

Košický občiansky protokol o vode, vegetácii a klimatickej zmene (a COP15)

26. NOVEMBER 2009

TELEDOM, KOŠICE, SLOVENSKO

OBSAH:

Košický občiansky protokol o vode, vegetácii a klimatickej zmene (a COP15).....	3
Úvod k Protokolu.....	7
Modrá planéta	8
Niektoré faktory klimatického systému Zeme.....	10
Voda ako klimatický faktor	12
Vegetácia ako klimatický faktor.....	15
Obeh vody a uhlíkový cyklus	18
Vplyv využívania krajiny na vegetáciu a obeh vody	20
Vplyv využívania krajiny na klímu	23
Podpora klimatických funkcií vody a vegetácie	25



Komunálne výskumné a poradenské centrum, n. o. podporuje iniciatívu „Košický občiansky protokol o vode, vegetácii a klimatickej zmene“ a bude spolupracovať na presadzovaní a implementácii v ňom uvedených princípov

Košický občiansky protokol o vode, vegetácii a klimatickej zmene (a COP15)

Unikátnosť Zeme z klimatického hľadiska je okrem iných priaznivých podmienok i výsledkom evolúcie života počas dlhých geologických období.

Najmä mikroorganizmy a neskôr i rastliny po miliardy rokov menili fyzikálno-chemické prostredie našej planéty, optimalizovali a neskôr stabilizovali určité parametre, vrátane klimatických, akými sú teplota, vlhkosť či chemické zloženie vôd, pôdy a atmosféry. Vytvorili tak podmienky na príchod života ako ho poznáme v súčasnosti.

Biota ovplyvňuje klímu najmä prostredníctvom regulácie obehu vody a na ňu úzko naviazaných obrovských tokov energií.

Prirodzené ekosystémy sa tiež z dlhodobého hľadiska vyvíjajú smerom k ustáleniu uzavretých cyklických procesov (napr. vodné či uhlíkové cykly), ktorých ústredným médiom je voda a ktoré vykazujú efektívne hospodárenie so slnečnou energiou a minimálne materiálové straty.

Transpirujúce rastliny, najmä lesné porasty, vykazujú mimoriadne efektívne hospodárenie s vodou. Pôsobia ako biotická pumpa, ktorá zabezpečuje nasávanie vlhkého vzduchu z oceánu na pevninu. Lesy horúceho i mierneho pásma sa počas slnečných dní javia (napr. na infračervených satelitných snímkach) vzhľadom na ich nezalesnené okolie vždy ako chladnejšie. Z týchto a ďalších aspektov sú jedinečnými klimatizačnými systémami Zeme.

Samoregulačné mechanizmy bioty dokázali počas miliónov rokov úspešne korigovať množstvo nepriaznivých vplyvov (zmeny toku slnečnej energie, pády nebeských

telies, vulkanickú činnosť, neustály prísun uhlíka z hlbín Zeme, atď.), ktoré neustále narúšali klimatickú stabilitu Zeme.

Človek svojou činnosťou už tisíce rokov likviduje ekosystémy, ktoré majú potenciál aktívne korigovať spomínané nepriaznivé vplyvy. Človek sám začal narúšať a meniť uzavreté cykly prírody. Kombinácia týchto vplyvov začína dosahovať takú mieru, ktorú príroda sama už nestačí korigovať a v určitých prípadoch nastáva trvalo neudržateľný stav.

Základným príkladom otvárania uzavretých cyklov prírodných ekosystémov je odlesňovanie územia, ktoré sprevádza zvyšovanie rýchlosti odtoku dažďovej vody, zásadné urýchlenie erózie pôdy, zníženie obsahu organického materiálu v pôde a podstatné zníženie jej vodozadržnosti.

Iným príkladom vytvárania nerovnováhy je odvádzanie dažďovej vody zo spevnených plôch moderných miest a dedín kanalizáciou do riek a do mora. Táto voda potom v príslušnej krajine chýba. Chýba v pôde, vegetácii, podzemnej vode a v neposlednom rade i v ovzduší.

Deštrukcia hydrologického cyklu človekom narúša sekvestráciu uhlíka do pôdy a vegetácie a znižuje tak vododržnosť územia. Znižovanie obsahu vody v pôde vedie k nárastu oxidačných procesov a k stratám jej organického obsahu. Suchá a horúčavy znižujú fotosyntézu a zvyšujú pravdepodobnosť výskytu veľkých lesných požiarov.

Odvodňovanie krajiny vyžaduje osobitnú pozornosť pre svoj vplyv na miestnu klímu. Prítomnosť alebo neprítomnosť vody výrazne ovplyvňuje distribúciu energie medzi dva hlavné toky tepla: latentné teplo výparu a citelné teplo. Ak voda v krajine nie je v dostatočnej miere prítomná, veľká časť slnečnej energie sa mení na citelné teplo a teplota prostredia sa prudko zvyšuje.

Každoročne sa urbanizuje približne 54 750 km² zemskeho povrchu. Uvažujme, že ak výpar na tejto ploche poklesne o 200 mm ročne, potom na tých istých územiach každoročne vznikne navyše približne 6,7 mil. GWh citeľného tepla.

Ak ten istý pokles výparu aplikujeme na 127 000 km² zemskeho povrchu, ktorý je každoročne odlesnený, potom tam vznikne navyše približne 17,4 mil. GWh citeľného tepla. Len toto samotné množstvo približne zodpovedá ročnej produkcii elektrickej energie ľudstvom.

Ohromné množstvá citeľného tepla vznikajú na plochách, ktoré boli premenené na poľnohospodársku pôdu či na urbárne prostredie už v minulosti. Polia, pasienky a urbárne plochy na všetkých kontinentoch zaberajú spolu okolo 55 miliónov km².

Tok citeľného tepla uvoľneného odvodnením krajiny je lokálne rádovo vyšší, ako je účinok (radiačné zosilnenie) skleníkových plynov a vysoko zatieňuje i rozdiely albeda.

Tzv. „horúce platne“ vznikajúce na človekom pretvorenom území bránia kondenzácii vodných pár a zapríčiňujú pokles zrážok nad takýmto územím. Takisto vyvolávajú teplotné rozdiely, ktoré sú spúšťačom rastu klimatických extrémov. Takéto javy sa na odvodnenom území často chybné vysvetľujú skleníkovým efektom.

Rastie počet vedeckých článkov svedčiacich o klimatických dopadoch rozsiahleho poškodenia vegetácie a prirodzeného obehu vody človekom.

Je zarážajúce, že príslušné vrcholné svetové inštitúcie doteraz nevenovali pozornosť klimatickej funkcii geologické veki sa formujúcej koexistencii medzi vegetáciou a obehom vody a narušeniu tohto vzťahu človekom prostredníctvom manažmentu krajiny.

Ak klimatická veda neuvažuje so všetkými relevantnými parametrami vo svojich teóriách, modeloch a scenároch, jej adekvátnosť je spochybniteľná. Jej odporúčania

môžu byť neprimerané, ba i kontraproduktívne. Ak voda a vegetácia nebudú adekvátne zahrnuté, môže to mať za následok ponechanie veľkého rozsahu ľudskou činnosťou spôsobených klimatických zmien bez ošetrovania. Môže to tiež odoberať motiváciu na podstupovanie nepopulárnych opatrení.

Hlavným opatrením na prispôsobenie sa a na zmiernenie tej časti klimatickej zmeny, ktorá je spôsobená odvodňovaním krajiny človekom a/alebo zmenou jej vegetačného krytu, je obnova vody (program dôsledného zadržiavania dažďovej vody) a vegetácie na poškodených územiach.

Význam obnovy a ochrany prirodzenej vegetácie a prirodzeného vodného cyklu pre klímu nijako nezaostávajú za inými opatreniami na ozdravenie klímy. Žiadame preto, aby im miestne, regionálne, národné, medzinárodné i nadnárodné spoločenstvá venovali adekvátnu pozornosť.

