23. Posterový deň s medzinárodnou účasťou a Deň otvorených dverí na ÚH SAV

TRANSPORT VODY, CHEMIKÁLIÍ A ENERGIE V SYSTÉME PÔDA-RASTLINA-ATMOSFÉRA

10. november 2016, Ústav hydrológie SAV, Dúbravská cesta 9, Bratislava, Slovenská republika

ÚSTAV HYDROLÓGIE SAV
INSTITUTE OF HYDROLOGY SAS

Zborník recenzovaných príspevkov

Proceedings of peer-reviewed contributions

23

Editor: Ing. A. Čelková

ISBN 978 - 80 - 89139 - 38 - 5

23rd International Poster Day and Institute of Hydrology Open Day

TRANSPORT OF WATER, CHEMICALS AND ENERGY IN THE SOIL-PLANT-ATMOSPHERE SYSTEM

10th November 2016, Institute of Hydrology SAS, Dúbravská cesta 9, Bratislava, Slovak Republic

Vedeckí garanti podujatia / Scientific Advisory Board

Ing. Veronika Bačová Mitková, PhD.
Ing. Milan Gomboš, CSc.
RNDr. Ladislav Holko, CSc.
RNDr. Pavol Nejedlík, CSc.
RNDr. Tomáš Orfánus, PhD.
Prof. RNDr. Dušan Podhorský, DrSc.
Doc. Ing. Jana Skalová, PhD.
Ing. Peter Šurda, PhD.
RNDr. Andrej Tall, PhD.

Organizátor / Conference Organizer:

Ústav hydrológie Slovenskej akadémie vied, Bratislava

Organizačný výbor / Organizing Comittee:

RNDr. Tomáš Orfánus, PhD. - predseda

Ing. Anežka Čelková
Ing. Magdaléna Malá
Ing. Katarína Mocková
Ing. Viliam Nagy, PhD.
Ing. Peter Šurda, PhD.
Ing. Justína Vitková, PhD.
Jitka Bokorová
Norbert Ružička
Zuzana Šramotová
Želmíra Štefunková

Zoznam recenzentov / List of reviewers:

Ing. Veronika Bačová Mitková, PhD.
Ing. Milan Gomboš, CSc.
RNDr. Ladislav Holko, CSc.
RNDr. Pavol Nejedlík, CSc.
RNDr. Tomáš Orfánus, PhD.
Prof. RNDr. Dušan Podhorský, DrSc.
Doc. Ing. Jana Skalová, PhD.
Ing. Peter Šurda, PhD.
RNDr. Andrej Tall, PhD.

Editor / Editor: **Ing. Anežka Čelková**

Autori / Authors: **Kolektív autorov**

Počet strán / Number of Pages: **352**
Počet kópií / Number of Copies: **100**

ISBN 978 - 80 - 89139 - 38 - 5

Publikácia neprešla jazykovou úpravou / This publication has not been proofread

23rd International Poster Day
Transport of Water, Chemicals and Energy in the Soil-Plant-Atmosphere System
Bratislava, 10.11.2016

Vážená kolegyňa, vážený kolega,

Na tomto CD nosiči nájdete 40 príspevkov a 9 ďalších abstraktov prezentujúcich najnovšie dosiahnuté prípadne rozpracované výsledky v širokom okruhu problémov súvisiacich s prenosom vody, energie a rozpustných látok v systéme pôda – rastlina - atmosféra. Navyše ďalších 23 príspevkov z tejto konferencie bude publikovaných v druhom tohoročnom čísle časopisu Acta hydrologica Slovaca (prístupné na http://www.ih.sav.sk/ah). Príspevky z tohto nosiča aj tie opublikované v AHS boli prezentované formou vedeckých „posterov“ na 23. medzinárodnom Posterovom dni na Ústave hydrológie Slovenskej akadémie vied (ÚH SAV), ktorý sa konal dňa 10. novembra 2016 po prvýkrát v nových priestoroch na Dúbravskej ceste č. 6. Sme veľmi potešení, že sťahovanie ÚH SAV z notoricky známych a obľúbených priestorov na Račianskej ulici nemalo negatívny vplyv na početnosť účastníkov tohoročnej konferencie. Na konferencii sa predstavili vedeckí pracovníci zo Slovenska, Českej republiky, Poľska, Rakúska, Maďarska a Slovinska. V zborníku nájdete okrem príspevkov z oblasti klasickej hydrológie a hydropedológie aj práce venujúce sa protipovodňovej a protieróznej ochrane, modelovaniu povodní, fenológii lesných drevín pod vplyvom klimatickej zmeny, bioindikácii klimatických zmien, výskytu sucha a iným problémom. Všetky príspevky prešli oponentúrou buď niektorého recenzenta zo zoznamu na predchádzajúcej strane, alebo v prípade niektorých špecifických tém, anonymným externým recenzentom. Účastníci konferencie sa opäť raz mali možnosť podeliť o skúsenosti v nových trendoch moderného výskumu systému pôda – rastlina - atmosféra, vzájomne sa inšpirovať a umožniť tak posilnenie vzájomnej spolupráce.
Ústav hydrológie SAV ďakuje touto cestou organizáciám, ktoré finančne podporili PD 2016:

Za organizátorov PD 2016

RNDr. Tomáš Orfánus, PhD.

vedúci organizačného tímu konferencie

23rd International Poster Day
Transport of Water, Chemicals and Energy in the Soil-Plant-Atmosphere System
Bratislava, 10.11.2016

Distinguished colleagues,

On this CD – proceedings there is 40 scientific articles and 9 more abstracts, which present the brand new results, achieved or elaborated in the broad area of problems related to water, energy, and solutes transport within the soil – plant – atmosphere system, there. Another 23 articles presented at the conference will be published within the this-year 2nd issue of Acta hydrologica Slovaca (AHS) journal (available on http://www.ih.sav.sk/ah). All articles on the CD and in the AHS were presented in the form of scientific "posters" at 23rd international Poster day at the Institute of Hydrology of the Slovak Academy of Sciences (IH SAS), which took place on 10th November 2016, for the first time in institute's new facilities in Dúbravska cesta no. 6. We are very pleased by the fact, that moving of IH SAS from notoriously known and familiar facilities on Račianska Street has not influenced the number of this-year conference participants. The scientists from Slovakia, Czech Republic, Poland, Austria, Hungary and Slovenia introduced their works at the conference. Besides articles from the area of classical hydrology or soil hydrology you can find also works focusing on flood-erosion protection, flood modelling, phenology of trees as influenced by climate change, bio-indication and drought occurrence, and others topics within the proceedings. All articles have past the review process by one of the reviewers from the list on the last page or in case of specific topics also by one of the external anonymous reviewers. The conference participants have once again had the opportunity to share their experiences with the new trends of modern research of the soil – plant – atmosphere system, the opportunity to inspire each-other and enable the strengthening of mutual collaboration. Institute of Hydrology SAS highly appreciates the financial support of PD 2016 from the following organizations:

RNDr. Tomáš Orfánus, PhD.

