

OBJEKTÍVNA PRIESTOROVÁ ANALÝZA VODNEJ HODNOTY SNEHOVEJ POKRÝVKY NA SLOVENSKU

K. Mikulová, P. Faško, J. Pecho, P. Šťastný

Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, Slovenská republika,;
katarina.mikulova@shmu.sk; pavol.fasko@shmu.sk; jozef.pecho@shmu.sk;
pavel.stastny@shmu.sk

Abstract

Water equivalent of snow cover is the important characteristic of snow cover. This value is the significant element of hydrological balance and the loads on civil engineering structures. Long time series of annual maximum of water equivalent of snow cover are the base to the evaluation of the standards "The loads on engineering structures". In the paper the objective analysis of the maximum annual water equivalent is done. This could solve to the comparison of the winter seasons with rich snow cover and with values of probability of repeating of maximum value of snow cover water equivalent.

Key words: water equivalent of snow cover, snow cover, objective spatial analysis, probability of repeating

Úvod

Vodná hodnota snehovej pokrývky je klimatologickým prvkom, ktorý v sebe spája priemet sumárneho úhrnu zrážok v reálnych teplotných a vlhkosťných podmienkach danej zimy. Je dôležitým vstupným údajom pre bilanciu zásob vody v povodiach pred jarným topením snehu. Jej nenápadná pozícia medzi charakteristikami zrážok vyplýva zo sezónneho výskytu snehovej pokrývky v našich prírodných podmienkach a určite aj preto, že vodná hodnota snehovej pokrývky sa meria v sieti meteorologických staníc SHMÚ iba raz týždenne, v pondelok ráno, ak sa v tomto termíne nachádza v priestore meteorologickej stanice súvislá snehová pokrývka.

Význam vodnej hodnoty snehovej pokrývky poznajú okrem klimatológov a meteorológov, hydroológovia, pre ktorých majú údaje o vodnej hodnote snehovej pokrývky strategický charakter a ich dominantné postavenie sa uplatňuje predovšetkým pri stanovovaní jarného odtoku vody z povodí riek. Nie menej dôležitá je vodná hodnota snehovej pokrývky pri určovaní zaťaženia konštrukcií snehom v stavebníctve.

S meraním vodnej hodnoty snehovej pokrývky sa u nás uvažovalo už po 1. svetovej vojne. Pre rôzne ťažkosti sa začalo merať až po 2. svetovej vojne. Problematikou vodnej hodnoty snehovej pokrývky sa u nás ako prvý začal zaoberať Š. Petrovič, ktorý zaviedol váhový snehomer do siete meteorologických staníc na Slovensku. V. Briedoň skúmal vodnú hodnotu vo V. Tatrách vzhľadom na nadmorskú výšku a orientáciu svahov. Teoreticky sa problematikou akumulácie vody v snehovej pokrývke začali zaoberať G. Babiaková aj Turčan.

V predkladanej práci sme analyzovali hodnoty klimatickej zabezpečnosti prekročenia maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky, ktoré sme vypočítali na základe Pearsonovho rozdelenia III. typu z 50 ročných radov maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky za zimu, zo zimných sezón 1954/1955-2004/2005, pre 607 lokalít na Slovensku.

Prehľad vývoja stanovenia štatistického zabezpečenia snehovej pokrývky na Slovensku

Podrobnejšie sa štatistickým zabezpečením vodnej hodnoty snehovej pokrývky zaoberali F. Šamaj a Š. Valovič. V ich práci neskôr pokračovali M. Lapin, P. Faško a P. Šťastný [4, 5, 6, 8, 11, 30, 31]. Na SHMÚ bolo postupne vypracovaných niekoľko máp s priestorovým rozložením vodnej hodnoty snehovej pokrývky, najprv na základe maximálnej hodnoty snehovej pokrývky a jej hustoty. V roku 1966 bola pre územie Československa zostrojená, na základe 15-ročných radov meraní vodnej hodnoty snehovej pokrývky, mapa maximálnych ročných hodnôt.

Súčasnú štandardizovanú podkladu pre navrhovanie konštrukcií na účinky zaťaženia snehom vychádzajú z mapy snehových oblastí SR, ktorá bola získaná v prvej polovici sedemdesiatych rokov minulého storočia v rámci bývalej ČSSR. Uplatnili sa merania meteorologických staníc od zimy 1946/47 až po zimu 1970/71. Z tohto obdobia 26 rokov sa použili vodné hodnoty snehových zrážok (ťaž snehu) merané jedenkrát v týždni. Podrobný popis podkladov, analýz a spôsobu spracovania údajov meteorologických staníc je v článku A. Boháča 1975 [1], alebo v knihe M. Tichého s kol. 1987 [29].

Skúmala sa vhodnosť modelu štatistického rozdelenia pravdepodobnosti pre spracovanie súborov hodnôt tiaže snehu na jednotlivých meteorologických staniciach. Uvažovalo sa s rozdelením Pearsonovho typu III a s extrémnymi rozdeleniami typu I až III. Možné použitie trojparametrických rozdelení sa zdôvodňovalo premenlivosťou hodnôt súvisiacou s klimatickými podmienkami charakterizovanými nestálou snehovou pokrývkou čo do dĺžky trvania a času výskytu na väčšine územia. Konštatovalo sa ale, že na spoľahlivé určenie tretieho parametra - šikmosti je potrebný súbor o veľkosti aspoň 100 hodnôt, čo súbory, ktorými spracovatelia disponovali neumožňujú. Výsledkom analýz bolo odporúčanie použiť pre súbory so šikmosťou menšou, alebo rovnou 1,2 extrémne rozdelenie typu I a pre súbory so šikmosťou väčšou ako 1,2 extrémne rozdelenie typu III. V druhom prípade sa šikmosť modelu volí podľa empirickej šikmosti súboru. Doriešenie problému štatistického modelu sa viazalo na použitie dostatočne veľkých súborov získaných v budúcnosti.

