

Komu se zelení...

PŘÍČINY A DŮSLEDKY GLOBÁLNÍHO OZELEŇOVÁNÍ

Jsou-li nějaké změny příliš pomalé, lidé je v subjektivním čase svých životů skoro nevnímají. Stačí se ale podívat na staré krajinomalby či fotografie, a hned vidíme, že se kolem nás něco důležitého odehrává.

text a snímky **PETR POKORNÝ**

NAŠE KRAJINA masivně zarůstá keřovou a stromovou vegetací, protože je čím dál tím zelenější. Je to známá věc a děje se tak na většině území Evropy v době po rychlém ústupu předindustriálních forem zemědělského hospodaření. Že je postupně zarůstání doslova celoplanetárním jevem, se ale ukázalo až v roce 2001, kdy byla zpracována téměř dvacetiletá řada spektrálních družicových měření. Jev si žádá obecnější, ve svých důsledcích však podstatně zajímavější vysvětlení, než jaké máme obvykle k dispozici pro Evropu.

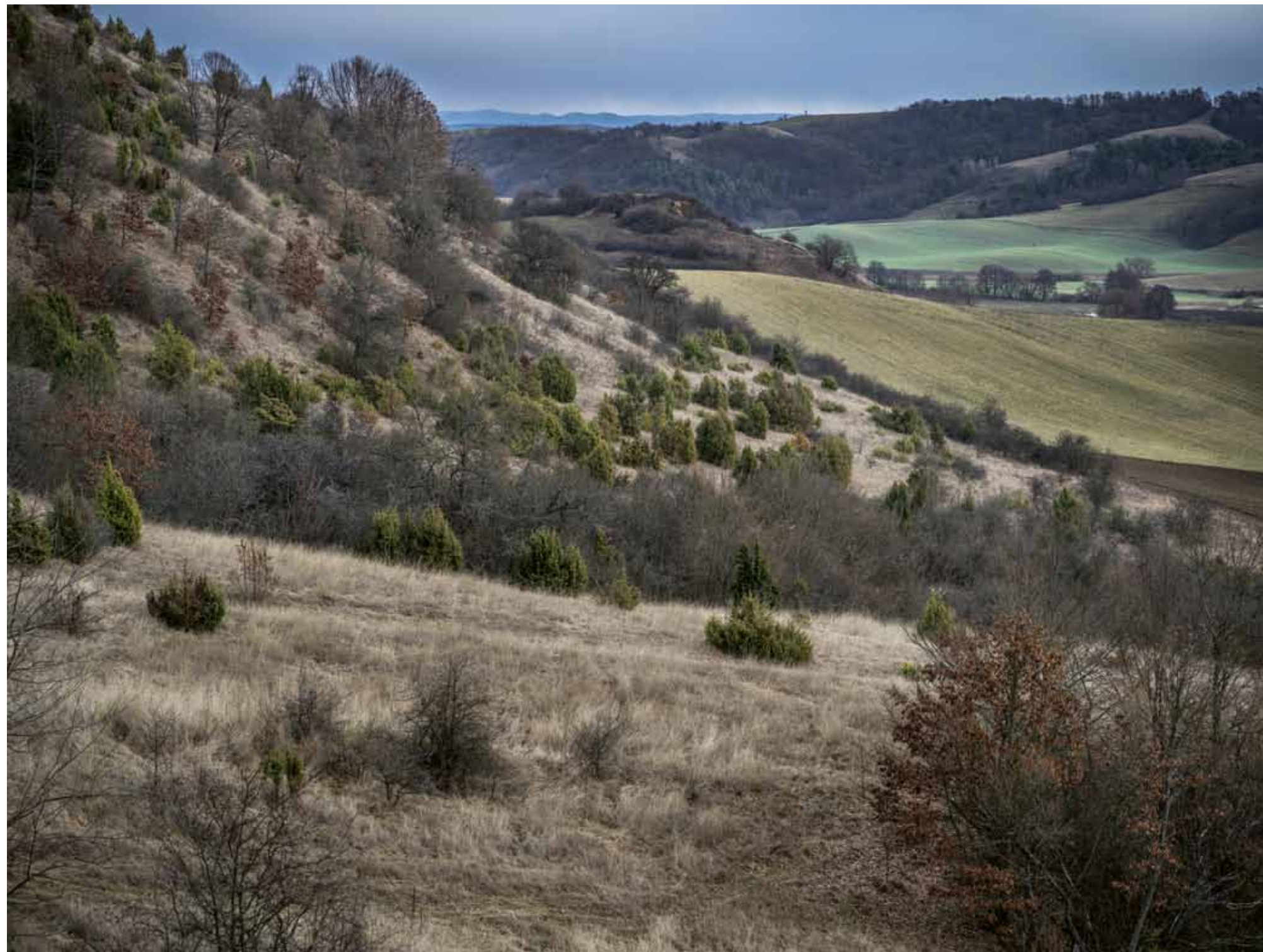
JEDNA CELÁ AMAZONIE ZA NECELÉ DVĚ DEKÁDY

