

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Biologie
Studijní obor: Biologie



Lucie Vaničková

Úloha lesa ve vodním režimu a místním klimatu
Role of forest in water regime and local climate

Bakalářská práce

Vedoucí závěrečné práce: doc. RNDr. Jan Pokorný, CSc.

Praha, 2017

Poděkování:

Ráda bych poděkovala mému školiteli, za veškerou pomoc a cenné rady při sepisování práce. Také svojí rodině a manželovi, kteří mě v mém studiu vždy podporovali.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 13.5.2017

Podpis

Abstrakt:

V současné době lidská společnost řeší poměrně zásadní problémy, jako je nedostatek vody a klimatické změny. Lesní porosty dokáží velmi účinně využívat velké množství sluneční energie k přeměně kapalné vody na vodní páru, a zároveň tak ochlazovat klima. Vědci Makarieva a Gorškov vytvořili teorii, podle které mají lesy i funkci generátorů vzdušné vlhkosti, což je proces nezbytný pro doplňování sladké vody na pevnině. Tato teorie je založena na gradientu tlaků mezi různými místy. Vzduch proudí z míst s nižším odpařováním a vyšším tlakem vzduchu (oceán), do míst s vyšším odpařováním a tím pádem nižším tlakem vzduchu (les). V práci jsou popsány základní mechanismy teorie biotické pumpy. Zároveň je uvedeno několik příkladů odlesňování, které vedlo k výraznému snížení srážek v dané oblasti, a ke snížení dostupnosti vody pro lidskou společnost. Také je zmíněno několik příkladů pokusu o revitalizaci desertifikované krajiny, kdy je snahou, aby kulturní krajina imitovala přirozenou vegetaci. Tyto projekty jsou založeny především na zadržování dešťové vody.

Klíčová slova: les, voda, biotická pumpa, sluneční energie, srážky, hydrologický cyklus, atmosférické proudění

Abstract:

Nowadays human society is dealing with comparatively essential problems, such as lack of water and climate changes. Forests are able to use a great amount of solar radiation efficiently to change liquid water to water vapour alongside climate cooling down. Scientists Makarieva and Gorshkov made up a theory which claims that forests are also generators of air humidity. The process is absolutely necessary for replenishing fresh water on land. This theory is based on gradient of pressures among different places. Air flows from places with lower evaporation and higher pressure (ocean) to locations with higher evaporation and lower pressure (forest). In this thesis are described basic mechanisms of theory of biotic pump. Simultaneously there are stated several examples of deforestation, which resulted in significant reduction of precipitation in that area and reduction of accessibility of water for human society. There are also mentioned several examples of attempt to revitalize desertified areas, where the effort is to make cultural landscape to imitate natural vegetation. These projects are primary based on retaining rainwater.

Key words: forest, water, biotic pump, solar energy, precipitation, hydrological cycle, atmospheric circulation

Obsah:

1. Úvod.....	1
2. Distribuce sluneční energie.....	4
2.1. Globální bilance Země.....	4
2.2. Distribuce sluneční energie v porostech.....	6
3. Biotická pumpa.....	9
3.1. Dynamika sladké vody na pevnině.....	9
3.2. Srážky v závislosti na vzdálenosti od oceánu.....	10
3.3. Ekologické mechanismy vlhkého transportu od oceánu na pevninu.....	12
3.4. Fyzikální podstata biotické pumpy.....	14
3.5. Donorová a akceptorová místa.....	16
3.6. Proudění vzduchu mezi různými typy regionů.....	17
3.7. Srovnání teorie s pozorovanými jevy.....	17
3.8. Příklady odlesňování.....	18
3.8.1. Studie odlesňování v Jižní Americe (povodí Amazonky).....	18
3.8.2. Studie odlesňování v Austrálii.....	19
3.9. Příklady obnovy desertifikované krajiny.....	20
3.9.1. Rajastan, Indie.....	21
3.9.2. Darawedi, Indie.....	21
3.9.3. Přírodní zemědělství v Austrálii.....	21
4. Závěr.....	23
5. Přehled použité literatury.....	24

1. Úvod

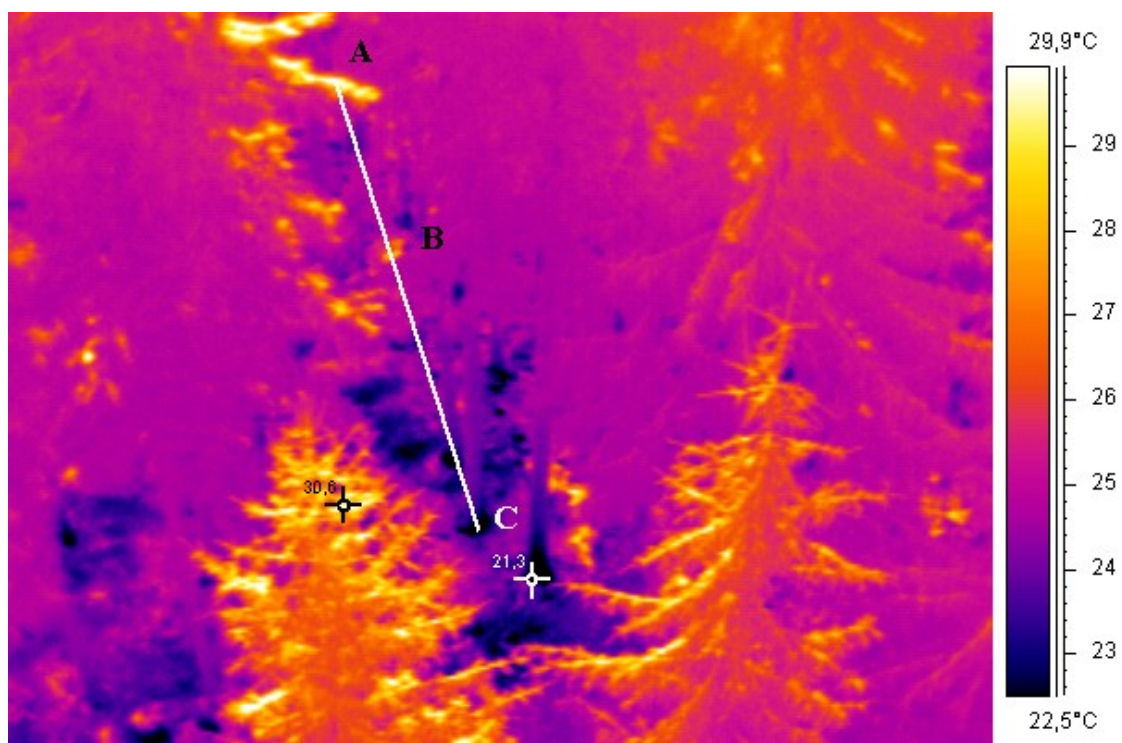
V současné době lidská společnost řeší zásadní problémy, jakými jsou nedostatek vody, nebo klimatické změny. K alespoň částečnému vyřešení takovýchto problémů je nezbytné znát základní vztahy mezi lesem, vodou i klimatickými změnami.

Lesy se řadí mezi obnovitelné přírodní zdroje. Jsou důležité z hlediska těžby dřeva, ale mohou také ovlivňovat klima a koloběh vody mnohem více, než kterékoliv jiné rostlinstvo (Pobědinskij & Krečmer, 1984). Je to hlavně díky tomu, že jsou velmi dlouhověké a prostorově i hmotově výrazné. I v současnosti lesy pokrývají třetinu našeho území (Statistická ročenka životního prostředí ČR 2015).

Lesy přispívají k tvorbě srážek. A to především tím, že zvyšují obsah vodní páry v atmosféře. Zároveň vypouští do atmosféry množství látek, např. těkavé organické látky, spory hub, pylová zrna, nebo bakterie. Ty slouží jako kondenzační jádra pro vznik srážek. V čistém vzduchu, bez kondenzačních jader se mohou kapičky vody podchladiť až na $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, než zmrznou. Pokud je v atmosféře dostatek kondenzačních jader, mohou srážky vypadávat už při $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, tedy v nižších nadmořských výškách (Morris et al., 2014). Les tlumí teplotní rozdíly mezi dnem a nocí a vytváří tak vrstvu biosféry o výšce až několik desítek metrů, která utváří svoje vlastní klima. Rezonanční dřevo charakterizované pravidelnými ročními přírůstkami může vzniknout jen v rozsáhlém lesním porostu.

