

# Snehová pokrývka

*L. Holko, Z. Kostka, J. Parajka: Snow Cover. Život. Prostr., Vol. 35, No. 3, 138 – 141, 2001.*

Systematic research in snow hydrology has started in Slovakia about 40 years ago. We briefly present the basic knowledge of spatial and temporal distribution of snow water equivalent as it is known from field measurements in mountain catchments in north Slovakia and outline the current state of research in the field of snow hydrology in Slovakia. The experience and approaches are available to solve the practical as well as research tasks. The tools used to model the accumulation and melt of snow cover range from a simple degree-day model through an energy based model to a sophisticated spatially distributed rainfall-runoff catchment's model. We are providing examples of application of different models in snow water equivalent and snowmelt runoff modelling and the assessment of climate change impact on the snow cover. In the nearest future, the problem of redistribution of snow by wind should be preferably addressed by the research.

Snehová pokrývka je v našich podmienkach významným prírodným fenoménom. Zrážky v zimnom období sa niekoľko mesiacov akumulujú v povodí a potom sa v relatívne krátkom čase uvoľňujú, čo má významný vplyv nielen na kvantitatívne, ale aj na kvalitatívne prejavy vodného cyklu. Z vodohospodárskeho hľadiska sa vplyv snehovej pokrývky prejavuje najmä na jar a topenie snehu spôsobuje, že z hľadiska ročného rozdelenia odtoku sa maximá v našich tokoch vyskytujú práve v jar- nom období.

Údaje o výskyte dní so snežením sa v meteorologic- kých pozorovaniach na našom území začali zaznamená- vať už v 50. rokoch 19. storočia a približne od poslednej tretiny 20. storočia naši meteorológovia pravidelne spracúvajú charakteristiky snehovej pokrývky z údajov štand- ardnej pozorovacej meteorologickej siete (výšku snehovej pokrývky, dátum prvého a posledného dňa so snehovou pokrývkou, trvanie snehovej pokrývky, trvanie rôznych výšok snehu, vodná hodnota atď.).

Z hydrologického (aj vodohospodárskeho) hľadiska je však najdôležitejšou charakteristikou snehovej pokrývky jej *vodná hodnota* (množstvo vody, ktoré vznikne roztopením snehu). Tento údaj sa ale v štandard- nej pozorovacej sieti nedá namerať tak, aby sa mohol priamo použiť pri riešení najdôležitejšieho vodohospo- dárskeho aspektu hydrologie snehu, predpovedi topenia snehu v jar- nom období. S ním totiž súvisí priebeh prietokov v tokoch, prítok do nádrží atď.

Systematický výskum v oblasti hydrologie snehu na Slovensku sa začal až v 60. rokoch 20. storočia. Vyvrcholil v 70. a 80. rokoch vypracovaním matematického mo- delu topenia snehu a výskumom kvalitatívnych aspektov hydrologie snehu. Do praxe sa zaviedli pravidelné merania vodnej hodnoty snehovej pokrývky a ich spracúvanie aspoň v niektorých väčších povodiach. Bol tiež vypracovaný predpovedný systém pre oblasť Bodro- gu, ktorý zahŕňal aj proces topenia snehovej pokrývky. Na začiatku 90. rokov bol tento výskum v podstate ukon- čený a opäť sa začal rozvíjať až v posledných rokoch. Zatiaľ posledným dôležitým výstupom pre prax bolo vypracovanie normy merania a vyhodnocovania sneho- vých zásob v povodí, ako aj úprava matematického mo- delu predpovede odtoku počas topenia snehu pre povodie horného Hrona.

