



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava



OCHRANA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

učební text

Stanislav Bartusek

Ostrava 2012

Recenze: RNDr. Alexander Skácel, CSc.
Mgr. Jan Veřmiřovský

Název: Ochrana životního prostředí
Autor: Stanislav Bartusek
Vydání: první, 2012
Počet stran: 96
Náklad: 20

Studijní materiály pro studijní obor 2805R001 fakulty MMI
Jazyková korektura: nebyla provedena.

Určeno pro projekt:

Operační program Vzděláváním pro konkurenceschopnost

Název: Personalizace výuky prostřednictvím e-learningu

Číslo: CZ.1.07/2.2.00/07.0339

Realizace: VŠB – Technická univerzita Ostrava

Projekt je spolufinancován z prostředků ESF a státního rozpočtu ČR

© Stanislav Bartusek

© VŠB – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-2569-4

OBSAH

1. ZÁKLADY EKOLOGIE.....	7
1.1. Prostředí	8
1.2. Biotické složky prostředí.....	8
1.3. Ekosystém	13
1.4. Působení faktorů prostředí.....	23
2. ZNEČIŠŤOVÁNÍ A OCHRANA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ.....	29
2.1 Znečišťující látky	31
2.2 Toxicita, genotoxicita a ekotoxicita znečišťujících látek	39
2.3 Kontaminace potravního řetězce	41
2.4 Perzistence a bioakumulace znečišťujících látek	43
2.5 Důsledky zhoršování životního prostředí	44
2.6 Udržitelný rozvoj.....	45
3. ZNEČIŠŤOVÁNÍ OVZDUŠÍ.....	49
3.1 Povaha a vlastnosti znečišťujících látek	51
3.2 Příпустné znečišťování ovzduší	70
3.4 Koncentrace a obsahy znečišťujících látek	73
3.5 Měření a výpočet emisí	75
4. ZNEČIŠŤOVÁNÍ VOD	80
4.1 Vlastnosti a funkce vody	80
4.2 Znečišťování vod	83
4.3 Povaha a vlastnosti znečišťujících látek.....	85
4.4 Příпустné znečišťování vod	87
4.5 Koncentrace a obsahy znečišťujících látek	88
4.6 Biochemické procesy ve vodách	89
5. ODPADY.....	93
5.1 Základní pojmy a vztahy	93
5.2 Druhy a kategorizace odpadů	94
5.3 Vznik, využití a odstraňování odpadů	95

POKYNY KE STUDIU

Ochrana životního prostředí

Pro předmět **Ochrana životního prostředí I**, 6. semestru oboru 2805R001 – Chemie a technologie ochrany prostředí jste obdrželi studijní balík obsahující

- integrované skriptum pro distanční studium obsahující i pokyny ke studiu
- CD-ROM s doplňkovými animacemi vybraných částí kapitol
- harmonogram průběhu semestru a rozvrh prezenční části
- rozdělení studentů do skupin k jednotlivým tutorům a kontakty na tutorý
- kontakt na studijní oddělení

Prerekvizity

Pro studium tohoto předmětu se předpokládá absolvování předmětu **chemie, fyziky**.

Cílem předmětu

je seznámení se základními pojmy **ve vybraných složkách životního prostředí** a procesy spojenými s antropogenním znečišťováním těchto složek životního prostředí. Po prostudování modulu by měl student být schopen **formulovat základní požadavky kladené na současné antropogenní procesy a to z pohledu minimalizace negativních výstupů s ohledem na životní prostředí**.

Pro koho je předmět určen

Modul je zařazen do bakalářského studia **oboru 2805R001 – Chemie a technologie ochrany prostředí studijního programu B3909 – Procesní inženýrství**, ale může jej studovat i zájemce z kteréhokoli jiného oboru, pokud splňuje požadované prerekvizity.

Skriptum se dělí na části, kapitoly, které odpovídají logickému dělení studované látky, ale nejsou stejně obsáhlé. Předpokládaná doba ke studiu kapitoly se může výrazně lišit, proto jsou velké kapitoly děleny dále na číslované podkapitoly a těm odpovídá níže popsaná struktura.

Při studiu každé kapitoly doporučujeme následující postup:



Čas ke studiu: xx hodin

Na úvod kapitoly je uveden **čas** potřebný k prostudování látky. Čas je orientační a může vám sloužit jako hrubé vodítko pro rozvržení studia celého předmětu či kapitoly. Někomu se čas může zdát příliš dlouhý, někomu naopak. Jsou studenti, kteří se s touto problematikou ještě nikdy nesetkali a naopak takoví, kteří již v tomto oboru mají bohaté zkušenosti.



Cíl: Po prostudování této kapitoly budete umět

- popsat ...
- definovat ...
- vyřešit ...

Okamžitě potom jsou uvedeny cíle, kterých máte dosáhnout po prostudování této kapitoly – konkrétní dovednosti, znalosti.



VÝKLAD

Následuje vlastní výklad studované látky, zavedení nových pojmů, jejich vysvětlení, vše doprovázeno obrázky, tabulkami, řešenými příklady, odkazy na animace.



Shrnutí pojmů 1.1.

Na závěr kapitoly jsou zopakovány hlavní pojmy, které si v ní máte osvojit. Pokud některému z nich ještě nerozumíte, vraťte se k nim ještě jednou.



Otázky 1.1.

Pro ověření, že jste dobře a úplně látku kapitoly zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek.



Úlohy k řešení 1.1.

Protože většina teoretických pojmů tohoto předmětu má bezprostřední význam a využití v databázové praxi, jsou Vám nakonec předkládány i praktické úlohy k řešení. V nich je hlavní význam předmětu a schopnost aplikovat čerstvě nabyté znalosti při řešení reálných situací hlavním cílem předmětu.



CD-ROM

Informace o doplňujících animacích, videosekvencích apod., které si může student vyvolat z CD-ROMu připojeného k tomuto materiálu

Úspěšné a příjemné studium s touto učebnicí Vám přeje autor výukového materiálu

Stanislav Bartusek

1. ZÁKLADY EKOLOGIE



Čas ke studiu: 10 hodin



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat a vysvětlit základní pojmy z oblasti ekologie,
- rozlišit ekologii od životního prostředí
- porozumět pojmu prostředí (z ekologického hlediska)
- definovat ekosystém
- popsat biogeochemické cykly v přírodě
- vyřešit



Výklad

Slovo **ekologie** poprvé použil německý filozof a biolog, profesor zoologie v Jeně, ERNST HAECKEL. Ekologii definoval jako vědu „o **vztazích organismů k okolnímu světu**“. Tato definice se postupně měnila a dnes používáme její přesnější výraz, že „**ekologie je věda o vztazích mezi organismy a jejím prostředím**“.

Ekologie je biologická disciplína, věda o prostředí. Podle oblastí, kterou sleduje, ji dělíme na:

- o autokologii (závislost a vztahy druhu na prostředí),
- o demekologii (závislost a vztahy populace na prostředí),
- o synekologii (závislost a vztahy společenstva na prostředí).

Ekologie je **multidisciplinární věda**, která čerpá z mnoha dalších vědních oborů, zejména ze zoologie, botaniky, mikrobiologie, fyziologie, chemie, fyziky, geologie, geografie a dalších, a vytváří přitom svůj specifický obraz vnímání přírody. Ekologie využívá poznatků a metod biologických oborů (morfologie, fyziologie, etologie, systematiky), navazuje i na další vědní odvětví, např. meteorologii, klimatologii, geologii, geografii, fyziku, chemii, matematiku. Má vztah i k společenským vědám, např. filozofii, právu, ekonomii, historii, estetice.

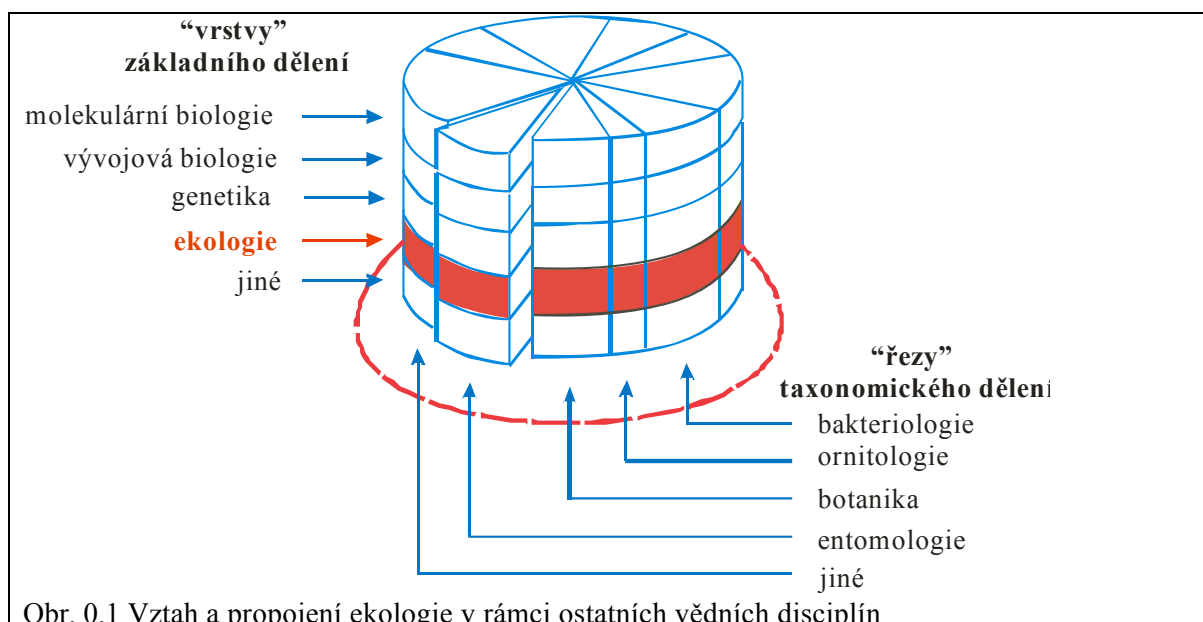
Vlastní ekologie se dělí podle oblastí, kterou sleduje na **teoretickou** (všeobecná – zevšeobecňuje ekologické jevy, speciální – studuje životní podmínky organismů v různých typech prostředí) a **použitou** (aplikovanou) **ekologii**.

Vztah ekologie k mnoha oborům představuje názorně tzv. koláčové uspořádání (viz obr. 0.1).

Aplikovanou částí ekologie je životní prostředí, které zahrnuje soubor vnějších faktorů prostředí, ve kterém člověk žije a které na něho působí.

Životní prostředí je kompletní soustava vnějších podmínek, fyzikálních a biologických, ve kterých žije organismus. Životní prostředí zahrnuje sociální, kulturní a (pro lidské bytosti) ekonomické a politické aspekty, stejně jako obvykle chápáné znaky půda, podnebí a zásoby potravy. Je vnímáno z různých pohledů (chemického, biologického, ekonomického), umožňuje základní projevy a funkce života organismu. Každý organismus má svoje prostředí (rostliny, živočichové, člověk), ve kterém vzniká a vyvíjí se. Bez prostředí organismus nemůže existovat. Mezi organismy a jejich prostředím existují

vztahy. Životní prostředí rozdělujeme podle vzniku jeho složek na **přírodní** (ovzduší, voda, půda, rostlinstvo, živočišstvo, klimatické podmínky atd.), **umělé** (obytné, rekreační, pracovní atd.) a **sociální** (společnost, sociální poměry a mezilidské vztahy atd.). Podle činnosti člověka životní prostředí dělíme na: **pracovní prostředí** – mikroklimatické podmínky, světelné podmínky; **obytné prostředí** – občanská vybavenost, doprava, kulturní památky a **rekreační prostředí**.



Obr. 0.1 Vztah a propojení ekologie v rámci ostatních vědních disciplín

1.1. Prostředí

V obecném širším pojetí pod pojmem **prostředí** v ekologii zahrnujeme souhrn všech hmotných činitelů, jevů a energií, na nichž závisí existence individuů v něm žijících.

Z hlediska živé a neživé přírody rozdělujeme prostředí na

- o **biotické** (tvořeno živou hmotou – všemi živými organismy),
- o **abiotické** (tvořeno neživou hmotou – půda, voda, vzduch a přírodní síly – záření, přitažlivost atd.).

Ze synekologického pohledu životní prostředí dělíme někdy na

- o **přírodní** (příroda s nenarušenou ekologickou rovnováhou – přírodní prostředí bez antropogenní činnosti – rovníkové pralesy, tundry atd.),
- o **přírozené** (s částečně narušenou ekologickou rovnováhou – pastvina s malým počtem dobytka),
- o **znehodnocené** (se silně narušenou ekologickou rovnováhou – např. pastviny s nadměrným počtem dobytka),
- o **umělé** (ekologická rovnováha zcela potlačena antropogenní činností – např. panelákové sídliště, městské čtvrti, průmyslové oblasti atd.).

V jakém prostředí v současnosti žije většina obyvatel naší Země, je podle uvedeného rozdělení zcela jednoznačné. Návrat života lidí do přírodního nebo přírozeného prostředí je pouhým přáním. Příliš jsme si zvykli na pohodlný život, dejme ruku na srdce a přiznejme si, ani bychom tak žít již nechtěli a ani neuměli.

1.2. Biotické složky prostředí

Živé organismy neboli biotické složky prostředí, podle složitosti životních funkcí a vztahů, členíme do čtyř stupňů, a to následovně:

- o buňka,
- o jedinec (individuum),

- o populace (demos),
- o společenstvo (cenóza).

Buňka patří z ekologického pohledu mezi nejmenší, nejjednodušší živé bytosti a naopak biocenóza jako souhrn všech živých společenstev mezi největší a nejsložitější.

□ Buňka

Živá bytost schopná samostatné existence se nazývá **organismus**. Všechny organismy jsou tvořeny buňkami – základními články života, které vykonávají všechny životní chemické procesy. Buňka je nejmenší funkční biotickou jednotkou.

O buňce toho víme v současnosti nesmírně mnoho, ne však všechno. Dá se říci, že se neustále dozvídáme o nových objevech a výzkumech, zejména v nejsložitějších částech buněk – a to jejich genetických částí – nukleových kyselin. Bylo by vhodné, abychom alespoň věděli, že zkratky DNA a RNA patří deoxyribonukleové a ribonukleové kyselině.

O buňce už bylo velmi mnoho napsáno, nám však z ekologického pohledu postačí, abychom si všimli, jaké funkce musí buňka zajišťovat. Buňka musí zvládat a zajišťovat biochemické funkce života, musí vytvářet a zpracovat energii a musí chránit genetickou informaci, aby mohla být předána příští generaci.

□ Jedinec (individuum)

Nejjednodušší jedinci mají jen jednu buňku, jsou jednobuněční (acelulární). Většina organismů je však tvořena velkým množstvím buněk, tyto jedinci jsou mnohobuněční (multicelulární). Látkovou výměnu mezi jedincem a prostředím nazýváme **metabolismem**.

Metabolismus má tyto fáze:

- o **konzumace** (K), difúzní absorpcí nebo pohlcením,
- o **asimilace** (A), část pohlcených materiálů je využita jako stavební materiál a jako energie,
- o **respirace** (R), někdy též disimilace, spalení materiálů na CO_2 a H_2O ,
- o **separace** (S), vylučování zbytků.

Pro přírůstek biomasy platí

$$B = K - A - R - S$$

je-li $B > 0$ jedinec roste
 $B = 0$ stagnuje (stabilní stav)
 $B < 0$ jedinec hyne

Každý jedinec má biologický potenciál růstu, množení a přizpůsobování se prostředí. Tento obrovský biologický potenciál se v přírodě naštěstí nerealizuje (jeden pár myši při sedmi potomcích ve vrhu a třemi vrhy ročně – za 3 roky 600 000 myší, jeden dub až 10 000 žaludů, jedna treska až 10^6 jiker atd.).

□ Populace (demos)

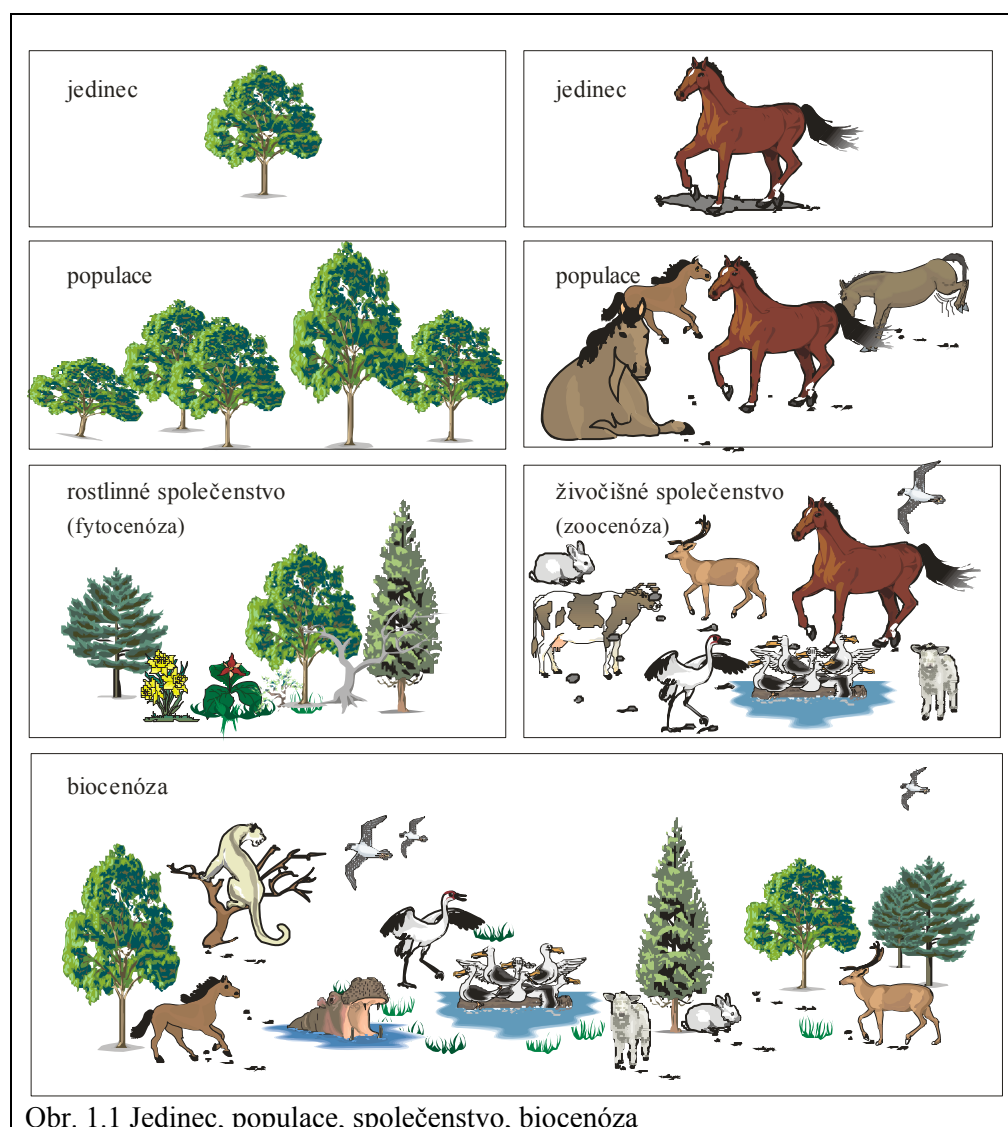
Populace je biotický systém tvořený skupinou jedinců téhož druhu (viz obr. 1.1). Populaci tvoří skupina rostlin nebo živočichů určitého druhu, kteří mají společný genofond a žijí v určitém prostoru a čase (např. populace smrkového porostu v Beskydech, srnčí zvěř v Jeseníkách atd.). Populace může zahrnovat v širším pojetí i všechny jedince žijící v biosféře (např. lidstvo). V populaci se projevují biologické vlastnosti jedinců. V důsledku neustálého přibývání a ubývání jedinců se rodí, roste, udržuje, zmenšuje a hyne. Má určitou organizaci a strukturu, je velmi citlivá na vnější vlivy.

Hustota a biomasa populace. Hustota se udává počtem jedinců na jednotku povrchu (nebo objemu) v daném okamžiku, např. počtem bažantů, zajíců, smrků na 1 ha. Hustotu můžeme též vyjádřit i biomasou, tj. živou hmotností jedinců (nebo jejich sušinou), např. v kg krav, v t smrků na 1 ha. Hustota vyjádřená biomasou se mění a odpovídá trofické úrovni (potravnímu řetězci). U býložravců je

největší (řádově desítky kg/ha), u masožravců (řádově desítky g/ha), u masožravců vyšších řádů – predátorů jen v g/ha a méně.

Růst populace. Schopnost živých organismů udržovat svoji početnost v souladu s prostředím nazýváme **natalitou**. V příznivém prostředí se početnost populace zvětšuje. Z hlediska vlivu prostředí rozeznáváme **natalitu ekologickou** a **maximální** možnou. Ekologická natalita je limitována rezistencí (odporem) prostředí. Maximální natalita se uplatňuje při zvláště příhodných podmínkách prostředí (nasazení ryb do nového rybníku, osazení traviny na rekultivovaném pozemku atd.).

Mortalita naopak znamená počet jedinců, kteří umírají v populaci za jednotku času. Podíl růstu (procento ročního přírůstku) je rozdíl mezi procentem natality a mortality.



Obr. 1.1 Jedinec, populace, společenstvo, biocenóza

Forma růstu populace. Organismy se reprodukují, a tím připojují ke své populaci nové jedince. Tím se zvyšuje hustota populace a současně sílí schopnost produkovat další jedince. Typy růstu početnosti populace jsou graficky znázorněny na obr. 2.1.

Křivka A – exponenciální. Není-li růst populace vnitřně brzděn, množí se populace geometrickou nebo logaritmickou řadou. Počet jedinců bude stoupat do nekonečna. Křivka má význam pouze

teoretický. V praxi však do růstu populace (přemnožení) zasahuje svým vlivem (zbrzděním růstu) mnoho faktorů: faktor hustoty populace, faktory odporu (rezistence) prostředí atd. V praxi se proto vyskytují další dvě křivky, které tyto faktory zahrnují (křivky B a C).

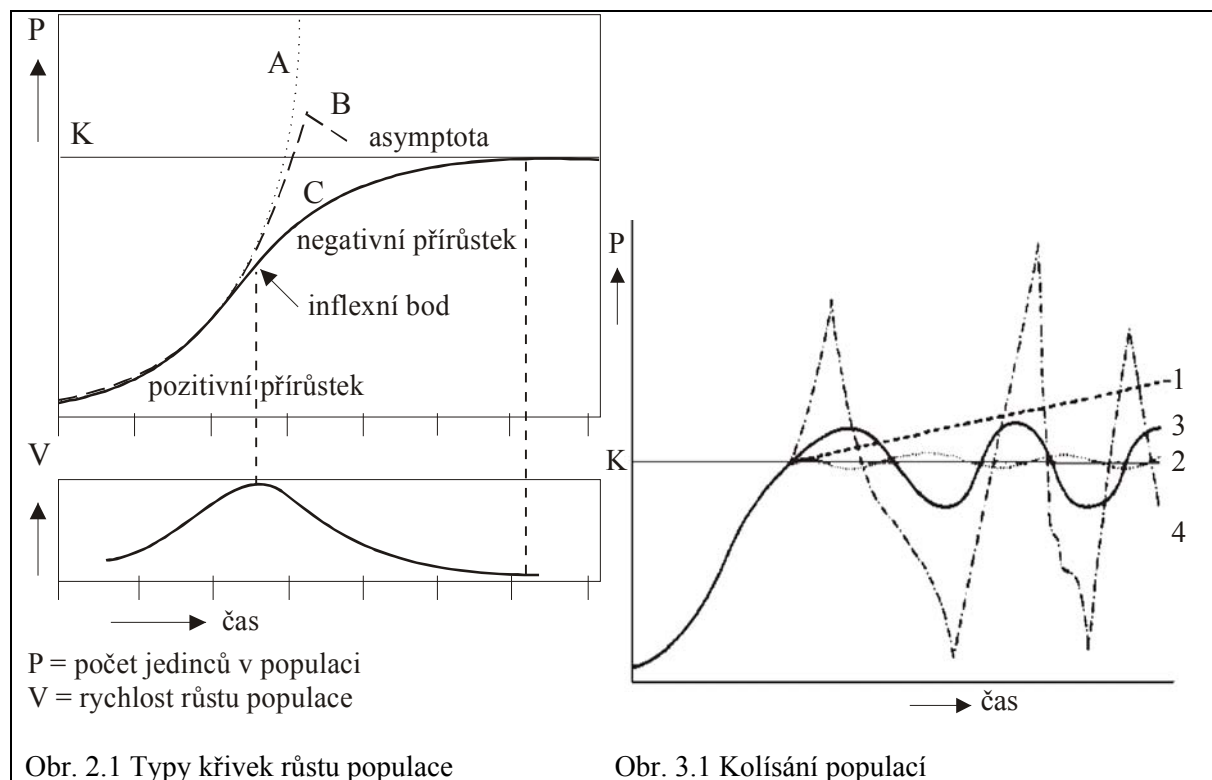
Křivka B – má tvar J. Hustota populace se rychle exponenciálně zvyšuje a v určitém okamžiku se růst prudce zastaví, protože se náhle uplatní rezistence prostředí.

Křivka C – má tvar S. Hustota populace má na počátku rychlý růst (exponenciální), ale brzy se začne postupně zpomalovat (rezistence prostředí stoupá) a později se zastaví na hranici rovnováhy. Nejvyšší úroveň vyjádřenou konstantou K nelze překročit. Je to limitní kapacita prostředí (carrying capacity) a odpovídá maximální populaci.

Když populace dosáhne svého maxima, může se pak dále vyvíjet následujícími způsoby:

- o udržovat se dlouhou dobu na stejné úrovni, na limitní kapacitě,
- o pomalu růst, postupně se přizpůsobovat podmínkám prostředí,
- o zmenšovat se, negativní změny prostředí (např. nedostatek potravy a přístřeší), působení ostatních populací atd.,
- o kolísat neboli fluktuovat.

Na obr. 3.1 jsou znázorněny různé typy kolísání populací:



- o Křivka 1 představuje, jak již bylo uvedeno, pomalý růst populace.
- o Křivka 2 znázorňuje malé výkyvy od limitní kapacity prostředí K . Odpovídá běžnému kolísání přírodních podmínek (podnebí, množství dešťových srážek, teplotě atd.).
- o Křivky 3 a 4 pak vyjadřují velké kolísání počtu jedinců v populaci (rozmnožení parazitů, škůdců, hlodavců, kobylek, fytoplanktonu a tím vzniku vodního květu atd.). Pro každý ekosystém, ale i pro lidi, je tento typ kolísání populací velmi nebezpečný a obvykle způsobuje katastrofy a epidemie.

Struktura populace. Strukturálně populace rozdělujeme podle pohlaví (počet samců a samic) a podle věku. Sestavujeme **věkové pyramidy** podle stáří jedinců. Při posuzování růstu populace sledujeme ty

věkové třídy, které se ještě nerozmnožovaly, které se rozmnožují, a které se již nerozmnožují. U převahy mladších věkových tříd lze očekávat přírůstek populace, u vyrovnaného věkového složení nastane rovnováha a naopak tam, kde převládají starší věkové třídy, bude početnost populace klesat.

Vztahy mezi populacemi. Populace žijící pohromadě ve společenstvu se vzájemně ovlivňují. Toto vzájemné působení může mít charakter kladný (pozitivní), záporný (negativní), anebo na sebe vzájemně vůbec nepůsobí, jde tedy o vztah indiferentní.

Mezi základní ekologický vztah mezi populacemi (ale též u jedinců) patří **kompetice**, tj. soutěž, boj o nějaký zdroj, který je omezen (potrava, světlo, voda, místo pro rozmnožování atd.). V této souvislosti se používá **princip konkurenčního vyloučení**, někdy též jako **Gauseho pravidlo** (ruský biolog G. F. GAUSE). Výklad tohoto principu spočívá v tom, že v určitém prostoru (biotopu) nemohou žít dva druhy (populace) se zcela stejnými životními nároky. Opačně lze říci, že populace žijící v určitém biotopu nemají shodné ekologické nároky. Kompetice patří mezi významné regulační mechanismy (selekcí, vliv na hustotu, vznik nových druhů atd.). U živočichů se kompetice zpravidla projevuje tím, že silnější a přizpůsobivější druh vytlačí druh slabý. U rostlin bojem v kořenové části o vodu a o živiny, nadzemní části pak o sluneční prostor. Každý druh zabírá vzhledem ke kompetici (mezidruhové konkurenci) svou specifickou **niku**.

Ekologická nika (anglicky a francouzsky **NICHE**, německy **NISCHE**, rusky **НИША**) je souborem všech činitelů prostředí, které organismus nebo populace v určitém obsazeném prostoru využívá pro svoje životní funkce (množení, růst, potrava, vztahy mezi partnery a nepřáteli atd.). Nika je obecnější, širší pojem než **stanoviště**. Pod tímto pojmem rozumíme pouze místo, na kterém žije pouze příslušný biologický druh. Nika není tedy jen místem (prostorem), ve kterém příslušný druh žije, ale zahrnuje také jeho vztahy k ostatním druhům, včetně abiotických složek prostředí. Dojde-li k tomu, že se niky dvou druhů na jednom stanovišti překrývají, pak bude docházet k jejich silné konkurenci – kompetici, s následným vymizením jednoho z nich. Podle ODUMA je stanoviště „adresou“ a nika „zaměstnáním organismu“. Organismy se obvykle vyvíjejí tak, aby jimi obsazovaná nika byla co nejrychleji a maximálně využita. Prostorově může být nika velmi úzce omezena (např. lenochod se vyskytuje jen ve vrcholcích stromů tropického pralesa) nebo velmi široká (např. u některých šelem – medvědů, hlodavců – myší, atd.). Člověk preferuje rozšíření některých organismů na Zemi a obsazuje jimi vhodné niky (rozšíření skotu na úkor původních býložravců, rozšíření králíků v Austrálii atd.). Někdy jsou v souvislosti s ekologickou nikou používány termíny:

- o autochtonní druh (původně obývací druh),
- o alochtonní druh (odjinud přicházející druh).

Mezi kladné vlivy kompetice vzájemného ovlivňování populací patří:

- o **protokooperace** (spolupráce) – je volné, nezávazné sdružení dvou nebo více jedinců. Např. vztah mezi rostlinami a opylovači,
- o **mutualismus** (obligátní symbióza) – spolupráce nutná k životu obou druhů. Například soužití bakterií rozkládajících buničinu v trávicí soustavě kopytníků, soužití kořenů rostlin s houbami.

Mezi záporné vlivy patří:

- o **predace** – kdy jedna populace žije na úkor druhé populace. Jeden druh se živí druhým druhem, přičemž dravec je větší než kořist. Opakem je parazitismus (parazit je menší než hostitel),
- o **antibióza** (opak symbiózy) – příslušníci jedné populace produkují látky, které omezují nebo zcela znemožňují život jiné populace. Např. produkt plísně *Penicillium* brzdí růst některých bakterií.

Metabolismus populace. Obdobně jako jedinec má i populace svůj metabolismus. Je to suma metabolismů souborů jedinců v populaci. Tento metabolismus chápeme v závislosti na potravní (trofické) úrovni, k níž populace patří (je dána tokem energií, bilancí vody, produktivitou atd.).

Společenstva

Společenstvem nazýváme soubor populací, které žijí na jednom místě. Společenstva rozdělujeme na

- o **fytoocenózu** (soubor rostlinných populací),
- o **zoocenózu** (soubor živočišných populací),
- o **mikrobiocenózu** {soubor populací mikroorganismů, houby (mykocenózu), bakterie (bakteriocenózu)}.

