

## **TERMOKINETIKA PŮDNÍ POVRCHOVÉ VRSTVY**

### **Thermokinetics of Surface Soil Layer**

**Růžena Petrová**

*Abstrakt:* Článek se zabývá možnostmi výzkumu a použití modelu termokinetiky povrchové půdní vrstvy, jež úzce souvisí s jednou ze složek základní energetické bilance ekosystému, která popisuje podmínky jeho energetické rovnováhy, tzv. tokem tepla do půdy. Zatím využívané metody jeho výpočtu jsou založeny např. na odhadu s přibližně stanoveným součinitelem vodivosti vrstvy, ve které přenos tepla probíhá. V článku uvedený model přenosu tepla by měl přispět ke zpřesnění výpočtu tepla v půdě a tím i podmínek celkové energetické bilance.

*Klíčová slova:* Ekosystém, bilanční energetická rovnice, polomasív, tok tepla do půdy, přenos tepla.

#### **1. Úvod**

Ústav přístrojové a řídicí techniky Fakulty strojní ČVUT v Praze, odbor automatického řízení a inženýrské informatiky a odbor přesné mechaniky a optiky, se ve spolupráci s ENKI, v.p.o. v Třeboni a s odborníky z Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích podílí v rámci národního programu rozvoje na výzkumu podmínek energetické rovnováhy ekosystémů. Přirozená rovnováha jednotlivých územních celků je v souvislosti s lidskou činností a technickým rozvojem stále více narušována. Středem zájmu se proto stává zpřesnění metodiky výpočtu jednotlivých částí energetické bilance zkoumaného ekosystému s cílem včas odhalit trend směřující s trvalému narušení přirozené rovnováhy daného celku.

#### **2. Energetické toky a energetické bilance**

Odborníci z fy ENKI a Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích vytipovali reprezentativní případy přírodních ekosystémů (pole, rybník, rašeliniště, vrt, zástavba apod.) v oblasti Třeboňska. V těchto lokalitách byly umístěny standardizované meteorologické stanice, které měří veličiny (teplota vzduchu, rychlost větru, teploty půdy, vlhkost vzduchu, rychlost větru, vlhkost půdy apod.), jejichž hodnoty odrážejí aktuální situaci v daných územích.

Základním znakem ekosystému a organismů vůbec je vzájemná výměna hmoty a energie. Jde o systémy termodynamicky otevřené, do kterých neustále energie přichází. Na druhé straně ale samozřejmě dochází k energetickým ztrátám, které jsou dány odrazem, vyzařováním, biochemickými procesy a přeměnou hmoty [1]. Tento proces lze stručně popsat základní energetickou bilanční rovnicí

$$R = L \cdot E + H + G + J + S \quad (1)$$

kde

$R$  – celková čistá radiace [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ]

$L$  – tok latentního tepla výparu [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ],

$E$  – intenzita výparu (evapotranspirace) [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ],

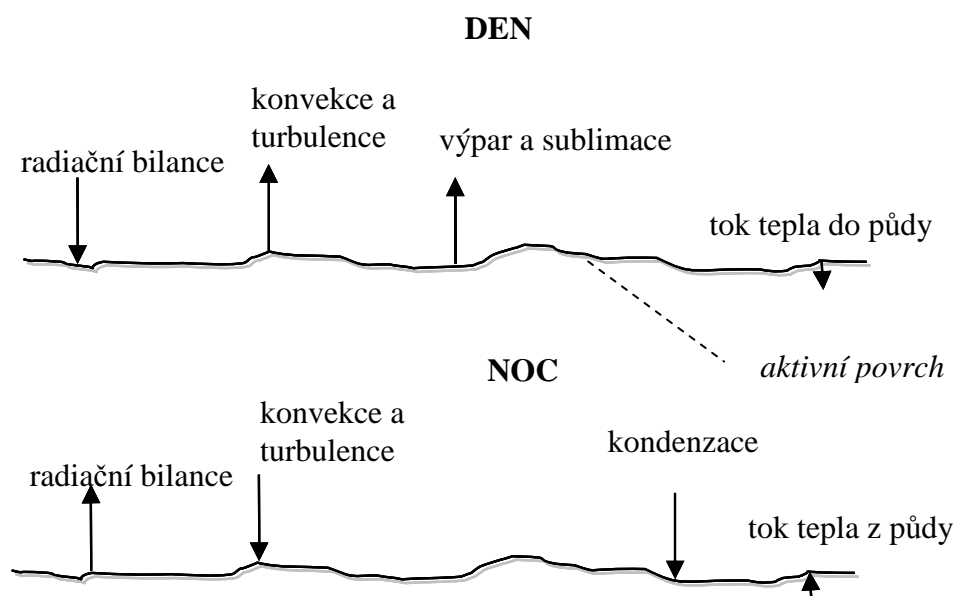
$H$  – intenzita toku tepla odvedeného konvekcí z aktivního povrchu [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ],

$G$  – intenzita toku tepla do půdy [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ],

$J$  – energie spotřebovaná na ohřev porostu [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ]

$S$  – energie spotřebovaná na výpar [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ].