Štatistická analýza zaťaženia snehom sa zakladá na ročných maximách odvodených z denných hodnôt vodného ekvivalentu snehových zrážok, ktoré sa získavajú priamym meraním, resp. prepočítaním tiaže z meraných výšok snehovej pokrývky a súvisiacich klimatických údajov. Štatistické rozdelenie maxim sa môže aproximovať jedným z teoretických rozdelení extrémnych hodnôt. Charakteristické zaťaženia snehom na povrchu zeme sa definujú ako hodnoty so strednou dobou návratu 50 rokov, t.j. s ročnou pravdepodobnosťou prekročenia 0,02.

Praktické navrhovanie konštrukcií vychádza z polopravdepodobnostnej metódy zabudovanej v normách navrhovania konštrukcií. Európska norma EN 1991-1-3 (Eurocode 1: Actions on structures / Part 1-3: General Actions - Snow loads) bola do sústavy našich noriem prevzatá vyhlásením s termínom sprístupnenia slovenskej národnej prílohy STN NA EN 1991-1-3 v júli 2005. Súčasťou národnej prílohy je mapa snehových oblastí, ktorá vznikla transformáciou - pre násobením konštantou 1,5 mapy z ČSN 73 0035: 1988 "Zatížení stavebních konstrukcí". Pôvodná mapa vznikla v prvej polovici sedemdesiatych rokov minulého storočia. Použili sa výsledky meraní meteorologických staníc v bývalej ČSR od zimy 1946/47 až po zimu 1970/71. Postup vyhodnotenia meraní a stanovenie charakteristických hodnôt odpovedali vtedajšej úrovni znalostí pravdepodobnostného navrhovania konštrukcií.

Metodika práce

Priestorová analýza podľa n-% zabezpečenia maximálneho vodnej hodnoty snehovej pokrývky bola vykonaná v prostredí GIS-GRASS pomocou regularizovaného splajnu s tenziou (3D interpolácia) s možnosťou nastavenia vstupných parametrov tenzie (tension), zhladzovania (smoothing) a pod. Matematická formulácia regularizovaného splajnu s tenziou umožňuje pri interpolácii zahrnúť aj informácie o priestorovom rozložení doplnujúcej premennej, napr. pri interpolácii atmosférických

zrážok a teploty vzduchu využiť informácie o topografii územia. Najlepšie výsledky dosahuje pri interpolácii veľmi hladkých povrchov znázorňujúcich napr. klimatické javy, keďže metóda splajnov využíva matematicky definované krivky, ktoré po častiach interpolujú jednotlivé časti povrchu, výsledný povrch má minimálnu krivosť. Interpoláčna metóda regularizovaný splajn s tenziou patrí k veľmi presným a flexibilným interpolačným metódam.

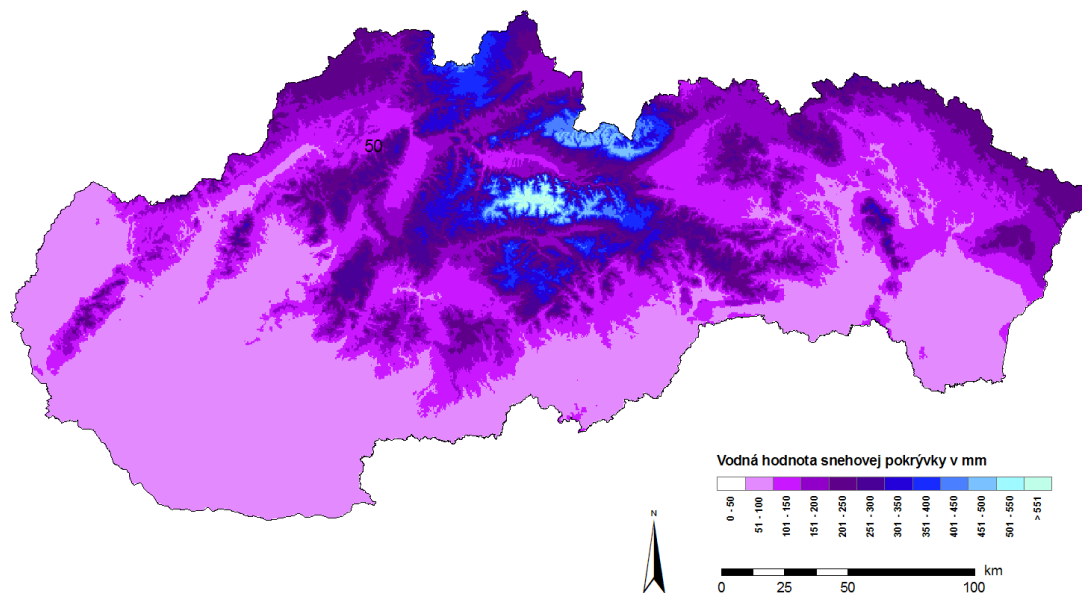
Maximálnu vodnú hodnotu snehovej pokrývky sme analyzovali v období zimných sezón 1954/1955-2004/2005 pre 607 lokalít na Slovensku. Táto dĺžka časových radov maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky umožnila výpočet klimatickej zabezpečnosti prekročenia tejto žiadanej charakteristiky snehovej pokrývky. V predkladanom príspevku sme sa sústredili na priestorovú analýzu n-% klimatickej zabezpečnosti prekročenia maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky. Analyzovali sme hodnoty 90 až 1 % zabezpečnosti prekročenia maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky, pričom zvýšenú pozornosť sme venovali najmä 2 % klimatickej zabezpečnosti, ktorá sa zvykne používať v projektantskej praxi ako podklad pre tvorbu technickej normy zaťaženie konštrukcií snehom. Hodnoty klimatickej zabezpečnosti prekročenia maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky sme počítali podľa Pearsonovho rozdelenia III typu.

