

ŠTEFAN ŠRAMKA¹**TEPLOTNÁ VODIVOSŤ SNEHU A JEJ VPLYV NA TEPLTNÉ
ZVRSTVENIE V SNEHOVEJ POKRÝVKE**

Štefan Šramka: Snow Temperature Conductivity and Its Influence on Temperature Stratification in the Snow Cover. Geogr. Čas., 38, 1986, 4; 5 figs, 3 photos, 3 refs.

Temperature is a significant meteorological factor taking part directly or also indirectly in creating conditions for avalanches. It is deciding in the physical process when snow crystals arise in the atmosphere, conditioning creation of their shape. Both the shape and structure of snow crystals are deciding in the primary stability of the snow layer created by them. The temperature influences further on the process of transformation of snow crystals, having disposal of the intensity and final product. It exerts also a great influence on the dynamic processes in the snow cover. The so called snow creeping occurs due to temperature, increasing directly by temperature. The provoked snow melting lowers the inner friction and a situation arises when the danger of avalanches is unusually great.

Predložený článok sa zaoberá sledovaním teplotného zvrstvenia v snehovej pokrývke v závislosti od teplotných pomerov zimného obdobia s možnosťou vytvorenia mrazových lokalít priamo v lavínovom teréne. Výsledky sa namerali na pozorovanom mieste Strediska lavínovej prevencie v Jasnej. Prvé meranie sa uskutočnilo 11. 11. 1983 a posledné 17. 4. 1984. Pre grafické vyhodnotenie nameraných výsledkov sa vyčlenilo obdobie od 24. 1. 1984 po posledné meranie 17. 4. 1984. Tento časový úsek bol charakteristický častými teplotnými zmenami, ako aj dostatočným množstvom snehu na vykonanie celej úlohy.

METODIKA MERANIA

Teplota vzduchu ako meteorologický činiteľ je určujúca pri fyzikálnom procese vzniku snehového kryštálu v atmosfére a má stály vplyv na jeho celkovú

¹ RNDr. Štefan Šramka, Horská služba, Stredisko lavínovej prevencie Jasná, 032 51 Demänovská Dolina.

premenu až po konečný produkt firnovej zrno. V homogénom izotropnom prostredí sa šíri teplo podľa Fourierovej rovnice:

$$-\frac{\delta T}{\delta t} = a \left(-\frac{\delta^2 T}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 T}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 T}{\delta z^2} \right)$$

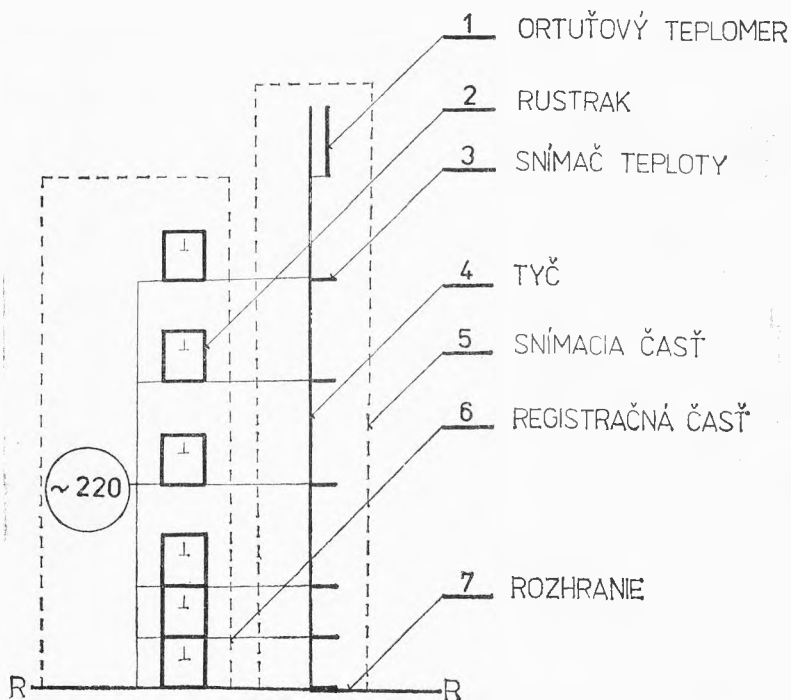
kde a — koeficient teplotnej vodivosti ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), T — teplota (K), t — čas (s).

Koeficient teplotnej vodivosti charakterizuje rýchlosť vyrovnania teploty v sledovanom prostredí a je rovný pomeru mernej teplotnej vodivosti a mernej tepelnej kapacity pri konštantnom tlaku podľa vzťahu:

$$a = \frac{\lambda}{c \rho_p}$$

kde λ — koeficient tepelnej vodivosti ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), c — merné teplo ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), ρ_p — prirodzená hustota snehu ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

Vzhľadom na hodnotu merného tepla snehu ($c = 1,0805 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, t. j. stredné merné teplo medzi 0°C a teplotou -40°C) a rozptylu nameraných hodnôt hustoty snehu po profile Chopka ($\rho_p = 100\text{--}450 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) je priemerná hodnota mernej teplotnej vodivosti pre sneh $a = 4.10^{-7} \text{ (m}^2 \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$. V homogénom prostredí snehovej vrstvy je vedenie tepla určované jedinou konštantou, a to mernou tepelnou vodivosťou. Vo všeobecnosti je táto konštantna



Obr. 1. Blokóvá schéma meracieho zariadenia.

funkciou teploty, tlaku, štruktúrného zloženia a pórovitosti. Jej číselná hodnota je $\lambda = 0,116$ až $0,465$ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) v závislosti od hustoty snehu (1).

