

Zelená adaptácia klímy v mestskom prostredí

Štecová, I., Baštáková, V., Kluvánková, T.: Ecosystem Services and Climate Change Adaptation in Urban Areas. *Životné prostredie*, 2017, 51, 4, p. 240 – 243.

Urban development and increasing population concentrations put natural city environments under great pressure. Negative trends in city structure and spatial planning decrease the natural environment and thus contribute to the negative impacts of climate change. The most serious impacts of climate change in cities include extreme long-term heat waves causing drought, and torrential rain episodes bringing floods. For sustainable urban development and reduction in the negative impacts of climate change, it is important to contribute to ecological stability using the microclimatic functions of green infrastructure and thereby improving the quality of city life. The aim of this paper is to highlight the importance of ecosystem services in urban areas, with special focus placed on microclimate regulation. With appropriate spatial planning and management of green areas, these ecosystems can bring many important environmental, social and economic benefits for the city. Here, we emphasise the important role that plant physiology plays in providing ecosystem services with green infrastructure. We also discuss the possible use of the concept of payments for ecosystem services in urban management and future trends in urban development.

Keywords: ecosystem services, climate change, green infrastructure, urban area, adaptation, mitigation, payments for ecosystem

Až 75 % Európanov žije v mestách. Na Slovensku sa toto číslo pohybuje okolo 56,5 % (Hudeková a kol., 2007). Neustále rozširovanie miest so zvyšujúcou sa koncentráciou populácie prináša veľký tlak na životné prostredie, čo prispieva k výraznejším prejavom klimatickej zmeny.

Klimatická zmena a jej dopady na mestské prostredie

Jednou z najvýznamnejších klimatických charakteristík je teplota ovzdušia, ktorej zvyšovanie v mestách spôsobuje významné problémy, týkajúce sa zdravia obyvateľstva či škôd na majetku. Alarmujúci je aj fakt, že v roku 2003 v dôsledku vln horúčav došlo vo Francúzsku až k 15 000 úmrtí ľudí. Hlavná príčina klimatickej zmeny je zvyšujúca sa koncentrácia emisií skleníkových plynov antropogénneho pôvodu, ktoré výrazne prispievajú k zmene klímy a zvyšujú hranicu priemernej teploty už od polovice 20. storočia (IPCC, 2013). Vplyv vysokých teplôt spájaný s rastom koncentrácie skleníkových plynov (IPCC, 2013) bude jeden z najzávažnejších problémov najmä vo veľkých mestách. Nárast globálnej koncentrácie CO₂ a ostatných skleníkových plynov od polovice 18. storočia predstavoval 270 – 280 μmol mol⁻¹ a koncentrácia v roku 2010 bola 390 μmol mol⁻¹, čo je o 35 % viac (Marek a kol., 2011). Podľa IPCC (2013) sa od roku 1850 globálna priemerná teplota zvýšila o 0,76 °C a v Európe až o 1,0 °C. Iba spaľovaním fosílnych palív a technologickými výrobnými procesmi sa uvoľňuje do ovzdušia 21,3 bilióna ton CO₂, čo predstavuje 40 000 ton oxidu uhličitého za minútu (IPCC, 2013; EIA, 2004). Trend zvyšovania priemerneho počtu tropických dní a nocí je predpokladaný aj do budúcnosti. Tropický deň alebo noc znamená, keď minimálna teplota počas dňa do-

sahuje 30 °C a v noci 20 °C a viac. Predpovedá sa, že tropických dní a nocí medzi rokmi 2021 a 2050 bude približne o 50 % viac, ako ich bolo v období medzi rokmi 1961 a 2000 (<http://urbanadapt.cz/cs>). IPCC (2008) predpovedala, že ak budeme pokračovať v doterajšom vypúšťaní skleníkových plynov do ovzdušia, nárast teploty do roku 2100 môže byť až o 4,8 °C. Treba upozorniť na fakt, že zvýšenie priemernej teploty neznamená rovnomerné zvýšenie, ale nárast počtu extrémnych tepelných hodnôt, čoho dôsledkom sú tepelné ostrovy, dlhotrvajúce suchá, privalové dažde a iné. Negatívne vplyvy na mestské prostredie sa môžu prejavovať extrémnym počasím, napríklad privalovými dažďami, z ktorých môžu vzniknúť povodne, premnoženie komárov, erózia pôdy a zosuvy pôdy, alebo dlhotrvajúcimi suchami, extrémnymi horúčavami, z ktorých vzniká riziko požiarov, vysušenie až úhyn vegetácie, nedostatok vody a podobne. Zmena klímy môže tiež ovplyvniť kvalitu a dostupnosť vody pre obyvateľstvo. Spoločnosť si čoraz viac uvedomuje, že zmena klímy predstavuje hrozbu a že je potrebné vynaložiť úsilie na zníženie jej negatívnych dopadov.

