BIOTICKÝ A ABIOTICKÝ HYDROLOGICKÝ CYKLUS

Miloslav Šír, Ľubomír Lichner, Miroslav Tesař

V příspěvku je vyhodnocena produkce entropie v hydrologickém cyklu na lokalitě Zábrod – louka na Šumavě v období 27.5. až 30.9.1992. V případě, kdy je uvažována potenciální transpirace (biotický cyklus), je produkce entropie vyšší o 2,2 % než produkce entropie v podmínkách silně omezené transpirace vlivem nedostatku vody (abiotický cyklus). Toto zjištění je v souladu s teorií, že transpirace rostlin se podílí na celoplanetární autoregulaci klimatu a hydrologického cyklu tím, že maximalizuje produkci entropie. Produkce entropie v hydrologickém cyklu (0,81 $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$) je blízká hustotě entropického toku Země (1,05 $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$) stanovené z astrofyzikálních výpočtů.

Klíčová slova: hydrologický cyklus, transpirace rostlin, produkce entropie

Biotic and abiotic hydrologic cycle. *Production of an entropy in the hydrologic cycle was evaluated in the locality Zábrod – louka meadow (Bohemian Forest, Czech Republic) in the period from 27 May till 30 September 1992. Two contrast cases are analysed: (1) Plant transpiration is equal to the potential one – it is a case of biotic cycle. (2) Plant transpiration is strongly limited due to a water shortage – it is a case of abiotic cycle. The entropy produced in the biotic cycle was higher by 2.2 % than that produced in the abiotic cycle. This fact indicates that the dissipative processes within the hydrologic cycle (e.g., plant transpiration) are aimed to the states in which the production of entropy is maximal.*

Key words: hydrologic cycle, plant transpiration, entropy production

ÚVOD

Dosud ne zcela poznané mechanismy vyrovnávají teplotu Země v čase a prostoru tak, že ji udržují daleko od rovnováhy se zdrojem tepla ze Slunce a s ochlazováním Země do vesmíru. Součástí těchto pochodů je i pohyb vody na planetě. Voda slouží jako chladivo v evaporačně kondenzačním cyklu. Při výparu vody z teplých míst se teplo spotřebovává na výpar – uschovává do latentního výparného tepla, čímž se Země chladí. Při kondenzaci vodní páry na chladných místech se latentní teplo naopak uvolňuje a Země se ohřívá (Pokorný, 1997, 2001, Rippl, 1995). Oběh tepla je tedy provázen oběhem vody – hydrologickým cyklem. Podstatnou složkou výparu na pevninách ve vegetační sezóně je transpirace rostlin.

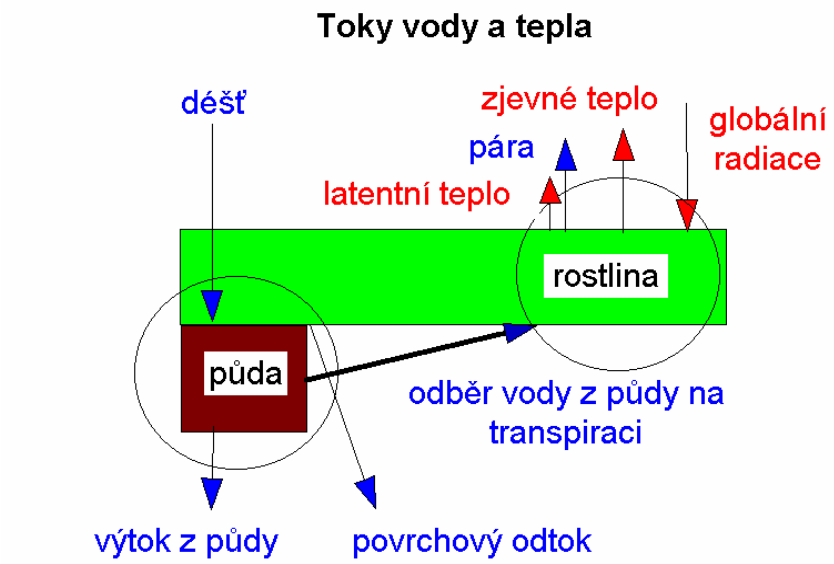
Kondenzačně-evaporační cyklus přiklání malý hydrologický cyklus většinou do podoby typických, jen málo odlišných, ročních cyklů. Přesto se však občas vyskytne rok se zcela netypickým průběhem srážkové činnosti. Tomu pak odpovídá i pozměněný průběh odtoku. V hydrologickém cyklu pevnin lze rozlišit dva odlišné režimy: (1) biotický režim ovlivněný transpirující vegetací, (2) abiotický režim, který nastupuje ve třech typických situacích: (1) nedostatek vody v cyklu způsobuje zastavení transpirace rostlin, (2) nedostatek tepla v cyklu způsobuje snížení transpirace rostlin, (3) přebytek vody v cyklu vede k hydraulickému kolapsu retence vody v půdě.

