Využitie metódy regionálnej snežnej čiary pri hodnotení snehových pomerov hlavných povodí Slovenska za obdobie 2001 – 2014

Pavel Krajčí, Ladislav Holko, Juraj Parajka

V príspevku je predstavené použitie metódy určovania výšky snežnej čiary zo satelitných snímok. Pomocou tejto metódy je analyzovaná časová variabilita výšky snežnej čiary (SL) a pokrytosti územia snehom (SCA) v hlavných slovenských povodiach na základe satelitných snímok MODIS pre zimy 2001-2014. Satelitné snímky MODIS sú voľne dostupné.. Každý deň sú k dispozícii dve snímky, takže časový interval je vhodný na skúmanie zmeny pokrytia územia snehovou pokrývkou. Príspevok je zameraný hlavne na obdobie topenia snehu ktoré je z hydrologického hľadiska najdôležitejšie. Tieto snímky majú veľký potenciál a boli použité po celom svete. Doteraz však neboli vyhodnotené pre celé územie Slovenska, preto sme sa rozhodli tieto analýzy vykonať. Naše výsledky nepreukázali v skúmanom období žiadny výrazný trend poklesu veľkosti pokrytia slovenských povodí snehom. Naša analýza pokrytosti územia snehom však naznačila nárast SCA v období 2001 – 2006, v nasledujúcom období 2007 – 2012 však boli naopak zaznamenané nižšie hodnoty voči priemeru.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ: snežná čiara, pokrytosť územia snehom, MODIS

Use of regional snow line method for evaluating snow parameters of main Slovak basins in period 2001 – 2014

Use of regional snow line estimation method from satellite images is presented in this paper. Spatial and temporal variability of snow line (SL) elevation and snow covered area (SCA) is analysed in the main Slovak basins by the regional snow line method applied to MODIS satellite images in winters 2001 – 2014. MODIS images are available free of charge. Two images are available each day, so the time interval is good enough for investigation of temporal changes of snow covered area. The paper is mainly focused on snowmelt period, which is most important from the hydrological point of view. These images have a great potential and were used all over the world. It was not used for whole Slovak territory so far, that is why we decided to fill this gap and perform these analyses. Our results did not indicate any significant trend of declining snow covered area in Slovak watersheds. Our analysis of SCA indicate an increase of SCA in the period 2001-2006, however a significantly lower snow cover is observed in the following period 2007-2012.

KEY WORDS: snow line, snow covered area, MODIS

Úvod

Ročný chod prietoku je v mnohých regiónoch sveta výrazne ovplyvňovaný topením snehu (DeWalle a Rango, 2008). Vplyv snehu sa neprejavuje iba v horských oblastiach alebo vo vysokých zemepisných šírkach. Napríklad rieky Colorado v severnej Amerike alebo Dunaj v strednej Európe majú snehový režim odtoku aj na svojich dolných tokoch ďaleko od horských oblastí kde pramenia (e.g. DeWalle a Rango 2008, Holko et al. 2011). Poznanie rozloženia snehovej pokrývky pred a počas hlavnej fázy topenia je dôležité aj z hľadiska výroby elektrickej energie či predpovede povodní z topiaceho sa snehu. Podrobné terénne merania v horských oblastiach sú časovo a materiálne veľmi náročné a nemožno nimi obsiahnuť väčšie územia. Satelitné snímky sú preto veľmi užitočným zdrojom informácií. Snímky MODIS boli v minulosti často vyžívané pri modelovaní topenia snehu (Tekeli et al. 2005; Li and Wiliams, 2008; Georgievsky, 2009; Day, 2013; Ma et al. 2013), kalibrácii distribuovaných snehových modelov (Parajka and Blöschl 2008a; Franz and Karsten, 2013; He et al., 2014) alebo pri klimatologickom výskume časovej a priestorovej variability snehovej pokrývky (Liang et al. 2008; Foppa and Seiz 2012; Gascoin et al., 2015). Snímky MODIS sú voľne dostupné a poskytujú informácie o pokrytí územia snehom od februára 2001. Každý deň sú k dispozícii dve snímky. Výrazným limitom použitie je oblačnosť. Najdôležitejšou informáciou získanou spracovaním snehových produktov MODIS je veľkosť plochy pokrytej snehom. Z hydrologického hľadiska je najzaujímavejšie jarné obdobie, kedy plocha pokrytia klesá. Rýchlosť poklesu alebo časové zmeny pokrytia územia snehom poskytujú aj informáciu o charaktere danej zimy.

Snímky MODIS, doteraz neboli použité pri analýze snehových pomerov celého Slovenka. Prostredníctvom tejto páce by sme chceli tento priestor zaplniť. Cieľom tejto práce je vyhodnotiť medziročnú variabilitu charakteristík snehovej pokrývky pre hlavné povodia Slovenska získaných na základe metódy regionálnej snežnej čiary v hlavných. Snežnú čiaru chápeme ako hranicu medzi územím pokrytým snehom a územím bez snehovej pokrývky (Fierz et.al. 2009).