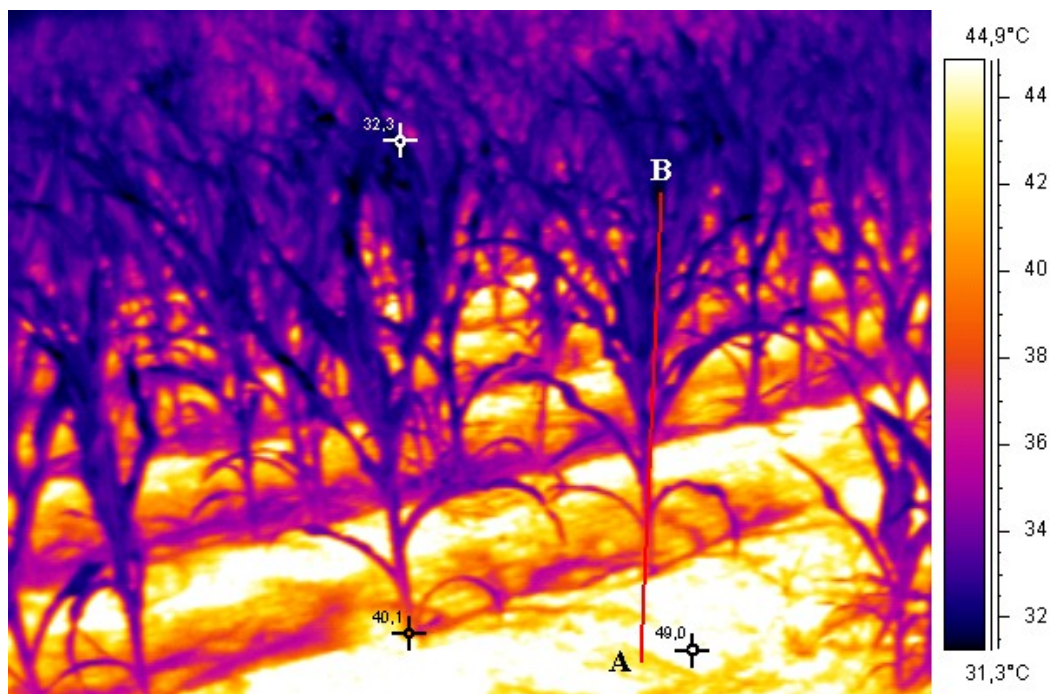
Lesní půdy dobře infiltrují vodu a mění tak rychlý povrchový na pomalý podpovrchový odtok. Rychlému povrchovému odtoku brání i řada mechanických překážek. Podpovrchová voda zajišťuje bazální odtok i zásoby vody v suchších obdobích. Pokud dojde k vykácení, zvýší se povrchový odtok i půdní eroze, a dojde k zanesení toků. Po vykácení se také sníží ztráty vody evapotranspirací, ale z hlediska koloběhu vody je tento stav velmi nestabilní (Andréassian, 2004). Půda v lese je i v suchých obdobích vlhčí, než jinde, a to hlavně díky téměř nepatrnému fyzikálnímu výparu v mikroklimatu dolního patra lesa (Geiger et al., 2009). Lesy také chladí své okolí tím, že za pomoci sluneční energie přeměňují kapalnou vodu na vodní páru (Geiger et al., 2009). Vyvinutý les má u země nižší teplotu, než v korunách, zatímco plodiny zbavené plevelu mají vyšší teplotu u země a nižší na povrchu porostu, což dokazuje Obr. 1. a Obr. 2. Vzrostlý les tak interaguje s atmosférou prostřednictvím korun stromů, zatímco chladnější a relativně vlhký vzduch zůstává v porostu.

Obr. 1. Termovizní snímek lesa



Převzato z: Eiseltovej et al., (2012)

Obr. 2. Termovizní snímek porostu kukuřice



Převzato z: Eiseltovej et al., (2012)

Na přiložených termovizních snímcích je dobře vidět, že v korunách stromů je teplota přibližně 31 °C a u země 21 °C. V kukuřici je teplota povrchu porostu asi 33 °C, zatímco u země až 49 °C.

Na poli tedy proudí vzduch vzhůru a vodní páru s sebou unáší, zatímco v lese evapotranspirací vypařená voda zůstává v blízkosti korun stromů. V noci se vodní pára sráží na povrchu listů, vrací se částečně zpět, klesá tlak vzduchu, horizontálně se nasává vzduch a s ním i vzdušná vlhkost. Tento jev je dnes popsán jako tzv. biotická pumpa zajišťující transport vody z oceánu na pevninu (Ellison et al., 2017).

Právě biotické pumpě je věnována podstatná část této práce.

Cílem práce bude shrnout základní informace o distribuci slunečního záření na planetě (tyto informace jsou nezbytné pro pochopení dalších mechanismů, které se v přírodě dějí), a představit základní ekologické i fyzikální principy a mechanismy teorie biotické pumpy, včetně několika příkladů dokazujících tuto teorii.

2. Distribuce sluneční energie

Sluneční energie, která proniká do atmosféry a k zemskému povrchu je primárním zdrojem energie. Zdrojem této energie je vodík, který se na Slunci při termonukleární reakci přeměňuje na helium (Kleczek & Grygar, 2011). Člověk svým hospodařením v krajině ovlivňuje distribuci přicházející sluneční energie, a současně tak ovlivňuje i koloběh vody, toky látek a místní klima.

2.1. Globální bilance Země

Na hranici zemské atmosféry projde plochou 1 m^2 přibližně 1367 W sluneční energie. Toto množství se nazývá solární konstanta, protože pro průměrnou vzdálenost Země od Slunce je stálé. V průběhu roku ale množství přicházející energie kolísá od 1321 W.m^{-2} do 1412 W.m^{-2} (Kopp et al., 2005; Geiger et al., 2009), protože Země obíhá po eliptické dráze a mění se tedy její vzdálenost od Slunce.

Na obrázku 3. Je znázorněna globální bilance Země. Je to ovšem obecně udávané schéma. Konkrétní místa na zemském povrchu pak dostávají sluneční záření v režimu den/noc, případně v sezónním režimu a vegetace na tyto změny v příkonu energie bezprostředně reaguje.

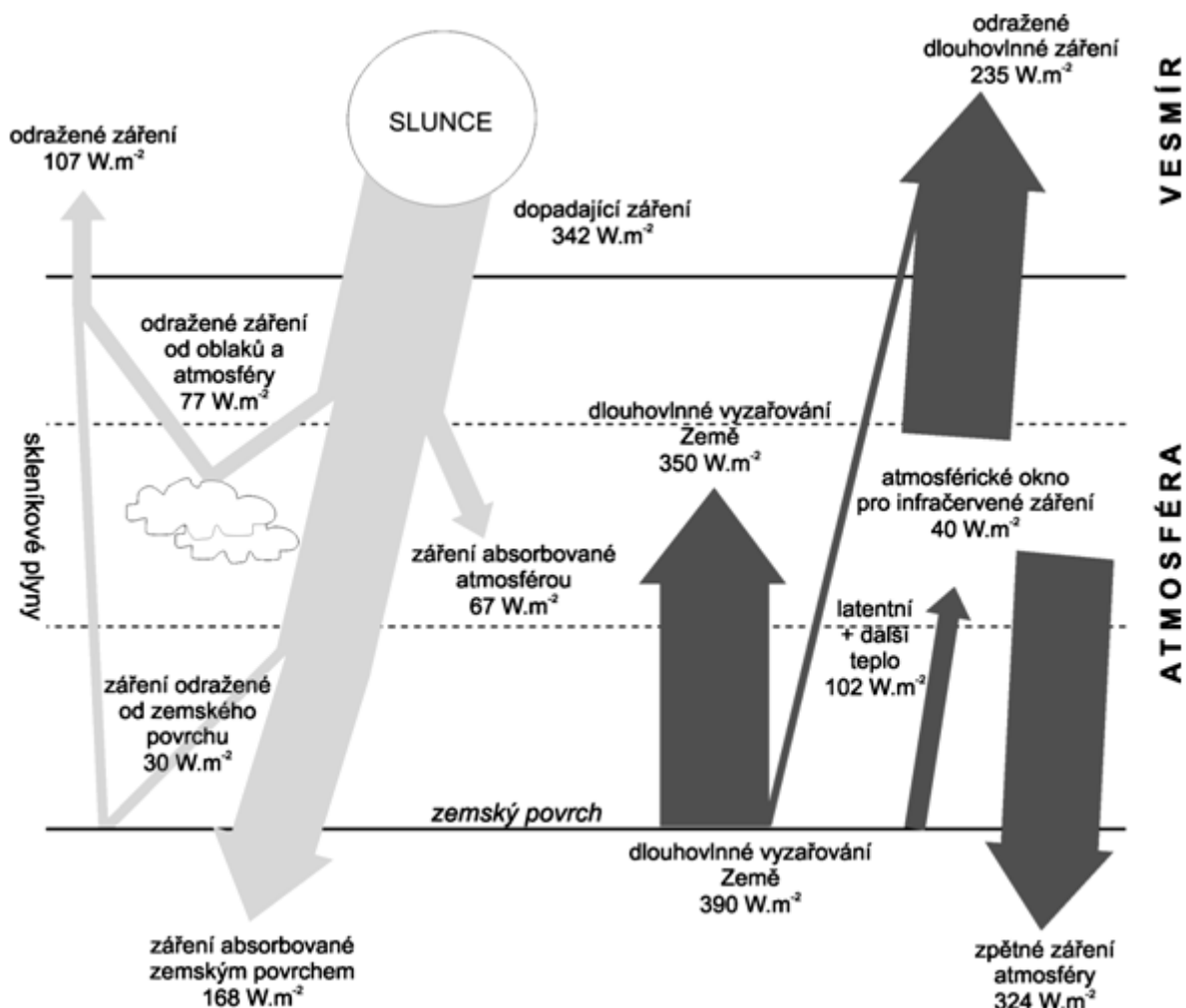
Je možné zjistit celkové množství energie, které od Slunce získáváme a to tak, že vynásobíme hodnotu solární konstanty průřezem Země. Číslo, které získáme se rovná 180000 TW . Spotřeba celé lidské společnosti je ale pouze 10 TW (Kleczek & Grygar, 2011), (myslí se tím energie vyráběná spalováním uhlí, nafty, zemního plynu, energie z jaderných elektráren, biomasy a energie obsažená v potravě).

Bez příkonu sluneční energie by se teplota na Zemi blížila absolutní nule, teplota by klesla o více než 273°C , pod bod tuhnutí dusíku.

Sluneční záření má spektrální rozsah 30 až 3000 nm , a veškeré sluneční záření, přímé a difuzní, všech vlnových délek se nazývá globální. Vlnové délky 400 - 700 nm připadají na fotosynteticky aktivní světlo, které ale tvoří pouze 45 % záření globálního. Záření o delší vlnové délce se považuje za infračervené, o kratší vlnové délce za UV záření. Při jasné obloze dopadá na zemský povrch až dvě třetiny hodnoty solární konstanty, tedy až 1000 W.m^{-2} . Zbylá jedna třetina je v atmosféře pohlcována především vodní párou, rozptyluje se a odráží

na částicích a aerosolech. Pokud je obloha zatažená, dopadá na zemský povrch pouze záření rozptýlené a celkové množství přicházející sluneční energie může klesnout i pod $100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (shrnutí v Šarapatka et al., 2010).

