

Niektoré aspekty ekologickej zložitosti a ich implikácie pre smerovanie spoločnosti, využívanie prírodných zdrojov a pre manažment ekosystémov

Konferencia „Manažment ekosystémov v prizme nerovnovážnej perspektívy“
21-22. 11. 2018, Katedra biológie a ekológie FPV UMB



© Peter Sabo, Ingrid Turisová & Peter Urban, Katedra biológie a ekológie, FPV UMB, Banská Bystrica

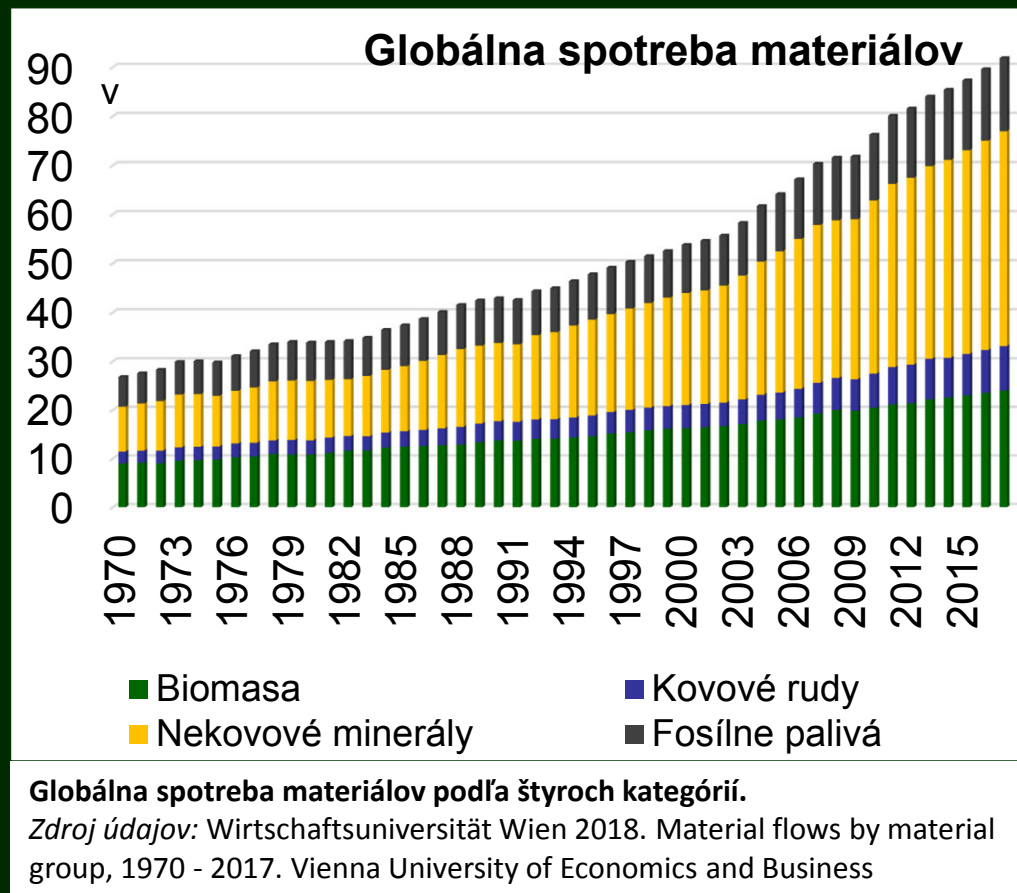
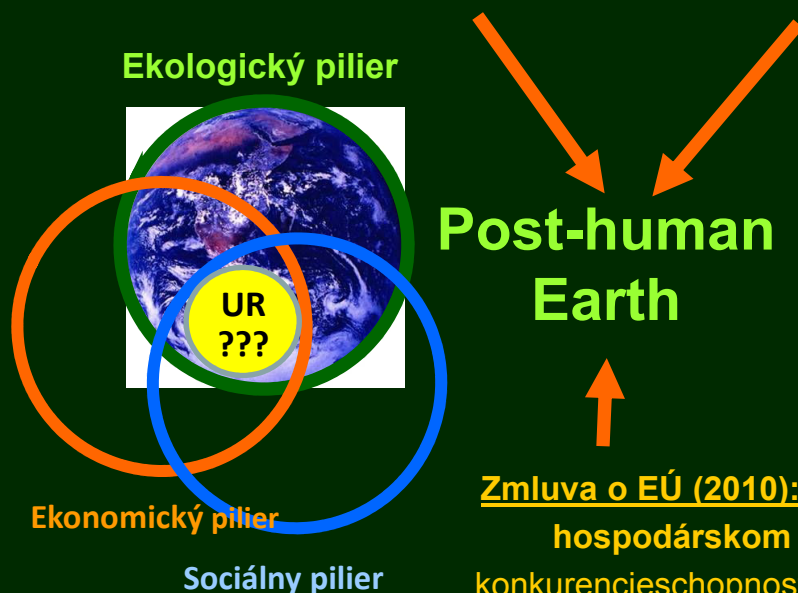
© Foto: Peter Sabo, Martin Sabo, Peter Coch, Paula Grivalská, Ladislav Hamerlík, Michael Hüttl, Peter Turis

Veľké zrýchlenie, epocha Antropocénu

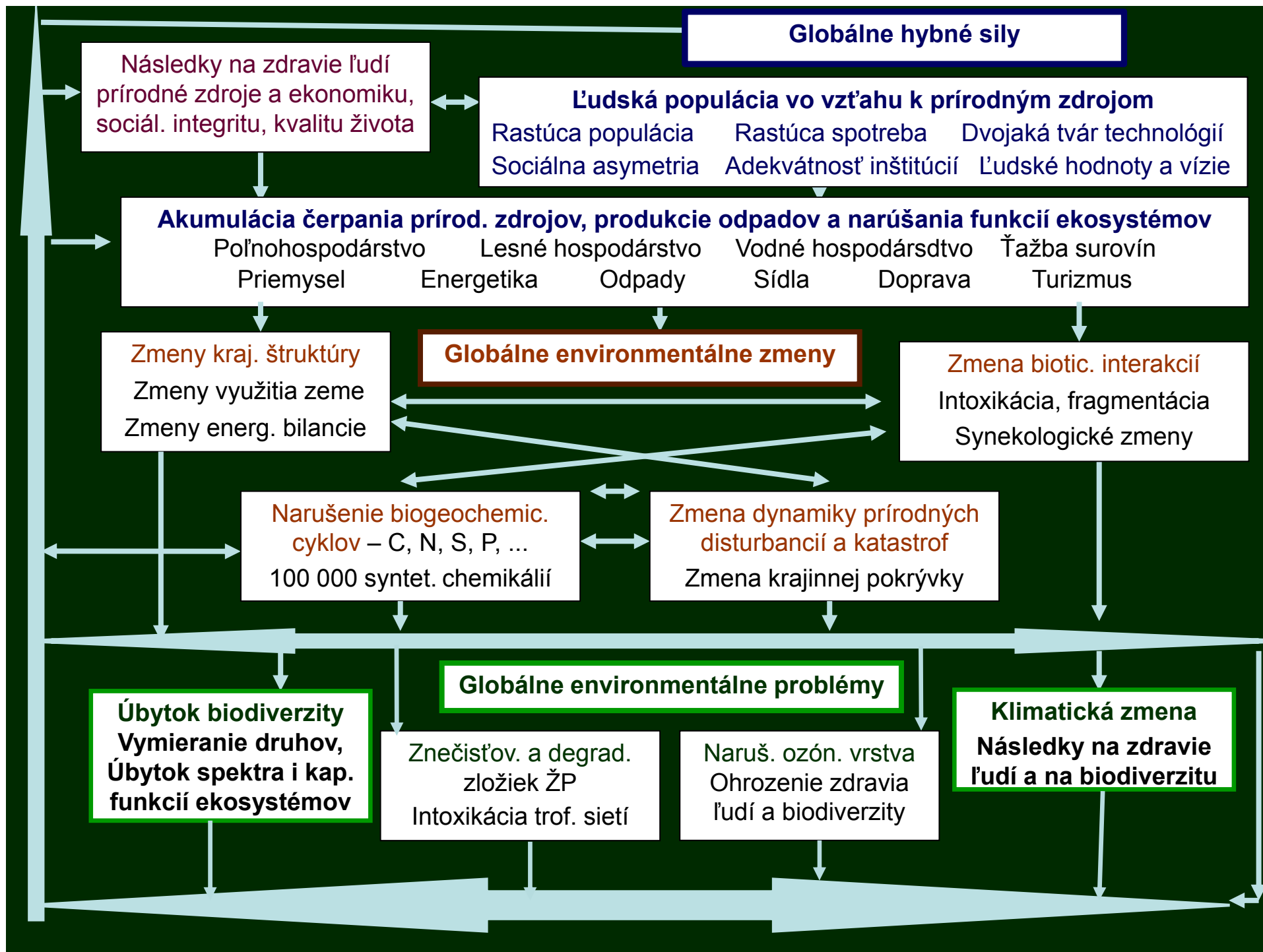
Veľké zrýchlenie socioekonomického rozvoja od r. 1950 sa realizuje za cenu zrýchľujúcej sa devastácie ekosystémov, vrátane Zemskeho ekosystému

Politický kompromis: koncepcia UR

- ✓ Vágnosť a mnohoraké interpretácie
- ✓ Nesystémové, mechanické videnie
- ✓ Iracionálny 8. cieľ SDG (2015): „udržateľný ekonomický rast“



Zmluva o EÚ (2010): usiluje sa o trvalo udržateľný rozvoj Európy založený na vyváženom hospodárskom raste a cenovej stabilite, o sociálne trhové hospodárstvo s vysokou konkurencieschopnosťou zamerané na dosiahnutie plnej zamestnanosti a sociálneho pokroku, ako aj o vysokú úroveň ochrany životného prostredia a zlepšenie jeho kvality



Korelácia ekonomického úspechu, degradácie Zemskeho ekosystému a sociálnej polarizácie

Ekonomický rozvoj

- ✓ **globálny HDP** v r. 2017 prekročil 80 triliónov
- ✓ **socioekonomický rozvoj** je exponenciálny

Nárast tlaku na ekosystémy

- ✓ **ekologická stopa** v r. 2012: 20,1 mld gha → 2,8 gha /osobu, nárast za 50 rokov: 190 %
- ✓ **biokapacita** v r. 2012: 12,2 mld ha → 1,7 gha na osobu, nárast za 50 rokov: 27 %
- ✓ **ekologický deficit** v r. 2012: 7,9 mld gha
- ✓ → 1,1 gha na osobu

Správa OXFAM za rok 2017:

- ✓ 82 % bohatstva vytvoreného v roku 2017 si privlastnilo iba 1 % ľudskej populácie
- ✓ Majetok miliardárov od r. 2010 vzrástol o 13 %, 6 x rýchlejšie ako mzdy bežných zamestnancov
- ✓ 3,7 miliardy ľudí, chudobnejšej polovice ľudstva, nemalo žiadne zvýšenie majetku

Dedičstvo mechanickej paradigmy

Francis Bacon (1561 – 1626) „Nech len ľudská rasa obnoví svoje právo nad prírodou, ktoré jej podľa božského odkazu prináleží, nech dostane moc...”

René Descartes (1596 – 1650) „Celú Zem a celý viditeľný vesmír som opísal na spôsob stroja...”

Platón (- 428 – 327) „Sokrates: Som totiž človek milujúci učenie a tu ma krajiny a stromy nechcú ničomu učiť, kým ľudia v meste áno.”



Koncepcia systému ako odpoveď na zložitost' sveta

- ✓ fyzická štruktúra, prvky a väzby
- ✓ časopriestorová variabilita procesov
- ✓ spojitost', koherentnosť, integrita
- ✓ vnáranie prvkov na úrovni „n“ do hierarchicky vyššieho (sociálno-) ekologického systému na úrovni „n+1“
- ✓ nové emergentné vlastnosti

Eugene Odum chápal ekológiu systémovo ako „štúdium štruktúry a funkcií prírody“, najmä ako štúdium ekológie ekosystémov resp. organizácie všetkých vyšších živých systémov, počínajúc organizmom
(ODUM 1971, 1977),

Podstatou koncepcie komplexity je **idea spontánnej autoorganizácie (aj antropoorganizácie) jednotlivých prvkov na báze ich interakcií do vyšších funkčných celkov**



Systémový prístup



Mechanická redukcia

Biologická a ekologická zložitosť, komplexita

Štruktúrálna zložitosť

- počty a rozmanitosť prvkov a interakcií, ich rozmiestnenie, hĺbka a rozsah hierarchií

Funkčná (behaviorálna) zložitosť

- počty a rozmanitosť stavov systému, vzorce správania, dynamika, nerovnovážna perspektíva

- ✓ zložitosť patrí k základným charakteristikám živých systémov → nelinearita správania
- ✓ pre každý živý systém existuje určité „okno zložitosti“, v ktorom je jeho vitalita vysoká
- ✓ vysoká biodiverzita je poistkou funkčnosti systému – funkčná redundancia
- ✓ koherencia pôsobenia rôznorodých entít a procesov, na rôznych úrovniach hierarchie
- ✓ stochastické aj deterministické procesy
→ ontická otvorenosť živých systémov
→ sťaženie predikcie správania



Fraktály v „Romanesco brokolici“. Autor: Jon Sullivan, Public domain



Chaos vz. organizácia – fraktály stromov v bukovom lese. Bieszczadzky Park Narodowy. Foto: © Peter Turis

Život ako vlastnosť veľmi zložitého systému

„Zemský ekosystém funguje ako obrovský autoregulujúci sa kybernetický systém a evolúcia organizmov je úzko spojená s evolúciou ich fyzikálneho a chemického prostredia“

