

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta životního prostředí
Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Vliv sněhové pokrývky na odtok během dešťových srážek

Autoreferát dizertační práce

Ing. Roman Juras

DSP: Krajinné inženýrství

Studijní obor: Environmentální modelování

Školitel: doc. Ing. Petr Máca, Ph.D.

Školitel specialista: Ing. Jiří Pavlásek, Ph.D.

Praha 2016

Souhrn

V zimním období, kdy leží na povodí sněhová pokrývka, stále přibývá výskytu dešťových srážek. Déšť dopadající na sníh (ROS) má často za následek vznik povodní a mokřých lavin. Predikce vlivu ROS záleží především na lepším pochopení mechanismů vzniku a složení odtoku ze sněhové pokrývky. Spojení simulace deště na sněhovou pokrývku a využití stopovačů bylo testováno jako vhodný nástroj pro tento účel. Celkem bylo provedeno 18 experimentů na sněhovou pokrývku s různými počátečními vlastnostmi v horských podmínkách střední a západní Evropy.

Pro určení charakteru proudění bylo použito barvivo brilliant blue (FCF), pomocí kterého je možné vizualizovat preferenční cesty, ale i určit rozhraní dvou vrstev o různých hydraulických vlastnostech. Zastoupení jednotlivých složek odtékající vody na výtoku bylo stanoveno pomocí metody separace hydrogramu, která poskytuje dobré výsledky s přijatelnou nejistotou. Z technických důvodů nebylo možné obě metody použít současně během jednoho experimentu, i když by to ještě více rozšířilo znalosti o dynamice proudění dešťové vody ve sněhové pokrývce. Množství tavné vody bylo vypočteno pomocí rovnice energetické bilance. Použití této rovnice je poměrně přesné, ale zároveň náročné na vstup. Z toho důvodu bylo tání vypočteno pouze u jednoho experimentu.

Rychlost vzniku odtoku roste v první řadě intenzitou srážky. Počáteční vlastnosti sněhové pokrývky, jako hustota a vlhkost, ovlivňují rychlost vzniku odtoku až druhotně. Na druhou stranu při stejné intenzitě srážky vykazovala nevyzrálá sněhová pokrývka s malou hustotou rychlejší hydrologickou odpověď, než vyzrálá pokrývka s větší hustotou. Velikost odtoku je závislá, především na počátečním nasycení. Vyzrálá sněhová pokrývka s vyšším počátečním nasycením generovala vyšší celkový odtok, kde dešťová voda přispívala maximálně z 50ti %. Proti tomu protekla dešťová voda nevyzrálou sněhovou pokrývkou poměrně rychle a do odtoku se propagovala přibližně z 80ti %.

Pro predikci odtoku během ROS byla použita Richardsova rovnice v rámci modelu SNOWPACK. Tento model byl upraven tak, že byla sněhová matrice rozdělena pro lepší simulaci preferenčního proudění. Tento přístup přinesl zlepšení výsledků oproti klasickému přístupu, kdy se uvažuje pouze maticové proudění.

Summary

During a winter season, when snow covers the watershed, the frequency of rain-on-snow (ROS) events is still raising. ROS can cause severe natural hazards like floods or wet avalanches. Prediction of ROS effects is linked to better understanding of snowpack runoff dynamics and its composition. Deploying rainfall simulation together with hydrological tracers was tested as a convenient tool for this purpose. Overall 18 sprinkling experiments were conducted on snow featuring different initial conditions in mountainous regions over middle and Western Europe.

Dye tracer brilliant blue (FCF) was used for flow regime determination, because it enables to visualise preferential paths and layers interface. Snowpack runoff composition was assessed by hydrograph separation method, which provided appropriate results with acceptable uncertainty. It was not possible to use concurrently these two techniques because of technical reasons, however it would extend our gained knowledge. Snowmelt water amount in the snowpack runoff was estimated by energy balance (EB) equation, which is very efficient but quality inputs demanding. This was also the reason, why EB was deployed within only single experiment.

Timing of snowpack runoff onset decrease mainly with the rain intensity. Initial snowpack properties like bulk density or wetness are less important for time of runoff generation compared to the rain intensity. On the other hand when same rain intensity was applied, non-ripe snowpack featuring less bulk density created runoff faster than the ripe snowpack featuring higher bulk density. Snowpack runoff magnitude mainly depends on the snowpack initial saturation. Ripe snowpack with higher saturation enabled to generate higher cumulative runoff where contributed by max 50 %. In contrary, rainwater travelled through the non-ripe snowpack relatively fast and contributed runoff by approx. 80 %.