Pre meranie sme použili prístroje RUSTRAK, model 2133 spolu s príslušenstvom. Meracie zariadenie tvorila registračná a snímacia časť. Registračnú časť tvorilo 6 rustrakov, ktoré boli zapojené na elektrickú sieť a ovládali sa jedným vypínačom. Snímaciu časť tvorilo 6 snímačov, ktoré boli prepojené s rustrakmi. Prvý snímač bol položený na rozhranie zem—vzduch, druhý snímač do výšky 10 cm, tretí snímač do výšky 20 cm, štvrtý snímač do výšky 40 cm, piaty snímač do výšky 60 cm, šiesty snímač do výšky 80 cm a vo výške 100 cm bol pripevnený ortuťový teplomer na meranie teploty vzduchu. Registračná časť bola uložená v laboratóriu budovy Strediska lavínovej prevencie a snímacia časť bola vsadená do pozorovaného objektu strediska (1200 m n. m.). Určené miesto bolo s trávnaťým povrchom a bolo tienené pred slneč-

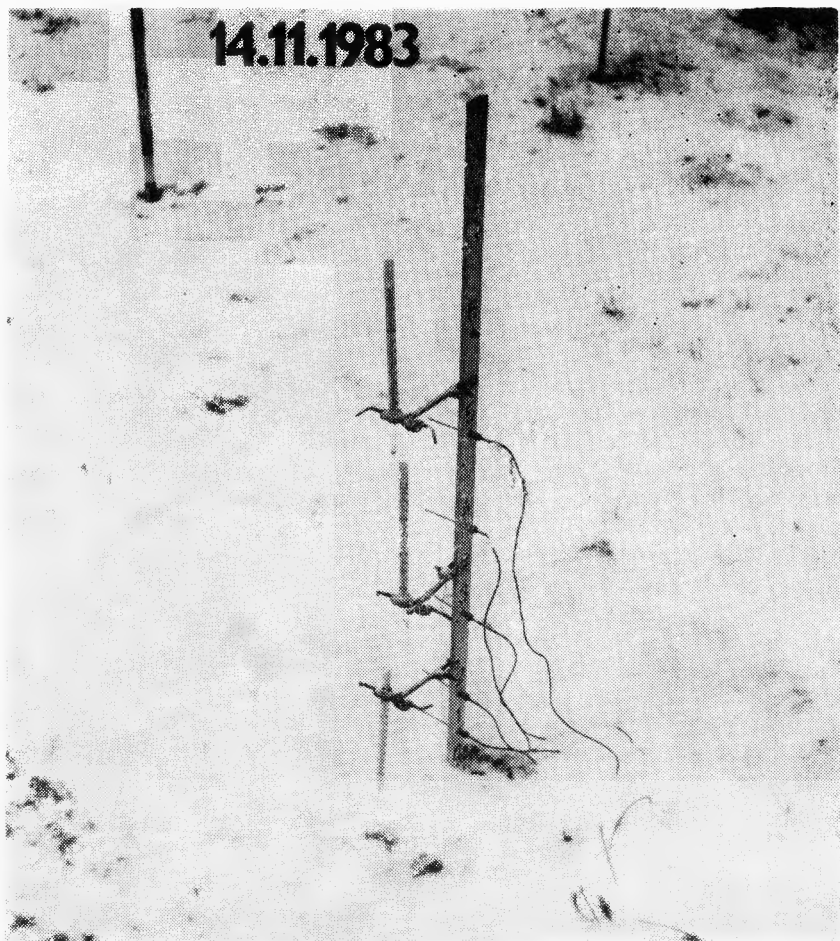


Foto 1a. Meracie zariadenie teploty v snehovej pokrývke.

ným svitom. Prvé meranie bolo vykonané za účelom očiachovania a umiestnenia meracieho zariadenia na vhodnom mieste. Kontrola snímacích teplôt bola vykonaná pomocou ortuťových teplomerov (presnosť $0,2^{\circ}\text{C}$).

Vzhľadom na to, že optimálna teplotná krivka za 24 hodín dosahuje minimálnu teplotu približne o tretej až štvrtej hodine ráno a maximálnu teplotu o dvanástej až trinástej hodine (SEČ), základný termín merania sa stanovil na ôsmu hodinu. Pri náhlych teplotných zmenách sa stanovili termíny merania vhodné v tom čase. V týždenných intervaloch sa určovala vodná hodnota vrstevnatosti snehu.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Namerané hodnoty a stanovené výsledky nám dávajú celkový obraz o teplotných pomeroch snehovej pokrývky počas zimného obdobia r. 1983 a 1984

