VYUŽITÍ EXPERIMENTÁLNĚ MĚŘENÝCH A ZPRACOVÁVANÝCH KLIMATOLOGICKÝCH DAT V HYDROPROGNÓZNÍ PRAXI

Libuše Bubeníčková[1], Martina Kimlová[1], Pavla Řičicová[1], Šimon Bercha[1]

Abstrakt

Součástí hydrologických předpovědních modelů, které se používají na území České republiky, je proces akumulace a tání sněhové pokrývky. Jedná se o poměrně složitou proceduru, která v předpovědní praxi bývá méně přesná než předpovědi v období beze sněhu. Model kontinuálně počítá odtok ze sněhu a současně i vodní hodnotu pro jednotlivá povodí. Terénní profilová měření sněhové pokrývky a údaje automatických sněhových polštářů umožňují provádět kontrolu a případnou korekci těchto výpočtů. V poslední době jsme se soustředili i na analýzu tání v bezesrážkových obdobích v experimentálních povodích Jizerských hor. Nejvýznamnějším faktorem, který ovlivňuje množství vody odteklé ze sněhu za časovou jednotku, je teplota vzduchu, ale nemalou měrou se na tání podílí také síla a směr větru. Rozbor těchto případů přispěje i jako varianta odborného odhadu k modelovému výpočtu předpokládaného odtoku či úbytku výšky sněhu a jeho vodní hodnoty. Další hydroprognózní pomůckou je kompletní zpracování celé řady pozorování, více než 70 let údajů o sněhové pokrývce v reprezentativní stanici, která charakterizuje povodí Sázavy. V oblastech s nižší nadmořskou výškou je často problém odhadnout, kdy výška sněhu dosáhla svého maxima, aby čas a vynaložené náklady pracovníků byly efektivní. Rozhodnutí se řídí podle údajů naměřených ve staniční síti a znalostí jak kvalitní je měření.

Klíčová slova: akumulace a tání sněhové pokrývky, výška a vodní hodnota sněhu, teplota vzduchu, rychlost a směr větru

1. Využitelnost naměřených a spočtených údajů sněhové pokrývky

Vodní hodnotu a výšku sněhové pokrývky získáváme z více zdrojů, ovšem ne všechny údaje jsou vhodné pro kontrolu a případnou opravu hodnot spočtených hydrologickým modelem. Nejvhodnějším zdrojem jsou údaje naměřené při profilových měřeních na volných prostranstvích a v lese. Pro povodí Jizery se využívá měření, která provádějí pracovníci aplikovaného hydrologického výzkumu v 27 profilech v Jizerských horách a v 13 profilech v západních Krkonoších. Profily byly vybrány tak, aby měření zahrnovalo různé terény, nadmořské výšky i porosty. V době maxima vodní hodnoty sněhu a před předpokládaným obdobím tání je profilové měření rozšířeno i do dalších oblastí České republiky, pro pražské předpovědní pracoviště se jedná o povodí Sázavy.

Dalším zdrojem kvalitních údajů jsou automatické sněhoměrné stanice, které kontinuálně měří výšku a vodní hodnotu sněhu. Na území ČR byly zatím instalovány 4 stanice v lokalitách Desná – Souš v Jizerských horách, Hanapetrova paseka v Krkonoších, Churáňov na Šumavě a Herálec ve Hornosvratecké vrchovině. Vzhledem k tomu, že testovací provoz prokázal, že zařízení pracují spolehlivě, měření jsou kvalitní a denně dostupná na internetu, bude se síť automatických polštářů rozšiřovat i do dalších horských či podhorských oblastí ČR v Javořické vrchovině (Českomoravská vrchovina), Orlických horách, Hostýnsko-vsetínské hornatině a Hrubém Jeseníku.

V neposlední řadě je důležitou informací při zpracování parametrů sněhové pokrývky i každodenní automatický výpočet vodní hodnoty sněhu – SVHV pro klimatologické stanice, který je ukládán v databázi CLIDATA. Výpočet je prováděn v závislosti na denním úhrnu srážek, výšce nového sněhu, celkové výšce sněhu a průměrném denním tlaku par (autorem

algoritmu je L. Němec). Předpovědní pracoviště zatím tyto údaje využívají velmi málo, ale porovnání s terénními měřeními vykazují dobré výsledky, takže v budoucnu lze předpokládat všeobecně širší použití i v prognózní praxi.

