

9. LESY PŘITAHUJÍ VODU

Jan Pokorný

V létě 2020 vyšel v časopise Science článek významného vědeckého žurnalisty Freda Pearce pod názvem *Tvořitelé počasí: Lesy jsou zdrojem srážek pro zemi. Kontroverzní ruská teorie tvrdí, že rovněž stojí za vznikem větru* (Pearce 2020). Práce podává ucelený a poutavý výklad o funkci lesa na úrovni kontinentů. Originální text je volně dostupný na internetu. Článek jsme přeložili a předkládám krácený text s vlastním úvodem a komentáři.

Rostoucí populace přeměňuje lesy a mokřady na zemědělskou půdu. Je historickou zkušeností, že odlesnění po čase vede k teplotním extrémům a úbytku srážek. Z vědeckého pohledu se funkcí lesa v širokém holistickém pojetí zabýval již Alexander Humboldt v první polovině 19. století (Wulf 2016), později Marsh (1864). Světové společenství úmluvami opakovaně deklaruje, že lesy jsou světové přírodní bohatství a mají být spravovány pro zachování ekosystémových funkcí (Rio de Janeiro 1992). Ve školce jsme se učili, že lesy zadržují vodu a přitahují dešť. Tyto staré pravdy jsou ovšem v poslední době zpochybňovány s tím, že les je tmavý (má nízké albedo) a planetu ohřívá. I z našich předních vědeckých ústavů se ozývá, že odlesnění a odvodnění krajiny zpomalilo nárůst globálních teplot, protože odlesněné a odvodněné plochy odrážejí více slunečního záření a brání přehřívání planety. Uschnutí vzrostlého lesa na Šumavě nemohlo údajně snížit vydatnost pramene Vltavy, protože *uschlý les vypaří méně vody nežli les živý*. Na druhé straně jiní vědci tvrdí, že přízemní vegetace svým výparem nahradí uschlý vzrostlý les a na přímou otázku, zda úhyn vzrostlého lesa na horách ohrozí vodní režim, odpovídají, *je prokázáno, že takový les důležitou hydrickou funkci nemá*. V Parlamentu se ozývá, že se zvýšila plocha lesa, ten více odpařuje, a proto máme v krajině méně vody.

Je nesporné, že vegetace má vysokou listovou plochu a dokáže vypařovat za slunného počasí velké množství vody, tento proces se nazývá evapotranspirace: transpirace = výpar vody listem/jehlicemi rostlin, evaporace = výpar vody z ostatních povrchů. Evapotranspirace je často pokládána za ztrátu vody, ke které nezbytně dochází při fotosyntéze, kdy rostliny přijímají oxid uhličitý a vydávají kyslík průduchy na listech. Zemědělci se snaží vyšlechtit plodiny, které odpařují (ztrácejí) co nejméně vody. Do toho na druhé straně vstupují ti, kteří tvrdí, že evapotranspirace je nejdůležitějším procesem vyrovnávání teplot a chlazení krajiny a že je právě zásadním procesem podmiňujícím dešťové srážky na kontinentech. Právě teorie biotické pumpy vykládá evapotranspiraci lesů jako proces přitahující vláhu tzv. atmosférickými *létajícími řekami* z oceánů hluboko do kontinentů.

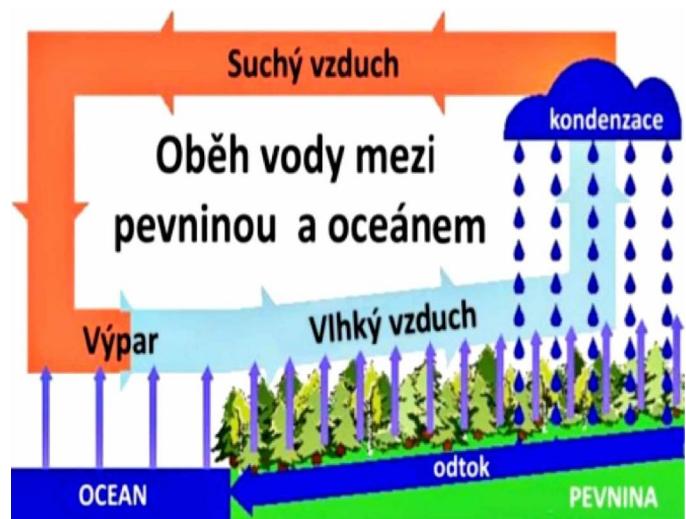
Rozsáhlé lesy jsou často nazývány plícemi planety, protože váží do biomasy oxid uhličitý a vylučují kyslík. Autoři teorie biotické pumpy Makarieva s Gorškovem dodávají, že lesy jsou též tlukoucím srdcem. *Lesy jsou komplexní sebeudržující systém vytvářející dešť a hnací mechanismus atmosférické cirkulace na Zemi*. Vracejí obrovské množství vodní páry (vlhkosti) do vzduchu. Tímto procesem pohánějí vzdušné proudy, které přenášejí tuto vodu po světě.