V Košiciach, 26.11.2009

Úvod k Protokolu

Voda a vegetácia majú pre globálnu klímu primárny význam. Človek svojimi aktivitami spôsobuje odlesňovanie, dezertifikáciu a urbanizáciu stoviek kilometrov štvorcových zemskeho povrchu denne, čím výrazne ovplyvňuje klímu. Tieto účinky sú v súčasnej diskusii o zmene klímy prehliadané. K tomuto problému sa rozhodla zdvihnúť svoj hlas skupina slovenských, českých a nemeckých aktivistov, ktorí sú autormi tohto občianskeho protokolu.

Autori vychádzajú najmä z myšlienkového prostredia MVO Ľudia a voda, Združenia miest a obcí Slovenska, ENKI o.p.s. (Česká republika) a Technickej univerzity v Berlíne (Nemecko). Autorov okrem vzájomného priateľstva spája záujem a viacročná práca na skúmaní dopadov ľudskej činnosti na obeh vody, vegetáciu, zmeny energetických tokov v krajine, ktoré majú vplyv na klímu. Autori udržiujú komunikáciu s vedeckou a odbornou obcou a sú si vedomí rastúceho množstva vedeckého materiálu, ktorý v tieni populárnych teórií poukazuje na tie aspekty zmeny klímy, ktoré sú predmetom tohto protokolu.

Text protokolu nie je vyčerpávajúci. Nerobí si nárok na konečnú pravdu. Autori zdieľajú povedomie, že množstvo vedomostí môže zvädzať k pýche, múdrosť je však skromná, pretože zostáva príliš veľa toho, čo nevieme. Priložené texty sa snažia poukázať na komplexnejší charakter klimatickej zmeny, s úctou sa skláňajú pred značnou dokonalosťou prírodných systémov, ale sú i kritikou ľudskej arogancie, ktorá holistický charakter prírodných procesov nerešpektuje.

Bezprostredným impulzom zostavenia tohto protokolu je nadchádzajúci summit o klimatickej zmene v Kodani, ale aj vývoj príprav na túto konferenciu, keď negociačný text napriek protestom niektorých profesných organizácií ignoruje vodu a vegetáciu ako podstatné zložky klimatického systému Zeme. V tomto zmysle je priložený text dôrazným apelom na nápravu daného stavu a na zaradenie vody a vegetácie do centra pozornosti zodpovedných inštitúcií na summite i po ňom.

Modrá planéta

Naša planéta Zem je unikátna popri iných aspektoch i z klimatického hľadiska. To je dané jej optimálnym umiestnením v našej slnečnej sústave, jej geofyzikálnymi vlastnosťami, hojným výskytom vody a evolúciou neživej a živej prírody na nej. Synergia všetkých týchto a mnohých ďalších okolností umožňuje existenciu komplexných a vzájomne sa podporujúcich ekosystémov a najmä človeka, ktorý je vďaka svojej inteligencii korunou tvorstva.

Optimálna vzdialenosť Zeme od Slnka znamená, že naša planéta netrpí prílišnou horúčavou ako susedná Venuša, alebo prílišným chladom ako náš sused z opačnej strany obežnej dráhy, Mars. Blízkosť a gravitačná sila obrovského Jupitera chráni Zem pred častejším dopadom komét a asteroidov a ich katastrofálnymi dôsledkami na náš klimatický systém.

Relatívna vyrovnanosť obežnej dráhy Zeme, náklonu zemskej osi či rýchlosť rotácie Zeme sa tiež javia ako optimálne z hľadiska udržania malého rozdielu teplôt. Veľkosť našej planéty sa zdá byť práve správna z hľadiska udržania si atmosféry dostatočnej na ďalšie vyrovnávanie teplôt. Množstvo vody pri jej danom rozdelení do skupenských foriem je dosť veľké, aby mohlo plniť ekologické a klimatické funkcie, ale nie tak veľké, aby zaliala kontinenty.

V tomto krátkom texte je ťažko vzdať dostatočný hold daru vody. Voda robí našu planétu jedinečnou medzi planétami, dáva jej charakteristický vzhľad a krásu pri pohľade z vesmíru i z blízka, je krvou a miazgou fungovania prírody. Odkiaľ sa však voda na Zemi vzala? Vedci nie sú jednotní, či podstatná časť vody na Zemi je výsledkom jej pôvodného zloženia, či pochádza z meteoritov a komét, ktoré ju bombardovali v ranom štádiu vývoja, alebo je výsledkom biochemických reakcií prvotných foriem života.

Posledne spomínaná hypotéza dáva kredit prokaryotickým baktériám, ktoré patrili medzi prvé formy a priekopníkov života na Zemi, zato, že sa pravdepodobne zaslúžili o biochemickú transformáciu primitívnych sírovodíkových morí na moria vody. Tým prechádzame k živým formám, ktoré sa nielen geneticky prispôbovali existujúcim podmienkam na našej planéte, ale ich v procese evolúcie aj aktívne ovplyvňovali.

Príkladom je naša atmosféra, ktorá pred miliardou rokov prakticky neobsahovala kyslík, ale vďaka evolučným zmenám bioty došlo k jej zmene a stabilizácii zloženia zhruba na dnešný stav. Iným

príkladom je anorganický uhlík, ktorý konštantne vstupuje do biosféry zo zemskej kôry (najmä sopečnou činnosťou). Pri daných vstupoch by za poslednú miliardu rokov mala byť koncentrácia CO₂ v atmosfére rádovo tisícnásobne vyššia v porovnaní s dnešným stavom (ako je to napríklad na Marse). Biotickej regulácii vďačíme zato, že sa odchýlka pohybovala maximálne v rozmedzí desaťnásobkov priemernej hodnoty.¹

Nemožno sa ubrániť dojmu, že smer ovplyvňovania prostredia biotou nebol chaotický, ale smeroval najskôr k jeho optimalizácii a neskôr k stabilizácii určitých optimálnych parametrov. Medzi spomínané parametre životného prostredia na popredné miesto patrí priemerná teplota na Zemi, ktorá sa za posledné cca 4 miliardy rokov menila len vo veľmi úzkom, pre život priaznivom rozmedzí $\pm 5^{\circ}\text{C}$ od súčasného priemeru.² Teplota zostala ustálená okrem iného i napriek zhruba 30 %-tnému zvýšeniu slnečnej radiácie počas geologickej existencie našej planéty.

Zoči-voči uvedeným skutočnostiam niektorí autori začali komplex Zeme prirovnávať k obrovskému živému organizmu (teória Gaia). Bez toho, aby sme sa venovali filozoficko-náboženským implikáciám podobných úvah, ťažko skryť prekvapenie a obdiv pri odhaľovaní ďalších aspektov symbiotického fungovania komplexov živej a neživej prírody. Tie sa s pomocou vody ako ústredného média vyvíjajú smerom k vytvoreniu uzavretých cyklických procesov, ktoré vykazujú efektívne hospodárenie s energiou a minimálne straty hmoty, čo prispieva k ich rastúcej stabilite a ekologickej udržateľnosti.³

Na druhej strane otváranie uzavretých cyklov prírody činnosťou človeka začína dosahovať takú mieru, ktorú samoregulačné mechanizmy prírody už nestačia korigovať. Ľudstvo sa učí na vlastných chybách. Pomaly začína recyklovať niektoré materiály, ale ešte sotva dospelo do štádia recyklovania tých najdôležitejších komponentov udržateľného života, ktorými sú voda a vegetácia. Aktuálnym dopadom činnosti človeka na klimatický systém Zeme prostredníctvom vody a vegetácie i tomu, ako by ju mal človek korigovať, aby dostal svojmu prívlastku „rozumný“, sa venuje väčšia časť zostávajúceho textu.

¹ Gorshkov, V.G., Gorshkov, V.V., Makarieva, A.M., 2000: - *Biotic Regulation of the Environment: Key Issue of Global Change*. Springer-Praxis Series in Environmental Sciences, Springer, London;

² tamže

³ Ripl W. - *Water: the bloodstream of the biosphere*. 2003: Philosophical Transactions of the Royal Society London B 358, pp.1921-1934

Niektoré faktory klimatického systému Zeme

Klimatická zmena je akákoľvek dlhodobá význačná zmena zabehaných trendov počasia na určitom území alebo na Zemi ako celku. Zmeny klímy sa primárne odvíjajú od zmien energetickej bilancie Zeme. Zmeny energetickej bilancie môžu mať množstvo príčin, ktoré majú svoj pôvod vnútri i mimo klimatického systému Zeme.