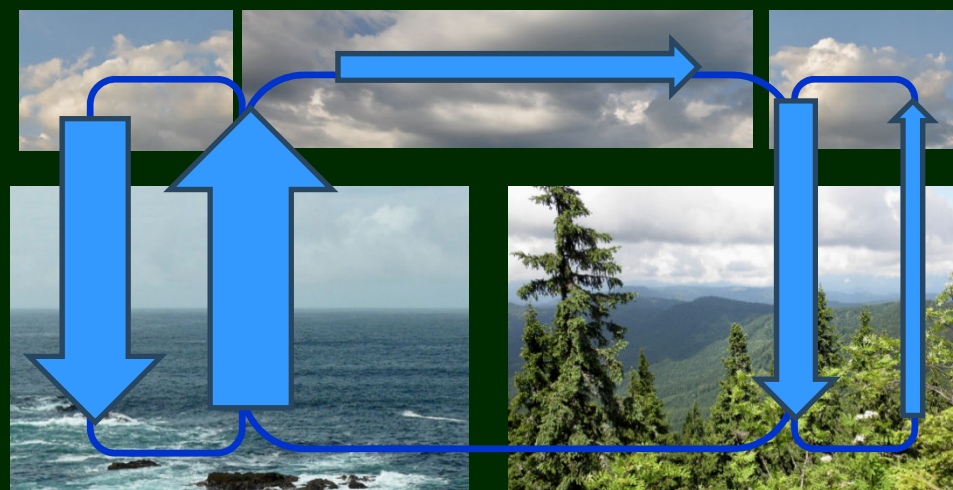
James Lovelock

„Zem je systémom, ktorý pomáha riadiť sám život“

Steffen et al. 2004

Život je organizovaný takým spôsobom, že je schopný udržiavať optimálne podmienky pre svoju existenciu. Na každej úrovni jeho organizácie, od buniek po ekosystémy, zabezpečuje potrebné toky hmoty, energie a informácie

B. Larry Li

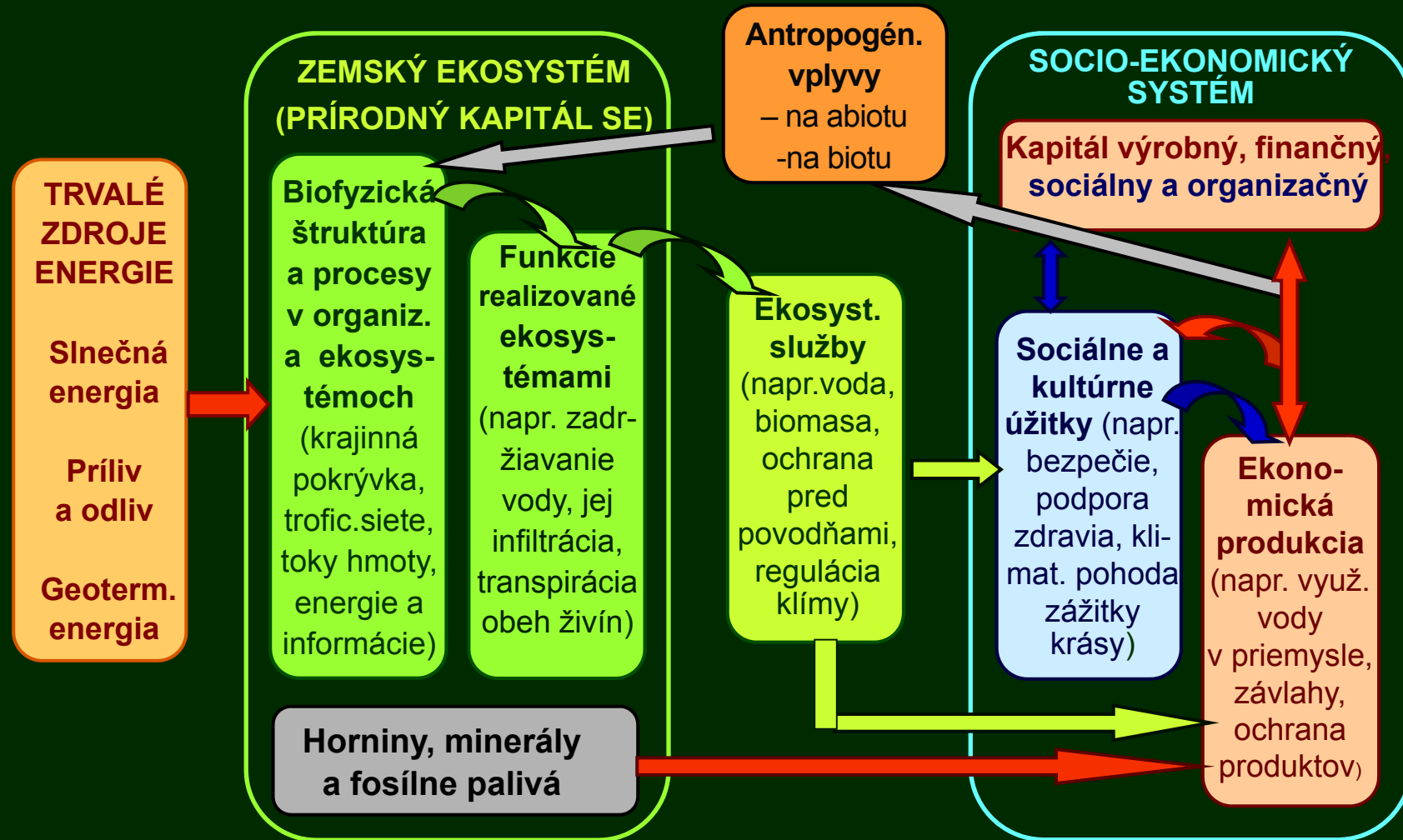


Teória biologickej pumpy prenosu vody z oceánov nad pevninu.
Upravené podľa Makarieva & Gorshkov, 2010

Dynamika zemského ekosystému zahŕňa aj kritické prahy, ktorých prekročenie môže spustiť na Zemi katastrofálne zmeny

Steffen et al. 2004

Vzťah medzi zložitou ekosystémov a ekosystémovými službami (ES)



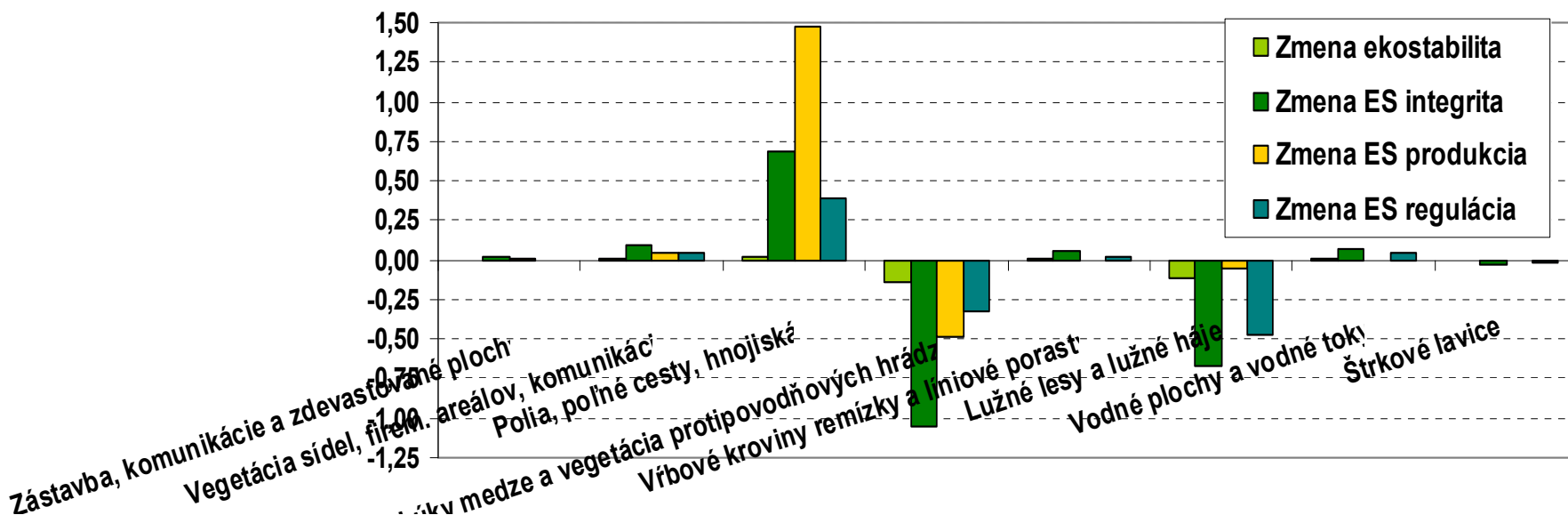
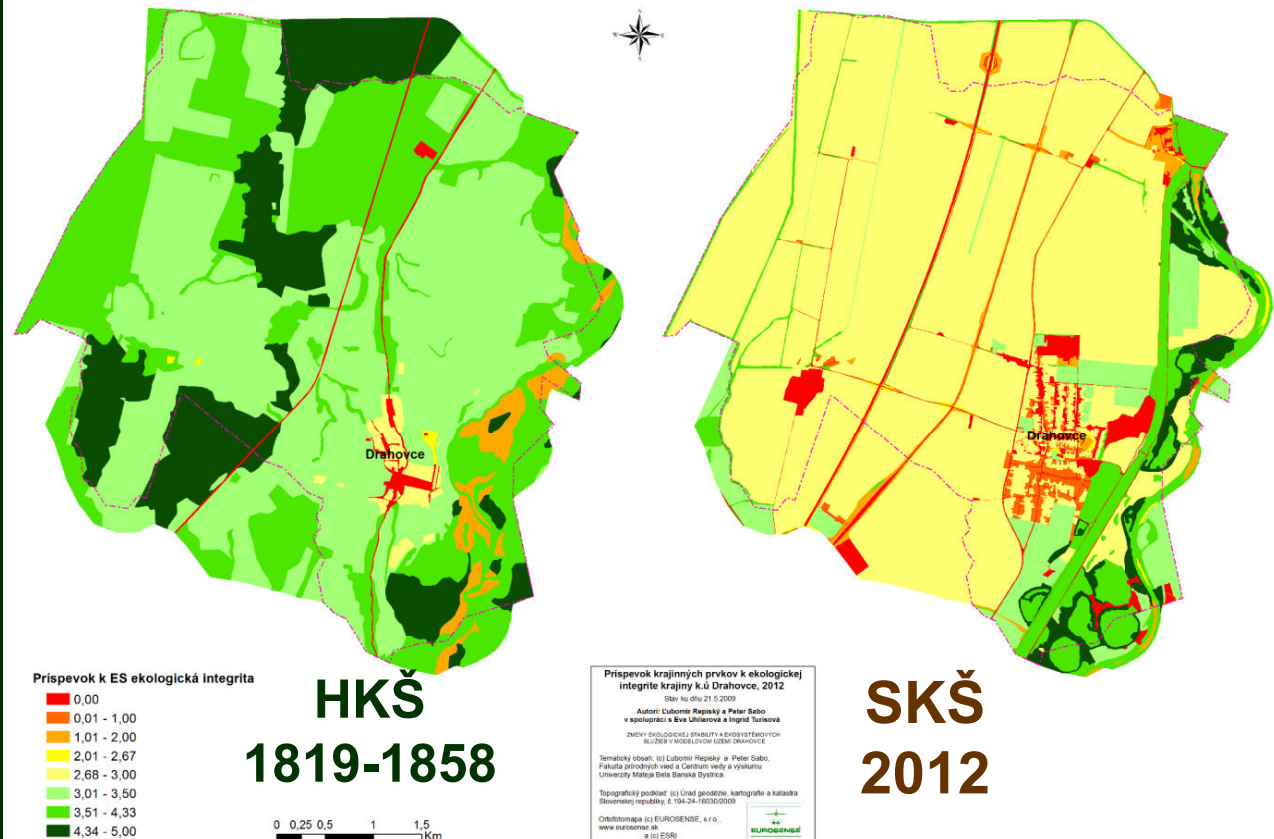
Kaskádový model, systémový pohľad na vzťah Zemskeho ekosystému a socio-ekonomického systému.
Upravené podľa: de GROOT et al. 2010; POTSCHIN & HAINES-YOUNG 2011; HÄYHÄ & FRANCEZE 2014.

V roku 2011 bola globálna hodnota všetkých ES 125 triliónov USD a globálny HDP 63 triliónov
(Costanza et al. 2014, UNEP 2011)

Zmeny kapacity ekosystémov a krajiny poskytovať život udržujúce ekosystémové služby spoločnosti

1. Matica koeficientov rôznych typov ES pre rôzne typy krajinnej pokrývky

2. Štatistické výpočty kapacity krajiny pre rôzne typy ES



Zemský ekosystém v kontexte napínania planetárnych hraníc V.2.0

1) Integrita ZE: a) genetická diverzita:

navrhnutý prah 10 E/MSY, realita je 100 – 1000 E/MSY, prirodzená extinkcia je 1 E/MSY

b) index intaktnosti biodiversity:

Navrhnutý prah 90 %, realita WWF 2018: - 60 %, v trópoch Latinskej Ameriky: - 89 %

2) Biogeochemické toky: a) fosfor: prah: 11

Tg P ročne, stav: 22 Tg P ročne, regionálny prah hnojenia: 6,2 Tg P ročne, stav 14,2 Tg

b) dusík: globálny prah fixácie 62 Tg N ročne

3) Klimatická zmena: prah radiač. zosilnenia:

+ 1,0 W, prah CO₂: 350 ppm, dnes: 406 ppm

4) Zmena krajinej pokrývky: prahy lesov:

tropické a boreálne 85 %, temperátne 50 %

Degradácia pôdy a krajiny: 75 % terestrických ekosystémov

5) Spotreba „modrej“ vody: prah: 4 000 km³

/rok, súčasný stav: 2 600 km³ / rok

6) Acidifikácia oceánov: prah: 80 % saturácia

morskej vody aragonitom

(oproti predindustriálnej dobe), súčasný stav:

84 % saturácia oproti PD



Upravené podľa: Steffen et al., 2015: Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. Science 347: 736-746. Foto: NASA, Blue Marble of Eastern Hemisphere. Goddard Space Flight Center Image by Reto Stöckli & Robert Simmon, Wikimedia Commons, Public Domain

Riziko náhlych a pre ľudí katastrofických zmien Zemského ekosystému

Od klasickej ekológie k nerovnovážnej perspektíve

Klasická ekológia

- ✓ ekosystémy sú obvykle v tesnej, vopred určiteľnej a predvídateľnej dlhodobej rovnováhe s komplexom činiteľov vonkajšieho prostredia
- ✓ len málokedy ich narušujú rozmanité zásahy z vonkajšieho prostredia: prírodné narušenia (disturbancie) alebo spôsobené človekom

Dynamická ekológia

- ✓ k základným atribútom prirodzených ekologických systémov patrí ich dynamika, rôzne štrukturálne zmeny a časopriestorové pohyby, vyvolané rôznymi vplyvmi (napr. zmenou klímy, prísunom živín, zmenami biotických parametrov a pod.),
- ✓ v priebehu času sa menia podmienky prostredia spontánne aj náhodne (environmentálna stochasticita), na čo musia reagovať ekosystémy aj organizmy
- ✓ konečný stav ekosystému, ktorý by sa dal zakonzervovať, fakticky neexistuje
- ✓ vysoká nelinearita zložitých systémov (nesúmerateľnosť príčin a následkov) značne obmedzuje predpovedateľnosť vývoja prírodných systémov
- ✓ ekosystémové procesy prebiehajú v mnohých časových a priestorových mierkach, aj preto sa nedá určitý stav považovať za jediný možný a definitívny (CARPENTER et al. 2001)

Hybné sily globálnej krízy

1. Exponenciálny rast ľud. populácie
2. Rast spotreby, konzumerizmus
3. Iracionálne globálne urýchľovanie
4. Rastúca sociálna asymetria
5. Dvojaká tvár technológií
6. Mechanická paradigma
7. Ignorovanie ekologickej zložitosti
8. Nízka ekologická etika

Kam vedie ignorovanie termodynamických zákonov ?