Obr. 3. Globální bilance Země

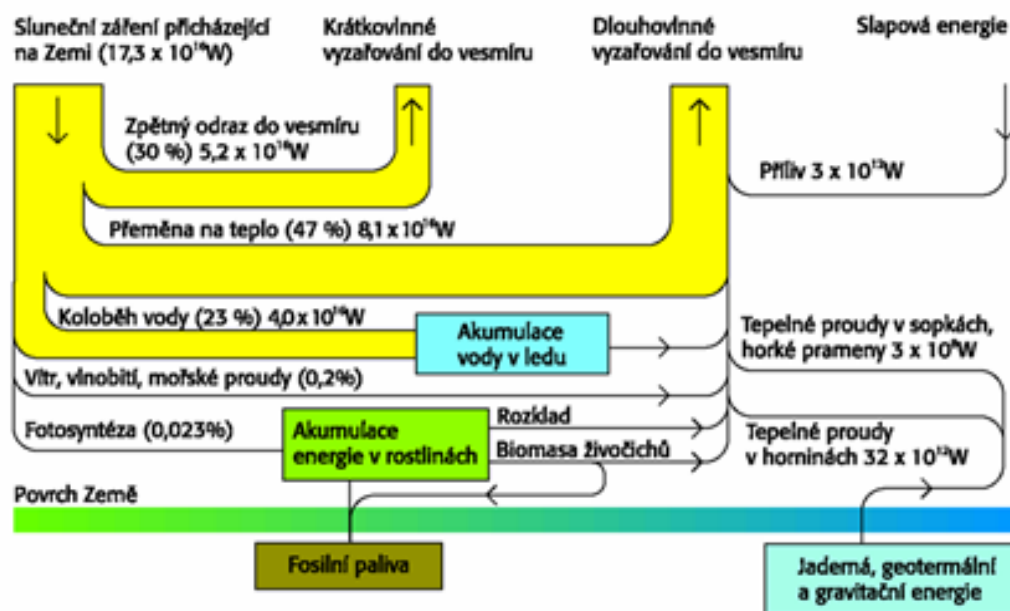


Převzato z: Strahler & Strahler, (2006)

Na obrázku 4. je diagram, který znárodňuje energetickou bilanci Země i ve vztahu ke koloběhu vody a energii vázané fotosyntézou.

Obr 4. Energetická bilance planety Země

Energetická bilance planety Země



Převzato z: Jirka & Pokorný, (2009) podle Strahler & Strahler, (1999) a Peixoto & Kettani, (1973)

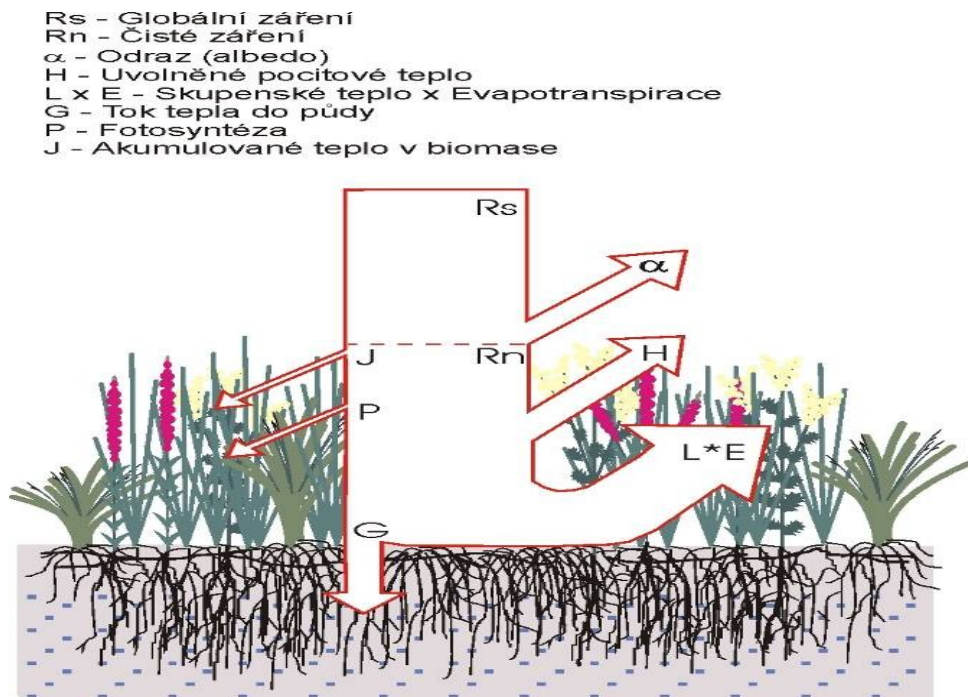
2.2. Distribuce sluneční energie v porostech

Část slunečního záření se od zemského povrchu odráží, část ho ohřívá. Od zahřátého povrchu se ohřívá i vzduch, který proudí vzhůru. Tomuto druhu tepla se říká zjevné teplo. Latentní, skryté teplo a evapotranspirace jsou označení pro část energie, která se spotřebovává na výpar vody. Na výpar jednoho litru vody o teplotě 20 stupňů Celsia se spotřebuje 0,68 kWh. Část energie také přechází do země (tok tepla do půdy).

Pokud sluneční záření dopadá na suchý povrch, přeměňuje se převážně na zjevné teplo. V místech bohaté vegetace, např. lesa se většina záření spotřebuje na výpar vody. Výpar vody porostem se nazývá evapotranspirace.

Na obrázku 5. je znázorněna distribuce sluneční energie v porostech. Je zřejmé, že pokud záření dopadá na rostlinný porost, největší část energie se spotřebuje na evapotranspiraci, výpar vody, zatímco pouze minimální množství energie je potřebné pro fotosyntézu.

Obr. 5. Distribuce sluneční energie v porostech



Převzato z: Pokorný et al., (2010 B)

Tím, že se na místech s nadbytkem energie sluneční energie váže výparem vody, dané místo ochlazuje. Naopak při kondenzaci na chladných místech se energie opět uvolňuje. Na jednom metru čtverečním tak může v létě být rozdíl energie vázané ve vodní páře a uvolněné jako teplo i několik kWh za den (Pokorný et al., 2010 A).

Fotosyntézou se váže pouze 1 % sluneční energie, které na rostlinu dopadá. Z toho vyplývá, že pokud spalujeme fosilní paliva, a započítáme i energetické náklady spojené s těžbou a dopravou, využíváme sluneční energii s minimální účinností.

V našich zeměpisných šířkách dopadne za rok na 1 m² 1000-1200 kWh (<http://fotovoltaika.ekowatt.cz/stanoveni-dopadajici-slunecni-energie.php>), což odpovídá přibližně energii obsažené ve 240 kg biomasy. Jeden kilogram suché rostlinné biomasy s převahou celulózy obsahuje 16 – 18 MJ, tj. 4,4 – 5 kWh (Cooper, 1975).

S příchodem jara začíná i vegetační sezona a rostliny za pomoci sluneční energie tvoří více biomasy. Díky tomu mohou mnohem více energie převádět evapotranspirací a tlumit tak vytváření teplotních rozdílů (shrnuto v Šarpatka et al., 2010).

Důkazem těchto teorií mohou být termovizní snímky, případně satelitní teplotní snímky, které jasně ukazují, že vegetace hraje velmi důležitou roli v tvorbě místního klimatu (Hesslerová et al., 2013). Toto tvrzení ovšem není jednoznačně přijímáno, je kontraverzní. Někteří autoři, např. Balla et al., (2007) tvrdí, že lesy mají nízké albedo a krajinu oteplují. Na základě experimentů prováděných pomocí matematických modelů tito autoři říkají, že odlesnění by vedlo spíše k ochlazení planety, protože zvýšení albeda po vykácení lesa má větší ochlazovací efekt, nežli je oteplující efekt uvolněného oxidu uhličitého v důsledku odlesnění.

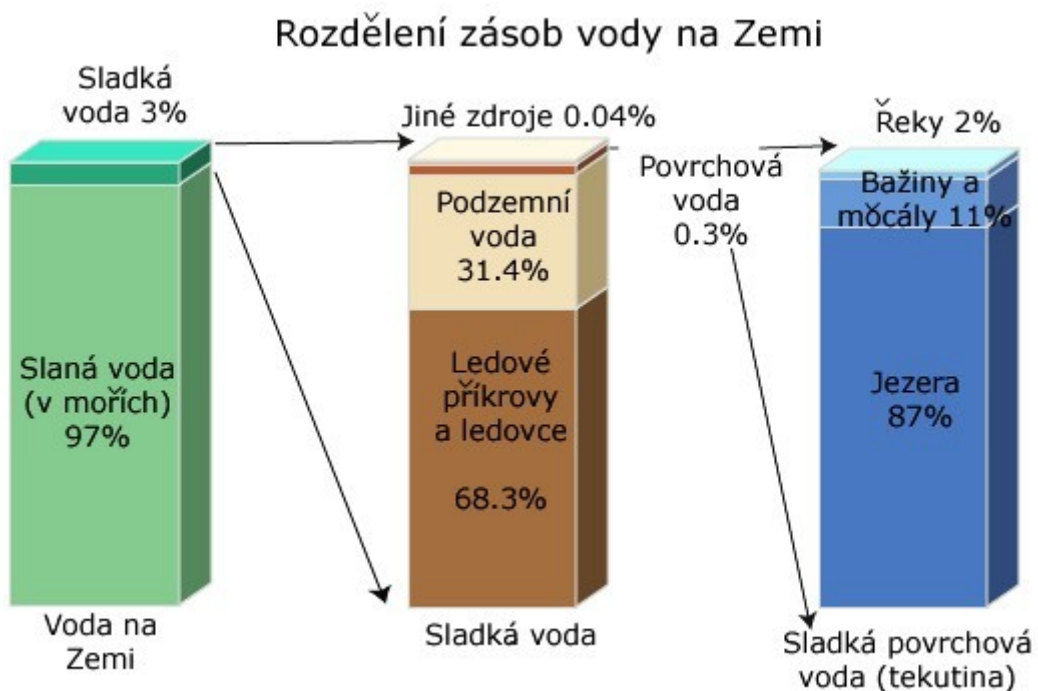
3. Biotická pumpa

3.1. Dynamika sladké vody na pevnině

Rostliny ke svému životu potřebují vodu a půdní vlhkost. Dynamika sladké vody je vysoká, ovšem množství této vody na pevnině je velmi malé. Pokud by se voda nějakým zásadním způsobem nedoplňovala, veškerá by z pevniny otekla do moře během několika let (Makarjeva & Gorshkov, 2010 podle L'vovitch, 1979).