Medzi príčiny zmien množstva slnečnej energie našou planétou prijatej patria viaceré astronomické vplyvy ako sú cyklické zmeny tvaru (výstrednosti) obežnej dráhy Zeme okolo Slnka, zmeny náklonu zemskej osi (osové slapy) a jej precesia (rozkmit). Tieto sa striedajú v 96-tisícročných, 41-tisícročných a 22-tisícročných intervaloch a nazývajú sa Milankovičove cykly. Prejavujú sa najmä zhruba 100-tisícročným cyklom ľadových dôb, ale ich prelínanie spôsobuje i teplejšie a chladnejšie obdobia v ich rámci.

Zmeny slnečnej aktivity sú ďalším faktorom potenciálne ovplyvňujúcim klímu na Zemi. Najznámejšími sú 11- a 22-ročný cyklus počtu slnečných škvŕn, ktoré sa prejavujú aj v slnečnej rádiácii dopadajúcej kolmo na hornú hranicu atmosféry. Menší počet škvŕn sa dáva do súvislosti so znížením slnečnej aktivity. S eliptickým tvarom obežnej dráhy Zeme okolo Slnka i so slnečnou aktivitou súvisí zmena toku slnečnej energie prechádzajúcej jednotkovou plochou vonkajšej hranice našej atmosféry, t.j. slnečná konštanta (1367 W/m^2), ktorá paradoxne nie je konštantou. Mení sa síce nepatrne, ale napríklad rovnaká štatistická periodicita viacerých klimatických javov (teploty, zrážky a pod.) ako je periodicita výskytu slnečných škvŕn, naznačuje možný vzájomný súvis.⁴ Tento súvis sa však doposiaľ nepodarilo jednoznačne interpretovať.

Ďalšiu kategóriu faktorov ovplyvňujúcich klímu na Zemi otvára hypotéza o príčine vyhynutia dinosaurov, ktoré mal spôsobiť pád asteroidu o priemere cca 10 km pred 65.5 miliónom rokov. Prachové častice rozptýlené v atmosfére pádom tohto i ďalších nebeských objektov mohli zatieniť slnko i na niekoľko rokov, obmedziť fotosyntézu a spôsobiť dlhodobé zníženie teploty. Podobný účinok ako pády veľkých meteoritov môžu mať i výbuchy sopiek. Sú známe erupcie sopiek, ktoré vyvrhli emisie až do stratosféry, kde pretrvali dlhší čas a ich účinky rezonovali ešte niekoľko rokov v podobe dlhších a chladnejších zím, búrok spojených s krupobitiami a súch.

⁴ /<http://www.global-climate-change.org.uk/3-2-1-3.php/>

Popri celkovej energetickej bilancii Zeme záleží aj na štruktúre tokov energií v jej klimatickom systéme, do ktorých slnečná energia disipuje. Štruktúru tokov energií ovplyvňujú faktory, ktoré môžu mať prirodzený alebo antropogénny pôvod. K tým prvým patria napríklad horotvorné procesy. Hory a pohoria významne ovplyvňujú prúdenie v atmosfére, najmä tie, ktoré sú orientované severojužne, pretože vplyvom rotácie Zeme a Coriolisova sila určujú východozápadný prevládajúci smer vetrov. Hory a pohoria významne ovplyvňujú i teploty, odtok vody z územia, vegetáciu, výpar a zrážky. Prípadná snehová pokrývka mení odrazivosť (albedo) povrchu a tým i množstvo a štruktúru slnečnej energie v krajinnom systéme.

Do kategórie prirodzených faktorov klímy patria aj pevninotvorné procesy. Tieto vo veľmi dlhom časovom meradle určujú tvar a umiestnenie kontinentov a majú podobne zásadný vplyv na dynamiku klímy vzhľadom na rozdielne zohrievanie mora a pevniny či na klimatický dopad teplých a chladných prúdov v oceáne.

Ďalšiu veľkú skupinu tvoria vplyvy zmien v zložení atmosféry. V atmosfére sa nachádzajú viaceré plyny, ktoré majú tri základné vlastnosti – radiačnú aktivnosť, priestorové rozloženie a dobu zotrvania. Pod pojmom radiačne aktívne plyny rozumieme absorpciu žiarenia nejakej dôležitej časti spektra vlnovej dĺžky. Účinok rastúcej koncentrácie týchto plynov na stabilizáciu vyššej priemernej teploty v prízemnej vrstve atmosféry sa často označuje ako „radiačné zosilnenie“. Na druhej strane, rastúca koncentrácia niektorých aerosolov môže mať opačný účinok, teda „radiačné zoslabenie“. Hodnota radiačného zosilnenia vplyvom antropogénnych emisií sa v porovnaní so stavom pred priemyselnou revolúciou v roku 2000 odhadovala na $2,43 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, radiačného zoslabenia na 0 až $2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.⁵

Človek svojou činnosťou ovplyvňuje zloženie atmosféry a teda i klímu nielen emisiami plynov, ktoré sa zvyknú označovať ako skleníkové, ale najmä zmenami vegetácie a obehu vody a s nimi úzko zviazanými tokmi energií. Týmto aspektom ľudskej činnosti sa budeme venovať v ďalších častiach.

⁵ Lapin M. - Stručne o teórii klimatického systému Zeme, najmä v súvislosti so zmenami klímy; modifikácia profesorskej inauguračnej prednášky z 20. 9. 2004, Internet

Voda ako klimatický faktor

Voda má niekoľko výnimočných termoregulačných vlastností. Popri skutočnosti, že pri teplotách bežných na Zemi sa prirodzene vyskytuje vo všetkých troch skupenstvách, najdôležitejšími termoregulačnými vlastnosťami vody sú: najväčšia merná tepelná kapacita (t.j. schopnosť prijímať tepelnú energiu) spomedzi bežne sa vyskytujúcich látok a spotrebúvanie, resp. uvoľňovanie veľkého množstva tepelnej energie pri skupenskej premene.

Úlohu oceánov sme už letmo naznačili v časti o parametroch klimatického systému Zeme. Vysoká merná tepelná kapacita vody ($c_p = 4\,180 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$) v oceánoch spôsobuje, že výkyvy teploty sú na oceánoch v porovnaní s pevninou v priebehu dňa i roka oveľa menšie (napr. pôda má $c_p \approx 800 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$). Táto vlastnosť vody v kombinácii s jej obrovským množstvom uskladneným v moriach a oceánoch predstavuje veľký stabilizátor teploty na Zemi.

Najväčšiu časť slnečnej energie absorbovanú povrchom Zeme absorbuje oceán v tropickom pásme. Klíma v trópoch a subtrópoch dominuje mechanizmus diktovaný intenzívnym príjmom a disipáciou slnečnej energie známy ako Hadleyho cirkulácia, ktorá určuje zabehané trendy vetrov, oblačnosti a zrážok v tomto pásme. Rozdiel v zohrievaní medzi tropickými a polárnymi oblasťami a rozdielne zohrievanie mora a pevniny patria (spolu s rotáciou Zeme) medzi hlavné príčiny vetrov, ktoré prispievajú k vyrovnávaniu teplôt medzi oblasťami s rozdielnou zemepisnou šírkou.

Rozdielne zohrievanie a slanosť vody v oceáne spolu s ďalšími faktormi zas dávajú do pohybu morské prúdy, ktoré prenášajú tepelnú energiu na tisíce kilometrov a najmä v prípade severojužného prúdenia medzi rovníkom a pólmi ovplyvňujú svojou teplotou veľké regióny. Ukazuje sa, že i prípadná malá zmena v štruktúre morských prúdov môže mať ďalekosiahle dôsledky na klímu na veľkých častiach Zeme.

