

# EXPECTED CLIMATE CHANGE IMPACTS ON THE ANNUAL COURSE OF SOIL SURFACE ENERGY BALANCE EQUATION COMPONENTS AT SELECTED STATIONS OF SLOVAKIA

J. Tomlain

Katedra astronómie, fyziky Zeme a meteorológie Fakulty matematiky, fyziky a informatiky UK  
v Bratislave, [tomlain@fmph.uniba.sk](mailto:tomlain@fmph.uniba.sk)

## Abstract

By means of physical/mathematical model based on a common solution of energy and water balance equations, the annual and monthly totals of energy balance equation components at 4 meteorological stations of Slovakia located in different climatic conditions for the period 1951-1980 as well as in time frames 2010, 2030 and 2075 in according to the model CCCM 2000, were estimated and discussed. The air temperature and humidity, cloudiness, precipitation and number of days with snow cover were the model input data.

**Kľúčové slová:** energetická bilancia povrchu, klimatická zmena podľa scenára CCCM 2000

**Key words:** energy balance equation, climate change scenarios CCCM 2000

## Úvod

Rovnica energetickej bilancie zemského povrchu predstavuje algebraický súčet všetkých tokov energie medzi elementárnou plochou povrchu a jej okolím. Najčastejšie má tvar

$$B = LE + H + Q, \quad (1)$$

kde B je celková bilancia žiarenia, LE- teplo spotrebované na evapotranspiráciu, H- turbulentný tok tepla medzi aktívnym povrchom a atmosférou a Q- tok tepla v pôde (L je merné skupenské teplo vyparovania). Ďalšie zložky rovnice energetickej bilancie sú spravidla oveľa menšie ako uvedené v rovnici.(1)

## Materiál a metódy

Predkladaná práca prináša analýzu rozloženia základných zložiek rovnice energetickej bilancie zemského povrchu na 4 lokalitách Slovenska, nachádzajúcich sa v rôznych klimatických podmienkach tak za referenčné obdobie 1951 až 1980, ako aj k časovým horizontom rokov 2010, 2030 a 2075 podľa scenára modelu CCCM 2000 (Lapin, M., Melo, M., 2004; Lapin, M., Melo, M., Damborská, I., 2001). Výpočet jednotlivých zložiek rovnice (1) bol realizovaný pomocou fyzikálno-matematického modelu rozpracovaného na Katedre astronómie, fyziky Zeme a meteorológie Fakulty matematiky, fyziky a informatiky UK v Bratislave (Tomlain, J., 2005; Hrvol', J., Tomlain, J., 2002). Vstupnými údajmi modelu sú teplota a vlhkosť vzduchu, oblačnosť, atmosferické zrážky a počet dní so snehovou pokrývkou.

## Výsledky a diskusia

V teplej a relatívne suchej oblasti Slovenska reprezentovanej stanicou Hurbanovo (h = 115 m a.s. l.) ročná suma celkovej bilancie žiarenia za obdobie 1951 až 1980 dosiahla  $485 \text{ kWh.m}^{-2}$ , z čoho na evapotranspiráciu sa spotrebovalo 63% a na zohrievanie atmosféry 37%. Z ročného úhrnu zrážok 554 mm evapotranspirácia tvorí 79%. K časovému horizontu roku 2075 ročná suma B podľa použitého scenára vzrastie na  $503 \text{ kWh.m}^{-2}$  a ročný úhrn zrážok na 568 mm. Z predpokladanej sumy  $503 \text{ kWh.m}^{-2}$  na evapotranspiráciu sa spotrebuje 65 % a na turbulentný tok tepla 35%. Evapotranspirácia sa bude podieľať na zrážkach 83%. Pomer turbulentného toku tepla k teplu spotrebovanému na

evapotranspiráciu (Bowenov pomer) dosiahol za obdobie 1951-1980 hodnotu 0,58 a k roku 2075 jeho hodnota poklesne na 0,54. Priemerná ročná teplota aktívneho povrchu sa zmení z 12,6 °C za obdobie 1951 až 1980 na 16,0 °C k roku 2075. V ročnom chode maximum B pripadá na jún, LE na máj a H na

