VYHODNOTENIE PRIESTOROVÉHO A ČASOVÉHO ROZDELENIA SNEHOVEJ POKRÝVKY METÓDOU ČIAR UBÚDANIA SNEHU V POVODÍ HORNÉHO HRONA

Zuzana Pecušová

Významnou črtou snehovej pokrývky v horských povodiach je jej vysoká priestorová a časová premenlivosť. Poznanie rozdelenia snehu v priestore a čase je dôležité pre vyhodnocovanie množstva vody v snehu, ktorou prispieva snehová pokrývka do odtoku. Priestorové a časové rozdelenie snehu je možné vyhodnotiť rôznymi metódami. Dostupnou metódou je metóda ubúdania snehovej pokrývky v povodí, ktorú možno použiť najmä tam, kde sú potrebné priestorové informácie o snehu, ale k dispozícii nie sú žiadne výsledky diaľkového prieskumu Zeme (DPZ). Praktické využitie odvodených snehových čiar spočíva pri vyhodnocovaní priebehu topenia snehu a v ich začlenení ako priameho vstupu do snehovo-odtokových modelov.
Cieľom tohto príspevku je ukázať použiteľnosť metódy snehových čiar pri vyhodnocovaní priestorovej a časovej variability snehu na základe klasifikovaných tvarov. Snehové čiary boli odvodené pre povodie horného Hrona z vodných hodnôt snehovej pokrývky vypočítaných snehovým distribuovaným modelom.

Kľúčové slová: metóda čiar ubúdania snehovej pokrývky v povodí, priestorové a časové rozdelenie snehovej pokrývky

The areal and temporal assessment of snow distribution using a method of snow areal depletion curves.
The important feature of snow cover is its high variability in space and time, especially in mountainous regions. The knowledge of this variability is of particular relevance for evaluation of the snow contribution to the discharge. The areal assessment of snow can be based on various methods. The method of snow depletion curves may be useful if areal assessment of snow cover is needed and no remote sensing data are at the disposal. The practical applicability of the derived snow areal depletion curves lies in assessment of snowmelt in current season and in incorporating them as a direct input to the snowmelt-runoff models.
The aim of this paper is to present the applicability of the method of snow depletion curves in areal and temporal evaluation of snow distribution according to clasified shapes. The areal snow depletion curves were derived for an area of the upper Hron river basin from snow water equivalent by a distributed snowmelt model.

Key words: the snow areal depletion curves, spatial and temporal variability of snow

---

ÚVOD

Pri určovaní veľkosti odtoku zo snehu pre väčšinu hydrologických modelov, či už snehovo- alebo zrážkovo-odtokových, nie je dôležitá informácia o množstve akumulovaného snehu v jednom príp. viacero bodoch povodia, ale o zásobách snehu v celom povodí. Pretože **letecké,** príp. **družicové snímkovanie** je finančne náročné a **pozemná fotogrametria** (Turčan, 1970) je časovo a fyzicky náročná, určuje sa rozdelenie zásob snehovej pokrývky a vody v nej pre celé povodie stále z bodových meraní. V súčasnosti sú k dispozícii rôzne transformačné techniky teritoriálneho zovšeobecňovania podkladových dát. Prvotnú predstavu o rozložení snehu v povodí je možné získať z **čiary vodných hodnôt** (Turčan, 1973; Barták, 1980; Pobeha, 1984; Sevruk, 1992), ktorá vyjadruje závislosť medzi charakteristikou snehu – vodnou hodnotou a nadmorskou výškou empirickými regresnými funkciami. Vychádzajúc z tejto závislosti, môžu zásoby snehu v nižšie položených oblastiach (do 800 m n.m.) stúpať s nadmorskou výškou lineárne (Babiaková, 1978), alebo nelineárne (Borovikova a Denisov, 1972; Babiaková, 1980; Pomeroy a Gray, 1995) v topograficky členitých vysokohorských povodiach. Nelineárny priebeh čiary vodnej hodnoty svedčí o prudkom náraste zásob snehu až po tzv. kritickú úroveň (Netopil *et al.,* 1984), polohu, od ktorej zásoby snehu rastú len mierne, príp. dokonca klesajú vplyvom transportu vetrom (Kostka, 2001) alebo lavínami (Elder *et al.* 1991) do nižších polôh. Z ďalších metód sa v literatúre (Turčan, 1978) spomína napr. **priestorová extrapolácia** bodových meraní spôsobom, kde sa meraným údajom priraďujú určité plochy v povodí. Vybrané merané hodnoty musia reprezentovať podmienky celého priradeného územia. Zvolené čiastkové plochy povodia musia byť z rôznych hľadísk (topografie, vegetačného krytu a pod.) homogénne. Vývoj

v oblasti geografických informačných systémov posunul problematiku vyhodnocovania rozloženia snehovej pokrývky v povodiach do inej dimenzie. Efektívne sú využívané rôzne **interpolačné metódy** (Keckler, 1995), aj v spojení s **distribuovanými modelmi** akumulácie a topenia snehu (Holko *et al.*, 1999; Parajka *et al.*, 2001; Pecušová *et al.*, 2002), ktoré predstavujú ďalšie z nástrojov pre stanovenie priestorovej variability snehu. Výhodou oboch uvedených prístupov je možnosť získania rozloženia skúmanej vodnej hodnoty snehu v podobe rastrových máp. Z výsledných rastrových máp sa potom vypočíta percento pokrytia povodia snehom, a tak sa nielen vizuálne, ale aj jednoduchou grafickou formou, tzv. **čiarami ubúdania zásob snehu v povodí** (Turčan, 1978 *et al.*)**,** môže tiež vyjadriť územné rozloženie snehu predovšetkým počas obdobia topenia. Vyhodnotenie rozdelenia snehovej pokrývky metódou čiar ubúdania snehu v povodí sa obzvlášť uplatňuje, ak nie sú k dispozícii satelitné alebo letecké priestorové informácie o vývoji snehu a je potrebné takúto informáciu získať čo v najkratšom čase, napr. pre predpovede kumulatívnych prietokov v operatívnej hydrológii.

Cieľom príspevku je ukázať použiteľnosť metódy čiar ubúdania snehovej pokrývky v povodí pri vyhodnocovaní priestorovej a časovej variability snehu na základe klasifikovaných tvarov. Príspevok naväzuje na prácu Pecušová *et al.* (2004), kde bola pre povodie horného Hrona vyhodnotená snehová pokrývka z hľadiska priestoru a času v zimách 1962-2001. Pre rovnaké časové obdobie boli v tejto práci odvodené čiary ubúdania snehových zásob v povodí z vodných hodnôt snehu vypočítaných distribuovaným snehovým modelom.

