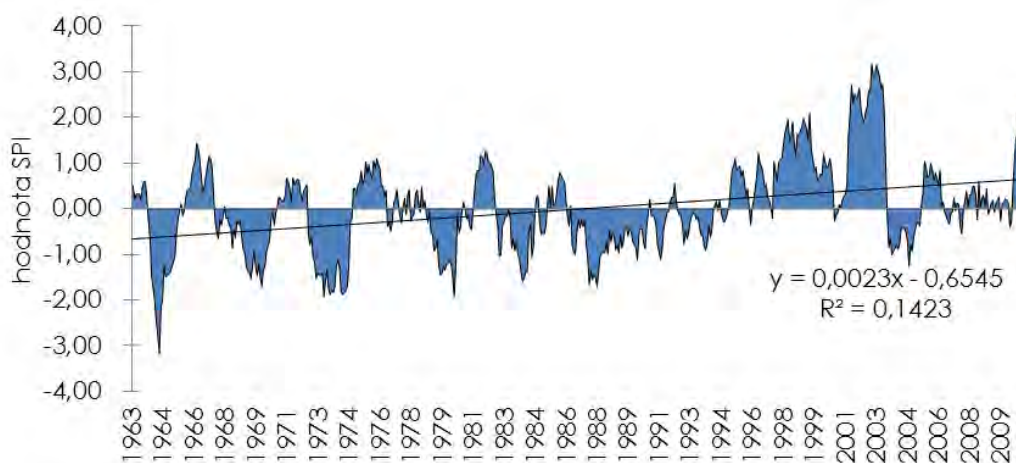
Obr. 4.6 Trend časového radu hodnôt *SPI* pre 24 mesiacov na stanici L. Hrádok



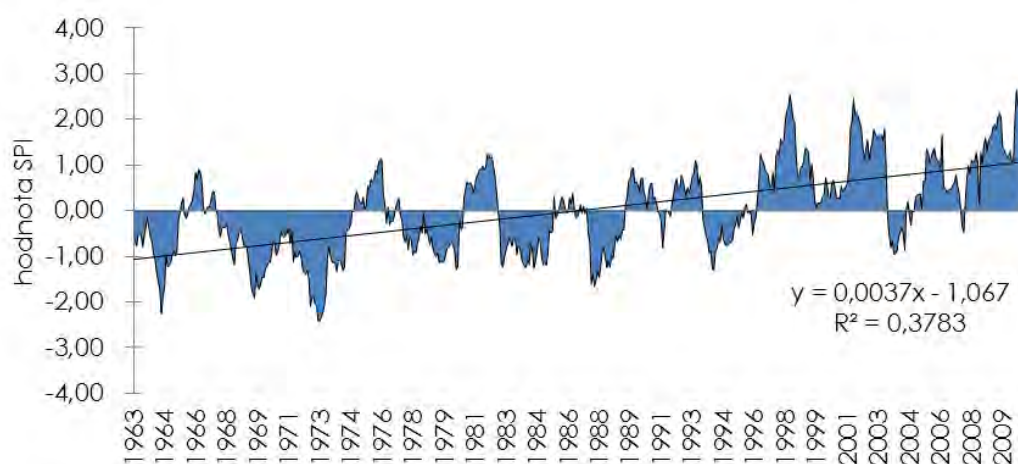
Obr. 4.7 Trend časového radu hodnôt *SPI* pre 24 mesiacov na stanici Poprad



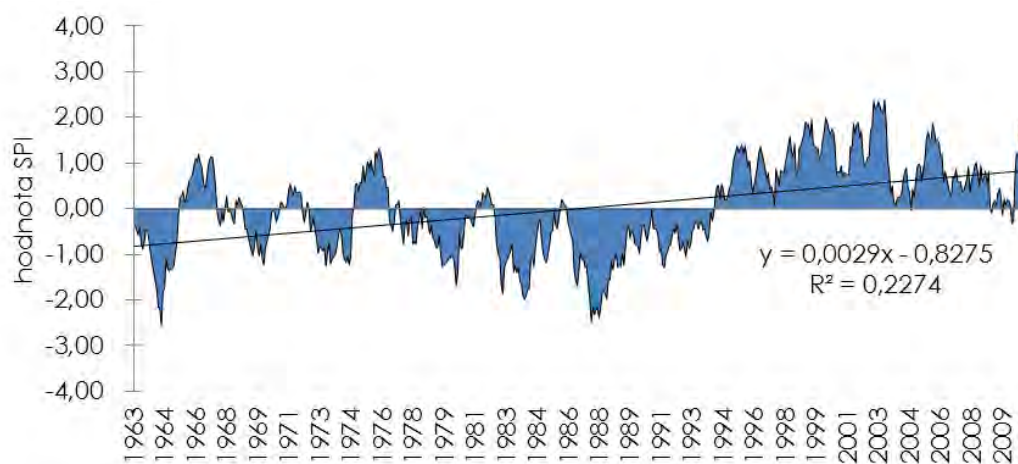
Obr. 4.8 Trend časového radu hodnôt *SPI* pre 24 mesiacov na stanici T. Lomnica



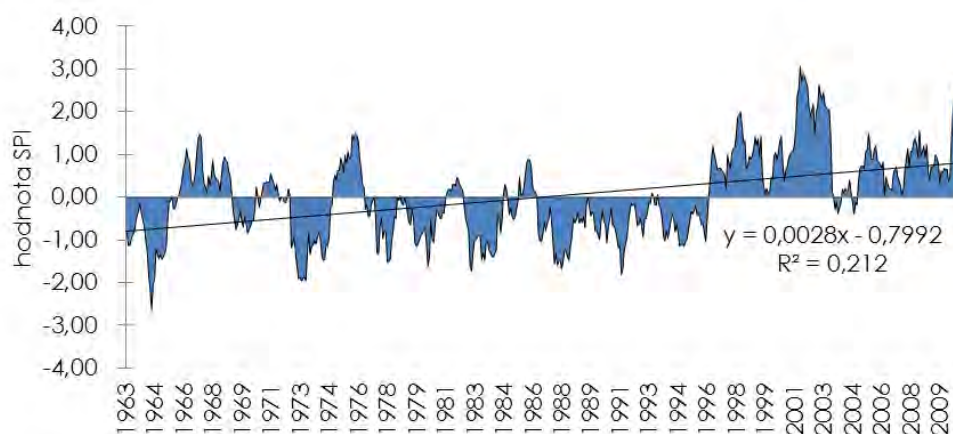
Obr. 4.9 Trend časového radu hodnôt *SPI* pre 24 mesiacov na stanici Podbanské



Obr. 4.10 Trend časového radu hodnôt *SPI* pre 24 mesiacov na stanici T. Javorina

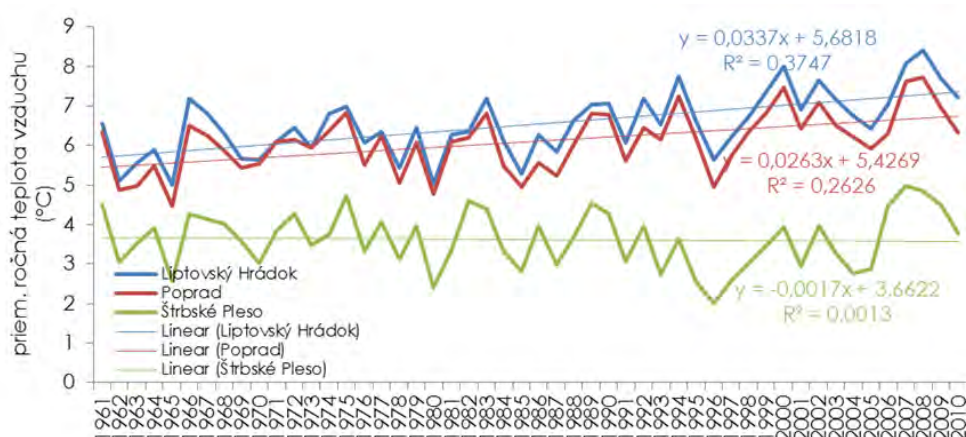


Obr. 4.11 Trend časového radu hodnôt *SPI* pre 24 mesiacov na stanici Štrbské Pleso



Obr. 4.12 Trend časového radu hodnôt *SPI* pre 24 mesiacov na stanici Skalnaté Pleso

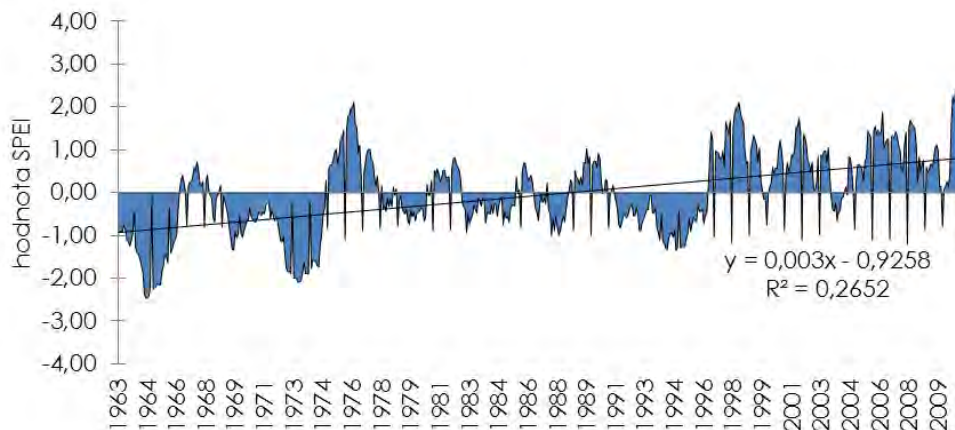
Výraznejšie rozdiely získavame zhodnotením trendov časových radov v prípade hodnotenia indexom *SPEI*. Nakoľko predmetný nástroj v sebe implicitne nesie informáciu o zmene evapotranspirácie sprostredkovanú vstupnými údajmi o teplote vzduchu, môžeme sledovať výraznejšie rozdiely medzi trendami nižšie položených staníc s observatóriami lokalizovanými vo vyšších nadmorských výškach. Na obrázku 4.13 sú pre porovnanie znázornené trendy časových radov priemernej ročnej teploty vzduchu staníc Liptovský Hrádok, Poprad a Štrbské Pleso v období 1961 – 2010. Z obrázku je evidentný signifikantný vzostup teploty vzduchu na staniciach v Liptovskej kotline na hladine významnosti $\alpha = 0,001$, zatiaľ čo na stanici Štrbské pleso bol zaznamenaný vyrovnaný trend.



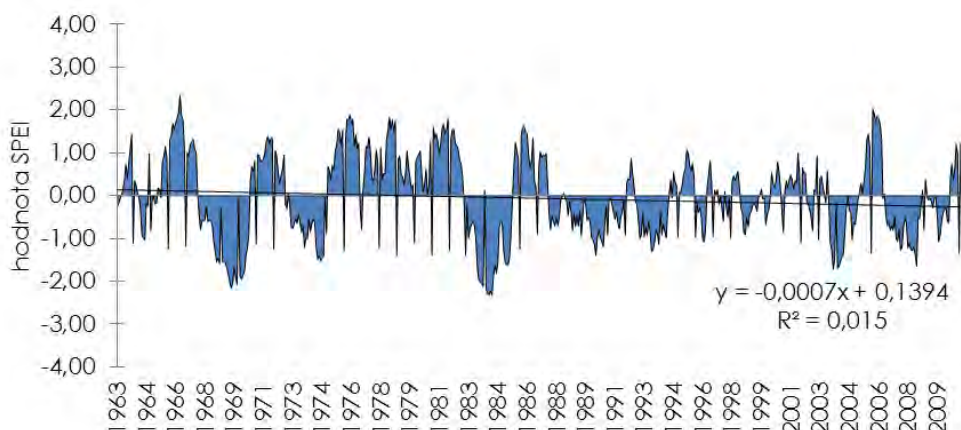
Obr. 4.13 Trendy časových radov priemernej ročnej teploty vzduchu na staniciach Liptovský Hrádok, Poprad a Štrbské Pleso v období 1961 – 2010

Stanice Liptovský Hrádok a Poprad, dotknuté v podstate vyrovnaným trendom zrážkových odchýlok podľa *SPI*, v prípade hodnotenia indexom *SPEI* pre dvadsaťštyri mesiacov vykazujú klesajúci trend počtu humídnych epizód (Obr. 4.15 – 4.16), čo je dôsledok signifikantného rastu teploty vzduchu. Tento trend je signifikantný na hladine významnosti $\alpha = 0,01$. Stanica Tatranská Lomnica v prípade hodnotenia indexom *SPEI* nevykázala signifikantne klesajúci trend (Obr. 4.18). Stanice v nadmorských výškach nad 900 m n. m. (Podbanské, T. Javorina, Štrbské Pleso a Skalnaté Pleso) vykazujú signifikantný trend smerom k humídnej klíme (kladné odchýlky indexu *SPEI*); na hladine významnosti $\alpha = 0,2$ v prípade Podbanského, až $\alpha = 0,001$ na stanici Skalnaté Pleso (Obr. 4.17 – 4.21). Opäť veľmi výrazne sa odlišuje trend na stanici Červený Kláštor (Obr. 4.14). Aj napriek tomu, že je položená z pomedzi hodnotených staníc najnižšie, zaznamenáva výrazný trend smerom k humídnejšej klíme na hladine významnosti $\alpha = 0,001$ s koeficientom determinácie $R^2 = 0,27$. Aj keď koeficienty determinácie na staniciach Liptovský Hrádok $R^2 = 0,015$ a Poprad $R^2 = 0,008$ preukazujú, že aridný trend nie je veľmi výrazný, je zrejme že vplyv vzrastajúcej teploty vzduchu v podhorí v synergii so zrážkovým tieňom môže mať zásadný vplyv na priebeh, dopady a výskyt významných suchých epizód v budúcnosti.

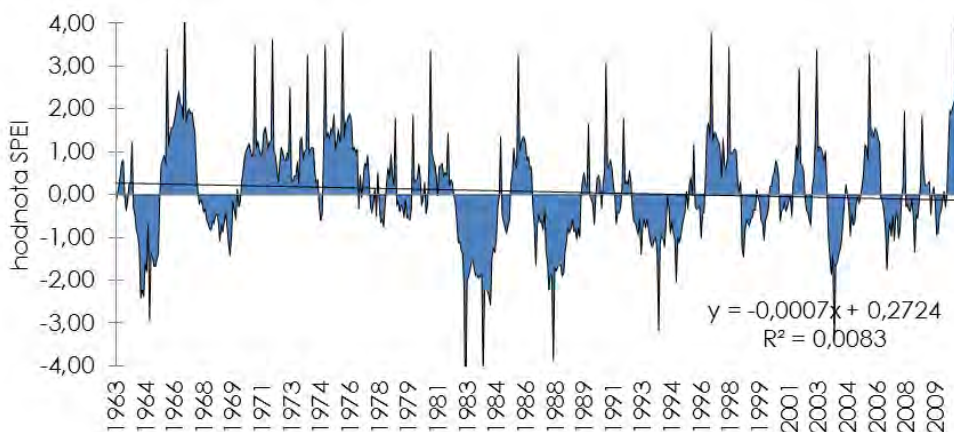
Teda vplyv zrážkového tieňa na južné a juho-východné expozície Tatier, môže zapríčiniť prehĺbenie následkov sucha v podmienkach zmenenej klímy vplyvom vyššej teploty vzduchu v kontraste so severnou náveternou časťou Tatier.



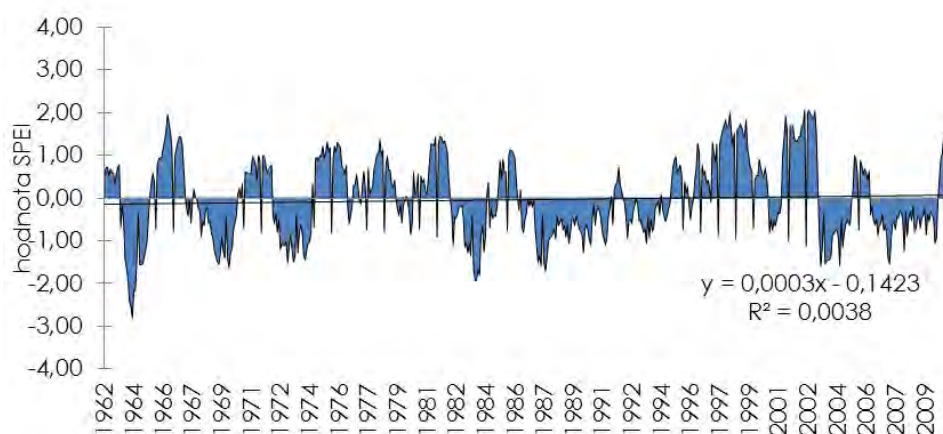
Obr. 4.14 Trend časového radu hodnôt *SPEI* pre 24 mesiacov na stanici Č. Kláštor



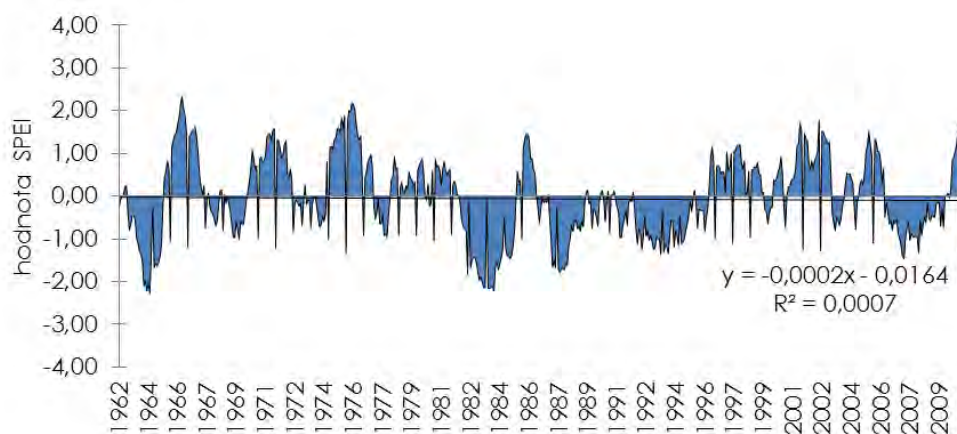
Obr. 4.15 Trend časového radu hodnôt *SPEI* pre 24 mesiacov na stanici L. Hrádok



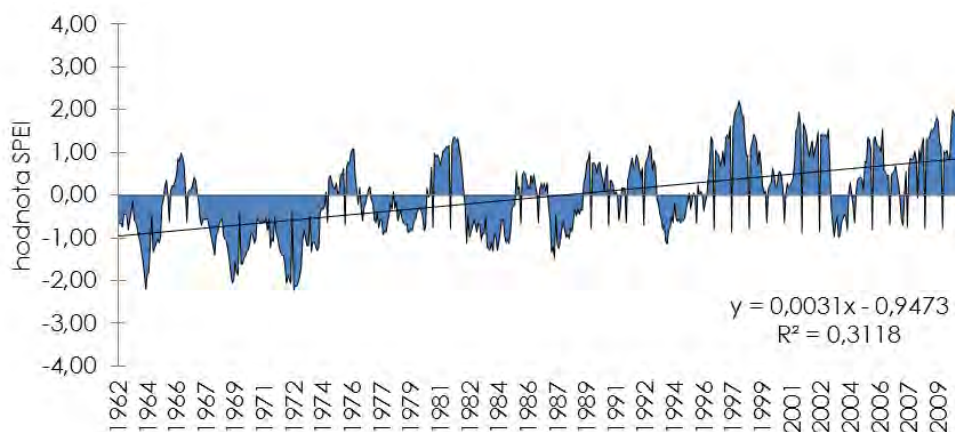
Obr. 4.16 Trend časového radu hodnôt *SPEI* pre 24 mesiacov na stanici Poprad



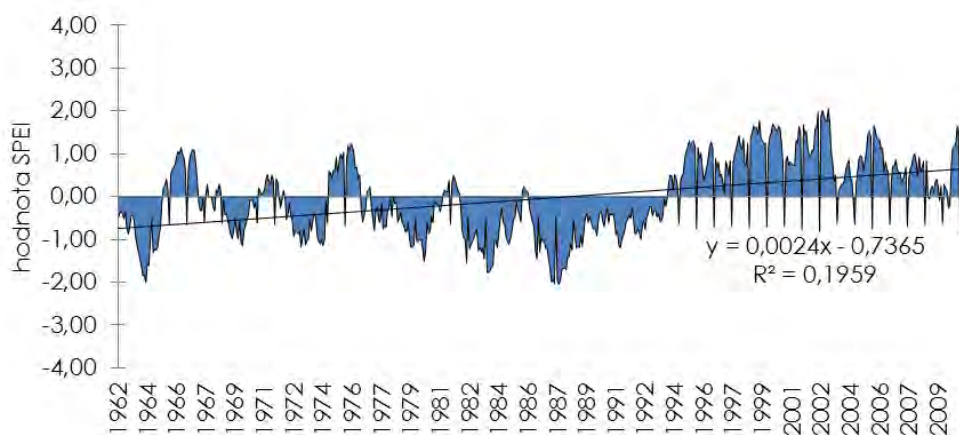
Obr. 4.17 Trend časového radu hodnôt *SPEI* pre 24 mesiacov na stanici Podbanské



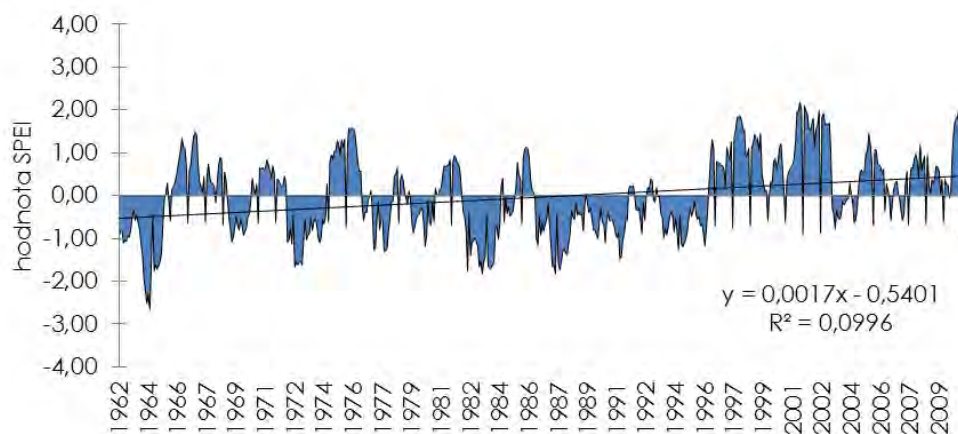
Obr. 4.18 Trend časového radu hodnôt *SPEI* pre 24 mesiacov na stanici Tatranská Lomnica



Obr. 4.19 Trend časového radu hodnôt *SPEI* pre 24 mesiacov na stanici T. Javorina



Obr. 4.20 Trend časového radu hodnôt *SPEI* pre 24 mesiacov na stanici Štrbské Pleso



Obr. 4.21 Trend časového radu hodnôt *SPEI* pre 24 mesiacov na stanici Skalnaté Pleso

4.1.3 Priestorové rozloženie výskytu suchých epizód

Vo všeobecnosti výskyt suchých období resp. ich počet na území Tatier úzko súvisí s nadmorskou výškou. Súvisí to s vyššími úhrnmi zrážok s pribúdajúcou nadmorskou výškou. KONČEK (1974) popísal narušenie tejto jednoduché závislosti orografickým členením horského masívu Tatier. Plošný priemet oblastí s homogénnou hodnotou indexu *SPI* dáva možnosť hľadať klimatogénne faktory ovplyvňujúce toto rozloženie.

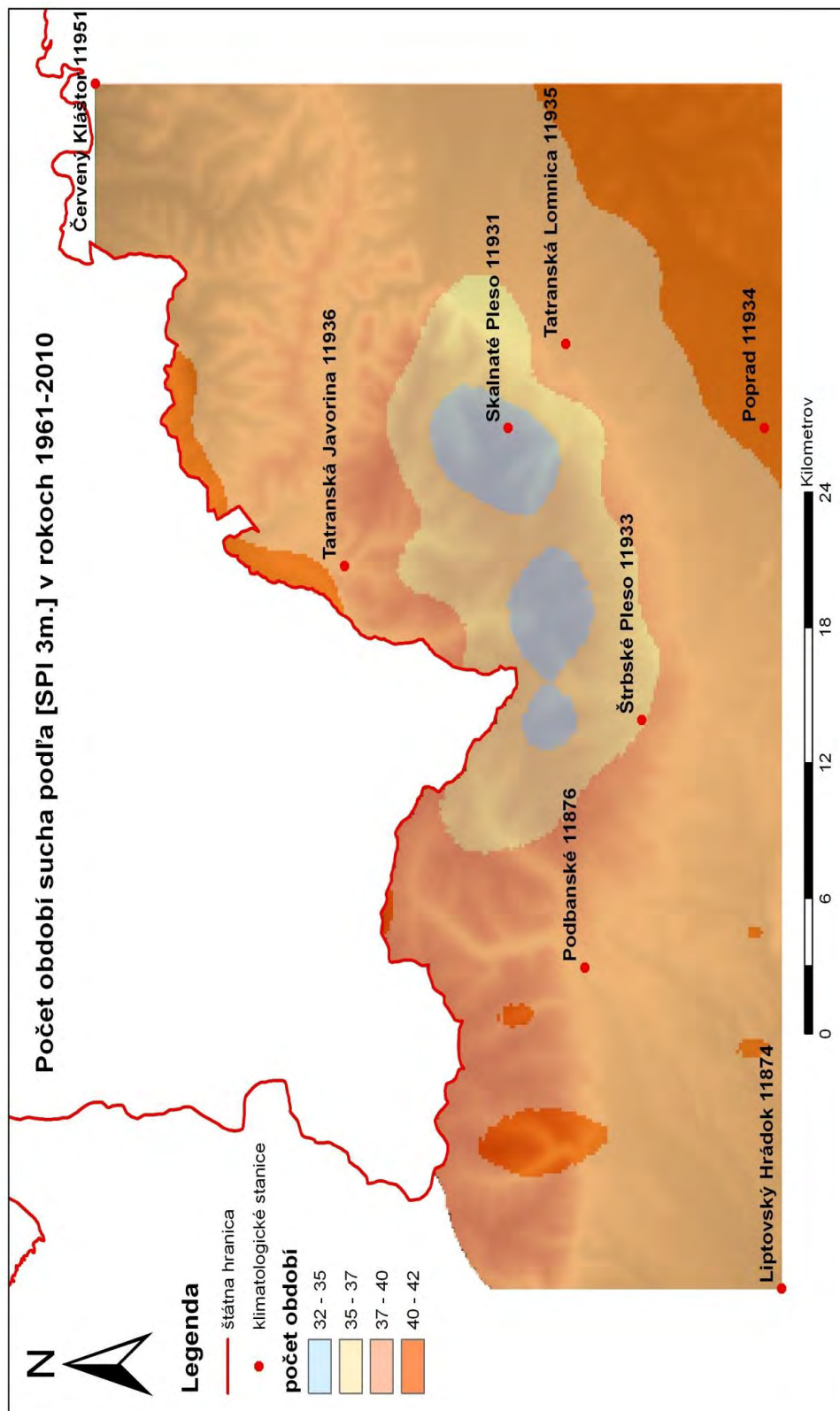
Zvyšovaním počtu mesiacov pre ktoré boli indexy výpočtových bodov priestorového zobrazenia vyhodnocované, sa zvyrazňovali aj geomorfologicky podmienené klimatogénne faktory.

