

GALINA MURÍNOVÁ\*

**PRIESTOROVÉ A ČASOVÉ ROZLOZENIE TLAKU VODNEJ PARY  
V OBLASTI TATIER**

Galina Murínová: The Space and Time Distribution of the Water Vapour Pressure in the Region of Tatras. Geogr. Čas., 39, 1987, 4; 3 figs, 1 table, 3 refs.

The vertical changes of the water vapour pressure in the mountains of High Tatras during the year are discussed. As the experimental basis the data of the vapour pressure from 7 meteorological stations in Tatras were used for the 20-years period.

Vodná para hrá dôležitú úlohu vo všetkých termodynamických a energetických procesoch atmosféry. Je nepriamym ukazovateľom zásobv vlhky v atmosfére a súvisí s celkovým kolobehom vlhky v prírode. Fázové premeny vodnej pary, výpar a kondenzácia sú sprevádzané pohltením a vylučovaním veľkého množstva tepla, ktoré hrá určitú úlohu v termodynamike atmosféry. Okrem toho má významnú úlohu pri absorpcii zemského vyžarovania a slnečného žiarenia, najmä v infračervenej časti spektra.

Obsah vodnej pary vo voľnej atmosfére rýchlo klesá so stúpajúcou nadmorskou výškou. Približne polovica celkového obsahu vodnej pary sa sústreďuje vo vrstve do 1,5 – 2 km. Na rozdiel od voľnej atmosféry v horách pozorujeme pomalšie ubúdanie tlaku vodnej pary s nadmorskou výškou. Súvisí to s tým, že v horách je väčší zdroj výparu (lesy, jazerá, ľadovce atď).

Jednou z charakteristík absolútneho obsahu vodnej pary v atmosfére je parciálny tlak vodnej pary, ktorý sa podobne ako tlak vzduchu meria v hPa. Údaje tlaku vodnej pary, zistené podľa psychrometrických tabuliek na základe meraní teploty vzduchu v rôznych výškových polohách Tatier, umožňujú sledovať vertikálnu štruktúru tejto charakteristiky v priebehu roka. Na analýzu priestorového a časového rozloženia obsahu vodnej pary v Tatrách sme použili hodnoty tlaku vodnej pary v troch pozorovacích termínoch za 20-ročné obdobie (1951 – 1970) zo 7 tatranských staníc: Liptovský Hrádok (648 m n. m.), Poprad (703 m n. m.), Tatranská Lomnica (850 m n. m.), Starý Smokovec (1018 m n. m.) Štrbské Pleso (1330 m n. m.), Skalnaté Pleso (1778 m n. m.) a Lomnický štít (2635 m n. m.). Mesačné a ročné priemery tlaku vodnej pary v hPa v troch pozorovacích termínoch o 7, 14 a 21 h a v dennom priemere sú uvedené v tab. 1.

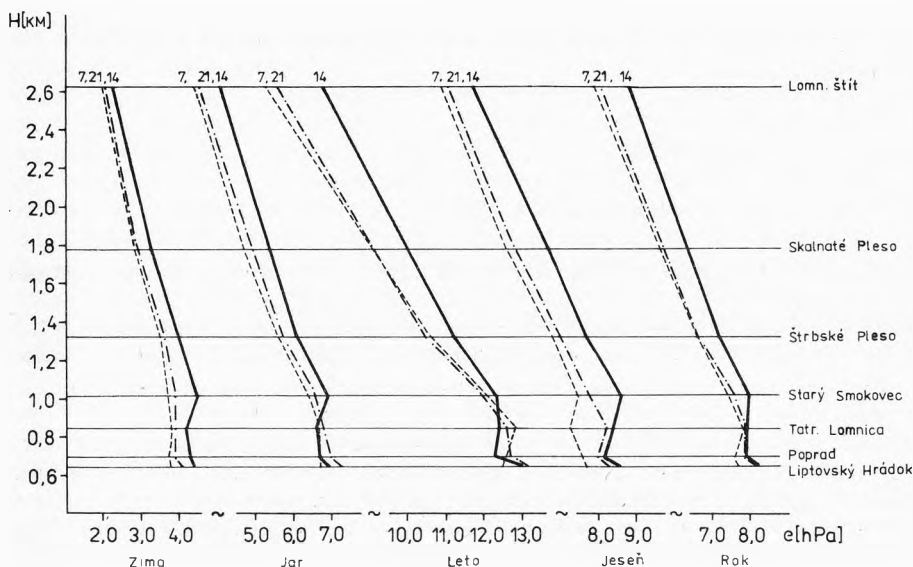
Treba mať na zreteli, že v horách v porovnaní s nížinnými polohami majú okrem známych faktorov, ako sú teplota vzduchu a výpar veľký význam aj termodynamické