## Časový a priestorový vývoj charakteristík snehovej pokrývky v horských povodiach

Základné charakteristiky snehovej pokrývky z hydro- logického hľadiska sú: *výška*, *hustota*, a najmä *vodná hod- nota*. Jediným pracoviskom, ktoré sa u nás dlhodobo systematicky zaoberá výskumom v oblasti hydrologie snehu je Ústav hydrologie SAV. Väčšina poznatkov o vý- voji základných charakteristík snehovej pokrývky na našom území bola získaná z expedičných meraní na snehomerných profiloch v horských povodiach, najmä

v povodí Bystrej (na južnej strane Nízkych Tatier). Tieto merania sa vykonávali od 60. do začiatku 90. rokov 20. storočia. Od r. 1987 sa takéto merania robia v povodí Jaloveckého potoka v Západných Tatrách.

Z hľadiska časového vývoja charakteristík snehu rozoznávame obdobie *akumulácie* a obdobie *topenia*. Hustota snehu sa mení s jeho vekom, a s tým súvisiacou metamorfózou (uľahnutím, zmenou veľkosti zrna, obsahu vody atď.). Typické hodnoty hustoty staršieho snehu v horských povodiach kolíšu od  $200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  v januári do  $400 - 500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  v apríli. Hustota nového snehu je oveľa nižšia. Vodná hodnota snehovej pokrývky sa buď meria váhovým snehomerom, alebo sa vypočítava z nameranej výšky a hustoty snehu. Maximálne vodné hodnoty snehovej pokrývky sa vyskytujú v mesiacoch február až apríl (v závislosti od nadmorskej výšky) a zdá sa, že v poslednom desaťročí sa obdobie maximálnej akumulácie zásob vody v snehovej pokrývke posunulo z konca februára až začiatku marca na polovicu marca až začiatok apríla. V posledných rokoch býva do januára snehová pokrývka malá, január je často zrážkovo chudobný a dlhšie trvajúce nízke teploty vzduchu s výdatnejšími zrážkami umožňujú vznik významnejších zásob vody v snehovej pokrývke až v neskoršom období. Výnimočný bol rok 2000, keď sme v povodí Jaloveckého potoka zaznamenali najvyššie hodnoty nielen od začiatku meraní v r. 1987, ale aj v porovnaní s údajmi z iných povodí od konca 60. rokov.

Z priestorového hľadiska poukázali expedičné merania v horských povodiach na významný vplyv nadmorskej výšky, ktorý sa prejavuje v čase akumulácie snehovej pokrývky. Rast vodnej hodnoty snehu však nesúvisí s nadmorskou výškou lineárne. Nad hranicou lesa sa rast vodnej hodnoty s výškou znižuje a maximálne hodnoty nedosahuje na najvyšších miestach povodia, ale nižšie, čo súvisí s možnou zmenou gradientu zrážok v závislosti od nadmorskej výšky (zmenšovanie rastu zrážok od určitej nadmorskej výšky), ale najmä s premiestňovaním snehu vplyvom vetra do nižších polôh (snehový drift). Merania ďalej naznačili, že v povodí existuje zóna, ktorá dobre charakterizuje kolísanie snehových zásob v celom povodí. Z praktického hľadiska má určenie takejto zóny veľký význam, lebo by po určitom období pozorovania umožnila znížiť počet snehomerých profilov. Vplyv vegetácie (lesa) na vodnú hodnotu snehu nie je vždy rovnaký, ale v zásade sa mení v období

