

Holistický přístup k hodnocení krajiny a monitoring malých povodí

J. Procházka, L. Pechar, P. Hakrová, J. Brom, J. Pokorný: Holistic Approach to Landscape Evaluation and Monitoring of Small Catchments. Život. Prostr., Vol., 40, No. 2, 88 – 95, 2006.

A holistic approach, based on the ETR model, has been tested in the area of three catchments with different land cover and landscape management, on the right bank of Lipno water reservoir. The results confirm that holistic concept needs to be considered as a perspective for evaluation of landscape complexes when assisted by the methods of remote sensing, hydrological and hydrochemical monitoring and analysis of economical activities in the landscape. The studied parameters, important for evaluation of landscape function, confirm high degree of their interrelations and correlations. The advantage is a relatively simple and effective evaluation of the state of landscape by two integral variables – surface temperature (satellite photography) and quality of drainage water (continuous measurement of outflow). The use of such an approach requires certain knowledge of the study area.

Monitorování parametrů životního prostředí se v posledních desetiletích stalo nedílnou součástí praktických opatření i ekologického výzkumu. Zejména v těch oborech, které jsou zodpovědné za stav a setrvalé využívání určitých přírodních zdrojů, je monitoring standardním nástrojem. Například vodní hospodářství monitoruje řadu parametrů kvality povrchových i podzemních vod, lesní hospodářství zdravotní stav lesů a v neposlední řadě i ochrana přírody pracuje s mnoha monitorovacími programy, např. výskytu chráněných druhů rostlin a živočichů. Monitoring se stal základem řady projektů včetně mezinárodních, soustředěných v programu dlouhodobého ekologického výzkumu (*long term ecological research*, www.lternet.edu). I v tomto případě je většinou monitorovací schéma zaměřeno na postižení dlouhodobých změn určitých parametrů nebo složek ekosystémů, nebo na komplexní monitoring, ale určitého ekosystému nebo území.

Vědecký i praktický monitoring životního prostředí zahrnuje mnoho různých přístupů podle cílu monitorovacího programu. Je zřejmé, že rozdíl mezi jednotlivými ekologickými disciplinami, stejně jako rezortní potřeby v různých oblastech životního prostředí, vyžadují specifické přístupy. Tato rezortní nebo oborová specifika poskytují možnost pro řadu zobecnění, pokud však hledáme nástroje pro komplexní a univerzální monitoring stavu krajiny a jejich funkcí, oboro-

vě zaměřené postupy (např. botanické, orientované na biodivezitu, nebo na výskyt chráněných druhů) neposkytnou úplnou informaci. Chceme-li hodnotit krajinu jako celek a její funkce, je nutné přijmout holistický koncept a opustit tradiční oborové přístupy. V tomto případě je to nanejvýše potřebné, protože krajinný monitoring je třeba budovat na základě jasně definované koncepce.

Základním cílem monitoringu krajiny je získat informace, které umožní její setrvalé využívání. To je možné, pokud budeme schopni popsat základní funkce krajiny a jejich změny, které způsobuje člověk svými aktivitami. Pro takové hodnocení krajinných funkcí je vhodný model *Energie–Transport–Reakce* (ETR), který v 90. letech formuloval prof. Ripl z Berlínské technické univerzity (Ripl, 1995).

ETR model vychází z poznatků o rozdělování (dissipaci) dopadající sluneční energie v ekosystémech a vývoji vegetace na evropském kontinentě od posledního zalednění. Klimaxové porosty na velkých plochách kontinentu s dostatečným zásobením vodou účinně transformují dopadající energii evapotranspirací ve skupenskou teplo vodní páry. Tím tlumí teplotní výkyvy, a zároveň v malém vodním cyklu minimalizují ztráty vody povrchovým odtokem. Takové ekosystémy mají rovnováhu v produkčních a rozkladných procesech, což vede k uzavírání látkových cyklů a mi-