Pohyb atmosféry a hydrologický cyklus Země pohání sluneční radiace, která dopadá na Zemi plošně a časově nerovnoměrně. Celkový zářivý příkon Země je v průměru $1{,}23 \cdot 10^{17}$ W. V okolí vlnových délek odpovídajících záření těles s teplotou Slunce a Země je atmosféra Země dobře propustná, a proto je tento výkon opět vyzářen, takže se průměrná teplota Země nemění. Země je v dynamicky rovnovážném stavu, kdy vyzařuje tolik energie, kolik pohltí. V důsledku odlišnosti teploty dopadající energie ze Slunce 5800 K a teploty energie vyzařované Zemí 290 K dochází k produkci entropie při transformaci slunečního záření na teplo. Vztaženo na 1 m^2 Země je hustota entropického toku 1,05 $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$. Lidstvo spotřebovává energii přibližně 10^{13} W, čímž produkuje entropii $6 \cdot 10^{-5}$ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ (Maršík, Dvořák, 1998).

Na Zemi jsou podstatným zdrojem entropie fázové přeměny vody. Jedna z těchto přeměn, výpar v důsledku transpirace rostlin, je biologickým procesem. To zásadně odlišuje transpiraci od prostého výparu z vody nebo půdy. V našem příspěvku studujeme rozdíly v biotickém a převážně abiotickém hydrologickém cyklu na lokalitě Zábrod – louka na Šumavě. Důvodem abiotického chování je nedostatek vody pro transpiraci. Měřítkem odlišnosti cyklů je produkce entropie.

RETENČNĚ-EVAPOTRANSPIRAČNÍ JEDNOTKA

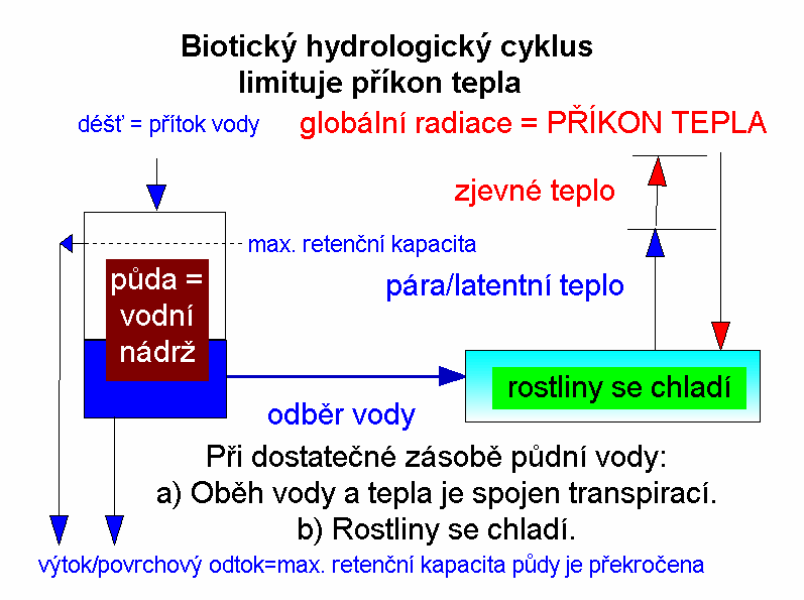
Výměna vody mezi půdou a rostlinami je studována na základě úvah o transformaci slunečního záření v latentní a zjevné teplo. Vazby oběhu vody a tepla mezi atmosférou, půdou a rostlinami ukazuje obr. 1. Hybatelem oběhu vody je příkon globální radiace na rostlinný kryt. Ten v kombinaci s teplem ve vzduchu způsobuje ohřívání rostlin. Z ohřátých rostlin vyzařuje do atmosféry zjevné teplo. Pokud odvod zjevného tepla z porostu není dostatečný, brání se rostliny přehřátí nad určitou optimální teplotu transpirací (Pražák a kol., 1994). Při ní dochází k ochlazení rostlin a přízemní vrstvy vzduchu vlivem odběru skupenského výparného tepla (latentního tepla). Rostliny čerpají vodu pro transpiraci z kořenové zóny půdy. Je-li vody v půdě nedostatek, k transpiraci nedochází, rostliny se nechladí, a dochází proto k zahřívání atmosféry. Toto těsné spojení oběhu vody a tepla mezi atmosférou, půdou a rostlinami – retenčně-evapotranspirační jednotka RETU – tvoří základ hydrologického cyklu pevnin v teplé části roku (Eliáš et al., 2000, 2002, Šír et al., 2004a).