2. Sněhový model a faktory ovlivňující tání

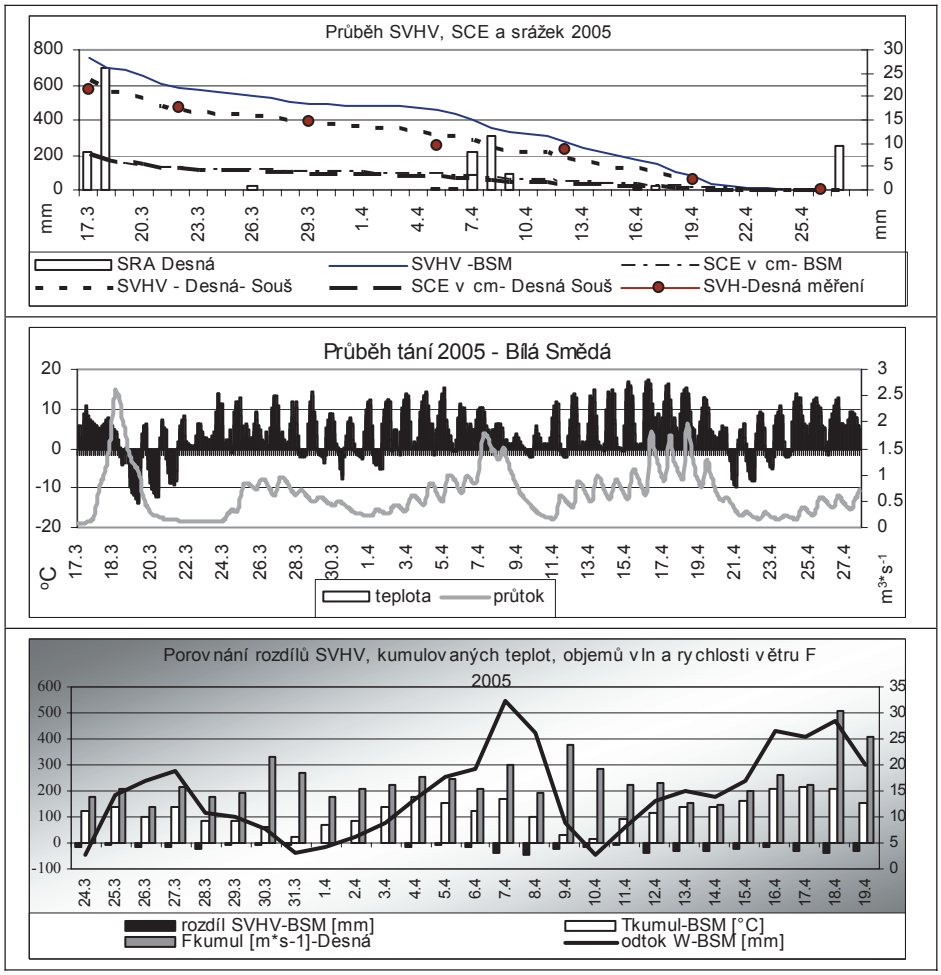
Proces tání a vytváření sněhové pokrývky na základě údajů o srážkách a teplotě vzduchu je v našich podmínkách neoddělitelnou součástí srážko-odtokových modelů. Modelovací technika SNOW-17, vyjadřuje matematicky nejdůležitější procesy, které tvorbu tání sněhové pokrývky provázejí: výpočet výšky plošného rozsahu sněhové pokrývky, výměnu tepla mezi sněhem a ovzduším, mezi sněhem a půdou, výpočet obsahu vody ve sněhové pokrývce. Pro upřesnění výpočtu model využívá v terénu naměřené vodní hodnoty sněhu. V poslednich několika letech se uplatňuje při hodnocení měření vodní hodnoty sněhu ve stanicích i vypočtená vodní hodnota jako funkce srážek, výšky a hustoty sněhu a tlaku vodních par. Nespornou výhodou je, že takto získáváme údaje denně pro všechny klimatologické stanice, kdežto ve staniční síti ČHMÚ se vodní hodnota měří jednou týdně v pondělí. Sněhový model obsahuje řadu parametrů, které byly empiricky odvozeny a jsou i dobře v literatuře popsány. Jedná se o vliv větru, opravný parametr na srážky, faktor tání v závislosti na okolní vegetaci, pokrytí povodí sněhem, několik teplotních parametrů ve vztahu k předchozím podmínkám, k teplotě půdy, ke kapacitě sněhové pokrývky vzhledem k možnosti zadržování tekuté vody a další. Důležitou roli při tání sněhu zastává zejména směr a rychlost větru, na kterém závisí rozsah a pohyb vodních par. Absence vstupních údajů ve sněhovém modelu je někdy nahrazována zvýšením teplot, aby bylo dosaženo množství odtálého sněhu odpovídající realitě. Proto rozbor odtokových epizod v bezsrážkových obdobích v experimetálních povodích Jizerských hor umožní lépe pochopit složité zákonitosti chování sněhové pokrývky, kdy v podobných synoptických situacích jsou často výsledné dílčí odtoky odlišné.