Chair of the organization team

KLIMATOLOGICKÁ ANALÝZA OBDOBIA 1961 - 2015 NA SLOVENSKU: VYUŽITIE ÚDAJOV SHMÚ A LESNÍCKEJ BIOMETEOROLOGICKEJ SIETE NLC

Zuzana Sitková[1], Zora Snopková[2], Svetlana Bičárová[3], Hana Pavlendová[1]

[1]Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, T. G. Masaryka 22, 960 92 Zvolen, Slovenská republika; e-mail: sitkova@nlcsk.org
[2] Slovenský hydrometeorologický ústav, Zelená 5, 974 01 Banská Bystrica, Slovenská republika; e-mail: zora.snopkova@shmu.sk
[3]Ústav vied o Zemi SAV, Geofyzikálny odbor, Stará Lesná, 059 60 Tatranská Lomnica, Slovenská republika; e-mail: bicarova@ta3.sk

---

Abstract
CLIMATOLOGICAL ANALYSIS OF PERIOD 1961-2015 IN SLOVAKIA: APPLICATION OF DATA OF SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE AND FORESTRY BIOMETEOROLOGICAL NETWORK OF NFC. The main objectives of this paper were: i) on the basis of various available datasets to analyze the development of climate in Slovakia since 1961; ii) to evaluate separately the weather and soil moisture measurements in 2015; iii) to utilize effectively the data sources from meteorological networks of Slovak Hydrometeorological Institute (SHMI) and National Forest Centre (NFC); iv) and via poster to point out and underline the intentions of biometeorological monitoring in the forest ecosystems of Slovakia. The results of our study, conducted on the basis of various databases confirm that in recent years and decades, there was revealed the more frequent recurrence of long-lasting periods of drought as well as the significant increase of air temperatures in summer and winter months. Drought in forest soils was observed not only in the southern regions of Slovakia, but the availability of soil water became limited also in forest ecosystems and mountain areas such as in northern part of Slovakia (Kysuce) or in the southern foothills of the High Tatra Mts.

Úvod

Nárast globálnych teplôt vzduchu a otepľovanie celého klimatického systému Zeme je v súčasnosti preukazateľne potvrdené meraniami realizovanými po celom svete. V novodobom vývoji globálnej klímy boli v v porovnaní s minulými obdobiami pozorované bezprecedentné zmeny. Podľa správy IPCC z roku 2014 bolo obdobie rokov 1983 – 2012 na severnej pologuli vysoko pravdepodobne najteplejším 30-ročným obdobím za posledných 1400 rokov. Úplne najnovšie analýzy meraní globálnych teplôt vzduchu realizované vedcami z GISS NASA v New Yorku (Goddard Institute for Space Studies) napríklad ukázali, že mesiac august roku 2016 bol najteplejším augustom počas 136 ročného radu v histórii moderných meteorologických meraní. Uvedené globálne trendy vývoja klímy máme možnosť pozorovať a analyzovať aj na regionálnej úrovni na území Slovenska a to na základe dlhodobých meteorologických meraní.

Z hľadiska dopadov na lesné ekosystémy bolo opakovane publikované, že dôsledky recentných zmien klímy, prejavujúce sa v antropocéne výskytom fenoménu „*hotter drought*“, zvyšujú zraniteľnosť lesov voči požiarom, stresu suchom, voči atakom hmyzích škodcov a tiež prispievajú k rozvoju rôznych patogénov (Allen et al. 2015). Teplejšie zimy umožňujú hmyzu prežiť chladné obdobie a predĺženie vegetačnej sezóny vytvára priaznivé podmienky na dokončenie viacerých životných cyklov za rok namiesto jedného. Stres suchom znižuje schopnosť stromov brániť sa proti ataku. Lesy hrajú dôležitú úlohu pri pohlcovaní a ukladania oxidu uhličitého, ale rýchlosť absorpcie bude postupne klesať (Joyce et al. 2014).

Potreba adaptácie lesov na zmenu klímy, obzvlášť na nárast frekvencie a intenzity rôznych extrémov počasia, je jednou zo spoločenských priorít, ktoré sa opakovane objavujú v strategických a koncepčných dokumentoch všetkých krajín EÚ vrátane Slovenska (RIS3, Stratégia adaptácie SR na nepriaznivé dôsledky zmeny klímy a iné.). Súhlas s ratifikáciou Parížskej dohody, ktorá je najaktuálnejšou a najdôležitejšou medzinárodnou zmluvou v boji proti klimatickej zmene, oficiáne vyjadrilo zatiaľ 79 krajín, vrátane najväčších znečistovateľov, USA, Číny, Indie, Ruska, krajín EÚ a ďalších (Zdroj: www.euractiv.sk). Do platnosti by mala vstúpiť 4. 11. 2016. Cieľom dohody je obmedziť rast globálnej teploty do konca storočia o najviac 2 °C v porovnaní s predindustriálnym obdobím. V roku 2050 by sa mal dosiahnuť stav uhlíkovej neutrality, t.j. že sa do atmosféry vypustí len taký objem emisií skleníkových plynov, koľko ekosystémy dokážu zachytiť.

V súvislosti s výskumom dopadov klimatickej zmeny na lesné ekosystémy sa v rokoch 2009 – 2010 začala v rámci medzinárodného projektu FutMon (LIFE+) prebiehajúcom na Národnom lesníckom centre - Lesníckom výskumnom ústave Zvolen, budovať sieť automatizovaných meteorologických staníc v rôznych oblastiach Slovenska, prioritne však na trvalých plochách II. úrovne intenzívneho monitoringu lesov Slovenska. Za účelom lesníckeho a ekologického výskumu sa sieť mezoklimatických (regionálnych) meteorologických staníc postupne rozvíjala a v súčasnosti NLC prevádzkuje 12 automatických meteorologických staníc s rôznym rozsahom a úrovňou meraní. Väčšina zo staníc je vybavená online prenosom dát na internet dostupnými na www.futmon.nlcsk.sk alebo na stránku dodávateľa staníc a prevádzkovateľa dátového archívu www.emsbrno.cz. Ambíciou nášho výskumu je v budúcnosti integrovať na jednotnú platformu biometeorologickú sieť NLC s existujúcou sieťou mezoklimatických staníc prevádzkovaných Lesníckou fakultou Technickej univerzity vo Zvolene, propagovať jej možnosti využitia pre vedecké aj edukačné účely a zvýšiť informovanosť, a tým aj záujem širšej verejnosti o operatívne aj dlhodobé meteorologické údaje z lesnatých regiónov Slovenska, kde národna klimatologická sieť SHMÚ nemá dostatočné pokrytie.

Predmetom príspevku je i) na základe dostupných údajov analyzovať vývoj klímy na Slovensku od roku 1961; ii) osobitne zhodnotiť vývoj počasia a vlhkosti pôdy v roku 2015; iii) využiť pritom rôzne zdroje údajov zo siete staníc SHMÚ a NLC; iv) formou posteru propagovať lesnícky biometeorologický výskum na Slovensku a jeho zámery.

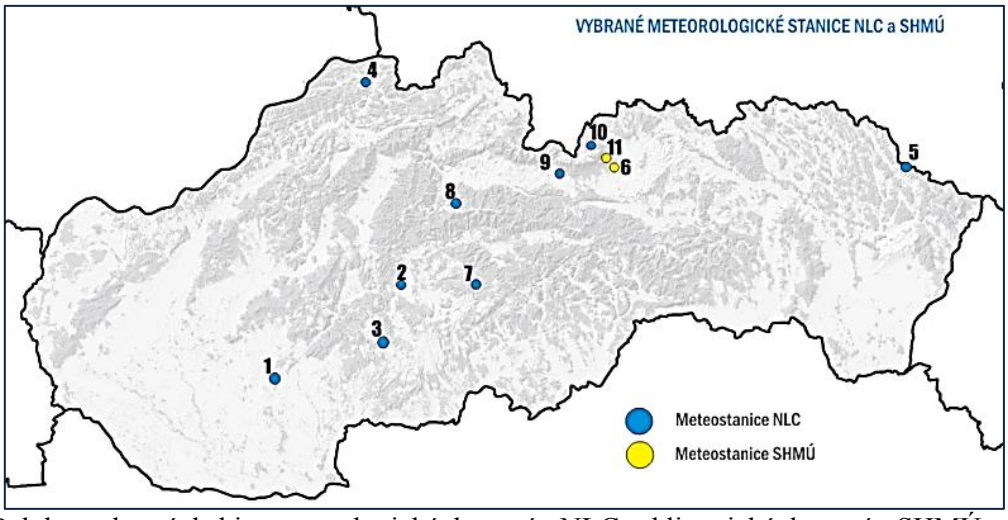
Materiál a metodika

Podkladom pre analýzu vývoja dlhodobej klímy na Slovensku boli nasledovné zdroje údajov: v období 1961 – 2011 boli použité dáta z 96 klimatologických staníc siete SHMÚ; v rokoch 2012 a 2013 boli použité údaje z 30 vybraných staníc SHMÚ; a pre rok 2014 a 2015 boli použité dáta z 10 automatických staníc vlastnej biometeorologickej monitorovacej siete NLC. Údaje o ročnej teplote vzduchu a úhrnoch zrážok boli spracované ako územný priemer z vyššie uvedených staníc distribuovaných v rámci všetkých regiónov Slovenska. Hoci z dôvodu limitovanej dostupnosti dát nejde o ideálne konzistentný časový rad, pre potreby robustného zhodnotenia na úrovni ročných údajov v rámci celého Slovenska to považujeme za dostatočnú údajovú bázu. Časť výsledkov bola publikovaná v kapitole 4 monografie Kunca & Zúbrik et al. (2016).