Osud slnečnej energie významne závisí od prítomnosti vody v krajine, do ktorej dopadá. Prítomnosť alebo neprítomnosť vody výrazne ovplyvňuje distribúciu energie medzi dva hlavné toky tepla: latentné a citelné teplo. Ako samotné názvy naznačujú, citelné teplo sprevádza zvýšenie teploty látky či telesa, ktorú pociťujeme. Latentné teplo nesprevádza zvýšenie teploty. Latentné teplo, v našom prípade skupenské teplo vyparovania (tiež viazané teplo) vody, je množstvo energie, ktoré musí voda prijať, aby sa premenila na paru tej istej teploty. Výpar vody teda

spotrebúva teplo, o ktoré sa ochladzuje zemský povrch a opäť sa nejedná o malé hodnoty. Merné skupenské teplo vyparovania vody pri normálnom tlaku a teplote 25 °C je 2243.7 kJ/kg. To isté množstvo tepla sa uvoľní neskôr pri kondenzácii vodnej pary na chladnejšom mieste, najmä pri tvorbe mrakov.

Voda sa môže meniť na vodnú paru a ochladzovať okolie v krajine, len ak je tam prítomná. Ak nie je prítomná, veľká časť slnečnej energie sa mení na citeľné teplo a teplota prostredia sa prudko zvyšuje. Zatiaľ čo sa vo vysušenej krajine väčšina prichádzajúcej radiácie mení na citeľné teplo, v krajine dostatočne zásobenej vodou sa väčšina radiácie viaže do skupenského tepla výparu vody a na citeľné teplo sa mení len podstatne menšia časť slnečného žiarenia.⁶

Výparom získava voda vysokú mobilitu, vďaka ktorej sa dokáže v pomerne veľkých objemoch rýchlo premiestňovať v horizontálnom i vo vertikálnom smere. Povrch dobre zavodnenej krajiny sa v prípade intenzívneho slnečného žiarenia výparom ochladzuje. Vodné pary, ktoré vystúpia vyššie do atmosféry, vplyvom chladu kondenzujú, pričom odovzdajú tepelnú energiu. Opakovanie tohto procesu pripomína dômyselné klimatizačné zariadenie.⁷

Oblačnosť obmedzuje vstup slnečného žiarenia do atmosféry a na povrch Zeme. Rozdiel v množstve slnečnej energie prichádzajúcej na zemský povrch pri jasnej a pri zatiahnutej oblohe je rádový. Oblaky tiež odrážajú časť krátkovlnného slnečného žiarenia, čím obmedzujú jeho vstup do atmosféry a na povrch Zeme, a tým chránia Zem pred prílišným otepľovaním. Zachytávajú však časť dlhovlnného (tepelného) žiarenia zo Zeme, ktoré by inak uniklo do vesmíru, čo má otepľovací účinok. Tento skleníkový efekt vodnej pary vysoko prevažuje nad podobným účinkom všetkých ostatných tzv. skleníkových plynov. Atmosféra Marsu obsahuje 95% CO₂, atmosféra Zeme len 0,036%. Napriek tomu je skleníkový efekt na Zemi šesťkrát väčší ako na Marse. Tento rozdiel i pri započítaní rozdielov hustoty atmosfér na oboch planétach možno vysvetliť len existenciou vodných pár a mrakov na Zemi.⁸ Teplotné rozdiely sú na Marse dramatickejšie ako na Zemi. Napriek negatívnemu obrazu vytvorenému masovokomunikačnými médiami v súvislosti s bojom proti emisiám skleníkových plynov je skleníkový efekt pre stabilitu klimatických pomerov na našej planéte životne dôležitý.

⁶ Kravčík M., Pokorný J., Kohutiar J., Kováč M., Tóth E. - Voda pre ozdravenie klímy – Nová vodná paradigma, Krupa Print, Žilina, 2007,

⁷ tamže

⁸ www.bioticregulation.ru/ques.php?nn=24&lang=en

Výpar vody predstavuje najdôležitejšiu premenu energie na Zemi. Pôsobí ako hlavný nárazník obrovskému množstvu slnečnej energie, ktorá v každej chvíli dopadá na našu planétu. Vďaka výparu vody sa prichádzajúce slnečné žiarenie premieňa na latentné teplo a zmierňuje tak akumuláciu citeľného tepla pri zemskom povrchu. Odvodňovanie krajiny má za výsledok uvoľnenie extrémne vysokého množstva citeľného tepla do atmosféry. Pokles výparu o jeden liter na meter štvorcový (700 Wh) za deň navodí tok citeľného tepla rádovo vyšší, ako je účinok skleníkových plynov (radiačné zosilnenie) od priemyselnej revolúcie.⁹

Voda ďalej zmierňuje teplotné rozdiely medzi oblasťami s rozdielnou nadmorskou výškou či zemepisnou šírkou, medzi oceánom a pevninou, medzi dňom a nocou, medzi ročnými obdobiami a v súvislosti s topením ľadovcov dokonca i medzi dobami ľadovými a medziľadovými. Čím menej vody je v krajine a v atmosfére nad ňou, tým slabší je efekt vyrovnávania teplôt a tým sú výkyvy teplôt a počasia extrémnejšie. To je prípad púští na Zemi i iných planét (porovnaj napr. teplotné rozdiely na Mesiaci, ktoré sa pohybujú od -240°C do +120°C).

⁹ Pokorný J., Voda a transformace sluneční energie v krajině – uzavřené cykly v v ekosystémech krajiny a povodí, Životné prostredie, 2009 (v tlači)

Vegetácia ako klimatický faktor

Ekosystémy súše môžu aktívnou reguláciou tokov vody výrazne ovplyvňovať v predchádzajúcej časti spomínanú distribúciu slnečnej energie do dvoch hlavných zložiek, ktorými sú citelné a latentné teplo. Prichádzajúce slnečné žiarenie sa od vegetačného porastu čiastočne odráža, čiastočne transformuje (disipuje) prostredníctvom výparu vody, čiastočne sa mení na citelné teplo, čiastočne je odvedené ako teplo do pôdy a čiastočne je akumulované v biomase fotosyntézou. Množstvo posledne spomínanej energie akumulovanej v biomase je pomerne nízke.

Súčasne s prijímaním a fotosyntetickou fixáciou oxidu uhličitého je do rastúcich tkanív viazaná voda. Rastúca biomasa obsahuje až 80-90% vody. Popri vode na stavbu tkanív vegetácia spotrebúva vodu na evapotranspiráciu. Hodnoty evapotranspirácie sa menia podľa zemepisnej šírky, nadmorskej výšky a ďalších okolností. V podmienkach mierneho pásma (Slovensko) dosahuje evapotranspirácia za slnečného dňa pri dostatku vody zhruba 3 litre vody na m² za deň, čo predstavuje skupenské teplo 2,1 kWh (7,5 MJ). Evapotranspirácia je dynamický proces, ktorý závisí primárne na príkone energie a dostupnosti vody.

Rastliny sa vo svojej schopnosti vyparovať/transpirovať vodu výrazne líšia. V miernom pásme je transpirácia ihličnanov vo všeobecnosti nižšia než transpirácia listnatých stromov. Najvyššiu schopnosť transpirácie majú mokradné rastliny. Niektoré rastliny, pokiaľ majú dostatok vody, dokážu vypariť behom slnečného dňa i viac než 20 litrov vody z jedného metra štvorcového.¹⁰ V kultúrnej krajine je evapotranspirácia za slnečných dní väčšinou obmedzovaná nedostatkom vody, takže aktuálne hodnoty transpirácie sú výrazne nižšie než potenciálna transpirácia.

Transpirujúce rastliny, najmä stromy, sú jedinečnými klimatizačnými systémami Zeme. Predstavme si väčší, samostatne stojaci strom o priemere koruny 10m. Na priemet koruny stromu s plochou 80 m² dopadne za deň napríklad 450 kWh slnečnej energie (4–6 kWh/m²). Časť slnečnej energie sa odrazí, časť sa spotrebuje na ohrev pôdy, časť sa premení na teplo. Pokiaľ je taký strom dobre zásobený vodou, vyparí (transpiruje) za deň napríklad 400 litrov vody. Na premenu vody z kvapalného skupenstva na vodnú paru sa spotrebuje 280 kWh slnečnej energie. Toto množstvo

¹⁰ Kučerová A, Pokorný J, Radoux M, Němcová M, Cadelli D, Dušek J - Evapotranspiration of small-scale constructed wetlands planted with ligneous species, 2001

spotrebovanej energie predstavuje rozdiel medzi tieňom stromu a tieňom slnečníka o rovnakom priemere. V priebehu slnečného dňa taký strom chladí výkonom 20 – 30 kW, čo je výkon porovnateľný s 5 klimatizačnými jednotkami.