Čiara ubúdania zásob snehu v povodí

Čiara ubúdania zásob snehu v povodí (tiež ju možno nazvať čiarou pokrytia povodia snehom) je závislosť pokrytia územia snehom v percentách plochy povodia od pomerných čísel, ktoré vyjadrujú postupné ubúdanie snehových zásob v povodí. Používané pomery sú rôzne napr. akumulovaný odtok od začiatku odmäku k celkovému sezónnemu odtoku, objem vody v snehovej pokrývke povodia k maximálnemu objemu zimného obdobia (Turčan *et al*., 1978), percento pokrytia povodia vzhľadom k času atď.. Informácia o pokrytí povodia snehom nebola pôvodne požadovaným vstupom do zrážkovo-odtokových modelov. Bolo však dokázané (napr. McDonell, 1985), že zahrnutie priestotového rozloženia snehu do modelov založených na teplotnom indexe viedlo k značnému zlepšeniu simulácií odtoku počas fázy topenia. Mnohé zo zrážkovo-odtokových modelov sú dnes prístupné už v modifikovanej podobe, kde čiara ubúdania zásob snehu je priamym požadovaným vstupom.

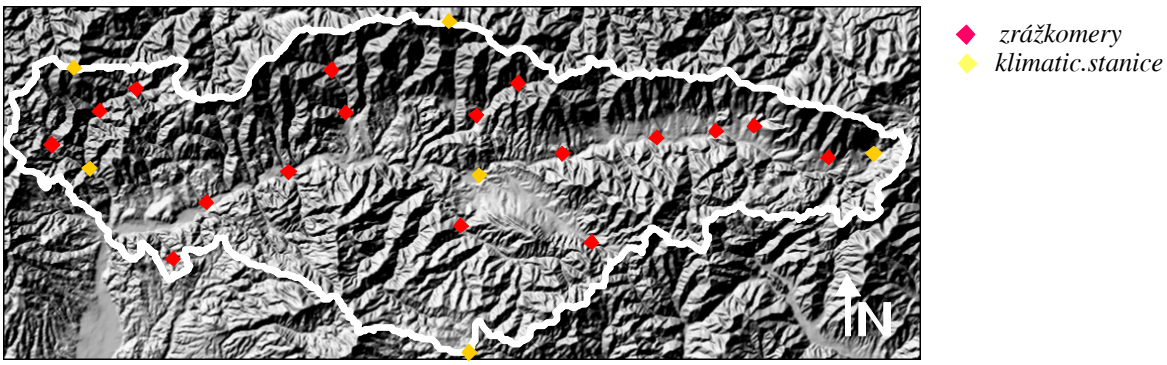
Význam čiary ubúdania zásob snehu v povodí spočíva okrem toho, že predstavuje priamy vstup do zrážkovo-odtokových modelov tiež v tom, že vývoj snehovej pokrývky na určitom území je prezentovaný grafickou formou a čo je pre hydrológov podstatné, aj kvantitatívne konkrétnymi hodnotami napr. odtopeného množstva snehu, poklesom vodnej hodnoty snehu atď.. Takto graficky zovšeobecnený vývoj snehu na určitom území je zároveň veľkým uľahčením práce v procese vyhodnocovania priestorových máp rozloženia snehu, lebo nie je nutné posudzovať každú mapu osobitne. Navyše sú čiary oproti snímkam DPZ dostupné pre akýkoľvek časový interval, lebo ich možno odvodiť z rastrových máp (najčastejšie vodných hodnôt), ktoré sú priamym výstupom snehových modelov. Samozrejme je potrebné čiary odvodené zo simulovaných hodnôt porovnávať s meranými vodnými hodnotami a pre použitie v praxi aj modifikovať podľa snímok DPZ (Kolberg a Gottschalk, 2003) alebo fyzicko-geografických faktorov vplývajúcich na tvar čiary (vegetácia, nadmorská výška, sklon a orientácia svahov) a meteorologických veličín, napr. slnečného žiarenia (Molotch *et al.*, 2001).

Cieľom modelovania je dokázať simulovať prvky hydrologického režimu aj v povodiach bez meraní na základe poznania zákonitostí z fyzicko-geograficky podobných povodí. Výskum v hydrológii snehu má v súvislosti s čiarou ubúdania zásob snehu podobnú myšlienku. Speje k tomu, aby modifikované čiary, príp. typizované na určité podmienky, mohli byť uplatnené pri simuláciách odtoku zo snehu v neznámych povodiach (König a Sturm, 1998) alebo použité pre predpovede odtoku v povodí, pre ktoré boli odvodené. Pri predpovediach odtoku použitím čiar sa predpokladá určitá uniformita

odozvy povodia na topenie snehu z roka na rok (Menoes a Brubaker, 2001). To znamená, že tvar čiar odvodených pre jednotlivé roky by mal byť pomerne stály (Turčan, 1978 *et al.*).

ŠTUDOVANÉ ÚZEMIE

Záujmové povodie horného Hrona bolo vybrané z dôvodu existencie 40-ročného časového radu meraní meteorologických vstupov a charakteristík snehu (výšky a vodnej hodnoty). Povodie je situované na strednom Slovensku, zo severu a severozápadu ohraničené fyzicko-geografickými celkami Nízke Tatry a z juhu Veporskými vrchmi a Poľanou. Povodie horného Hrona s rozlohou 1767 km^2 má horský charakter; výškový rozsah je od 341 (Hron v Banskej Bystrici) do 2043 m n. m. (Ďumbier). Priemerný sklon povodia je 17° a lesnatosť 66%. Meteorologické vstupy boli dostupné zo siete zrážkomerných (n=23) a klimatických staníc (n=6) a merania charakteristík snehu na snehových profiloch, ktoré sa nachádzali v blízkosti zrážkomerov (obr. 1).



Obr. 1 Digitálny model terénu povodia horného Hrona a sieť zrážkomerov a klimatických staníc SHMÚ.

Fig. 1 Digital elevation model of the upper Hron river basin and the network of precipitation and climatic stations of Slovak Hydrometeorological Institute (SHMI).