Fotosyntetické pigmenty rostlin, chlorofyl a karotenoidy, absorbují pouze určité energetické pásma elektromagnetického záření. Jeho vlnové délky (zhruba 400–700 nm) víceméně odpovídají té části spektra, kterou vnímá ničím nevybavené lidské oko. Fotony s energií odpovídající blízkému infračervenému spektru (zhruba 700–1300 nm) rostlinné pigmenty naopak nepohlcují téměř vůbec. V této spektrální oblasti se proto barva listů jeví téměř čistě bílá. Naše oči to nevidí, ale patřičně vyladěná přístrojová čidla ano. Žádný jiný materiál běžně rozšířený na naší planetě srovnatelné fotochemické vlastnosti nevykazuje. Pozorujeme-li proto libovolnou plochu zemské souše v blízkém

infračerveném oboru, můžeme přesně změřit listovou plochu vystavenou pohledu použitého čidla. Ta se může pohybovat od nulové hodnoty (žádné rostliny na dané ploše nerostou) až po zónu nasycení, kdy už je průmět vegetace na povrch terénu bezbytků zakrytý listy. Přibývající hustota vegetace pak už signál příliš nezesiluje, protože listy už se jenom víc a víc překrývají a vzájemně zastiňují.

Přístroje s vhodnými čidly můžeme instalovat na družice, a tím si zjednat globální přehled o hustotě a stavu rostlinného pokryvu a o změnách v průběhu ročního cyklu. Samozřejmě i v delších časových úsecích, pokud měříme dostatečně dlouho. První satelitní měření pocházejí z roku 1981 (jde o dodnes pracující přístroj MODIS - *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). Od té doby počet instalovaných měřicích přístrojů narůstá. Jejich správná kalibrace je technický oříšek sám o sobě. Důležitá je také standardizace výpočtu a vyjádření výsledků formou vzájemně srovnatelných indexů „zelenosti“. Nejpoužívanějšími indexy jsou NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) a z něho odvozený výpočet indexu listové plochy (*LAI - Leaf Area Index*).

První práce, která se věnuje interpretaci takto získaných víceletých řad družicových měření, pochází z roku 2001.¹ Už tehdy se ukázal překvapivě silný trend postupujícího



Doc. Mgr. PETR POKORNÝ, Ph.D., (*1972) vystudoval biologii na PřF UK a botaniku na Biologické fakultě JČU. V Centru pro teoretická studia, společném pracovišti UK a AV ČR, jehož je ředitelem, se zabývá kvartérní paleoekologií a environmentální archeologií. Přednáší na PřF UK. Mj. je spoluautorem a editorem monografie *Afrika zevnitř: Kontinentem sucha a věčných proměn*.



1. POSLEDNÍ ZBYTKY pastevní krajiny v Cerové vrchovině na jižním Slovensku postupně zarůstají křovisky.

globálního ozeleňování. Ke konci roku 2019 vyšel v časopise *Nature Reviews* zevrubný článek využívající nejnovější naměřená data.² Analyzuje příčiny pozorovaného jevu i jeho provázání s globálním klimatickým systémem. Práce znovu potvrzuje už jednou provedený odhad,³ že mezi lety 2000–2018 vzrostla celková listová plocha na Zemi o 5,4 milionu km², což zhruba odpovídá současné ploše Amazonského pralesa! Čtyřiatřicet procent povrchu souše se prokazatelně ozelenilo, zatímco pět procent

„zhnědlo“, což znamená, že jeho zelenost poklesla (**obr. 3**). Zbytek nevykazuje významný trend.