Soubor všech cenóz žijících v daném místě (na určitém biotopu) tvoří **biocenózu**.

Charakteristickým rysem biocenózy je druhová bohatost, pestrost, kterou označujeme jako **druhovou diverzitu** (někdy též biodiverzita). Dalším důležitým rysem je **dominance**, tj. důležitost jednotlivých druhů ve společenstvu. Společenstvo se vyznačuje jistou stálostí – **stabilitou** v zastoupení druhů.

Sukcese. Každá část krajiny, je-li ponechána samostatnému vývoji, podléhá změnám. Tyto změny společenstev v čase nazýváme **sukcesí**. Následný sled sukcesních změn vytváří sukcesní řád (princip sukcese):

- o **primární sukcese**, vzniká na místech, kde nebyly žádné rostliny. Např. písečné duny, opuštěná pole, odvaly, odkaliště, spálený les atd. Začíná bakteriemi, houbami, mechy, lišejníky,
- o **sekundární sukcese**, pokračuje tam, kde již nějaké rostliny byly. Travnatou a bylinnou vegetaci střídají křoviny, popř. lesní porosty.

Podobně jako se v průběhu sukcese mění společenstva rostlin, dochází i ke změnám společenstev živočichů. Tyto změny jsou ve srovnání se změnami rostlinstva méně nápadné. Konečným stadiem sukcese je vytvoření vyrovnaného společenstva (biocenózy) s abiotickým (neživým) prostředím – tzv. **klimaxu** společenstva. Tento stabilní stav zůstane zachován tak dlouho, pokud se nezmění rozhodující faktory životního prostředí. Příklad sukcesních změn je součástí animace „Ekologická sukcese“ [A1K1].

1.3. Ekosystém

Ekosystém sestává ze společenstva (biocenózy) živočichů, rostlin a mikroorganismů, kteří v určitém prostoru (biotopu) jsou ve vzájemném vztahu i ve vztahu k prostředí, a tvoří tak ekologickou jednotku s uzavřeným látkovým oběhem.

Příklad takového ekosystému ukazuje videoklip s názvem „Chráněná krajinná oblast Poodří a její specifika“ [VK1K1].

Pod pojmem **biotop** rozumíme životní prostor určitého společenstva, který je tvořen vzájemnou součinností a vztahy všech jeho biotických a abiotických složek. Biotop je tvořen **klimatopem** (mikroklima, mezoklima), **edafotopem** (půda, substrát) a **hydrotopem** (vodní prostředí). Původně byl místo termínu biotop používán termín **ekotop**. Málokdo si však při vyslovení tohoto slova uvědomuje, o jak složitý systém se jedná.

Biocenóza na určitém biotopu tedy vytváří funkční ekologický systém, který nazýváme v obecném pojetí jako ekosystém.

Naše legislativa (zákon č. 17/1992 o ŽP) definuje ekosystém jako funkční soustavu živých a neživých složek životního prostředí, jež jsou spojeny navzájem

- o výměnou látek,
- o tokem energií,
- o předáváním informací,

a které se vzájemně ovlivňují a vyvíjejí v určitém čase a prostoru.

Mezi nejmenší ekosystémy patří louka, les, pole, rybník, jezero, mezi vyšší jednotky krajina, biom a biosféra.

Biom je významná ekologická oblast nacházející se na pevnině. Biom je velký biotop (makrobiotop). Nejdůležitějšími biomy jsou tundra, jehličnatý les, opadavý les, tropický prales, step, savana (tropická step), poušť a arktické pustiny.

Biosféra (též někdy ekosféra) je oživený prostor naší Země organismy. Někdy užíváme pojmu noosféra (technosféra). Je to moderní biosféra přírodní krajiny, která byla přeměněna, degradována nebo nahrazena umělými ekosystémy

- o městskými,
- o zemědělskými,
- o průmyslovými.

V čistě ekologickém pojetí používáme výrazu ekosystém pro biocenózy a jejich prostředí ve velmi rozmanitém rozsahu, např.:

- o mikroekosystémy (pařez stromu, mraveniště),
- o mezoekosystémy (les, louka, jezero),
- o makroekosystémy (krajina, biom).

Ekosystém a diverzita. Stabilita ekosystému závisí na **druhové pestrosti organismů** čili diverzitě. Ekosystém tvořený společenstvy vyšší biodiverzitou lépe reaguje na změněné podmínky prostředí. Člověk nahrazuje přirozené ekosystémy lesními a polními monokulturami a ty nemají autoregulační schopnosti jako původní ekosystém. S tím souvisí např. přemnožení škůdců a chorob až do kalamitního přemnožení.

Biogeochemie studuje chemické vztahy mezi rostlinami, živočichy, člověkem, minerálními látkami a abiotickým prostředím. **Biogeochemické cykly** představují oběh látek a prvků mezi živými a neživými složkami ekosystému. Energie vstupující do ekosystému je vázaná producenty v asimilátech jako chemická energie. Býložravci spotřebují asi 10 až 20 % z vytvořené primární produkce, 80 až 90 % rozloží dekompozitoři. Organická hmota je v potravních řetězcích postupně odbourávána při látkové přeměně. Při tomto rozkladu je energie vázaná v organické hmotě přeměňována v teplo, které se vydává do prostředí. Tok energie je v ekosystému jednosměrný a nenávratný na rozdíl od koloběhu látek, který probíhá v kruhu.

Biogeochemické cykly. V jednotlivých ekosystémech na pevninách a oceánech dochází k opakovaným (cyklickým) výměnám hmoty. Tato výměna probíhá v otevřených cyklech, které nazýváme **biogeochemické cykly**. Je to např. cyklus vody, uhlíku, dusíku, fosforu, síry, kyslíku atd. Bez fungování uvedených cyklů (přísun a výměna látek mezi živými a neživými složkami ekosystému) by nebyl možný život v biosféře.

Kromě základních chemických prvků, které živé organismy potřebují a které se k nim dostávají obvykle pomocí uvedených cyklů, potřebují ke svému životu i celou řadu chemických prvků, které nazýváme **biogenními prvky** nebo **minerálními nutrienty**. Živé organismy potřebují nezbytně následující nutrienty:

- o K, Ca, Mg a někdy Na – ve větším množství,
- o Fe, Mn – ve středním množství,
- o Zn, Cu, Co, Mo, B, V, aniont Cl⁻ a mnoho dalších prvků – ve velmi malém množství, i jen ve stopových množstvích.

→ **Hydrologický cyklus** je nedílnou součástí biogeochemického cyklu.

Voda není pouze zdrojem kyslíku a vodíku, ale tvoří největší část těl živých organismů.

V rámci globálního ekosystému (biosféry) se rozlišuje:

- o **velký oběh (koloběh) vody:** probíhá mezi oceánem a pevninou (výpar hladiny – přenos vodní páry nad pevninu – kondenzace – spad ve formě srážek – odtok zpět do moře). Rozhodující význam v zásobování srážkovou vodou na většině zemského povrchu.

- o **malý oběh pevninský:** (odehrává se nad pevninou) výpar – kondenzace – srážky – výpar.

Hlavním znakem je výměna vody mezi zemským povrchem a atmosférou. Hybnou silou je sluneční záření. Odpařováním a transpirací se vodní páry dostávají do ovzduší, po ochlazení se kondenzují a ve formě srážek spadnou na oceány a kontinenty. Na souši vodu zachytí vegetace nebo půda, v půdě se může voda dostat až na nepropustné podloží (zásoby podzemní vody), část vody se vypaří a část odtéká říčním systémem zpět do moří a oceánů. Schematické znázornění hydrologického cyklu je patrné z animace „Hydrologický cyklus“ [A2K1].

→ **Koloběh uhlíku**

Uhlík patří mezi základní biogenní prvky. V přírodních biochemických cyklech se vyskytuje především ve formě oxidu uhličitého (CO_2), tedy společně s kyslíkem. Je základním prvkem všech organických látek. Hlavním zdrojem je atmosféra. V podobě sloučenin uhlíku se akumuluje a ukládá energie. Ta opouští ekosystém, když v rámci metabolických procesů jsou sloučeniny uhlíku oxidovány na oxid uhličitý. Uhlík vstupuje do trofické struktury společenstva v okamžiku, kdy se jednoduchá molekula CO_2 váže při fotosyntéze, z atmosféry je uhlík ve formě oxidu uhličitého pohlcován zelenými rostlinami, organicky vázaný uhlík je částečně prodýchán a z části uvolněn při rozkladu mrtvé hmoty. Část organických látek se mění v humus nebo byla přeměněna na naftu a uhlí. Do vody se CO_2 dostává srážkami, výměna mezi vodou a ovzduším probíhá difúzí. CO_2 uniká do ovzduší také rozkladem uhličitánů (zvětrávání vápenců). Do koloběhu zasáhl člověk spalováním fosilních paliv.

→ **Koloběh kyslíku** úzce souvisí s cyklem uhlíku

Atmosférický kyslík působí na všechny složky ekosystému, vzniká fotosyntézou primárních producentů (zelených rostlin). Rovnováha (21 % O_2 v ovzduší) se udržuje tím, že množství organického uhlíku, stechiometricky shodné s množstvím produkovaného O_2 . Kyslík využívají k dýchání živé (aerobní) organismy (dýchání nefotosyntetických orgánů, noční dýchání orgánů fotosyntetických). Kyslík v biosféře je produktem fotosyntézy. Spotřebovává se dýcháním a rozkladem těl odumřelých organismů. V horní části atmosféry vznikla vrstva ozónu, která chrání život před UV zářením. Z atmosféry proniká kyslík do půdy a vody. Významným činitelem v koloběhu kyslíku je člověk, který snižuje obsah kyslíku spalováním látek, mýcením lesů, odpadními látkami, které při rozkladu odnímají kyslík. Následující animace „Oběh CO_2 a O_2 v přírodě“ [A3K1] uvedený proces vysvětluje.

→ **Koloběh dusíku**

Dusík je málo reaktivní prvek, vyskytuje se spíše ve volné formě. Aby vstoupil do metabolismu organismů, je třeba jej hydrogenovat na amoniak. To se děje při elektrických výbojích (blesky), biofixací bakteriemi, při rozkladných procesech.

Průběh cyklu: „atmosféra – organismus – půda“

Dusík má složitý biochemický cyklus, v němž živé organismy mají významné postavení. Zásobárnou dusíku je atmosféra (cca 80 % N), která zásobuje cyklus mnoha způsoby. Odtud se dusík dostává také do půdy a vody. Reakce oxidů dusíku v atmosféře jsou patrné z animace „Reakce systému NO - NO_2 - O_3 “ [A4K1]. Volný vzdušný dusík mohou vázat jen některé mikroorganismy (některé půdní bakterie, sinice a aktinomycety, hlízkové bakterie z kořenů bobovitých rostlin). Rostliny přijímají dusík převážně jako nitrátový (NO_3^-) nebo amonný ion (NH_4^+) a využívají jej k tvorbě bílkovin. S potravou se dostává do těl živočichů. Ti jej částečně využívají k tvorbě vlastních bílkovin, část vylučují jako dusíkaté odpadní látky do prostředí. Při rozkladu mrtvé hmoty uvolňují rozkladači anorganické formy dusíku (NO_3^- anionty a NH_4^+ kationty), které mohou opět přijímat rostliny, plynný dusík z rozkladu se uvolňuje zpět do ovzduší. Část dusíku se do atmosféry dostává sopečnou činností. Zásahy člověka, např. hnojením půdy i rybníků, se zvyšuje obsah dusíkatých látek nejen v půdě a povrchové vodě, ale jsou jimi ohroženy i zásoby podzemní vody (zdroje pitné vody). Oběh dusíku v biosféře je znázorněn na animaci „Oběh dusíku v biosféře“ [A5K1].

→ **Koloběh fosforu** je příkladem jednoduchého otevřeného koloběhu

Biogeochemický oběh fosforu v biosféře je znázorněn na animaci „Biogeochemický oběh fosforu v biosféře“ [A6K1]. Fosfor je podstatnou částí protoplazmy, vstupuje do sloučenin s nukleotidy a nukleovými kyselinami – prochází ekosystémem v různých formách. Původní zdroj – rozpad hornin, hlavní rezervoár – sedimenty.

V prostředí se obvykle vyskytují ve formě fosfátu. Do ekosystému může přicházet v podobě rozpustných anorganických iontů, nebo jako část jiných organických nebo anorganických molekul o různé rozpustnosti – např. ve velmi kyselém prostředí vzniká nerozpustný fosforečnan (fosfát) Fe, Al, Mn, naproti tomu při nadbytku Ca se tvoří fosforečnan vápenatý (apatit). Potravními řetězci se fosfor dostává do těl živočichů. Po uhynutí organismů se fosfor uvolňuje rozkladem do prostředí, kde je zčásti využit bakteriemi a část je blokována ve formě nerozpustných fosfátů, které rostliny nemohou přijímat. Člověk dnes nejvýrazněji zasahuje do cyklu fosforu:

- o výrobou a používáním detergentů v pracích a čistících prostředcích
- o výrobou a aplikací nadměrného množství fosforečných hnojiv v zemědělství.

→ **Koloběh síry**

Představuje cyklus sedimentárního typu s fází atmosférickou. Vedle chemických faktorů se na koloběhu síry podílejí především mikroorganismy, hlavně bakterie a houby. Sloučeniny síry jsou přirozeně obsaženy v půdě, vodě i v ovzduší, u živočichů je síra důležitou součástí bílkovin (těla živočichů obsahují asi desetkrát více síry než těla rostlin), zbytky organické hmoty obsahující síru podléhají činnosti anaerobních bakterií, ty uvolňují sirovodík, který v atmosféře oxiduje. Síranové ionty se s vodními srážkami dostávají do vody a odtud do těl organismů nebo do sedimentů. Člověk uvolňuje velké množství SO_2 spalováním fosilních paliv. Další síra se dostává do ovzduší činností sopek. Oběh síry v biosféře můžete vidět na animaci „Oběh síry v biosféře“ [A7K1]. Uměle připravené látky, pro jejichž rozklad se nevyvinuly mikroorganismy se v přírodě hromadí. Mnohé z těchto látek mohou v dlouhodobém vývoji ovlivňovat i genetické znaky organismů (mutageny).

Cyklus biogenních kationů. Většinu hmoty živých organismů tvoří chemické prvky O, C, N, H, P, S. K průběhu životních pochodů náleží také určité množství kationtů (prvky Ca, K, Mg, někdy i Na). Tyto prvky jsou tzv. **makroelementy**, makroživiny.

Mezi **mezoelementy** patří Fe a Mn, tzv. **mikroelementy** postačují ve velmi malých množstvích (B, Zn, Cu, Co, Mo, V, Cl).

Některé z těchto prvků potřebují pouze rostliny a nikoli živočichové a naopak. Kupříkladu Na je nezbytný pro živočichy, zřídka potřebný pro rostliny, ty jej však dodávají živočichům. Zdrojem biogenních kationtů je především půda (rozklad hornin), ale významný je i přínos srážkami. Kationty jsou absorbovány kořeny, přecházejí do různých orgánů, především do listů, a tím vstupují do trofického řetězce. Mineralizací odpadů a mrtvé hmoty se biogenní kationty vrací do půdy a koloběh se opakuje. K zpomalení dochází v lesích – akumulace iontů ve dřevě a kůře.

□ Tok energie v ekosystémech

Sluneční energie dopadající na zemský povrch je využita rostlinami v procesu **fotosyntézy** a následně přeměněna v biomasu. Samotný mechanismus, ke kterému dochází v procesu fotosyntézy, znázorňuje animace „Schéma fotosyntézy“ [A8K1]. Energie biomasy je postupně přeměňována a využívána organismy v tzv. **potravním (trofickém) řetězci**.

Přenos energie v ekosystémech není uskutečňován pouze potravním řetězcem, ale i ostatními formami energie (předáváním tepla, silou větru, vypařováním, chemickými reakcemi atd.). Systém toku energie v ekosystémech je tedy systémem otevřeným, ve kterém platí termodynamické zákony (první a druhý zákon).

První zákon termodynamiky vyjadřuje princip zachování energie. Teplo je druh energie, může vznikat z mechanické nebo jiných druhů energií a **může se v něm měnit**, ale vždy tak, že přírůstek jedné energie (ve stejných jednotkách) se právě rovná úbytku jiné energie. Energie v nějaké soustavě (popř. v ekosystému) nezaniká ani nemizí. Dopadající sluneční energie je v ekosystému přeměňována na chemickou energii biomasy rostlin a živočichů. Nevyužitá energie je potom jako tepelná energie vyzařována zpět do vesmíru. Nevyužitá energie biomasy, pokud nebyla zcela degradována, může být skryta a využita později, tak jako tomu je u fosilních paliv. V zásadě však platí, že energie v uzavřeném prostoru (v našem případě ekosystému) může pouze přecházet z jedné formy do druhé, nemizí, ani nově nevzniká.

Druhý zákon termodynamiky stanoví, že procesy spojené s přenosem energie nemají 100 procentní účinnost. Ve zjednodušeném výkladu tento zákon říká, že není možné sestavit periodicky pracující tepelný stroj, který by jen přijímal teplo od ohřívače a vykonával stejně velkou práci. Matematicky je možné tento zákon formulovat použitím entropie. V uzavřených soustavách ponechaných sobě samým, probíhají jen takové změny, při nichž entropie roste, a to tak dlouho, až dosáhne nejvyšší hodnoty, kterou se vyznačuje rovnovážný stav (princip růstu entropie). Pokud se týká ekosystémů, může termín entropie být uplatňován jako míra

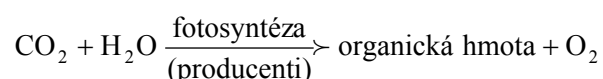
- o vzrůstající neuspořádanosti systémů,
- o stupně degradované energie.

V ekosystémech jsou však živé organismy vysoce organizovány. Pokud však nedostanou energii z vnějšího prostředí, svoji uspořádanost rychle ztrácejí. Přestanou růst, rozmnožovat se, až nakonec uhynou. V tomto případě se entropie bude zvyšovat až do rovnovážného stavu a tento systém se stane zcela neuspořádaný, nefunkční.

Nesprávné úvahy některých vědců o antientropickém chování živých organismů (a tím i neplatnosti termodynamických zákonů v ekologii) vznikly na základě sledování izolovaných ekologických systémů, při nichž nebylo uvažováno s jejich interakcí a přenosem energie s okolím.

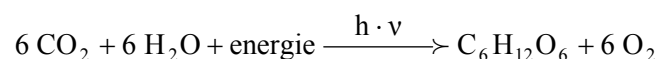
Dalším příkladem platnosti tohoto zákona je jen částečná přeměna sluneční energie v ekosystémech na tvorbu biomasy. Rostliny nepřijímají sluneční záření stoprocentně, ale v procentech nebo jen desetinách procent.

Produktivita ekosystému



V rovnovážném ekosystému probíhají současně dvě protikladné reakce

Organická hmota – biomasa – je tedy vytvářena slunečním zářením, fotochemickou reakcí – **fotosyntézou** – podle reakce



Život na naší Zemi závisí na slunečním záření. Rostliny, řasy, sinice zachycují sluneční energii a fotosyntézou ji mění na energii chemickou za vzniku sacharidů $(\text{CH}_2\text{O})_n$. Oxid uhličitý je tedy redukován H_2O na cukr za vzniku kyslíku. Fotochemicky vzniklé cukry jsou zdrojem energie jak pro organismy, které je vytvořily, tak pro nefotosyntetické organismy (živočichy), které se přímo nebo

nepřímo živí fotosyntetickými organismy. Opakem fotosyntézy je respirace. Je to protichůdný proces získávání energie oxidací sacharidů v metabolických procesech.

Podle uvedené chemické rovnice můžeme stechiometricky vyjádřit spotřebované množství CO_2 a vytvořené množství O_2 a organické hmoty. Výdej 1 g O_2 rostlinou odpovídá přibližně produkci 1 g sušiny biomasy (21 kJ). V 1 g sušiny je přibližně 0,45 g C. Schematicky je proces fotosyntézy znázorněn na animaci 11.

Z atmosféry nelze získat O_2 , aniž by byla blokována organická hmota (viz předcházející rovnice pro respiraci). To potvrzuje i to, že uhlík nahromaděný za věky v horninách (grafit, uhlí, rašelina, ropa, zemní plyn) se rovná kyslíku ze sedimentárních oxidovaných hornin a z atmosféry v tom poměru, jaký má uhlík a kyslík v CO_2 (12 : 32). Hlavním zdrojem atmosférického kyslíku byla tedy fotosyntéza, při níž se C a O_2 vyměňují v tomto poměru.

Z kyslíku v atmosféře pak fotoreakcí vzniká částečně ozon (O_3). Vzniklý ozon v ozonové vrstvě naší Země chrání povrch naší planety před krátkovlnnými ultrafialovými paprsky (s vlnovou délkou $\lambda < 250$ nm). Tyto paprsky jsou velmi škodlivé pro všechny organismy. Kdyby tyto paprsky nebyly absorbovány ozonovou vrstvou, zničily by všechno živé na Zemi, pokud by nebylo chráněno dostatečnou vrstvou vody nebo půdy.

Rychlost produkce biomasy označujeme jako produktivitu ekosystému. Pod pojmem **primární produktivita** zahrnujeme tvorbu biomasy zelenými rostlinami. Vytváří přírůst rostlin, nebo je využita konzumenty jako potrava. Pod pojmem **sekundární produktivita** vyjadřujeme biomasu vytvořenou konzumenty nebo organismy rozkladu. Primární produktivita pro různé typy ekosystémů (biomů) je uvedena v tab. 1.1.

Tab. 1.1 Primární produktivita ekosystémů (tvorba biomasy)

Sluneční záření dopadající na zemskou atmosféru (solární konstanta)		
1 373 W/m ² ; (1 373 J/m ² .s)		
za rok 42,705 mil. kJ/m ² .rok		
Sluneční záření zachycené na Zemi (střední zeměpisné pásmo)		
za rok 3,8 - 4,2 mil. kJ/m ² .rok		
Využití slunečního záření k tvorbě biomasy		
Typ ekosystému	Využitá energie [kJ/m ² .rok]	~ % využití
volné moře, pouště	420 – 2 100	0,03
travnaté formace (stepi), hluboká jezera	2 100 – 16 800	0,25
lesy, žírné louky, mělká jezera	16 800 – 50 400	0,85
rovníkové lesy, korálové útesy, plantáže	50 400 – 126 000	2,20
celá biosféra (průměr)		0,2

□ Trofická struktura ekosystémů

Každý ekosystém, jak již bylo uvedeno v předcházející části, potřebuje pro svoji existenci přítok energie. Ve většině ekosystémů tuto energii dodává Slunce ve formě slunečního záření (UV, světelné a IR). Organismy, které pomocí fotosyntézy (z CO_2 , H_2O a minerálních látek) vytvářejí organické látky, a tyto látky využívají k budování, rozmnožování a k tvorbě zásob pro udržování svých životních podmínek, nazýváme **autotrofními organismy**. K těmto organismům patří zelené rostliny, které obsahují chlorofyl. Existují však i **chemotrofní organismy**, chemotrofní bakterie, jež mohou získávat potřebnou energii oxidací anorganických látek – amoniaku na dusitany, dusitanů na dusičnany, sulfanu

na síru až sírany, dvojmocného železa na trojmocné atd. Pro svoji činnost potřebují sice kyslík, nepotřebují však světlo. Obě skupiny těchto organismů nazýváme **producenty**.

Druhou skupinu tvoří **heterotrofní organismy**. Tyto organismy nemají schopnost využívat sluneční energii, a proto se živí příjmem organických látek, syntetizovaných autotrofními organismy. Živočišné druhy (heterotrofní), které se živí příjmem producentů, obvykle částí jejich organismů (listy, plody) nebo jiných živočišných druhů, pak nazýváme **konzumenty**. K získání potřebné energie využívají oxidace organických látek, spotřebovávají vzdušný kyslík a vydechují oxid uhličitý. Konzumenti nejsou schopni, na rozdíl od producentů, vytvářet organické látky z látek anorganických.

V potravním řetězci konzumenti zaujímají postavení jako:

- o býložravci (herbivoři),
- o všežravci (omnivoři),
- o masožravci (karnivoři),
- o dekompozitoři (jiná synonyma destruenti, reducenti, saprofágové).

Do poslední skupiny dekompozitorů zařazujeme houby, plísně a bakterie, které se živí rozkladem malých až mikroskopických částic živé nebo mrtvé organické hmoty. Konečnými produkty jejich činnosti jsou opět základní minerální živiny dostupné zeleným rostlinám.

Potravní (trofické) řetězce

Přenos energie v potravě z autotrofních organismů do dalších heterotrofních organismů, kdy jeden organismus nebo jeho část slouží za potravu dalším organismům, nazýváme jako **potravní** nebo **trofický řetězec** (řecky trofé – potrava, výživa).

Podle toho, je-li počátek řetězce vázán na živou nebo mrtvou hmotu, rozdělujeme potravní řetězec v zásadě na dva typy:

- o **pastevecko-kořistnický**
začíná živou biomasou primárních producentů
příklad: plankton – ryby – dravé ryby – vydra,
tráva – zajíc – liška – ještáb,
jehličí – housenka – sýkora – krahujec,
- o **dekompoziční (detritový, rozkladný)**
začíná neživou organickou hmotou (odumřelí primární producenti nebo konzumenti)
příklad: rostlinné zbytky (listí) – dešťovky – kos – kočka,
organické látky z odpadních vod – bakterie – prvoci – korýši – ryby.

Dalším užívaným ekologickým pojmem je **trofická úroveň**. Tato úroveň je určena počtem stupňů předávání energie mezi jednotlivými druhy:

- I. trofická úroveň – rostliny,
- II. trofická úroveň – primární konzumenti (býložravci),
- III. trofická úroveň – sekundární konzumenti (masožravci),
- IV. trofická úroveň – terciární konzumenti (masožravci vyšších řádů, tzv. predátoři).

Trofická úroveň nerozděluje druhy organismů, ale je pouze klasifikací stupňů přijímání potravy. Určitá populace může střídat úrovně podle dostupnosti potravin. Všežravci mohou vstupovat do trofické úrovně na různých stupních. To platí ve zjednodušené a ilustrativní formě i pro člověka. Vegetariáni, konzumující rýži, obilí, zeleninu, vstupují jako primární konzumenti. Při konzumaci hovězího masa jako sekundární konzumenti a konečně při konzumaci masa štik, pstruhů atd. jako terciální konzumenti. Současný civilizovaný člověk však již nevyužívá přímých potravních řetězců. Do těchto řetězců vkládá svoji práci, různé úpravy a energii. S původním potravním řetězcem se můžeme setkat pouze u primitivně žijících kmenů v málo přístupných částech světa.

Trofické struktury ekosystému se schematicky znázorňují pomocí **ekologických (trofických) pyramid**. Na základně této pyramidy je první trofická úroveň, na niž navazují v dalších vrstvách další trofické úrovně. Ekologické pyramidy mohou být provedeny v různých rozměrech, a to jako pyramidy vyjadřující v jednotlivých úrovních:

- o počet druhů,
- o množství předané biomasy,
- o množství předané energie.

Na animaci „Ekologická pyramida“ [A9K1] jsou znázorněny jednotlivé trofické stupně.

V ekologických pyramidách zpravidla klesá počet organismů se stoupající trofickou úrovní, zato však roste jejich velikost.

Při přechodu energie přes potravní úrovně dochází vždy k velkým ztrátám energie (viz zákony termodynamiky). Ztráty jsou způsobeny:

- o metabolickými pochody,
- o vyzařováním tepla (u teplokrevných živočichů),
- o uskladněnou energii ve formě zásobních látek,
- o nepřeměněnou energii, která nebyla metabolizována ani asimilována, ve formě odpadních látek (separace).

Přenos energie od původních zdrojů biomasy (autotrofních organismů) do dalších stupňů trofické úrovně (heterotrofních organismů) je provázen velkými ztrátami energie, a to z 80 – 90 % v každém stupni. To je důvod, proč potravní řetězce nejsou dlouhé, a mají max. 4 až 6 článků. Přenášená energie do další vyšší úrovně se tedy snižuje asi na jednu desetinu předchozího stupně (**pravidlo o využití jedné desetiny energie**). Příklad energetické účinnosti jednoduchého trofického řetězce je uveden na animaci „Energetická účinnost trofických řetězců“ [A10K1].

Při produkci potravin člověk mění původní ekosystém v tzv. **agrosystémy**. Počet druhů v tomto umělém ekosystému je ve většině případů omezen na jeden druh. Ostatní druhy jsou záměrně ničeny, někdy i chemicky – pesticidy (herbicidy). Použití pesticidů je aplikováno v agrosystémech velmi často, protože v těchto systémech je zcela narušena jejich ekologická rovnováha (homeostáze) a dochází k přemnožení hmyzu, hlodavců, plísní atd. Do těchto **agro-alimentárních systémů** v důsledku zvýšení produktivity vnáší člověk značné množství energie (výroba a pohon hospodářských strojů, umělá hnojiva a postřiky, zpracování, balení a doprava potravin atd.). Podíl dodatkové energie v těchto činnostech mnohonásobně převyšuje energii v původní biomase vytvořenou slunečním zářením.



Průvodce studiem

Tak např. v některých potravinách (rybí konzervy, olejovky, kaviár) činí dodatková energie až čtyřicetinasobek původní vlastní energie potraviny – ryby (stavba a doprava loď, daleký rybolov, zmrazení úlovku, zpracování výrobku, plech na konzervy, doprava ke spotřebiteli a konečně i cesta autem na nákup do hypermarketu).