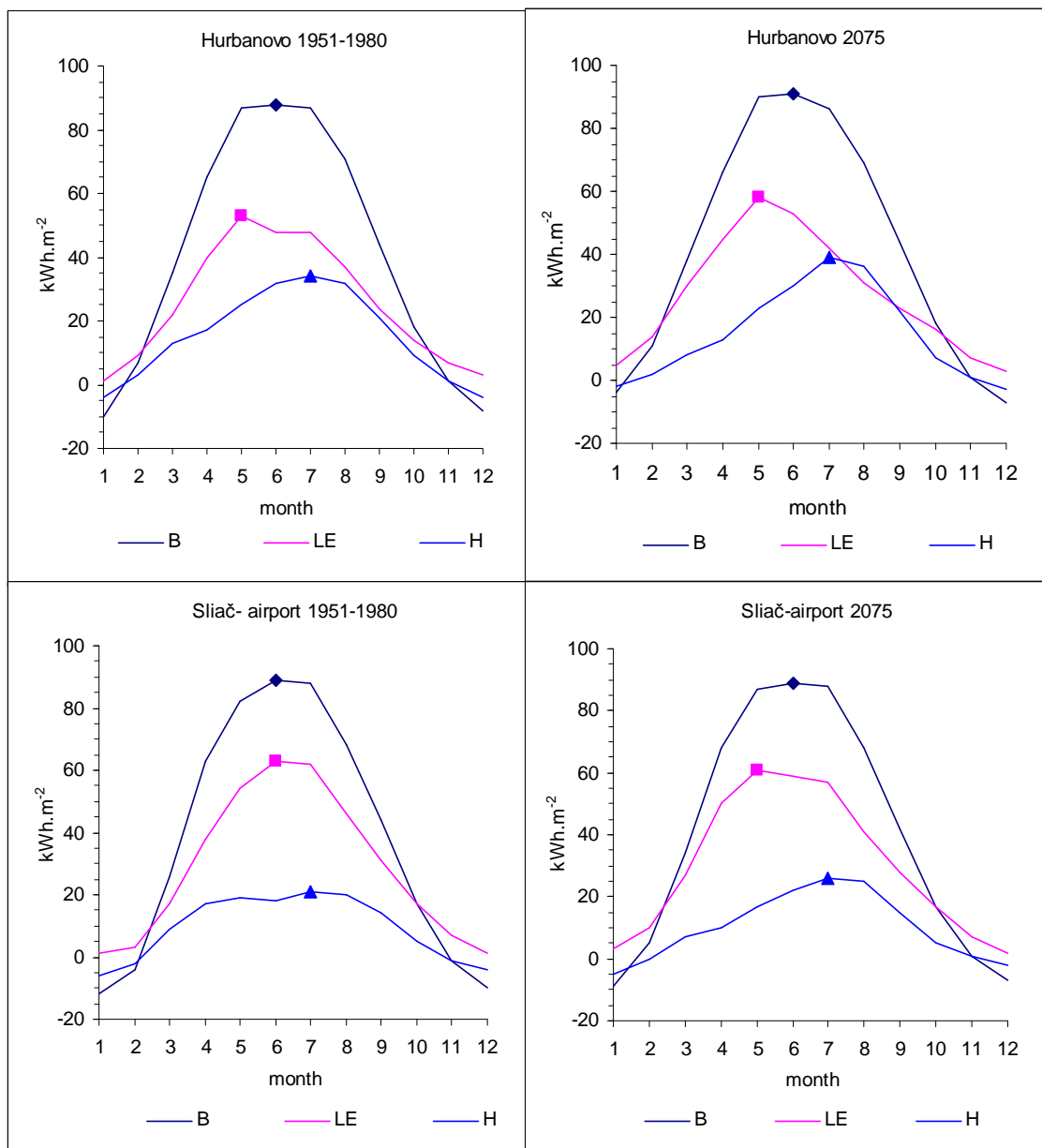
Tab. 1 Priemerné ročné sumy zložiek rovnice energetickej bilancie povrchu za obdobie 1951-1980 a k rokom 2010, 2030 a 2075 (B-celková bilancia žiarenia, LE - teplo spotrebované na evapotranspiráciu, H -turbulentný tok tepla v kWh.m<sup>-2</sup>, H/LE- Bowenov pomer, T<sub>p</sub> - teplota aktívneho povrchu v °C, P - atmosférické zrážky v mm  
Table. 1 Mean annual totals of energy balance equation componets for the period 1951-1980 as well as in time frames 2010, 2030 and 2075 in according to the model CCCM 2000 at selected station of Slovakia (B-total radiation balance, LE - latent heat flux, H - sensible heat flux in kWh.m<sup>-2</sup>, H/LE Bowen's ratio, T<sub>p</sub>- temperature of active soil surface in °C and P- precipitation in mm)