Obr. 1 Oběh vody a tepla mezi atmosférou, půdou a rostlinami
Fig. 1 Water and heat circulation in the atmosphere – plant – soil system

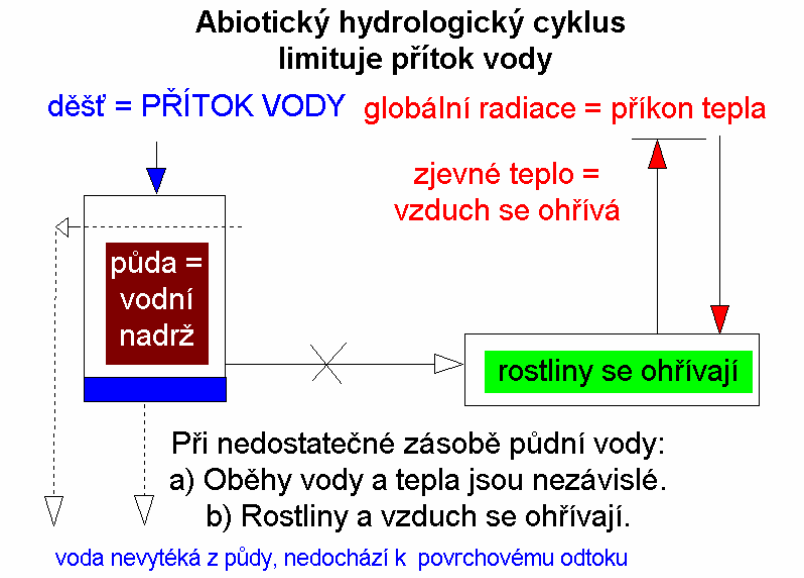
Obr. 1 ukazuje, že v RETU je jediná vazba oběhu vody a tepla, a to odběr vody z půdy na transpiraci rostlin. Je-li v půdě dostatek vody, mohou rostliny transpirovat dle svých potřeb. Půda slouží jako nádrž chladiva a rostliny se chovají jako chladič, kterým se snižuje teplota listů. Potřeba transpirační vody je určována fyziologickými nároky rostlin. Oběh vody je tedy úplně určen reakcí rostlin na příkon tepla ze slunečního záření. V takovém případě se jedná o biotický hydrologický cyklus (obr. 2). Naproti tomu, pokud je vody v půdě málo, rostliny netranspirují, takže jejich životní aktivita se v hydrologickém cyklu nijak neprojevuje. Jedná se tedy o abiotický hydrologický cyklus (obr. 3). Příkon slunečního záření nezpůsobuje oběh vody, takže oběhy tepla a vody jsou navzájem nezávislé. Veškeré pohlcené sluneční záření se mění ve zjevné teplo. Hydrologický cyklus v přechodovém klimatu, typickém pro přírodní podmínky ČR, se skládá z úseků biotických (v půdě je dostatek vody) a abiotických (půda je proschlá). Z hlediska vodního režimu půd koincidují biotické úseky hydrologického cyklu s perkolačními fázemi a abiotické úseky s výsušnými oddíly akumulačních fází (Tesař et

al., 2001). Vodní režim půd spoluurčuje rovněž vodní režim celého povodí a formování odtoku (Tesař et al., 2004a, b). Životní aktivita rostlin tedy prostřednictvím transpirace a chlazení/ohřívání atmosféry určuje podobu vodního hospodářství krajiny (Šír et al., 2004b).