Poslední dvě uvedené složky jsou natolik hodnotově nevýznamné (tvoří cca 2%), že se zpravidla v rovnici (1) neuvádějí [4]. Tok tepla do půdy  $G$  představuje cca 10% celkové energetické bilance, a proto metodám jeho přesnějšího stanovení nebyla věnována přílišná pozornost.



Obr.1 Nejvýznamnější faktory bilance tepla v přirodě

### 3. Přenos tepla do půdy

V důsledku střídání dne a noci je odvod tepla do půdy během dne kladný, v noci záporný (viz Obr. 1), v letním období je celková tepelná bilance půdy kladná, v zimě pak záporná.

Na přenosu tepla se v tomto případě podílí především kondukce – vedení tepla v důsledku konečného rozdílu teplot v pevné fázi hmoty. Pokud by vedení tepla bylo chápáno jako časově stálé, konečný rozdíl teplot<sup>1</sup> by se neměnil. Ke stanovení množství tepla, jež projde v důsledku teplotního spádu kolmo aktivním povrchem, by bylo možné použít Fourierův zákon ve tvaru

$$q = -\lambda \nabla T \quad (2)$$

$q$  – hustota tepelného toku [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ],  
 $\lambda$  – součinitel tepelné vodivosti [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}$ ],  
 $T$  – teplota půdy [K].

Celkové množství tepla  $Q$  [J], které projde plochou povrchu  $A$  [ $\text{m}^2$ ] za určitý čas  $\tau$  [s], je pak dáno vztahem [8]

$$Q = -\lambda \nabla T A \tau \quad (3)$$

Aktivní povrch (Obr.1) lze aproximovat představou ideálního tělesa, prostorově neohraňovaného, jehož povrch tvoří rovina a jeho teplota se mění ve směru kolmé osy. Takovéto těleso je v teoriích přenosu tepla nazýváno *polomasívem* [1]. V termokinetice ekosystému v souvislosti se střídáním noci a dne dochází k periodicky proměnné teplotě aktivního povrchu polomasívu (viz Obr. 2).

Rozdíl teplot ve směru kolmé osy k aktivnímu povrchu polomasívu není neměnný, a proto je nutné použít pro popis pole teplotních rozdílů  $\vartheta$  Fourierovu diferenciální rovnici ve tvaru

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial \tau} = a \nabla^2 \vartheta \quad (4)$$

kde  $a$  – součinitel tepelné vodivosti [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ] a teplotní rozdíl  $\vartheta$  [K] je dán vztahem

$$\vartheta = \pm(t_x - \bar{t}) \quad (5)$$

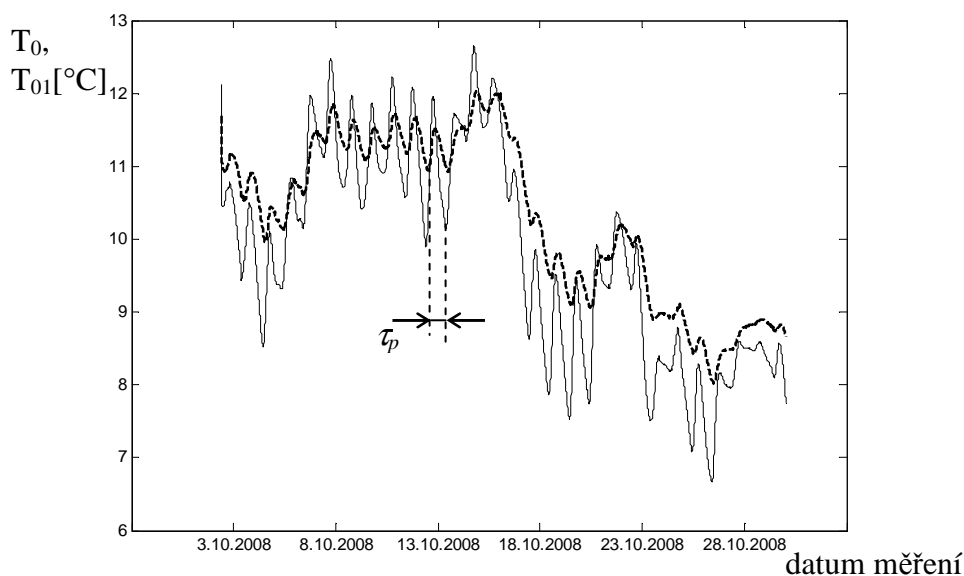
$t_x$  [K] je teplota ve vzdálenosti  $x$  [m] od aktivního povrchu polomasívu v obecném čase  $\tau$  [s] a  $\bar{t}$  [K] je střední teplota, kolem které periodicky kmitá teplota aktivního povrchu od  $t_{min}$  do  $t_{max}$  ve sledovaném období.