Pri priestorovom priemete indexu pre tri mesiace, dostávame základný obraz o rozložení početnosti výskytu suchých epizód. Ako už však bolo uvedené, trojmesačný index nemá silnú výpovednú hodnotu vo vzťahu k reálnemu výskytu sucha na území Tatier. Má skôr informatívny charakter, ktorý naznačuje klesajúcu početnosť

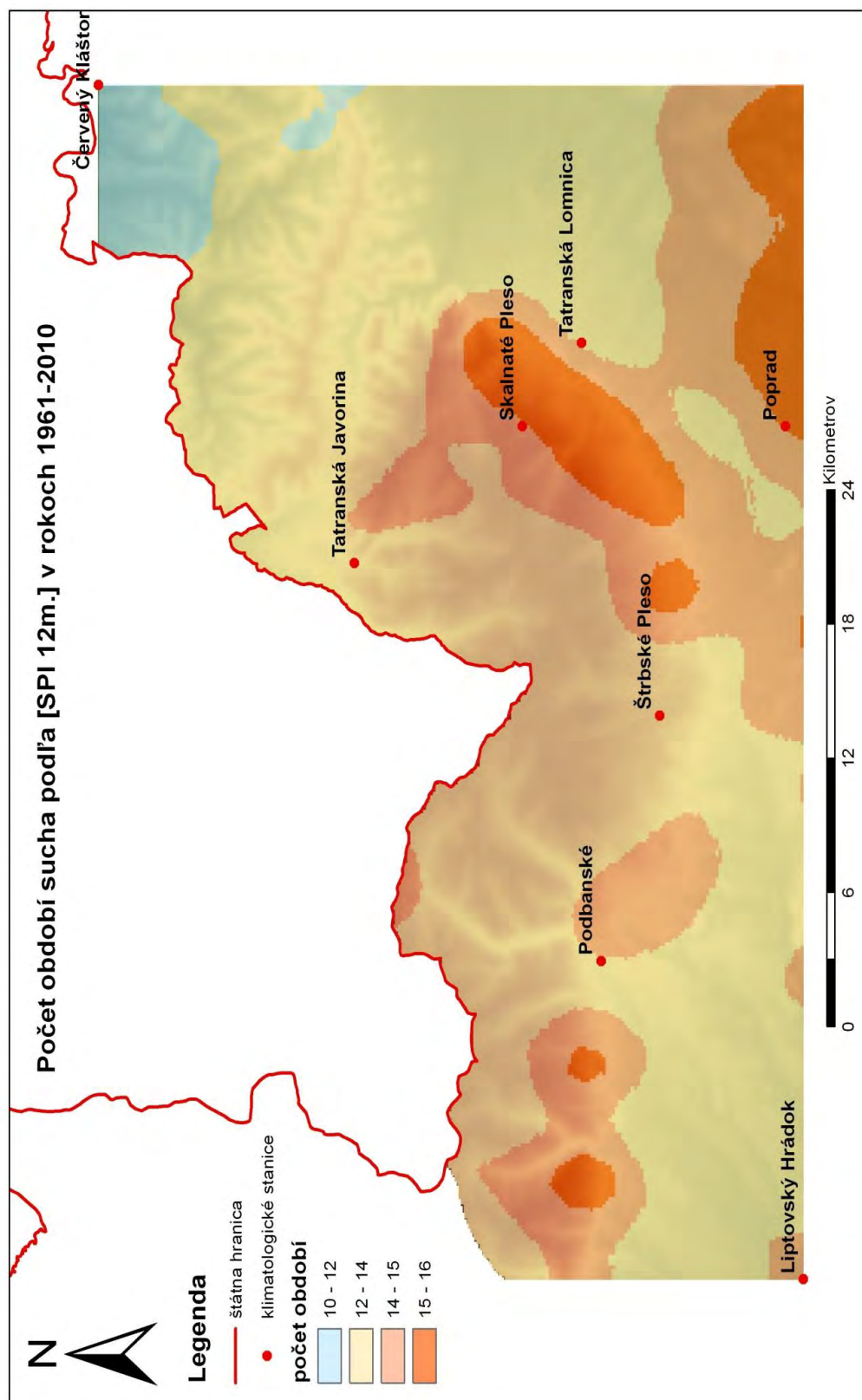
záporných odchýlok zrážkových epizód v smere od Popradskej kotliny či oblasti Spišskej Magury k hrebeňu Vysokých Tatier, čím potvrdzuje základnú závislosť o vzostupe zrážkového úhrnu so vzrastajúcou nadmorskou výškou (Obr. 4.22).

S predĺžením hodnoteného indexu na dvanásť mesiacov sa prejavujú klimatické vlastnosti masívu Tatier vo vzťahu k výskytu epizód sucha a k ich početnosti (Obr. 4.23). Oblasť s najvyšším počtom zaznamenaných epizód sucha sa delí na dve základné podoblasti. Prvou je oblasť Popradskej kotliny v smere na východ až juhovýchod od Popradu. Táto oblasť korešponduje s lokalizáciou oblasti zrážkového tieňa v Popradskej a Spišskej kotline, ktorá je identifikovaná v práci KONČEK *et al.* (1974) alebo ZELENÁKOVÁ (2011). Druhá oblasť s výrazne vyššou početnosťou výskytu suchých epizód podľa *SPI* pre dvanásť mesiacov sa rozprestiera v bezprostrednej nadväznosti na záveternú stranu hlavného hrebeňa Vysokých Tatier v západnom smere od obce Tatranská Kotlina po Vyšné Hágy. Naopak, lokality s minimálnym počtom výskytu suchých epizód sú lokalizované mimo vplyv zrážkového tieňa severovýchodne od hlavného hrebeňa v oblasti Spišskej Magury. Podružné maximá výskytov sa objavujú v oblasti Jamnickej, Bystrej a Račkovej doliny v Západných Tatrách a ústia Tichej a Kôprovej doliny pri Podbanskom.

Priestorové hodnotenie výskytu suchých epizód sa nezameriava na zobrazovanie najzávažnejších období sucha, ale všetkých situácií, ktoré sa v období 1961–2010 vyskytli v oblasti Tatier z dôvodu zvýraznenia potenciálne rizikových oblastí. Najrizikovejšími oblasťami z pohľadu početnosti situácií je z veľkej časti práve oblasť masívnej kalamity z roku 2004. Táto skutočnosť poukazuje na možné problémy pri obnove lesných ekosystémov v nasledujúcich decéniách v podmienkach zvýšenej teploty vzduchu v podhorí, či výskytu závažných bezzrážkových epizód, ako tomu bolo v minulosti. Priestorové rozloženie tiež naznačuje, že výskyt sucha, resp. jeho intenzita je miestne zvýrazňovaná. Príkladom tomu je situácia z roku 2007, kedy bolo sucho indikované podľa *SPI* pre dvanásť a dvadsaťštyri mesiacov len na stanici Tatranská Lomnica, zatiaľ čo priemerné *SPI* pre celé Tatry a *SPI* pre ostatné stanice naznačovalo iba mierny pokles pod nulovú hodnotu.



Obr. 4.22 Priestorové zobrazenie výskytu suchých epizód podľa indexu *SPI* pre tri mesiace



Obr. 4.23 Priestorové zobrazenie výskytu suchých epizód podľa indexu *SPI* pre dvanásť mesiacov

4.1.4 Potenciálne dopady sucha v oblasti Tatier

Z hľadiska rizík rôznych druhov dopadov je potrebné hodnotiť oblasť Tatier z pohľadu vlhovej zabezpečnosti ekosystému, resp. primárnych producentov. Dopady sucha totiž sú rôznorodého charakteru, podľa špecifických vlastností hodnoteného územia (DING *et al.* 2009, WILHELM *et al.* 2008, WILHITE *et al.* 1985, WILHITE 1982). Ako uvádza TOMLAIN (1999) evapotranspirácia sa rastom úhrnov atmosferických zrážok pri dostatočných energetických možnostiach s nadmorskou výškou zintenzívňuje po určitú hranicu, a potom v dôsledku nedostatku energie súvisiacej s rastom oblačnosti, počtu dní so snehovou pokrývkou, relatívnej vlhkosti vzduchu, poklesu teploty vzduchu a aktívneho povrchu porastu, klesá.

Spracovaním dostupných vypočítaných hodnôt potenciálnej evapotranspirácie podľa metódy (BUDYKO *et al.* 1961) a zrážkových úhrnov metódou klimatického ukazovateľa zavlaženia (TOMLAIN 1991) a jeho porovnaním s hodnotami vypočítaného indexu *SPI* transformovaného do podoby relatívneho indexu *SPI* (*rSPI*), ktorý bol v prácach DÚBROVSKÝ *et al.* (2008) či TRNKA *et al.* (2009) použitý na hodnotenie výskytu sucha v klimaticky odlišných územiach bolo zistené, že kritické hodnoty klimatického ukazovateľa zavlaženia, čiže hodnoty blízko dosiahnutého deficitu evapotranspirácie, sa rovnajú indexu $\leq -1,5$ v prípade *rSPI* a *rSPEI* pre dvanásť, resp. dvadsaťštyri mesiacov, ktorý počas epizódy sucha musí byť dosiahnutý aspoň v jednom mesiaci. Na obrázkoch 4.24 – 4.26 sú znázornené porovnania klimatického indexu sucha a priemerných ročných hodnôt indexov *SPI* a *SPEI* pre stanice Červený Kláštor, Štrbské Pleso a Tatranská Javorina. Stupnica posudzovania závažnosti sucha pre *SPI* (McKEE 1993) hodnotí epizódy sucha, počas ktorých sa vyskytne index $\leq -1,5$, ako mimoriadne sucho.

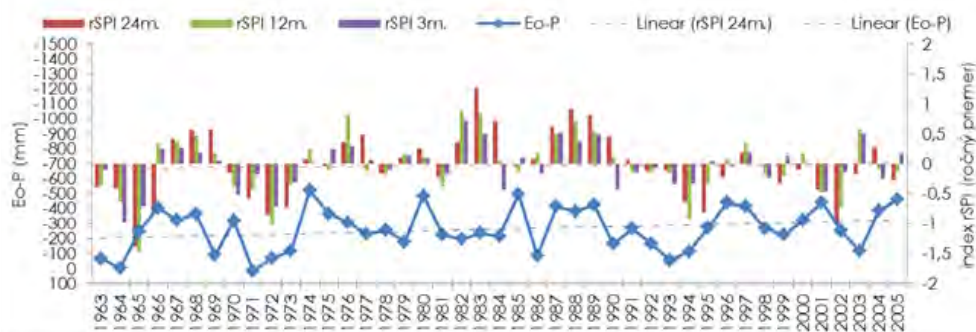
Aplikovaním relatívneho indexu *rSPI* na hodnotené stanice bol zistený výskyt obdobia sucha s hodnotou $\leq -1,5$ iba v prípade staníc Červený Kláštor, Liptovský Hrádok a Poprad. Na vyššie položených staniaciach sa obdobia s relatívnym indexom nižším ako $(-1,5)$ nevyskytovali. Jedinú výnimku tvorí stanica Tatranská Javorina, avšak nakoľko je výskyt epizódy sucha hodnotený pre účely viacnásobnej kontroly dvoma hodnotami pre dva indexy a výskyt bol potvrdený iba v jednom zo štyroch prípadov, považujem túto anomáliu za skreslenie údajov pri priemerovaní hodnôt aplikáciou relatívnych indexov. Teda výskyt sucha so závažnými dopadmi na vlhkovú zabezpečnosť primárnych producentov smrekových ekosystémov nebol zaznamenaný v sledovanom období na staniaciach v nadmorskej výške nad 900 m n.m.

Ako však uvádza TOMLAIN (1999), vplyvom klimatickej zmeny môžeme v nasledujúcich obdobiach zaznamenať nárast evapotranspirácie aj vo vyšších nadmorských

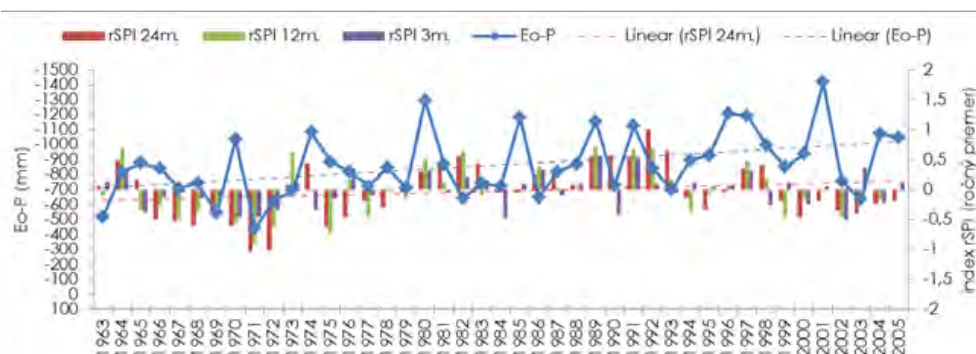
výškach (900 m n.m.) až o 31 % v chladnom polroku a 17 % v teplom polroku, čo môže pri výskyte sucha v zrážkovo podnormálnych periódach (PEKÁROVÁ 2009) znamenať vlahový deficit a s tým spojené priame škody v lesných porastoch. V tabuľke 4.2 uvádzam pre prehľadnosť výskyt mimoriadnych epizód sucha na hodnotených staniciach zostavených podľa nadmorskej výšky.

Tab. 4.2 Výskyt mimoriadnych období sucha vo výškovom transekte Tatier s potenciálnymi dopadmi na vlahovú zabezpečenosť primárnych producentov

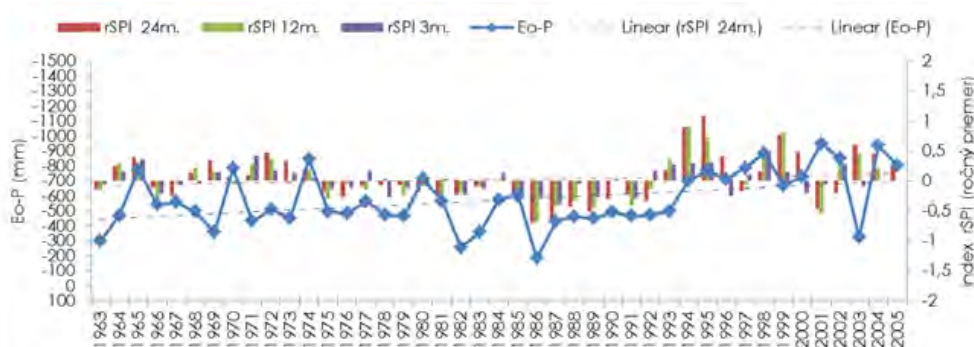
Stanica	Č.Kláš	L. Hrád.	Poprad	T. Lom.	Podban.	T. Jav.	Štr.Pl	Skl. Pl.
Index	rSPI 12m.	1	3	1	0	0	0	0
	rSPI 24m.	1	2	1	0	0	0	0
	rSPEI 12m.	2	3	5	0	0	0	0
	rSPEI 24m.	2	3	7	0	0	2	0



Obr. 4.24 Porovnanie priemerných ročných hodnôt relatívneho SPI a ročných hodnôt klimatického indexu zavlaženia na stanici Červený Kláštor v období 1963 – 2005.



Obr. 4.25 Porovnanie priemerných ročných hodnôt relatívneho SPI a ročných hodnôt klimatického indexu zavlaženia na stanici Tatranská Javorina v období 1963 – 2005.



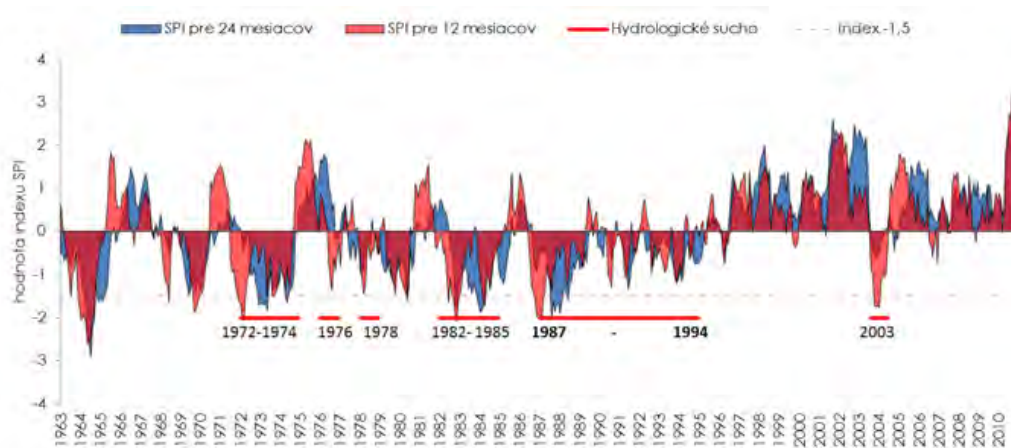
Obr. 4.26 Porovnanie priemerných ročných hodnôt relatívneho *SPI* a ročných hodnôt klimatického indexu zavlaženia na stanici Štrbské Pleso v období 1963 – 2005.

Významným potenciálnym dopadom sucha v území Tatranského národného parku ale i príľahlých oblastiach je zníženie prietokov vodných tokov prameniacych v oblasti Tatier. Tento nepriaznivý hydrologický stav povodia zapríčinený dlhotrvajúcim zrážkovým deficitom tzv. *hydrologické sucho* pre územie východného Slovenska avšak i pre toky s prameniskami v oblasti Tatier v období 1971 – 1995 hodnotila DEMETEROVÁ (2000). Na základe jej zistení o nízkych prietokoch tokov: Velický potok, Slavkovský potok, Poprad, Lipník, bol sledovaný súvis s výskytom mimoriadneho sucha ($\text{index} \leq -1,5$) hodnoteného priemerným indexom *SPI* pre dvanásť a dvadsaťštyri mesiacov.

Výsledky preukázali zhodu týchto dvoch parametrov, čiže hydrologické sucho sa vyskytovalo v prípadoch epizód sucha s hodnotou aspoň v jednom mesiaci rovnou alebo nižšou ako ($-1,5$). Mimoriadne suchý ráz počasia a vysoká teplota vzduchu, viedli v roku 2003 k vývoju hydrologického sucha prakticky v celej Európe vrátane Slovenska (PEKÁROVÁ *et al.* 2010, REBETEZ *et al.* 2006, CEGLAR *et al.* 2008, KLEMENTOVÁ *et al.* LITSCHMANN 2004). Teda môžeme konštatovať, že na základe hodnotenia indexom *SPI* pre dvanásť mesiacov, taktiež táto epizóda bola vyhodnotená ako mimoriadne sucho ($\text{index} \leq -1,5$) a korešponduje s výsledkami sledovanými v reálnych podmienkach.

Výskyt hydrologického sucha je teda v oblasti Tatier viazaný na významné zrážkovo podnormálne epizódy. Výsledky tiež naznačujú, že povodia tatranských bystrín reagujú dynamicky na pokles zrážkových úhrnov, resp. vývoj hydrologického sucha je pomerne rýchly. Možným vysvetlením je vysoká infiltračná kapacita a priepustnosť podložia fluvioglaciálnych sedimentov a morén ako uvádza HOLKO *et al.* KOSTKA (2011).

Na obrázku 4.27 je znázorená väzba hydrologického sucha na epizódy sucha podľa indexov *SPI* pre dvanásť a dvadsaťštyri mesiacov.



Obr. 4.27 Väzba hydrologického sucha na výskyt epizód sucha podľa SPI pre 12 a 24 mesiacov v oblasti Tatier

Index pre dvanásť mesiacov vyhodnocuje reálny výskyt hydrologického sucha vernejšie ako dvadsaťštyri mesačný index, čo sa azda najmarkantnejšie prejavilo v prípade situácie z roku 2003. Pri tejto udalosti index pre dvanásť mesiacov vykázal pokles pod $(-1,5)$, čím priblížil reálne podmienky v krajine, avšak dvadsaťštyri mesačné *SPI* nevykázalo pokles ani pod kritickú hodnotu (-1) podľa McKeeho (1993).

Táto skutočnosť naznačuje, že pre všeobecné hodnotenie výskytu sucha a jeho potenciálnych dopadov pre celú oblasť Tatier je vhodnejšie pri metóde priemerného *SPI*, resp. *SPEI* používať index pre dvanásť mesiacov, ktorý má rýchlejšiu odozvu.

Toto zistenie je v súlade s výsledkami CEGARA *et al.* (2008), ktorý aplikoval index *SPI* pre dvanásť mesiacov vo výskume sucha v Slovinsku.

V prípade detailného hodnotenia sucha podľa indexov pre jednotlivé stanice však toto zovšeobecnenie neplatí, nakoľko priestorová variabilita zrážok v Tatrách je veľmi vysoká.

Ekologické dôsledky výskytu sucha nemusia byť v priamej väzbe na stres suchom u primárnych producentov lesných ekosystémov, ktoré tvoria najpodstatnejšiu časť Tatranského národného parku. Je zrejmé, že mimoriadne epizódy sucha majú množstvo parciálnych vplyvov v rôznych úrovniach ekologickej hierarchie (ARCHAUX *et* WOLTERS 2006). Azda najznámejším ekologickým dopadom sucha na smrekové ekosystémy je pozitívny vplyv teplého a suchého počasia na populačnú dynamiku chrobákov rodu *Ips* (FERENČÍK 2011), ktorý za špecifických podmienok synergického pôsobenia predošlej disturbancie stromovej vrstvy či jej oslabenia napríklad vplyvom imisií vedie k populačnej explózií (FLEISCHER *et al.* 2007, GRODZKI *et al.* 2006, ZÚBRIK 2005). Zásadný vplyv na ekologické dopady sucha v inak zrážkovo zabezpečenej klimatickej oblasti Tatier môže mať spôsob presychania pôdneho profilu, resp. variabilita pôdnej vlhkosti vrchnej vrstvy pôdy (SOKOROVÁ 1999), ktorá je životným prostredím veľkého počtu druhov bezstavovcov tvoriacich veľmi podstatnú časť bio-

logickej rozmanitosti lesných ekosystémov (ČEREVKOVÁ *et* RENČO 2011, ČUCHTA *et al.* 2011, ŠUSTEK 2011). Nakoľko je samostatným cieľom predkladanej práce hodnotenie vplyvu sucha na spoločenstvá bystruškovitých, budú ekologické dôsledky sucha rozobrané detailne v osobitnej kapitole.

Výsledky poukázali na viaceré potenciálne dopady sucha v oblasti Tatier. Vlahový deficit, ako základná podmienka na všeobecné konštatovanie fyziologického sucha v celom ekosystéme, sa vyskytoval v sledovanom období do nadmorských výšok 900 m n. m. Vplyvom očakávaného vzostupu teploty vzduchu sa však táto hranica môže posunúť do väčšej nadmorskej výšky.

Hydrologické sucho v podobe poklesu prietoku horských bystrín či potokov sa môže vyskytovať v celom území Tatier bez rozdielu nadmorskej výšky, pochopiteľne s väčšími dôsledkami v podhorí. Výskyt hydrologického sucha je viazaný na mimoriadne zrážkovo podnormálne obdobia. Zároveň však jeho výskyt nemusí byť dôsledkom dlhodobej akumulácie zrážkového deficitu a jeho vývoj môže byť veľmi rýchly.

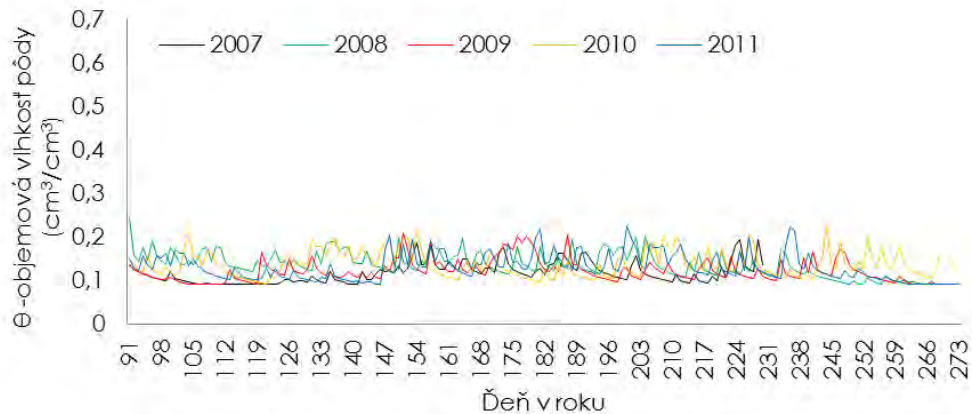
Významné epizódy sucha sú viazané zväčša na multidekadálne periódy s nízky-
mi úhrnmi zrážok, avšak výskyt ojedinelých závažných epizód sucha sa nedá vylúčiť ani v cykle zrážkovo nadpriemerných rokov.

4.2 Modelovaný priebeh zmien objemovej vlhkosti pôdy na pokalamitných plochách v období 200–2011

Vrchná vrstva pôdy (0 – 5 cm) je životným prostredím veľkého množstva organizmov (MORAVEC *et al.* 1994). Taktiež sa tu realizuje značný objem energo-materiálových tokov viazaných na pôdne biocenózy. Vlhkosť tejto vrstvy pôdy významne ovplyvňuje ich klimatóp. Rozsiahle zmeny, primárne zapríčinené vetrovou kalamitou v roku 2004, lesným požiarom v roku 2005 či realizovanou ťažbou, dávajú možnosť sledovať vplyv týchto disturbancií na hydrofyzikálne vlastnosti vrchnej vrstvy pôdy. Zmeny objemovej vlhkosti pôdy boli hodnotené na vzorkách pôdy odobratých z plôch pokalamitného výskumu podľa FLEISCHERA (2008) pomocou matematického simulačného modelu GLOBAL (MAJERČÁK *et* NOVÁK 1993). Model je pôvodne určený na modelovanie zmien vodného režimu poľnohospodárskych pôd, ktoré sú štruktúrne pomerne odlišné od lesných skeletnatých pôd (NOVÁK *et* KŇAVA 2011). Vlhkosť najvrchnejšej vrstvy pôdy je silne ovplyvňovaná vegetačným krytom, štruktúrou pôdy a množstvom či kvalitou nadložného a pravého humusu (Šútor *et* Štekauerová 2000).