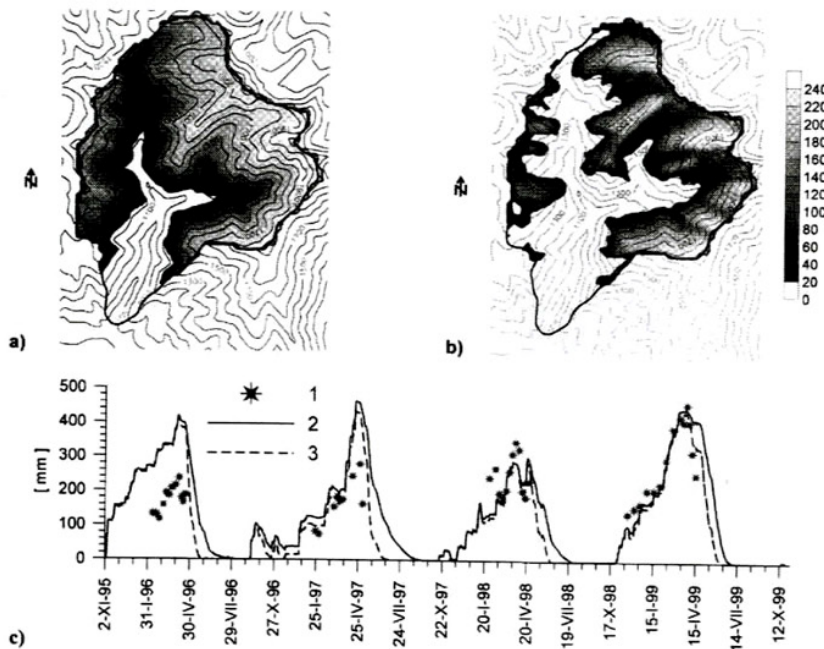


akumulácie a v období topenia snehu. V období akumulácie bývajú vplyvom zachytávania snehu v korunách stromov (interceptcie) zásoby snehu na otvorených plochách vyššie ako v lese. V období topenia snehu je v lese prikon energie oproti voľnej ploche nižší, takže snehová pokrývka sa tam topí pomalšie a dlhšie ako na otvorenej ploche.

#### Modelovanie vodnej hodnoty snehovej pokrývky

Topenie snehu je proces, ktorý je riadený tokmi energie, najmä na rozhraní povrchu snehovej pokrývky a atmosféry. Hlavné činitele v tomto procese sú dopadajúce slnečné žiarenie a vyžarovanie povrchu snehu, ale uplatňujú sa pri ňom aj toky energie medzi pôdou a snehovou pokrývkou, energia dodaná dopadajúcimi zrážkami, energia podieľajúca sa na sublimácii a kondenzácii na povrchu snehovej pokrývky a energia odvedená odtokom vody z roztopeného snehu. Pre topenie snehu je dôležité tzv. *dozrievanie snehu*, čo je postupný rast priemernej teploty snehovej pokrývky. Keď toky energie v snehovej pokrývke spôsobia stav, že jej priemerná teplota dosiahne  $^{\circ}\text{C}$ , ďalšia dodaná energia spôsobí topenie časti snehovej pokrývky. Snehová pokrývka sa topí zhora. Roztopená voda infiltruje do zostávajúcej snehovej pokrývky, kde buď zamrzne, alebo prúdi cez ňu až na povrch terénu. Infiltrácia vody, jej zamrznutie a rozmrznutie spôsobujú vznik ľadových vrstiev.

Zo stručného opisu topenia snehovej pokrývky je zrejme, že ide o veľmi zložitý proces. Hoci ho z fyzikálneho hľadiska pomerne dobre poznáme, úplný matematický opis by viedol k veľmi zložitým modelom, ktoré by v pra-



1. Rozloženie vodnej hodnoty snehu v povodí Jaloveckého potoka v období topenia snehu dňa 25. 4. 1999 simulované s využitím dvoch metód výpočtu topenia snehu: a) metóda jednoduchého teplotného indexu; b) kombinovaná metóda s topografickou korekciou, hodnoty na stupnici vyjadrujú vodnú hodnotu v milimetroch; c) porovnanie výsledkov simulácií oboch metódami s meranými hodnotami: 1 – merané vodné hodnoty snehu, 2 – vodné hodnoty snehu simulované s použitím metódy jednoduchého teplotného indexu, 3 – vodné hodnoty snehu simulované s použitím kombinovanej metódy

xi boli nepoužiteľné. Pri modelovaní snehovej pokrývky je preto nevyhnutné zavedenie zjednodušujúcich parametrizácií skutočných procesov. Najjednoduchšími modelmi sú tzv. *indexové metódy*, pri ktorých sa využíva vzťah medzi topením snehu a nejakou ľahko merateľnou charakteristikou, ktorá má vzťah k energetickej bilancii snehovej pokrývky. Typickým reprezentantom takéhoto prístupu je metóda *teplotného indexu*. Množstvo roztopeného snehu je v tomto prípade priamoúmerné rozdielu teploty vzduchu a kritickej teploty, nad ktorou sa začína topenie snehovej pokrývky a teplotnému faktoru, ktorý udáva množstvo roztopenej vody na jeden stupeň teploty nad kritickou teplotou:  $M = c(T - T_k)$