---

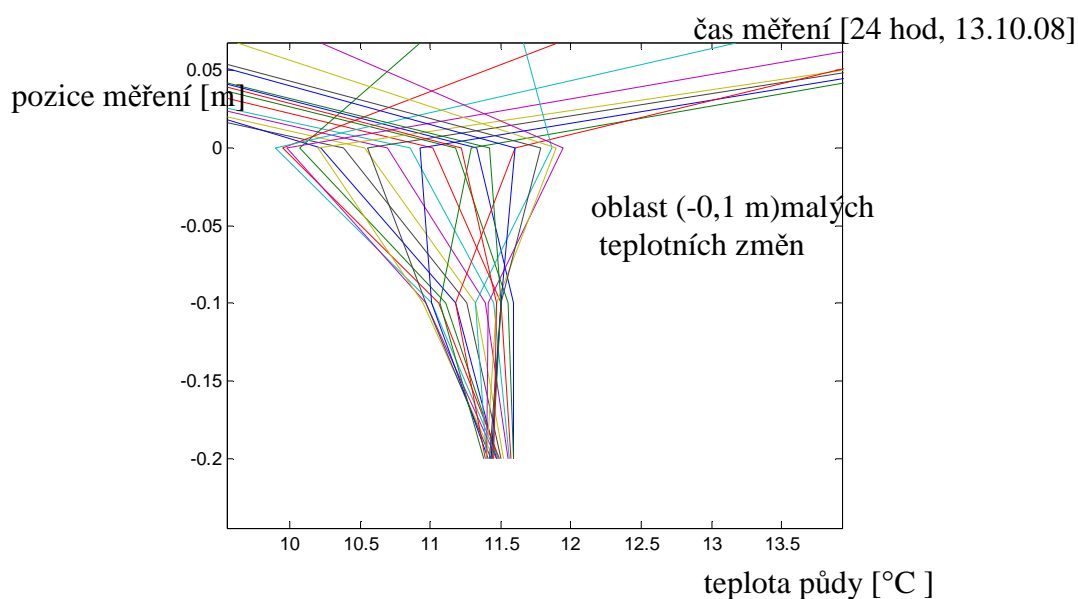
<sup>1</sup> Data z meteorologických stanic poskytují teploty ve výšce 2 m, 0,3 m a teploty půdy na aktivním povrchu (0 m) a v hloubkách 0,1 a 0,2 m.

$$\bar{t} = \frac{t_{\max} + t_{\min}}{2} \quad (6)$$

Analýza snímaných teplot půdy ukazuje, že pole teplotního rozdílu  $\vartheta$  je vhodné sledovat do vzdálenosti 0,1m od aktivního povrchu (viz Obr. 2). Na obrázku je znázorněn detail průběhu snímaných teplot (měřeno ve výšce 2 m, 0,3 m, 0 m, -0,1 a -0,2 m) v souvislosti s pozicí a periodou (10 min.) snímání dat. Je patrné, že hlouběji (-0,1 až -0,2 m) pod povrchem teplota konverguje k určité hodnotě, přenos tepla je hodnotově velmi malý.



Obr. 2 Průběh periodických změn teplot aktivního povrchu a teploty půdy v hloubce 0,1 m (---) v říjnu 2008.



Obr. 3 Zobrazení změn teploty v půdě (13.10. 2008) v závislosti na pozici a periodě měření

Periodicky proměnný teplotní rozdíl na aktivním povrchu polomasívu je vyjádřen vztahem

$$\vartheta_s = \vartheta_{s \max} \cos\left(2\pi \frac{\tau}{\tau_p}\right) \quad (7)$$

kde  $\vartheta_{s \max}$  je maximum teplotního rozdílu a  $\tau_p$  je perioda teplotní změny aktivního povrchu (viz Obr. 1), tj. 24 hod.