3. Tání sněhu v bezsrážkových obdobích v experimetálních povodích Jizerských hor

Pro hodnocení odtokových epizod při jarním tání v bezsrážkovém období byly použity údaje o srážkách, teplotě vzduchu, rychlosti a směru větru, vodní hodnotě sněhu a odtoku v letech 2005, 2006 a 2009, které byly z hlediska výšky sněhové pokrývky nadprůměrné. Hodnoceno bylo sedm experimentálních povodí v centrální části Jizerských hor, které leží v nadmořské výšce cca 780 -1122 m n. m. Pro studii byla použita data ze stanic Desná-Souš 772 m n. m., Bedřichov-přehrada 777 m n. m. (klimatologická databáze ČHMÚ) a z měření prováděných pracovníky Oddělení hydrologického výzkumu z pracoviště v Jablonci nad Nisou (databáze OEX). Pro jednotlivá povodí byly průměrné výšky sněhové pokrývky (SCE) a denní vodní hodnoty sněhu (SVHV) vypočteny z měření prováděných v týdenním intervalu tak, aby co nejlépe vystihovaly poměrné zastoupení nadmořských výšek a rozložení lesa a mýtin. Podle vzorce L. Němce byly upraveny dle stanic Bedřichov a Souš do denních údajů. Pro následující demonstraci bylo vybráno povodí Bílé Smědé s největší naměřenou výškou sněhu a s vlastním měřením teplot vzduchu (T-BSM). Údaje o větru (F) a vstupní údaje vodní hodnoty sněhu SVH pro přepočet vypočítané vodní hodnoty sněhu SVHV byly použity ze stanice Desná-Souš. Kumulovaná teplota (Tkum-BSM) byla stanovena jako suma hodnot od 0:00 do 23:00 hodin, obdobně z hodinových průměrných hodnot bylo vypočteno Fkum-Desná.

