

Hydrologický cyklus

Země je jedinou planetou ve sluneční soustavě, kde se voda běžně vyskytuje ve všech třech svých skupenstvích. Ačkoliv je voda čirá tekutina, ve větší vrstvě kvůli průchodu slunečního záření mají vodní plochy modrou barvu. Díky obrovským modrým plochám oceánů a bílé barvě oblačnosti září Země při pohledu z kosmu jako modrobílý drahokam. Cílem tohoto článku je shrnout podstatné informace o fungování oběhu vody v přírodě.

Globální hydrologický cyklus

Pojmem hydrosféra označujeme veškerou vodu na Zemi a v atmosféře bez rozdílu skupenství. Její objem lze označit za konstantní, i když ve skutečnosti část vody opouští troposféru a putuje stratosférou výše, kde je pomocí krátkovlnné sluneční radiace rozdělena na jednotlivé molekuly, které dále směřují do meziplanetárního prostoru. Toto relativně malé „ztracené“ množství vody je nahrazenou juvenilní vodou, která vzniká sloučením molekul vodíku a kyslíku za vysokého tlaku a teploty v zemské kůře. Původně vodní pára se potom v chladnějších vrstvách zemské kůry mění na kapalinu a může proniknout až na

zemský povrch ve formě horkých pramenů a gejzírů v místech s aktivní či doznívající sopečnou činností. Vzhledem k velmi malému objemu je tato část hydrologického cyklu zanedbatelná.

Voda je na Zemi rozložena značně nerovnoměrně (viz tab. 1), najdeme ji převážně v pěti rezervoárech: oceánech a mořích, atmosféře (asi 70 % objemu vody v atmosféře je nad plochou oceánů a moří), povrchové vodě (jezera, koryta řek, půdní vláha), podzemní vodě (voda v průlinách či puklinách pod zemským povrchem) a ledu (v ledovcích, trvalé sněhové pokrývce a permafrostu). Voda obsažená v půdě je zpravidla oddělována od hlubších horizontů podzem-

ních vod, protože se nachází v mělké vrstvě (do jednoho metru) a její množství se mění výrazně rychleji, než je tomu u podzemní vody.

Voda je v neustálém pohybu, přičemž dochází k výměně vody mezi oceánem, atmosférou, zemským povrchem a zónami výskytu podzemní vody. Tento pohyb nazýváme globálním hydrologickým cyklem (obr. 1). Jedná se o největší pohyb nějaké látky na Zemi. Hlavním vstupem do systému koloběhu vody na Zemi je energie vyzařovaná ze Slunce. Ta je iniciátorem a regulátorem pohybu vody v přírodě. Způsobuje výpar vody jak z ploch světového oceánu, tak z půdy či vegetace na pevnině. Na výpar se spotřebuje nad oceány 90 % a nad souší 55 % tepla radiační bilance. Celkový objem vypařené vody je asi 577 000 km³, přičemž převládá výpar z oceánu díky jeho větší ploše (505 000 km³ ku 72 000 km³ z pevniny, zejména z půdy), nepřetržitěmu a neomezenému průběhu, vyšší radiační bilanci na povrchu vody ve srovnání s povrchem souše a pro možnost doplňování tepla potřebného k výparu z jeho zásob ve vodní masě (Gleck, 1993, všechna čísla, kterými je popisován hydrologický cyklus, jsou expertními odhady a liší se podle různých autorů). Voda poté ve formě plynného skupenství přechází do vyšších vrstev atmosféry, odkud může být vzdušným prouděním transportována na jiné místo, často velmi vzdálené, kde za příznivých podmínek dochází ke kondenzaci a vypadávání srážek. Pokud voda dopadá na pevninu, vsakuje se a obohacuje vláhou půdní profil a zásoby podzemních vod, doplňuje vodou řeky, jezera či ledovce a formou povrchového či podzemního odtoku se dostává zpět do oceánu, přitom se znovu vypařuje do atmosféry a nastává tak stále opakovaný nepřetržitý pohyb vodních mas. Zpět na hladinu oceánu spadne 458 000 km³ srážek, na pevninu potom ve formě deště a sněžení celkem 119 000 km³ srážek. Při pohledu na výše uvedená čísla je zřejmé, že nad pevninou vypadává více srážek, než se z ní vypaří vody. Tento „přebytek“ (47 000 km³) je umožněn atmosférickým prouděním směřujícím z oceánu nad pevninu. Z pevniny odtéká zpět do oceánu 45 000 km³ vody formou povrchového odtoku, 2 000 km³ vody odtékají ve formě podzemního odtoku (Chahine, 1992). Stejně tak platí, že značná část srážek nad pevninou se tvoří z místního výparu. Globální význam místního výparu však nelze přenášet na povodí např. velí-
kosti Vltavy, kde se vláh z místního výparu