Negatívne trendy sa dajú pozorovať aj v štruktúre miest, pretože mestá neboli pôvodne plánované na extrémne prejavy počasia a vo väčšine prípadov nie sú pripravené na dopady klimatickej zmeny. Ďalším problémom miest je tlak ekonomických aktivít na záber pozemkov, často na úkor vegetácie. Zvyšuje sa hustota obyvateľstva a narastá podiel pozemnej dopravy. Kvalita života obyvateľstva v mestách úzko súvisí s kvalitou životného prostredia, ktoré môže zelená infraštruktúra miest výrazne zlepšiť. Termín zelená infraštruktúra je Európskou komisiou (2013) definovaný ako „strategicky plánovaná sieť prírod-



Obr. 1. Znáznornenie šiestich podobných budov, z ktorých iba jedna má strechu v bielej farbe. Porovnanie s termosnímkou, na ktorej sa čierne strechy oproti bielej zobrazujú niekoľkonásobne teplejšie, absorbujú viac energie, čím sa aj viac zohrejú a vydajú viac tepla do okolia. Zdroj: <http://urbanadapt.cz/cs>

ných a poloprírodných oblastí s inými environmentálnymi vlastnosťami, ktoré sú vytvorené a riadené tak, aby poskytovali široký rozsah ekosystémových služieb.“ Medzi tieto prvky patria napríklad parky, lesoparky, ale aj zelené strechy či zelené fasády (Rouse, Bunster-Ossa, 2013).

Tepelné ostrovy ako tepelné médium mesta

Mikroklimatická funkcia v meste nabera na význame najmä po doložení poznatkov o významných rizikách dopadov klimatickej zmeny na ľudské zdravie. Veľmi málo miest je dobre priestorovo naplánovaných, navyše väčšina miest má veľmi vysokú koncentráciu ľudí a je znečistená, a tak je pre ne ťažké udržať rovnováhu životného prostredia (Bajrao, 2015).

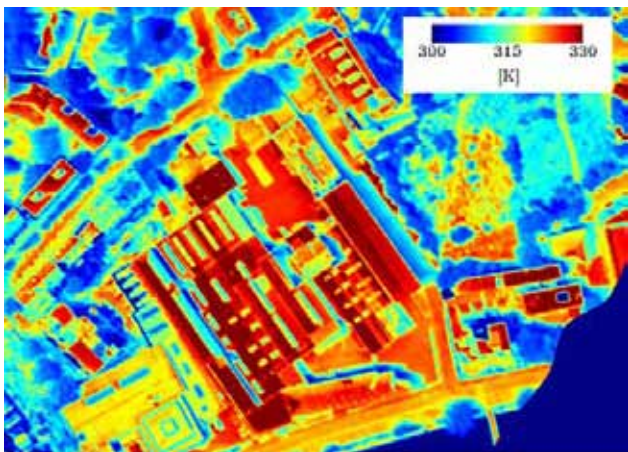
Mikroklima je definovaná ako podnebie veľmi malých oblastí s horizontálnym rozmerom do 1 km, ktoré je ovplyvňované rôznymi miestnymi špecifikami. Z hľadiska ohrozenia zmenou klímy medzi špecifické charakteristiky mesta patrí vyššia priemerná ročná teplota, nižšia relatívna vlhkosť vzduchu, zhoršené podmienky prúdenia vzduchu. Ďalej je pre mestskú mikroklimu typická zvýšená prašnosť a znečistenie ovzdušia, zmenené svetelné podmienky (odrážané svetlo, svetelný smog), horšie podmienky na zvládnutie privalových dažďov a búrok (Středová a kol., 2011). Tieto charakteristiky prispievajú k zvýšenej zraniteľnosti mestského prostredia a obyvateľstva na prejavy zmeny klímy a spoluvytvárajú osobitný typ mikroklimy – tepelné ostrovy miest. To znamená, že nadmerná teplota ešte vyústí k vyššej teplote v porovnaní s okolitou krajinou. Existujú dva dôvody zvýšenia rizika tepelných ostrovov, a to nízka vlhkosť v mestách, čo spôsobuje využívanie nepriepustných materiálov, a využívanie tmavých striech na budovách, čo podľa Gartlanda (2008) spôsobuje tzv. pascu na teplo. Správne priestorové plánovanie miest so zahrnutím mikroklimatickej funkcie zelenej infraštruktúry môže priniesť zmiernenie negatívnych dôsledkov klimatickej zmeny a tým aj zvýšenie kvality života v mestách (Bowler et al., 2010).