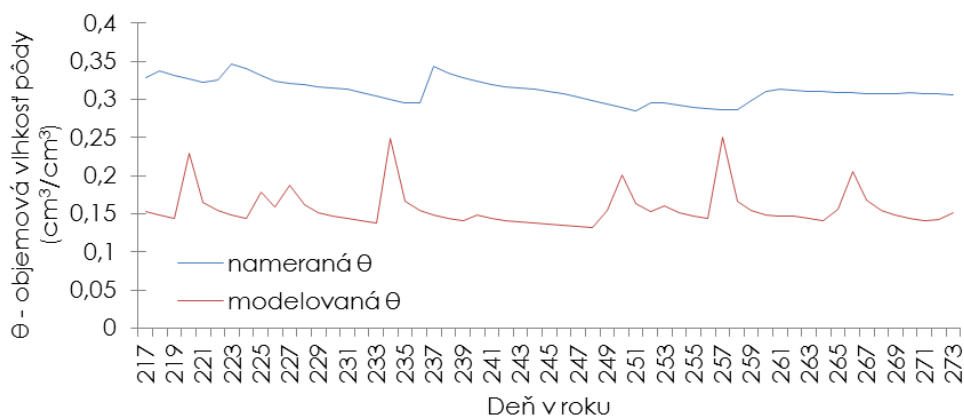
Najnižšia priemerná objemová vlhkosť pôdy bez ohľadu na celkový ročný úhrn zrážok bola zaznamenaná na zhorenisku ($\theta = 0,13$). Dôvodom je pravdepodobne zme-

na fyzikálnych, vlastností pôdy po požiari v roku 2005 (ŠIMONOVÍČOVÁ *et al.* 2011). Prejavuje sa to rýchlym vsakovaním vody do nižších vrstiev pôdy ($K = 2075,68 \text{ cm/d}^{-1}$) na tejto lokalite, čo má za následok veľmi nevýraznú dynamiku priemernej ročnej objemovej vlhkosti vrchnej vrstvy pôdy, a to aj v zrážkovo nadpriemernom roku 2010 (Obr. 4.28).



Obr. 4.28 Pribeh objemovej vlhkosti pôdy na zhorenisku (FIR) v období 2007 – 2011

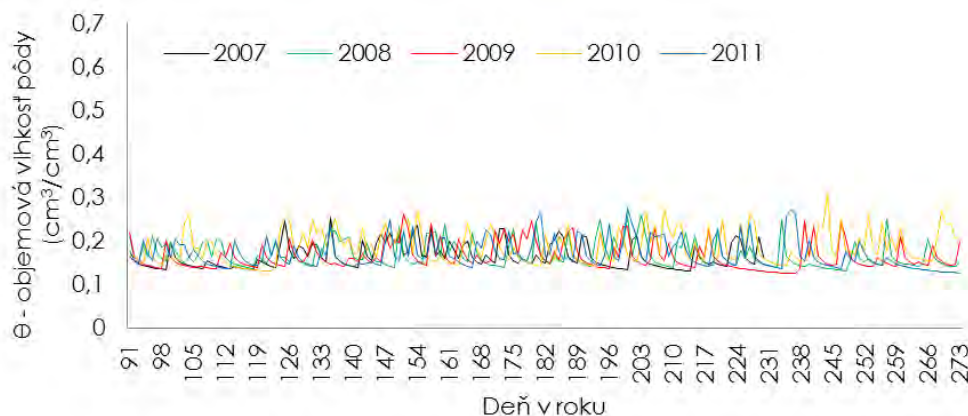
Prekvapivé výsledky preukázal model v prípade priebehu objemovej vlhkosti pôdy na lokalite nespracovanej kalamity (NEX). Vrchná vrstva pôdy preukazovala o málo vyššie hodnoty objemovej vlhkosti pôdy ako zhorenisko, v priemere iba $\theta = 0,17$. V prípade tejto lokality bola nameraná taktiež vysoká rýchlosť infiltrácie ($K = 1355,22 \text{ cm.d}^{-1}$), čo je pravdepodobne príčina modelovanej nízkej vlhkosti vrchnej vrstvy pôdy. Tento veľmi rýchly priebeh infiltrácie mohol byť spôsobený porušením pôdneho profilu po vývratoch. Výsledky sú však v nesúlade s nameranými hodnotami objemovej vlhkosti pôdy v hĺbke 8 cm, ktorá je až o 50% vyššia, čo dokumentuje i nasledujúci obrázok (4.29).



Obr. 4.29 Porovnanie nameranej objemovej vlhkosti pôdy v hĺbke 8 cm s modelovanými hodnotami pre profil 0 – 5 cm v roku 2008 na lokalite NEX (namerané hodnoty boli poskytnuté VS ŠL TANAP)

Výsledky SITKOVEJ a kol. (2010), ktorá vykonala merania objemovej vlhkosti pôdy na lokalite s nespracovanou kalamitou v hĺbke 15 cm rokoch 2009 – 2010, však korešpondujú s modelovanými výsledkami. Tieto merania však boli vykonané na lokalite pod Jamským Plesom. Vzhľadom k mimoriadnej variabilite pôd v Tatrách, je vzdialenosťou od lokality Jamy obmedzená možnosť porovnávania výsledkov. Ako autorka dodáva, je potrebné zohľadniť vysoký obsah skeletu, ktorý značne obmedzuje možnosti merania objemovej vlhkosti pôdy, a tým aj zákonitosti pohybu vody v pôde. To naznačuje, že veľké podhodnotenie modelovanej vlhkosti pôdy oproti nameraným hodnotám, môže byť spôsobené nevhodným odhadom vlastností dolno okrajovej podmienky modelu, veľkou priestorovou variabilitou pôdy a jej vlastností (FLEISCHER 2008), ako aj odberom nereprezentatívneho elementárneho objemu pôdy, resp. počtu vzoriek pre plochu, čo vedie k skresleniu výsledkov (NOVÁK *et* KŇAVA 2011).

Medziročné porovnanie zmien priemernej objemovej vlhkosti pôdy naznačuje jej pomerne nízku medziročnú variabilitu, čo je možné pozorovať na obrázku (4.30). Súvisí to zrejme s nameranou vysokou rýchlosťou infiltrácie, ktorá výrazne vplýva na model, podobne ako v predchádzajúcom prípade.

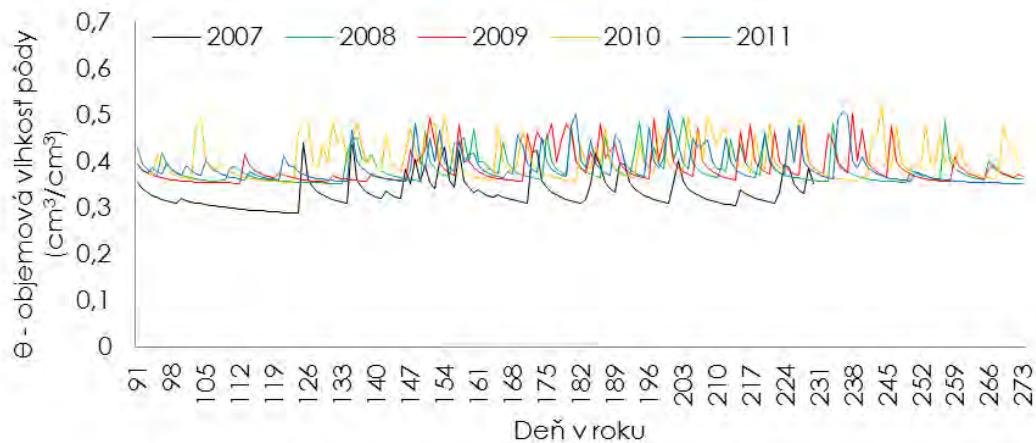


Obr. 4.30 Pribeh objemovej vlhkosti pôdy na nevyťaženej ploche (NEX) (2007 – 2011)

Analýza pôdnych vzoriek z nepoškodeného lesa (*REF*) pri Vyšných Hágoch preukázala v porovnaní s predchádzajúcimi výsledkami vysokú priemernú objemovú vlhkosť pôdy $\theta = 0,38$ (Obr. 4.31). Vyššia vododržná schopnosť vrchnej vrstvy pôdneho profilu je spôsobená pravdepodobne vysokým obsahom humusu (ŠIMONOVICHOVÁ *et al.* 2011).

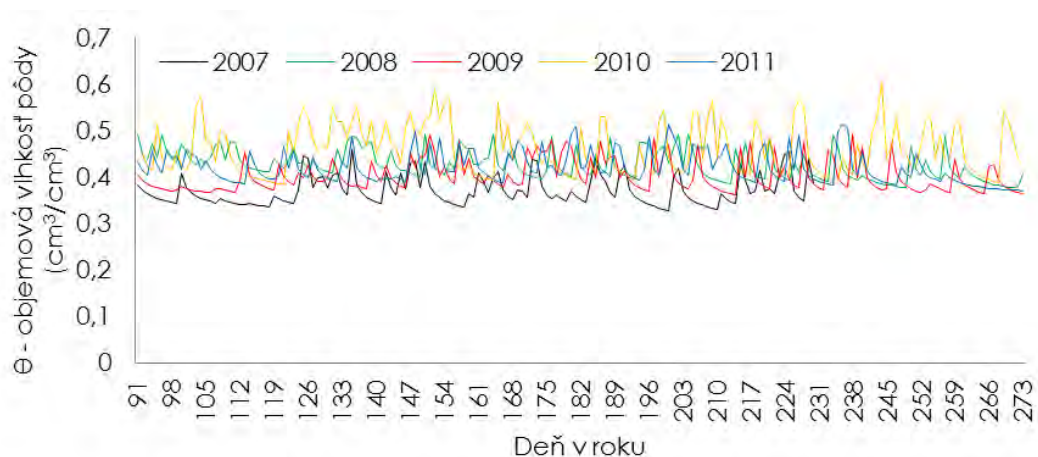
Avšak, pri pozornom sledovaní priebehu zmien objemovej vlhkosti pôdy vidieť, že v roku 2007, teda v roku s výskytom sucha identifikovanom tiež metódami indexov sucha, klesá priemerná objemová vlhkosť pôdy k $\theta = 0,33$ oproti dlhodobej priemernej hodnote $\theta = 0,38$.

Je to zrejme spôsobené hydrofóbnosťou organominerálneho A horizontu pôdneho profilu pod ihličnatým lesom, ktorý sa výrazne prejavuje pri poklese vlhkosti pod istú kritickú hodnotu (ORFÁNUS et FODOR 2011).



Obr. 4.31 Priebeh objemovej vlhkosti pôdy v smrekovom lese (*REF*) v období 2007 – 2011

Vyťažená plocha (*EXT*) dosahovala najvyššie modelované hodnoty objemovej vlhkosti pôdy spomedzi všetkých skúmaných plôch. Priemerná hodnota v priebehu celého obdobia bola $\theta = 0,41$. Objemová vlhkosť pôdy na tejto lokalite má podobnú dynamiku ako v smrekovom lese, čo je pravdepodobne následok hojnej humusovej vrstvy tvorenej hlavne odumretou rúbaniskovou vegetáciou. Zrejme nižšia intercepcia porastu má za následok vyššiu vlhkosť v roku 2010 ($\theta = 0,43$) oproti smrekovému lesu a neprítomnosť silíc spôsobujúcich pri presušení A horizontu hydrofóbnosť lesnej pôdy (ORFÁNUS et FODOR 2011), tu má za následok vyššiu vlhkosť aj v zrážkovo kritickom roku 2007 (Obr. 4.32).

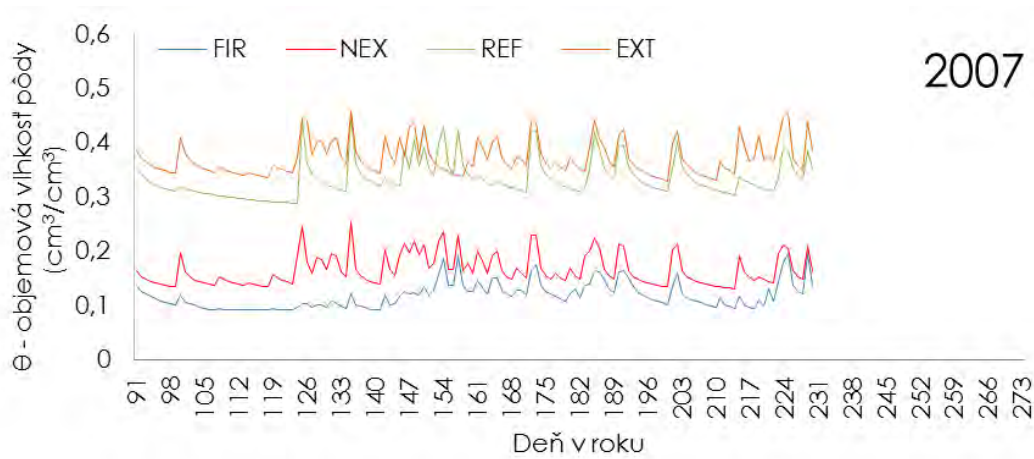


Obr. 4.32 Priebeh objemovej vlhkosti pôdy na vyťaženej ploche (*EXT*) (2007 – 2011)

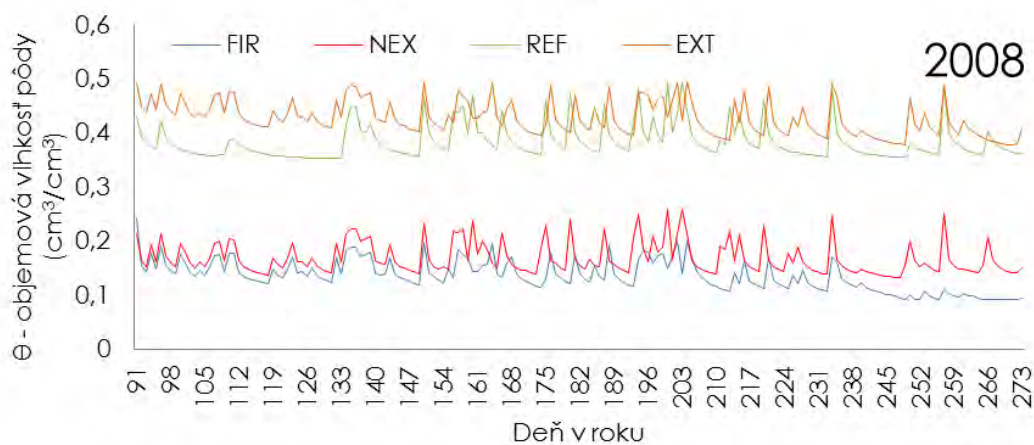
Vzájomným porovnávaním priebehu objemovej vlhkosti pôdy vo vrchnej vrstve pôdy na pokalamitných plochách pozorujeme podobnosť vlhkostných pomerov me-

dzi referenčným smrekovým lesom spolu s vyťaženou lokalitou nad Danielovým domom a druhou dvojicou lokalít, čiže spáleniskom a nevyťaženou plochou na lokalite Jamy, a to vo všetkých modelovaných rokoch (Obr. 4.33 – 4.37).

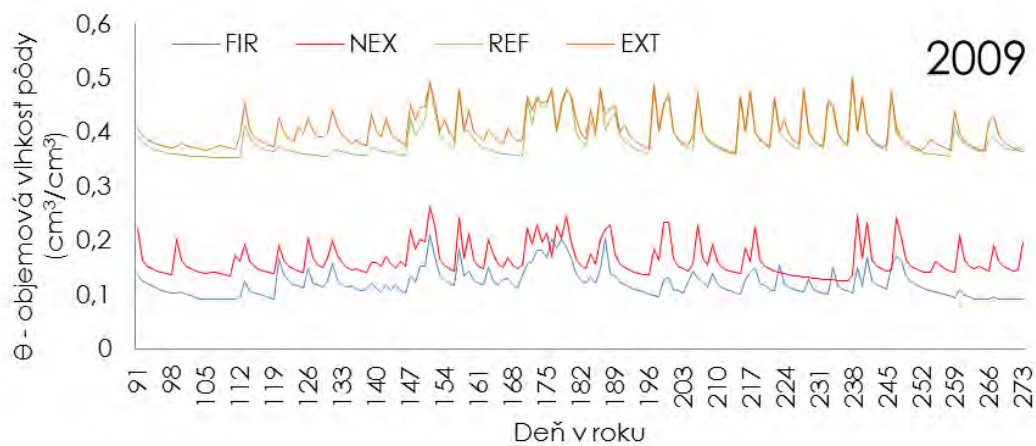
Tieto zistenia sú pomerne paradoxné, nakoľko bol predpoklad, že nevyťažená plocha sa bude približovať vlhkostnými podmienkami k smrekovému lesu, čo nebolo potvrdené. Treba ale poznamenať, že model nemusí odrážať skutočnosť z dôvodu už vyššie uvedených nezrovnalostí, a pretože počet odobratých pôdnych vzoriek nemusel byť dostatočný. Následkom toho mohol byť model realizovaný na nereprezentatívnej vzorke.



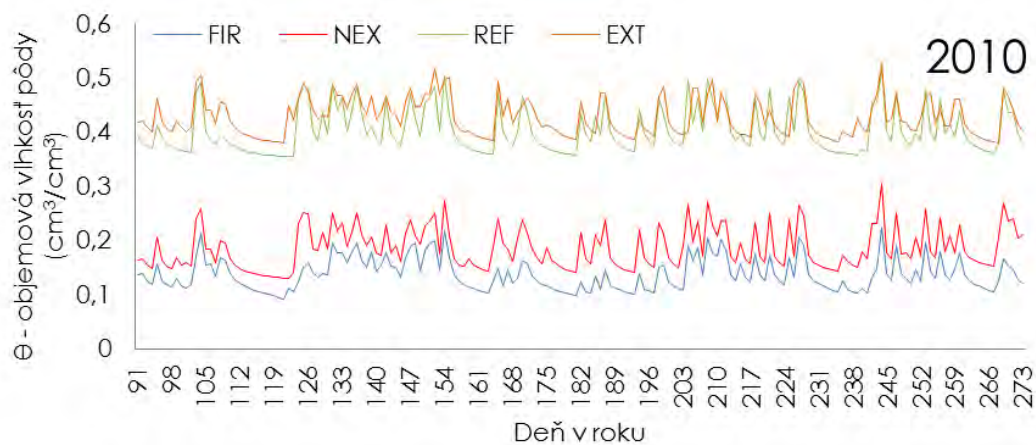
Obr. 4.33 Pribeh objemovej vlhkosti pôdy na výskumných plochách v roku 2007



Obr. 4.34 Pribeh objemovej vlhkosti pôdy na výskumných plochách v roku 2008



Obr. 4.35 Pribeh objemovej vlhkosti pôdy na výskumných plochách v roku 2009



Obr. 4.37 Pribeh objemovej vlhkosti pôdy na výskumných plochách v roku 2011

Hodnotenie zmien objemovej vlhkosti pôdy metódou matematického modelovania v prostredí programu GLOBAL je svojim charakterom veľmi závislé na kvalitných vstupných dátach. Najzásadnejšími sú zrejme vlastnosti dolnej okrajovej podmienky, ktorá významne ovplyvňuje priebeh objemovej vlhkosti v nadloženom profile a reprezentatívne hydrofyzikálne charakteristiky pôdy pre určenie vodného režimu záujmovej lokality.

Fyzikálne vlastnosti pôd v pokalamitnej oblasti Tatranského národného parku sú pomerne variabilné (NOVÁK *et al.* 2011, SITKOVÁ *et al.* 2010). Táto variabilita vplýva na objektívne matematicko-fyzikálne stanovenie zmien objemovej vlhkosti pôdy metódami, ktoré boli pôvodne určené na hodnotenie vodného režimu pôd v poľnohospodárskych produkčných oblastiach, ktoré sa vyznačujú homogénnejšími vlastnosťami ako uvádzajú ŠÚTOR a ŠTEKAUEROVÁ (2000).

Výsledky modelovania priebehu objemovej vlhkosti pôdy poukázali na čiastočne obmedzené možnosti výskumu hydrofyzikálnych vlastností pôd Tatranského ná-

rodného parku použitím matematického modelu GLOBAL bez dodatočných korektúr empirického charakteru. Taktiež výsledky preukázali, že použitie deterministického modelu je mimoriadne závislé na dostatočnom počte pôdnych vzoriek, na ktorých sa vykonáva laboratórne určovanie hydrofyzikálnych vlastností a na správnom stanovení dolnej okrajovej podmienky, ktorá pomerne výrazne ovplyvňuje celý priebeh modelu.

Dynamika medziročných zmien objemovej vlhkosti pôdy interpretovaná pomocou priemernej hodnoty, nie je vzhľadom na popísané nedostatky modelovania veľmi výrazná. Na čiastočné poukázanie zmien objemovej vlhkosti pôdy nie ale reprezentatívne pre celé výskumné lokality, budú v nasledujúcej kapitole použité v tabelárnej forme.

Na záver je uvedená tabuľka (4.3) priemerných ročných hodnôt objemovej vlhkosti pôdneho profilu (0 – 5 cm) na plochách pokalamitného výskumu.

Tab. 4.3 Priemerné hodnoty objemovej vlhkosti pôdy na výskumných plochách v období 2007 – 2011

plocha	2007	2008	2009	2010	2011
FIR	0,12	0,14	0,12	0,14	0,13
NEX	0,17	0,17	0,16	0,19	0,17
REF	0,33	0,38	0,39	0,40	0,39
EXT	0,37	0,43	0,40	0,43	0,42

objemová vlhkosť pôdy θ (cm³/cm³)

4.3 Vplyv sucha a pôdnej vlhkosti na štruktúru spoločenstiev bystruškovitých (*Coleoptera*, *Carabidae*)

Tatranská bóra, ktorá sa v tejto oblasti pomerne pravidelne opakuje (FLEISCHER 2011), má za následok významné zmeny zloženia biocenóz v postihnutých ekosystémoch smrekových lesov. Najvýznamnejšou zmenou po polome stromového porastu prechádza klimatóp lesa. Mení sa energetická bilancia povrchu, veterné pomery ovplyvňujúce evapotranspiráciu (MATEJKA *et al.* FLEISCHER 2011), či zrážkový a interceptný režim (OREŇÁK *et al.* 2010). Následná činnosť človeka, či samovoľne, z neďbalosti alebo zámerne založené lesné požiare umocnia tieto zmeny, ktoré zásadne ovplyvňujú priebeh sekundárnej sukcesie (HOMOLOVÁ *et al.* 2011), a tým i štruktúru a vlastnosti viazaných biocenóz. Zrážky ako hlavný zdroj vody pre terestrický ekosystém (ŠÚTOR *et al.* ŠTEKAUEROVÁ 2000) majú zásadný vplyv a ich nedostatkom dochádza k oslabovaniu alebo poškodeniu najmä primárnych producentov. To má za následok zmeny v energetických a materiálových tokoch (ARCHAUX *et al.* WOLTERS 2006) v ce-

lom ekosystému a jeho štruktúre. Posúdiť vplyv týchto zmien a s nimi spojeného medziročného kolísania zrážkovej bilancie vyjadrenej indexom sucha a modelovanej vlhkosti vrchnej vrstvy pôdy na štruktúru spoločenstiev živočíchov na kalamitných plochách a referenčnom lesnom poraste je ďalším cieľom predkladanej práce. Z viacerých modelových skupín bola pre účely tejto práce vybraná čeľaď bystruškovitých. Dôvodom boli jej vynikajúce bioindikačné vlastnosti a ekologická diferencovanosť a najmä dostupnosť výsledkov šesťročných pozorovaní týchto spoločenstiev na vybraných plochách. Okrem toho, lesy mierneho pásma severnej polgule sa vyznačujú zvlášť špecifickými spoločenstvami stenotopných lesných druhov bystruškovitých, na ktoré má deštrukcia porastov vždy devastujúci dopad (ŠUSTEK 2011).

4.3.1 Všeobecná charakteristika spoločenstiev bystruškovitých v postihnutej oblasti

V období 2007 – 2011 bol na všetkých lokalitách zistený výskyt celkovo 45 druhov. Tieto druhy tvoria dve základné ekologické skupiny. Prvou sú stenotopné lesné druhy ako *Pterostichus foveolatus*, *Pterostichus burmeisteri*, *Pterostichus unctulatus*, *Calathus micropterus*, *Carabus linnei*, *Carabus auronitens* a *Cychrus caraboides*. Ide o druhy s prevažne so amplitúdou vertikálneho rozšírenia vo výškach 300 – 1400 m n.m. a s optimom výskytu v strede tohto pásma, resp. v jedľovobukovom až smrekovom vegetačnom stupni (RAUŠER *et* ZLATNÍK 1966).

Druhy tejto skupiny vytvárajú spoločenstvá v nepoškodenom lese (REF) a na nevyťaženej kalamitnej ploche (NEX). Z hľadiska koncipovania metodických prístupov k starostlivosti o postihnuté územie je významné, že na nevyťaženej ploche napriek deštrukcii stromového porastu nedošlo k zmene druhového zloženia oproti referenčnej ploche a zistené rozdiely majú iba kvalitatívny, plne reverzibilný charakter (ŠUSTEK 2008).

Druhú skupinu tvoria druhy charakteristické pre nelesné, predovšetkým poľné a lúčne ekosystémy. Z tejto skupiny je iba *Amara erratica* typickým horským druhom. Jeden druh, *Microlestes maurus*, je výrazne suchomilný a *Bembidion lampros* heliofilný. V roku 2011 pristupujú do spoločenstiev zhorenísk, heliofilné druhy *Amara ovata*, a vo veľkom počte tiež *Amara nitida* či *Poecilus versicolor*.

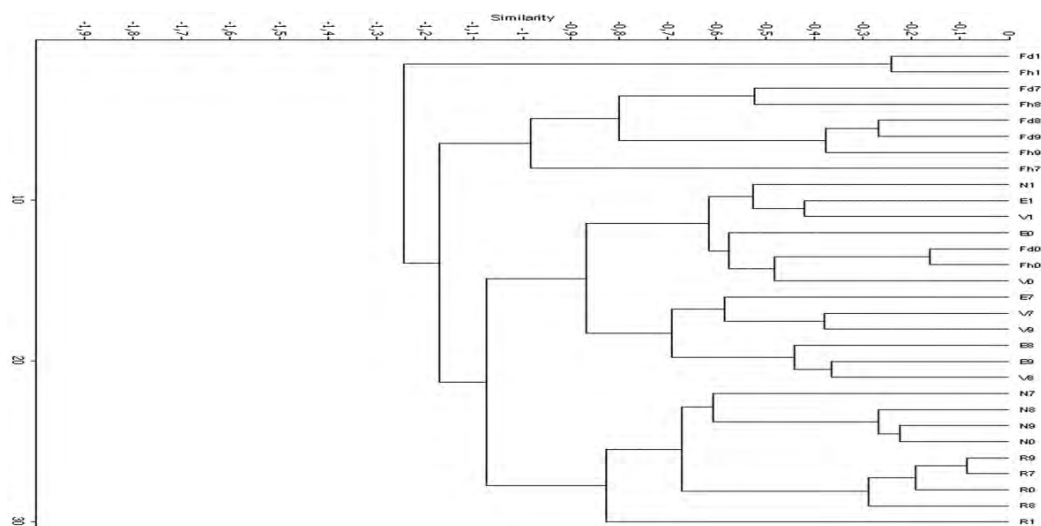
Hierarchická klasifikácia (Obr. 4.38) na základe tetivovej vzdialenosti (vyjadruje proporcionálnu nepodobnosť porovnávaných spoločenstiev) vytvára na hladine podobnosti 1,25 samostatný zhhluk spoločenstiev zo zhorenísk z roku 2011, čo je následok výskytu výrazne heliofilných druhov, zrejme v dôsledku postupného zmenšovania pokryvnosti *Chamerion angustifolium* (KRIŽOVÁ *et al.* 2011).