$M$  je roztopené množstvo,  $c$  je teplotný faktor,  $T$  je teplota vzduchu,  $T_k$  je kritická teplota vzduchu, nad ktorou sa začína snehová pokrývka topiť.

Najkratší časový úsek, pre ktorý sa metóda teplotného indexu dá použiť na určenie dávky roztopeného snehu, je jeden deň. Týmto prístupom teda nie je možné modelovať variabilitu snehovej pokrývky vo veľmi krátkych časových intervaloch. Základná rovnica sa môže modifikovať zavedením ďalších premenných (charakteristiky

veterných pomerov, žiarenia), aby lepšie odrážala podmienky topenia snehu. Na obr. 1. sú rozdiely medzi dvoma modifikáciami metódy teplotného indexu. Jednoduchý prístup, založený na rovnici, neposkytol vždy akceptovateľnú simuláciu vodnej hodnoty snehovej pokrývky a v priestorovom znázornení vidno, že vodná hodnota snehu kopíruje vrstevnice (lebo priestorové rozdelenie teploty vzduchu sa vypočítava na základe závislosti teploty vzduchu od nadmorskej výšky), čo nezodpovedá skutočnosti. Zahnutie koeficientov zohľadňujúcich bilanciu žiarenia do rovnice viedlo k zlepšeniu simulácie v povodí v bode aj v priestorovej reprezentácii.

Ako sme spomenuli, modelovanie vodnej hodnoty snehovej pokrývky má z praktického hľadiska najväčší význam pri predpovedi odtoku v povrchovom toku počas jarného obdobia, pričom výstup zo snehového modelu je vstupom do modelu odtoku. Dôraz sa pritom kladie nielen na to, aby model poskytoval uspokojujúcu simuláciu a predpoveď odtoku, ale aj na to, aby vychádzal z dostupných vstupných údajov a nekladol neprimerané nároky na obsluhu.

Prax sa zaujíma o presnosť predpovede prietoku k danému profilu, nie o to, či model korektné simuluje procesy v priestore. Z metodického hľadiska teda ide o modely s priestorovo sústredenými parametrami (bližšie Hlavčová a kol. na s. 126). Skúsenosti ukazujú, že pre mnohé aplikácie sú z hľadiska praxe akceptovateľné výsledky jednoduchých modelov, v ktorých je snehová časť založená na metóde teplotného indexu. Parajka (2000) upravil jeden z najpoužívanejších modelov tohto druhu pre predpoveď odtoku v povodí horného Hrona.

Predpoveď topenia snehu je proces riadený výmenou energie, v povodí Jaloveckého potoka sme na výskumné účely použili aj jednoduchý *energetický založený model akumulácie a topenia snehu* UEB (Tarboton, Luce, 1996), ktorý umožňuje modelovať vodnú hodnotu snehu aj počas dňa. Tento model sa snaží spojiť fyzikálne korektný opis základných energetických procesov prebiehajúcich v snehovej pokrývke s jednoduchou parametrizáciou, vďaka čomu používa relatívne ľahko dostupné údaje. Testovanie modelu v povodí Jaloveckého potoka ukázalo, že pre rôzny krok vstupných údajov (1, 3, 6 hodín, denný krok, 3 vstupné údaje merané v čase termínových

pozorovaní štandardnej meteorologickej siete o 7, 14 a 21 h) poskytuje akceptovateľnú simuláciu vodnej hodnoty snehu a simulované množstvá roztopeného snehu sú reálne. Tieto výsledky sú nádejné z hľadiska možnosti zlepšovania modelovania odtoku zo snehu pre prax, ako aj z hľadiska výskumu tvorby odtoku zo snehu. V súčasnosti je pripravená verzia modelu s priestorovo rozčlenenými parametrami (Parajka a kol., 2001), ktorá umožňuje získať ďalšie informácie o priestorovom rozložení vodnej hodnoty snehovej pokrývky a množstvách vody z topiaceho sa snehu.