Čo dokážu ekosystémové služby zelenej infraštruktúry v adaptácii na zmenu klímy v mestskom prostredí?

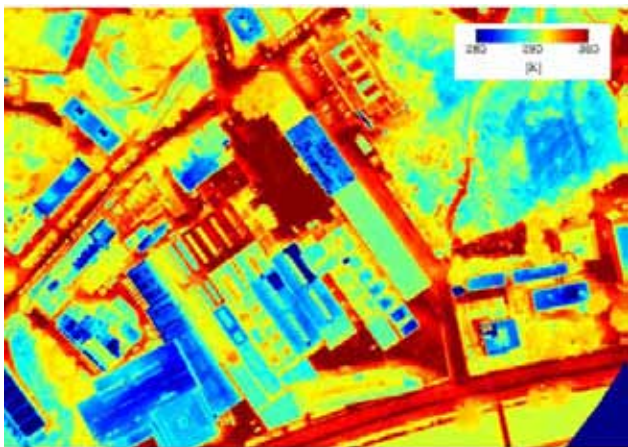
Zeleň môže mať pre mestá ekonomické, environmentálne alebo sociálne úžitky, ktoré sa navzájom prelínajú. Pri ekonomických úžitkoch zeleň pomáha pri manažmente vody, ochrane pôdy, zvyšuje cenu nehnuteľností, turizmus, šetrí energiu (vykurovanie alebo ochladzovanie budov). Medzi environmentálne úžitky parí regulácia mestskej klímy (zmiernenie teplotných extrémov), zvyšovanie kvality ovzdušia (redukovanie znečistenia ovzdušia), zmena prúdenia vzduchu (redukovanie nárazových vetrov), zeleň pomáha prepojiť prírodné prvky (čím prispieva k ochrane prírody, biodiverzite a vytvára útočisko pre voľne žijúce živočíchov), redukuje hluk a pomáha čistiť kontaminované územia. Zeleň pozitívne pôsobí aj na ľudí, pomáha pri sociálnej interakcii, sociálnej súdržnosti, má estetický, edukačný a rekreačný úžitok, určuje regionálnu identitu, je využívaná na hry s deťmi, na šport a pozitívne pôsobí na zdravie ľudí (Rakhshandehroo et al., 2015).

Rastliny dokážu mikroregulačnú funkciu poskytovať len za určitých podmienok. Potrebná je vhodná teplota, svetlo a predovšetkým dostatok vody v pôde. Mikroklimatická funkcia vegetácie v meste priaznivo ovplyvňuje vlhkosť ovzdušia (dospelá breza dokáže odpariť až 7000 l vody za vegetačné obdobie a v priemere tak zvyšuje vlhkosť ovzdušia o 5 – 7 %), znižuje výkyvy teplôt (mestské parky znižujú teploty v priemere až o 1 °C oproti teplote v uliciach) a poskytujú tieň. Zeleň v meste tiež pozitívne pôsobí ako filter škodlivých látok, čo možno chápať ako izolačnú funkciu zelene. Jeden m² zelenej plochy v mestách dokáže prefiltrovať za jedno vegetačné obdobie až 20 g prachových častíc. Rouse, Bunster-Ossa (2013) vypočítali, že zeleň v USA dokáže prefiltrovať za rok 711 000 ton škodlivých látok (Nowak et al., 2006).