| Period  | 1951-1980 | 2010 | 2030 | 2075 |
|---|-----------|------|------|------|
| Hurbanovo (47° 52'N, 18° 12'E; h=115 m a.s.l.)        |           |      |      |      |
| B   | 485       | 491  | 494  | 503  |
| LE  | 306       | 310  | 310  | 327  |
| H   | 179       | 181  | 184  | 176  |
| P   | 554       | 550  | 545  | 568  |
| H/LE  | 0,58      | 0,58 | 0,59 | 0,54 |
| T <sub>p</sub>  | 12,6      | 13,7 | 13,7 | 16,0 |
| Sliač - airport (48° 39'N, 19° 08'E; h=313 m a.s.l.)  |           |      |      |      |
| B   | 450       | 461  | 471  | 483  |
| LE  | 340       | 344  | 342  | 362  |
| H   | 110       | 117  | 129  | 121  |
| P   | 715       | 722  | 716  | 747  |
| H/LE  | 0,32      | 0,34 | 0,38 | 0,33 |
| T <sub>p</sub>  | 9,5       | 10,7 | 11,5 | 13,1 |
| Liptovský Hrádok (49° 02'N, 19° 44'E; h=640 m a.s.l.) |           |      |      |      |
| B   | 422       | 425  | 435  | 465  |
| LE  | 337       | 342  | 339  | 369  |
| H   | 86        | 83   | 96   | 97   |
| P   | 668       | 710  | 700  | 721  |
| H/LE  | 0,26      | 0,24 | 0,28 | 0,26 |
| T <sub>p</sub>  | 7,5       | 8,4  | 9,3  | 11,0 |
| Oravská Lesná (49° 22'N, 19° 11'E; h=780 m a.s.l.)    |           |      |      |      |
| B   | 382       | 413  | 424  | 434  |
| LE  | 298       | 325  | 335  | 353  |
| H   | 83        | 88   | 89   | 80   |
| P   | 1087      | 1109 | 1099 | 1140 |
| H/LE  | 0,28      | 0,27 | 0,27 | 0,23 |
| T <sub>p</sub>  | 5,8       | 7,6  | 7,6  | 9,1  |

júl. Celková bilancia žiarenia a turbulentný tok tepla majú záporne hodnoty len v decembri a januári (tab.1).

Na stanici Sliač - letisko (h = 313 m a.s.l.), ktorá má kotlinovú polohu, priemerná ročná suma B za referenčné obdobie dosiahla 450 kWh.m<sup>-2</sup>. Z tejto zásoby energie sa na evapotranspiráciu spotrebovalo 76% a na zohrievanie atmosféry 24%. Použitý model CCCM 2000 predpokladá rast ročnej sumy B k horizontu roku 2075 na 483 kWh.m<sup>-2</sup>, z čoho 75% sa spotrebuje na evapotranspiráciu a 25% na ročnú sumu H. Bowenov pomer za referenčné obdobie 1951-1980 a k horizontu 2075 dosiahol

hodnoty 0,32, resp. 0,33. Uvažovaná lokalita je charakterizovaná ročným úhrnom zrážok za referenčné obdobie 715 mm a k roku 2075 podľa modelu CCCM 2000 sa očakáva 747 mm. Z týchto úhrnov za obdobie 1951-1980 evapotranspirácia tvorila 72% a k roku 2075 sa očakáva 73%. Ročný chod B a H je charakterizovaný zápornými sumami za referenčné obdobie a k horizontu roku 2010 v novembri až