Runoff prediction was tested by deploying Richard's equation included in SNOWPACK model. The model was modified using a dual-domain approach to better simulate snowpack runoff under preferential flow conditions. Presented approach demonstrated an improvement in all simulated aspects compared to the more traditional method when only matrix flow is considered.

Obsah

1. Úvod	5
2. Cíle práce a základní předpoklady	6
3. Výsledky	8
3.1. Článek I - A portable simulator for investigating rain-on-snow events.....	8
3.2. Článek II - Isotopic tracing of the outflow during artificial rain-on-snow event	9
3.3. Článek III - Rainwater propagation through snowpack during rain-on-snow events under different snow conditions	10
3.4. Článek IV - Modeling liquid water transport in snow under rain-on-snow conditions considering preferential flow	11
4. Závěr	12
Životopis	14

1. Úvod

Sněhová pokrývka představuje zásobu vody v pevném skupenství na povodí. Z hydrologického hlediska její důležitost roste především v období tání, kdy se pevná forma začne měnit na kapalnou vodu. Pro hydrology je tedy velmi zásadní informace kolik vody po roztání sněhové pokrývky můžeme očekávat ve vodních tocích. Rychlé tání sněhové pokrývky však může představovat nebezpečí v podobě nadlimitních průtoků až povodní.

Specifickou roli hraje sněhová pokrývka v případě, když se setká s kapalnou srážkou ve formě deště. Tuto srážku následně transformuje do odtoku. Transformace dešťové srážky může probíhat dvěma způsoby (Obr. 1). V prvním případě plní sněhová pokrývka ochrannou retenční funkci, kdy část srážky v sobě na určitou dobu zadrží a odtok je malý nebo nemusí nastat vůbec. V druhém případě může být odtok ještě zvýšen, protože dešťová voda proteče a celkový odtok je navýšen o množství vody z tání. Přítomnost dešťové vody ve sněhové pokrývce může celkové tání ještě urychlit a tím ještě zvýšit celkový odtok z pokrývky a potenciální riziko povodní.

Odpověď na otázku, zda se sněhová pokrývka bude chovat prvním nebo druhým způsobem není jednoduchá. Pro určení chování kapalně vody ve sněhové pokrývce jsou klíčové především její fyzikální vlastnosti. V poslední době je věnována velká pozornost povodním z tání sněhu v kombinaci s deštěm jak v Evropě, tak i ve světě. Možnosti předpovídání následků takových událostí jsou spojené především se znalostí chování dešťové vody ve sněhové pokrývce a dynamikou jejího odtoku, které jsou stále omezené. Tato disertační práce se proto snaží tuto problematiku více přiblížit pomocí několika experimentálních studií a využitím stávajících matematických modelů.

2. Cíle práce a základní předpoklady

Hlavním cílem disertační práce je posouzení vlivu sněhové pokrývky na transformaci dešťových srážek. Zároveň si tato práce klade za cíl přiblížit mechanismus vzniku a složení kombinovaného odtoku ze sněhové pokrývky během deště. Splnění těchto základních cílů zahrnuje dva základní úkoly:

- I. Navrhnout vhodnou metodiku simulace deště v terénu, která umožňuje i následný monitoring odtoku ze sněhové pokrývky. Kromě toho by měla metodika zahrnovat analýzu změn vlastností sněhové pokrývky následkem deště.

Navržená metodika by dále měla umožňovat vizualizaci proudění dešťové vody ve sněhové pokrývce s různými fyzikálními vlastnostmi, ale i možnosti stanovení dešťové vody na výtoku pomocí separace hydrogramu. Určení jednotlivých složek v celkovém odtoku by mělo umožňovat stanovení:

- a. Okamžitého procentuálního zastoupení dešťové vody na celkovém odtoku a v jednotlivých fázích deště.
- b. Za jak dlouho se dešťová voda objeví na výtoku, tj. doba zdržení.

- II. Množství vody z tání pomocí energetické bilance.

Pomocí navržené metodiky charakterizovat dynamiku proudění dešťové vody ve sněhové pokrývce a mechanismus vzniku odtoku v různých typech sněhu. Tato metodika bude doplněna o výsledky modelování z modelu SNOWPACK, který popisuje chování kapalné vody ve sněhu pomocí Richardsovy rovnice. Na základě předložené rešerše literatury bylo formulováno několik výzkumných otázek a předpokladů:

- a. Jak ovlivňují vlastnosti sněhové pokrývky charakter proudění a transport dešťové vody ve sněhové pokrývce?

