

# **AEROSOLY LETEM SVĚTEM**

**Vladimír Ždímal**

## **Osnova přednášky**

### **Co je to aerosol?**

Aerosol je suspenze tuhých a kapalných částic ve vzduchu. Aby se tyto částice udržely po rozumně dlouhou dobu ve vznosu, neměly by být větší než asi 100 mikrometrů. Praktický spodní limit velikosti aerosolových částic je asi 1 nanometr. To znamená, že nejmenší jsou jen o málo větší než běžné molekuly a ty největší mají průměr o trochu větší než lidský vlas.

### **Co všechno se vejde pod pojem aerosol?**

Některé z termínů, které se v literatuře používají k popisu různých aerosolových systémů: Mraky, oblaka, mžení, mrholení, mlha, opar, kouřmo, kouř, dým, smog, prach, prašný aerosol, sprej, bioaerosol.

### **Kolik aerosolů je ve vzduchu?**

Jeden krychlový metr směsi, které říkáme vzduch, váží asi 1,3 kilogramu. Když tento krychlový metr vzduchu prosajeme přes filtr a zvážíme, zjistíme, že zachycené aerosolové částice váží něco mezi 1-100 mikrogramů, zaujímají tedy jen asi jednu až sto miliardtin hmoty vzduchu. Vzhledem k takto nízké koncentraci a obtížemi spojenými s jejím stanovením musíme tedy mít skutečně vážný důvod, abychom se aerosoly zabývali.

### **Proč se tedy vlastně aerosoly zabýváme?**

#### **1. Mají vliv na koloběh vody v přírodě**

Aerosolové částice slouží jako kondenzační jádra, kolem kterých se vytvářejí dešťové kapky. Jsou tedy nutnou podmínkou koloběhu vody v přírodě. Bez nadsázky lze říci, že bez aerosolových částic si lze obtížně představit život na Zemi, alespoň v té podobě, ve které ho známe dnes. Existenci kondenzačních jader v dešťových kapkách prokázal již John Aitken koncem devatenáctého století pomocí svého kapesního počítače částic.

#### **2. Aerosoly ovlivňují globální změny klimatu**

Koncentrace aerosolových částic v atmosféře a jejich chemické složení mají významný vliv na celkovou odrazivost atmosféry a tedy na tepelnou bilanci Země. Ze zprávy mezinárodního panelu pro studium změn klimatu (IPCC), zveřejněné v roce 2007, zde vyjímáme dva hlavní závěry týkající aerosolů:

- Změny atmosférických koncentrací skleníkových plynů a aerosolů, změny slunečního záření a vlastností zemského povrchu mění energetickou bilanci klimatického systému Země.
- Aerosoly produkované lidskou činností (hlavně sírany, organický uhlík, saze, dusičnany a prach) dohromady vedou k ochlazení, k celkové změně toku záření o  $-0.5$  [ $-0.9$  až  $-0.1$ ]  $\text{W.m}^{-2}$  a k nepřímé změně odrazivosti mraků o  $-0.7$  [ $-1.8$  až  $-0.3$ ]  $\text{W.m}^{-2}$ .

### 3. Aerosoly a viditelnost, optické efekty.

Koncentrace aerosolových částic v atmosféře má rozhodující vliv na její optické vlastnosti, např. viditelnost. Kdyby v takzvaném čistém vzduchu nebyly žádné aerosolové částice, mohli bychom v optimálním případě pozorovat objekty ve vzdálenosti kolem 340 kilometrů. Při mírné koncentraci aerosolu kolem 20 mikrogramů v krychlovém metru vzduchu je viditelnost zhruba o řád menší, asi 43 kilometrů. Aerosoly způsobují také řadu barevných efektů v atmosféře, např. barevné západy slunce.

### 4. Aerosoly a zdraví.

Aerosoly mají velký vliv na lidské zdraví. Běžná koncentrace aerosolu v městském vzduchu je zhruba 104 částic v krychlovém centimetru vzduchu. Průměrný obyvatel ČR vdechne denně v čistém prostředí asi 109 aerosolových částic, asi polovina z nich se v jeho plicích usadí. O reakci organismu na usazené částice rozhoduje jak velikost a složení částic, tak místo dýchacího ústrojí, na kterém k usazení dojde.

Vlivem aerosolových částic na zdraví lidí se v posledním padesáti letech zabývala celá řada vědeckých studií. Uvedme si výsledky dvou z nich:

- Pope a spol. opublikovali v roce 2002 v časopise JAMA souhrnné výsledky studie, provedené v letech 1982-1998 na vzorku 1,2 milionu dospělých z celých USA. Došli k závěru, že: „Dlouhodobá expozice ovzduší znečištěnému jemnými částicemi ze spalování je důležitým rizikovým faktorem zvyšujícím úmrtnost na kardiopulmonární selhání a rakovinu plic“. Hlavním kvantitativním výsledkem jejich studie bylo, že: „Nárůst koncentrace jemných částic o každých 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  byl spojen s nárůstem úmrtnosti na kardiopulmonární onemocnění (o 6%) a na rakovinu plic (o 8%).“
- Vliv koncentrací aerosolových částic na vývoj plic u mladistvých se zabývala osm let trvající studie Gaudermanna a spol. Na studovaném vzorku 1759 dětí z 12 škol v Jižní Kalifornii došli k tomuto závěru: „Výsledky studie naznačují, že současné úrovně znečištění ovzduší mají chronický negativní vliv na vývoj plic dětí mezi 10-18 rokem, což u nich vede ke klinicky významnému oslabení dýchacích funkcí v dospělosti.“

### Trocha historie aerosolové vědy – kvíz pro pedagogy

Zkuste zapřemýšlet, k jakému vědeckému výsledku v oboru aerosolů došly tyto osobnosti světové vědy:

- Robert Brown
- George Stokes
- John W. Strutt
- Charles T.R. Wilson
- Albert Einstein
- Robert A. Milikan
- Gustav Mie
- Nikolaj A. Fuchs

### Jak aerosoly vznikají?

### 5. Aerosoly z přírodních procesů

Asi 2/3 celkové hmoty aerosolu vzniká v dnešní době přírodními procesy: sopečnou činností, větrem (při písečných a prachových bouřích, z mořského příboje, přenosem bioaero-

lů), neúmyslnými požáry vegetace či dopadem kosmického prachu. Těmito procesy aerosoly vznikaly odjakživa, celkové množství takto produkovaných aerosolů se tedy příliš nemění v čase.

## **6. Aerosoly vzniklé lidskou činností**

Přibližně 1/3 hmoty aerosolových částic vzniká lidskou činností: zejména spalovacími procesy – při provozu tepelných elektráren, spaloven odpadu, z dopravy osobní i nákladní; dnes již trochu méně emisemi z těžkého průmyslu - hutního, chemického apod. Aerosoly vzniklé lidskou činností jsou zpravidla více toxické než aerosoly přírodní. Jejich produkce je mnohem více koncentrována do blízkosti lidských sídel a stále stoupá.

## **7. Průmyslové využití aerosolů.**

Někdy aerosolové částice připravujeme úmyslně, když pro ně máme uplatnění třeba v průmyslu. Příklady: pigmenty a barvy ve spreji; postřiky v zemědělství; léčiva, např. prášky pro přípravu tablet; inhalační spreje; tonery do tiskáren a kopírek; saze jako plnivo do pneumatik; nanočástice pro mikroelektroniku (např. kvantové tečky a nanotrubice).

## **Jak dlouho aerosoly vydrží v atmosféře?**

V troposféře, tedy vrstvě atmosféry do asi 11 km, se udrží asi 1 týden a přitom procestují tisíce kilometrů. Kolem Země jsou rozděleny velmi nerovnoměrně, na severní polokouli jich je mnohem více než na polokouli jižní. To je dáno jak mnohem vyšší koncentrací průmyslu na severní polokouli, tak špatnou výměnou hmoty mezi oběma olokoulemi.

Ve stratosféře, sahající do výšky asi 50 km, přežijí aerosolové částice mnohem déle, někdy rok a více, a jsou tam kvůli lepšímu promíchání rozděleny mnohem rovnoměrněji. Příčin je několik, hlavní je nízký obsah vody ve stratosféře.

## **Jakými procesy zanikají?**

Těchto procesů je hned několik, vyjmenujeme si je:

- Suchá depozice – velké aerosolové částice se přímo usazují na povrch Země vlivem gravitace.
- Koagulace - vzájemnými srážkami aerosolových částic dojde k jejich spojení za vzniku větších částic, které podléhají suché depozici.
- Kondenzace - při tvorbě mraků poslouží částice jako zárodky dešťových kapek, na kterých kondenzuje voda, při atmosférických srážkách (dešti, sněžení) spadnou na zem.
- Aerosolové částice jsou také ze vzduchu snadno vypírány při dešti, kdy dešťové kapky při svém pádu částice zachycují a dopadnou s nimi na zem.

## **Velikost, tvar a hustota aerosolových částic**

Jak již jsme uvedli na začátku, aerosolové částice mají velikosti v rozsahu 1 nm - 100 μm. Důsledkem takto širokého rozpětí pěti velikostních řádů se mění i povaha fyzikálních zákonů, kterým částice podléhají. Proto se k popisu aerosolových jevů většinou používá mikroskopický přístup, tedy popisuje se chování jedné částice za daných podmínek, přičemž vliv okolních částic na ní lze většinou zanedbat.

Další zajímavostí jsou takzvané aerosolové nanočástice, jejichž magnetické, elektrické i jiné fyzikální vlastnosti mohou být dramaticky odlišné od vlastností větších částic stejného složení.

Aerosolové částice mají rozmanité tvary, obecně lze říci pouze to, že zatímco kapalně částice jsou téměř vždy kulové, tuhé částice bývají kulové zřídka.

Hustota aerosolových částic se určuje obtížně, protože jsou často tvořené složitou směsí chemických látek. Aby to nestačilo, bývají aerosolové částice také porézní, případně jsou tvořeny vícefázovými systémy.

## **Koncentrace aerosolů a její měření**

### **8. Hmotnostní koncentrace**

U aerosolů rozlišujeme dva základní způsoby určování koncentrací. Hmotnostní koncentrace se udává v mikrogramech aerosolových částic na krychlový metr vzduchu ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), přičemž je třeba vymezit rozsah velikostí částic, jejichž hmotnostní koncentraci stanovujeme. Norma v ČR definuje například takzvanou koncentraci frakce PM<sub>10</sub>, což je hmotnostní koncentrace všech částic pod 10 mikrometrů. Koncentraci PM<sub>10</sub> sleduje na svých stanicích kupříkladu Český hydrometeorologický ústav. Typické hodnoty PM<sub>10</sub> v České republice se pohybují v desítkách  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , přičemž imisní limit frakce PM<sub>10</sub> je 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (24 hodinový průměr). Hmotnostní koncentrace se určují nejčastěji na aerosolových filtrech.

### **9. Početní koncentrace**

Druhým používaným způsobem uvádění koncentrace aerosolu je takzvaná koncentrace početní. Ta se udává jako počet částic v krychlovém centimetru: typické hodnoty se pohybují v rozmezí 100-105  $\#/\text{cm}^3$ . Tento postup se používá například pro potřeby bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v provozech, které produkují nějakou složku, která může při překročení určených limitních hodnot poškozovat zdraví pracovníků. Limitní hodnoty se určují zvlášť pro každou sledovanou látku. Početní koncentrace se používají např. při stanovení některých bioaerosolů, vláken azbestu a podobně. Dříve se ke stanovení početních koncentrací nejčastěji používala mikroskopie, dnes začínají převažovat automatické metody, zejména kondenzační čítače částic a optické čítače.

### **10. Seznam literatury**

[1] Hinds W.C.: Aerosol Technology, John Wiley, New York, 1998.

# **LOŽISKA NEROSTNÝCH SUROVIN VE VZTAHU K ŽIVOTNÍMU PROSTŘEDÍ**

**Jan Schröfel**

ČVUT v Praze, Fakulta stavební

## **1. Úvodem**

Projekt získávání nerostných surovin je skoro nepředstavitelný komplex prací, které je nutné provést, než se nám podaří získat ložiskový nerost nebo horninu. Je nepochybně mimořádným zásahem do přírodního horninového prostředí. Často rovněž do hydrosféry a atmosféry. Lze říci, že při velké péči o životní prostředí je velmi složité projekt těžby nerostných surovin uskutečnit, bez ovlivnění životního prostředí (alespoň dočasné).

Je potřebné si uvědomit, že hlavně sociosféra a technosféra jsou vždy ve střetu s životním prostředím. Představa „střetu“ může být různá. Jiný střet bude u ložisek malých, ložisek v podzemí, ložisek, která jsou situována v hustě zalidněných oblastech, jiný u ložisek radioaktivních surovin, nebo surovin s velkým plošným pozemkovým záborem. Je pravda, že o některých těžbách nerostných surovin skoro nevíme. Možná, že málokdo ví, že se ještě před nedávnem těžilo ložisko Harrachov. Stopy po historickém dobývání, někdy nalezne pouze odborník.

## **2. Definice**

Nerostnou surovinou je minerál (diamant) nebo hornina (vápenec) anorganického, ale i organického původu (ropa). Ložisko je ekonomicky významná akumulace nerostné suroviny. Hodnocení toho, co je možné označit za ložisko se samozřejmě mění, nejenom s potřebou, ale samozřejmě s cenou suroviny (dnes vyjadřované cenami na světových burzách).

Jako nerostnou surovinu můžeme jistým způsobem označit i zdroj pitné vody (minerální, termální vody).

Nerostná surovina je jedním ze základních zdrojů životního prostředí. Zdrojem, který je sice nahraditelný, ale neobnovitelný.

## **3. Historie**

Již z dějepisu známe ložiskové zájmy (doba kamenná, železná, bronzová). Drahé kameny, zlato, stříbro, keramické suroviny, přírodní barviva, stavební kámen, sochařský kámen, mlýnské kameny. Takto budeme jmenovat další a další nerostné suroviny, které se těží.

## **4. Rozvoj technických nauk**

Když budeme sledovat na jedné straně dobývání ložisek nerostných surovin a rozvoj technických nauk, zjistíme, že jdou paralelně. I cesta k vyhledávání ložisek je vázána na zobrazování, mapování, měření, orientaci. Hodnocení obsahů nerostů je prováděno výpočty nebo alespoň již profesionálními odhady.

První stroje, první pohony, čerpadla, mlýny, stoupy, zdvihací mechanismy nalezneme již na starých těžebnách. Nejprve jednoduché principy (páky, nakloněné roviny, kladky), posléze koňské, vodní, parní, elektrické pohony. Chemické analytické práce, vynález střelného prachu. Mincovníctví.

Současně dochází k vývoji i sociálních vztahů. Havířská společenstva, zaopatření, dohody o odměnách. Báňské školy a akademie.

## 5. Války

Existence a potřeba nerostných surovin byla často v průběhu historie důvodem k rozpoutání ozbrojeného konfliktu, války. První konflikty se pravděpodobně mohly odehrávat již v primitivních civilizacích, kdy zdrojem nesváru mohl být i zdroj materiálů na výrobu pracovních nástrojů nebo zbraní (nože, hroty z pazourků nebo obsidiánů). Nepochybně 1. a 2. světová válka byla alespoň z větší části válkou o zdroje nerostných surovin. Válečných i lokálních konfliktů je mnoho. Afrika – bývalé Belgické Kongo, Irán, Kuvajt, Irák a další

## 6. Mapování

Historická posloupnost vývoje mapování.

Z hlediska historie byly prvními mapami mapy ložiskové, mapy sloužící pro vyhledávání a těžbu surovin, drahých kovů a kamenů – šperky, materiálů na pracovní nástroje, zbraně, dále stavební kameny, výrobní materiály, průmyslové nerosty např. – měď, železo, sklo, barvy a další.

Vznikala potřeba identifikace míst, analogie, prospekce a hledání ložisek nerostných surovin. Jejich tvorba se vyvíjela i s umem geodetického zobrazení (kartografických systémů).

Nejstarší jsou „mapy“ ze starého Egypta asi z roku 1300 př.n.l. Mapy hornické znázorňující situaci báňských prací na povrchu a pod zemí z ložiska zlata v Nubii

Obdivuhodné jsou i středověké mapy z našich rudních ložisek těžených již ve středověku (znázorněny jsou rudní žíly a důlní chodby kterými byla ložiska otevřena). Topografické mapy s geologickým obsahem (výskyt minerálů) vznikají ve Francii (Coulon 1644). Patří do této doby např. mapování povodí Dunaje (Marsigliho 1668 – 1730) a Komenského mapa Moravy z roku 1627.

Petrografické mapy vznikají v Anglii – Lister 1638-1712, Pack 1748, Rusko – Altaj Lebedev a Ivanov (1789 – 1794).

Geologické mapy: asi první skutečnou geologickou mapou je mapa Anglie, Walesu a části Skotska z 1815, podobné pak vznikají i v USA, ve Francii (okolí Paříže)

Údajně nejstarší geologickou mapou, která pochází z území České republiky je mapa X. Riepela z roku 1820. Mapy publikují i A.E.Reuss, K. von Raumer, Jan Krejčí, W.v.Heidinger.

Následovalo 1.Geologické mapování – sáhová měřítka (1763-1768), později 2. a 3. vojenské mapování (1810-1866 a 1869-1884) metrická soustava

Založení vídeňského geologického ústavu iniciovalo i systematické mapování Čech (1853 - 1862), autory byli Lipold, Zepharovich.

Vzniklo mnoho mapových listů 1:25 000, 1:75 000, 1:200 000 (28 000, 144 000)

Mapování Českého středohoří prováděl Hibscher, před první světovou válkou a i po ní.

Byly prováděny revize starších map (Zahálka, Purkyně).

Co je dnes k dispozici z tištěných moderních geologických map

- 1) Přehledná geologická mapa v měřítku 1:1 000 000, vydáno 2007
- 2) Podobně byla vytištěna verze doučebnic 1:500 000,
- 3) Mapy tzv.generálky v měřítku 1:200 000
- 4) Soubor účelových map v měřítku 1:50 000
- 5) Rozpracovaná edice map v měřítku 1:25 000
- 6) Další účelové mapy – tisky: např. Inženýrsko-geologická mapa Praha a v některých ložiskových a průmyslových regionech.

Mnoho dalších manuskriptů – uloženo v ČGS-Geofond a u zhotovitelů a objednatelů  
Mimořádně zajímavé jsou mapy uložené v historickém archívu ČGS-Geofond  
..

## **7. Geologické důlní mapy.**

Na rozdíl od povrchového geologického mapování se jedná ve většině o mapování účelové. Důlní mapy slouží pro potřeby důlního, ložiskového geologa. Slouží hlavně k poznání geologické stavby v okolí ložiska nerostných surovin, pro jeho průzkum (sledování ložiska), ocenění surovin a nakonec pro výpočet zásob nerostné suroviny a nakonec pro jeho těžbu, popř. technologii těžby.

Je možné, že dokonce důlní mapování v mnohém předstihlo tvorbu map ostatních. Dokumentují to mapy na historicky dobývaných ložiskách.

Mapy jsou přísně specializované. Vytvářejí se v ložiskovém prostoru, tam kde se ložisko již otevírá průzkumnými pracemi.

Podle stadia prozkoumanosti se opět dělí mapy na ty, které slouží průzkumu ložisek to jsou mapy komplexní (geologie, petrografie, mineralogie atd.). Podle nich lze řešit otázky geneze ložiska, prostorové rozšíření (pokračování do šířky a hloubky), odhadovat kvalitu a kvantitu nerostné suroviny.

Pro přípravu ložiska k těžbě a pro vlastní těžbu jsou významnější speciální mapy.