Materiál a metódy

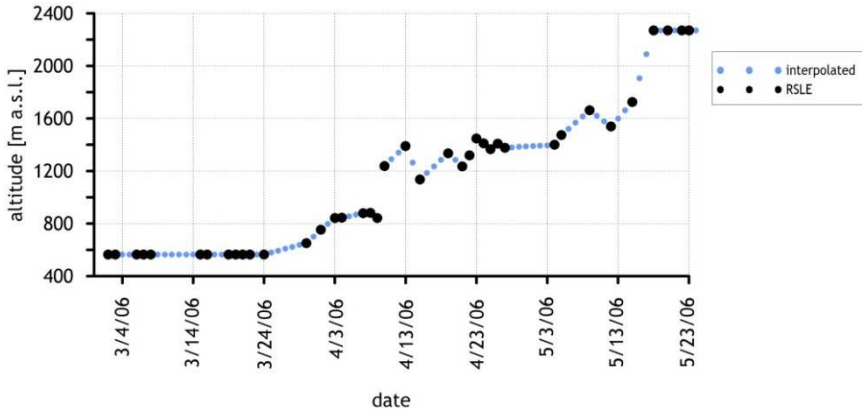
Použitie metódy regionálnej snežnej čiary pozostáva z viacerých krokov. Pre každý deň sú dostupné dve snímky MODIS zo satelitov Terra a Aqua. Prvým krokom je kombinácia týchto snímok metódou použitou Parajkom et

al. (2008b). Potom nasleduje použitie samotného algoritmu určovania snežnej čiary. Tento algoritmus je založený na interatívnom hľadaní nadmorskej výšky, ktorá najlepšie rozdelí dané územie na územie pokryté snehom a bez snehu. Cieľom je nájsť takú nadmorskú výšku, pod ktorou je čo najmenej pixlov pokrytých snehom a zároveň nad ktorou je čo najmenej pixlov bez snehu. Podrobnejšie je metóda popísaná v Krajčí et al. (2014a). Po určení nadmorskej výšky snežnej čiary nasleduje určenie plochy pokrytia územia snehom. Táto plocha sa vypočíta tak, že sa celé územie nad snežnou čiarou považuje za pokryté snehom a celé územie pod ňou bez snehu. Plocha pokrytia sa potom dá do pomeru s celkovou plochou povodia a vyjadrí percentuálne:

$$SCA = \frac{plocha_{SL}}{plocha_T} \cdot 100[\%] \qquad (1)$$

kde $plocha_{SL}$ reprezentuje územie nad snežnou čiarou a $plocha_{SL}$ reprezentuje celkovú plochu povodia.

Keďže je na území Slovenska oblačnosť počas zimného obdobia výrazným limitom, využili sme možnosť lineárne interpolovať výšku snežnej čiary aj pre dni keď bola hodnota oblačnosti príliš vysoká (nad 70%, táto hraničná hodnota bola učená na základe analýzy v Krajčí et al. (2014a, 2014b)) na určenie snežnej čiary. Tento postup je na príklade povodia Váhu po Liptovský Mikuláš zobrazený na obr. 1. Umožnilo nám to získať hodnotu výšky snežnej čiary aj plochy pokrytia snehom pre každý deň. Vďaka tomu sme mohli vypočítať provnateľné priemery pre jednotlivé skúmané časové intervaly.



Obr. 1. Určovanie snežnej čiary pre Váh po Liptovský Mikuláš na jar 2006. Čierne body sú hodnoty vypočítané metódou snežnej čiary, modré sú interpolované hodnoty. Snežná čiara je interpolovaná v dňoch s oblačnosťou nad 70%.

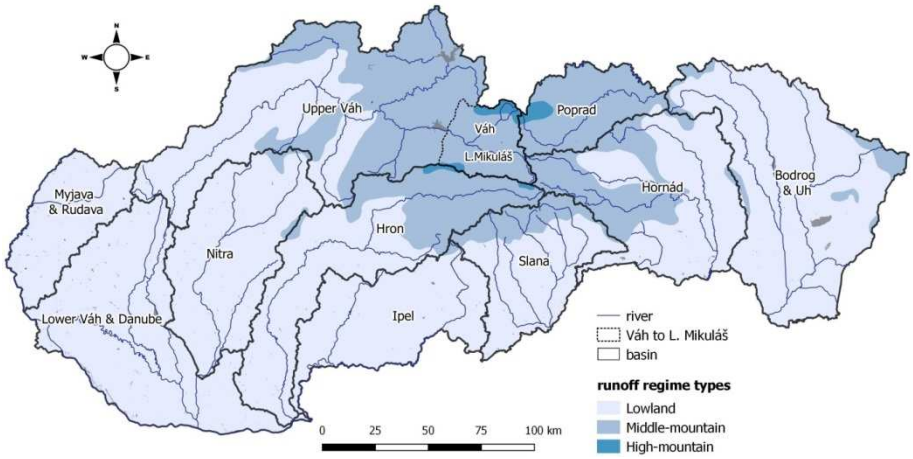
Fig. 1. Estimation of snow line (SL) elevation for Váh/LiptovskýMikuláš basin in spring 2006. Black and blue points represent estimated and interpolated SL elevation, respectively. SL is interpolated for days with cloud coverage larger than 70%.).