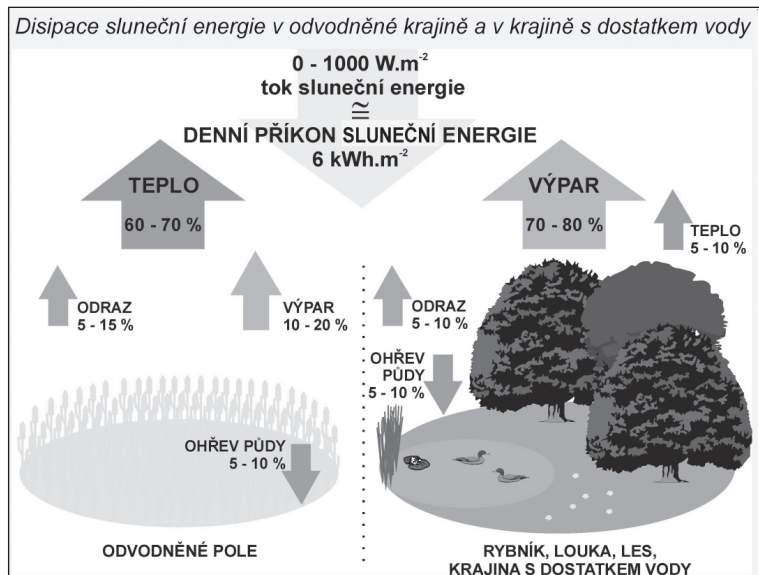
nimalizaci ztrát. Vegetace je tak řídicím článkem pro fungování terestrických ekosystémů a voda představuje médium pro přeměnu energie, transportní a chemické procesy. Koloběh vody lze považovat za energetický převaděč, který umožňuje disipaci sluneční energie, tlumení teplotních výkyvů. Tyto procesy jsou proto základem integrálního nebo holistického posuzování ekologických funkcí krajiny. Z nich lze odvodit kriteria: 1. schopnost vegetace disipovat sluneční energii, tj. vyrovnanost teplot povrchu (země, resp. vegetace) a 2. schopnost minimalizovat látkové ztráty (především rozpuštěné látky) v odtékající vodě.

V celém evropském kontextu je využívání krajiny ve znamení odlesňování a odvodňování. Tyto procesy nutně ovlivňují energetickou bilanci jednotlivých krajinných celků – povodí, i množství látek, které se z hospodářsky užívaných povodí vyplavuje. S vysokou mírou spolehlivosti lze předpokládat, že se to projeví ve změnách distribuce teplot zemského povrchu i zhoršením kvality povrchových vod. Tyto dva parametry se proto mohou využít pro monitorování změn krajinných funkcí.

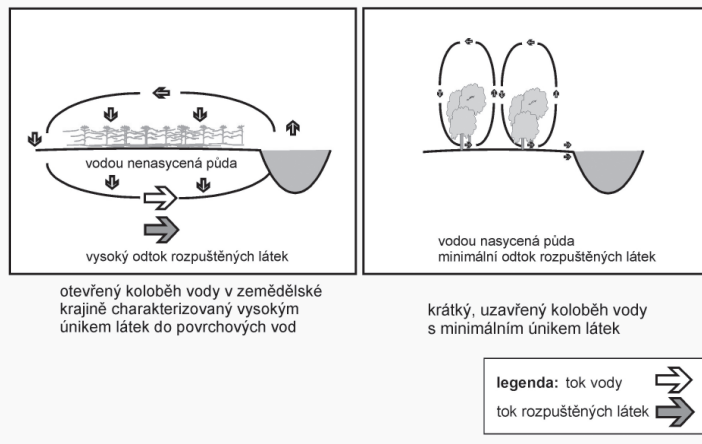
Ověření ETR modelu v podmínkách ČR

Ověření obecné platnosti základních východisek ETR modelu vyžaduje sledovat srovnatelná území se zřetelně odlišným charakterem vegetačního krytu v důsledku různého využívání (*land-use*), která zároveň nebudou pod vlivem změn v aktuální hospodářské činnosti. Za tímto účelem byly vybrána tři povodí v oblasti lipenského pravobřeží na Šumavě. Zájmové území je díky svému vývoji za posledních více než 50 let zcela unikátní. Kromě tzv. „železné opony“ bylo navíc ovlivněno vybudováním přehradní nádrže Lipno I v délce ca 40 km, což do jisté míry ještě posílilo izolaci tohoto kraje. Monitorují se povodí Mlýnského, Horského a Bukového potoka v příhraniční oblasti.

