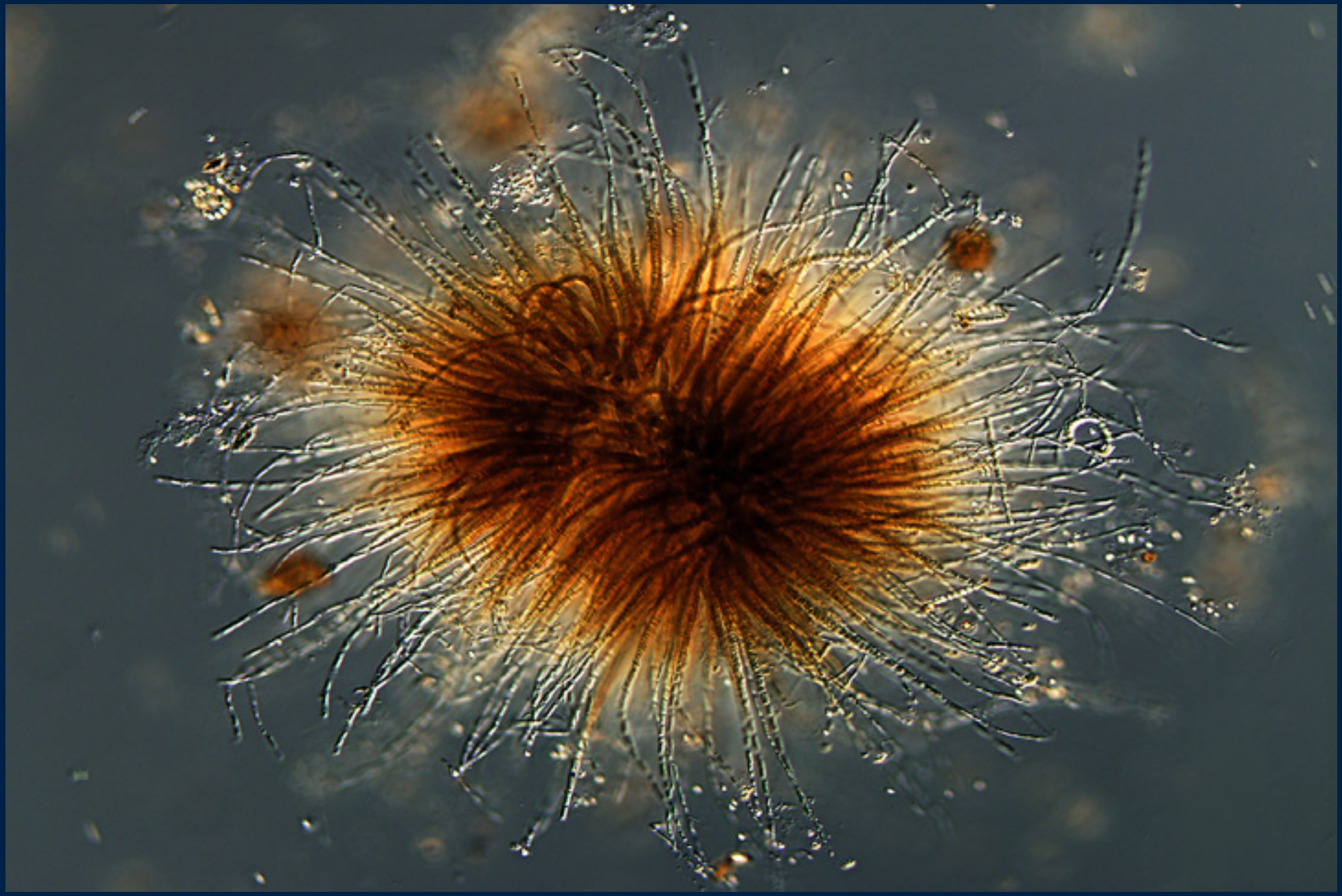


Část I: Voda a její vlastnosti

Tato část knihy je věnována původu vody, její roli v klimatickém systému, jejím neobvyklým vlastnostem, proměnám počasí a možným vizím budoucího vývoje. V zásadě se hlavně týká úcty k vodě, která znamená život.

Úvod – situace sucha a povodně

Voda je nejlepší.
PINDAROS, ASI 476 PŘ. N. L.

Tato kniha je o návratu ke zdravé krajině s dobrým vodním hospodářstvím. Soustřeďuje se na jednoduché postupy, jak v krajině udržet víc vody a jak obnovit říční krajinu, a to jak z pohledu lidí, tak mihulí nebo ledňáčků. Přirozená krajina lépe tlumí období nadbytku i nedostatku vody. Při psaní této knihy jsme vycházeli ze dvou základních východisek. Tím prvním je klimatická změna a tím druhým jsou očekávané změny dotační politiky Evropské unie i České republiky.

V posledních několika letech je téměř každý následující rok o něco teplejší než rok minulý, a to i přes poněkud klesající sluneční aktivitu současného 25. slunečního cyklu. Zároveň světový oceán do hloubky 2 kilometrů pojal neobvykle vysoký obsah tepla, které bude v tom lepším případě ztrácet další dvě desetiletí. Prohloubila se celková teplotní nerovnováha zemského systému, ve kterém posledních několik tisíc let panoval víceméně nulový režim – tedy že množství přicházející sluneční energie se rovnalo množství energie odcházející. Dnes Země navíc zachytává sluneční energii v množství nejméně 1 watt na metr čtvereční. Získané teplo je ukládáno především v oceánu. Tím se zvětšuje celkový teplotní základ planety. Rozdíly povrchových teplot mezi oceánem a souší proměňují směry větrného proudění, a protože vítr „je bagr, který hrne vodní páru“, tak na mnoha místech Země prší jindy a jinak, než jsme byli zvyklí. Pro srovnání – cyklus příchodů a odchodů ledových dob je způsoben odchylkami kolem 5–7 wattů na metr čtvereční.

Tato situace znamená, že Země vstupuje do nové klimatické fáze, kterou můžeme zkratkovitě popsat jako „situaci sucha a povodně“. Toto nové počasí je bohatší na extrémní události, jako jsou silné větry či přívalové deště. Nemusí však nutně všude znamenat další oteplování, protože tavné vody arktických ledovců mohou omezit oceánské proudění, a naopak vést k ochlazování severní a střední Evropy, ke kterému může podle klimatických

Každá krajina a každá situace vyžaduje svůj vlastní přístup. Nejprve sedíme, dlouze pozorujeme a přemýšlíme.

◂ **Koloniální sinice *Gloeotrichia echinulata*, jejíž výskyt na území České republiky je poměrně vzácný. Mikrofotografie vodních organismů můžeme sledovat z vědeckého hlediska, anebo se nechat unést imaginací a pak nám třeba připomenou galaxii ve vesmíru, matematické funkce či počítačový matrix.** (FOTO P. ZNACHOR)

V podzemí kláštera v západočeských Plasech existuje systém napůl zatopených podzemních chodeb, které mají za účel udržovat hladinu vody výš než dubový základový rošt, který by na suchu shnil. Nápis varuje, že když voda klesne pod určitou úroveň, tak se stavba zřítí. Jenže ono to neplatí jen o Plasech, ale o celé civilizaci. (FOTO M. KORBA)

▸ **Středověké úpravy řek se u nás téměř nedochovaly, protože byly nahrazeny novějšími mostky. Pozůstatky staré cesty z norského Geirangeru do obce Eidsdal mají ještě pravěký základ. Podobně mohlo vypadat přemostění potoků na mnoha místech středočeské krajiny.** (FOTO P. MUDRA)

modelů dojít po roce 2030. Je poctivé říct, že nevíme, jaké bude v příštím desetiletí počasí v České republice. Je skoro jisté, že se bude podobat uplynulému desetiletí, ale asi bude ještě proměnlivější.

Stejně jako teď i v minulosti bude každý rok trochu jiný a to bude platit hlavně pro zimy. Celkově se nadále bude projevovat tendence k letním vlnám veder a v zimě k průnikům studeného vzduchu ze Sibiře či Arktidy. Rovněž alespoň statisticky by měl platit posun ročních období směrem k teplým, krásným podzimům, občas studeným a hodně proměnlivým jarům, sušší první polovině a vlhčí druhé polovině léta. To jsou sice prokázané trendy, ale počasí nás stejně jako vždycky nepřestane překvapovat a nejspíš udělá něco, s čím vůbec nepočítáme. Součástí „přípravy na nečekané" je právě návrat k přirozené krajině. Nespasí nás, ale pomůže.