Obe zhoreniská sa však na hladine podobnosti 1,2 oddeľujú od ostatných spoločenstiev a vytvárajú samostatný zhhluk, ktorého ucelenosť je narušená len v roku 2010,

keď sa zhoreniská združujú s lokalitou Vodný les na hladine podobnosti 0,5. Toto výrazné odčlenenie sa od ostatných kalamitných plôch naznačuje významný dopad lesného požiaru z roku 2005, ktorý sa prejavoval špecifickými zmenami v štruktúre spoločenstiev v priebehu sledovaných rokov podmienenými synergickým pôsobením sucha (čo budem dokazovať neskôr), zámerného vykásania vegetácie a prebiehajúcej sekundárnej sukcesie.

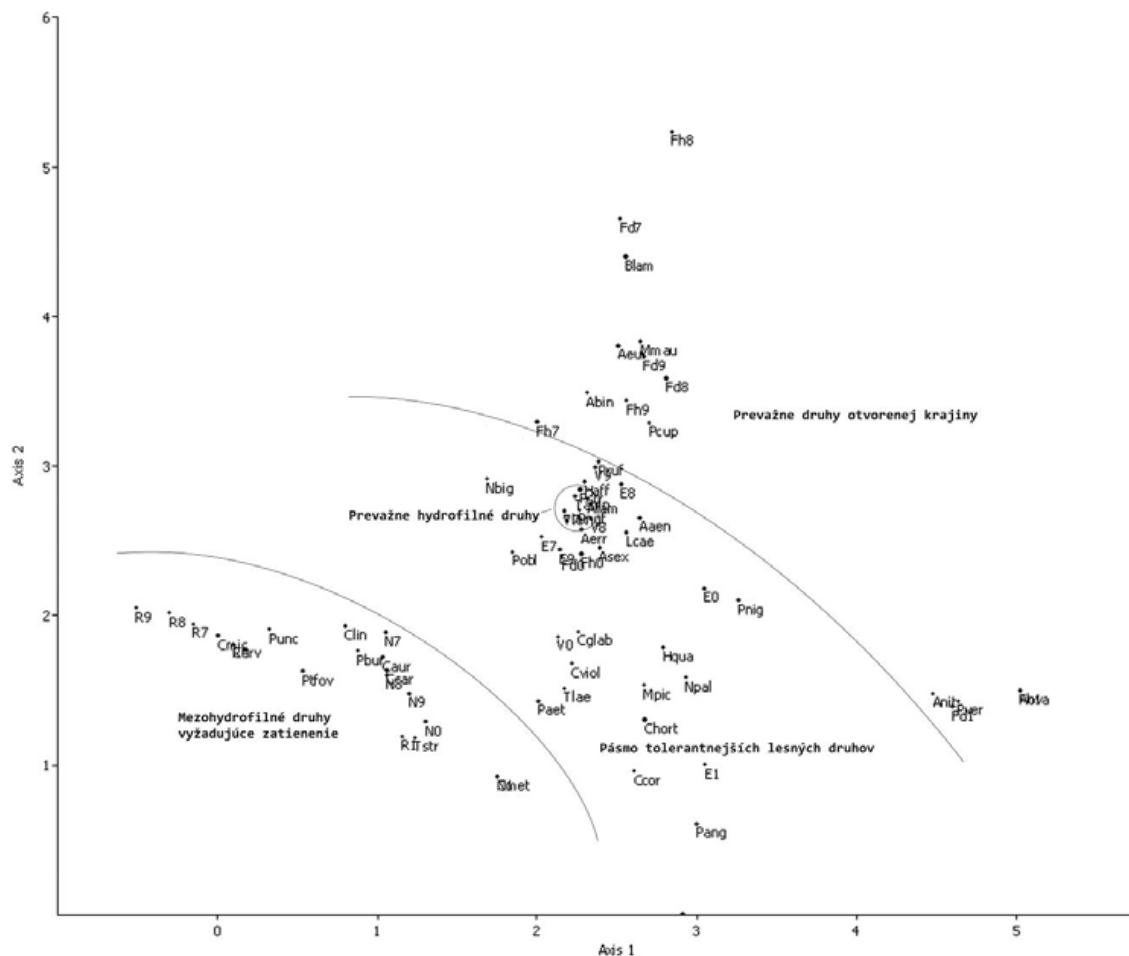
Z hľadiska hodnotenia procesov prebiehajúcich v záujmovom území je významný vznik dvoch zhlukov na hladine podobnosti 1,1. Prvý tvoria spoločenstvá z referenčného lesa (*REF*) a nespracovanej kalamity (*NEX*). Druhý zhluk tvoria prevažne spoločenstvá z lokalít s odstránenou drevnou hmotou, ale nepostihnutých požiarom. Z hľadiska obnovy poškodených ekosystémov je zaujímavé pozorovať konvergenciu spoločenstiev kalamitných plôch okrem zhorenísk na hladine podobnosti 0,5 v roku 2011.

Rozdelenie všetkých spoločenstiev do týchto troch skupín potvrdzuje aj detrendovaná korešpondenčná analýza (Obr. 4.39)



Obr. 4.38 Hierarchická klasifikácia spoločenstiev na základe tetivovej vzdialenosti celoročných zberov bystruškovitých z rokov 2007 – 2011 (Fd- dolný stacionár zhoreniska / FIR/, Fh- horný stacionár zhoreniska, R- referenčná plocha /REF/, E- plocha s vytáženou kalamitou /EXT/, V- lokalita vodný les /VL/, N- lokalita s nevytáženou kalamitou /NEX/)

Na obrázku (4.39) vidieť veľmi zreteľný gradient poklesu tieňomilných lesných druhov v prospech heliofilných druhov otvorenej krajiny v smere hlavnej diagonály. Spoločenstvá s individualným výskytom výrazne hydrofilných druhov (*Pterostichus nigrita*, *Pterostichus niger*) pri potoku pretekajúcom Vodným lesom je lokalizovaná uprostred diagramu. Naznačuje to existenciu ďalšieho gradientu spoločenstiev závislých na trvalom podmáčaní pôdy. Tento typ spoločenstiev však v rámci sledovanej oblasti nie je vyvinutý v ich typickej podobe, resp. tieto spoločenstvá majú iba ekotónny charakter.



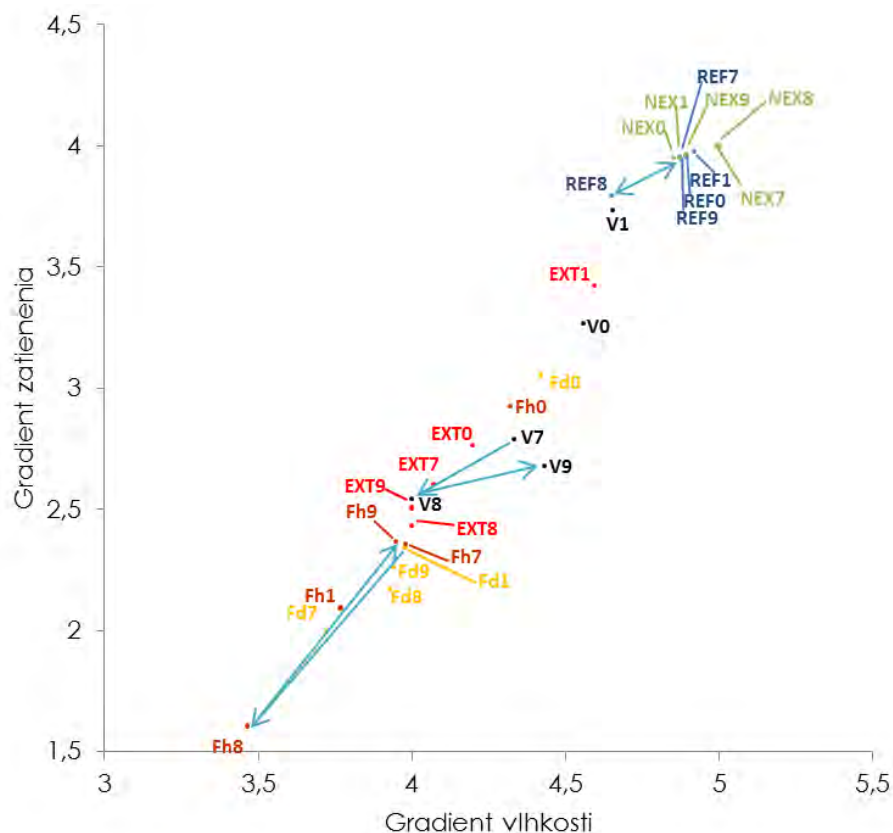
Obr. 4.39 Detrendovaná korešpondenčná analýza celoročných zberov bystruškovitých z rokov 2007 – 2011

Ničmenej ukazuje to význam vlhkosti pre prakticky všetky spoločenstvá. V tesnej blízkosti oblasti spoločenstiev z Vodného lesa sa nachádza i časť spoločenstiev z vyťaženého kalamitiska nad Danielovým domom. Dokazuje to význam rozdielného režimu na vyťažených plochách pre formovanie živočíšnych spoločenstiev. Priblíženie sa spoločenstiev zhorenísk v roku 2010 k obom spoločenstvám nepostihnutých požiarom a v jednom prípade aj charakterizovaných vyšším zastúpením i hydrofilných druhov je pozitívny znak posuvu týchto spoločenstiev k menej postihnutým a náznaku začiatku pozitívneho smerovania sukcesie.

Celková blízkosť spoločenstiev zhorenísk, najmä z horného stacionáru, naznačuje, že obe spoločenstvá sa formujú v podobných vlhkostných podmienkach. V niektorých prípadoch však nemusí ísť o priamu závislosť (napr. nároky lárí živých v pôde na relatívnu vlhkosť v dutinách pôdy), ale o závislosť sprostredkovanú vegetačným krytom, ako to naznačuje veľkosť korelačného koeficienta preferencie vlhkosti a vegetačného krytu (0,532). Tento vzťah veľmi dobre ilustruje priama ordiácia spoločenstiev na základe vegetačného krytu a vlhkosti (Obr. 4.40)

Táto ordinácia ukazuje veľmi stabilnú pozíciu spoločenstiev menej poškodených lokalít s výnimkou roku 2008, v ktorom klesá index preferencie zatienenia pozdĺž gradientu vlhkosti. Podobnú situáciu sledujeme v spoločenstvách z Vodného lesa a oboch zhorenísk, kde však proporcionálne rovnako klesá index preferencie vlhkosti a zatienenia. Po tomto poklese sa v roku 2009 spoločenstvá vracajú do pôvodnej polohy a v nasledujúcich rokoch sa postupne viac približujú k spoločenstvám menej postihnutým najmä v smere osi gradientu zatienenia.

Spoločenstvá zo zhorenísk sa vyvíjajú odlišne, vzhľadom na antropogénne aktivity a špecifický priebeh sekundárnej sukcesie. Posun spoločenstiev v smere stúpajúceho gradientu zatienenia na lokalitách Vodný les a Danielov dom je v rokoch 2009 – 2011 spôsobený s najväčšou pravdepodobnosťou sekundárnou sukcesiou vegetácie, ktorá tu má veľmi intenzívny priebeh (ŠEBEŇ *et al.* 2011). Sukcesia však má veľmi odlišný charakter na zhoreniskách. Na týchto plochách totiž dochádzalo k zámernému vykášaní vegetácie na podporu rastu sadeníc javorov a smrekovcov, ale najmä v posledných rokoch dochádza k významnému znižovaniu pokryvnosti vegetácie po predchádzajúcom prudkom náraste ruderálneho *Chamaerion angustifolium*, vzhľadom na postupné vyčerpanie ľahko dostupného dusíka (KRIŽOVÁ *et al.* 2011).



Obr. 4.40 Priama ordinácia spoločenstiev na základe preferencie vegetačného krytu a vlhkosti v rokoch 2007 – 2011

Tieto špecifiká sú príčinou fluktuálneho charakteru zmien preferencií spoločenstiev a nejednoznačného vektora sukcesie na týchto lokalitách v priebehu sledovaného obdobia.

Z uvedeného vyplýva, že fluktuácie viditeľné v ordinačnom grafe, ktoré majú chronologicky nespojitý charakter, musia byť vždy odrazom významnej zmeny životných podmienok spoločenstiev. K podobnému vychýleniu však došlo aj v inak stabilných spoločenstvách stojaceho lesa, či vodným tokom čiastočne ovplyvnenom spoločenstve Vodného lesa, a to v roku 2008. Spolu s týmito spoločenstvami sa v tomto roku významným spôsobom odchyľilo aj spoločenstvo horného spáleniska.

Vzhľadom na smer tejto odchýlky v roku 2008 prevažne pozdĺž gradientu vlhkosti, je potrebné hľadať príčinu v poveternostných podmienkach predchádzajúceho roku, ktorý bol mimoriadne teplý a suchý v prevažnej časti vegetačného obdobia (apríl – august). Ontogenetický vývin bystruškovitých trvá v stredoerópskych podmienkach väčšinou jeden rok. Iba v horských podmienkach bolo pozorované u niektorých druhov jeho predĺženie na dva roky (THIELE 1977). Larvy žijú skrytým spôsobom v nadložnom humuse. Jednotlivé druhy pritom patria k jednému z dvoch základných rozmnožovacích typov (LARSON 1939) – tzv. jarnému, kde prezimujú dospelci, larvy sa liahnu na jar a imága koncom leta, a k jesennému, kde sa larvy liahnu koncom leta, prezimujú a imága sa liahnu začiatkom leta. Toto rozdelenie istým spôsobom eliminuje kompetičný tlak druhov zaujímajúcich podobné ekologické niky.

V lesných ekosystémoch väčšina druhov má jarné rozmnožovanie (BURMEISTER 1939). K prekryvu generácií dochádza v obmedzenej miere, i keď v zajatí sa imága aspoň niektorých veľkých druhov dožívajú aj 2 – 3 rokov (THIELE 1977).

Odchyt pomocou zemných pascí je zameraný na dospelce. Preto zistená štruktúra spoločenstiev odráža nielen aktuálne klimatické podmienky pôsobiace bezprostredne na aktivitu imág, ale vo významnej miere aj životné podmienky z predošlého roka, nakoľko larválne štádiá chrobákov sú citlivejšie na zmeny abiotických podmienok prostredia (KŘÍSTEK *et* URBAN 2004).

4.3.2 Zmeny spoločenstiev bystruškovitých vo vzťahu k suchu a vlhkosti pôdy

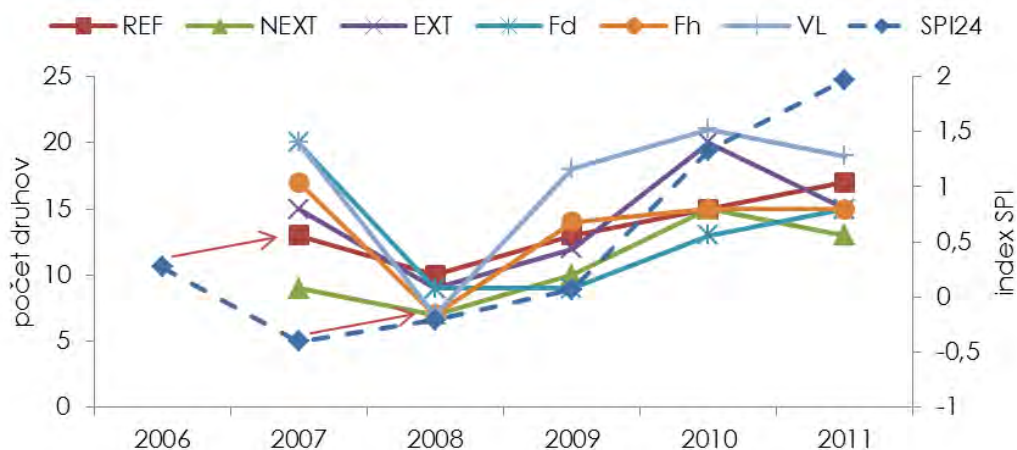
Počasie v roku 2007 bolo charakteristické výnimočne horúcim a suchým letom. Na území Slovenska boli preknané mnohé teplotné rekordy, napr. 20. júla dosiahla teplota v Hurbanove 40,2 °C, čo bola doposiaľ najvyššia nameraná teplota na Slovensku v celej histórii meraní (SHMÚ 2008). Vysoká teplota vzduchu a najmä nízky úhrn zrážok bol zaznamenaný od apríla do augusta, čoho dôsledkom bolo suché vegetačné obdobie (KONÔPKA *et* KONÔPKA 2010).

Na rozdiel od suchého roku 2007 bol rok 2006, resp. jeho vegetačné obdobie z pohľadu meteorologického hodnotenia zrážkovo normálne. Je však treba podoznieť, že náznaky potenciálneho sucha na začiatku vegetačného obdobia 2007 boli badateľné už ku koncu roka 2006, nakoľko po zadnej strane oblasti vysokého tlaku vzduchu nad Stredomorím prúdil na Slovensko teplý vzduch, ktorý začal najteplejšiu zimu od začiatku meteorologických pozorovaní. Zároveň december roku 2006 je zrážkovo hodnotený ako veľmi suchý (SHMÚ 2007). Roky 2007 a 2008 boli hodnotené ako zrážkovo normálne až mimoriadne vlhké 2010 (PECHO *et al.* 2010). Výnimkou je však jún 2008 a apríl čiastočne aj máj a september 2009, ktorý bol v oblasti Tatier suchý.

Pre rok 2008 bol príznačný prudký pokles počtu druhov, jedincov a biomasy na všetkých sledovaných lokalitách. Pokles bol najvýraznejší na plochách oboch zhorenísk a na lokalite Vodný les. Druhovú rozmanitosť na zhoreniskách a vo Vodnom lese poklesla na 35 % počtu druhov v roku 2007. Na lokalite Danielov dom bol pokles na 60 %. Počet druhov na ploche s nevyťažanou kalamitou a nepoškodeným lesným porastom bol na úrovni 77% predchádzajúceho roku.

Je vidieť, že pokles druhov bol zaznamenaný i v spoločenstvách stojaceho lesa i nevyťaženej kalamity na lokalite Jamy, kde neprebíha antropogénna disturbancia. Z obrázku (4.41) je zreteľné jednoročné oneskorenie posunu reakcie spoločenstiev na poveternostné charakteristiky ovplyňujúce ich klimatóp.

Pokles priemernej hodnoty indexu na $(-0,4)$ v roku 2007 oproti $(0,27)$ v roku 2006 indikuje výskyt suchej epizódy.

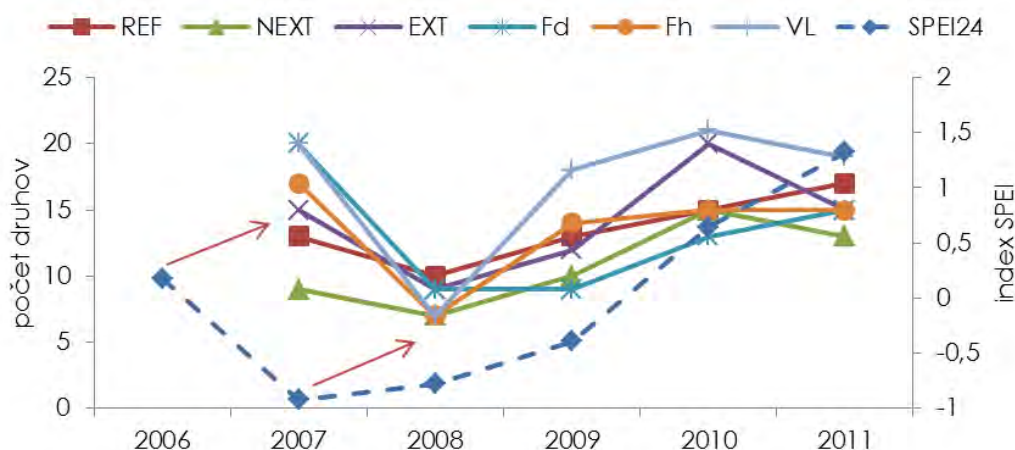


Obr. 4.41 Zmena počtu druhov v spoločenstvách bystruškovitých a ich väzba na dynamiku indexu SPI pre 24 mesiacov (šípka naznačuje posun odozvy spoločenstiev na hodnoty indexu sucha)

Výraznejšie sa tento pokles prejavuje pri porovnaní s indexom *SPEI*, ktorý zahŕňa vo výpočte aj teplotu vzduchu. Hodnota indexu $(0,18)$ v roku 2006 sa výrazne

prepadla na hodnotu $(-0,91)$ v roku 2007 (Obr. 4.42). Z obrázkov je zreteľný postupný rast hodnôt oboch indexov smerom k humídnym podmienkam.

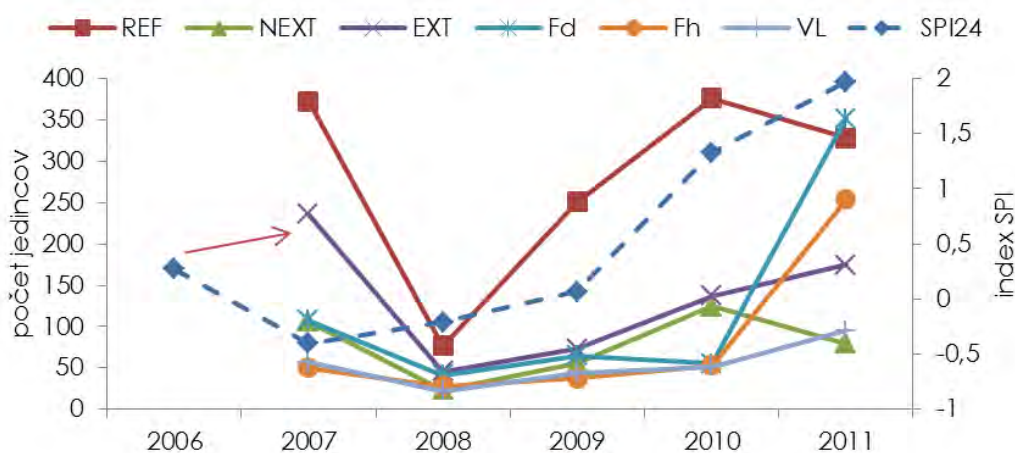
Tento vzostup hodnôt indexov je s jednoročným oneskorením nasledovaný zvýšením počtu druhov na všetkých lokalitách.



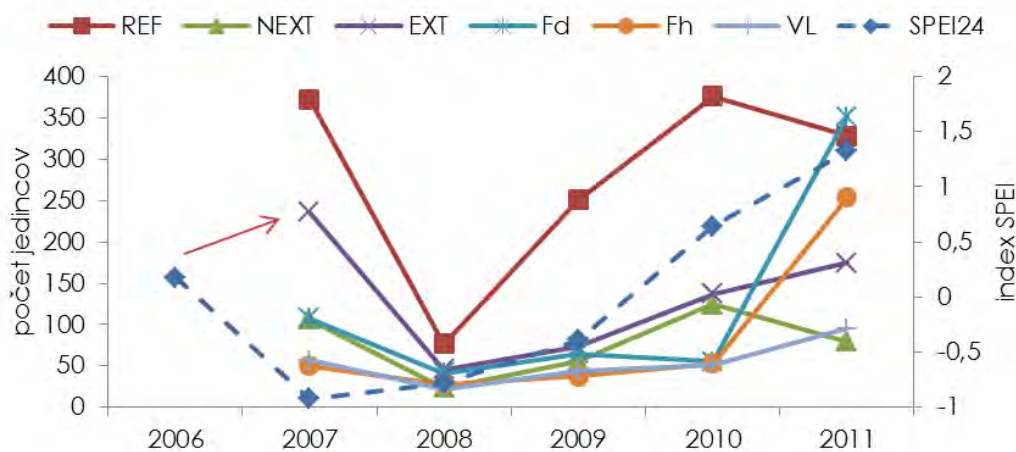
Obr. 4.42 Zmena počtu druhov v spoločenstvách bystruškovitých a ich väzba na dynamiku indexu SPEI pre 24 mesiacov (šípka naznačuje posun odozvy spoločenstiev na hodnoty indexu sucha)

Výrazný je tiež pokles počtu jedincov, ktorý bol zaznamenaný v spoločenstvách všetkých záujmových lokalít (Obr. 4.43 – 4.44). V tomto prípade je však pokles počtu jedincov veľmi výrazný i v nepoškodenom lese a v nevyťaženej kalamite na lokalite Jamy. Zaznamenalo sa tu iba 20 % počtu jedincov predchádzajúceho roku.

Najväčší prepad abundancie bol zistený v spoločenstve vyťaženej kalamity nad Danielovým domom (19 % hodnôt roku 2006). V spoločenstve dolného zhoreniska klesol počet jedincov na 37 %, a na hornom stacionári na úroveň 56 % roku 2006. Na lokalite Vodný les bol zistený pokles na 38 % hodnôt predchádzajúceho roku.