Na obrázku 6. je zobrazeno rozdělení zásob vody na Zemi, stejně tak je toto shrnuto v tabulce 1. Naprostou většinu vody na planetě tvoří slaná voda v oceánech, zatímco například sladkovodní toky tvoří přibližně 0,0001 %.

Obr. 6. Rozdělení zásob na Zemi



Převzato z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/07-voda.html

Tabulka 1. Rozložení zásob vody na Zemi

Rozložení zásob vody na Zemi v % z celkového množství vody na Zemi	
Oceány	97,22 %
Slaná jezera a vnitrozemní moře	0,008 %
Ledovce	2,136 %
Voda v organismech	0,0001 %
Sladkovodní jezera	0,009 %
Vodní toky	0,0001 %
Půdní voda	0,005 %
Podzemní voda do hloubky 800 m	0,31 %
Podzemní voda nad 800 m	0,31 %
Celkem sladkovodní zdroje	2,77 %

Převzato z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/07-voda.html

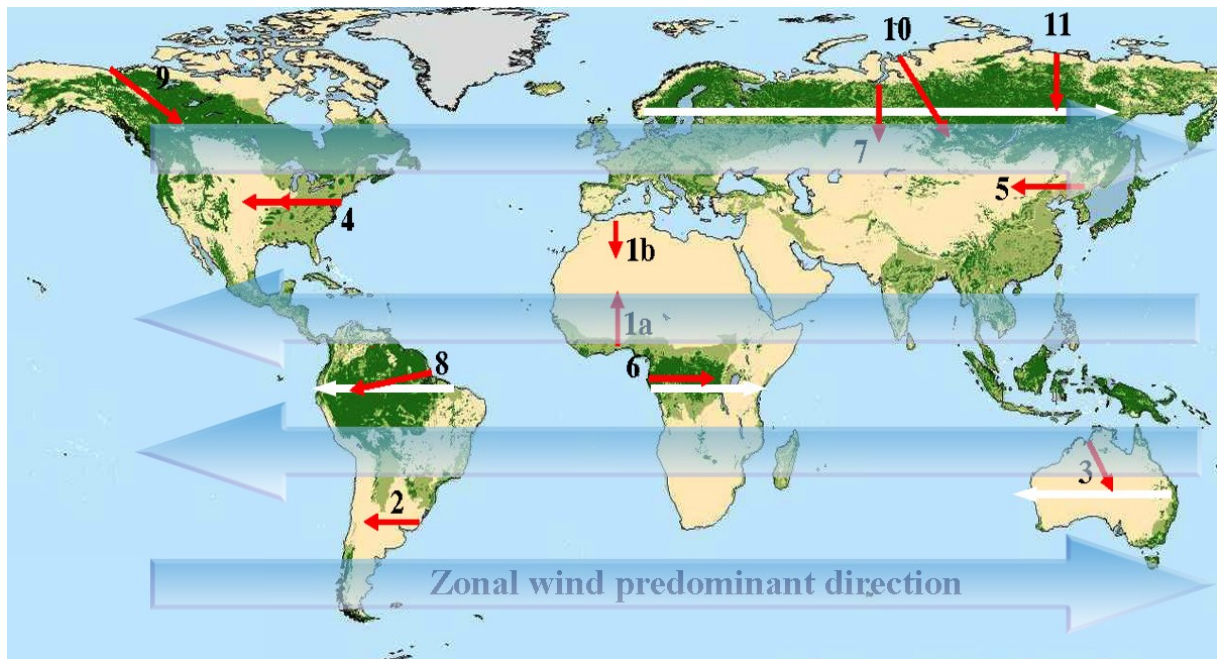
Jak je tedy možné, že řeky nikdy nevyschnou?

Zásadní způsob, kterým je voda na pevninu doplňována, jsou vlhké větry, které vanou opačným směrem než voda odtéká. Tedy od oceánu nad pevninu. Voda je tímto způsobem přenášena ve formě vodní páry, v plynném skupenství.

3.2. Srážky v závislosti na vzdálenosti od oceánu

Závislost množství ročních srážek na vzdálenosti od oceánu se výrazně liší mezi oblastmi zalesněnými a oblastmi bez lesní vegetace. V nezalesněných oblastech množství srážek klesá exponenciálně se vzdáleností od oceánu. Naproti tomu v zalesněných oblastech zůstává množství srážek stejné i tisíce kilometrů směrem do vnitrozemí (Makarieva et al., 2009). Na obrázcích 7 a 8 jsou znázorněny transekty na částech kontinentů, kde bylo vyhodnoceno množství srážek v závislosti na vzdálenosti od oceánu.

Obr. 7. Množství srážek v prostoru a čase v zalesněných a nezalesněných regionech



Červené šipky převzaty z: Makarieva et al., (2009)

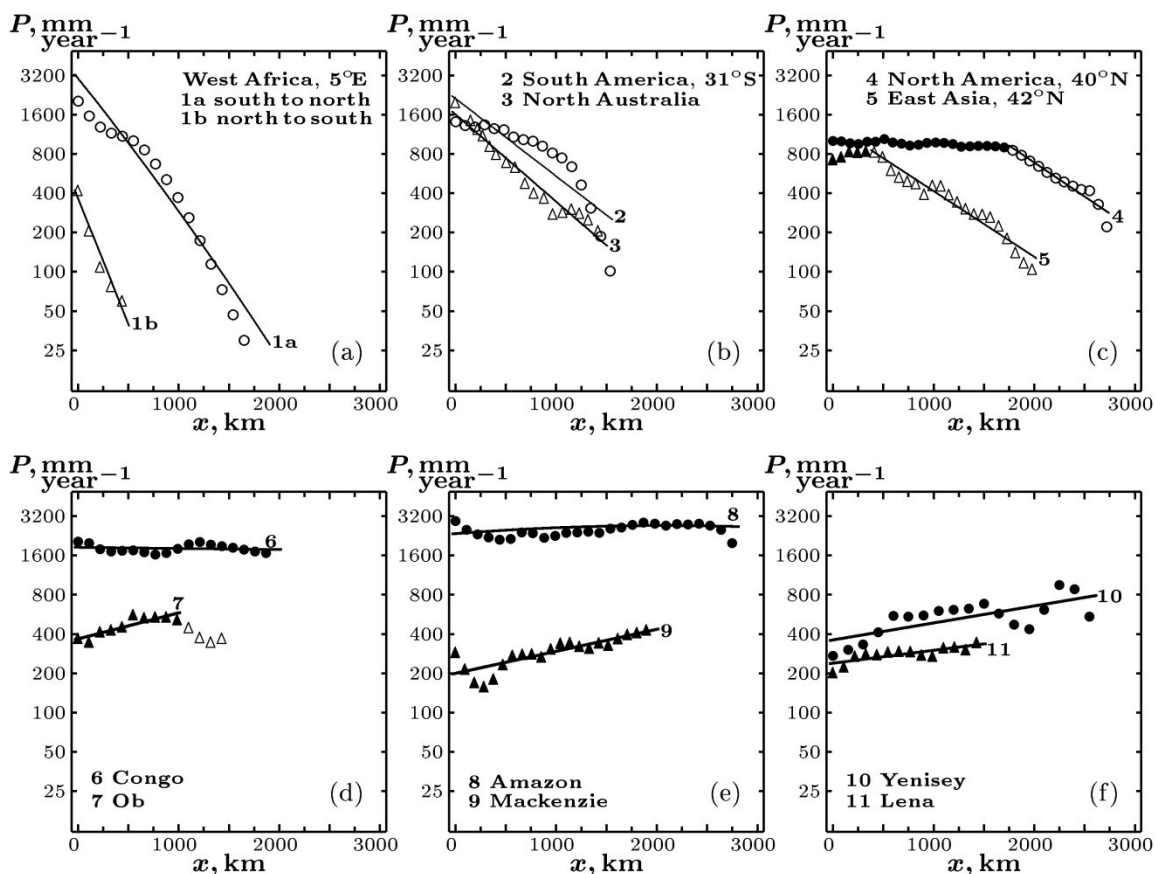
Bílé šipky převzaty z: Makarieva et al., (2013)

Z obrázku 8 je patrné, že v nezalesněných oblastech dochází k výraznému snížení množství srážek už několik set kilometrů od oceánu (a-c), zatímco v zalesněných oblastech zůstává množství srážek konstantní i daleko ve vnitřních částech kontinentu (d-f).

Výjimkou je oblast Severní Ameriky (8c), protože tento region je nejvíce narušen činností člověka (Makarieva et al., 2009 podle Bryant et al., 1997). I přes to je ale patrné, že ubývání srážek nastane v mnohem větší vzdálenosti, než v regionech nezalesněných vůbec.

Obr. 8. Kontinentální srážky v závislosti na vzdálenosti od oceánu.

Na ose x je znázorněna vzdálenost od oceánu, ve které byly zaznamenány srážky v km. Na ose y je znázorněno množství srážek v mm za rok. Nevybarvené znaky znamenají nezalesněné oblasti, a vybarvené znaky znamenají zalesněné oblasti. Lze pozorovat, že v zalesněných oblastech zůstává množství srážek stejné, nebo je dokonce vyšší, i daleko od oceánu směrem dovnitř kontinentu.