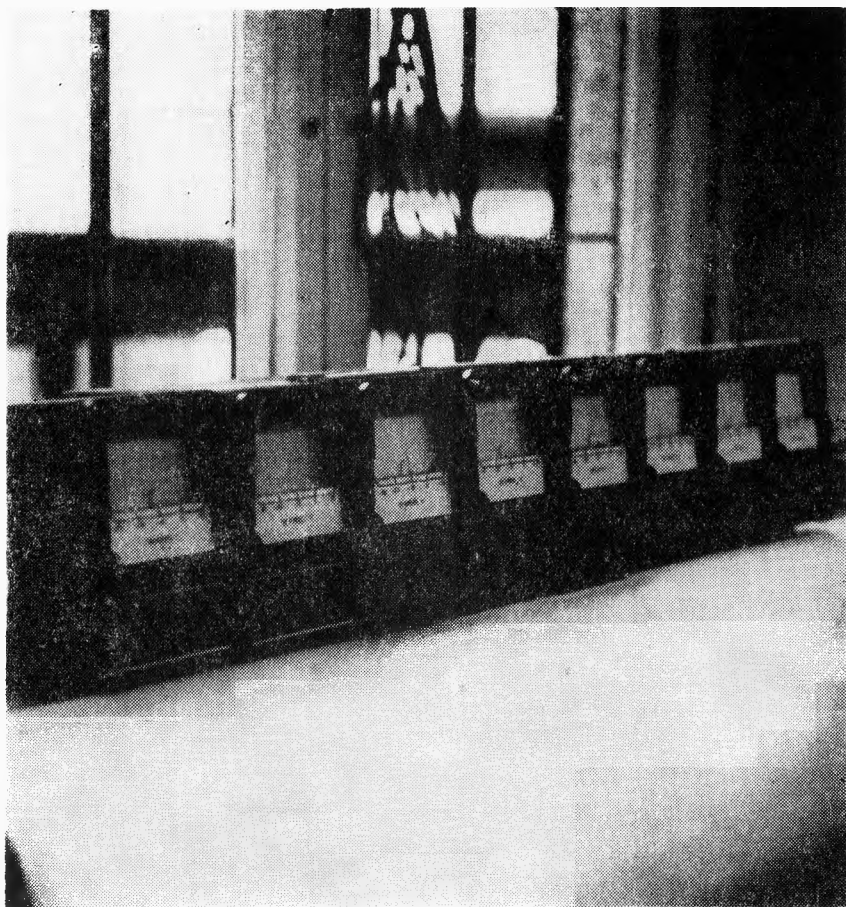
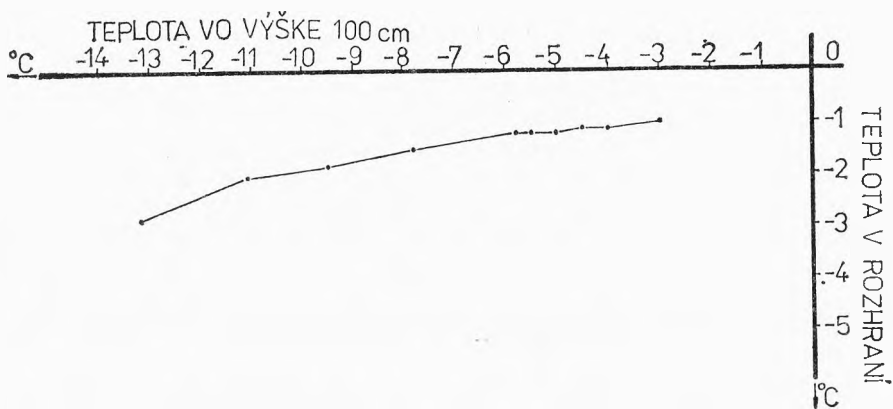


Foto 1b. Meracie zariadenie teploty v snehovej pokrývke.



Obr. 2. Krivka teploty vzduchu a povrchu zeme pri snehovom poprašku.

na pozorovanom mieste. Vidíme, že snehová pokrývka sa správa ako teplotný izolátor na rozhraní zem—atmosféra, kde medzi takmer konštantnou teplotou na povrchu zeme a pohyblivou teplotou atmosféry nastáva vyrovnanie týchto dvoch tepelných zdrojov. Zmeny teploty vzduchu sa odzrkadľujú zmenou gradientu teploty v hĺbke snehovej pokrývky s určitým časovým oneskorením,