\* RNDr. Galina Murínová, CSc., Geofyzikálny ústav CGV SAV, Dúbravská cesta, 842 28 Bratislava.

Tab. 1. Mesačné a ročné priemery tlaku vodnej pary (hPa) v troch pozorovacích termínoch o 7, 14, 21 h a v dennom priemere za obdobie 1951–1970

Stanica	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok	Amp- lit.
	7 h													
Lipt. Hrádok	3,4	3,8	4,6	6,5	9,1	12,2	13,0	12,4	9,8	7,3	6,0	4,3	7,7	9,6
Poprad	3,4	3,6	4,4	6,6	9,2	12,2	13,0	12,6	9,8	7,2	5,8	4,2	7,6	9,6
Tatr. Lomnica	3,4	3,7	4,4	6,5	9,2	12,2	13,4	13,0	10,4	7,5	5,8	4,2	7,8	10,0
Starý Smok.	3,4	3,6	4,2	6,3	8,8	11,6	12,6	12,2	9,6	7,2	5,8	4,2	7,4	9,2
Štrb. Pleso	3,2	3,4	3,9	5,4	7,4	10,0	11,0	10,7	8,6	6,6	5,2	3,8	6,6	7,8
Skal. Pleso	2,6	2,7	3,2	4,5	6,5	8,7	9,4	9,1	7,2	5,3	4,2	3,2	5,6	6,8
Lomn. štít	2,0	2,0	2,3	3,2	4,6	6,0	6,4	6,2	4,8	3,8	3,2	2,4	3,9	4,4
	14 h													
Lipt. Hrádok	4,0	4,4	5,2	6,6	9,2	12,4	13,6	13,2	10,9	8,6	6,6	4,9	8,3	9,6
Poprad	3,8	4,4	5,0	6,4	8,8	11,8	12,7	12,4	10,2	8,1	6,4	4,7	7,9	8,9
Tatr. Lomnica	3,8	4,2	4,8	6,4	8,6	11,6	12,8	12,8	10,6	8,2	6,3	4,7	7,9	9,0
Starý Smok.	4,2	4,4	5,0	6,6	9,0	11,9	12,9	12,2	10,8	8,5	6,4	4,8	8,0	8,7
Štrb. Pleso	3,7	4,0	4,4	6,0	7,8	10,6	11,4	11,6	9,6	7,6	5,8	4,3	7,2	7,9
Skal. Pleso	3,1	3,3	4,0	5,2	7,0	9,4	10,3	10,2	8,6	6,7	4,9	3,6	6,4	7,2
Lomn. štít	2,2	2,2	2,7	4,1	5,6	7,4	8,2	7,9	6,2	4,5	3,4	2,5	4,8	6,0
	21													
Lipt. Hrádok	3,7	4,1	5,2	7,2	9,6	12,6	13,7	13,2	10,7	8,0	6,1	4,4	8,2	10,0
Poprad	3,5	3,9	4,8	6,8	9,3	12,2	13,1	12,7	10,4	7,6	6,0	4,2	7,8	9,6
Tatr. Lomnica	3,6	3,9	4,7	6,6	9,0	12,0	13,0	12,8	10,8	7,9	6,0	4,3	7,9	9,5
Starý Smok.	3,6	3,9	4,6	6,4	8,7	11,6	12,3	12,1	10,0	7,4	5,9	4,3	7,6	8,7
Štrb. Pleso	3,4	3,5	4,0	5,6	7,4	10,0	10,8	10,8	8,9	6,8	5,2	3,9	6,6	7,4
Skal. Pleso	2,8	2,8	3,3	4,7	6,6	8,6	9,5	9,3	7,4	5,6	4,4	3,2	5,7	6,7
Lomn. štít	2,0	2,0	2,4	3,4	4,8	6,4	6,8	6,6	5,0	3,8	3,2	2,4	4,0	4,8
	(7+14+21) : 3													
Lipt. Hrádok	3,7	4,0	5,0	6,8	9,3	12,4	13,4	13,0	10,4	8,0	6,2	4,6	8,1	9,7
Poprad	3,6	4,0	4,7	6,6	9,2	12,1	13,0	12,6	10,2	7,6	6,0	4,4	7,8	9,4
Tatr. Lomnica	3,6	3,9	4,6	6,5	9,0	12,0	13,1	12,9	10,6	7,8	6,1	4,4	7,9	9,5
Starý Smok.	3,8	4,0	4,6	6,4	8,8	11,0	12,0	11,8	10,2	7,7	6,1	4,4	7,6	8,2
Štrb. Pleso	3,4	3,6	4,1	5,6	7,6	10,2	11,1	11,0	9,0	7,0	5,5	4,0	6,8	7,7
Skal. Pleso	2,8	2,9	3,4	4,8	6,6	8,9	9,8	9,5	7,8	5,8	4,5	3,4	5,8	7,0
Lomn. štít	2,0	2,0	2,4	3,6	5,0	6,6	7,2	7,0	5,4	4,1	3,3	2,4	4,2	5,2