Výsledky

Hodnoty klimatickej zabezpečnosti prekročenia maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky sa používajú ako podklady pre technické normy zaťaženia stavebných konštrukcií snehom. V tomto príspevku sme sa sústredili na priestorovú analýzu hodnôt klimatickej zabezpečnosti prekročenia maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky, pretože mapové vyjadrenie 2 % zabezpečnosti prekročenia maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky sa v doterajšej praxi využívalo ako štandardná báza návrhu vyššie uvádzanej technickej normy. Pre úplnosť prezentujeme v príspevku aj priestorové rozloženie ostatných zaužívaných n-% zabezpečení prekročenia maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky od 90 % po 1 % (Obr. 1-8).

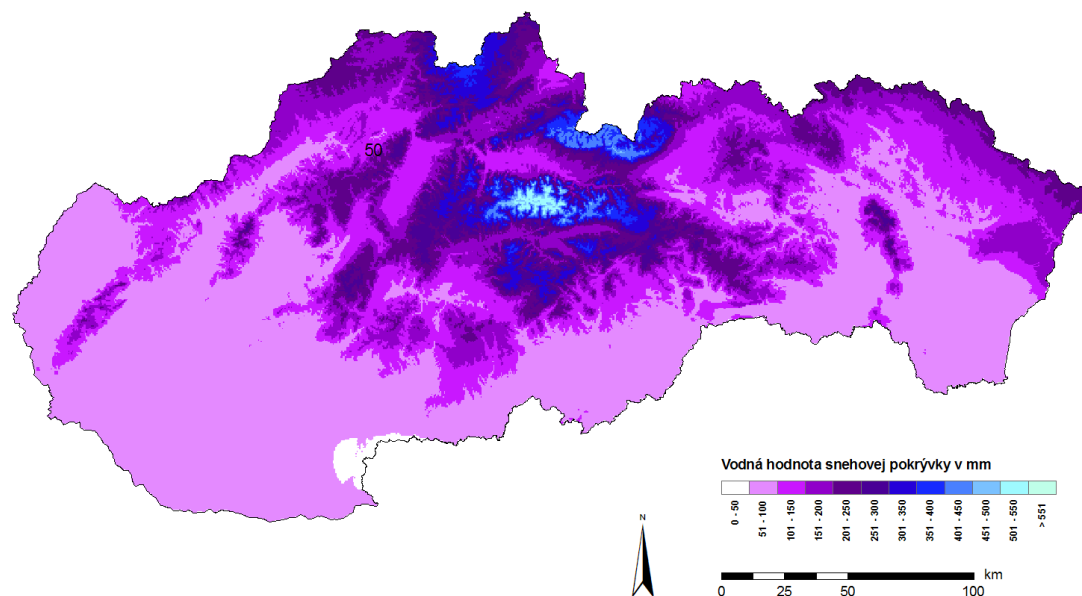
Z častosti výskytu hodnôt 1 % a 2 % zabezpečnosti prekročenia maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky (Obr. 1 a 2) a z prírodných podmienok Slovenska vyplýva, že priestorové rozloženie 1 % a 2 % klimatickej zabezpečnosti tejto charakteristiky snehovej pokrývky je najnápadnejšie. Obsahuje širokú škálu hodnôt, ktoré sa pohybujú v prevažne v intervale od 51 do 550 mm. Na ďalších mapách s hodnotami 5 až 90 % klimatickej zabezpečnosti prekročenia nie sú už tak výrazné kontrasty medzi jednotlivými regiónmi. Nie je to spôsobené iba tým, že takéto vodné hodnoty snehovej pokrývky sa vyskytujú na Slovensku častejšie, ale určitý vplyv na tento výsledok má aj charakter siete meteorologických staníc, na ktorých sa vodná hodnota snehovej pokrývky pravidelne meria. Predovšetkým v horských oblastiach existujú regióny, v ktorých sa meria vodná hodnota snehovej pokrývky nedostatočne a toto sa potom negatívne prejavuje aj v prezentovaných výsledkoch. Ako príklad môžeme uvádzať relatívne vyššie hodnoty 1 % zabezpečnosti prekročenia maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky vo vrcholových polohách Slanských vrchov v porovnaní s hodnotami v oblasti Nízkych Beskýd na severovýchode Slovenska, ktoré by mali byť v týchto polohách ešte vyššie ako v Slanských vrchoch. Spôsobené je to veľmi pravdepodobne tým, že v Slanských vrchoch sa nachádza meteorologická stanica Dubník, ktorá je v nadmorskej výške 875 m. V porovnateľnej nadmorskej výške sa v oblasti Nízkych Beskýd nenachádza ani jedna meteorologická stanica. Takéto rozporné príklady by sa dali nájsť aj v iných oblastiach Slovenska. Pri analýze poľa niektorých charakteristík atmosférických zrážok boli problémy tohto druhu eliminované veľmi úspešne tzv. virtuálnymi stanicami, ktoré boli vhodne zakomponované do problémových horských oblastí a tým boli vyplnené niektoré biele miesta v sieti meteorologických staníc SHMÚ. Preto bude potrebné v budúcnosti podobným spôsobom postupovať aj pri priestorovej analýze poľa charakteristík snehovej pokrývky, resp. aj charakteristík iných meteorologických prvkov.