PROČ SE TO DĚJE

Vedle oteplování a nárůstu atmosférických koncentrací oxidu uhličitého (CO₂) je ozeleňování nejlépe doloženým globálním trendem

- 1) Zhou L. M et al.: *J. Geophys. Res. Atmos.* 106, 20069–20083, 2001, DOI: 10.1029/2000JD000115.
- 2) Piao S. a kol.: *Nat. Rev.*, 2019, DOI: 10.1038/s43017-019-0001-x.
- 3) Chen et al.: *Nat. Sustain.* 2, 122–129, 2019, DOI:10.1038/s41893-019-0220-7.

uplynulých desetiletí i přítomné doby. Kde se „ozeleňovací“ trend bere, když je lidstvo na této planetě čím dál početnější a když lidská spotřeba nejrůznějších zdrojů neustále globálně, jsou vzájemně provázané a více než bohatě kompenzují přímý destruktivní vliv civilizace na zelený svět rostlin. Podívejme se alespoň letmo na nejdůležitější z nich.

● Stoupá globální teplota, což přináší prodloužení vegetační sezony v chladnějších oblastech planety. Velice významný je také hnojivý efekt stoupající atmosférické koncentrace CO₂. Tento plyn je hlavní živinou pro fotosyntetizující organismy a pokusy ukazují, že nárůst koncentrace CO₂ vskutku



stimuluje jejich růst. Současných více než 400 ppm oxidu uhličitého v atmosféře zkrátka znamená u většiny rostlin podstatně intenzivnější metabolismus oproti řekněme předindustriálnímu stavu.

● Spolu se vzrůstající teplotou a atmosférickou koncentrací CO₂ roste efektivita zásobování rostlin vodou. Teplejší svět je v celkovém úhrnu světem vlhčím, protože roste účinnost tzv. velkého vodního cyklu, který transportuje srážky z velkých vodních ploch, zejména oceánů, do nitra kontinentů. Díky nadlepšenému uhlíkovému metabolismu mohou být průduchy rostlin po delší část dne navíc zavřené, a rostliny tím ušetří

2. PO ZÁNÍKU sovětských kolchozů byly obrovské plochy polí a pastvin ponechány ladem. Na snímku jsou bývalá pole na jižním Uralu, opuštěná už před třiceti lety. V suchých a kontinentálních podmínkách postupně zarůstají stepními trávničky. Místní obyvatelé je dnes v omezené míře využívají jako zdroj sena. Ve vlhkých terénních sníženinách se šíří mladé březové a osikové porosty.

4. Na protější straně: VNITROZEMSKÁ DELTA řeky Okavango (Botswana) na leteckém snímku. Vlhká otevřená savana je tu udržována početnými stády velkých býložravců. Bez nich by skoro celá zarostla lesem a holé by zůstaly pouze mokřady.

něco vody, která by se jinak přes průduchy vypařila (transpirovala).

● V biosféře dnes koluje nejvíc metabolicky využitelného dusíku za celou historii planety. Jde o druhý významný hnojivý

efekt, který nepochybně hraje roli. Doslova ze vzduchu vyrábíme obrovské objemy dusíkatých hnojiv, která zasahují celou biosféru, rozsáhlé nezemědělské oblasti nevymáje. Dusíkatá „hnojiva“ ovšem vznikají

i nepřímo během spalovacích procesů, zejména těch s vysokou teplotou a tlakem – třeba v elektrárnách a ve spalovacích motorech. Vedle toho těžíme z nitra Země velké objemy fosfátových hnojiv, jejichž využívání má podobné důsledky, i když distribuce fosfátového prachu do oblastí vzdálených od zemědělských center není tak účinná jako u reaktivních dusíkatých sloučenin (NO_x) transportovaných v plynném skupenství.