a orografické faktory. Vzhľadom na malý horizontálny rozsah horského masívu Vysokých Tatier mali sme možnosť graficky znázorniť vertikálnu štruktúru tlaku vodnej pary v jednotlivých ročných obdobiach a v roku v troch pozorovacích termínoch (obr. 1). Ako vidieť na obrázku, ubúdanie tlaku vodnej pary pozorujeme v každom ročnom ob-



Obr. 1. Zmena tlaku vodnej pary (hPa) s nadmorskou výškou v jednotlivých ročných obdobiach a v roku o 7, 14 a 21 h za obdobie 1951 – 1970.

dobí, pričom najrýchlejšie ubúda v lete. Porovnaním priemerných ročných hodnôt tlaku vodnej pary v Liptovskom Hrádku (8,1 hPa) a na Lomnickom štíte (4,2 hPa), pričom výškový rozdiel medzi stanicami je 1987 m, sme zistili, že obsah vodnej pary na vrchole sa zmenšil približne o polovicu. V letných mesiacoch sa hodnoty tlaku vodnej pary s nadmorskou výškou menia od 13 hPa do 7 hPa, t. j. 1,8-násobne, v zimných mesiacoch od 4 hPa do 2 hPa, t. j. 2-násobne. Treba poznamenať, že s rastom nadmorskej výšky pozorujeme aj pokles amplitúdy kolísaní tlaku vodnej pary v priebehu roka. Napríklad ročná amplitúda v Liptovskom Hrádku dosahuje 9,7 hPa a na Lomnickom štíte len 5,2 hPa, t. j. pozorujeme 1,8-násobný pokles. Na stanovenie rýchlosti poklesu tlaku vodnej pary v horách sme určili vertikálne gradienty tlaku vodnej pary v hPa/100 m v rôznych vrstvách atmosféry: Poprad – Starý Smokovec, Starý Smokovec – Skalnaté Pleso a Poprad – Lomnický štít. Najmenej sa mení obsah vodnej pary s nadmorskou výškou v spodnej vrstve do 1000 m, kde je priemerný ročný gradient 0,06 hPa/100 m. Nižšie hodnoty tlaku vodnej pary v Poprade v porovnaní s Tatranskou Lomnicou a Starým Smokovcom v teplom období popoludní súvisia najmä s menším výparom a transpiráciou, ako aj s väčšou veternosťou, čo je podmienené polohou tejto stanice na letisku. Vo vrstve od 1000 m približne do 2000 m sa obsah vodnej pary mení rýchlejšie, vertikálny gradient je 0,24 hPa/100 m. Približne rovnaký (0,21 hPa/100 m) je v tretej vrstve Skalnaté Pleso – Lomnický štít. V celkovej vrstve Poprad – Lomnický štít je vertikálny gradient 0,19 hPa/100 m. V priebehu roka sú najmenšie gradienty pozorované v januári (0,08 hPa/100 m) a najväčšie v lete (0,30 hPa/100 m), t. j. v lete sa 3-násobne zväčšujú. Tieto rozdiely spôsobuje najmä vyššia teplota vzduchu a väčší výpar v teplom období.