Předpoklad 1: *Velký specifický povrch krystalů u nevyzrálé pokrývky umožňuje větší interakci mezi srážkovou vodou a sněhovou pokrývkou.*

- b. Jaká je rychlost hydrologické odezvy na ROS v závislosti na charakteristikách zasažené sněhové pokrývky a intenzitě deště?
Předpoklad 2a: *Vyzrálá sněhová pokrývka se vyznačuje rychlejší hydrologickou odezvou, než nevyzrálá pokrývka.*
Předpoklad 2b: *Při vyšší intenzitě deště dochází k rychlejší hydrologické odezvě.*
- c. Jak se podílí dešťová voda na celkovém výtoku ze sněhové pokrývky s různými vlastnostmi?
Předpoklad 3: *Dešťová voda je více zastoupena v odtoku z vyzrálé sněhové pokrývky, než z nevyzrálé sněhové pokrývky.*
- d. Jak se mění vlastnosti sněhové pokrývky vlivem deště?
Předpoklad 4: *Děšť ve sněhové pokrývce způsobuje značné změny, především zvýšení hustoty, teploty, obsahu kapalné vody a obsahu deuteria.*

3. Výsledky

Hlavní výsledky dizertační práce byly publikovány nebo odeslány do vědeckých časopisů. V dizertační práci jsou prezentovány dva články otištěné v časopisech Zeitschrift für Geomorphologie a Journal of hydrology, jeden článek v recenzním řízení v časopisu Hydrology and Earth System Sciences a jeden článek odeslaný do téhož časopisu.

3.1. Článek I - A portable simulator for investigating rain-on-snow events

Juras, R., Pavlásek, J., Děd, P., Tomášek, V. and Máca, P.: A portable simulator for investigating rain-on-snow events, *Zeitschrift für Geomorphol. Suppl. Issues*, 57(1), 73–89, doi:10.1127/0372-8854/2012/S-00088, 2013.

Abstract: This paper deals with ways of simulating rain-on-snow events caused by high-intensity, short duration precipitation. A low-cost rainfall simulator was developed for the purposes of this experiment. This device enables rainfall of varying intensity and duration to be simulated, and automatically monitors some components of the mass and energy balance, consisting of the outflow rate, the temperature of the inflow and outflow water, the air temperature, and the temperature in various positions in the snow cover. Artificial rain intensities ranging from 40 mm.h⁻¹ to 100 mm.h⁻¹ produced by a single nozzle under water pressure ranging from 0.7 bar to 1.65 bar were tested. The results of a field test revealed a limited retardation and transformation function of ripe snow cover during extreme rainfall events.

3.2. Článek II - Isotopic tracing of the outflow during artificial rain-on-snow event

Juras, R., Pavlásek, J., Vitvar, T., Šanda, M., Holub, J., Jankovec, J. and Linda Miloslav: Isotopic tracing of the outflow during artificial rain-on-snow event, *J. Hydrol.*, 1, 1145–1154, doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.08.018>, 2016.

Abstract: The frequency of rain-on-snow (ROS) occurrence is increasing and this natural phenomenon is beginning to play an important role in temperate climate regions. Present knowledge of outflow generation mechanisms and rainwater dynamics during ROS is still insufficient. The study introduces a combined method of artificial ROS, isotopic tracing and energy balance to partition the event rainwater and the pre-event non-rainwater in the outflow. A rainfall simulator and water enriched with deuterium were used for identifying event rainwater and pre-event non-rainwater during an ROS event.

The ROS experiment was conducted in the Krkonoše Mountains in the Czech Republic. An experimental snow block consisting of ripe and isothermal snow was sprayed with deuterium enriched water. The outflow from the snowpack was continuously monitored to gain quantitative and qualitative information about outflow water. The isotopic deuterium content was further analysed from the samples by means of laser spectroscopy in order to separate the hydrograph components. The deuterium content was also analysed from the snow samples gathered before and after the experiment to identify the retention of event rainwater in the snowpack.

Isotopic hydrograph separation revealed that although high rain intensity was applied, the event rainwater represented one half (52.7%) of the total outflow volume. The ripe snowpack retained about one third of the rainwater input (33.6%). Significant changes in the outflowing water quality can therefore be expected during ROS events. This experiment also shows that rainwater during ROS firstly pushes out the non-rainwater and then contributes to the outflow. These results show that the presented technique allows us to gain sufficient information about rainwater dynamics during ROS.