METODIKA

Na modelovanie vodnej hodnoty snehu z hľadiska jej variability v priestore a čase bol použitý fyzikálne založený distribuovaný model WaSiM-ETH (Schulla a Jasper, 1999).
Okrem splnenia požiadavky na vstupné údaje pre možnú aplikáciu modelu bola do úvahy braná aj skutočnosť, že uvedený model bol s úspechom testovaný aj v iných povodiach SR. Napr. v horskom povodí Jaloveckého potoka (Západné Tatry) pre výpočet priebehu akumulácie a topenia snehu (Kostka, 2001) a na odhad dôsledkov zmeny klímy (Kostka a Holko, 2002).
Databázu základných hydrometeorologických vstupov do modelu tvorili priestorové údaje o zrážkach, teplotách vzduchu, relatívnej vlhkosti vzduchu a rýchlosti vetra. Údaje topografického charakteru pozostávali z digitálneho modelu terénu (Obr.1) a informácií o využití krajiny, pôdnych typoch a pokrytia povodia vegetáciou. Všetky meteorologické veličiny okrem údajov o zrážkach boli získané zo siete klimatických staníc SHMÚ, Obr. 1. Na určenie plošných úhrnov zrážok boli použité zrážkové úhrny zo siete 23 zrážkomerov. Snehomerné merania, merania vodnej hodnoty, boli dostupné na všetkých 23 zrážkomerných staniciach.

Pre výpočet akumulácie a topenia snehu v rôznom čase a priestore bola v modeli WaSiM-ETH použitá kombinovaná metóda podľa Andersona (1973) rozšírená Braunom (1985). Podstata metódy je bližšie vysvetlená pri opise modelu. Výpočet topenia snehovej pokrývky zahŕňa vplyv rýchlosti vetra, slnečné žiarenie a príspevok energie z dažďa. Potenciálna evapotranspirácia sa počítala podľa vzorca Penman-Montheith. Na výpočet rýchlosti a množstva vody infiltrujúcej do pôdy bol použitý upravený vzťah Greena a Ampta.

Simulácie plošného rozdelenia vodnej hodnoty snehu v záujmovom území prebehli v rokoch 1962 až 2001. Ako kalibračné obdobie boli určené 80. roky (1981-1990), predovšetkým z dôvodu, že táto dekáda spĺňala požadované kritériá na komplexnosť vstupných údajov najlepšie.

Na optimalizáciu parametrov modelu bola použitá automatická technika PEST. V modele WaSiM-ETH bola optimalizácia parametrov vykonaná v dvoch krokoch: v zrážkovo-odtokovom podprograme voči meraným prietokom a v snehovom podprograme voči meraným vodným hodnotám snehu. Pri simuláciach výstupných veličín, odtoku a vodnej hodnoty snehu pracoval model s denným krokom výpočtu. Výsledné simulované odtoky boli pre vybrané časové obdobie získané v podobe grafických výstupov. Výstupom modelovania vodnej hodnoty snehu boli priestorové rastrové mapy simulovaných hodnôt pre každý deň 40 ročného obdobia. Pri modelovaní vodnej hodnoty snehu v povodí bola použitá štvorcová sieť s veľkosťou rastra 500x500m. Rastrové mapy boli podkladom pre výpočet priemernej vodnej hodnoty na povodie a konštrukciu čiar ubúdania snehovej pokrývky v povodí.

Opis modelu

***WaSiM** – Water Balance Simulation Model (Schulla a Jasper, 1999)*

Model bol skoncipovaný (Schulla a Jasper, 1999) na fyzikálnom základe opisu najdôležitejších procesov vodného cyklu. Ukladanie vody do zásoby, jej transformácia a transport v povodí sú v modeli opísané prostredníctvom týchto komponentov: meteorologických údajov a ich interpoláciou; vývinom snehovej pokrývky; intercepciou; výparom, infiltráciou vody do pôdy; tvorbou zásoby vody v koreňovej zóne a koncentráciou odtoku v riečnej sieti. Keďže model pracuje v distribuovanej forme, okrem hydrologických a klimatických údajov sú dôležitými vstupmi aj dáta o fyzicko-geografickom charaktere územia – topografia, spôsob využívania krajiny atď.. Parametre jednotlivých zložiek modelu vychádzajú z použitých matematicko-fyzikálnych vzťahov.

Existujú dve verzie modelu. Prvá verzia používa princíp hydrologickej podobnosti (TOPMODEL) a mohla by sa označovať ako priestorovo semi-distribuovaná, kým druhá používa systém Richardsových rovníc pohybu vody v pôde a je to priestorovo distribuovaná verzia. Obidve verzie riešia časový vývoj prírodných hydrologických procesov na základe fyzikálnych zákonitostí pre všetky body povodia.

Akumuláciu snehu v snehovej zložke modelu predstavuje vzťah, ktorý rozhoduje o skupenstve zrážok na základe teplôt vzduchu počas danej udalosti (rovnica 1). Podiel snehu v zrážkach je daný vzťahom:

$$P_S = \frac{T_{D/S} + T_{trans} - T}{2.T_{trans}} \qquad (1)$$

kde Ps je podiel snehu na celkovom úhrne zrážok, T je teplota vzduchu, $T_{D/S}$ je teplota, pri ktorej 50% dopadá vo forme snehu, T_{trans} je polovičný teplotný rozsah prechodu od zrážok v pevnej fáze k zrážkam v tekutej fáze.

Pre stanovenie topenia snehu môže model pracovať pomocou teplotného indexu (rovnica 2), kombinovane na fyzikálnej báze (rovnica 3), alebo s teplotným indexom doplnenom o vplyv vetra (rovnica 4).
V prípade kombinovanej metódy (Anderson, 1973) vstupujú do modelu nasledujúce zložky: turbulentný prenos energie (*Ms*) zahŕňajúci rýchlosť vetra (rovnica 4); topenie vplyvom slnečného žiarenia M_R (rovnica 5)*;* topenie vplyvom latentného tepla M_E, (rovnica 6) a vplyvom energie získanej z dopadajúcich tekutých zrážok M_P (rovnica 7). Parametre snehovej zložky modelu možno kalibrovať voči meraným vodným hodnotám a prietokom.