Ale jsou zde i další dlouhodobé trendy. Počátky sucha roku 2015 byly v měřeních půdní vlhkosti viditelné již od roku 2005 a i nyní, po dalších dvou letech stále existují studny, které se nenaplnily. Průměrná teplota se nezvýšila jenom na povrchu půdy, ale o necelý stupeň vzrostla i v celém půdním profilu, kde znamená o něco větší odpar. V některých oblastech se sucho stane chronickou záležitostí.

Očekáváme, že klimatická změna se nám nevyhne a donutí nás podobně jako série povodní na konci 19. století více se zabývat úpravami krajiny. V případě vody se jedná zejména o obnovení „houbovitosti" krajiny, tedy její schopnosti vodu zachytávat a využívat pro lidi, růst lesa, divokých i zemědělských plodin. Tato „houbovitost" či retence má dvě složky – je jí jednak zachytávání vody v kopcovité krajině, jednak přirozená úprava říčních krajin, tak aby byly schopné pojmout větší množství vody, a zpomalovat povodňové vlny.

V zásadě se jedná o celou plochu krajiny, kde je jako v minulosti nutné provádět hlavně tisíce drobných úprav typu vsakovacích rýh či péče o zemědělskou a lesní půdu. Jenže zároveň čekáme, že se během několika mála let změní systém zemědělských dotací, takže vlastníci půdy či místní komunity budou do úprav krajiny „dotlačeni" počasím, ale to při snižujících se dotacích, které bude nutné využít např. na bezpečnost. Proto jsou důležitá jednoduchá a laciná řešení.

Na počátku roku 2017 odhadovaly německé a francouzské bezpečnostní analýzy, že jenom z Afriky se do Evropy bude snažit dostat kolem šesti milionů lidí. Kromě přelidnění některých regionů a nedostatku zemědělské půdy se rovněž jedná o vzrůstající nedostupnost vody, a tím i potravin. Tyto sekundární dopady klimatických změn nás mohou ovlivnit víc než dopady primární – tedy teplota, srážky a posuny ročních období na území České republiky. Nejsou předmětem této knihy, ale pojednáváme o nich například v kolektivní monografii M. Bárty, M. Kováře a O. Foltýna *Povaha změny* z roku 2015, *Na rozhraní* z roku 2016 či v knize *Věk nerovnováhy. Klimatická změna, bezpečnost a cesty k národní resilienci* (v tisku). Je potřebné o nich uvažovat. Sucho v USA, Číně či Indii může vést k potravinovým šokům a bezpečnostním rizikům.

V této knize nás naopak víc zajímají lokální, úplně základní praktické principy zachytávání vody v krajině. Setkáme se zejména s tradičními technikami sběru vody, a to hlavně v semiaridních oblastech, které mají s epizodickými, přívalovými srážkami a následovným sběrem či sklizní vody (*water harvesting*) staleté zkušenosti. Jen

Meandr je prakticky vždy vítaný prvek krajiny, protože prodlužuje dráhu vodního toku, zpomaluje povodně, umožňuje lepší vsakování vody a ptákům nabízí částečně chráněné místo. Martinický potok na pomezí středních a jižních Čech. (FOTO P. MUDRA)

některé z nich jsou přenositelné do střední Evropy, ale mohou inspirovat k novým místním řešením. Jsme teprve na počátku cesty.

Hlavní část knihy pojednává o zásadách revitalizačních a renaturačních úprav. Snažili jsme se, aby i tyto kapitoly, které vycházejí z místních studií, mohly být inspirací pro další kraje České republiky, a proto se opíráme i o zkušenosti z velkolepých, ale nákladných říčních projektů na německých a rakouských řekách. V zásadě však dáváme přednost tomu, začínat malými, levnými a postupnými kroky, pak pozorovat, jak se osvědčí, a podle toho měnit či rozvíjet původní projekty.

Neproměňuje se jenom klima, ale celé prostředí, a to včetně nových či vracejících se dříve vyhubených druhů rostlin a zvířat. Na prvním místě nás asi napadne bobr evropský, ale začínáme být rovněž postiženi migrací drobného mlže slávičky mnohotvárné, která osidluje vnitřky potrubí vodních elektráren a jen v USA způsobuje roční škody ve výši několika miliard dolarů! Nechceme však zdůrazňovat jenom samá rizika a problémy, ve fotografiích Pavla Mudry a dalších autorů chceme ukázat i krásu našich říčních krajin a bohatost lužních lesů. Je o co pečovat, ale také z čeho mít radost a útěchu.

Pro přesnost ještě uveďme, že u každé kapitoly je podepsán hlavní autor, dílčí autoři jsou podepsáni v textu knihy u jednotlivých boxů. Výběr obrázků a jejich popisky měl na starosti Pavel Mudra. Kresby jsou dílem Marie Kohoutové. Autoři fotografií jsou uvedeni u jednotlivých obrázků. Pokud nebudete rozumět některým odborným výrazům, kterým nebylo možné se vyhnout, použijte na závěr připojený slovníček.

Václav Cílek, Tomáš Just, Zdeňka Sůvová a Pavel Mudra, psáno nad Vltavou a Úslavou v květnu 2017

1. Voda – nejsložitější ze všech jednoduchých látek

Jan Rohovec

KDYŽ CHCETE ZAŽÍT NĚCO SKUTEČNĚ FANTASTICKÉHO, VĚNUJTE SE VODĚ – VODNÍ PÁRA: OSAMĚLÉ MOLEKULY VODY – CO DOKÁŽE STROM – PRŠÍ – KAPALNÁ VODA A JEJÍ STRUKTURA – MIMOŘÁDNÁ VLASTNOST VODY: BOD VARU – JAK TEPELNÁ KAPACITA VODY POMOHLA VYTVOŘIT „GLOBÁLNÍ TEPELNOU BANKU" – POVRCHOVÉ NAPĚTÍ: PROČ VODA MŮŽE TÉCT NAHORU A CO TO ZNAMENÁ PRO STROM ČI VODOMĚRKU – HUSTOTA VODY A JEJÍ DALEKOSÁHLÉ DŮSLEDKY – BARVA VODY – VODA JAKO ROZPOUŠTĚDLO A NOSIČ LÁTEK – PRINCIP REVERZNÍ OSMÓZY A JEHO VYUŽITÍ PŘI ODSOLOVÁNÍ – „MOLEKULÁRNÍ KOŠÍKY" A DALŠÍ TRIKY – KDYŽ MÁ PIVO SPRÁVNÝ ŘÍZ: VODA JAKO DĚJIŠTĚ CHEMICKÝCH REAKCÍ – PŘENOS ENERGIE, VODÍK A REDOXNÍ REAKCE – MNOHO DRUHŮ LEDU – ŠESTICÍPÁ SNĚHOVÁ VLOČKA – HOŘÍCÍ LED ANEB PLYN V LEDOVÉ KLECI – VODA SE VESMÍRU POVEDLA

Voda je mimořádná látka, která se chová anomálně téměř ve všech svých fyzikálně-chemických vlastnostech a zřejmě představuje tu nejsložitější z jednoduchých chemických sloučenin.

ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA 15, 774

Když chcete zažít něco skutečně fantastického, věnujte se vodě

Voda je jednou z nejrozšířenějších chemických látek na Zemi. Zároveň je také jednou z nejfantastičtějších sloučenin, se kterými se člověk denně setkává. Každý si při vyslovení slova voda vybaví nějakou asociaci, těžko hledat člověka, pro kterého by bylo prázdným pojmem. Vodu jsme schopni vnímat všemi smysly. Zrakem vidíme sněhové pláně, hladinu, kapky či mraky, čichem vnímáme vůni látek ve vodě rozpuštěných, chuťový vjem je založen na působení vody na čidla jazyka, receptory v kůži pociťujeme vlhkost, popřípadě tlak vodního sloupce či tepelnou vodivost vodního prostředí, sluchové vjemy jsou rovněž velmi pestré.

Voda jako předmět umění byla ztvárněna mnohokrát v hudbě všech epoch, celé národy se zrcadlí nebo nachází identitu v hudebních skladbách. Jmenujme pro příklad impresionistickou skladbu *Vodotrysky*, kterou vytvořil Maurice Ravel, či Händelovu *Vodní hudbu* pro projížďku Jeho Veličenstva Jiřího I., krále anglického, po Temži. Umění malířské nezaostává za hudbou. Někteří malíři se dokonce specializovali a po celou svou tvůrčí éru malovali jen moře, jako například významný marinista I. K. Ajvazovskij či u nás Beneš Knüpfer anebo Josef Písecký.