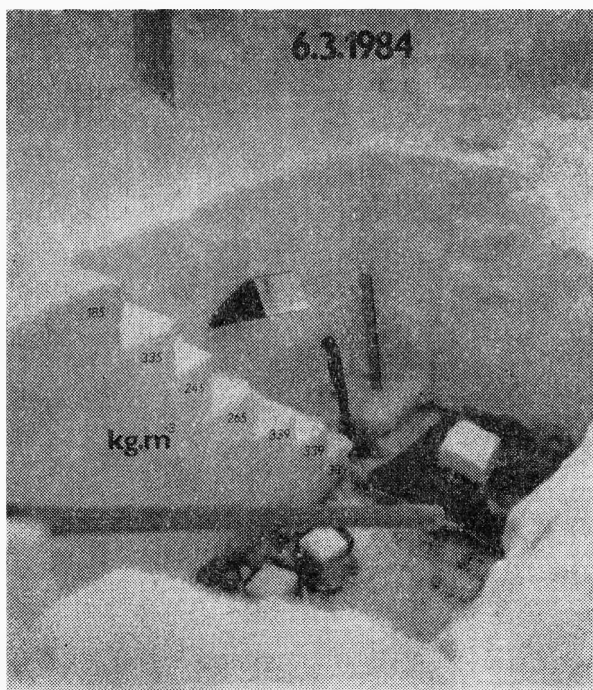
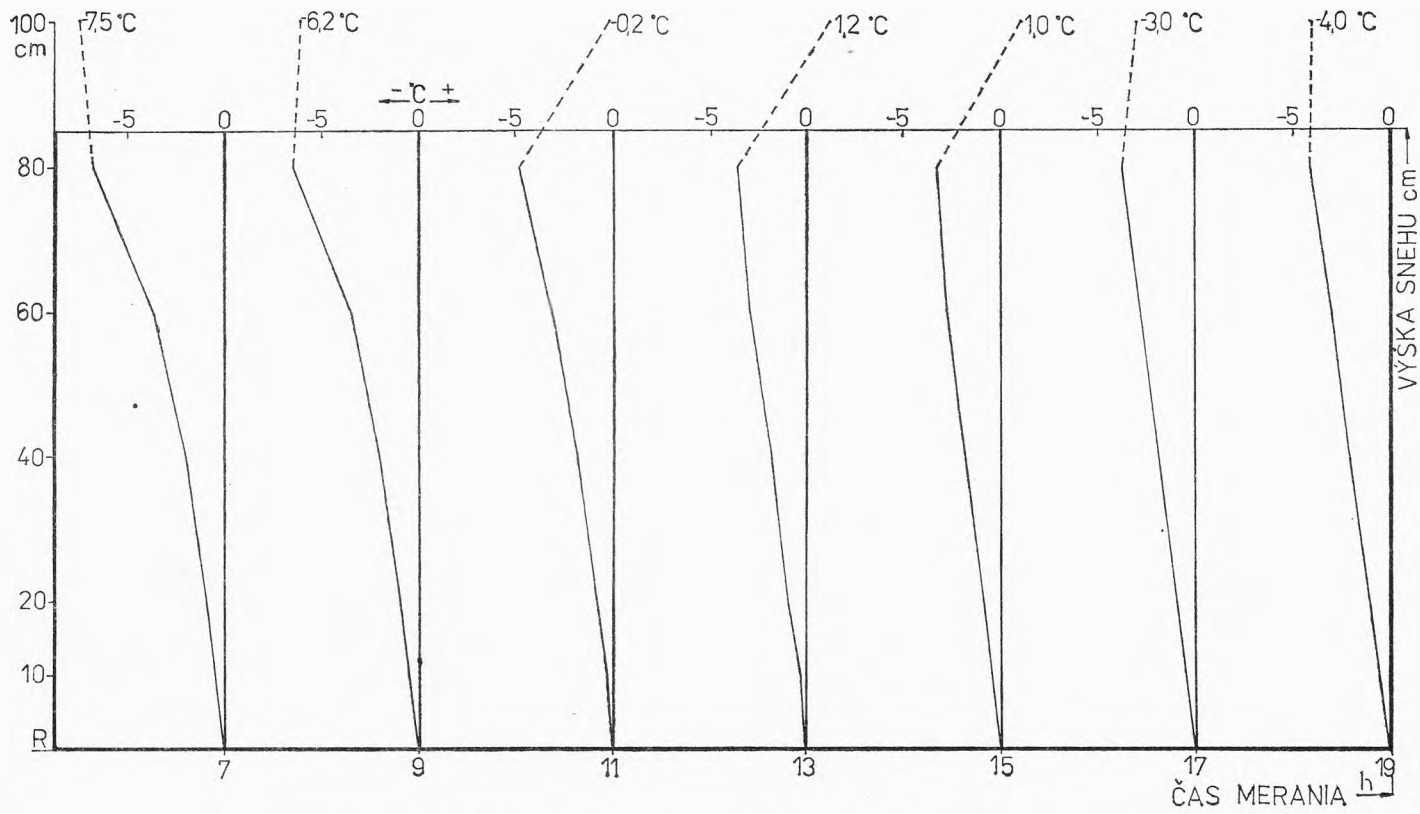
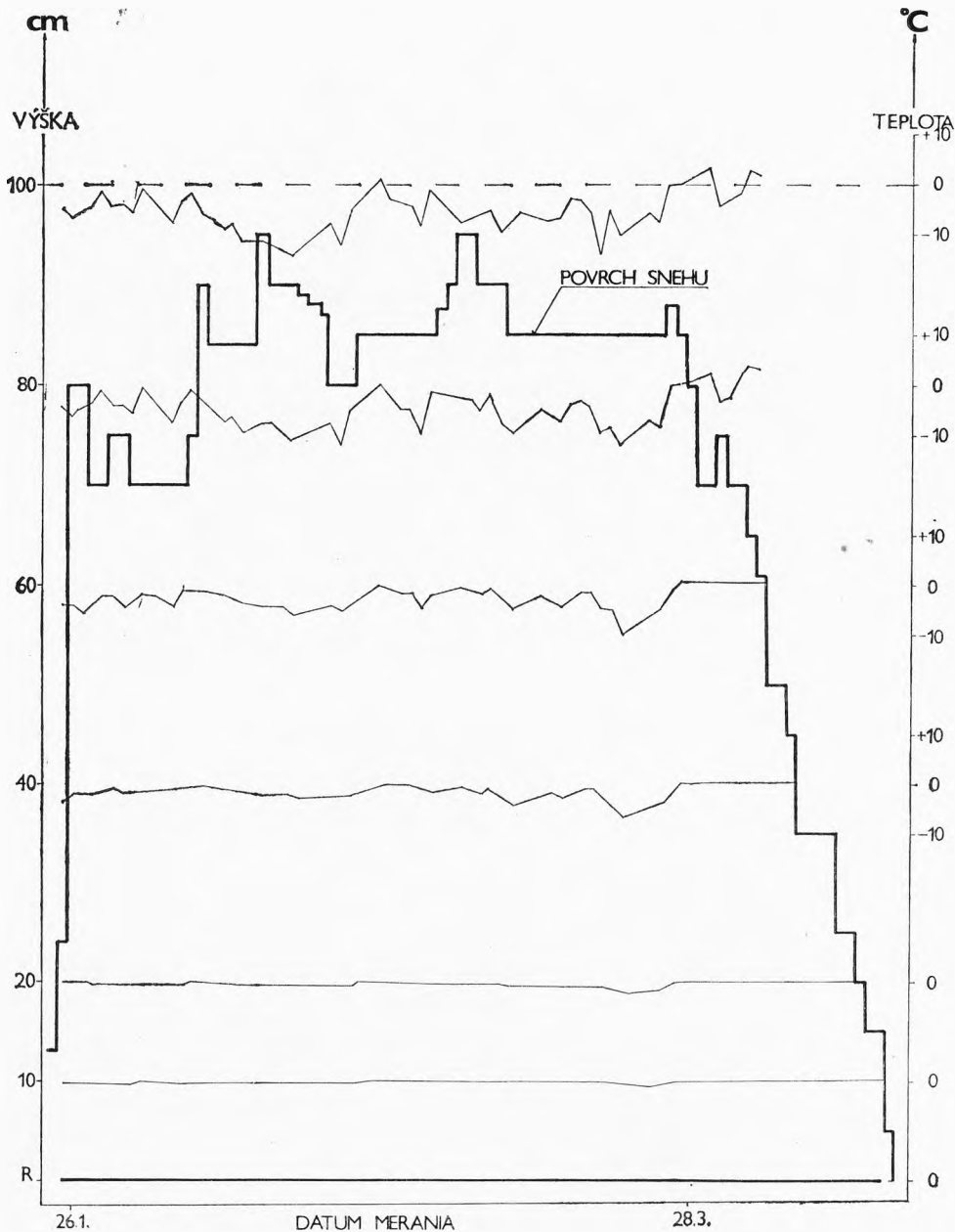