Medziročná variabilita je charakterizovaná pomocou percentilov (25%, 50%, 75%), ktoré indikujú typické podmienky rozptylu okolo mediánu (rozdiel medzi 75-tym 25-tym percentilom). Čiary poklesu pokrytia územia snehom boli charakteristikou použitou na opis priebehu topenia snehu v skúmaných v povodiach Slovenska.

Skúmané územie a údaje

Analýzy boli vykonané pre tieto povodia: dolný Váh/Dunaj, Myjava/Rudava, Nitra, Bodrog /Uh, Ipeľ, Slaná, Hornád, Hron, horný Váh a Poprad. Niektoré časti týchto povodí ležia mimo územia Slovenska (napríklad časti povodia Váhu v Poľsku alebo Uhu na Ukrajine). Analýza v tejto práci sa venuje iba slovenským častiam týchto povodí. Okrem povodia dolného Váhu/Dunaja sú ostatné povodia väčšinou rozdelené podľa rozvodníc. Celé povodie Váhu by bolo pre analýzu priveľké a naopak povodie Dunaja, teda povodia jeho malých prítokov na Slovensku by bolo príliš malé. Preto sme spojili dolný Váh a povodia malých prítokov Dunaja. Pri povodí Myjava/Rudava sme postupovali obdobne a pridali sme k nim aj povodia menších prítokov Moravy.

Obr. 2. znázorňuje polohu povodí a indikuje ich režim odtoku. Všetky povodia sú ovplyvňované topením snehu a reprezentujú tri typy režimy odtoku (Šimo a Zaťko, 2002) - prechodne snehový vo vysokohorskom prostredí, snehovo-dažďový režim v stredohorskej oblasti a dažďovo-snehový v nížinách.



Obr. 2. Hlavné povodia slovenských riek a typy režimu odtoku podľa Šima a Zaťka (2002). Prerušované čiara označuje povodie Váhu po L. Mikuláš, kde bola metóda regionálnej snežnej čiary testovaná (viac detailov v Krajči et al., 2014)

Fig. 2. Location of main Slovak river basins and type of runoff regime according to Šimo and Zaťko (2002). Dashed line indicates part of the Váh river basin in which the regional snow line method has been evaluated (for more details see Krajči et al., 2014).

Tabuľka 1 sumarizuje charakteristiky povodí. Veľkosť povodí sa pohybuje od 1966 km^2 (Poprad) do 9421 km^2 (horný Váh), priemerná nadmorská výška sa pohybuje od 154 m a.s.l . (dolný Váh/Dunaj) do 851 m a.s.l. (Poprad).

Tabuľka. 1. Nadmorská výška a plocha hlavných slovenských povodí; nadmorská výška je odvodená z digitálneho výškového modelu s rozlíšením 500m.