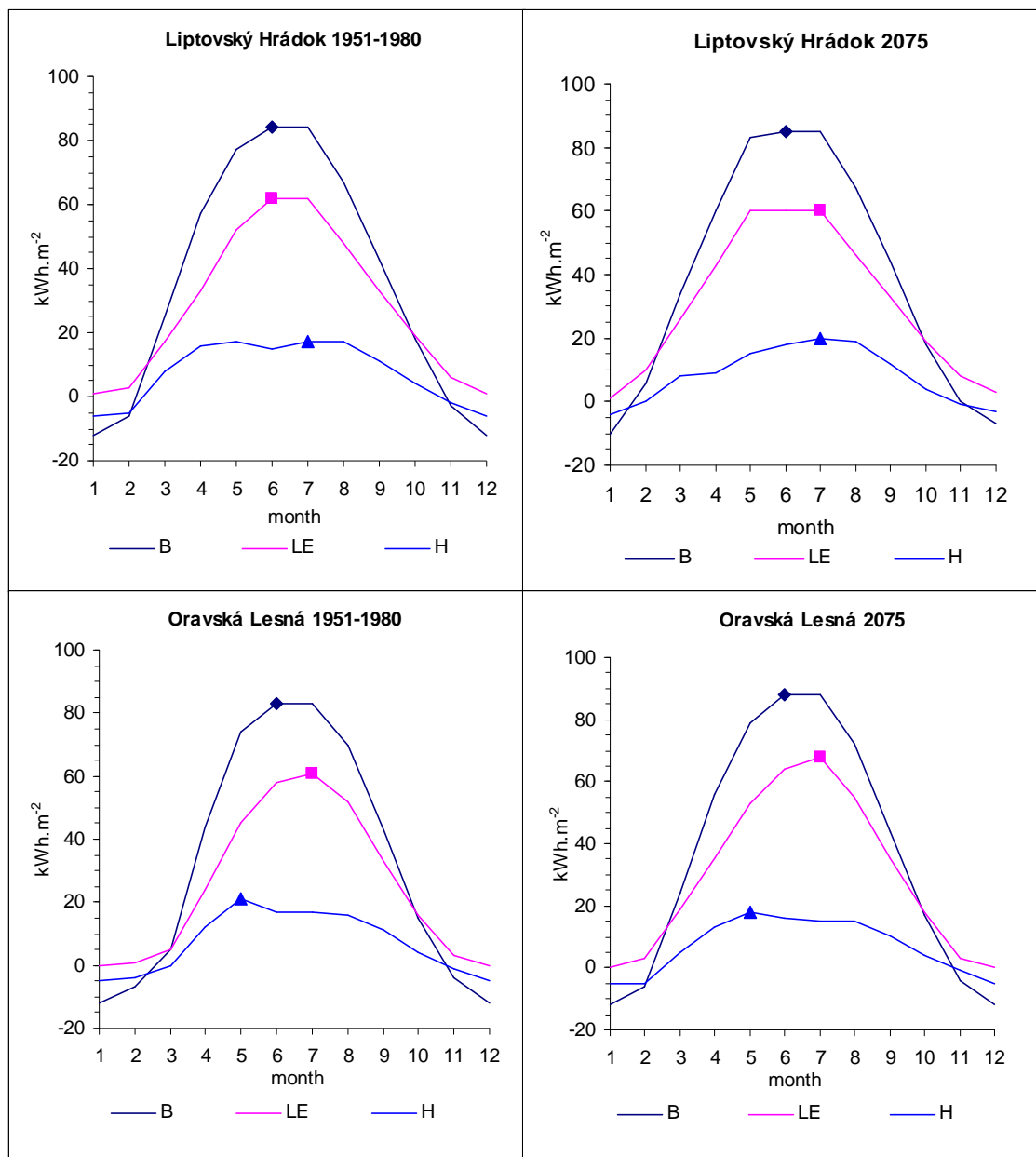


Obr. 1. Ročný chod zložiek rovnice energetickej bilancie povrchu v  $\text{kWh.m}^{-2}$  na staniach Hurbanovo a Sliač-letisko za obdobie 1951-1980 a k časovému horizontu roku 2075 (B - celková bilancia žiarenia, LE - teplo spotrebované na evapotranspiráciu a H - turbulentný tok tepla)

Figure 1. Annual course of energy balance equation components in  $\text{kWh.m}^{-2}$  at stations Hurbanovo and Sliač-airport for the period 1951-1980 and in time frame 2075 (B - total radiation balance, LE - latent heat flux and H - sensible heat flux)

februári a k roku 2030 a 2075 v decembri a januári. Maximálne sumy B a LE za referenčné obdobie sa vyskytli v júni, a H v júli. K roku 2075 maximum B sa očakáva v júni, LE v máji a H v júli. Priemerná ročná teplota aktívneho povrchu sa bude meniť od  $9,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  v období 1951-1980 do  $13,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  k roku 2075 (obr.1).

V horských oblastiach Slovenska pozorujeme dostatok zrážok počas celého roka a evapotranspirácia je limitovaná len energetickými možnosťami. V Oravskej Lesnej, ktorá sa nachádza v chladnej a veľmi vlhkej podobe, priemerný ročný úhrn zrážok za obdobie 1951 až 1980 dosiahol