3.3. Článek III - Rainwater propagation through snowpack during rain-on-snow events under different snow conditions

Roman Juras, Sebastian Würzer, Jirka Pavlásek, Tomáš Vitvar, et Tobias Jonas 2016, Hydrology et Earth System Sciences – Discussion, submitted, 2016

Abstract: The mechanisms of rainwater propagation and runoff generation during rain-on-snow (ROS) are still insufficiently known. Understanding the behaviour of liquid water within the natural snowpack is crucial especially for forecasting of natural hazards such as floods and wet snow avalanches. In this study, rainwater percolation through snow was investigated by sprinkling deuterium enriched water on snow and applying an advanced hydrograph separation technique on samples collected from the snowpack runoff. This allowed quantifying the contribution of rainwater and snowmelt in the water released from the snowpack. Four field experiments were carried out during the winter 2015 in the vicinity of Davos, Switzerland. For this purpose, large blocks of natural snow were isolated from the surrounding snowpack to inhibit lateral exchange of water. These blocks were exposed to artificial rainfall with 41 mm of deuterium enriched water. The sprinkling was run in four 30 minutes periods separated by three 30 minutes non-sprinkling periods. The runoff from the snow block was continuously gauged and sampled for the deuterium concentration. At the onset of each experiment initially present liquid water content was first pushed out by the sprinkling water. Hydrographs showed four pronounced peaks corresponding to the four sprinkling bursts. The contribution of rainwater to snowpack runoff consistently increased over the course of the experiment but never exceeded 86 %. An experiment conducted on a cold snowpack suggested the development of preferential flow paths that allowed rainwater to efficiently propagate through the snowpack limiting the time for mass exchange processes to take effect. On the contrary, experiments conducted on ripe isothermal snowpack showed a slower response behaviour and resulted in a total runoff volume which consisted of less than 50 % of the rain input.

3.4. Článek IV - Modeling liquid water transport in snow under rain-on-snow conditions considering preferential flow

Würzer, S., Wever, N., Juras, R., Lehning, M. and Jonas, T.: Modeling liquid water transport in snow under rain-on-snow conditions considering preferential flow, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 18(August), 16488, doi:10.5194/hess-2016-351, 2016

Abstract: Rain-on-snow (ROS) has the potential to generate severe floods. Thus, precisely predicting the effect of an approaching ROS event on runoff formation is very important. Data analyses from past ROS events have shown that a snowpack experiencing ROS can either release runoff immediately or delay it considerably. This delay is a result of refreeze of liquid water and water transport mechanisms in the snowpack. Water percolation is depending on snow grain properties but also on the presence of structures such as ice layers or capillary barriers. During sprinkling experiments, preferential flow was found to be a process that critically impacted the timing of snowpack runoff. However, current one-dimensional snowpack models are not capable of addressing this phenomenon correctly. For this study, the detailed physics-based snowpack model SNOWPACK is extended with a water transport scheme accounting for preferential flow. The implemented Richards' Equation solver is modified using a dual-domain approach to simulate water transport under preferential flow conditions. To validate the presented approach, we used an extensive dataset of over 100 ROS events from several locations in the European Alps, comprising meteorological and snowpack measurements as well as snow lysimeter runoff data. The model was tested under a variety of initial snowpack conditions, including cold, ripe, stratified and homogeneous snow. Results show that the model accounting for preferential flow (PF) demonstrated an improved overall and in particular more balanced performance. While the improvements were small for experiments on isothermal wet snow, they were pronounced for experiments on cold snowpacks, where field experiments found preferential flow to be especially prevalent.

4. Závěr

Nově vyvinutá metodika umožňuje simulovat dešťové srážky na sněhovou pokrývku. V rámci této metodiky je možné stopovat dešťovou vodu jak ve sněhu pomocí vizualizace preferenčních cest, tak na odtoku ze sněhové pokrývky pomocí separace hydrogramu. Přestože simulace přirozených podmínek je omezená, tak metodika poskytuje relevantní výsledky při sledování dynamiky dešťové vody ve sněhu. Hlavní výhodou je především možnost nastavení počátečních podmínek a kontrola procesů během simulace.