Strom je pritom na rozdiel od ľuďmi vymyslených klimatizačných zariadení „poháňaný“ len slnečnou energiou, je z prírodných materiálov, vyžaduje minimálnu údržbu, výdaj vodnej pary regulujú milióny prieduchov, ktoré reagujú na teplotu a vlhkosť v okolí. Podstatné je, že slnečná energia viazaná vo vodnej pare sa prenáša ďalej a uvoľňuje sa až pri jej kondenzácii na chladných miestach. Vyrovnávajú sa tak teploty v čase a v priestore – na rozdiel od chladničky alebo klimatizačného zariadenia, ktoré uvoľňujú teplo do svojho najbližšieho okolia. Strom na rozdiel od chladničky alebo klimatizačného zariadenia tiež pracuje úplne nehlučne, naopak pohlcuje hluk, prach.

Väčšina ľudí má skúsenosť s príjemným chládzkom v hustom lese, ktorý sa udrží i počas horúceho letného dňa. Teplotná inverzia (vyššia teplota v korunách ako pri zemi) počas dňa udržuje takmer 100-percentnú vlhkosť vzduchu nad povrchom pôdy. Vyrovnanosť vlhkosti a teplôt pod korunami stromov je priamo úmerná hustote a výške porastu.¹¹ To je tiež dôvod, prečo je zdravý hustý les menej zraniteľný požiarom. Hospodárenie lesa s vodou pod korunami stromov je také účinné, že si zo svojich korún môžu dovoliť vysoký výpar, ktorým ochladzujú vzduch nad nimi. Zalesnené územia sa na infračervených satelitných snímkach počas slnečného dňa vzhľadom na ich nezalesnené okolie javí ako chladnejšie.

V riedkom lese a v otvorených (napr. trávnatých) ekosystémoch k teplotnej inverzii počas slnečného dňa nedochádza. Nočná teplotná inverzia nad korunami stromov i nad otvorenými, nelesnými ekosystémami často vedie ku kondenzácii a k tvorbe hmly. Časť z nej gravituje k zemi, pričom v uzavretých, lesných ekosystémoch sa na rozdiel od otvorených priestranstiev v podobe vlhkosti udrží aj počas dňa.¹² Mikrocyklus vody, ktorý sa v našich podmienkach prejavuje kvapôčkami rosy na tráve alebo na ihličí, je podľa nemeckého hydrológa W. Ripla najhojnejšie sa vyskytujúcim prejavom obehu vody vo vegetácii a najdôležitejším stabilizujúcim procesom na

¹¹ Makarieva, A.M., Gorshkov V.G., Li B.L., 2006: Conservation of water cycle on land via restoration of natural closed-canopy forests: implications for regional landscape planning. *Ecological Research* 21, pp 897-906

¹² tamže

pevnine. Mimoriadne účinne disipuje slnečnú energiu bez negatívnych vedľajších účinkov, ako je napr. vysušovanie, dezertifikácia a erózia pôdy.¹³

S novou, veľmi zaujímavou interpretáciou vzťahu medzi lesom a zrážkami prišli ruskí vedci V. G. Gorškov a A. M. Makarjeva. Títo hodnotili závislosť ročných úhrnov zrážok na vzdialenosti od mora na nezalesnených územiach (savany, stepi, polopúšte) viacerých kontinentov a podobne i na územiach pokrytých prirodzenými lesmi. Došli k jednoznačnému záveru, že na nezalesnených úsekoch kontinentov úhrny zrážok so vzdialenosťou od mora prudko klesajú, kým na územiach pokrytých prirodzenými lesmi úhrny zrážok so vzdialenosťou od mora nielenže neklesajú, ale v niektorých prípadoch dokonca stúpajú a to až na niekoľko tisíc kilometrov dlhých úsekoch.¹⁴

Uvedení vedci sformulovali princíp tzv. biotickej pumpy, podľa ktorého z oblasti so slabším výparom vzniká horizontálny tok vlhkého vzduchu do oblasti s vyšším výparom. Lesné ekosystémy, vďaka väčšej kumulatívnej výparnej ploche listov, vo vegetačnom období dokážu vypariť až niekoľkonásobne viac vody v porovnaní s výparom z voľnej vodnej hladiny tej istej rozlohy. Lesy sa tak stávajú biotickou pumpou, ktorá zabezpečuje nasávanie vlhkého vzduchu z oceánu na pevninu.¹⁵

Ak sa výpar v krajine zníži v porovnaní s výparom v mori, ktoré ju obmýva, naznačený fyzikálny mechanizmus funguje opačným smerom a odčerpáva vlhkosť z krajiny. Lúky a poľnohospodárska pôda so svojim relatívne nízkym výparom na rozdiel od lesa efekt biotickej pumpy nedokážu zabezpečiť a ich vodný cyklus je kriticky závislý na vzdialenosti od mora a na náhodných fluktuáciách počasia prinášajúcich vlahu. Z Austrálie a ďalších kútov sveta prichádzajú svedectvá o javoch, ktoré danému mechanizmu zodpovedajú. Tie podkopávajú zakorenené presvedčenie, podľa ktorého úhrn zrážok nad pevninou nemá nič spoločné s kvalitou jej povrchu.

¹³ Rippl W. - Water: the bloodstream of the biosphere. 2003: Philosophical Transactions of the Royal Society London B 358, pp.1921-1934

¹⁴ 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, pp 1013–1033

¹⁵ tamže

Obeh vody a uhlíkový cyklus

Súčasnú uvažovanie o klimatickej zmene sa zaoberá takmer výhradne s úlohou CO₂. Podpora funkčných ekosystémov a obehu vody by však mali byť prioritou i pre tých, ktorí sú presvedčení o dominantnej úlohe tohto plynu v klimatickom systéme Zeme, pretože cyklus uhlíka je úzko naviazaný na vodu a vegetáciu.

Koncentrácia CO₂ v atmosfére je daná bilanciou jeho množstva vypúšťaného do atmosféry vplyvom spaľovania fosílnych palív a produkcie cementu, pevninského biosférického toku CO₂, ktorý zahŕňa fotosyntézu a respiráciu rastlín, ako aj vplyv požiarov a manažmentu pôdy; a nakoniec tokom CO₂ medzi oceánom a atmosférou.

Pri určitom zjednodušení môžeme povedať, že kým oceánska biota a funkčné ekosystémy na pevnine uhlík z atmosféry viažu, narušené ekosystémy ho do atmosféry emitujú. Schopnosť oceánov a v morskej vode žijúcej bioty sekvestrovať (viazať a ukladať) CO₂ sa citelne nemení, ale už nedostačuje na vyrovnávanie antropogénnej produkcie uhlíka.