Tabulka 1: Rozložení zásob vody na Zemi (Kotwicki, 2009). Jedná se o kvalifikované odhady s různou mírou důvěryhodnosti. Nejpresnější jsou známé objemy vody v oceánech, v ledovcích a v atmosféře, za nejméně přesné lze považovat údaje o objemu podzemních vod. Podle různých autorů se mění uváděné hodnoty objemů, procentuální hodnoty jsou většinou velmi podobné. Vzhledem k současným trendům ve zrychleném odtávání ledovcové hmoty klesá její objem a zvyšuje se objem vody v oceánech, a to i důsledkem její objemové roztažnosti s rostoucí teplotou.

Forma výskytu	Plocha (km ²)	Objem (km ³)	Procentuální podíl z celkového objemu vody na Zemi (%)	Procentuální podíl ze sladké vody na Zemi (%)
Slaná voda	510 065 600	1 350 000 000	97,100	–
Světový oceán	361 126 400	1 338 000 000	96,300	–
Slaná podzemní voda	148 939 200	14 000 000	1,000	–
Slaná jezera	820 000	85 000	0,006	–
Led	36 821 000	33 400 000	2,400	75,0
Ledovce	15 821 000	33 100 000	2,380	74,4
Antarktida	13 586 000	30 100 000	2,170	67,6
Grónsko	1 785 000	2 620 000	0,190	5,9
Arktida – ostrovy	230 000	83 000	0,006	0,2
Horské ledovce	220 000	34 000	0,002	0,1
Permafrost	21 000 000	300 000	0,022	0,7
Sladká voda	510 065 600	11 100 000	0,800	24,9
Sladká podzemní voda	148 939 200	11 000 000	0,790	24,7
Jezera	4 200 000	91 000	0,007	0,20
Půdní vláha	148 939 200	16 000	0,001	0,04
Mokřady ¹	5 300 000	12 000	0,001	0,03
Koryta řek	1 000 000	2 100	0,0002	0,005
Voda v biomase ²	510 065 600	2 400	0,0002	0,005
Přehradní nádrže	400 000	7 000	0,0005	0,016
Zemědělství ³	1 377 000	600	0,00004	0,0013
Voda v atmosféře	510 065 600	13 000	0,00094	0,0290
Hydrosféra celkem	510 065 600	1 390 000 000	100	100
Zemské nitro		7 000 000 000	~5 světových oceánů	

¹ Zamokřená území (mokřiny, bažiny, rašeliniště) představují důležitou zásobárnu vody, jedná se o jeden z nejvíce biologicky produktivních ekosystémů na Zemi, srovnatelné s deštnými lesy a korálovými útesy.

² Starší publikace uváděly, že 90 % vody v biomase bylo akumulováno v lesních porostech, současné poznatky ukazují na významný podíl vody v biomase v jednobuněčných a ostatních mikroorganismech, z nichž značná část žije pod zemským povrchem.

³ Rybníky pro produkci ryb zaujímají asi 77 000 km², zavlažované plochy pro pěstování rýže zhruba 1 300 000 km² – zemědělství tedy svými volnými vodními plochami zabírá zhruba 1 % rozlohy pevniny.

VÝZKUM A VÝVOJ

neprojevuje vůbec nebo pouze ve zcela nepatrné míře. Vlivem vzdušného proudění je totiž odváděna za hranice povodí (Netopil, 1984).