Integrací rovnice (4) lze získat vztah (9) pro pole teplotních rozdílů  $\vartheta_x$  pro Fourierovo kritérium

$$Fo = \frac{a \tau_p}{x^2} \quad (8)$$

a  $x$ [m]

$$\vartheta_x = \vartheta_{s \max} e^{\left(-\sqrt{\frac{\pi}{Fo}}\right)} \cos\left(\sqrt{\frac{\pi}{Fo}} - 2\pi \frac{\tau}{\tau_p}\right) \quad (9)$$

Jestliže je do vztahu (9) zavedena frekvence teplotní změny  $\omega$  [s<sup>-1</sup>] a je uvažována maximální teplotní výchylka v hloubce 0,1 m od střední teploty na aktivním povrchu polomasívu, bude pole teplotních rozdílů  $\vartheta_x$  [K] vyjádřeno rovnicí

$$\vartheta_{x \max} = \vartheta_{s \max} e^{\left(-\sqrt{\frac{\pi}{Fo}}\right)} = \vartheta_{s \max} e^{\left(-x \sqrt{\frac{\omega}{2a}}\right)} \quad (10)$$

Protože během jedné poloviny doby periody  $\tau_p$  je teplota povrchu polomasívu vyšší než jeho střední teplota a v průběhu druhé poloviny periody je nižší, pak v první půlperiodě teplo proudí z povrchu do vrstvy polomasívu, v druhé půlperiodě přechází z polomasívu k aktivnímu povrchu.

Teplo  $Q$  [J], které pohltní nebo uvolní plocha polomasívu za polovinu doby periody  $\tau_p$ , je dáno vztahem

$$Q_{\tau_p/2} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} b A \vartheta_{s \max} \sqrt{\tau_p} \quad (11)$$

kde  $b$  je součinitel tepelné jímavosti

$$b = \sqrt{\lambda c \rho} \quad (12)$$

$c$  – měrná tepelná kapacita [J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]

$\rho$  – měrná hustota půdní vrstvy [kg.m<sup>-3</sup>]

#### **4. Závěr**

Tento postup umožňuje celkové stanovení hodnot prostupujícího tepla  $Q$  aktivním povrchem za polovinu periody teplotní změny aktivního povrchu (12 hod.) s využitím určených hodnot součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$ , měrné tepelné kapacity  $c$  a měrné hustoty půdní vrstvy  $\rho$ .

#### **Literatura**

- [1] Sazima M., Kmoníček V., Schneller a kol., 1989. *Teplo*. SNTL, Praha.
- [2] Čermák, J., Peterka, V., Závorka J., 1968. *Dynamika regulovaných soustav v tepelné energetice a chemii*. Academia, Praha.
- [3] Klabzuba, J., Kožnarová, V., 2001. *Aplikovaná meteorologie a klimatologie: IV. díl Záření Slunce, Země a atmosféry*. ČZU, Praha.
- [4] Klabzuba, J., Kožnarová, V., 2001. *Aplikovaná meteorologie a klimatologie: V. díl Bilance tepla na aktivním povrchu, teplota půdy*. ČZU, Praha.
- [5] Klabzuba, J., Kožnarová, V., 2004. *Aplikovaná meteorologie a klimatologie: VI. díl Voda v atmosféře, výpar, vlhkost vzduchu, půdy a materiálu*. ČZU, Praha.
- [6] Gates, D. M., 1980. *Biophysical ecology*, Dover, Dover Publications, INC.
- [7] Kříž, V., 1994. *Cvičení z meteorologie a klimatologie*. Ostravská univerzita, Ostrava.
- [8] Šesták, J., Rieger, F., 2002. *Přenos hybnosti, tepla a hmoty*. ČVUT, Praha.
- [9] Kemel, M., 1996. *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. ČVUT, Praha.
- [10] Novák V., 1995. *Vyparovanie vody v prírode a metódy jeho určovania*. Veda, Bratislava, SAV.
- [11] Pokorný, J., 2007. *Vývoj metody stanovení toků energie a látek ve vybraných ekosystémech, návrh a ověření principů hodnocení hospodářských zásahů pro zajištění podmínek autoregulace a rozvoje biodiverzity*, Praha, prezentace na semináři.
- [12] Tamassy, R., Kemel, M., Komárek, R., 1965. *Klimatologie a hydrologie*. STK, Praha.
- [13] Cambel G. S., Norman, J. M., 1998. *An Introduction to Environmental Biophysics*. Springer, New York.
- [14] Liebethal, C., Foken, T., 2006. *Evaluation of Six Parametrization Approaches for Ground Heat Flux*, Theoretical and Applied Klimatology 88, 43-56, Springer- Verlag.
- [15] Peters – Lidard et al., 1998. *The Effect of Soil Thermal Conductivity Parametrization on Surface Energy Fluxes and Temperatures*, American Meteorological Society.

#### **Poděkování**

Tento text vznikl díky podpoře grantu MŠMT Nr. 5606001.