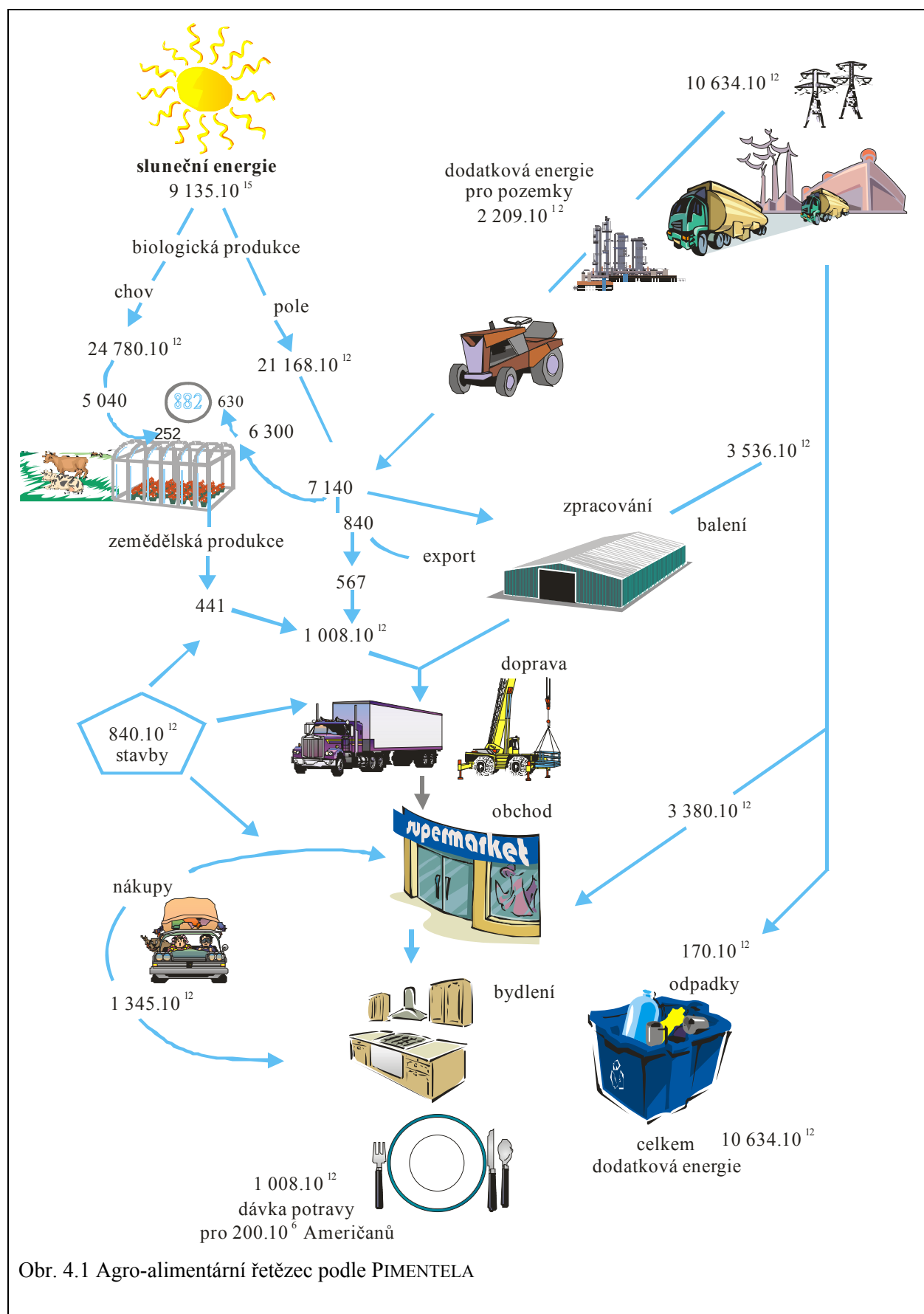
Agro-alimentární systém USA sestavený v roce 1976 podle PIMENTELA A KOL. se stal příkladným a je uváděn v řadě ekologických učebnic (viz obr. 4.1). Americké zemědělství produkovalo na $140 \cdot 10^6$ ha polí a $295 \cdot 10^6$ ha pastvin ročně $1\,008 \cdot 10^{12}$ kJ potravin pro $200 \cdot 10^6$ Američanů a $273 \cdot 10^{12}$ kJ potravin na export. Čistá primární produktivita činila $45\,948 \cdot 10^{12}$ kJ za rok. Přes 95 % produkce se však ztratilo přeměnou v živočišné produkty (v dalších trofických úrovních) nebo odpadech. Aby se na polích vyrobilo oněch $1\,008 \cdot 10^{12}$ kJ tvořících potravní dávku amerického lidu, muselo se přidat $2\,209 \cdot 10^{12}$ kJ dodatkové energie. Další obrovské množství energie bylo rovněž spotřebováno k dopravě potravin, k jejich zpracování, balení, skladování, prodeji, nákupu, konzumaci a odstranění zbytků. To vše tvořilo a tvoří agro-alimentární systém USA (agrobiznis). Tento systém je tak významný a rozsáhlý, že zabírá polovinu ekonomické aktivity obyvatelstva.

Závěrem: dodatková energie ve výši $10\,634 \cdot 10^{12}$ kJ umožňuje vyrobit potraviny v energetické hodnotě

$1008 \cdot 10^{12}$ kJ. Na každý 1 kJ potravin je dodáno přibližně 10 kJ dodatkové energie.

Obdobně sestavený agro-alimentární systém Francie v roce 1977 vykazoval, že na každý kJ potravin určených lidem ke konzumaci je zapotřebí 8,2 kJ dodatkové energie. Novější údaje o agro-alimentárních systémech nejsou dostupné. Jejich sestavování s růstem techniky a modernizace života je stále složitější, těžko proveditelné. U vysoce rozvinutých zemí se podíl dodatkových energií v důsledku modernizace zemědělské výroby a dostupné světové přepravy potravin v rámci globalizace neustále zvyšuje.

Pro úplnost a vysvětlení je nutné dodat, že přechod třetího světa (málo rozvinutých zemí s velkým počtem obyvatel) na tento typ moderního a složitého systému s vysokou technickou náročností a produktivitou není možný z energetických důvodů. Světu by se nedostávalo energie. Zhruba 5 % obyvatel světa v USA spotřebovává více než 30 % současných energetických a surovinových zdrojů světa.



Obr. 4.1 Agro-alimentární řetězec podle PIMENTELA

1.4. Působení faktorů prostředí

Jedinci, populace a biocenózy jsou závislé na faktorech prostředí (světlo, teplo, voda, vzduch, půda, vítr, oheň atd.), ve kterém žijí, a tyto faktory pak rozhodují o jejich:

- o **stupni vitality** (faktory produkční),
- o **množení** (faktory limitující).

Mezi působící faktory prostředí obvykle zahrnujeme:

- o klima (teplota, srážky, složení ovzduší),
- o substrát (půda, voda),
- o topografické podmínky (rovina, svah, odtok vody, severní strana atd.),
- o biotické podmínky (působení krtků, dešťovek, kobytek, ale i člověka – pálení lesů atd.).

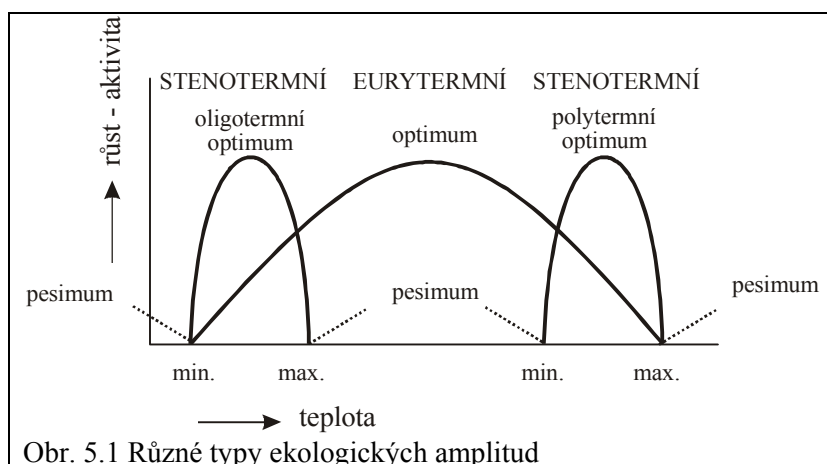
Uvedené rozdělení faktorů do čtyř základních skupin není vždy jednotné. V ekologických učebnicích jsou faktory uváděny podle jejich posloupnosti, podle důležitosti, kterou jim jednotliví autoři přiřkládají. Například teplota prostředí, záření (tepelné, světelné, ultrafialové), čistota ovzduší, vzdušný tlak, pohyb vzduchu, význam vody a vodní páry, přítomnost minerálních solí k udržení metabolických procesů, povaha a složení substrátu (půdy), dostupnost potravy co do množství a její kvality, možnost úkrytu, hnízdění atd.

Souhrn těchto faktorů, jež podmiňují existenci určitých populací nebo biocenóz v přírodě, vytváří biotop. O biotopu jsme již pojednali v předcházející části o ekosystémech. Je třeba si uvědomit, že biotop není pouze soubor abiotických (neživých) složek životního prostoru příslušného konkrétního společenstva, které žije v daném vymezeném prostoru, tak jak byl z počátku definován, ale je vytvořen vzájemnou souvislostí obou jeho složek **abiotických a biotických**, z jejich oboustranně orientovaných vztahů a vazeb.

□ Limitující a produkční faktory

Každý organismus má vůči změnám vnějších a vnitřních podmínek samoregulační schopnost udržet si optimální rovnovážný stav (stav homeostáze). V rámci působení těchto ekologických faktorů má však každý rostlinný a živočišný druh své **limitující hranice**, kterými je ohraničena jeho **snášlivost (tolerance)**.

Rozsah tolerance nazýváme a je schematicky zobrazována jako **ekologická amplituda druhu** (někdy též jako ekologická valence). Každý druh má pro určitý faktor prostředí v této amplitudě své **pesimum**. Minimální a maximální hranice své tolerance, vlastní hranice svého žití. **Optimum**, které je na vrcholu této amplitudy, pak vyjadřuje nejlepší podmínky pro svoji existenci (viz obr. 5.1).



Obr. 5.1 Různé typy ekologických amplitud

Ekologická amplituda (valence) představuje schopnost organismu žít při jistém rozmezí daného faktoru prostředí. Organismy se širokým rozpětím označujeme předponou **eury-** (příklad eurybiontní – velmi přizpůsobivé) a organismy s úzkým rozpětím se označují předponou **steno-** (příklad stenobiontní – málo přizpůsobivé). Pro malé hodnoty (koncentrace) používáme předponu **oligo-**, pro střední **mezo-** a pro vysoké hodnoty předponu **poly-**. Podle jednotlivých faktorů se rozlišují organismy eurytermní opak stenotermní (teplota), euryfágní opak stenofágní (potrava) atd. Organismus, který nemá toleranci ani vůči malým kvantům toxického faktoru, se označuje příponou -**fobní** nebo -**fugní** (např. kuprofobní). Opakem je přípona -**filní** (kuprofilní). Limitující působení ekologických faktorů prostředí je vyjádřeno dvěma zákony:

Zákon tolerance (SHELFORD, 1913)

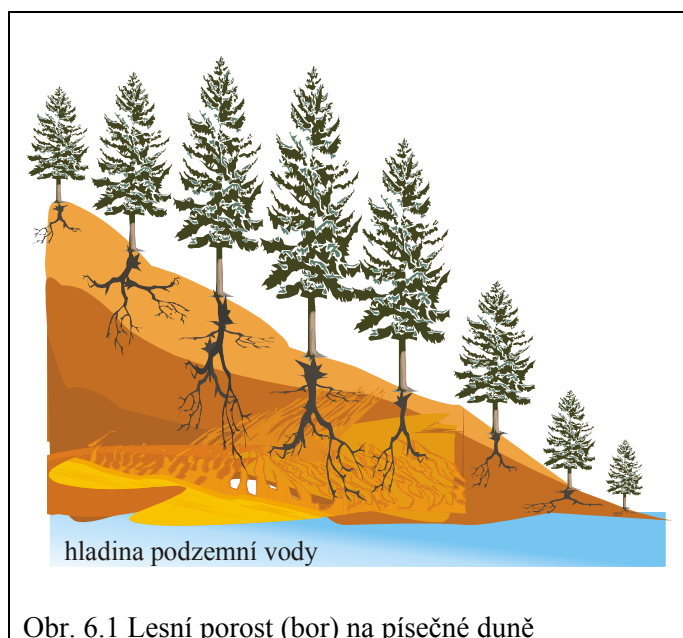
1. Výskyt a úspěšná existence organismu závisí na souboru podmínek.
2. Kvalita a kvantita těchto podmínek určuje hranici, kterou organismus může tolerovat.
3. Všechny organismy mají ekologické minimum a maximum, což jsou hranice tolerance.

Zákon minima (LIEBIG, 1840)

1. Organismus může v dané situaci existovat a žít jen tehdy, pokud má k dispozici všechny látky nezbytné pro růst a rozmnožování.
2. Při rovnovážném stavu je rozhodující látka, dostupná v nejmenším potřebném množství (často jde o stopové prvky – vzácnější prvky, vitamíny).

Ekologická amplituda určuje nejen meze tolerance, ale má také své optimum. Optimální podmínky podmiňují maximální produktivitu (produkci) organismu. Nazýváme je **produkčními faktory**. Na obr. 6.1 je uveden příklad lesního porostu (boru) na písčné duně. Na vrcholcích s nedostatkem vody (příliš hluboká podzemní voda) je produktivita nízká. Porost na svazích s optimálním přísunem vody dosahuje optima a konečně v bažinaté půdě se stojatou vodou produktivita porostu opět klesá.

Produkční faktory pro jednotlivé druhy mají význam zejména v zemědělství (snaha dosáhnout maximální úrody). Jde většinou o dosažení optima (voda – zavlažování, odvodnění; minerální živiny – hnojení).



Obr. 6.1 Lesní porost (bor) na písčné duně

□ Přeměňující vlivy

Organismy se přizpůsobují svému prostředí, aby mohly být plněny (probíhat) jejich fyziologické funkce. Tomuto procesu přizpůsobování říkáme **adaptace**.

Adaptace je fyziologický proces, který je často provázen postupnými změnami:

- o morfologickými (změny tvaru a stavby rostlinných a živočišných těl),
- o histologickými (změny tkání rostlinných a živočišných těl).

Morfologické změny mohou vlivem intenzivního působení prostředí dosáhnout takového rozsahu, že potom mluvíme o **ekomorfóze (metamorfóze)**. Vývoji organismu odlišného původního druhu. Uvedenými přeměnami a změnami organismů v důsledku působení prostředí, ve kterém žijí, se zabývala celá řada vědců. Vzniklo tak několik ekologických či lépe zoogeografických pravidel. Tak například:

BERGMANOVO PRAVIDLO říká, že živočichové nebo geografické rasy z chladnějších oblastí jsou větší a těžší. Naopak v teplejších oblastech jsou menší a lehčí. Větší objem těla má relativně menší ztrátu tepla. Eskymáci mají delší trup a krátké nohy (menší plochu), indiáni naopak kratší trup a delší nohy (větší povrch).

ALLENNOVO PRAVIDLO říká, že živočichové v chladných oblastech mají kratší uši, zobáky, ocase, končetiny. Tělo mají zavalitější, delší a hustší srst.

GLOGEROVO PRAVIDLO říká, že živočichové v teplejších oblastech jsou tmavější a naopak v suchých chladnějších oblastech světlejší.

Vlivy zejména klimatických faktorů a nedostatek potravy v různých časových obdobích působí na chování celé řady živočichů. Mezi tyto důsledky patří – **migrace, dormance, hibernace a estivace**. Migrací označujeme stěhování z jedné oblasti do druhé v určitém ročním období. Nejčastěji živočichové opouštějí jednu oblast v zimě, aby vyhledali potravu na jiném příznivějším území. Na jaře se opět navrací na původní místo a rozmnožují se. Migrace využívá celá řada živočichů, zejména ptáků.

Dormanci je definováno období, kdy organismus přestane přijímat potravu a zastavuje růst. U rostlin dochází v době pro růst nepříznivé, a to v zimě. U živočichů dochází k dormanci z nedostatku potravy a toto období se označuje jako hibernace. Hibernace je dormanci v zimním období mnoha živočichů, zvláště savců. Estivace je zvláštní forma dormance. Projevuje se v suchých obdobích u některých druhů hmyzu.

Evoluční adaptace (adaptivní radiace) je vývojový postupný proces, kterým vzniká mnoho diferencovaných forem organismů z výchozího druhu. Vytvářejí se specializované formy, které nejlépe vyhovují danému prostředí. Např. aerodynamické tvary, umožňující plavání nebo létání. U mnoha organismů se rovněž vyvinuly **obránné adaptace**, např. trny nebo jedovatá žihadla atd.

Na organismy nepůsobí jen prostředí, ale organismy mohou působit zpětně na prostředí, ale také mezi sebou navzájem. Podle CLEMENTSE rozlišujeme:

- o **akci**, prostředí působí na organismy různými vlivy;
- o **reakci**, organismy mohou zpětně působit na prostředí;
- o **koakci**, organismy působí na sebe navzájem.

Všechny uvedené činnosti organismů vedou k soutěži mezi organismy a někdy až k vyřazení určitých spolužijících druhů. Boj o existenci vyřazuje především ty, kdo jsou méně adaptabilní. Mohou to být jedinci jedné populace (vnitrodruhová konkurence) nebo jedinci různých populací, druhů (mezidruhová konkurence). Limitující působení faktorů prostředí a mezidruhové konkurence vyvolávají **agregaci** (sdružování) jedinců jednoho druhu na určitém stanovišti do zeměpisně víceméně izolovaných populací.

□ Environmentální a pro-environmentální chování



V užším slova smyslu nazýváme environmentálním chováním to chování, které významně působí na životní prostředí. Jedná se o příklady chování, které má určitý vliv na životní prostředí. Vzhledem k tomu, že je člověk v neustálé interakci se svým prostředím, můžeme termínem environmentální chování (environmental behaviour) označit téměř veškeré lidské chování – bez ohledu na nesouměřitelnost environmentálních následků jízdy na kole po lesní cestě a mezikontinentálního letu a bez rozdílu mezi výsadbou stromků či vývozem rozpouštědel na černou skládku.

Lidské chování je dnes studováno především z důvodů probíhajících změn životního prostředí, ekosystémů, biosféry a klimatu. Proto si zaslouží zvýšenou pozornost zvláště to environmentální chování, které v určité míře souvisí se spotřebou energie, surovin, produkcí odpadů a znečištěním. Určité dopady na život lučního hmyzu má běžec, který travou po ránu proběhne, stejně jako bezohledná jízda terénního automobilu. Vzhledem k nesrovnatelným následkům obou aktivit je však zřejmé, že jednorázové přeběhnutí přes louku je možné považovat za environmentálně nevýznamné.

Pro-environmentální chování je takové chování, které je obecně (či podle poznatků environmentalistiky) v kontextu dané společnosti hodnoceno jako šetrná varianta environmentálního chování či příspěvek ke zdraví životního prostředí.

Šetrnou variantou je psát dopis perem místo na počítači, koupit si tofu salám místo šunky z vepře chovaného ve velkochovu, příspěvkem ke zdraví životního prostředí je například likvidace černé skládky.

„Ekologické chování je jednání, které přispívá k ochraně a (nebo) zachování životního prostředí,“ píše Axelrod a Lehman (1993). Zahrnuje např. recyklaci, kompostování, úspory energie a vody, šetrné spotřebitelství, politický aktivismus, spolupráci s ekologickými organizacemi, eko-zemědělské aktivity apod. (Kaiser et al., 1999).

Jedním z mnoha pozitivních příkladů ekologického chování může být funkce a význam činnosti záchranných stanic pro handicapované živočichy na příkladu Záchranné stanice Bartošovice – video.

Krajčazl, J. Příspěvek k pojmosloví oboru vznikl jako pro sborník "Člověk + Příroda = Udržitelnost? : Texty o proměně vztahů lidí k přírodě, environmentální výchově a udržitelnosti", vydal Zelený kruh v edici APEL. 2009.



Shrnutí pojmů 1.2.

Účelem této vstupní kapitoly je ekologické pojednání a stručný výklad přírodních poměrů, vztahů a závislostí, který by měl studentům poskytnout nezbytnou ekologickou gramotnost. Pochopit složité chování naší přírody. Půjdem-li na houby do lesa, lehne-li si na záda na rozkvetlou louku a budeme se slunit nebo se ozdravně koupat v moři, měli bychom mít vždy na mysli, že vstupujeme a využíváme přírodního ekosystému. Nyní už víme, že každý ekosystém je velmi složitý systém s přesně probíhající organizací. Jakýkoliv sebemenší nevhodný zásah do jeho řadu ho poškozuje. Velká nenávratná poškození životního prostředí a přírody jsou dílem součtu poškození malých.

Všichni bychom se měli proto k přírodě chovat šetrně a vždy přátelsky

„Chraň přírodu – neobejdeš se bez ní, ochraňuj ji a pečuj o ni, jak ty na ni, ona pak na tebe“



Pojmy k zapamatování

Prostředí, biotické a abiotické složky prostředí, energetické toky v ekosystémech, trofická struktura ekosystémů



Shrnutí pojmů

Ekologie je věda o vzájemných vztazích mezi živými organismy a jejich prostředím, počítaje v to důsledky a zpětné vazby. Zjišťuje a bádá vzájemné vztahy prostředí a živých organismů, od úrovně jednotlivých organismů až po úroveň biosféry jako celku, vzhledem k tomu, že jsou živé bytosti na svém prostředí závislé, je možné ekologii definovat jako vědu o složitých funkčních biotických systémech, zvaných ekosystémy. Ekosystém je synonymum pro biogeocenózu – soubor živé hmoty v určitém ohraničeném prostoru neživého prostředí, který se vyznačuje vzájemnými vztahy, určitou strukturou, tokem energie, potravními řetězci, oběhem látek, vývojem, autoregulací.

Ekologické dění však provází člověka v podstatě od jeho objevení se na Zemi. K zdárnému sběru potravy, lovu i domestikaci zvířat či kultivace planých druhů rostlin, musel bezpečně znát souvislosti k prostředí.

Jako samostatná vědní disciplína byla ekologie pojata před více než sto lety a dnes nabývá stále více na významu, její základní aspekty musí být respektovány ve všech oborech lidské činnosti. Ekologie je věda na rozhraní přírodovědných i technických disciplín, zasahuje i do věd společenských. A je tedy velmi rozsáhlá věda, dotýkající se nejrozličnějších oborů. Při studiu nejvyšších stupňů integrace živé hmoty - od jedince, přes populaci jednoho druhu až k úrovni biosféry, od společenstva k ekosystému - ekologie sdružuje v jednotnou linii specialisty nejrozličnějších oborů.



Otázky 1

1. Co je to ekologie?
2. Jaký je rozdíl mezi životním prostředím a ekologií?
3. Co znamená v ekologickém pojetí „prostředí“?
4. Jak rozdělujeme biotické složky prostředí?
5. Jak probíhá látková výměna mezi jedincem a prostředím? – metabolismus
6. Vysvětlete růst populací. Jakým způsobem probíhají její formy růstu?
7. Jak hodnotíme vzájemné vztahy mezi populacemi, vysvětlete Gauseho pravidlo?
8. Co je to biocenóza?
9. Co je ekosystém?
10. Vysvětlete pojem biogeochemie a biogeochemické cykly?
11. Které znáte biogeochemické cykly – dokážete je stručně popsat?
12. Co jsou to společenstva?
13. Jak probíhá tok energií v ekosystémech?
14. Umíte znázornit schématicky trofickou pyramidu?
15. Co si představujete pod pojmem přenos energie?
16. Jak působí faktory prostředí na živé organismy?
17. Co jsou limitující a produkční faktory prostředí?
18. Dokážete vysvětlit pojmy jako adaptace a agregace?



Další zdroje

- /1/ Odum, E. P. Základy ekologie. Praha 1977.
- /2/ Duvigneaud, P. Ekologická syntéza. Praha, Academia 1988.
- /3/ Braniš, M., Pivnička, K. Úvod do studia životního prostředí. UK Praha, vyd. Karolinum 1994.
- /4/ Smolík, D., Kincl, M., Krpeš, V. Ekologie. Úvod do studia ekotechniky. ES VŠB Ostrava 1992.
- /5/ Pech, K. Ochrana životního prostředí. ES VŠB Ostrava, celofakultní skripta HGF, 1992.
- /6/ Máchal, A., Vlaším, M., Smolíková, D. Desatero domácí ekologie. Rezekvítek Brno, 2003.

2. ZNEČIŠŤOVÁNÍ A OCHRANA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ



Čas ke studiu: 8 hodin



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- porozumět životnímu prostředí z různých aspektů
- definovat a popsat znečišťující látky podle míry jejich škodlivosti
- vyjmenovat významné zdroje znečišťování životního prostředí
- definovat pojmy popisující nebezpečnost znečišťujících látek
- porozumět procesům spojeným se znečišťováním a znečištěním životního prostředí
- popsat kontaminaci potravního řetězce
- rozlišit nebezpečnost vlivu jednotlivých ZL na ekosystémy



Výklad

Životní prostředí – přesněji životní prostředí člověka (uvažováno antropocentricky) je chápáno z různých aspektů, a proto neexistuje dosud jednotná, všeobecně platná a uznávaná definice. Toto vše však již bylo podrobně rozvedeno v předcházející ekologické části. Nejlépe pojem životního prostředí vystihuje legislativní definice našeho prvního zákona o životním prostředí č. 17/1991 Sb., která zní následovně: **Životní prostředí je vše, co vytváří přirozené podmínky existence organismů včetně člověka a je předpokladem jejich dalšího vývoje. Jeho složkami jsou zejména ovzduší, voda, horniny, půda, organismy, ekosystémy a energie.**

Z předcházejícího textu je zcela zřejmé, že pojednat o životním prostředí v celé jeho šíři, vzhledem k jeho rozsáhlosti, je téměř nemožné. Proto je tato problematika obvykle rozložena do jednotlivých základních složek prostředí, kterými jsou ochrana ovzduší, vod, horninového prostředí a půd, znečišťování odpady a fyzikálními vlivy. V následujících kapitolách se proto přidržíme tohoto členění a podrobně pojednáme o jeho základních složkách.

Péče o životní prostředí má různé formy. Za základní se považuje:

- o **ochrana** životního prostředí před negativními účinky lidských činností i před nežádoucím působením přírodních jevů,
- o **tvorba** životního prostředí spočívající v cílevědomých zásazích a formování podle potřeb člověka a přírody.

Ochrana i tvorba prostředí, respektive životního prostředí jsou tedy dílčími, zvláštními formami péče o životní prostředí a neměly by být vzájemně zaměňovány.

Praktický příkladem péče o životní prostředí, z pohledu zachování druhové rozmanitosti, je budování národní sítě záchranných stanic. Zde je prováděna komplexní péče o volně žijící, zraněné nebo handicapované živočichy a současně věnována i pozornost ekologické výchově. Na videoklipu „Záchranná stanice Bartošovice“ [VK2K2] je ukázána současná činnost stanice spadající do této národní sítě.

Naše životní prostředí nepříznivě ovlivňují a znečišťují některé látky či sloučeniny, které se do životního prostředí dostávají ať už naší lidskou zásluhou nebo následkem přírodních dějů. Jejich účinek na životní prostředí může být indiferentní (bez účinků), někdy dokonce i příznivý. V převážné části se však chovají nepříznivě, nepřátelsky k našemu životnímu prostředí. V tomto případě tyto látky označujeme jako **znečišťující látky** a z pohledu děje jako **znečišťování prostředí**. Pod tímto pojmem **znečišťující látky** (dále jen ZL) jsou označovány tuhé, kapalné a plynné látky, které přímo anebo po chemické či fyzikální změně nebo po spolupůsobení s jinou látkou, nepříznivě ovlivňují životní prostředí, a tím ohrožují a poškozují zdraví lidí, ostatních organismů nebo majetek.

Hodnocení životního prostředí vytváří přidanou hodnotu k empiricky zjištěným výsledkům monitoringu tím, že informace o životním prostředí podává v souvislostech s příčinami, následky a aktuálními či plánovanými opatřeními. Hodnocení životního prostředí není samostatnou problematikou a má smysl pouze tehdy, jestliže je začleněno do procesu vytváření politiky.

Vzhledem k tomu, že je životní prostředí ovlivňováno nejen přírodními procesy, ale i lidskou činností, zabývat se jeho hodnocením znamená zabývat se komplexností našich činností a jejich vzájemných interakcí mezi sebou, tak i s přírodním prostředím. Toto komplexní chápání je důležité z toho důvodu, že vyřešením jednoho problému můžeme způsobit problém jiný, například prosazování biomasy pro zelenější palivo znamená intenzifikaci zemědělství s negativními následky pro kvalitu vod v řekách, biodiverzitu a potravinový trh. Budeme-li tedy uvažovat v intencích jednotlivých odvětví či se zabývat složkami životního prostředí odděleně, nikdy problémy zcela nevyřešíme.

V této části se budeme zabývat využitím indikátorů jako základního nástroje pro hodnocení životního prostředí, a jejich tzv. DPSIR systémem pro posouzení interakcí mezi životním prostředím a člověkem. Je třeba se hodnotit výsledky do rámce tvorby, aktualizace a implementace politiky na jedné straně a současně se věnovat metodám hodnocení politik. V kontextu je potřeba vzít do úvahy institucionální zázemí hodnocení životního prostředí v současné době a záměry do budoucnosti.

Informace o životním prostředí jsou k dispozici ve velkém objemu a komplexnosti. Pro snížení komplexnosti a systematizování dostupných informací je možné použít metodiku indikátorů. Indikátor je nástroj, který popisuje pozitivní nebo negativní trendy v souhrnné formě a jeho klíčovou funkcí je sdělit krátkou a jasnou zprávu srozumitelným způsobem. Indikátor zmenšuje komplexnost, zaměřuje se na relevantní aspekty a je obrazem neustále se měnící situace, což je přesně to, co potřebujeme pro zodpovězení klíčových politických otázek. Právě toto činí indikátor zásadním nástrojem hodnocení životního prostředí.

□ Systém indikátorů a klasifikace

Každý indikátor by měl být klasifikován podle typologie (A-E), která určuje, jakou informaci indikátor poskytuje. Většina v současnosti používaných indikátorů jsou indikátory úrovně A (tzv. deskriptivní), které však nejsou dostatečným podkladem pro rozhodování a tvorbu politiky.

- ✓ Úroveň A - Indikátory popisné: „Co se děje s životním prostředím?“

Popisují stav jednotlivých složek životního prostředí (např. znečištění ovzduší prашnými částicemi).

- ✓ Úroveň B - Indikátory pokroku a plnění: „Jdeme správnou cestou?“

Popisují, zdali vývoj stavu životního prostředí je v souladu se stanovenými cíli (např. plnění národních emisních stropů pro jednotlivé škodliviny).

- ✓ Úroveň C - Indikátory účinnosti: „Dochází zavedením opatření ke snížení škod?“

Vyhodnocují efektivitu určitého regulačního zásahu (např. vliv výše poplatků za ukládání odpadu na celkový objem odpadu uloženého na skládky).

✓ Úroveň D - Indikátory efektivity: Je politika efektivní"
Sledují, zdali dochází k realizaci politiky.

✓ Úroveň E – Indikátory celkové prosperity: „Mění se kvalita života správným směrem?“
Jedná se o nejagregovanější indikátory postihující všechny tři pilíře trvalé udržitelnosti (např. index kvality života).

V zájmu lepší využitelnosti a srozumitelnosti by se indikátory měly řídit standardizovanou formou. To umožní snazší interpretaci indikátoru i jeho univerzální použití dle aktuálních požadavků. Model schématu DPSIR určuje strukturu prezentace indikátorů používanou Evropskou agenturou pro životní prostředí (EEA).

Rámec DPSIR poskytuje vhodný model pro popis interakce lidských aktivit a životního prostředí. DPSIR je zkratka sestavená z počátečních písmen jednotlivých částí cyklu: Drivers, Pressures, State, Impact and Response (hnací síly, tlaky, stav, dopad a odezva). Hnacími silami jsou většinou lidské aktivity či činnosti způsobené naším životním stylem. Vedou k tlakům na přírodní zdroje, které narušují ekologickou stabilitu a zhoršují kvalitu životního prostředí (např. emise a odpady). Stav je to, co obvykle měříme přístroji: kvalita vody, půdy, ovzduší a přírody, energetické a materiálové toky a tvorba odpadů. Tlaky a stav způsobují dopady: zdravotní problémy, invazi cizích druhů, změnu v ekosystémech apod. A konečně odezvy jsou reakce společnosti na identifikované problémy ve formě určitých opatření (např. legislativní oprava).

Všech pět složek modelu DPSIR je názorně popsáno pomocí indikátorů, které jsou zřejmé z animace „Model DPSIR“ [A11K2].

2.1 Znečišťující látky

Znečišťující látky jsou hmotné látky, které nepříznivým způsobem ovlivňují životní prostředí. Nepříznivé ovlivňování se může projevovat různými způsoby, např.:

- o škodami na zdraví lidí a zvířat,
- o poškozováním prostředí (nebo některé jeho složky),
- o obtěžováním okolí, zhoršením pohody prostředí (pachem, snížením viditelnosti atd.).

Nejčastěji se ZL rozděluje podle:

- o skupenství,
- o chemického složení,
- o míry škodlivosti (nebezpečnosti, rizikovosti).