Obr. 2. Ročný chod zložiek rovnice energetickej bilancie povrchu v  $\text{kWh.m}^{-2}$  na staniách Liptovský Hrádok a Oravská Lesná za obdobie 1951-1980 a k časovému horizontu roku 2075 (B - celková bilancia žiarenia, LE - teplo spotrebované na evapotranspiráciu a H - turbulentný tok tepla)

Figure 2. Annual course of energy balance equation components in  $\text{kWh.m}^{-2}$  at stations Liptovský Hrádok and Oravská Lesná for the period 1951-1980 and in time frame 2075 (B - total radiation balance, LE - latent heat flux and H - sensible heat flux)

1087 mm, z ktorého evapotranspirácia tvorila 39%. Priemerná ročná suma B dosiahla  $382 \text{ kWh.m}^{-2}$ , z ktorej 78% sa spotrebovalo na evapotranspiráciu a 22% na zohrievanie atmosféry. Priemerná ročná

hodnota H/LE má klesajúcu tendenciu od 0,28 za referenčné obdobie do 0,23 k roku 2075. Podľa scenára modelu CCCM 2000 priemerná ročná suma B k roku 2075 dosiahne 434 kWh.m<sup>-2</sup>, z čoho na evapotranspiráciu sa spotrebuje 81% a na turbulentný tok tepla 19%. Ročný chod LE je charakterizovaný výskytom maxima v júli a B v júni. Turbulentný tok tepla maximum dosahuje v máji a záporné sumy podobne ako v prípade B, od novembra do februára. Priemerná ročná teplota aktívneho povrchu sa bude meniť od 5,8 °C za referenčné obdobie do 9,1 °C k roku 2075 (obr. 2).