Stejně i v rovině slovesného zobrazení se s vodou často setkáváme. Je překvapivě mnoho známých, živých přísloví, v nichž se člověk k vodě vztahuje, odkazuje a na příkladu vody vyjadřuje srovnáním nějakou myšlenku. V rámci Evropy, jejího historického a sociálního kontextu víme, že bez vody není život, pro vodu se chodí se džbánem s dosud neutrženým uchem a při nabírání je zapotřebí pamatovat na břeh, jenž může být tichou vodou podemletý. Nejen hematolog ví, že krev není voda, a opakovaná koupel ve stejné řece je nepravděpodobná. Po koupeli se cítíme většinou jako ryba ve vodě, což je voda na mlýn osobních výkonů, vyvarujeme se tak bouře ve sklenici vody při kontrolní poradě a po poradě už budeme za vodou.

Život s vodou je krásný, když cítíme její čistotu, průzračnost a energii. Jeden z mnoha norských bezejmenných vodopádů v ledovcovém údolí nad jezerem Eidsdalsvatnet. (FOTO P. MUDRA)

Krajiny bez vody jsou rovněž krásné, ale je to anorganická, a někdy až hrozivá krása scenerie, ve které téměř schází prostor pro rostliny, zvířata, a tím i lidi. Sahara, Západní poušť, Egypt. (FOTO V. CÍLEK)

I obraz dnešní krajiny a jejího osídlení se vyvíjel v závislosti na rozložení vodstva. V blízkosti vodních toků vznikala města, vodní tok byl důležitou dopravní tepnou a transport po vodě v době neprostupných hvozdů byl často jediným efektivním způsobem dopravy zboží. Zeměpisné názvy jako Dobrá Voda, Odolena Voda, Potůčky, Slatě, města či vesnice nad Labem, Moravou, Vltavou či Budišovkou a mnoho Brodů stvrzují důležitost vody co kritéria pro osídlení dané lokality.

Voda hraje klíčovou roli ve filozofii celých historických etap a historii přírodních věd. Názor, že voda je povahy elementární, se traduje od nejstarších kultur a je podložen pozorováními provedenými alchymisty v Egyptě a arabském světě. Staří egyptští alchymisté se zabývali zahříváním nejrůznějších látek a sledovali, jaké produkty se při postupně vzrůstajícím žáru uvolňují. Prvním z produktů zahřívání, který se uvolňoval z většiny látek, třeba i látek zdánlivě suchých, byla voda. Proto vodu pokládali za jeden z elementů, společný všem ostatním látkám, který při zahřívání a rozkladu uniká. Teprve poté se objevují další frakce a nakonec zbyde popel, který se dále nemění.

Teorie egyptských alchymistů rozpracoval Aristoteles, v jehož teorii čtyř elementů světa zaujala voda vedle ohně, země a povětří výsadní postavení živlu, v té době v pozici prvku. Jako obecné vlastnosti elementu jí byly připsány vlhkost a chlad. I další teorie vycházející z aristotelské tradice pracovaly s představou látky, podmiňující obecně vlastnosti jako tekutost a těkavost. Příkladem je teorie rtuti a síry, ve které termínem rtuť rozuměli alchymisté obecnou látku, nikoli dnešní element Hg, či sloučeninu vody jako princip udílející vlastnosti kapalné vody všem známým látkám.

Brilantní experimentální důkaz, že voda musí být elementární podstatou dokonce i živých organismů, podal Belgičan van Helmont na začátku 17. století ve slavném experimentu s vrbou, kdy pěstoval vrbu ze sazenice ve velkém květináči. Po dobu pokusu proutek zaléval čistou vodou. Na začátku pokusu zvážil sazenici a zeminu, po uplynutí pěti let opět zvážil zeminu, vzrostlou již vrbu a připočetl váhy listí opadaného na podzim. Přírůstek váhy stromu dle tohoto badatele vznikl právě z vody, proto voda musela být důležitým elementem i pro živé organismy. Třebaže dnes výsledky uvedeného experimentu interpretujeme jinak, se znalostí příspěvku atmosféry k váhovému přírůstku stromu, zůstává idea a pečlivé provedení celého experimentu velkým vzorem.

Voda si svou pověst elementu udržela až do let 1780–1785. Tehdy Henry Cavendish, Antoin-Laurent de Lavoisier, James Watt a další ve svých pracích prokázali, že ji lze připravit hořením jistého plynu, vznikajícího například při působení minerálních kyselin na neušlechtilé kovy. Plyn byl proto nazván vodíkem a voda, jako produkt

jeho spalování, dále nemohla být pokládána za element. Lavoisier rovněž zjistil, že převádění vodní páry nad rozžhaveným železem vede rovněž ke vzniku vodíku, a tím prokázal, že vodu jako sloučeninu je možno rozložit na látky ještě jednodušší. Protože dalším produktem této rozkladné reakce je oxid železa, známý jako rez, bylo zjevné, že druhou složkou vody jakožto látky právě prohlášené za sloučeninu musí být kyslík.

Přesné složení vody neboli kvantitativní poměr, ve kterém jsou vodík a kyslík sloučeny ve vodě, zůstávaly delší dobou předmětem vědeckých dohadů a dalšího bádání, neboť jejich exaktní stanovení a interpretace experimentů narážely na obtíže. Teprve po značném úsilí se podařilo opustit Daltonův vzorec HO ve prospěch správného složení. Jak dnes ví každý školák, molekula vody se skládá ze dvou atomů vodíku, vázaných na atom kyslíku, a zapisujeme ji sumárně jako H_2O. Dnes můžeme školákům demonstrovat názorně platnost vzorce H_2O tak, že k největší explozi dochází ve směsi dvou dílů plynného vodíku a jednoho dílu plynného kyslíku, a tedy uvedená směs má právě složení vyhovující vzorci. Pokud směs obsahuje více vodíku, nebo více kyslíku, je exploze menší, neboť ve směsi zbývá nezreagován ten z plynů, který byl v nadbytku. Stejný poznatek získáváme i z pozorování elektrolytického rozkladu vody, při kterém se naopak uvolňují dva objemy vodíku na objem kyslíku. Tento nesmírně průkazný experiment z roku 1789 Johana Rudolpha Deimana a Paets van Troostwijka je ovšem nadmíru nudný. Bublinky vodíku a kyslíku pomalu vystupují od elektrod k hladině a celý proces a do konce vydrží vnímat jen nejoddanější oblíbenci vyučujícího profesora.

Vodní pára: osamělé molekuly vody

Vodní pára je formou existence H_2O v podobě plynné. Molekuly vody jsou ve vodní páře ve srovnání s kapalnou vodou vzájemně v poměrně značných vzdálenostech a pohybují se rovněž translačně (posuvně) zřetelně rychleji nežli v kapalině. Číselné hodnoty těchto parametrů závisí na tlaku a teplotě páry. Protože k sousedním molekulám má konkrétní molekula H_2O v páře daleko, a navíc je rychle míjí, je jimi jen málo ovlivňována, a existuje „sama za sebe“. Tento stav se odráží ve spektrálním chování vodní páry. Významné spektrální projevy, jako je absorpce energie či výskyt spektrálních pásů, se nacházejí hlavně v oblasti infračerveného záření (IR). Energie IR záření je právě dostačující pro rozpohybování atomů vodíku vzhledem ke kyslíku tak, jako by byly připevněny na pružinách a na nich vibrovaly. Po záchytu IR záření se molekula vody rozvibruje a po určitém čase se náhodnými srážkami s ostatními molekulami páry a dalšími procesy vibrační pohyb vrací znovu k rovnovážnému stavu před záchytem IR. Energie IR záření se tímto procesem přeměnila na energii tepelnou, teplota páry vzrůstá. Energie jiných druhů záření, např. ultrafialové (UV) záření, se velmi odlišuje od energie nutné pro dosažení vibrací atomů v molekule vody, proto je vodní pára nepohlcuje a parou proto volně prochází.

Spektrální chování molekul vody hraje klíčovou roli v procesech udržování stabilní teploty na povrchu planety Země. Uvedená úloha termoregulátoru je podmíněna vedle spektrálních vlastností i hojným výskytem vodní páry v atmosféře. Protože pára je zcela propustná pro viditelné a ultrafialové záření, které na Zemi dopadá jako jedna ze složek elektromagnetického záření vydávaného Sluncem, nebrání průniku těchto typů záření k povrchu planety. Po dopadu na povrch Země se energie světelného záření mění na energii tepelnou, povrch planety se ohřívá. Tepelná energie se však předává a vyzařuje hlavně v blízké infračervené oblasti spektra. V této spektrální oblasti je vodní pára jen málo propustná, a proto zabraňuje nadměrnému vyzařování tepla z povrchu planety nazpět do vesmíru. Pára tedy funguje jako mimořádně účinný skleníkový plyn.