Z hlediska chemického složení se ZL rozděluje do skupin podle sloučenin jednotlivých prvků. Mezi nejčastěji se vyskytující patří sloučeniny síry, dusíku, uhlíku a sloučeniny, které obsahují halogenové prvky, jak je patrné z následujícího přehledného rozdělení:

Tab. 1.2 Rozdělení znečišťujících látek podle chemického složení

Sloučeniny síry ↗ ↘	anorganické	oxidy síry (SO ₂ , SO ₃), kyselina sírová, sulfan, siřníky, sirouhlík
	organické	merkaptany, organické siřníky
Sloučeniny dusíku ↗ ↘	anorganické	oxidy dusíku (N ₂ O, NO, NO ₂), kyselina dusičná, amoniak, kyanovodík
	organické	aminy, peroxidusičnany, peroxiacetylitráty (PAN)
Sloučeniny kyslíku ↗ ↘	anorganické	ozon
	organické	oxiradikály
↗ ↘	anorganické	oxidy uhlíku (CO, CO ₂)

	organické	alifatické uhlovodíky (nafta, benzin, petrolej, minerální oleje), aromatické uhlovodíky (benzen, toluen, xylen, PAU), alkoholy, fenoly a velké množství dalších organických sloučenin
Sloučeniny halogenované ↗ ↘	anorganické	halové prvky (F, Cl, Br) a jejich kyseliny (HF, HCl, HBr)
	organické	halogenované uhlovodíky (DDT, PCB, PCDD, PCDF, freony, halony atd.)
Sloučeniny ostatních prvků		zejména sloučeniny rizikových prvků (kovů) jako As, Cd, Hg, Pb atd.

Znečišťující látky jsou rovněž členěny podle jejich škodlivosti, míry nebezpečnosti, podle možného rizika pro lidské zdraví, pro přírodu, pro naše životní prostředí. Rozdělovány jsou do kategorií, do skupin podle jejich shodných vlastností a chování. Mezi tyto kategorie patří:

- o akutní toxicita – vyvolává příznaky okamžité otravy po krátkodobé expozici,
- o chronická toxicita – jiná systémová poškození organismu než je vznik zhoubných nádorů po dlouhodobých expozicích,
- o environmentální toxicita – nežádoucí účinky na faunu a floru, narušení stability ekosystémů,
- o karcinogenita – schopnost některých chemických látek vyvolávat a podporovat vznik zhoubných nádorů,
- o mutagenita – poškození genů a chromozomů v důsledku mutací, které je trvalé a přenáší se v rámci reprodukce na další generaci,
- o teratogenita – poškození plodu v průběhu těhotenství, vznik vrozených vývojových vad;
- o perzistence – přetrvávání chemických látek v životním prostředí,
- o bioakumulace – hromadění látek v živých organismech.

Mezi další významné vlastnosti znečišťujících látek, které mohou zvýšit jejich nebezpečnost patří:

- o rozpustnost ve vodě,
- o mobilita (pohyb) v půdě,
- o volatilita (těkavost).

Z uvedeného rozdělení znečišťujících látek podle chemického složení (viz tab. 1.2) vyplývá, že převažují sloučeniny organické. Obdobně je tomu i s výskytem uhlovodíků – organických sloučenin v našem životě, průmyslu, v přírodě, tedy v celém našem životním prostředí. Odhaduje se, že lidstvo pro svoji potřebu vyrábí v současnosti okolo 100 000 chemických látek a každým rokem jich přibývá. Do životního prostředí nevstupují jenom vyráběné látky, ale velký počet látek, které se nevyrábějí, ale vznikají jako doprovodné složky chemických přeměn a dějů. Výskyt organických sloučenin v našem prostředí je obrovský, téměř nepopsatelný. Rozmanité je i jejich působení, od pozitivního vlivu až po vysoce negativní účinek.

Z organických sloučenin mají, s ohledem na poškozování našeho prostředí, největší význam podle množství a míry jejich nebezpečnosti bezesporu aromatické uhlovodíky, vyskytující se jako polyaromáty a halogenované sloučeniny.

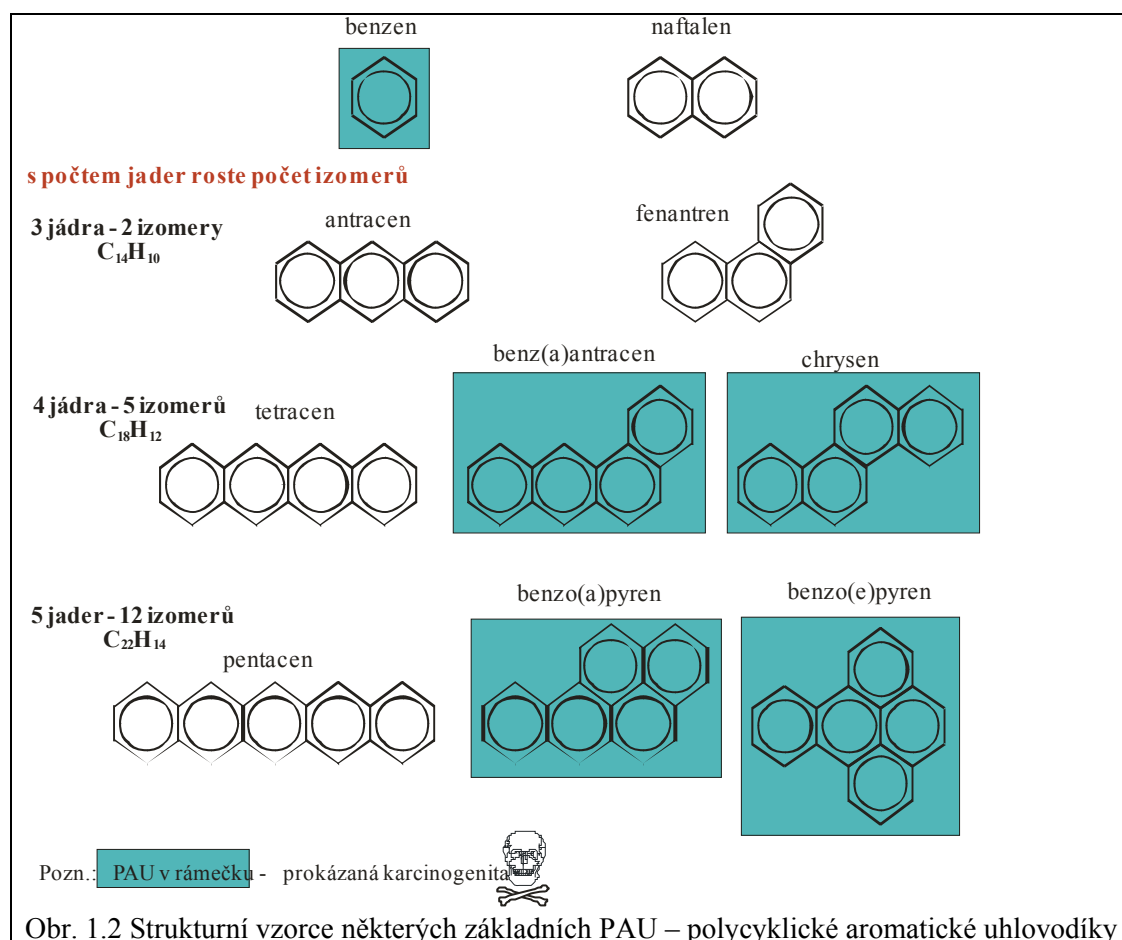
Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU, německy PAKW, anglicky PAH) patří v současné době mezi velmi rozšířené a vzhledem ke svým genotoxickým vlastnostem mezi velmi obávané a sledované znečišťující látky.

Aromatické uhlovodíky tvoří zvláštní skupinu cyklických uhlovodíků. Jejich pojmenování spadá do počátku organické chemie, kdy se do této skupiny zařazovaly uhlovodíky s výraznou vůní. Dnes do této skupiny patří uhlovodíky obsahující v molekule benzenový kruh (benzenové jádro). Benzen je tedy nejjednodušší aromatickou sloučeninou. Polycyklické aromatické uhlovodíky – PAU vznikají kondenzací dvou a více benzenových jader. Nejjednodušším případem je kondenzace benzenových jader lineárně uspořádaných (benzen, naftalen, antracen, tetracen atd.). Benzenová jádra mohou být však různě substituována, což vede k nesmírné rozmanitosti PAU. S počtem benzenových jader roste i počet izomerů. Pro pětijaderné PAU je počet izomerů již dvanáct (viz obr. 1.2). PAU se v životním

prostředí nevyskytují jednotlivě, ale tvoří vždy složitou směs se širokým rozsahem molekulových hmotností, tedy PAUs.

Do životního prostředí se PAU dostávají při nedokonalém spalování v elektrárnách, domácích topeništích, ve spalovacích motorech a při spalování a pyrolýze prakticky jakékoliv organické látky. Při ochlazování kouřových plynů PAU kondenzují na sazích a jiných pevných nosičích, unikají do atmosféry a kontaminují následně vody, půdu a rostliny. Významným zdrojem PAU jsou koksovény (obsah v černouhelném dehtu je 0,6 až 1,0 %), výroby sazí, ropné závody a některé metalurgické provozny. PAU se uvolňují do životního prostředí také otěrem asfaltových povrchů vozovek a pneumatik, ve kterých jsou použity saze jako plnivo.

PAU jsou za normálních podmínek tuhé látky, většinou bezbarvé, bílé nebo žluté. Jejich fyzikálně-chemické vlastnosti se mění podle molekulové hmotnosti. S jejím růstem se zvyšuje bod tání, varu, lipofilita (usazování v tukových tkáních), rozdělovací koeficient oktanol – voda, klesá rozpustnost ve vodě a tenze par. PAU s nižší molekulovou hmotností jsou proto v prostředí pohyblivější, vyšší PAU jsou téměř nerozpustné ve vodě. PAU jsou v přírodním prostředí poměrně stabilní, vykazují perzistentní vlastnosti. Jejich rozklad a odbourávání není dostatečně prozkoumáno.



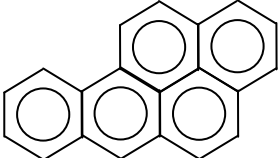
Obr. 1.2 Strukturní vzorce některých základních PAU – polycyklické aromatické uhlovodíky

Pouze u některých PAU byly prokázány v různé míře karcinogenní účinky. Nejsilnější účinky má benzo(a)pyren (obr. 2.2), který také bývá nejčastěji stanovován. Jelikož zvýšený obsah benzo(a)pyrenu bývá doprovázen zvýšeným obsahem i ostatních PAU, slouží jako indikátor celkové kontaminace PAU. Jeho největší přípustná cílová imisní koncentrace do roku 2010 (IL pro 24 hodin) je $0,001 \mu\text{g}/\text{m}^3$ neboli $1 \text{ ng}/\text{m}^3$. Pro pracoviště NPK je stanovena na $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ b(a)p po dobu deseti minut. Ještě jednu malou poznámku: Normy a doporučený postup pro stanovení hodnot NPK se ve

světě značně liší, a to nejen co do počtu sledovaných PAU, ale i co do jejich hodnot. V současné době je standardní analýza šestnácti PAU dle U.S.EPA.

Halogenované sloučeniny

Prvky periodické soustavy VII.A skupiny nazýváme halogeny a patří mezi ně fluor, chlor, brom, jod a radioaktivní astat (At). Halogeny se v přírodě vyskytují v halogenidech nejrozšířenějších prvků (Na, K, Mg, Ca). Značné množství rozpustných halogenidů je v mořské vodě, převážně jako NaCl. Když se před dvěma sty miliony let vypařila část moří, zůstaly po nich vrstvy soli, ukryté v zemské kůře. Její zásoby se odhadují na 3,7 biliony tun a pro chemický průmysl tak představují zásoby suroviny na cca dvacet tisíc let. Dnes se těží a malá část se zpracovává jako v minulosti v solivarech na jedlou sůl (průměrná spotřeba na člověka a rok se odhaduje na 8 kg). Převážná část se však podrobuje elektrolytickému procesu a výsledkem je hydroxid sodný, vodík a plynný chlor, který je zdrojem největších úspěchů a katastrof chemického průmyslu (i našeho). Není přehnané tvrdit, že obyčejná elektrolyza alkalických chloridů ovlivnila život lidstva téměř stejně jako ovládnutí ohně v pravěku a jaderné reakce v současnosti.

	benzo(a)pyren nažloutlé krystalky bod tání 177 °C bod varu 495,5 °C PAU s prokázanou karcinogenitou indikátor celkové kontaminace PAU
Výskyt a vznik	a) nedokonalé spalování (pyrolýza, lokální bytové topeniště, uzenářské výrobky) b) koksovny (dehet - 0,6 – 1,0 % b(a)p, smola) c) provoz motorových vozidel (výfukové plyny, asfaltový prach)
Nejvyšší přípustná koncentrace	$IH_d = 0,001 \mu\text{g}/\text{m}^3$ neboli $1 \text{ ng}/\text{m}^3$!!! Pro pracoviště NPK-P stanovena na $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ po dobu 10 minut
Rozklad	Rozklad ovlivněn nosičem Kontaminace půd, vod, rostlin V půdě rozkládán půdními bakteriemi

Obr. 2.2 Vlastnosti a výskyt benzo(a)pyrenu

Vyráběné chemické sloučeniny obsahující chlor měly a mají základní a ohromný význam pro kosmetiku, čisticí prostředky, elektronický průmysl, výrobu umělých hmot, nábytku, výrobu ředidel, pesticidů v zemědělství atd. atd. Převažující část těchto chlorovaných sloučenin tak významně přispěla k výraznému lidskému pokroku. Časem se však ukázalo, že některé z nich se staly globálním nebezpečím pro životní prostředí.

Některé halogenované sloučeniny (halogensloučeniny) řadíme v současné době mezi nejvíce rozšířené a nejnebezpečnější ZL (polutanty) v našem životním prostředí. I když většina těchto ZL (obdobně jako u PAU) je za normální teploty v tekutém nebo tuhém stavu, jejich migrace probíhá ve všech

základních přírodních složkách prostředí, tj. ovzduším, vodou a půdou (ale i přes potravinové řetězce). Proto o nich bude souhrnně pojednáno v této kapitole, pojednávající o ochraně životního prostředí.

Pro další srozumitelnost a pochopení problematiky halogenovaných uhlovodíků je nutno říci něco o jejich vzniku, o jejich původu. Některé z nich vznikají jako vedlejší produkt naší antropogenní (lidské) činnosti. Vznikají tedy „nechtěně“ a jako příklad můžeme uvést PCCD a PCDF, které vznikají při spalování, likvidaci odpadů. Převážná část těchto nebezpečných polutantů však vzniká „chtěně“. Člověk je vyrábí pro potřebu v domácnosti, průmyslu a zemědělství. Zhodnotil u nich pouze jejich užitečnost a prospěšnost, ale naprosto podcenil jejich nebezpečnost a vůbec nebral v úvahu jejich vysoce negativní dopady na životní prostředí.

U většiny halogenovaných uhlovodíků se projevují nejproblematictější vlastnosti v jejich chování a vztahu k našemu životnímu prostředí:

- o toxicita, včetně genotoxických účinků,
- o vysoká odolnost vůči chemickému, fotochemickému, termickému a zejména biochemickému rozkladu – jejich perzistence,
- o schopnost kumulace v jednotlivých složkách ŽP včetně živých organismů – jejich bioakumulace.

Z halogenovaných sloučenin nejvíce negativně zasáhly do našeho životního prostředí pesticidy, polychlorované bifenylly (PCB), polychlorované dibenzodioxiny (PCDD) a furany (PCDF), freony a halony.

Pesticidy. O používání a působení pesticidů je podrobně pojednáno v *kap. 6*. Z chemického pohledu jsou to velmi složité organické sloučeniny (chlorované uhlovodíky, organické kyseliny, organofosfáty atd.). Mezi pesticidy, jako chlorované uhlovodíky, uvádíme zejména dva, a to DDT a aldrin. Pesticid – insekticid DDT (zkratka z dichlor-difenyyl-trichlor-etan) byl použit ve velkém měřítku po druhé světové válce, kdy se jeho pomocí podařilo zabránit propuknutí mnoha epidemií. I když je jeho plošné použití a výroba zakázána, je stále částečně obsažen ve všech živých organismech a prakticky v celé biosféře. Je to způsobeno tím, že je chemicky, ale zejména biochemicky stálý, nepodléhá rozkladu a neustále migruje v našem životním prostředí, zejména v potravinovém řetězci. Jeho hromadění v trofické pyramidě (např. voda – plankton – malé ryby – velké ryby) je vždy uváděno jako ekologicky učebnicový příklad. Budeme proto ještě dlouho čekat, až úplně DDT zmizí z naší přírody a života.

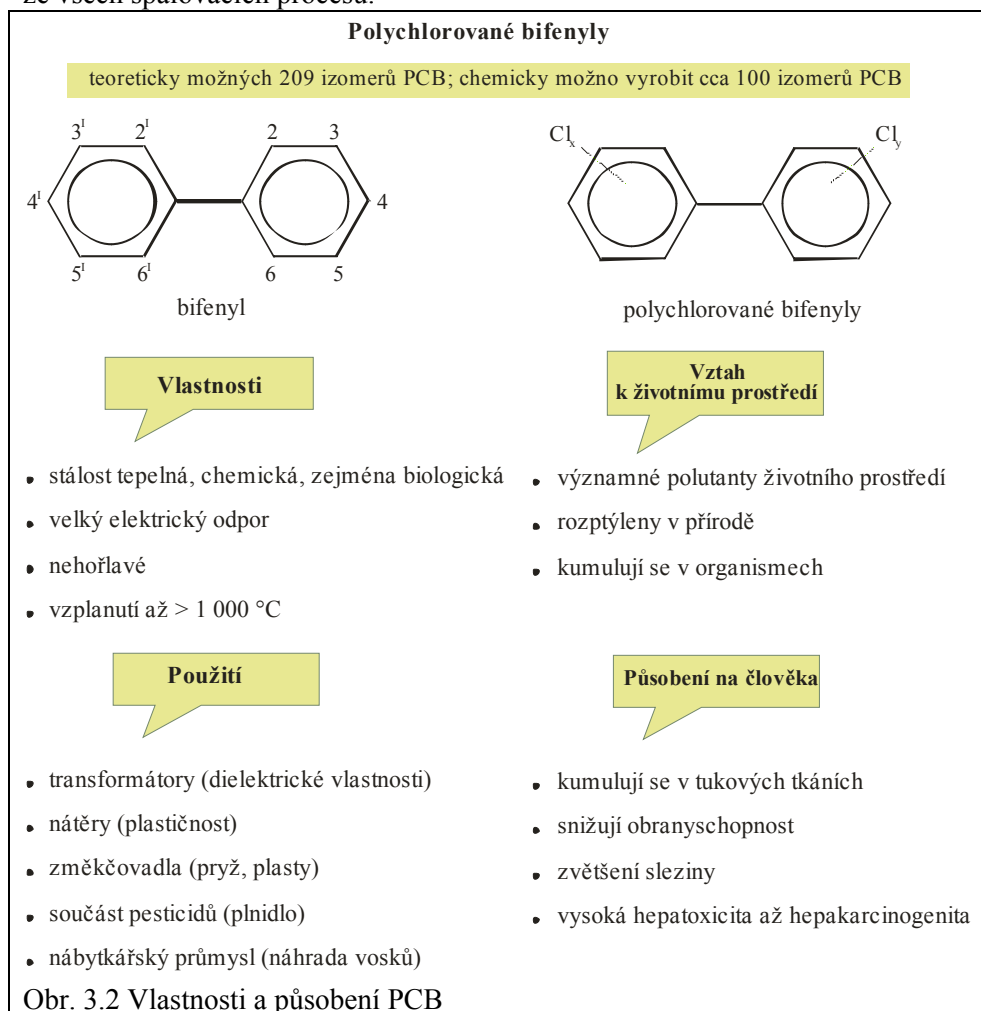
Polychlorované bifenylly označujeme zkratkou **PCB**. Skupina těchto chlorovaných uhlovodíků patří opět mezi nejzávažnější polutanty v našem životním prostředí. Jejich výrobu v roce 1929 zavedla americká firma SWAN RESEARCH. Pro své vynikající průmyslově využitelné vlastnosti se začaly v roce 1930 vyrábět ve velkém. Teprve v roce 1966 byly zjištěny jejich negativní dopady na životní prostředí. Odhaduje se, že od roku 1930 jich bylo vyrobeno 1,2 mil. tun, přičemž se předpokládá, že asi 30 % tohoto množství je rozptýleno v přírodě. V současné době se PCB již nevyrábějí, ale přesto stačila tři desetiletí k tomu, že se PCB rozptýlily do našeho prostředí a vzhledem ke své vysoké perzistenci jsou i dnes všudypřítomné.

PCB se snadno vyrábějí, a to katalytickou chlorací bifenylu při 150 °C (katalyzátorem jsou železné hobliny nebo FeCl_3), a mají vynikající technické vlastnosti:

- o jsou to netěkavé kapaliny (bezbarvé až žluté) s bodem varu 340 až 385 °C,
- o nerozpustné ve vodě (dobře rozpustné v organických rozpouštědlech a tucích),
- o chemicky stálé i za teplot do 300 °C,
- o nehořlavé (k vzplanutí dochází až při teplotě > 1 000 °C).

Tyto vlastnosti je předurčovaly k tomu, že jejich výroba a rozšíření v průmyslové činnosti bylo rychlé až ohromující a všestranné. PCB jsou poměrně málo toxické, jejich $\text{LD}_{50} = 3\,980 \text{ mg/kg}$. Přijatelná denní dávka podle SZO (WHO), stanovená jako ADI, je 0,001 mg/kg tělesné hmotnosti. PCB se však kumulují v našem organismu a nepříznivě působí na některé naše orgány. Podrobněji jsou jejich vlastnosti, použití a působení názorně uvedeny na obr. 3.2.

Polychlorované dibenzo-p-dioxiny označujeme **PCDD** a **polychlorované dibenzofurany** jako **PCDF**. Obě tyto skupiny chlorovaných uhlovodíků PCDD a PCDF nazýváme triviálně, zjednodušeně, jako **dioxiny**. Některé z nich byly již syntetizovány v minulém století, ale teprve v roce 1957 byl chemicky přesně identifikován TCDD (tetrachlordibenzo-p-dioxin) jako vedlejší produkt vznikající při výrobě trichlorfenolu. Nikdy se však dioxiny jako samostatné chemické látky záměrně průmyslově nevyráběly. Vznikají vždy jako vedlejší produkt při různých antropogenních činnostech, zejména však ze všech spalovacích procesů.



Dioxiny se do ovzduší, a následně do životního prostředí, dostávají zejména následujícími pochody:

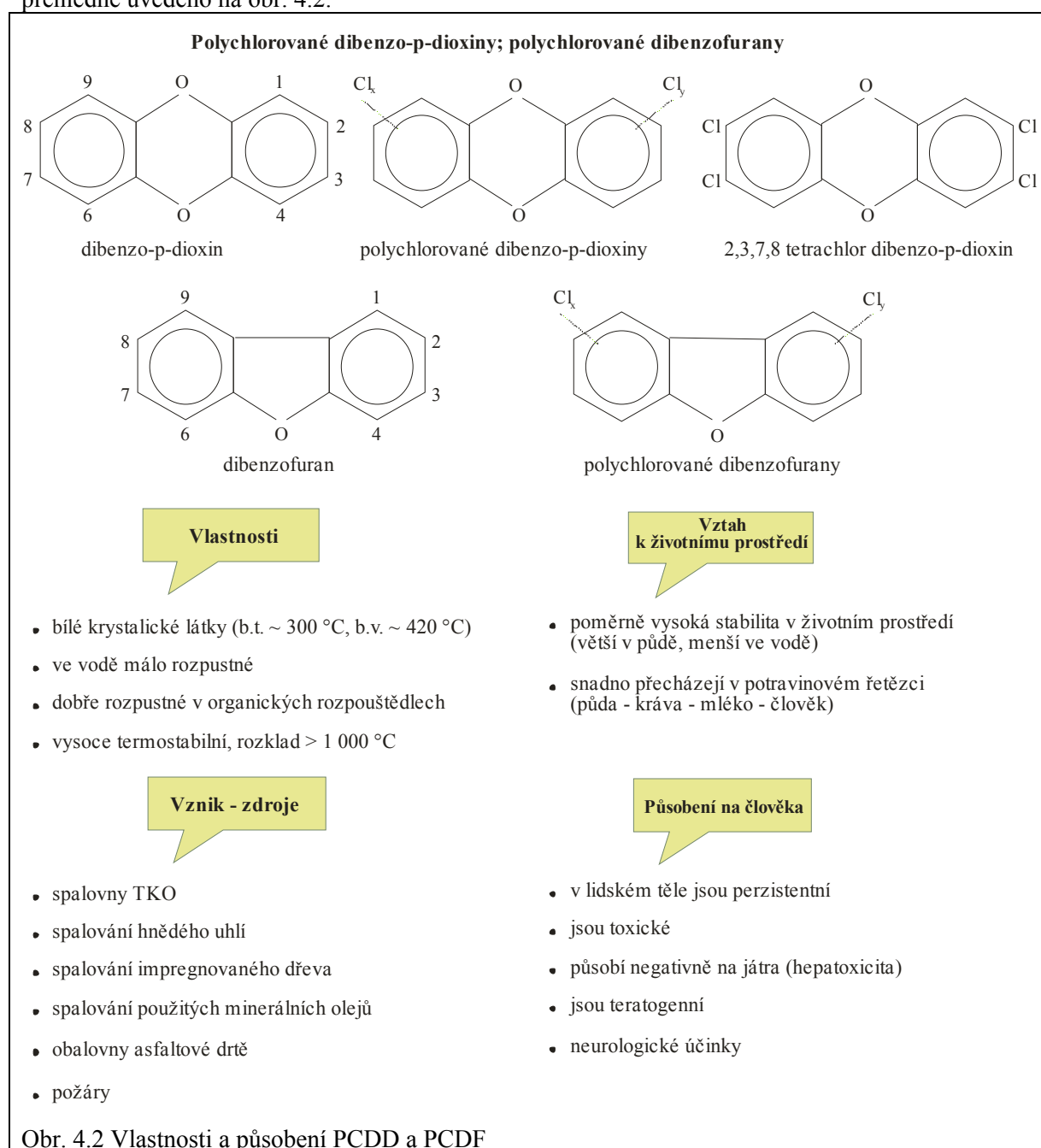
- o nespálením dioxinu obsaženém v původním materiálu (při nižších teplotách),
- o spalováním materiálů s vysokým obsahem chloru (PCB, PVC, chlorované pesticidy a pentachlorfenoly atd.),
- o syntézou při spalování z organického uhlíku (popř. CO₂), chloru a kyslíku. Tuto syntézu značně urychlují (katalyzují) měď a měděné soli,
- o při chemických procesech využívajících chlor (například bělení papíru, výrobě pesticidů atd.).

Z uvedeného je zcela zřejmé, že mezi největší zdroje jejich vzniku budou patřit spalovny **komunálních odpadů (KO)**. KO obvykle vedle standardních organických složek (papír, dřevo) obsahují řadu látek obsahujících chlor. Mezi tyto látky patří chloroprenový kaučuk, dřevo napuštěné pentachlorfenolem (pentachlorfenol), PCB (staré nátěry, oleje z transformátorů a kondenzátorů), PVC (plasty) atd.

Emisní limit pro emise PCDD a PCDF u spaloven komunálních odpadů a nebezpečných odpadů je jen **0,1 ng TEQ/m³**! Nové zdroje musí tento limit splňovat při uvedení do provozu, u stávajících zdrojů je

stanoveno jejich pravidelné sledování. Imisní limit nebyl v ČR dosud stanoven. Akceptovaná je hodnota SZO (WHO) pro přijatelnou denní dávku (ADI), a to 10 pg TEQ/kg tělesné hmotnosti. Dioxiny se nikdy nevyskytují jako samostatné sloučeniny, vždy jen ve směsích, které označujeme PCDD_s a PCDF_s. TEQ je zkratkou označována **ekvivalentní toxicita** směsi dioxinů přepočtená na TCDD (tetrachlordibenzodioxin), který má nejvyšší toxicitu TEQ = 1.

Biologické účinky dioxinu na organismy se dosud (pro velmi malé vyskytující se koncentrace) přesně nepodařilo identifikovat a popsat. Připisuje se jim řada negativních vlivů, zejména však jejich vysoká toxicita, ale i genotoxicita. Vždyť např. TCDD patří se svojí LD₅₀ = 0,001 až 0,22 mg/kg tělesné hmotnosti (podle různých literárních pramenů) mezi nejedovatější látky, hned za botulinem (botulotoxinem). Chemické složení dioxinů, jejich vlastnosti, vznik a působení v životním prostředí je přehledně uvedeno na obr. 4.2.



Obr. 4.2 Vlastnosti a působení PCDD a PCDF

Do podvědomí celosvětové veřejnosti v negativní roli vstoupily dioxiny při havárii závodu vyrábějícího pesticidy v italském Sevesu v roce 1976. Evakuace několika tisíc obyvatel a utracení několika desítek tisíc hospodářských zvířat. To způsobilo, že dioxiny se rázem staly obávaným a velmi nebezpečným polutantem v našem životním prostředí.

Odhaduje se, že ročně ve spalovnách v České republice vznikne asi 70 g dioxinů. Toto množství, kdyby vzniklo okamžitě a na jednom místě, by otrávil podle toxicity vyjádřené LD_{50} asi 35 milionů lidí. Tento výpočet, i když je jen teoretický, názorně ukazuje, jaké nebezpečí dioxiny představují pro naše životní prostředí.

Freony (česky CFU, anglicky CFC, německy CFKW). Pod tímto obchodním označením je zahrnuta skupina chlorovaných a fluorovaných uhlovodíků. Freony jsou pro svoji těkavost používány jako chladicí média (ledničky, klimatizační zařízení), rozpouštědla, pro výrobu pěnových materiálů a jako náplň sprejů. Tyto vysoce těkavé halogenované uhlovodíky stoupají do horních výšek atmosféry (stratosféry) a narušují ochrannou ozonovou vrstvu, způsobují tzv. ozonovou díru. Freony jsou rovněž považovány za významné skleníkové plyny, které způsobují změnu klimatu naší Země, její oteplování. To jsou vážné důvody, pro které jsou freony a jejich výroba ve světě omezovány.

Freony, na rozdíl od popsaných halogenovaných uhlovodíků (PCB, PCDD, PCDF), nepatují v potravním řetězci a nekumulují se v organismech, ale hromadí se zejména v nižších vrstvách atmosféry (v troposféře a stratosféře). Vzhledem k tomu, že jsou velice chemicky stálé, mají vysokou perzistenci, setrvávají v našem prostředí velmi dlouhou dobu. Tak např. freon CFC11 – 55 let, CFC12 – 160 let, některé freony až přes 200 let. I když se jejich výroba a spotřeba ve světě na základě mezinárodních dohod neustále snižují, a do konce minulého století byla jejich výroba značně omezena, bude naše neodpovědné počínání pocítovat i příští generace.

Široké využití freonů v průmyslové činnosti, vzhledem k jejich vynikajícím technickým vlastnostem, má obdobu jako u PCB. Jen málo vysoce těkavých látek vykazuje malou hořlavost a výbušnost. Chemické složení vybraných freonů, jejich mezinárodní označení, vlastnosti a využití, je přehledně uvedeno na obr. 5.2.