Sekvestrácia CO₂ z atmosféry je na pevnine najväčšia v miernom pásme na severnej pologuli. Asi 50% (cca 1150 Gton) zásob uhlíka vo svetových ekosystémoch je uložených v lesoch, zvyšných asi 1000 Gton je v ďalších ekosystémoch, ako tundra alebo trávnaté plochy. V lesoch severnej pologule je cca 84% uhlíka uložených v pôdnej organickej hmote.¹⁶

Pôda sekvestruje uhlík prostredníctvom vegetácie. Sama o sebe ho sotva dokáže ukladať, ale dokáže ho pomerne rýchlo uvoľniť. Keď sa obsah vody v pôde znižuje, pôda sa viac prevzdušňuje, čo vedie k nárastu oxidačných procesov, urýchľuje sa mineralizácia organického obsahu v pôde. Pri zmene z lesného na poľnohospodárske využívanie pôdy straty uhlíka dosahujú 30% i viac percent. Strata uhlíka z pôdy znamená zníženie jej organického obsahu, úrodnosti, schopnosti udržať vodu a častejšie lokálne suchá.¹⁷

Nedostatok vody v pôde zvyšuje tiež jej prehrievanie, čo opäť prispieva k mineralizácii organickej hmoty. V krajine s nedostatkom vody a vegetácie, ktorá sa prehrieva, vodná para nekondenzuje,

¹⁶ Bierkens M.F.P., Dolman A.J., Troch P.A. (editori) - Climate and the Hydrological Cycle, IAHS, 2008

¹⁷ Rippl W., Eiselová M. - Sustainable land management by restoration of short water cycles and prevention of irreversible matter losses from topsoils, Plant Soil Environ., 55, 2009 (9): 404–410

krajina trpí nedostatkom rosy a miernych zrážok z malého vodného cyklu. Zrážky zvyčajne prichádzajú pri frontálnych poruchách a zrážková voda zvyčajne rýchlo odtečie, pretože krajina má nízku retenčnú kapacitu.¹⁸

Z predchádzajúcich textov vyplýva, že interakcia uhlíkového cyklu s hydrologickým cyklom hrá dôležitú úlohu vo veľkosti výmeny uhlíka medzi zemským povrchom a atmosférou. Tá vykazuje medziročnú premenlivosť dosahujúcu až hodnoty spaľovania fosílnych palív človekom. Závisí najmä na zrážkach. Najväčší vplyv majú suchá v miernom pásme severnej pologule, kde je sekvestrácia CO₂ najväčšia. Suchá a horúčavy znižujú fotosyntézu (a tým viazanie CO₂), ale čo je ešte horšie, zvyšujú pravdepodobnosť výskytu veľkých lesných požiarov. Ohromné množstvá uhlíka viazané v organickej hmote v prípade narušenia prirodzených cyklov predstavujú hrozbu jeho náhleho uvoľnenia do atmosféry.¹⁹

Kompenzácia súčasných antropogénnych emisií uhlíka pomocou vegetácie je podľa viacerých odborníkov možná. Podľa ruských vedcov Gorškova a Makarjevy by stačilo znížiť plochy využívané človekom o približne 7% a na tej istej ploche obnoviť prirodzené lesy. Vytváranie umelých ekosystémov, akými sú napríklad poľnohospodársky využívané plochy, je destabilizujúce z hľadiska otvárania uzavretých cyklov vody a rozličných ďalších látok, včítane uhlíkovej rovnováhy.²⁰

¹⁸ tamže

¹⁹ Bierkens et al. - Climate and the Hydrological Cycle

²⁰ Gorshkov V.G., Gorshkov V.V., Makarieva A.M. - Biotic Regulation of the Environment: Key Issue of Global Change. Springer-Praxis Series in Environmental Sciences, Springer, London, 2000

Vplyv využívania krajiny na vegetáciu a obeh vody

Človek pretvára svoje krajinné prostredie od objavenia sa na tejto planéte. Rozsah a intenzita pretvárania krajiny neboli vždy rovnaké, ale boli určované spôsobom obživy a stupňom spoločenského vývoja. Historickými míľnikmi týchto premien boli zlomy ako prechod z lovecko-zberačského spôsobu života na poľnohospodársky a pastiersky spôsob života (neolitická revolúcia); priemyselná revolúcia, ktorá znamenala prechod od manufaktúrnej k efektívnejšej strojovej výrobe; niekoľko vln urbárnej revolúcie, ktoré ovplyvnili počet obyvateľov a kvalitu ich života v mestách; či v 20.storočí zelená revolúcia, ktorá opäť zmenila tvár poľnohospodárstva. Odlesnenie veľkých území a ich premena na poľnohospodársku pôdu či ich premena na urbárne zóny nezostali bez dôsledkov na obeh vody.

Úlohu vegetácie pri regulovaní obehu vody a erózie dobre ilustruje výskum sedimentácie v jazerách severnej Európy v rozličných fázach zalesnenia po ústupe ľadovcov pred zhruba 12 tisíc rokmi. Obdobie 2-3 tisíc rokov postupnej rekolonizácie pustej obnaženej krajiny od prvých priekopníckych rastlín až po klimaxový les sa vyznačuje najprv vysokým transportom povrchového materiálu do jazier, ktorý sa však postupne znižoval až na desatinu pôvodného množstva. Keď však pred zhruba 200 rokmi človek začal v skúmaných povodiach intenzívne deštruovať vegetačnú pokrývku, rozvíjať poľnohospodárstvo a urbanizovať, transport povrchového materiálu sa zvýšil 50 až 100-násobne oproti prírodou optimalizovanému stavu.²¹ Človek sa stal významným faktorom, ktorý otvára predtým viac-menej uzavreté cykly vody a pôdneho materiálu.

To, čo v niektorých častiach severnej Európy začalo pomerne nedávno, v iných častiach Európy a sveta začalo oveľa skôr. Vynikajúci americký paleoklimatológ William F. Ruddiman upozorňuje, že podstatnejší vplyv človeka na klímu začal už pred zhruba 8-tisíc rokmi s poľnohospodárskou revolúciou po skončení doby ľadovej. Tento vplyv bol pred priemyselnou revolúciou menej intenzívny ako dnes, ale pôsobil rádovo dlhší čas a napríklad suma odlesňovania bola v konečnom dôsledku väčšia.²²

²¹ Rippl W., Eiselová M. - Sustainable land management by restoration of short water cycles and prevention of irreversible matter losses from topsoils, 2009

²² Ruddiman W. F., Plows, Plagues & Petroleum – How Humans Took Control of Climate, Princeton University Press, 2005, s.88-94

Vodohospodárska situácia po odstránení lesa je spojená s celou reťazou faktorov. Odlesňovanie územia a znižovanie kvality lesného porastu sprevádza zvyšovanie rýchlosti odtoku dažďovej vody, urýchlenie erózie pôdy, zníženie obsahu organického materiálu v pôde a tým i zníženie jej vodozadržnosti. Viac vysušená a zároveň i vytvrdnutá pôda pri ďalšej zrážke prijme ťažšie novú dažďovú vodu. Povrchový odtok sa zvyšuje. Je známych viacero príkladov podobných brazílskemu povodiu Tocantins, kde sa v období rokov 1960 až 1995 paralelne s odstránením lesa a s rozvojom poľnohospodárstva zvýšili prietoky v tokoch o približne 25 percent, hoci zrážky sa nezvýšili.²³

Jedným z ďalších faktorov odvodňovania veľkých území sú pestované plodiny. Na poľnohospodársku kultiváciu boli mimoriadne vhodné niektoré jedlé semená tráv. Vytvorili základ pre pestovanie obilnín, ktoré sa stali najrozšírenejšou plodinou na výživu ľudstva. V Európe, ale aj v mnohých ďalších častiach sveta v miernom podnebnom pásme, od čias neolitickej revolúcie dominuje pestovanie pšenice a jačmeňa, o ktorých sa predpokladá, že boli domestikované ako prvé. Tie si zachovávajú vlastnosti jednoročných stepných tráv, z ktorých boli vyšľachtené a vyžadujú si preto stepné podmienky. Pôda pre ich pestovanie musí preto byť odvodnená, čo najmä v modernej dobe zadalo príčinu obrovským projektom odvodňovania územia.

Umelé zavlažovanie, ktoré v kombinácii s intenzívnym poľnohospodárstvom praktizovali už staroveké civilizácie, nie je dlhodobo udržateľným riešením, pretože, ako sa na ich príklade ukázalo, vedie k zasoľovaniu pôd. Akonáhle sa dažďová voda dotkne zeme, začne rozpúšťať soli v nej obsiahnuté. Ich koncentrácia sa v povrchovej vode i niekoľkonásobne zvyšuje, nehovoriac o podzemnej vode. Toto je časť rozdielu medzi závlahou dažďom a umelou závlahou. Ďalší rozdiel spočíva v skutočnosti, že v čase dažďa je vysoká vlhkosť vzduchu, ktorá znižuje výpar, kým pri umelých závlahách je to zvyčajne naopak. Soli z odparenej vody zostávajú v pôde. Vynikajúci austrálsky pôdohospodár Peter Andrews poukazuje na ďalší aspekt zasoľovania pôd, ktorým je potlačanie prirodzenej diverzity vegetácie, najmä vplyvom poľnohospodárstva. Práve nízka vegetácia, najmä rôzne trávy a buriny, sú podľa neho najúčinnnejším prostriedkom na elimináciu solí z pôdy.²⁴ Systematické odstraňovanie tejto nízkej vegetácie je cestou k vytvoreniu zasoľenej polopúšte.