$$M = a.(T - T_{crit}) \quad (2)$$

$$M = (M_S + M_R + M_E + M_P) \quad (3)$$

$$M_S = a.(c.u).(T - T_{crit}).\frac{\Delta t}{24} \quad (4)$$

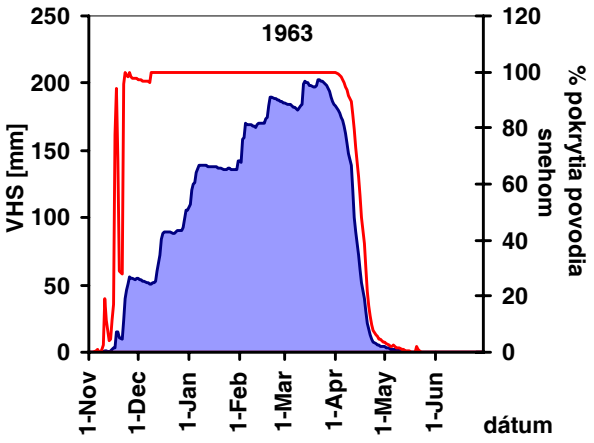
$$M_R = 1{,}2.T \quad (5)$$

$$M_E = a.(c.u).(E - 6{,}11)/\gamma \quad (6)$$

$$M_P = 0{,}0125.P.T \quad (7)$$

kde M [mm.deň$^{-1}$] je celkové roztopené množstvo snehu; a [mm°C^{-1}.d^{-1}] je teplotný faktor udávajúci úbytok vodnej hodnoty vrstvy snehu M [mm.deň$^{-1}$] spôsobený na jeden stupeň teploty vzduchu (T) nad kritickou teplotou vzduchu T_{crit}; c je koeficient topenia závislý od činnosti vetra [mm.(°C. m/s-1 d-)1]; u rýchlosť vetra [m.s^{-1}]; M_S je topenie snehu spôsobené turbulentým prenosom energie, M_R radiačnou bilanciou, M_E latentným teplom a M_E príspevokom energie z dažďa.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

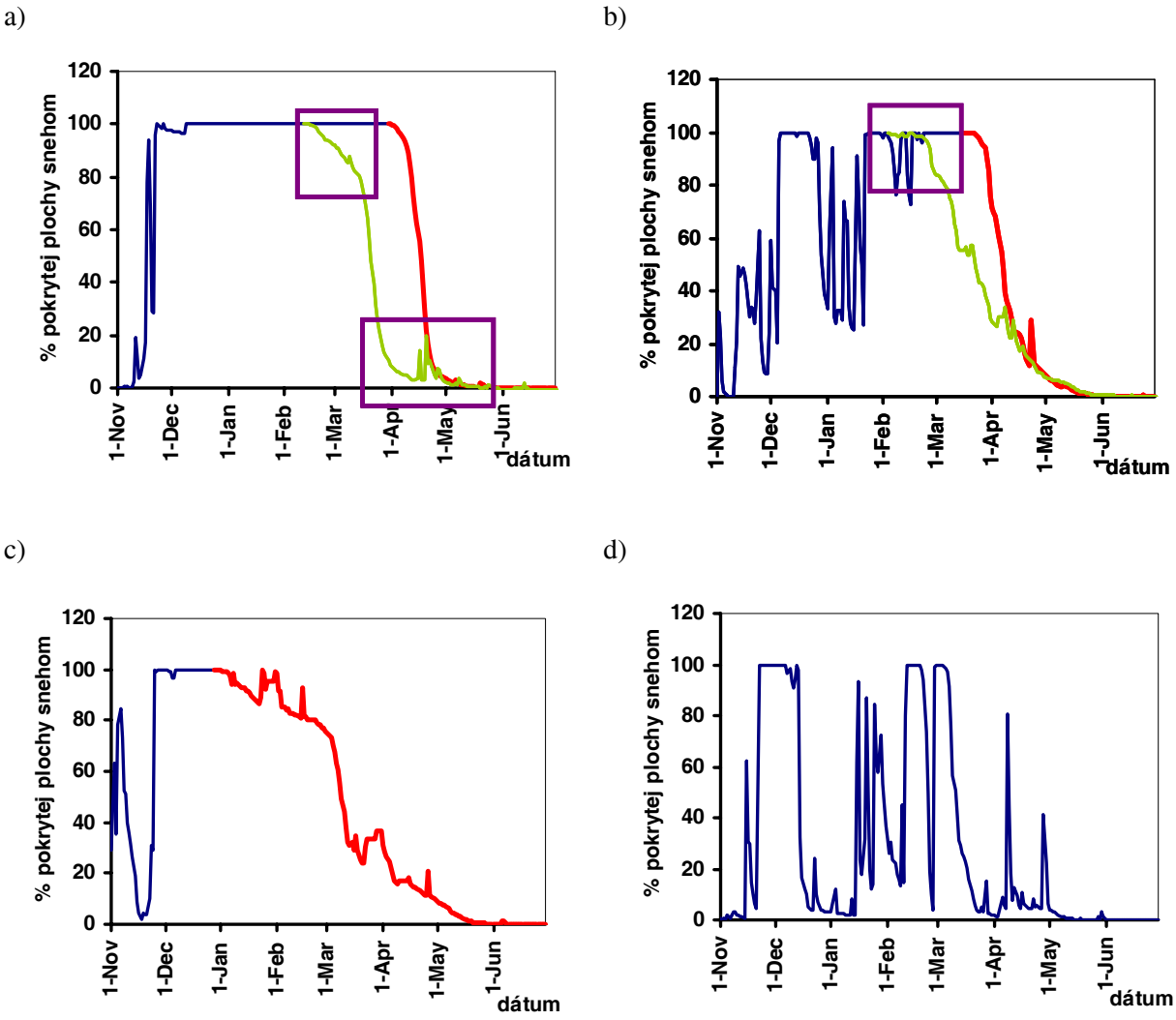


Obr. 2 Vývoj vodnej hodnoty snehu [mm] vyjadrenej ako priemer na povodie v zime 1963 (modrá krivka) a čiara ubúdania zásob snehu v povodí (červená krivka).

Fig. 2 Developement of mean basin snow water equivalent [mm] in winter 1963 (blue line) and snow depletion curve (red line).