Priemerné ročné sumy jednotlivých zložiek rovnice energetickej bilancie zemského povrchu sa rastom nadmorskej výšky znižujú. Tak napr. v Liptovskom Hrádku (h = 640 m a.s.l.) za referenčné obdobie 1951-1980 ročná suma celkovej bilancie žiarenia dosiahla 87% a v Oravskej Lesnej len 79% a ročná suma H v Liptovskom Hrádku dosiahla 48% a v Oravskej Lesnej 46% hodnoty v Hurbanove. K časovému horizontu 2075 ročná suma B bude tvoriť na Sliači 96%, v Liptovskom Hrádku 92% a Oravskej Lesnej 86% sumy v Hurbanove. Ročná suma H dosiahne na Sliači 69%, v Liptovskom Hrádku 55% a v Oravskej Lesnej len 45% hodnoty v Hurbanove.

## Záver

1. Priestorové a časové rozloženie zložiek rovnice energetickej bilancie zemského povrchu je výrazne ovplyvnené polohou lokality a voľbou scenárov možnej klimateckej zmeny. Tak za referenčné obdobie 1951 až 1980 ako aj k časovým horizontom rokov 2010, 2030 a 2075, rastom nadmorskej výšky atmosférických zrážok pribúda. Ročné sumy celkovej bilancie žiarenia a turbulentného toku tepla sa s výškou znižujú, rastú k neskorším časovým horizontom.
2. Na všetkých uvažovaných lokalitách sú sumy tepla spotrebovaného na evapotranspiráciu väčšie ako teplo prenášané turbulentnou výmenou.
3. Podiel tepla spotrebovaného na evapotranspiráciu na celkovej bilancii žiarenia má s nadmorskou výškou rastúcu tendenciu. Podiel turbulentného toku tepla na celkovej bilancii žiarenia sa rastom nadmorskej výšky znižuje
4. Podiel evapotranspirácie na atmosférických zrážkach rastom nadmorskej výšky má klesajúcu tendenciu. Výnimku tvorí Liptovský Hrádok, ktorý sa nachádza v zrážkovom tieni Vysokých a Nízkych Tatier.
5. Hodnoty Bowenovho pomeru rastom nadmorskej výšky a k neskorším horizontom rokov majú klesajúcu tendenciu
6. Tak v referenčnom období ako aj k horizontu roku 2075 maximálne sumy B v ročnom chode na všetkých staniách pozorujeme v júni. V ročnom chode turbulentného toku tepla tak za referenčné obdobie ako aj k roku 2075 v Hurbanove, na Sliači a v Liptovskom Hrádku maximum sa vyskytuje v júli, v Oravskej Lesnej v máji. Teplo spotrebované na evapotranspiráciu dosahuje maximum v Hurbanove a na Sliači najčastejšie v máji, v Liptovskom Hrádku a v Oravskej Lesnej v júli.

## Použitá literatúra

- [1] Budyko, M. I., 1980: Klimat v prošlom i v budúčem. Gidrometeoizdat, Leningrad, 350 s.
- [2] Hrvol, J., Tomlain, J., 2002: Active surface temperature and its changes on the territory of Slovak Republic for period 1951-2000. Acta Met. Univ. Com., Vol. XXXI, pp. 1-18, ISBN 80-223-1801, a ISSN 0231-8881
- [3] Lapin, M. and Melo, M., 2004: Methods of climate change scenarios projection in Slovakia and selected results. Journal of Hydrology and Hydromechanics, Vol. 52, N° 4, pp.224-238
- [4] Lapin, M., Melo, M., Damborská, I., 2001: Scenáre súborov viacerých vzájomne fyzikálne konzistentných klimatických prvkov. Národný klimatický program SR: NPK, N°11/01, Bratislava pp. 5-30, ISBN 80-88907-25-X
- [5] Tomlain, J., 2005: Contribution to humid conditions of Slovakia. Acta Meteorologica Univ. Comenianae, Bratislava, XXXIII, pp. 21-30, ISBN 80-223-2065-X, ISSN 0231-881
- [6] Tomlain, J., 2005: Zvláštnosti ročného chodu zložiek rovnice energetickej bilancie povrchu na vybraných staniách Slovenska. Zborník z medzinárodnej konferencie „Bioklimatologie súčasnosti a budúcnosti, Brno- Křtiny, 12.-14.09, ISBN 80-86-690-31-8