²³ Foley J. A. et al. - Global Consequences of Land Use, SCIENCE, VOL 309, 2005, www.sciencemag.org

²⁴ P.Andrews – Back from the Brink – How Australia’s landscape can be saved, ABC Books, 2006, s.217-222

Regulácia riek predstavuje ďalšiu kapitolu odvodňovania krajiny. Úpravami vodných tokov sa zvyčajne skracovala ich celková dĺžka, čím sa zvýšil sklon a urýchlil sa odtok vody. Spevňovanie dna a brehov vodných tokov, rušenie mŕtvych ramien, vysušanie postranných močiarov prepojených s riečnymi ekosystémami, zvyšovanie hrádzí, ktoré zabránilo periodickému rozlietaniu vody mimo korýt a ďalšie úpravy znížili schopnosť krajiny zadržiavať vodu.

Urbárna revolúcia súvisiaca s priemyselnou revolúciou znamenala masové sťahovanie sa prudko rastúceho počtu obyvateľov Zeme z vidieka do miest. Moderné mestá, ale stále viac i dediny, majú povrchy spevnené nepriepustnými materiálmi a majú dažďovú kanalizáciu. Obrovské množstvá dažďovej vody sú odvádzané z vydláždených a zastrešených plôch „civilizovaného sveta“ kanalizáciou do riek a do mora. Podľa odhadov je z európskeho kontinentu každoročne skanalizovaných viac ako 20 mld. m³ dažďových vôd, ktoré v minulosti nasycovali pôdu i vegetáciu, doplňovali zásoby podzemných vôd, posilňovali pramene a svojím výparom zvlhčovali klímu.

Odlesňovanie, poľnohospodárska činnosť, urbanizácia a iné formy transformácie krajiny človekom zasahujú v súčasnosti takmer 40 percent povrchu pevniny.²⁵ Transformácia krajiny má spolu s vplyvom na obeh vody v nej i vplyv na jej klímu. To je témou ďalšej časti.

²⁵ J. A. Foley et al. - Global Consequences of Land Use, SCIENCE, VOL 309, 2005, www.sciencemag.org

Vplyv využívania krajiny na klímu

V predchádzajúcich častiach sme konštatovali, že voda je jedným z kľúčových parametrov klimatickej zmeny, pretože má unikátne termoregulačné vlastnosti a pretože jej obeh je úzko zviazaný s transformáciou obrovských tokov energie. Vegetácia, najmä prirodzený les, dokáže unikátnym a človeku prospešným spôsobom hospodáriť s vodou. Konštatovali sme tiež, že človek svojou činnosťou prispieva k odlesňovaniu a odvodňovaniu krajiny, čím mení bilanciu tokov vody a energie v krajine. Z predchádzajúcich konštatovaní vyplýva, že využívanie krajiny má vplyv prinajmenšom na regionálnu klímu. Tieto regionálne vplyvy na obrovských územiach obývaných a pretváraných ľudstvom²⁶ sa synergicky spájajú a nesporne majú vplyv i na globálnu klímu.

Teplota v meste je za slnečného letného dňa často pozorovateľne vyššia než na vidieku, teplota na poľnohospodársky obrábanom poli je vyššia ako v lese, aj keď slnečné žiarenie dopadá na mestá, dediny, polia a lesy rovnako. Najdôležitejším faktorom je znížený výpar v meste z dôvodu zníženia plôch zelene a z dôvodu vyššieho podielu zastavaných plôch a spevnených nepriepustných povrchov. Podobne na obrábanom poli sa znížením nasýtenosti povrchu pôdy vodou znižuje schopnosť krajiny odparovať vodu a zvyšuje sa podiel slnečnej energie, ktorá sa mení na citelné teplo.

Nejde o malé množstvá tepla. Každoročne sa urbanizuje približne 54 750 km² zemskeho povrchu. Uvažujme, že ak výpar na tejto ploche poklesne o 200 mm ročne, potom každoročne vznikne navyše približne 6 751 040 GWh citelného tepla. Ak ten istý pokles výparu aplikujeme na 127 000 km² zemskeho povrchu, ktorý je každoročne odlesnený, vznikne navyše približne 17 374 000 GWh citelného tepla.²⁷ Len toto samotné množstvo približne zodpovedá ročnej produkcii elektrickej energie ľudstvom.²⁸ Toto množstvo by bolo ešte vyššie, ak by sme brali do úvahy pokles zrážok vplyvom zníženého výparu. Ohromné množstvá citelného tepla vznikajú na plochách, ktoré boli premenené na poľnohospodársku pôdu či na urbárne prostredie už v minulosti. Polia, pasienky a urbárne plochy na všetkých kontinentoch zaberajú spolu okolo 55 miliónov km².

²⁶ Vid' napr. práce Roger Peilke Sr. Research Group, <http://climatesci.org/>

²⁷ Schmidt M. - Global climate change: the wrong parameter, RIO 9 - World Climate & Energy Event, 17.-19.marec 2009, Rio de Janeiro, Brazília

²⁸ Svetová produkcia elektriny bola v roku 2006 18 triliónov kilowatthodín

Tzv. „horúce platne“ vznikajúce na človekom pretvorenom území nie sú bez vplyvu na obeh vody a klímu. Vyššia teplota bráni kondenzácii vodných pár, čo môže znamenať pokles zrážok nad takýmto územím. Teplotné rozdiely medzi horúcou poľnohospodársko - urbánnou krajinou a vlhkejšími a chladnejšími oblasťami (s väčšou nadmorskou výškou alebo zemepisnou šírkou) spôsobujú vyššiu koncentráciu oblakov a zrážok nad neskoršie spomínanými oblasťami.

Ďalšími klimatickými extrémami a ich dôsledkami, ktoré spúšťajú „horúce platne,“ sú povodne, predlžujúce sa obdobia sucha alebo horúčav, lesné požiare, znižujúce sa hladiny podzemných vôd, znižovanie úrodnosti, biodiverzity, atď. Rozdelenie teploty v súvislosti s výskytom vody a vegetácie v krajine poskytuje priamejšie a logickejšie vysvetlenie regionálnych klimatických extrémov ako zvýšenie takmer homogénneho obsahu CO₂ v atmosfére.

Existuje množstvo starších i nových príkladov zmien klímy vplyvom manažmentu krajiny. Krištof Kolumbus spomína, že po odlesnení Kanárskych ostrovov, Madeiry a Azorských ostrovov prestal na nich každodenný poobedňajší jemný dážď.²⁹ K podobnej situácii došlo po odlesnení Veľkonočného ostrova, najodľahlejšieho ostrova sveta. V súčasnosti existuje množstvo vedeckých štúdií, ktoré konštatujú znižovanie zrážok v Amazónii v dôsledku rúbania tamojšieho pralesa a tento jav zovšeobecňujú.³⁰ Iným príkladom je Florida, ktorej rozsiahle močiare boli v priebehu 20. storočia odvodnené. Známy americký klimatológ Roger Pielke dokumentuje mechanizmus významného poklesu zrážok, ktorý na Floride nastal v horúcom období a naopak, nový fenomén výskytu mrazov na odvodnených územiach v chladnejšom období.³¹

Je zarážajúce, že príslušné vrcholné svetové inštitúcie ignorujú tú časť klimatickej zmeny, ktorú spôsobuje zmena stavu vegetácie a obehu vody vplyvom manažmentu krajiny človekom (s malou výnimkou sekvestrácie uhlíka vegetáciou). Tiež takmer výlučne hovoria o dopade klimatických zmien na vodný cyklus a nie aj o dopadoch činnosťou človeka spôsobených zmien vodného cyklu na zmenu klímy. Tento vzťah je však obojsmerný.