Z rastrových máp vodnej hodnoty snehu simulovanej pre zimy 1962-2001 bolo odvodených 40 čiar ubúdania snehu v povodí horného Hrona. Percentuálne pokrytie povodia snehom bolo dané do vzťahu k času (Obr. 2), hoci sa tento vzťah často nepoužíva z dôvodu, že priebeh funkcie nie je hladký v bodoch, ktoré odrážajú náhle topenie alebo sneženie počas topenia snehu (Sevruk, 1992). Častejšie sa objavuje vzťah pokrytia snehom v percentách plochy povodia ku kumulatívnemu odtopenému množstvu vody zo snehu (Brubaker a Menoes, 2001; Martinec *et al.*, 1998 a iní) alebo vzťahy uvedené Turčanom *et al.* (1978); pozri v teoretickej časti pojednávajúcej o čiare ubúdania snehu v povodí.

Čiary boli v nasledujúcom kroku rozdelené do štyroch tried podľa tvaru kriviek na s-krivku (a), „exponenciálny“ tvar (b), postupne klesajúci (c) a neidentifikovateľný tvar krivky (d) na Obr. 3. Tvary a) a b) možno nájsť už v práci Andersona (1977) s tým rozdielom, že vo vzťahu je pomer priemernej a priemernej maximálnej vodnej hodnoty snehu W/W_{max} a plocha bez snehovej pokrývky.



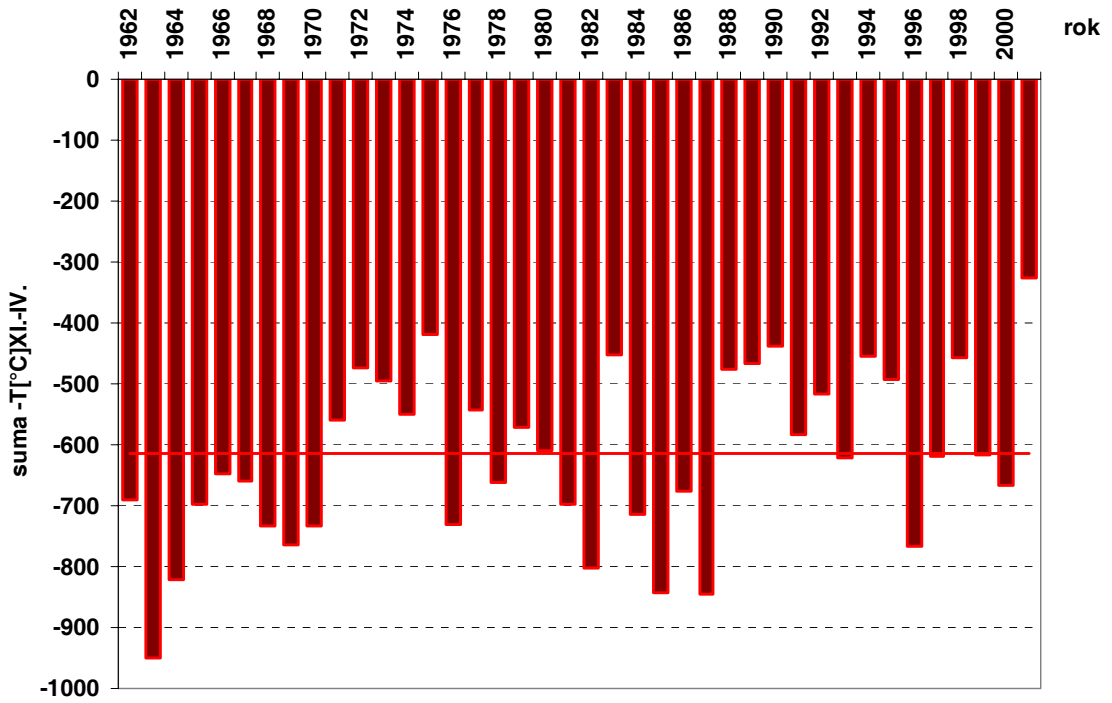
Obr. 3 Tvar odvodených čiar ubúdania snehu v povodí a) s-krivka b) „exponenciálna“ c) postupne klesajúca d) neurčitý tvar krivky. Zelené krivky naznačujú variáciu základnej formy v závislosti od dĺžky trvania počiatočnej a konečnej fázy topenia, príp. oboch fáz súčasne.

Fig. 3 Shape of the derived snow depletion curves a) s-form b) exponential c) gradually decreasing d) unidentified. The green line indicates the variation of base shapes according to the duration of initial and final phase of melting, or both phases simultaneously.

Z tvaru kriviek možno vyčítať vývoj snehovej pokrývky v priestore a čase. Krivka tvaru s opisuje priestorové rozdelenie snehu následovne. V iniciálnej fáze topenia (vyznačená na obrázku 3 a štvorčekom), ktorá môže trvať krátko (niekoľko týždňov - červená krivka) alebo dlhšie (aj viac ako mesiac - zelená krivka) ubúda sneh v povodí pozvoľne. Hlavnými oblasťami, kde sa fáza iniciálneho topenia odohráva, sú nižšie položené územia. Po iniciálnej fáze naznačuje krivka tvaru s fázu hlavného topenia. Zásoby snehu klesajú prudko v celom povodí, sneh sa uvoľní do toku prakticky počas 2 až 3 týždňov. Záver topenia (spodný štvorček) možno pripísať vysoko položeným oblastiam, kde sa ešte nachádza sneh a postupne sa uvoľňuje do toku. V povodí Hrona sa na počiatočnom topení podieľa od 5 do 20% územia a na konečnej fáze cca 10% územia. V krivke „exponenciálneho“ tvaru (b) sa počiatočná fáza buď vyskytuje (štvorček na Obr. 3b), vtedy môže byť znova topenie snehu pripísané nižším polohám, alebo úplne chýba. V prípade absencie iniciálnej fázy možno ubúdanie snehu v povodí interpretovať takto. Sneh mizne v povodí od nástupu topenia rýchlo v období 2-3 týždňov. Ubúdanie sa spomalí približne v polovici trvania celého procesu topenia, čo znamená, že v povodí sa snehová pokrývka nachádza ešte na pomerne veľkom území. Na území horného Hrona predstavuje

táto plocha okolo 40%. Zásoby snehu z tohto územia sa uvoľňujú postupne. Ak sa v odvodených exponencialnych čiarach objavila fáza počiatočného topenia, tak len na malom percente plochy povodia Hrona (5%). Krivka (c) s postupne klesajúcim trendom hovorí, že sneh v povodí ubúda počas fázy topenia postupne. Túto krivku nie je možné rozdeliť na iniciálnu, hlavnú a konečnú fázu topenia, čo možno v spojení s percentom pokrytej plochy vysvetliť tak, že vždy takmer rovnaké množstvo snehu mizne na takmer rovnakej ploche povodia. Je vhodné si tiež všimnúť aj skorý nástup topenia snehu. Krivka (d) nemá charakteristický tvar, a preto nemožno vyvodiť jednoznačné závery o rozložení snehu v povodí počas zimy. Je možné len skonštatovať, že v niektorých časových úsekoch nebolo celé povodie pokryté snehom. Predpokladáme, že ide hlavne o údolné a stredné polohy, kde sa variabilita snehu mení vplyvom kolísajúcich teplôt.