Všimněte si, jak odlišně vypadá tok řeky či potoka a jejich nivního pásu, pokud tečou přes velké kameny, které tříští energii toku a rozvádí ji do stran. Příklady z Vydry, dolní Sázavy či Klabavy nad zámečkem Tři Trubky nejsou tak dramatické jako u norské ledovcové řeky Valldøly, ale jedno mají společné – a tím je buď neexistující, či fragmentárně vyvinutá niva proměněná v protékané balvaniště. (FOTO P. MUDRA)

Příspěvek vodní páry ke skleníkovému efektu planety (vyjádřený například jako procento z celkové pohlcené energie v atmosféře) je veliký, činí až 70 procent, určitě silně převažuje nad příspěvkem třeba oxidu uhličitého, tolik diskutovaného v kontextu globálního oteplování. Množství vodní páry v atmosféře, její rozložení vzhledem k povrchu planety, a stupeň kondenzace na vodní kapky mraků představují účinné, vzájemně provázané mechanismy pro ohřev či chlazení atmosféry. Zpětné vazby mezi množstvím vody v atmosféře jsou zřetelně komplikované, neboť kapky vody přítomné jako oblaka v atmosféře naopak fungují jako účinná zrcadla. Jeden závažný rozdíl tady však je – průměrná molekula vodní páry vydrží v atmosféře asi deset dní, ale molekula oxidu uhličitého déle než století. Nebezpečí oxidu uhličitého není jenom v tom, že prostřednictvím skleníkového jevu zvyšuje povrchovou teplotu planety, ale hlavně v tom, že za vyšší teploty se odpaří víc vody a vodní pára oteplování dál zesílí.

S jistým sarkasmem lze tvrdit, že za antropogenní příspěvky ke globálnímu oteplování může vodní pára. Její využití v parních strojích jako pracovní látky bezprostředně odstartovalo průmyslovou revoluci. Právě výroba páry, nejprve za normálního tlaku, posléze vysokotlaké, pro pohon parních strojů, založená na rozsáhlém spalování uhlí, vedla k uvolňování zvýšeného množství oxidu uhličitého do atmosféry, a tím ovlivnění tepelné rovnováhy planety. Teoretické pochopení principů, na kterých pracuje parní stroj, a zákonitostí přeměny tepelné energie na mechanickou práci vedlo k rozsáhlému rozvoji termodynamiky jako samostatného fyzikálně-chemického oboru. Rovněž konstrukční vývoj parního stroje, poznatky spojené s výrobou jednotlivých součástí a konstrukce bezpočtu technických výrobků parním strojem poháněných předznamenávaly pozdější rozvoj techniky založené na spalovacích motorech. Jedno okřídlené rčení z oboru termodynamiky tvrdí, že věda vděčí parnímu stroji za více, nežli vděčí parní stroj vědě (Lawrence Joseph Henderson, 1917).

Prší

Nostalgická jízda parní lokálkou, vyfukující pod kotlem oblaka páry za slunečného dne pod modrou oblohou s několika bílými mraky odkazuje k otázkám fázových přechodů vody mezi plynem (párou) a kapalinou (vodou). Vypařování kapalné vody při bodu varu vody je doprovázeno spotřebou poměrně značného tepla, příhodně označovaného jako

výparné teplo při bodu varu, které obnáší cca 2200 J/g^{-1}. V lokomotivě se musí pořádně přikládat. Toto teplo je zapotřebí pro rozrušení interakcí mezi molekulami H_2O v kapalině a uvedením uvolněných molekul do stavu plynného.

Voda se odpařuje nejen při teplotě varu, ale i za teplot nižších. Výparné teplo vody při nižších teplotách nežli při teplotě varu je také veliké. Vypařování vody vede v přírodě k účinnému ochlazení prostředí, jak známe z vlastní zkušenosti přírody osvěžené deštěm. Efekt se projevuje zvláště zřetelně všude tam, kde dochází k odpařování vody ve velkém rozsahu, kolem rybníků, řek a vodních ploch obecně. Velmi velkou výparnou plochu mají rovněž listy stromů, zatímco u jehličnatých stromů je chladicí efekt mnohem menší.

Fázový přechod od páry k prvním kapkám kapalné vody je proces mimořádného významu, neboť zakládá příčinu deště. Aby k němu mohlo vůbec dojít, musí být dosaženo jistého minimálního hraničního obsahu vodní páry v atmosféře, závislého na teplotě a tlaku. Pokud je atmosféra dostatečně čistá, prostá zvláště nejmenších částeček pevných látek, může růst množství vodní páry v atmosféře i daleko nad zmiňovanou hranici, aniž by došlo k tvorbě kapek vody a dešti. Důvodem je vznik tzv. přesycené vodní páry. Pro vznik deště musí být v atmosféře přítomna i kondenzační jádra tzv. atmosférického aerosolu, zahrnující nejčastěji zemský prach, krystaly solí vzniklé vyschnutím kapek mořské vody, lesní terpeny či prach antropogenního původu. Teprve na těchto částicích dochází ke kondenzaci vodní páry za vzniku kapek, které mohou dále růst a po dosažení potřebné velikosti vypadnout v podobě dešťové srážky na zem.

Snem celých generací bylo ovládání deště dle potřeby člověka. Umělé dosažení hranice nasycené vodní páry ve velkých objemech atmosféry zatím není technicky možné. Snazší poručení dešti spočívá v cíleném vnesení kondenzačních jader do atmosféry. Jako účinná látka, schopná podnítit kondenzaci vodní páry do primárních kapek, se osvědčil jodid stříbrný. Po rozprášení této látky z letadla do atmosféry za podmínek dosažení nasycené páry skutečně dochází k vypadnutí dešťové srážky v místě a čase dle přání člověka. Vzhledem k tomu, že stříbro je drahý, těžký a zřetelně toxický kov, se však uvedený postup aplikuje jen zřídka a další, výhodnější látky pro tvorbu kondenzačních jader čekají na své objevení.

Kapalná voda a její struktura

Kapalná voda je svými fyzikálními a chemickými projevy bezkonkurenčně nejsložitější ze všech jednoduchých látek. Mimořádná složitost vlastností vody je podmíněna chemickou stavbou molekuly H_2O a strukturou, uspořádáním v kondenzovaných fázích (kapalné vodě a ledu).

Vazba atomů vodíku na atom kyslíku je v molekule vody zprostředkována vazebnými elektrony, které se posunují ve prospěch elektronegativnějšího atomu. Elektrogenativnějším partnerem tvořícím vazbu je atom kyslíku, který vykazuje druhou nejvyšší elektronegativitu ze všech prvků periodického systému. Vazbu H–O označujeme jako polární, na atomu kyslíku nastává přebytek záporného náboje, na atomu vodíku pak nedostatek záporného náboje, a tedy přebytek náboje kladného. Molekula vody není lineární (atomy HOH neleží v přímce), nýbrž je lomená. Úhel H–O–H činí přibližně 104 °. Geometrii molekuly vody můžeme dobře popsat pomocí čtyřstěnu neboli tetraedru se čtyřmi trojúhelníkovými stěnami a čtyřmi vrcholy, v jehož tělesném středu je umístěn atom kyslíku a dva atomy vodíku leží ve dvou libovolných vrcholech tetraedru. Dva zbývající vrcholy tetraedru obsazuje elektronová hustota (elektronové páry) z atomů kyslíku. Výsledné uspořádání molekuly H_2O je tedy zřetelně souměrné.

Co dokáže strom

Strom s průměrem koruny pět metrů má plochu asi 20 m². V jasném letním dni na tuto plochu dopadne nejméně 120 kWh sluneční energie. Jenom jedno procento se spotřebuje na fotosyntézu, deset procent je odraženo jako světelná energie, 5–10 % se vyzáří v podobě tepla a přibližně stejné množství zahřeje půdu. Největší část dopadající energie se spotřebuje evapotranspirací, tedy výparem ze samotné rostliny. Má-li strom dost vody, odpaří za den asi 100 litrů vody a na to se spotřebuje asi 70 kWh energie. Pokud toto množství přepočítáme na deset hodin intenzivního slunečního svitu, tak chladicí výkon běžného, spíš menšího stromu je 7 kWh, zatímco vaše lednička má kolem 0,2 kWh a skutečně výkonná klimatizace asi 2 kWh. Jeden strom tedy chladí v měřítku tří luxusních klimatizací.

Odpařená vodní pára se časem v nějakém chladnějším prostředí – třeba brzy ráno – opět změní na vodu, v tomto případě na rosu, a tím vyzáří teplo. Přítomnost vody a stromu ve dne prostředí ochlazovala, ale v noci jej otepluje. Strom navíc kořeny přijímá „špinavou" vodu, ale odpařuje čistou vodní páru. Když sedíme v letní restauraci pod slunečníkem, který teplo pouze odráží, tak teplota může být až o 6–8 °C vyšší, než když sedíme pod kaštanem, který zároveň odráží i chladí. V zimě strom nechladí, protože mu opadaly listy, ale tím, jak je tmavý, prostředí mírně otepluje.