Důlní mapy dělíme podle měřítka na mapy základní (1:1000 a 1:2000), přehledné (1:5 000, oblastní mapy 1:10 000, revírní 1:20 000 a detailní 1:100 až 1:2 000. Použití měřítka se liší podle složitosti a velikosti. Důlní mapy jsou doplněny řezy, které se konstruují jednak z vlastních map a z výsledků vrtných prací.

## **8. Vyhledávání, prospekce, průzkum**

Vlastní těžbu předchází množství složitých a většinou dlouhodobých prací. Jedná se vyhledávání, prospekci a několik etap průzkumných prací. Např. velké světové firmy, které jsou vlastníky a producenty nerostných surovin obhospodařují ložiskové objekty a záměry, které jsou v různém stádiu rozpracování. Reagují v postupu prací na současnou potřebu surovin a samozřejmě na současnou cenu nerostné suroviny na trhu. Lze říci, že v každé době je „připraven“ nutný a potřebný objem surovin.

Průzkumné práce jsou vyvrcholením a posledním před otvírkou ložiska a vlastní těžbou. Skládají se z několika etap. Postupně se přibližujeme dokonalému poznání. Je to opět velmi složité a nákladné. Vrtné práce, sondování, geofyzikální práce, odběry vzorků, analytika, dokumentace a další. Složitě je to i proto, že distribuce nerostné suroviny může být proměnlivá a je umístěná (uložená) v přírodním horninovém prostředí.

## **9. Výpočet zásob**

Výpočet zásob je proces, který na základě shrnutí předchozích znalostí vyhodnotí skutečné objemy nerostné suroviny a její „kovnatost“ – obsah užitkové složky. Provádí se podle jistých postupů, které se postupně upravují a vylepšují (např. výpočetní technika). Principem je vytvoření geometrického modelu (tvaru ložiska), z analytických dat pak představa o distribuci nerostné suroviny. Prostřednictvím reprezentativních řezů se pak provede vlastní výpočet.

K výpočtu zásob se samozřejmě přikládají údaje o technologii těžby a úpravě nerostné suroviny.

## 10. Otvírka

Opět velmi komplikovaný proces. Ložisko připravené k otevření a těžbě existuje, ale je nutné vytvořit podmínky pro jeho těžbu. Zajistit mechanismy, připravit dopravní cesty pro nerostnou surovinu (většinou s hlušinou), vybudovat energocentra, zajistit vodu, stlačený vzduch, odvoz a ukládání materiálů a mnoho dalších potřebných náležitostí. Během celého popsaného procesu je projednáváno vše co se týká vlivu těžby a všech okolností s tím spojených a životního prostředí. Zde je neopominutelný proces s účastí veřejnosti – „public relations“.

## 11. Těžba, těžební metody

Tak zní název předmětů vyučovaných na báňských fakultách. K tomuto předmětu jsou vydávána skripta, publikovány knihy a příručky.

Způsob těžby a výběr těžební metody se řídí nejen surovinou, ale i jejím uložením. Technologie těžby je velmi složitým procesem, který je vybrán a který se často přizpůsobuje individualitě ložiska nerostné suroviny.

Například jíly keramické se těží většinou povrchově, ale např. i u nás se dobývají jíly v podzemí. Zlato se může rýžovat na povrchu z náplavů, může se ale dobývat v podzemí např. z křemenných žil. Často jsou zdrojem zlata i jiné rudy (např. Cu), které se těží opět jiným způsobem.

Těžba na povrchu bývá jednodušší než těžba v podzemí. Každý důl (šachta) je velice komplikovanou stavbou, která zajišťuje jednak vytěžení suroviny, ale i její ekonomickou dopravu na povrch (někdy i částečnou úpravu suroviny v podzemí). Je mnoho těžebních metod. v podzemí se těží jinak uhelné sloje, jinak rudní žíly. Někdy se postupuje přísně podle tělesa žíly, ale i ty jsou strmé, ložní, různě mocné. Je mnoho proměnlivých faktorů, které těžbu ovlivňují. Někdy se těžba uskutečňuje stroji – kombajny, frézami, loužením, čerpáním, někdy se odtěžení provádí pomocí trhacích prací (průmyslové trhaviny). Ekonomicky významná je doprava vytěženého materiálu v podzemí. Provádí se opět různě podle typu suroviny. Vlaky s dieslovými, elektrickými lokomotivami, dopravníky, nákladními auty apod. Samozřejmě jiné, odlišné jsou dopravní a těžební metody při těžbě ropy.

Zvláštní kapitolou jsou i zajištění čerstvého vzduchu (dýchatelného) – větrání podzemního díla. Někdy i chladného vzduchu. Jedná se opět o komplikovaný projekt a realizaci „větrných cest“. Výdušné, vdušné jámy, větrné dveře a uzávěry, větrací potrubí s ventilátory atd.

Těžební metody slouží nejen k získání suroviny, ale samozřejmě se podřizují i ochraně zdraví a bezpečnosti personálu. Musí být bezpečné i pro okolí (kontaminace vody, prach, hluk, poddolování a další).

## 12. Ochrana ložisek (CHLÚ), zákony, vyhlášky, předpisy

Pro průzkum a dobývání nerostů platí závazné právní předpisy. Jsou to především:

Zákon č. 44/1988 Sb., o ochraně a využití nerostného bohatství (horní zákon) ve znění pozdějších předpisů

Zákon č. 61/1988 Sb., o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě ve znění pozdějších předpisů

Zákon č. 62/1988 Sb., o geologických pracích, ve znění pozdějších předpisů

K dalším předpisům patří vyhlášky ČBÚ, MŽP, MHPR (MH)



### 13. Konzervace

Přerušení těžby z různých důvodů, většinou ekonomických je opět ovládáno množstvím nutných prací. Většinou zajišťují důlní díla po dobu přestávky v těžbě (ta může být třeba i desítky let) a umožní znovuoobnovení těžby s co nejmenšími ekonomickými ztrátami. Většinou po jistých pracích údržby. Opět se musí zajistit bezpečnost celého těžebního objektu. Nejen např. z hlediska např. deformací povrchu (v případě podzemní těžby, ale nakonec i z hlediska nepřístupnosti díla pro osoby nepovolané. Jak si to lze představit: uzavřou se vstupy do dolu (zabetonují se, nebo se zazdí větrací otvory

### 14. Uzavírka

Po dotěžení suroviny je snaha celý těžební prostor navrátit do původního stavu. Samozřejmě to často nelze splnit bezezbytku. Např. nelze nahradit vytěžený materiál ze šterkoven a hnědouhelných povrchových dolů (zde se provádí rekultivace zatopením). Je potřebné rekultivovat odložený haldový materiál, materiál po úpravě nerostné suroviny. V průběhu těžby se vytváří fond, se kterým se počítá na uzavírku ložiska. Obsahuje prostředky na terénní úpravy, zalesnění a zatravnění. Úpravy svahů u lomů, odstranění konstrukcí (dopravníků, těžních věží, nepotřebných budov a dalších akcesorií. Likvidace svislých děl (jámy) zasypáním nebo zavikováním

### 15. Úprava nerostných surovin

Toto není disciplína, kterou řeší geolog. Většinou má však základní znalosti. Opět je to velmi komplikovaný a složitý, technicky náročný proces, který se liší surovinu od suroviny. Často je úprava jednoduchá. Například třídění u šterků. Někdy je úprava velmi složitá. Je potřebné z komplexní rudniny separovat např. několik elementů např. Pb, Zn a Cu (Au). Úprava suroviny má někdy charakter fyzikální – gravitační úprava uhlí, magnetická – rudy Fe, někdy fyzikálně chemický – flotační úprava polymetalických rud. Zlatá ruda se upravuje chemicky amalgamací, kyanidováním.

Před vlastní úpravou se natěžená surovina před upravuje. Mele např. na jistou velikost zrna, třídí

### 16. Bilance surovin

Ložiska nerostných surovin jsou rozdělena na:

- výhradní ložiska rud a stopových prvků
- výhradní ložiska palivoenergetických surovin
- výhradní ložiska nerudních surovin
- ložiska nevyhrazených nerostů

Státní bilanci zásob výhradních ložisek nerostných surovin vede Ministerstvo životního prostředí. Bilanci odsouhlasí Ministerstvo průmyslu a obchodu. Bilanci zpracovává ČGS – Geofond.

### 17. Životní prostředí (zátěže)

Těžba a hlavně úprava nerostných surovin zanechává stopy na životním prostředí. Lze říci, že najdeme stopy téměř po všech historických těžbách. S tím jak rostly objemy vytěžených surovin objevují se značné zátěže na životním prostředí. Například je možné nalézt stopy haldového materiálu v Kutné Hoře. Najdeme zvýšené obsahy některých elementů jak v půdních vzorcích, tak v podzemních vodách. Jako příklad můžeme i uvést sanační čerpání (těžba) na ložisku uranu v oblasti Stráže p. Ralskem.

## 18. Ložiska nerostných surovin v ČR

Region naší republiky je oblastí, která byla historicky exploatována. Připomeňme ložiska světového významu jako byla Příbram, Kutná Hora, Jáchymov. Dále ložiska jako byla Jihlava, Jílové, Krásná Hora, Slavkov, Kašperské Hory, Zlaté Hory. Často některá z ložisek nerostných surovin byla těžena opakovaně. Nejen, že byla opakovaně těžena stejná surovina, ale na stejném ložisku byly postupně objevovány suroviny, které jsme neznali a dříve nevyhledávali. Např. ložisko stříbra bylo posléze těženo a získávána měď, olovo, zinek. V další etapě kobalt, nikl a nakonec uran. Někdy průzkumné a analytické metody v jisté době jiné suroviny nerozpoznaly, nebo neobjevily stejné např. v mikroskopické podobě. Např. těžba zlata na ložisku Čelina, Mokrsko. Někdy se na počátku zájmu o nerostnou surovinu těžila ložiska sekundárních surovin a posléze ložiska primární. Příkladem mohou být rýžoviště na Otavě již těžená Kelty a posléze primární ložiska.

## 19. Perspektiva

Lze říci, že cena nerostných surovin historicky až na drobné výjimky stoupá. Objevují se nové nerostné suroviny, které jsou potřebné s rozvojem techniky (uran, vzácné zeminy, titan, zirkon). Naopak některé z nich jsou stále žádané, ale ne v množstvích dříve potřebných. Podávalo se jejich potřebu nahrazovat jinými surovinami.

V šedesátých a sedmdesátých letech minulého století převládala mimořádná skepse z vyčerpání zdrojů nerostných surovin. Lze říci, že s rozvojem vědeckého bádání bylo možné některé z nich nahrazovat, nebo redukovat jejich potřebu. Pravděpodobně tomu tak bude i nadále. U některých surovin jejich spotřebu snižujeme recyklací.

Objevují se nová ložiska nerostných surovin, často extrémně bohatých. Je pravda, že v případě některých surovin existují scénáře dotěžení. Jedná se hlavně o klasická paliva (uhlí, ropa). Např. na našem území pravděpodobně víme o každé tuně černého uhlí. Dokážeme určit dobu, kdy při takovém objemu těžby budou naše ložiska uhlí vytěžena. Pravděpodobně klasická paliva budou nahrazena palivy novými. Nebo klasická paliva na nějakou přechodnou dobu budou vystřídána jinou surovinou (jaderné energie).

Závěrem bych rád vyjádřit svůj názor na ložiskové aktivity. Jsem pro těžbu ložisek nerostných surovin, těžbu šetrnou, ekonomickou, respektující životní prostředí. Na druhé straně respektuji i takové názory jako proslovil jeden z mých učitelů Václav Havlena, že nejlepší ložisko nerostných surovin je ložisko v zemi.

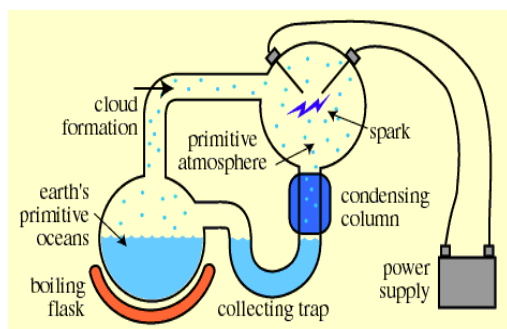
*Přednáška bude prezentována Power pointem. Bude zde doplněna o fotografie, ukázky mapových podkladů a další grafické materiály. Ty budou v průběhu přednášky fyzicky k dispozici.*

# NĚKTERÉ EKOLOGICKÉ ASPEKTY ELEKTRICKÝCH VÝBOJŮ ZA ATMOSFÉRICKÉHO TLAKU

**Stanislav Pekárek**

Elektrické výboje hrají významnou roli v celé řadě praktických aplikací. Poměrně neznámá je však ale skutečnost, že se elektrické výboje – blesky – mohly podílet i na vzniku života na Zemi.

Vznik života na Zemi je spjat s různými teoriemi. V jedné z nich však právě blesky mají klíčovou roli. V roce 1953 Stanley L. Miller a Harold C. Urey [1] z university v Chicagu provedli experiment (Obr. 1) ve kterém simulovali podmínky které existovaly na Zemi v období před vznikem života. Do uzavřeného systému umístili směs plynů o kterých se předpokládalo, že tvořily atmosféru Země. Jednalo se o metan ( $\text{CH}_4$ ), čpavek ( $\text{NH}_3$ ), vodík ( $\text{H}_2$ ) a vodu ( $\text{H}_2\text{O}$ ). V této směsi plynů nechali vznikat elektrické výboje, které simulovaly blesky. Po jednom týdnu provedli chromatickou analýzu směsi. Bylo zjištěno, že 10 až 15 % uhlíku ve směsi bylo ve formě organických sloučenin. Dvě procenta uhlíku vytvořilo aminokyseliny, které jsou stavebním kamenem proteinů. Miller a Urey tím ukázali, že organické sloučeniny jako jsou aminokyseliny, nezbytné pro existenci buněčného života mohou vznikat v důsledku elektrických výbojů – blesků – v podmínkách, které existovaly na Zemi.



*Obr. 1. Miller – Ureyův experiment.*

Blesk je typem elektrického výboje, který je pro každého z nás zcela běžným. Lidé se odedávna snažili tento výboj napodobit. První spolehlivě fungující zařízení pro generaci elektrického výboje za atmosférického tlaku, u nás známé pod názvem „třecí elektrika“ sestrojil mezi lety 1880 a 1883 James Wimshurst. Elektrický výboj mezi elektrodami tohoto zařízení je ukázán na obr. 2.



*Obr. 2. Elektrický výboj mezi elektrodami „třecí elektriky“.*

Svítilící kanál mezi elektrodami je tvořen prostředím, které nazýváme plazmou. Plazma je kvazineutrální směs neutrálních a nabitých částic, které vykazují kolektivní chování. Plazmu charakterizujeme dvěma parametry: teplotou a koncentrací elektronů. Po jednotku teploty

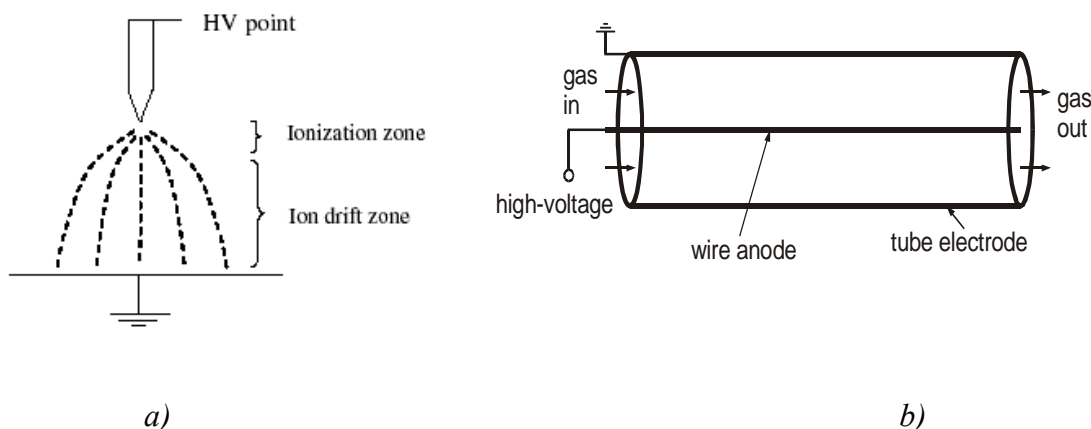
používáme elektronvolty ( $1 \text{ eV} = 11\,600 \text{ K}$ ), koncentrace elektronů se udává v  $\text{m}^{-3}$ . Teplota elektronů v plazmatu se pohybuje přibližně v rozmezí  $10^{-1}$  až  $10^6 \text{ eV}$  a jejich koncentrace v rozmezí  $10^8$  až  $10^{27} \text{ m}^{-3}$ .

Elektrické výboje můžeme dělit podle různých kritérií:

- Napájení výboje (stejnoseměrné, střídavé, pulzní, vysokofrekvenční).
- Tlaku (nízkotlaké, výboje za atmosférického tlaku).
- Teplotní poměry mezi jednotlivými složkami plazmatu (termální plazma  $T_e = T_{ion} = T_{gas}$ ; netermální plazma  $T_e \gg T_{ion} = T_{gas}$ ).
- Použitý elektrodový systém.

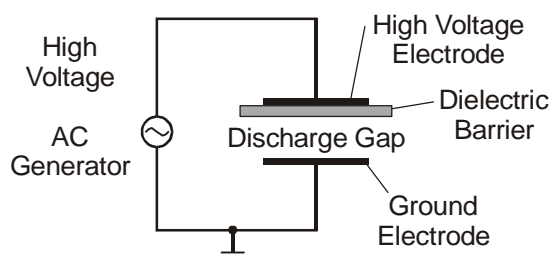
S ohledem na ekologické aplikace elektrických výbojů se v dalším zaměříme pouze na elektrické výboje za atmosférického tlaku. Pro tyto aplikace se nejčastěji používají dva typy elektrických výbojů: koronový výboj a dielektrický barierový výboj.

Koronový výboj je výboj v silně nehomogenních elektrických polích. Nehomogenita pole vzniká v důsledku konfigurace elektrod. Jedná se obvykle o konfiguraci jehla–rovina (Obr.3a), nebo konfiguraci tenký drátek – válcová elektroda (Obr.3b).



Obr. 3. Koronový výboj. Konfigurace elektrod jehla–rovina (a). Konfigurace elektrod tenký drátek – válcová elektroda (b).

Dielektrický barierový výboj (Obr.4) je výboj u kterého je v prostoru mezi elektrodami umístěna jedna nebo případně dvě vrstvy z dielektrického materiálu. Vzhledem k tomu, že dielektrikum je nevodí, je zřejmé, že se výboj musí napájet střídavým vysokým napětím. Frekvence zdroje se pohybují od 500 do 500 kHz a napětí na výboji je za atmosférického tlaku kolem 10 kV. Po přiložení tohoto napětí na elektrody dojde ke vzniku velkého počtu mikrovýbojů, které zaplní výbojový prostor.



Obr.4. Dielektrický barierový výboj.

Jedna z nejdůležitějších ekologických aplikací elektrických výbojů za atmosférického tlaku je generace ozonu. Generace ozonu a dalších reaktivních částic vznikajících ve výboji má také úzkou souvislost s klíčovými prioritami podporovanými NATO v rámci programu: Vědecká spolupráce pro ochranu před terorismem – Nové dekontaminační metody pro likvidaci biologických zbraní. Ozon je totiž velmi silné oxidační činidlo, jehož molekula reaguje s organickými látkami, bakteriemi nebo s viry. V důsledku toho je ozon výborným sterilizačním činidlem například proti sněti slezinné (anthrax), *E. coli*, listerii, botulismu a různým druhům virů. Nevýhodou ozonu však je, že jeho doba života je v závislosti na podmínkách kratší než 30 minut a tudíž ozon nelze skladovat a je nutné ho vyrábět až v samotném místě jeho potřeby. Z uvedených důvodů je vývoj účinných, mobilních zdrojů ozonu s nízkou energetickou náročností velmi významný.