Obr. 4.43 Zmena kumulatívneho počtu jedincov v spoločenstvách bystruškovitých a ich väzba na dynamiku indexu SPI pre 24 mesiacov (šípka naznačuje posun odozvy spoločenstiev na hodnoty indexu sucha)



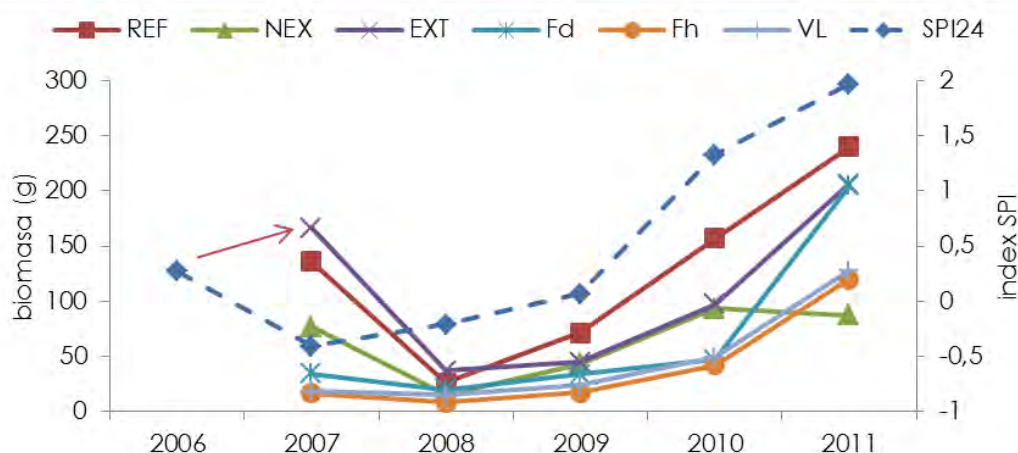
Obr. 4.44 Zmena kumulatívneho počtu jedincov v spoločenstvách bystruškovitých a ich väzba na dynamiku indexu SPEI pre 24 mesiacov (šípka naznačuje posun odozvy spoločenstiev na hodnoty indexu sucha)

Množstvo biomasy viazanej spoločenstvami zaznamenalo vplyvom nepriaznivých bioklimatologických podmienok na referenčnej ploche v roku 2007 pokles na 19 % hodnôt roku 2006. Podobná situácia bola i na lokalitách nevyťaženej kalamiťy a vyťaženej kalamiťy nad Danielovým domom. Tu sa pokles kumulatívnej biomasy pohyboval na úrovni 20 % hodnoty predchádzajúceho roku.

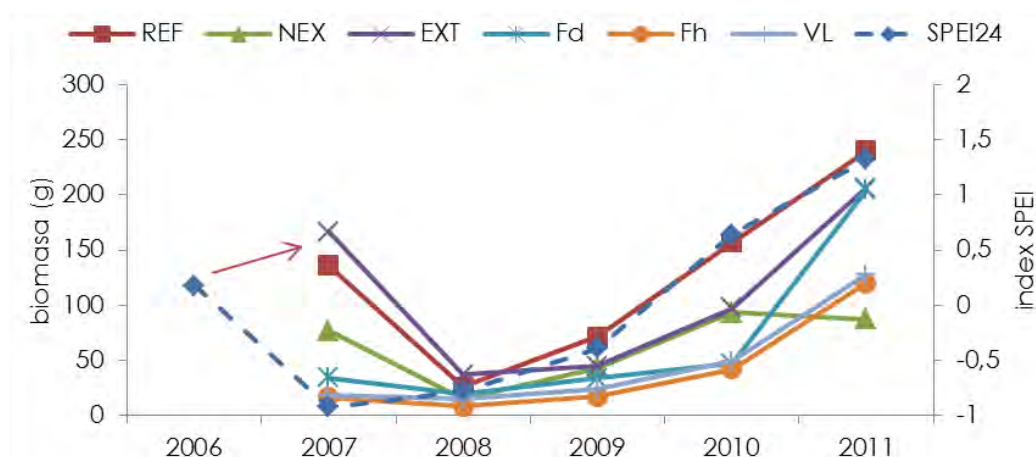
Zhoreniská vzhľadom na prevahu početnosti menších druhov a ich ekologické vlastnosti zaznamenali menší pokles. Biomasa spoločenstiev horného stacionára poklesla na 50 %, dolný klesol na 58 % hodnôt roku 2006. Spoločenstvo vo Vodnom lese vzhľadom na pokles počtu jedincov väčších druhov *Carabus glabratus* a *Pterostichus niger* a naopak, na zvýšenie početnosti rovnako veľkého druhu *Carabus violaceus*, zaznamenalo najnižší pokles objemu viazanej biomasy, na 82 % predchádzajúceho roku.

Na obrázkoch (4.45) a (4.46) je znázornený pokles objemu biomasy viazanej spoločenstvami bystruškovitých vo väzbe na zmenu hodnôt *SPI* a *SPEI*. V dynamike zmien objemu kumulatívnej biomasy a počtu jedincov spoločenstiev bystruškovitých je tiež zreteľné jednorôčné oneskorenie odozvy reakcie spoločenstiev bystruškovitých na zmeny bioklimatologických podmienok vyjadrených indexami sucha. Vidíme, že suchá epizóda z roku 2007 sa výrazne prejavila na zberoch z roku 2008.

V prípade všetkých hodnotených charakteristík spoločenstiev vidíme po prepadoch hodnôt v roku 2008 opätovný nárast v nasledujúcich rokoch, ktorých poveternostné podmienky boli oproti suchému a horúcemu roku 2007 priaznivé. Výnimku tvoria spoločenstvá oboch zhorenísk, kde sa už nedosiahol opätovný nárast počtu druhov z roku 2007, čiže zberov, ktoré boli ovplyvnené z veľkej časti počasím roku 2006.



Obr. 4.45 Zmena objemu kumulatívnej biomasy spoločenstiev bystruškovitých a ich väzba na dynamiku indexu SPI pre 24 mesiacov (šípka naznačuje posun odozvy spoločenstiev na hodnoty indexu sucha)



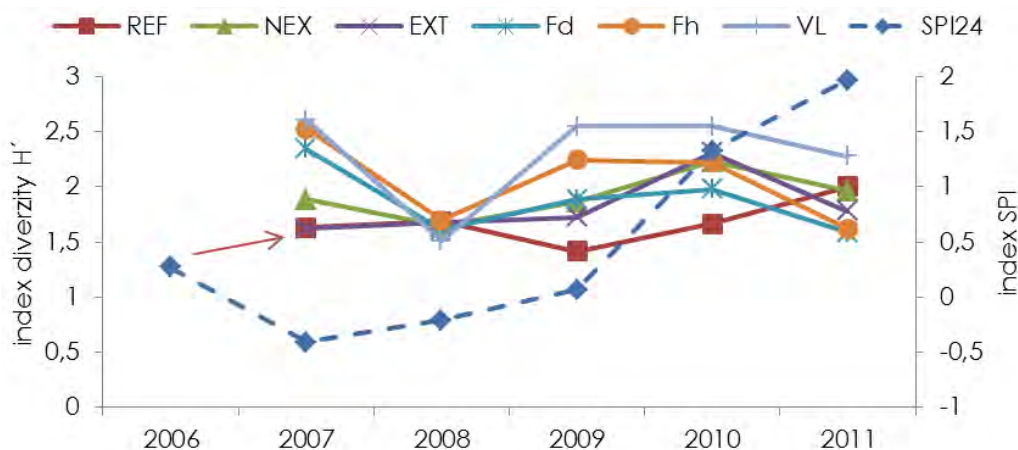
Obr. 4.46 Zmena objemu kumulatívnej biomasy spoločenstiev bystruškovitých a ich väzba na dynamiku indexu SPEI pre 24 mesiacov (šípka naznačuje posun odozvy spoločenstiev na hodnoty indexu sucha)

Významný pokles kumulatívnej biomasy spoločenstva v nepoškodenom lese, ktorý sa prejavil pravdepodobne nepriaznivými podmienkami klimatu 2007, mal za následok zníženie počtu veľkých druhov ako *Carabus glabratus*, *Carabus violaceus* či *Carabus auronitens*. Uvoľnenú ekologickú niku veľmi rýchlo začali obsadzovať malé druhy ako *Calathus micropterus* alebo *Pterostichus unctulatus*.

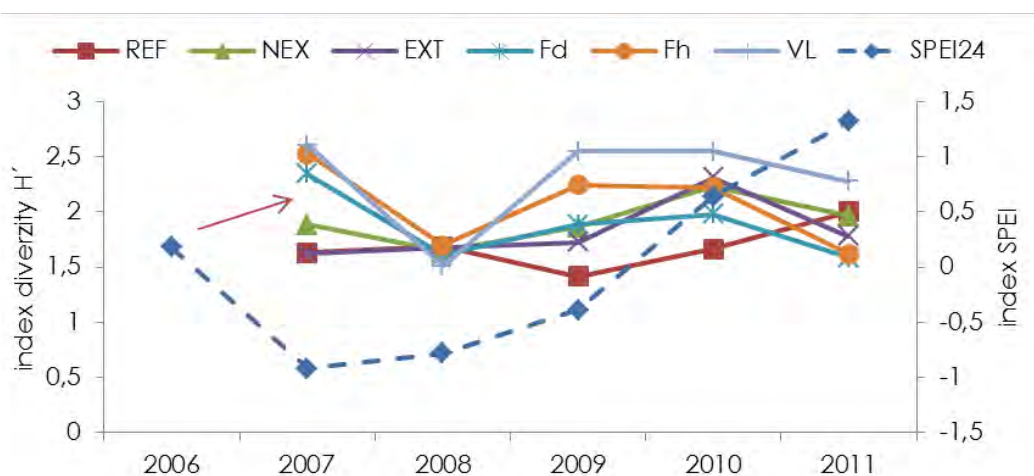
Tieto druhy však po výraznom zlepšení bioklimatických podmienok v roku 2010 boli postihnuté pravdepodobne predačným tlakom väčších druhov predstavujúcich *K*-stratégov, ktorým vhodné podmienky umožnili zaujať pôvodné postavenie v spoločenstvách. Najvýraznejší prejav *r*-stratégie malých druhov je možné pozorovať na gradácii a následnom výraznom poklese početnosti druhu *Pterostichus unctulatus*. V zbere z roku 2010 sa nachádzal v počte 186 kusov, zatiaľ čo v nasledujúcom roku iba 47. Tento výrazný pokles vidieť na obrázku (4.43), kde je veľmi výrazný rast kumulatívneho počtu jedincov na referenčnej ploche zastavený práve v roku 2011.

Pri pohľade na obrázok (4.41) však vidíme, že tento tlak nepôsobil deštruktívne na druhovú rozmanitosť spoločenstva. Jeho pôsobenie malo skôr vyvažujúci účinok, čo môže naznačovať pomerne dobrú ekologickú stabilitu spoločenstva na lokalite s nepoškodeným porastom a stav dynamickej rovnováhy schopnej odolávať poveternostným fluktuáciám. Podobné prejavy pozorujeme aj na lokalite s nevyťaženou kalamitou a čiastočne i na vyťaženej kalamitnej ploche nad Danielovým domom, ale v oveľa menej výraznej forme. Dá sa povedať, že vzostupom úrovne pôsobiacich disturbancií klesá i schopnosť spoločenstiev udržiavať sa v stave homeostázy, čo naznačuje potenciál rozsiahlejších dopadov sucha na poškodených lokalitách.

Tento ekologický stav naznačuje aj Shannon-Wienerov index diverzity, ktorý vo väzbe na nepriaznivé podmienky klimatu v roku 2007 vykazuje najväčšie odchýlky práve v spoločenstvách najviac narušených lokalít (Obr. 4.47 a 4.48). Tu je to však spôsobené aj jednorázovými inváziami xenocénnych druhov, ktoré menia rovnomernosť zastúpenia jednotlivých druhov a silne vplývajú na hodnoty tohto indexu.



Obr. 4.47 Kolísanie hodnôt Shannon-Wienerovho indexu diverzity vo vzťahu k zmenám hodnôt indexu SPI pre 24 mesiacov (šípka naznačuje posun odozvy spoločenstiev na hodnoty indexu sucha)



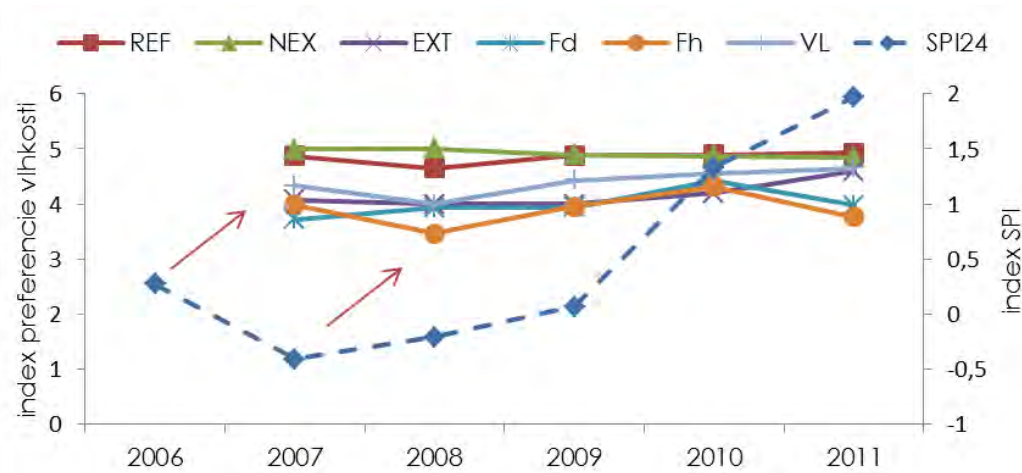
Obr. 4.48 Kolísanie hodnôt Shannon-Wienerovho indexu diverzity vo vzťahu k zmenám hodnôt indexu SPEI pre 24 mesiacov (šípka naznačuje posun odozvy spoločenstiev na hodnoty indexu sucha)

Zmena indexu preferencie vlhkosti nastala u spoločenstiev z nepoškodeného lesa, vyťaženej plochy s pretekajúcim potokom tzv. Vodného lesa a horného stacionáru zhoreniska nad Tatranskými Zrubmi. V spoločenstve nepoškodeného smrekového lesa bol pokles preferencie k vlhkosti spôsobený neprítomnosťou mierne hydrofilnejších druhov *Cychrus caraboides*, *Molops piceus* a *Trichotichnus laevicollis* v roku 2008 následkom predchádzajúceho suchého roku. V spoločenstve z Vodného lesa bol pokles preferencie k vlhkosti spôsobený neprítomnosťou výrazne hydrofilných druhov ako *Pterostichus nigrita*, *Pterostichus strenuus* či *Pterostichus niger* v zberoch z roku 2008. Naznačuje to silnú väzbu spoločenstva predmetnej lokality na vlhkosť prostredia danú, pretekajúcim potokom a šírením hydrofilných druhov pozdĺž jeho brehov.

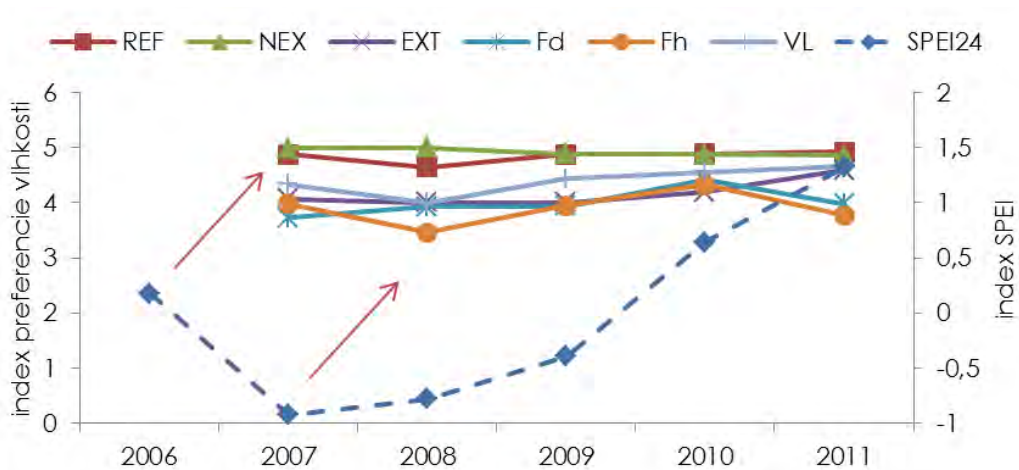
Zmena preferencie vlhkosti spoločenstva horného stacionáru zhoreniska je pravdepodobne ovplyvnená okrem nízkych úhrnov zrážok a vyššej teploty vzduchu v roku 2007 aj vysokou hydraulickou vodivosťou pôdy, jej skeletnatosťou a z toho vyplývajúcim laterálnym podzemným odtokom. Horný stacionár sa nachádza v teréne s priemerným sklonom 30° , kde prevažuje podpovrchový laterálny odtok, ktorý sa následkom požiaru a redukcie organickej hmoty v pôde realizuje vysokou rýchlosťou (ORFÁNUS *et* FODOR 2011). To pravdepodobne spôsobuje rýchle vysychanie vrchnej vrstvy pôdy, čo sa zvyrazňuje práve v suchých rokoch. Synergické pôsobenie požiarom zmenených hydrofyzikálnych vlastností pôdy spolu s geomorfológiou terénu a nepriaznivým charakterom počasia v roku 2007 zintenzívnilo prejavy sucha, čoho dôkazom je, že k významnej zmene preferencie k vlhkosti nedošlo v spoločenstve z dolného zhoreniska, ktorého priemerný sklon je len 10° . Je pravdepodobné, že v suchých rokoch ako bol rok 2007 dochádza k výraznejšiemu presušovaniu terénu s vyššou sklonitosťou.

V spoločenstvách nevyťaženej kalamity a lokality nad Danielovým domom nedošlo vplyvom suchého a teplého rázu počasia v roku 2007 k poklesu preferencií spoločenstiev k vlhkosti. Po vychýlení sa spoločenstiev v roku 2008 v reakcii na bioklímu predchádzajúceho roka, došlo v prípade spoločenstva nepoškodeného lesa k návratu indexu preferencie vlhkosti do pôvodných hodnôt už v nasledujúcom roku a jeho hodnoty sa už nemenili ani v nadpriemerne vlhkých rokoch. Podobný stav bol zistený na nevyťaženom kalamitisku na lokalite Jamy. Na rozdiel od týchto stacionárov sa však úroveň indexu preferencie vlhkosti spoločenstiev na ostatných lokalitách menili aj vplyvom zvýšenia vlhkosti prostredia v nasledujúcich rokoch, či už priamo, alebo sprostredkované cez preferenciu k zatieneniu vegetačným krytom, čo bude popísané ďalej. Tieto vlastnosti spoločenstiev naznačujú vyššiu stabilitu spoločenstiev nepoškodených alebo málo poškodených lokalít, nakoľko pri týchto nedochádzalo k zmenám v nadväznosti na vzostup vlhkosti vplyvom zrážkovo výdatných rokov.

Môžeme pozorovať, že lokality s vyšším stupňom poškodenia reagujú na výkyvy bioklímy výraznejšie, čo je v súlade s náznakom vyššej úrovne vnútornej ekologickej stability so zachovanými funkciami rezistencie a reziliencie na menej poškodených až nepoškodených lokalitách. Na obrázku (4.49) a (4.50) sú znázornené zmeny preferencie spoločenstiev vo vzťahu k vlhkosti.



Obr. 4.49 Zmena indexu preferencie vlhkosti spoločenstiev vo väzbe na vlhkosť prostredia vyjadrenú indexom SPI pre 24 mesiacov. (šípka naznačuje posun odozvy spoločenstiev na hodnoty indexu sucha)



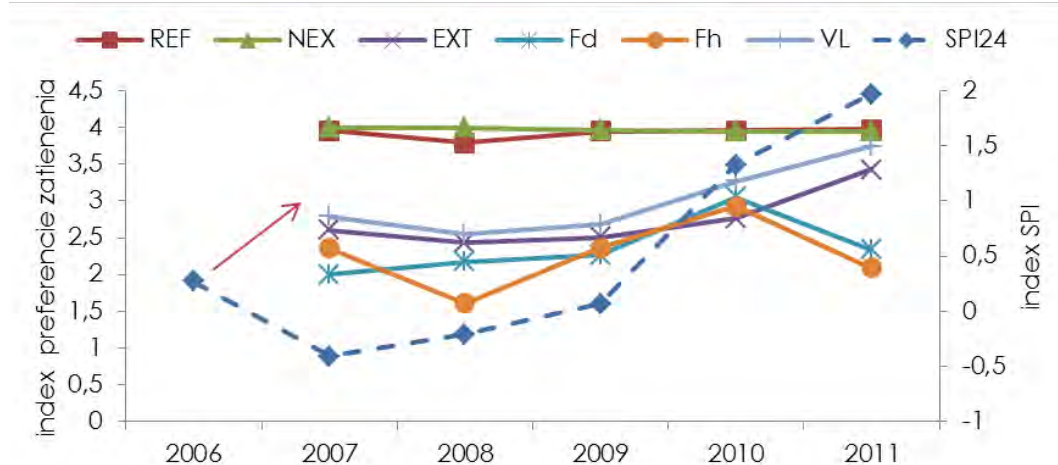
Obr. 4.50 Zmena indexu preferencie vlhkosti spoločenstiev vo väzbe na vlhkosť prostredia vyjadrenú indexom SPI pre 24 mesiacov. (šípka naznačuje posun odozvy spoločenstiev na hodnoty indexu sucha)

Zmena indexu preferencie zatienenia spoločenstiev vo vzťahu k bioklimatickým podmienkam naznačuje možné sprostredkované vplyvy sucha. Zmena tohto indexu odráža zmeny zastúpenia druhov s rôznymi nárokmi na zatienenie. Najvýznamnejší pokles indexu preferencie zatienenia bol zaznamenaný v spoločenstve horného stacionáru zhoreniska. Na tejto lokalite sa vplyvom suchého rázu počasia v roku 2007

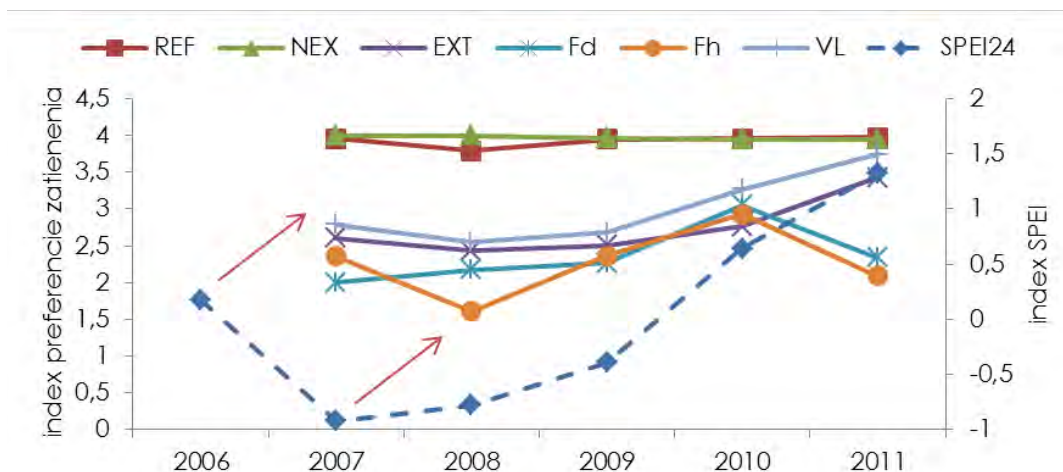
zaznamenal výrazný úbytok vegetácie (ŠEBEŇ *et al.* 2011). Pokles indexu preferencie zatienenia tu bol teda spôsobený vystavením plochy insolácií v dôsledku nižšej výšky a pokryvnosti bylinnej vegetácie.

Úbytok vegetácie mohol súvisieť aj s uvedeným výraznejším presušením horného stacionáru zhoreniska vplyvom nedostatočných zrážok a zvýraznenia vplyvu sklonitosti v nepriaznivých poveternostných podmienkach. Je zreteľná korelácia indexov preferencie zatienenia a preferencie vlhkosti, čo potvrdzuje i priama ordinácia spoločenstiev uvedená v predošlej kapitole. K podobnému javu došlo aj vo Vodnom lese, kde zrejme vplyvom zníženej vlhkosti prostredia došlo i k redukcii vegetačného krytu, čo sa prejavilo v poklese indexu preferencie zatienenia. K menej výraznému poklesu indexu preferencie zatienenia došlo na ploche vytťaženej kalamity a referenčného lesa, no v prípade nasledujúcich rokov sa výrazne zvýšil index preferencie zatienenia na väčšine lokalít postihnutých vetrovou kalamitou.

Táto zmena nastala pravdepodobne vplyvom rozvoja drevinovej vegetácie (najmä vrb, osiky, bazy červenej) na týchto plochách, ktorá už miestami dosahuje výšku 2 – 3 metrov a približuje sa k vytvoreniu uzavretých porastov smerom k štádiu prípravného lesa. Na obrázku (4.51) a (4.52) sú znázornené zmeny indexu preferencie zatienenia.



Obr. 4.51 Zmena indexu preferencie zatienenia spoločenstiev bystruškovitých vo väzbe na vlhkosť prostredia vyjadrenú indexom SPI pre 24 mesiacov. (šípka naznačuje posun odozvy spoločenstiev na hodnoty indexu sucha)



Obr. 4.52 Zmena indexu preferencie zatienenia spoločenstiev bystruškovitých vo väzbe na vlhkosť prostredia vyjadrenú indexom SPEI pre 24 mesiacov. (šípka naznačuje posun odozvy spoločenstiev na hodnoty indexu sucha)

Výsledky preukázali, že sucho ako bioklimatologické riziko má svoj vplyv na biodiverzitu aj v humídnej oblasti Tatranského národného parku. Sucho z roku 2007 nebolo veľmi významné v porovnaní s mimoriadnymi suchými epizódami, ktoré sa v tatranskej oblasti vyskytli za ostatné polstoročie. Predsa bol jeho vplyv jasne identifikovaný na spoločenstvách bystruškovitých, ktoré vzhľadom na svoje postavenie na vrchole trofickej pyramídy epigeických entomocenóz reflektujú ekologický stav ich biotopu. Pokles počtu jedincov, biomasy i druhov, bol zaznamenaný na všetkých výskumných plochách. Najmenej výrazný vplyv malo sucho na lokalitách s najmenšou mierou poškodenia (*NEX*), resp. bez poškodenia (*REF*).

Vplyv sucha sa zvyšuje s úrovňou poškodenia plôch. Najväčšia stabilita resp. dynamická stabilita spoločenstiev bystruškovitých vo vzťahu k bioklimatickému riziku sucha je najvyššia na ploche s nepoškodeným lesným porastom. Najmenej stabilné spoločenstvá sú na zhoreniskách, čo ich z pohľadu možných dopadov sucha identifikuje ako najrizikovejšie plochy.

Najpodobnejšia štruktúra spoločenstiev bystruškovitých k referenčnému lesnému porastu je na lokalite s nevyťažanou kalamitou, čo naznačuje že odolnosť plochy s nespracovanou kalamitou v zmysle zachovania ekologickej štruktúry voči riziku sucha je porovnateľná s nepoškodeným lesom.

Zistená bola jednoročná odozva spoločenstiev bystruškovitých na zmenené podmienky klimatu.

Na záver uvádzam tabelárne vyjadrený vzťah medzi modelovanou vlhkosťou vrchnej vrstvy pôdy a zmenami počtu druhov v spoločenstvách bystruškovitých na výskumných plochách (*REF*, *EXT*, *FIR*, *NEX*). Ako bolo uvedené v predchádzajúcej kapitole, presnosť modelu medziročných zmien objemovej vlhkosti pôdy nie je vysoká, a preto je znázornená na záver iba ako doplnková charakteristika.

4. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Tab. 4.4 Vyjadrenie závislosti medziročných zmien modelovanej vlhkosti pôdy a počtu druhov na plochách pokalamitného výskumu

	2007	2008	2009	2010	2011
(FIR) θ %	12	14	12	14	13
Počet druhov	20	9	9	13	15
(NEX) θ %	17	17	16	19	17
Počet druhov	9	7	10	15	13
(REF) θ %	33	38	39	40	39
Počet druhov	13	10	13	15	17
(EXT) θ %	37	43	40	43	42
Počet druhov	15	9	12	20	15

θ % – percentuálne vyjadrená objemová vlhkosť pôdy, *FIR* – zhorenisko, *NEX* – nevyťažená kalamita, *REF* – referenčná plocha, *EXT* – vyťažená plocha

5 ZÁVER

Sucho sa ako bioklimatologické riziko vyskytuje aj v humídnej oblasti Tatranského národného parku. Vo väčšine prípadov sa epizódy mimoriadneho sucha vyskytujú počas cyklicky sa opakujúcich málovodných období s periódou približne dvadsať rokov. Momentálne zrážkovo nadnormálne obdobie môže byť sporadicky vystriedané náhlymi výskytmi sucha, ako tomu bolo v rokoch 2003 či 2007.

Hlavným činiteľom ovplyvňujúcim zrážkovú činnosť v tatranskej oblasti je západné zonálne prúdenie. Zhodne so stúpajúcim indexom západnej zonality, stúpa v ostatných dvadsiatich rokoch počet výskytov mimoriadne vlhkých epizód, resp. klesá počet suchých, čo potvrdzuje súčasné zrážkovo nadnormálne obdobie. Tento vzostup počtu zrážkovo nadnormálnych epizód je doložený signifikantne rastúcim trendom časového radu ($\alpha = 0,01$) indexu SPI na všetkých sledovaných stanicích, no na nízko položených stanicích v zrážkovom tieni Tatier (Liptovský Hrádok, Poprad a Tatranská Lomnica) bol tento rastúci trend menej výrazný ($R^2 = 0,01$ až $R^2 = 0,063$) v porovnaní s horskými stanicami či stanicou Červený Kláštor lokalizovanej mimo zrážkového tieňa ($R^2 = 0,14$ až $R^2 = 0,37$).

Standardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index *SPEI* indikoval nevýrazný arídny trend na stanicích Liptovský Hrádok ($R^2 = 0,015$) a Poprad ($R^2 = 0,008$), ktorý bol spôsobený nevýrazným rastom úhrnu zrážok a signifikantným rastom teploty vzduchu v období 1961 – 2010 ($\alpha = 0,001$). Vo vyšších nadmorských výškach a taktiež na najnižšie položenej stanici Červený Kláštor smerovali trendy k humídnej klíme. Teda nevýrazný arídny trend sa prejavuje len v záveterných oblastiach Liptovskej kotliny, v našom prípade na stanicích Liptovský Hrádok a Poprad.

Najrizikovejšími oblasťami z pohľadu potenciálnych dopadov sucha v podmienkach zmenenej klímy sú teda oblasti rozprestierajúce sa južne a juhovýchodne od hlavného hrebeňa Tatier. V Tatranskom národnom parku sa jedná najmä o Jamnickú, Bystrú, Račkovú, Tichú a Kôprovú dolinu a prakticky celú oblasť vetrovej kalamity z roku 2004 v pásme od obce Tatranská Kotlina po Vyšné Hágy. Toto geografické rozloženie rizika sucha tiež naznačuje možné problémy pri obnove lesa po veternej kalamite z roku 2004 v budúcnosti.

Potenciálne dopady sucha na území Tatier z pohľadu vlhovej zabezpečenia ekosystému, resp. primárnych producentov neboli pri výskyte epizód mimoriadneho sucha zaznamenané v nadmorských výškach nad 900 m n.m. Táto hranica sa však vplyvom zvýšenia teploty vzduchu môže v budúcnosti posunúť smerom nahor.

Nástup hydrologického sucha sa vzhľadom na geologickú stavbu Tatier a fluvioglaciálne sedimenty javí ako pomerne rýchly. Pomerne spoľahlivá väzba medzi

pozorovaným výskytom hydrologického sucha a jeho indikáciou za pomoci *SPI* dáva optimistický výhľad pre ďalší výskum možností jeho predikcie a mitigácie.

Metóda hodnotenia vodného režimu pôd pomocou deterministického modelu GLOBAL má z dôvodu špecifických vlastností lesných pôd v Tatrách viaceré úskalia. Vzhľadom na skeletnosť a heterogenitu pôd je pomerne náročné a finančne nákladné odobrať dostatočný počet pôdnych vzoriek a vykonať rozbor ich hydrofyzikálnych vlastností tak, aby vystihovali pôdne pomery konkrétnej lokality. Model je závislý taktiež na kvalite stanovených začiatkových podmienkach a vstupných údajoch.

Sucho ako bioklimatologické riziko pre biotu Tatranského národného parku bolo hodnotené na príklade spoločenstiev bystruškovitých sledovaných kontinuálne na plochách poškodených vetrovou kalamitou v roku 2004 a požiarom v roku 2005, ako i na ploche nepoškodeného lesného porastu.

Sucho v roku 2007 nie je z pohľadu závažných epizód za posledné pol storočie veľmi významné. Jeho vplyv je však jasne preukázaný zmenami štruktúry spoločenstiev bystruškovitých. Pokles počtu druhov, jedincov a biomasy bol zaznamenaný na všetkých lokalitách. Je zároveň zrejmé, že dopady sucha sa prehĺbujú so stúpajúcou úrovňou poškodenia lokality. Najmenšie dopady boli zistené v spoločenstvách v nepoškodenom lese a nevyťaženej kalamity, kde bol pokles počtu druhov malý, na 70 – 80 % hodnôt z predchádzajúceho roku. Tu sa ale spoločenstvá vplyvom vhodnejších podmienok klimatu v nasledujúcich rokoch vrátili do pôvodného stavu. Najväčšie vplyvy boli zaznamenané na stacionároch zhorenísk, kde bol zaznamenaný pokles počtu druhov na úroveň 30 % z predchádzajúceho roku.

Najväčšia stabilita spoločenstva bystruškovitých bola zistená v nepoškodenom lese. Táto sa prejavovala tým, že uvoľnenie ekologickej niky veľkými druhmi ako *Carabus glabratus* či *Carabus violaceus* následkom sucha bolo kompenzované zvýšením abundancie iných charakteristických stenotopných lesných druhov bystruškovitých, napr. *Pterostichus unctulatus*. Protipólom sú opäť spoločenstvá zhorenísk. Z hľadiska stavu biotopu indikovaného spoločenstvami bystruškovitých sa najzraniteľnejšie voči vplyvom sucha javia obe zhoreniská.

Neodstránenie vyvrátených stromov z lokality Jamy (*NEX*) umožnilo zachovať rovnakú štruktúru spoločenstva bystruškovitých, ako v nepoškodenom lese. Taktiež dopady sucha tu boli najmenej výrazné z pomedzi kalamitných plôch. Naznačuje to, že východiská obnovy lesa sú najpriaznivejšie práve na tejto lokalite. Z pohľadu bioklimatologického rizika sucha v budúcnosti, môže byť tento ekologický, resp. sukcesný „náskok“ významný.

Spoločenstvá bystruškovitých vzhľadom na jednoročný reprodukčný cyklus väčšiny druhov bystruškovitých, ako i zložité medzidruhové vzťahy reagujú na zmeny klimatu s jednoročným oneskorením, kvantifikovateľným sledovaním výskytu imág, v našom prípade do zemných pascí.

Sucho ako potenciálny zdroj ohrozenia biodiverzity, hodnotený na modelovej skupine bystruškovitých, je vzhľadom na významné zmeny biotopov po veternej kalamite z roku 2004 závažný fenomén. Výsledky ukázali zásadný vplyv úrovne poškodenia biotopu na potenciálne dopady sucha ako rizikového faktora.

V kontexte geografického rozloženia rizika sucha interpretovaného počtom suchých období, ktoré sa z veľkej časti zhoduje s oblasťou masívnej vetrovej kalamity, budú veľmi výrazne ovplyvňovať úroveň rizika ohrozenia biodiverzity suchom správne zvolené manažmentové opatrenia ochrany prírody. Táto požiadavka je najväčšmi naliehavá na ploche zhoreniska. Výkyvy sekundárnej sukcesie spoločenstiev bystruškovitých, spôsobené na tejto lokalite suchom v synergii s vykášaním vegetácie, indikujú dočasne nepriaznivé pôsobenie jednosmerne zameraných opatrení na obnovu lesa bez zohľadnenia bioklimatologických rizík.

V tomto smere je aktuálnou výzvou zostavenie mapy potenciálnych bioklimatologických rizík a zoznamu aplikovateľných opatrení zameraných na elimináciu výskytu, resp. zmiernenie ich dopadu s ohľadom na ekosozologické kritériá vyplývajúce zo štatútu Tatranského národného parku.

6 LITERATÚRA

- ABRAMS M. D., 1994: Genotypic and phenotypic variation as stress adaptations in temperate tree species: a review of several case studies, *Tree Physiol.* 14 s. 833–842.
- ARCHAUX, F., WOLTERS, V., 2006: Impact of summer drought on forest biodiversity: What do we know? *Annals of Forest Science* 63 (6), pp. 645-652.
- BALE J., MASTERS G., HODKINSON I., AWMACK C., BEZEMER T., BROWN V., BUTTERFIELD J., BUSE A., COULSON J., FARRAR J., GOOD J., HARRINGTON R., HARTLEY S., JONES T., LINDROTH R., PRESSM., SYMRNIODIS I., WATT A., WHITTAKER J., 2002: Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores, *Glob. Change BIOL.* 8, s. 1–16.
- BATES, B.C., Z.W. KUNDZEWICZ, S. WU AND J.P. PALUTIKOF, EDS., 2008: Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 s
- BATTISTI A., STASTNY M., NETHERER S., ROBINET C., SCHOPF A., ROQUES A., LARSSON S., 2005: Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures, *Ecol. Appl.* 15, 2084–2096.
- BENETIN, J., 1970: Dynamika pôdnej vody. Bratislava, Vydavateľstvo SAV.
- BENETIN, J., ŠOLTÉSZ, A., ŠTEKAUEROVÁ, V., 1985: Bilančný matematický model na podrobnú analýzu časovej variability zložiek vodného režimu pôd. *Vodohosp. Čas.*, 33. pp. 585-609.
- BRÁZDIL, R., KIRCHNER, K. A KOL. 2007: Vybrane přírodní extremy a jejich dopady na Moravě a ve Slezku. Masarykova univerzita v Brně, Brno, s. 266-282.
- BRÁZDIL, R., TRNKA, M., DOBROVOLNÝ, P., CHROMÁ, HLAVINKA, P., ŽALUD, Z., 2009: Variability of droughts in the Czech Republic, 1881-2006. *Theor Appl Climatol.*, Vol. 97, 3-4, s. 297-315.
- BRÉDA N., HUC R., GRANIER A., DREYER E., 2006: Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences, *Ann. For. Sci.* 63, 623–642.
- BUDYKO, M., ZUBENOK, L., 1961: The determination of evaporation from the land surface (in Russian). *Izv Ak Nauk SSR Se Georg* 6:3-17.
- BURMEISTER, F., 1939: Biologie, Ökologie und Verbreitung der europäischen Käfer auf systematischer Grundlage. I. Band: Adephaga, I, Familiengruppe: Caraboidea. Hans Goecke Verlag. Krefeld, 307 str.
- CAHYNOVÁ, M., 2005: Vliv severoatlantské oscilace na sezonní teploty vzduchu ve střední Evropě. *Meteorologické zprávy*, 58, 2005, pp. 41-46.

- CANCELLIERE, A., DI MAURO, G., BONACCORSO, B., ROSSI, G., 2007: From the issue entitled "Water Resources for the Future". Drought forecasting using the Standardized Precipitation Index. *Water Resources Management*. Volume 21, Number 5, s. 801-819.
- CEGLAR, A., ČREPNIŠEK, Z., KAJFEŽ-BOGATAJ, L., 2008: Analysis of meteorological drought in Slovenia with two drought incies. *BALWOIS 2008 – Ohrid, Republic of Macedonia – 27, 31 May 2008*, 10s.
- CLELAND, E. E., CHUINE, I., MENZEL, A., MOONEY, H. A., SCHWARTZ, M. D., 2007: Shifting plant phenology in response to global change, *Trends in Ecology & Evolution*, Volume 22, Issue 7. s. 357-365.
- CUTORE, P., DI MAURO, G., CANCELLIERE, A. 2009: Forecasting palmer index using neural networks and climatic indexes. *Journal of Hydrologic Engineering*, 14 (6), s. 588-595.
- ČERVENKOVÁ, A., RENČO, M., 2011: Pôdne nematódy lesných ekosystémov Vysokých Tatier po veternej kalamite. In: Fleischer, P., Homolová, Z., (eds.), *Štúdie o Tatranskom národnom parku*, 10 (43), 203-209.
- ČIMO, J., ŠPÁNIK, F., 2007: Periódy sucha v podmienkach klimatickej zmeny Podunajskej nížiny. In: STŘELCOVÁ, K., ŠKVARENINA, J. & BLAŽENEC, M. (eds.): "BIOCLIMATOLOGY AND NATURAL HAZARDS" International Scientific Conference, Poľana nad Detvou, Slovakia, September 17 – 20.
- ČUCHTA, P., MIKLISOVÁ, D., KOVÁČ, Ľ., 2011: Zmeny v spoločenstvách chvostoskokov (Collembola, Hexapoda) na plochách polomového porastu smrekového lesa Vysokých Tatier dva roky po požiari. In: Fleischer, P., Homolová, Z., (eds.), *Štúdie o Tatranskom národnom parku*, 10 (43), 209-221.
- DAWKINS, R., 1976: *The selfish gene*. Oxford University Press. Oxford. 353 p.
- DEMETEROVÁ, B., 2000: Analýza hydrologického sucha. In: *Bioklimatológia a životné prostredie, XIII. bioklimatologická konferencia SBkS a ČBkS, Košice 12-14 September*.
- DING, YA., SCHOENGOLD, K., TADESSE, T., 2009: The Impact of Weather Extremes on Agricultural Production Methods: Does Drought Increase Adoption of Conservation Tillage Practices? *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 34 (3): 395-411.
- DOLEŽELOVÁ, M., 2007: Projevy severoatlantské oscilace v časové variabilitě teploty vzduchu a srážek na území České republiky. *Meteorologický časopis*, 10, 2007, pp. 91-101.
- DOODGE, F. C. I., 1967: The hydrologic circle as a closed system. In: *Proc. Int. Hydrol. Symp., Fort Collins, Colorado*.

- DUBROVSKY, M., SVOBODA, M. D., TRNKA, M., HAYES, M. J., WILHITE, D. A., ŽALUD, Z., HLAVINKA, P., 2008: Application of relative drought indices in assessing climate-change impacts on drought conditions in Czechia. *Theor. Appl. Climatol.* (2009) 96: 155-171.
- DUNNETT N.P., WILLIS A.J., HUNT R., GRIME J.P., 1998: A 38 year study of relations between weather and vegetation dynamics in road verges near Bibury, Gloucestershire, *J. Ecol.* 86, s. 610–623.
- ETTERSON J.R., SHAW R.G., 2001: Constraint to adaptative evolution in response to global warming, *Science* 294, s. 151–154.
- FALLOON, P., BETTS, R., 2010: Climate impacts on European agriculture and water management in the context of adaptation and mitigation--The importance of an integrated approach. *Science of The Total Environment*. Vol. 408, 23, s. 5667-5687.
- FAŠKO, P., LAPIN, M., SEKÁČOVÁ, Z., ŠŤASTNÝ, P., 2003: Extraordinary climatic anomaly in 2003. *Meteorologický časopis*, 6, 3, 2003. s. 3 – 7.
- FAY P., CARLISLE J., KNAPP A., BLAIR J., COLLINS S., 2000: Altering rainfall timing and quantity in a mesic grassland ecosystem: design and performance of rainfall manipulation shelters, *Ecosystems* 3, 308–319.
- FERENČÍK, J., 2011: Podkôrníkovité (Coleoptera: Scolytidae) – dôležitý deštruenti lesa v pokalamitnom vývoji vo Vysokých Tatrách. In: Fleischer, P., Homolová, Z., (eds.), *Štúdie o Tatranskom národnom parku*, 10 (43), 257-269.
- FLEISCHER, P., GIORGI, S., 2007: Meteorological monitoring on windstorm research sites. In: P. FLEISCHER, F. MATEJKA (eds.): *Pokalamitný výskum v TANAPe 2007*, Zborník príspevkov, Tatranská Lomnica, 25-26 okt. 2007, Bratislava: Geofyzikálny ústav SAV. CD-ROM.
- FLEISCHER, P., ŠKVARENINA, J., KOREŇ, M., KUNCA, V., 2007: Ohrozenie tatranských lesov. In: Sťahelcová, K., Škvarenina, J. & Blaženec, M. (eds.): “*BIOCLIMATOLOGY AND NATURAL HAZARDS*” International Scientific Conference, Poľana nad Detvou, Slovakia, September 17 – 20, 2007.
- FLEISCHER, P., 2008: Windfall research and monitoring in the High Tatra Mts., objectives, principles, methods, and current status. In: *Contribution to Geophysics and Geodesy* 38/3. s. 233-248.
- FLEISCHER, P., HYBLER, J., 2008: Teplota a vlhkosť pôdy na kalamitných plochách. In: Zborník príspevkov z III. Seminára Pokalamitný výskum v TANAP-e, 2008 Kongresové centrum ACADEMIA, Stará Lesná 20.-21. november 2008. s. 70-77. CD-ROM
- FLEISCHER, P., HOMOLOVÁ, Z., 2011: Dlhodobý výskum ekologických pomerov v spoločenstve smerkovcových smrečín vo Vysokých Tatrách po prírodných disturbanciách. *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, 57(4): 237–250.

- FLEMING R., VOLNEY W., 1995: Effects of climate change on insect defoliator population processes in Canada's boreal forest: some plausible Scenarios, *Water Air Soil Pollut.* 8, s. 445–454.
- GORDON C., WOODIN S.J., ALEXANDER I.J., MULLINS C.E., 1999: Effects of increased temperature, drought and nitrogen supply on two up-land perennials of contrasting functional type: *Calluna vulgaris* and *Pteridium aquilinum*, *New Phytol.* 142, 243–258.
- GRODZKI W., JAKUS R., LAJZOVÁ E., SITKOVÁ Z., MACZKA T., ŠKVARENINA J. 2006, Effects of intensive versus no management strategies during an outbreak of the bark beetle *Ips typographus* (L) in the Tatra Mts. in Poland and Slovakia, *Ann. For. Sci.* 63 (2006): 55-61.
- HADDAD N. M., TILMAN D., KNOPS J. M. H., 2002: Long-term oscillations in grassland productivity induced by drought, *Ecol. Lett.* 5, 110–120.
- HAIŠ, M., 2008: VLIV ODLESNĚNÍ A ODUMÍRÁNÍ HORSKÝCH SMRČIN NA TEPLoty KRAJINNÉHO KRYTU A MOŽNÉ DÚSLEDKY PRO FORMOVÁNÍ ODTOKU V OBLASTI CENTRÁLNÍ ŠUMAVY. In: LANGHAMMER, J. ed. (2008): Údolní niva jako prostor ovlivňující průběh a následky povodní. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Praha., s. 137-143.
- HALLSTRÖM, B., JANKE, A., 2010: Mammalian Evolution May not Be Strictly Bifurcating. *Mol. Biol. Evol.*, 27 (12): pp. 2804-2816.
- HANSEN, S., JENSEN, H. E., NIELSEN, N. E., SVEDSEN, H., 1990: DAISY: A Soil Plant System Model. Danish simulation model for transformation and transport of energy and matter in the soil-plant-atmosphere system. The National Agency for Environmental Protection, Copenhagen, 1990.
- HAYES, MICHAEL J., MARK D. SVOBODA, DONALD A. WILHITE, OLGA V. VANYARKHO, 1999: Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 429–438.
- HAYES, M. J., DUBROVSKÝ, M., TRNKA, M., SVOBODA, M. D., WILHITE, D. A., ŽALUD, Z., SEMERÁDOVÁ, D., 2005: Application of drought indices to assess drought conditions in changed climate. In: AGU Pall Meeting, San Francisco, 5-9 December 2005, poster- abstracts available, <http://www.agu.org/meetings/fm05/waisfm05.html>
- HEIM, JR., R. R., 2000: Drought indices: A review, Chapter 11. In *Drought: A Global Assessment* (Donald A. Wilhite, ed.). (*Routledge Hazards and Disasters Series*, volume 1). Routledge: London, 159-167.
- HEIM, R. R., 2002: A review of Twentieth-Century drought indices used in the United States. *Bull Amer Meteor Soc* 83: 1149-116
- HIMMELBAUER, M.L.; NOVÁK, V., MAJERČÁK, J., 2008: Citlivosť vlhkostných profilov v koreňovej oblasti pôdy na funkcie odberu vody koreňmi rastlín, určených

- z rozdielnych morfológických parametrov koreňového systému. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 56 (1). s. 34-44.
- HLAVÁČOVÁ, K., SZOLGAY, J., HALMOVÁ, D., PARAJKA, J., KOHNÓVÁ, S., 2008: Zmeny hydrologického režimu Slovenských tokov a základné adaptačné opatrenia na zmenu klímy vo vodnom hospodárstve. In: *Národný klimatický program*, zv. 12, MŽP SR, Bratislava, s. 61-87.
- HOLKO, L., KOSTKA, Z., 2008: Impact of landuse on runoff in mountain catchments of different scales
Soil and Water Research, 3 (3), s. 113-120.
- HOLKO, L., ŠKVARENINA, J., KOSTKA, Z., FRIČ, M., STAROŇ, J., 2009: Impact of spruce forest on rainfall interception and seasonal snow cover evolution in the Western Tatra Mountains, Slovakia *BIOLOGIA*, 64 (3), s. 594-599.
- HOLKO, L., KOSTKA, Z., 2011: Hodnotenie zmien hydrologického režimu v subpovodiach horného Popradu pred a po veternej kalamite. In: *Fleischer, P., Homolová, Z., (eds.), Štúdie o Tatranskom národnom parku*, 10 (43), 87-99.
- HOMOLOVÁ, Z., ŠOLTÉS, R., KYSELOVÁ, Z., ŠKOLEK, J., 2011: Iniciálne štádiá sukcesie na kalamitných plochách s rôznym typom manažovania v Tatranskom národnom parku. In: *Fleischer, P., Homolová, Z., (eds.), Štúdie o Tatranskom národnom parku*, 10 (43), 145-157.
- HOOPER D.U., CHAPIN F.S., EWEL J.J., HECTOR A., INCHAUSTI P., LAVOREL S., LAWTON J.H., LODGE D.M., LOREAU M., NAEEM S., SCHMID B., SETALA H., SYMSTAD A.J., VANDERMEER J., WARDLE D.A., 2005: Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge, *Ecol. Monographs*. 75, 3–35.
- HULME, M., 2002: The changing climate of the UK: now and in the future pp.9-26 in, *Climate change: impacts on UK forests*, (ED.) BROADMEADOW, M., *Forestry Bulletin No 125*, Institute of Chartered Foresters/Forestry Commission, Edinburgh, UK, 198pp.
- HŮRKA, K., 1996: *Carabidae České a Slovenské republiky*. Vyd. Kabourek. Zlín: 565 s.
- IGAZ, D., MATIÁŠOVÁ, Z., ŠIŠKA, B., 2005: URČOVANIE ZLOŽIEK VODNEJ BILANCIE MODELOM GLOBAL. IGAZ, D., ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (ed): „Bioklimatologie současnosti a budoucnosti“, Křtiny 12. – 14.9.2005, CD ROM
- IGAZ, D., TÓTHOVÁ, I., SAMUHEL, P., 2007: Vyhodnotenie obsahu pôdnej vody s využitím simulačných modelov GLOBAL a DSSAT 4. In: *STŘELCOVÁ, K., ŠKVARENINA, J. & BLAŽENEC, M. (eds.): “BIOCLIMATOLOGY AND NATURAL HAZARDS” International Scientific Conference, Poľana nad Detvou, Slovakia, September 17 – 20, 2007.*

- IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [HOUGHTON, J.T., Y. DING, D.J. GRIGGS, M. NOGUER, P.J. VAN DER LINDEN, X. DAI, K. MASKELL, AND C.A. JOHNSON (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp.
- IZAKOVIČOVÁ, Z., 2009: Integrovaný manažment povodí. Život. Prostr., Vol. 43, No. 6, pp. 323-327.
- JAKUBÍKOVÁ, V., VINCEOVÁ, A., SEMANOVÁ, M., 2010: Klasenie pšenice ozimnej (*Triticum aestivum* L.) na Podunajskej a Východoslovenskej nížine. In: Kožnarová, V., Sulovská, S., (eds.) Bioklima 2010, Bioklíma 2010 Mezinárodní konference Praha 7. až 9. 9. 2010. pp. 43- 45.
- JÁNOS, T., NAGY, A., 2009: ADVANCED EVALUATION OF SPATIAL INHOMOGENITY OF LIGHT SANDY SOIL. In: International Symposia Risk Factors for Environment and Food Safety & Natural Resources and Sustainable Development, Faculty of Environmental Protection, November 6-7 Oradea 2009. pp. 338- 348.
- KAPALA, A., MÄCHEL, H., FLOHN, H., 1998: Behaviour of the centers of action above the Atlantic since 1881. International Journal of Climatology, vol. 18, 1. pp. 1-22.
- KIEHL, J.T., A TRENBERTH, K., 1997: Earth's annual mean global energy budget, Bulletin of the American Meteorological Society 78 (2), 197–208.
- KLEMENTOVÁ, E., LITSCHMANN, T., 2001: Hodnotenie sucha s ohľadom na doplnkové závlahy. In: Bioklimatologické pracovné dni 2001: Extrémy prostredia (počasie) – limitujúce faktory bioklimatologických procesov. Medzinárodná vedecká konferencia 10. – 12. september 2001, Račková dolina, Slovensko.
- KLEMENTOVÁ, E., LITSCHMANN, T., 2004: The agro-climatic drought in Slovakia in 2003. Meteorologické zprávy, 7,1. 11-17.
- KLIMÁNEK, M., 2002: KLIMATICKÝ VLIV NOVOMLÝNSKÝCH NÁDRŽÍ A LUŽNÍ LES. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (ed.): XIV. Česko-slovenská bioklimatologická konference, Lednice na Moravě 2.-4. září 2002, ISBN 80-85813-99-8, s. 161-179.
- KMEŤ, J., KURJAK, D., 2010: Odozva stresu zo sucha vo fyziologickom stave smerka: fluorescencia chlorofylu. In: STŘELCOVÁ, K., SITKOVÁ, Z., KURJAK, D., (eds.) Zborník abstraktov z vedeckého seminára „STRES SUCHOM A LESNÉ PO- RASTY“, 27. – 28. apríl 2010, Predná Poľana, s. 38- 40.
- KOCIAN L, TOPERCER J, BALÁŽ E, & FIALA J, 2005: Vtáky TANAP-u hniezdíace v prostredí zasiahnutom smršťou a ich hniezdne nároky v rôznych typoch prostredia. Folia faunistica Slovaca, 10 (7): 37–43.
- KOLEKTÍV, 1960: Klimatické pomery Hurbanova. Hydrometeorologický ústav v Prahe. s. 138- 163.
-