V nasledujúcej časti sme sa zamerali na charakterizovanie zím podľa sumy záporných teplôt vzduchu za mesiace november až apríl (obr. 4) a meraných výšok snehu, ako aj simulovaných vodných hodnôt snehu (obr. 5). Na základe teploty vzduchu spriemerovanej z meraní na 6 klimatických staniciach boli všetky zimy rozdelené do týchto tried: veľmi chladné, chladné, mierne, teplé a veľmi teplé. Kritériom pre zaradenie do kategórie veľmi chladné zimy bola suma prevyšujúca –700 [°C] a do kategórie veľmi teplá bola uvedená suma nižšia ako –500 [°C]. Smerodajným pre kategórie chladné, mierne a teplé zimy bol dlhodobý priemer za obdobie 40 rokov. Výsledok triedenia zím podľa teploty vzduchu je v Tab. 1.



Obr. 4 Suma záporných teplôt vzduchu vypočítaná ako aritmetický priemer z meraní na 6 klimatických staniciach pre mesiace XI.–IV. a dlhodobý priemer za obdobie 40 rokov.

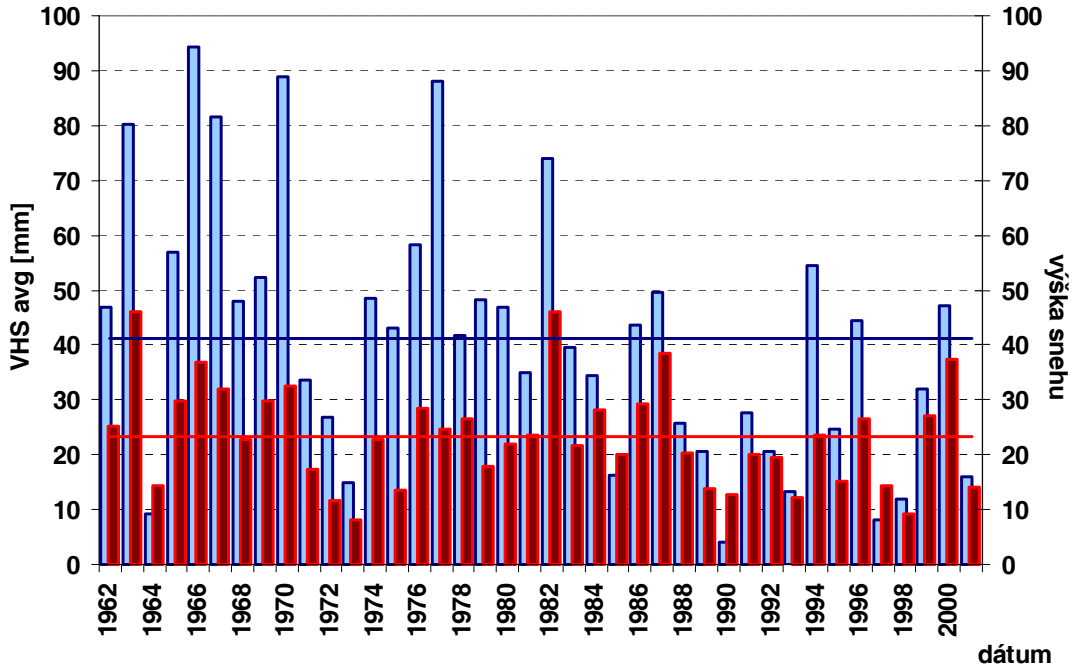
Fig. 4 The sum of negative temperatures calculated as arithmetical mean from values measured at 6 climatic stations for month XI.–IV. and long-term average for the time period of 40 years.

Tab. 1 Klasifikácia zím podľa sumy záporných teplôt vzduchu za mesiace XI.-IV.

Tab. 1 Classification of winters according to the sum of negative temperatures for month XI.-IV.

kategória	zimy
veľmi chladná	1963, 1964, 1968, 1969, 1970, 1976, 1982, 1984, 1985, 1987, 1996
chladná	1962, 1965, 1966, 1967, 1978, 1981, 1986, 2000
mierna	1980, 1993, 1997, 1999
teplá	1971, 1974, 1977, 1979, 1991, 1992
veľmi teplá	1972, 1973, 1983, 1988, 1989, 1990, 1994, 1995, 1998, 2001

Podľa meranej výšky snehu a simulovanej vodnej hodnoty boli zimy charakterizované na veľmi chudobné, chudobné, priemerné, bohaté a veľmi bohaté na sneh. Výšky snehu boli pre celé povodie vypočítané v jednotlivých zimách ako aritmetický priemer z 23 snehomerných profilov. Obr. 5 zobrazuje výšky snehu a vodné hodnoty snehu ako aj dlhodobé priemery za obdobie 1962-2001. Za zimy bohaté a veľmi bohaté boli považované všetky tie, ktorých hodnoty uvedených snehových charakteristík boli nad dlhodobým priemerom. Hodnoty snehových charakteristík priemerných zím sa pohybovali okolo dlhodobého priemeru. Hodnoty nižšie ako dlhodobý priemer určili, že zima je chudobná alebo veľmi chudobná na sneh. Hraničné hodnoty medzi veľmi bohatou a bohatou, resp. chudobnou a veľmi chudobnou zimou boli viac ako 60 mm a menej ako 30 mm. V sporných prípadoch, napr. zima 1977, ktorá bola podľa výšky snehu priemerná, ale podľa vodnej hodnoty snehu veľmi bohatá, sme sa priklonili k hodnoteniu podľa vodnej hodnoty snehu i ked simulovanej. Tá sa ukázala po vyhodnotení maximálnych nameraných prietokov z topiaceho sa snehu smerodatnejšia, lebo na jar 1977 kulminoval prietok najvyššou hodnotou za 40-ročné obdobie $Q > 250 m^3/s$. Logicky preto zima 1977 musela byť na sneh bohatá, čo nám neskôr potvrdilo aj maximum vodnej hodnoty snehu, ktoré bolo za roky 1962-2001 najvyššie práve počas tejto zimy [250 mm].