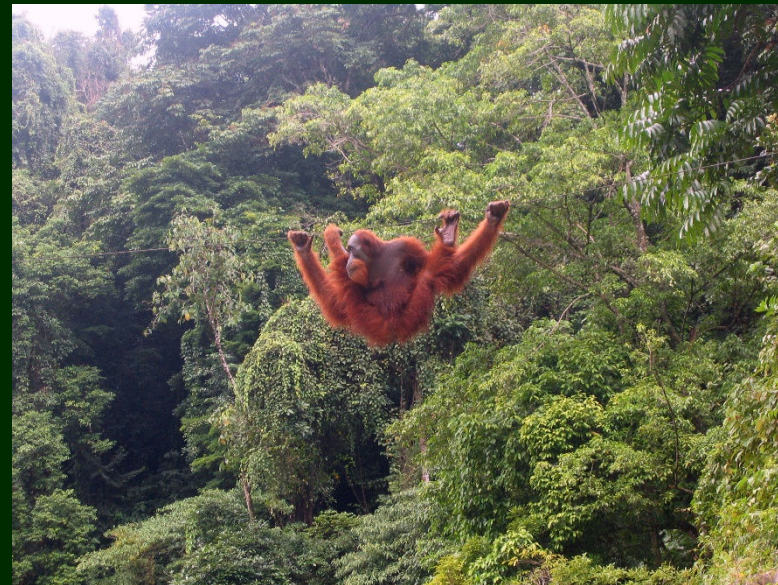
1. TdZ: Celkové množstvo energie v izolovanej sústave ostáva zachované. Energia tu nevzniká ani nezaniká, nastáva len konverzia jednej formy na druhú

Environmentálne implikácie 1. TdZ:

- ✓ využívanie biologických prírod. zdrojov musí mať kvantitatívne ekologické limity
- ✓ nahradiť fosílna palivá vo výraznej miere (14 % v EÚ) biopalivami je iracionálne
→ v roku 2017 sa viac ako 50 % importu palmového oleja do EÚ využilo na produkciu biopalív → EÚ plánuje vylúčiť palový olej z biopalív až v roku 2030



Plantáž palmy olejovej v Cigudeg, Indonézia. Foto: Achmad Rabin Taim 2008. Creative Commons BY 2.0



Ničením pralesov ohrozený orangutan sumatrianský (*Pongo abelii*), Bukit Lawang, severná Sumatra, Indonézia. Foto: Tbachner 2006. Public Domain

Kam vedie ignorovanie termodynamických zákonov ?

2. TdZ: Entropia izolovaného systému pri všetkých procesoch nikdy neklesá

- ✓ Pri všetkých spontánných procesoch entropia rastie → pri zmene energie z jednej formy na druhú vždy dochádza k degradácii určitej časti energie na menej kvalitnú, viac rozptýlenú, menej užitočnú

Kľúčové environmentálne implikácie:

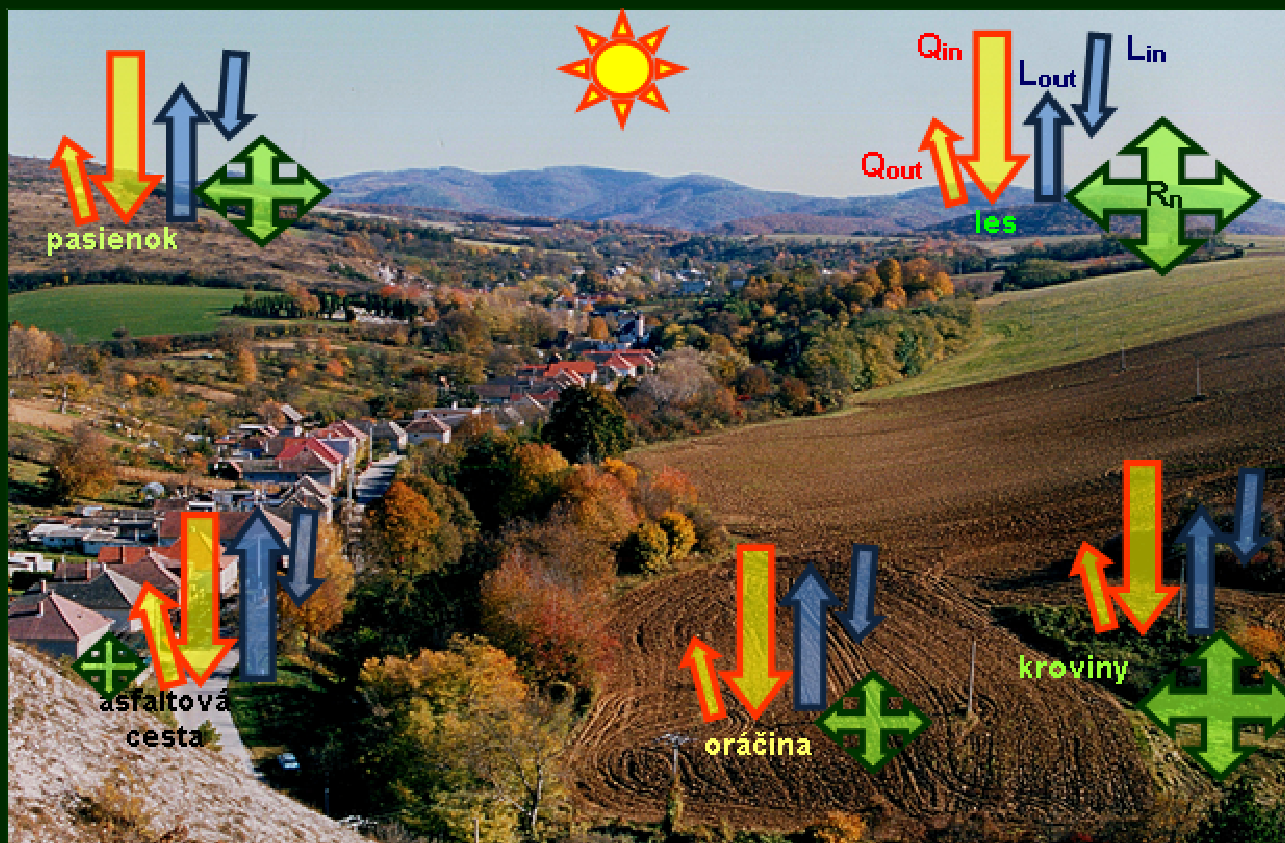
- a) počet trofických úrovní je obmedzený, postupne ubúda využiteľná energia
→ poklesom konzumácie mäsa by sme ušetrili plochy na pestovanie krmív
- b) využívanie biotických prírod. zdrojov musí mať kvalitatívne ekologické limity
→ podstatou krízy je extrémne vysoká antropogénna entropizácia ekosystémov a ekoregiónov, aj Zemského systému, ktorá nutne vedie k ich dezintegrácii

Smažené svrčky a cikády ako pokrm budúcnosti? Podľa FAO na rovnaký objem produkcie proteínov spotrebujú 6 x menej potravy ako hovädzí dobytok, 4 x menej ako ovce a 2 x menej ako hydina. Smažené svrčky na trhu v Tepoztláne, Mexiko. Autor: Meutia Chaerani / Indradi Soemardjan 2006. Creative Commons BY 2.5



Nerovnovážna termodynamika živých systémov (Kay 2000)

- ✓ fyzické, disipatívne štruktúry živých systémov sú vychýlené zo stavu termodynamickej rovnováhy prísunom vysoko kvalitnej energie
- ✓ aby sa vyrovnali s prísunom energie spontánne vytvárajú a udržiavajú zložité sieťové štruktúry, ktoré využívajú a disipujú energiu, pričom do okolia exportujú entropiu
- ✓ čím systém dokáže využiť a uchovať viac energie, tým zložitejšie štruktúry vytvára
- ✓ vychýlenie systému môže viesť k osciláciám, bifurkáciám a k zmene stavu systému



$$R_n = (Q_{in} - Q_{out}) - (L_{out} - L_{in})$$

$$R_n = LE + S + G + A + F + M, \text{ kde}$$

LE = skupenské teplo,

S = citelné teplo,

G = tepelný tok v pôde,

A = teplo presúvané advekciou,

F = energia biogeochemických procesov

M = teplo akumulované povrchom vegetácie, pôdy, substrátu

Tropické pralesy – ekosystémy s extrémnou komplexitou

- ✓ Ekologická zložitosť je spontánnou odpoveďou systému na relatívne stabilné vonkajšie prostredie a viac-menej kontinuálny prísun vysoko kvalitnej energie
- ✓ Vysoká zložitosť, komplexita, súvisí so, „snahou systému“ o maximálne využitie dostupnej energie a ďalších prírodných zdrojov – princíp maximálnej účinnosti
- ✓ Disipatívne štruktúry a procesy tropického dažďového pralesa sa vyvinuli za podmienok vysokého prísunu energie a vysokej vlhkosti

Riziko savanizácie Amazónskeho pralesa

- ✓ v súčasnosti je odlesnených 20 % územia,
→ brazílsky prezident Bolsonaro avizuje masívne odlesňovanie v Amazónii
- ✓ + klimatická zmena → dlhotrvajúce sucha
- ✓ + vysoká nelinearita systému zvyšuje riziko prípadnej náhlej zmeny na savanu

Tropický dažďový prales v oblasti Mindo, Andy, Ekvádor.

Na rozlohe 19 200 ha žije 450 druhov vtákov (87 endemitov). Rastie tu 170 druhov orchideí. Prales ročne navštívi 20 – 25 tisíc ľudí. Plány vybudovania ropovodu zastavili až protesty miestnych obyvateľov. Foto: © Ladislav Hamerlík, 2009



Termodynamika a sukcesia

- ✓ **hybná sila:** zmeny energetickej bilancie akumulovaním biomasy a živín
- ✓ **trend:** zvyšovanie účinnosti disipácie slnečnej energie smerom ku klimaxu
- ✓ **zmena kompozície:** smerom k druhom, ktoré účinnejšie disipujú dostupnú energiu
- ✓ **lepšie uchovávanie energie:** nové niky a rast podielu druhov vyšších trofic. úrovní
- ✓ **rast zložitosti:** smerom k vyšším sukces. štádiám (v súlade s nárastom energie)
- ✓ **lepšia ochrana:** pred vonkajším prostredím, stabilnejšie vnútorné prostredie

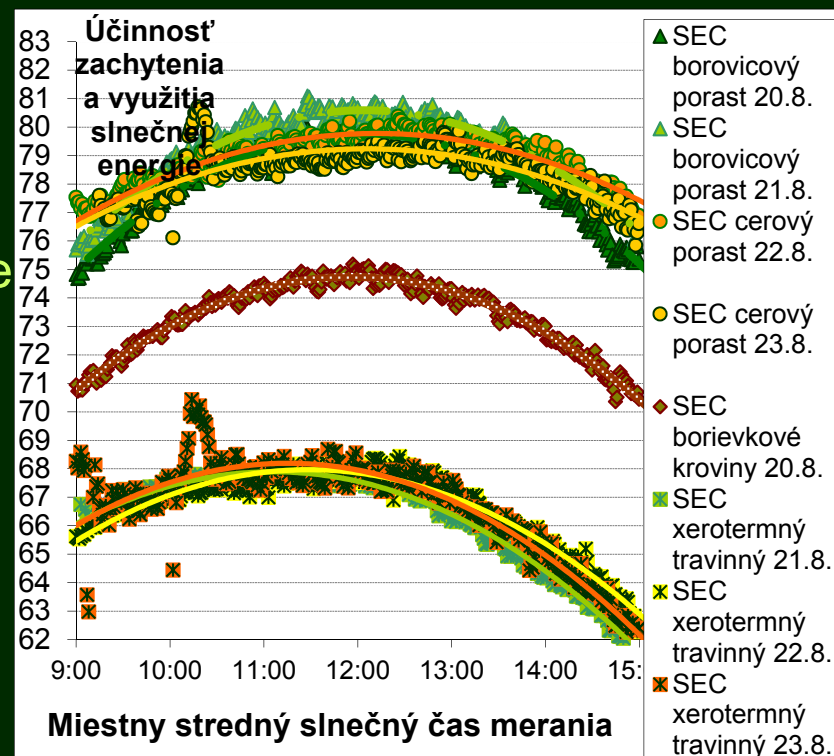
Účinnosť disipácie energie je tiež vhodným indikátorom funkčnej zložky zložitosti, komplexity, aj integrity ekosystému