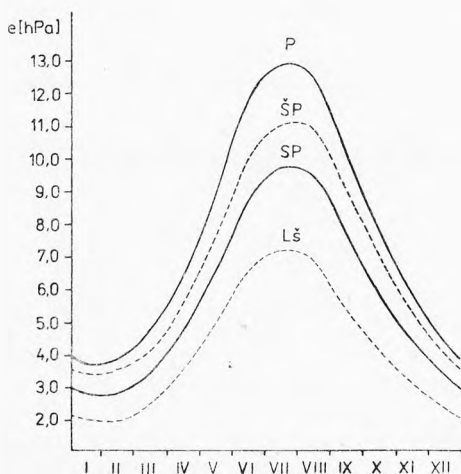
Na výpočet tlaku vodnej pary v horách v určitej nadmorskej výške sa používa Hannov empirický vzorec

$$e_z = e \cdot 10^{-\frac{z}{6300}},$$

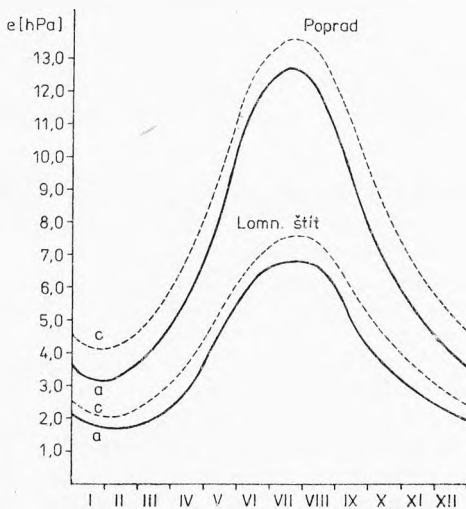
kde  $e_z$  je tlak vodnej pary vo výške  $z$ ,  $e$  je tlak vodnej pary na nižšie položennej stanici,  $z$  je výška (m).

Preskúmali sme možnosť použitia tohto vzorca v podmienkach Vysokých Tatier. Na základe údajov z Popradu sme vypočítali hodnoty tlaku vodnej pary pre Lomnický štít. Získané hodnoty sme porovnali s pozorovanými. V priemere za rok boli rozdiely 9 %, pričom najväčšie rozdiely sa vyskytli v letných mesiacoch.

Analýza mesačných hodnôt tlaku vodnej pary ukázala, že jej ročný chod je podobný ročnému chodu teploty vzduchu na všetkých tatranských stanicích (obr. 2). Minimum pripadá na január alebo február, maximum na júl. Obsah vodnej pary v júli v porovnaní s januárom sa zvyšuje tak v nižších, ako aj vo vyšších polohách hôr približne 3,2 – 3,6-násobne. Hodnoty tlaku vodnej pary v jeseni sú o niečo väčšie ako na jar.



Obr. 2. Ročný chod tlaku vodnej pary (hPa) na vybraných stanicích: Poprad (P), Štrbské Pleso (ŠP), Skalnaté Pleso (SP) a Lomnický štít (LŠ).



Obr. 3. Ročný chod tlaku vodnej pary (hPa) v Poprade a na Lomnickom štíte za anticyklonálneho (a) a cyklonálneho (c) počasia.

Na zistenie vplyvu počasia na tlak vodnej pary, resp. vplyv atmosferickej cirkulácie sme vypočítali mesačné priemery tlaku vodnej pary zvlášť za anticyklonálneho a cyklonálneho počasia v Poprade a na Lomnickom štíte (obr. 3). Vplyv typu počasia sa väčšmi prejavuje v nižších horských polohách. Rozdiel tlaku vodnej pary za anticyklonálnych a cyklonálnych typov počasia je v priemere za rok v Poprade 1,1 hPa, na Lomnickom štíte 0,6 hPa. V priebehu roka najväčší rozdiel pozorujeme v jeseni, a to naj-

má v októbri, keď rozdiel dosahuje 1,4 hPa. Výskyt maxím a miním v ročnom chode sa vplyvom počasia nemení.