- KONAR, M., MUNEEPEERAKUL R., AZAELE, S., BERTUZZO, E., RINALDO, A., RODRIGUEZ-ITURBE, I., 2010: Potential impacts of precipitation change on large-scale patterns of tree diversity, *Water Resour. Res.*, 46.
- KONČEK, M., 1955: Index zavlaženia. *Meteorologické zprávy*, 1955 roč. VIII., č. 4, s. 96-99.
- KONČEK, M., (ed.) 1974: *Klima Tatier*. Vydavateľstvo Slovenskej Akadémie Vied, Bratislava. 503-507.
- KONÔPKA, B., KONÔPKA, J., 2010: Abiotické škodlivé činitele v kontexte klimatickej zmeny. In: Kunca, A., (ed.): *Aktuálne problémy v ochrane lesa 2010*. Zborník referátov z medzinárodného seminára, 15-16.4.2010, Nový Smokovec. 68-77.
- KOVÁČ, M., 2009: Integrovaný manažment vodných zdrojov a pôdneho fondu. *Život. Prostr.*, Vol 43, No. 6 pp. 328-331.
- KOVALČIKOVÁ, D., KURJAK, D., STŘELCOVÁ, K., DITMAROVÁ, L., 2010: Fyziologická reakcia sadeníc smreka (*Picea abies*, L.) na rôznu úroveň stresu zo sucha. In: STŘELCOVÁ, K., SITKOVÁ, Z., KURJAK, D., (eds.) *Zborník abstraktov z vedeckého seminára „STRES SUCHOM A LESNÉ PORASTY“*, 27. – 28. apríl 2010, Predná Poľana, s. 46- 47.
- KREČMER, V. 1980: *Bioklimatologický slovník terminologický a explikativní*. Academia, Praha, 244s.
- KŘÍSTEK, J., URBAN, J., 2004: *Lesnická entomologie*. Academia, Praha, 2004, 445 s.
- KRIŠTÍN, A., 2001: Invasive Animals. *Životné Prostredie*, Vol. 35, No. 2. s. 68-72.
- KRIŠTOFÍK, J., ŠUSTEK, Z., 1996: Classification and dynamics of the brachycerous flies (Diptera, Brachycera) assemblages in the Danube floodplain forest in trap samples. *Quad. Staz. Ecol. civ. Mus. St. nat. Ferrara*, 10. pp. 81-106.
- KRIŽOVÁ, E., CHOVANCOVÁ, G., HOMOLOVÁ, Z., 2011: Produkcia biomasy a konkurenčné vzťahy vybraných druhov na monitorovaných plochách vo Vysokých Tatrách. In: Fleischer, P., Homolová, Z., (eds.), *Štúdie o Tatranskom národnom parku*, 10 (43), 157-169.
- KRŠKA, K., RACKO, S., Mimoriadne teplé leto 1994 v Českej a v Slovenskej republike. *Meteorologické zprávy*, 49, 1, pp. 12-21.
- KYSELÝ, J., 2004: Mortality and displaced mortality during heat waves in the Czech Republic. *Int. J. Biometeorol.* 49, pp. 91-97.
- LAMB, P. J., PEPPLER, R. A., 1987: North Atlantic Oscillation: Concept and an application. *Bulletin of American Meteorological Society*, vol. 68, 10. pp. 1218- 1225.
- LAPIN, M. 1985: Stručne o teórii klimatického systému Zeme, najmä v súvislosti so zmenou klímy. *Meteorologický časopis*, 8, 1, s. 25 – 34.
- LAPIN M., FAŠKO, P., 1996: Úhrny zrážok na Slovensku a zmeny atmosferickej cirkulácie v období 1874-1993. *Meteorologické zprávy*, 49, s. 1 – 11.

- LAPIN, M., ŠŤASTNÝ, P., 2000: Radiačné zosilnenie, klimatická zmena a iné súvislosti rastu skleníkového efektu atmosféry. In.: Zborník z 15. medzinárodného slnečného seminára konaného 19-23. VI. 2000, Patince, Slovensko. Slovenská ústredná hviezdáreň Hurbanovo, 222-229.
- LAPIN, M., DAMBORSKÁ, I., FAŠKO, P., MELO, M., ŠŤASTNÝ, P., 2000: Scenarios of climatic extremes for Slovakia In.: *Prace geograficzne. – Vol. 108, Images of Weather and Climate*, Inst. of Geogr., Jagellonian Univ., Cracow, pp. 159-170.
- LAPIN, M., MELO, M., TOMLAIN, J., FAŠKO, P., ŠŤASTNÝ, P., 2002: Klimatický index zavláženia, Končekov index. In: *Atlas krajiny Slovenskej republiky*. SAŽP, Banská Bystrica, 2002, s. 95.
- LAPIN, M., DAMBORSKÁ, I., DRINKA, R., FAŠKO, P., GAÁL, L., MELO, M., 2008: Úvod k scenárom extrémnych poveternostných situácií a vybrané výsledky spracovania. In: *Národný klimatický program*, zv. 12, MŽP SR, Bratislava, 9-30
- LAPIN, M., 2010: Zmena a zmeny klímy – možné dôsledky na Slovensku. In: BOHUŠ, M. (ed.): *Zborník abstraktov zo seminára Ochrana a využívanie prírody a krajiny Vznik, vývoj a smerovanie Katedry ekosoziológie a fyziotaktiky Bratislava*, 3. 12. 2010. s. 26- 27.
- LARSSON, S. G., 1939: Entwicklungstypen und Entwicklungszeiten der dänischen Carabiden. *Entomologisk Meddelelser*, 20: 277-560.
- LITSCHMANN, T., ROŽNOVSKÝ, J., 2001: Palmerův index závažnosti sucha a jeho aplikace pro lokalitu Žabčice. In: ROŽNOVSKÝ, J., JANOUŠ, D. (ed): *Sucho, hodnocení a predikce. Pracovní seminář*, Brno 19.11.2001. Dostupné online: <http://old.chmi.cz/meteo/CBKS/sucho01/litschmann.pdf>
- LOVEJOY, T., HANNAH, L., (eds.), 2005: *Climate Change and Biodiversity*. New Haven, Yale Univ. Press, 440 p.
- MACGILLIVRAY, C. W., GRIME, J.P., BAND, S. R., BOOTH, R., CAMPBELL, B., HENDRY, G., HILLIER, S., HODGSON, J., HUNT, R., JALILI, A., MACKAY, J., MOWFORTH, M., NEAL, A., READER, R., RORISON, I., SPENCER, R., THOMPSON, K., THORPE, P.C., 1995: Testing predictions of the resistance and resilience of vegetation subjected to extreme events, *Funct. Ecol.* 9, 640–649.
- MAJERČÁK, J., NOVÁK, V., 1994: GLOBAL, one-dimensional variable saturated flow model, including root water uptake, evapotranspiration, structure, corn yield, interception of precipitation and winter regime calculation. *Research Report*, Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, 75 p.
- MAJERČÁK, J., NOVÁK, V., VIDOVIČ, J., 1996: The model cornway – a tool for analysing the relation between soil-water regime and the yield of maize (*zea mays*l.). *International Agrophysics*. Vol. 10, nr. 4 (1996), pp. 269-276.
- MAJERČÁK, J., 2002: *Matematický simulačný model ako nástroj pre diagnózu a prognózu vodného režimu pôdneho profilu s rastlinným krytom: dizertačná práca*, Bratislava 2002, 111 s.

- MANIKA, S. A., HOWARD, G. W., 2010: Climate change and invasive species: double jeopardy. *Integrative Zoology*, 5: 102–111.
- MATEJKA, F., HUŽULÁK, J., 1987: Analýza mikroklimy porastu. VEDA, Bratislava. 232s.
- MATEJKA, F., HURTALOVÁ, T., 2008: Mikroklimatické podmienky v kalamitnej oblasti TANAP-u. In: Zborník príspevkov z III. Seminára Pokalamitný výskum v TANAP-e, 2008 Kongresové centrum ACADEMIA, Stará Lesná 20.-21. november 2008. pp. 148-156. CD-ROM
- MATEJKA, F., FLEISCHER, P., 2011: Energetická bilancia kalamitnej oblasti TANAP-u. In: Fleischer, P., Homolová, Z., (eds.), Štúdie o Tatranskom národnom parku, 10 (43), 77-87.
- MAYR, E., 2001: What Evolution Is. Basic Book, 2001. 411 p.
- MCDONALD, A. M., MATTEWS, K. B., PATERSON, E., ASPINALI, R. J., 1994: The impact of climate change on the soil moisture regime of scottish mineral soils. *Environmental Pollution*, Vol. 83, Iss 1-2, pp. 245-250.
- McKEE, T. B., DOESKEN, J. N., KLEIST, J., 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, Eighth Conf. on Applied Climatology, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 179–184.
- MENZEL, A., SPARKS, T.H., ESTRELLA, N., KOCH, E., AAASA, A., AHAS, R., ALM-KÜBLER, K., BISSOLLI, P., BRASLAVSKÁ, O., BRIEDE, A., CHMIELEWSKI, F.M., CREPINSEK, Z., CURNEL, Y., DAHL, Å., DEFILA, C., DONNELLY, A., FILELLA, Y., JATCZAK, K., MÅGE, F., MESTRE, A., NORDLI, Ø., PEÑUELAS, J., PIRINEN, P., REMIŠOVÁ, V., SCHEIFINGER, H., STRIZ, M., SUSNIK, A., VAN VLIET, A.J.H., WIELGOLASKI, F.-E., ZACH, S., ZUST, A., 2006: European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, 12 (10), pp. 1969-1976.
- MIKLÓS, L., 2009: Integrovaný manažment krajiny a jeho nástroje. *Život. Prostr.*, Vol 43, No. 6 pp. 315-322.
- MINDÁŠ, J., LAPIN, M., ŠKVARENINA, J., 1996: Klimatické zmeny a lesy Slovenska. In: Národný klimatický program, zv. 5, MŽP SR, Bratislava, pp. 1-96.
- MINDÁŠ, J., ŠKVARENINA J., 2003. Lesy Slovenska a globálne klimatické zmeny. Zvolen, EFRA, LVÚ: 129 s.
- MORAVEC, J., 1994: Fytocenologie. Academia, Praha, 403 p.
- MORECROFT M. D., BEALEY C. E., HOWELLS E., RENNIE S., WOIWOD I. P., 2002: Effects of drought on contrasting insect and plant species in the UK in the mid-1990s, *Glob. Ecol. Biogeogr.* 11, 7–22.
- NAGY, V., ŠTEKAUEROVÁ, V., 2006: Using of new methods of soil water content measurement for intention of soil water regime optimization — Bioclimatology and water in the land. International scientific conference, Strečno, Slovakia, ISBN 80-89186-12-2, 10 p.

- NEKOVÁŘ, J., 2010: BUDOUCÍ CHOVÁNÍ ČLOVĚKA V DUSLEDKU KLIMATICKÉ ZMĚNY. In: Kožnarová, V., Sulovská, S., (eds.) Bioklima 2010, Bioklima 2010 Mezinárodní konference Praha 7. až 9. 9. 2010. s. 288- 294. CD ROM
- NEKOVÁŘ, J., BAGAR, R., 2010: Trend indexu Severoatlantské Oscilace (NAO) v období 1950 – 2009. In: Kožnarová, V., Sulovská, S., (eds.) Bioklima 2010, Bioklima 2010 Mezinárodní konference Praha 7. až 9. 9. 2010. pp. 87-88.
- NIEDZWIEDZ, T., 1993: Changes of atmospheric circulation (using the P, S, C, M indices) in the winter season and their influence on air temperature in Cracow. Early Meteorological Instrumental Records in Europe – Methods and Results, Zeszyty Naukowe UJ – Prace Geograficzne, Krakow. 95s, 107-113.
- NOVÁK, V., KŇAVA, K., 2011: The influence of stoniness and canopy properties on soil water content distribution: simulation of water movement in forest stony soil. European Journal of Forest research. pp. 1-9, [doi:10.1007/s10342-011-0589-y](https://doi.org/10.1007/s10342-011-0589-y)
- OLESEN, J. E., TRNKA, M., KERSEBAUM, K. C., SKJELVAG, A. O., SEGUIN, B., PELTONEN-SAINIO, P., ROSSI, F., KOZYRA, J., MICALE, F., 2011: Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. European Journal of Agronomy. Vol. 34, 2. p. 96- 112.
- OREŇÁK, M., ŠKVARENINA, J., FRIČ, M., HRÍBIK, M., 2010: Intercepcia zrážok v horskej smrečine západných Tatier v rokoch 2007-2009. Meteorologický časopis, 13, 2-3, pp. 87-92.
- ORFÁNUS, T., BEDRNA, Z., LICHNER, Ľ., HALLETT, P. D., KŇAVA, K., SEBÍŇ, M., 2008: Spatial variability of water repellency in pine forest soil. In Soil and Water Research, vol. 3, no. 1, pp. 123-129.
- ORFÁNUS, T., FODOR, N., 2011: K problematike protipovodňovej funkcie lesa v Tatrách. In: Fleischer, P., Homolová, Z., (eds.), Štúdium o Tatranskom národnom parku, 10 (43), 99-109.
- ORWIG D.A., ABRAMS M.D., 1997: Variation in radial growth responses to drought among species, site, and canopy strata, Trees 11, 474–484.
- PALMER, W. C., 1965: Meteorological drought. U.S. Department of Commerce Weather Bureau Research Paper 45, 58 pp.
- PAULO, A. A., PEREIRA, S. L., 2007: Prediction of SPI Drought Class Transitions Using Markov Chains. Water Resources Management, 2007, Volume 21, Number 10, 1813-1827.
- PECHO, J., FAŠKO, P., LAPIN, M., KAJABA, P., MIKULOVÁ, K., ŠTASTNÝ, P., 2010: EXTRÉMNE ATMOSFÉRICKE ZRÁŽKY NA JAR A NA ZAČIATKU LETA 2010 NA SLOVENSKU. Meteorologický časopis, 13, s.69 – 80.
- PEKÁROVÁ, P., 2009: Viacročné kolísanie prietokov v regióne horného Dunaja. Doktor-ská dizertačná práca, UH SAV, Bratislava. Dostupné on-line: <http://147.213.145.2/pekarova>

- PEKÁROVÁ, P., MIKLÁNEK, P., PEKÁR, J., 2010: Možnosti dlhodobej predikcie prietokov slovenských tokov na základe indexu severoatlantickej oscilácie NAOI. ACTA HYDROLOGICA SLOVACA, Ročník 11, č. 2, 2010, 282 – 290.
- PEREIRA, S. L., ROSA, D. R., PAULO, A. A., 2007: Testing a Modification of the Palmer Drought Severity Index for Mediterranean Environments. Methods and Tools for Drought Analysis and Management Water Science and Technology Library, 2007, Volume 62, Part II, 149-167.
- PETERKEN G.F., MOUNTFORD E.P., 1996: Effects of drought on beech in Lady Park Wood, an unmanaged mixed deciduous woodland, Forestry 69, 125–136.
- PETROVIČ, P., 1985: Model vertikálnej bilancie DAIR a jeho aplikácie pre Hurbanovo a Znojmo. Pos. HDP Brno, č. N62/85, VÚVH, Bratislava, Sept., pp. 11.
- POHAJÁŠOVÁ, J., PEŘVALSKÝ, V., ŠUSTEK, Z., URMINSKÁ, J., ONDRIŠÍK, P., NOSKOVIČ, J., 2008: Long-termed changes in ground beetle (Coleoptera: Carabidae) assemblages in a field treated by organic fertilizers. Biologia 63/6: Section Zoology, pp.1184—1195.
- POHAJÁŠOVÁ, J., ŠUSTEK, Z., NOSKOVIČ, J., URMINSKÁ, J., ONDRIŠÍK, P., 2010: Spatial changes and succession of carabid communities (Coleoptera, Insecta) in semi-natural wetland habitats of the Žitava river floodplain. FOLIA OECOLOGICA – vol. 37, no. 1, pp. 75-85.
- POOLE, R. W., 1974: An introduction to Quantitative Ecology. McGraw-Hill, New-York, 532 str.
- POTOP, V., MOŽNÝ, M., 2011: The application a new drought index – Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. In: Středová, H., Rožnovský, J., Litschmann, T., (eds.): Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogénních prostředí. Skalní mlýn, 2.-4.2 2011.
- PRIWITZER, T., 2010: Odozva stresu zo sucha vo fyziologickom stave smerka: fotosyntéza a fenologické fázy. In: STŘELCOVÁ, K., SITKOVÁ, Z., KURJAK, D., (eds.) Zborník abstraktov z vedeckého seminára „STRES SUCHOM A LESNÉ PORASTY“, 27. – 28. apríl 2010, Predná Poľana, s. 40- 42.
- PŠIDOVÁ, E., DITMAROVÁ, Ľ., KURJAK, D., VAĽKA, J., 2010: Reakcia vybraných proveniencií buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) na sucho. In: Čelková, A., (ed.) 18. Posterový deň s medzinárodnou účasťou a Deň otvorených dverí na ÚH SAV, Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda-rastlina-atmosféra. 11. november 2010, ÚH SAV, Bratislava. CD-ROM
- RAUŠER, J., ZLATNÍK, A., 1966: Biogeografie I. Národní atlas CSSR, list 21, separát.
- RAWLS, W. J., BRAKENSIEK, D. L., SAXTON, K. E., 1982: Estimation of soil water properties. Transactions of ASAE. Vol. 25, No. 5, 5pp. 1316-1320.
- REBETEZ, M., MAYER, H., DUPOND, O., SCHINDLER, D., GARTNER, K., KROPP, J. P., MENZEL, A., 2006: Heat and Drought 2003 in Europe: a climate synthesis. Ann. For. Sci. 63, 569-577.

- RICHARDS, L. A., 1931: Capillary conduction of liquids through porous media. *Physics* 1, pp. 318-333.
- ROUAULD, G., CANDAU, J. N., LIEUTIER, F., NAGELEISEN, L. M., MARTIN, J. C., WARZÉE, N., 2006: Effects of drought and heat on forest insect populations in relation to the 2003 drought in Western Europe. *Annals of Forest Science*. Vol. 63 No. 6, 613–624.
- SHMÚ, 2007: Priebeh počasia na Slovensku v roku 2006. [online] /14.6.2011/ dostupné na internete: <http://www.shmu.sk/File/Klima/Pocasio2006.pdf>
- SHMÚ, 2008: Priebeh počasia na Slovensku v roku 2007. [online] /14.6.2011/ dostupné na internete: <http://www.shmu.sk/File/Klima/Pocasio2007.pdf>
- SCHEER, L., SEDMÁK, R., 2007: *Biometria*. Vydavateľstvo TU vo Zvolene, Zvolen. 334 s.
- SITKOVÁ, Z., HLÁSNY, T., VIDA, T., SITKO, R., FLEISCHER, P., 2010: Analýza klimatických pomerov Vysokých Tatier v súvislosti s vetrovou kalamitou v novembri 2004. In: *Výskum smrečín destabilizovaných škodlivými činiteľmi*. Národné lesnícke centrum vo Zvolene, Zvolen. 249-267.
- SIVAKUMAR, M., MOTH, R., DAS, H. 2005: *Natural disasters and Extreme events in agriculture*. Springer, Berlin, 376 p.
- SIVAKUMAR, M.V.K., MOTH, R. P., WILHITE, D. A., WOOD, D. A., (Eds.) 2010: *Agricultural drought indices. Proceedings of an expert meeting, 2-4 June 2010, Murcia, Spain*. WMO, Geneva, 219p.
- SKÁLOVÁ, J., 2003: Možnosti určenia vlhkostných retenčných kriviek pôdy. In: ŠÍŠKA, B., IGÁZ, D., MUCHA, M., (ed.), *Bioklimatologické pracovné dni 2003, (International Bioclimatological Workshop 2003) Račková dolina 2-4.9.2003*. Dostupné online: www.cbks.cz
- SOBÍŠEK, B., 1993: *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. MŽP ČR, Praha, 594 s.
- SOKOROVÁ, M., Režim vlhkosti pôdy vo vzťahu k atmosférickým zrážkam. In: STŘELCOVÁ, K., (ed.) *ATMOSFÉRA 21. STOROČIA, ORGANIZMY A EKOSYSTÉMY*, Zborník referátov z medzinárodnej vedeckej konferencie, Zvolen 7.-9. septembra 1999, s. 28-32.
- SOUKALOVÁ, E., Příčinný déšť a povodně na Blanensku a Žďársku v červenci 2002. *Meteorologické zprávy*, 55, 5, pp. 141-144.
- STEHLOVÁ, K., ŠTEKAUEROVÁ, V., 2006: Impact of Extreme Meteorological Phenomena on Soil Water Storage of Slovakia Typical Lowland Site. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, Vol. 71 (2006) No. 3. pp. 95-102.
- STŘELCOVÁ, K., BLÁŽENEC, M., KOVALČÍKOVÁ, D., KRIŠŠÁK, V., 2010: Transpiračná odozva Smreka obyčajného (*Picea abies*, L.) na stres suchom: Základné fakty zo zavlažovacieho pokusu. In: STŘELCOVÁ, K., SITKOVÁ, Z., KURJAK, D., (eds.)

- Zborník abstraktov z vedeckého seminára „STRES SUCHOM A LESNÉ PORASTY“, 27. – 28. apríl 2010, Predná Poľana, pp. 44-45
- SVOBODA M., 2005. Množství a struktura mrtvého dřeva a jeho význam pro obnovu lesa ve smrkovém horském lese v oblasti rezervace Trojmezná. Zprávy lesnického výzkumu, 50: 34–45.
- SVOBODA M. 2007: Tlející dřevo – jeho význam a funkce v horském smrkovém lese. In: DVOŘÁK, L., ŠUSTR, P., BRAUN, V., (eds), Aktuality šumavského výzkumu III, p. 115–118, Správa NP a CHKO Šumava. Dostupné online: <http://www.npsumava.cz/gallery/10/3121-aktuality3.pdf>
- ŠÁLEK, M., 2001: Výskyt tornáda v obci Studnice 19. dubna 2000. Meteorologické zprávy, 54, 1., 8-15.
- ŠEBEŇ, V., HOMOLOVÁ, Z., FLEISCHER, P., 2011: Vývoj obnovy lesa na plochách po kalamitného výskumu. In: Fleischer, P., Homolová, Z., (eds.), Štúdie o Tatranskom národnom parku, 10 (43), 187-203.
- ŠIMONOVICHOVÁ, A., HANAJÍK, P., VYKOUKOVÁ, I., 2011: Zmeny pôdnych vlastností vo vzťahu k pôdnej mikrobiote a rastlinnému spoločenstvu na kalamitných plochách vo Vysokých Tatrách. In: Fleischer, P., Homolová, Z., (eds.), Štúdie o Tatranskom národnom parku, 10 (43), 51-61.
- ŠIMUNEK, J., HUANG, K., ŠEJNA, M., VAN GENUCHTEN, TH. M., MAJERČÁK, J., NOVÁK, V., ŠÚTOR, J., 1997: The HYDRUS-ET Software Package for Simulating the One Dimensional Movement of Water, Heat and Multiple Solutes in Variably Saturated Media. Version 1.1. 1997, Institute of Hydrology S.A.S Bratislava – U.S. Salinity Laboratory, Riverside., 184 p.
- ŠIŠKA, B., MINĎÁŠ, J., ŠKVARENINA, J., 2004: Zmeny podnebia, extrémny počasie a pôdohospodárstvo. In: Bioklimatologické pracovné dni 2004. Medzinárodná konferencia 23.–26. 8. 2004, Viničky, okr. Trebišov, Slovensko. 15 s.
- ŠIŠKA B., TAKÁČ J., IGÁZ D 2005: Climate change impacts on winter wheat yield on Danubian lowland in Slovak republic. Contemporary agriculture. Savremena poljopriveda, 54, 1-2, s. 324-328.
- ŠKODA, P., MAJERČÁKOVÁ, O., DEMETEROVÁ, B., DANÁČOVÁ, Z., 2008: Zhodnotenie vývoja minimálnych prietokov na území Slovenska. In: Národný klimatický program, MŽP SR, Bratislava, s. 49-60.
- ŠKVARENINA, J., TOMLAIN, J., 2000: Posúdenie dôsledkov zmeny klímy na vodnú bilanciu lesných vegetačných stupňov. In: Národný klimatický program, zv. 9, MŽP SR, Bratislava, pp. 47-56.
- ŠKVARENINA, J., TOMLAIN, J., HRVOJ, J., ŠKVARENINOVÁ, J., HLAVATÁ, H., 2008: Výskyt suchých a vlhkých období vo vegetačných stupňoch západných karpát na slovensku: analýza časového radu 1951-2005 a prognóza očakávaných zmien klímy. In: Národný klimatický program, zv. 12, MŽP SR, Bratislava, pp. 123-142.