Halogenované uhlovodíky (CFC)	
Rozdělení	
CFC (tvrdé freony)	chlorfluorované uhlovodíky (plně halogenované) CCl ₄ - tetrachlormetan CFCl ₃ - CFC 11, kapalina, b.v. 74,8 °C CF ₂ Cl ₂ - CFC 12, plyn CF ₃ Cl - CFC 13 C ₂ F ₃ Cl ₃ - CFC 113 C ₂ F ₄ Cl ₂ - CFC 114
HCFC (měkké freony)	hydrochlorfluorované uhlovodíky (částečně halogenované) CHFCl ₂ - HCFC 21 CHF ₂ Cl - HCFC 22
HCFC	hydrofluorované uhlovodíky (bez přítomnosti Cl) CHF ₂
halony	fluorované a chlorované uhlovodíky obsahující brom CF ₂ ClBr - halon 1211 CF ₃ Br - halon 1301

Vlastnosti	Použití
- malá hořlavost - malá zápalnost - malá výbušnost - velká těkavost	- chladicí média - klimatizační zařízení - rozpouštědla (čisticí prostředky) - pénové materiály

Obr. 5.2 Vlastnosti a působení freonů

2.2 Toxicita, genotoxicita a ekotoxicita znečišťujících látek

□ Toxicita

Toxicita znamená jedovatost, schopnost látky vyvolat otravy. Toxické látky obvykle dělíme podle účinku na jednotlivé orgány nebo orgánové systémy. Rozeznáváme potom toxické účinky látek na krev a krevní tvorbu, játra, ledviny, centrální a periferní nervovou soustavu, imunitní systém atd.

Určení smrtelné dávky (dosis letalis – LD) pro jednotlivé toxické látky pro člověka je velmi obtížné (pouze odhady u náhodných průmyslových otrav, sebevražd apod.), údaje se v literatuře značně liší. Mnohem častěji proto používáme údaje zjištěné na souboru zvířat. Dávka, při níž uhynie 50 % pokusných zvířat, označujeme jako LD₅₀ – střední smrtelnou dávku. Vyjadřujeme ji obvykle v mg na kg živé hmotnosti zvířete (další užití indexy znamenají R – Rattus (potkan), p.o. nebo o podáno per os – ústy). Hodnoty LD₅₀ některých nejvýznamnějších toxických látek (ale i netoxických látek, které ve větším množství působí toxicky) jsou uvedeny v tab. 2.2.

Tab. 2.2 Hodnoty LD₅₀ různých látek (podle MARHOLDA, J., 1986)

Látka	R _o LD ₅₀ [mg/kg]	Látka	R _o LD ₅₀ [mg/kg]
Sacharóza	29 700	Heptachlor	90
Etylalkohol	14 000	CdCl ₂	88
NaCl	5 900	As ₂ O ₃	48
Polychlorované bifenyly (PCB)	3 980	HgCl ₂	37
CrCl ₃ ·6H ₂ O	1 870	KCN	10
Lindan (1,2,3,4,6-hexachlorcyklohexan)	1 000	Strychnin	2
K ₂ CrO ₄	430	Aflatoxin	0,028 2
ZnCl ₂	350	Dioxin (2,3,7,8-tetrachlordibezodioxin)	0,001
CuSO ₄	300	Tetanotoxin	0,000 08
Pb(NO ₃) ₂	270	Botulotoxin	0,000 01
DDT	100		

Mnohé toxické látky v malých dávkách nevyvolávají biologický efekt. Při opakovaném dávkování a působení však dochází k chronickým otravám, protože jejich vylučování a toxické působení je pomalé a postupně se hromadí v organismu.

Pro nejvíce se vyskytující toxické látky v biosféře, v našem životním prostředí se stanovují hygienické limity a označují se jako **nejvyšší přípustné koncentrace**. NPK jsou stanoveny nejen pro ovzduší, ale pro pitné a povrchové vody, potraviny, půdy, kaly atd. Tyto nejvyšší přípustné koncentrace (limity) mohou být závazné, orientační nebo doporučené. Tyto limity jsou stanoveny a vyhlášeny nařízením vlády, vyhláškou příslušných ministerstev nebo hygienikem ČR.

Genotoxicita

Do této skupiny zařazujeme takové látky, které postihují především genetický materiál buněk. Mohou vyvolat nádorové bujení, buněčné poškození genové nebo chromosomové mutace atd. Tyto látky mohou mít účinek:

- o karcinogenní,
- o mutagenní,
- o teratogenní,
- o embryotoxický atd.

Karcinogenita (od řec. **karcinoza**, **karcinom** – rakovina, nádor rakovinný, zhoubný), méně častěji kancerogenní látky (od lat. **kancer** – nádor stejného původu, ale též rak a souhvězdí Raka). Oba

výrazy, karcinogenní i kancerogenní, jsou tedy shodná synonyma. Látky s karcinogenním účinkem jsou takové látky, které mohou vyvolat nádorové bujení.

Podle účinku rozeznáváme látky s prokázaným karcinogenním účinkem (označovány jsou jako prokázané chemické karcinogeny) nebo látky pouze s podezřelými účinky (označovány jsou jako podezřelé chemické karcinogeny).

Prokazování karcinogenních účinků je mnohem obtížnější než prokázání a stanovení NPK (limitu) u látek toxických. Karcinogenní látky nemají na rozdíl od látek toxických prahový účinek. Teoreticky jedna molekula této látky může vyvolat nádorové bujení. Z tohoto důvodu požadavek na nulovou limitní koncentraci by byl správný, ale prakticky nedodržitelný. Proto při stanovení NPK (limitů) se vychází z teorie společensky přijatelného rizika. Zjištění a stanovení výskytu onemocnění z určitého množství exponovaných osob, z frekvence onemocnění z určitého souboru exponovaných lidí, v určitém časovém období. Např. počtu výskytu nádorového bujení při koncentraci celoživotní expozice $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ karcinogenní látky. V současné době se užívá pojmu **karcinogenní jednotka**, která je definována počtem úmrtí lidí na 10 000 obyvatel po 70-ti leté denní expozici při koncentraci $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. U benzo(a)pyrenu je karcinogenní jednotka udávána v literatuře počtem 6 až 9, u arzenu 40, u kadmia 20 atd.

V současné době se pro kvantifikaci rizika karcinogenních látek využívá faktor odvozený ze vztahu mezi dávkou určité látky ($\text{mg}/\text{kg}/\text{den}$) a odpovědí (počtem rakovinových onemocnění). Tento faktor (parametr) je nazýván v anglické literatuře **ILCR (Individual Lifetime Cancer Risk)** neboli individuální celoživotní riziko rakoviny. Celoživotní karcinogenní riziko takto vypočtené pro jednotlivce se považuje za teoretické zvýšení pravděpodobnosti počtu nádorových onemocnění nad všeobecný průměr pro jednotlivce v důsledku definované expozice hodnocené látky.

Karcinogenní účinky byly prokázány u některých PAU, vinylchloridu, berylia, kadmia, chromu (v 6-ti mocné formě), niklu, olova, zinku, arzenu atd.

Mutagenita. Mutagenní látky způsobují genové a chromozomové mutace, mohou způsobit až vývojové změny genotypu. Mění tedy genetické (dědičné) vlastnosti jedinců. Obvykle existuje velmi úzká souvislost mezi mutagenním a karcinogenním působením některých chemických látek (oxid kadmnatý, chromany, nikl, PCDD, PCDF atd.).

Teratogenita. Teratogenní účinky se projevují u některých látek, jestliže škodlivina zasáhne zárodek v nitroděložním stadiu vývoje. Tyto látky vyvolávají vady nebo abnormality v postnatálním (poporodním) vývoji potomstva. Vyvolané poruchy nejsou spojeny se změnami genotypu a nejsou přenášeny na další pokolení. V literatuře jsou popsány teratogenní účinky metylrtuti, sloučenin arzenu, kadmia, chromu, lithia a olova atd.

Z předcházejícího textu je zcela zřejmé, že vyhodnocení účinku genotoxických látek, na rozdíl od látek pouze toxických, je velmi pracné a k jejich výpočtům je zapotřebí nesmírně rozsáhlý a dlouhodobý statistický soubor dat obyvatel. Nutné je však i připomenout, že otázky a pochybnosti vyvolává i zjištěný výsledek, jakou pravděpodobnost ještě považovat za únosnou, za zdravotně bezpečnou, za hranici rizika.

Ekotoxická

Ekotoxické vlastnosti patří vedle fyzikálně-chemických vlastností chemických látek mezi nejvýznamnější a nejdůležitější faktory jejich hodnocení.

Toxicita chemických látek ve vztahu k jejich aplikovanému množství (dávce) a účinku vyjadřujeme vztahy

LD₅₀, LOAEL, NOAEL, ADI

Ekotoxicitu chemických látek pak vyjadřujeme vztahy k jejich koncentraci

LC₅₀, LOEC, NOEC



Průvodce studiem

LC₅₀ hodnota (střední letální koncentrace) – koncentrace, u které je očekáváno, že způsobí smrt u 50 % testované populace.

LOEC (lowest observed effect concentration) – **nejnižší** koncentrace, u které byl pozorován statisticky významný účinek na testovaný organismus.

NOEC (no observed effect concentration) – **nejvyšší** koncentrace, u které nebyl pozorován žádný účinek na testovaný organismus. Je to nejvyšší koncentrace pod LOEC.

Pro stanovení bezpečných koncentrací chemických látek, které nepředstavují žádné riziko nepříznivých vlivů v ekosystémech, používáme vztahu tzv. **referenční koncentrace (RfC)**:

$$RfC = \frac{NOEC (LOEC)}{UF \cdot MF}$$



Průvodce studiem

UF (uncertainty factor) – faktor nejistoty, který vyjadřuje nejistotu vyplývající z rozdílné senzitivity (citlivosti) populace a nepřesnosti zjištěných experimentálních dat. UF nabývá hodnot násobků deseti (10, 20, 30, ..., 10 000).

MF (modifying factor) – modifikující faktor, který vyjadřuje obecně jakoukoliv další formu nejistoty. MF nabývá hodnot 1 až 10.

Obdobně podle uvedené rovnice jsou vyčíslovány hodnoty **referenční dávky RfD**. Místo hodnoty NOEC je používána hodnota nejvyšší bezpečné dávky NOAEL (no observed adverse effect level) a hodnota nejnižší dávky, u které byl pozorován sledovaný účinek LOAEL (lowest observed adverse effect level). Hodnot referenčních dávek se používá zejména při hodnocení vlivu chemických látek metodou odhadu rizik, pro metody risk assessmentu.

2.3 Kontaminace potravního řetězce

Jak bylo uvedeno v předcházejících kapitolách, v základních složkách životního prostředí (ovzduší, voda, půda) se vyskytuje mnoho škodlivin. Tyto škodliviny – cizorodé látky (CL) se dostávají do lidského organismu vdechováním, pitnou vodou a potravou. Cesty vstupu CL do lidského organismu někdy dělíme podle toho, kterými orgány se do našeho těla dostávají. Pak rozlišujeme vstup orální (ústí), dermální (kůží) a inhalační (dýchacím ústrojím). Podle vlivu CL na lidský organismus je rozdělujeme na:

- látky, které průkazně poškozují zdraví (toxiny, dusičnany, dusitany, olovo, rtuť, PCB, dioxiny atd.),
- látky, které mohou ohrozit zdraví při překročení jejich přípustné dávky (tuky, sůl, alkohol atd.).

Přípustný denní příjem označujeme zkratkou **ADI** – acceptable daily intake. Jak ukazuje tab. 3.2 předpokládané vyčerpání přijatelné denní dávky, stanovené Světovou zdravotnickou organizací, je v naší populaci značně vysoké a u některých látek (tuky, sůl, b(a)p) dokonce překračuje 100 %.

Tab. 3.2 Předpokládané čerpání přijatelné denní dávky ADI v naší populaci

Cizorodá látka	ADI = 100 % [mg / osoba (60 kg)]	čerpání, podle WHO [%]
DDT	0,3	30 – 40
Arzén	3	40 – 50
Rtuť	0,042	60 – 70
Dusičnany (jako NaNO ₃)	300	90 – 100
Olovo	0,5	90 – 100
Polychlorované bifenylly	0,06	90 – 100
Kadmium	0,05 – 0,07	90 – 100
Benzo(a)pyren	0,002 – 0,003	110 – 120
Tuky	60 000	>> 100
Sůl	8 000	>> 100

V současné době se zvláštní pozornost z hlediska životního prostředí, z hlediska CL, obrací na látky nazývané **toxiny**. Jsou to látky se schopností vyvolat tvorbu protilátek. Tyto vyvolané protilátky nazýváme **antitoxiny**. Toxiny jsou produkovány a vylučovány bakteriemi (bakteriální toxiny), hmyzem, plazy a jinými živočichy (zootoxiny), rostlinami (fyto toxiny), houbami a plísněmi (mykotoxiny).

Vedle PCB, b(a)p, dioxinů atd., patří **mykotoxiny** mezi ty CL, které vážně ohrožují zdraví lidí a zvířat. Do současné doby bylo stanoveno a izolováno a chemicky stanoveno více než 300 mykotoxinů produkovaných 350 druhy plísní. Mezi zvláště nebezpečné pro lidi patří aflatoxiny, ochratoxin A, T₂-toxin, zearalenon a další. Zvláštní významné postavení zaujímají aflatoxiny. Tyto velmi nebezpečné mykotoxiny vznikají při nesprávném uskladňování a přípravě krmiv a potravin (teplota a vlhkost). Vzniklé plísně napadají všechny druhy obilovin, olejniny, kávové a kakaové boby, koření atd. Tím se dostávají vzniklé mykotoxiny do potravinového řetězce. Vzniklé aflatoxikózy nepostihují jenom hospodářská zvířata, ale i lidi, zejména však děti, zvířecí mláďata (10 x větší účinnost). Účinek aflatoxinů je karcinogenní, teratogenní a mutagenní. Povolený limit aflatoxinů u potravin pro lidskou potřebu je 5 µg/kg (pro kojeneckou výživu 0,1 µg/kg).

Pojem „cizorodé látky“ byl původně vymezen pro jejich výskyt v potravinách. Širší, obecnější vyjádření ve vztahu k jejich obsahu v půdě, hnojivech, plodinách atd., by neměl být používán, i když je v současné době velmi rozšířen.

Škodlivé látky v potravinách a jejich negativní vliv na zdraví můžeme rozdělit na tři skupiny:

- 1) kontaminace radioaktivními látkami;
- 2) kontaminace biologická (vyvolaná hlavně mikroorganismy);
- 3) kontaminace chemická (přítomnost přírodních škodlivých látek nebo CL), které mohou být exogenní (dostanou se do potravin zvenčí) nebo endogenní (vznikly v samotné potravíně).

Chemická kontaminace potravin (zejména exogenními CL) je následkem se zhoršujícího stavu životního prostředí nejzávažnější a významně ovlivňuje zdravotní stav lidské populace.

Je třeba si uvědomit, že potraviny zcela prosté škodlivých látek neexistují, i když budou pěstovány a vyráběny bez chemikálií. Škodlivé látky totiž obsahují i přírodní rostliny. Vize, že to co vyrosté v čisté přírodě je naprosto nezávadné, je naivní a nesprávná.

S postupným zhoršováním stavu životního prostředí (vlivem industrializace, automobilismu, intenzifikace zemědělství a konečně i umělým hnojením a konzervací potravin atd.) obsah CL v potravinách neustále stoupá a může dosahovat stavu, že potraviny mohou působit toxicky nebo genotoxicky (karcinogenně, mutagenně, teratogenně, embryotoxicky atd.).

2.4 Perzistence a bioakumulace znečišťujících látek

Součástí našeho životního prostředí je velké množství organických sloučenin. Tyto sloučeniny mohou vznikat z přírodních nebo antropogenních procesů a zdrojů. Vzhledem k tomu, že neustále přibývá těchto látek z lidské činnosti (zejména průmyslové) a často mají tyto látky toxické a genotoxické vlastnosti, je tato problematika v současné době velmi aktuální a závažná pro ŽP. Mnohé z těchto látek jsou odolné vůči rozkladu (termickému, chemickému, fotochemickému a také biologickému). Na základě své perzistence (stálosti) mají schopnost se kumulovat v biotických a abiotických složkách prostředí.

Pro perzistentní organické sloučeniny je charakteristické, že se velmi pomalu rozkládají, a tím dlouhodobě přetrvávají v prostředí. Mají schopnost **bioakumulace**. Hromadí se postupně v malých objemech v živých organismech a pak je dlouhodobě a nenápadně ovlivňují. Obdobně mohou být akumulovány v sedimentech, v jezerech či jinde v ŽP. Perzistentní organické sloučeniny se dostávají do prostředí a šíří se v něm obvykle velice složitými způsoby. I když lidský organismus přijímá tyto látky přes potravní řetězec (potravinou a vodou) šíří se tyto látky v životním prostředí především vzduchem.

Pro hodnocení a posuzování nebezpečnosti vlivu chemických látek na přírodu (ekosystémy) používáme v podstatě tři následující kritéria, jsou to:

- o environmentální toxicita (ekotoxicitu) – nežádoucí účinky (jedovatost) na živé organismy, faunu, floru,
- o perzistence – přetrvávání v životním prostředí,
- o bioakumulace – hromadění v životním prostředí.

Perzistence

Perzistentní organické sloučeniny označujeme jako **POC** nebo častěji jako **perzistentní organické polutanty** – **POP**. Mezi tyto organické sloučeniny jsou zařazovány především polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) a halogenované organické látky, mezi ně patří chloralkany, chloralkeny a chlorované benzeny, fenoly, bifenyly, dibenzo-p-dioxiny a dibenzofurany. Početnou další skupinu tvoří některé pesticidy, zejména chlorované insekticidy (DDT, hexachlorcyklohexany, hexachlorbenzen, chlordan, aldrin atd.).

Nebezpečnost POP se pro ŽP hodnotí podle následujících kritérií:

- o doby perzistence,
- o tenze par,
- o schopnosti bioakumulace (podle rozdělovacího koeficientu n-oktanol/voda nebo podle hodnot bioakumulačního faktoru (BCF) pro ryby),
- o toxicity (podle karcinogenních, mutagenních a teratogenních vlastností),
- o expozice (způsob jejich použití a využívání a objem produkce).

Bioakumulace

Pro posouzení stupně bioakumulace chemických látek, vyhodnocování jejich hromadění v ŽP, používáme obvykle různých fyzikálně-chemických metod (faktorů). Tyto faktory obvykle stanovují snadnost nebo obtížnost přechodu (distribuce) chemických látek v jednotlivých složkách životního prostředí. Používány jsou dělicí koeficienty voda - vzduch, oktanol – voda, půda – vzduch, koeficient adsorpce na organický uhlík a konečně i bioakumulační faktor. Mezi nejvíce frekventované patří:

- o rozdělovací (dělicí) koeficient oktanol/voda (K_{ow}). Tento koeficient je definován jako poměr koncentrace chemické látky v oktanolové fázi (organickém rozpouštědle) k její koncentraci ve vodní fázi v dvofázovém systému oktanol - voda. Tento koeficient se stal nejvýznamnějším ukazatelem chování organických chemických látek v ŽP. Čím větší je hodnota K_{ow} , tím větší je tendence organických látek adsorbovat se na půdu obsahující určité množství organického uhlíku. Vyšší K_{ow} také obecně indikují schopnost chemické látky se akumulovat v tukové tkáni.

- o biokoncentrační faktor (BCF). Tento faktor vyjadřuje poměr mezi koncentrací látky v organismu nebo v celém těle (např. ryby) nebo specifické tkáni (např. tukové) ke koncentraci ve vodě za rovnovážných podmínek, tedy:

$$\text{BCF} = \frac{\text{koncentrace v biotě}}{\text{koncentrace v okolním prostředí}} = \frac{\mu\text{g látky/g bioty}}{\mu\text{g látky/g složky prostředí}}$$

- kde
- biota může být např. ryba,
 - prostředí, např. povrchová voda.

Akumulace chemických látek ve vodních organismech je zvláště významná s ohledem na nebezpečnost těchto látek pro ekosystémy a zdraví člověka. BCF může mít hodnoty od 1 až do 10^6 . Látky, které mají BCF větší než 1 jsou potenciálně bioakumulovatelné. BCF vykazují hodnotu > 100 jsou pro ŽP už rizikové.

2.5 Důsledky zhoršování životního prostředí

Množství jednotlivých škodlivin (uvedených v předcházející části) charakterizuje stav znečištění a degradaci životního prostředí. Obecně můžeme tyto důsledky rozdělit do následujících oblastí:

- 1) **Klimatické změny.** Zvyšují se průměrné i extrémní teploty ve městech a průmyslových aglomeracích, snižuje se také vlhkost atmosféry a klesá intenzita slunečního záření. Mikroklimatické změny zvyšují četnost a trvalost inverzních situací, které jsou charakteristické především pro špatně provětrané kotliny. Uvedené jevy mohou ovlivňovat také klima v regionálním a kontinentálním měřítku. Zvláště prostřednictvím změn vzdušného proudění a oběhu vody v atmosféře. Animace s názvem „Klimatická změna“ [A12K2] uvedený proces vysvětluje.
- 2) **Kontaminace potravních řetězců** a kumulování nebezpečných látek v prostředí. Škodliviny uvolňované činností člověka do prostředí i jejich rezidua v prostředí přetrvávají a kontaminují potravní řetězce a kumulují se ve složkách životního prostředí systémem vzduch (voda) půda. To platí zejména o chemicky stabilních organických látkách (např. PCB), těžkých kovech a radioaktivních prvcích s dlouhým poločasem rozpadu. Riziku jsou vystaveny zejména organismy tvořící vrchol potravní pyramidy.
- 3) **Narušování tlumících (pufračních) a samočisticích vlastností ekosystému krajiny.** Přirozené stabilní ekosystémy mají schopnost absorbovat škodlivé látky až po jistou „mez únosnosti krajiny“. Tato schopnost je na rozsáhlých územích našeho státu oslabena, tím roste problém s ukládáním nevyužitelných odpadů, a to i inertních.
- 4) **Narušování hydrologického systému krajiny.** Zánik lesů a zhoršování jejich stavu, odstraňování zeleně a mokřadů, pěstování nevhodných plodin, nevhodná orba, meliorace, napřimování toků, vedou ke snižování retenční schopnosti krajiny. Důsledkem je rychlejší odtok vody z krajiny, který se projevuje buď povodněmi, nebo poklesem minimálních průtoků. Dochází k trvalému poklesu hladiny podzemních vod v rozsáhlých oblastech našeho státu.
- 5) **Pokles přirozených reprodukčních schopností krajinných systémů.** Dosud popsané jevy vyúsťují do stresového stavu biosféry a do narušení ekologické stability a estetické hodnoty krajiny a do ochuzování zděděného přírodního bohatství. Jedná se především o rozklad přirozených ekosystémů a fatální mizení ekotypů, ochuzování genofondu, nešetrné čerpání neobnovitelných zdrojů, nešetrné využívání a nedostatečnou reprodukci obnovitelných zdrojů, včetně půdy.
- 6) **Zhoršování zdravotního stavu obyvatelstva.** Znečištěné životní prostředí se podílí do značné míry na výrazném zhoršení zdravotního stavu obyvatelstva. Konkrétně na snížení střední délky života, na vyšší úmrtnosti v nižších věkových skupinách, na značném výskytu alergií a zhoubných nádorů v dětském a mladém věku a na narušení psychického zdraví části obyvatelstva.

- 7) **Ekonomické škody a ztráty.** Ekonomickými důsledky všech popisovaných negativních jevů zhoršujícího se prostředí na člověka a společnost jsou rostoucí škody a ztráty, především:
 - škody vzniklé znehodnocením složek životního prostředí,
 - ztráty způsobené zvýšenou nemocností a úmrtností obyvatelstva,
 - náklady na kompenzační a nápravná opatření (zvýšené výdaje ve zdravotnictví a sociální sféře, náklady na údržbu budov a technologických zařízení),
 - škody ze snížení objemu a kvality zemědělské, lesní a průmyslové produkce.
- 8) **Narušování sociální struktury společnosti.** V oblastech se sníženou kvalitou životního prostředí se projevuje rozvolňování sociálních vztahů, tzn. zvýšený počet rozvodů, zvýšený počet umělých potratů, zvýšená kriminalita, toxikomanie a další sociálně patologické jevy.
- 9) **Narušování politického systému společnosti.** Problémy životního prostředí se promítají do sociálně politické stability společnosti (protestní akce, demonstrace). Nedocenení ekologické problematiky může bezprostředně ohrozit ekonomický rozvoj společnosti.
- 10) **Ohrožení mezinárodního postavení státu.** V mezinárodním společenství se ve stále větší míře považuje vztah jednotlivých států k životnímu prostředí za jedno ze základních kritérií hodnocení jejich úrovně a významu. Státy, které tuto skutečnost nedoceňují, se mohou dostat do mezinárodní izolace.

Z uvedeného předcházejícího textu vyplývá, že s úrovní životního prostředí nesouvisí pouze stav přírodního prostředí, sociální úroveň společnosti (délka lidského života, počet rozvodů, kriminalita atd.), ale i plnění ekologické politiky státu a dodržování mezinárodních dohod.

2.6 Udržitelný rozvoj

Původně byl udržitelný rozvoj (UR) definován jako trvale udržitelný rozvoj (TUR). Pojem TUR byl chápán jako „**takový rozvoj, který současným a budoucím generacím zachová rozmanitost přírody a přirozenou funkci ekosystémů**“. Připomeňme si alespoň v krátkosti vznik této myšlenky, tohoto dnes velmi citovaného pojmu v oblasti ochrany životního prostředí.

Boj o ochranu našeho životního prostředí má své kořeny v daleké minulosti. Zmínky tohoto volání po zdravé přírodě bychom mohli zaznamenat již ve starém Řecku a Římě. Neustále se zhoršující stav mezi životním prostředím a hospodářským rozvojem a zvyšující se světovou výrobou vyvrcholil na konci dvacátého století. Největší polínko do ohně přinesla kniha „Meze růstu“, jejímiž autory byli MEADOWS A KOLEKTIV v roce 1972. Tito autoři na základě matematického modelu dospěli k názoru, že žádná nápravná opatření následného charakteru nemohou řešit základní problém dopadů probíhajícího exponenciálního hospodářského růstu, který začal od počátku dvacátého století. Tito autoři dospěli k názoru, že přírodní zdroje, mezi něž patří nejen nerostné suroviny a půda, ale i absorpční kapacita ekosystémů pro odpady všeho druhu a samotný prostor naší planety, jsou principiálně omezené. Proto navrhli, aby byl světový hospodářský růst bezpodmínečně zastaven a byl přijat světovou veřejností požadavek tzv. **nulového hospodářského růstu**.

Diskuse, jako ohlas, která probíhala téměř v celém světovém tisku za přispění celé řady vědců a publicistů, donutila tehdejší Organizaci spojených národů, že se touto problematikou začala zabývat. Požadavek nulového růstu hospodářství však odmítla jako nereálný a nežádoucí. Tento nulový růst by natrvalo odsoudil k bídě a hladu většinu rozvojových zemí, jejichž jedinou nadějí je právě hospodářský růst.

Valné shromáždění Organizace spojených národů v roce 1983 ustavilo proto Světovou komisi pro životní prostředí a rozvoj, kterou pověřilo nesnadným úkolem, analyzovat vztah mezi hospodářským rozvojem a životním prostředím a navrhnout způsob, jak překonat zdánlivě neřešitelné rozpory. Tato komise po tříletém působení pod vedením norské ministerské předsedkyně GRO HARLEM BRUNDTLANDOVÉ vydala v roce 1987 zprávu „Naše společná budoucnost“ (WCED). V této zprávě

navrhla, aby problém životního prostředí nebyl řešen v celosvětovém měřítku zastavením hospodářského růstu, ale novým typem rozvoje, který byl nazván **rozvojem trvale udržitelným** (Sustainable Development). Tedy takovým rozvojem, který dokáže naplnit potřeby současné generace, aniž by ohrozil splnění potřeb generací následujících, nebo byl na úkor jiných národů.

Teorie trvale udržitelného rozvoje a jejích sedmadvacet zásad přijatých na Summitu Země v Rio de Janeiru v roce 1992 se měla stát pro lidstvo spásou, měla zastavit zhoršování životního prostředí naší antropogenní činností, naším neustálým zvyšováním požadavků na naše osobní materiální potřeby. Teorie TUR byla později neustále rozpracovávána, byla hledána cesta k jejímu naplnění, ale také cesty k jejímu vyhodnocování či kontrole. Původní pojem TUR byl nahrazen výstižnějším pojmem „**udržitelný rozvoj**“ (UR).

Evropská unie se k prosazování udržitelného rozvoje přihlásila již při zmíněném Summitu Země v Rio de Janeiru v roce 1992 a v roce 1997 na tzv. konferenci Rio+5 v rámci vyhodnocování plnění cílů udržitelného rozvoje se zavázala k přijetí národních **strategií udržitelného rozvoje (SUR)**. V roce 1997 Amsterodamská smlouva stanovila udržitelný rozvoj za hlavní cíl Evropské unie a v roce 2001 na summitu v Göteborgu přijala Strategii udržitelného rozvoje EU. Ke Strategii byl v roce 2002 na Summitu v Barceloně přidán vnější rozměr, zdůrazňující vedoucí úlohu EU ve světě při prosazování udržitelného rozvoje. Nejvyšší představitelé členských států zemí Evropské unie, včetně České republiky, přijali ve dnech 16. až 17. června 2005 na Summitu v Bruselu „**Prohlášení o hlavních zásadách pro udržitelný rozvoj**“.



Prohlášení o hlavních zásadách pro udržitelný rozvoj **Hlavní cíle**

Ochrana životního prostředí

Zabezpečit kapacitu Země s cílem podporovat život v celé jeho rozmanitosti, respektovat limity přírodních zdrojů planety a zajistit vysokou úroveň ochrany a zlepšení kvality životního prostředí. Předcházet znečišťování životního prostředí a snižovat je a podporovat udržitelnou výrobu a spotřebu přerušením přímé vazby mezi hospodářským růstem a zhoršováním životního prostředí.

Sociální spravedlnost a soudržnost

Podporovat demokratickou, soudržnou, zdravou, bezpečnou a spravedlivou společnost, která je otevřena sociálnímu začlenění, dodržuje základní práva a kulturní rozmanitost a která vytváří rovné příležitosti a bojuje se všemi formami diskriminace.

Hospodářská prosperita

Podporovat prosperující, inovativní, konkurenceschopné, ekologicky účinné hospodářství založené na bohatých znalostech, které přináší vysokou životní úroveň a úplnou, vysoce kvalitní zaměstnanost v celé Evropské unii.

Splnění našich mezinárodních odpovědností

Povzbuzovat celosvětové zřizování demokratických institucí založených na míru, bezpečnosti a svobodě, a bránit jejich stabilitu. Aktivně podporovat celosvětový udržitelný rozvoj a zajistit, aby vnitřní a vnější politiky Evropské unie byly v souladu s globálním udržitelným rozvojem a jeho mezinárodními závazky.

Hlavní zásady politiky

Podpora a ochrana základních práv

Postavit člověka do středu zájmu politik Evropské unie prostřednictvím podpory základních práv, boje se všemi formami diskriminace a přispíváním ke snížení chudoby a odstranění sociálního vyloučení na celém světě.

Rovnost uvnitř generací a mezi nimi

Zaměřit se na potřeby současných generací a zároveň brát ohledy na schopnost uspokojit potřeby budoucích generací v EU i mimo ni.

Otevřená a demokratická společnost

Zaručit právo občanů na informace a zabezpečit přístup ke spravedlnosti. Rozvinout přiměřené možnosti konzultace a účasti na rozhodování pro všechny zúčastněné strany a sdružení.

Zapojení občanů

Posílit účast občanů při rozhodování. Podporovat vzdělávání a informovanost veřejnosti o udržitelném rozvoji. Informovat občany o jejich vlivu na životní prostředí a možnostech, které jim dovolují rozhodnout se ve prospěch větší udržitelnosti.

Zapojení podniků a sociálních partnerů

Posílit sociální dialog, sociální odpovědnost podniků a partnerství mezi soukromým a veřejným sektorem, a podpořit tak spolupráci a společnou odpovědnost v zájmu dosažení udržitelné výroby a spotřeby.

Politický soulad a řízení

Podporovat soulad mezi všemi politikami Evropské unie a soulad mezi místními, regionálními, vnitrostátními a globálními aktivitami s cílem zvýšit jejich udržitelnost.