Obr. 5 Meraná výška snehu [cm] vyjadrená pre každú zimu ako aritm. priemer z 23 snehomerných profilov (červené stĺpčeky), priemerná simulovaná vodná hodnota [mm] (modrá farba) a dlhodobé priemery oboch charakteristík.

Fig. 5 Measured depth of snow [cm] expressed for each winter season as arithmetical average from 23 snow courses (red columns), the mean of simulated snow water equivalent [mm] (blue columns) and the long-term averages of both the characteristics calculated for the time period of 1962-2001.

Z analýzy 40 čiar sme dospeli k záveru, že tvar čiary nie je pre určité povodie stály, ako sa píše v práci Turčan *et al.* (1978), ale sa mení vzhľadom na charakter zimy. Oponovanie starším poznatkom argumentujeme následovnými výsledkami.

Krivka v tvare s bola platná prevažne pre zimy veľmi bohaté a bohaté na sneh, teplotne prevažne veľmi chladné. Veľmi bohaté zimy (1963, 1966, 1970, 1977, 1982, 1987, 2000) a bohaté na sneh (1969, 1986, 1996, 1999) mali charakter veľmi chladných a chladných zím (pozri tab. 1). Krivka čiar mala v takýchto prípadoch hladký priebeh bez výkyvov, ktoré by značili zmenu zásob snehu na území vplyvom kolísajúcich teplôt vzduchu. Čo sa týka zásob snehu, výnimkou pre typ krivky s boli zimy 1962, 1968, 1974 s priemernou zásobou snehu a jedna chudobná zima 1971. Výnimkou z teplotnej charakteristiky boli zimy 1971 a 1974, ktoré boli teplé.

Pre tvar krivky v „exponenciálnom" tvare (b) nebolo možné vyvodiť jednoznačné závery. Krivka bola priradená rôzne bohatým zimám, i keď najpočetnejšiu skupinu tvorili na sneh chudobné zimy (1964, 1971, 1972, 1981, 1984, 1985, 1988, 1991, 2001). Rovnako početné skupiny predstavovali priemerné zimy (1978, 1979, 1980, 1983) a zimy bohaté (1965, 1967, 1976 a 1994). Rôznorodé boli zimy aj teplotne. Možno však skonštatovať, že v danej kategórii sa častejšie objavujú teplé a veľmi teplé zimy (tab. 1), čím sa plynulosť krivky prerušuje početnejším výskytom vĺn z topenia, väčších, či menších rozmerov.

Postupne klesajúci trend (čiara c) bol platný pre veľmi teplé, chudobné (1975) a veľmi chudobné zimy (1989, 1992).

Čiary bez určitého tvaru s rozkolísaným priebehom (d) boli odvodené krivky len pre veľmi chudobné zimy 1973, 1990, 1993, 1995, 1997 a 1998. Pravidlom bolo, že čiary posledného typu mali značne rozkolísaný priebeh, čo znamená, že v daných zimách sa často striedali náhle oteplenia s opätovným ochladením. Pri oteplení sa v niektorých prípadoch snehová pokrývka roztopila skoro na celom území, ochladenie prinieslo opätovné sneženia, kde sa povodie pokrylo snehom buď čiastočne, alebo dokonca na 100% (Obr. 3d).

Využitie čiar pre predpoveď odtoku zo snehu

Základna myšlienka použitia čiar do predpovednej verzie zrážkovo-odtokového modelu SRM (Martinec *et al.*, 1998) je postavená na kategorizácii čiar, ktorú sme vykonali. Podľa teploty vzduchu a hodnôt vodnej hodnoty snehu nameraných v teréne k určitému dátumu by sa predbežne určil charakter skúmanej zimy. Z kategórie čiar typizovaných na určité teplotné a snehové pomery by sa vybral ten tvar, ktorý zodpovedá skupine zím s podobnými vlastnosťami ako je skúmaná zima. Tento tvar čiary ubúdania snehovej pokrývky by sa potom použil spolu s predpovedanými teplotami a zrážkami ako priamy vstup do modelu. V budúnosti bude však ešte potrebné základnú klasifikáciu čiar podľa teploty vzduchu a veľkosti vodnej hodnoty snehu rozšíriť o klasifikáciu podľa priebehu vodnej hodnoty snehu, maxima vodnej hodnoty snehu za zimnú sezónu, nástupu a dĺžky topenia atď. Tým by sa zovšeobecnili ďalšie faktory, ktoré spôsobujú určité variácie v základných štyroch zistených typoch čiar. Príkladom môžu zimy 1969 a 1996 charakteristické takmer identickým priebehom vodnej hodnoty počas sezóny. Rovnaký priebeh tejto snehovej charakteristiky v oboch zimách dáva typizovanej s čiare ubúdania snehu rovnakú dĺžku a sklon iniciálnej, hlavnej a konečnej fázy topenia.

ZÁVER

Z analýzy čiar ubúdania zásob snehu v povodí, odvodených pre 40 zím z rastrových máp simulovanej vodnej hodnoty sme dospeli k záveru, že tvar krivky týchto čiar nie je pre určité povodie stály. Naopak mení sa v závislosti od charakteru zimy. Pre zimy veľmi bohaté a bohaté a teplotne prevažne veľmi chladné bola určená krivka v tvare s. Pre bohaté, priemerné ale najpočetnejšiu skupinu zimy chudobné sa objavoval tvar krivky v „exponenciálnom" tvare. Pri „exponenciálnom" type už prevažovali zimy teplé až veľmi teplé nad chladnými. V chudobných a veľmi chudobných zimách trend krivky klesal postupne a pre zimy s veľmi chudobnými zásobami snehu nebolo možné určiť konkrétny tvar.