## 1. Generace ozonu

V roce 1841 Christian Schonbein určil charakteristický zápach ozonu v okolí elektrických výbojů a pojmenoval jej „ozon“ podle řeckého slova „ozein“ což znamená vůně, pach. Ozon je toxický plyn, který většina lidí cítí již při koncentracích 0,003 ppm. Při koncentracích vyšších než 0,15 ppm ozon způsobuje dýchací problémy, slzení očí případně kašel.

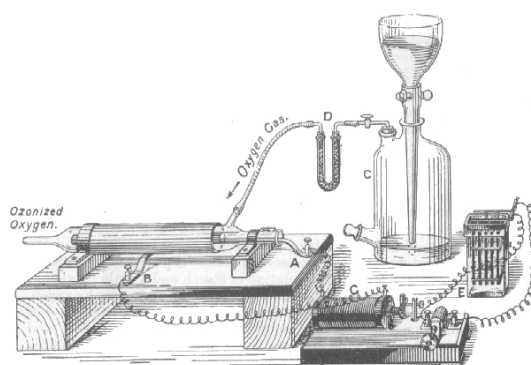
Vzhledem ke svým vlastnostem je ozon používán k následujícím účelům:

- Čištění vody (Nice - 1907, Madrid - 1910).
- Sterilizace a dekontaminace.
- Zpracování potravin, prodlužování skladovatelnosti ovoce.
- Odstraňování pachů (kuchyňské pachy, zápach v budovách po požárech, povodních).

Ozon je možné generovat různými způsoby:

- Ultrafialovým zářením.
- Elektrochemicky.
- Elektrickými výboji.

Z uvedených tří metod je nejúčinnější generace ozonu elektrickými výboji. První systém pro generaci ozonu elektrickým výbojem byl navržen v roce 1857 Wernerem von Siemens [2]. Ozon byl generován střídavým elektrickým výbojem z kyslíku, který procházel prostorem mezi dvěma sousedními skleněnými válci.



Obr. 5 Systém pro generaci ozonu navržený Wernerem von Siemens.

Generace ozonu elektrickými výboji je výsledkem řady reakcí vedoucích jak k jeho vzniku tak i rozkladu. Pro nastartování těchto reakcí je však především nutné, aby výboj byl účinným zdrojem elektronů s energiemi od 5,1 do 8,4 eV. Reakční koeficienty reakcí vedoucích ke vzniku tak i k rozkladu ozonu závisí na řadě faktorů, z nichž nejdůležitější je teplota.

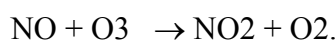
Nejdůležitější reakce za atmosférického tlaku vedoucí ke generaci ozonu ze vzduchu je reakce:



kde písmeno M vyjadřuje buď kyslík nebo dusík. Teplotní závislost reakční rychlosti této reakce je dána vztahem:

$$k_{12} = 2.5 \times 10^{-35} \exp\left(\frac{970}{T_g}\right)$$

Pro rozklad ozonu je významná reakce:

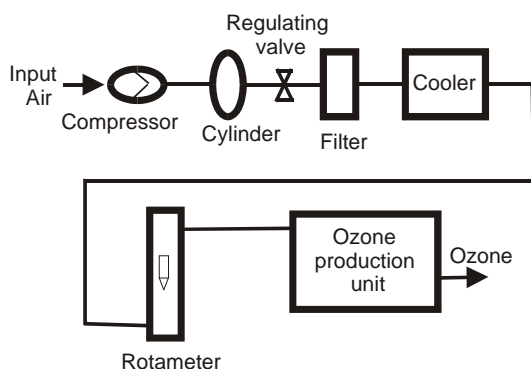


Reakční rychlost této reakce je dána vztahem:

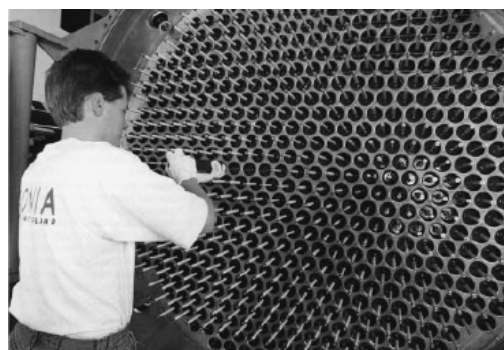
$$k_6 = 1.5 \times 10^{-12} \exp\left(\frac{-1300}{T_g}\right)$$

Z uvedených vztahů je zřejmé, že s růstem teploty rychlost reakce vedoucí ke generaci ozonu klesá a současně rychlost reakce vedoucí k rozpadu ozonu silně roste. V důsledku těchto skutečností při určité teplotě dojde k tak zvanému otrávení výboje, tedy ke stavu, že výboj nebude generovat žádný ozon. Tento stav je nazýván otrávení výboje. Aby se otrávení výboje předešlo je pro účinnou generaci ozonu nezbytné aby pracovní plyn – vzduch – měl nízkou teplotu.

Schéma průmyslového zařízení pro generaci ozonu je ukázáno na levé části obr. 6, vpravo je pohled na výrobní jednotku obsahující výbojový systém (Los Angeles Aquaduct Filtration Plant).



(a)



(b)

Obr. 6. Schéma zařízení pro generaci ozonu (a), pohled na výbojový systém (b).

Průmyslové zařízení pro generaci ozonu používající jako vstupní plyn vzduch je ukázáno v levé části obrázku. Vzduch je nejdříve stlačen kompresorem, dále je natlakován do bomby, filtrován, zchlazen a nakonec přes průtokoměry dodáván do výbojového systému, ve kterém vzniká ozon.

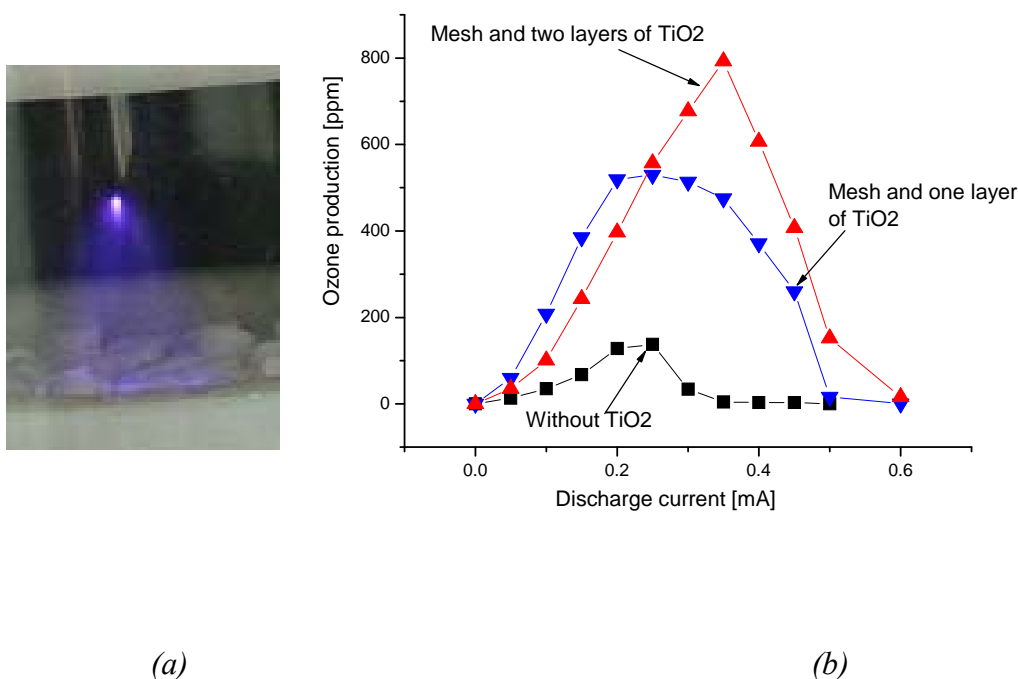
## 2. Nové trendy v použití elektrických výbojů pro generaci ozonu.

Samotné elektrické výboje jsou z hlediska generace ozonu na samé hranici svých možností. Z toho důvodu je další hledání účinnějších metod generace ozonu soustředěno na kombinaci výbojů například s fotokatalyzátory, s dielektrickými materiály případně na kombinaci s dalšími poli, které na výboj působí.

### 2.1. Intenzifikace generace ozonu fotokatalyzátorem.

Vzhledem k tomu, že k aktivizaci katalyzátorů se používá jejich ohřev není jejich použití pro intenzifikaci generace ozonu možné. Jedná se totiž o to, že zvýšená teplota způsobuje zvýšení rychlosti reakcí jeho rozkladu. Z uvedeného důvodu se proto používají fotokatalyzátory, k jejichž aktivaci lze použít ultrafialové záření generovaného samotným výbojem [4]. Z polovodičových katalyzátorů  $\text{SrTiO}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{ZnS}$ ,  $\text{CdS}$  se pro účely generace ozonu jako nejlepší ukazuje  $\text{TiO}_2$ . Pokud se týká těchto fotokatalyzátorů mohou tyto být umístěny přímo ve výbojovém prostoru nebo mimo výbojový prostor.

Na obr. 7. je ukázán záporný koronový výboj v konfiguraci elektrod jehla - mřížka s fotokatalyzátorem  $\text{TiO}_2$  ve výbojovém prostoru, tedy přímo na mřížce (a). Závislost generace ozonu pro tento výboj bez fotokatalyzátoru a s fotokatalyzátorem je ukázán na pravé straně obrázku (b).



Obr. 7. Koronový výboj jehla mřížka s fotokatalyzátorem  $\text{TiO}_2$  na mřížce (a). Závislost generace ozonu na proudu výbojem pro samotný výboj bez fotokatalyzátoru a s fotokatalyzátorem (b).

Z uvedených závislostí plyne, že umístěním fotokatalyzátoru  $\text{TiO}_2$  ve výbojovém prostoru se více než pětikrát zvyšuje koncentraci výbojem generovaného ozonu bez jakýchkoliv požadavků na zvýšení energetické náročnosti procesu. Právě tato skutečnost hraje významnou roli neboť pro praktické aplikace energetická náročnost hraje rozhodující úlohu.

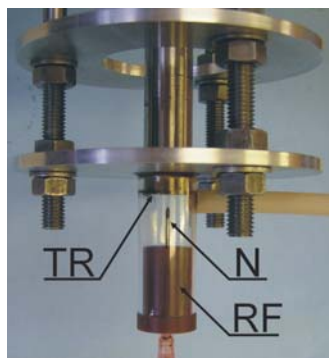
## 2.2. Intenzifikace generace ozonu ultrazvukem.

Jak již bylo řečeno, dominantní reakce generace ozonu elektrickým výbojem ve vzduchu za atmosférického tlaku je reakce:

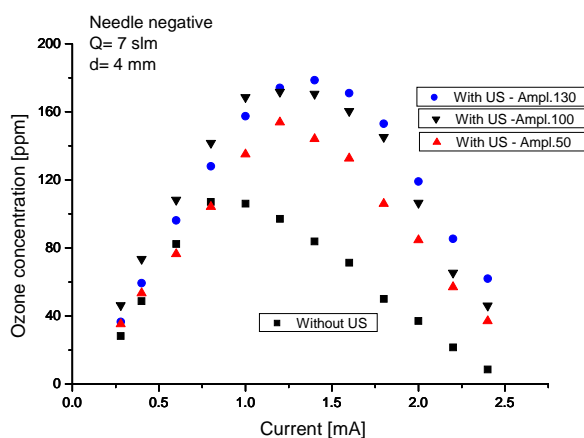


Reakční rychlost této reakce závisí nejen na teplotě ale také na druhé mocnině tlaku. Možností jak tedy intenzifikovat generaci ozonu je lokálně zvýšit tlak v oblasti, ve které ke generaci ozonu dochází. V elektrickém výboji je touto oblastí tak zvaná ionizační oblast, která je pro výboj jehla-rovina kolem špičky jehly.

Zvýšení tlaku v této oblasti lze dosáhnout umístěním výboje do ultrazvukového rezonátoru ve kterém se vybudí stojaté vlnění tak aby v ionizační oblasti došlo ke zvýšení koncentrace částic a tedy i tlaku [5]. Celkový tlak v této oblasti je tedy dán součtem atmosférického tlaku a tlaku akustického. Právě tento akustický tlak pak způsobí zvýšenou generaci ozonu. Na obr. 8 je ukázán výbojový systém jehla - rovina v ultrazvukovém rezonátoru (a) a závislost generace ozonu na proudu výboje pro různé amplitudy ultrazvukového měniče (b). Jehla slouží jako katoda a jako anoda je použita samotná plocha ultrazvukového měniče. Na fotografii je písmeny TR označen měnič, písmeno N ukazuje jehlu a písmena RF ukazují reflektor.



(a)



(b)

Obr. 8. Výbojový systém jehla rovina v ultrazvukovém rezonátoru (a). Závislost generace ozonu na proudu pro různé amplitudy ultrazvukového měniče (b).

Z obr.8 je zřejmé, že použitím ultrazvuku lze zvýšit generaci ozonu elektrickým výbojem. Ve srovnání s použitím fotokatalyzátoru pro intenzifikaci generace ozonu však plyne, že použití ultrazvuku je energeticky náročnější a proto méně životaschopné.

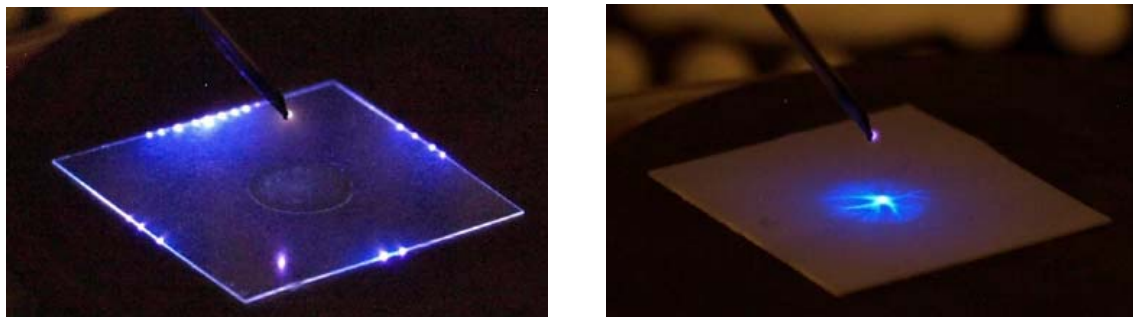


### 3. Použití atmosférických výbojů elektrických výbojů pro sterilizaci.

Sterilizace spočívá ve zničení případně v odstranění mikroorganismů, vegetativních buněk, spór plísní, a virů. Tradiční sterilizační metody používají ohřev sterilizovaného objektu v suchém či vlhkém prostředí, jeho ozáření ultrafialovým zářením případně použitím chloru. Tyto metody jsou časově náročné, drahé a v případě použití chloru nepříliš přátelské vůči životnímu prostředí. Z uvedených důvodů je proto intenzivně studována sterilizace elektrickým výbojem.

Při sterilizaci elektrickým výbojem se nejedná pouze o použití ozonu generovaného výbojem ale i o použití dalších reaktivních částic jako jsou kyslíkové atomy, OH radikály či ultrafialového záření generovaného výbojem. V důsledku synergetického jevu je pak sterilizační proces energeticky méně náročný, účinnější a lze ho použít i pro takové materiály jako jsou papír, plastové folie a podobně.

Příklad elektrického výboje pro sterilizaci plastové folie případně papíru [6] je ukázán na obr. 9. Jedná se o záporný koronový výboj v konfiguraci elektrod jehla-rovina, vzdálenost mezi jehlou a rovinou kovovou elektrodou byla 4 mm. Kontaminované materiály (folie nebo papír) byly položeny na tuto elektrodu a exponovány výbojem po dobu 10 minut. Dosažené účinnosti dekontaminace dosahovaly v případě plastové folie 98 % a v případě papíru 86 %.



Obr. 9. Záporný koronový výboj na plastové folii (a) a listu papíru (b). Vzdálenost mezi jehlou a elektrodou 4 mm. Převzato z [6].

### 4. Závěr

Netermální plazma generované elektrickými výboji za atmosférického tlaku je účinným zdrojem ozonu, dalších reaktivních částic a ultrafialového záření, které lze použít k celé řadě aplikací (čištění vody, sterilizace a dekontaminace, zpracování potravin, prodlužování skladovatelnosti ovoce, odstraňování pachů atd.). Nelze však také opomenout další ekologické aplikace tohoto typu elektrických výbojů jako je například čištění spalin, rozklad těkavých uhlovodíků, toxických látek, případně aplikace v leteckém průmyslu pro snižování aerodynamického odporu křídla letadla a tudíž spotřeby paliva nebo při intenzifikaci procesů spalování (plynárství, energetika).

Ve všech těchto případech z hlediska ekologie klíčovou roli hraje skutečnost, že energie dodaná do výboje je využita pro generaci netermálního plazmatu a není spotřebovávána na ohřev samotného plynu. V důsledku toho je energetická náročnost používaných procesů nižší, případně jsou uvedené procesy mnohem šetrnější vzhledem k životnímu prostředí.

## 5. Literatura

- [1] Miller, Stanley L. „Production of amino acids under possible primitive Earth conditions“ Science, 117 (1953) 528.
- [2] Siemens W. Poggendorfs Ann. Phys. Chem. 102 (1857) 66-122.
- [3] Pekárek S., Rosenkranz J., Ozone and nitrogen oxides generation in gas flow enhanced hollow needle to plate electrical discharge in air, Ozone Science & Eng., 24, (2002) 221-226.
- [4] Pekárek S., Non-thermal plasma ozone generation enhanced by photocatalyst, EPJ Applied Physics, Accepted for publication.
- [5] Pekárek S., Bálek R., Ozone generation by hollow needle to plate electrical discharge in ultrasound field, Journal of Physics D: Applied Physics, 37 (2004) 1214-1220.
- [6] Machala, Z. et al.: DC discharges in atmospheric air for bio-decontamination, 23rd Symposium on Plasma Physics and Technology, Programme and Abstracts, Prague 2008.

# UHLÍKOVÁ DEPONIA V EKOSYSTÉMECH ČESKÉ REPUBLIKY

**Michal V. Marek**

Koloběh uhlíku je zásadní pro globální zemskou biosféru, neboť je neoddelitelně spjat s klimatem, koloběhem vody a živin a s produkcí biomasy na souši i v oceánech. Je vhodné připomenout to, že právě uhlík je jednou z nejdůležitějších křížovatek neživého a živého světa. Prostřednictvím fotosyntézy se anorganický uhlík stává součástí organických molekul uhlíkových, které jsou základní kostrou všech organických sloučen.

Správné pochopení globálního koloběhu uhlíku je proto zásadní pro pochopení historie životního prostředí naší planety, její osídlení lidmi a hlavně pro predikci a usměrňování společné budoucnosti prostředí i člověka.

Ovlivňování globálního cyklu uhlíku člověkem probíhá již tisíce let. Člověk jej ovlivňuje svojí zemědělskou činností, lesnictvím, průmyslovou a energetickou výrobou a dopravou. Ovšem až za dvě poslední uplynulá století jsou antropogenní emise vzdušného uhlíku sledovatelné v měřítku přirozených uhlíkových toků.