1% zabezpečenosť vodnej hodnoty snehovej pokrývky



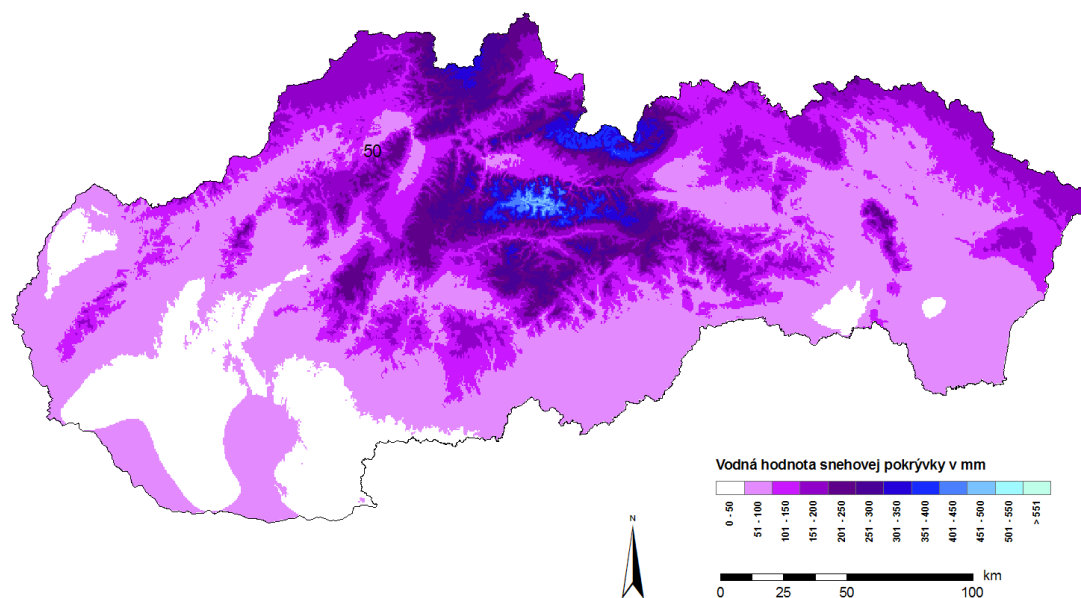
Obr.1 1 % zabezpečenosť prekročenia maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky na Slovensku v období 1954-2005

2% zabezpečenosť vodnej hodnoty snehovej pokrývky



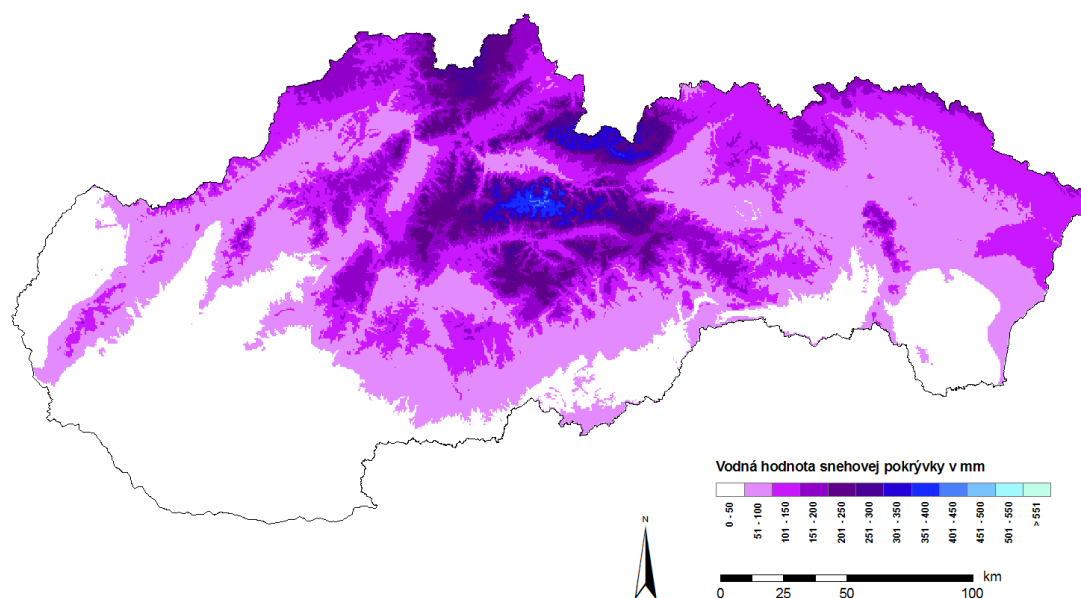
Obr.2 2 % zabezpečenosť prekročenia maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky na Slovensku v období 1954-2005