● Podstatnou roli hrají i změny ve využívání krajiny. Moderní průmyslové zemědělství vedlo k enormní intenzifikaci potravinářské produkce, což i při nárůstu populace často znamená ponechání velkých ploch ladem. Ty pak zarůstají bujnou vegetací. Evropský příklad je markantní, mimo jiné díky kombinaci s nulovým nebo i záporným populačním růstem, ale zdaleka není jediný.

Sečteno a podtrženo: *Lidstvu se zelení, a především proto se zelení!*

ODCHYLKY OD HLAVNÍHO TRENDU

Podívejme se nyní blíže, kde se nám zelení nejvíc, a kde je vývoj (pravda spíše výjimečně) právě opačný (znovu viz obr. 2). Abstrahujme přitom od právě probraných příčin hlavního trendu a podívejme se na krajní případy ležící na obě strany od průměrné trajektorie postupujícího globálního ozeleňování.

Výrazně se nám zelená Evropa, k čemuž máme výše uvedená socioekonomická

vysvětlení (viz též obr. 1). Kupodivu ale i Indie a hospodářsky nejrozvinutější oblasti Číny, ve kterých lidská populace a ekonomická výkonnost rostly v posledních dekádách mimořádně rychlým tempem. Také zde bude vysvětlení podobné – zavádění moderního průmyslového zemědělství v kombinaci s jeho mohutnými energetickými a látkovými vstupy (dusík N, fosfor P). Stejně tak v Mexiku a v některých částech Severní Ameriky. Vzhledem k tomu, že indexy NDVI a LAI nerozlišují mezi divokou vegetací a pěstovanými kulturními plodinami, může jít nárůst zelenosti kdekoliv ve světě na vrub bohatě hnojeným a zavlažovaným zemědělským plochám. Ověřování situace přímo v terénu občas skutečně naráží na tento komplikující faktor, ale přesto nelze tvrdit, že by to přinášelo významná systematická zkresení. Zdá se, že hlavní příčinou jsou opravdu uvedené globálně působící faktory.

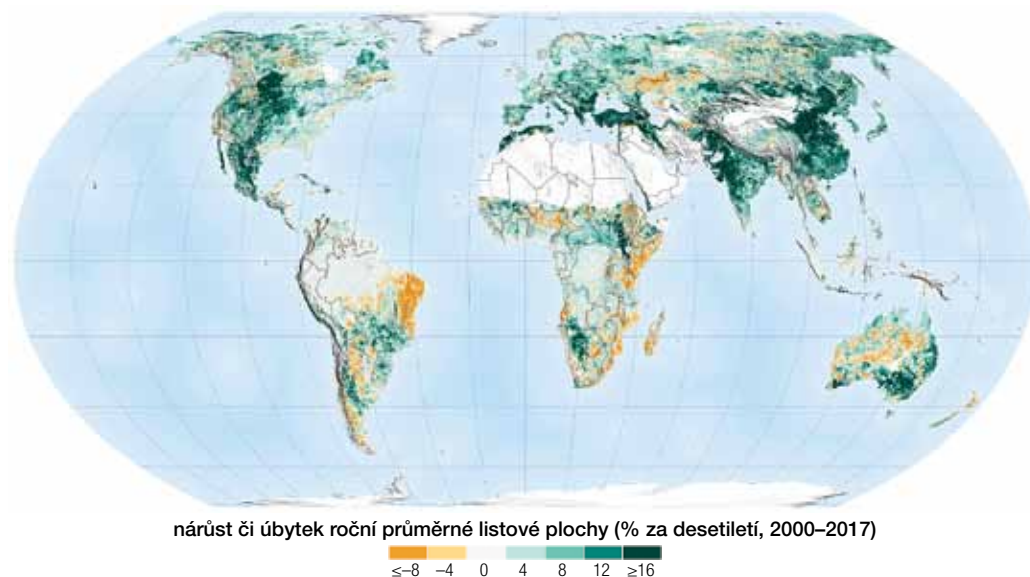
Pro změnu obraťme pozornost k opačnému konci na škále probíhajících změn. Hnědnou některé lesní, stepní a lesostepní oblasti Severní Ameriky, Sibíře a střední Asie. Také většina Austrálie, podstatné kusy afrických savan a zejména místa výskytu dvou biologicky vůbec nejcennějších, a přitom nejohroženějších biomů planety – brazilských