Převzato z: Makarieva et al., (2009)

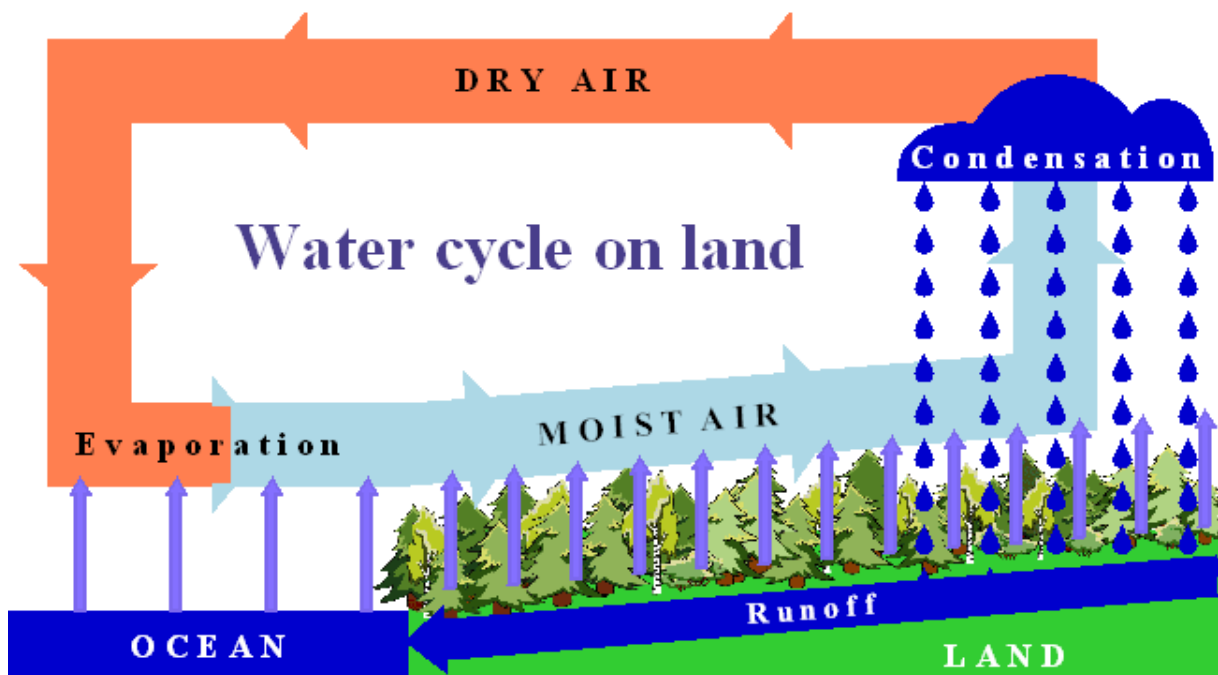
3.3. Ekologické mechanismy vlhkého transportu od oceánu na pevninu

Protože mají lesní porosty nižší teplotu u země, než na povrchu porostu, udržuje se relativně chladný a vlhký vzduch uvnitř porostu. Vodní pára vydávaná evapotranspirací korun stoupá zvolna vzhůru. V noci, při poklesu teploty, vlhký vzduch kondenzuje na listech stromů a vodní pára uvolněná z korun stromů se sráží v atmosféře nad lesem. Přitom se uvolní skupenské teplo. Ztráta plynu, který zkondenzoval, zapříčiní snížení tlaku vzduchu a tím pádem i horizontální vzdušné proudění. Masivní lesní porosty tak tímto způsobem dokážou

nasávat velké množství vlhkého vzduchu od oceánu až daleko dovnitř kontinentů (Makarieva & Gorshkov, 2006). Až 90 % veškeré vody je do atmosféry dostáváno díky rostlinám. Pouze 10 % vody v atmosféře je zde díky pouhé evaporaci (Jasechko et al., 2013). Nad lesem pak vodní pára kondenzuje v dešťové srážky. Tomuto mechanismu se dnes říká biotická pumpa atmosférické vlhkosti. Teorii biotické pumpy uveřejnili Makarieva & Gorshkov, (2006). Jejich práce vyvolala živou diskuzi i ostrou kritiku (Meesters et al., 2009). Makarieva a Gorškov odpověděli v práci Makarieva & Gorshkov (2009, C) a diskutovali též prostřednictvím svých webovských stránek (<http://www.bioticregulation.ru>). Makarieva a Gorškov v následujících deseti letech, do roku 2017, uveřejnili samostatně a ve spolupráci s dalšími autory desítky prací, které vysvětlují mechanismus vzniku proudění vzdušných mas, tornád, varují před následky odlesňování Sibíře, zabývají se prouděním vzduchu nad Amazonskými pralesy (Makarieva & Gorshkov, 2009 A; Makarieva & Gorshkov, 2009 B; Makarieva & Gorshkov, 2010).

Na obrázku 9 je znázorněno schéma proudění vody. V nižších vrstvách atmosféry proudí vzduch, obohacený o vlhkost z oceánu, směrem ke kontinentu, kde se vodní pára sráží a vypadává v podobě dešťových srážek. Vysušený vzduch zde stoupá vzhůru a proudí zpět směrem k oceánu.

Obr. 9. Schéma proudění vody



Převzato z: Gorshkov & Makarieva, (2013)

Bohužel, funkce lesů jako generátorů vzdušné vlhkosti, byla v posledních desetiletích velmi málo zkoumána.

3.4. Fyzikální podstata biotické pumpy

Následující odstavce jsou shrnutím diskusního sdělení autorů teorie biotické pumpy z internetového zdroje:

<https://judithcurry.com/2013/01/31/condensation-driven-winds-an-update-new-version/>.

Různé předchozí teorie zaměřené na pohyb atmosféry, uznávají jako zdroj energie, která tento pohyb řídí, vztlak spojený s teplotními gradienty. Teorie biotické pumpy, na rozdíl od všech dosavadních mechanismů, které uvažovaly plynné i kapalnou fázi, pracuje pouze s plyny (Makarieva & Gorshkov, 2010). Podstata těchto dějů je taková, že když vlhký vzduch stoupá vzhůru, tak se ochlazuje a vodní pára kondenzuje. To znamená, že zmizí z plynné fáze. Z toho lze odvodit, že tlak vodní páry, oproti jiným nekondenzujícím plynům, klesá se stoupající nadmořskou výškou mnohem rychleji – vodní pára stoupá vzhůru, ochlazuje se, kondenzuje na kapalnou vodu a tlak klesá. Toto lze doložit i pomocí Avogadrova zákona, podle kterého se z 18 ml kapalnou vody vytvoří 22400 ml vodní páry.

„Exponenciální škála výšky h_v vodní páry je zřetelně menší, nežli škála ostatních plynů.“

Hydrostatická rovnováha vertikálního gradientu sil $-\partial p/\partial z$ je hmotnost v jednotce atmosférického objemu $-\rho g$: $-\partial p/\partial z - \rho g = 0$. Lze tedy říci, že pokud by neexistovala kondenzace, pak by relativní parciální tlak vzduchu v atmosférických plynech byl nezávislý na výšce.

Pro hydrostatickou rovnováhu takových plynů platí rovnice 1, podle které nezbyvá žádná energie na to, aby bylo možné generovat pohyb. Veškerá práce, kterou vykonaly nekondenzující plyny při stoupaní vzhůru je totiž využita na vyrovnání molárních podílů celkových vzdušných mas.

$$-\frac{\partial p_i}{\partial z} = \gamma_i \rho g = \gamma_i \frac{p}{h}, \quad h \equiv \frac{RT}{Mg}, \quad \gamma_i \equiv \frac{p_i}{p} = \frac{N_i}{N}, \quad (1)$$

Pokud ale uvažujeme nasycenou vodní páru, pak její kondenzací se uvolní energie, která pohání dynamiku zemské atmosféry. Je to vlastně síla, která zůstává k dispozici i poté, co vodní pára sama sebe vynesla vzhůru. Pro toto platí rovnice 2.

$$-\frac{\partial p_v}{\partial z} \equiv \frac{p_v}{h_v} \gg \gamma \rho g, \quad \gamma \equiv \frac{p_v}{p} = \frac{N_v}{N} \sim 10^{-2} \ll 1. \quad (2)$$

Uvolněná energie, která je dostupná pro to, aby mohla pohánět vzdušné proudění, se značí symbolem q (W m^{-3}) a je definována vztahem (rovnice 3):

$$q \equiv w \left(-\frac{\partial p_v}{\partial z} - \gamma \rho g \right) = w p_v \left(\frac{1}{h_v} - \frac{1}{h} \right) = -w p \frac{\partial \gamma}{\partial z} = -w N R T \frac{\partial \gamma}{\partial z} \quad (3)$$

Energie kondenzace se ale převážně mění na vítr a horizontální gradient tlaku. Je tomu tak především proto, že atmosférické podmínky rovnovážného hydrostatického tlaku brání vzniku vertikálního proudění.

$$q = \mathbf{v} \cdot (-\nabla p - \rho \mathbf{g}) = -\mathbf{u} \nabla p; \quad -\mathbf{w} \cdot (\nabla p - \rho \mathbf{g}) = 0. \quad (4)$$

Podle rovnice 4 je rychlost proudění vzduchu \mathbf{v} složena ze dvou složek. Z horizontální u a vertikální w rychlosti proudění vzduchu: $\mathbf{v} = \mathbf{u} + \mathbf{w}$. Delta p je gradient tlaku. Vše je měřené ve velkém měřítku cirkulace. Kinetická energie, která je generovaná horizontálními gradienty tlaků, se v menším prostorovém měřítku rozptýlí ve vířivé proudění, a nakonec se změní v teplo.