Index SED – disipácia slnečnej energie

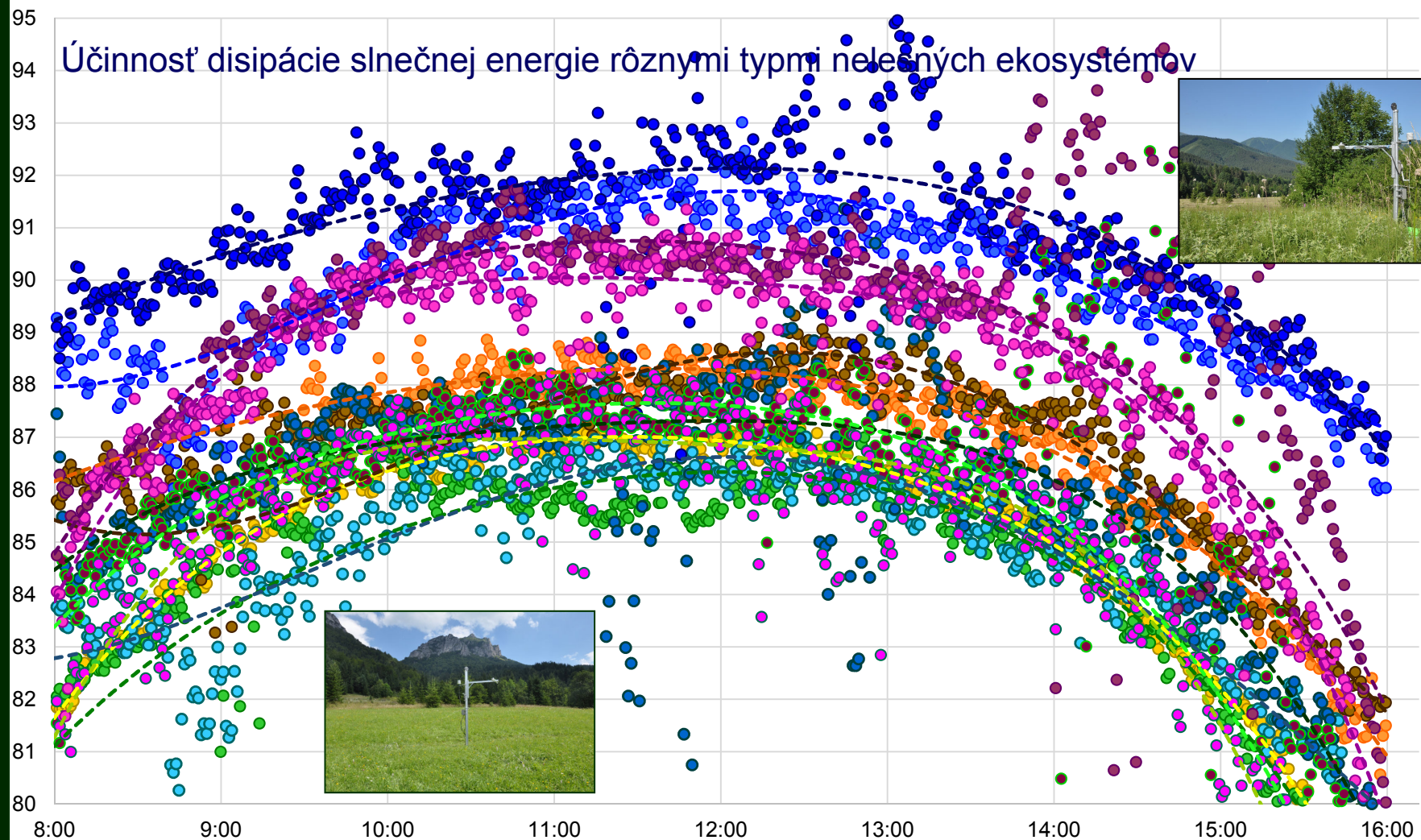
Index SEC – záchyt a využitie slnečnej energie ekosystémom



Sekundárna sukcesia v NPR Šrámková, NP Malá Fatra, svahy Žobráka (1308 m n.m.), po veterných polomoch v roku 2002 (5 000 m³)
Foto: © Peter Urban, 2017.



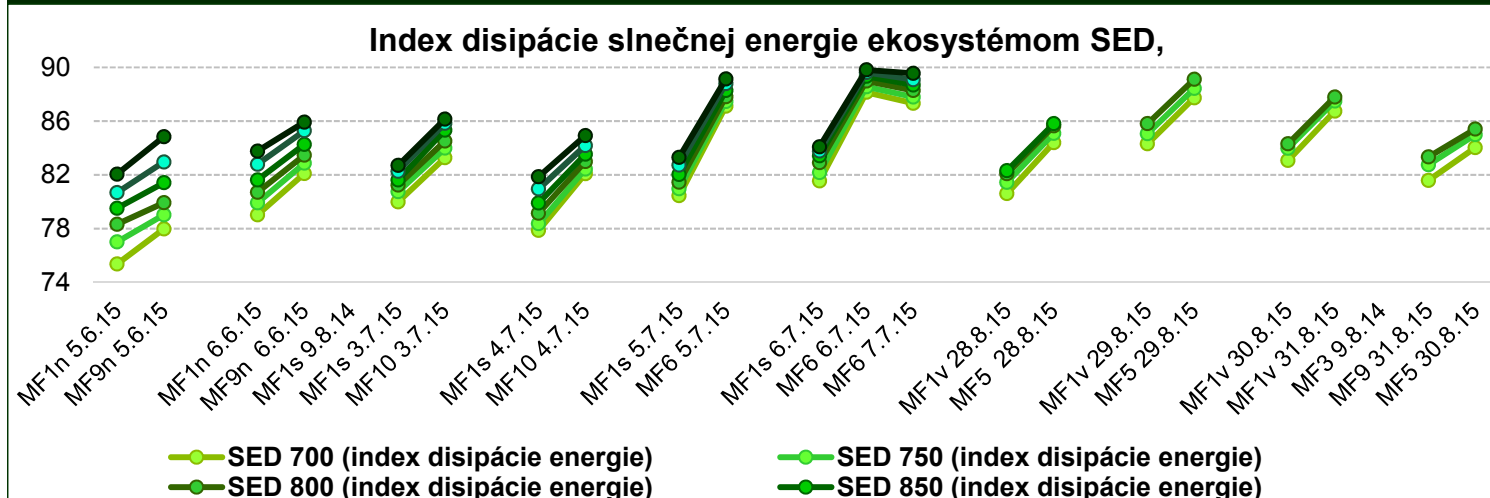
Účinnosť disipácie slnečnej energie rôznymi typmi nelesných ekosystémov



- SED Horná lúka MF1 5.6.15
- SED Horná lúka MF1 4.7.15
- SED Horná lúka MF1 5.7.15
- SED Horná lúka MF1 6.7.15
- SED Horná lúka MF1 29.8.15
- SED Horná lúka MF1 30.8.15
- Polynomický (SED Horná lúka MF1 5.6.15)
- Polynomický (SED Horná lúka MF1 4.7.15)
- Polynomický (SED Horná lúka MF1 5.7.15)
- Polynomický (SED Horná lúka MF1 6.7.15)
- Polynomický (SED Horná lúka MF1 29.8.15)
- Polynomický (SED Horná lúka MF1 30.8.15)

- SED Dolná lúka MF9 5.6.15
- SED Ekoton smrečina - lúka MF10 4.7.15
- SED Mokrad' MF6 5.7.15
- SED Mokrad' MF6 6.7.15
- SED Mokrad' MF5 29.8.15
- SED Mokrad' MF5 30.8.15
- Polynomický (SED Dolná lúka MF9 5.6.15)
- Polynomický (SED Ekoton smrečina - lúka MF10 4.7.15)
- Polynomický (SED Mokrad' MF6 5.7.15)
- Polynomický (SED Mokrad' MF6 6.7.15)
- Polynomický (SED Mokrad' MF5 29.8.15)
- Polynomický (SED Mokrad' MF5 30.8.15)

Disipácia a záchyt slnečnej energie ekosystémami podľa toku žiarenia



Interpretácia výsledkov

- ✓ pomerne vysoká hodnota proxy indikátorov SED aj SEC najmä pre mokrade, ale tiež pre lúky
- vysoký ekologický význam mokradí a lúk v horskej krajine

horná lúka MF1n 5.6.15 / dolná lúka MF9n 5.6.15
 horná lúka MF1n 6.6.15 / dolná lúka MF9n 6.6.15
 horná lúka MF1s 3.7.15 / ekotón smrečina – lúka MF10 3.7.15
 horná lúka MF1s 4.7.15 / ekotón smrečina – lúka MF10 4.7.15
 horná lúka MF1s 5.7.15 / veľká mokraď MF6 5.7.15
 horná lúka MF1s 6.7.15 / veľká mokraď MF6 6.7.15
 horná lúka MF1v 28.8.15 / malá mokraď MF5 28.8.15
 horná lúka MF1v 29.8.15 / malá mokraď MF5 29.8.15
 horná lúka MF1v 30.8.15 / malá mokraď MF5 30.8.15
 Horná lúka MF1v 31.8.15 / dolná lúka MF9v 31.8.15

Ellenbergove čísla	MF1	MF2	MF3	MF4	MF9	MF5	MF6	MF7	MF8	MF10
Ekočíslo 1 - Svetlo	7,25	7,25	7,07	7,16	7,23	7,22	7,50	7,14	6,87	6,59
Ekočíslo 2 - Teplo	4,87	4,78	5,02	4,76	4,72	4,83	4,62	4,98	5,04	4,06
Ekočíslo 3 - Kontinentalita	3,64	3,69	5,01	3,64	3,52	3,55	3,37	4,21	4,06	4,41
Ekočíslo 4 - Vlhkosť	5,29	5,23	6,11	5,38	5,31	7,10	8,15	6,10	5,84	5,42
Ekočíslo 5 - Pôdna reakcia	6,49	6,38	6,30	6,33	6,49	6,13	7,80	6,14	6,41	6,91
Ekočíslo 6 - Živiny	4,44	4,47	6,44	4,45	4,48	4,09	4,83	6,16	6,88	4,69

Indikácia funkčnej zložky ekologickej integrity

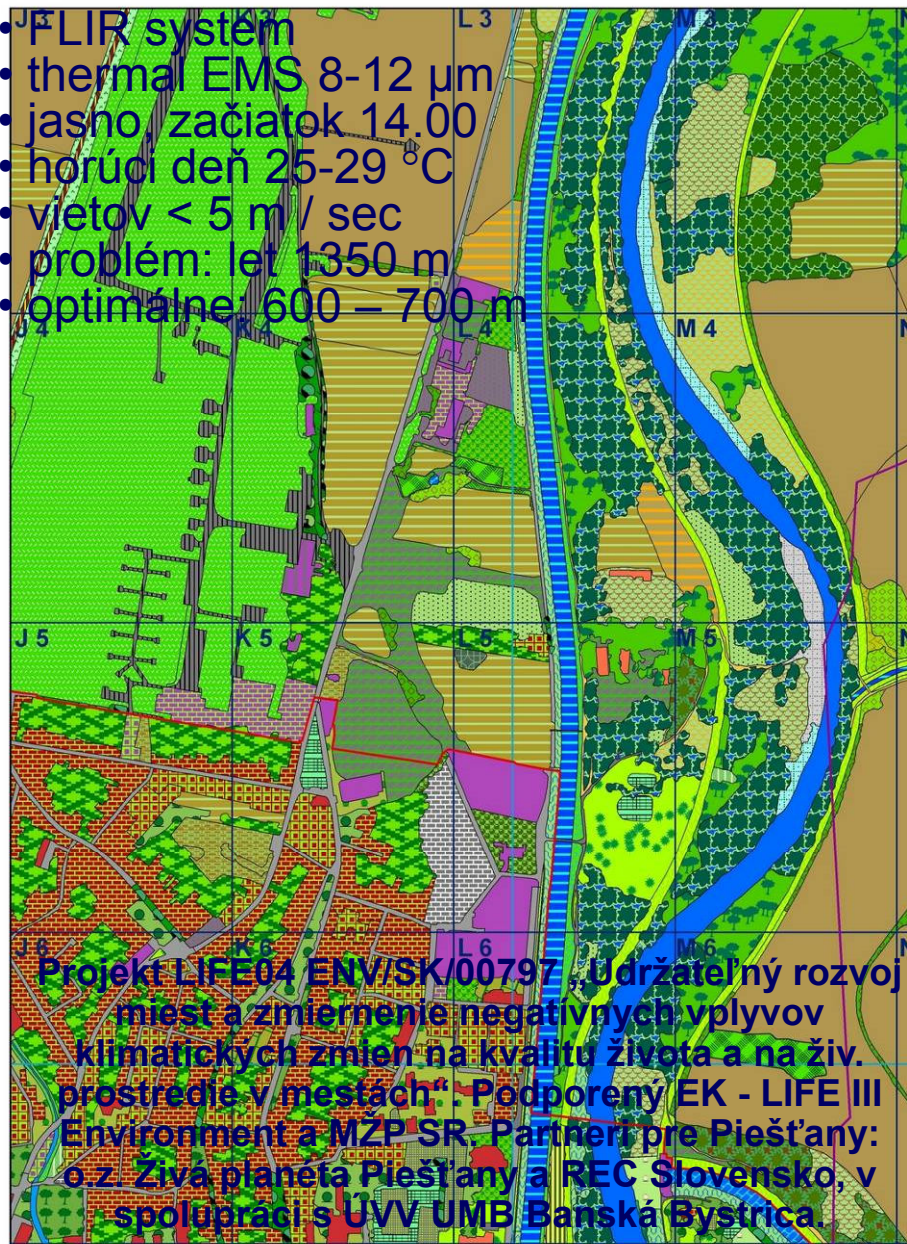
Index priemernej relatívnej účinnosti zachytu a využitia slnečnej energie pre povrchy v území Tematínske vrchy, výpočet bol realizovaný pre časový interval 11.30 – 13.30 hod

Stanovište a typ porastu (povrchu)	Priemer	Medián	Max	Min	Rozpätie	Odchýlka
T1 borovicový porast 20.8.	0,932	0,933	0,974	0,890	0,084	0,016
T1 borovicový porast 21.8.	0,964	0,965	1,000	0,927	0,073	0,016
T1 priemer borov. porast 20.-21.8.	0,948	0,949	0,987	0,908	0,079	0,016
T2 cerový porast 22.8.	0,939	0,940	0,972	0,884	0,088	0,016
T2 cerový porast 23.8.	0,915	0,914	0,951	0,889	0,062	0,012
T2 priemer cerový porast 22.-23.8.	0,927	0,927	0,962	0,887	0,075	0,014
T3 borievkové kroviny 20.8.	0,738	0,738	0,769	0,691	0,079	0,015
T4 xerothermný travinný 21.8.	0,458	0,469	0,490	0,384	0,106	0,026
T4 xerothermný travinný 22.8.	0,470	0,473	0,505	0,416	0,090	0,020
T4 xerothermný travinný 23.8.	0,470	0,474	0,515	0,387	0,128	0,024
T4 priemer xero. travinný 21.-23.8.	0,466	0,472	0,503	0,396	0,108	0,023
T5 odkrytý substrát 22.8.(RT)	0,079	0,067	0,219	0,000	0,219	0,071

- ❖ Ako referenčný ekosystém s najnižšou komplexitou sme zobrali odkrytý substrát (stanovište T5)
- ❖ Ako referenčný ekosystém s najvyššou možnou ekologickou komplexitou sme tu zobrali zmiešaný porast s prevahou borovíc, ktorý v danom čas. intervale najúčinnnejšie zachytáva a využíva slnečnú energiu
- ❖ Index SEC mal pre dané meteorologické podmienky väčšiu diskriminačnú silu ako index SEC, účinnosť disipácie sa zreteľne zvyšuje smerom od nižších sukcesných štádií k vyšším štádiám
- ❖ Rozdiely medzi hodnotami indexu SEC sa v smere sukcesie na hodnotenej lokalite postupne znižujú

Hodnotenie disipácie slnečnej energie a povrchovej teploty v krajine

- FLIR systém
- thermal EMS 8-12 μm
- jasno, začiatok 14.00
- horúci deň 25-29 $^{\circ}\text{C}$
- vietov < 5 m / sec
- problém: let 1350 m
- optimálne: 600 – 700 m