Foto 2. Klasifikácia snehovej pokrývky a určenie jej hustoty.



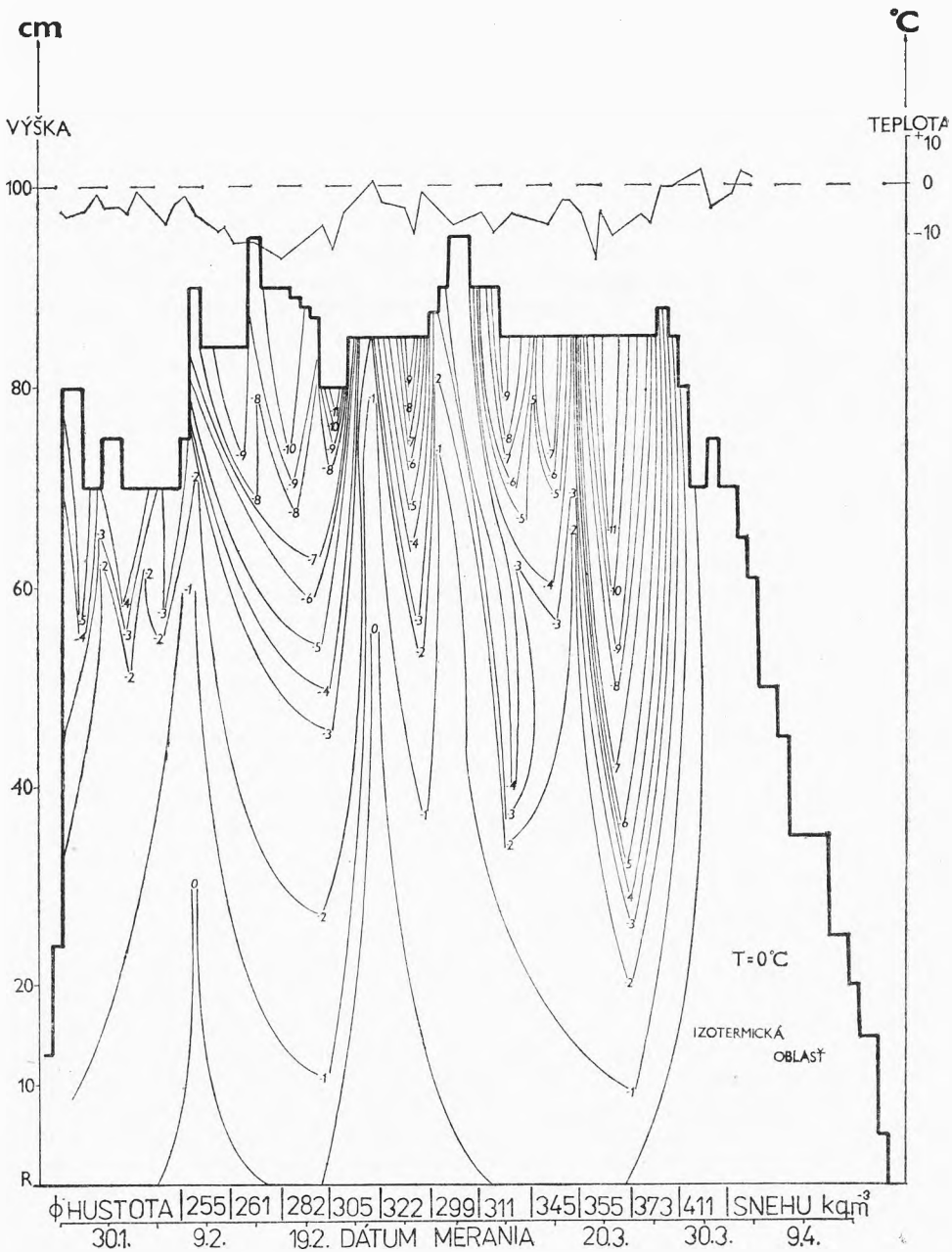
Obr. 3. Priebeh teploty v snehovej pokrývke a vzduchu za 12 hodín.



Obr. 4. Interpretované teplotné krivky v snehovej pokrývke.