– **Povodí Mlýnského potoka** bylo v minulosti systematicky odvodňováno, potok napřímen, vydlážděn a zahloben. Povodí pokrývají z 90 % polointenzivní pastviny. Na podzim 1998 se uskutečnila revitalizace Mlýnského potoka, což umožňuje v rámci

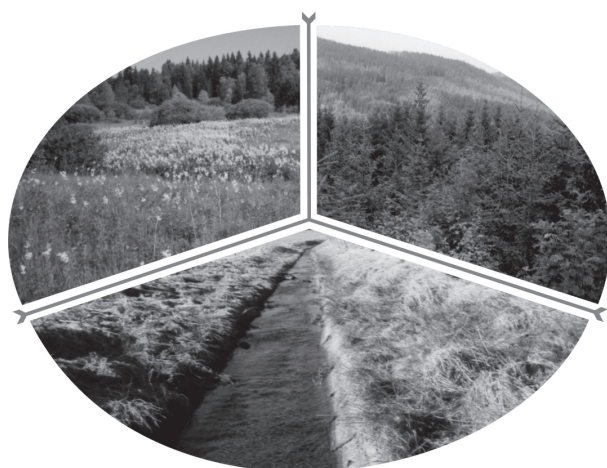


Tok vody a látek vegetací a půdou

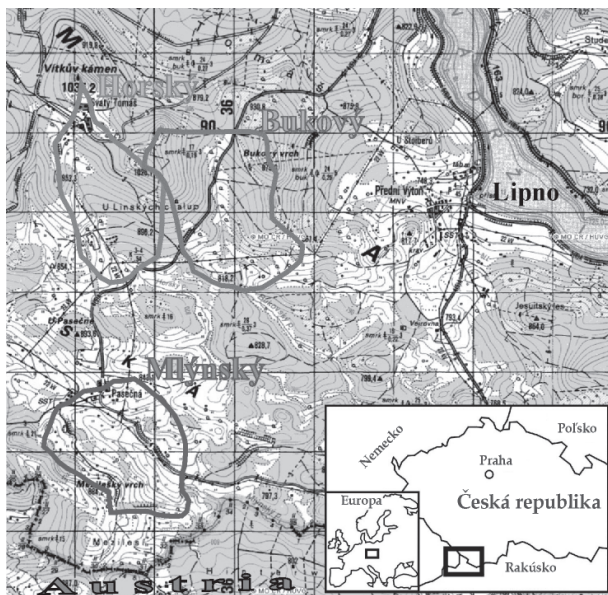


výzkumu navíc sledovat a hodnotit změny a výsledný efekt vlastní revitalizace.

- Plochy v **povodí Bukového potoka** pokrývá v současnosti z větší části sekundární les s převahou smrku.
- **Povodí Horského potoka** je více než z poloviny pokryto lesními porosty, zůstaly zde však z minulosti plochy bezlesí extenzivně obhospodařované a navíc zde vznikla plošně významná území přirozené sukcese (mokřady a mezofilní lada).



Tři povodí: vlevo nahoře povodí Horského potoka, vpravo povodí Bukového potoka, dolu povodí Mlýnského potoka



Všechna 3 povodí jsou srovnatelná rozlohou (ca 200 ha), expozicí, nadmořskou výškou (800 – 1 000 m) a klimatickými podmínkami, liší se jen ve způsobu využití území.

Na povodích se od r. 1997 monitoruje stav a struktura vegetačního krytu, množství a kvalita srážek, sezónní dynamika odtoku vody a množství látek v odtékající vodě.

V závislosti na antropogenním ovlivnění krajiny, stavu a struktuře vegetace se zde sleduje disipace slu-

neční energie prostřednictvím měření meteorologických charakteristik a analýzy dat dálkového průzkumu Země (Procházka et al., 2001a, b).