První část této ideje – lesy tvoří dešť – je historickou zkušeností a je stále více přijímána vodohospodáři, zabývajícími se zdroji vody ve světě bezuzdného odlesňování. Ovšem druhá část teorie, tzv. biotická pumpa (obr. 1), je daleko více kontra-

verzní. Její teoretické základy byly publikovány v méně známých časopisech a jejich autorům Gorškovovi, Makariev se dostalo podpory jen od úzké skupiny kolegů. Biotická pumpa čelila silné kritice, zejména od tvůrců klimatických modelů. Někteří z nich tvrdí, že tyto efekty lesa jsou zanedbatelné a teorii zavrhuje zcela. Ve sporu zůstala Makarieva osamoceným outsiderem (Gorškov zemřel v květnu 2019): teoretický fyzik ve světě modelářů, člověk z Ruska vmešující se do obooru vedeného vědcí ze Západu, a navíc žena v obooru, kterému dominují muži. Zastánce biotické pumpy Douglas Sheil říká: *Pokud je ovšem idea správná, potom je zde vysvětlení, proč prší na kontinentech daleko od oceánů, proč vzdálené oblasti uvnitř zalesněných kontinentů dostávají tolik srážek jako pobřeží (obr. 2) i proč nezalesněná území uvnitř kontinentů vysychají (obr. 3)*. To také naznačuje, že lesy ruské tažby podobně jako lesy v Amazonii nerostou tam, kde je pro ně správné podnebí, ale počasí a klima si utvářejí.

Podle Makarievy mnohé učebnice meteorologie stále vykládají karikaturu oběhu vody s tím, že většina atmosférické vlhkosti, která kondenzuje v mracích a padá jako dešť, pochází z oceánů. Význam vody recyklované vegetací pro zásobení dešťových srážek byl většinou ignorován až do roku 1979, kdy brazilský meteorolog Eneas Salati uveřejnil studii o izotopovém složení dešťové vody v Amazonské nížině. Voda recyklovaná transpirací obsahuje více molekul s těžkým izotopem kyslíku-18 nežli voda vypařená z oceánu. Salati (1979) na základě tohoto faktu ukázal, že polovina dešťových srážek v Amazonii pochází z vlastní transpirace lesa.

V té době, meteorologové sledovali atmosférické tryskové proudění nad lesem ve výšce okolo 1,5 km, známé jako South American Low-Level Jet (tryskové proudění). Jedná se o rychle vanoucí větry směřující z východu na západ přes Amazonii, v oblasti And stáčející se k jihu. Salati a další došli k závěru, že trysková proudění přenáší mnoho transpirované vlhkosti, tedy vody pocházející z lesů a nazvali ho *létající řekou*. Amazonská *flying river* podle odhadu nese tolik vody jako ohromná řeka



Obr. 1. Biotická pumpa – oběh vody mezi pevninou a oceánem poháněný sluneční energií prostřednictvím výparu a kondenzace vodní páry. Zdroj: Archiv autora



Obr. 2. Zdravý koloběh páry, který přináší srážky do lesů.
Zdroj: Sázej stromy

na kontinentu pod ní, říká Antonio Nobre, klimatolog z Brazil's National Institute for Space Research, který studuje pohyby vody v atmosféře na satelitních snímcích.