VÁCLAV CÍLEK PODLE JANA POKORNÉHO (*VODA VE VESMÍRU, NA ZEMI, V ŽIVOTĚ A V KULTUŘE*, ED. J. KLECZEK, RADIOSERVIS: PRAHA 2011, S. 430).

Vltava u Psích hor. Hrany vltavského kaňonu tvoří proschlé skalnatiny porostlé zakrslými duby nebo borovicemi. V minulosti zde bývalo méně stromů, ale více vřesu. (FOTO V. CÍLEK)

V souboru mnoha molekul vody, které se nacházejí vzájemně v blízkosti, se projevují vedle vazeb atomu kyslíku k jeho vlastním atomům vodíku i další vazebné interakce, a totiž vzájemné interakce mezi molekulami. Tyto interakce se uskutečňují elektrostatickou přitažlivostí mezi atomy vodíku s přebytkem kladného náboje z jedné molekuly vody k atomu kyslíku s přebytkem záporného náboje sousední molekuly vody. Tato interakce se označuje jako interakce vodíkovým můstkem a patří vedle základních vazebných interakcí iontových (typicky v solích) a kovalentních (typicky v organických sloučeninách) k nejdůležitějším vazebným způsobům v chemii.

Vazba vodíkovým můstkem je přibližně desetkrát slabší nežli vazba kovalentní, nicméně v souboru mnoha molekul hraje významnou roli. Protože je vazba vodíkovým můstkem slabší nežli chemicky řádné kovalentní spojení H–O, postačuje k jejímu přerušení již tepelný pohyb molekul vody za laboratorních podmínek. Kapalná voda v hrníčku se tedy chová jako vysoce dynamický systém, ve kterém se neustále přerušují a znovu vznikají vzájemné vazby mezi molekulami vody. Vznik a chování vodíkových vazeb v kapalné vodě jsou příčinou mnoha mimořádných fyzikálních vlastností vody.

Mimořádná vlastnost vody: bod varu

První, zcela mimořádnou vlastností vody je její neobvykle vysoký bod varu, který se z historických důvodů stal základem Celsiovy teplotní stupnice a byla mu přiřazena za normálního tlaku hodnota 100 °C v dělení stupnice dle Anderse Celsia. Definice 100 °C proběhla později v úpravě Carla Linného, abychom byli úplně přesní. Celsiova stupnice byla totiž původně obrácená, takže led tuhnul při 100 °C a voda se vařila při 0 °C. Takováto stupnice by působila potíže například při vyjadřování tání železa a obecně vyšších teplot.

Pro naprostou většinu chemických látek platí, že teplota varu látky roste s atomovou či molekulovou vahou. Čím lehčí je molekula látky, tím nižší teplotu varu látka má. Příklad pro toto tvrzení nalezneme na každé benzinové pumpě. Palivo pro motory CNG (motory na stlačený přírodní plyn), jehož základem je zkapalněný metan (C1 uhlovodík), se přepouští speciálním ventilem z tlakového tanku, neboť bod varu této látky leží při –160 °C za normálního tlaku, při pokojových teplotách se CNG bouřlivě odpařuje. Topnou směs na grilování, obsahující propan/butan (C3, C4 uhlovodíky), prodávají v nízkotlakých lahvích, neboť teplota varu směsi leží v oblasti 0 až –40 °C/1 atm. Benzín, jehož základem je frakce oktanová (C8 uhlovodík, s nejméně dvakrát vyšší molekulovou hmotností než u topné směsi), se do nádrže automobilu čepuje u stojanu jako kapalina, jež začíná vřít od cca 80 °C. Ve světle uvedeného příkladu by měla molekula vody, jejíž molekulová váha je blízká C1 uhlovodíku, vykazovat teplotu varu velmi hluboko pod 0 °C. Důvodem, proč pozorujeme 100 °C/1 atm, je právě existence vazby vodíkovým můstkem. Na přerušení těchto vazeb v kapalné vodě je nutno dodat extra velkou porci energie, proto má voda vysoký bod varu a vysoké výparné teplo.

Jak tepelná kapacita vody pomohla vytvořit „globální tepelnou banku“

Systém vodíkových vazeb se projevuje na hodnotách fyzikálních veličin kapalné vody i hluboko pod bodem varu a podmiňuje tepelnou kapacity kapalné vody. Touto veličinou označujeme množství tepla (např. v joulech, J), které je nutno dodat, aby se látka o hmotnosti 1 kg ohřála o 1 °C či o 1 K. Hodnota pro vodu činí přibližně 4180 $J/kg^{-1}/K^{-1}$.

Tato hodnota je nejvyšší ze všech známých přírodních látek, běžnou velikost pro kovy překračuje cca 10krát! Přivedením tepelné energie do látky se zvyšuje tepelný pohyb atomů či molekul, vzrůstá rychlost pohybu částic a počet nárazů částic, což se následně projevuje vzrůstem teploty vzorku. V případě vody je nutno pro volnější pohyb molekul vody v prostředí ovšem přerušit systém vodíkových vazeb mezi molekulami. Ohřát vodu na sprchování je energeticky velmi náročné. Srovnáme-li výše uvedenou hodnotu měrné tepelné kapacity kapalné vody s tímtéž parametrem pro vodní páru, který činí při 100 °C 2080 $J/kg^{-1}/K^{-1}$, pozorujeme zřetelný pokles. To je dle očekávání způsobeno rozšířením systému vodíkových vazeb (zvětšením počtu vodíkových vazeb) v kapalné vodě oproti vodní páře.

Kapalná voda je tedy velmi dobrým prostředím pro uložení velkých množství tepelné energie. Uvedené tvrzení má dalekosáhlý význam pro chování celé planety Země. Díky velkým objemům kapalné vody v mořích je možno uskladnit energii dopadajícího slunečního záření, a tím udržovat tepelnou rovnováhu celého systému v limitech přijatelných pro zachování života. Gigantické objemy mořské vody představují tepelnou nárazníkovou zónu, která hraje důležitou roli ve vývoji tepelné bilance planety, a tudíž má úzký vztah k otázce globálního oteplování.

Hovoří-li naměřené výsledky o globálním nárůstu teploty mořské vody o velikosti pouhého jednoho stupně Celsia, nezdá se to jako alarmující fakt. Ve světle číselné velikosti měrné tepelné kapacity vody se však ukazuje, jak mimořádně veliké dávky tepelné energie byly v moři pohlceny. V menším měřítku tepelná kapacita vody vede k ustavení přímořského podnebí, když ve dne, kdy slunce stojí vysoko a silně pálí, vodní plocha teplo přijímá a prostředí ochlazuje. V noci naopak prostor nad pevninou rychleji chladne a teplo uvolňované z vody rychlost chladnutí snižuje.

Díky tomu, že voda jako kapalina je snadno pohyblivá, hodí se jako efektivní transportní medium pro přenos velkého množství tepelné energie. Pohyb může být samovolný či vynucený hnací soustavou. V měřítcích planety se tepelná energie přesouvá v mořích na dlouhé vzdálenosti vázána na mořské proudy; vliv Golfského proudu na pobřeží Anglie a teplotu Evropy je dobře prozkoumán. V důvěrnějším domácím měřítku termotransportních vlastností vody využíváme v topných soustavách ústředního topení.

Grafik Antonín Majer (1882–1963) z grafické speciálky Maxe Švabinského byl svého času označován jako lyrik české krajiny, ale dnes je téměř zapomenut. Na barevné akvatintě (snad kolem roku 1930) vidíme tehdy běžný obrázek říční krajiny, kde proplouvají vory, chlapci chytají ryby, ženy máchají prádlo. Všimněte si, že to je krajina plná pracujících lidí a domácích zvířat.

Povrchové napětí: proč voda může téct nahoru a co to znamená pro strom či vodoměrku

Každá kapalná látka je charakterizována hodnotou povrchového napětí. Tato hodnota ukazuje, jak stabilní je fázové rozhraní mezi danou kapalinou a vzduchem, jak velkou tendenci ke tvorbě kapek daná kapalina má apod. Pro vodu je hodnota této konstanty při 20 °C ve srovnání s jinými kapalnými látkami poměrně vysoká, činí 71,96×

Antonín Majer nakreslil také zimní řeku, která je opět středem většiny místních aktivit. Děti si hrají, hospodyňka nabírá vodu nejspíš pro dobytek, v dálce jdou ženy s nůšemi na klestí, jen ty husy se do chladného říčního proudu neopovažují. Cítíme zde něco z života, jaký již nikdy nebude, a možná si vzpomeneme na Josefa Ladu.