Začlenění politik

Podporovat začlenění hospodářských a sociálních úvah a úvah o životním prostředí, aby byly soudržné a vzájemně se posilovaly, tím, že plně využijí nástroje pro zlepšení právní úpravy, jako například vyvážené posuzování dopadů a konzultace zainteresovaných subjektů.

Využívání nejlepších dostupných znalostí

Zajistit, aby byly politiky rozvíjeny, posuzovány a prováděny na základě nejlepších dostupných znalostí a aby byly ekonomicky stabilní a hospodárné.

Zásada předběžné opatrnosti

Použít zásadu předběžné opatrnosti, pokud existuje objektivní vědecká nejistota, s cílem zabránit případnému poškození lidského zdraví nebo životního prostředí a podniknout preventivní kroky.

Znečišťovatel musí platit

Zajistit, aby ceny odrážely skutečné náklady, které společnosti vznikly výrobními a spotřebními činnostmi, a aby znečišťovatelé platili za škody, které spáchali na lidském zdraví a životním prostředí.

**Pojmy k zapamatování**

Znečišťování prostředí, znečištění prostředí, znečišťující látky, udržitelný rozvoj

**Shrnutí pojmů****Otázky 2**

1. Co je to Systém indikátorů a klasifikace
2. Jak rozdělujeme toxické látky podle účinku?
3. Co vše je zahrnuto pod pojem genotoxicita?
4. Jaké nebezpečí se skrývá pod pojmy perzistence a bioakumulace znečišťujících látek?
5. Jak vznikají a jaké mají vlastnosti PAU?
6. Pro které vlastnosti se začaly vyrábět PCB?
7. Co víte o dioxinech?
8. Charakterizujte freony. Proč se v současnosti upouští od jejich výroby?
9. Co jsou to těžké kovy, jak a které poškozují naše životní prostředí?
10. Jaké důsledky má zhoršování stavu životního prostředí?

**Další zdroje**

- /7/ Braniš, M., Pivnička, K. *Úvod do studia životního prostředí*. Karolinum, UK Praha 1994.
- /8/ Diner, V. aj. *Ochrana životního prostředí. Základy, plánování, technologie, ekonomika, právo a management*. MŽP a VŠB-TU, Ostrava 1997.
- /9/ Herčík, M., Kapřík, V., Obroučka, K. *Ochrana životního prostředí*. ES VŠB-TU, Ostrava 1995.
- /10/ Herčík, M. *111 otázek a odpovědí o životním prostředí*. Montanex, a.s., Ostrava 2004.

- /11/ Holoubek, I. *Polycyklické aromatické uhlovodíky v prostředí*. ČEÚ a Odbor ekologických rizik a monitoringu MŽP ČR, Praha 1996.
- /12/ Kalač, M. *Polychlorované dibenzo-*p*-dioxiny a dibenzofurany v životním prostředí*. ČEÚ a Odbor ekologických rizik a monitoringu MŽP ČR, Praha 1995.
- /13/ Moldan, B. *Příroda a civilizace – životní prostředí a rozvoj lidské civilizace*. SPN, Praha 1997.
- /14/ Palatý, J., Paleček, J. *Základy ekologie*. ES VŠCHT, Praha 1992.
- /15/ Rohon, P. *Základy životního prostředí*. ES ČVUT, Praha 1993.

3. ZNEČIŠŤOVÁNÍ OVZDUŠÍ



Čas ke studiu: 8 hodin



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- definovat a popsat problematiku ovzduší, jako nejvýznamnější složky životního prostředí
- určit povahu a vlastnosti znečišťujících látek v ovzduší
- vyjmenovat tuhé a kapalné a plynné znečišťující látky, definovat pachy
- vysvětlit pojmy jako emise, imise, depozice
- vyjmenovat zdroje znečišťování
- popsat důsledky znečišťování ovzduší v souvislostech kterými mohou být kyselé deště, smogy..



Výklad

Ovzduší je jednou ze základních složek biosféry, bez níž by život v dnešní podobě nemohl vůbec existovat. V prvotní atmosféře, v období, kdy na Zemi vznikal život, se složení atmosféry značně odlišovalo od současného stavu. Zemská atmosféra tehdy pravděpodobně obsahovala především vodní páru, dále metan, oxid uhličitý, amoniak, dusík, vodík, helium, inertní plyny a takzvané kyselé dýmy. Množství jedovatých látek neumožňovalo život organismů, a protože v atmosféře chyběl kyslík, neexistovala ani ozonová vrstva, chránící život na zemské kouli před škodlivým ultrafialovým zářením.

Během geologického vývoje Země se měnilo i chemické složení atmosféry. Např. koncentrace kyslíku před 600 mil. lety (v starším paleozoiku) činila jen 1/100 současné koncentrace a teprve od karbonské epochy provázené mohutnou vegetací dosáhla naší úrovně. Dnešní stav je výsledkem rovnováhy mezi přísunem různých látek do atmosféry a jejich odstraňováním. V přírodě totiž mezi O_2 a CO_2 existuje zpětná vzájemná vazba. Jakmile začne stoupat obsah O_2 v atmosféře, procesy fotosyntézy se okamžitě zpomalují. Naopak, začne-li stoupat obsah CO_2 , procesy fotosyntézy se v naší přírodě okamžitě zrychlují. Zvýšené množství rostlinné složky biosféry (biomasy) pak spotřebují větší množství O_2 na svoji respiraci. Tato vzájemná vazba vztahu mezi O_2 a CO_2 je nesmírně významná, protože přirozenou cestou udržuje současný obsah O_2 v naší atmosféře. K tomu je nutno dodat, že tato vazba mezi O_2 a CO_2 bude významně působit a snižovat působení skleníkového efektu i v případě, kdy obsah CO_2 v naší atmosféře bude zvyšován nadměrným spalováním fosilních paliv.

Průměrné složení přízemní atmosféry a setrvání jejích složek je uvedeno v tab. 1.3.

Tab. 1.3 Průměrné složení přízemní atmosféry a setrvání jejích složek (MÉSZAVOS 1981)

Druh	Objemová koncentrace *		Průměrná doba setrvání v atmosféře po vzniku
	(%)	ppm (desetitisícin procent)	
stálé			
dusík	78,084		10 ⁶ roků
kyslík	20,946		5.10 ³ roků
argon	0,934		-
neon		18,8	-
helium		5,24	10 ⁷ roků
krypton		1,14	-
xenon		0,087	
proměnlivé			
CO ₂		330	5 - 6 roků
CH ₄		1,3 - 1,6	4 - 7 roků
H ₂		0,5	6 - 8 roků
N ₂ O		0,25 - 0,35	25 roků
O ₃		(1 - 5).10 ⁻²	2 roky
velmi proměnlivé			
voda		(0,4 - 400).10 ²	10 dní
CO		0,5 - 0,25	0,2 - 05 roků
NO ₂		(0,1 - 5).10 ⁻³	8 - 10 dní
NH ₃		(0,1 - 10).10 ⁻³	5 dní
SO ₂		(0,03 - 30).10 ⁻³	2 dny

* Údaje se týkají tzv. „čistých oblastí“ bez výrazného lokálního antropického znečištění.

Problémy znečišťování ovzduší jsou zřejmě daleko starší, než se v dnešní době předpokládá. Vezmeme-li v úvahu různé přírodní jevy, k nimž patří zejména sopečná činnost, lesní požáry, elektrické výboje za bouří, eroze půdy, ale také rozklad rostlinných látek, uhynulých zvířat apod., jež byly zdrojem tuhých i plyných emisí od samého počátku existence života na zeměkouli, dojdeme k názoru, že opravdu čisté ovzduší ani v počátcích lidské existence prakticky neexistovalo.

S rozvojem techniky však problém znečišťování ovzduší začínal být stále citelnějším, zejména v době, kdy se začalo používat uhlí k topení místo dřeva. Zvláštní pozornost však začaly vyvolávat problémy znečištění ovzduší až tehdy, když došlo k prvním tragickým událostem, které byly způsobeny smogovými situacemi. Již na počátku 20. století došlo k prvnímu takovému případu v Glasgowu ve Skotsku, kde se účinkům znečištěného ovzduší připisuje více jak tisíc obětí na životech. Od té doby, zejména od začátku třicátých let, došlo k mnoha dalším katastrofám, z nichž nejznámější jsou tři zvláště tragické případy. Byl to rok 1930 – případ v údolí belgické řeky Maasy u města Liège, v roce 1948 kritická situace v americkém městě Donoře na severovýchodě USA a rovněž v britském hlavním městě Londýně koncem roku 1952. Domněnka, že znečištěné ovzduší není jen zdrojem nepříjemností, ale může být i vážným nebezpečím pro lidské zdraví, je dnes bezpečně potvrzena. Případy značného znečištění ovzduší měly za následek zvýšenou úmrtnost a provedené průzkumy ukázaly možnou souvislost mezi trvalým pobytem ve znečištěném ovzduší a takovými nemocemi, jako je třeba akutní bronchitida a primární rakovina plic.

Stav životního prostředí a všech jeho složek včetně ovzduší začal být intenzivně sledován na sklonku šedesátých let minulého století. V současné době je známo a identifikováno několik tisíc látek znečišťujících ovzduší. Většinu větších měst sužují vlivem nadměrného automobilismu smogy, a tak bychom mohli ve výčtu znečišťování ovzduší pokračovat dále. Platná ekonomická poučka, že „čistý vzduch stojí mnoho peněz, ale znečištěný mnohem víc“ dokládá, že stát, popř. lidská společnost musí

zajistit obyvatelstvu zdravotně nezávadné ovzduší a že to vyjde levněji než platit všechny škody, které znečištěné ovzduší způsobuje.

V oblasti ochrany ovzduší jsou používány dva základní pojmy, a to **znečišťování** a **znečištění** ovzduší. Pro vypouštění, neboli vnášení do atmosféry (emisi) látek znečišťujících ovzduší se používá pojem znečišťování ovzduší. Tento pojem označuje činnost nebo děj. Pojem znečištění ovzduší lze chápat jako přítomnost, neboli obsah (imisi) těchto látek v ovzduší v takové míře a době trvání, při nichž se projeví nepříznivé ovlivňování životního prostředí. Tento pojem označuje tedy určitý stav, který je důsledkem původního děje. Obecně se do pojmu znečišťování ovzduší zahrnuje celá řada činností zamožujících zemskou atmosféru: vypouštění hmotných látek, emise škodlivého elektromagnetického záření, ale i hluk, teplo a další.

Znečišťování ovzduší má své příčiny a následky. Příčinou jsou **emise** (úlety) látek znečišťujících ovzduší z jednotlivých zdrojů. Spojení mezi příčinami a následky obstarává zemská atmosféra. Ovzduším jsou znečišťující látky od zdrojů k příjemcům přenášeny (transportovány). Znečišťující látky, které se vyskytují v přízemní vrstvě atmosféry a škodlivě působí na zdraví lidí, přírodu a hmotné statky, označujeme jako **imise** a ty, které dopadnou na zemský povrch, jako **depozice**. V ovzduší probíhají také změny (konverze) jednotlivých druhů znečišťujících látek na jiné, někdy nebezpečnější než původní. Schematicky je dynamika znečišťování ovzduší, respektive přenos znečišťujících látek v atmosféře znázorněn na animaci „Mechanismus přenosu ZL v atmosféře“ [A13K3].

3.1 Povaha a vlastnosti znečišťujících látek

□ Pachy

Moderní doba svou rozmanitostí (pestrostí) výroby a lidských činností vnáší do našeho životního prostředí, zejména do ovzduší, jak již bylo uvedeno, značné množství rozmanitých a znečišťujících látek. Mezi nejsložitější problematiku z tohoto hlediska patří sledování pachů. Zde se naskytá otázka, zda je vůbec možné pachy změřit a vyhodnotit jejich intenzitu. Pokusme se na tuto otázku odpovědět; začneme zešíroka od vysvětlení pojmů. Pod nadřazený pojem „pach“ se zahrnují dva protikladné výrazy, a to „zápach“ i „vůně“. Souvislost mezi pachem a zápachem je stejná jako mezi zvukem a hlukem. Hlukem je nazýván nežádoucí zvuk a zápachem je označován nežádoucí pach. Čich je vývojově nejstarší smysl přítomný v různé formě a citlivosti u všech živočišných skupin. Citlivost k pachům se individuálně i mezi pohlavími značně liší. Problematiku pachu lze rozdělit na oblast vnášení pachů do životního prostředí a na oblast výskytu a úrovně pachů v prostředí našeho ovzduší.

V prvním případě se jedná o stanovení emisních limitů pro pach. Legislativně je obecný emisní limit pro zdroj pachu, který je umístěn v obytném objektu, definován hodnotou 50 OU/m³ a pro mimo obytné oblasti pak hodnotou 100 OU/m³. Přičemž **pachovou jednotkou OU** (jednotkou zápachu) je takové množství pachových látek v objemové jednotce nosného plynu za standardních podmínek (teplotě 0 °C a tlaku 101,325 kPa), které vyvolává čichový vjem na úrovni prahové koncentrace detekce pachu (pach na hranici identifikovatelnosti).

Ve druhém případě nejprve citujme naši legislativu. „Vnášení pachových látek ze stacionárních zdrojů nad míru způsobující **obtěžování** obyvatelstva není dovoleno“. Velmi problematické je však vyhodnotit skutečnou úroveň pachu, neboli imisní koncentraci pachových látek, a stanovit objektivně míru obtěžování. K vyhodnocování pachových koncentrací v ovzduší jsou využívány postupy založené na statistickém hodnocení subjektivních vjemů většiny dotazovaných obyvatel podle ČSN 83 5030. Tato norma stanovuje minimální počet respondentů ve sledované oblasti podle počtu obyvatel, dobu a četnost sledování a stanovení limitní hodnoty obtěžování podle následující stupnice:

- 0 – zcela bez čichového vjemu
- 1 – pach blízký prahové koncentraci detekce pachu
- 2 – slabý neobtěžující pach

- 3 – obtěžující pach
- 4 – silně obtěžující pach
- 5 – nesnesitelný pach

Podle této normy představuje:

N – neobtěžující zápach stupně 1 a 2 stupnice pachu,

O – obtěžující zápach stupně 3 až 5 stupnice pachu.

Osoby, respektive respondenti, žijící ve sledované lokalitě jednou až dvakrát denně zapisují subjektivní pocit pachu a jeho intenzitu podle této stupnice. Délka pozorování a sledování bývá zpravidla tři měsíce až půl roku a výsledky pozorování se vyhodnocují statisticky. K vyhodnocování imisních koncentrací pachu je možné použít i metodu stanovení pachových látek ve venkovním ovzduší terénním průzkumem podle ČSN 83 5031. Tato metoda vychází z měření časového podílu působení pachu v určených stanovištích a lokalitách (tzv. geometrické sítě nebo pachové stopě).

Pro objektivizaci posouzení pachové zátěže jsou vhodné olfaktometrické postupy. Vlastní měření probíhá na přístroji (olfaktometr), který je vybaven několika velmi přesnými rotametry, které přesně měří průtok znečištěného plynu a průtok inertního plynu (vzduch, medicínální kyslík). Ve směšovací komoře dochází k dokonalému smísení obou plynů. Osoba, která je využita k měření, vdechuje takto vzniklou směs a pouze oznamuje laborantovi, který měří směšovací poměr, zda cítí nebo necítí pach. Pachovou jednotkou je pak hodnota, která postihuje práh čichu. Dokonce už prý při koncentraci 3 PJ (pachových jednotek) lze definovat i typ pachu.

Pro zpřesnění intenzity pachu je v normách EU definována tzv. **Evropská pachová jednotka OUER**, která je vztažena na pach určité chemické látky, tzv. 1 EROM. Tato jednotka je definována jako 123 mg n-butanolu rozptýleného v 1 m³ inertního plynu za standardních podmínek. Takto je možné testovat osoby a vyhodnocovat jejich čichovou rozlišovací schopnost.

□ Tuhé a kapalné znečišťující látky

Tuhé a kapalné znečišťující látky jsou částice těchto látek, které mohou vytvářet se vzduchem dvojfázové disperzní systémy, v nichž je vzduch disperzním prostředím a tuhé nebo kapalné částice dispergovanou látkou. Podle stability disperzního systému je dělíme na **prachy a aerosoly**.

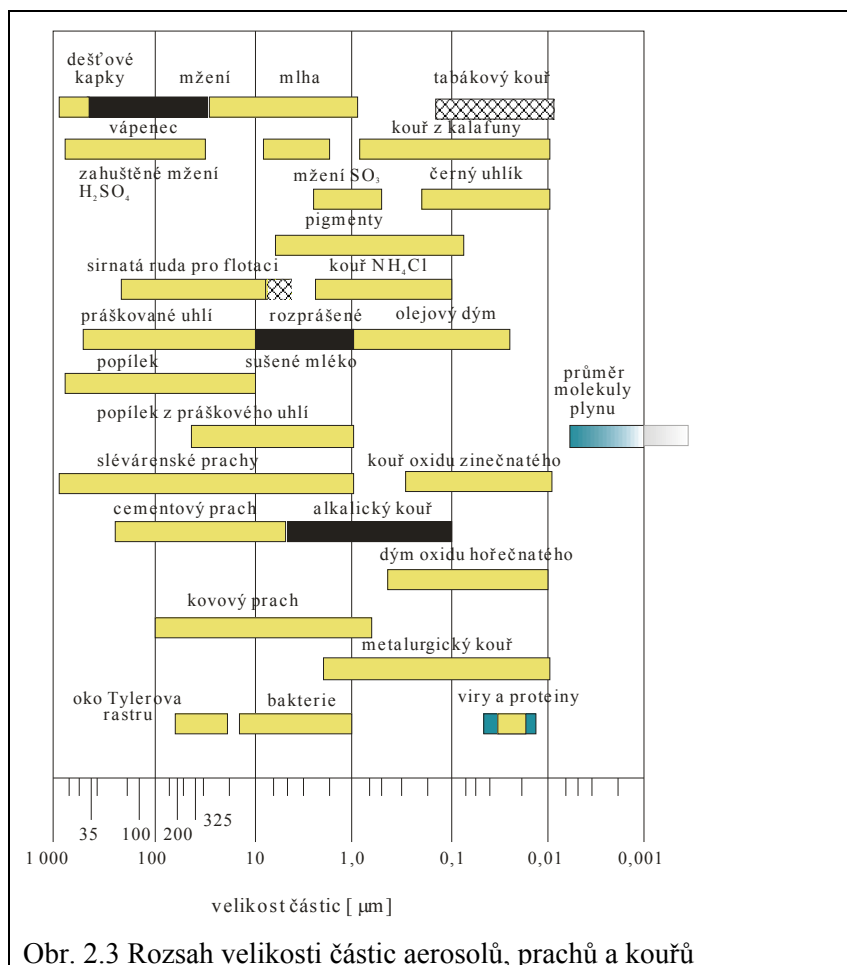
Pod pojmem **prach** jsou tedy zahrnuty malé částice tuhých látek, které po rozptýlení v klidném disperzním systému mají pádovou rychlost, která odpovídá zákonům volného pádu. Patří sem poletavé prachy, hrubé prachy, jemné prachy a různé nečistoty.

Pod pojmem **aerosol** jsou zahrnovány tuhé a kapalné částice, které po rozptýlení v klidném disperzním systému tvoří stabilní systém. V praxi užíváno termínu „mají zanedbatelnou sedimentační rychlost“. Velikosti částic aerosolů, v našem případě prachového aerosolu (nebo poletavého prachu), se pohybují v rozmezí od 10⁻² do 10² μm, tj. od makromolekul až po částice dýmů a kouřů. U velmi malých částic s poloměrem < 0,1 μm, které již nemají pádovou rychlost, je pozorován zvláštní pohyb částic, kterému říkáme „BROWNŮV POHYB“.

Aerosoly podle vzniku rozdělujeme na:

- o disperzní, které vznikají mechanickou nebo tepelnou destrukcí látek (kouře, dýmy atd.),
- o kondenzační, které vznikají srážením par nebo reakcemi v ovzduší (mlhy, opary atd.).

Velikosti částic aerosolů jsou v rozmezí od 10⁻² do 10² μm, tj. od makromolekul až po jemné částice prachu (při silném větru). Na obr. 2.3 jsou názorně zobrazeny různé typy aerosolů a velikosti jejich částic.



Menší částice než 0,1 μm ulpívají po nárazu na předmětu (špinění budov, textilu atd.) nebo na zemském povrchu. V ovzduší vykonávají nepravidelný pohyb (BROWNŮV pohyb) a při vzájemných nárazech se shlukují do větších celků (koagulují). **Větší částice** než 0,1 – 0,5 μm se z ovzduší usazují (sedimentují) a vytvářejí spád prachu.

Dynamikou prachových částic v ovzduší, jejich sedimentací, se zabývalo mnoho autorů. Proto existuje i celá řada složitých vztahů a výpočtů. Pokusme se tuto problematiku zjednodušit v názorné tab. 2.3.

Tab. 2.3 Terminální rychlost způsobená gravitačním usazováním ve vzduchu při 20 °C a 101 325 Pa v cm/s

Rozmezí velikosti částic [μm]	Oblast pádové rychlosti	Matematický vztah
> 1 000	turbulentní pohyb	$v_t = k_1$
1 000 až 100	přechodná oblast	$v_i = k_2 \rho^{2/3} D$
100 až 1	STOKESŮV ZÁKON	$v_s = k_3 \rho D^2$
1 až 0,10	CUNNINGHAMOVA KOREKCE	$v_c = v_s \left(\frac{1 + 0,172}{D} \right)$
< 0,10	BROWNŮV POHYB	$x = k_4$

Kde v rovnicích:

k_1 – koule = 24, pro nepravidelný tvar 16

k_2 – koule = 0,41, pro nepravidelný tvar 0,26

k_3 – koule = 0,0030, pro nepravidelný tvar 0,002

k_4 – koule = 0,00068, pro nepravidelný tvar –

D – průměr částic v μm

ρ – měrná hmotnost částic v g/cm^3

I – střední volná dráha plynných molekul v μm

x – průměr přemístění v cm kulovité částice ve vzduchu za čas v s.

Množství spadlého prachu označujeme jako spád prachu a vyjadřujeme jej pomocí **depozičního limitu**. Za hygienicky únosnou hodnotu tohoto depozičního limitu se považuje maximální spád prachu $12,5 \text{ g/m}^2$ za 30 dní (v přepočtu 150 g/m^2 za rok neboli 150 t/km^2 za rok).

Množství poletavého prachu (aerosolu) se hodnotí pomocí imisních limitů, a to v $\mu\text{g/m}^3$. Imisní limity pro poletavý prach mají tyto hodnoty.

IL pro období 24 hodin – $50 \mu\text{g/m}^3$

IL pro období kalendářního roku – $40 \mu\text{g/m}^3$ (od roku 2010 $20 \mu\text{g/m}^3$)

IL pro poletavý prach se vyjadřují vždy jako aritmetický průměr a nově jako suspendované částice PM_{10} , které projdou filtrem ($10 \mu\text{m}$) s odlučovací účinností 50 %. Někdy je IL stanovován jako SPM, což je poletavý prach bez velikostního rozlišení částic se zanedbatelnou sedimentační rychlostí (přetrvávající dlouhou dobu v atmosféře), obvykle částic menších než $25 \mu\text{m}$. Pro poletavý prach jsou IL nejčastěji stanoveny pro thorakální frakci PM_{10} , protože tato frakce se lépe shoduje s hodnocením zdravotních účinků než SPM. Za thorakální frakci se považuje hmotnostní frakce částic pronikající za hrtan, která není zachycována v horních dýchacích cestách (dutina nosní, ústní). Na vyšších koncentracích poletavého prachu v ovzduší se podílejí nejen stacionární zdroje (zejména zdroje tepla), ale vydatnou měrou i mobilní zdroje, především automobily. Prašné částice z provozu automobilů vznikají nejen ze spálených organických látek z motorového paliva, ale také otěrem pneumatik o povrch silnice. Větším zdrojem znečištění jsou dieselové (naftové) motory. Ty produkují prachu třicet až třistakrát více než motory benzinové.

A jak je tomu s lidským zdravím, jak reagují na velikost prachových částic naše plíce:

- o Částice $> 5 \mu\text{m}$ jsou při vdechování zadrženy v dýchacích cestách. Ty největší v horních dýchacích cestách (nos, dutiny nosní a ústní a nosohltan), ty menší pak v dolních cestách dýchacího ústrojí (hrtan, průdušnice, průdušky).
- o Částice $0,25$ až $5 \mu\text{m}$. Tyto částice pronikají až do terminálních (konečných) partií dýchacích cest, které tvoří alveoly (plicní sklípky).
- o Částice $< 0,25 \mu\text{m}$. Tyto velejemné částice, vzhledem ke svým malým rozměrům a hmotnosti, se začínají chovat jako plynné molekuly, postupně klesá jejich retence v plicích a jsou z velké části vydechovány.

Toto rozdělení částic vzhledem k jejich působení je pouze orientační. V odborné lékařské literatuře je tato problematika rozvedena podrobněji a někdy, bohužel, poněkud s různými odchylkami co se týká velikosti částic. Pro vydechovatelnou frakci bývá někdy uváděna hodnota $< 0,1 \mu\text{m}$. Ale shrnutím můžeme jednoznačně konstatovat, že největší částice jsou zachyceny v dýchacích cestách, střední jsou zachyceny v plicích (alveolách) a ty nejmenší (ultrajemné) jsou vydechovány. Nejnebezpečnější a s největším dopadem na lidské zdraví, na naše plíce, je střední frakce částic od $0,25$ (popř. $0,1$) do 5 (10) μm .

A teď ještě velmi záleží o jaký prach se jedná, je-li inertní nebo biologicky aktivní (toxický, alergický, fibrogenní atd.). V případě fibrogenního účinku prachu na něj navazují látky, které způsobují vznik vazivového pletiva a silikotických uzlíků neboli vznik silikózy. Vážnému, těžko vyléčitelnému onemocnění, kterým trpí pracovníci přicházející do styku s prachem s vyšším obsahem SiO_2 , např. horníci, kameníci, šamotáři apod.

□ Plynné znečišťující látky

Různé plyny a páry se do ovzduší dostávají, jak již bylo uvedeno, přírodní cestou. Plynné škodliviny se do ovzduší dostávají následkem různých fotochemických reakcí, elektrickými výboji, vulkanickou činností apod. Mimo bezprostřední výskyt je však koncentrace těchto plynů a par velmi nízká. Nejvyšší množství těchto škodlivin se do ovzduší dostává následkem lidské činnosti. Jsou to především zplodiny spalování, vznikající ze stále rostoucího množství paliv, používaných k vytápění domácností, průmyslu, v energetice, dopravě a k jiným účelům. Dalším důležitým zdrojem těchto škodlivin jsou průmyslové technologie, zejména hutnického a chemického průmyslu a koksárenství.

V následující části je uveden přehled hlavních nejvýznamnějších současných ZL v ovzduší. Rozdělení je provedeno podle chemického složení (podle chemických prvků a příbuzných chemických skupin).

→ Sloučeniny síry

Oxid siřičitý SO_2 je hlavní znečišťující látkou v ovzduší, a to co do množství i co do účinků na životní prostředí. Oxid siřičitý se do ovzduší dostává následující antropogenní činností. Mezi nejvýznamnější patří:

- o energetika. Spalování uhlí v energetice je dominantním zdrojem emisí SO_2 nejen v ČR, ale i ve světovém měřítku.
- o metalurgický průmysl. Zdrojem emisí je zpracování rud obsahujících větší množství síry. Některé rudy se dokonce vyskytují jako siřníky.
- o koksárenství. Spalování neodsířeného koksárenského plynu (svítiplynu). Část síry z uhlí při koksování přechází do koksárenského plynu.
- o chemický průmysl. Zejména emise SO_2 při výrobě kyseliny sírové, ale i při dalších chemických sloučeninách.

Oxid siřičitý během určité doby přechází fotochemickou nebo katalytickou reakcí na oxid sírový:



Rychlost oxidace závisí na povětrnostních podmínkách, tj. na teplotě, na slunečním svitu, na přítomnosti katalyzujících částic atd. Běžně se odstraní během jedné hodiny z ovzduší 0,1 až 2 % přítomného SO_2 . Vzniklý oxid sírový je okamžitě hydratován vzdušnou vlhkostí na aerosol kyseliny sírové, který může reagovat s prachovými alkalickými částicemi v ovzduší za vzniku síranů. Síraný se postupně usazují na zemský povrch, nebo jsou z ovzduší vymývány srážkami. Při nedostatku alkalických částic v ovzduší dochází k okyselení srážkových vod až na $\text{pH} < 4,0$. **Kyselé deště** uvolňují z půdy hliníkové a další kovové ionty (Cu, Pb, Cd), které potom poškozují půdní mikroorganismy, znehodnocují vodu a způsobují úhyn ryb atd.

Fyziologické působení. Oxid siřičitý negativně působí na zdraví živočichů, zejména na zdraví lidské a na rostlinstvo. SO_2 poškozují především dýchací systém. U člověka zvyšuje výskyt akutního a chronického astmatu, bronchitidy a plicního emfyzému (rozedmu plic). Při vyšších koncentracích způsobuje a působí:

- | | |
|--------------------------------|---|
| 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | - dráždění očí, horních cest dýchacích, |
| 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | - na činnost mozkové kůry, |
| 2 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | - na snížení průchodnosti v plicích. |

Dlouhodobé působení SO_2 při koncentraci 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vede ke zvýšení úmrtnosti na choroby krevního oběhu a chronickou bronchitidu. Při největší smogové katastrofě v roce 1952 v Londýně, následkem vysoké koncentrace SO_2 (průměr 1 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, naměřené maximum 3 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) zemřelo 4 000 lidí. Přítomnost SO_2 už ve velmi malých koncentracích působí na rostlinstvo. Jedny z nejcitlivějších jsou lišejníky, které rychle hynou. Účinky SO_2 však působí i na vyšší rostliny, je poškozován jejich fotosyntetický aparát, což vede k poškození a odumírání keřů a stromů a hynutí celých lesních porostů (nejvíce jsou napadeny rostliny s neopadavými listy, tedy jehličnany).

Emisní limity SO_2 pro elektrárny a teplárny jsou v ČR stanoveny podle jejich výkonu v rozmezí od 500 do 1 700 mg/m^3 spalin (pro velké, > 300 MW, platí nižší hodnota). Nejvyšší přípustné přízemní koncentrace (imisní limity) jsou pro SO_2 hodinový 350 $\mu\text{g/m}^3$, denní 125 $\mu\text{g/m}^3$ a roční 50 $\mu\text{g/m}^3$. V průběhu posledních let byla procesům odsiřování proto věnována velká pozornost. Speciálním případem odsiřování je pak postup založený na odstraňování sulfanu z pyrolýzních (koksárenských) plynů. Příklad technologie mokrého čištění je vysvětlen videoklipem „Procesní postupy při odsiřování technického koksárenského plynu metodou Stredford“ [VK3K3].

Oxid sírový, SO_3 vzniká při spalování vedle oxidu siřičitého v množství 1 až 2 % a dále již uvedenou oxidací oxidu siřičitého v ovzduší. Někdy bývají s SO_2 ve spalinách označovány jako oxidy síry SO_x . Oxid sírový okamžitě reaguje se vzdušnou vlhkostí a vytváří aerosol kyseliny sírové. Mlha kyseliny sírové je tvořena v převážné míře částicemi menšími než 1 μm . Částice tohoto rozměru mohou pronikat hluboko do plic s dráždivým účinkem horším než SO_2 . Aerosol H_2SO_4 vyvolává spasmy a poškozuje sliznici průdušek.