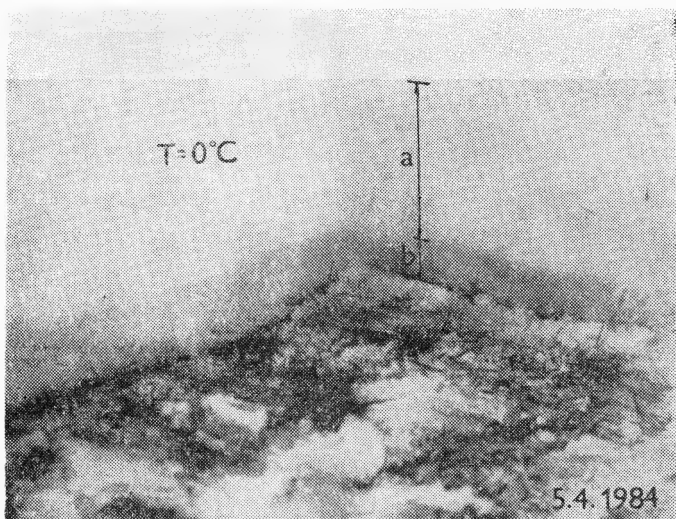
ktoré odpovedá závislosti mernej tepelnej vodivosti od hustoty vrstiev snehu. Čím má dané skupenstvo vrstvy snehu menšiu hustotu, tým je aj tepelná vodivosť tejto vrstvy menšia. Na dôkaz tohto tvrdenia môžeme uviesť názorný príklad snehového poprašku. Na začiatku zimného obdobia býva tento sneh suchý a kyprý. Proces a premeny tu predstavuje mechanické lámanie snehových kryštálikov vetrom ešte pri ich padaní a prenášaní. Sama vrstva je porózna a nesúdržná. Hustota vrstvy je rovná alebo menšia ako $100 \text{ [kg.m}^{-3}\text{]}$ a koeficient tepelnej vodivosti λ nie je väčší ako $0,116 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$. Preto vedenie tepla takejto hustoty a mernej tepelnej vodivosti snehovej pokrývky je malé. Hustote teploty nameranej vo výške 1 m nad povrchom zeme -3°C odpovedá hodnota teploty nameraná v rozhraní zem—snehový poprašok -1°C a hodnota teploty -13°C odpovedá hodnota teploty -3°C . To je dôkaz o dobrých tepelno-izolačných vlastnostiach takého druhu snehu už pri nepatrnej vrstve. Pri formovaní podmienok vzniku lavín je rozhodujúca výška snehovej pokrývky a jej veľkosť hmoty. No smerodajným kritériom posudzovania lavínovosti jednotlivých situácií sa stáva, keď súčasne prihliadneme na jej štruktúrnu a vrstevnatostnú stavbu. Časové odstupy medzi novými sneženiami, spolu s celkovými podmienkami, určujú zvrstvenie a mechanickú a fyzikálnu nadväznosť jednotlivých vrstiev. Teplota má veľký podiel v procese premeny snehového kryštálu. Rozhoduje o intenzite tohto procesu i o jeho konečnom produkte. Veľkosť tepelných gradientov v snehovej pokrývke vyvoláva zmenu hmoty kryštálikov, ich vzájomnú väzbu a zmenu v prenose napätí. Celková premena pokrývky snehu má rovnomerný priebeh. V značnej miere závisí od rôznorodých zmien počasia. Nepriaznivé je najmä také zvrstvenie, kde v mechanických vlastnostiach jednotlivých vrstiev sú veľké rozdiely. Analýzu teplotného režimu a zmeny hustoty v snehovej pokrývke v priebehu zimného obdobia 1983—1984 charakterizujú grafické zobrazenia.

Sneženie, ako aj zmeny teploty v celom profile snehovej pokrývky za sledované obdobie, bolo bohaté a postačovalo na prevedenie merania úlohy. Od 26. 1. 1984 do 31. 3. 1984 sa prejavila celá stupnica premeny snehu od snehového kryštálu až po firnové zrno. V tomto časovom úseku sa denne sledoval teplotný režim a raz za týždeň sa odoberala vzorka pre stanovenie priemernej hustoty snehovej pokrývky. Priemerná hodnota hustoty snehu v profile sa pohybovala od $220 \text{ [kg.cm}^{-3}\text{]}$ do $420 \text{ [kg.m}^{-3}\text{]}$. Týmto hodnotám odpovedá koeficient tepelnej vodivosti $0,171$ až $0,390 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$. Z priebehu izotermického rezu snehovou pokrývkou vidieť, že na premenu snehu má rozhodujúci vplyv dĺžka trvania poveternostných podmienok. Nízke teploty postupne schladzujú celý profil snehovej pokrývky. Ich gradient narastá od zemského povrchu smerom na povrch snehu. Prudké výkyvy teploty urýchľujú proces premeny snehu najmä v povrchových vrstvách. Teplotný rozdiel vzduchu o $8,7^\circ\text{C}$ v priebehu 12 hodín pri výške snehu 85 cm a priemernej hustote $310 \text{ [kg.m}^{-3}\text{]}$, koeficiente tepelnej vodivosti $0,288 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$, zasiahol do hĺbky 5 cm pod povrch snehovej pokrývky teplotným rozdielom $3,5^\circ\text{C}$, do hĺbky 25 cm pod povrch teplotným rozdielom $0,9^\circ\text{C}$, do hĺbky 45 cm pod povrch teplotným rozdielom $0,2^\circ\text{C}$. To potvrdzuje tvrdenie o klesaní teplotného gradientu v snehovej pokrývke smerom k zemskému povrchu. Tvarové krivky teplotného sledu majú skôr pravidelný ako nepravidelný charakter. Spôsobuje to veľká rozdielnosť