Legend to the map of the current land cover, Piešťany and surroundings, 2006

AREAS OF THE SETTLEMENTS, SPORT AND RECREATION

- Continuous urban built-up area of flats and services, vegetation sporadically (max. up to 15%)
- Discontinuous urban built-up area combined with small stands of vegetation (15 - 35%)
- Discontinuous, dispersed built-up area of flats combined with larger stands of vegetation (35-50%)
- Streets, roads and parking places
- Parking places shaded by trees
- Sport grounds, mostly without vegetation, e.g. tennis courts, asphalt grounds
- Sport grounds with vegetation, in particular sport stadiums
- Continuous built-up area of sport, spa and recreation objects, vegetation sporadically (max. up to 15%)
- Discontinuous built-up area of sport, spa and recreation objects, with small stands of vegetation (15-35%)
- Discontinuous, dispersed built-up area of sport, spa and recreation objects with larger stands of vegetation (35-50%)
- Water areas of swimming pools

- Urban housing estates vegetation with predominance of wood species
- Urban housing estates vegetation with predominance of herbs and grasses
- Gardens close to houses, predominantly with fruit trees
- Gardens close to houses, predominantly ornamental
- Tree lined avenues, alleys
- Park areas with predominance of wood species
- Park areas with predominance of herbs and grasses
- Cemeteries
- Gardens in the allotments and cottage settlements
- Vegetation of the scattered cottage areas
- Vegetation of the camp grounds and water pool areas
- Golf playgrounds

AREAS OF THE TECHNICAL AND TRANSPORT FACILITIES

- Continuous built-up area of industrial buildings, stores, technical objects, vegetation sporadically (up to 15%)
- Discontinuous built-up area of industrial, technical and store buildings, small stands of vegetation (15-30%)
- Discontinuous built-up area of industrial, technical and store buildings, larger stands of vegetation (30-50%)
- Roads and parking lots inside industrial and technical areas
- Continuous built-up area with service buildings, stations, hangars
- Railways and railway embankments without vegetation
- Highways, motorways, landing fields and runways, parking places
- Construction sites
- Minerals extraction sites

AREAS OF THE AGRICULTURAL CROPS AND SEMINATURE

- Intensively cultivated large blocks of fields
- Extensively cultivated small blocks of fields
- Fallows
- Currently utilized vineyards
- Abandoned vineyards
- Currently utilized orchards
- Abandoned orchards
- Groups of wood species and shrubs
- Tree lined plant stands, e.g. hedgerows, windbreaks
- Wider belts of the forest-shrub vegetation
- Important solitary trees
- Field paths

FORESTS AND SHRUBS (INCL. WATER BANK VEGETATION)

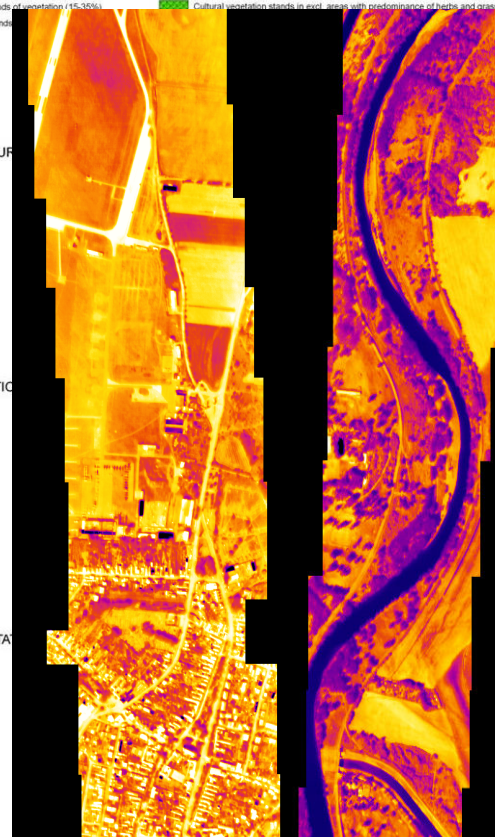
- Willow-poplar floodplain forests
- Oak - elm - ash tree floodplain forests
- Ash tree - alder submountain floodplain forests
- Oak - hornbeam forests
- Oak - sycamore forests
- Thermophilous submediterranean oak forests
- Xerophilous and acidophilous oak forests
- Oak forests
- Beech forests
- Lime tree - maple forests
- Pine cultures (with Pinus nigra)
- Pine cultures (with Pinus sylvestris)
- Spruce cultures (Picea abies)

WATERS, WETLANDS AND NON-FOREST BANK VEGETATION

- Streams and (eventually) their narrow herb rims
- Rivers and (eventually) their narrow herb rims
- Canals and regulated water courses
- Water dams and material pits filled with water
- Shallow water dams and cut-off water arms with vegetation
- Reed stands of the calm waters and wetlands
- Communities of high sedges
- Littoral vegetation of water dams
- Wider herb rims of lowland streams (above 2 m)
- Ruderalized herb rims along water streams and water dams

BOUNDARIES OF THE ZONES EVALUATED

- Boundary of the built-up area of Piešťany - 1st evaluated zone
- Boundary of the Piešťany cadastre - 2nd evaluated zone
- Boundaries of more natural zones around Piešťany town - 3rd evaluated zone
- Boundary of the evaluated pilot area Piešťany



Termovízne snímky získané termickou kamerou

2) Teplota povrchu a teplotná odozva ako indikácia ekokomplexity

Ďalšie proxy indikátory

1) priem. povrchová teplota

2) teplotná pufráč. kapacita

$$TBC = \Delta t / \Delta T_{\text{povrchu}}$$

3) strmosť = $T_{\text{pov}} / \Delta T_{\text{pov}}$
príp. STDV – štandard. odchýlka

4) V prípade zalietania a snímania územia termokamerou v 2 rôznych časových okamihoch sa dá tiež vypočítať teplotná odozva

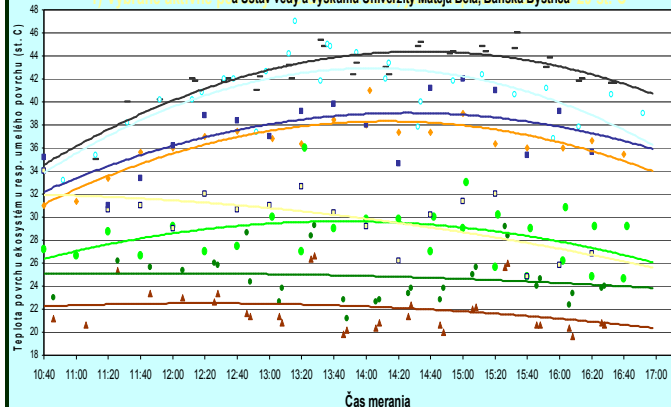
$$TRN = (TRN) = (\sum_{t1,t2} R_n \Delta t) / \Delta T,$$

Pozemné meranie teplôt povrchu ekosystémov a umelých povrchov Piešťany a okolie, 1., 6. a 7. 9. 2005 (merané kontaktným teplomerom AutoPro Raytec)

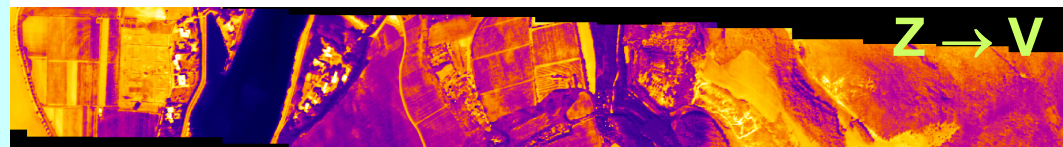
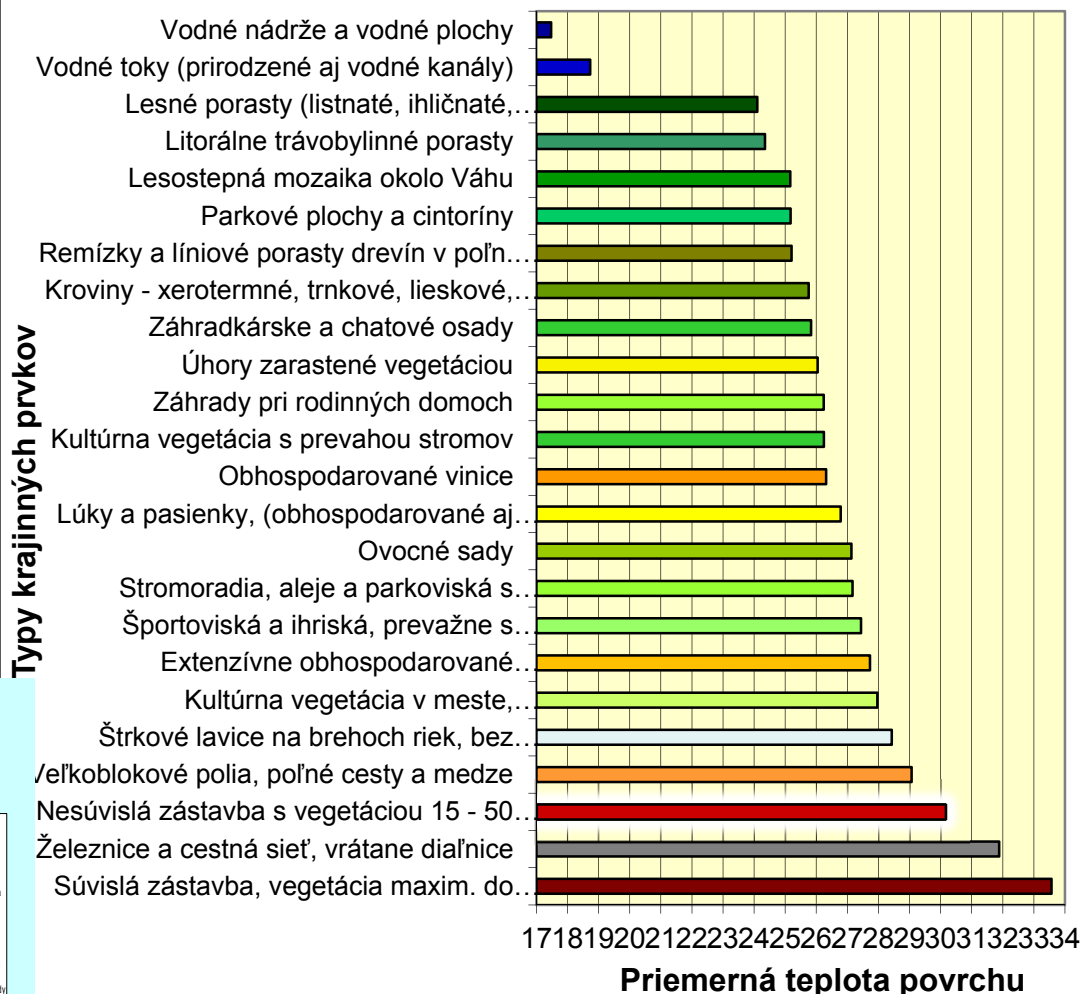
Projekt LIFE 04 ENV/SK/000797 UrbEco Footprint

© Koordinácia meraní a spracovanie výsledkov: Peter Sabo, o.z. Živá planéta, Piešťany

1) Vybrané údaje pre Ústav vedy a výskumu Univerzity Mateja Bela, Banská Bystrica



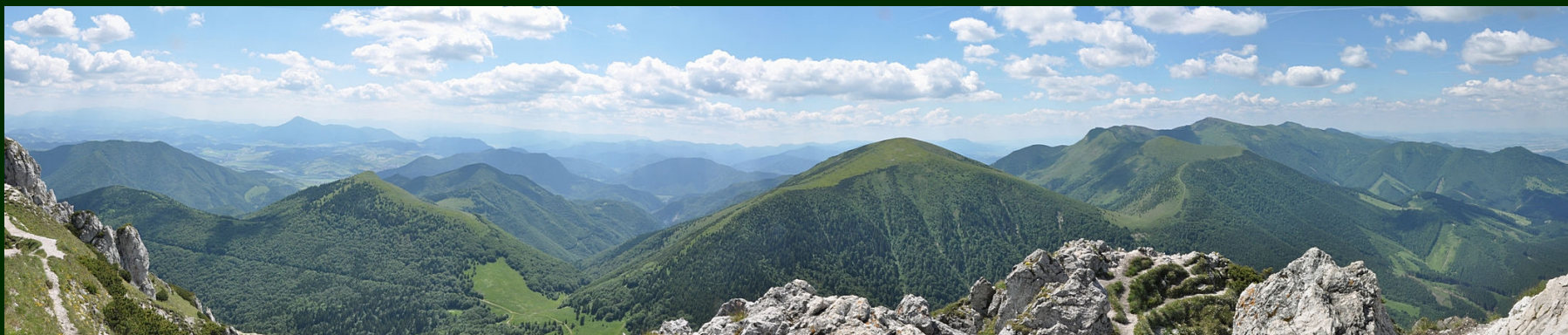
Priemerná teplota polygónu (pás 4)



Termovízna snímka z regiónu Piešťan zo dňa 6.9.2006, náletové koridory č. 4 a 5
Projekt LIFE 04 ENV/SK/00797 UrbEco Footprint (dodávateľ snímok: Photomap s.r.o.)