Člověkem je do ovzduší ročně emitováno asi 8 Gt uhlíku. Z tohoto množství je sice 5 Gt přímo reabsorbováno terestrickými ekosystémy a oceány, přesto však koncentrace CO<sub>2</sub> v ovzduší vzrůstá tempem cca 1.5 ppm za rok. Tento vývoj akceleroval zpětnou vazbu globálního uhlíkového cyklu, která společně s antropogenním navyšováním množství dalších skleníkových plynů bude mít hluboký dopad na budoucnost Země. Poslední odhady Mezivládního panelu pro změnu klimatu - IPCC (IPCC 2001) poukazují na přibývání množství a závažnosti důkazů globální změny klimatu jako důsledku zesíleného skleníkového efektu atmosféry se souvisejícími dopady na ekosystémy a biodiverzitu.

Hrozbu možných důsledků své činnosti ve změně klimatu lidé rozpoznali teprve až v posledních letech 20. století a začali společně reagovat. Mezinárodní spolupráce vědců a politiků vyvrcholila formulováním tzv. Kyotského protokolu. Jedná se o snahu intervenovat vývoj národních emisí skleníkových plynů. To je však velice citlivý problém úzce související s vývojem národních ekonomik. Proto také Kyotský protokol zůstává, bohužel, rukojmím některých významných států a doposud nevstoupil v mezinárodní platnost. A to i přesto, že povinnosti ve znění Kyotského protokolu pro jednotlivé státy byly již poněkolidáté změkčeny a že vedle omezování produkce skleníkových plynů Kyotský protokol umožňuje snížit emise jednotlivých států propady uhlíku prostřednictvím změn v lesním hospodářství a ve využívání krajiny.

Česká republika i Evropská unie Kyotský protokol ratifikovaly. Státní lesnická politika České republiky tím získává novou dimenzi pro své směřování. Lesní hospodářství získává nové možnosti, ale také nové povinnosti. Nové možnosti se lesnímu hospodářství naskýtají v oceňování svého hospodaření, jedná se o možnost účasti na obchodování s uhlíkem, a tím i významnějšího postavení mezi ostatními obory. Avšak jedná se o cestu zcela neprobádanou. Proto vyvstala potřeba hlubšího vědeckého poznání globálního uhlíkového cyklu a hledání možnosti zpomalovat nárůst koncentrace CO<sub>2</sub> v ovzduší zvyšováním kapacity terestrických ekosystémů poutat vzdušný uhlík. Uvažuje se, že až 30% evropské produkce emisí CO<sub>2</sub> může být na evropském kontinentu absorbováno. Cyklus uhlíku a odhady sekvence uhlíku terestrickými ekosystémy jsou však i přes značný pokrok ve vědeckém bádání stále nedostatečně prostudován.

Současná měření ukazují, že globální terestrická biosféra absorbuje více atmosférického uhlíku než uvolňuje. Podle IPCC (2001) v 80. letech byla terestrická absorpce 1,9 Gt uhlíku za rok, zatímco v 90. letech vzrostla na 2,3 Gt uhlíku za rok, geografická a časová distribuce tohoto sinku je však prakticky neznámá. Uvedená čísla mohou z roku na rok kolísat. Vzhledem k tomu, že emise fosilních paliv meziročně kolísají v rozmezí méně jak 4 %, a oceánický

koloběh uhlíku je dosti stabilní, lze vyvozovat, že většina meziroční variability toků CO<sub>2</sub> souvisí právě s jeho terestrickým cyklem.

Terestrický uhlíkový cyklus je významně určován meziroční variabilitou počasí. Obecně může platit, že vliv teploty je významný v boreálním a případně i temperátním pásmu, v mediteránu je zase limitujícím faktorem množství srážek. V měřítku samotné České republiky zase můžeme zobecnit, že v lesních vegetačních stupních pod 4. stupněm převažuje vliv deficitu srážek, zatímco nad 4. lesním vegetačním stupněm limituje produkci lesů teplota. Výsledné efekty reakcí fotosyntézy nebo respirace na změny příkonu sluneční radiace, teploty i srážek v tocích uhlíku se však liší. Také různé ekosystémy reagují různě. Proto i krátkodobý výkyv počasí během vegetační sezóny může v určité oblasti neočekávaně způsobit významnou změnu celkové roční sekvestrace uhlíku.

Předpokládá se, že k nejvýznamnějším místům příjmu uhlíku patří oblasti lesů temperátní zóny severní polokoule. Avšak toto tvrzení může být s ohledem na značné rozdíly výsledků získaných různými technikami a metodickými přístupy velice kontroverzní. Např. na základě metod inventarizace lesa byl v rámci zemí EU stanoven roční záchyt uhlíku ve výši 0,1 Gt, výsledky vycházející z lokálních měření toků uhlíku však hovoří o 0,4 Gt zachyceného uhlíku a z měření koncentrací uhlíku v atmosféře vyplývá hodnota 0,7 Gt.

I přes výše citované nesrovnalosti závěrů vědeckých výzkumů je prokázáno, že v posledních desetiletích evropská lesní deponia uhlíku vykazují zřetelnou vzrůstající tendenci. Určující faktory tohoto trendu jsou zřejmě spojeny s přihnojováním přirozených i umělých ekosystémů jak zvyšujícím se obsahem dusíku v atmosféře, tak i oxidu uhličitého. Dalšími pozitivními faktory jsou změny využívání krajiny, změny hospodaření v lesích spojené se změnami věkové struktury, s celkovým ozdravením lesů v důsledku významného poklesu znečištění ovzduší a možná také převládající pozitivní reakce ekosystémů na evropském kontinentu na vlastní změnu klimatu.

Jak bylo uvedeno, terestriální biota v současné roční bilanci zadrží okolo 2,3 Gt uhlíku. Toto zadržené množství přibližně vyrovnává ztrátu uhlíku způsobenou odlesňováním tropických lesních ploch. Při odlesňování se ročně do ovzduší dostává přibližně 2,0 Gt uhlíku. Současné vědecké poznatky dokládají, že hospodářské lesy ročně zachytávají cca 6 tun uhlíku /ha. Také původní sibiřské lesy stejně jako amazonské pralesy v současnosti zachytí ročně přibližně stejné množství uhlíku jako lesy hospodářské, i když se předpokládalo, že uhlíková bilance těchto klimaxových ekosystémů konverguje k nule. Podmínky rovnováhy těchto ekosystémů však byly narůstající koncentrací CO<sub>2</sub> v atmosféře změněny.

Suchozemské ekosystémy a především ekosystémy lesa jsou potenciálními „úložišti atmosférického uhlíku“. Suchozemské ekosystémy jsou sice malým „úložištěm - deponiím“ uhlíku v porovnání s oceány, ale roční toky uhlíku mezi povrchem terestrických ekosystémů a atmosférou jsou srovnatelné s toky mezi oceány a atmosférou. Navíc lze konstatovat, že nejméně 20% molekul uhlíku v atmosférickém CO<sub>2</sub> je ročně vyměňováno právě mezi atmosférou a suchozemskými bioty.

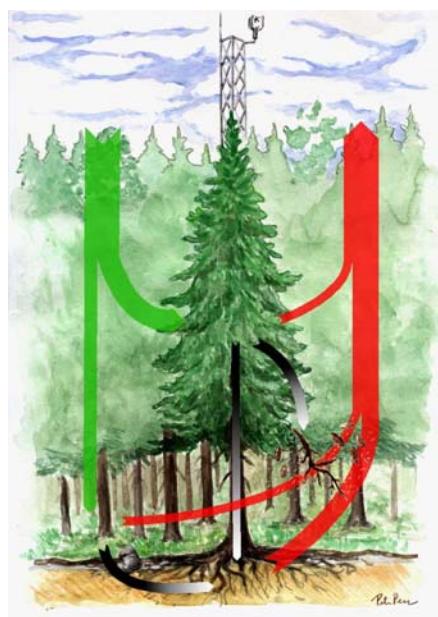
Lesní porosty mají významnou úlohu v globálním cyklu uhlíku v suchozemských ekosystémech. Je to nejen dáno podílem rozlohy lesů na celkové ploše suchozemských ekosystémů, která podle současných odhadů činí asi 4.1 x 10<sup>9</sup> hektarů a množstvím deponovaného uhlíku v lesní vegetaci a půdách, které činí 1146 Pg C, přičemž asi 37 % je fixováno v lesích tropického pásma, ale i dlouhověkostí lesů. Dlouhověkost je příčinou toho, že se v lesích na jistou dobu ukládá značná část uhlíku. Mimo depozit ve stromech je nesmírně významný i depozit uhlíku v lesních půdách. Můžeme se především na lesní ekosystémy, porosty lesních dřevin, oprávněně dívat jako na obrovskou soustavu pump, které dopravují vzdušný uhlík z atmosféry do biomasy, půdy a naopak jej procesy respirace a výdeje z půdy do ovzduší vydávají. Důležitá je ona *rovnováha mezi pumpováním uhlíku do daného typu ekosystému a výdej uhlíku do atmosféry*.

Terestriální globální cyklus uhlíku tvoří toky  $\text{CO}_2$  mezi ekosystémem a atmosférou. Tyto toky přímo odrážejí okamžitou bilanci mezi difúzí  $\text{CO}_2$  do listů při procesu fotosyntézy a difúzí  $\text{CO}_2$  z pletiv a půdy při jeho produkci v důsledku autotrofní a heterotrofní respirace. V této souvislosti hovoříme o čisté ekosystémové výměně uhlíku (**NEE**). V delším časovém měřítku se jedná o bilanci mezi procesy nárůstu množství uhlíku v ekosystému (fotosyntéza, přírůst biomasy, akumulace uhlíku v půdě) a procesy uvolňování uhlíku (autotrofní respirace, mikrobiální dekompozice opadu, oxidace půdního uhlíku, degradace a disturbance), zde hovoříme o čisté produkci ekosystému (**NEP**). **NEE je okamžitou bilancí asimilačních a disimilačních procesů.** V daný okamžik je určité množství vzdušného uhlíku rostlinou absorbováno a současně je určité množství uhlíku v důsledku autotrofní i heterotrofní respirace okamžitě uvolněno. Rychlost příjmu uhlíku při asimilačních procesech je možné vyjádřit jako rychlost hrubé asimilace ekosystému (**P<sub>E</sub>**). Rychlost disimilačních procesů, ale i respirační ztrátu uhlíku v ekosystému vyjadřujeme jako respiraci ekosystému (**R<sub>E</sub>**).

Pro lesní porost můžeme NEE vyjádřit vztahem:

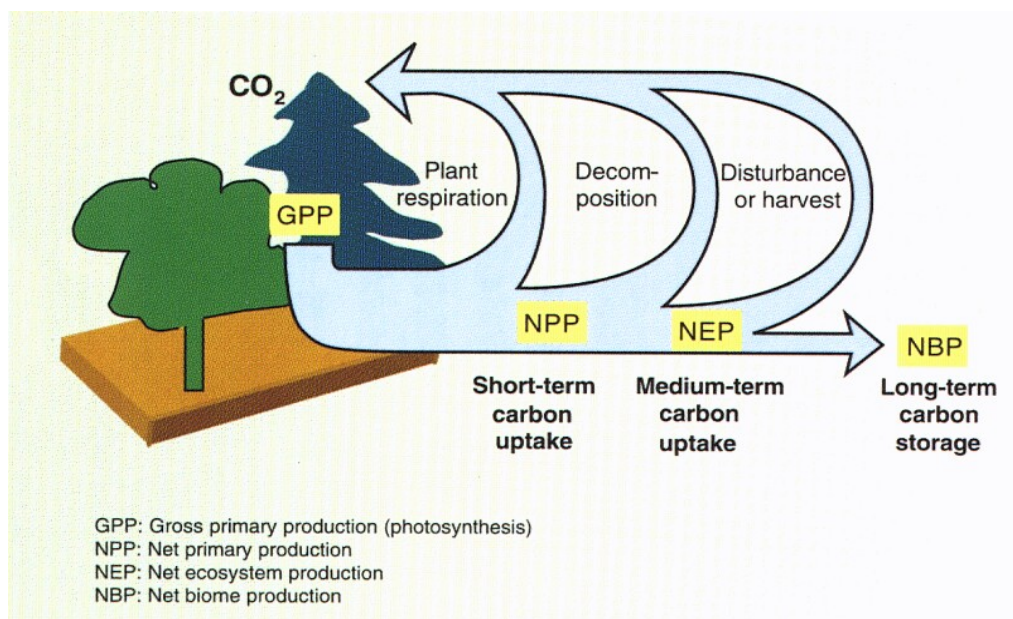
$$\text{NEE} = \text{P}_E + \text{R}_E$$

Při kvantifikaci toků  $\text{CO}_2$  mezi biosférou a atmosférou se tok uhlíku do ekosystému obvykle vyjadřuje zápornou hodnotou. Proto ve výše uvedeném vztahu jsou hodnoty **P<sub>E</sub>** záporné. Respirační ztráty porostu mají opačný vektor toku, jsou vyjadřovány kladnými hodnotami. Z hlediska absolutních hodnot jednotlivých toků je tedy **NEE** vlastně rozdílem **P<sub>E</sub>** a **R<sub>E</sub>**. Hodnoty **NEE** jsou záporné, převládá-li asimilace nad disimilací, uhlík teče do porostu.



Obr.1.: Základní komponenty a bilance toků uhlíku DO (zelená šipka – fotosyntetická fixace) a VEN (červená a šedá šipka – respirace kmenů půdy, dekompozice, zvětvávání) z lesního porostu

Hrubá primární produkce „gross primary production“ (GPP) je tedy měřítkem mohutnosti fotosyntetické asimilace. Odečtením přímých respiračních ztrát, listoví, nefotosyntetizujících částí rostlin získáme hodnotu čisté primární produkce „net primary production“ (NPP). Je-li do ztrát připočtena i respirační ztráta (autotrofní, heterotrofní a výdej z půdy) uhlíku, pak získáváme hodnotu čisté ekosystémové produkce „net ecosystem production“ (NEP). Připočteme-li do ztrát i dlouhodobou disturbance (požáry, těžba dřeva) pak mluvíme o čisté produkci biomu „net biome production“, (NBP)



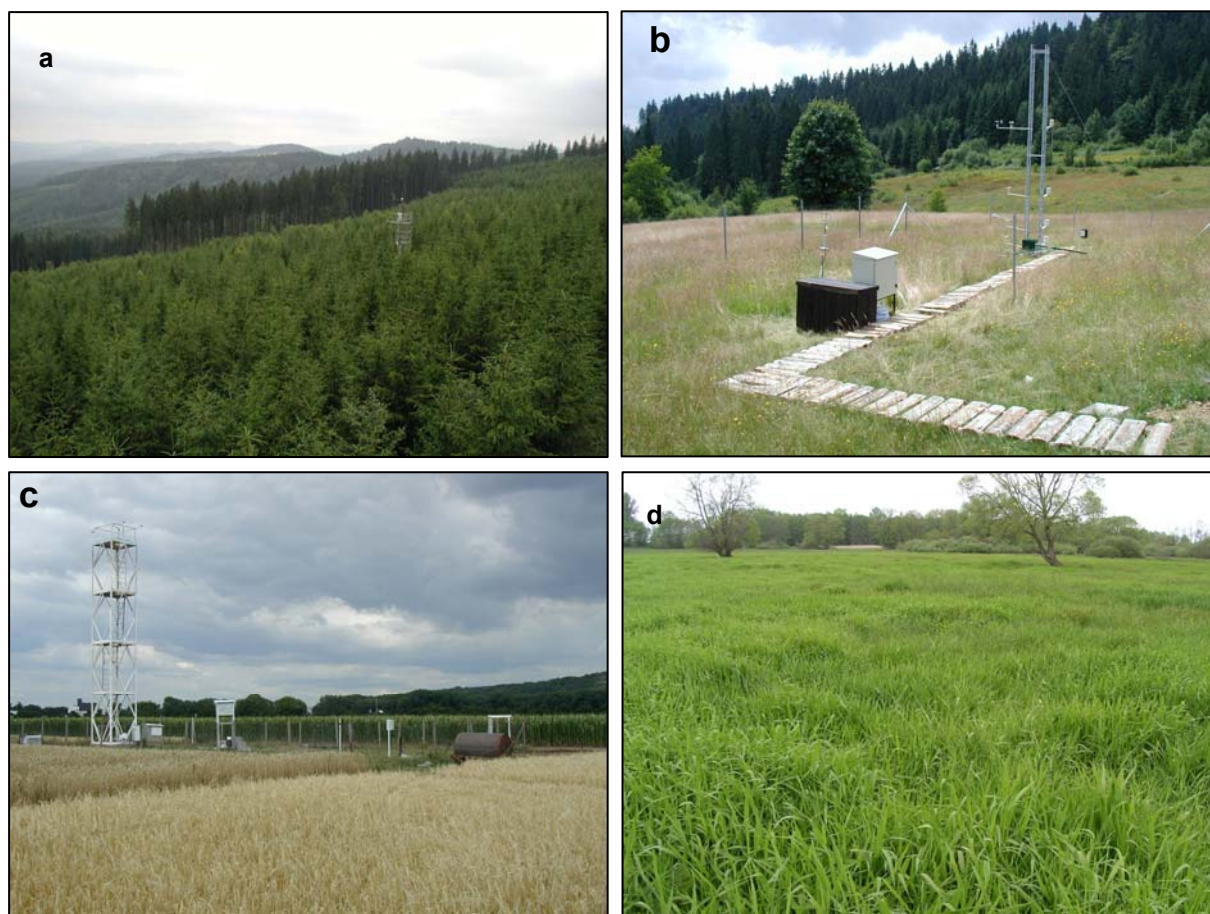
Obr.2.: Jednotlivé složky produkce ekosystému

Nejrozšířenějším způsobem stanovení přímých toků energie a látek ( $\text{CO}_2$ ) mezi porosty a atmosférou je metoda vířivé kovariance, která je založena na měření projevů vzdušných vírů (turbulence). Principem je, že vertikální tok jakékoliv skalární veličiny v ovzduší (např. obsahu  $\text{CO}_2$  nebo  $\text{H}_2\text{O}$ ) je součtem průměrného vertikálního toku a jeho fluktuací. V podstatě se jedná o souběžné měření rychlosti a směru jednotlivých vírů vzduchu a s nimi spojených okamžitých koncentrací  $\text{CO}_2$  a vodní páry. Kovarianční metoda umožňuje dlouhodobá měření turbulentních toků energie a látek mezi porostem a přízemní vrstvou atmosféry, poskytuje kontinuální a okamžité informace o vztazích ekosystémů a jejich prostředí, o jejich reakci na narušení prostředí a také kvantifikují faktory, které způsobují variabilitu ročních toků.. Jedná se o nejmodernější přístup aplikovatelný na celé porosty, umožňuje vyhodnotit data z více zdrojů a velice přesně v denních chodech sledovat výměnu pohybové energie, zjevného a latentního tepla, vodní páry a oxidu uhličitého mezi porostem a přízemní vrstvou atmosféry.

### Čistá produkce ekosystému - NEP

Čistou produkcí ekosystému (NEP – net ecosystem production) se rozumí výsledná bilance mezi hrubou primární produkcí a ztrátami uhlíku v důsledku autotrofní a heterotrofní respirace. S ohledem na vývojovou fázi života ekosystému je smrkový ekosystém relativně mladý s vysokým produkčním potenciálem. (síla růstového sinku, - kompetice mezi jedinci, tvorba korunových těles a korunového porostního zápoje, obsazování půdního prostoru kořeny). Porost produkuje velké množství organické hmoty (Tab. I ) přičemž síla respirace a rozkladu jsou mírněny mikroklimatem pod korunovou vrstvou (nižší teplota, mírnější amplituda oscilací teplot). NEP smrkového ekosystému je po celé růstové období relativně vyrovnaná a celkově, zejména díky délce produkčního období, je mezi sledovanými ekosystémy nejvyšší. Oproti ostatním ekosystémům má les mnohonásobně vyšší objem biomasy, a proto jsou zde vysoké hodnoty autotrofní respirace. V nepříznivých dnech (zataženo, teplá noc) v průběhu celého vegetačního období může být denní bilance uhlíku ztrátová, tzn. výdej uhlíku respirací převáží nad jeho příjmem asimilací.