Rastlina závisí od dostatku vody nielen z dôvodu ochladzovania, ale aj z dôvodu prijímania CO₂, ktorý je potrebný na fotosyntézu – stavbu tela rastlín. Na každú molekulu CO₂, ktorú rastlina prijme, sa stratí približne 100 – 500 mole-



Obr. 2. Extrémne prehriata sivá infraštruktúra počas horúceho letného dňa dosahuje teplotu až 50 °C, čo je proti povrchom, ktoré dokážu viazať a uvoľňovať vodu, o niekoľko desiatok °C viac. Zdroj: <http://urbanadapt.cz/cs>



Obr. 3. Termosnímkou z letnej noci – vegetácia sa zobrazuje na termosnímkach ako teplejšia oproti sivej infraštruktúre. Pri zelenej infraštruktúre dochádza na chladnejších miestach ku kompenzácií vodnej pary, čím sa presunie energia a prostredie sa oteplí. Zelená infraštruktúra teda nemá také veľké výkyvy teplôt, ako je to pri sivej infraštruktúre. Zdroj: <http://urbanadapt.cz/cs>

kúl vody. Ak rastlina nemá dostatok vody, musí obmedziť túto stratu, čo realizuje privretím prieduchových štrbín, čím sa obmedzí aj zadržiavanie uhlíka. Z takéhoto dôvodu pri nedostatku vody rastliny nedokážu naplno poskytovať mikroregulačné služby.

Chladiaca funkcia vegetácie patrí medzi najvýznamnejšie regulačné ekosystémové služby (ES) mesta. V horúcich letných dňoch zeleň dokáže lepšie a efektívnejšie ochladiť okolité prostredie než klimatizačné zariadenia. Veľmi dôležitá pre rastliny je transpirácia (výpar), ktorá dokáže ochladiť listy. Teplota listu je výsledok toku energie do listu – ohrievania – a toku energie von z listu – ochladzovania. Pri

transpirácii rastlina dokáže odvieť približne 50 % energie dopadajúcej ako slnečné žiarenie. Rastliny práve využitím premeny dopadajúcej energie na list na skupenské teplo výparné majú veľký potenciál aj pri regulovaní mikroklimy. Na listy stromu s priemerom koruny okolo 5 m (plošný priemer je približne 20 m²) dopadá počas jedného letného dňa cca 120 kWh slnečnej energie. Ak je strom dobre zásobený vodou, transpiruje z nej až 80 % a následne prostredie ochladí o 70 kWh (vyparí tak približne 109,4 l vody). Keď to prevedieme na cenu elektriny za kWh v eurách na Slovensku, zistíme, že jeden strom s priemerom koruny 5 m dokáže ochladiť prostredie v hodnote 10,5 eur (1kWh = 0,15 eur) za jeden letný deň. Podľa Pokorného (2014) les dobre zásobený vodou z 1 m² dokáže za rok pri evapotranspirácii (výpare vody rastlinou a pôdou) odpariť až 400 l vody, čo predstavuje klimatizačnú hodnotu 414 354 eur ročne.

Preto je nutné sa zamyslieť nielen nad revitalizáciou a výsadbou zelene v mestách, ale aj nad správnym manažmentom, ktorý by dokázal poskytnúť rastlinám vhodné podmienky na plnenie mikroregulačných ES (Procházka a kol., 1998), predovšetkým dostatočné zásobenie rastlín vodou najmä v horúcich a suchých letných dňoch, poskytnutie dostatočného priestoru na rast koreňového systému a znižovanie kompaktnosti (zhutňovania) pôdy okolo vysadených stromov. Ak je pôda zhutnená, vegetácia má problém s viazaním vody z pôdy.

Od individuálnych k spoločným záujmom

Okrem vyčíslenia trhovej ceny ES (napr. dreva) si treba uvedomiť aj ich spoločenskú hodnotu, na ktorú sa často zabúda a tieto benefity sa vnímajú ako „voľne dostupné“. To je problém najmä regulačných a kultúrnych ES, ktorých využívanie a hodnotenie je nepriame, resp. subjektívne. Práve tieto kategórie ES sú však najviac späté so zdravím a blahobytom obyvateľstva. Mestská samospráva by si mala uvedomovať zodpovednosť za svojich obyvateľov a mala by hľadať cesty, ako efektívne manažovať a podporovať zelenú infraštruktúru.