10^{-3} N/m^{-1} a v této velikosti se rovněž projevují příspěvky vodíkových můstků vzájemně poutajících molekuly vody k sobě. Díky existenci povrchového napětí má každá kapalina schopnost zaujímat tvar kapek, tedy koulí jakožto útvarů s maximálním objemem při minimálním povrchu. Povrchového napětí vody využívá vodoměrka, která se klouzavě pohybuje po hladině vody.

Hladina vody se chová v důsledku povrchového napětí jako pružná blána, jež se pod nohama hmyzu dokonce viditelně prohýbá, zakřivuje. Pokud nedojde k mechanickému průniku povrchovou vrstvou vody čili k proražení této vrstvy vody, je vodoměrka ušetřena plaveckých výkonů. Podobně jako vodoměrku je možno na neporušenou hladinu vody umístit i lehkou, například hliníkovou minci. Za podmínky, že nedojde k porušení povrchové vrstvy, bude mince na hladině plavat, třebaže hustota hliníku je vyšší než hustota vody.

V důsledku povrchového napětí dochází k velmi důležitému jevu zakřivování hladiny kapaliny u stěn nádoby, v níž se kapalina nachází, a jevu kapilární elevace. Hladina vody například u stěny sklenice nezůstává vodorovná, nýbrž se zakřivuje směrem vzhůru po stěně sklenice, dochází ke smáčení stěny. Velikost zakřivení povrchu (tedy rozsah smáčení stěny) je podmíněna materiálem, jenž tvoří povrch stěny nádoby. Čím blíže jsou stěny omezující hladinu k sobě, tím snadněji efekt pozorujeme. Běžnou mezní situací je stav, kdy se voda nachází ve velmi tenké trubici, tzv. kapiláře. V kapiláře dochází v důsledku povrchového napětí kapaliny k jevu kapilární elevace. Voda v kapiláře samovolně vystoupá proti působení gravitačního pole do výšky nepřímo úměrné poloměru kapiláry. Zcela paradoxně v tenké kapiláře může voda sama od sebe téci vzhůru. Projev kapilární elevace je v případě vody zvláště veliký, v důsledku vysoké hodnoty povrchového napětí.

Efektu kapilární elevace využívají rostliny při čerpání půdního roztoku z kořenů do listů proti směru gravitační síly. Anatomickými úpravami vodivého pletiva, ve kterém jsou hlavní vodivé cévy obklopeny dalšími mikrokapilárami, rostliny dosáhly schopnosti nasávat roztok s obsahem živin do výšek desítek metrů. Povrch cév vodivého pletiva je vystavěn z celulózy, což je organická látka povahy polysacharidu, nesoucí polární hydrofilní skupiny –OH. Na základě chemické podobnosti se mezi skupinami –OH celulózy a molekulami vody vytváří vodíkové vazby, povrch celulózy k sobě váže a je vodou dokonale smáčen. Tímto způsobem je nasávání vody cévami dále usnadněno.

Pokud kořeny rostlin dosahují k hladině spodní vody v půdě, je transport vody s živinami zajištěn. Ani sebedokonalejší vodivé pletivo rostlině však nepomůže, pokud kořeny ke zdroji vody nedosahují. V půdě ovšem

nacházíme systém transportu vody proti směru gravitačního pole, který umožňuje překonat tento výškový rozdíl a zajišťuje transport vody při nízkých stavech spodní vody vzhůru půdním profilem ke kořenům rostlin. Tento transportní systém je založen na tenkých prostorech mikroskopických rozměrů mezi zrny půdy. Půdní póry nebo půdní kapiláry fungují na stejném principu jako vodivé pletivo rostliny. Voda jimi může vzlínat dle typu půdy do výšky maximálně 2–3 metry. I v době sucha, kdy hladina spodní vody klesá mimo oblast půdního profilu, do které zasahují kořeny, mají kořeny rostlin šanci na zdroj vody dosáhnout.

Uvedený princip nasávání vody do porézní struktury obsahující kapiláry či úzké štěrbiny vhodné velikosti se hojně užívá i v technologických aplikacích. Významnými materiály, které mají pro vodu vodivý charakter a jsou schopny ji kapilárními efekty nasávat, jsou textilie. První textilie, vyráběné z vláken celulózy (bavlna, lněné plátno), odvozují schopnost kapilárního transportu vody od výchozího přírodního materiálu. Ne nadarmo se říká „být jako v bavlnce“. V případě syntetických materiálů se identických vlastností podařilo dosáhnout až v novější době u vláken, používaných pro výrobu tzv. funkčního prádla.

S výhodou lze užívat i efektu přesně opačného. Pokud modifikujeme povrch textilie tak, aby se vodou nesmáčel, dochází v důsledku povrchového napětí kapalné vody k sbalování kapek na povrchu textilie a okapávání, aniž by voda pronikla do textilie nebo skrz ni. Materiál zůstává ovšem propustný pro vodní páru (vodu v podobě plynu), které se povrchové napětí kapaliny pochopitelně netýká. Získáváme tak voděodolné, avšak prodyšné materiály vhodné pro outdoorové aplikace.

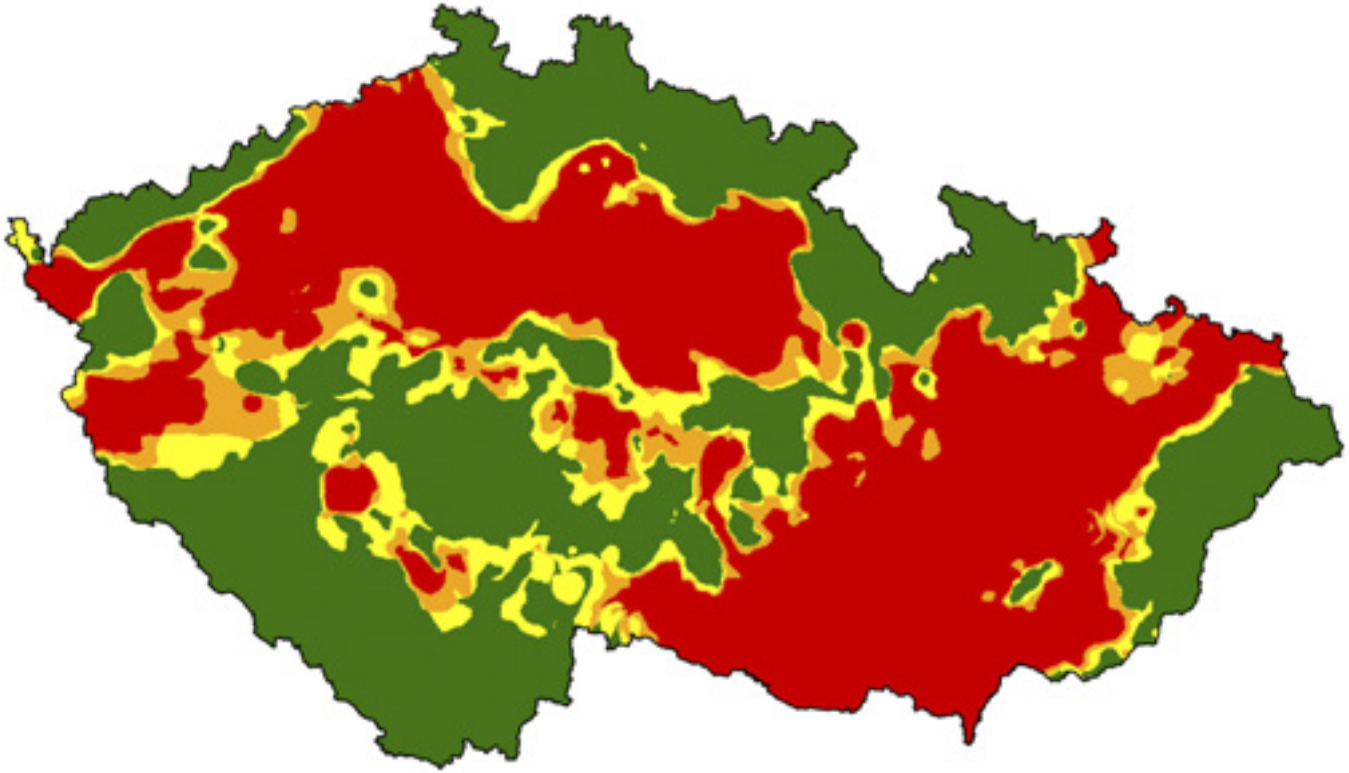
Nasávání vody do úzkých prostor kapilárních rozměrů má i své stinné stránky. Mnoho hornin a stavebních materiálů, jako jsou pískovce, beton či cihly, je v mikroměřítku vystavěno ze zrn, mezi nimiž se nacházejí póry. Pokud je taková hmota ve styku s vlhkým podložím, dochází k samovolnému nasávání vody do materiálu a vlhnutí stavby.