3.1 Průběh tání 2005

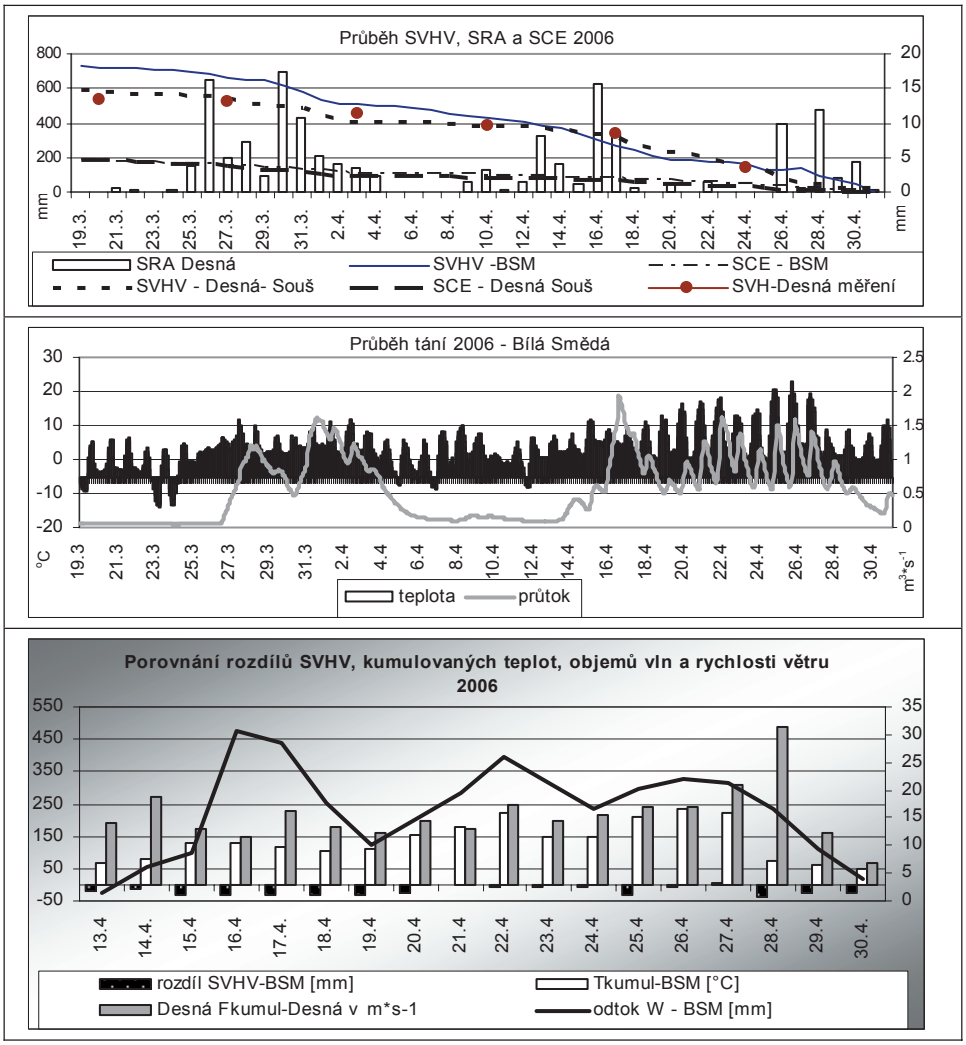
V roce 2005 začala odtávat sněhová pokrývka po vydatnějších srážkách v polovině března (Obr. 1). Maximum vodní hodnoty sněhu (SVHV) 766 mm bylo na Bílé Smědé dosaženo 16. 3. Denní kolísání průtoků naznačuje, že nesouvislá pokrývka sněhu se udržela až do začátku května. Úhrny srážek nebyly v průběhu tání velké, pouze ve dvou epizodách dosahovaly až 10 mm. Tání sněhu mezi 24. 3. - 27. 4. bylo ovlivňováno zejména teplotou vzduchu v kombinaci s poměrně silným větrem ve vyšších polohách. Denní úbytky SVHV dosahovaly zpočátku 10 až 20 mm, později až 30 mm. K nejintenzívnějšímu tání bez přispění srážek došlo 18. 4. (42 mm SVH a 9 cm SCE), kdy kumulované teploty (Tkum) několik dní dosahovaly nejvyšších hodnot, zároveň byly vysoké i hodnoty maximální rychlosti větru (Fmax).



Obr. 1: Vybrané parametry tání 2005 ve stanici Bílá Smědá (BSM)