• **Struktura a stav vegetačního krytu.** V povodí Mlýnského potoka v rámci bezlesí převládají druhově bohatší extenzivně obhospodařované pastviny sv. *Cynosurion* a druhově chudé polointenzivně obhospodařované trvalé travní porosty. Na bezlesí v povodí Horského potoka jsou zastoupeny druhově bohatší společenstva extenzivně obhospodařovaných kosených luk s přirozeným složením (sv. *Arrhenatherion* a sv. *Polygono-Trisetion*), pestrá společenstva výslunných strání řazená ke sv. *Violion caninae*, keříčková společenstva s převládající brusnicí borůvkou, ruderální společenstva, druhově bohatá společenstva mokrých luk a prameništ podsv. *Calthenion* a podsv. *Filipendulion*, druhově nejbohatší společenstva rašelinných luk se značným zastoupením chráněných druhů a druhově chudé, téměř až monokulturální porosty s dominující *Carex brizoides*, *Molinia caerulea*, *Calamagrostis epigejos* a *Calamagrostis villosa*.

Výskytem podobných vegetačních typů disponuje bezlesí Bukového potoka, jen s minimálním plošným zastoupením. Druhovou skladbu lesů všech tří povodí tvoří podle terénního šetření a lesnických porostních a typologických map převážně smrkové monokultury různého stáří, převládá kategorie 30 – 80 let. Kultury jsou z lesnického hlediska poměrně mladé. V nejvyšších partiích povodí Horského a Bukového potoka se nachází sporadické porosty s původní druhovou skladbou, tj. tvořené smrkem, bukem a jedlí (hercynskou směsí). Část jihozápadních svahů v povodí Bukového potoka (Bukový vrch) je porostlá mladými bučinami.

Ve studovaném území se nacházejí vzácné a ohrožené druhy vyšších rostlin, na jejichž výskyt je jednoznačně nejbohatší povodí Horského potoka (31 druhů), zvláště pak celá niva toku, která si více-méně uchovála přirozený charakter. Poměrně hodně vzácných a ohrožených taxonů (20) se nachází i v povodí Bukového potoka. Jednotlivé druhy jsou však zastoupeny většinou spíše ojediněle až roztroušeně na malém počtu lokalit, což souvisí především s malou rozlohou bezlesí v rámci tohoto povodí. Nejmenší počet druhů (10) i četnost jejich populací je v povodí Mlýnského potoka, které se nejintenzivněji zemědělsky využívá a systematicky odvodňuje.

Z prostorové distribuce biomasy v rámci jednotlivých povodí vyplynulo, že celková nadzemní biomasa vegetace v povodí Mlýnského potoka je 5 – 6-krát nižší než v povodí Bukového, resp. Horského potoka. Tomu odpovídají i výsledky získané z analýzy půdních vzorků vegetačních typů sledovaných povodí. Vysoký obsah organických látek v půdě se zjistil v povodí

Tab. 1. Organické látky v půdě a látky extrahovatelné vodním výluhem z půdy sledovaných povodí

Povodí	Organické látky [kg.ha ⁻¹]	Cl [kg.ha ⁻¹]	Celkový N [kg.ha ⁻¹]	PO ₄ ³⁻ [kg.ha ⁻¹]	SO ₄ ²⁻ [kg.ha ⁻¹]	K [kg.ha ⁻¹]	Mg [kg.ha ⁻¹]	Ca [kg.ha ⁻¹]
Mlýnského potoka	360 874	41	38	1	222	10	6	25
Horského potoka	653 119	87	67	35	752	123	36	140
Bukového potoka	487 394	50	41	4	554	14	8	37

Tab. 2. Fyzikálně-chemická charakteristika atmosférické depozice a vody odtékající ze sledovaných povodí, rozdílnost mezi povodími v letech 1999 – 2004