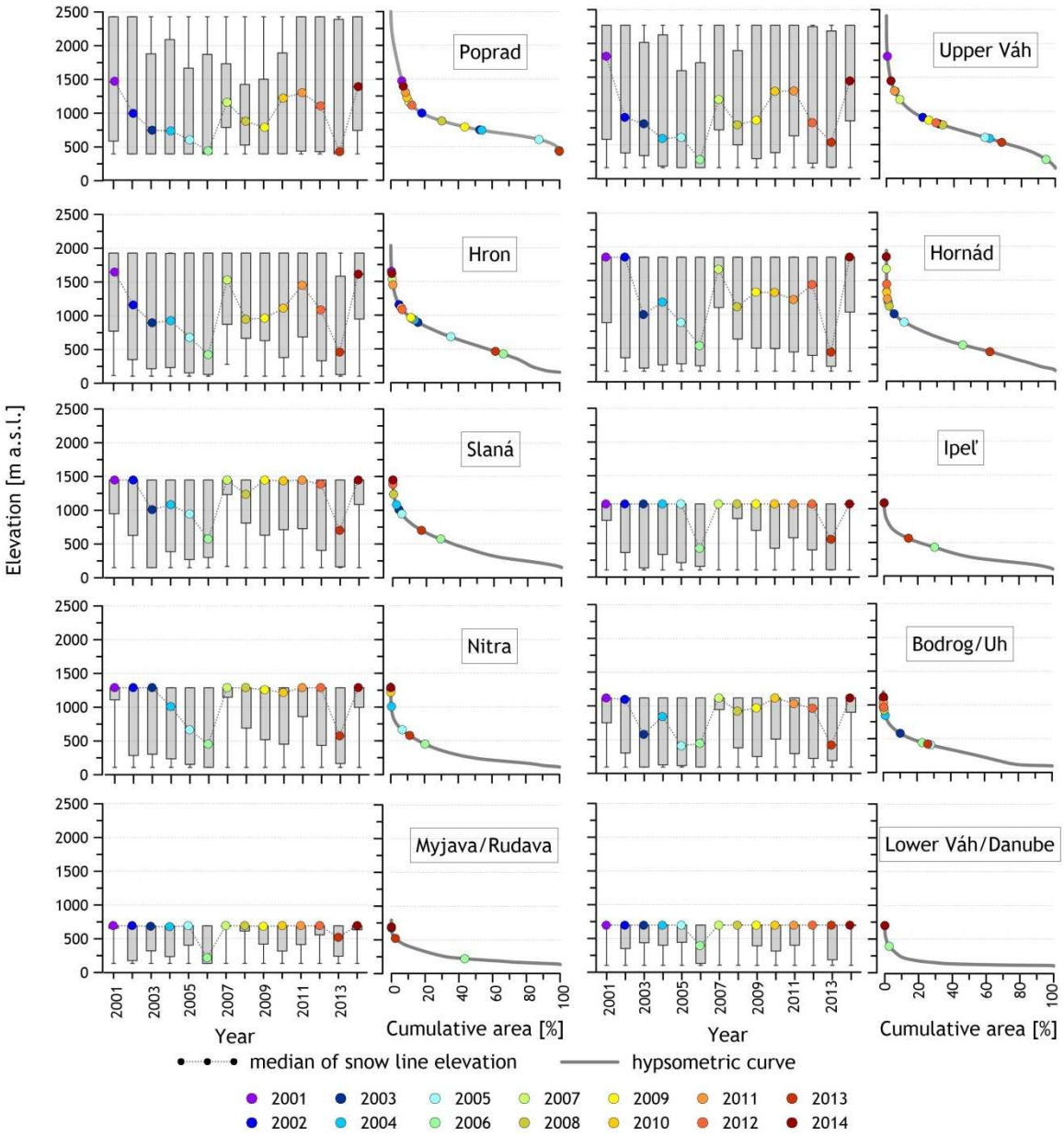
Table. 1. Elevation (m a.s.l.) and size (km^2) of the main Slovak basins;. elevation is calculated from a digital elevation model of 500m spatial resolution.

Povodia	Plocha	Minimálna nadm. výška	Maximálna nadm. výška	Priemerná nadm. výška
dolný Váh/Dunaj	5985	102	699	154
Myjava/Rudava	2264	136	693	244
Bodrog/Uh	7269	74	1118	311
Nitra	4490	108	1288	312
Ipeľ	3650	105	1084	349
Slaná	3208	150	1448	458
Hornád	5325	159	1846	537
Hron	5463	105	1928	550
horný Váh	9421	160	2270	704
Poprad	1966	398	2429	852

Výsledky a diskusia

Výška snežnej čiary (SL)

Medziročná variabilita výšky snežnej čiary je zobrazená na obr. 3. Grafy sú vytvorené z údajov pre mesiace november až máj. Snehovo bohaté zimy boli v rokoch 2005, 2006 a 2013 a snehovo chudobné boli v rokoch 2001, 2007, 2010, 2011.