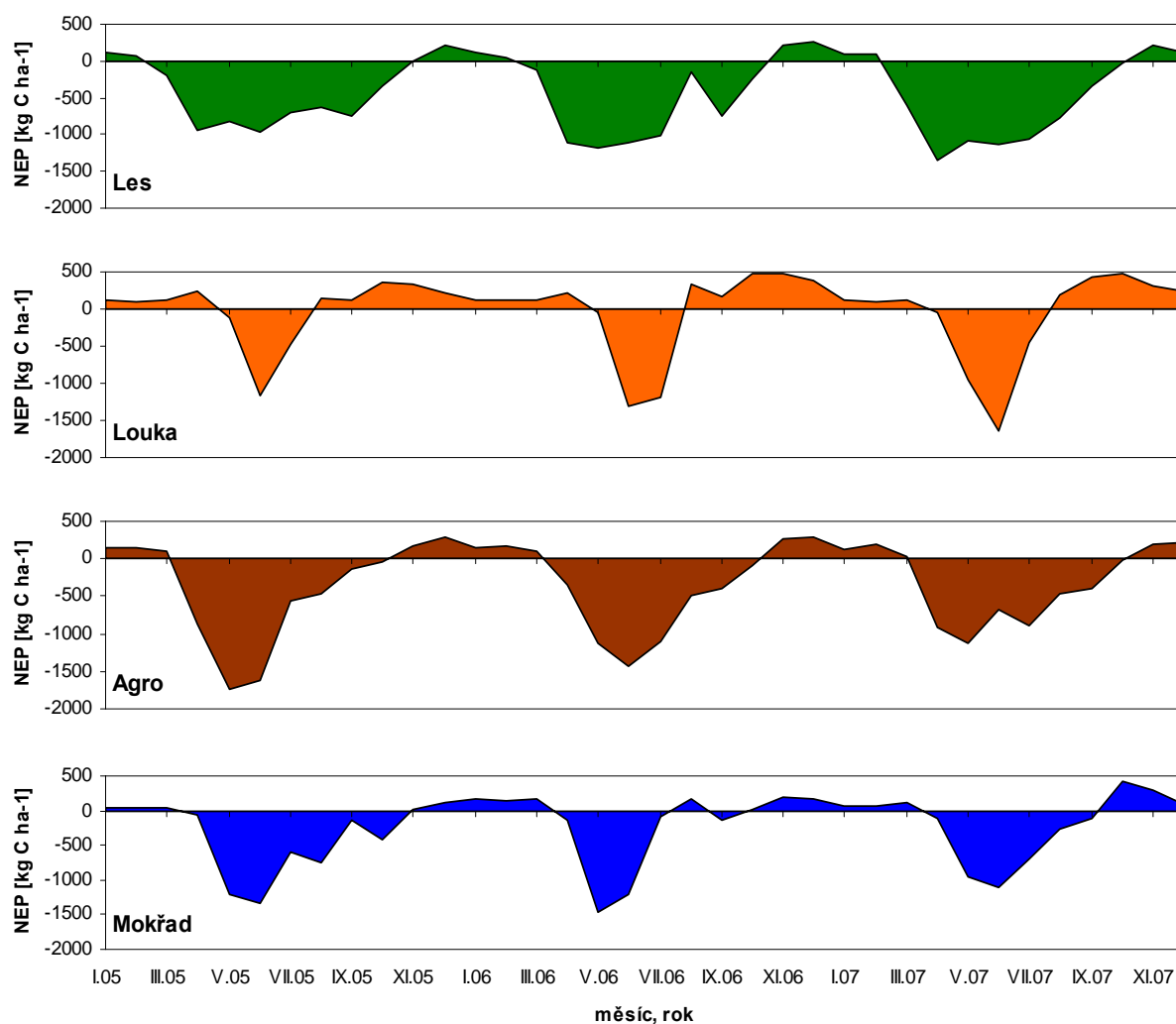




*Obr. 3. a-d: Vybrané typy studovaných ekosystémů: a – horský lesní ekosystém, b – horský travní ekosystém, c – agroekosystém a d – mokřadní ekosystém*

Celková produkční perioda lučního porostu je relativně krátká, respirace převládá na počátku vegetačního období při rozkladu stařiny, dokud nenaroste dostatečné množství asimilačního porostu (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** Tab. I.) V pozdním létě, kdy asimilační orgány stárnou a odumírají, výrazně přispívají k heterotrofní respiraci: Respirace ekosystému začíná převládat nad jeho asimilací. Daný luční porost je vývojově starý a stálý ekosystém, a proto je zde celková bilance asimilace a respirace vyrovnaná. Téměř celý objem vyprodukované organické hmoty se během jednoho roku rozloží. Ekosystém již nijak významně neakumuluje uhlík.

Průběh NEP agroekosystému během růstové sezóny se podobá zjištěnému stavu na louce, celkové respirační ztráty jsou však menší. Stanovené respirační ztráty činí 73 % v agroekosystému ve srovnání s 99% na louce (Tab. I). Sklizeň úrody je specifická a výrazná vlastnost tohoto ekosystému, kdy je vyprodukovaná biomasa – úroda – vyvezena. Proto ztráty heterotrofní respirací jsou výrazně nižší (výrazně snížený objem disponibilního substrátu využitelného pro dekompozici). Uhlík navázaný v biomase je však následně uvolňován během jejího využití v potravním řetězci, při spalování a případném rozkladu, ale již mimo daný ekosystém.



Obr..4.: Průběh čisté ekosystémové produkce (NEP) v letech 2005 - 2007. Jsou uvedeny měsíční hodnoty. Plocha nad osou x znamená tok uhlíku z ekosystému a plocha pod osou x znamená tok uhlíku z atmosféry do ekosystému

Produkce mokřadu je ve srovnání s loukou i agroekosystémem rozložena rovnoměrněji na celou vegetační sezónu (Tab. I). Uvolňování uhlíku aerobní respirací je snižováno nedostatkem kyslíku rozklad vlivem vysoké hladiny podzemní vody. Ztráty uhlíku jsou zde však zvýšeny uvolňováním metanu. Celkové ztráty uhlíku jsou odhadovány na 98 % hrubé primární produkce.

Vzhledem k tomu, že primární produkce je ultimativně spojena s efektivitou fotosyntetické asimilace, přímo svázané na příjem a konverzi energie sluneční radiace, je možné i dané typy ekosystémů porovnat právě s ohledem na jejich efektivnost konverze sluneční energie v procesu tvorby biomasy. K tomu je využíván parametr efektivity využití radiace „radiation use efficiency“ (RUE – g.MJ<sup>-1</sup>), tedy množství suché hmotnosti biomasy vyprodukované na jednotku absorbované energie. sluneční radiace (Tab. I). Výrazným předpokladem pro efektivní utilizaci energie sluneční radiace je adekvátní schopnost sluneční radiaci zachytit systémem asimilačního aparátu. Pro lesní porosty obecně a pro jehličnany zvláště, architektura korunové vrstvy vytváří předpoklady pro velice efektivní zachyt sluneční radiace. To dokládá stanovená hodnota RUE pro smrkový porost. Hodnota RUE u agrosystému je výsledkem záměrné tvorby porostní struktury prostřednictvím agrotechnických opatření.



*Tab. I: Průměrná roční čistá ekosystémová produkce (NEP), hrubá primární produkce (GPP), respirace ekosystému (Reco) a efektivita využití radiace (RUE). Uvedeny jsou průměrné hodnoty za období měření (les 2003-2007, louka, agro a mokřad 2006-2007) a směrodatné odchylky průměru.*

Ekosystém	NEP [tC ha <sup>-1</sup> ]	GEP [tC ha <sup>-1</sup> ]	R eco [tC ha <sup>-1</sup> ]	RUE [gC MJ <sup>-1</sup> ]
Les	-5.1 ±0.47	-18.6 ±1.76	13.5 ±1.41	0.36 ±0.05
Louka	-0.4 ±0.49	-16.1 ±0.91	15.7 ±0.70	0.03 ±0.04
Agro	-4.1 ±0.33	-16.6 ±0.62	12.5 ±0.37	0.21 ±0.03
Mokřad	-2.8 ±1.02	-15.5 ±0.80	12.7 ±0.37	0.18 ±0.07

### **Závislost čisté ekosystémové výměny CO<sub>2</sub> na sluneční radiaci**

Význam množství a typu (přímé a difúzní záření) slunečního záření pro schopnost autotrofního ekosystému je neoddiskutovatelný. Les je prostorově strukturovaný ekosystém a zatímco na horní třetinu korunové vrstvy dopadá za jasných dnů jen přímé záření, do spodních vrstev korunové vrstvy dopadá světlo zejména ve formě difúzního záření. Jehlice z jednotlivých vrstev korun jsou tak adaptovány na přímé a difúzní záření.

Maximální fotosyntetická aktivita lesního porostu byla největší v polojasných dnech. V jasných dnech, kdy několik dnů předtím nepršelo, dochází v odpoledních hodinách k uzavírání průduchů, aby se snížil výdej vody transpirací. Rovněž fotosyntetický aparát je ve dnech s vysokými hodnotami záření brzy saturován. K takovému nasycení nedochází v polojasných dnech, kdy se střídá intenzita ozáření a přímá radiace s difúzním zářením. Fotochemická účinnost při nízkých hodnotách ozáření byla stejně jako na louce největší v zatažených dnech. Porost tedy dokáže rovněž využít nízké hodnoty radiace lépe ve formě difúzního záření.

Maximální fotosyntetická aktivita lučního porostu byla největší v jasných dnech. Naproti tomu fotochemická účinnost při nízkých hodnotách ozáření byla největší v zatažených dnech. Porost tedy dokáže využít nízké hodnoty radiace lépe ve formě difúzního záření.

U agroekosystému, kde architektura korun stromů, významné součástí lesního ekosystému, je opět nejlépe využívána nízká dopadající energie v zataženém dni, nejméně efektivně využívá ekosystém dopadající energie za jasného dne.

Maximální fotosyntetická aktivita mokřadu byla u všech tří typů ozáření stejná, porost nebyl limitován dostupností vody. V polojasných dnech porost využívá malé hodnoty ozáření nejlépe. Rozdíl je ale především v respiraci – v jasných teplých dnech je podíl respirace vyšší než v chladných zatažených dnech.

*Tab. III: Průměrná čistá produkce jednotlivých ekosystémů za jasných, zatažených a polojasných dnů v nejproduktivnější fázi růstu (červen, červenec). V závorkách je procentuální výskyt jednotlivých typů dnů za sledované období (les, louka: 2003-2007, mokřad, agro: 2005-2007).*

Ekosystém	jasno NEP [g C m-2 den-1]	zataženo NEP [g C m-2 den-1]	polojasno NEP [g C m-2 den-1]
Les	17.23 (20%)	-0.21 (37%)	17.82 (43%)
Louka	12.56 (20%)	7.28 (37%)	17.25 (43%)
Agro	13.73 (27%)	13.86 (27%)	14.67 (46%)
Mokřad	12.50 (34%)	2.99 (26%)	15.16 (40%)

# **MOKŘADY – JEJICH ÚLOHA A FUNKCE V ENERGETICKÉ BILANCI KRAJINY**

**Jan Pokorný**

## **1. Charakteristika mokřadů**

Termínu mokřady se používá od 60tých let minulého století jako českého ekvivalentu anglického slova „wetlands„. Němčina zavedla termín „Feuchtgebiete„, francouzština „terrains humide„, ruština „pereovlaženyje zemli„, slovenština „mokriade„.

Mokřady mohou být definovány různými způsoby (viz např. Mitsch et Gosselink 1993). Všechny definice obsahují tři základní rysy mokřadů:

- a) vyznačují se přítomností vody sahající buď k povrchu půdy nebo alespoň do kořenové zóny
- b) mokřadní půda má zvláštní vlastnosti a liší se od ostatních půd (např. nízkým obsahem kyslíku)
- c) v mokřadech se vyvíjí vegetace adaptovaná k zaplavení a nejsou v nich přítomny rostliny, které nesnášejí zaplavení.

V podmínkách naší republiky řadíme k mokřadům:

- rybníky a jejich litorály (břehová pásma)
- mokré louky a prameniště
- říční nivy včetně lužních lesů
- rašeliniště
- podmáčené smrčiny
- umělé mokřady (kořenové čistírny odpadních vod)

Mokřady jsou domovem mnoha druhů rostlin a živočichů, zvyšují podstatně biodiverzitu krajiny. V České republice probíhá dlouhodobý projekt inventarizace mokřadů, tento projekt byl zahájen již v roce 1987 v rámci bilancování významných krajinných prvků. V roce 1990 přistoupilo Československo k Ramsarské konvenci a zavázalo se tak k ochraně a výzkumu mezinárodně významných mokřadů. Přehled vodních a mokřadních biotopů České republiky byl postupně zpracováván a uveřejněn v několika publikacích (Hudec et al. 1993, 1995, Chytil a kol., 1999).

Tato kapitola se zabývá zejména funkcemi mokřadů v krajině. Soustředíme se na obecné funkce mokřadů v krajině – zejména na toky energie, vody a látek a na souvislosti vyplývající z těchto funkcí včetně souvislostí s vodním hospodářstvím a zemědělskou činností. V závěru je prezentován holistický přístup ke krajině a definována kriteria setrvalého hospodaření v krajině vycházející z toků látek, vody a energie. Poukazujeme též na nový aspekt praktického využití mokřadů – vázání oxidu uhličitého v biomase, protože základní charakteristikou mokřadů je hromadění organických látek v zaplavené neprovzdušněné půdě.

## **2. Hlavní typy mokřadů na území ČR**

### ***Rašeliniště***

Na území České republiky rašeliniště v širokém smyslu slova zahrnují vrchoviště (neboli ombrotrofní rašeliniště), přechodová rašeliniště a slatiniště. Obecně jsou charakterizována dostatkem vody a velmi pomalou rychlostí rozkladu (dekompozice) organických látek, což jsou zejména zbytky rostlin. Vrchoviště jsou na rozdíl dalších typů rašelinišť sycena vodou

dešťovou, takže jsou chudá na minerální látky. Přechodová rašeliniště a minerotrofní rašeliniště (slatiniště) jsou napájena vodou, která přišla do styku s minerálním podkladem, a proto obsahuje rozpuštěné minerální látky včetně vápníku. V soustavě Natura 2000 tvoří otevřené nelesní rašelinné biotopy několik typů přírodních stanovišť. Jsou to především prioritní habitaty: aktivní vrchoviště (\*7110), vápnité slatiny (tzv. černavy, \*7210) a pěnovecová prameniště (\*7220), a dále degradovaná vrchoviště (7120), přechodová rašeliniště (7140), deprese s hrotosemenkou bílou (7150) a vápnité slatiny (7230). Plošně mají význam prakticky jen vrchoviště (ca 1400 ha) a přechodová rašeliniště (ca 5000 ha). Z lesních rašelinišť jsou nejcennější plochy zahrnuté do prioritního habitatu \*91D0 Rašelinné lesy, který byl mapován na ploše ca 18 tis. ha (Guth & Kučera 2006).

Na vrchovištích dominují zejména: vřesovcovité, šachorovité a různé druhy rašeliničů. Tyto druhy rostlin tvoří podstatnou část hromadící se rašeliny. Slatiniště bývají na druhy bohatší, zejména je-li přístupný vápník, pokud vápník chybí, vyskytují se druhy podobné jako na vrchovištích (vachta trojlistá, suchopýr, zábělník bahenní).

Významné jsou druhy ptáků a hmyzu, zejména vážek a motýlů vázaných pouze na rašeliniště. Význam rašelinišť. Na 90% rašelinišť se nachází v mírném a studeném pásmu severní polokoule. Rašeliniště obsahují cca čtvrtinu celkových světových zásob půdního uhlíku a 44-71% světových zásob uhlíku v ekosystémech. Vzhledem k zásobě uhlíku a možnosti uhlík akumulovat nebo uvolňovat mohou rašeliniště významně ovlivňovat klima svým vlivem na světovou bilanci skleníkových plynů. Podstatná je též hydrologická funkce rašelinišť – zadržují vodu v humolitu a tolerují zatopení. Tvoří kostru regionálního cyklu vody a tímto způsobem přispívají také ovlivňují klima (zmírňování teplotních extrémů).

V České republice se odhaduje celková plocha rašelinišť na ca 27000 ha (Havelka, Březina 1996), což představuje přibližně 0,35% celkové plochy státu. Toto číslo nezahrnuje drobná rašeliniště o ploše menší než 0,5 ha a síle humolitu menší než 0,5 m, která ovšem často mizí v odvodněné zemědělské krajině.

Rašeliniště na území našeho státu jsou typická svým ostrovním charakterem a většinou zaujímají plochu menší než 10 ha, pouze 50 evidovaných rašelinišť zaujímá plochu větší než 100 ha. Téměř polovina plochy rašelinišť se nachází v jižních Čechách (12500 ha). Většina ombrotrofních rašelinišť se zachovala v oblastech Šumavy, Krkonoš, Krušných a Jizerských hor, Jeseníků a Slavkovského lesa a na Českomoravské vysočině. Slatiny v úrodných nížinách Polabí a Českolipska a niv moravských řek byly většinou přeměněny na zemědělskou půdu. Některá rašeliniště v Podkrušnohoří ustoupila těžbě uhlí, jiná byla zaplavena vodou přehrad (Lipno, Rozkoš).

Ochrana rašelinišť v České republice. Všechna rašeliniště v ČR jsou chráněna na základě Zákona 114/1992 jako Národní přírodní rezervace, Národní přírodní památky, Přírodní rezervace, Přírodní památky nebo jako velkoplošná chráněná území – Národní parky, Chráněné krajinné oblasti. Navíc jsou rašeliniště považována za významné krajinné prvky a jsou registrována místními odbory životního prostředí. Navíc přistupuje ochrana z titulu Natura 2000. Mezinárodně významná rašeliniště jsou též chráněna z titulu Ramsarské konvence – Šumavská rašeliniště (3371ha), Krkonošská rašeliniště (230ha), Třeboňská rašeliniště (1100ha).

### ***Louky a slatiniště s travinnou mokřadní vegetací***

Mokré a vlhké louky jsou pravidelně sečené nebo pasené plochy od nížin do podhůří na sezónně zaplavovaných nebo vlhkých půdách v nivách potoků a řek a v okolí mělkých vodních nádrží (rybníků). Plošně rozsáhlejší porosty jsou vázány na oblasti s extenzívním zemědělským obhospodařováním. Druhové složení je závislé na četnosti seči a obsahu živin v půdě. Tím je dána i výška a zápoj a tím i produkce porostů. Vesměs jde tedy o plochy, jejichž charakter je vytvořen činností člověka a pro jeho zachování je tato činnost nutná. V soustavě Natura 2000 náleží louky k několika typům přírodních stanovišť. Plošně nejrozsáhlejší louky

jsou mezofilní extenzivní louky (6510, ca 204 tis. ha), horské louky a pastviny (6520, ca 18 tis. ha), vlhkomilné vysokobylinné nivy a lemy (6430, ca 16,5 tis. ha), a bezkolencové louky (6410, ca 8 tis. ha) (Guth & Kučera 2006). Vlhké pcháčové louky (ca 45 tis. ha) nejsou v soustavě Natura 2000 zahrnuty jako samostatně vymezený habitat (viz Kučera [ed.], 2005, <http://www.usbe.cas.cz/cervenakniha/>). Louky s vysokou hladinou podzemní vody využívané jako pastviny i louky sečené zaujímaly dříve poměrně velké plochy. Tyto podmáčené louky, které nacházíme na starých mapách stabilního katastru (polovina 19. století) sloužily jako obecní pastviny (Gemeinde, občiny). Na takových loukách lze ukázat postupný proces odvodňování, od mělkých stružek, přes stružky hlubší, založení vodoteče až k jejímu zatrubnění. Je to proces, při kterém ubývá vody v krajině, mizí prameniště a klesá hladina podzemní vody.