5% zabezpečenosť vodnej hodnoty snehovej pokrývky



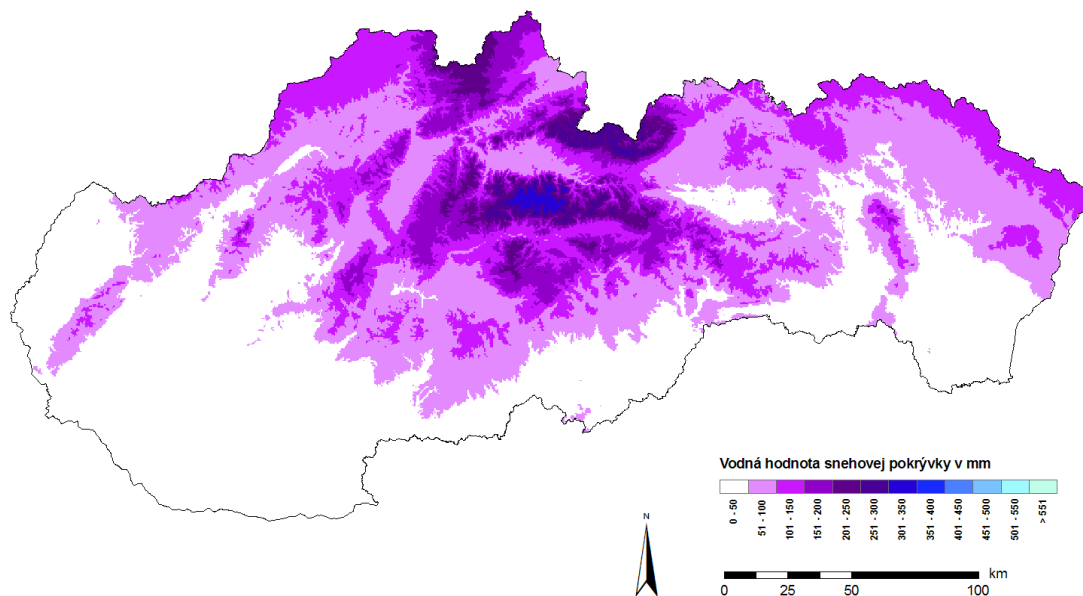
Obr.3 5 % zabezpečenosť prekročenia maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky na Slovensku v období 1954-2005

10% zabezpečenosť vodnej hodnoty snehovej pokrývky



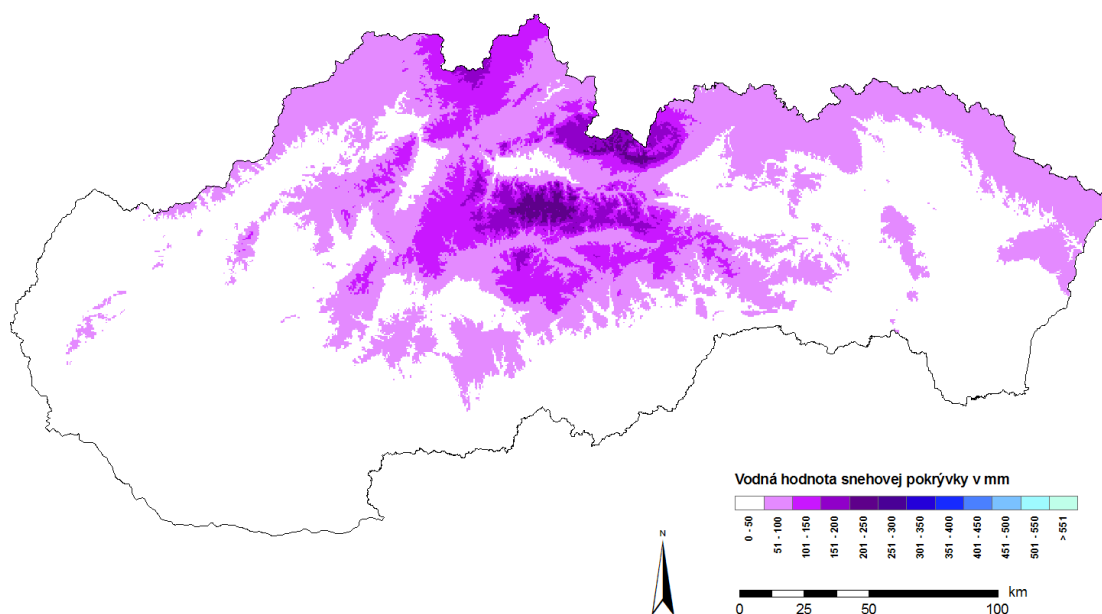
Obr.4 10 % zabezpečenosť prekročenia maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky na Slovensku v období 1954-2005