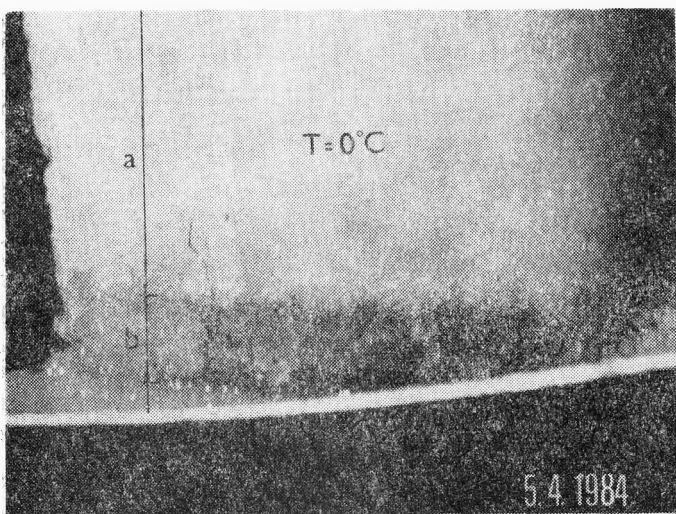


Obr. 5. Izotermický rez snehovou pokrývkou.

tepelnej vodivosti na sebe ležiacich snehových vrstiev. Takýto tvar kriviek platí pre väčšinu zimného obdobia, keď sa nevyskytujú náhle a dlho trvajúce veľké zmeny poveternostných podmienok. Proces premeny snehovej pokrývky narastá s jej dĺžkou trvania. Zväčšovanie hustoty snehu podmieňuje zvyšovanie



A



B

Foto 3a—b. Izotermická vrstva zložená z vlhkého snehu (a), mokrého snehu (b), A — pozorované miesto, B — vzorka.

vane tepelnej vodivosti v jednotlivých vrstvách. Vytvorenie izotermickej oblasti je v snehovej pokrývke závislé od tejto skutočnosti. Priemerná hodnota hustoty snehu dosahuje svoju maximálnu hodnotu ($\sim 500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) a koeficient tepelnej vodivosti tiež ($\sim 0,465 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$). V našom meraní sa najčastejšie vyskytovali teploty vzduchu vo výške 1 m nad zemským povrchom od 0°C do -10°C . Priemerná teplota za sledované obdobie predstavuje hodnotu $-5,5^\circ\text{C}$. Je to oblasť, kde metamorfóza snehu prebieha rovnomerne a snehové vrstvy sa vzájomne upevňujú a nadväzujú. Rôznorodejší výskyt teplôt, hlavne nižších ako -10°C , by ešte charakteristickejšie vykreslil priebeh izoterm v snehovej pokrývke. Najmä pri prenikaní nižšej atmosferickej teploty do hĺbky snehovej pokrývky vznikajú zvláštne druhy snehu (vláknitý firn, dutinová inovať, pohyblivý sneh). Táto lavínová veľmi nebezpečná zmes nastáva v dôsledku silnejšieho sublimačného odparovania snehu, čo súvisí s presunom ľadovej hmoty, skyprovaním niektorých vrstiev a vznikom nových kryštalických tvarov.

V našom meraní od 8. 2. 1984 sa teplota v termíne merania pohybovala od $-6,0^\circ\text{C}$ do $-8,5^\circ\text{C}$. Dlhodobejší výskyt teploty pod -10°C bol od 12. 2. 1984 do 17. 2. 1984. Teplota v termíne merania sa pohybovala v rozmedzí od $-11,4^\circ\text{C}$ do $-14,2^\circ\text{C}$. Zaznamenaný teplotný gradient vo výške 10 cm nad zemským povrchom sa zmenil až o $1,0^\circ\text{C}$. Pri určovaní vodnej hodnoty vrstevnatosti snehu 13. 2. 1984 o 12 h (SEČ), pri teplote vzduchu vo výške 1 m $-9,0^\circ\text{C}$ vrstvu snehu, vo výške 8–15 cm predstavovala nesúdržná firnová zmes. Pre vznik lavín je tento jav vždy veľmi nebezpečný.

Terénne pozorovania dokazujú väčšiu pestrosť snehu v pásme do nadmorskej výšky 1500 m, ako v oblastiach vysokohorských. Je to spôsobené hlavne väčším kolísaním teploty a vlhkosti vzduchu. Vysokohorské pásmo je stálejšie. Snehová pokrývka, okrem prvého sneženia začiatkom zimy, nikdy nie je rovnorodá. Vedenie tepla v nej určuje merná tepelná vodivosť. S celkovou premenou snehu narastá jej veľkosť a účinnosť. Môžeme konštatovať, že počas zimného obdobia má rastúcu tendenciu a vrcholí vytváraním izotermickej oblasti v snehovej pokrývke.

ZÁVER

Treba podotknúť, že umiestnenie snímačov sa javí najvhodnejšie na tyči z umelej hmoty, ktorá má nízku tepelnú vodivosť. Najväčší spád teploty je pod povrchom snehovej pokrývky, potom pre dosiahnutie väčšej presnosti merania je potrebné umiestniť snímače hustejšie v tejto časti. Pri celkovom hodnotení je možné tieto charakteristiky doplniť podľa potreby a možnosti o ďalšie klimatické ukazovatele. Umiestnenie meracej sondy slúžilo len ako overenie metodiky, ktorá spĺňa kritériá aj pre automatizované spracovanie dát. Pri dodržaní podmienok metóda dovoľuje vytvorenie meracej lokality priamo v teréne lavínového charakteru.

LITERATÚRA

1. RAŽNJEVIĆ, K.: Tepelné tabuľky a diagramy. Zágreb 1964, s. 49. — 2. KŇAZOVIC-KÝ, L.: Lavíny, Bratislava 1967, s. 19. — 3. HOUDEK, I., VRBA, M.: Zimné nebezpečie v horách. Praha 1955, s. 55.

ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДИМОСТЬ СНЕГА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ТЕМПЕРАТУРНУЮ СЛОИСТОСТЬ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ

Статья занимается слежением за температурной слоистостью в снежном покрове в зависимости от температурных условий зимнего периода и возможностями создания опытного участка на местности. Измеренные результаты относятся к наблюдательному участку Центра лавинной превенции в населенном пункте Ясна. Отрезок времени с 24 января по 17 апреля 1984 г., к которому относятся измерения, нами использован для общей оценки задания.

Температура, как важный метеорологический фактор создания условий возникновения лавин, является решающей и для физического процесса образования снежного кристалла в атмосфере и обуславливает образование его формы. Форма и структура снежных кристаллов являются, в свою очередь, решающими при формировании снежного слоя. Температура далее влияет на процесс перемены снежного кристалла вплоть до его окончательного вида — продукта. В гомогенной среде снежного слоя температуропроводимость определяется единственной константой — удельной температуропроводимостью λ . Снежный покров ведет себя как температурный изолятор между поверхностью земли и температурой атмосферы. Изменения температуры воздуха отражаются в изменениях градиента температуры в слое снежного покрова с определенным замедлением. В результате изменений величины температурных градиентов происходят изменения массы кристаллов, изменения связей между ними и изменения в переносе напряжения. Происходит перемена снежного покрова, которая не является равномерной. В значительной степени она зависит от разнообразных смен погоды. Общий анализ температурного режима и изменения плотности в снежном покрове за исследуемый зимний период переданы на графических изображениях. По изотермическому разрезу видно, что на перемену снега решающим образом влияет продолжительность погодных условий. При низких температурах атмосферы повышаются значения температурного градиента в снежном покрове. Повышается плотность снега и, тем самым, повышается температуропроводимость в его отдельных слоях. Преимущественно более разнообразное наличие температур ниже -10°C более характеристически вырисовывает изотермы в слоях снежного покрова. Это подтверждают, главным образом, слой особых видов снега (волокнистый фирн, трещинная изморозь, несвязный снег), представляющие собой опасную лавинную смесь. Влажность и действительность температуропроводимости повышаются с общей переменной снега и завершаются образованием изотермической области в снежном покрове. Для измерений применялся прибор Рустрак 2133 совместно с дополнительным оборудованием. Размещение измерительного зонда и само осуществление задания послужили для проверки методики с целью выявить возможности создания опытного участка прямо на лавиноопасной местности.

Рис. 1. Блоковая схема измерительного прибора.

Рис. 2. Кривая температур воздуха и поверхности земли при наличии снежной пороши.

Рис. 3. Ход температур снежного покрова и воздуха в течение 12 часов.

Рис. 4. Интерпретированные температурные кривые в снежном покрове.

Рис. 5. Изотермический разрез снежным покровом.

Фотография 1а—б. Оборудование для измерения температуры в снежном покрове.

Фотография 2. Классификация снежного покрова и определение его плотности.

Фотография 3а—б. Изотермический слой, состоящий из отсыревшего снега (а), мокрого снега (б); А — наблюдаемое место, В — образец.

SNOW TEMPERATURE CONDUCTIVITY AND ITS INFLUENCE ON TEMPERATURE STRATIFICATION IN THE SNOW COVER

The paper deals with temperature stratification in the snow cover followed in dependence on temperature conditions during the winter season with a possibility to establish a measuring locality directly in the field. The results have been obtained from measurements in the observed place of the Avalanche Prevention Centre at Jasná. The time span comprising the results measured from January 24th, 1984 to April 17th, 1984 have been used for the total evaluation of the task.

Temperature as a significant meteorological factor in crating conditions for avalanches is deciding in the physical process when snow crystals arise in the atmosphere, conditioning creation of their shape. Both the shape and structure are deciding in the primary stability of the snow layer. The temperature influences further on the process of transformation of snow crystals up to their final product. In a homogeneous medium of the snow cover heat conduction is determined by a single constant, namely by specific heat conductivity λ . The snow cover behaves as a heat insulator between the earth surface and the temperature of atmosphere. The changes in air temperature reflect with a certain time lag in the depth of a snow cover due to the change in temperature gradient. The size of heat gradients provokes the change in the mass of small crystals, in their mutual coupling as well as the change in transferring the tension. A transformation of the snow cover is occurring, which has not any even course. Considerably it depends on diverse changes in the weather. The total analysis of the temperature regime and the change in the density within snow cover for the followed winter period are characterized by graphic illustrations. From the course of the isothermic sectional view it may be seen that the length of duration of weather conditions exerts a deciding influence on the change in the snow. The lower are the temperatures in the atmosphere, the greater gradient of temperature increases in the snow cover. The density of snow increases and in this way also the thermal conductivity does in the individual layers. Chiefly a more diverse occurrence of temperatures under -10°C depicts more characteristically isotherms in layers of the snow cover. Especially layers of special types of snow that represent a dangerous avalanche mixture (fibrous firn, cavity hoarfrost, moving snow) support it. The size and the effectivity of thermal conductivity increase with the total transformation of snow, culminating in creating an isothermic sphere in the snow cover. In measurings I used apparatuses RUSTRAK, model 2133 together with the accessories. Both the location of measuring probe and the realization of the task have served for the methodics to be proved due to a possibility of creating a measuring locality directly in an avalanche field.

Fig. 1. A block scheme of measuring equipment.

Fig. 2. A curve of air and earth surface temperatures at snow dust.

Fig. 3. Course of temperature in the snow cover and air for 12 hours.

Fig. 4. Interpreted temperature curves in the snow cover.

Fig. 5. An isothermic section through the snow cover.

Photo 1a—b. Temperature measuring equipment in the snow cover.

Photo 2. Classification of the snow cover and determination of its density.

Photo 3a—b. An isothermic layer composed of moist snow (a), wet snow (b), A — place observed, B — a sample.

Translated by A. K r a j č í r