Ekologická integrita (EI) ako odpoveď na ekologickú komplexitu

EI je miera schopnosti ekologického systému fungovať spontánne na báze pôvodných autoorganizačných a autoregulačných mechanizmov a súčasne pri zachovaní pôvodného resp. prirodzeného zloženia jeho prvkov



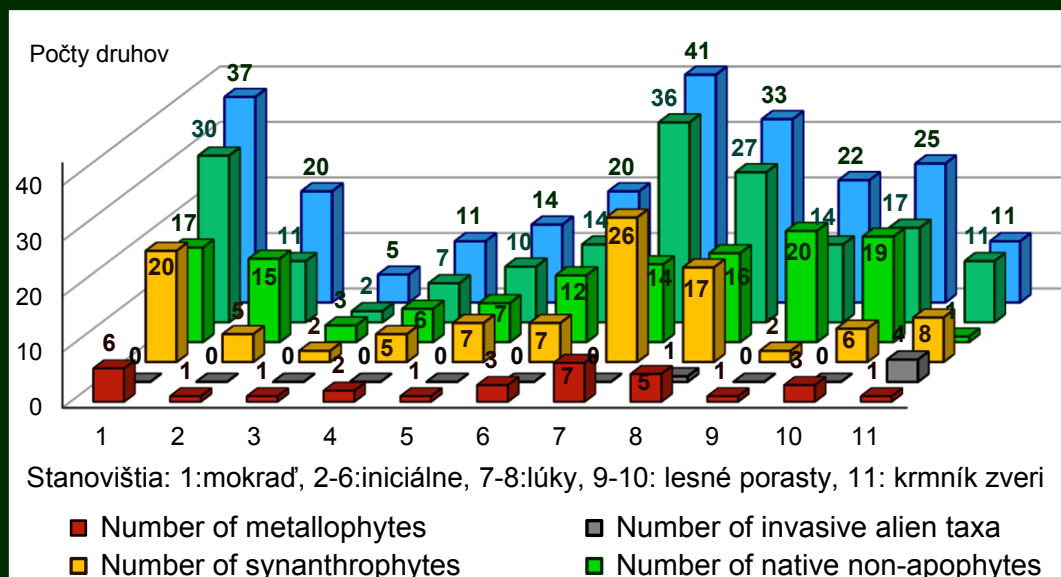
- celistvosť (úplnosť) systému
- usporiadanie, funkčnosť celku
- neporušenosť (bez poškodenia)
- emergentné vlastnosti (vynárané)

→ ekologická integrita ako „miera zdravia“ ekologického systému

Ekologická integrita je nepriamo úmerná ekologickej vzdialenosti hodnoteného ekosystému k porovnateľnému referenčnému prírodnému vzoru

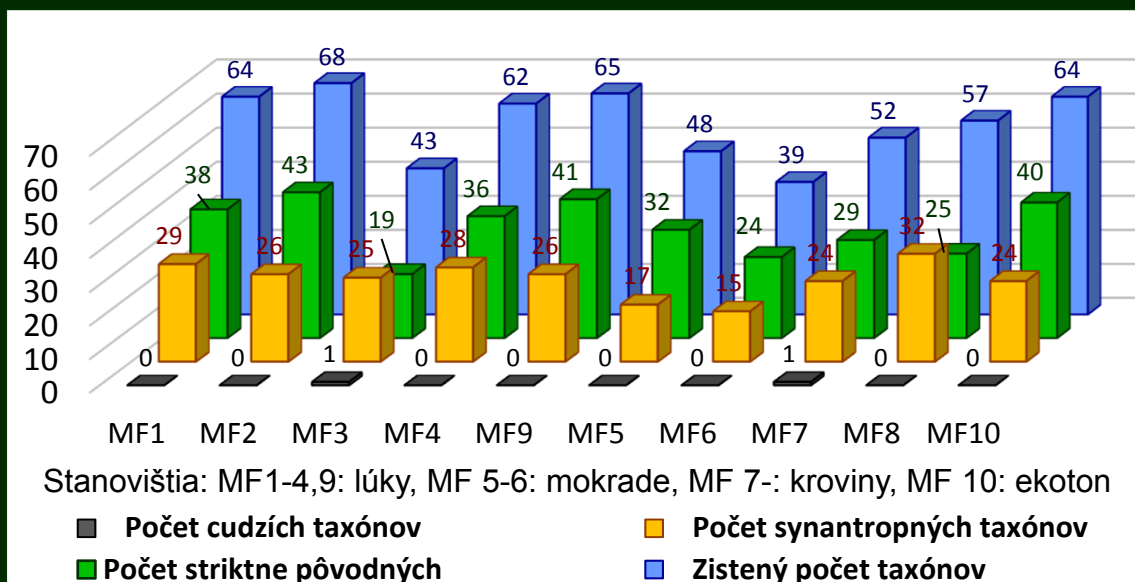
- ✓ Čím nižšia je táto vzdialenosť, tým vyššia bude EI systému a naopak
- ✓ EI je mierou „ekologickej autenticity“ fyzickej štruktúry a správania v daných podmienkach

Horizontálny štruktúrny rozmer ekologickej komplexity proxy indikátor: druhová diverzita cievnatých rastlín



Determinovali sme 94 taxónov cievnatých rastlín, z toho 11 metalofytov, 13 cudzích taxónov a 52 synantropných (podľa JURKA 1990). Úbytok β diverzity smerom k vyšším sukcesným štádiám odráža stabilizáciu ekologických podmienok (TURISOVÁ, SABO et al. 2015)

Determinovali sme 136 taxónov cievnat. rastlín, z toho 9 zaradených v 5. edícii Červeného zoznamu (ELIÁŠ et al. 2014), Najvyššiu druhovú diverzitu mali lúky (s výnimkou MF3) a ekoton smrečina - lúka. Najvyššie zastúpenie synantropných taxónov (podľa JURKA 1990) bolo v krovinatých medziach a na lúkach, čo odráža využívanie tohto územia ako ornej pôdy v prvej polovici 20. storočia (SABO & ŠKODOVÁ, 2016)



Proxy indikátory štrukturálneho rozmeru ekologickej komplexity

Odporúčame Hillove čísla / „pravdivé indexy diverzity“ (Jost 2006; Tuomisto 2011).

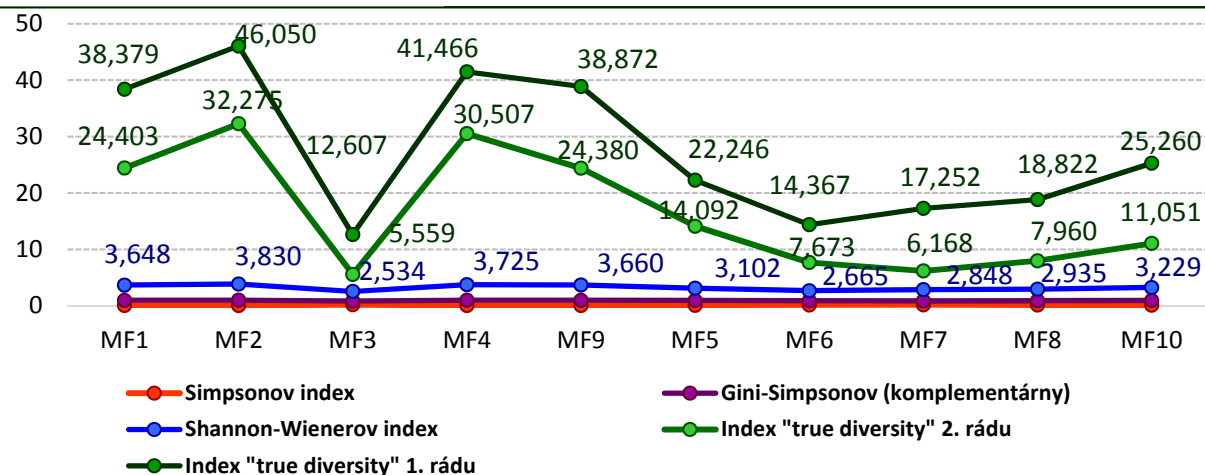
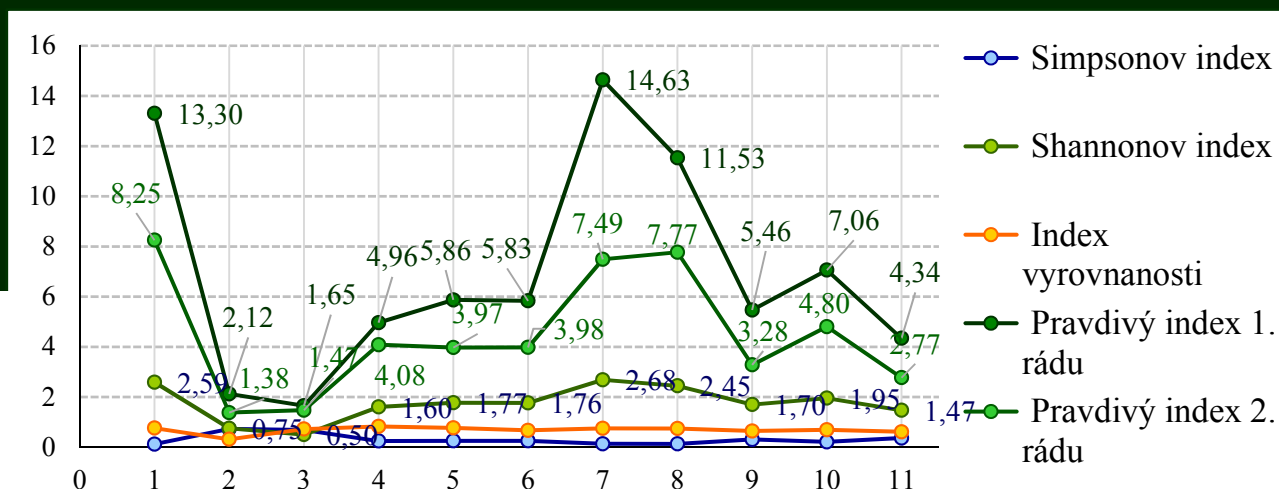
Pravdivý index diverzity 1. rádu odvodíme zo Shannonovho indexu:

$${}^1D = \exp(H) = \exp \left[- \sum_{i=1,S} (n_i / N) * \log_2 (n_i / N) \right]$$

Pravdivý index diverzity 2. rádu odvodíme zo Simpsonovho indexu:

$${}^2D = 1 / \sum_{i=1,S} (n_i / N)^2$$

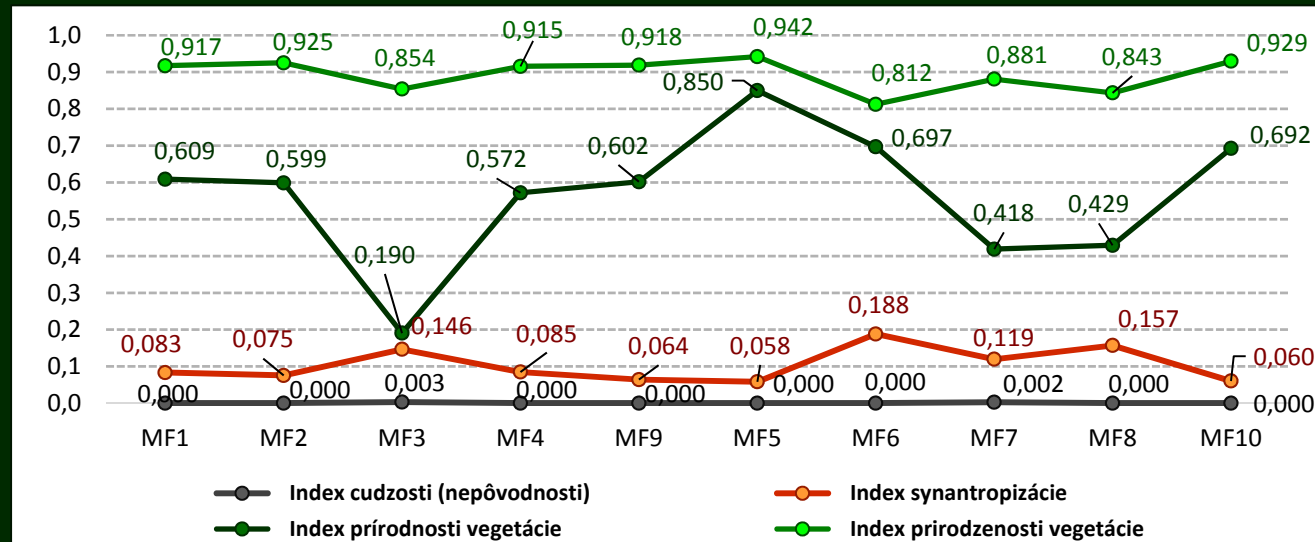
Porovnanie rôznych indexov druhovej diverzity na príklade 11 stanovišť na starých banských haldách (TURISOVÁ et al. 2015).



Porovnanie rôznych indexov druhovej diverzity na príklade 10 stanovišť v komplexe, lúk, mokradí, krovín a lesného ekotonu (SABO & ŠKODOVÁ 2016).

Proxy indikátory horizont. štruktúrálnej ekologickej integrity – index cudzosti, synantropizácie a prírodnosti (divočiny)

Podstatou hodnotenia ekologickej integrity (EI) je určenie „ekologickej vzdialenosti“ k normatívu prírodnej krajiny (divočiny), v rámci funkčnej, štruktúrálnej a časovej dimenzie.



Index cudzích druhov

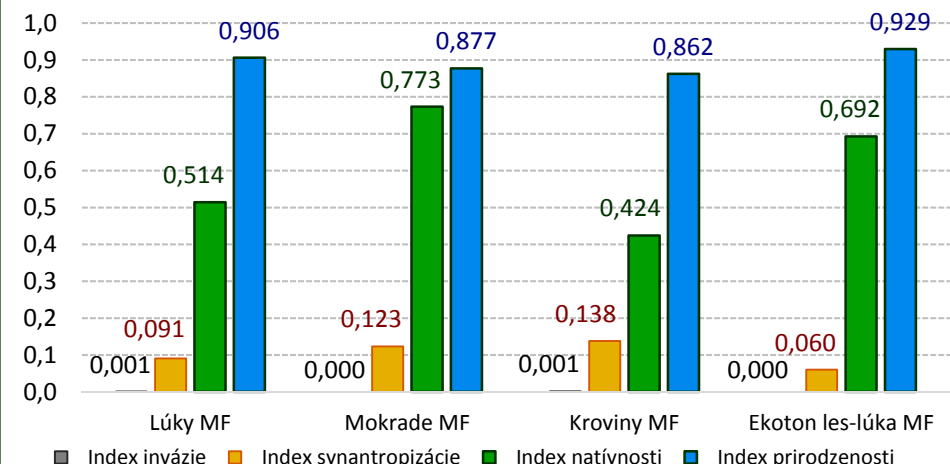
$$ALI = \left\{ \left[\sum_{i=1}^{A1} (\text{invázny}_i * w_1) + \sum_{k=1}^{A2} (\text{náhodný}_k * w_2) + \sum_{m=1}^{A3} (\text{neofyt}_m * w_3) + \sum_{r=1}^{A4} (\text{archeofyt}_r * w_4) \right] / N + [A1 + A2 + A3 + A4] * w_5 / S \right\} / 2,$$

Index synantropných druhov

$$SYN = \left\{ \left[\sum_{i=1}^{Y1} (\text{obligátorne_synantropný}_i * w_6) + \sum_{k=1}^{Y2} (\text{fakultatívne_synantropný}_k * w_7) + [Y1 + Y2] * w_8 \right] / S \right\} / 2,$$