20% zabezpečenosť vodnej hodnoty snehovej pokrývky



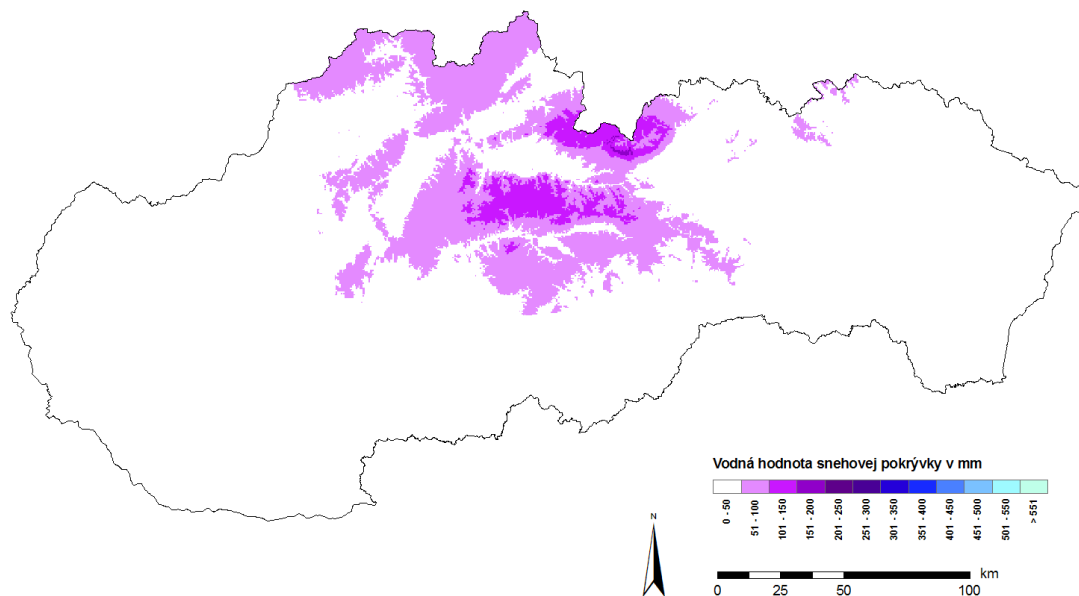
Obr.5 20 % zabezpečenosť prekročenia maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky na Slovensku v období 1954-2005

50% zabezpečenosť vodnej hodnoty snehovej pokrývky



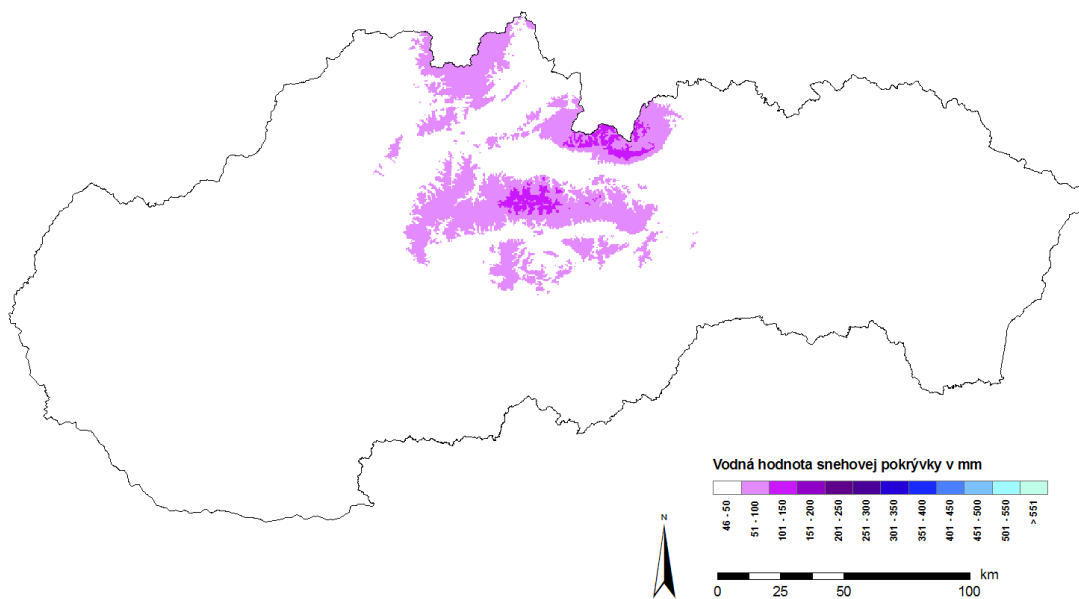
Obr.6 50 % zabezpečenosť prekročenia maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky na Slovensku v období 1954-2005

80% zabezpečenosť vodnej hodnoty snehovej pokrývky



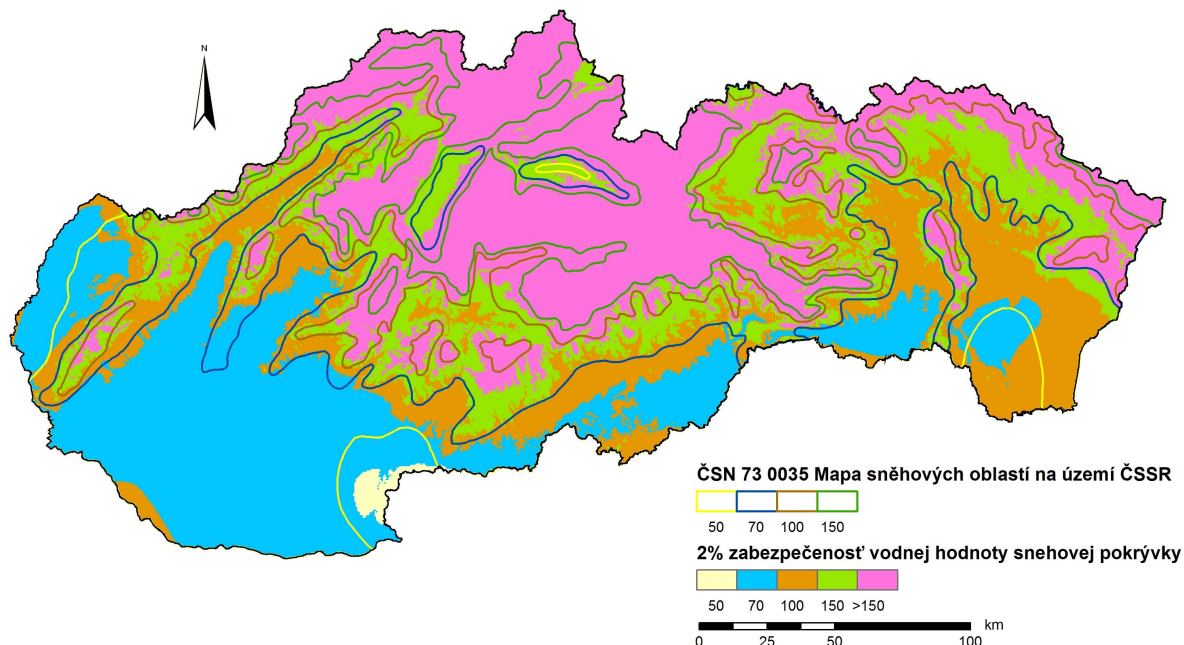
Obr.7 80 % zabezpečenosť prekročenia maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky na Slovensku v období 1954-2005