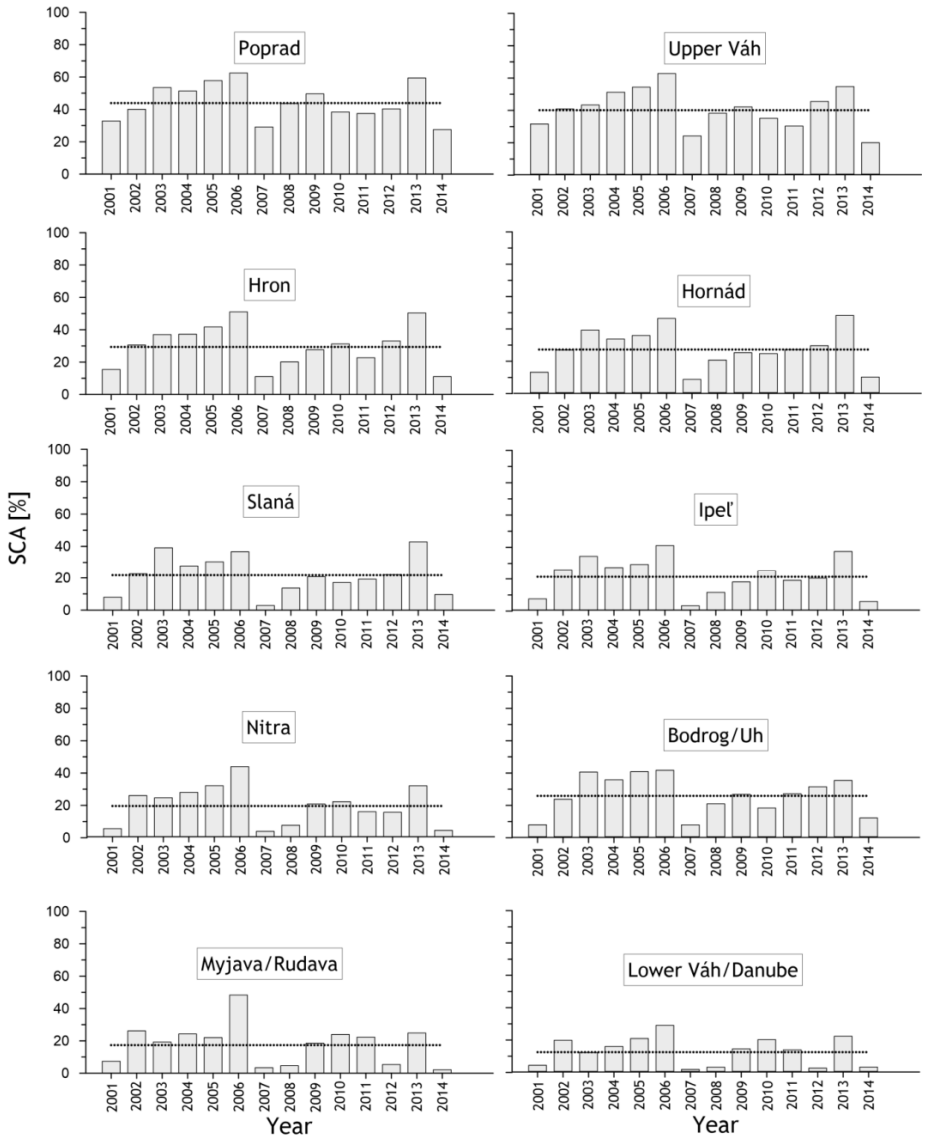
Obr. 3. Medziročná variabilita nadmorskej výšky snežnej čiary v hlavných slovenských povodiach. Krabicový graf reprezentuje 10%, 25%, 50%, 75% a 90% percentily SL. Pravá časť grafu reprezentuje hypsometrickú čiaru povodia.

Fig. 3. Inter-annual variability in snow line elevation in main Slovak basins. Box-whisker plots represent 10%, 25%, 50%, 75% and 90% percentiles of snow line elevation. Right side of the graph shows hypsometric curve of the basin.

Nadmorská výška a hypsometria povodia do veľkej miery ovplyvňujú jeho snehové pomery, preto sa v obr.3. napravo od krabicových grafov nachádzajú hypsometrické čiary všetkých povodí. Na obrázku možno pozorovať výrazné rozdiely medzi povodiami.

Na základe variability výšky snežnej čiary možno na Slovensku identifikovať tri hlavné skupiny povodí. Prvou skupinou sú povodia s maximálnymi nadmorskými výškami nad 1500 m n.m. a značnými plochami nad 1000 m n.m. Sú to povodia Popradu, horného Váhu, Hrona a Hornádu. Medián výšky snežnej čiary (november až máj) sa v týchto povodiach nikdy nenachádza na úrovni maximálnej nadmorskej výšky povodia, s výnimkou Hornádu, kde je tomu tak iba pri snehovo najchudobnejších zimách. V týchto povodiach teda hrá snehová pokrývka významnú úlohu aj v snehovo chudobnejších zimách. To reflektuje aj režim odtoku s najväčšími prietokmi v apríli a máji (Šimo a Zaťko, 2002). Druhou skupinou sú povodia v maximálnymi nadmorskými výškami nad 1000 m n.m. (Slaná, Ipeľ, Nitra a Bodrog/Uh). Zimný medián výšky snežnej čiary sa v slabších zimách pohybuje na úrovni maximálnej nadmorskej výšky povodia, čo znamená, že v polovici dní danej zimy

v tomto povodí nie je žiadna snehová pokrývka. Režim odtoku v týchto povodiach má dažďovo-snehový charakter a maximum dosahuje v marci s výrazným podružným zvýšením vodnosti koncom jesene a začiatkom zimy. Tretiu skupinu tvoria povodia v nížinných oblastiach ktorých maximálna nadmorská výška sa pohybuje okolo 700 m n.m. Zahŕňa povodie dolného Váhu/Dunaja a Rudavy/Myjavy. V nich hrá snehová pokrývka najmenšiu úlohu. Režim odtoku Dunaja a dolného Váhu sú však ovplyvňované hlavne oblasťami na horných tokoch týchto riek.



Obr. 4. Medziročná variabilita zimnej (november-máj) priemernej pokrytosti snehom (SCA, %) v hlavných slovenských povodiach

Fig. 4. Inter-annual variability of mean winter (November-May) snow cover area (SCA, %) in main Slovak basins.