Pokud integrujeme rovnici 5, pak dospějeme k závěru, že hnací síla Q na jednotku plochy je úměrná precipitaci P .

$$Q \equiv \int q dz = w N \gamma(0) R T = P R T, \quad (5)$$

ptlak vzduchu

p_iparciální tlak i -tého plynu

p_vparciální tlak vodní páry

ρhustota vzduchu

gtíhové zrychlení

hvýška stupnice vzduchu

h_vvýška stupnice vodní páry

Nmolární hustota

N_imolární hustota i -tého plynu

N_vmolární hustota vodní páry

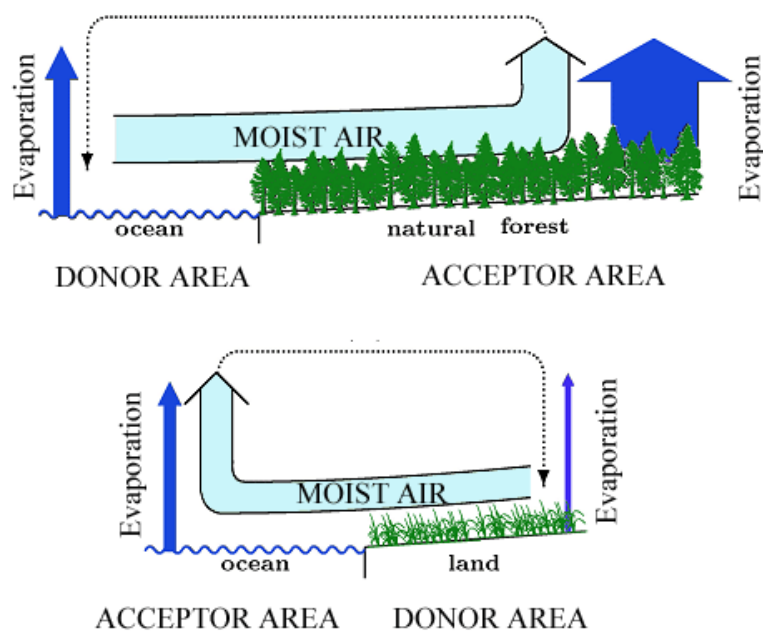
Runiverzální plynová konstanta ($8,3 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

Mmolární hmotnost plynu

3.5. Donorová a akceptorová místa

To, že každý ze dvou sousedních regionů odpařuje jiné množství vody, způsobí proudění vzduchu v nižších vrstvách atmosféry. Vzduch proudí z míst, kde je množství odpařené vody nižší, do míst, kde se odpařuje víc (Makarjeva & Gorshkov, 2008). Místa s vyšším odpařováním, tedy s nižším tlakem vzduchu, aktivně nasávají vzduch z okolních oblastí, kde je tlak vzduchu vyšší (Makarjeva & Gorshkov, 2010). Z míst s vyšším výparem stoupá vodní pára vzhůru a kondenzuje. Na zem tedy vlhkost dopadne v podobě atmosférických srážek. Vzduch v horních vrstvách atmosféry, nyní už zbavený vlhkosti se vrací zpět do regionů, kde se méně odpařuje (Makarjeva & Gorshkov, 2008). Místo s vyšším tlakem vzduchu můžeme tedy nazvat dárce, místo s nižším tlakem vzduchu můžeme nazvat akceptorem vlhkosti (Makarjeva & Gorshkov, 2010).

Obr. 10. Donorová a akceptorová místa



Převzato z: <http://www.bioticregulation.ru>

Horní část obrázku 10 ukazuje situaci, kdy je na pevnině les a vysoká evapotranspirace. Pevnina porostlá lesem je akceptorem vlhkosti, oceán je donorem. Druhá část obrázku ukazuje situaci po odlesnění, kdy je výpar nad oceánem relativně vyšší nežli výpar (evapotranspirace) nad odlesněnou pevninou. Oceán se stal akceptorem a pevnina donorem, Důležité je, že odlesněná pevnina se dále vysušuje.

I odpůrci teorie biotické pumpy (Dolman – Pokorný, ústní sdělení) uvádějí, že suchá místa dále vysychají a vlhké, chladné plochy přijímají více srážkové vody. Vysychání je tedy pozitivní zpětnovazebný proces – odvodněním se snižuje výpar, krajina se ohřívá, stává se donorem vlhkosti a vysychání se zrychluje. Zastánci biotické pumpy upozorňují na osudy historických civilizací, které vyschly následkem odlesnění a náhradou mokřadů za obilniny, které jsou stepními travami (Ponting, 1991; Nobre, 2014).

3.6. Proudění vzduchu mezi různými typy regionů

Přírodní lesní porosty vydávají významné množství vody evapotranspirací. Stromy mohou, díky obrovskému množství listů vypařovat vodu mnohem větší plochou, než otevřený oceán (Makarjeva & Gorshkov, 2006). Lesy tedy dokážou nasávat obrovské množství vody od oceánu a kompenzovat tak říční odtok během celého roku. Tímto způsobem zajistí také konstantní půdní vlhkost a sníží tak riziko povodní, nebo lesních požárů. To, že lesy zajišťují pohon proudění vzduchu, znamená i menší pravděpodobnost vzniku hurikánů, nebo tornád.

Opačná situace nastává v poušti. Nedochází zde k žádnému výparu a vzduch je nasáván oceánem, protože tento region má v dané situaci nižší tlak (Makarjeva & Gorshkov, 2008). Uplatní se zde pozitivní zpětná vazba, která spočívá v tom, že čím sušší poušť bude, tím víc se bude dále vysušovat.

3.7. Srovnání teorie s pozorovanými jevy

Modely o atmosférické cirkulaci, které byly dosud k dispozici, jsou založeny především na druhém Newtonově zákonu, zákonu zachování hmoty, zákonu ideálního plynu a prvním zákonu termodynamiky. Rovnovážná termodynamika ale nepodává žádné informace o tom, s jakou účinností se teplo přeměňuje na kinetickou energii, ani o tom jestli k takové přeměně vůbec dochází. Lze tak říci, že tyto modely jsou vytvořeny podle toho, aby souhlasily s pozorováním, v tomto případě s pozorovanou rychlostí větru, ale nedefinují žádné dané faktory pomocí fyzikálních principů.

Každý jev, který se pravidelně opakuje, může být nějakým způsobem popsán a předpověděn. Není k tomu potřeba znát jakoukoliv fyzikální podstatu. Příkladem mohou být satelitní data, díky kterým lze pozorovat a předpovídat pohyby hurikánů. To je samozřejmě důležité a

užitečné, ale nepodá nám to žádnou informaci o tom, co se stane, když se změní podmínky zemského pokryvu.

Výsledky studií, které byly až dosud k dispozici, jsou získány různými způsoby kalibrace. Proto nelze říci, že by tyto modely byly založeny na fyzikálních principech, a proto také dosud nikdo nestanovil žádný odhad síly, která pohání atmosférickou cirkulaci.

(<https://judithcurry.com/2013/01/31/condensation-driven-winds-an-update-new-version/>)

3.8. Příklady odlesňování

3.8.1. Studie odlesňování v Jižní Americe (povodí Amazonky)

Pro Jižní Ameriku je velmi podstatné získávání vlhkého vzduchu z Atlantiku. Deštné pralesy v Amazonii zaujímají přibližně 40 % území Jižní Ameriky (<https://www.pachamama.org/blog/flying-rivers-of-the-amazon-rainforest-a-critical-rain-generator-for-the-planet>) a dodávají do nižších vrstev atmosféry velké množství vlhkosti evapotranspirací (Boers et al., 2017).

Amazonský prales je významný také rozmanitostí rostlinných, živočišných i hmyzích druhů, jichž se zde vyskytuje přibližně třetina celkové světové diverzity. Prales je důležitý i pro průmysl, potravinářský i farmaceutický. Jednou z jeho nejdůležitějších funkcí je ale to, že v obrovském množství absorbuje a uchovává oxid uhličitý, a vydává do atmosféry přibližně 20 % celkového kyslíku na Zemi. Toto hraje významnou roli v globálním uhlíkovém cyklu (<https://www.pachamama.org/blog/flying-rivers-of-the-amazon-rainforest-a-critical-rain-generator-for-the-planet>).

Antonio Donato Nobre se zabývá Amazonským výzkumem. Ve svých pracích říká, že „Řeka páry, která vychází z lesa a jde do atmosféry, je větší než Amazonka“.

Za slunného dne může jeden vzrostlý strom v Amazonském pralesu transpirací, tedy procesem poháněným „pouze“ slunečním zářením, uvolnit do atmosféry až 1000 litrů vody. V deštném pralesu jsou miliardy stromů. Množství transpirované vody je tak obrovské, odhaduje se na 20 miliard metrických tun. Taková vzdušná řeka je větší, než Amazonka, která odvádí do Atlantiku přibližně 17 miliard tun vody denně, a poskytuje dostatek vlhkosti pro udržení přírodního koloběhu v Amazonském deštném pralesu (Nobre, 2014). Tato vlhkost je nezbytná také pro srážky v oblastech dál po proudu řeky, směrem na západ. Fungují zde zpětnovazebné

mechanismy, což se při rozsáhlém odlesňování projeví nejen v místních ekosystémech, ale i v dalších, vzdálenějších územích (Boers et al., 2017). Změna nastane v množství srážek, které poklesne přibližně o 140 – 640 mm za rok a v teplotě, která se zvýší přibližně o 0,1 – 3,8 °C. (Nobre, 2014). Podle teorie biotické pumpy, pokud by se Amazonský deštný prales vykácel, by nedocházelo k transpiraci, následné kondenzaci vodní páry a vzdušné proudy by se otočily. Vzduch by unášel vlhkost od kontinentu směrem k oceánu a z původního deštného pralesa by se postupně stávala poušť.