Díky povrchovému napětí vody a kvalitě podložního materiálu se mohou tvořit kapky různých velikostí. Lavička u Technické knihovny v Dejvicích. (FOTO V. CÍLEK)

Hustota vody a její dalekosáhlé důsledky

Podivná závislost hustoty kapalné vody na teplotě a její porovnání s hustotou ledu je asi nejviditelnějším projevem zvláštních vlastností vody. Pro naprostou většinu známých látek, avšak nikoli pro všechny, totiž hustota kapaliny jednoduše roste s klesající teplotou až k bodu tání látky. Popsané chování vyplývá ze skutečnosti, že pohyb molekul ustává s klesající teplotou. Molekuly se méně pohybují, posouvají a vrtí, a mohou se tedy s poklesem teploty těsněji přimknout k sobě. Tím roste hustota kapalné fáze. Voda se uvedeným způsobem chová také, avšak pouze do teploty přibližně 4 °C za normálního tlaku. Při této teplotě hustota vody dosahuje maximální velikosti 999 kg/m^{-3}, poté hustota kapalné vody klesá až k bodu tání. Přesné pochopení důvodů, proč se kapalná voda blízko bodu tání chová tímto neobvyklým způsobem, je dosud předmětem výzkumů, najisto však souvisí se systémem vodíkových vazeb, které se uplatňují mezi molekulami vody, a závislostí systému vodíkových vazeb na teplotě. Přibližné vysvětlení vychází z představ o chování vody v mikroskopickém měřítku.

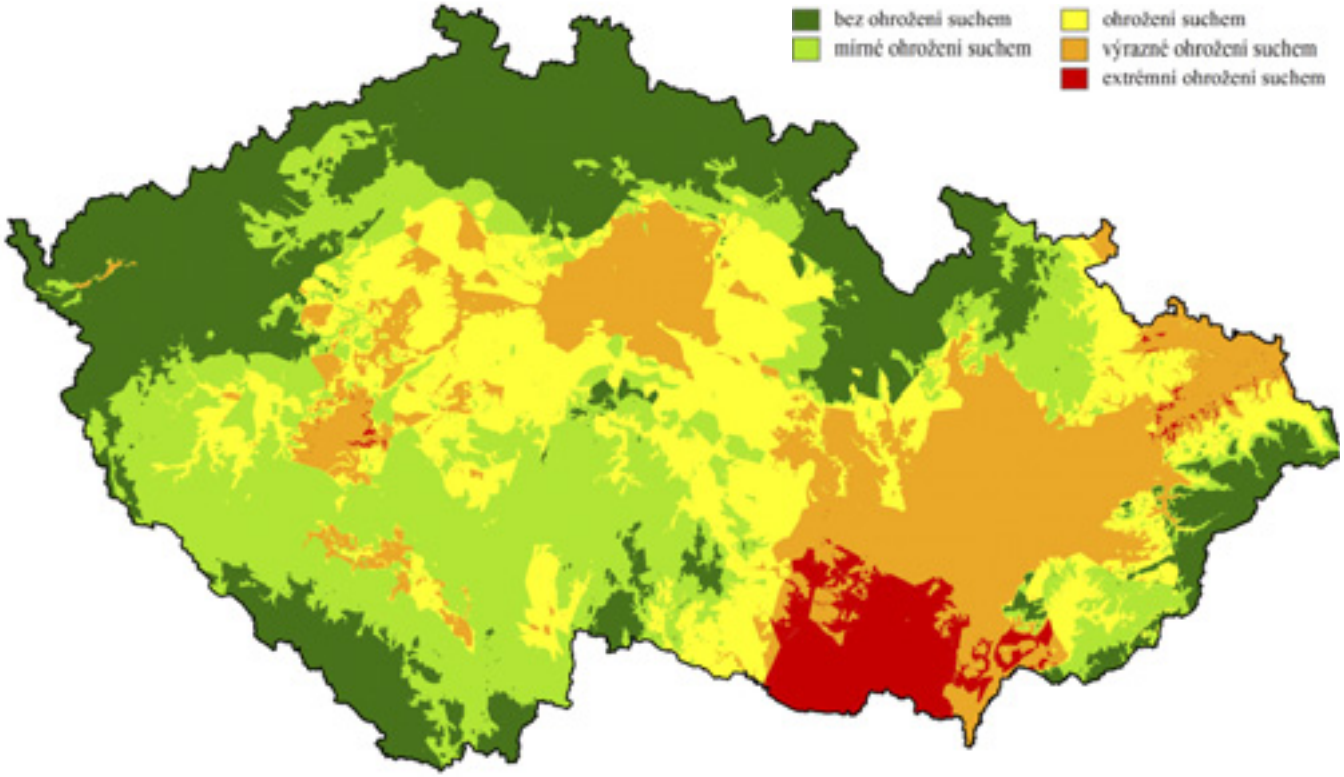
Ve vodě o teplotě zřetelně vyšší než 4 °C se uplatňují vodíkové vazby mezi molekulami a dochází k uspořádání molekul vody v určitých oblastech. Celý systém vodíkových vazeb se vlivem teplotních pohybů molekul snadno poruší, vazba vodíkovým můstkem je jen slabá, rychle zaniká i vzniká. Při takto dynamickém chování se některé molekuly vody nezapojují do pravidelného systému vodíkových vazeb, a náhodně vyplňují volné prostory mezi plně zapojenými molekulami. Prostor je více vyplněn, hustota kapaliny takto postavené je vyšší. Při poklesu teploty



Mapa ohrožení suchem (2012–2014) byla vypracována jako rámcový podklad pro poskytování podpory pro obnovu poškozených porostů, ale dobře ukazuje sušší rizikové oblasti. Tou je nejenom jižní Morava, ale všimněte si suchého pásu (červeně je nejvyšší postižení, oranžově a žlutě prostřední a zeleně bez postižení), který může zasáhnout i významnou část Vysočiny, ostrůvky ve středních a jižních Čechách, a zejména nížiny podél Labe a Ohře (přetištěno s laskavým svolením autorů Víta Šrámka a Kateřiny Neudertové Hellebrandové, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Útvar ekologie lesa).

pod 4 °C klesá rozsah tepelného pohybu molekul a dosud nezapojené molekuly vody se počínají zabudovávat do systému vodíkových vazeb. Tím mizí dosud přítomné nepravidelnosti. Vytváří se pravidelná síť vodíkových vazeb, která následně přetrvá a přechází do struktury ledu. V pravidelně uspořádané struktuře ovšem chybí molekuly nezapojené do systému vodíkových vazeb. Prostor je tedy vyplněn méně a hustota kapaliny klesá s tím, jak při snižování teploty od 4 °C k 0 °C roste podíl uspořádaných oblastí v celém objemu kapaliny.

Anomální závislost hustoty vody na teplotě má dalekosáhlé důsledky. S nástupem podzimu dochází v přírodě k poklesu teploty, vodstvo se postupně ochlazuje. Padá listí, slunečního svitu ubývá a dny se krátí. Chladná voda od hladiny klesá ke dnu jezer a rybníků, neboť má vyšší hustotu než voda teplá, ležící ve větší hloubce. Kapalné těleso se tak postupně promíchává, jeho teplota klesá. Proces chladnutí postupně probíhá a u dna vody se shromažďuje voda o teplotě 4 °C, která má nejvyšší hustotu. Po prvních mrazících poklesne teplota vody na hladině pod 4 °C, avšak tato voda, která má nižší hustotu než voda u dna, zůstává plavat jako horní vrstva. Nemůže klesnout do hloubky a nahradit teplejší vodu o teplotě 4 °C s nejvyšší hustotou. Po příchodu mrazů dosáhne teplota povrchové vrstvy vody 0 °C, začne krystalovat led, vodní plocha zamrzá. K zamrznutí vody dochází od hladiny, takže pod vrstvou ledu zůstává kapalná voda o teplotě 4 °C, v níž živé organismy přežívají do jara. Pokud



Ještě podrobnější obrázek ukazuje mapa sucha z roku 2015. Můžeme ji číst jako zprávu o problematickém zásobování vodou z místních studní, o zemědělských potížích, ale i jako upozornění na oslabení smrčin v Brdech a v Jeseníkách (vytvořil stejný autorský kolektiv). Aktuální stav ohrožení suchem můžete sledovat na webových stránkách Ministerstva zemědělství ČR.

by anomálie hustoty vody neexistovala, voda v rybníku by se promíchávala až do dosažení 0 °C v celém objemu rybníka, následně by došlo k zamrznutí celého rybníku najednou, s fatálními důsledky pro vše živé ve vodě.