### **Rákosiny**

Rákosiny v širším slova smyslu jsou porosty s dominantními helofyty, tj. vzpřímenými (emerzními) vodními rostlinami, jejichž kořeny snášejí dlouhodobé až trvalé zaplavení půdy, avšak fotosyntetická fixace uhlíku probíhá nad hladinou vody, čili v atmosféře podobně jako u suchozemských rostlin. K rákosinám patří např. porosty s dominantním rákosem obecným, orobincem širolistým, orobince úzkolistým, skřípincem jezerním. Tyto porosty se vyvíjejí obvykle v pobřežní zóně (litorálu) stojatých a mírně tekoucích vod (biotop M1 v systému Natura 2000). Velkoplošné rákosiny, které slouží jako hnízdiště vodního ptactva, bývají chráněny národní legislativou, popř. jako mokřady mezinárodního významu v rámci Ramsarské konvence. Rákosiny podle svého druhového složení osidlují oligotrofní (chudé na živiny) až eutrofní (bohaté na živiny) mělké vody. Porosty s dominantním rákosem obecným jsou nalézány v celé škále trofických podmínek od oligotrofních až k eutrofním.

V oligotrofních podmínkách tvoří řidší a méně produktivní porosty, které však snášejí zatopení až 2 m vysokým vodním sloupcem. Se zvyšující se úživností biotopu klesá výška vodního sloupce, kterou je rákos schopen tolerovat. Rákosiny nejsou vyjma porostů mařice pilovité (\*7210) v soustavě Natura 2000 zastoupeny v typech přírodních stanovišť (tzv. habitatů) vůbec. Přesto se jedná o rozsáhlé komplexy přirozených stanovišť zasluhující ochranu (ta je realizována zpravidla přes ochranu vodních ptáků, tedy přes tzv. ptačí směrnici). Jejich rozloha je nikoliv nevýznamná, biotopy rákosin (M1.1) mají rozlohu ca 10,7 tis. ha, říčních rákosin (M1.4) ca 1,6 tis. ha a porosty vysokých ostřic (M1.7) mají rozlohu ca 9 tis. ha.

### **Rybníky**

Rybníční nádrže jsou v České republice významným prvkem hydrologického systému, nejčastějším typem vodních nádrží a v některých oblastech tvoří unikátní rybníční soustavy, které mají značný význam pro hydrologický režim. Rybníky v šestnáctém století zaujímaly na území našeho státu plochu cca 180 000 ha, jejich současná rozloha činí 52 000 ha a počet dosahuje téměř 24 000. Rybníky jsou účelové vodní stavby, které sloužily nejenom k chovu ryb ale i jako součást opevnění, zdroj vody pro hamry a mlýny nebo pro zpracování rudy. Obhospodařování rybníků bylo a je nezbytnou podmínkou jejich existence. Při dnešním vysokém obsahu živin v povrchových vodách a vysoké půdní erozi by se neobhospodařované rybníky rychle zazemnily. V rybníku s vhodně volenou rybí obsádkou je část živin využívána v potravním řetězci k produkci ryb. Ryby potom přímo mechanicky a nepřímo ovlivněním potravního řetězce brání zazemňování rybníka. Zvýšené zatěžování rybníčního ekosystému organickými látkami z vnějšího prostředí, zvyšování eutrofie (stoupající obsah živin) a primární produkce způsobuje nižší účinnost produkčních procesů a zhoršuje životní podmínky ve vodě. Rybníky představují velmi důležitý prvek v krajině. V některých oblastech rybníční soustavy významně ovlivňují hydrologickou a ekologickou situaci. Rybníční soustavy na

území naší republiky existují již přes polovinu tisíciletí a zvláště v dnešní době, kdy je krajina ohrožena vysycháním, mohou sloužit jako unikátní vzor setrvalého hospodaření v krajině.

Každý rybník je významným krajinným prvkem a některé rybníky byly vyhlášeny Národními rezervacemi i mokřady mezinárodního významu (např. Třeboňské rybníky, Lednické rybníky, rybníky Břehyně a Novozámecký).

### ***Lužní lesy, včetně olšin a vrbín***

Lužní lesy představují společenstva tzv. tvrdého a měkkého luhu a mokřadních olšin. Z hlediska plošného zastoupení lesů v České republice tvoří pouze malou část. HS 19 - lužní lesy představuje výměru 33,6 tis. ha, což tvoří 1,5% lesů ČR (Vyskot a kol, 2003). Dle lesnické typologie však vodou obohacené edafické kategorie představují podíl 5,35%. 50% lužních lesů se nachází v přírodní lesní oblasti (PLO 35) - Jihomoravské úvaly. Nejrozsáhlejší komplex tvoří lesy na soutoku Dyje s Moravou v okolí Lanžhota.

Lužní lesy a křoviny jsou existenčně vázány na půdy říčních a potočních niv (lužní půdy, aluvialní půdy), které jsou pravidelně zaplavovány povodňovou vodou, z níž se usazují mladé kvartérní lužní půdy (Míchal, Petříček a kol., 1999).

Dle katalogu biotopů (Chytrý, Kučera, Kočí (eds.), 2001) je rozšíření tvrdého luhu nížinných řek rozšířeno v dolním Poohří, dolním Povltaví, nivě Labe od Hradce Králové po okolí Mělníka, úvaly Moravy, dolní Dyje, dolní Jihlavy a Svratky pod Brnem, Poodří a v Ostravské pánvi. Měkké luhy nížinných řek jsou rozšířeny pouze fragmentálně v nížinných polohách České křídové tabule, moravských úvalů a Ostravské pánve. Mokřadní olšiny. Roztroušeně po celém území ČR jsou rozšířeny rovněž mokřadní olšiny, zvláště v jihočeských pánvích, na Dokesku, Plzeňsku a Křivoklátsku, dále v severovýchodních Čechách a v úvalech moravských řek

- 1) Mokřadní a pobřežní křoviny a lesy jsou primárními ekosystémy podmáčených a zaplavovaných stanovišť od nížin do horských poloh. Charakteristickým rysem všech společenstev je jejich ovlivnění podzemní nebo záplavovou vodou. Při utváření fyziotypu má tedy vodní režim půdy a záplavy rozhodující význam. Fyziotyp je rozdělen do pěti podtypů (Míchal, Petříček a kol., 1999):
- 2) Mokřadní (bažinné) křoviny - porosty s dominantní vrbou nebo krušinou. Bylinné patro je tvořeno rákosinami a vysokými ostřicemi. Mokřadní vrbiny jsou rozšířeny v plochých terénních depresích (v plochých nivách, odlesněných pramenných pánvích, obvodech rybníků), osidlují glejové půdy rašelinné substráty s víceméně stagnující, blízko povrchu ležící nebo slabě jej překrývající podzemní vodou, od nížin do horských poloh.
- 3) Mokřadní (bažinné) olšiny - s dominantní olší lepkavou. Společenstva jsou vázána na terénní deprese, trvale zamokřené víceméně stagnující podzemní vodou, dosahující úrovněpůdního povrchu nebo jej přeplavující. Osidlují mokré až zbahnělé půdy, slatinné půdy nebo slatiny různého stupně trofie od nížin do submontánního stupně. Jedná se o lužní lesy vázané na pravidelně nebo občas zaplavované polohy potočních nebo říčních aluvií.
- 4) Pobřežní (lužní) křoviny - v nižších polohách (v planárním a kolinním stupni) porosty s dominantní vrbou trojmužnou s příměsí vrby křehké. Charakteristicky se vyskytují na březích toků, v polohách vystavovaných vlivu častých a silných záplav. Osidlují pedologicky slabě vyvinuté půdy Fyziognomii porostů v montánním stupni určuje vrba červenice. Zarůstají břehy (pod)horských toků.
- 5) Pobřežní (údolní) olšiny v lužních lesích údolních poloh a okolí pramenišť od kolinních až po montánní polohy. Hlavními dřevinami jsou olše lepkavá (*Alnus glutinosa*) a jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*), ve vyšších polohách olše šedá (*Alnus incana*),

zřídka i buk lesní (*Fagus sylvatica*) a autochotnní smrk ztepilý (*Picea abies*). Společenstva jsou vázána na různé typy glejových nebo lužních půd od kolinního do montánního stupně.

Pobřežní (úvalové) luhy : první skupinu představují vrbo-topolové měkké luhy. Skupina je reprezentována společenstvy stromovitých vrb a topolů osídlujících nejnižší polohy údolních niv velkých řek. Společenstva druhé skupiny - tvrdé luhy jsou tvořena dominantním dubem letním, jasanem ztepilým, v jihomoravském termofytiku j. úzkolistým, dříve též hojným jilmem habrolistým a vazem. Vrbo-topolové luhy jsou vázány na nejnižší, často dlouhodobě-přeplovované polohy úvalových niv s výrazně kolísající hladinou podzemní vody během roku. Úvalové dubové lužní lesy osídlují hluboké, vývojově pokročilejší lužní a glejové půdy v širokých nivách úvalů a plochých pánvích v polohách většinou pod 220 m.n.m. Lužní lesy a olšiny jsou velmi významným způsobem zastoupeny v soustavě Natura 2000. Jsou zahrnuty do prioritního přírodního biotopu \*91E0, který představuje tzv. měkké luhy s převažujícími dřevinami olší, jasanem a topoly (biotopy L2.1, L2.2 a L2.4, celkem ca 28 tis. ha), a dále do habitatu 91F0 zahrnujícího pralesovité tvrdé luhy s duby a jilmy (L2.3A, ca 9,5 tis. ha). Kromě těchto kvalitních porostů byly mapovány plošně velmi významné biotopy degradovaných olšin L2.2B na ploše dalších ca 50 tis. ha, degradované tvrdé luhy (L2.3B, 18,5 tis. ha), dalších ca 10 tis. ha zaujímají mokřadní vrbiny a olšiny (biotopy K1 a L1) a 5,5 tis. ha pobřežní vrbiny (biotop K2.1) (viz Kučera [ed.], 2005. <http://www.usbe.cas.cz/cervenakniha/>).

### **Říční nivy: mozaika mokřadních ekosystémů**

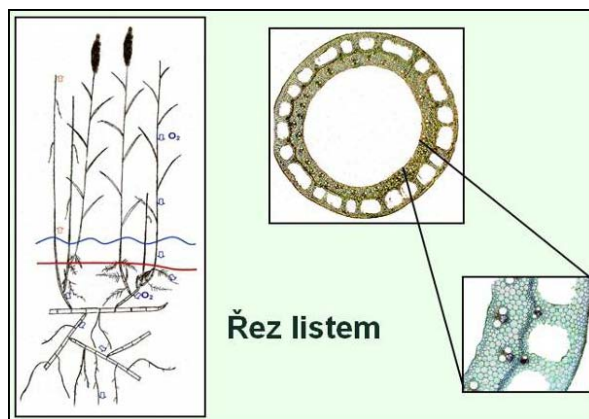
Říční niva je ploché území na dně říčního údolí (v ploché krajině je vymezena říčními terasami) formované tokem řeky a pravidelnými záplavami. Pro vymezení nivy není podstatné, zda-li byl její hydrologický režim zachován a zdali se zachovaly ekosystémy typické pro její přirozený stav.

Z hlediska ekologického je říční niva ekosystémovým komplexem, zahrnujícími v našich podmínkách všechny typy mokřadů, vodní ekosystémy - vlastní tok řeky a stojaté aluviální vody, jako jsou říční ramena a tůňe -a terestrické ekosystémy, jako jsou lužní lesy a travní ekosystémy. V důsledku masivního odvodnění se dnes můžeme v nivách středních a dolních toků setkat i s ornou půdou a na ní vázanými agroekosystémy.

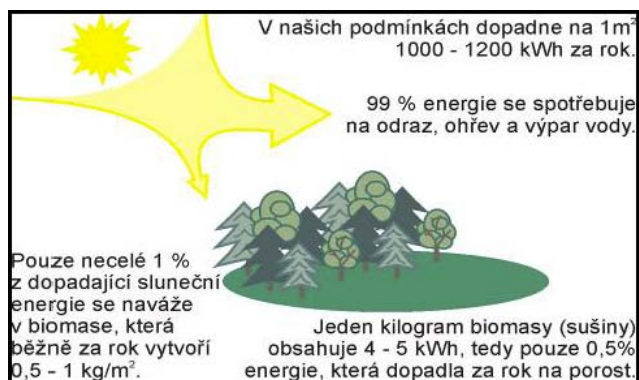
Říční niva plní či může plnit (v závislosti na míře transformace) řadu ekosystémových funkcí v krajině. Kromě produkční funkce je to zejména retence vody v krajině, ochrana biodiversity, retence živin a sedimentů a fixace uhlíku.

Z hlediska plošného významu jsou nivy zdaleka nejrozsáhlejšími mokřady v ČR a to i přesto, že většina původních mokřadů z niv v důsledku odvodnění zmizela

*Obr. 1 -Mokřadní rostliny přivádějí vzduch ke kořenům pomocí vzdušného pletiva*



Obr. 2 - Roční bilance energie



Solární konstanta a množství sluneční energie přicházející na povrch Země.

Na hranici zemské atmosféry přichází dlouhodobě poměrně stálé množství sluneční energie, které se v průběhu roku mění podle polohy na eliptické dráze Země kolem Slunce a nabývá hodnot: 1351 W.m<sup>-2</sup> až 1431 W.m<sup>-2</sup>, dlouhodobě je toto rozmezí hodnot poměrně stálé a kolísá v rozmezí několika W.m<sup>-2</sup>.

Na zemský povrch, tedy na střechy našich domů, lesy, pole atd., na každý metr čtverečný přichází při jasné obloze až 1000Wm<sup>-2</sup>. Část sluneční energie se zachycuje v atmosféře. Při husté oblačnosti přichází na zemský povrch jen malý podíl sluneční energie – několik desítek W.m<sup>-2</sup>, protože se převážná část slunečního záření zachytí v mracích. Za jeden slunečný den ve vegetační sezóně (od dubna do září) přichází na m<sup>2</sup> 6-8kWh. V našem mírném pásmu přichází za rok na 1m<sup>2</sup> přibližně 1100kWh. V subtropích a tropech je tato hodnota až dvojnásobná.

Na hranice atmosféry i na povrch Země přichází vysoké množství sluneční energie. Tato energie ohřívá povrch Země o více než 280 o. Bez příkonu sluneční energie by teplota Země klesla na několik stupňů Kelvina. Sluneční záření udržuje atmosféru v plynném stavu, udržuje vodu oceánů v tekutém stavu, je zdrojem energie pro výpar vody a její koloběh. Díky slunečnímu záření se vytvářejí tepelné rozdíly, rozdíly tlaků vzduchu, které se potom projevují jako vítr, vichřice a přívalové srážky.

Na povrch zemské atmosféry přichází na 180 000TW sluneční energie. Jenom asi 10TW energie využívá lidstvo přímo v ekonomice jako uhlí, naftu, zemní plyn, další paliva, jadernou energii, potraviny.

V následujícím textu stručně vysvětlíme, jak člověk svým hospodařením s vodou a vegetací ovlivňuje distribuci sluneční energie.

### **Přeměny sluneční energie v mokřadech evapotranspirací a fotosyntézou**

Dále se soustředíme na dva hlavní procesy přeměny sluneční energie v porostech – na fotosyntézu a evapotranspiraci. Fotosyntézou se budeme zabývat na úrovni primární produkce biomasy, tedy na úrovni přírůstků rostlinné hmoty, která je tvořena zejména složitými cukry (celulóza).

Evapotranspirací se rozumí výpar vody z porostů a to jak výpar z půdy (evaporace), tak výdej vody rostlinami (transpirace).

Množství sluneční energie spotřebované na fotosyntézu a evapotranspiraci v průběhu jednoho dne lze odhadnout z množství vytvořené biomasy a množství vody vypařené porostem. Denní časové průběhy energetické spotřeby se ovšem musí měřit náročnou přístrojovou technikou.



Odhad množství sluneční energie spotřebované na evapotranspiraci (výpar vody porostem) za den.

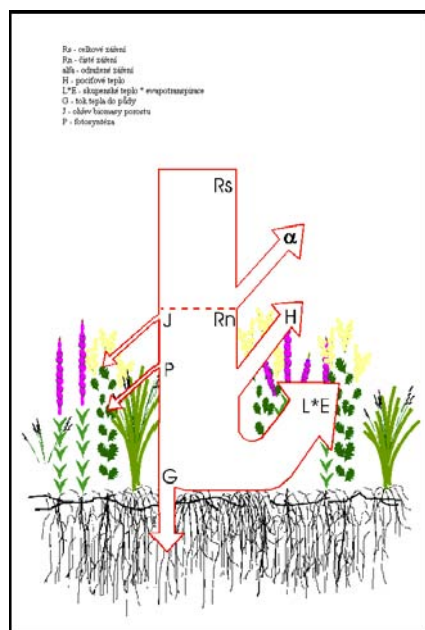
Z 1 m<sup>2</sup> porostu dobře zásobeného vodou se za slunný den se vypaří několik litrů vody. Skupenské teplo vody je 2,5MJ/l (tedy 0,7kWh/l). Na výpar například 4 litrů vody se tedy spotřebuje 4 x 0,7kWh = 2,8kWh sluneční energie. Evapotranspirace představuje nejmohutnější tok energie v krajině, pokud má krajina dostatek vody a vegetace. Pokud by se 4 litry vody vypařovaly rovnoměrně 12 hodin představoval by tok energie na výpar 230W. Evapotranspirace je ovšem nanejvýš dynamický proces reagující bezprostředně na množství sluneční energie a na vlhkost vzduchu. Rychlost evapotranspirace je ovládána průduchy, jejichž hustota je přibližně 50 – 100 mm<sup>2</sup>. Každý průduch můžeme přirovnat k ventilu reagujícím na vlhkost vzduchu a na množství vody v rostlině. List rostliny je tedy technologicky nedostižným zařízením.

Sluneční energie spotřebovávaná na výpar vody se neprojevuje zvyšováním teploty, energie se uplatňuje v kinetickém pohybu molekul, uplatňuje se ve změně skupenství kapalného na skupenství plynné. Proto se tato energie nazývá skupenské teplo (latentní teplo výparu). Skupenské teplo výparu se uvolní při kondenzaci vodní páry zpět na vodu.