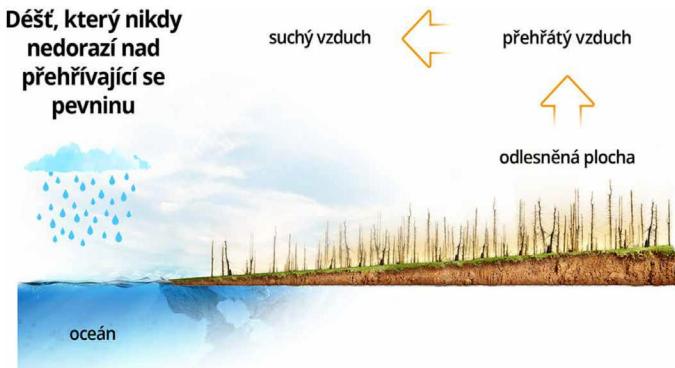
Po několik let, se uvažovalo o existenci létajících řek pouze v Amazonii. V devadesátých letech Hubert Savenije (1995), hydrolog z Technologické univerzity z Delftu, začal studovat obě vody v západní Africe. S využitím hydrologického modelu v kombinaci s meteorologickými daty ukázal, že směrem od pobřeží do vnitrozemí stoupá podíl dešťové vody, která pochází z lesů. Ve vnitrozemí dosahuje 90 %. Toto zjištění pomohlo vysvětlit, proč se za posledních šedesát let vnitrozemí Sahelu vysušilo poté, co zmizely lesy na pobřeží (obr. 2).

Jeden ze Savenijových studentů, Ruud van der Ent, rozvinul myšlenku dále, vytvořením globálního modelu toku vzdušné vlhkosti. Spojil měřené údaje o srážkách, vlhkosti vzduchu, rychlosti větru a teploty s teoretickými odhady výparu a transpirace. Vznikl tak první model toků vlhkosti pro území větší, než je obvykle modelované povodí řeky.

V roce 2010 van der Ent se svými spolupracovníky uveřejnili výsledky modelu: globálně, 40 % veškerých srážek pochází spíše z pevnin než z oceánů. Často to bývá i více. Amazonská *létající řeka* dodává 70 % dešťových srážek Lapatské nížině. Van der Ent byl nejvíce překvapen zjištěním, že 80 % srážek v Číně pochází ze západu. Jedná se o vlhkost z Atlantiku, která je recyklovaná boreálními lesy Skandinávie a Ruska. Tento koloběh trvající půl roku i déle, zahrnuje několik fází – cykly transpirace následované deštěm postupujícím po směru větru a opětovná transpirace. To je v rozporu s dřívějšími znalostmi, které jsme se učili ve škole. Čína sousedí s Tichým oceánem, přesto většina jejích srážek je vlhkost recyklovaná z pevniny daleko na západě.

V roce 2007 časopis *Hydrology and Earth System Sciences* publikoval vizi biotické pumpy Gorškova a Makarievy. Bylo to provokativní od počátku, protože teorie byla v rozporu s dlouho uznávaným principem meteorologie: větry jsou poháněny z velké části různým ohřevem atmosféry. Když teplý vzduch stoupá, snižuje tlak vzduchu pod sebou. Při zemi se vytváří prostor, do kterého přichází vzduch z okolí. Na příklad v létě se povrch země ohřívá rychleji a přitahuje vlhkou brízu (vánek) z chladnějšího oceánu.

Makarieva a Gorškov argumentovali, že druhý proces může někdy převládnout. Když vodní pára nad lesem kondenzuje a tvoří se mraky, plyn se sráží na kapalinu, která má mnohem menší objem. Snižuje se tlak vzduchu a dochází k horizontálnímu vtahování vzduchu z území, kde je kondenzace nižší. Prakticky to znamená, že kondenzace nad pobřežním lesem zrychluje brízu od moře a nasává vlhký vzduch na pevninu, kde případně vodní pára zkondenzuje a spadne jako dešť. Jestliže les pokrývá



Obr. 3. Narušený koloběh páry, který vysušuje nezalesněnou krajinu. Zdroj: Sázej stromy

pevninu dále do vnitrozemí, cyklus může pokračovat a udržuje proudění vlhkého vzduchu i několik tisíc kilometrů.

Teorie obrací tradiční myšlení: není to atmosférická cirkulace, která pohání hydrologický cyklus (obě vody) ale hydrologický cyklus pohání cirkulaci vzdušných mas. Příčemž hnací silou je sluneční energie působící přes výparné teplo vody. Zopakujme si fyziku pro základní školy: výparné teplo vody je 2,4 MJ/litr (0,68 kW), což je ekvivalent kapacity jedné autobaterie. Z jednoho litru vody vznikne 1200 litrů vodní páry. Prostřednictvím výparu vody se přeměňují obrovská množství sluneční energie a povrchové teploty krajiny se liší i o desítky stupňů podle toho, jak se povrch chladí výparem vody (Hesslerová a kol. 2019).