Obr. 2 Biotický hydrologický cyklus

Fig. 2 The biotic hydrologic cycle



Obr. 3 Abiotický hydrologický cyklus

Fig. 3 The abiotic hydrologic cycle

EXPERIMENTÁLNÍ PLOCHA

Experimentální plocha Zábrod – louka se nachází v oblasti Vimperské vrchoviny, která svou jihovýchodní částí zasahuje do CHKO a NP Šumava. Území je součástí moldanubického masivu. Lokalita je využívána jako trvalý travní porost, v roce 1976 byla odvodněna systematickou trubní drenáží, genetický půdní představitel je hnědá půda kyselá slabě oglejená. Poloha: 13º 41´ 45´´ východní délky, 49º

04´ 15´´ severní šířky, 788 m n. m. Na experimentální ploše jsou osazeny automatické monitorovací stanice pro kontinuální měření teploty vzduchu, půdy, tenzometrických tlaků v půdě, vlhkosti půdy a chodu srážek. Globální radiace se měří v blízké meteorologické stanici ČHMÚ na Churáňově.

VÝSLEDKY

Ve vegetační sezóně 27.5. až 30.9.1992 na experimentální ploše Zábrod – louka byla vypočtena produkce entropie pro převážně abiotický a zcela biotický hydrologický cyklus. Charakteristiky sezóny přináší tab. 1. Celá sezóna byla vyjimečně teplá a suchá. Při výpočtu biotického hydrologického cyklu byl ignorován nedostatek půdní vody, takže výpočet zjevného tepla, latentního tepla a teploty rostlinného krytu vycházel z potenciální transpirace. V převážně abiotickém hydrologickém cyklu se uvažovala skutečná transpirace. Zdrojem transpirační vody byly převážně srážky. V tab. 2 jsou výsledky výpočtu pro typický den 3.8. 1992. Tab. 3 přináší souhrnné výsledky za celé období 27.5. až 30.9.1992. Produkce entropie je počítána pro denní období od 5 do 20 hodin.

Tab. 1 Charakteristiky studovaného časového období (27.5. až 30.9.1992) na ploše Zábrod – louka

Tab. 1 Characteristics of the studied time period (27.5. – 30.9.1992) in the locality Zábrod – louka meadow

sezóna	1992
trvání	27.5. – 30.9.
počet dní	127
srážky (mm)	204
průměrná teplota vzduchu (°C) od 5 do 20 hod	14,3
globální radiace ($MJ \cdot m^2$)	2210
pohlcená globální radiace ($MJ \cdot m^2$)	1658
odražená globální radiace ($MJ \cdot m^2$)	552

Celková entropie je součtem entropie latentního tepla (skupenské přeměny vody v páru) a entropie zjevného tepla (přeměny slunečního záření na zjevné teplo). Produkce entropie, vznikající transformací slunečního záření na zjevné teplo, se stanovuje jako podíl zjevného tepla vyzařovaného z rostlinného porostu do atmosféry a teploty porostu. Produkce entropie, vznikající skupenskou přeměnou vody v páru při transpiraci rostlin, se určuje jako podíl latentního tepla a teploty porostu. Zjevné teplo, latentní teplo a teplota porostů se stanovuje pomocí teorie chlazení rostlin (Pražák a kol., 1994). Pro výpočet se užívají měřené hodnoty teploty přízemní vrstvy vzduchu, globální radiace a tenzometrického tlaku půdní vlhkosti v kořenové zóně. Je-li tenzometrický tlak v kořenové zóně menší než –60 kPa, transpirace se zastavuje v důsledku nedostatku vody.

Tab. 2 Produkce entropie dne 3.8.1992 na ploše Zábrod – louka

Tab. 2 Entropy production in the locality Zábrod – louka meadow on 3 August, 1992

3.8.1992 od 5 do 20 hodin	biotický cyklus	abiotický cyklus
transpirace (mm)	7,8	0
latentní teplo ($MJ \cdot m^{-2}$)	14,61	0
zjevné teplo ($MJ \cdot m^{-2}$)	3,29	17,90
celková entropie ($Wh \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	17,05	15,84
entropie latentního tepla ($Wh \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	16,34	0
entropie zjevného tepla ($Wh \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	0,71	15,84

Tab. 3 Produkce entropie v studovaném časovém období (27.5. až 30.9.1992) na ploše Zábrod – louka

Tab. 3 Entropy production in the locality Zábrod – louka meadow in the studied time period (27.5. – 30.9.1992)

27.5. – 30.9.1992 od 5 do 20 hodin	biotický cyklus	abiotický cyklus
transpirace (mm)	310	121
latentní teplo ($MJ \cdot m^{-2}$)	698	274
zjevné teplo ($MJ \cdot m^{-2}$)	958	1382
celková entropie ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	0,81	0,80
entropie latentního tepla ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	0,34	0,14
entropie zjevného tepla ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	0,47	0,66