- ŠKVARENINOVÁ, J., DOMČEKOVÁ, D., SNOPOKOVÁ, Z., ŠKVARENINA, J., ŠIŠKA, B., 2008: Phenology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in the Zvolen basin, in dependence on bio-meteorological factors. *Folia oecologica* – vol 35, No. 1, pp. 40–47.
- ŠOLTÉS, R., ŠKOLEK, J., HOMOLOVÁ, Z., KYSELOVÁ, Z., 2007: Sekundárna sukcesia na kalamitných plochách v rokoch 2005-2007. In: P. FLEISCHER, F. MATEJKA (eds.): Pokalamitný výskum v TANAPe 2007, Zborník príspevkov, Tatranská Lomnica, 25-26 okt. 2007, Bratislava: Geofyzikálny ústav SAV. CD-ROM.
- ŠUSTEK, Z., 1984: Bioindikačné vlastnosti bystruškovitých a drobčikovitých (Coleoptera, Carabidae et Staphylinidae) stredoeurópskeho veľkomesta. Kand. diz. práca ÚBE CBEV SAV, Bratislava, 366 pp. + 24 tabuliek a 338 grafov
- ŠUSTEK, Z., 1994a: Lužné lesy a osud ich fauny. *Vesmír*, Vol. 74, No. 6, s. 326-329.
- ŠUSTEK, Z., 1994b: Impact of water management on a Carrabid community (*Insecta, Coleoptera*) in a central european floodplain forest. *Quad. Staz. Ecol. civ. Mus. St. nat. Ferrara*, 6. pp. 293-313.
- ŠUSTEK, Z., 2000: Spoločenstvá bystruškovitých (Coleoptera, Carabidae) a ich využitie ako doplnkovej charakteristiky geobiocenologických jednotiek: problémy a stav poznania. In: Štykar, J., Čermák, P. (eds.): Geobiocenologická typizace krajiny a její aplikace, Geobiocenologické spisy, sv. 5, MZLU v Brně, 2000, pp. 18–30.
- ŠUSTEK, Z., 2004: Charakteristika vlhkostných nárokov a vzťahu k vegetačnému krytu vybraných druhov stredoeurópskych bystruškovitých (*Col., Carabidae*). In: POLEHLA, P. (ed.): Hodnocení stavu a vývoje lesních geobiocenóz. Sborník příspěvků z mezinárodní konference 15-16. 10. 2004 v Brně, Geobiocenologické spisy, sv.9, MZLU v Brně, 2004, pp. 210-214.
- ŠUSTEK, Z., 2007: Veterná katastrofa vo Vysokých Tatrách v roku 2004 a jej dopad na spoločenstvá bystruškovitých (*Col. Carabidae*). In: P. FLEISCHER, F. MATEJKA (eds.): Pokalamitný výskum v TANAPe 2007, Zborník príspevkov, Tatranská Lomnica, 25-26 okt. 2007, Bratislava: Geofyzikálny ústav SAV. CD-ROM.
- ŠUSTEK, Z., 2008: Distribution of Carabid beetles (Coleoptera, Carabidae) along a seminatural hedgerow in South Moravia. *Muzeul Olteniei Craiova. Oltenia. Studii și comunicări. Științele Naturii*, Tom. XXIV/2008, 85-96.
- ŠUSTEK, Z., 2010: SUCCESSION OF CARABID COMMUNITIES IN DIFFERENT TYPES OF REED STANDS IN CENTRAL EUROPE. *Muzeul Olteniei Craiova. Oltenia. Studii și comunicări. Științele Naturii*. Tom. 26, No. 1/2010. pp. 127-138.
- ŠUSTEK, Z., 2011: Veterná kalamita vo Vysokých Tatrách a jej dopad na spoločenstvá bystruškovitých (Coleoptera, Carabidae). In: Fleischer, P., Homolová, Z., (eds.), Štúdie o Tatranskom národnom parku, 10 (43), 245-257.

- ŠÚTOR, J. 1991: Pôdna voda v systéme využiteľných vodných zdrojov. *Vodohospodársky časopis*, Vol. 39, No. 5 – 6, s. 435 – 447.
- ŠÚTOR, J., 2000: Hodnotenie a interpretácia obsahu vody v zóne aerácie pôdy s využitím monitoringu. *Acta Hydrologica Slovaca*, 1/1, s. 143-153.
- ŠÚTOR, J., MAJERČÁK, J., 2000: Kvantifikácia dynamiky zásob vody v nenasýtenej zóne pôdy ako súčasti hydrologického cyklu. In: *Zb. Hydrologické dny*, 5. Národná konferencia, 18-21. Sept., 2000, Plzeň, s. 83-88.
- ŠÚTOR, J., ŠTEKAUEROVÁ, V., 2000: Hydrofyzikálne vlastnosti pôd Žitného ostrova. Ústav hydrológie SAV, Bratislava. 163 p.
- ŠÚTOR, J., 2001: Water in the Zone of Soil Aeration. *Životné Prostredie*, Vol. 35, No. 3. Dostupné online: <http://www.uke.sav.sk/zp/2001/zp3/sutor.htm>
- TAKÁČ, J., ŠIŠKA, B., 2008: Dôsledky klimatickej zmeny na úrody poľných plodín na podunajskej nížine. In: *Národný klimatický program*, zv. 12, MŽP SR, Bratislava, pp. 113-122.
- TAKÁČ, J., ŠIŠKA, B., 2009: Climate Change Impact on Spring Barley and Winter Wheat Yields on Danubian Lowland. *Bioclimatology and natural hazards*, 2009, Part IV, pp. 283-288.
- TALL, A., 2007: Impact of canopy on the water storage dynamics in soil. *Cereal Research Communications*, Vol. 35, No. 2, pp. 1185-1188.
- THILE, H.-U., 1977: *Carabid beetles in their Environment*. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg – New York, 369 str.
- THORNTHWAITE, C. W., 1948: An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38 (1): 55-94.
- TOMLAIN, J., 1991: Charakteristika suchých a vlhkých oblastí Slovenska. In: *Zborník prác SHMÚ*. 33/1, vydavateľstvo Alfa, Bratislava, s. 173-179.
- TOMLAIN, J., 1996: DÔSLEDKY OČAKÁVANEJ KLIMATICKEJ ZMENY NA ZMENY POTENCIÁLNEJ A SKUTOČNEJ EVAPOTRANSPIRÁCIE NA SLOVENSKU. In: ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (ed.): XII. Česko-slovenská bioklimatologická konferencia, Velké Bílovice, 1996.
- TOMLAIN, J., 1999: Dôsledky klimatickej zmeny na evapotranspiráciu z lesnej cenózy na vybraných staniách stredného Slovenska. In: STŘELCOVÁ, K., (ed.) *ATMOSFÉRA 21. STOROČIA, ORGANIZMY A EKOSYSTÉMY*, Zborník referátov z medzinárodnej vedeckej konferencie, Zvolen 7.-9. septembra 1999, s. 23-28.
- TOWNSEND, R. C., BEGON, M., HARPER, L. J., 2008: *Essentials of Ecology*. Blackwell Publishing 2008, 495 p.
- TRNKA, M., KYSELÝ, J., MOŽNÝ, M., DUBROVSKÝ, M., 2009a: Changes in Central-European soil-moisture availability and circulation patterns in 1881- 2005. *International Journal of Climatology*. 2009. Vol. 29, No. 5, pp. 655-672.

- TRNKA, M., DUBROVSKÝ, M., SVOBODA, M., SEMERÁDOVÁ, D., HAYES, M., ŽALUD, Z., WILHITE, D., 2009b: Developing a regional drought climatology for the Czech Republic. *International Journal of Climatology*, 29: 863-883.
- TSAKIRIS, G., VANGELIS, H., 2004: Towards a Drought Watch System based on Spatial SPI. *Water Resources Management*, 2004, Vol. 18, No. 1, pp. 1-12.
- TSCHAKERT, P., SAGOE, R., OFORI-DARKO, G., CODJOE, S. N., 2010: Floods in the Sahel: An analysis of anomalies, memory, and anticipatory learning. *Climatic Change*. Vol. 103, No. 3, pp. 471-502.
- TUŽINSKÝ, L., 1999: Períody sucha v lesných pôdach pod lesnými ekosystémami s rozdielnym drevinovým zložením. In: STŘELCOVÁ, K., (ed.) *ATMOSFÉRA 21. STOROČIA, ORGANIZMY A EKOSYSTÉMY*, Zborník referátov z medzinárodnej vedeckej konferencie, Zvolen 7.-9. septembra 1999, s. 23-28.
- VAN GENUCHTEN, M. TH., LEIJ, F. J., YATES, S. R., 1991: The RECT code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. US Salinity Laboratory, US Dept. of Agriculture, Agriculture research service, Riverside California. 85 p.
- VIDA, T., ŠKVARENINA, J., TUČEK, J., MAJLINGOVÁ, A., FLEISCHER, P., 2008: Analýza meteorologických podmienok a sucha pri vzniku lesných požiarov na kalamitných plochách TANAP-u v roku 2005. In: ŠÍR, M., TESAŘ, M., LICHNER, L., (ed.): „Hydrologie malého povodí 2008“, Praha, Česká republika, s. 335-340.
- VIDO, J., ŠKVARENINOVÁ, J., BORSÁNYI, P., 2010: Vybrané jesenné fenofázy Duba letného a Hlohu obyčajného v závislosti od zrážkových pomerov vo vegetačnom období hodnotené indexom SPI: In: ČELKOVÁ, A., (ed.) 18. Posterový deň s medzinárodnou účasťou a Deň otvorených dverí na ÚH SAV, Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda-rastlina-atmosféra. 11. november 2010, ÚH SAV, Bratislava. CD-ROM
- VINCENTE-SERRANO, S., LASANTA, T., GARCIA, C., 2010: Aridification determines changes in forest growth in *Pinus halepensis* forests under semiarid Mediterranean climate conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*. 150, 614-628.
- VÍTKOVÁ, J., PÁSZTOROVÁ, M., 2010: Zmeny v zásobe vody v pôde pri použití odlišných vstupov dvoch meteorologických prvkov. In: ČELKOVÁ, A., (ed.) 18. Posterový deň s medzinárodnou účasťou a Deň otvorených dverí na ÚH SAV, Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda-rastlina-atmosféra. 11. november 2010, ÚH SAV, Bratislava. CD-ROM
- VOLOŠČUK, I., 2003: Hodnotenie ekologickej stability lesných ekosystémov na trvalých monitorovacích plochách v Biosférickej rezervácii Poľana. In: *Acta facultatis ecologiae*. Vol. 10 : journal of Faculty of Ecology and Environmental Sciences Technical University in Zvolen. – Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2003. – ISSN 1336-300X. – s. 5-15.

- VYSKOT I., 1984: Integrace funkcí lesa v povodí biotechnickými metodami. In: Sbor. konf. 100 let meliorací a HB v ČSSR. Brno, VŠZ: 116–125.
- WATSON, R. T., ZINYOWERA, M. C., MOSS, R. H., (eds.) 1996: Technologies, Policies and Measures for Mitigating Climate Change. IPCC Technical paper 1. IPCC. pp. 6-7.
- WILHELMI, O. V., HAYES, M. J., THOMAS, D. S. K., 2008: Managing drought in mountain resort communities: Colorado's experiences. *Disaster Prevention and Management*, Vol. 17, No. 5, pp. 672-680.
- WILHITE, D. A., 1982: Measuring drought severity and assessing impact. *International Symposium on Hydrometeorology*, June 1982, American Water Resources Association, 333- 335.
- WILHITE, D. A., GLANTZ, M. H., 1985: Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International*, 10, 111-120
- WILLIS, C. G., RUHFEL, B., PRIMACK, R. B., MILLER-RUSHING, A. J., DAVIS, C. C., 2008: Phylogenetic patterns of species loss in Thoreau's woods are driven by climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 105, 17029–17033.
- ZACH, P., KULFAN, J., 2010: Vetrové kalamity v horských lesoch a ich dopady na ekologické systémy. In: BOHUŠ, M. (ed.): Zborník abstraktov zo seminára Ochrana a využívanie prírody a krajiny Vznik, vývoj a smerovanie Katedry ekosozológie a fyziotaktiky Bratislava, 3. 12. 2010. s. 46 – 47.
- ZELEŇÁKOVÁ, M., SOĽÁKOVÁ, T., PURCZ, P., KUZEVIČOVÁ, Ž., DEMETEROVÁ, B., 2011: Hydrologické sucho na východnom Slovensku. In: Konferencia „Manažment povodí a povodňových rizík“, Častá – Papiernička. 8s.
- ZEREINI, F., HÖTZL, H., 2008: Climatic Changes and Water Resources in the Middle East and North Africa. *Environmental Science and Engineering*, 2008, pp. 145-164.
- ZHA, T., BARR, G. A., VAN DER KAMP, G., BLACK, T. A., MCCAUGHEY, H. J., FLANAGAN, L. B., 2010: Interannual variation of evapotranspiration from forest and grassland ecosystems in western canada in relation to drought, *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 150, Iss. 11, 15 October 2010, pp. 1476-1484.

Prílohy

Zoznam Príloh:

Príloha A – Zoznam druhov bystruškovitých zistených vo Vysokých Tatrách na plochách: *REF*, *EXT*, *FIR1*, *FIR2*, *VL*, *NEX* v rokoch 2007 až 2011. – TABUĽKA

Príloha B – Test štatistickej významnosti (*t test*) o zhodnosti priemerov modelovaných zrážkových úhrnov výpočtových bodov s nameranými úhrnmi zrážok z totalizátorov v rokoch 1997, 2003 a 2010. – TABUĽKA

Príloha C – Modelované priestorové zobrazenie počtu období sucha podľa *SPI* pre 3 mesiace bez korekcie rastrovým priemerom – MAPOVÝ VÝSTUP

Príloha D – Modelované priestorové zobrazenie počtu období sucha podľa *SPI* pre 12 mesiacov bez korekcie rastrovým priemerom – MAPOVÝ VÝSTUP

Príloha A – Prehľad druhov bystruškovitých zistených vo Vysokých Tatrách na plochách REF, EXT, FIR1, FIR2, VL, NEX v rokoch 2007 až 2011 a ich ekologické vlastnosti (H- preferencia vlhkosti; 1 – silne xerofilný, 8 – silne hydrofilný; VC – preferencia vegetačného krytu; 1 – heliofilné druhy otvorených krajiny, 4 – lesné druhy vyžadujúce úplné zatienenie; F – schopnosť letu; F – lietajúce druhy, N – nelietajúce druhy; HM – priemerná hmotnosť jedného jedínca (g))

Prehľad druhov - Carabidae	Ekologické vlastnosti		Výšné HÁGY - REF							Jany - NEX							Danišov dom - EXT							T. Zrubý dole - FIRa							T. Zrubý hore - FIRb							Vodný les - VL										
	H	VC	F	HM	7	8	9	0	1	7	8	9	0	1	7	8	9	0	1	7	8	9	0	1	7	8	9	0	1	7	8	9	0	1	7	8	9	0	1									
<i>Agonum sexpunctatum</i> (Linnaeus, 1758)	5	2	F	0,0350																																												
<i>Amara aenea</i> (De Geer, 1774)	3	1	F	0,0413																																												
<i>Amara erratica</i> (Dufschmidt, 1812)	3	1	F	0,0457																																												
<i>Amara eurynota</i> (Panzer, 1797)	3	1	F	0,0444																																												
<i>Amara familiaris</i> (Dufschmidt, 1812)	3	1	F	0,0413																																												
<i>Amara nitida</i> Sturm, 1825	3	1	F	0,1561																																												
<i>Amara ovata</i> (Fabricius, 1792)	3	1	F	0,213																																												
<i>Anisodactylus binotatus</i> (Fabricius, 1792)	6	2	F	0,0457																																												
<i>Bembidion lampros</i> (Herbst, 1784)	3	1	F	0,0172																																												
<i>Calathus metallicus</i> Dejean, 1828	5	3	N	0,1411																																												
<i>Calathus micropterus</i> Dufschmidt, 1812	3	3	N	0,0196																																												
<i>Carabus arvensis</i> Herbst, 1784	5	2	N	1,1332																																												
<i>Carabus auronitens</i> Fabricius, 1792	4	4	N	1,3251																																												
<i>Carabus coriaceus</i> Linnaeus 1758	5	4	N	6,5950																																												
<i>Carabus glabratus</i> Paykull, 1790	5	4	N	1,7415																																												
<i>Carabus hortensis</i> Linnaeus, 1758	4	4	N	1,7800																																												
<i>Carabus linnei</i> Dejean, 1826	5	4	N	1,0568																																												
<i>Carabus nemoralis</i> O. F. Müller, 1764	4	4	N	1,7370																																												
<i>Carabus violaceus</i> Linnaeus, 1758	5	4	N	1,7457																																												
<i>Cychrus caraboides</i> (Linnaeus, 1758)	5	4	N	0,9256																																												
<i>Harpalus affinis</i> (Schrank, 1784)	3	4	F	0,1873																																												
<i>Harpalus quadripunctatus</i> (Dejean, 1829)	4	4	F	0,0956																																												
<i>Harpalus latus</i> (Linnaeus, 1758)	4	4	F	0,1561																																												
<i>Leisius terminatus</i> (Helmwig in Panzer, 1793)	5	4	N	0,0520																																												
<i>Loricera caerulea</i> (Linnaeus, 1758)	4	4	F	0,0428																																												
<i>Microlestes maurus</i> (Sturm, 1827)	2	1	F	0,0072																																												
<i>Molops piceus</i> (Panzer, 1793)	4	1	F	0,0043																																												
<i>Notiophilus biguttatus</i> (Fabricius, 1779)	4	2	F	0,0240																																												
<i>Notiophilus palustris</i> (Dufschmidt, 1812)	4	2	F	0,0241																																												
<i>Poecilus cupreus</i> (Linnaeus, 1758)	4	2	F	0,2710																																												
<i>Poecilus versicolor</i> (Sturm, 1824)	4	2	F	0,2134																																												
<i>Pseudoophonus rufipes</i> (De Geer, 1774)	4	1	F	0,4126																																												
<i>Pterostichus aethiops</i> (Panzer, 1797)	5	1	N	0,0862																																												
<i>Pterostichus angustatus</i> (Dufschmidt, 1812)	5	4	N	0,1832																																												
<i>Pterostichus burneisterei</i> (Heer, 1801)	5	4	N	0,1546																																												
<i>Pterostichus foveolatus</i> Dufschmidt, 1812	5	4	N	0,2152																																												
<i>Pterostichus niger</i> (Schaller, 1783)	6	4	F	1,0600																																												
<i>Pterostichus niger</i> (Fabricius, 1792)	8	4	F	0,0812																																												
<i>Pterostichus oblongopunctatus</i> (Fabricius, 1787)	5	4	F	0,1941																																												
<i>Pterostichus strenuus</i> (Panzer, 1797)	7	4	F	0,0511																																												
<i>Pterostichus unctulatus</i> Dufschmidt, 1812	5	4	N	0,0530																																												
<i>Trechus amplipennis</i> Fairmaire, 1859	5	2	N	0,0159																																												
<i>Trechus latus</i> Putzeys, 1847	5	4	N	0,0248																																												
<i>Trechus striatulus</i> Putzeys, 1847	5	4	N	0,0082																																												

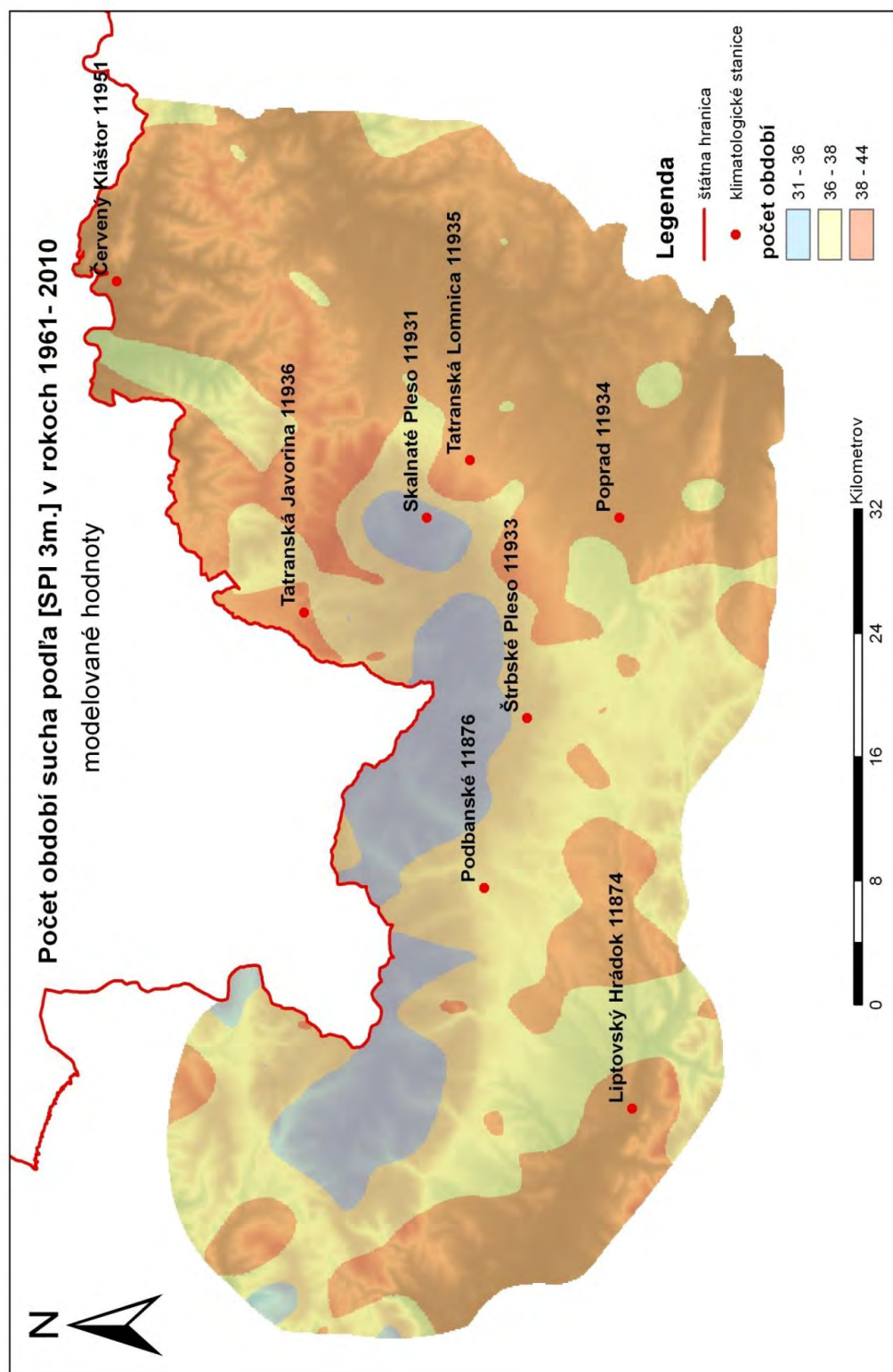
Príloha B – Test štatistickej významnosti (t test) o zhodnosti priemerov modelovaných zrážkových úhrnov výpočtových bodov s nameranými úhrnmi zrážok z totalizátorov v rokoch 1997, 2003 a 2010. – TABUĽKA

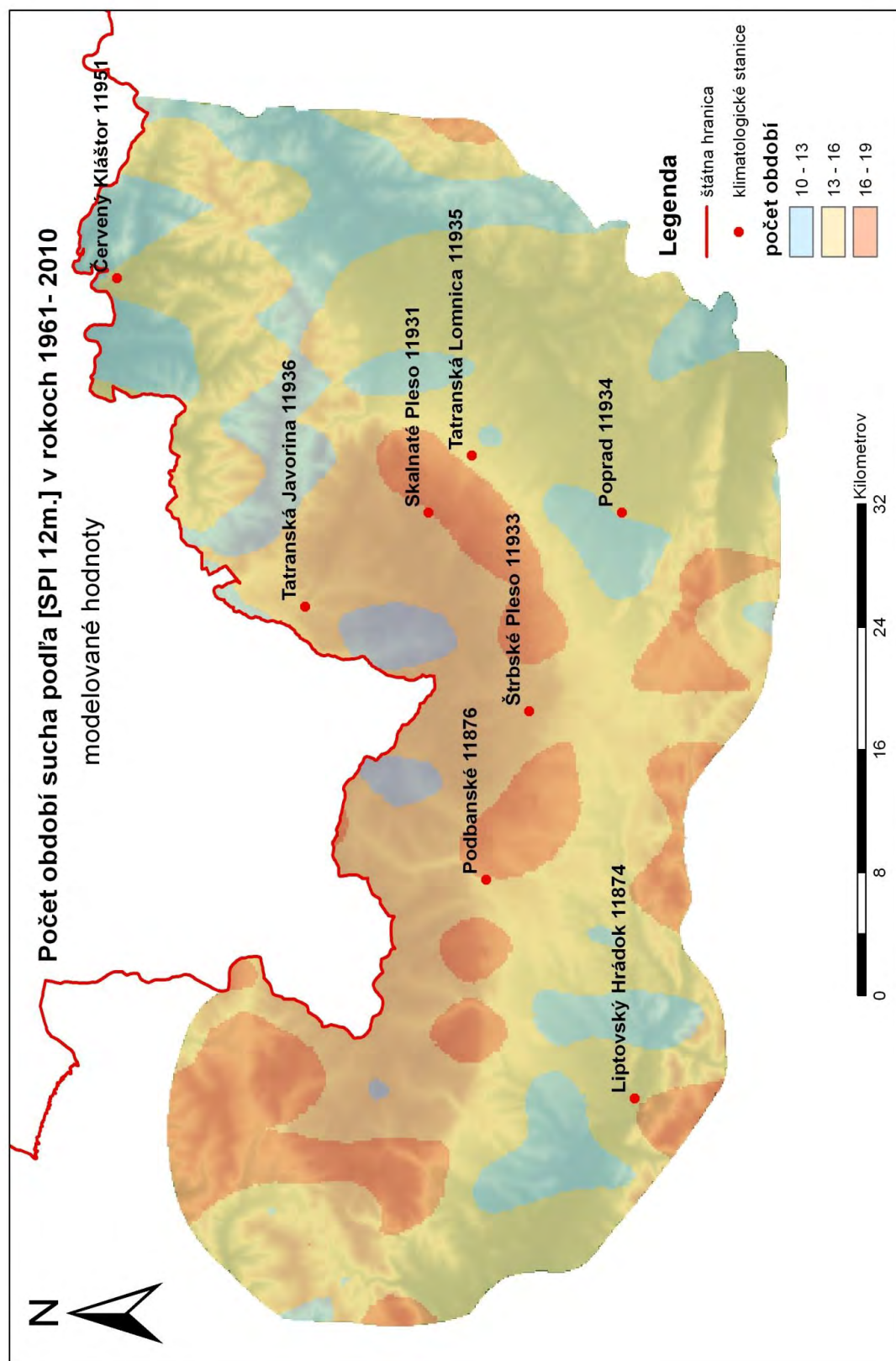
Štatistická významnosť podľa umiestnenia totalizátora

Totalizátor	Výpočtový bod	Hladina štatistickej významnosti	Pearsonova korelácia
Bystrá dolina	52z	$\alpha = 0,2$	0,96783012
Temnosmrčinské pleso	43z	$\alpha = 0,2$	0,967628339
Tichá dolina	45z	$\alpha = 0,2$	0,958386653
Račková dolina	53z	$\alpha = 0,2$	0,980521572
Biela skala	21z	$\alpha = 0,2$	0,929112252
Popradské pleso	89z	$\alpha = 0,2$	0,931580297
Hrebienok	100z	$\alpha = 0,2$	0,98597973
Javorinka	165v	$\alpha = 0,2$	0,984130081
Javorová dolina	174v	$\alpha = 0,2$	0,973610667

Štatistická významnosť podľa roka (kumulatívne vyjadrenie)

Rok	Hladina štatistickej významnosti	Pearsonova korelácia
1997	$\alpha = 0,1$	0,907589414
2003	$\alpha = 0,2$	0,870592336
2010	$\alpha = 0,2$	0,92477885

Príloha C – Modelované priestorové zobrazenie počtu období sucha podľa *SPI* pre 3 mesiace bez korekcie rastrovým priemerom

Príloha D – Modelované priestorové zobrazenie počtu období sucha podľa *SPI* pre 12 mesiacov bez korekcie rastovým priemerom



ISBN 978-80-973746-3-1