Vývoj meteorologických charakteristík v roku 2015 bol vyhodnotený na základe údajov nameraných na vybraných staniciach lesníckej biometeorologickej siete v správe Národného lesníckeho centra a na vybraných klimatologických staniciach SHMÚ, pre ktoré boli dostupné dáta za rok 2015 (obr. 1). Digitálne automatické stanice (EMS Brno, CZ) sú v rámci Slovenska lokalizované v rôznych orografických celkoch od nadmorskej výšky 225 – 1 770 m n.m. Údaje o teplote vzduchu a úhrnoch zrážok boli spracované na základe meraní v 5-minútovom intervale s ukladaním do pamäte ústredne každých 30 minút. Podrobnejšie informácie o lesníckom biometeorologickom monitoringu ako aj prístup k online dátam zo staničnej siete NLC sú dostupné na www.futmon.nlcsk.sk.

Na kontinuálne meranie hodinových údajov objemovej vlhkosti pôdy (SWC) sa využívajú senzory Campbell CS616 (Water Content Reflectometer, Campbell Sci.), na meranie teploty pôdy teplotný senzor PT 100 a dataloger F3T3 (Bienska dolina). Na VDO Husárik je meranie SWC aj T realizované pomocou integrovaného senzora Trime Pico64 (IMKO Gmbh) na princípe TDR (Time-Domain

Reflectometry) v dvoch rôznych hĺbkach a na troch meracích bodoch. Vodný potenciál pôdy (SWP) meriame taktiež v hodinovom intervale s využitím meracích setov: datalogera MicroLog SP3 (EMS Brno, CZ) a sadrových bločkov GB2 (Delmhorst Instrument, NJ, U.S.A.), s rozsahom meraní do -15 barov.



Obr. 1 Poloha vybraných biometeorologických staníc NLC a klimatických staníc SHMÚ použitých ku analýze vývoja počasia v roku 2015 (číselné kódy staníc v súlade s tab. 1)

Výsledky

Vývoj klímy v období 1961 – 2015

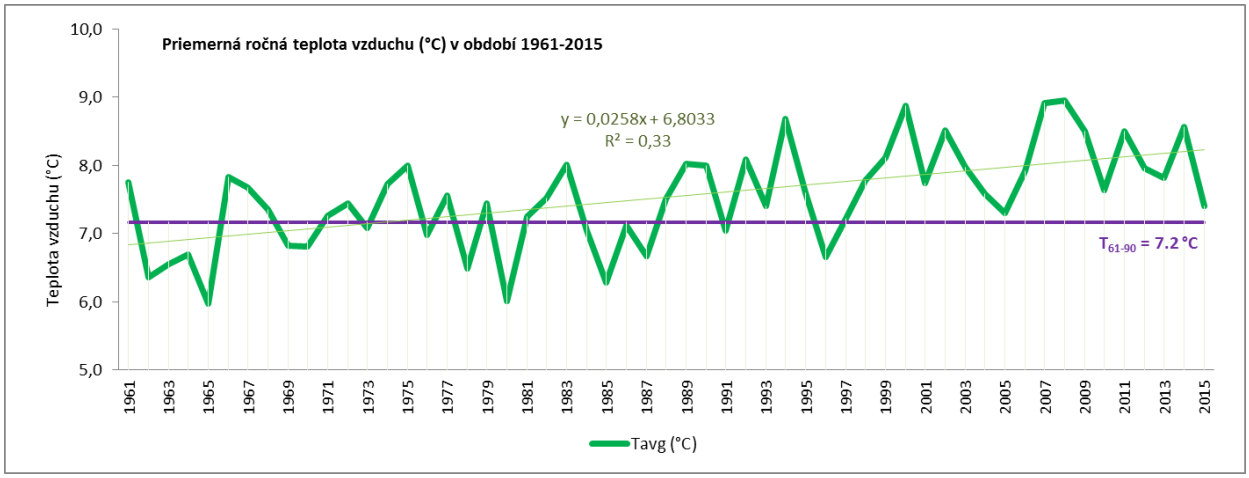
Vývoj priemerných ročných **teplôt vzduchu** na Slovensku za obdobie rokov 1961 až 2015 poukazuje na štatisticky významný nárast teplôt (na α=0,01) (obr. 2). Od roku 1988 pozorujeme, že územný priemer teplôt vzduchu na Slovensku sa s výnimkou roku 1996 nachádza už stabilne nad hodnotami dlhodobého priemeru (1961 – 1990). Za ostatné 2 až 3 desaťročia boli najvyššie priemerné ročné teploty vzduchu namerané v rokoch 1994, 2000, 2007, 2008. Odchýlky od teplotného normálu dosahovali hodnoty v intervale od +0,34 °C do +1,8 °C. Je potrebné vyzdvihnúť skutočnosť, že uvedené odchýlky sú počítané ako priemer zo všetkých dostupných staníc, odchýlky dosiahnuté lokálne na jednotlivých staniciach dosahovali aj oveľa vyššie hodnoty (príklad na obr. 5 alebo obr. 8).

Z hľadiska vývoja ročných **úhrnov zrážok** nepozorujeme v uvedenom období 1961 – 2015 vo všeobecnosti významný trend nárastu alebo poklesu atmosférických zrážok v porovnaní s referenčnou hodnotou územného priemeru (753,5 mm). Najvyššie ročné úhrny zrážok boli namerané v rokoch 2010 (1 120 mm) a 2014 (994 mm), naopak najnižšie priemerné hodnoty boli zistené v roku 2003 (552 mm) a 2011 (589 mm) (obr. 3). Potvrdzujú to aj oficiálne spracované klimatické analýzy SHMÚ, v rámci ktorých sa preukázalo, že rok 2010 dosiahol až 164 % dlhodobého priemeru 1901 – 1990, zatiaľ čo rok 2003 dosiahol len 74 % normálu (e-zdroj: SHMÚ). Príčinou vzniku mimoriadneho sucha v roku 2003 bol markantný nedostatok atmosférických zrážok v období od februára do augusta. Podpriemerné úhrny zrážok a nadpriemerné teploty vzduchu pozorované v roku 1992 a 1994 na severnej strane Tatier (Tatranská Javorina) vysoko pravdepodobne prispelo k šíreniu podkôrneho hmyzu v tejto prihraničnej poľsko-slovenskej oblasti. Naopak napríklad roky 2001, júl 2008, 2010 a 2014 boli v tejto oblasti mimoriadne zrážkovo výdatné.