Je pouze několik studií, které zkoumají dopady postupného odlesňování Amazonského deštného pralesa na srážky. Například dvě nedávné studie: Sampaio et al., (2007) a Pires & Costa, (2013). Tyto studie uvádí, že srážky klesají nelineárně s odlesňováním.

Před odlesňováním byly v Amazonii v podstatě pouze dvě sezony. Sezona mokrá a vlhká. To se ale s postupným odlesňováním mění a v současnosti je již na tomto území velmi výrazné období sucha. Doba tzv. mokrého období se se stále větším úbytkem lesů zkracuje (Marengo, 2011).

Výsledky studie Boers et al., (2017) ukazují, že zde skutečně existuje pozitivní zpětná vazba, která je spojena také s uvolňováním latentního tepla do atmosféry, a že tato zpětná vazba je rozhodujícím mechanismem v doplňování vlhkosti od oceánu na pevninu. Odlesňování je simulováno snížením celkového toku tepla na povrch a změnou jeho rozkladu na pocitové a latentní teplo. Pokud dojde k vykácení deštného pralesa, ten se přemění např. na louku, nebo pastvinu, povede to ke zvýšení albeda povrchu a ke snížení povrchového záření. Výsledkem bude především zvýšení toku zjevného tepla a snížení toku latentního tepla. Konkrétně tato studie uvádí, že evapotranspirace se sníží o nejméně 20 %, zatímco tok zjevného tepla se zvýší o 40 %.

Podle výsledků této studie také existuje prahová hodnota odlesňování. Ta odpovídá přibližně 30 % až 50 % území. Pokud tedy dojde k tak výraznému odlesnění, přestanou již zpětnovazebné mechanismy fungovat a výrazný pokles srážek se projeví i v dalších, kácením nedotčených oblastech. Přesné výsledky je ale potřeba interpretovat velmi opatrně.

3.8.2. Studie odlesňování v Austrálii

V Australském vnitrozemí se během historického vývoje vytvořily polosuché podmínky pro život. V posledních letech se ale ukazuje, že množství srážek v jihozápadní Austrálii klesá, což způsobuje mnoho problémů.

Většina srážek v jihozápadní Austrálii přichází v období od dubna do října, a pochází z Indického oceánu (Andrich & Imberger, 2013 podle Wright, 1974).

Podle Kala et al., (2011) existují na pokles srážek v jihozápadní Austrálii dvě teorie, a jedna z těchto teorií se týká právě odlesňování, vyčištění původní vegetace. Odlesněním se sníží účinek biotické pumpy (Makarieva & Gorshkov, 2006), sníží se také propustnost půdy pro vodu (Kala et al., 2011), do atmosféry se dostane menší množství organických látek a aerosolů, sloužících jako kondenzační jádra pro vznik srážek (Junkermann et al., 2009), a zvýší se horizontální rychlost větru (Pitman et al., 2004).

Studie Andrich & Imberger (2013) popisuje, jak změna ve využívání půdy, případné odlesňování, ovlivní množství srážek, a jaké jsou dopady tohoto na hospodářství i průmysl. Dlouhodobým pozorováním srážkových stanic na západním pobřeží, sledováním průtoku vody v přehradách a dalšími různými statistickými metodami bylo zjištěno, že více než polovina poklesu srážek je způsobena změnou využívání krajiny. Tedy odlesněním a následným hospodářským využíváním území. Odlesnění v jihozápadní Austrálii se historicky na různých místech liší. Například území pobřežního pásu bylo do roku 1980 odlesněno z 50 %. Území tzv. pšeničného řemenu, které je rovinným místem, využívaným především pro pěstování pšenice, bylo do roku 1910 zachováno téměř nedotčené, ale po roce 1980 byla původní vegetace odstraněna až ze 40%. To lze zjistit pomocí leteckých snímků. Celkový pokles srážek je v jihozápadní Austrálii asi 30 %.

Tato studie také uvádí, že vykácením/změnou ve využívání půdy, došlo ke snížení průtoku vody v přehradách a to přibližně o 300 GL (gigalitru, GL = milion m³) za rok. 300 GL je objem vody v nádrži Lipno, nebo objem vody srovnatelný s objemem vody šedesáti rybníků Rožmberk.

Vykácení lesů je sice přínosné pro stavebnický průmysl a pro hospodářství, nicméně způsobuje to velké problémy s dostupností sladké vody, jejíž cena stoupá a prohlubují se sociální rozdíly mezi obyvateli kontinentu (Andrich & Imberger, 2013).

3.9. Příklady obnovy desertifikované krajiny

Každoročně jsou desetitisíce kilometrů čtverečných půdy přeměněny na poušť.

Odlesňování krajiny je průvodním jevem růstu populace, protože les uživí (má nosnou kapacitu) nanejvýš několik lidí na km². Je proto otázkou a výzvou, zda lze v kulturní krajině napodobit funkci přirozeného lesa. Podmínkou je dostatek trvalé vegetace a zadržování vody.

Jako příklad mohou být uvedena tři místa, kde se lidé pokouší obnovit desertifikovanou krajinu tím, že kulturní krajina imituje funkci lesa.

3.9.1. Rajastan, Indie

Prvním příkladem je Rajastan v Indii. Projekt je založený především na zadržování dešťové vody. Podstata spočívá ve vytváření bariér ze sedimentů, tzv. johady, které brání odtoku vody (Gupta, 2011). Johady jsou drobné vodní nádrže zadržující dešťovou vodu, kterou využívají zvířata, a také se díky těmto bariérám dostane ve velkém množství voda do podzemí. Hloubka, ve které se nachází podzemní voda, se snížila ze 100 – 120 metrů na 3 – 13 metrů a rozloha lesa v oblasti se zvýšila ze 7 % na téměř 40 %. V této oblasti bylo postaveno na 5000 takovýchto bariér a tyto bariéry zadržují vodu, která by odhadem stačila na zavlažení 140000 ha půdy (Bhattacharya, 2015).

3.9.2. Darawedi, Indie

Dalším příkladem může být Darewadi, opět v Indii. Zde byl projekt zahájen v roce 1996 a je zaměřen na činnost kontroly a ochrany přírodních zdrojů (Husain et al., 2015), především zde docházelo k rozvoji povodí a kontrole eroze půdy. Dočasně také bylo zakázáno kácet stromy, aby se mohl obnovit přirozený les (Rao & Mathur, 2012). Již po pěti letech byly zaznamenány výrazné změny. Počet srážek se zvýšil z 200 na 500 mm za rok, zvýšila se také hladina vody ve studních. Na 1500 ha opuštěné půdy byla obnovena vegetace (Rao & Mathur, 2012).

3.9.3. Přírodní zemědělství v Austrálii

Tento projekt je zaměřen na obnovu degradované půdy zemědělských farem a s tím související obnovu biologické rozmanitosti (Andrews, 2006). Peter Andrews nazval systém tohoto hospodaření „Natural Sequence Farming“ (Norris & Andrews, 2010). Princip je založen především na zadržování dešťové vody, budují se zde různé komplexy rybníků, mokré louky kolonizované hustými porosty rákosů a podobně. Rychlost toku vody se zpomalí, kořeny stromů a dalších rostlin vytváří mechanické překážky a simulují tak původní

vegetaci. Mokřadní vegetace vytváří biomasu, která poskytuje organické látky pro obnovu půdy. Na metru čtverečním se za rok vytvoří a akumuluje až několik kilogramů sušiny rostlinné biomasy. V první fázi obnovy, tedy v prvních několika letech jsou vítány jakékoli druhy, včetně plevelů, které mají vysokou primární produkci a vytvářejí dostatek biomasy. V zamokřeném substrátu se vytvořená biomasa rozkládá jen velmi pomalu, hromadí se a dává vznik nové půdě. Je to stabilní systém, ve kterém voda pomalu proudí z jednoho povodí do dalšího. Od té doby se zde zvýšila diverzita rostlin i živočichů, hydrologický cyklus se stal stabilnějším (Andrews, 2006; Williams, 2010; Kohutiar & Pokorný, 2014).

4. Závěr

Dostupnost vody je naprosto zásadní podmínkou života. Množství pro život dostupné vody na planetě se ale zmenšuje, a tak spousta druhů, rostlinných i živočišných, balancuje na pokraji vyhynutí. Jedním z důvodů postupných změn klimatu a hlavně vysychání některých oblastí je, podle teorie biotické pumpy, ubývání přirozené vegetace, která se na Zemi v minulosti vyvíjela desítky milionů let. Za takovou dobu se vytvořil fungující ekosystém, který dokázal zajišťovat dostatek vody pro pevninu. Stromy jsou dokonalá chladicí zařízení a v souvislém porostu dokáží ovlivňovat koloběh vody na obrovské vzdálenosti. Podle teorie biotické pumpy se pohyb vlhkého vzduchu směrem od moře děje ne na základě změn teplot, ale na základě změn tlaku vzduchu, které nastávají při kondenzaci vodní páry, která evapotranspirací stoupá nad porosty – při kondenzaci tlak klesá. Činností člověka se ale tento fungující ekosystém narušuje, což vede k oslabení takovéto funkce stromů/lesů a na pevnině ubývá srážek. Tím se kontinenty postupně ohřívají a vysušují, stávají se donorovými místy vlhkosti, která tak proudí v opačném směru, od kontinentu směrem k oceánu. Tato pozitivní zpětná vazba se prohlubuje a dochází k zásadním klimatickým změnám postihujícím celou planetu. Myslím, že za současného stavu, kdy jsou měnící se klimatické podmínky velmi aktuální téma, je vhodné informovat veřejnost i o takovýchto názorech na daný problém.

5. Přehled použité literatury

Sekundární citace jsou označené hvězdičkou *

Andrews P. (2006). Back from the Brink, How Australia's landscape can be saved. *ABC Books (Auastralian Broadcasting Corporartion)*, pp. 244

Andréassian, V. (2004). Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. *Journal of Hydrology*, 291(1), p. 1-27.