DISKUSE

Země je zřejmě globálním autoregulačním systémem. Autoregulace Země je umožněna disipací nízkoentropické energie ze Slunce. O povahu autoregulačních mechanismů se vedou zásadní vědecké spory (Kirchner 2002, 2003, Lovelock, 2003, Volk, 2002, 2003a, 2003b). Lovelock formuloval teorii (Lovelock, 1979, 2001, 2003), že autoregulace v planetárním měřítku je emergentní vlastností bioty (Gaia). Vyšel z poznatku, že zemská atmosféra je biologického původu. Kyslík, dusík, oxid uhličitý a další atmosférické plyny jsou totiž reaktivní, složení atmosféry se navzdory vzájemným reakcím udržuje vysoce přesně regulovanou biologickou produkcí plynů. Podnětem pro formulaci teorie Gaia byl fakt, že biologická produkce plynů reaguje na zvětšující se svítivost Slunce (za 3,4 miliardy let o asi 30 %) tak, že se úměrně snižuje skleníkový efekt atmosféry. V důsledku této proměny složení atmosféry je regulována i zemská teplota tak, že v průběhu života na Zemi nikdy nevybočila z mezí vhodných pro život.

Teorie Gaia podnítila širokou diskusi, která vyústila ve formulaci nulových hypotéz. Jedna z nich je, že autoregulační funkce bioty se musí projevovat zvýšením produkce entropie oproti poměrům bez života, příp. bez autoregulační funkce života (Kleidon et al., 2000, Kleidon, 2002, 2004, Lenton, 2002, Lenton, Wilkinson., 2003). V naší práci jsme dokázali, že biotický hydrologický cyklus vede k větší produkci entropie než cyklus abiotický a to v rámci jednoho dne (tab. 2) i vegetační sezóny trvající 127 dní (tab. 3). Je proto pravděpodobné, že autoregulační funkce bioty v měřítku povodí je tím potvrzena, a to metodicky nezávisle na pracích, ve kterých byla formulována.

V práci (Chlebek, Jařabáč, 1988) byla experimentálně potvrzena autoregulační funkce lesních porostů v hydrologickém cyklu v měřítku povodí (přírodní kompenzační tendence) již v roce 1988: „Výzkum srážkově odtokových vztahů v beskydských experimentálních povodích poskytl poznatek, že postupné obnovní zásahy na méně jak 50 % plochy povodí roční odtoková množství neovlivnily. Teprve při překročení této plochy je možné pozorovat tendenci k mírnému zvýšení odtoků (...), ale o příčinách těchto změn zatím není možné jednoznačně rozhodnout. Pravděpodobné je vysvětlení, že potlačení (...) výparů ve prospěch odtoku vody nastává, je-li nárazově postižen celý ekosystém. Při postupné obnově porostů se může dlouhodobě uplatňovat přírodní kompenzační tendence podporující stálost vodní komponenty lesního prostředí."

ZÁVĚRY

Produkce entropie ve zcela biotickém hydrologickém cyklu v období 27.5. až 30.9.1992 na lokalitě Zábrod – louka je vyšší o 2,2 % než produkce entropie v téměř abiotickém hydrologickém cyklu na téže lokalitě ve shodném období. V extrémně teplém dni byla větší dokonce o 6,8 %. Což podporuje teorii, že životní aktivita rostlin se podílí na celoplanetární autoregulaci klimatu a hydrologického cyklu. Celková entropie biotického hydrologického cyklu 0,81 $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ je blízká hustotě entropického toku Země 1,05 $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ stanovené z astrofyzikálních výpočtů (Maršík, Dvořák, 1998).

Poděkování

Výzkum podporuje AVČR (IBS2060104, AV0Z20600510). Za dlouholetou a podnětnou diskusi autoři děkují A. Chlebkovi a M. Jařabáčovi.

Literatura

Eliáš, V., Kubík, F., Lichner, Ľ., Pražák, J., Syrovátka, O., Šír, M., Tesař, M. (2000): Retenčně evapotranspirační jednotka. In: Bucek, J., Tesař, M. (eds.) Sborník konference Hydrologické dny 2000 – Nové podněty a vize pro příští století, Plzeň 18. – 21. září 2000. ČHMÚ, Praha, 299 – 306.

Eliáš, V., Tesař, M., Šír, M., Syrovátka, O. (2002): Stabilita a extremalizace hydrologického cyklu pramenných oblastí. In: Patera, A., Váška, J., Zezulák, J., Eliáš, V. (eds.): Povodně: prognózy, vodní toky a krajina. Fakulta stavební ČVUT v Praze a Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha, 363 – 385.