90% zabezpečenosť vodnej hodnoty snehovej pokrývky



Obr.8 90 % zabezpečenosť prekročenia maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky na Slovensku v období 1954-2005

Porovnanie 2% zabezpečenia vodnej hodnoty snehovej pokrývky s normou ČSN 73 0035 z roku 1986



Obr.9 Porovnanie 2 % zabezpečenia maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky s normou ČSN 73 0035 z roku 1989

Dĺžka časových radov meteorologických prvkov má výrazný vplyv na vypovedáciu schopnosť výsledkov, ktoré boli získané štatistickým spracovaním. Osobitne dôležité je to v prípade takých charakteristík meteorologických prvkov, ktoré nemajú veľkú tradíciu merania a pozorovania a medzi tieto patrí aj vodná hodnota snehovej pokrývky. Mapové spracovanie priestorového rozloženia hodnôt klimatickej zabezpečenia prekročenia maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky sa vytvárali z podkladov, ktoré boli v danom časovom období k dispozícii. Dĺžka časových radov vodnej hodnoty snehovej pokrývky bola, vzhľadom na začiatok jej systematického merania na Slovensku na konci 40. rokov minulého storočia, v predchádzajúcich spracovaniach pomerne krátka. S pribúdajúcim časom obsiahli časové rady vodnej hodnoty snehovej pokrývky aj také údaje, ktoré sa vyskytujú vzácnejšie a v krátkych časových radoch sa nemuseli vôbec vyskytnúť. Dôsledkom toho je, že každá nasledovná revízia mapy hodnôt zabezpečenia prekročenia maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky poskytuje prísnejšie kritéria pre danú technickú normu. Takýto príklad je vidieť aj pri vzájomnom porovnaní najnovšieho spracovania tejto charakteristiky snehovej pokrývky s tým, ktoré bolo naposledy urobené pred 20 rokmi. V najnovšom spracovaní je vidieť rozšírenie pásiem s vyššími hodnotami 2 % zabezpečenia prekročenia maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky (Obr. 9).

Záver

Na sneh bohaté zimy na konci 20. a v prvých rokoch 21. storočia potvrdili aké dôležité je meranie a hodnotenie vodnej hodnoty snehovej pokrývky. Databáza maximálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky na Slovensku, ktorá bola vytvorená z dostupných materiálov od konca 40. rokov minulého storočia je priebežne rozširovaná o aktuálne údaje, ktoré sú s určitým časovým odstupom štatisticky

spracované a doterajšie výsledky sú prehodnocované a prípadne korigované. Z praktických dôvodov bude perspektívne sústrediť sa v budúcnosti na režim vodnej hodnoty snehovej pokrývky počas zimy a zároveň rozvíjať, ktoré budú umožňovať nepriamy spôsob stanovania vodnej hodnoty snehovej pokrývky z jej celkovej výšky, resp. z hodnôt iných meteorologických prvkov, ktoré sú k dispozícii denne.

PodĎakovanie

Táto štúdia bola podporená Agentúrou na podporu vedy a techniky v rámci projektu APVV-51-024505.