3.2 Průběh tání 2006

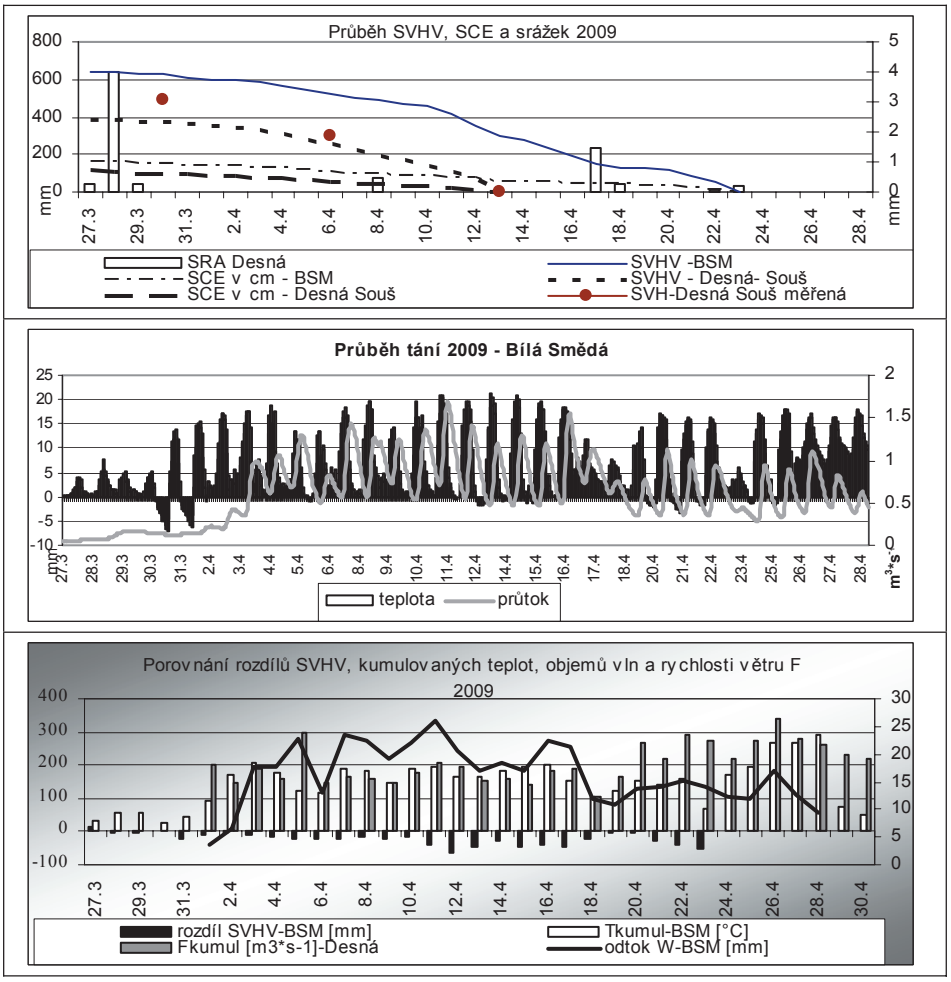
V roce 2006 začalo tání sněhu na konci druhé dekády března, dne 18. 3. byla dosažena maximální hodnota SVHV 732 mm (Obr.2). Zejména na přelomu března a dubna bylo tání podpořeno rychlým nárůstem teplot a několikadenními vydatnějšími srážkami. Bezsrážková období byla poměrně krátká, na začátku hodnoceného období (1. 4. do 30. 4.) se ještě vyskytovaly srážky 7 až15 mm. Srážky do 2 mm nebyly brány v úvahu. Denní úbytky SVHV byly zpočátku do 10 mm, v následujících dnech se nejčastěji pohybovaly od 10 do 30 mm. K nejintenzívnějšímu tání bez přispění srážek došlo 26. 4. (37 mm SVH a 10 cm SCE), kdy kumulované teploty (Tkum) několik dní dosahovaly nejvyšších hodnot.



Obr. 2: Vybrané parametry tání 2006 ve stanici Bílá Smědá (BSM)

3.3 Průběh tání 2009

Maximálních hodnot SVHV v experimentálních povodích bylo dosaženo většinou 27. 3. (Obr. 3). V porovnání s ostatními sledovanými roky bylo bezsrážkové období v tomto roce zdaleka nejdelší, srážky do 4 mm se vyskytly pouze na začátku tání, pak se již nevyskytovaly nebo byly málo významné. Tání sněhu od 1. 4. bylo zpočátku pozvolné, s denními úbytky do 10 mm, v následujícím období se denní rozdíly nejčastěji pohybovaly od 15 do 35 mm. K nejintenzivnějšímu tání sněhové pokrývky docházelo v období od 11. do 13. 4., kdy byly dosaženy 3 dny po sobě nejvyšší hodnoty kumulovaných teplot (Tkum). Následující ochlazení tání trochu zpomalilo, následné vyšší teploty 16. 4. opět zvýšily intenzitu tání. Do konce sledovaného období (28. 4.) se nejvyšší hodnoty Tkum vyskytly od 20. do 21. 4. Zatímco úbytky SVHV byly již ve většině ostatních povodí nižší (do 20 mm), v povodí Bílé Smědé byly vzhledem k větší akumulaci sněhu stále poměrně vysoké (30-50 mm).