Všeobecnú predstavu o dennom chode tlaku vodnej pary môžeme nadobudnúť z termínových pozorovaní o 7, 14 a 21 h (tab. 1). V nižších horských polohách približne do výšky 1000 m v zimnom polroku má denný chod tlaku vodnej pary jednoduchý priebeh s minimom skoro ráno a maximom popoludní. V letnom polroku pozorujeme dvojitý chod s dvoma maximami (ráno a večer) a dvoma minimami (skoro ráno a popoludní). Vo vyšších horských polohách (nad 1000 m) pozorujeme zmenu v dennom chode tlaku vodnej pary, ktorý sa stáva jednoduchým s minimom ráno a maximom popoludní. Túto zmenu v dennom chode môžeme vysvetliť vývojom termickej konvekcie a presunom vodnej pary do vyšších horských polôh. Veľkú úlohu konvekcie vo vyšších horských polohách v dodávke vodnej pary v druhej polovici dňa potvrdzuje aj rast dennej amplitúdy s nadmorskou výškou v teplom polroku. Na porovnanie uvedieme dennú amplitúdu v rôznych výškových úrovniach: Poprad -0,7 hPa, Starý Smokovec 0,6 hPa, Skalnaté Pleso 0,9 hPa, Lomnický štít 1,8 hPa.

Tlak vodnej pary je pomerne premenlivý meteorologický prvok a jeho aperiodicke kolísania súvisia predovšetkým s vplyvom všeobecnej cirkulácie atmosféry. Na základe priemerných mesačných a ročných hodnôt za dlhšie pozorovacie obdobie môžeme určiť suché a vlhké obdobia. Napríklad na väčšine tatranských staníc boli najvyššie hodnoty tlaku vodnej pary v ročnom priemere zaznamenané v rokoch 1951 a 1966, najnižšia v r. 1956. Ročné priemery tlaku vodnej pary v nižších horských polohách sa môžu líšiť o 1,2 - 1,3 hPa a mesačné priemery o 3,4 - 3,5 hPa. So stúpajúcou nadmorskou výškou sa tieto rozdiely znižujú a napríklad na Lomnickom štíte sú len 0,5 hPa medzi ročnými a 2,6 hPa medzi mesačnými priemerami. Kolísania jednotlivých nameraných hodnôt majú väčší rozsah, napríklad absolútne maximum v Liptovskom Hrádku bolo v júli 1951 32,2 hPa a absolútne minimum 0,1 hPa sa zaznamenalo na Lomnickom štíte niekoľkokrát.

Výsledky analýzy priestorového a časového rozloženia tlaku vodnej pary potvrdzujú závery z predchádzajúcich prác a spresňujú kvantitatívne charakteristiky tlaku vodnej pary v horských masívoch. Odlišný denný chod tlaku vodnej pary vo vyšších horských polohách v porovnaní s nížinnými je spôsobený prevládajúcim vplyvom termodynamických faktorov, veľký vplyv okrem toho majú aj lokálne orografické faktory. Výsledky sú prínosom k lepšiemu poznaniu vlhkostných pomerov v horských polohách Tatier.

## LITERATÚRA

1. CHRGIAN, A.: Fyzika atmosféry. Moskva 1958. - 2. MURINOVÁ, G. - WISZNIEWSKI, W.: Vlhkosť vzduchu. In: Klíma Tatier. Veda, Bratislava 1974, 347-378. - 3. MURÍNOVÁ, G. - OSTROŽLÍK, M.: Vertikálne zmeny relatívnej vlhkosti vzduchu v Tatrách a Východných Alpách. Geogr. Čas., 1, 1983.

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГОСТИ ВОДЯНОГО ПАРА В ОБЛАСТИ ТАТР

В статье проводится анализ вертикальных изменений упругости водяного пара в горном массиве Высоких Татр.

Для исследования вертикальной структуры водяного пара были использованы месячные и годовые значения упругости водяного пара на 7 татранских станциях в трех сроках наблюдений за период 1951 – 1970 гг. Содержание водяного пара в горах с высотой над уровнем моря уменьшается медленнее, чем в свободной атмосфере, приблизительно в 2 раза на каждые 2 км высоты. Эта закономерность подтверждается при сравнении значений упругости водяного пара на станции Липтовский Градок и на вершине Ломницкий щит.