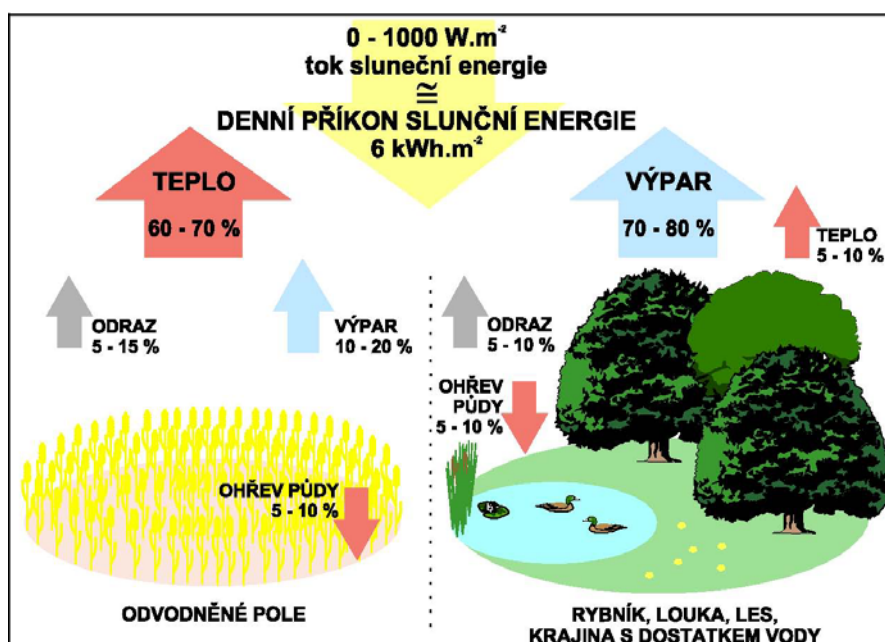
Pokud není dostatek vody, sluneční energie se nespotebovává na výpar ale přeměňuje se přímo v teplo, které se projevuje zvyšováním teploty. Proto se toto teplo nazývá zjevné nebo pocitové (sensible heat).

Na obrázku č. 3 je schéma hlavních energetických toků v porostech. Celkové sluneční záření ( $R_s$ ) po dopadu na povrch porostu se částečně odráží (odraz, reflexe). Poměr mezi zářením odraženým a celkovým dopadajícím se nazývá albedo. Záření, které se dostává do porostu (celkové – odražené) se nazývá čisté záření (čistá radiace). Čisté záření ( $R_n$ ) se v porostech dělí na tři hlavní toky: teplo výparu ( $L*E$ ), teplo zjevné ( $H$ ) a tok tepla do půdy ( $G$ ). V bilanci celkového slunečního záření je záření spotřebovávané fotosyntézou relativně velmi malé, v rozsahu nanejvýš 1-2%. Porost vyzařuje též dlouhovlnné (tepelné) záření. Z tohoto schématu se vychází při stanovení evapotranspirace metodou radiální bilance pomocí Bowenova poměru.

Obr. 3 - Distribuce sluneční energie v porostech



Obr.4 - Disipace sluneční energie na odvodněné ploše a v krajině s trvalou vegetací dostatečně zásobené vodou.



Na odvodněných plochách se většina sluneční energie mění v teplo (pocitové teplo) zatímco v porostech dobře zásobených vodou se sluneční záření využívá převážně na výpar vody (skupenské teplo vody). Schematicky znázorněno pro jeden čtverečný metr.

Na jeden metr čtverečný povrchu terénu, zastavěné plochy atp. dopadne v mírném pásmu cca 1100 kWh sluneční energie za jeden rok. V jediném letním dnu dopadne na jeden metr čtverečný 5 - 6 kWh sluneční energie. Pokud tato energie dopadá na místa nasycená vodou, spotřebovává se na výpar a tím se rovnoměrně roznáší (disipuje). Díky skupenskému teplu vody se vyrovnávají rozdíly v teplotách - vodní pára se totiž sráží na chladných místech, uvolňuje se skupenské teplo vody a okolí se ohřívá. Rozdíl mezi disipací energie na odvodněné ploše a na vegetaci dobře zásobené vodou je znázorněn na obrázku (Obr. č. 4).

### **Odhad denní fotosyntetické produkce a měření rychlosti fotosyntézy**

Mokřadní porosty dobře zásobené živinami mají vysokou primární produkci – vytvářejí vysoké množství biomasy. Mokřady patří k nejproduktivnějším biotopům, protože jejich produkce není omezoována nedostatkem vody. Za vegetační sezónu se v mokřadních porostech dobře zásobených živinami vyprodukuje asi 1kg sušiny. Sušina se stanovuje z čerstvé rostlinné biomasy vysoušením do konstantní váhy při teplotě cca 95 Co. 1 kg sušiny obsahuje přibližně 18 MJ energie (5kWh). Za jediný slunný den se vytvoří v mokřadních porostech až 10g sušiny, toto množství sušiny obsahuje cca 180kJ (50Wh). Fotosyntetický proces v mokřadní vegetaci tedy přeměňuje v průběhu dne sluneční záření na cukry a rostlinnou biomasu průměrnou intenzitou až  $4 \text{ W.m}^{-2}$ .

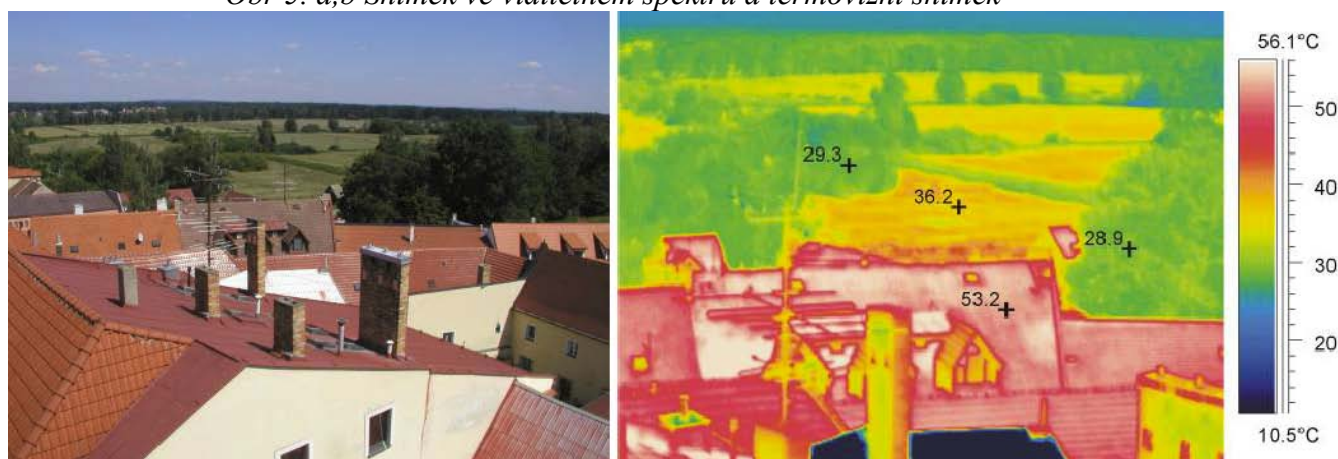
Fotosyntézou se přeměňuje sluneční energie do rostlinné biomasy poměrně nízkou intenzitou ve srovnání s intenzitou evapotranspirace. Přeměna sluneční energie evapotranspirací (výparem vody) je vysoce dynamický proces jehož rychlost se mění podle intenzity slunečního záření, podle vlhkosti vzduchu a nasycení rostlinných pletiv vodou. Obrat vody (koloběh vody) je v řádu dnů nebo týdnů, zatímco obrat biomasy je v řádu měsíců a roků. V případě rašelinišť je obrat biomasy (produkce-rozklad) v řádu i tisíců let. Rychlost fotosyntézy jednotlivých rostlin se měří náročnými přístroji, které měří rychlost příjmu oxidu uhličitého. U ponořených rostlin se rychlost fotosyntézy měří většinou jako rychlost výdeje kyslíku.

## Distribuce teplot v krajině

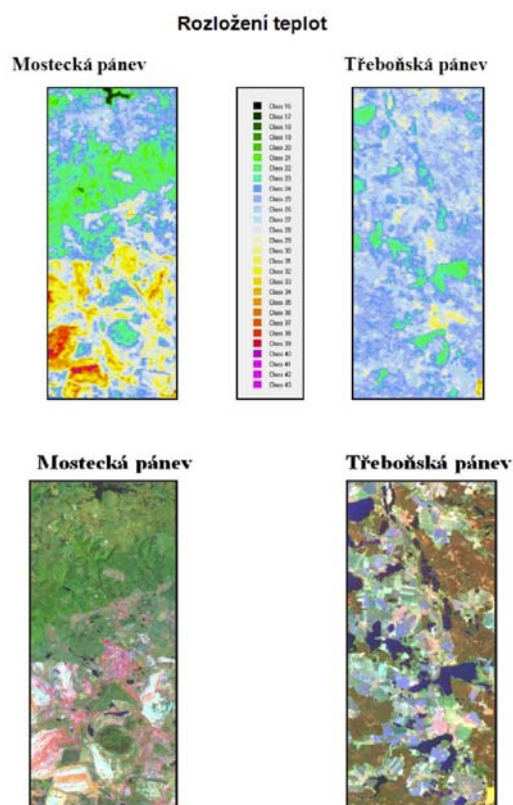
Úlohu evapotranspirace a dalších životních procesů mokřadní vegetace v rozdělení teplot v krajině lze demonstrovat pomocí termovizní kamery. Na obrázku 5 a,b je pohled z věže staré radnice v Třeboni na střechy domů a mokré louky za hradbami města. Teplota na povrchu střech dosahuje hodnot téměř 40 °C, zatímco teplota na mokřících loukách je nižší než 30 °C. Snímky byly pořízeny termografickou kamerou ThermoCAM (Flir System). Termografická kamera pracuje v rozsahu vlnových délek 7.5 – 13.5 μm s přesností 0.1 °C. (projekt NPV 602023). Ve větším rozsahu lze sledovat význam mokřadů a obecněji význam vegetace na distribuci teplot pomocí satelitních snímků pořízených opět v infračervené oblasti spektra.

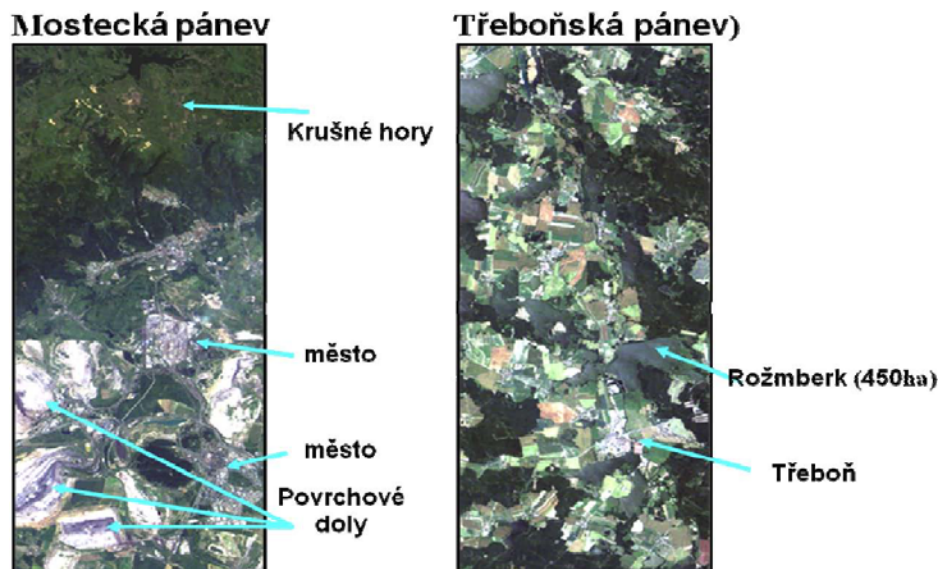
Uvádíme srovnání teplot odvozené krajiny Mostecká a Třeboňská pánev, kde se ještě zachovaly rybniční soustavy a mokřady.

Obr 5. a,b Snímek ve viditelném spektru a termovizní snímek



Obr 6. a,b, c Mostecká a Třeboňská pánev





#### Úloha mokřadů v disipaci (distribuci) sluneční energie – vliv na místní klima

Většina sluneční energie dopadající na mokřady se spotřebovává na evapotranspiraci, tedy na výpar vody z půdy (evaporace) a na výdej vody rostlinami (transpirace), zanedbatelná část (1%) se využívá fotosyntézou. V našich zeměpisných šířkách dopadne na jeden metr čtverečný až 25 MJ sluneční energie, tedy až 6 kWh, maximální tok slunečního záření dosahuje až 1000 W/m<sup>2</sup>, tedy 1000 MW/km<sup>2</sup>. Na jeden průměrný hon zemědělské půdy (100 ha = 1 km<sup>2</sup>) dopadá tedy v letním dnu energie srovnatelná s produkcí největších elektrárenských bloků. Osud této energie závisí na tom, zda je nebo zda není k dispozici voda. Pokud voda k dispozici není, přeměňuje se dopadající sluneční energie v teplo. Pokud jsou přítomny rostliny dostatečně zásobené vodou, váže se sluneční energie do vodní páry a uvolňuje se při kondenzaci na vodu. Tímto způsobem se vyrovnávají teplotní rozdíly v čase a prostoru, tím se vyrovnávají i rozdíly v tlaku vzduchu. Množství energie vázané evapotranspirací ve vodní páře lze poměrně snadno spočítat, známe-li množství odpařené vody. Skupenské teplo vody je 2,5 MJ/L (0,7 kWh/L), v letním dnu se odpaří 3 - 5 litrů vody (podle její dostupnosti), naváže se tedy 7,5 - 12,5 MJ na každém metru čtverečném za jediný den. Není-li k dispozici voda, tato energie se uvolní jako teplo, za jediný den se uvolní na jednom metru čtverečném teplo úměrné energii obsažené v 0,75 kg uhlí. Odvodníme-li sto hektarů (1 km<sup>2</sup>), což je rozměr průměrného honu zemědělské půdy, potom se každý den na této ploše (nad dozrávajícím obilím, nad strništěm) přemění přímo v teplo milionkrát více energie než na ploše jednoho metru čtverečného. To odpovídá energii, která by se uvolnila dokonalým spálením cca 750 tun uhlí (několik GWh). Uvedená čísla jsou přibližná, jsou však v zásadě správná a ukazují, jak velkoplošným odvodněním krajiny měníme distribuci sluneční energie. Tato čísla ukazují, jak zásadním způsobem mokřady usměrňují dopadající sluneční energii. Na několik desítek kilometrů čtverečných dopadne za den tolik sluneční energie, jako je plný instalovaný výkon všech elektráren v ČR (14 000 MW). Odvodněním velkých ploch, odvodněním mokřadů likvidujeme nejdokonalejší klimatizační zařízení, měníme rozložení teplot a tím i proudění vzduchu a distribuci dešťových srážek. Ukazuje se, že dešťové srážky nabývají i v mírném pásmu charakteru srážek subtropických - jsou prudké a místní.



### **Základní údaje o evapotranspiraci v našich podmínkách:**

Průměrná evapotranspirace dosahuje několika milimetrů za den. Potenciální evapotranspirace vychází z množství dopadlé sluneční energie zmenšené o odraz a tok tepla do půdy a tok tepla zpět do atmosféry. V našich podmínkách na velkých plochách kde se neuplatní advekce teplého suchého vzduchu nelze počítat s vyšší evapotranspirací než 6 - 8 mm (skupenské teplo vody je 0.7 kWh/L, nebo 2,5 MJ/L). Soliterní stromy dostatečně zásobené vodou mohou mít transpiraci vyšší, pokud přichází teplý vzduch z okolí (Čermák 1984, Radoux et al. 2000). Mokřadní vegetace dobře zásobená vodou, která je obklopena odvodněnou krajinou je vystavena přísunu (advekci) tepla ve formě suchého teplého vzduchu a může proto vydávat více než 10 litrů vody z metru čtverečního za den. Skutečné hodnoty evapotranspirace bývají nízké, protože vegetace trpí velice často nedostatkem vody.

Mokřady usměrňují toky sluneční energie evapotranspirací a vyrovnávají tak teplotní rozdíly v čase a prostoru. Evapotranspirací se přeměňuje mnohonásobně více energie nežli se jí využívá při fotosyntéze. Voda a rostliny jsou hlavními regulátory toku sluneční energie v krajině, mají tedy významnou úlohu při tvorbě místního klimatu.

Odvodněním, rušením mokřadů se mění toky energie v krajině, zvyšují se teplotní potenciály, zrychluje a mění se proudění vzduchu. Mění se charakter dešťových srážek, jsou prudší a přesouvají se do chladných míst. Lidská civilizace zbavuje krajinu trvalé vegetace a vody, navíc hlavní zemědělské plodiny – obilniny jsou stepními rostlinami, nesnášejí zaplavení, vyžadují odvodnění půdy. Mokřady mají tedy zásadní význam pro tvorbu místního klimatu.

### **Produkce mokřadů**

Většina sluneční energie se přeměňuje v mokřadech prostřednictvím výdeje vody rostlinami a půdou (transpirací a evaporací). Na růst biomasy, tedy na fotosyntézu se spotřebuje jenom nepatrná část z celkové sluneční energie dopadlé na porost za celý rok. Za jeden rok se vytvoří fotosyntézou přibližně 1 kg sušiny/m<sup>2</sup>, který obsahuje přibližně 18 MJ (5 kWh) vázané sluneční energie, představuje tedy necelou jednu polovinu procenta sluneční energie dopadlé na jeden metr čtverečný za celý rok. Při dostatku živin a pravidelné sklizni lze dosáhnout produkce biomasy až 2 - 3x větší. V přirozených mokřadech s výjimkou lužního lesa je však zpravidla roční produkce biomasy nižší než jeden kilogram biomasy na jeden metr čtverečný. Je nutné ovšem rozlišovat biomasu nadzemní, jejíž množství poměrně snadno stanovíme a biomasu podzemní (kořeny, oddenky), jejíž množství se stanovuje obtížně a může být srovnatelné s biomasou nadzemní (rákosiny). Výše uvedené údaje se týkají biomasy nadzemní.

Produkce biomasy na jeden metr čtverečný resp. na jeden hektar potom určuje limity pro využití biomasy jako paliva, určuje schopnost biomasy (tedy mokřadů) akumulovat v sobě látky. Produkce biomasy určuje jaké množství látek lze s biomasou sklízet, kompostovat a recyklovat, určuje i jaké množství škodlivin lze sklízit z ekosystému odstranit. Zde je třeba zdůraznit, že mokřady jsou schopny zadržet živiny, těžké kovy a další látky zejména v zamokřené půdě.

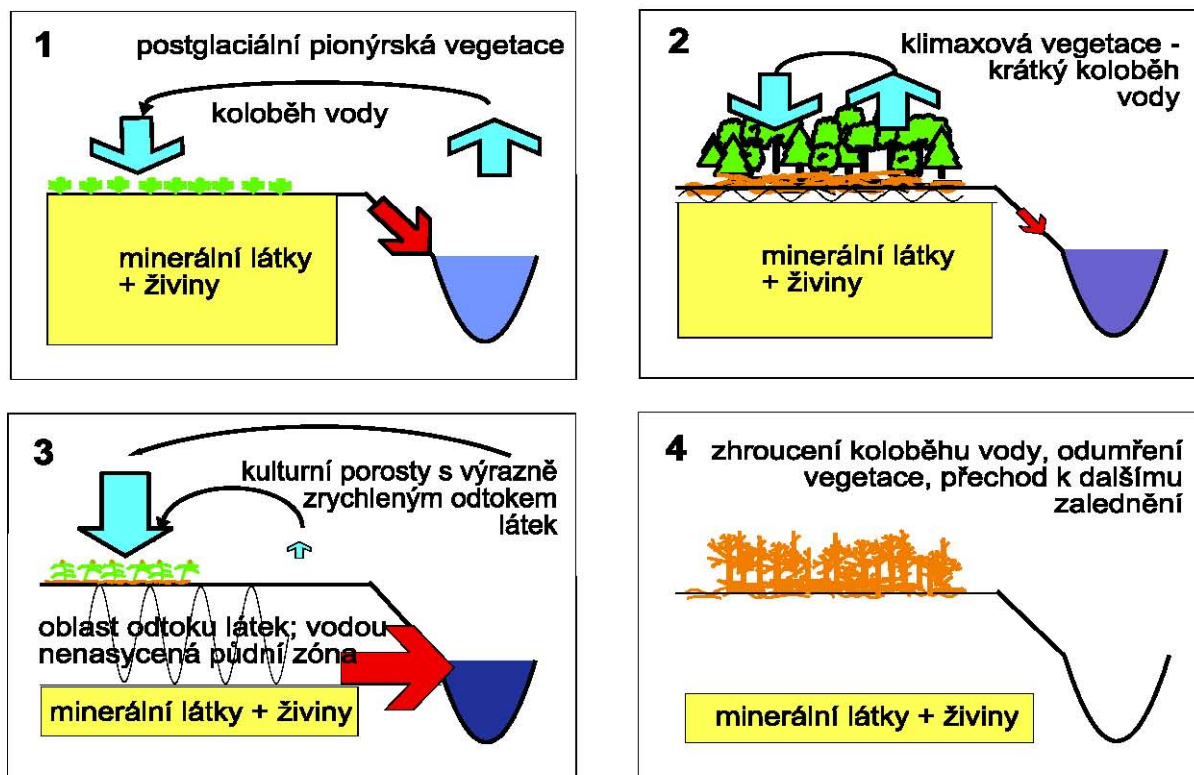
Množství vyprodukované biomasy určuje kolik uhlíku a kolik ostatních látek (živin, těžkých kovů) se nahromadilo v určitém porostu. Rozhodující je čistá produkce, tedy přírůstek biomasy za rok. Například, rašeliniště má poměrně nízkou celkovou hrubou produkci (fotosyntéza + rozkladné procesy), protože však rozkladné procesy jsou velmi pomalé v rašeliništích, je čistá produkce poměrně vysoká a v rašelině se hromadí látky. Naopak v eutrofních rybnících je celková (hrubá) produkce vysoká avšak rozkladné procesy jsou rychlé, takže se v eutrofních rybnících hromadí jen málo biomasy a akumulace látek (zadržování látek) je nízká.