Sulfan, H_2S vzniká v přírodě rozkladem organických látek nebo redukcí síranů, vulkanickou činností a uniká z ložisek ropy a zemního plynu. Celková světová emise sulfanu z těchto přírodních zdrojů se odhaduje na 100 miliónů tun ročně; zatímco z antropogenních zdrojů pochází 3 milióny tun za rok (chemický průmysl, rafinérie ropy, tepelné zpracování uhlí, čištění odpadních vod). Vzhledem k vysoké toxicitě, ale především k odpudivému zápachu, je velmi nízká jeho nejvyšší přípustná koncentrace (NPK). V ovzduší se oxiduje pomocí ozonu a oxidů dusíku na síran.

Thioly (merkaptany), silně páchnoucí se tvoří přirozenými rozkladnými procesy nebo vznikají ze zpracování ropy a výroby sulfátové celulózy.

→ Sloučeniny dusíku

Oxidy dusíku, NO_x . Oxidy dusíku se vyskytují v atmosféře převážně v následujících formách. Jako N_2O oxid dusný, NO – oxid dusnatý, NO_2 – oxid dusičitý, popř. jako dimer N_2O_4 . Vedle nich se nalézá v ovzduší ještě menší množství N_2O_3 – oxidu dusitého.

Z uvedených plynů není N_2O (označovaný jako rajsý plyn) považován za škodlivinu. Vzniká převážně bakteriálním rozkladem dusíkatých látek, není reaktivní a ve velkých výškách se fotochemicky rozkládá na kyslík a dusík. Pokud hovoříme o oxidech dusíku jako o škodlivých látkách, jsou tím míněny NO a NO_2 a označovány jako NO_x . Při stechiometrických výpočtech vyjadřujeme NO_x jako NO_2 .

Menší část NO_x je produkována bakteriálními procesy. Převážná část NO_x však pochází ze spalování fosilních paliv při vysokých teplotách, z výroby kyseliny dusičné, z nitrace organických látek apod. Mezi významné zdroje NO_x patří také výfukové plyny ze spalovacích motorů automobilů.

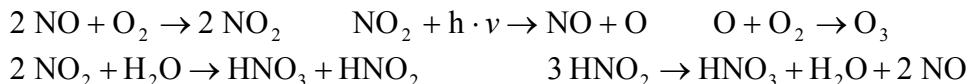
Při spalovacích pochodech se NO_x tvoří v zásadě třemi základními mechanismy:

- o oxidací dusíku ze spalovacího vzduchu za vysoké teploty (tzv. **vysokoteplotní NO_x**),
- o oxidací chemicky vázaného dusíku v palivu (tzv. **palivový NO_x**),
- o z chemicky vázaného dusíku radikálovými reakcemi na rozhraní plamene (tzv. **promptní NO_x**).

Množství tvorby NO_x je tím větší, čím je vyšší spalovací teplota, čím je větší poměr vzduchu (přebytek vzduchu) a čím je delší doba zdržení spalin v pásmu spalné teploty (ve spalovacím prostoru). Jejich množství závisí též na druhu paliva a druhu (uspořádání) spalovacího zařízení. Obsah NO_x ve spalinách se proto pohybuje ve velmi širokém rozmezí podle uvedených podmínek spalování. Obecně jsou udávány pro jednotlivé typy spalovacích zařízení hodnoty v rozmezí od 300 do 1 700 mg NO_x v metru krychlovém spalin. Při využití metod denitrifikace spalin se jejich hodnoty mohou snížit téměř k nulovým hodnotám.

V ovzduší procházejí NO_x celou řadou reakcí. Bezbarvý oxid dusnatý se tvoří za teplot nad $1\,000\text{ }^\circ\text{C}$, v ovzduší z něj vzniká samovolnou reakcí červenohnědý oxid dusičitý. Ten se však může opět rozkládat fotochemicky na oxid dusnatý a kyslík, s následnou reakcí až na ozon.

V konečné fázi však NO_2 nakonec přejde na nejstabilnější formu, kterou je kyselina dusičná:



Reakcí HNO_3 s prachovými alkalickými částicemi, jako jsou CaO a MgO , popř. NH_3 , vznikají tuhé částice, které jednak sedimentují, jednak jsou z atmosféry vymývány srážkami. Množství dusíku, které se nyní dostává do půdy prostřednictvím srážek, není zanedbatelné v porovnání s množstvím dodávaným v hnojivech. Ionty NO_3^- příznivě ovlivňují růst rostlin, ale při vyšších koncentracích dochází k nežádoucímu rozmnožení některých druhů vodních rostlin.

Fyziologické působení. Oxidy dusíku zvyšují oxidační potenciál atmosféry a působí nepříznivě na vnitřní orgány lidí. NO_x se v krvi váže na červené krevní barvivo a zhoršuje přenos kyslíku z plic do krevního oběhu. Ve vyšších koncentracích působí NO_x , jak bude dále uvedeno, při tvorbě novodobých smogů. Roční IL pro NO_x má hodnotu $40\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$, pro hodinový je pětikrát vyšší a činí $200\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pro ochranu ekosystémů činí roční IL $30\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Amoniak, NH_3 . V přírodě se tvoří rozkladem bílkovin ve vodě a v půdě. Antropogenní emise tvoří hlavně tepelné zpracování uhlí (koksovy) a chemický průmysl. V ovzduší se vyskytuje jen v malých množstvích, je neutralizován kyselými látkami v ovzduší na amonné soli.

→ Sloučeniny kyslíku

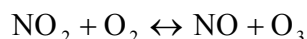
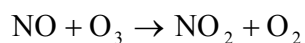
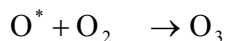
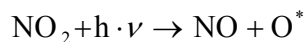
Kyslík je nejrozšířenějším prvkem na Zemi (49,4 %). Je součástí zemské kůry - minerálů a hornin (cca 50 %), hydrosféry – vody (88,8 %) a jednou ze základních složek atmosféry – vzduchu (21 %). Je biogenním prvkem, bez kyslíku v naší atmosféře by nebylo života v dnešní podobě (fotosyntéza, respirace).

Kyslík má velké oxidační schopnosti a slučuje se prakticky se všemi prvky. Atomární kyslík je nestálý a slučuje se s dalšími atomy kyslíku na stálejší molekulu O_2 (za určitých podmínek i na ozon – O_3). Celá řada kyslíkatých sloučenin patří mezi nejrozšířenější a nejvýznamnější znečišťující látky v naší atmosféře (SO_2 , SO_3 , NO , NO_2 , CO atd.).

Kyslík v atmosféře je slunečním zářením (fotolýzou, fotodisociací) rozkládán na atomární kyslík s následným vznikem O_3 . Ozon a atomární kyslík okamžitě reagují s dalšími sloučeninami v atmosféře (zejména uhlovodíky, oxidy dusíku atd.) za vzniku celé řady radikálů a oxiradikálů.

Ozon. Sloučenina O_3 byla nazvána svým objevitelem SCHÖNBEIMEM v Basileji již roku 1839 jako ozon (v řečtině – zapáchající). Je to plyn jedovatý a chemicky vysoce agresivní. Ozon, jak již bylo uvedeno, je tvořen a rozkládán fotochemickými reakcemi, tedy slunečním zářením. Tyto procesy vzniku a rozpadu O_3 se odehrávají nejen v přízemních vrstvách atmosféry, ale zejména ve stratosféře v ozonové vrstvě. Množství O_3 je tedy závislé na intenzitě a vlnové délce UV záření.

Vznik a rozpad ozonu probíhá tam, kde je intenzivní sluneční záření (UV, světelné a IR záření), tedy ve vyšších vrstvách atmosféry. Maxima dosahuje ozon ve stratosféře od 15 do 50 km. Tato ozonosféra, která je součástí stratosféry, zachycuje krátkovlnné UV záření, které je pro živou hmotu na naší Zemi smrtelné. Jinak je tomu však s jeho vznikem a působením v přízemních vrstvách atmosféry, tedy v našem životním prostředí. Ozon v přízemní vrstvě v menším množství vzniká fotolýzou kyslíku a také se dostává do ní klesáním ze stratosféry, v důsledku vyšší měrné hmotnosti (asi 10 až 15 % celkového množství). Převážná část ozonu však vzniká fotolýzou NO_2 podle následující reakce:



Tvorbu O_3 také podporuje fotolýza uhlovodíků, zejména těkavých uhlovodíků – VOC. K nim patří C_6 – alkany, aldehydy, ketony, různé estery a chlorofluorované uhlovodíky. Mnohé z nich jsou obsaženy ve výfukových plynech spalovacích motorů a v emisích různých chemických výrobníků. Vznik O_3 v přízemních vrstvách naší atmosféry urychluje zvýšené sluneční záření a vyšší teploty v letních měsících, ale také zvýšený průnik UV záření v důsledku zeslabení ozonové vrstvy ve stratosféře.

Fyziologické účinky a působení ozonu na všechny organismy jsou velice nepříznivé. Jak již bylo uvedeno, je ozon škodlivinou, která působí toxicky a vysoce agresivně. U osob vystavených zvýšeným koncentracím O_3 , nad $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se dostávají příznaky dráždění očí, sliznic v nose, kašel a bolesti hlavy. Zvláště citlivé na ozon jsou dýchací orgány – plic. Koncentrace nad $4\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2 ppm) po dvou hodinách vyvolá zřetelné příznaky poškození dýchacího ústrojí. Smrtelná koncentrace (zjištěná na zvířatech) začíná hranicí nad $10\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Škodlivý účinek má O_3 též na vegetaci. Zpomaluje jejich růst a vývin kořenového systému. Ozon způsobuje rovněž korozi voskových povlaků, jehlic a listů, vniká do nich a tam narušuje membrány chloroplastů.

Zvýšený obsah ozonu dráždí a aktivuje činnost dýchacích cest a sliznic a tím zvyšuje jejich vnímavost a citlivost a může způsobovat řadu alergií k alergenům přírodního (pyly a spory rostlin) a umělého původu (ZL v ovzduší). Ozon je také účinným baktericidním prostředkem, prostředkem usmrcujícím bakterie. Ozonizace je proto využíváno při přípravě pitné vody, mléka a potravin a vzduchu (ultrafialové výbojky).

Volné radikály. Radikály nazýváme částice, které obsahují jeden nebo několik nepárových elektronů. Radikály vykazují značnou reaktivitu. Mezi významné radikály v ovzduší, které vznikají rozpadem molekul následkem fotodisociace, patří OH – radikály (označujeme je $\text{OH}\bullet$) a HO_2 – radikály ($\text{HO}_2\bullet$). Jejich koncentrace v přízemních vrstvách atmosféry se pohybuje u $\text{OH}\bullet$ v hodnotách $\sim 0,04$ ppt (asi 10^{12} částic/ m^3) a u $\text{HO}_2\bullet \sim 4$ ppt (asi 10^{14} částic/ m^3). Přestože oba tyto volné radikály se vyskytují v malých koncentracích, vyvolávají a způsobují řadu důležitých chemických reakcí v ovzduší. Významněji ovlivňují tvorbu O_3 , reakce s NO_x , oxidaci a rozpad CH_4 , CO a další velké množství reakcí s uhlovodíky při tvorbě fotochemického smogu.

→ Sloučeniny uhlíku

Oxid uhličitý, CO_2 . Vzniká jako produkt dýchání, vulkanickou činností, rozkladem organických látek, působením kyselin na horniny, ale zejména při spalování uhlíkatých paliv. Část vyprodukovaného CO_2 se váže fotosyntézou v rostlinách, část ve světových oceánech. Oxid uhličitý nebyl považován za složku znečišťující ovzduší. V důsledku spalování fosilních paliv stoupá jeho obsah v ovzduší, což se nepříznivě projevuje v oteplování Země, v tzv. **skleníkovém efektu**.

Oxid uhelnatý, CO. Vzniká při nedokonalém spalování. Je součástí kouřových a výfukových plynů, koksárenského, vysokopecního a generátorového plynu. Cigaretový kouř obsahuje až 2 % CO. Určité množství CO přichází do ovzduší z lesních požárů nebo vulkanické činnosti. V ovzduší přechází CO fotochemickou oxidací na oxid uhličitý. Oxidace probíhá poměrně pomalu, poločas se odhaduje na několik měsíců až několik let. Část CO spotřebují půdní bakterie. Oxid uhelnatý je silně toxický. S krevním barvivem vytváří velmi pevný karboxyhemoglobin, což vede k omezení přenosu kyslíku z plic do krevního oběhu.

Organické látky. Tyto látky se vyskytují v ovzduší jako pestrá řada sloučenin, z nichž mnohé jsou do značné míry nebezpečné pro specifické škodlivé účinky – karcinogenní, mutagenní, teratogenní atd. V následující části budou podrobněji probírány významnější skupiny těchto uhlovodíků ve vztahu k životnímu prostředí.

Těkavé organické látky (TOL) se mezinárodně označují jako **VOC** (volatile organic compounds). Těkavými organickými sloučeninami (VOC) byly všechny organické sloučeniny, které při teplotě 293,15 K (20 °C) vykazují tlak par nejméně 0,01 kPa. Podle současné legislativy je těkavou organickou látkou (VOC) jakákoliv organická sloučenina nebo směs organických sloučenin, jejíž počáteční bod varu je menší nebo roven 250 °C, při normálním atmosférickém tlaku 101,3 kPa. Do VOC není zařazován podle mezinárodních dohod metan, i když jeho bod varu je – 161 °C. Mezi VOC patří tedy rozpouštědla, paliva, barvy a nátěrové hmoty, čističí a kosmetické přípravky atd. Emise VOC jsou vykazovány bez emisí metanu jako **NMVOC**.

Emise VOC do ovzduší jsou dvojího původu, a to přírodního a antropogenního. Emise přirozených přírodních zdrojů se obvykle nebilancují v jednotlivých státech, ale odhadují se globálně. Bilance antropogenních emisí se provádí podle mezinárodně uznané metodiky.

Řada VOC jsou toxickými nebo karcinogenními látkami, které se podílejí na poškozování lidského zdraví. Vesměs se však jedná o látky negativně ovlivňující ŽP. Zejména jejich spolupůsobení s oxidy dusíku za vzniku agresivních smogů působících škody nejen na zdraví lidí, ale i na zemědělské a lesní vegetaci a silně akcelerující korozi a stárnutí různých materiálů. Některé složky VOC jsou globální hrozbou životního prostředí, zejména v případě destrukce ochranné vrstvy stratosférického ozonu a vytváření skleníkového efektu.

Významnost a nebezpečnost VOC pro celé naše životní prostředí je nesporná, a proto mají své místo a omezení v legislativách všech zemí, tedy i u nás. V našich právních předpisech jsou VOC zařazeny do základní 0. skupiny seznamu znečišťujících látek. Dokonce jsou, pro sumu VOC, stanoveny emisní limity pro jednotlivé technologie.

□ Kyselé deště

Kyselé deště patří v současné době mezi jednu z největších problematik globálního znečišťování životního prostředí. Pojem „kyselý déšť“ je často považován za ekologický problém posledních desetiletí. Tento termín však použil již v roce 1872 anglický chemik ROBERT SMITH při popisu tohoto jevu v Manchesteru. Poprvé objevil souvislost mezi zčernalou oblohou nad průmyslovým Manchesterem a silně kyselými dešťovými srážkami.

Atmosférické ZL se během svého transportu (transmise) v ovzduší působením řady fyzikálních a chemických procesů a reakcí přeměňují a postupně jsou z atmosféry odstraňovány ve formě:

- o **suché atmosférické depozice,**
- o **mokrý atmosférické depozice.**

Suchá atmosférická depozice ukládá atmosférické příměsi na zemský povrch působením sedimentace, adsorpce, absorpce a dalších fyzikálních pochodů, a to ve formě plynné nebo tuhé, tzv. tuhého spadu.

Část atmosférických příměsí tuhých, kapalných a plyných je z ovzduší vymývána tzv. mokřými procesy. Vymývání těchto ZL způsobují padající dešťové srážky, sníh nebo jiné formy srážek.

Vznik kyselých dešťů

Hlavními složkami kyselých dešťů jsou především sloučeniny síry (SO_2 , SO_3) a dusíku (NO_x , tedy NO a NO_2). Sírné ZL se do ovzduší dostávají při spalování fosilních paliv. Dusíkaté ZL vznikají při všech spalovacích procesech, tedy i při provozu motorových vozidel.

Oxidace SO_2 na SO_3 probíhá v atmosféře fotochemickou a katalytickou reakcí. Oxidace NO_2 na N_2O_5 probíhá rovněž fotochemickou reakcí za spolupůsobení ozonu. Ve skutečnosti můžeme obě reakce vzniku kyselin vyjádřit následovně, jak je patrné z animace „Reakce SO_2 v atmosféře“ [A14K3]. Reakce vzniku N_2O_5 probíhá jen při vyšším obsahu ozonu. V opačném případě NO_2 reaguje fotochemickou reakcí s kyslíkem a vzniká ozon (viz vznik fotochemického losangeleského smogu).

Protože kyselost srážek způsobuje i celá další řada ZL, zahrnujeme v současné době pod souhrnný pojem „kyselé deště“ i jiné ZL (kromě SO_2 a NO_x), které přímo i nepřímo přispívají ke vzniku kyselých dešťů (těžké organické látky – VOC, přízemní a troposférický ozon atd.).

Podle definice Úřadu pro ochranu životního prostředí v USA (EPA) se za kyselé deště považují srážky s hodnotou pH nižší než 4,5. V usnesení Mezinárodní konference o okyselení prostředí (Stockholm 1983) se považují za kyselé srážky při nižším pH než je 4,7 a množství síry, přenesené srážkami je vyšší než $0,5 \text{ g/m}^2$. Tyto hodnoty se již řadu let sledují ve východní části USA a Kanady a ve všech zemích střední a severní Evropy.

Měření a monitorování kyselých dešťů je prováděno v ČR nepřetržitě na několika meteorologických stanicích. Největší četnost srážek probíhá v intervalu pH 4 – 6. Hodnoty pH se v současné době v důsledku odsířování spalín tepelných elektráren neustále zvyšují.

Působení kyselých dešťů

Kyselé deště nepříznivě působí na

- o lidskou populaci. Uvolňují z půd těžké kovy a hliník. Tyto cizorodé látky se dostávají pak do pitné vody a do potravního řetězce. Zvláště nebezpečné je pro člověka uvolňování Al. Ten se ukládá v histologicky vlasově tvarovaných Alzheimerových fibrilách nervových buněk a způsobuje demenci. Především však presenilní demenci (předčasné stařecké oslabení rozumových schopností),
- o živočišstvo, zejména vodní. Při snížení pH vod (zejména ve stojatých vodách, jezerech) dochází k překročení mezní tolerance a tím k úhynu vodních živočichů. Při pH 6 hynou korýši a měkkýši. Aciditu vod pod pH 4,5 přežívá jen málo citlivý hmyz a některé druhy rostlinného a živočišného planktonu,
- o rostlinstvo. Kyselé deště způsobují poškození až ztrátu listů a jehličí. Vyluhují živiny (Ca, Mg) a uvolňují, jak již bylo uvedeno hliník, který je toxický pro rostliny,
- o památky a hmotný majetek. Kyselé deště inhibují korozi a postupný rozpad historických památek a staveb, velmi nepříznivě působí zejména na kovové stavby a konstrukce.

□ Smogy

V roce 1943 se objevil v Los Angeles nový typ znečištění, jenž způsobil, že se toto město stalo pro svůj smog známým po celém světě. Se vzrůstajícím automobilismem a průmyslem se předpokládá, že tímto typem znečištění budou postižena i další velká města a průmyslové aglomerace.

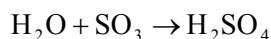
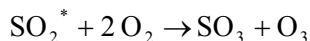
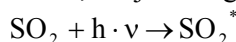
Prakticky existuje podle chemické povahy celá řada různých smogů. Nejčastěji se vyskytují pouze dva typy, které se vzájemně výrazně od sebe odlišují. Je to:

1. **Londýnský smog** je směsí kouře z uhlí a mlhy a má vysoký obsah oxidu siřičitého, dodávající smogu silně **redukční charakter** (někdy ho nazýváme kyselý smog),
2. **Losangeleský smog** je směsí ozonu a peroxidů organických sloučenin, vznikajících fotochemickou reakcí mezi oxidy dusíku a neškodnými organickými látkami (parami benzínu nebo zplodinami nedokonalého spalování. Tento typ smogu má **oxidační charakter** (někdy ho nazýváme jako fotochemický smog).

Vznik smogu

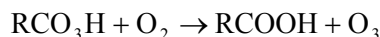
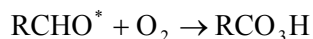
Z teorií, které byly předloženy k vysvětlení vzniku smogu v losangeleském ovzduší, je teorie HAAGENOVA-SMITOVA nejobsáhlejší a obecně nepřijatelnější. Podle této teorie bylo zjištěno, že v období smogů značně vzrůstá koncentrace ozonu a oxidačních látek. Ozon je nalézán ve značných koncentracích pouze ve dne, nikoliv v noci. Z těchto skutečností vysvítá, že ozon nebo oxidační činidla vznikají fotochemicky působením slunečního světla. Podle této teorie bylo zjištěno, že znečištěniny jako SO_2 a NO_2 a aldehydy absorbují ultrafialové záření vlnových délek, jaké jsou u zemského povrchu a reagují v excitovaných stavech s molekulárním kyslíkem za vzniku atomárního kyslíku. Ačkoli množství atomárního kyslíku, které vznikne fotochemicky z SO_2 a aldehydů, je omezeno koncentracemi těchto znečištěnin, neplatí to pro NO_2 . V tomto případě se adsorpci ultrafialového světla poruší vazba, přičemž vzniká ozon a NO_2 se regeneruje. Oxid dusičitý je tak k dispozici pro opakování pochodu tak dlouho, dokud se nepřemění na HNO_3 , nebo není spotřebován k organickým, substitučním reakcím. A právě v tom spočívá velká nebezpečnost NO_2 i při jeho malých koncentracích, neboť vzniká vždy relativně velké množství ozonu.

Pokud jde o SO_2 , vzniká v přízemním ovzduší ozon jako vedlejší zplodina fotochemické reakce, při níž se SO_2 oxiduje na H_2SO_4 . SO_2 má střední absorpční pásy v ultrafialové oblasti, ale absorbovaná energie nestačí, aby rozrušila molekulární vazbu. Reakce probíhá v několika stupních, předpokládá se, že na začátku vznikají pouze aktivované molekuly SO_2^* . Některé z těchto molekul se vrátí do svého původního stavu, ale jiné reagují s kyslíkem.

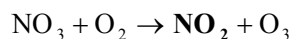
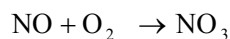
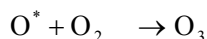
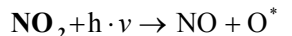


Kvantová účinnost tohoto pochodu je malá. Vznikající O_3 za vysokých koncentrací SO_2 normálně reaguje rychle s molekulami SO_2 na SO_3 a kyslík. Ve znečištěném ovzduší, při malých koncentracích, může s ním O_3 koexistovat značně dlouho, nebo reagovat s organickými znečištěninami (např. s nenasycenými uhlovodíky).

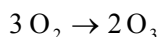
Vznik ozonu jako vedlejší zplodiny při aktivaci aldehydů nebo oxidací organických sloučenin absorpci světelné energie si můžeme představit následovně:



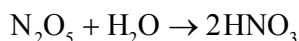
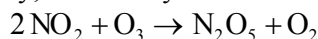
Pokud jde o NO_2 , je uváděna fotochemická reakce, která spočívá v porušení vazby, přičemž vzniká atomární kyslík a NO , dále vzniká ozon reakcí atomárního kyslíku s normálním dvouatomovým kyslíkem a regeneruje se NO_2 , a jak již bylo uvedeno v předcházející části, **pochod se opakuje**. Výše uvedeným způsobem vzniká O_3 nepřetržitě. Kvantová účinnost disociace NO_2 se za vlnové délky 380 nm blíží jednotce.



výsledná reakce ...

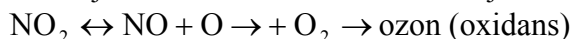


Regenerace (oxidace) NO na NO_2 jak je uvedeno v předcházejících rovnicích, nemusí probíhat pouze O_2 , ale také celou řadou sloučenin a radikálů obsažených v ovzduší, významný vliv na průběh této oxidace mají však oxiradikály $\text{OH}^\bullet$ a $\text{HO}_2^\bullet$. NO_2 má v těchto uvedených reakcích úlohu katalyzátoru a je proto mnohem účinnější, než při vzniku O_3 z reakcí SO_2 . Je-li však O_3 v nadbytku, dochází k oxidaci NO_2 a za přítomnosti vodní páry, vznikne kyselina dusičná podle reakce

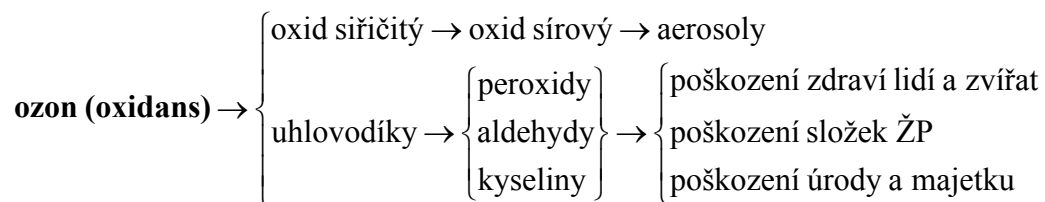


Působení smogu

Na závěr uvedených reakcí je možné provést shrnutí, podle kterého HAAGEN-SMIT postuloval následující znázornění reakcí ve znečišťujícím vzduchu, jejichž výsledkem jsou smogové symptomy:

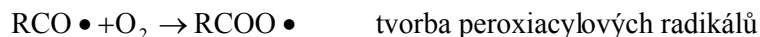


sluneční světlo



Charakteristická pro fotochemický smog je tedy tvorba ozonu a oxidantů, peroxyacetylitrátů (PAN), aldehydů, ketonů a dalších látek, při níž vznikají i polymerní látky, které vytvářejí kondenzační vzdušný aerosol ve formě modravého zákalu ovzduší (většina měst se silným automobilovým provozem).

Peroxyacetylitráty patří mezi hlavní složky fotochemického smogu. Jejich vznik můžeme znázornit následovně:



Opatření

V ČR, obdobně jako v jiných státech Evropské unie, jsou smogové situace řešeny tzv. „smogovým varovným a regulačním systémem“ – SVRS. Tento systém je vyhlášen v případech překročení

zvláštních imisních limitů. Provoz tohoto systému je řízen regulačními řády, které jsou vypracovány krajskými a místními orgány ochrany ovzduší.

Při překročení ve třech po sobě následujících hodinách zvláštních imisních limitů jsou vyhlášovány následující signály:

1. **Signál upozornění** následuje po překročení hodinového průměru koncentrace
 oxidu siřičitého $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nebo
 oxidu dusičitého $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$
2. **Signál regulace** následuje po překročení hodinového průměru koncentrace
 oxidu siřičitého $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nebo
 oxidu dusičitého $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Regulačním opatřením podléhají významné zdroje znečišťování ovzduší. Závody s těmito zdroji musí snížit emise ZL. Např. spalovat palivo s nižším obsahem síry, omezit, popř. zastavit výrobu tepla, ale i výrobu.

Zvláštní imisní limity pro **ozon** platí při vzniku **fotochemického smogu**.

1. **Informování veřejnosti** následuje při překročení průměrné hodinové koncentrace ozonu $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
2. **Varování veřejnosti** následuje při překročení průměrné hodinové koncentrace ozonu $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

S ohledem na významnost a nebezpečnost tohoto druhu smogu jsou stanoveny **práhové koncentrace** ozonu pro

3. **Ochrana zdraví lidí.** Neměla by být překročena dlouhodobější 8-hodinová průměrná koncentrace ozonu $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
4. **Ochrana vegetace.** Neměla by být překročena průměrná hodinová koncentrace ozonu $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a denní hodnota $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

□ Ozonová vrstva Země

Ozon na základě svých fyzikálních vlastností tvoří účinný ochranný štít v horních vrstvách atmosféry. Absorbuje ultrafialový podíl slunečního záření s vlnovou délkou pod 300 nm. Tato vlastnost ozonu, objevená již před 110 lety, ochraňuje veškerý život na Zemi (speciálně organickou molekulu dědičné povahy – kyselinu desoxyribonukleovou – DNS) před nápořem energeticky bohatého slunečního záření.

Ozon je přirozenou složkou atmosféry. Jeho koncentrace je v různých výškách různá. Maximální je ve zhruba 15 až 50 km nad zemským povrchem (ozonosféra součást stratosféry). Ozon zde plní, jak již bylo uvedeno, velmi důležitou funkci, pohlcuje životu nebezpečné UV záření.

Obsah Ozonu

Při zemském povrchu je jeho koncentrace relativně nízká, a to 0,02 – 0,05 ppm (před sto lety byla jeho koncentrace zhruba desetkrát menší). Hranice 0,1 ppm je pokládána za škodlivou. V důsledku antropogenních emisí jeho koncentrace vzrůstá a způsobuje smogové situace a velmi nepříznivě působí na lidské zdraví a rostliny. Podle našich předpisů je nejvyšší přípustná denní koncentrace ozonu dána hodnotou $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (což odpovídá hodnotě 0,07 ppm). Schematicky je obsah ozonu ve stratosféře a troposféře znázorněn na animaci „Rozvrstvení atmosféry“ [A15K3].

Člověk tedy sám „otáčí ozonovým šroubem“. Při zemském povrchu, zvláště pak v oblastech zatížených průmyslem, se už několik desetiletí vyskytují zvýšené hodnoty s ročním nárůstem od 0,5 až 1 %. Naproti tomu ve vysoké atmosféře (stratosféře) následkem našeho počínání roste tolik obávaná ozonová díra.

Vznik a úbytek ozonu

Ozon vzniká a zaniká v ozonové vrstvě fotochemickými reakcemi v důsledku slunečního záření. Molekulární kyslík se při nižších vlnových délkách štěpí na atomární kyslík a ten s molekulovým kyslíkem pak způsobuje vznik ozonu. Naopak ozon se fotochemickou reakcí rozpadá při vyšších vlnových délkách.

K úbytku O_3 dochází rovněž tím, že část ozonu (je těžším plynem) klesá do troposféry a část ozonu se zúčastňuje chemických reakcí. Chemická destrukce ozonu je výsledkem jeho slučování se ZL, které se do ozonové vrstvy dostanou. Nejčastěji to bývají chlorfluorované uhlovodíky – CFC (freony). Velmi zjednodušeně můžeme tuto chemickou destrukci ozonu vyjádřit následovně. Atom chloru (nebo fluoru) se sloučí s O_3 na ClO a O_2 . Sloučeniny ClO se slučují dále s atomárním kyslíkem (vzniká fotochemicky) na O_2 a atom chloru. Reakce může probíhat znovu od počátku. Úhrnná výsledná reakce je tedy $O_3 + O \rightarrow 2 O_2$.

Obsah O_3 v ozonové vrstvě je tedy výsledkem rovnováhy mezi jeho vznikem a úbytkem. V letních měsících, kdy sluneční záření je intenzivnější, (tím i UV záření) je rovnovážný stav posouván do vyšších koncentrací ozonu, kdežto v zimních měsících je jeho obsah ve stratosféře nižší. Protože obě reakce (vzniku a úbytku O_3) jsou exotermické, (uvolňuje se teplo) způsobují vzrůst teploty s výškou ve stratosféře. Nežádoucí, nechtěný obsah ozonu v přízemních vrstvách troposféry vzniká fotochemickou reakcí za přítomnosti oxidů dusíku. Vzniká fotochemický smog. Schematicky jsou reakce vzniku a úbytku ozonu patrné z animace „Sluneční záření v atmosféře“ [A16K3].