Для определения скорости понижения упругости водяного пара с высотой были вычислены вертикальные градиенты упругости водяного пара в разных слоях атмосферы. Во всем слое между станцией Попрад и вершиной Ломницкий щит вертикальный градиент в среднем за год составляет 0,19 гПа/100 м.

Годовой ход упругости водяного пара имеет одинаковый характер на всех высотных уровнях с максимальными значениями в июле (7,2–13,4 гПа) и минимальными в январе (2,0–3,7 гПа), причем летние значения превышают зимние в 3,2–3,6 раза.

Общее представление о суточном ходе можно получить из наблюдений по трем срокам 7, 14 и 21 ч. Разница в суточном ходе между высшими и низшими горными уровнями проявляется в основном в теплом периоде. Вместо двойного хода (два максимума и два минимума) на высших уровнях (выше 1000 м) наблюдается простой ход с одним минимумом утром и одним максимумом после полудня, что связано с развитием термической конвекции.

Результаты анализа упругости водяного пара в Татрах дополняют и уточняют некоторые характеристики режима влажности в горах.

- Рис. 1. Изменение упругости водяного пара [гПа] с высотой над уровнем моря в отдельных сезонах и в среднем за год в 7, 14 и 21 ч за период 1951 – 1970 гг.  
Рис. 2. Годовой ход упругости водяного пара [гПа] на избранных станциях: Попрад (P), Штрбске Плесо (SP), Скальнате Плесо (SP) и Ломницкий щит (Lš).  
Рис. 3. Годовой ход упругости водяного пара [гПа] в Попраде и на Ломницком щите во время антициклонической (а) и циклонической (с) погоды.  
Таб. 1. Месячные и годовые средние значения упругости водяного пара [гПа] в трех сроках наблюдений 7, 14 и 21 ч и в среднем за день за период 1951 – 1970 гг.

Перевод автора

Galina Murínová

## THE SPACE AND TIME DISTRIBUTION OF THE WATER VAPOUR PRESSURE IN THE REGION OF TATRAS

The vertical changes of the water vapour pressure in the mountains of High Tatras are analysed in this article.

As the experimental basis the data of water vapour pressure from seven meteorological stations at fixed hours 7, 14, 21 h for the period 1951 – 1970 were used.

The values of the water vapour pressure in the mountains decrease with the altitude above the sea level more slowly than in the free atmosphere, approximately twice at every 2 km. This conclusion is confirmed by comparison of monthly values of vapour pressure between Liptovský Hrádok and Lomnický štít.

The vertical gradients of the vapour pressure were determined in the different layers of the atmosphere. The vertical gradient in the layer between Poprad and Lomnický štít is 0.19 hPa) 100 m.

The annual course of vapour pressure is the same at all levels with the minimal values in January (2.0 – 3.7 hPa) and the maximal values in July (7.2 – 13.4 hPa). A common picture about the daily course of vapour pressure could be received from the observations at the fixed hours 7, 14, 21 h. The difference between higher and lower levels was observed in the warm period. Approximately above 1000 m a. s. l. the daily course of vapour pressure changes and it has only one minimum in the morning and one maximum afternoon, what is connected with the development of the thermal convection.

The results of the analysis of the distribution of the water vapour in Tatras complete some characteristics of the regime of humidity in the region of the mountains.

Fig. 1. The change of the water vapour pressure [hPa] with the altitude a. s. l. in the different seasons and in the year at 7,14,21 h for the period 1951 – 1970.

Fig. 2. The annual course of the water vapour pressure [hPa] at the chosen stations: Poprad (P), Štrbské Pleso (ŠP), Skalnaté Pleso (SP) and Lomnický štít (Lš).

Fig. 3. The annual course of the vapour pressure [hPa] at Poprad and Lomnický štít during anti-cyclonic (a) and cyclonic (c) weather.

Tab.1. Monthly and annual averages of the water vapour pressure [hPa] at fixed hours 7, 14, 21 in the average for the period 1951 – 1970.

Translated by the author