cerrado a *caatinga*.⁴ Už jen ze socioekonomických a klimatických rozdílů mezi hnědnoucími oblastmi je vidět, že pro vysvětlení jednotlivých případů těžko najdeme jediný společný jmenovatel. V aktuálně vysychajících kontinentálních stepích vnitřní Asie se intenzifikace zemědělství stále ještě dosahuje zábořem nové půdy, a nikoliv zaváděním moderního průmyslového pěstování a chovu. Stejně je tomu v těžce zkoušených lesích a savanách Brazílské vysočiny a v dalších ekonomicky a populačně rostoucích oblastech Jižní Ameriky. Hnědnutí v Nigérii a na Madagaskaru jde také ruku v ruce s obrovskou populační explozí a se zábořem doposud málo využívané půdy (obr. 5). Austrálie vysychá a o to víc hoří, jak nám více než názorně předvedly katastrofální požáry z přelomu let 2019 a 2020. Některé části kanadské a sibiřské tajgy rovněž trpí požáry (obr. 6) a občas i přemnožováním lesních škůdců. Teoreticky může jít o kompenzační efekt předchozí vlny bujného růstu, podobně jako v některých částech Austrálie. Ve velkých savanových rezervacích Afriky jde možná hnědnutí na vrub rychle rostoucích stavů velkých býložravců (obr. 4), kteří spásají travinnou vegetaci a významně omezují růst stromů. Ovšem opět v kombinaci s častějšími požáry.

Na tomto místě nelze nezmínit aktuální a zcela očividné „hnědnutí“ českých luhů a hájů (obr. 7). Jde o největší krizi našich lesů od průmyslové revoluce (a s ní související

3. SVĚT JE DNES o hodně zelenější, než tomu bylo v roce 2000. Oblasti s největším nárůstem listové plochy ve sledovaném období jsou označeny tmavě zelenou barvou. Oblasti s úbytkem listové plochy naopak hnědými odstíny. Data pocházejí z přístrojů Americké kosmické agentury (NASA), které obíhají Zemi na palubě dvou satelitů.

Mapa NASA Earth Observatory



4) *Caatinga* je místní označení biomu ve vnitrozemí severovýchodní Brazílie tvořeného řídkým porostem suchomilných keřů a nízkých stromů. Název pochází z jazyka kmene Tupí a znamená v překladu „světlý les“. Na západě hraničí s vlhkými oblastmi lesů a savan zvanou *cerrado* s obrovskou druhovou bohatostí flóry a fauny.



revoluce zemědělské), která předchází velkou vlnu ozeleňování v našich podmínkách nastartovala. Naše věkově, druhově i prostorově stejnorodé kulturní lesy, jejichž pěstování bylo nastaveno na podmínky 19. století, kdy zrovna vrcholila chladná a vlhká „malá doba ledová“, kráčí dnes mílovými kroky do věčných lovišť. Děje se tak souběhem klimatických změn, stárnutí porostů, odvodnění krajiny a namnožení nejrůznějších patogenů v čele s kůrovcem. Má být prvořadým cílem opětovné nastartování ozeleňovacího trendu v místních podmínkách? Nejde pouze o řečnickou otázku, protože problém je skutečně palčivý a zapeklý.

KONEČNĚ DOBRÁ ZPRÁVA O STAVU SVĚTA?

Globální ozeleňování vypadá jako jedna z mála dobrých zpráv o stavu naší planety v období *antropocénu* (k tématu *antropocénu*,

- 5. BĚŽNÝ AFRICKÝ VENKOV**, zde ve východní Zambii. Prudký populační růst v chudých rurálních ekonomikách vede zpravidla k masivnímu odlesňování. Děje se tak postupně, po mnoha malých krůčcích.
- 6. Na protější straně nahoře: DVA ROKY** po velkém požáru ve Skalistých horách (Kanada, západní Alberta). Původní obyvatelé tu po dlouhá tisíciletí udržovali polootevřenou kulturní krajinu. Ta po opuštění v 19. a na počátku 20. století zarostla hustým, převážně smrkovým lesem. Vzrostlo tak nebezpečí velkých ničivých požárů. V daném případě naráz vyhořelo doslova celé údolí.
- 7. Na protější straně dole: HNĚDNUTÍ** po česku (rok 2020): Hromada kůrovcového kalamitního dříví připravená k odvozu.