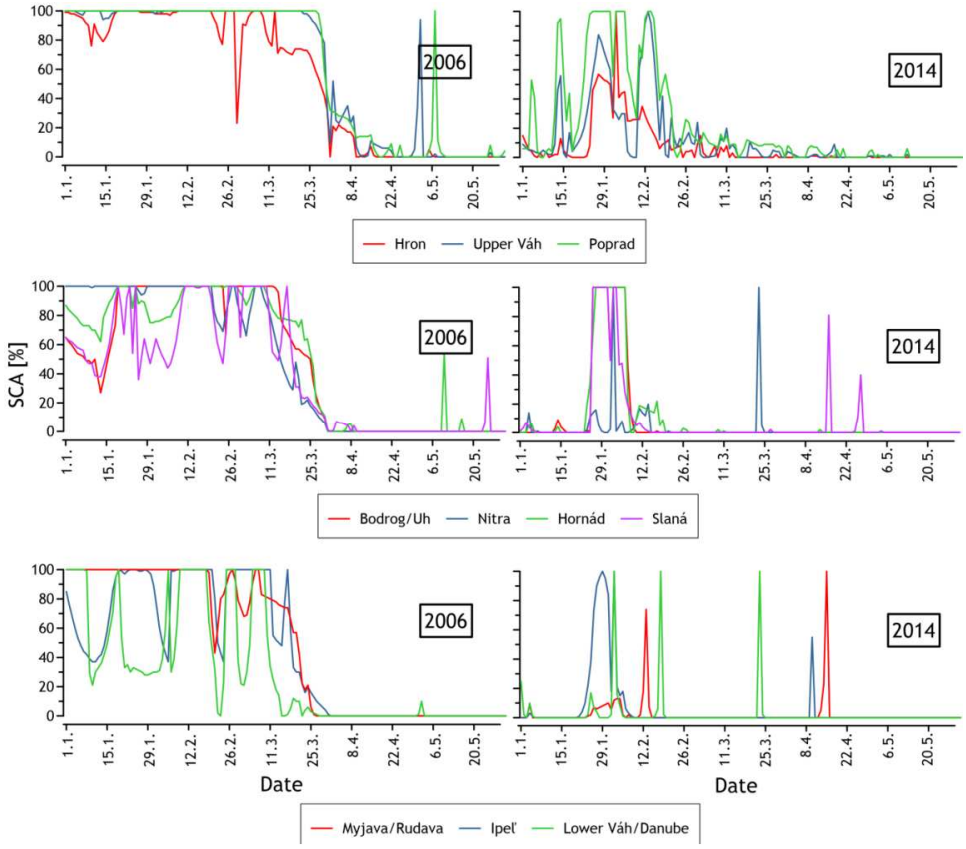
Pokrytosť územia snehom (SCA)

Priemerné hodnoty SCA sú znázornené na obr. 4. Najvyššie hodnoty SCA boli takmer vo všetkých povodiach zaznamenané v roku 2006. V roku 2006 sa priemerné hodnoty pohybovali od viac ako 60% v povodí Popradu po takmer 40% v povodí dolný Váh/Dunaj. Najvýraznejšia odchýlka od priemeru sa v zime 2006 vyskytla v povodí Myjava/Rudava, kde bola priemerná hodnota viac ako dvojnásobná oproti priemeru za celé skúmané obdobie. Dietz et al. (2012) označil v strednej Európe túto zimu ako výnimočne studenú s dlhým trvaním snehovej pokrývky. Topenie na začiatku apríla 2006 zapríčinilo povodne na Dunaji a Labe.
V snehovo slabých zimách, napr. 2007 alebo 2014 hodnota priemernej SCA klesne na 30% v povodí Popradu, resp. na menej ako 5 % v nízko položených povodiach ako Ipeľ, Myjava/Rudava alebo dolný Váh/Dunaj. V

celom skúmanom období nie je viditeľný žiadny výraznejší trend zmeny pokrytia územia snehom. Nachádzajú sa tu však obdobia s viacerými po sebe idúcimi zimami s nadpriemernými hodnotami SCA alebo naopak s podpriemernými. Napríklad obdobie 2002 – 2006 sa vyznačuje nadpriemernými hodnotami SCA voči celkovému priemeru za celé skúmané obdobie (prerušovaná čiara v obr.4.). Obdobie 2007 – 2012 sa naopak vyznačovalo skôr podpriemernými hodnotami.

Krivky poklesu pokrytia snehom (SDC).

SDC vo väčšine zím nemajú jednoduchý príbeh a sú často prerušované krátkodobými nárastmi pokrytosti územia snehom. Topenie snehu má tendenciu začínať neskôr a trvať dlhšie vo vyššie položených povodiach. Variabilita SDC je oveľa vyššia medzi rokmi ako medzi povodiami. Obdobie topenia sa väčšinou začína vo februári alebo marci a trvá približne 8 dní v nížinách a 15 dni v horských povodiach. Obr. 5 zobrazuje príklady snehovo bohatej (2006) a snehovo chudobnej zimy (2014). V roku 2006 boli dve najvyššie povodia (Poprad a horný Váh) celé pokryté snehom až takmer do konca marca a potom nastalo jasne odlíšiteľné obdobie topenia snehu. Podobne to bolo aj v ostatných povodiach, aj keď topenie snehu v nich nastalo skôr. Zaujímavé je tiež, že v niektorých povodiach bol priebeh topenia dosť podobný, napr. v povodí Hrona a Bodrogu/Uhu. Rok 2014 bol z tohto hľadiska úplne iný a nie je možne jednoznačne vyčleniť obdobie akumulácie a topenia snehu. Nachádza sa tu len niekoľko krátkych epizód, kedy boli celé povodia pokryté snehom. Tieto obdobia boli krátke a výraznejšia snehová pokrývka sa tak nestihla akumulovať, preto aj sklon SDC bol veľký a topenie trvalo veľmi krátko.