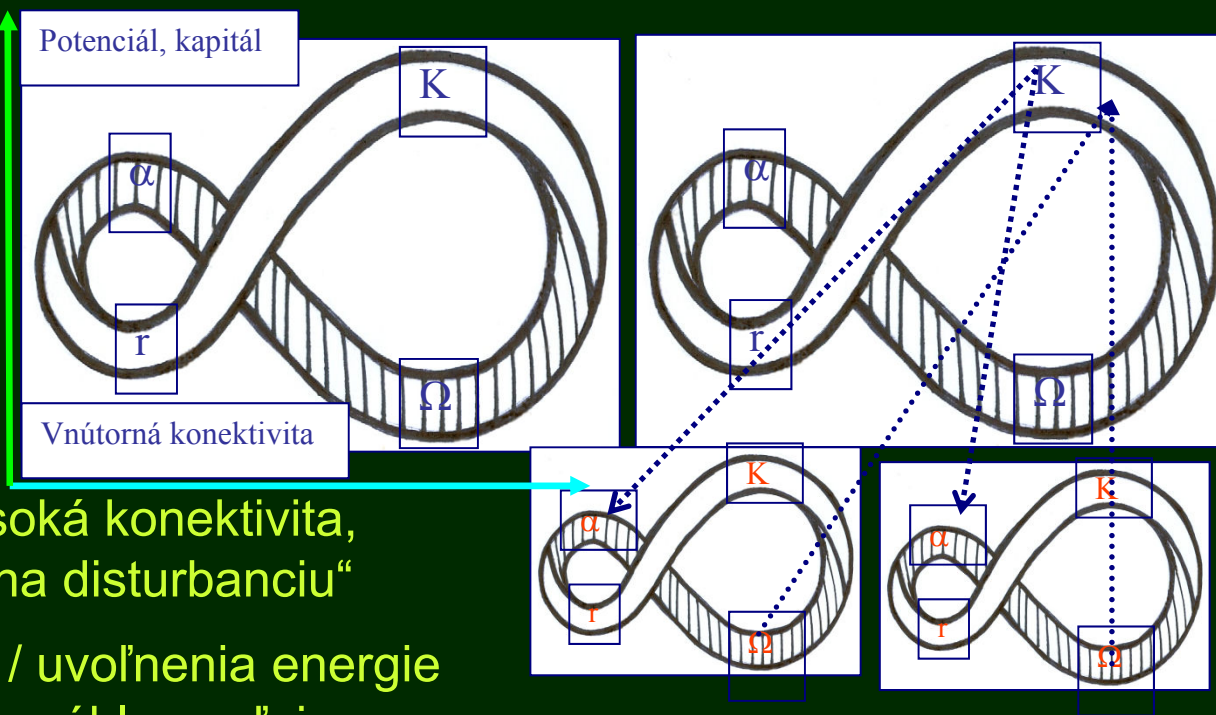
Index pôvodných druhov (index prírodnosti)

$$NAT = \left[\left(\sum_{i=1}^{S_{nat}} (\text{pôvodný_neapofyt}_i) * w_{11} / N + (S_{nat} / S) * w_{12} \right) \right] / 2,$$



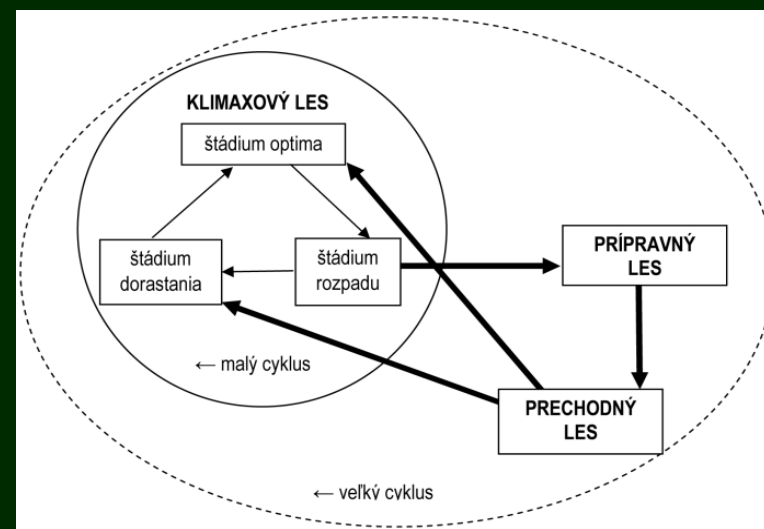
Hollingov adaptívny vývojový cyklus

1. fáza rastu – r , intenzívne využívanie dostup. zdrojov, akumulácia biomasy
2. fáza konzervácie – K , vysoké zásoby energie, vysoká konektivita, nižšia reziliencia, „čakanie na disturbanciu“
3. fáza „tvorivej deštrukcie“ / uvoľnenia energie – Ω , akumulované zdroje sa náhle uvoľnia
4. fáza reorganizácie / obnovy – α – regenerácia, ale aj možnosť inovácií



Vzťah k malému cyklu lesa

- ✓ Fáza r – štádium dorastania
- ✓ Fáza K – štádium optima
- ✓ Fáza Ω – štádium rozpadu
- ✓ Fáza α – regeneračné procesy medzi štádiom rozpadu a štádiom dorastania



Hollingov adaptívny cyklus ekosystému, panarchia: vnáranie cyklov nižších hierarchií do hierarchicky vyšších cyklov vz. **vývojové cykly lesa.** Podľa GUNDERSON & HOLLING 2012 a podľa KORPEL'1989

Hollingov cyklus → ekologický význam disturbancií

- ✓ uvoľnenie naakumulovanej energie, nové niky pre druhy detrit. reťazca
- ✓ rozrušenie existujúcej organizácie
- ✓ dočasné zmeny štruktúry bioty
- ✓ aktivácia biologického dedičstva
- ✓ inovácie pri reorganizácii systému
- ✓ dynamika ako základ rovnováhy

verzus

- ✓ ďalšie rozrušenie abiotických a biotických procesov
- ✓ redukcia biologického dedičstva
- ✓ úbytok biodiverzity a riziko kolapsu
- ✓ zvýšené riziko invázií
- ✓ narušenie prirodzenej obnovy populácií
- ✓ vyššia zraniteľnosť voči disturbanciám



Posmršťový biotop v Tichej doline v roku 2008. Foto: © Paula Grivalská



Pokusný ekologický termodynamický zákon

„Ak do systému vstupuje tok voľnej energie, v kombinácii s evolučne a historicky naakumulovanou informáciou, systém sa bude usilovať využiť ho na svoj posun ďalej od bodu termodynamickej rovnováhy.

Ak je k dispozícii viac kombinácií a procesov ako túto exergiu využiť, vyberie sa taká organizácia, ktorá za existujúcich okolností umožní posun systému čo najďalej od bodu termodynamickej rovnováhy“

(Jørgensen et al., 2007)

Čo to vlastne znamená?

Autoorganizujúci sa živý systém sa spontánne „usiluje“ o maximálne využitie dostupnej voľnej kvalitnej energie a ďalších prírodných zdrojov

- ✓ Evolúcia ekosystému vedie k „výberu“ „optimálnych“ kombinácií prvkov systému a ich vzťahov – k výberu takých disipatívnych štruktúr a procesov, ktoré umožňujú maximalizovať obsah energie a súčasne čo najviac energie spotrebúvať (disipovať)
- ✓ Evolúcia živých prvkov ekosystému – mikroorganizmov, rastlín, húb a živočíchov prebieha v kontexte evolúcie hierarchicky vyššieho živého systému – ekosystému, pričom spontánne smeruje k zabezpečeniu funkcií tohto celku

Niektoré odporúčania pre manažment ekosystémov

V nerovnovážnej perspektíve je podstatou evolúcie aj homeostázy systému neustála vysoká dynamika jeho komponentov

Niektoré odporúčania pre manažment ekosystémov:

- ✓ *Vnímať prirodzenú zložitosť ekosystémov ako podmienku ich vitality a funkčnosti, ktorá môže zvyšovať ich rezilienciu voči globálnym zmenám (aj voči zmene klímy)*
- ✓ *Zachovať / obnoviť prirodzenú biodiverzitu ako poistku funkčnosti ekosystémov*
- ✓ *Uchovať viac energie v ekosystémoch prostredníctvom vyšších sukcesných štádií a zvýšiť ich rezilienciu prostredníctvom mozaiky rôznych sukcesných štádií v krajine*
- ✓ *Cieľom starostlivosti o prírodné ekosystémy (vo vyššom stupni ochrany) nemá byť riadenie samovoľných procesov, ale skôr ich ochrana, regulácia zásahov človeka*
- ✓ *Reflektovať teóriu nerovnovážnej paradigmy a nerovnovážnej termodynamiky živých systémov v praxi starostlivosti o ekosystémy (napr. zvažovať zmeny disipácie energie)*
- ✓ *Vnímať disturbancie nie ako spúšťač rozpadu ekosystému ale ako nevyhnutný a prirodzený proces náhleho uvoľnenia v ekosystéme nahromadenej energie*
- ✓ *Vyvarovať sa antropogénnych post-disturbančných zásahov v prírodných ekosystémoch, ktoré môžu výrazne narušiť prirodzené regeneračné procesy*
- ✓ *Autopoietické siete života presahujú chránené územia. Je potrebné chrániť a obnoviť konektivitu biotopov nielen v chránených územiach, ale aj mimo nich*
- ✓ *Zložitosť a ontická otvorenosť života si vyžaduje adaptívne spravovanie ekosystémov*

Nevyhnutné je súbežné riešenie problémov na viacerých úrovniach

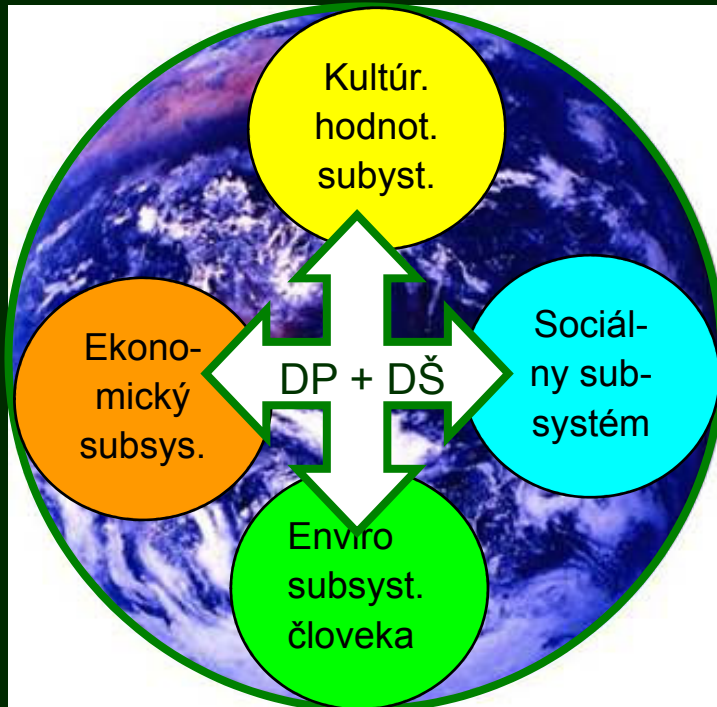
Odporúčania pre využívanie prírodných zdrojov a ekosystémových služieb:

- ✓ *Vnímať globálny kontext a planetárne prahy život udržujúcich systémov Zeme*
- ✓ *Stanoviť „prahy bezpečia“ pre regionálne SE systémy (napr. pre Karpaty, Slovensko, veľké povodia, pre národné parky), monitorovať riadiace premenné a spätné väzby*
- ✓ *Vnímať zložité interakcie medzi ekologickými a sociálno-ekonomickými procesmi s cieľom znížiť neudržateľne vysokú entropizáciu ekosystémov, i Zemského ekosystému*
- ✓ *Mapovať a hodnotiť ekosystémové služby, podporiť vždy širšie spektrum služieb*
- ✓ *Využiť teóriu proxy indikátorov funkčnej a štrukturálnej zložky ekologickej zložitosti a integrity za účelom porovnávania ekosystémov, rozvíjať koncepciu indikátorov*

Odporúčania pre zmenu smerovania spoločnosti:

- ✓ *Revidovať koncepciu udržateľnosti na báze biofyzikálnych a sociálnych limitov*
- ✓ *Zvrátiť konzumné smerovanie UR, ktoré deštruuje ekosystémy aj spoločnosť*
- ✓ *Nastúpiť vývoj podporujúci zvyšovanie nemateriálnej kvality ľudského života*
- ✓ *Vytvárať niky umožňujúce tvorivú sebarealizáciu a naplnenie života človeka*
- ✓ *Národné parky majú byť v rozumnej miere prístupné ľuďom, chránené územia nie sú iba refúgiá biodiverzity a pôvodných procesov, ale aj nositelia ďalších hodnôt.*

Udržateľný rozvoj inak: rešpektovanie ekologických a sociálnych limitov



Udržateľný je taký vývoj spoločnosti, ktorý zabezpečuje napĺňanie ľudských potrieb nevyhnutných pre dôstojný život, pričom chráni, podporuje a obnovuje život v celej jeho šírke, vrátane život udržujúcich systémov a ochrany integrity dotknutých ekologických, sociálnych a kultúrnych systémov



„Sme časťou tejto zeme a ona je časťou nás. Voňavé kvety sú naše sestry; jeleň, kôň, bielohlavý orol sú naši bratia. Skalnaté hrebene, šťavy lúk, teplo poníkovho tela i človek – všetci patria do tej istej rodiny. ... Jednu vec vieme. Zem nepatrí človeku; človek patrí zemi. Vieme aj to, že všetky veci sú spojené tak, ako krv spája jednu rodinu. Všetky veci sú spojené. Čokoľvek postihne zem, postihne aj synov zeme.“

Z reči náčelníka Dwanišov Seattla v roku 1854 (SEED et al. 1993)

Spracované v rámci grantových projektov
KEGA č. 036UMB-4/2018
a VEGA č. 2/0040/17