Obr. 3: Vybrané parametry tání 2009 ve stanici Bílá Smědá (BSM)

3.4 Diskuze

V roce 2009 jsou hodnoty maximálního úbytku nejvyšší a vyskytovaly se v první polovině tání. V letech 2005 a 2006 se největší úbytky objevily na konci tání. V tabulce jsou shrnuty vybrané parametry tání v letech 2005, 2006 a 2009. Přestože délka, začátek, podmínky i průběh tání jsou ve 3 sledovaných letech odlišné, hodnoty průměrných rozdílů denních hodnot SVHV i velikosti odtoku se výrazně nelišily.

Tab. 1. Vybrané parametry ovlivňující tání a odtoky

Rok	Max. denní úbytek SVHV-BSM	Denní odtok W -BSM	Max.denní odtok W - BSM	Změna SCE-BSM	Tkum-BSM v [°C]	Maximální denní teplota Tmax–BSM [°C]	Minimální denní teplota Tmin -BSM [°C]	Maximální náraz větru [m*s^{-1}]
2005	42 mm (18.4.)	28,4 mm	28,4 mm (18.4.),	9 cm	206	15,4	2,5	12,5
2006	37 mm (25.4.)	20,1 mm		10 cm	210	20,5	-0,8	10,5
			26,1 mm (22.4.)	6 cm	221	17,6	3	11
2009	57 (12.4.)	20,6,mm		14 cm	165	19,8	-0,5	8,6
			26 mm (11.4.)	8 cm	199	20,8	0.3	10.1

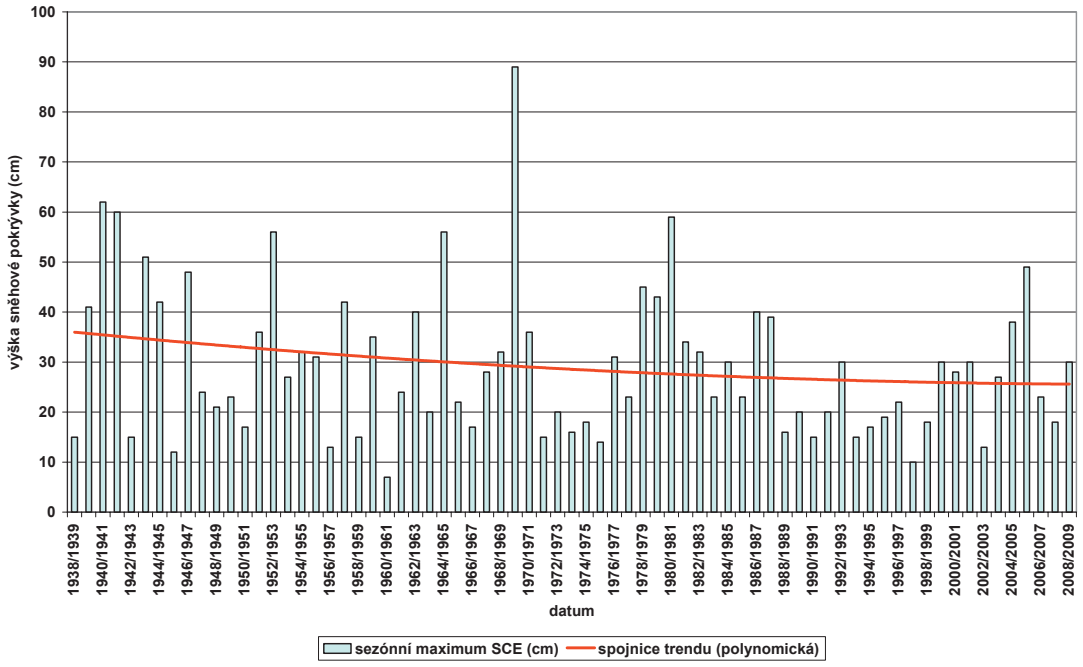
Hodnoty odtoku (W) a rozdílů SVHV v letech 2005 a 2006 byly u všech hodnocených stanic obdobné a při korelaci vykazovaly vysokou míru spolehlivosti. V roce 2009 nebyly závislosti