Platby za ES sú jedným zo sľubných nástrojov na implementáciu manažmentu ekosystémov do politiky a ukazujú sa aj ako vhodné politické riešenie na vyrovnanie súkromných a spoločenských úžitkov. Koncept platieb za ES je založený na jednoduchom prístupe, keď jednotlivci a komunity prijímajú platby za to, že podnikajú kroky na zvýšenie úrovne poskytovania daných ES (Jack et al., 2008). Napríklad spoločnosť, ktorá predáva minerálnu vodu, môže platiť vlastníkom pozemkov za to, aby nepoužívali pesticídy a hnojivá, ktoré by ohrozili kvalitu vody. V konečnom dôsledku zaplatí spoločnosť vlastníkom menej peňazí, ako by stáli technologické zariadenia na čistenie vody a zároveň sa zvýši úroveň poskytovania ES. Platby za ES môžu byť financované vládou, samotnými užívateľmi ES či rôznymi agentúrami a nadáciami. Hlavným cieľom platieb za ES by malo byť vytvorenie stimulov na poskytovanie tovarov a služieb, čím by sa zmenilo individuálne alebo kolektívne

správanie, ktoré by inak viedlo k nadmernému zhoršeniu stavu ekosystémov a prírodných zdrojov (Muradian et al., 2010). Ako príklad schémy platieb za ES, ktorá by mohla v meste efektívne fungovať, môžeme uviesť mestský park (lesopark), ktorého vlastníkom je samotné mesto. To môže financovať užívateľov ES (jednotlivcov, neziskové organizácie alebo rôzne združenia) v parku, pričom sa stanovia pravidlá užívania a ak budú dodržiavané, užívatelia dostanú príslušný obnos peňazí.

* * *

Uplatňovanie schém platieb za ES v posledných desaťročiach zaznamenalo veľký pokrok, avšak ich predpokladaná nadradenosť oproti ostatným ochranným praktikám je stále diskutabilná. Dôkazy o environmentálnych a spoločenských úžitkoch pri aplikácii platieb za ES sú nejasné (Adhikari, Agrawal, 2013; van Hecken, Bastiaensen, 2010) a ich sľubovanú účinnosť je ťažké demonštrovať (Muradian et al., 2010). Nekritická podpora tejto koncepcie vyvoláva podozrenie, že jej popularita je založená skôr na ideológii ako na praktických skúsenostiach (van Hecken et al., 2015). Napriek tomu, že platby za ES sa v praxi používajú už niekoľko desiatok rokov, motivácia a inštitucionálne aspekty stimulov sú stále nedostatočne preskúmané (Muradian et al., 2010). Otázkou teda ostáva, čo motivuje ľudí, aby boli ochotní participovať v programoch platby za ES a čo ich vedie k tomu, že v týchto programoch zotrvávajú dlhšiu dobu, keďže ide o dobrovoľnú účasť. Sú to naozaj finančné stimuly alebo prírodné hodnoty? Nejde skôr o vzťah ľudí k danému miestu? Pochopenie motívov k participácii v schémach platby za ES by uľahčilo navrhovanie takýchto programov a zefektívnilo ich uplatňovanie v praxi. Z toho by mohli profitovať aj mestá, ktoré čelia neustále sa zvyšujúcemu tlaku na životné prostredie a dopady klimatickej zmeny ohrozujú nielen zdravie, ale aj blahobyt obyvateľov.

Článok bol podporený projektmi SIMRA H2020 č. 677622 *Spoločenské inovácie v marginalizovaných vidieckych regiónoch, Vedeckou grantovou agentúrou MŠVVaŠ SR a SAV č. 2/0013/17 Ekosystémové služby na podporu ochrany krajiny v podmienkach globálnej zmeny a UrbanAdapt Rozvoj stratégií prispôbení se zmene klímy v podmienkach miest s využitím ekosystémov založených prístupů k adaptáciám, riešeného organizáciou CzechGlobe.*

Literatúra

- Adhikari, B., Agrawal, A.: Understanding the Social and Ecological Outcomes of PES Projects: A Review and an Analysis. *Conservation & Society*, 2013, 11, 4, p. 359 – 374.
- Bajrao, B. N.: Importance of Vegetation in Urban Environment. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2015, 5, 2, p. 336 – 338.
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., Pullin, A. S.: Urban Greening to Cool Towns and Cities: A Systematic Review of the Empirical Evidence. *Landscape and Urban Planning*, 2010, 97, 3, p. 147 – 155.