Chlebek, A., Jařabáč, M. (1988): Důsledky porostních obnov na odtok vody z beskydských experimentálních povodí. Zprávy lesnického výzkumu, 4, 7 – 12.

Kirchner, J. W. (2002): The Gaia hypothesis: Fact, theory, and wishful thinking. Climatic Change, 52, 391 – 408.

Kirchner, J. W. (2003): The Gaia hypothesis: Conjectures and refutations. Climatic Change, 58, 21 – 45.

Kleidon, A., Fraedrich, K., Heimann, M. (2000): A green planet versus a desert world: Estimating the maximum effect of vegetation on the land surface climate. Climatic Change, 44, 471 – 493.

Kleidon, A. (2002): Testing the effect of life on Earth's functioning: How Gaian is the Earth system? Climatic Change, 52, 383 – 389.

Kleidon, A. (2004): Beyond Gaia: Thermodynamics of life and Earth system functioning. Climatic Change, 66, 271 – 319.

Lenton, T. M. (2002): Testing Gaia: The effect of life on Earth's habitability and regulation. Climatic Change, 52, 409 – 422.

Lenton, T. M., Wilkinson, D. M. (2003): Developing the Gaia theory. Climatic Change, 58, 1 – 12.

Lovelock, J. E. (1979): Gaia. Oxford University Press. Oxford.

Lovelock, J. E. (2001): Gaia – nový pohled na život na Zemi. Abies, Tulčík.

Lovelock, J. (2003): Gaia and emergence. Climatic Change, 57, 1 – 3.

Maršík, F., Dvořák, I. (1998): Biotermodynamika. Academia, Praha.

Pokorný, J.(1997): Opomíjená makroenergetika krajiny. Ekologie a společnost, VII(6), 5 – 7.

Pokorný, J. (2001): Dissipation of solar energy in landscape – controlled by management of water and vegetation. Renewable Energy, 24, 641 – 645.

Pražák, J., Šír, M., Tesař, M. (1994): Estimation of plant transpiration from meteorological data under conditions of sufficient soil moisture. J. Hydrol., 162, 409 – 427.

Ripl, W. (1995): Management of water cycle and energy flow for ecosystem control – the energy-transport-reaction (ETR) model. Ecological Modelling 78, 61 – 76.

Šír, M., Lichner, Ľ., Tesař, M., Syrovátka, O. (2004a): Retention – evapotranspiration unit. XXIInd Conference of the Danubian Countries of the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, 30 August – 2 September 2004, Brno, Czech Republic, Conference Abstracts and CD ROM.

Šír, M., Tesař, M., Lichner, Ľ., Syrovátka, O. (2004b): Vegetační porost krajiny a vodní hospodářství. Vodní hospodářství, 8, 234 – 237.

Tesař, M., Šír, M., Dvořák, I. J., Lichner, Ľ. (2004a): Influence of vegetative cover changes on the soil water regime in headwater regions in the Czech Republic. In: Herrmann, A., Schroeder, U. (eds.) Studies in Mountain Hydrology. IHP/HWRP-Berichte, Heft 2, Koblenz, 57 – 72.

Tesař, M., Šír, M., Pražák, J., Lichner, Ľ. (2004b): Instability driven flow and runoff formation in a small catchment. Geologica Acta, 2(1), 147 – 156.

Tesař, M., Šír, M., Syrovátka, O., Pražák, J., Lichner, Ľ., Kubík, F. (2001): Soil water regime in headwater regions – observation, assessment and modelling. J. Hydrol. Hydromech., 49(6), 355 – 375.

Volk, T. (2002): Toward a future for Gaia theory. Climatic Change, 52, 423 – 430.

Volk, T. (2003a): Seeing deeper into Gaia theory. Climatic Change, 57, 5 – 7.

Volk, T. (2003b): Natural selection, Gaia, and inadverted by-products. Climatic Change, 58, 13 – 19.

Autoři

Miloslav Šír, Ústav pro hydrodynamiku AVČR, Pod Paťankou 30/5, 166 12 Praha 6, msir@mereni.cz
Ľubomír Lichner, Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 83102 Bratislava, lichner@uh.savba.sk
Miroslav Tesař, Ústav pro hydrodynamiku AVČR, Pod Paťankou 30/5, 166 12 Praha 6, miroslav.tesar@iol.cz