tak těsné a projevovaly se značné rozdíly mezi západní a východní částí experimentálních povodí. Denní rozdíly SVHV se pohybovaly nejčastěji v rozmezí od 10 do 35 mm, rozdíly v odtoku od 4 od 20 mm. Při Tmax do 5 °C probíhá tání velmi pozvolna. Pokles Tmin pod 0 °C proces tání velmi zpomalí nebo zastaví. Nejintenzívnější tání probíhá při Tmax nad 15 °C, Tkum kolem 200 °C a zároveň kladných Tmin. Maximální úbytky SVHV dosahovaly hodnot od 42 do 57 mm, Tmax překračovala 15 °C a Tmin neklesala pod 0 °C. Ve všech případech bylo tání podpořeno vysokými hodnotami Fmax. Vliv větru se prokázal jako podpůrná složka zesilující tání. Příkladem jsou dny s podobným průběhem teplot, kdy velikost odtoku nebo úbytek vodní hodnoty sněhu byla vyšší v případě výskytu silného větru.

4. Vyhodnocení pozorování parametrů sněhové pokrývky v klimatologické stanici pro prognózní účely

V oblastech s nižší nadmořskou výškou je často problém odhadnout, kdy na měření sněhu vyjet, zda je vhodná doba – tedy zda výška sněhu dosáhla svého maxima, aby čas a vynaložené náklady pracovníků byly efektivní. Rozhodnutí se řídí podle údajů naměřených ve staniční síti a znalosti jak kvalitní je měření, jaká bývá dosažená maximální výška sněhu za sezonu, kolik dnů se sněhová pokrývka ve stanicích v průměru vyskytuje, kolik sněhu napadne za celou zimu a podobně. Je proto důležité pro prognózní účely znát i historii pozorování ve vytipované reprezentativní stanici v povodí.

V povodí dolního a středního úseku toku Sázavy je takovou orientační stanicí klimatologická stanice v Ondřejově (485 m n. m.), kde se výška sněhu soustavně měří od roku 1942. Vzhledem k tomu, že na začátku 40. let byly zimy bohaté na sněhovou pokrývku, doplnili jsme údaje od sezóny 1938/1939 z Ročenek klimatologického pozorování podle nejbližších stanic přibližně stejné nadmořské výšky (Líšno a Benešov) a získali soubor 71 let.



Obr. 4: Sezónní maximum výšky sněhové pokrývky 1939 – 2009 ve stanici Ondřejov

V Obr. 4 jsou vynesena roční maxima výšek sněhové pokrývky za celé období pozorování. V období 1969/1970 byla zaznamenána nejvyšší hodnota 89 cm, druhá v pořadí byla zima 1940/1941 s 62 cm, třetí pak 1941/1942 s 60 cm. Průměrná výška sněhu pro stanici Ondřejov je 29 cm. V 71leté řadě pozorování není patrný žádný významný cyklus opakování dosažených maximálních výšek sněhové pokrývky. Naznačený trend (polynomická funkce) je mírně klesající, s převahou poklesu v prvních 30 letech, pak je tendence spíše setrvalá.

Podle počtu dnů, ve kterých se vyskytovala sněhová pokrývka, byla první v pořadí sezona 2005/2006, kdy sníh ležel 130 dnů, druhá byla sezona 1969/1970 se 127 dny, třetí 1962/1963 se 114 dny, průměr pro toto období je 71 den. V hodnocení, které zimy patří mezi nejvíce bohaté na sněhovou pokrývku, se tedy nejčastěji opakují sezony 1969/1970 a 2005/2006.

Naopak mezi období chudá na sníh patřily zimy 1960/1961 s maximem 7 cm, 1997/1998 s 10 cm a 1945/1946 s 12 cm. Nejmenší počet dnů se sněhovou pokrývkou byl zaznamenán v zimě 2006/2007 (21 den), dále 1997/1998 (30 dnů) 1974/1975 (32 dny). V tomto pohledu na zimy s nedostatkem sněhu se vícekrát opakuje pouze zima 1997/1998.