Andrich, M. A., Imberger, J. (2013). The effect of land clearing on rainfall and fresh water resources in Western Australia: A multi-functional sustainability analysis. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 20(6), p. 549-563.

Bala, G., Caldeira, K., Wickett, M., Phillips, T. J., Lobell, D. B., Delire, C., Mirin, A. (2007). Combined climate and carbon-cycle effects of large-scale deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(16), p. 6550-6555.

Bhattacharya S. (2015). Traditional water harvesting structures and sustainable water management in India: a socio-hydrological review. *Int. Lett Nat Sci* 37, p. 30 – 38

Boers, N., Marwan, N., Barbosa, H. M., Kurths, J. (2017). A deforestation-induced tipping point for the South American monsoon system. *Scientific Reports*, 7.

***Bryant, D., Nielsen, D., Tanglely, L., Sizer, N., Miranda, M., Brown, P., Johnskon, N., Malk, A., Miller, K.** (1997). The last frontier forests: ecosystems and economies on the edge. What is the status of the worlds remaining large natural forest ecosystems?. *Forest Frontiers Initiative*, pp. 39

Cooper, J. P. (1975). Photosynthesis and Productivity in Different Environments, *Cambridge University Press, London*

Eiseltová, M., Pokorný, J., Hesslerová, P., Ripl, W. (2012): Evapotranspiration – A Driving Force in Landscape Sustainability. In: Irmak A. (ed.) *Evapotranspiration - Remote Sensing and Modeling*. InTech, p. 305 – 328.

Ellison, D., Morris, C. E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D., Gutierrez, V., van Noordwijk, M., Creed, I. F., Pokorný, J., Gaveau, D., Spracklen, D. V., Tobella, A. B., Ilstead, U., Teuling, A. J., Gebrehiwot, S. G., Sands, D. C., Muys, B., Verbist, B., Springgay, E., Sugandi, Y., Sullivan, C. A. (2017). Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Global Environmental Change*, 43, p. 51-61.

Geiger, R., Aron, R. H., Todhunter, P. (2009). The climate near the ground. *Rowman & Littlefield Publishers*, pp. 623.

Gorshkov, V., Makarieva, A. (2013). The role of forests in the water cycle, , *IESP workshop, Water Partnership, Is European Research on the right track?* Lecture (ppt) for EU Parliament, *Brussels, Belgium*.

Gupta S. (2011). Demystifying 'tradition': The politics of rainwater harvesting in rural Rajasthan, India. *Water Alternatives*, 4(3), p. 347-364.

Hesslerová, P., Pokorný, J., Brom, J., Rejšková - Procházková, A. (2013). Daily dynamics of radiation surface temperature of different land cover types in a temperate cultural landscape: Consequences for the local climate. *Ecological Engineering*, 54, p. 145-154.

Husain M., Chavhan F. I., Sanap S. (2015). Impact and effectiveness of watershed development in Darewadi. *IJMTER*, 2(4), p. 345 – 349

Jasechko, S., Sharp, Z. D., Gibson, J. J., Birks, S. J., Yi, Y., Fawcett, P. J. (2013). Terrestrial water fluxes dominated by transpiration. *Nature*, 496(7445), p. 347-350.

Jirka, J., Pokorný, J. (2009). Kvantitativní a kvalitativní parametry záření Slunce, dopadajícího na zemský povrch. In: Jirka, V.(ed.) *Skleněné rastry pro stavebnictví a architekturu – využití v modulárním skleníku v Třeboni. ČVUT Praha, ENKI, Třeboň*, p. 13 – 17.

Junkermann, W., Hacker, J., Lyons, T., Nair, U. (2009). Land use change suppresses precipitation. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9(17), p. 6531-6539.

Kala, J., Lyons, T. J., Nair, U. S. (2011). Numerical simulations of the impacts of land-cover change on cold fronts in South-West Western Australia. *Boundary-layer meteorology*, 138(1), p. 121-138.

Kleczek, J., Grygar, J. (2011). Život se Sluncem a ve vesmíru: nová věda-bioastronomie. *Paseka*, pp. 289.

Kohutiar, J., Pokorný, J. (2014). Zadržáním dešťové vody k obnově krajiny – Natural Sequence Farming. *Vodní hospodářství*, 8, pp. 44 - 45

Kopp, G., Lawrence, G., Rottman, G. (2005). The total irradiance monitor (TIM): science results. In *The Solar Radiation and Climate Experiment (SORCE)*. P. 129-139.

***L'vovich, M. I.** (1979). World water resources and their future. *American Geophysical Union*, pp. 344

Makarieva, A. M., Gorshkov, V. G. (2006). Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 3(4), p. 2621-2673.

Makarieva, A. M., Gorshkov, V. G. (2008). The forest biotic pump of river basins. *Russian Journal of Ecology*, 39(7), p. 537-540.

Makarieva, A. M., Gorshkov, V. G. (2009 A). Condensation-induced dynamic gas fluxes in a mixture of condensable and non-condensable gases. *Physics Letters A*, 373(32), p. 2801-2804.

Makarieva, A. M., Gorshkov, V. G. (2009 B). Condensation-induced kinematics and dynamics of cyclones, hurricanes and tornadoes. *Physics Letters A*, 373(46), p. 4201-4205.

Makarieva, A. M., Gorshkov, V. G. (2009 C). Reply to AGCA Meesters et al.'s comment on " Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land". *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(7), 1307.

Makarieva, A. M., Gorshkov, V. G. (2010). The biotic pump: Condensation, atmospheric dynamics and climate. *International Journal of Water*, 5(4), p. 365-385.

Makarieva, A. M., Gorshkov, V. G., Li, B. L. (2009). Precipitation on land versus distance from the ocean: evidence for a forest pump of atmospheric moisture. *Ecological complexity*, 6(3), p. 302-307.

Makarieva, A. M., Gorshkov, V. G., Li, B. L. (2013). Revisiting forest impact on atmospheric water vapor transport and precipitation. *Theoretical and Applied Climatology*, 111(1-2), p. 79-96.

Marengo, J. A., Tomasella, J., Alves, L. M., Soares, W. R., Rodriguez, D. A. (2011). The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*, 38(12).

Meesters, A. G. C. A., Dolman, A. J., Bruijnzeel, L. A. (2009). Comment on " Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land" by AM Makarieva and VG Gorshkov, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 1013–1033, 2007. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(7), p. 1299-1305.

Morris, C. E., Conen, F., Alex Huffman, J., Phillips, V., Pöschl, U., Sands, D. C. (2014). Bioprecipitation: a feedback cycle linking Earth history, ecosystem dynamics and land use through biological ice nucleators in the atmosphere. *Global Change Biology*, 20(2), p. 341-351.

Nobre, A. D. (2014). The future climate of Amazonia scientific assessment report. *Sponsored by CCST-INPE, INPA and ARA. São José dos Campos, Brazil*, pp. 42.

Norris, D., Andrews, P. (2010). Re-coupling the carbon and water cycles by Natural Sequence Farming. *International Journal of Water*, 5(4), p. 386-395.

***Peixoto, J. P., & Kettani, M. A.** (1973). The control of the water cycle. *Scientific American*, 228, p. 46-61.

Pires, G. F., Costa, M. H. (2013). Deforestation causes different subregional effects on the Amazon bioclimatic equilibrium. *Geophysical Research Letters*, 40(14), p. 3618-3623.

Pitman, A. J., Narisma, G. T., Pielke, R. A., Holbrook, N. J. (2004). Impact of land cover change on the climate of southwest Western Australia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109(D18).

Pobědinskij, A. V., Krečmer, V. (1984). Funkce lesů v ochraně vod a půdy. *SZN*, pp. 256

Pokorný, J., Brom, J., Čermak, J., Hesslerová, P., Huryna, H., Nadezhdina, N., Rejšková, A. (2010 A). Solar energy dissipation and temperature control by water and plants. *International Journal of Water*, 5(4), p. 311-336.

Pokorný, J., Květ, J., Rejšková, A., Brom, J. (2010 B). Wetlands as energy-dissipating systems. *Journal of industrial microbiology & biotechnology*, 37(12), p. 1299-1305.

Pokorný, J., Šarapatka, B. (2010), Energie v agroekosystémech. In.: Šarapatka et al. (2010), Agroekologie, východiska pro udržitelné zemědělské hospodaření. *Bioinstitut, o.p.s. Olomouc*. P. 119–138.

Ponting, C. (1991): A Green History of the World. The Environment and the Collapse of Great Civilizations, *Penguin Books*, pp 412

Rao K.B., Mathur M. (2012). Watershed development and livestock rearing: experiences and learning from the Watershed Organisation Trust, Maharashtra, India. *Report*, 56

Sampaio, G., Nobre, C., Costa, M. H., Satyamurty, P., Soares-Filho, B. S., Cardoso, M. (2007). Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. *Geophysical Research Letters*, 34(17).

Statistická ročenka životního prostředí České republiky 2015, str. 276

***Strahler, A. H., & Strahler, A. N.** (1999). Introducing physical geography. *J. Wiley*, p. 31 – 47.

Strahler, A. H., & Strahler, A. N. (2006). Introducing physical geography. *J. Wiley*, pp. 664

Williams, J. (2010). The principles of Natural Sequence Farming. *International Journal of Water*, 5(4), p. 396-400.

***Wright, P. B.** (1974). Seasonal rainfall in southwestern Australia and the general circulation. *Monthly Weather Review*, 102(3), p. 219-232.

Přehled internetových zdrojů:

<http://fotovoltaika.ekowatt.cz/stanoveni-dopadajici-slunecni-energie.php>

<http://ideas.ted.com/this-airborne-river-may-be-the-largest-river-on-earth/>

<http://www.bioticregulation.ru>

https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/07-voda.html

<https://judithcurry.com/2013/01/31/condensation-driven-winds-an-update-new-version>

<https://www.pachamama.org/blog/flying-rivers-of-the-amazon-rainforest-a-critical-rain-generator-for-the-planet>