Podle původního předpokladu bylo potvrzeno, že dešťová voda se chová ve vyzrálé sněhové pokrývce rozdílně, než v nevyzrálé pokrývce. Předpoklad, že dešťová voda proudí rychleji ve vyzrálé sněhové pokrývce, však potvrzen nebyl. Vlivem pístového efektu nejdříve vytlačila dešťová voda z pokrývky kapalnou vodu a částečně byla pokrývkou zadržena, což zpozdilo její odtok. Vyzrálá sněhová pokrývka transformovala dešťovou srážku mnohem více, než byl původní předpoklad. To mělo také za následek, že kumulovaný kombinovaný odtok z vyzrálé sněhové pokrývky obsahoval maximálně 50 % dešťové vody, ale celkově převyšoval celkový vstup deště. Tento fakt může být velmi důležitý z hlediska potenciálních povodní, především pokud bychom podobné chování očekávali i v měřítku povodí.

Na druhou stranu nevyzrálá sněhová pokrývka transformovala dešťovou vodu pouze omezeně, protože většina vstupní dešťové vody se objevila také na odtoku. Počáteční předpoklad, že dešťová voda bude intenzivně interagovat s nevyzrálou pokrývkou a většina vody se v ní zadrží, se také nepotvrdil. Vyzrálá pokrývka zadržela dešťovou vodu především vlivem rozlivu do stran a následnému přemrznutí. Lokálně docházelo na rozhraní dvou vrstev k výrazné akumulaci, která je ale vzhledem k celkovému dodanému objemu výrazně nižší. Pokud bylo rozlivu zamezeno, tak voda sněhem rychle protekla a byla pouze minimálně transformována.

Přítomnost dešťové vody ve sněhové pokrývce působila také změny v jejích vlastnostech. Změny nastaly jak ve vyzrálé, tak v nevyzrálé sněhové pokrývce. Ve vyzrálé pokrývce byly však tyto změny větší, především díky větší interakci dešťové vody se sněhem.

Zároveň bylo potvrzeno, že rychlost hydrologické odpovědi sněhové pokrývky závisí především na intenzitě deště a v druhé řadě na počátečních vlastnostech sněhu.

Životopis

Osobní údaje:

Jméno a příjmení: Ing. Roman Juras
Datum narození: 8.4.1985
Místo narození: Hustopeče
Rodinný stav: svobodný
Státní příslušnost: Česká republika
Trvalé bydliště: Milešovská 1/846, Praha 3, 130 00
E-mail: juras@fzp.czu.cz

Vzdělání:

2009- dosud doktorské studium, obor Environmentální modelování, FŽP ČZU v Praze, Téma disertační práce: Vliv sněhové pokrývky na odtok během dešťových srážek
2007 – 2009 magisterské studium, Environmentální modelování, FŽP ČZU v Praze, diplomová práce: Nebezpečí břechotoků na území KRNAP a možnosti jejich predikce
2004 – 2007 bakalářské studium, obor Aplikovaná ekologie, FŽP ČZU v Praze, Bakalářská práce: Potrava sýce rousného v Krušných horách
2000 – 2004 Masarykova střední škola chemická, Praha

Stipendia, studijní pobyty:

2011 Stipendium DBU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt), Ludwig-Maximilians-Universität Mnichov
2010 – 2011 Stipendium Abisko Scientific Research Station – Royal Swedisch Academy of Science, téma „A study of slushflows in Abisko area“
2015 Stipendium SCIEX – WSL-SLF Davos

Pracovní zkušenosti a jiné znalosti:

- Spolupráce na projektu CAWa (Central Asian Water) – monitoring ledovců, Bavorská akademie věd, Mnichov (2011)
- Projekt mapování činnosti ledovců v Kyrgystánu, Ludwig-Maximilians-Universität Mnichov (2011)
- Spolupráce na návrhu projektů výstavby vodovodů a kanalizací - Aquion (12/2008 – 1/2011)
- Editace záplavových území Švýcarska – Intermap Technologies (2008)
- Testování vyvíjeného softwaru pro evidování vodovodů a kanalizací eVaK – Aquion (12/2008 – 1/2011)
- Spolupráce na projektu Bibliotéka – editace diplomových prací v rámci národní databáze
- Certifikát CENIA - Sběr a zpracování prostorových dat
- Znalost softwaru – ArcGIS, R, HEC-HMS, Janitor, SQL databáze, MS Office

Jazykové znalosti:

- Anglický jazyk (zkušený uživatel – C1, psaná i mluvená forma)
- Německý jazyk (středně pokročilý – B2, psaná i mluvená forma)

Řešené projekty:

A physical modelling of rain-on-snow events, connected with natural hazards (pilotní projekt): 2011 Deutsche Bundesstiftung Umwelt, řešení na Ludwig-Maximilians Universität München. Hlavní řešitel.