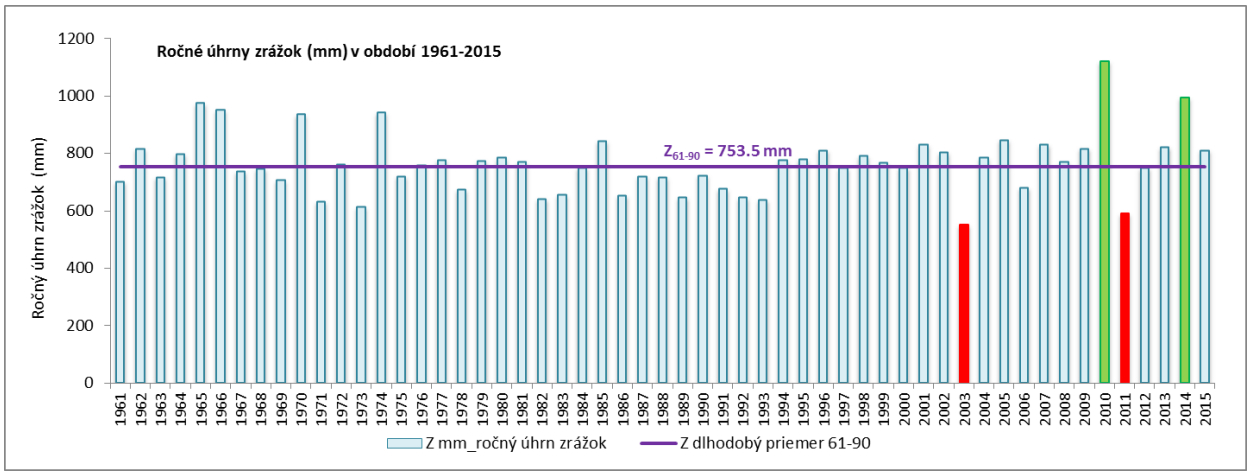
Vzhľadom na značnú orografickú členitosť územia Slovenska a s tým súvisiacu vysokú priestorovú variabilitu zrážok dochádza v ostatných 2 desaťročiach k prehlbovaniu rozdielov v zrážkovej zabezpečenosti a trendov vývoja zrážok v špecifických oblastiach Slovenska. Typickým javom, ktorý sťažuje generalizovanie akýchkoľvej tendencií vo vývoji „priemerných“ úhrnov zrážok je narastajúca nerovnomernosť v časovej distribúcii zrážok v priebehu roka a častejší výskyt prívalových dažďov.

Najmä v južných regiónoch Slovenska pozorujeme častejší a výraznejší deficit zrážok v porovnaní s horskými alebo severnými oblasťami nášho územia (e-zdroj: SHMÚ).

Vzájomnou konfrontáciou odchýlok teplôt vzduchu a úhrnov zrážok v danom roku od hodnoty dlhodobého celoslovenského normálu 1961 – 1990 (T = 7.2 °C a Z = 753.5 mm) bolo možné jednotlivé roky hodnoteného obdobia prehľadne zadeliť z hľadiska teplotných a vlhkostných podmienok do 4 kvadrantov modifikovaného termopluviogramu (obr. 4). Mimoriadne vlhké, suché alebo teplé roky sú farebne zvýraznené.

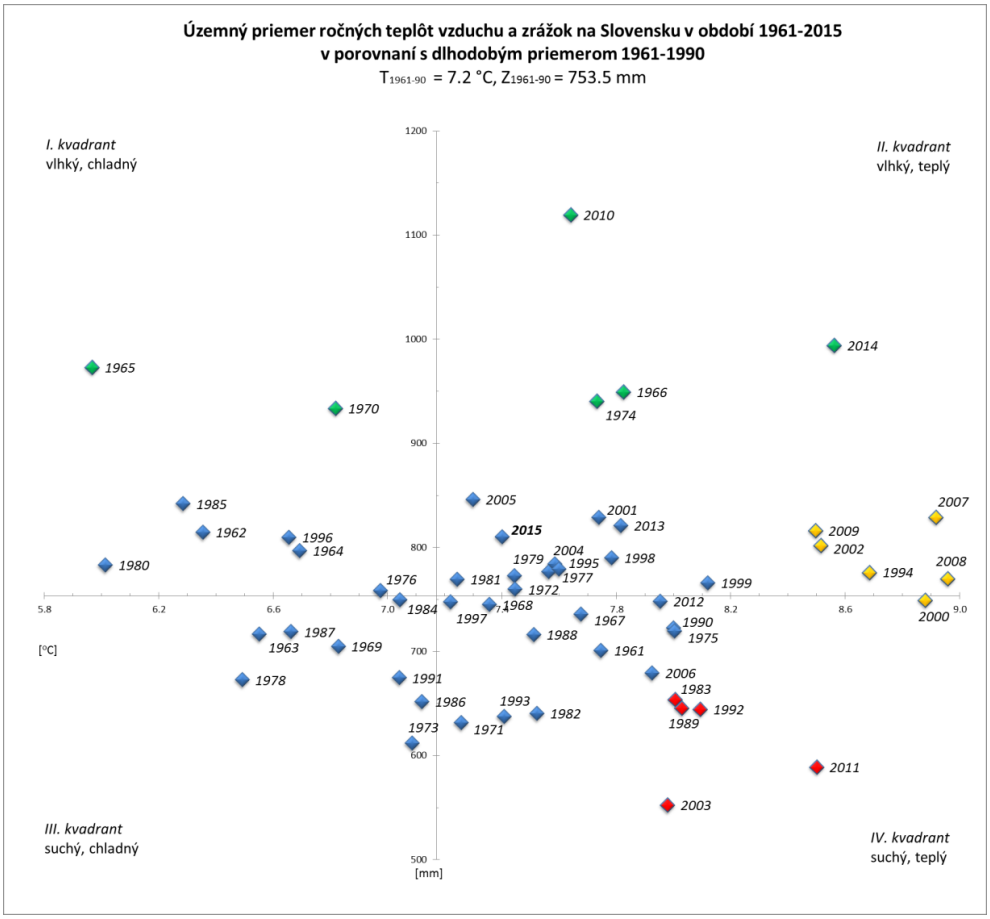


Obr. 2 Vývoj priemerných ročných teplôt vzduchu na Slovensku v období 1961 – 2015

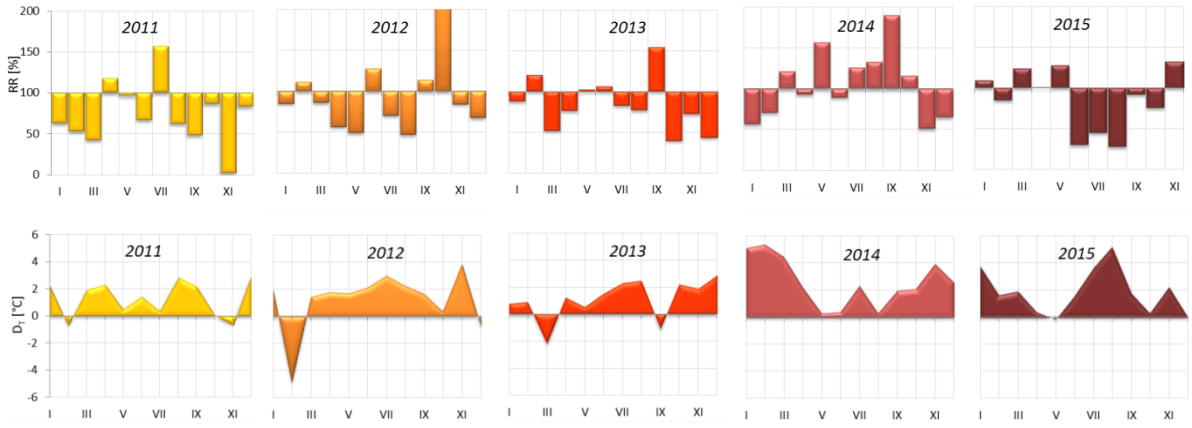


Obr. 3 Vývoj priemerných ročných úhrnov zrážok na Slovensku v období 1961 – 2015, s vyznačením rokov s najnižším (červené stĺpce – 2003, 2011) a najvyšším úhrnom zrážok (zelené stĺpce - 2010, 2014)

Príklad využitia údajov z jednej z regionálnych staníc lesníckej biometeorologickej siete NLC demonštrujeme prostredníctvom grafického vyjadrenia mesačných odchýlok teplôt vzduchu a zrážkových úhrnov v rokoch 2011 až 2015 od normálových hodnôt dlhodobého priemeru (1961 – 1990) pre lokalitu Husárik na Kysuciach (obr. 5). Z analýzy vyplynulo, že najvyššie teploty vzduchu boli dosiahnuté vo vegetačnej sezóne v rokoch 2012 a 2015 (až o 2 °C viac ako dlhodobý priemer). Z hľadiska zrážkových úhrnov bol najvýdatnejší rok 2014, najmä vo vegetačnom období (o 30 % viac). V tomto roku boli zároveň zistené nadpriemerné teploty vzduchu najmä v zimných mesiacoch, čo spôsobilo, že priemerná ročná teplota vzduchu (8,8 °C) prekročila normál až o 2,5 °C. Od roku 2011 bola na Kysuciach jednoznačne najsuchšou vegetačná sezóna roku 2015, kedy od apríla do septembra napršalo len 348 mm zrážok, čo je o 35 % menej ako je dlhodobý priemer pre túto oblasť. V ročnom úhrne zrážok bol zrážkovo deficitný aj rok 2011 a vegetačné obdobie roku 2012.