²⁹ Životpis Krištofa Kolumba podľa jeho syna Ferdinanda

³⁰ napr. Foley J. A. et al. - Green surprise? How terrestrial ecosystems could affect earth's climate, The Ecological Society of America, 2003, www.frontiersin ecology.org

³¹ Pielke R. A. Sr. et al. - A new paradigm for assessing the role of agriculture in the climate system and in climate change, *Agricultural and Forest Meteorology* 142, 2007

Podpora klimatických funkcií vody a vegetácie

V predchádzajúcej časti sme konštatovali, že odvodňovanie krajiny prostredníctvom odlesňovania, niektorých spôsobov poľnohospodárstva a urbanizácie prispieva ku klimatickej zmene. Ak je to tak, potom hlavným opatrením na prispôsobenie sa a na zmiernenie tej časti klimatickej zmeny, ktorá je spôsobená odvodňovaním krajiny človekom, je obnova vody a vegetácie na poškodených územiach.

História oplýva príkladmi poškodzovania prírody a klímy človekom. Pozitívnych príkladov je málo. K prvej skupine patrí ekologická kríza, ktorá vyvrcholila zároveň s Veľkou hospodárskou krízou v 30-tych rokoch 20. storočia v USA. Bola výsledkom niekoľkých desaťročí bezohľadného drancovania prírodných zdrojov, napríklad odlesnenia krajiny na 1/8 pôvodnej plochy či preorania Veľkých prérií a ich premeny na obilné monokultúry najmä počas 1. svetovej vojny a po nej. Odlesnenie znamenalo zmenu hydrologického režimu, povodne, suchá a eróziu. Straty najkvalitnejšej pôdy z polí a pasienkov vplyvom vodnej erózie sa v tom čase odhadujú na 3 mld. ton ročne. Stále častejšie sa začal objavovať fenomén obrovských prašných búrok, milióny akrov nedávno úrodnej pôdy sa menili na púšť.³²

K pozitívnym príkladom patrí prístup pod vedením prezidenta F. D. Roosevelta, ktorý zoči-voči spomínanej situácii zriadil Občianske ochranné zbory (CCC - Civilian Conservation Corps) na pomoc nezamestnaným i poškodenej prírode. Program v rokoch 1933 až 1942 zamestnal okolo 3 miliónov mladých ľudí na prácach, ktoré okrem iného zahŕňali: výsadbu lesov; budovanie protipožiarnych nádrží, rybníkov a priehrad; opatrenia na zníženie rýchlosti a erozívnej sily vody; vytváranie retenčných priestorov na zachytávanie privalových vôd; atď. Pre ilustráciu uveďme, že len počet nimi vysadených stromov sa odhaduje na 2 až 3 miliardy.³³ Niet pochyb o pozitívnych dopadoch programu na životy ľudí i prírodu. Vplyv programu na klímu možno dedukovať napríklad zo skutočnosti, že fenomén prašných búrok ustal.³⁴

Časť programu Občianskych ochranných zborov zameraná na podporu vodozadržnej schopnosti povodí predstavuje veľkú inšpiráciu. Aby voda a vegetácia mohli plniť svoje klimatické

³² Salmond J.A. - The Civilian Conservation Corps, 1933-1942: A New Deal Case Study, Chapter 1, Duke University Press, 1967

³³ www.ccclegacy.org/

³⁴ http://en.wikipedia.org/wiki/Dust_Bowl

funkcie, musia sa v prvom rade v krajine nachádzať v dostatočnom množstve. Všetka sladká voda na pevnine pochádza z dažďa. Preto je prvoradou úlohou budovať opatrenia na masívne zadržiavanie dažďovej vody na mieste, kde padá a nechať do mora odteciť len tú časť vody, ktorú už nedokážeme zadržať. Zadržanie dažďovej vody je z hľadiska človeka, ekosystémov a klímy výhodnejšie ako odtok, pretože v čase a priestore lepšie zachováva vodu medzi obdobiami jej prebytku a nedostatku. Zníženie odtoku zároveň plní i protipovodňovú a protieróznú funkciu.

Ľudstvo zachytávalo a zadržiavalo atmosférickú vodu po tisícročia a vyvinulo na tento účel množstvo technológií: sústreďovaním vody zo striech, na svahoch pomocou rozličných druhov depresii či terás, do cisterien, plachtami na zadržiavanie hmly, atď. Kým však v minulosti bol hlavný cieľ získať dodatočné zdroje na pitné, úžitkové či zavlažovacie účely, dnes sa k nim pridáva i klimatický účel. Preto popri využívaní a vsaku dažďovej vody rastie význam i jej výparu.

Výpar, ktorý sa zvyčajne považuje za stratu, má nesmierne dôležitú klimatickú funkciu pri ochladzovaní krajiny a vyrovnávaní teplotných rozdielov v nej. V zdravej krajine sa väčšia časť z neho vracia v podobe rosy či dažďa. Navyše, pri jeho dostatočnom množstve "príťahuje dažď" ochladením a podporou kondenzácie ďalších pár v ovzduší. Absencia výparu vytvára v krajine "horúce platne" deštruujúce malý vodný cyklus. Recyklácia vody v malom vodnom cykle je lepšia ako spoliehanie sa na fluktuácie veľkého vodného cyklu.

Imperatív výparu popri tradičných spôsoboch zachytávania dažďovej vody otvára nové spektrum technológií, ktoré v ideálnom prípade spočívajú v nasycovaní pôdy a vegetácie. Na vidieku sa dajú pomerne ľahko nájsť takéto možnosti uskladnenia dažďovej vody podporou rôznych ekosystémov, zadržiavaním v mokradiach a vodných útvaroch či vsakovaním do podzemnej vody. V poľnohospodárstve treba zo spomínaných dôvodov uplatňovať bezorbové technológie a zalesňovať pustnúce a nevyužívané plochy.

Dažďová voda, ktorá v súčasnosti bez úžitku (a za drahé peniaze zaplatené kanalizačným spoločnostiam) odtieká z urbárnych zón cez kanalizáciu do rieky a do mora, môže napájať trávniky, parky, bioklimatické záhrady, zelené strechy, zelené fasády, atď. Samozrejme, na tento účel možno po príslušnom vyčistení využiť i dažďovú vodu, ktorá predtým poslúžila ako úžitková voda a odbremenila tak odber drahej pitnej vody. Mestá, ktoré majú vysokú spotrebu vody, by mali smerovať k nulovému odvádzaniu dažďových vôd. Je zrejme, že nová vodná politika si vyžaduje inováciu v oblasti územného plánovania a architektúry.

Na miestnej a národnej úrovni je potrebné vytvoriť systém politik, právnych nástrojov a motivácií, ktoré podporujú zadržiavanie vody, ochraňujú malý vodný cyklus a v neposlednom rade vegetáciu. Tak ako sa v rovine finančných nástrojov uplatňuje princíp “znečisťovateľ platí,” v integrovanom manažmente vodných zdrojov a pôdneho fondu treba zaviesť princíp: “ten, kto odvodňuje – platí.” Vytváranie vodozádržných priestorov treba naopak finančne alebo nefinančne zvýhodňovať.

Keďže klimatické účinky odvodňovania krajiny presahujú národné hranice, uvedené princípy je potrebné aplikovať i na medzinárodnej a nadnárodnej úrovni. Satelitné snímkovanie v infračervenom (teplocitlivom) spektre dokáže odlíšiť horúce časti krajín, ktoré sa v tropických a miernych pásmach zhodujú s odvodnenými, prípadne vegetácie zbavenými oblasťami.³⁵ Medzinárodné spoločenstvo si takto môže ľahko stanoviť priority svojej politiky, prípadne sledovať dosiahnutý pokrok.

Obnova a ochrana prirodzeného vodného cyklu vo význame pre klímu nijako nezaostáva za znižovaním emisií skleníkových plynov a predbieha ho v bezprostrednej nutnosti pre zabezpečovanie základných potrieb človeka. Medzinárodné spoločenstvo by mu preto malo venovať adekvátnu pozornosť.

³⁵ Pokorný J., Kravčík M., Kohutiar J., Kováč M. - Podstatná úloha vody v klimatickom systéme Zeme, 2009, www.ourclimate.eu