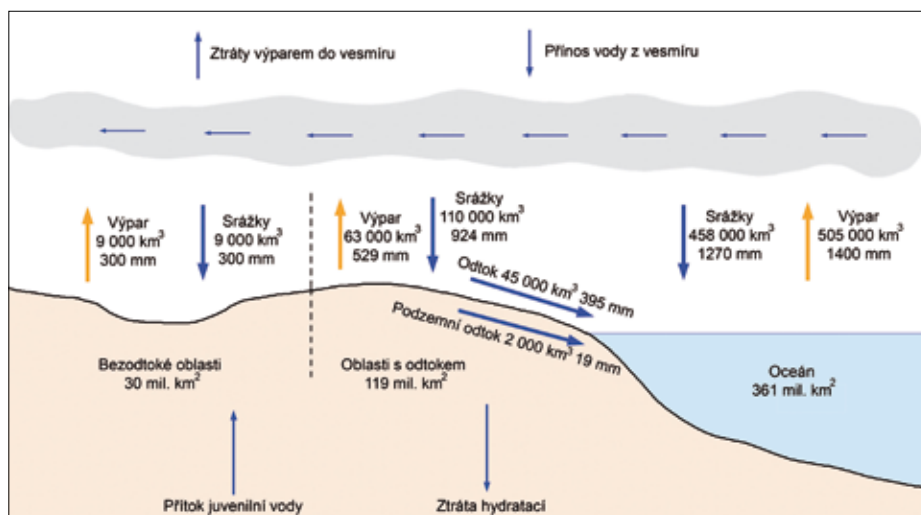
Oběhu vody se účastní jen nepatrná část (asi 0,04 %) zásob světového oceánu (viz tab. 2 uložená v Materiálech na webu GR). Objem vody nacházející se v atmosféře (přibližně 13 000 km³) činí zhruba jednu čtyřicetinu ročního úhrnu srážek, z čehož vyplývá, že se v průměru každých 9 dnů obsah par v atmosféře vymění. Voda v korytech řek se vymění v průměru každých 16 dnů, naproti tomu voda v ledovcích, velkých jezerech, podzemní voda a voda v oceánu se kompletně vymění v řádu stovek i tisíců let.

Velký a malý hydrologický cyklus

V rámci hydrologického cyklu rozlišujeme malý a velký oběh vody. Velký hydrologický cyklus se odehrává v systému oceán – atmosféra – pevnina – atmosféra – oceán. Mezi povrchem pevnin a atmosférou dochází ke složité a mnohokrát se opakující výměně vody, která vede nakonec k opětovnému návratu téhož množství vody zpět do oceánu, tím se velký oběh vody uzavře. Jak bylo uvedeno výše, nad pevninu se z oceánu pomocí atmosférického proudění dostává podstatně méně vody, než kolik jí ve formě srážek spadne. Tento rozdíl je způsoben opakovaným výparem ze zemského povrchu a dalším přenosem vody na jiná území. Na bezodtoká území za rok spadne přibližně 9 000 km³ srážek, které se nad nimi zcela vypaří (hodnota ročního odtoku vody v rámci všech bezodtokých oblastí je přibližně 1 000 km³, tj. asi 2,4 % z celkového povrchového odtoku na Zemi, voda odtéká většinou do bezodtokého jezera, kde se vypařuje). Dalo by se tak hovořit o malém hydrologickém cyklu, ale vzhledem k tomu, že nad ně proniká i vláh z okolních odtokových oblastí či moří a velká část vypařené vody uniká atmosférou za jejich hranice, vazba na celkový oběh vody na Zemi je tedy velice silná. Malé hydrologické cykly mohou probíhat v systému oceán – atmosféra – oceán nebo pevnina – atmosféra – pevnina, přičemž převažují zejména nad oceánem (Netopil, 1984).