Výsledky uvedené na obr. 1. boli získané pomocou matematického modelu WaSiM (Schulla, Jasper, 1999). Tento zrážkovo-odtokový model je sofistikovaným nástrojom, ktorý sa môže použiť vo výskume pri riešení rôznych otázok hydrologie povodí, ale aj pri riešení praktických úloh. Príkladom jeho použitia v oblasti hydrologie snehu sú odhady dôsledkov zmeny klímy na snehovú pokrývku v horskom povodí Jaloveckého potoka v Západných Tatrách (Kostka, Holko, 2000). Simulácie s predpokladanými klimatickými scenármi poukazujú na možnosť výrazného zmenšenia vodnej hodnoty snehovej pokrývky i dĺžky jej trvania, v tomto prípade by prevádzky lyžiarskych zariadení postupne mohli zaniknúť prakticky vo všetkých našich zimných strediskách.

\*\*\*

V súčasnosti máme k dispozícii skúsenosti aj nástroje na modelovanie hydrologicky a vodo hospodársky najdôležitejšieho parametra snehovej pokrývky – vodnej hodnoty – pre praktické účely predpovede odtoku z horských povodí a po dlhšej stagnácii pokračuje výskum v tejto oblasti. Základnou výskumnou úlohou na najbližšie obdobie je uspokojivo vyriešenie redistribúcie snehovej pokrývky v povodí vplyvom vetra. Využitie dostupných nástrojov a získaných vedomostí vo vodo hospodárskej praxi závisí najmä od spoločenskej objednávky.

*Práca vznikla s podporou grantu VEGA 2/7149/20.*

## Literatúra

- Holko, L., Kostka, Z., Parajka, J.: Súčasný stav v oblasti modelovania snehovej pokrývky na Slovensku. IV. medzinárodná vedecká konferencia Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia, Zemplínska šírava, 2001.
- Kostka, Z., Holko, L.: Vplyv klimatickej zmeny na priebeh odtoku v malom horskom povodí. Národný klimatický program Slovenskej republiky, 8/2000, s. 91 – 100.
- Parajka, J.: Simulácia odtoku z topenia snehu pre povodie horného Hrona. Správa. Experimentálna hydrologická



základňa, Ústav hydrologie SAV Liptovský Mikuláš, 2000.

- Parajka, J., Kostka, Z., Holko, L.: Application of Energy Based Snowmelt Model to the Jalovecky Creek Basin. Medzinárodná konferencia Voda je život – chráňme si ju. Výskumný ústav vodného hospodárstva, Bratislava, 2001.
- Schulla, J., Jasper, K.: Model Description WaSiM-ETH (Water Balance Simulation Model ETH). Institute of Geography ETH Zürich, 1999, 166 s.
- Tarboton, D., Luce, D.: Utah Energy Balance Snow Accumulation and Melt Model (UEB). Computer Model Technical Description and Users Guide. Utah State University and USDA Forest Service, 1996, 39 s.

**RNDr. Ladislav Holko, CSc., Ústav hydrologie SAV, Ondrašovecká 16, 031 01 Liptovský Mikuláš**  
E-mail: holko@svslm.sk

**RNDr. Zdeněk Kostka, PhD., Ústav hydrologie SAV, Ondrašovecká 16, 031 01 Liptovský Mikuláš**  
E-mail: kostka@svslm.sk

**Mgr. Juraj Parajka, Ústav hydrologie SAV, Ondrašovecká 16, 031 01 Liptovský Mikuláš**  
E-mail: parajka@svslm.sk