Douglas Sheil, který podporuje tuto teorii dlež dlež deset let, upozorňuje, že biotická pumpa vysvětluje tzv. *paradox chladné Amazonie* (Sheil 2018). Od ledna do června, kdy je Amazonská nížina chladnější než oceán, vane silný vítr od Atlantiku směrem do Amazonie, tzn. opačným směrem, než bychom očekávali, v případě závislosti směru větru na rozdílu teplot. Jinými slovy vítr by vál od chladnějšího kontinentu do teplejšího oceánu, jako je tomu v případě brízy.

I ti, kteří zpochybnějí teorii biotické pumpy, souhlasí, že ztráta lesa může způsobit dalekosáhlé klimatické následky. Řada vědců přinesla argumenty, že odlesnění před tisíci let vedlo k desertifikaci rozsáhlého území Austrálie (Australian Outback) a západní Afriky. Jsou obavy, že odlesnění může způsobit vyschnutí dalších oblastí, například severní části deštěho amazonského lesa se mohou přeměnit na savanu. Stejně tak jsou ohroženy i zemědělské oblasti Číny, afrického Sahelu a argentinské Pampy, říká Patrick Keys, chemik atmosféry z Colorado State University, Fort Collins.

V roce 2018 Keys se svými spolupracovníky použili model podobný tomu, se kterým pracoval van der Ent. Sledovali zdroje srážek 29 městských aglomerací. Zjistili, že 19 z nich bylo vysoko závislých na srážkách, pocházejících ze vzdálených lesů, např. Karáči v Pakistánu, Wuhan a Šanghai v Číně, New Delhi a Kalkata v Indii. *I malé změny ve srážkách, které jsou důsledkem změn krajinného pokryvu na návětrné straně, mohou mít velký dopad na zranitelné dodávky vody do urbánních oblastí*, říká Keys.

Před dvěma roky na vrcholném setkání *Forum on Forest* pod patronací Spojených národů za přítomnosti vrcholných politiků a zástupců všech vlád, ukázal David Ellison (University Bern), že 40 % celkových srážek v pramenné oblasti Nilu v Etiopii pochází z recyklované vody lesů v Kongu. Egypt, Súdán a Etiopie se dlouhodobě snaží dosáhnout nové dohody o rozdělování vody z Nilu. Taková dohoda bude však bezcenná, pokud bude pokračovat odlesnění povodí řeky Kongo, hlavního zdroje vody pro tyto země. A to i přes skutečnost, že se jedná o území těm-

to třem státům poměrně vzdálené. Ellison prohlásil: *Interakce mezi lesem a vodou je téměř ignorována v managementu světových zdrojů sladké vody.*

Debata o teorii biotické pumpy pokračuje na stránkách významných vědeckých časopisů. Například v *Atmospheric Chemistry and Physics* byl uveřejněn článek Makarievy a kol. (2013) pod titulem *Odkud vane vítr (Where do wind come from)* až po tříletém recenzním řízení. Makarieva za sebe rozvíjí teorii dále, argumentuje v sérii dalších článků, že ten samý mechanismus může ovlivňovat tropické cyklony, které jsou poháněny uvolňovaným skupenským teplem v situacích, kdy vodní pára kondenzuje nad oceánem. V roce 2017 Makarieva a kol. uveřejnili v *Atmospheric Research* článek, ve kterém předkládají myšlenku, že fungující biotická pumpa nad pevninskými lesy přitahuje vlhký vzduch z míst, kde cyklony vznikají (Makarieva a kol. 2017). To může být vysvětlením, proč se cyklony zřídka tvoří v jižní části Atlantského oceánu. Deště lesy Amazonie a Konga z oceánu přitahují také vlhkost, že jí je málo na to, aby byla zdrojem pro vznik hurikánů. Kerry Emanuel, uznávaný špičkový vědec v oboru hurikánů z Massachusetts Institute of Technology, říká: *Ačkoli nejsou uváděné efekty zanedbatelné, jsou velmi malé.* Dává přednost jinému vysvětlení, proč je méně hurikánů v Jižním Atlantiku. V regionu jsou chladné vody, které odpařují méně vlhkosti do vzduchu. Vyskytuje se zde stříh větru, který hurikány rozpoouští. I když myšlenky A. Makarievy jsou na Západě na pokraji zájmu, zakoreňují se v Rusku. V minulém roce začala vláda veřejný dialog k revizi lesních zákonů. Kromě striktně chráněných území jsou lesy v Rusku otevřeny komerčnímu využití. Avšak vláda a Federální lesnická agentura uvažují o nové kategorii lesa *climate protection forests – les na ochranu klimatu*. Někteří představitelé odboru lesů se vážně zajímají o biotickou pumpu a chtějí zavést tuto novou kategorii lesa. Ideu podporuje i Ruská akademie věd. *Být součástí konsensu je změna oproti věčnému outsiderství*, konstatuje A. Makarieva. Ve vědě panuje přirozená setrvačnost, říká a s temným ruským humorem připomíná slova legendárního německého fyzika Maxe Plancka, že *věda postupuje pohřeb po pohřbu*.