Tranzitní vláh

Skutečná výměna vody na Zemi je ještě poněkud složitější, protože část vláh



Obr. 1: Generalizovaný popis globálního hydrologického cyklu. Zdroj dat: Gleick, 1993; Gleick, 2003

z oceánu spadne nad pevninou, vypaří se, ale vzdušným prouděním může být zanesena zpět nad oceán. Takže se nezúčastní dalšího oběhu vody nad pevninou a odtoku do oceánu. Podobně množství vláh přenášené z oceánu nad pevninu je daleko větší než výše uvedených 47 000 km³, ale zdaleka ne všechna tato vláh spadne ve formě srážek na pevninu. Přibližně 34 % z přenášené vláh se vrací zpět nad oceán. Množství takto přepravené vody není ve všech oblastech světa stejné, je závislé zejména na velikosti pevnin, vzdálenosti od zdroje vláh a uspořádání vysokých horstev, která vzdušnému proudění tvoří účinnou překážku. Nad Asií a Severní a Jižní Amerikou se jedná o 20 % vláh, nad Afrikou o 38 %, nad Evropou o 48 % a nad Austrálií dokonce o přibližně 76 % (Mirovoj vodný balans i vodnye resursy Zemli, 1974). Z vysokého podílu tranzitní vláh nad evropským kontinentem se nad oceán dostane asi polovina, zbytek vypadne ve formě srážek nad asijským kontinentem (Chmelová a Frajer, 2014).

Matematické vyjádření hydrologického cyklu

Bilanci globálního hydrologického cyklu můžeme vyjádřit jednoduchým matematickým modelem:

$$E_o = S_o + O; E_p = S_p - O;$$

$$S_o + S_p = E_o + E_p,$$

kde: E_p je výpar z pevniny, E_o je výpar z oceánů, S_p jsou srážky nad pevninou, S_o jsou srážky nad oceány a O je celkový

odtok z pevniny. Hodnoty srážek, výparu a odtoku vody jsou zpravidla vyjadřovány v milimetrech (vypočtené jako objem dělený plochou, nazývají se odtoková výška; v případě oceánů se uvádí analogicky vypočtená tzv. přítoková výška). Rovnice vodní bilance můžeme takto vyjadřovat pro libovolné velké plochy území (kontinenty, povodí řek či jezer apod.). Vzhledem k určitému časovému zpoždění v hydrologickém cyklu mezi jednotlivými jeho složkami (např. srážky se projevují na velikosti odtoku se zpožděním) nelze rovnice aplikovat na kratší časová období, zpravidla je bilance počítána za hydrologický rok (který začíná 1. listopadu) či ještě delší období.

Závěr

Lze říci, že vody na Zemi je konstantní množství, které je v neustálém a velmi složitém pohybu. Článek shrnuje údaje, které jsou vlastně pouze kvalifikovanými odhady, protože pro změření všech veličin hydrologického cyklu nemáme dostatek měření na potřebných místech. S rychlým rozvojem modelovacích technik je možné, že se v dohledné době dočkáme nějakého modelu, který bude přibližně ukazovat vodní bilanci na Zemi. Nesmíme ale zapomenout, že voda je nejcennějším zdrojem na Zemi, cennější než zlato, diamanty, ropa nebo další zdroje produkované a využívané populací, a podle toho se k vodě musíme chovat.

Miroslav Šobr, PŘF UK
sobr@natur.cuni.cz

The Water Cycle. The water cycle is a very large and very interesting process. It involves the largest movement of any material on Earth. This article describes the processes by which water moves around our planet as well as the water balance of the various continents.

LITERATURA A ZDROJE DAT:

- GLEICK, P. H. (1993): Water in Crisis. A Guide to the World's Fresh Water Resources. Oxford University Press, 456 p.
GLEICK, P. H. (2003): Global Freshwater Resources: Soft-Path Solutions for the 21st Century. Science, Vol. 302, Issue 5650, p. 1524–1528.
CHAHINE, M. T. (1992): The hydrological cycle and its influence on climate, Nature, 359, p. 373–380.

- CHMELOVÁ, P. R., FRAJER, J. (2014): Základy hydrologie. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 131 s.
KOTWICKI, V. (2009): Water balance of Earth. Hydrological Sciences Journal, 54:5, p. 829–40.
Mirovoj vodný balans i vodnye resursy Zemli. Leningrad, Gidrometeorizdat, 1974, 638 s.
NETOPIL, R. a kol. (1984): Fyzická geografie I. SPN, Praha, 264 s.