Úloha mokřadů, koloběh vody a hospodaření na velkých plochách, kriteria setrvalého hospodaření v krajině z hlediska toku energie, vody a látek.

Pro pochopení funkce a vývoje ekosystémů je užitečné poznat vývoj krajiny střední a severní Evropy po době ledové, tedy za posledních asi 15 000 let. Na základě tohoto poznání lze potom posoudit jak člověk zasahuje do krajiny a jak mění její funkce. Tento vývoj byl rekonstruován na základě studia jezerních sedimentů, na základě jejich chemického složení a rychlosti ukládání (viz Ripl et al. 1996). Lze rozlišit následující čtyři etapy vývoje naší krajiny po době ledové:

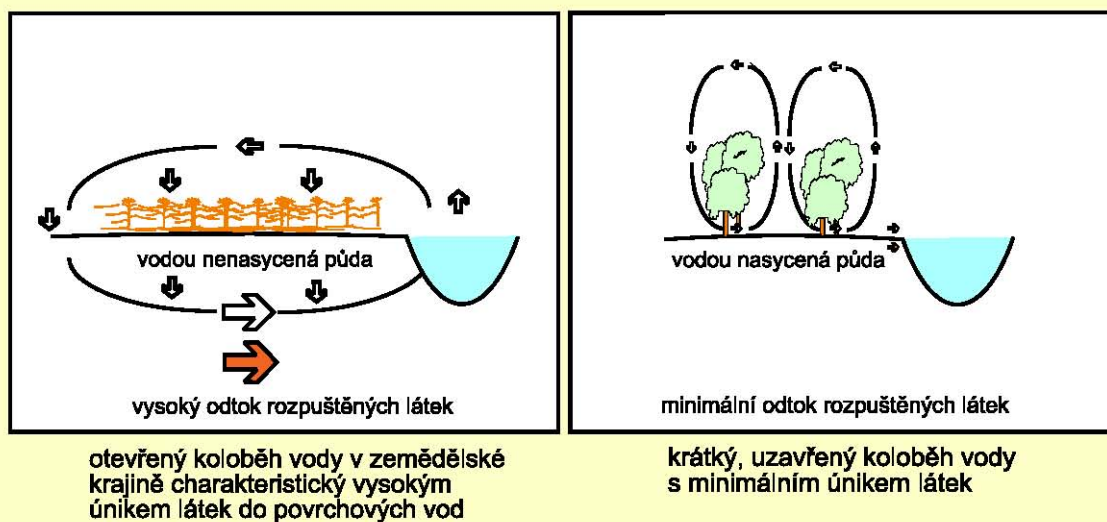
- 1) Po ústupu ledovce byla krajina pokryta chudou vegetací. Na území naší republiky v doběledové a po ní byla chudá, suchá tundra. Taková vegetace nezadržuje vodu, po dešti voda rychle odtéká a odnáší sebou rozpuštěné i nerozpuštěné látky do moří. V krajině se střídá sucho s nadbytkem vody. Hovoříme o dlouhém, otevřeném cyklu vody, kdy dešťové srážky – půda – průsak a odtok – řeka – moře a od moře s frontálním prouděním se voda dostává na pevninu. Látky ovšem zůstávají převážně v moři, jejich menší část se ukládá v jezerech.
- 2) Krajina se postupně pokrývá hustší, trvalou vegetací. Během tisíciletí se vytvořily klimaxové porosty, v nich se uzavírá detritový cyklus, vytváří se humus. Vytváří se konečné stálé množství biomasy, takže biomasy na ploše nepřibývá (čistá produkce je nulová), biomasa se však neustále obnovuje (hrubá produkce je vysoká). Uzavírají se cykly látek a uzavírá se cyklus vody. Voda z dešťových srážek se zachycuje v organismech, v detritu, v organických látkách v půdě a živiny, které se uvolní jsou okamžitě využívány zpět dalšími organismy. Voda se odpařuje evapotranspirací přes rostliny. Tím se porosty chladí a vodní páry se v nich opět kondenzují. Převládá krátký cyklus vody: dešťové srážky – půda – rostlina – výpar – kondenzace – srážky. Odtok vody z takových porostů je rovnoměrný, voda odnáší jen málo látek. Krajina je v setrvalém stavu.  
Před několika tisíci roky se však udála největší změna ve způsobu života člověka za jeho historii dlouhou milion let – člověk začal zemědělsky hospodařit. Dostatek potravin potom umožnil rozvoj měst, státních struktur, podstatně se zrychlil růst populace a nároky na další zemědělskou půdu, na stavební plochy.
- 3) Přeměna lesních porostů na zemědělskou půdu, kolonizace krajiny je provázena opět otevřením cyklu vody a cyklu látek. Odlesněním navodil zemědělec rozklad organických látek v půdě, uvolňované živiny se využívají pro růst plodin, většina živin (dusík, fosfor a hlavně alkalické kovy a uhličitany) však odtéká s vodou do moří. Na své cestě do moře zvyšují živiny rozpuštěné ve vodě trofii vody (eutrofizace), zhoršuje se kvalita vody. Střídání úrovně hladiny půdní vody navozuje rychlou mineralizaci. Je prokázáno, že za jediný rok odečte z hektaru zemědělské půdy více než tuna rozpuštěných látek. Půda se ochuzuje o alkálie, okyseluje se, uvolňují se toxiny z půdy, uvolňují se těžké kovy. Vodní cyklus je otevřen, není dostatek vody na výpar, půda se ohřívá, srážky jsou nevyrovnané. Krajina se postupně vyčerpává.
- 4) Postupně se voda okyseluje, až se stává neúrodným substrátem, udržování její úrodnosti dodávkou hnojiv je nákladné, dlouhodobě nemožné. Krajina se mění ve step, střídá se sucho a povodně. V průběhu několika posledních tisíců let se takový vývoj udál v Sumeru, v Mezopotámii, v údolí Indu, v severní Africe. U nás je nyní odnos látek ze zemědělské krajiny o dva řády vyšší, nežli byl odnos v době než člověk začal zemědělsky hospodařit, nežli vybudoval velká města a čistírny odpadních vod vyústěné do řek.

## Koloběh vody a odtok látek v různých stádiích vývoje krajiny od posledního zalednění



W.R.F.L. Jan 04 / 01:46:02

### Tok vody a látek vegetací a půdou



legenda: tok vody →  
tok rozpuštěných látek →

W. Rípl, 1996

Obr. 7, 8

## ***Měřítka setrvalosti krajiny***

Ztráty alkálií vedou tedy k okyselování půd, ke stárnutí krajiny. Za každý ion vápníku, který se uvolní a odečte s vodou se totiž uvolní dva protony. Chemickou účinnost krajiny potom vyjadřujeme jako celkový koloběh látek v ekosystému – nevratné ztráty/celkové množství látek. Setrvalost krajiny lze tedy vyjádřit ze zjištěné hrubé produkce ekosystému a změřených úniků látek z tohoto ekosystému (povodí). Ztráty lze zjistit měřením průtoku vody a jejího složení na konci povodí. Měřítkem chemického složení vody je vodivost vody. Krátký koloběh vody, podmíněný dostatečnou evapotranspirací se projevuje malými výkyvy teplot. Distribuci teplot lze zjišťovat ze satelitních snímků v oblasti infračerveného spektra.

## ***Účinnost sledovaného povodí***

Naším dlouhodobým cílem v krajině by mělo být zabezpečení disipace (rozptylování) sluneční energie v krajině přes vodní cyklus, tj. evapotranspirací. Tím se sníží množství látek odnášených vodou, vyrovnají se teplotní rozdíly, vyrovnají se srážky a odtoky vody. Tento koncept setrvalého využívání krajiny je tedy založen na disipaci sluneční energie ve vodním cyklu a na uzavření cyklu látek v krajině. Mokřady účelně v krajině rozložené zajišťují toto uzavření cyklu.

Lesy dostatečně zásobené vodou, rašeliniště atp. vykazují nejlepší chladicí kapacitu a nejnížší ztráty látek. Naopak zemědělská půda vykazuje ztráty vysoké, protože je zbavena vody a má nízkou chladicí kapacitu. Nejhuře jsou na tom z tohoto hlediska odvodněné a zabetonované plochy měst. Odvodňování velkých ploch vede k velkým rozdílům teplot, změnám proudění vzduchu, ke změnám klimatu.

Zemědělství v mírném pásmu, tedy i zemědělství v naší republice je založeno na pěstování obilnin. Obilniny mají fyziologické vlastnosti stepních trav, jsou od nich odvozeny. Obilniny nesnášejí zatopení a proto musí být zemědělské půdy upraveny tak, aby se nezaplavovaly. Kořeny obilnin nepřežívají nedostatek kyslíku, ke kterému při zaplavení půdy dochází. Zemědělské půdy jsou odvodněny a proto se v nich střídá vlhko (při dešti) a vyschnutí, to vede k rychlé mineralizaci půdy a odtokům látek. Spočítali jsme z měsíčních průtoků a z odpovídajících koncentrací množství vápníku, který za rok odečte Labem z Čech do Německa a tedy do moře. Za rok Labem proteče 660 000 tun čistého vápníku, to odpovídá ztrátě čistého vápníku 130 kg/ha/rok z každého hektaru v povodí Labe. Tuto ztrátu nelze dlouhodobě kompenzovat. Proto je potřeba revitalizace a podporu mimoprodukčních funkcí zemědělství zaměřit na zmenšení ztrát látek z krajiny na uzavření cyklu vody a látek na zlepšení disipace sluneční energie a tím i na zmírnění klimatu.

Navrhujeme tedy přijmout výše uvedené principy setrvalého užívání krajiny (Ripl et al. 1995) a odměňovat zemědělce v určité oblasti podle kvality vody (podle ztrát látek), která odtéká z povodí, které obhospodařuje. Takový systém odměn by šel vyzkoušet v některé z biosferických rezervací nebo CHKO, kde je takovému experimentu nakloněn jak personál, tak zemědělci. Současná kritéria podpory za mimoprodukční funkce zemědělství vycházejí z bonity půdy, nadmořské výšky a svahovitosti terénu. Nestimuluje se setrvalé nebo alespoň setrvalé užívání krajiny.

Navrhujeme dále, aby se při hodnocení revitalizačních zásahů vzaly v úvahu funkční kritéria krajiny, tedy vztah mezi srážkami a odtokem vody, množství odtékajících látek a tvorba lokálního klimatu.

Při uvádění zemědělské půdy do klidu navrhujeme se zaměřit na obnovu přirozených funkcí niv, které byly přeměněny na zemědělskou půdu. Navrhujeme ponechat výši zemědělské dotace hospodářům a změnit půdu zemědělskou na nivní, která toleruje záplavu. Tímto způsobem vrátíme původní funkce mokřadů do krajiny a zajistíme retenci vody (protipovod-



ňová ochrana, snížíme trofii vody, snížíme emise oxidu uhličitého, zvýšíme biodiverzitu krajiny a navíc získáme např. biomasu pro spalování).

### **Literatura:**

- [1] Čermák, J., Jeník, J., Kučera, J. et Žídek, V. (1984) Xylem water flow in a crack willow tree (*Salix fragilis* L.) in relation to diurnal changes of environment. – *Oecologia* 64: 145 – 151.
- [2] Chytil, J., Hakrová, P., Hudec, K., Husák, Š., Jandová, J., Pellantová, J. (1999) Mokřady České republiky, Přehled vodních a mokřadních lokalit České republiky, Český Ramsarský výbor, Mikulov 1999, 327 stran.
- [3] Dykyjová, D. (1979): Selective uptake of mineral ions and their concentration factors in aquatic higher plants. *Folia Geobot. Phytotax.*, Praha, 14: 267-325.
- [4] Kolmanová, A., Rektrois, L., Přibáň, K. (1999) Retention ability of bog pine peat bog ecosystem and its response to downpour precipitation. In: Vymazal J. (ed) *Nutrient Cycling and Retention in Natural and Constructed Wetlands*, pp. 177 – 182, Backhuys Publishers, Leiden
- [5] Penka, M., Vyskot, M., Klimo, E., Vašíček, F. (1985): *Floodplain Forest Ecosystem. I. Before Water Management Measures*. Academia, Praha, pp. 468.
- [6] Penka, M., Vyskot, M., Klimo, E., Vašíček, F. (1991): *Floodplain Forest Ecosystem. II. After Water Management Measures*. Academia, Praha, pp. 632.
- [7] Pokorný, J., Fleischer, S., Pechar, L., Pansar, J. (1999) Nitrogen distribution in hypertrophic fishponds and composition of gas produced in sediment. In: Vymazal J. (ed.): *Nutrient Cycling and Retention in Natural and Constructed Wetlands*, Backhuys Publishers pp. 111 – 120.
- [8] Procházka, J., Hakrová, P., Pokorný, J., Pecharová, E., Hezina, T., Šíma, M., Pechar, L. (2000): Effect of different management practices on vegetation development, losses of soluble matter and solar energy dissipation in three small mountain catchments. In: Vymazal J. (ed.) *Nutrient Cycling in Wetlands*, Backhuys Publ. Leiden (in press)
- [9] Přibáň K., Ondok, J.P., 1985. Heat balance components and evapotranspiration from a sedge-grass marsh. *Folia Geobot. Phytotax.*, Praha, 20: 41 – 56
- [10] Radoux M., Němcová M., Kučerová A., Dušek J., Pokorný, J. (2000), Evapotranspiration of small-scale constructed wetlands planted with ligneous species. In: Vymazal J. (ed.) *Nutrient Cycling in Wetlands*, Backhuys publ. Leiden (in press)
- [11] Ripl, W. (1992): Management of water cycle and energy flow for ecosystem control – the Energy- Transport – Reaction (ETR) model. *Ecological Modelling* 78, 61 – 76.
- [12] Ripl, W., Pokorný, J., Eiseltová, M. a Ridgill, S. (1996): Holistický přístup ke struktuře a funkci mokřadů a jejich degradaci. Eiseltová, M. (ed.) *Obnova jezerních ekosystémů – holistický přístup*. Wetlands International publ. Č. 32, 16 – 35.
- [13] Vymazal, J. (1995) Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách, pp. 146, ENVI s.r.o. Třeboň, Botanický ústav AV ČR (Projekt MŽP)

# PODZIMNÍ ŠKOLA 2008

26.10. – 31.10.2008

Prof. RNDr. Ivan Holoubek, CSc.

## **Chemické problémy znečištění životního prostředí**

Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Výzkumné centrum pro chemii životního prostředí a ekotoxikologii

[holoubek@recetox.muni.cz](mailto:holoubek@recetox.muni.cz)

prof. Dr. Ing. Martina Macková

## **Jsme opravdu odsouzeni k záhubě toxickými chemikáliemi?:**

### **člověk znečišťuje x příroda napravuje**

Vysoká škola chemicko technologická v Praze, Fakulta potravinářské a biochemické technologie

[Martina.Mackova@vscht.cz](mailto:Martina.Mackova@vscht.cz)

Doc.Ing. Vladimír Kočí, PhD.

## **Posuzování životního cyklu produktů-enviromentální dopady lidských aktivit**

Vysoká škola chemicko technologická v Praze, Fakulta chemicko inženýrská

[vladimir.koci@vscht.cz](mailto:vladimir.koci@vscht.cz)

RNDr. Lenka Thinová

## **Ionizující záření kolem nás**

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná fyzikálně inženýrská

[thinova@jfifi.cvut.cz](mailto:thinova@jfifi.cvut.cz)

Doc.Ing. Milan Pospíšil, CSc.

## **Biopaliva II. generace**

Vysoká škola chemicko technologická v Praze, Fakulta technologie ochrany prostředí

[milan.pospisil@vscht.cz](mailto:milan.pospisil@vscht.cz)

Doc.Ing. Zdeněk Staněk, CSc.

## **Elektromagnetická pole a elektromagnetické vlny jako faktory životního prostředí**

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra fyziky

[stanek@fel.cvut.cz](mailto:stanek@fel.cvut.cz)

PhDr. Benjamin Fragner

## **Průmyslové dědictví kulturním potenciálem udržitelného rozvoje**

České vysoké učení technické v Praze, Výzkumné centrum průmyslového dědictví, výzkumné centrum průmyslového dědictví

[fragner@vc.cvut.cz](mailto:fragner@vc.cvut.cz)

Ing. Dr. Vladimír Ždímal

**Aerosoly letem světem**

Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i., Laboratoř chemie a fyziky aerosolů

[zdimalv@icpf.cas.cz](mailto:zdimalv@icpf.cas.cz)

RNDr. Jan Schröfel

**Ložiska nerostných surovin ve vztahu k životnímu prostředí**

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební

[schrofel@fsv.cvut.cz](mailto:schrofel@fsv.cvut.cz)

prof.Ing. Stanislav Pekárek, CSc.

**Některé ekologické aspekty elektrických výbojů za atmosférického tlaku**

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra fyziky

[pekarek@fel.cvut.cz](mailto:pekarek@fel.cvut.cz)

Prof. RNDr. Ing. Michal.V. Marek, DrSc.

**Uhlíková deponia v ekosystémech České republiky**

Ústav systémové biologie a ekologie AV ČR, v.v.i.

[emarek@usbe.cas.cz](mailto:emarek@usbe.cas.cz)

RNDr Jan Pokorný,CSc.,

**Mokřady – jejich úloha a funkce v energetické bilanci krajiny**

Ústav systémové biologie a ekologie AV ČR, v.v.i.

[pokorny@usbe.trebon.cz](mailto:pokorny@usbe.trebon.cz)

© Josef Rosenkranz

Podzimní škola, Praha 2008

Vydalo: České vysoké učení technické v Praze

Zpracovala: Fakulta elektrotechnická

Kontaktní adresa: Doc. Ing. Josef Rosenkranz, CSc.

ČVUT v Praze, FEL, katedra fyziky

[rosenka@fel.cvut.cz](mailto:rosenka@fel.cvut.cz)

tel: 224 352 334

Vytiskla ČEZ, tiskárna

Duhová 2, Praha 4

1. vydání

Počet stran 184

ISBN 978-80-01-04195-6