Dne 21. 10. 2020 se uskutečnila v Moskvě on-line mezinárodní Diskuse u kulatého stolu, organizovaná Ruskou federální komisí pro ekologii a životní prostředí na téma: *Water, forest and climate: shaping a new narrative for forest policy, tedy Voda, les a klima: utváření nového výkladu lesní politiky*, jde o vysvětlení zásadní úlohy lesů při tvorbě klimatu. Krátkými videy přispěli autoři z Brazílie, Austrálie, Evropy a reagovali na výzvu organizátorů, shrnutou v následujícím odstavci:

Nová vědecká data prokazují, že destabilizace oběhu vody vede k nepředpovídelným a nepříznivým změnám klimatu. Zachovalý přirozený les je hlavním regulátorem vodního cyklu a následně klimatických podmínek na pevnině. Kolísání a změny vodního cyklu vedou k destruktivním procesům a oslabování lesů, které potom podléhají požáru a škůdcům, včetně invazivních druhů. Pravdou je též opak: lesní požáry a nadměrná těžba narušují oběh vody a teplotní režim a snižují schopnost lesa vázat oxid uhličitý do biomasy a do půdy.

Destabilizace a zhoršování klimatu vyžadují naléhavě odpověď: vyhodnotit schopnost lesů regulovat klima a pro stabilní a zachovalé lesy v Rusku zavést zvláštní legislativní kategorii *lesy regulující klima* s cílem jejich zvláštní ochrany.

Tento článek si dovolím uzavřít tvrzením, že otázkou úlohy člověka v utváření klimatu se začneme vážně zabývat, až začneme studovat efekty změn krajinného pokryvu na distribuci sluneční energie a oběh vody. Teorie biotické pumpy k tomuto poznání přispívá. Je to jednoduchá fyzika s dalekosáhlými důsledky. Popisuje, jak vodní pára vydávaná stromy poháněná vítr: větry, které va-

nou přes kontinent, přinášejí vlhký vzduch z Evropy a přes Sibiř ho dále posunují do Mongolska a Číny; větry, které přinášejí děšť a udržují toky mohutných řek východní Sibiře; větry zásobující vodou Velkou čínskou nížinu, obilnici nejlidnatějšího státu světa.

Tato teorie uvažuje zásadní úlohu vegetace a zejména stromů, které fungují jako mohutné fontány vody (vodní páry). Jejich kořeny přijímají vodu z půdy pro fotosyntézu (transportují živiny) a mikroskopickými pory v listech (průduchy) vypouštějí nevyužitou vodu ve formě vodní páry do ovzduší. Tento proces, *pocenístromu* se nazývá transpirace. Jeden velký strom může tímto způsobem vypařit až stovky litrů vody za den. Listová plocha stromu je přitom několikrát vyšší nežlo plocha průmětu koruny, a proto strom může vypařit více vody do vzduchu nežlo vodní hladina stejné velikosti. Evapotranspirace je přitom pokládána za proces podmiňující existenci srážek na kontinentech (Pokorný a kol. 2019).

LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

- 1.] Hesslerová, P., Pokorný, J., Huryna, H., Harper, D. (2019): Wetlands and Forests Regulate Climate via Evapotranspiration. In: S. An., J. T. A. Verhoeven (eds.), *Wetlands: Ecosystem Services, Restoration and Wise Use*, Ecological Studies 238, Springer Nature Switzerland AG 2019
https://doi.org/10.1007/978-3-030-14861-4_4
- 2.] Keys, P. W., Wang-Erlandsson, L., Gordon, L. J. (2018): Megacity precipitation sheds reveal tele-connected water security challenges. PLoS ONE 13(3): e0194311
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194311>
- 3.] Marsh, G. P. (1864): Man and Nature, or Physical Geography as Modified by Human Action. Marsh to Spencer F. Baird, 21 May 1860, Baird Corr., Smithsonian Institution
<https://www.nytimes.com/1864/07/25/archives/man-and-nature-man-and-nature-or-physical-geography-as-modified-by.html>
- 4.] Makarieva, A. M., Gorshkov, V. G. (2007): Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. Hydrol Earth Syst Sci 11(2): 1013–1033
<https://hess.copernicus.org/articles/11/1013/2007/>
- 5.] Makarieva, A., Gorshkov, V. G., Sheil, D., Nobre, A. D., Li, B. L. (2013): Where do winds come from? A new theory on how water vapor condensation influences atmospheric pressure and dynamics. Atmos. Chem. Phys. 13: 1039–1056
<https://doi.org/10.5194/acp-13-1039-2013>
- 6.] Makarieva, A., Gorshkov, V. G., Nefiodov, A., Chikunov, A. V., Sheil, D., Nobre, A. D., Li, B. L. (2017): Fuel for cyclones: The water vapor budget of a hurricane as dependent on its movement, Atmospheric Research 193, DOI 10.1016/j.atmosres.2017.04.006
https://www.researchgate.net/publication/315950039_Fuel_for_cyclones_The_water_vapor_budget_of_a_hurricane_as_dependent_on_its_movement
- 7.] Pearce, F. (2020): Weather Makers, Forests supply the world with rain. A controversial Russian theory claims they also make wind. Science 368 (6497): 1302–1305
https://www.sciencemagazinedigital.org/science/19_june_2020/MobilePagedArticle.action?articleId=1595196&app=false#articleId1595196
- 8.] Pokorný, J. a kol. (2019): Strategie rozvoje energeticky udržitelného regionu. Technické listy výstupů projektu TE0200007, Třeboň, ENKI, o. p. s.
<https://www.enki.cz/cs/aktuality/item/179-strategie-rozvoje-energeticky-udrzelitelnego-regionu>
- 9.] Salati, E., Dall’Olio, A., Matsui, E., Gat, J. R. (1979): Recycling of water in the Amazon Basin: An isotopic study. Water Resources Research 15 (5): 1250–1258

- <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/WR015i005p01250>
- 10.] Savenije, H. H. (1995): New definition for moisture recycling and the relationship with land-use changes in the Sahel. *J. Hydrol* 167: 57–78
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/002216949402632L>
- 11.] Sheil, D. (2018): Forests, atmospheric water and an uncertain future: the new biology of the global cycle. *Forest Ecosystems* 5: 19
<https://forestecosyst.springeropen.com/articles/10.1186/s40663-018-0138-y>
- 12.] Van der Ent R. J., Savenije H. H. G., Schaeffli, B., Steele – Dune, S. C. (2010): Origin and fate of atmospheric moisture over continents. *Water Resources Res.* 46
<https://doi.org/10.1029/2010wr009127>
- 13.] Wulf, A. (2016): Vynález přírody, dobrodružství zapomenutého objevitele Alexandra von Humboldta v Severní Americe. Knihy Omega, Dobrovský s. r. o.
- 14.] Rio de Janeiro 1992: Deklarace Konference OSN o životním prostředí a rozvoji
[https://web.archive.org/web/20150923201658/http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf\\$pid/CENMSFL5ZKH1\\$FILE/Metod-MA21_06-priloha1-deklaraceUR_0503.pdf](https://web.archive.org/web/20150923201658/http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf$pid/CENMSFL5ZKH1$FILE/Metod-MA21_06-priloha1-deklaraceUR_0503.pdf)
- 15.] Sázej stromy
<https://sazejstromy.cz/>
- 16.] Smart Biotic Pump SUMMIT PRAGUE 2018
<https://epochalnisvet.cz/cesky-projekt-muze-zachranit-svet-pred-suchem/>
- 17.] Výkladové video o úloze lesa na úrovni komiks
<https://www.youtube.com/watch?v=kKL40aBg-7E>

doc. RNDr. Jan Pokorný, CSc.
 ENKI, o.p.s.
 Dukelská 145, 379 01 Třeboň
 pokorny@enki.cz