Tab. 2: Maximum výšky sněhové pokrývky, počet dní se sněhem, max dosažený průtok

Pořadí	Sezona	Max výška sněhu (cm)	Počet dní se sněhem	Q_{max} Poříčí n.S (Nespeky)
1	1969/1970	**89**	127	1 až 2 letý
2	1940/1941	62	93	10 letý
3	1941/1942	60	97	½ až 1letý
4	1980/1981	59	91	½ až 1letý
5	1952/1953	56	102	½ až 1letý
6	1964/1965	56	87	2letý
7	1943/1944	51	103	2 až 5letý
8	2005/2006	49	**130**	**20letý**
20	1987/1988	39	54	10letý
21	2004/2005	38	72	2letý

Četnost výskytu maxim výšky sněhové pokrývky není jednoznačně soustředěn do určitého měsíce, ale je rozložen vcelku rovnoměrně. Mírně převažují maxima zaznamenaná v únoru (23x) nad lednem (20x) a březnem (15x).

Z 65-členné řady průměrných měsíčních teplot je patrné, že prvních třicet let bylo chladnějších v zimních měsících prosinec-březen, oproti následnému 35letému období.

Nejbližší hydrologickou stanicí je Poříčí n. Sázavou, od roku 2000 pak Nespeky. Délka pozorování vodních stavů a průtoků je zde od roku 1915, zahrnuje tedy roky měření v Ondřejivě. Za 95 let se zde vyskytl v období tání jedenkrát 20letý průtok (2006), dvakrát 10letý (1941 a 1948) a jednou 2 až 5letý (1944). V ostatních letech s nadprůměrnou výškou sněhu se vyskytly průtoky s opakováním nejvýše 2 roky, ale častěji ½ až 1rok, viz Tab. 2. Z tabulky je patrné, že jednoduchá závislost mezi výškou sněhové pokrývky, počtem dní se sněhem a maximálním dosaženým průtokem neexistuje. K prokázání těsnějšího vztahu by musely být předmětem zkoumání i další parametry (srážky teploty, vodní hodnota apod.). Platí pouze, že v zimách bohatých na sníh v povodí dolní Sázavy byl vždy dosažen průtok alespoň půlletý.

Pro odhad, kdy provádět terénní měření v povodí Sázavy, je doba vhodná k výjezdu zřejmě nejpozději při dosažení výšky sněhu 29 cm (průměr) ve stanici Ondřejov. Ovšem za předpokladu, že bude zohledněna i meteorologická předpověď počasí. Při nižší výšce sněhové pokrývky není výjezd z hlediska možného budoucího odtoku tak významný.

5. Závěr

V našich geografických podmínkách je znalost chování sněhové pokrývky jako významného hydrologického prvku velmi zásadní. Hydrologické modely jsou schopny spočítat velikost odtoku. Úspěšnost těchto předpovědí je do značné míry závislá na spolehlivosti a přesnosti měřených dat, v zimním období tedy na parametrech sněhové pokrývky. Prováděné rozbory historických klimatologických řad, nové metody měření sněhu nebo analýzy procesu tání v experimentálních povodích Jizerských hor mohou být přínosem pro předpovědi i v ostatních regionech ČR. Dílčí závěry jsou uvedeny v jednotlivých kapitolách.

Tento příspěvek byl napsán za podpory projektu SP/1c4/16/07 „Výzkum a implementace nových nástrojů pro předpovědi povodní a odtoku v rámci zabezpečení hlásné a předpovědní povodňové služby v ČR“.

Literatura

Zpráva projektu za rok 2009 SP/1c4/16/07 “Výzkum a implementace nových nástrojů pro předpovědi povodní a odtoku v rámci zabezpečení hlásné a předpovědní povodňové služby v ČR“.

Kontakty na autora

1 Český hydrometeorologický ústav Praha,
e-mail: bubenickova@chmi.cz, kimlova@chmi.cz, ricicova@chmi.cz, bercha@chmi.cz