- EIA (U. S. Energy Information Administration): Greenhouse Gases' Effect on the Climate. 2004. (<http://www.eia.gov/oiaf/1605/ggcebro/chapter1.html>)
- Európska komisia: Zelená infraštruktúra – Zveľaďovanie prírodného kapitálu Európy. Oznámenie Komisie Európskemu parlamentu, Rade, Európskemu hospodárskemu a sociálnemu výboru a Výboru regiónov. Brusel: Európska komisia, 2013, 12 s.
- Gartland, L.: Heat Islands. Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas. London: Routledge, 2008, 214 p.
- Hudeková, Z., Krajcovic, L., Martin, P., Paudišová, E., Reháčková, T.: Ekologická stopa, klimatické zmeny a mestá. Návrh inovácie výpočtu ekologickej stopy a predstavenie možností zmiernenia negatívnych prejavov klimatických zmien v meste. Bratislava: Areco, s. r. o., 2007, 52 s.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Geneva: IPCC, 2008, 104 p. (https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_full_report.pdf)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stockholm, Sweden: IPCC, 2013, 30 p. (http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGI_AR5_SPM_brochure.pdf)
- Jack, B. K., Kousky, C., Sims, K. R.: Designing Payments for Ecosystem Services: Lessons from Previous Experience with Incentive-Based Mechanisms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2008, 105, 28, p. 9465 – 9470.
- Marek, V. M. a kol.: Uhlík v ekosystémoch České republiky v menicím se klimatu. Praha: Academia, 2011, 256 s.
- Muradian, R., Corbera, E., Pascual, U., Kosoy, N., May, P. H.: Reconciling Theory and Practice: An Alternative Conceptual Framework for Understanding Payments for Environmental Services. *Ecological Economics*, 2010, 69, 6, p. 1202 – 1208.
- Nowak, D. J., Crane, D. E., Stevens, J. C.: Air Pollution Removal by Urban Trees and Shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2006, 4, 3 – 4, p. 115 – 123.
- Pokorný, J.: Co umí strom. Praha: Arnika, 2014. (<http://arnika.org/co-umi-strom-2>)
- Procházka, S., Macháčková, I., Krekule, J., Šebánek, J.: Fyziologie rostlin. Praha: Academia, 1998, 484 s.
- Rakhshandehroo, M., Yusof, M. J. M., Tahir, O. M., Yunos, M. Y. M.: Sustainable Urban Open Green Spaces: Opportunities and Challenges. *International Conference on Environmental Forensics 2015 (IENFORCE2015)*, 2015. (<http://works.bepress.com/rakhshandehroo/10/>)
- Rouse, D. C., Bunster-Ossa, I. F.: Green Infrastructure: A Landscape Approach. Chicago: American Planning Association, 2013, 144 p.
- Středová, H., Bokwa, A., Dobrovoľný, P., Krédl, Z., Krahula, L., Litschmann, T., Pokorný, R., Rožnovský, J., Středa, T., Vysoudil, M.: Mikroklima a mezoklima měst, mikroklima porostů. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2011, 104 s. (<http://www.cbks.cz/mikroklima%20-%20mezoklima.pdf>)
- van Hecken, G., Bastiaensen, J.: Payments for Ecosystem Services in Nicaragua: Do Market-Based Approaches Work? *Development and Change*, 2010, 41, 3, p. 421 – 444.
- van Hecken, G., Bastiaensen, J., Windey, C.: Towards a Power-Sensitive and Socially-Informed Analysis of Payments for Ecosystem Services (PES): Addressing the Gaps in the Current Debate. *Ecological Economics*, 2015, 120, p. 117 – 125.

Mgr. Iveta Štecová, stecova@savzv.sk

Mgr. Viera Baštáková, bastakova@savzv.sk

prof. Mgr. Tatiana Kluvánková, PhD., kluvankova@savzv.sk
CE SPECTRA – spoločné pracovisko Ústavu ekológie lesa SAV, Slovenskej technickej univerzity a Fakulty managementu Univerzity Komenského, Vazovova 3, 811 07 Bratislava