„doby lidové“, viz Vesmír 95, 146, 2016/3). V leckterém ohledu bude takový názor skutečně namístě. Nárůst zelenosti znamená zvýšení primární produkce biosféry, a tedy více užitečné biomasy nejen pro lidstvo, ale i pro všechny naše heterotrofní spoluobyvatele, emblematická velká zvířata nevyjímaje. Evropští a severoameričtí entomologové na druhou stranu

varují, že v případě postupujícího zarůstání krajiny nemusí jít pouze a jenom o dobrou zprávu. Botanici podobně varují už dlouho, protože nejzávažnější rostliny patří zpravidla mezi ty nejslabší v konkurenčním boji o živiny a o světlo. Romantický obdiv k lesu jakožto esenci jediné skutečné „přirozenosti“ tu zkrátka nemusí být nejlepším vodítkem.

S ohledem na současné globální klimatické změny lze ozeleňování vnímat jako trend spíše pozitivní, i když úplně jednoznačné to nejspíš také nebude. Prudký globální nárůst živé biomasy váže oxid uhličitý z atmosféry, což zjevně nemůže být špatně, ať už přikládáme skleníkovému oteplování vlivem zvýšených atmosférických koncentrací CO₂ jakoukoliv váhu v poměru k dalším složkám dynamizujícím klimatický systém naší planety. Nízké albedo husté vegetace přímo ozářené sluncem sice zahřívá konkrétní sledovanou plochu, ale přímá

měření a modelové kalkulace ukazují, že „klimatizační“ efekt zvýšené evapotranspirace spolu se zvýšenou tvorbou oblačnosti (naopak s velkým albedem) tento problém kompenzuje více než dostatečně.⁵ Úhrnným výsledkem je tudíž citelné ochlazení sledovaného místa. Skupenské teplo vodní páry se ovšem musí uvolnit při kondenzaci, takže celková tepelná bilance počítaná přes velké vzdálenosti se nakonec blíží nule.

Za významný související jev lze pokládat posílení činnosti malého vodního cyklu skrz zvýšenou transpirační aktivitu houštnoucí vegetace. Jednotlivé pomyslné malé vodní cykly se napojují na cyklus velký, který tak může přenášet větší množství vodní páry a s ní i latentního skupenského tepla po směru větru, často na značné vzdálenosti. Srážky ve vzdálených cílových oblastech, například na horských bariérách nebo v územích s řídkým vegetačním krytem

a silnou tvorbou konvekční bouřkové oblačnosti, tím prokazatelně vzrůstají. Místa, ve kterých došlo ke zvýšenému odparu vlivem houštnutí transpirující vegetace, se naopak mohou vysušovat.⁶ Sledování takových povodí v delším čase⁷ skutečně dokumentuje snížení půdní vlhkosti, pokles hladiny podzemní vody a nižší objemy odtékající povrchové i podpovrchové vody.

Globální ozeleňování není důvodem ani k ekologickému alarmismu, ani k přehnanému optimismu stran seberegulační schopnosti naší oživené planety. Jde pouze o mimořádně dobře zdokumentovaný příklad robustní negativní zpětné vazby mezi antropogenními geochemickými změnami v atmosféře a biosférou. Dopady ozeleňování na hydrologický cyklus, tento možná úplně nejpodstatnější aspekt celého aktuálního dění, jsou prozatím málo prozkoumané, a tudíž velmi nejednoznačné. ●

5) Zheng et al.: J. Clim. 31, 2633–2650, 2018, DOI: 10.1175/JCLI-D-17-0236.1; na klíčovou roli těchto faktorů již dlouho a vehementně upozorňuje rostlinný ekofyziolog Jan Pokorný.

6) Upozornil na to nedávno ekolog David Storch ve *Fóru ochrany přírody*; viz <http://www.casopis.forumochranyprirody.cz/magazin/analyzy-komentare/pochoybnosti-o-klimatickych-zmenach-a-reseni-jejich-nasledku>.

7) Zheng a kol.: Nat. Clim. Change 7, 432–436 (2017).