Barva vody

V nepříliš silných vrstvách se čistá voda jeví jako bezbarvá kapalina, teprve v tlustých vrstvách vnímáme slabě modrou barvu vody. Tento jev je podmíněn velmi slabým zachycováním červeného světla kolem vlnové délky 698 nm. Voda se poté jeví v barvě doplňkové, tedy světle modré. Barva vody je velmi silně ovlivněna rozpuštěnými i suspendovanými látkami, přítomnými mikroorganismy atd. Suspendované látky udělují vodě zákal a tmavé, hnědavé odstíny, jaké známe z běžných vodních toků, nádrží či rybníků v Čechách. Mořská voda či studená voda jezer, ve které není přítomna suspenze pevných látek a která je příliš studená nebo živinami chudá pro růst mikroorganismů, má krásnou jiskru a světle modrou barvu. V případě růstu fytoplanktonu získává voda barvu zelenou či žlutozelenou, podmíněnou přítomností chlorofylu a dalších barviv v buňce organismu. V tropických

Voda, která zřejmě ještě v třetihorách prosakovala z rudých, dnes již erozí odnesených železitých zvětralin, částečně rozpouštěla křemenná zrna ordovického křemence a ve volných prostorech usazovala železité hydroxidy. Plešivec u Rejkovic, údolí Litavky. (FOTO V. CÍLEK)

mořích, prohřátých mořských zálivech či lagunách lze zaznamenat i krvavě rudou barvu vody, to v případě rozmnožení řas nazývaných ruduchy, které využívají červené barvivo pro fotosyntézu. Podobně zabarvuje vodu do červena i krásnoočko *Euglena sanguinea*.

Voda jako rozpouštědlo a nosič látek

Jak bylo zmíněno výše, dochází v molekule vody z důvodu velkého rozdílu elektronegativit atomů O a H a tvaru molekuly ke zřetelné separaci nábojů v molekule. Protože má molekula oblast s převahou kladného a oblast s převahou záporného náboje, chová se jako elektrický dipól. Rozsah separace kladného a záporného náboje v molekule je vyjádřen dielektrickou konstantou. Dielektrická konstanta ε_r (neboli relativní permitivita) je v případě vody mimořádně vysoká, činí 80,18, a je dokonce nejvyšší mezi běžnými sloučeninami. Voda tedy patří mezi kapaliny extrémně polární, což se odráží v mimořádných rozpouštěcích schopnostech nezvykle velkého okruhu rozpouštěných látek.

Voda je především výborným rozpouštědlem pro látky iontové, jako jsou například soli. Rozpustnost solí ve vodě je podmíněna schopností molekul vody (jakožto rozpouštědla) vstupovat do interakce s ionty soli. Interakce se odehrává tak, že ke kationtům se molekuly vody orientují atomem kyslíku, který nese přebytek záporného náboje, k aniontům naopak atomy vodíku, jež nesou přebytek náboje kladného. Ionty soli se tak doslova obalí molekulami vody, tzv. hydratují, a vzniklý útvar pak připomíná svou hraniční vrstvou samotné čisté rozpouštědlo. Díky tomu se pak snadno do rozpouštědla vmísí a vstupuje do roztoku. V atomárním měřítku pak proces rozpouštění soli do vody vypadá vlastně tak, že rozpouštědlo doslova vytrhává ionty z krystalu, obaluje a transportuje je do prostředí. Uvedeným mechanismem se rozpouští velká většina anorganických látek, tedy hlavně solí, kyseliny či hydroxidy, popsaný děj probíhá i při rozpouštění soli kuchyňské v polévce či cukru v čaji.

Rozhodujícím kritériem, které určuje, zda bude konkrétní látka rozpustná ve vodě, je srovnání energie krystalové mřížky látky v pevné fázi a energetického zisku spojeného s přechodem látky do vodného roztoku (např. s hydratací iontů). Pokud energetický zisk spojený s přechodem iontů látky do vody převýší mřížkovou energii, látka bude ve vodě rozpustná.

Rozpustnost solí ve vodě se řídí přísnými fyzikálně-chemickými zákonitostmi a je již od nejstarších dob technologicky velmi významným fenoménem. Množství rozpuštěných solí určuje tzv. tvrdost vody. Velmi přibližně můžeme dělit vodu na měkkou či tvrdou, přesněji vyjádříme tvrdost ve stupních německých, francouzských či anglických, nebo raději jako obsah vápníku a hořčíku v mg na 1 litr vody. Vysoká tvrdost vody komplikuje technologické využití vody jako vody napájecí, chladicí, vadí i při praní prádla. Vápenaté a hořečnaté soli z tvrdé vody dávají vznik vodnímu kameni.

Vylučování solí z přírodní vody je známo odedávna. Na dovolené u moře se můžeme seznámit s jednoduchým způsobem získávání soli kuchyňské odpařováním mořské vody na slunci v mělkých pobřežních nádržích. Tato technika zůstala neměnná po staletí – pro to, aby v nádržce vykrystalovala sůl, musí být obsah soli ve vodě vyšší než jistá mezní koncentrace, roztok musí být nasycen. Sama mořská voda nasyceným roztokem není (s několika výjimkami), proto se mořská voda zprvu několik dnů zahušťuje na slunci, aniž by se vylučovala sůl. Z odpadních solanek, zbytků po krystalizaci soli kuchyňské, se v novějších dobách začaly vyrábět brom a jod.

Princip reverzní osmózy a jeho využití při odsolování

Proces separace vody od rozpuštěné látky nemusí být cílen pouze na přítomnou rozpuštěnou složku. S rostoucím nedostatkem vhodných zdrojů pitné vody nabývají na významu techniky, kdy je cílem separace právě voda. Celé oblasti v tropickém a subtropickém pásmu jsou dnes odkázány na výrobu pitné vody z vody mořské technikami odsolování, hlavně reverzní osmózou. Tyto techniky jsou v zásadě založeny na uvedení předčištěné mořské vody, zbavené mechanických nečistot, do kontaktu se speciální mikroporézní membránou za zvýšeného tlaku. Membrána propouští pouze malé molekuly vody, avšak větší útvary, jako hydratované ionty rozpuštěných solí, membránou neprocházejí. V prostoru za membránou se hromadí odsolená, sladká voda. V roztoku před membránou se hromadí soli. Třebaže jsou tyto techniky nákladné, jsou zvládnuty na průmyslové produkční škále (Izrael či Írán) a naznačují směr, kterým se bude ubírat vývoj při zajišťování pitné vody pro rostoucí populaci.

Trojný bod vody znamená, že na Zemi – či v tomto případě ve skandinávském ledovcovém údolí – existuje voda ve třech skupenstvích jako kapalina, pevná látka i plyn. Fázové přechody spotřebovávají či uvolňují energii, takže výsledkem je mnohem mírnější klima. Bez vody bychom mohli dopadnout jako na Sahaře s denními teplotami kolem 45 °C a nočními teplotami kolem 6 °C. Zmírňující teplotní chod měly ve středoevropské krajině mokřady, kterých jsme se lehkomyslně zbavili. (FOTO P. MUDRA)

„Molekulární košíky“ a další triky

Vodné roztoky solí se mohou pohybovat přírodním prostředím. Za pokojových podmínek využívají tento pohyb rostliny. Ke kořenovému vlášení přitéká z okolního půdního prostředí roztok živin. V geologických procesech se setkáváme s pohybem roztoků solí o vysokých teplotách a tlacích, kdy tato média vystupují z horkého nitra Země a ve vhodných puklinách se z nich po ochlazení usazují, vylučují a krystalují žíly minerálů. Takové žíly potom označujeme jako hydrotermální. I velmi málo rozpustné soli jsou schopny takového transportu.

Rozpouštění cukru do čaje je ukázkou jiného rozpouštěcího mechanismu, který se může ve vodě uplatnit. Řepný či hroznový cukr nemá iontovou povahu, nerozpadá se na elektricky nabité částice. Jeho molekula je však vytvořena tak, že na místech mířících do volného prostoru nese mnoho tzv. hydrofilních skupin, konkrétně skupin hydroxylových –OH. Jedná se o skupiny odvozené od molekuly vody, jež jsou stále vodě velmi podobné. Hydroxylové skupiny jsou schopny podobně jako voda vytvářet vodíkové můstky a zapojují se jimi mezi molekuly okolního rozpouštědla. Tím dochází k obalování molekuly cukru molekulami vody a přechodem celku z povrchu krystalu do rozpouštědla. Zamícháním lžičkou je proces rozpouštění urychlen a završen.