Literatúra

- [1] Boháč, A. (1975): Revize mapy sněhových oblastí v ČSN 73 0035 "Zatížení konstrukcí pozemních staveb". Staveb.Čas. VEDA 23(1975), 11, 840-862.
- [2] Daly, C., Neilson, R. P., Phillips, D. L. (1994): A Statistical - Topographic Model for Mapping Precipitation over Mountainous Terrain. Journal of Applied Meteorology, 33, str. 140 – 158.
- [3] Del Corso, R. et al. (1995): New European Code for Snow Loads. Background document. Proc. Dept. Structural Engineering Univ. Pisa, No.264, Pisa 1995, 76p.
- [4] Faško, P., Lapin, M. (1996): Snow cover and precipitation changes in Slovakia in the 1921 – 1995 period. In: Proceedings on the 24 th ICAM 96. HMI of Slovenia, Bled 1996, 259 – 266.
- [5] Faško, P., Handžák, Š., Vívoda, J. (2000): Vybrané charakteristiky snehovej pokrývky v oblasti najvyšších pohorí Slovenska v období 1921-1998. In: Bulletin SMS pri SAV, 11, 2000, č.2, s.29-34.
- [6] Falarz, M., Faško, P., Lapin, M. (1998): Long-term variability of the snow cover in the Western Carpathians. In: Proceedings of the 2 nd European Conference on Applied Climatology. Vienna 1998, 7 pp.
- [7] Goovaerts, P. (2000): Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall, Journal of Hydrology, 228, str. 113 – 129.
- [8] Handžák, Š., Faško, P., Nejedlík, P. (2000): Selected snow cover characteristics change during the period 1921 – 2000 in Slovakia. In: CD, ICAM 2000, Innsbruck, Session 6.
- [9] Hevesi, J. A., Istok, J. D., Flint, A. L. (1992): Precipitation Estimation in Mountainous Terrain Using Multivariate Geostatistics. Part I: Structural Analysis. Journal of Applied Meteorology, Vol. 31, str. 661 – 676.
- [10] Hofierka, J., Parajka, J., Mitášová, H., Mitáš, L. (2002): Multivariate Interpolation of Precipitation Using Regularized Spline with Tension. In: Transactions in GIS 6: 135-150.
- [11] Lapin, M., Faško, P. (2005): Snow cover changes in the Little Carpathians in Slovakia. Croatian Meteorological Journal, Vol. 40, 658-661.
- [12] Mikulová, K. (2005): Rozdelenie územia Slovenska do oblastí na základe teplotných pomerov, 8. konferencia mladých meteorológov a klimatológov, Hydrologické dni 2005, Bratislava.
- [13] Mitášová, H., Mitáš, L. (1993): Interpolation by Regularized Spline with Tension: I. Theory and implementation. Mathematical Geology 25: 641-655.
- [14] Mitášová, H., Hofierka, J. (1993): Interpolation by regularized spline with tension: II. Application to terrain modelling and surface geometry analysis. In: Mathematical Geology, 25: 657-671.
- [15] Mitášová, H., Hofierka, J., Zlocha, M. (1990): Kartografické modelovanie plôch a telies splajnmami s tenziou, Geodetický a kartografický obzor, č. 9, str. 232 – 236.
- [16] Mitášová, H., Hofierka, J., Zlocha, M., Iverson, L. (1996): Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. International Journal of Geographic Information Systems, vol. 10, No. 5, str. 629 – 641.

- [17] Mitášová, H., Mitáš, L., Brown, W. M., Gerdes, D. P., Kosinovsky, I., Baker, T. (1995): Modeling spatially and temporally distributed phenomena: new methods and tools for GRASS GIS. *International Journal of GIS*, Vol. 9, No. 4, str. 433 – 446.
- [18] Mrázik, A., Sadovský, Z., Kriváček, J. (1990): Podklady pre určenie výpočtových hodnôt pevnosti oceľových konštrukcií na rekonštrukcie. Výsk. správa III-3-1/7.S 01, ÚSTARCH SAV, Bratislava 1990, 49s.
- [19] Němec, L., Květoň, V., Setničková, I., Škáchová, H. (2003): Estimation of the Water Equivalent of Snow Cover from the Other Meteorological Instruments, ICAM Conference, Brig 2003, www.map2.ethz.ch/icam2003.
- [20] Papamichail, D. M., Metaxa, I. G. (1996): Geostatistical analysis of spatial variability of rainfall and optimal design of a rain gauge network, *Water Resources Management*, no. 10 str. 107 – 127.
- [21] Parajka, J. (1994): Mapovanie prvkov hydrologickej bilancie (Diplomová práca) PriF UK Bratislava.
- [22] Parajka, J. (2001): Mapovanie dlhodobého priemerného ročného odtoku na území Slovenska (Dizertačná práca) Stavebná Fakulta STU Bratislava.
- [23] Pardo-Igúzquiza, E. (1998): Comparison of Geostatistical Methods for Estimating the Areal Average Climatological Rainfall Mean Using Data on Precipitation and Topography, *International Journal of Climatology*, 18, str. 1031 – 1047.
- [24] Phillips, D. L., Dolph, J., Marks, D. (1992): A comparison of geostatistical procedure for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain. *Agricultural and Forest Meteorology*, 58, str. 119 – 141.
- [25] Sadovský, Z., Šťastný, P., Faško, P. (2006): Aktualizácia údajov pre zaťaženie konštrukcií snehom na území Slovenska, 4th Czech/Slovak Symposium Theoretical and Experimental Research in Structural Engineering, Bratislava.
- [26] Schleich, J.B., Sedlacek & G., Kraus, O. (2002): Realistic Safety Approach for Steel Structures, In: Proc. 3th European Conference on Steel and Composite Structures, Eurosteel 2002, Coimbra, 2002, 1521-1530.
- [27] Szolgay, J., Hlavčová, K., Mosný, V., Parajka, J. (1997): Časové a priestorové zmeny hydrologickej bilancie na území východného Slovenska (monografia) STU, Bratislava.
- [28] Talmi, A., Gilat, G. (1977): Method for Smooth Approximation of Data. *Journal of Computational Physics*, 23, str. 93 – 123.
- [29] Tichý, M. s kol. (1987) : Zatížení stavebních konstrukcí. TP 45, SNTL, Praha 1987, 466s.
- [30] Vojtek, M., Faško, P., Šťastný, P. (2003a): Some selected snow climate trends in Slovakia with respect to altitude. *Acta Meteorologica Universitatis Comenianae*, Volume XXXII, 2003, pp. 17 – 27.
- [31] Vojtek, M., Faško, P., Šťastný, P. (2003b): Dynamika snehovej pokrývky v stredných a vysokých horských polohách Slovenska. *International Bioclimatological Workshop 2003, Račkova dolina*, ISBN 80-8069-244-0.