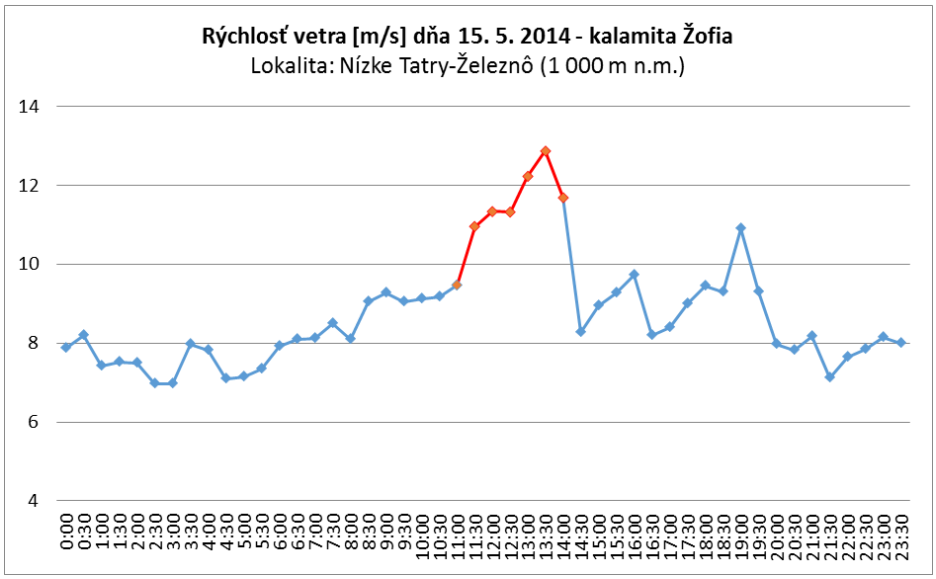


Obr. 4 Modifikovaný termopluviogram – priemerná ročná teplota vzduchu (°C) a ročný úhrn zrážok (mm) v jednotlivých rokoch v porovnaní s dlhodobým priemerom 1961 – 1990 (územný priemer z 96 staníc SHMÚ, T = 7.2 °C a Z = 753.5 mm). Zelené body – nadpriemerne vlhké roky, žlté body – nadpriemerne teplé roky, červené – výrazne suché, zrážkovo deficitné roky.



Obr. 5 Absolútne odchýlky mesačných priemerov teplôt vzduchu (DT, °C – horné grafy) a relatívne odchýlky zrážkových úhrnov (RR ako percento normálu, % - spodné grafy) v rokoch 2011 až 2015 od dlhodobého priemeru 1961 – 1990 na biometeorologickej stanici Husárik na Kysuciach (540 m n.m.).

Ďalší príklad využitia údajov lesníckej biometeorologickej siete vidíme na spracovaní polhodinových dát o rýchlosti vetra počas 15. mája 2014, kedy došlo k významnej vetrovej kalamite Žofiu, ktorá spôsobila škody na lesných porastoch najmä v oblasti Nízkych Tatier a Gemera. Pre tento deň uvádzame vývoj 30-minútových priemerov rýchlosti vetra nameraných anemometrom MetOne vo výške 10 m nad povrchom na biometeorologickej stanici NLC na TMP Železnô v Nízkych Tatrách (1000 m n.m.). Na grafickom vývoji vidíme (obr. 6), že okolo poludnia došlo k nárastu priemerných hodnôt rýchlosti vetra (do 13 m s^{-1}), t.j. približne 48 km za hodinu. V uvedenom dni dosiahla priemerná denná teplota 5 °C a denný úhrn zrážok 28,4 mm. Prevládajúci smer vetra bol severovýchodný a východný. V okamžitých nárazoch však rýchlosť vetra musela dosahovať oveľa vyššie hodnoty, nakoľko na okolitých porastoch nastali závažné kalamitné škody, ktorých ekologické aj lesohospodárske dôsledky pretrvávajú dodnes.



Obr. 6 Vývoj polhodinových priemerov rýchlosti vetra ($m.s^{-1}$) nameraných na lokalite Železnô v Nízkych Tatrách dňa 15.5.2014 (kalamita Žofia)

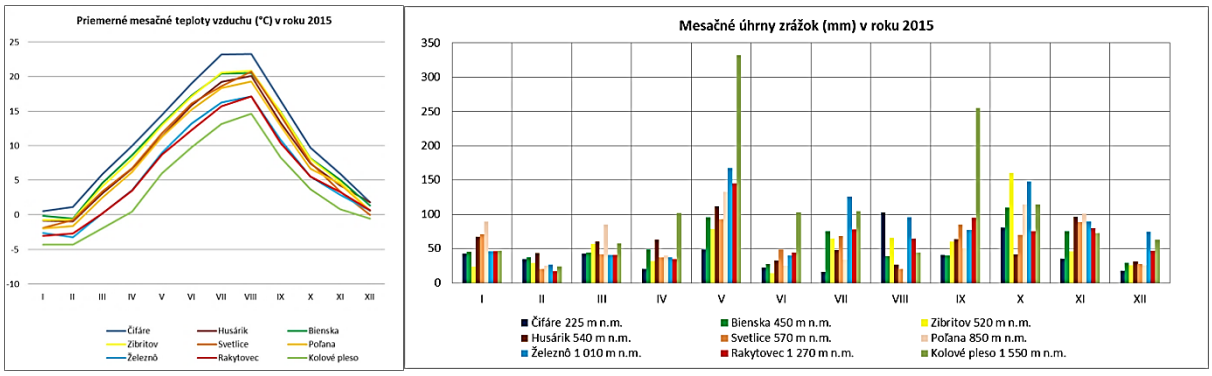
Analýza vývoja počasia v roku 2015

Hodnoty minimálnych, maximálnych a priemerných ročných teplôt vzduchu ako aj celkový úhrn zrážok v roku 2015 je pre vybrané lokality biometeorologickej lesníckej siete NLC a vybraných 2 staníc SHMU uvedený v tab. 1. Absolútne teplotné minimum (-19,2 °C) bolo v rámci vybraných staníc počas roku 2015 zaznamenané na SHMÚ stanici v Starej Lesnej dňa 7. 1. 2015, naopak absolútne teplotné maximum (36,5 °C) bolo namerané na stanici Čiffáre dňa 12. augusta 2015. Priemerná ročná teplota vzduchu sa na hodnotených lokalitách pohybovala v roku 2015 v rozpätí od 3,9 – 11 °C. Ročný úhrn zrážok v roku 2015 sa na vybraných lokalitách Slovenska pohyboval v intervale od 507 mm na trvalej monitorovacej ploche Čiffáre (225 m n.m.) po úhrn 1 321 mm nameraný na severnej strane Tatier (Kolove pleso, 1 550 m n.m.).