Sledované parametry	Srážky			Mlýnský potok			Horský potok			Bukový potok			p level
	n	x	±SD	n	x	±SD	n	x	±SD	n	x	±SD	
vodivost	257	28	31	55	93	18	58	45	15,7	58	36	11	0,000
pH	268	4,9	0,69	62	6,37	0,3	62	6,07	0,5	62	5,97	0,6	0,000
KNK (4.5)	232	0,15	0,18	61	0,46	0,1	60	0,22	0,1	58	0,16	0,1	0,000
NO ₃ ⁻	262	1,74	1,89	63	8,15	2,5	63	2,12	2,3	63	2,41	6,6	0,000
NO ₂ ⁻	265	0,05	0,10	63	0,02	0,0	63	0,11	0,8	63	0,01	0,0	0,396
NH ₄ ⁺	265	0,78	1,38	63	0,05	0,1	63	0,07	0,3	64	0,06	0,3	0,431
Cl ⁻	265	1,13	2,37	63	1,77	1,3	63	1,07	0,8	63	1,08	1,8	0,004
SO ₄ ²⁻	242	7,1	6,35	62	12,7	6,8	61	11,6	6,0	61	11,5	8,2	0,582
Ca ²⁺	265	1,06	2,39	55	7,65	2,0	55	3,10	1,2	56	2,83	4,3	0,000
Mg ²⁺	265	0,17	0,39	55	1,62	1,0	55	0,80	0,4	56	0,63	0,4	0,000
Na ⁺	265	0,37	0,50	55	3,66	0,8	55	2,50	0,8	56	2,63	0,8	0,000
K ⁺	265	0,53	0,79	55	1,58	0,3	55	1,12	0,3	56	0,53	0,3	0,000
Fe	265	0,09	0,39	55	0,27	0,2	55	0,25	0,2	56	0,18	0,1	0,019
Mn	265	0,13	0,90	53	0,02	0,0	54	0,1	0,0	54	0,01	0,0	0,408

n – počet vzorků, x – průměr, SD – směrodatná odchylka, p level – statisticky průkazná rozdílnost mezi povodími

Horského a Bukového potoka (s převahou lesních a mokřadních biotopů), nejnižší v povodí Mlýnského potoka (odvodněné pastviny). Také zásoba dostupných látek (vodní výluh) je výrazně vyšší v povodích Horského a Bukového potoka (tab. 1).

• *Srážkovo-odtokové a látkové bilance povodí.* Podíl vody, který byla schopna jednotlivá povodí v průběhu let 1999 – 2004 zadržet, se výrazně liší. Zatímco povodí Mlýnského potoka bylo schopno v průměru zadržet 10 % veškeré vody spadlé do povodí, u povodí Horského a Bukového potoka to bylo výrazně více, až 42, resp. 55 %. Celkový obsah rozpuštěných látek vyjádřený jako vodivost, stejně jako průměrné koncentrace hydrogenuhličitanů, dusičnanů, vápníku,

hořčíku, sodíku, draslíku a chloridů byly statisticky významně vyšší ve vodě Mlýnského potoka, než ve vodách Horského a Bukového potoka. To dokladuje základní statistika souboru dat o chemizmu odtékající vody z jednotlivých povodí v tab. 2.

Povodí Mlýnského potoka vykazuje předpokládané zhoršení krajinných funkcí, která se projevují nižším podílem v povodí zadržené vody a horší kvalitou odtékající vody. Vodivost a chemismus vod Horského a Bukového potoka jsou srovnatelné s obdobnými úseky povrchových vod centrální Šumavy. Naproti tomu koncentrace většiny iontů ve vodě Mlýnského potoka jsou výrazně vyšší, a s tím souvisí i zvýšená množství vodou odnášených rozpuštěných látek a zvýšené látkové ztráty z povodí.

• *Disipace sluneční energie – teplotní charakteristiky krajinného pokryvu.* V jednotlivých povodích se na všech plošně významných stanovištích měřily porosty a jejich teplotní průběhy a zjištěné maximální amplitudy byly formálně váženy podle podílu rozlohy jednotlivých stanovišť. Výsledný vážený průměr představuje přibližnou charakteristiku účinnosti tepelné kompenzace jednotlivých povodí. Vyjádření této účinnosti prostřednictvím průměru v povodí ukázalo, že zatímco denní amplitudy se na povrchu půdy v povodí Horského a Bukového potoka pohybovaly kolem 15 °C (12,2 – 17,2), v povodí Mlýnského potoka to bylo v průměru 23,5 °C. Podobně tomu bylo u amplitud teploty v půdě (10 cm), amplitudy v Mlýnském povodí byly ve srovnání s ostatními dvojnásobné (1,3 – 1,7 x 3,3 °C). Intenzivnější prohřívání povrchu půdy a celkově vyšší teploty v povodí ovlivňují teplotní režim vody Mlýnského potoka. V průběhu letních slunečných dnů dochází k výrazným oscilacím teploty vody v rozsahu až 10 °C. Teplota vody v Horském a Bukovém potoce s přirozeným korytem a břehovou vegetací osciluje ve stejném období v rozmezí 2 – 4 °C. Výsledky korespondují s teorií, že špatná disipace sluneční energie prostřednictvím vegetace (evapotranspirace) vede k výrazným výkyvům teplot.