Obr. 5. Medziročná variabilita zimnej (november-máj) priemernej pokrytosti snehom (SCA, %) v hlavných slovenských povodiach v snehovo bohatej zime 2006 a snehovo chudobnej zime 2014.

Fig. 5. Inter-annual variability of mean winter (November-May) snow cover area (SCA, %) in main Slovak river basins in snow-rich winter 2006 and snow-poor winter 2014.

Záver

Táto práca analyzuje medziročnú variabilitu charakteristík snehovej pokrývky (výšku snežnej čiary, pokrytosť územia snehom a krivky poklesu pokrytia snehom) a venuje sa rozdielom medzi jednotlivými hlavnými slovenskými povodiami. Nie je prekvapujúce, že vyššie položené povodia sú viac ovplyvňované snehovou

pokrývkou, no nadmorská výška nie je jediným faktorom, ktorý sa prejavuje na rozložení snehu v rámci Slovenska. Viditeľné sú napríklad rozdiely medzi západnou a východnou polovicou Slovenska. Napríklad ak porovnáme povodia Nitry a Bodrogu, ktoré majú veľmi podobnú priemernú nadmorskú výšku, môžeme vidieť značné rozdiely (napr. v roku 2008 alebo 2012). Pravdepodobne je to spôsobené väčšou kontinentalitou vo východnej časti Slovenska. V tejto práci sme sa zamerali na hlavné povodia slovenských riek. Tieto povodia sú ale príliš veľké na to, aby bolo možné odhaliť ďalšie faktory, ktoré ovplyvňujú rozmiestenie snehovej pokrývky (orografia, orientácia voči svetovým stranám či vegetácia). V budúcnosti plánujeme podobnú analýzu vykonať pre menšie povodia s tiež dať naše poznatky do súvisu s prietokmi. Naše výsledky nepreukázali v skúmanom období žiadny výrazný trend zmien veľkosti pokrytia povodia snehom. Môže to byť spôsobené tým, že toto obdobie je príliš krátke na to aby sa nejaký výraznejší trend globálnej zmeny klímy prejavil. V tejto práci sme neanalyzovali variabilitu v rámci roka.

Poďakovanie

Táto práca bola podporená grantom VEGA 2/0055/15 a grantom OeAD (Austrian Agency for International Cooperation in Education and Research) Action Slovakia-Austria Ernst Mach (ICM-2014-09039). Chceli by sme tiež poďakovať za podporu projektov DK-plus W1219-N22 (Vienna Doctoral Programme on Water Resource Systems, Austrian FWF) a ERC 291152 (European Research Council Advanced Grant ‘‘Flood Change’’) .

Literatúra

Day, A.C., 2013. Modeling Snowmelt Runoff Response to Climate Change in the Animas River Basin, Colorado. J. Geol. Geosci., 2, 110.

DeWalle, D.R., Rango, A., 2008. Principles of snow hydrology. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.

Dietz, A. J., Wohner, Ch., and Kuenzer. C., 2012. European Snow Cover Characteristics between 2000 and 2011 Derivedfrom Improved Modis Daily Snow Cover Products. Remote Sensing, 4, 2432–54.

Fierz, C., Armstrong, R.L., Durand, Y., Etchevers, P.,Greene, E., McClung, D.M., Nishimura, K.,Satyawali, P.K. Sokratov, S.A., 2009. The International Classification for Seasonal Snow on the Ground. IHP-VII Technical Documents in HydrologyN°83, IACS Contribution N°1, UNESCO-IHP, Paris.

Foppa, N., and Seiz, G., 2012. Inter-Annual Variations of Snow Days over Switzerland from 2000-2010 Derived from MODIS Satellite Data. Cryosphere, 6, 331–42.

Franz, K.J., Karsten, L.R., 2013. Calibration of a distributed snow model using MODIS snow covered area data, Journal of Hydrology, 494, 160–175.

Gascoin, S., Hagolle, O., Huc, M., Jarlan, L., Dejoux, J.-F., Szczypta, C., Marti, R., and Sánchez, R. 2015. A snow cover climatology for the Pyrenees from MODIS snow products. Hydrology and Earth System Sciences, 19, 2337–2351.

Georgievsky, M. V., 2009. Application of the Snowmelt Runoff Model in the Kuban River Basin Using MODIS Satellite Images. Environmental Research Letters. 4, 1–5.

He, Z. H., Parajka, J., Tian, F. Q., and Blöschl, G., 2014. Estimating degree-day factors from MODIS for snowmelt runoff modeling. Hydrology and Earth System Sciences., 18, 4773–4789.