Prehľad mesačných hodnôt priemerných teplôt vzduchu a úhrnov zrážok na vybraných biometeorologických staniciach NLC je uvedený v tab. 2 a tab. 3. Grafický priebeh mesačných teplôt vzduchu a zrážok prináša obr. 7. Najvyššie mesačné úhrny zrážok boli zaznamenané na lokalite Kolové pleso na severnej strane Tatier v máji (332 mm) a septembri (255 mm), ako aj na stanici Železnô (Nízke Tatry - sever) v máji (168 mm) a októbri (148 mm). V porovnaní s ostatnými lokalitami, na ktorých v v mesiaci august prevládal deficit zrážok, bol nadnormálne vysoký úhrn (103 mm) zaznamenaný na lokalite Čiffáre na juhozápadnom Slovensku, zrejme v dôsledku intenzívnejšej búrkovej činnosti.

Tab. 1 Priemerná, minimálna a maximálna teplota vzduchu (°C) a ročný úhrn zrážok (mm) v roku 2015 na vybraných biometeorologických staniciach NLC a SHMÚ*

Stanica Lokalita	*Kód stanice*	*Nadmorská výška*	*Geomorfologický celok*	T_{min} *[°C]*	T_{max} *[°C]*	T_{avg} *[°C]*	Z_{sum} *[mm]*
Čifáre	1	225	Pohronská pahorkatina	-9.6	36.5	11.0	507
Bienska	2	450	Kremnické vrchy	-13.5	34.0	9.5	671
Zibritov	3	520	Krupinská planina	-12.9	34.2	9.3	660
Husárik	4	540	Beskydy	-16.7	33.6	8.5	689
Svetlice	5	570	Bukovské vrchy	-17.5	32.2	8.4	672
Stará Lesná*	6	810	Vysoké Tatry - juh	-19.2	31.8	7.2	621
Poľana	7	850	Poľana	-12.6	30.2	7.9	783
Železnô	8	1 010	Nízke Tatry	-17.7	29.0	6.2	968
Rakytovec	9	1 260	Vysoké Tatry - juh	-15.1	28.4	6.0	770
Kolové pleso	10	1 550	Vysoké Tatry - sever	-18.3	27.4	3.9	1 321
Skalnaté Pleso*	11	1 770	Vysoké Tatry - juh	-16.1	23.1	3.9	1 257



Obr. 7 Grafický priebeh priemernej mesačnej teploty vzduchu (vľavo) a úhrnov zrážok (vpravo) v roku 2015 na vybraných biometeorologických staniciach NLC

Tab. 2 Priemerná mesačná teplota vzduchu v roku 2015 na vybraných biometeorologických staniciach NLC (*dáta ku grafu na obr. 7 - vľavo*)

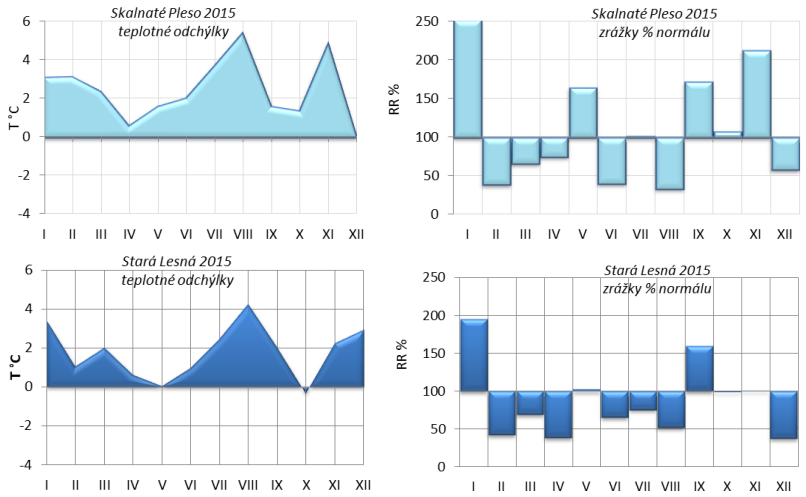
Teplota vzduchu 2015	*Čifáre*	*Bienska*	*Zibritov*	*Husárik*	*Svetlice*	*Poľana*	*Železnô*	*Rakytovec*	*Kolové pleso*
Nadmorská výška / Mesiac	225 m n.m.	450 m n.m.	520 m n.m.	540 m n.m.	570 m n.m.	850 m n.m.	1 010 m n.m.	1 260 m n.m.	1 550 m n.m.
I	0.6	-0.1	-0.7	-0.8	-1.9	-2.0	-2.7	-3.0	-4.3
II	1.1	-0.5	-0.6	-0.9	-0.7	-1.6	-3.3	-2.7	-4.3
III	5.8	4.6	4.1	3.1	3.4	2.5	0.2	0.2	-2.0
IV	10.0	8.6	8.1	6.7	6.8	6.2	3.6	3.5	0.5
V	14.5	13.2	12.9	11.4	11.8	11.3	9.0	8.7	6.0
VI	19.0	17.3	17.2	15.9	16.1	15.2	13.2	12.3	9.8
VII	23.2	20.4	20.6	19.2	18.7	18.3	16.3	15.8	13.2
VIII	23.3	20.5	20.8	20.1	20.7	19.3	17.1	17.2	14.6
IX	16.5	14.9	14.8	13.4	14.4	12.9	10.9	10.4	8.3
X	9.7	8.2	8.1	7.4	7.6	6.7	5.6	5.5	3.7
XI	5.9	5.1	4.7	4.3	3.4	4.5	2.9	3.3	0.8
XII	1.8	1.3	0.6	1.8	0.0	0.5	0.6	0.7	-0.5

Tab. 3 Mesačné úhrny zrážok v roku 2015 na vybraných biometeorologických staniciach NLC (*dáta ku grafu na obr. 7 - vpravo*)

Úhrn zrážok 2015	*Čifáre*	*Bienska*	*Zibritov*	*Husárik*	*Svetlice*	*Poľana*	*Železnô*	*Rakytovec*	*Kolové pleso*
Nadmorská výška / Mesiac	225 m n.m.	450 m n.m.	520 m n.m.	540 m n.m.	570 m n.m.	850 m n.m.	1 010 m n.m.	1 260 m n.m.	1 550 m n.m.
I	42.8	45.8	24.4	67.2	71.2	90.0	46.0	46.2	47.6
II	35.2	37.6	29.2	43.6	20.2	25.1	26.4	17.2	24.0
III	42.8	44.2	56.6	60.6	42.0	85.1	41.2	41.0	58.0
IV	20.8	49.2	32.2	63.2	37.0	40.4	37.4	34.8	102.4
V	49.2	96.2	79.2	112.2	92.8	133.4	167.6	145.4	332.0
VI	22.2	27.8	14.4	33.0	49.0	25.1	40.0	44.4	103.0
VII	15.8	75.6	65.2	48.4	68.0	34.2	126.2	78.4	105.0
VIII	103.2	38.8	65.8	27.2	20.6	58.0	95.6	65.0	44.4
IX	40.8	40.2	60.6	63.6	85.0	50.8	77.6	95.2	254.8
X	81.0	110.0	160.2	42.2	69.8	114.3	147.8	75.6	114.2
XI	36.0	75.8	46.0	96.6	88.8	100.9	90.0	79.6	72.6
XII	17.6	29.8	26.0	31.2	27.8	25.8	74.2	47.4	62.8

Analýza meteorologických údajov v roku 2015 preukázala na väčšine monitorovaných lokalitách (vrátane Vysokých Tatier) výrazne nadpriemerné hodnoty teplôt vzduchu a mierne podnormálové úhrny zrážok v porovnaní s dlhodobým priemerom. Potvrdzuje to vývoj mesačných odchýlok teplôt vzduchu a zrážok v roku 2015 od normálových hodnôt v období referenčnej klímy (1961 – 1991) zobrazený na príklade staníc Skalnaté Pleso a Stará Lesná (obr. 8). Vidíme, že teploty vzduchu boli celý rok 2015 nad dlhodobým priemerom, najvýraznejšie v lete až o 5.4 °C na Skalnatom Plese a 4.3 °C v Starej Lesnej. Podľa informácií publikovaných na webovej stránke SHMÚ bol rok 2015 z hľadiska priemernej ročnej teploty vzduchu na Lomnickom štíte druhý najteplejší od roku 1961 (po roku 2014).