Vodní retence sněhu v klimatických podmínkách střední Evropy (pilotní projekt): 2010 – 2011, Celouniverzitní grantová agentura ČZU. Hlavní řešitel.

A study of slushflows in Abisko area (navázání na předchozí projekty): 2010 – 2011, Abisko Scientific Research Station – Royal Swedish Academy of Science. Hlavní řešitel.

Stanovení plošného rozložení sněhové pokrývky na Stříbrném hřbetě pomocí GPS (pilotní projekt): 2010, Grantová agentura Fakulty životního prostředí ČZU, spolupráce s KRNP. Hlavní řešitel.

Vytvoření informačního systému pro vyhodnocení lavinového nebezpečí v horských oblastech České republiky, 2013-2015, Bezpečnostní výzkum MV ČR, pracovník na projektu

Publikační činnost:

Vědecké časopisy s IF:

- Juras, R., Pavlásek, J., Děd, P., Tomášek, V. and Máca, P.: A portable simulator for investigating rain-on-snow events, *Zeitschrift für Geomorphol. Suppl. Issues*, 57(1), 73–89, doi:10.1127/0372-8854/2012/S-00088, 2013.
- Juras, R., Pavlásek, J., Vitvar, T., Šanda, M., Holub, J., Jankovec, J. and Linda Miloslav: Isotopic tracing of the outflow during artificial rain-on-snow event, *J. Hydrol.*, 1, 1145–1154, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.08.018, 2016.
- Würzer, S., Wever, N., Juras, R., Lehning, M. and Jonas, T.: Modeling liquid water transport in snow under rain-on-snow conditions considering preferential flow, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 18(August), 16488, doi:10.5194/hess-2016-351, 2016
- Roman Juras, Sebastian Würzer, Jirka Pavlásek, Tomáš Vitvar, et Tobias Jonas 2016, *Hydrology et Earth System Sciences*, submitted, 2016

Vědecké konference:

- Juras, R., Würzer, S., Pavlasek, J., Jonas, T. Rainwater propagation through snow during artificial rain-on-snow events. *Geophysical Research Abstracts* 2016.
- Blahůt, J., Pavlásek, J., Juras, R., Klimeš, J., Klose, Z., Balek, J., Roubínek, J., Tábořík, P., Hájek, P. Snow-avalanche hazard forecasting in the Krkonoše Mountains, Czechia. 2014, *EGU General Assembly 2014*, held 27 April - 2 May, 2014 in Vienna, Austria.
- Klose, Z., Pavlásek, J., Juras, R., Roubínek, J. Spatial distribution of HBV-ETH model. 2013, *International Snow Science Workshop Grenoble – Chamonix Mont-Blanc - 2013*.
- Juras, R., Pavlásek, J., Blahůt, J., Bašta, P., Klose, Z., Moudrý, V., Balek, J. New tool for avalanche forecasting in the Krkonoše Mountains. 2013, *International Snow Science Workshop Grenoble – Chamonix Mont-Blanc - 2013*.
- Juras, R., Bašta, P., Pavlásek, J., Gdulová, K., 2011: Stanovení plošného rozložení sněhové pokrývky na Stříbrném hřebetě pomocí GPS. In: Šír, M., Tesař, M., *Hydrologie malého povodí 2011*, 1. díl. Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, Praha, s. 203-212.
- Juras R., Pavlásek J., Gdulová K., 2010: Snow cover measurement with GPS reference receivers in "UCOLIS 2010 - University Conference in

Life Sciences-Proceedings", příspěvek ve sborníku, ISBN 978-80-213-2141-0.

- Juras R., Pavlásek J., Kociánová M., 2009: Výskyt břečkotoků v Krkonoších in XIV. Medzinárodné stretnutie snehárov (sborník příspěvků) ČZU; 18.3. – 21.3. 2009; Kubova Huť, Str.: 76 – 89.
- Juras R., 2009: Risk of slushflows in area of the Giant Mountains NP and possibilities of their prediction. In: 4th Student "Cloudberry" Conference on Krkonoše Research, Collection of student's abstracts. Krkonose National Park, Vrchlabí, s: 14.