Holko, L., Gorbachova, L., Kostka, Z., 2011. Snow Hydrology in Central Europe. Geography Compass., 5/4 , 200–218.

Krajčí, P., Holko, L., Perdigão, R.A.P., Parajka, J., 2014a. Estimation of regional snowline elevation (RSLE) from MODIS images for seasonally snow covered mountain basins, Journal of Hydrology, 519, Part B, 1769 – 1778.

Krajčí, P., Holko, L., Parajka, J., 2014b. priebeh snežnej čiary v povodí horného Váhu v zimách 2001-2013, Acta Hydrologica Slovaca, 15, 110 - 115,

Li, X., and Williams, M.W., 2008. Snowmelt runoff modelling in an arid mountain watershed, Tarim Basin, China. Hydrol. Process., 22, 3931–3940.

Liang, T.G., Huang, X.D., Wu,C.X., Liu,X.Y., Li,W.L., Z.G., Guo, Z.G., Ren, J.Z., 2008. An Application of MODIS Data to Snow Cover Monitoring in a Pastoral Area: A Case Study in Northern Xinjiang, China. Remote Sensing of Environment., 112, 1514–1526.

Ma, Y., Huang, Y., Chen,X., Li, Y., and Bao, A., 2013. Modelling Snowmelt Runoff under Climate Change Scenarios in an Ungauged Mountainous Watershed, Northwest China. Mathematical Problems in Engineering., 9 pages.

Parajka, J., Blöschl, G., 2008a. The value of MODIS snow cover data in validating and calibrating conceptual hydrologic models, Journal of Hydrology,358, 3–4, 240–258.

Parajka, J., and Blösch, G., 2008b. Spatio-temporal combination of MODIS images – potential for snow cover mapping, Water Resour. Res., 44, W03406, doi:10.1029/2007WR006204, 2008.

Parajka, J, Pepe, M., Rampini, A., Rossi, S., Blöschl, G., 2010. A regional snow line method for estimating snow cover from MODIS during cloud cover. Journal of Hydrology. 381, 203–212.

Šimo, E., Zaťko, M., 2002. Types of runoff regime 1 : 2 000 000. Atlas krajiny Slovenskej republiky. Bratislava : Ministerstvo životného prostredia SR.

Tekeli, A. E., Akyürek, Z., Şorman, A. A., Şensoy, A., and Şorman, A. Ü., 2005. Using MODIS Snow Cover Maps in Modeling Snowmelt Runoff Process in the Eastern Part of Turkey. Remote Sensing of Environment, 97, 216–30.

USE OF REGIONAL SNOW LINE METHOD FOR EVALUATING SNOW PARAMETERS OF MAIN SLOVAK BASINS IN PERIOD 2001 – 2014

This study evaluates the variability in snow line elevation, snow cover area and snow depletion curves in the main Slovak basins. In comparison to previous assessments based on station data or interpolated point snow depth measurements, this analysis examines, for the first time, daily snow cover patterns derived from MODIS snow products for the entire basins. The main advantage of satellite data is that they provide spatial snow cover patterns at high spatial resolution and accuracy (Parajka and Blöschl, 2006). Our results indicate an increase of SCA in the period 2001-2006, however a significantly lower snow cover is observed in the following period 2007-2012. These results indicate that there is no significant trend in the mean basin snow cover area in the period 2001-2014, but periods of snow rich and snow poor winter do exist, particularly in the mountain basins. The comparison of snow rich and poor winters has demonstrated significant differences in the snow cover area, start and duration of snow cover depletion in the main Slovak basins. Winter 2006 is the snow richest winter with long snow cover depletion. This winter was reported by Dietz et al. (2012) as an exceptionally cold winter with extraordinary long snow cover duration, particularly in Central Europe. Obviously, snow cover area and duration increases with increasing mean basin elevation. The differences between the eastern and western part of Slovakia due to increased effect of continentality are nevertheless seen in some winters. Our analysis focuses on the main Slovak basin. These are quite large and do not allow to investigate orographic effects, orientation of the basin, effect of vegetation, that might control the spatio-temporal evolution of snow cover at smaller spatial scale. In the future we plan to extend the analysis to smaller basins. Our plan is not only to evaluate the snow cover changes but also to investigate the link between snow cover characteristics and snowmelt induces runoff.

Informácie o autoroch:

Mgr. Pavel Krajčí
Ústav hydrológie SAV
Račianska 75
83102 Bratislava
E-mail: krajci@uh.savba.sk

RNDr. Ladislav Holko, CSc.
Ústav hydrológie SAV
Experimentálna hydrologická základňa
Ondrašovská 16
03105 Liptovský Mikuláš
E-mail: holko@uh.savba.sk

Dr. Juraj Parajka
Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management
Vienna University of Technology
Karlsplatz 13/222, A-1040 Vienna, Austria
E-mail: parajka@hydro.tuwien.ac.at