Úhrny zrážok boli na oboch staniciach deficitné najmä v letných mesiacoch, napríklad v auguste dosiahli len 34 % normálu na Skalnatom Plese a v apríli v Starej Lesnej (38 % RR). Naopak najvyšší úhrn zrážok bol na oboch staniciach zaznamenaný v januári 2015, kedy na stanici Skalnaté Pleso bolo dosiahnuté vysoké % normálu zrážok (RR% až 251) a v Starej Lesnej 195 RR%. Pre porovnanie, údaje publikované v Bulletine SHMÚ uvádzajú pre január 2015 podobné hodnoty pre blízke stanice Štrbské Pleso (126 RR%) a pre Lomnický štít dokonca 381 RR%.



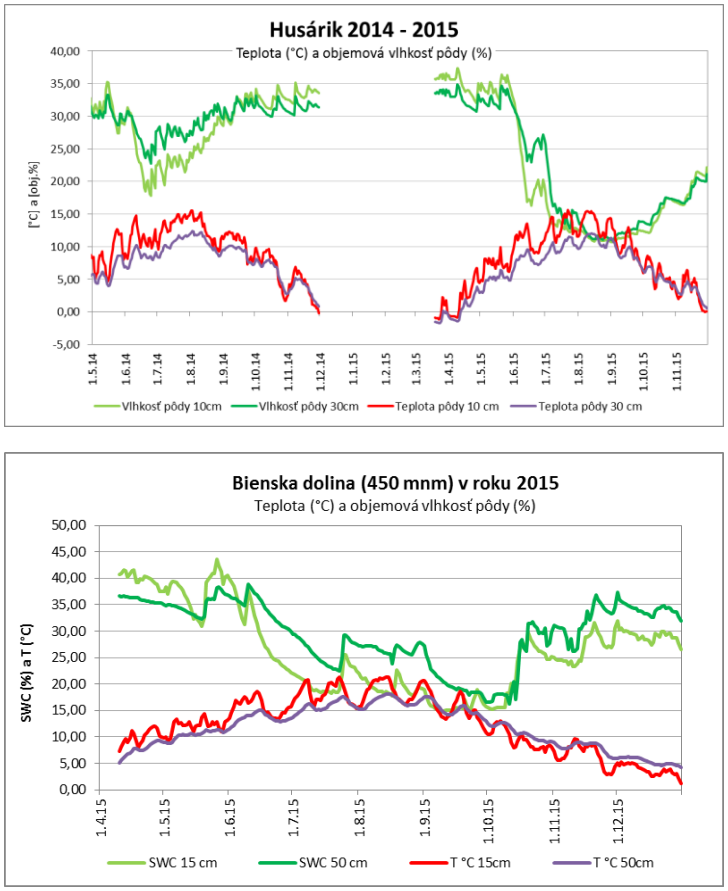
Obr. 8 Vývoj mesačných odchýlok teplôt vzduchu (°C) a percento normálu zrážok (RR%) od referenčných hodnôt v období 1961 – 1990 na príklade SHMÚ staníc na južnej strane Vysokých Tatier (Skalnaté Pleso a Stará Lesná)

Vlhkosť pôdy v roku 2015

Vlhkostné podmienky pôdy v roku 2015 analyzujeme pre potreby príspevku len stručne, a to na príkladoch meraní vodného potenciálu pôdy (SWP, v baroch) alebo objemovej vlhkosti pôdy (SWC, vol%) pre tri vybrané regióny v rámci SR: Kysuce (výskumno-demonštračný objekt Husárik), Vysoké Tatry (lokality v rôznych nadmorských výškach) a Kremnické vrchy (lokalita Bieň).

V oblasti Kysúc, na výskumno-demonštračnom objekte (VDO) Husárik sa vysoké teploty vzduchu za prítomnosti výrazného deficitu zrážok najmä v letných mesiacoch 2015 prejavili aj na priebehu priemerných denných hodnôt **objemovej vlhkosti pôdy SWC** (obr. 9). V porovnaní s rokom 2014 máme možnosť pozorovať odlišný priebeh vo vývoji zásob pôdnej vody. V kratšom vegetačnom období roku 2014 (od mája do augusta) sa hodnoty vlhkosti pôdy vo vrchných 10 cm pohybovali od 35,3 % nameraných 15. mája po hodnotu 17,7 % zistenú 25. júna. V hĺbke 30 cm bola pozorovaná nižšia variabilita a rozpätie hodnôt vlhkosti pôdy (23 – 33 %). V rovnakom období v roku 2015 bola najvyššia priemerná denná vlhkosť pôdy v 10 cm zistená 21. mája (36,4 %) a najnižšia 16. augusta (len 10,8 %), čo už je pre väčšinu lesných pôd kritická fyziologická hranica dosahujúca až bod vädnutia. Presný bod vädnutia by však bolo potrebne laboratórne stanoviť na základe analýz vzoriek pôd z danej lokality.

Na výskumnej lokalite Bienska dolina (450 mnm) situovanej v Kremnických vrchoch sa vyvíjala objemová vlhkosť pôdy v roku 2015 síce obdobným spôsobom, no najnižšie hodnoty boli o niečo priaznivejšie. Minimum vlhkosti v horných 10 – 15 cm pôdy bolo zistené v prvej septembrovej dekáde a dosiahlo hodnotu okolo 14 % objemovej vlhkosti (obr. 8). Výraznejší vzrast vlhkosti pôdy bol zaznamenaný až po výdatnejších zrážkach po 13. 10. 2016.

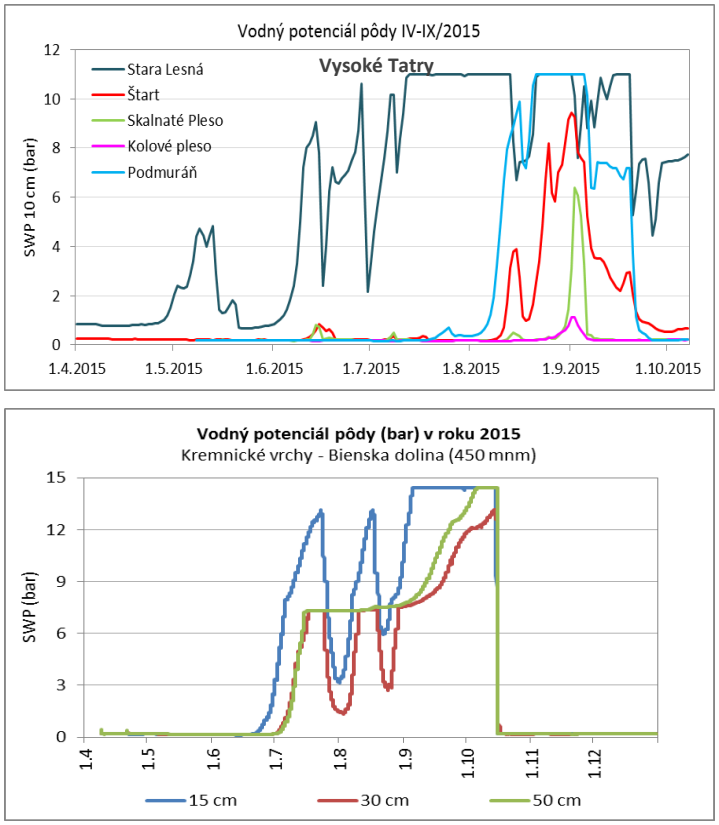


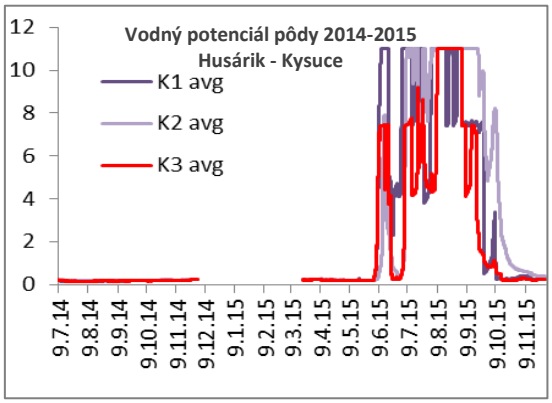
Obr. 9 Ukážka vývoja priemernej dennej objemovej vlhkosti pôdy (SWC) a teploty pôdy (T) v dvoch hĺbkach na lokalite Husárik (Kysuce) a Bienska dolina (Kremnické vrchy) v roku 2015.