V posledných dvoch kategóriach sa vyskytovali najmä veľmi teplé zimy, čím sa vysvetlilo vytrácanie plynulosti krivky prerušovanej vlnami z náhleho topenia a opätovného sneženia. Rozkolísanie kriviek typizovaných čiar všeobecne signalizovalo, že variabilita trvania snehovej pokrývky na území je ovplyvňovaná tým viac, čím chudobnejšia na sneh a teplejšia je zima.
V budúnosti bude potrebné základnú klasifikáciu čiar podľa teploty vzduchu a veľkosti vodnej hodnoty snehu rozšíriť o klasifikáciu napr. o priebehu vodnej hodnoty alebo maxima vodnej hodnoty snehu za zimnú sezónu, nástupu a dĺžky topenia snehu atď. Tým by sa zovšeobecnili ďalšie faktory, ktoré spôsobujú určité variácie v základných štyroch určených typoch čiar.

POĎAKOVANIE

Výskum bol podporený agentúrou VEGA prostredníctvom grantu 2/3184/23.

Literatúra

Anderson, E. A (1973): National Weather Service river forecast system-snow accumulation and ablation model. National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA),Tech. Mem., NWS-HYDRO-17, U.S. Department of Commerce, Silver Spring, s. 217.

Anderson, E. A (1977): Initial parameter values for the snow accumulation and ablation model. Appendix to an unidentified publication, s. 15.

Babiaková, G. (1978): Posúdenie možností použitia základných vstupných údajov v modeli akumulácie a odmäku snehovej pokrývky. Vodohosp. čas., 26, 4, 397-408.

Babiaková, G. (1980): Príspevok k vertikálnemu rozdeleniu zrážok. Vodohosp. čas., 28, č.6, 596-605.

Barták, Z. (1980): Sněhomerný průzkum v povodí vodního díla Nýrsko. Vodohosp. čas., roč. 28, č. 2, 245-255.

Borovikova, L. N, Denisov, J. M., Trofimova, E. B., Šencis, J. D. (1972): Matematičeskoje modelirovanie processa stoka gornych rek. Trudy, vypusk 61, 76, Leningrad, Gidrometeoizdat.

Braun, L. N. (1985): Simulation of snowmelt-runoff in lowland and lower Alpine regions of Switzerland. Zűrcher Geographische Schriften, ETH Zűrich, 21, s.166.

Brubaker, L. K., Menoes, M (2001): A technique to estimate snow depletion curves from time-series data using the Beta distribution. 58th Eastern Snow Conference, Ottawa, Ontario, Canada, p. 4.

Elder, K., Dozier, J., Michaelsen, J. (1991): Snow Accumulation and Distribution in an Alpine Watershed. Water Resources Research, Vol. 27, No. 7, 1541-1552.

Holko, L., Kostka, Z., Parajka, J. (1999): Spatial distribution of snow in mountain catchments and basin-averaged modelling. Int. Conf. "Problems in Fluid Mechanics and Hydrology", Institute of Hydrodynamics AS CR, 1999, Praha, Česká republika, 400-407.

Keckler, D. (1995): Surfer for Windows. User's Guide, Golden Software, USA.

Kolberg, S. A., Gottschalk, L. (2003): Updating of snow depletion curve with remote sensing data. Geophysical Research Abstracts, Vol. 5, Abstract No. 09957.

Kostka, Z. (2001): Akumulácia, topenie a transport snehu v povodí s členitým reliéfom. Acta Hydrologica Slovaca, roč. 2, č. 1, 113-121.

Kostka, Z., Holko, L. (2002): Impact of climate and vegetation changes on hydrological processes in the Jalovecký creek catchment. Full paper (CD version) for the International Conference on 'Interdisciplinary Approaches in Small Catchment Hydrology: Monitoring and Research held in Demänovská dolina, Slovakia, from 25 to 28 September 2002.

Martinec, J., Rango, A., Roberts, R. (1998): Snowmelt Runoff Model (SRM). User's Manual, University of Berne, s. 84.

McDonnell, J. J. (1985): Snowcover ablation and meltwater runoff on a small Precambrian shield watershed. M.Sc. Thesis, Watershed Ecosystem Program, Trent Univ., Peterborough, Canada.

Menoes, M. C., Brubaker, K. L. (2001): How similar are the depletion curves from year to year? Case study in the Upper Rio Grande Watershed. 58th Eastern Snow Conference, Ottawa, Canada.

Molotch, N. P., Painter, T. H., Colee, M. T., Rosenthal, C. W, Dozier, J. Bales, R. C. (2001): Analysis of the spatial variability of snow cover depletion in an alpine watershed, Tokopah basin, Sierra Nevada, California, U.S.A.. 69th Annual Meeting of the Western Snow Conference, s. 9.

Netopil, R. Brázdil, R., Demek, J., Prošek, P. (1984): Fyzická geografie 1. SPN Praha, s. 272.

Parajka, J (2001): UEB EHZ – Distribuovaný energeticky založený model akumulácie a topenia snehovej pokrývky. Acta Hydrologica, ÚH SAV, roč. 2, č. 2, 58-63.

Pecušová, Z., Parajka, J., Hrušková, K. (2002): Spatial estimation of snow water equivalent in the mountain basin Bystrá. In Interdisciplinary approaches in small catchment hydrology: monitoring and research, ERB and Northern European FRIEND Project 5 Conference, Demänovská dolina, Slovakia, September 25.- 28., s. 217-221

Pobeha, Ľ. (1984): Zhodnotenie rôznych spôsobov vyhodnocovania zásob vody v snehovej pokrývke povodia Oravskej nádrže a možnosti ich aplikácie na povodie Váhu po nádrž Nosice. Vodohosp. čas., 32, 3, 282-309.

Pomeroy, J. W., Gray, D. M. (1995): Snowcover accumulation, relocation and management. National Hydrology Research Institute Science Report No. 7, s. 135.

Sevruk, B. (1992): Snow cover measurements and areal assessment of precipitation and soil moisture. Operational Hydrology Report, No. 35, WMO-No.749, Geneva, s. 283.

Schulla, J., Jasper, K. (1999): Model description WaSiM-ETH (Water Balance Simulation Model ETH). Institute of Geography ETH, Zűrich, 166s.

Turčan, J. (1973): Príspevok k určeniu zásoby snehu v horskom povodí. Vodohosp. časopis, Roč. XXI, č. 3-4, 367-376.

Turčan, J. (1978): Použitie pozemnej fotogrametrie pre snehomerné práce. Vodohosp. časopis, Roč. XVIII, č. 2.

Turčan, J., Babiaková, G., Šimo, E. (1978): Výskum tvorby a režimu odtoku zo snehu, I. Etapa. Záv. Správa ČÚ II-7-2/1, Ústav hydrológie a hydrauliky SAV, Bratislava.