Vďaka za pozornosť
peter.sabo@umb.sk



Literatúra

- ADAMI CH., OFRIA CH. & COLLIER T.C., 2000. Evolution of biological complexity. *PNAS*, vol. 97, No. 9, pp. 4463 – 4468.
- AERTS R., WAGENDORP T., NOVEMBER E., BEHAILU M., DECKERS J. & MUYS B., 2004: Ecosystem Thermal Buffer Capacity as an Indicator of the Restoration Status of Protected Areas in the Northern Ethiopian Highlands. *Restoration Ecology*, 12, No.4, pp. 586-596.
- ALLEN C. R. & HOLLING C. S. 2010. Novelty, adaptive capacity, and resilience. *Ecology and Society* 15/3: 24. [online], cit. 12-10-10, <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss3/art24/>
- ANAND M., GONZALES A., GUICHARD F., KOLASA J. & PARROT L., 2010. Ecological systems as complex systems: challenges for an emerging science. *Diversity*, 2: 395–410.
- von BERTALANFFY, L., 1968. General System Theory, Foundations, Development and Applications, George Brazillier, New York, 365 pp.
- BROWN, E.D. & WILLIAMS B.K., 2016. Ecological integrity assessment as a metric of biodiversity: are we measuring what we say we are? *Biodiversity Conservation* 25 (2016): 1011-1035.
- BURKHARD B., KANDZIORA M., HOU Y. & MÜLLER F., 2014. Ecosystem Service Potentials, Flows and Demands – Concepts for Spatial Localisation, Indication and Quantification. *Landscape online* 34 (2014): 1-32.
- CAIN M.L., BOWMAN W.D. & HACKER S.D., 2014. Ecology. Third Edition. Sinauer Associates, ISBN-13: 978-0878939084, 596 pp.
- COLINVAUX P.A., DE OLIVEIRA P.E., MORENO J.E., MILLER M.C. & BUSH M.B., 1996. A long pollen record from lowland Amazonia: forest and cooling in glacial times. *Science* 274 (5284): 85–88.
- COSTANZA R., DE GROOT R., SUTTON P., VAN DER PLOEG S., ANDERSON S.J., KUBISYEWski I., FARBER S. & TURNER R.K., 2014. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26 (May 2014), s.152-158.
- CREATIVE COMMONS BY 2.0, 2018. Attribution 2.0 Generic (CC BY 2.0). [online], https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/deed.en_GB
- CREATIVE COMMONS BY 2.5, 2018. Attribution 2.5 Generic (CC BY 2.5). [online], <https://creativecommons.org/licenses/by/2.5/>
- DEFOLIART G., 1999: Insetcts as Food: Why the Westen attitude is important. *Annual Rev. Entomol.*44: 21-50.
- DE GROOT R.S., ALKEMADE R., BRAAT L., HEIN L. & WILLEMEN L., 2010: Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity* 7 (2010): 260-272.
- EEA, 2017: Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. European Environment Agency, Luxembourg, ISBN 978-92-9213-836-3, 419 pp.
- ELIÁŠ P. JUN, DÍTĚ D., KLIMENT J., HRIVNÁK R & FERÁKOVÁ V., 2015: Red list of ferns and flowering plants of Slovakia, 5th edition (October 2014)*, Electronic Appendix 1. *Biologia* 70 (2): 218 – 228.
- GAO Y., SKUTSCH M., MASERA O. & PACHECO P. A *global analysis of deforestation due to biofuel development*. Working Paper 68. Bogor, Indonesia: CIFOR, 2011. – 100 pp.
- GELATIČOVÁ, K. & ŠIBÍK J., 2015. Vývoj zmladenia smrekového lesa po gradácii podkôrníkov pri rôznych režimoch manažmentu. *Bulletin Slovenskej Botanickej Spoločnosti*, 37 (1): 69–85.

Literatúra - 2

- GUNDERSON L.H. & HOLLING C.S., 2012: Panarchy. Understanding Transformations in Human and Natural Systems. Island Press, ISBN: 9781559638579, 450 pp.
- HEYLIGHEN, F., 1999. The growth of structural and functional complexity during evolution. In HEYLIGHEN, F., BOLLEN, J., RIEGLER, A. (eds). *The evolution of complexity*. Dordrecht: Kluwer Academic, p. 17–44.
- HESSLEROVÁ P. & POKORNÝ J., 2010: The synergy of solar radiation, plant biomass, and humidity as an indicator of ecological functions of the landscape: A case study from Central Europe. *Integrated Environmental Assessment and Management* 6, Issue 2 , pp. 249-259.
- HOLLING C. S. 2001: Understanding the Complexity of Economic, Ecological and Social Systems. *Ecosystems* 4: 390–405.
- HOLLING C. S. 2004: From Complex Regions to Complex Worlds. *Ecology and Society* 9/1: 11, [online], cit. 2017-10-10, URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art11/>, cit. 2012-08-15.
- JØRGENSEN S.E., 2012: Introduction to Systems Ecology. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA, 320 s.
- JØRGENSEN S.E., FATH B.D., BASTIANOVÍ S., MARQUES J.C., MÜLLER F., NIELSEN S.N., PATTEN B., TIEZZI E. & ULANOWICZ R.E., 2007: A New Ecoogy. Systems Perspective. Elsevier, Oxford, UK, Amsterdam, The Netherlands, ISBN 978-0-444-53160-5, 275 pp.
- KAY J. J., 2000: Ecosystems As Self-Organizing Holarchic Open Systems: Narratives and the Second Law of Thermodynamics, In: Jorgenses,S.E., Müller, F. (eds): Handbook of Ecosystem Theories and anagement, CRC Press –Lewis Publishers, pp. 135-160.
- KORPEL, Š., 1982. Degree of equilibrium and dynamical changes of the forest on example of natural forests of Slovakia. *Acta Facultatis Forestalis Zvolen*, 24: 9–30.
- KRÁL K., DANĚK P., JANÍK D., KRŮČEK M. & VRŠKA P., 2018. How cyclical and predictable are Central European temperate forest dynamics in terms of development phases? *Journal of Vegetation Science*, 29: 84–97.
- LEVIN S.A., 2005: Self-organization and the Emergence of Complexity in Ecological Systems. *BioScience* 55, No. 12, pp. 1075 – 1079.
- LIN H. CAO M., STOY P.C. & ZHANG Y., 2009. Assessing self-organization of plant communities – a thermodynamic approach. *Ecological Modelling*, vol. 220, No. 6,, pp. 784-790., 740 p.
- LINDENMAYER, D., THORN, S., BANKS, S., 2017. c. *Nature, Ecology & Evolution*, 1 (3): 31. [cit. 06-20-2010]. <https://www.nature.com/articles/s41559-016-0031.pdf>
- LOVELOCK, J., 1991: GAIA, The Practical Science of Planetary Medicine, Gaia Books Ltd, Somerset, UK, ISBN 1-85675-040-X, 192 pp.
- MAES W.H., PASUYSEN T., TRABUCCO A., VEROUSTRAETE F. & MUYS B., 2011: Does energy dissipation increase with ecosystem succession? Testing the ecosystem theory combining theoretical simulations and thermal remote sensing observations. *Ecological Modelling* 222: 3917-3941.
- MAKARIEVA A. & GORSHKOV V., 2010: The Biotic Pump: Condensation, atmospheric dynamics and climate. *International Journal of Water*. 5 : 365-385.
- MEDVECKÁ J., KLIMENT J., MÁJEKOVÁ J., HALADA Ľ., ZALIBEROVÁ M., GOJDIČOVÁ E., FERÁKOVÁ V. & JAROLÍMEK I., 2012: Inventory of the alien flora of Slovakia.. *Preslia* 84: 257–309.

Literatúra – 3

MÍCHAL, I., 1994. Ekologická stabilita. Brno: Veronica. 275 p.

MUYS B., 2013: Sustainable development within Planetary Boundaries: A Functional Revision of the Definition Based on the Thermodynamics of Complex Social-Ecological Systems. *Challenges in Sustainability*, vol. 1, No.1, pp. 41-52.

NOBRE, C.A. & BORMA, L.S., 2009: Tipping points for the Amazon forest. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Vol. 1, No. 1, Elsevier Sci Ltd, pp. 28-36.

NOVÁČEK, P., 2010: Udržitelný rozvoj. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta. Olomouc, 430 s.

ODUM E.P., 1977: Základy ekologie (Ecology),. Academia, Praha, 736 s.

OLIVER T.H., HEARD M.S., ISAAC N.J.B., ROY D.B., PROCTER D., EIGENBROD F., FRECKLETON R., HECTOR A., ORME C.D.L., PETCHEY O.L., PROENÇA V., RAFFAELLI D., SUTTLE K.B., MACE G.M., MARTÍN-LÓPEZ B., WOODCOCK B.A. & BULLOCK J.M., 2015: Biodiversity and Resilience of Ecosystem Functions. *Trends in Ecology & Evolution* 30 (11): 673-684.

PLESNÍK, J., 2010. Příroda jako proudící mozaika. Co přinesly novější poznatky ekosystémové ekologie [Nature as a flowing mosaic. What recent knowledge in ecosystem science has revealed]. *Ochrana Přírody*, 65 (3): 27–30.

PRIMACK R. B., KINDLMANN P. & JERSÁKOVÁ J., 2011. Úvod do biologie ochrany přírody. Portál, Praha, ISBN 978-80-7367-595-0, 466 pp.

PROULX R., 2007. Ecological complexity for unifying ecological theory across scales: A field ecologist's Perspective. *Ecological Complexity* 4/3. 85–92.

ROCKSTRÖM, J., STEFFEN, W., NOONE, K., PERSSON, Å, CHAPIN, F. S., LAMBIN, E., LENTON, T.M., SCHEFFER, M., FOLKE, C., SCHELLNHUBER, H.C.J., NYKVIST, B., DE WIT, C.A., HUGHES, T., VAN DER LEEUW, S., RODHE, H., SÖRLIN, S., SNYDER, P. K., COSTANZA, R., SVEDIN, U., FALKENMARK, M., KARLBERG, L., CORELL, R.W., FABRY, V.J., HANSEN, J., WALKER, B., LIVERMAN, D., RICHARDSON, K., CRUTZEN, P. & FOLEY, J., 2009: Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society* 14 (2). 32 s.

SABO P. & COCHOVÁ S., 2012a: Risk of global collapse and new approach to sustainability concepts. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*: 5 (2012): 135 – 142.

SABO P. & REPISKÝ Ľ., 2013: Zmeny ekologickej komplexity a kapacity krajiny poskytovať ekosystémové služby. In: Sviček, M. (ed.), 2013: Zborník príspevkov z vedeckého seminára Environmentálne indexy, agroenvironmentálne opatrenia a ekosystémové služby v krajine. Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, Bratislava, ISBN 978-80-8163-0001-9, pp. 45 – 61.

SABO P., TURISOVÁ I., ŠKODOVÁ M., STRIEŽOVSKÁ L. & SNOPOKOVÁ Z., 2017. Príspevok k hodnoteniu ekologickej komplexity a integrity ekosystémov. *Quaestiones rerum naturalium*, Fakulta prírodných vied UMB, Kat. biológie a ekológie, Banská Bystrica, 4 (2): 30-105.

SABO P., DOBIAŠ V., ORŠIN L., ROSSOVÁ L. & JAKUBEC B., 2007: Príloha k správe projektu LIFE04 ENV/SK 000797 „Udržateľný rozvoj miest a zmiernenie vplyvu klimatických zmien na kvalitu života a na životné prostredie v mestskom prostredí“, Piešťany, 2007, pp. 49 (mapy vo formáte A3). O.z. Živá planéta Piešťany v spolupráci s REC Slovensko, Bratislava a Ústavom vedy a výskumu UMB Banská Bystrica,

THOMPSON, I., 2011. Biodiversity, ecosystem thresholds, resilience and forest degradation. *Unasylva*, 238 (62): 25–30.

Literatúra – 4

- SANIGA, M., BRUCHÁNIK, R., 2009. *Príroda blízke obhospodarovanie lesa* [Close nature forest stand management]. Zvolen: Národné lesnícke centrum. 104 p.
- SPLECHTNA, B. E.; GRATZER, G., BLACK, B. A. 2005. Disturbance history of a European old-growth mixed-species forest: A spatial dendro-ecological analysis. *Journal of Vegetation Science*, 16: 511–522.
- STEFFEN, W., SANDERSON A., TYSON P.D., JÄGER J., MATSON P.A., MOORE B., OLDFIELD F., RICHARDSON K., SCHELLNHUBER H.J., TURNER B.L. & WASSON R.J., 2004: Global Change and the Earth System. Executive Summary. IGBP synthesis. International Geosphere-Biosphere Programme, ISBN 91-631-5380-7, 42 pp., [online], cit. 10-11-2015, <http://www.igbp.net/publications/igbpbookseries/igbpbookseries/globalchangeandtheearthsystem2004.5.1b8ae20512db692f2a680007462.html>
- TURISOVÁ, I., SABO, P., ŠTRBA, T., KORÓNY, S., ANDRÁŠ, P. & ŠIRKA, P., 2016. Analyses of floristic composition of the abandoned Cu-dump field Piesky (Staré Hory Mountains, Slovakia). *Web of Ecology*, 6 (1), 2016: 97-111.
- UN, 2012: Report of the United Nations Conference on Sustainable Development. Rio de Janeiro, Brazil, 20-22 June 2012, United Nations, New York, 120 s.
- UN, 2015: Sustainable Development Goals. [online], cit. 10-11-2015, <https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300>
- UNEP, 2012: GEO5, Global Environment Outlook 5, United Nations Environment Programme, Nairobi, ISBN 978-92-807-3177-4, 558 s.
- URBAN, P., SABO, P. & PLESNÍK, J. Non-equilibrium thermodynamics and development cycles of temperate natural forest ecosystems. *Folia Oecologica*, 45: , In print
- URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2016.00588/full>
- VOLOŠČUK, I., 2001. Teoretické a praktické problémy ekologickej stability lesných ekosystémov. Vedecké štúdie, 1/2001/A. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 90 p.
- WANG, S., LOREAU, M., 2016. Biodiversity and ecosystem stability across scales in metacommunities. *Ecology Letters* 19 (5): 510–518.
- WESTRA L. & LEMONS, J., 2007: Perspectives on Ecological Integrity. Environmental Science and Technology Library, Springer, 296 s. [online]. cit. 06-10-2014, http://wwf.panda.org/about_our_earth/all_publications/living_planet_report/
- WEST J., LIEBER M. & UNEP, 2018: Global Material Flows Database, UN Environment, International Resource Panel, [online], cit. 17-12-2015, <http://www.resourcepanel.org/global-material-flows-database>
- Wirtschaftsuniversität Wien, 2018. Material flows by material group, 1970 - 2017. Visualisation based upon the UN IRP Global Material Flows Database. Vienna University of Economics and Business.[online], <http://www.materialflows.net/visualisation-centre/>.
- WÜRTZ, P., ANILLA, A., 2010. Ecological succession as an energy dispersal process. *Biosystems*, 100 (1): 70–78.
- WWF 2016: The Living Planet Report 2016. WWF International, Gland, 164 s. (online). cit. 2017-05-10, URL: http://wwf.panda.org/about_our_earth/all_publications/living_planet_report/2012_lpr/
- ZALASIEWICZ J., WILLIAMS M., STEFFEN W. & CRUTZEN P., 2010: The new world of Anthropocene. *Environmental Science and. Technology*, 44 (7): 2228–2231.