Hodnoty **vodného potenciálu pôdy (SWP)** boli počas celej vegetačnej sezóny roku 2015 priaznivé najmä na lokalitách Kolové pleso a Skalnaté pleso, kde nedošlo vzhľadom na nadmorskú výšku ani v letných mesiacoch k presychaniu horných 10 cm pôdy (obr. 10). Priemerná denná hodnota pôdneho potenciálu dosiahla na Kolovom plese hodnotu len -0,22 barov, resp. -0,40 barov na Skalnatom Plese. Naopak výraznejší pokles vlhkosti bol zistený počas takmer celej vegetačnej sezóny na ploche v Starej Lesnej (zmiešaný porast smrek, smrekovec, borovica, jelša), kde medián denných priemerov dosiahol hodnotu 7,4 barov a z priebehu hodnôt SWP (na obr. 10) je zrejmé nastupujúce obdobie sucha už v máji a pretrvávajúce prakticky celé leto (-11 barov). Náhly pokles SWP na tejto lokalite južnej strany Tatier bol zaregistrovaný po výdatných zrážkových úhrnoch nameraných napríklad dňa 29. júna (22,8 mm) a tiež v polovici augusta 14.8. (17,7 mm). Deficit vlhkosti vo vrchných 10 cm pôdy sa na výskumných plochách Tatranská Javorina-Podmuráň a Tatranská Lomnica-Štart prejavil najmä koncom augusta a v septembri 2015.

V bukovom poraste na lokalite Bienska dolina v Kremnických vrchoch (450 m n.m.) začali hodnoty SWP poukazovať na nástup obdobia sucha začiatkom júla vo všetkých troch monitorovaných hlbkach (15, 30, 50 cm). Vo vrchných 15 cm pôdy bolo pozorované najvýraznejšie sucho, ktorého trvanie ukončili až výdatnejšie úhrny zrážok po prvej októbrovej dekáde.

Na výskumno-demonštračnom objekte VDO Husárik blízko Čadce, v nadmorskej výške cca 750 m n.m. bol okrem objemovej vlhkosti pôdy monitorovaný aj vodný potenciál pôdy meraný v hĺbke 10 cm (SWP, baroch) a to v experimente so sadenicami jedle. Z grafického vývoja hodnôt SWP nameraných na troch miestach kontrolnej plochy (K1, K2, K3) je zrejmé, že kým v roku 2014 k perióde pôdneho sucha prakticky nedošlo, naopak v roku 2015 sa výrazné sucho v pôde začalo prejavovať už začiatkom júna a to hodnotami dosahujúcimi až -12 barov (obr. 10). S menšími výkyvmi bola znížená dostupnosť vody v horných vrstvách pôdy pozorovaná prakticky až do konca septembra.





Obr. 10 Priebeh priemerných hodnôt vodného potenciálu pôdy (SWP, bar) nameraného počas roku 2015 v lesných porastoch vybraných regiónov Slovenska a) Vysoké Tatry (5 lokalít), b) Kysuce – VDO Husárik (750 m n.m.); c) Kremnické vrchy – Bienska dolina (450 m n.m.)

Záver

História novodobých a exaktných meteorologických meraní prináša mnoho dôkazov o narušovaní priestorového aj časového režimu meteorologických charakteristík. Zmeny v klimatickom systéme sa zákonite začínajú prejavovať aj zmenami hydrologického cyklu, dopadmi na pedosféru, rizosféru či zložky biosféry. Komplikované interakcie a vzťahy medzi systémami si vyžadujú interdisciplinárny prístup a spoluprácu expertov špecializovaných na jednotlivé ekologické systémy.

Výsledky našej štúdie, realizovanej na základe rôznych databáz (SHMÚ a biometeorologických staníc NLC) potvrdzujú, že v ostatných rokoch až desaťročiach dochádza k nárastu nielen priemerných, ale aj maximálnych teplôt vzduchu v letnom aj zimnom období, k opakovanému výskytu dlhšietrvajúceho sucha, ktoré už nie je pozorované len v južných regiónoch Slovenska, ale zásoby pôdnej vody sa v lesných ekosystémoch stávajú limitované aj napríklad v oblasti Kysúc alebo v južnom podhorí Tatier.

Cieľom našich ďalších aktivít je efektívne a účelne využiť nadobudnutú prístrojovú infraštruktúru, integrovať sieť automatických mezoklimatických staníc na jednotú platformu, vytvoriť funkčnú on-line aplikáciu lesníckeho biometeorologického monitoringu, prostredníctvom ktorej bude možné operatívne analyzovať celú škálu rizík v lesných ekosystémoch súvisiacich so zmenou klímy (sucho, požiare, povodne, iniciácia a šírenie hmyzích škodcov). Výstupy majú byť aplikované v lesníckej praxi, majú slúžiť odbornej aj laickej verejnosti a byť uplatňované v rôznych úrovniach edukačného procesu.

Poďakovanie
Práca bola podporená z prostriedkov projektu APVV-0111-10 Ekofyziologické a priestorové aspekty vplyvu sucha na lesné porasty v podmienkach zmeny klímy, projektu APVV-0429-12 Mapovanie fytotoxických ozónových dávok v lesnom prostredí Vysokých Tatier, projektu ITMS 26220220026. Demonštračný objekt premeny odumierajúcich smrekových lesov na ekologicky stabilnejšie multifunkčné ekosystémy spolufinancovaného zo ŠF EU v rámci OPVaV (50%) a tiež s podporou programu ČMS Lesy v rámci kontraktu medzi MPRV SR a NLC (č. 533/2015-710/MPRV SR). Štúdia bola čiastočne spracovaná na základe analýzy meteorologických údajov zo staničnej SHMÚ obstaraných v rámci riešenia viacerých projektov implementovaných na NLC, najmä pre projekt 6RP CECILIA (Central and Easter Europe Climate Change Impact and Vulnerability Assessment), a pre projekty APVV a ASFEU riešené v období 2006-2015.

Literatúra

Allen, Craig D., Breshears, David D., McDowell Nate G., 2015. On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. Ecosphere 6: art129.

Bulletin Meteorológia a klimatológia Slovenská republika (zost. Bochníček, O., Ondruška, P.), SHMÚ 2015, Ročník 21, Číslo 1 – 12.

Joyce, L. A., S. W. Running, D. D. Breshears, V. H. Dale, R. W. Malmsheimer, R. N. Sampson, B. Sohngen, and C. W. Woodall, 2014: Ch. 7: Forests. Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment, J. M. Melillo, Terese (T.C.) Richmond, and G. W. Yohe, Eds., U.S. Global Change Research Program, 175-194. doi:10.7930/J0Z60KZC.

Kunca, A., Zúbrik, M., a kol., 2016: Výskyt škodlivých činiteľov v lesoch Slovenska v rokoch 1960 – 2014, v roku 2015 a prognóza ich vývoja. Monografia. Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 139 s.

Elektronické zdroje

http://www.shmu.sk/sk/?page=1613
http://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=144
http://www.dmc.fmph.uniba.sk/public_html/main9.html
http://www.dmc.fmph.uniba.sk/public_html/climate/THurbanovo.htm
http://euractiv.sk/fokus/zivotne-prostredie/klimaticke-rokovania-od-zenevy-po-pariz-000339/