• *Analýza dat dálkového průzkumu Země.* Kombinace pozemních (bodových) dat a dat dálkového průzkumu Země (plošných) je pro holistické hodnocení a monitoring krajiny zásadní. Pro zpracování vlhkostních, a zejména teplotních parametrů povrchu sledovaných povodí se využila data ze 6. pásma družic Landsat. Toto pásmo zaznamenává termální radiaci z povrchu, která koreluje s teplotními poměry krajinného pokryvu i s půdní vlhkostí. Data z družic Landsat byla zpracována do škály relativních teplot pro modelová povodí. Z výsledků je zřejmé, že plochy v povodí Mlýnského potoka jsou evidentně nejteplejší, a to ve všech případech použitých scén.

* * *

Na příkladu třech povodí s rozdílným krajinným pokryvem a způsobem hospodaření v oblasti lipenského pravobřeží se testovala holistická koncepce účinnosti krajiny (ETR model). Projevem antropogenně nejvíce narušeného povodí Mlýnského potoka byly zejména zvýšené koncentrace látek v odtékající vodě a zvýšené teplotní charakteristiky krajinného pokryvu měřené jednak pozemními metodami, jednak metodami DPZ. Kromě toho, povodí Mlýnského potoka mělo nejnížší množství nadzemní biomasy, nejnížší diverzitu rostlin a nejnížší zásobu látek v půdě. Výsledky získané v oblasti pravého břehu

Lipna potvrzují, že holistický koncept hodnocení funkcí krajiny lze považovat za perspektivní pro hodnocení krajinných celků. Využívají se přitom metody DPZ, síť hydrologického a hydrochemického monitoringu a analýzy hospodářských aktivit v krajině. Sledované parametry, důležité pro holistické hodnocení funkcí krajiny, potvrzují vysoký stupeň jejich vzájemných vazeb a korelací. Výhodou popsaného holistického přístupu (Ripl, 1995) je relativně snadné a efektivní hodnocení stavu krajiny prostřednictvím dvou integrálních veličin – povrchové teploty (družicové snímání) a kvality odtékající vody (kontinuální měření na odtoku z povodí). Použití tohoto přístupu, samozřejmě, předpokládá určitou znalost sledovaného území.

Studie probíhá za podpory projektu MSM 6007665806.

Literatura

- Procházka, J., Hakrová, P., Pokorný, J., Pecharová, E., Hezina, T., Šíma, M., Pechar, L.: Effect of Different Management Practices on Vegetation Development, Losses of Soluble Matter and Solar Energy Dissipation in Three Small Sub-Mountain Catchments. In: Vymazal, J. (ed.): Transformations of Nutrients in Natural and Constructed Wetlands. Leiden : Backhuys Publishers, 2001a, 143 – 175 p.
- Procházka, J., Hakrová, P., Pokorný, J., Pecharová, E., Hezina, T., Wotavová, K., Šíma, M., Pechar, L.: Vliv hospodaření na vegetaci a toky energie, vody a látek v malých povodích na Šumavě. *Silva Gabreta*, 6, 2001b, s. 199 – 224.
- Ripl, W.: Management of Water Cycle and Energy Flow for Ecosystem Control: The Energy-Transport-Reaction (ETR) model. *Ecological Modelling*, 78, 1995, p. 61 – 76.
- Ripl, W., Pokorný, J., Eiseltová, M., Ridgill, S.: Holistický přístup ke struktuře a funkci mokřadů a jejich degradaci. In: Eiseltová, M. (ed.): Obnova jezerních ekosystémů – holistický přístup. *Wetlands International publ.*, No. 32., 1996, s. 16 – 35.

Ing. Jan Procházka, Ph.D., prochaz@zf.jcu.cz
RNDr. Libor Pechar, CSc., lpechar@zf.jcu.cz
RNDr. Pavlína Hakrová, Ph.D., hakrova@zf.jcu.cz
Ing. Jakub Brom, jbrom@zf.jcu.cz

Laboratoř aplikované ekologie Zemědělské fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, Studentská 13, 370 05 České Budějovice

Ing. Jan Pokorný, CSs., ENKI, o. p. s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň, pokorny@enki.cz