Působení Ozonové vrstvy

Jak již bylo uvedeno v úvodní části této kapitoly, O_3 v ozonové vrstvě zachycuje, absorbuje ultrafialovou část slunečního záření. Zejména jeho nejkratší část UVC záření, které je pro živou hmotu letální (smrtelné). Naopak propouští jeho dlouhovlnnou část (blízkou a překrývající fialovou část světelného záření). Schematicky je tento proces zachycen a znázorněn pro druhy UV záření včetně jeho následků opět na animaci „Sluneční záření v atmosféře“.

UV záření dopadající do ozonové vrstvy je vlastně spotřebováno a jeho energie je využívána ke štěpení molekul kyslíku na atomární kyslík za vzniku ozonu. Tím je snížena jeho intenzita a průchodnost a v konečném efektu hovoříme o jeho zachycování touto vrstvou stratosféry. Rozdílné je i jeho chování a účinky na živou hmotu. Zatímco krátkovlnné záření je smrtelné, jeho dlouhovlnná část se chová opačně a v přiměřených dávkách ji můžeme označit jako blahodárnou pro životní pochody.

Měření koncentrace ozonu

Kdyby byl všechen ozon, který se vyskytuje v ozonové vrstvě (ve výšce mezi 15 až 50 km) soustředěn do jedné vrstvy, činila by tato vrstva 3 přibližně mm silný souvislý obal O_3 kolem naší Země.

Množství ozonu vyjadřujeme pomocí **Dobsonových jednotek – DU (Dobson Unit)**, přičemž 100 DU odpovídá vrstvě ozonu kolem Země o síle 1 mm. Naměřené množství ozonu v ozonové vrstvě a vyjádřené pomocí DU na předpokládanou souvislou vrstvu v mm pak porovnáváme s teoreticky předpokládaným obsahem ozonu pro určitou zeměpisnou polohu a roční období. Když je oznámeno, že ozonová vrstva má hodnotu 320 DU, znamená to teoreticky, že souvislá vrstva samotného ozonu kolem naší Země má tloušťku 3,2 mm.

Změny v ozonové vrstvě se přímo odrážejí na intenzitě ultrafialového slunečního záření (UV), zejména jako biologicky aktivní složky UVB (280 – 320 nm). Úroveň této radiace v oblasti UVB je měřena a přepočítávána pomocí DIFFEYOVA akčního spektra na erytemálně aktivní UV záření (EUV – Erythmal Ultraviolet Radiation). Integrální hodnoty toku globálního erytemálního záření EUV jsou vyjadřovány výkonem na jednotku plochy v mW/m^2 . (Pozn. med. výraz erytém znamená chorobné zrudnutí kůže). Pravidelný monitoring UVB záření v ČR byl zahájen v roce 1994 na pracovišti ČHMÚ v Hradci Králové. K měření intenzity záření je používán BREWERŮV spektrometr.

V současné době se k vyčíslení úrovně erytemálního záření v libovolném místě na Zemi používá EUV indexu. Tento index se pohybuje v rozmezí hodnot od 0 do 10.

Opatření

V roce 1974 upozornili na vznik ozonových děr a jejich negativních dopadů na život na Zemi dva američtí vědci z kalifornské univerzity MOLIN a ROWLAND (i když na vznik ozonových děr na pólech Země poukazovali na počátku minulého století již někteří badatelé).

Počátky mezinárodních dohod o ochraně ozonové vrstvy započaly „**Vídeňskou úmluvou o ochraně ozonové vrstvy**“ v roce 1985. Tato úmluva byla rozpracována v „**Montrealský protokol o látkách, které porušují ozonovou vrstvu**“ v roce 1987. Tento protokol pak byl doplněn o:

- o „**Londýnský dodatek k Montrealskému protokolu**“ v roce 1990,
- o „**Kodaňský dodatek k Montrealskému protokolu**“ v roce 1992,
- o „**Montrealský dodatek k Montrealskému protokolu**“ v roce 1997.

ČSFR podepsala a zavázala se plnit „Montrealský protokol“ v roce 1990. Od 1. 1. 1993 je tedy právním nástupcem ČR.

Ochrana ozonu v ozonové vrstvě je i v ČR legislativně ošetřena. Současně přijatý zákon stanoví obecné povinnosti pro výrobce, dovozce, vývozce a prodejce látek nebezpečných pro ozonovou vrstvu. Dále stanoví seznam těchto látek (halonů a freonů) a časový harmonogram jejich zákazu používání. Zákon rovněž stanoví ekonomické sankce (poplatky) za jejich používání a vysoké pokuty za porušení tohoto zákona.

☐ Oteplování Země

Klima na naší planetě se v minulosti několikrát drasticky měnilo. Dlouhá období teplého klimatu (trvajících stovky miliónů let) se střídala s kratšími obdobími polárního zalednění (řádově miliony let), která se rozšířila hluboko do mírných šířek naší planety.

Klima se podle odborníků v minulosti měnilo na základě extraterestrických (mimozemských) a terestrických (zemských) příčin.

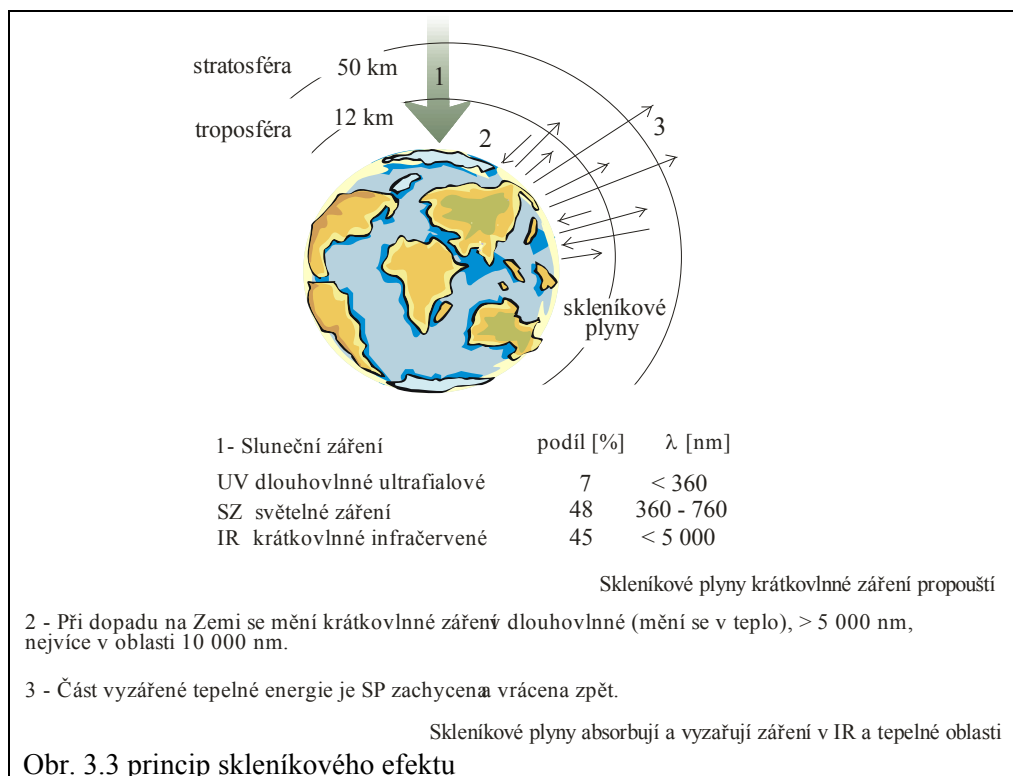
Působením uvedených činitelů v minulosti se měnilo klima naší planety. Dnes však s mohutným rozvojem civilizace (technika, průmysl, zemědělství, automobilismus atd.) k uvedeným přírodním činitelům přistupují i činitelé antropogenní.

Působení a vlivy antropogenních činitelů můžeme rozdělit do dvou nejvýznamnějších skupin a to na změny:

- o charakteru zemského povrchu,
- o ve složení atmosféry.

Změny charakteru zemského povrchu jsou způsobeny zejména kácením lesů, stavbou komunikací, sídlišť a vodních děl, intenzifikací průmyslové a zemědělské výroby atd. Vzniklé mikroklimatické změny mohou v součtu působení vyvolávat změny v globálním klimatu a působit zpětně na atmosféru. Mnohem závažnější a významnější změny klimatu (klimatického systému) však v současné době způsobuje růst koncentrací radiačně aktivních plynů v atmosféře. Tyto tzv. skleníkové plyny (**dále jen SP**), v zahraničí označované jako **GHG greenhouse gases**, propouští sluneční radiaci (světelné a krátkovlnné IR záření) a absorbují dlouhovlnné záření od zemského povrchu. Tyto SP nejenže absorbují dlouhovlnné záření, ale vyzařují jej částečně zpět, čímž způsobují další jeho oteplování.

Princip **skleníkového efektu** (dále jen SE) je znázorněn na obr. 3.3.



→ Očekávané klimatické změny

Odezvy vlivů změn koncentrace SP na klimatický systém Země se studují a předpovídají pomocí složitých trojrozměrných modelů atmosférické cirkulace GCM (General Circulation Model) propojených s modelem oceánické cirkulace. Na základě scénářů (předpovědí) růstu emisí CO_2 a efektivního CO_2 se pomocí těchto modelů vypočítávají a předpovídají klimatické změny na zemském povrchu, troposféře a stratosféře. Přičemž pod pojmem **efektivní (nebo ekvivalentní) koncentrace CO_2** se rozumí taková koncentrace CO_2 , která odpovídá radiačním účinkům všech SP dohromady. Většina scénářů předpokládá růst emisí CO_2 a shoduje se na tom, že pokud nebudou přijata účinná opatření, dojde koncem století k zdvojnásobení jejich hodnot z předprůmyslového období.

Snížení srážek se bude projevat ve změnách odtoku. Poklesem vodnosti se budou vytvářet podmínky pro zhoršování jakosti vodních zdrojů a tedy i podmínky pro jejich využívání. Snížování srážek bude mít vliv na intenzitu obnovování zásob podzemních vod. Úbytek podzemních vod jako následek oteplování by v tomto případě znamenal velmi nepříznivou změnu nároků na zásobování obyvatelstva, zemědělství a průmyslu vodou a to zejména v letních měsících.

→ Skleníkové plyny

Radiačně aktivních plynů, vznikajících antropogenní činností, je dnes známo několik desítek. Z hlediska možných rozhodujících vlivů na změnu klimatu se za nejvýznamnější považují CO_2 , CH_4 , N_2O , freony a troposférický ozon.

Vodní pára, i když je rovněž SP, má k těmto plynům specifické postavení. Změny její koncentrace se započítávají do celkového efektu prostřednictvím zpětných vazeb, stejně jako vliv oblačnosti. Jinak je vodní pára dominantním SP v atmosféře. Ve středních zeměpisných šířkách, pokud by vodní pára byla jediným SP, byla by účinnost SE 60 – 70 %. Pro CO_2 představuje tato účinnost 25 %. Obě účinnosti však nelze sčítat a to vzhledem k překrývání absorpčních pásem H_2O a CO_2 .

Oxid uhličitý je nejvýznamnější SP. Jeho koncentrace dosahují v současné době hodnot přes 350 ppm (690 mg/m^3) a jsou asi o 25 % vyšší než v době předindustriální (1750 – 1800) a každoročně narůstá

jejich koncentrace asi o 0,5 %. Celosvětová roční emise (především ze spalování fosilních paliv) je odhadována na 22 ± 2 CO₂ a další zvýšení 2,2 – 9,2 Gt CO₂ pochází z činností souvisejících s odlesňováním. Numerické modely dlouhodobého vývoje světových emisí CO₂ naznačují, že ke stabilizaci současného stavu by bylo zapotřebí snížení celkových emisí CO₂ o 60 – 70 %. Obsah CO₂ v ovzduší podstatně snižuje procesy fotosyntézy při vzniku biomasy, proto odlesňování planety (kácení pralesů) nepříznivě zvyšuje koncentraci CO₂ v ovzduší.

Antropogenní oxid uhličitý je uvolňován do atmosféry prakticky dvěma základními technologickými procesy:

- o oxidací látek obsahujících uhlík (spalovací procesy, zejména fosilních paliv),
- o rozkladem uhličitánů (vápenky, cementárny atd.) a cukrů (kvasné procesy v potravinářském průmyslu).

Halogenované uhlovodíky (CFC) jsou podle tab. 3.3 freony druhými nejúčinnějšími SP přispívajícími k radiačním účinkům. Současné antropogenní emise těchto těžkých, velmi chemicky stálých uhlovodíků se ročně zvyšují o 4 % a atmosférické objemové koncentrace dosáhly následujících hodnot:

CCl ₃ F (CFC 11) – 280 ppt	CCl ₂ F ₂ (CFC 12) – 484 ppt
C ₂ Cl ₃ F ₃ (CFC 113) – 60 ppt	CCl ₄ – 146 ppt

V důsledku plnění dohod (Vídeňská úmluva a Montrealský protokol) se očekávají další snížení jejich emisí. V roce 1988 činily celkové emise CFC_s cca 1,1 mil. tun a v současné době jsou již cca 0,6 mil. tun. Vzhledem k jejich vysoké době setrvání v atmosféře (u CFC 13 a CFC 115) až 500 let, bude jejich působení ještě dlouho přetrvávat.

Metan je podle účinnosti třetím nejvýznamnějším SP. Jeho obsah se od doby preindustriální zdvojnásobil a dosahuje v současné době hodnot přes 1,70 ppm. Roční nárůst činí 0,6 %. Největšími zdroji CH₄ je pěstování rýže, živočišná výroba, důlní činnost, těžba a doprava plynů. Naopak jeho reakce s OH• radikály jeho obsah v atmosféře snižuje. Ke stabilizaci současného stavu by bylo nutné okamžité snížení jeho emisí o 15 – 20 %.

Oxid dusný je rovněž významným SP. Jeho obsah v atmosféře se pohybuje přes 300 ppb. Nárůst jeho koncentrace v atmosféře od doby preindustriální je pouze 8 % a to proto, že především vzniká při přírodním rozkladu dusíkatých látek. Roční přírůstek cca 0,25 % je způsoben zemědělskou výrobou (zvýšení používání dusíkatých hnojiv) a spalováním fosilních paliv. V atmosféře přetrvá 100 let.

Ozon je důležitou součástí zemské atmosféry. Chrání zemský povrch před krátkovlnným UV zářením (příznivé působení ozonové vrstvy). Jeho působení ve stratosféře a troposféře (zejména při zemském povrchu) má odlišný charakter. Snížení obsahu stratosférického ozonu může působit na teplotu zemského povrchu dvěma směry. Následné zvýšení přímého krátkovlnného záření může vyvolat zvýšení teploty povrchu a naopak chladnější stratosféra bude vyzařovat méně dlouhovlnného záření směrem k zemskému povrchu.

Z hlediska radiační aktivity je mnohem významnější troposférický ozon, který se dostává do troposféry transportem ze stratosféry (je těžším plynem), kde vzniká fotochemickou reakcí z kyslíku a dále vzniká přímo v troposféře fotochemickou reakcí za přítomnosti NO_x, CO, CH₄ a dalších uhlovodíků (NMHC tzn. Non Methan Hydrocarbons).

Přízemní koncentrace ozonu se pohybuje v rozmezí 20 – 50 ppb s ročním přírůstkem 0,5 – 1 %. Jeho zvýšená koncentrace v přízemních vrstvách průmyslových a městských aglomeracích způsobuje za přítomnosti organických látek fotochemický smog, losangeleského typu.

Tab. 3.3 Základní vlastnosti nejvýznamnějších skleníkových plynů (upraveno podle /9/ a/10/)

Vybrané skleníkové plyny	CO ₂	CH ₄	CFC-11	CFC-12	N ₂ O
koncentrace	ppm	ppm	ppt	ppt	ppb
preindustriální (před 1800)	280	0,79	0	0	280
současná	353	1,72	280	484	310
radiační účinnost na molekulu CO ₂ , GWP	1	21*	3 400	7 100	310*
doba setrvání v atmosféře, roky	120	10,5	55	116	132
příspěvek k radiačním účinkům v letech 1980 až 1990, %	55	15	24 (CFC _s souhrnně)		6
roční přírůstek, %	0,5	0,6	4		0,25

Pozn.: ppm odpovídá objemovému poměru $1:10^6$ ($1 \text{ cm}^3/\text{m}^3$)
 ppb odpovídá objemovému poměru $1:10^9$ ($1 \text{ mm}^3/\text{m}^3$)
 ppt odpovídá objemovému poměru $1:10^{12}$ ($10^{-3} \text{ mm}^3/\text{m}^3$)
 * upraveno podle současných údajů

→ Emise skleníkových plynů

Emise oxidu uhličitého

Oxid uhličitý je uvolňován do atmosféry, jak již bylo uvedeno spalovacími procesy, rozkladem uhličitánů kvasnými a respiračními procesy. Rozhodující podíl na vznik emisí CO₂ má ve světě, ale i v ČR energetika, spalující obrovské množství fosilních paliv. V ČR k tomu přistupuje i ten nepříznivý aspekt, že je spalováno hnědé uhlí (HU) s vysokým obsahem síry. Pro vznik emisí CO₂ je rozhodující obsah uhlíku ve fosilním palivu. Z 1 kg uhlíku vznikne stechiometricky 3,66 kg CO₂ s měrnou hmotností $1,977 \text{ kg/m}^3$ CO₂. Obsah uhlíku našich hnědých uhlí podle druhu se pohybuje v rozmezí 30 – 42 % C (vztaženo na hořlavinu 45 – 62 %). Spálením 1 kg HU vznikne tedy v průměru 1,3 kg CO₂. Černá uhlí (ČU) obsahují 57 – 61 % C (v hořlavině 70 – 75 %). Spálením 1 kg ČU vznikne v průměru 2,2 kg CO₂. Pro přesné výpočty je třeba znát kromě druhu paliva i obsah popela a vody. Spálením 1 kg těžkého (TTO) a lehkého (LTO) topného oleje vznikne cca 3,1 kg CO₂ (rozdíl v obsahu C je nepatrný). Emisní faktory CO₂ ostatních paliv jsou uvedeny v tab. 4.3. Z hlediska snížení emisí CO₂ je tedy výhodnější použití ekologičtějších paliv s příznivějším poměrem C/H. Při podrobnějším prostudování této tabulky si uvědomíme, které palivo se chová ke skleníkovému efektu šetrněji.

Tab. 4.3 Emise CO₂ ze spalování paliv /11/

Palivo	Emisní faktor, kg/t {kg/(10 ³ .m ³)}
ČU výroba elektřiny a tepla	2 100
ČU konečná spotřeba	2 500
HU výroba elektřiny a tepla	1 130
HU konečná spotřeba	1 450
brikety	1 500
koks	3 169
ostatní tuhá paliva	1 000
benzin	3 110
petrolej	3 120
nafta	3 130
lehké topné oleje	3 172
zemní plyn	1 987
svítiplyn	919
koksárenský plyn	870
vysokopecní plyn	790
ostatní topné plyny	1 500
propan - butan	3 013

Emise metanu

Podle výskytu je metan druhým nejdůležitějším SP. Emise metanu se do atmosféry dostávají jako produkt následujících činností:

a) Důlní činnost

Metan je uvolňován během celého prouhelňovacího procesu a zůstává nahromaděn pod značným tlakem v jednotlivých vrstvách uhlí a v okolních horninách. Při těžbě, kdy je narušována celistvost vrstev, je uvolňován a musí být z bezpečnostních důvodů odsáván do atmosféry. Množství emitovaného CH_4 závisí na druhu paliva a podmínkách jeho těžby (hloubce, způsobu těžby atd.). Velký vliv má i stupeň prouhelnění, tím je vyšší obsah CH_4 v objemové jednotce. Hlubinně těžené uhlí obsahuje rovněž vyšší obsah CH_4 než uhlí těžené povrchově. Při využití údajů podle /12/ s přihlédnutím na kvalitu uhlí v ČR lze předpokládat hodnoty 5 – 15 $\text{m}^3 \text{CH}_4$ /t pro HU, 50 – 100 $\text{m}^3 \text{CH}_4$ /t pro ČU.

b) Zemědělská výroba

Anaerobní fermentace (přírodní ale i zemědělské) patří mezi největší zdroje emisí CH_4 . Mezi hlavní antropogenní zdroje patří zemědělství (rýžová pole, střevní fermentace přežvýkavců, spalování biomasy). Produkce CH_4 z 1 m^2 rýžového pole ročně (1 sklizeň) činí cca 28 – 120 g/m^2 . Trávení potravy u savců probíhá za pomoci anaerobních bakterií za vzniku CH_4 . Zejména u přežvýkavců (k strávení celulózy) produkují tyto bakterie velké množství metanu. V literatuře jsou uváděny následující údaje v kg na kus a rok (skot 35 – 55, ovce 5 – 8, koza 5, velbloud 58, prase 1 – 1,5, kuň 18, v porovnání člověk 0,05).

c) Ropné a plynové systémy

Metan jako základní složka zemního plynu se dostává do ovzduší při jeho těžbě a jako ztráty při jeho dopravě. Údaje o velikosti těchto emisí jsou obtížně vyčíslitelné.

d) Odpadové hospodářství

Biologický bakteriální rozklad tlejících organických látek na skládkách je rovněž zdrojem CH_4 (ale i CO_2). Metan je uvolňován v procesech bez přístupu vzduchu, kdy jsou skládky zakryty vrstvou zeminy (zejména se jedná o skládky KO). Množství vzniklého metanu je závislé na mnoha podmínkách, zejména však na

- o skladbě odpadového materiálu (CH_4 vzniká tím více, čím je větší obsah organických látek v odpadu),
- o obsahu vlhkosti odpadového materiálu a jeho pH (proces probíhá při pH 6,5 – 8,0, max. však v oblasti neutrální reakce tzn. při pH = 7,0),
- o teplotě odpadového materiálu (již od teplot +10 °C, max. však v rozmezí 50 – 60 °C).

Vzniklé množství CH_4 z 1 t odpadu se podle uvedených podmínek pohybuje ve velmi širokém rozmezí a to od 0,002 - 0,07 m^3 (resp. 1,4 – 50,2 g) za rok.

Emise oxidu dusného

Emise N_2O pochází zejména z výměny plynů s oceánem, ze spalování biomasy a odlesňování, nebo jsou uvolňovány z půdy při procesech denitrifikace nebo nitrifikace, které jsou spojeny s použitím zemědělských hnojiv.

Jen malá, prakticky zanedbatelná část, pochází ze spalovacích procesů fosilních paliv. Je třeba si uvědomit, že při těchto spalovacích procesech vzniká převážně NO , který se okamžitě oxiduje na NO_2 , oba tyto plyny pak označujeme jako NO_x . Přičemž N_2O setrvává v atmosféře přes 130 let a působí významně jako SP s radiční účinností 270 krát větší než CO_2 , zatímco NO_2 má velmi krátké setrvání v atmosféře (max. 10 dní) a zúčastňuje se fotoreakcí a chemických reakcí s jinými znečišťujícími sloučeninami za vzniku ozonu a dalších vysoce toxických škodlivin. Společně s oxidy síry se pak podílejí na kyselém dešti.

Emise oxidu uhelnatého

Oxid uhelnatý se všeobecně nezařazuje mezi hlavní SP, protože nepohlcuje tepelné záření (dvouatomové molekuly plynů prakticky neabsorbují IR a tepelné záření, jsou průteplivé).

Oxid uhelnatý v atmosféře se poměrně rychle oxiduje na CO_2 . Na základě studia mechanismu této reakce bylo zjištěno, že velký význam na průběh jeho oxidace mají jiné sloučeniny, zejména však volné OH - radikály. Průběh uvedené reakce CO tedy podstatně snižuje jejich obsah v ovzduší. Volné OH - radikály však za normálních podmínek reagují i s jinými SP (zejména s CH_4) a tak snižují jejich koncentrace v ovzduší. Tím snižují i účinnost skleníkového efektu. Nezareagovaný metan, vznikající při povrchu, se pak dostává do vyšších vrstev atmosféry, kde pak významně působí na oteplování Země.

Protože CO má schopnost reagovat velmi rychle s OH – radikály, jeho zvýšené koncentrace v ovzduší vedou k vyšším regionálním koncentracím CH_4 a O_3 . Opatření vedoucí ke snížení emisí CO tedy napomáhají ke snižování skleníkového efektu.

Z posledních analýz a výzkumů vyplývá, že potenciál globálního oteplování, pocházejícího z množství CO (i když není přímým SP), je vyšší než ze stejného množství CO_2 . Je to způsobeno tím, že CO má v atmosféře dvojitý účinek.

- o Za prvé prodlužuje, jak již bylo uvedeno, průměrnou dobu přetrvání CH_4 v atmosféře o 20 %, přičemž jeden gram CH_4 má 11krát větší radiční účinnost než 1 gram CO_2 . Za druhé se v konečné fázi CO přemění na CO_2 . Spolupůsobením těchto dvou účinků je celkový vliv emisí CO cca 2,2krát vyšší než stejné množství emisí CO_2 . Z toho vyplývá, že snižování emisí CO má větší význam než snižování emisí CO_2 .
- o Emise CO vznikají především při nedokonalém spalování fosilních paliv a při provozu motorových vozidel. Významné emise CO vykazuje i hutnictví. Emise CO zde vznikají v řadě metalurgických procesů. Snížení obsahu CO ve spalínách v těchto technologiích obvykle spočívá v dospálení palin s následným využitím tepla.

Opatření

Ve snaze zmírnit riziko klimatických změn Země byla přijata v roce 1992 Rámcová úmluva OSN o změně klimatu, kterou Česká republika ratifikovala 7.10.1993. V roce 1997 byl na Třetí konferenci smluvních stran (COP-3) přijat Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN, který stanovuje kvantitativní redukční emisní cíle smluvních států a způsoby jejich dosažení. Česká republika podepsala Kjótský protokol 23.11.1998 a ratifikovala jej 22.10.2001. Znamená to, že naším cílem do období roku 2008 až 2012 je omezit emise skleníkových plynů o 8 % vzhledem k referenčnímu roku 1990.

3.2 Přípustné znečišťování ovzduší

Abychom mohli porovnávat míru znečišťování a hodnotit míru již znečištěného ovzduší, musíme mít stanoveny referenční hodnoty pro **emise a imise**. Tyto referenční hodnoty, když nabudou právní charakter, pak nazýváme **limity**.

Limity pro emise neboli **emisní limity** jsou stanoveny s ohledem na technologickou úroveň dané technologie a samozřejmě musí brát ohled na lokální hustotu průmyslu v dané oblasti. Vždyť ekologické katastrofy znečišťování ovzduší převážně spočívají v součtu malých, neškodných, nevýznamných hodnot jednotlivých zdrojů. V některých zemích jsou pro určité lokality stanoveny maximální emise pro jednotlivé znečišťující látky, aby byla zachována ekologická rovnováha pro tuto oblast. Maximální hranice emisí je pro danou oblast tedy stanovena a zdroje emisí musí být převedeny nebo prodány na nové zdroje ze zdrojů, kde byly sníženy.

Podle současné legislativy rozeznáváme tři limity:

1. **Emisní limit** je nejvýše přípustné množství znečišťující látky vypouštěné do ovzduší ze zdroje znečišťování.
2. **Imisní limit** je nejvýše přípustná hmotnostní koncentrace znečišťující látky obsažená v ovzduší.
3. **Depoziční limit** je nejvýše přípustné množství znečišťující látky usazené po dopadu na jednotku zemského povrchu za jednotku času.

Emisní faktory používané v praxi vyjadřují hmotnostní koncentraci znečišťující látky vztaženou na objemovou jednotku odpadního plynu (obvykle na 1 t koksu, oceli atd., ale též na 1 kg automobilu). EF stanovené Metodickým pokynem MŽP slouží pro výpočet poplatků za znečišťování ovzduší.

Emisní limity

Přípustnou úroveň znečišťování ovzduší určují, jak již bylo uvedeno, hodnoty emisních limitů pro jednotlivé znečišťující látky nebo jejich stanovené skupiny. Emisní limity pro stacionární zdroje se člení na:

- o **obecné emisní limity,**
- o **specifické emisní limity.**

Pro významné vyjmenované zdroje jsou legislativně (vyhláškou MŽP) stanoveny specifické emisní limity. Pokud tyto technologie nejsou v seznamu této vyhlášky, pak pro ně platí obecné emisní limity. U technologií (na jejich zdroje emisí), na které se vztahují specifické emisní limity, jsou v některých případech stanoveny i podmínky pro provoz těchto zařízení, například hermetizace zařízení, způsob odsávání a čištění spalin atd. Podle současně zaváděné legislativy (zákona o integrované prevenci) mohou být u jednotlivých technologií nařízeny i další doplňující emisní limity. Specifické emisní limity jsou jmenovitě stanoveny u zdrojů se zvýšeným nebezpečím pro okolí, a to s ohledem na množství emisí nebo jejich zvýšenou škodlivost (toxicitu, genotoxicitu atd.). Mezi nebezpečné technologie, které mají stanoveny specifické emisní limity, patří např. koksovny, výroba železa a oceli, výroba cementu, řada technologií v chemickém průmyslu, rafinerie ropy atd. Obecné emisní limity jsou stanoveny pro 141 znečišťujících látek včetně těžkých kovů.

Obecné emisní limity pro základní znečišťující látky (TZL, SO₂, NO_x, CO, VOC a NH₃) mají následující hodnoty:

Emisní limit pro tuhé znečišťující látky. Zdroje znečišťování ovzduší musí být zřizovány a provozovány tak, aby při hmotnostním toku tuhých znečišťujících látek menších než 2,5 kg/h koncentrace tuhých znečišťujících látek v nosném plynu nepřekročila hodnotu **200 mg/m³**. Při hmotnostním toku vyšším než 2,5 kg/h nesmí koncentrace tuhých znečišťujících látek v nosném plynu překročit hodnotu **150 mg/m³**.

Emisní limit pro oxid siřičitý. Zdroje znečišťování ovzduší se zřizují a provozují tak, aby při hmotnostním toku oxidu siřičitého vyšším než 20 kg/h hmotnostní koncentrace nepřekročila hodnotu **2 500 mg/m³**.

Emisní limit pro oxidy dusíku. Zdroje znečišťování ovzduší se zřizují a provozují tak, aby při hmotnostním toku oxidů dusíku vyšším než 10 kg/h hmotnostní koncentrace oxidů dusíku v nosném plynu nepřekročila hodnotu **500 mg/m³**. Hodnoty hmotnostního toku a hmotnostní koncentrace oxidů dusíku se vyjadřují jako NO₂.

Emisní limit pro oxid uhelnatý. Zdroje znečišťování ovzduší se zřizují a provozují tak, aby při hmotnostním toku oxidu uhelnatého vyšším než 5 kg/h hmotnostní koncentrace oxidu uhelnatého v nosném plynu nepřekročila hodnotu **800 mg/m³**.

Emisní limit pro těkavé organické sloučeniny – VOC (mimo metanu). Platí obecný emisní limit **50 mg/m³** pro celkovou hmotnostní koncentraci těchto látek, vyjádřené jako C.

Emisní limit pro amoniak. Při hmotnostním toku emisí amoniakálních sloučenin vyšším než 500 g/h nesmí být překročena úhrnná hmotnostní koncentrace **50 mg/m³**.

Imisní limity

Znečišťující látky, které škodí zdraví, se v hygienickém pojetí nazývají škodlivinami. Míru škodlivosti nebo nebezpečnosti různých ZL z hlediska receptorů lze vyjádřit poměrem zákonných norem kvality ovzduší – **imisních limitů (IL)**, jimiž jsou obvykle **nejvyšší přípustné koncentrace (NPK)**

znečišťujících látek v ovzduší. Imisní limity mohou být pro jednu ZL různé z hlediska lidí, zvířat, rostlin nebo ekosystémů. Běžně se IL stanovují z hlediska lidského zdraví. Hodnoty imisních limitů tedy určují maximální úroveň znečištění ovzduší. Hodnoty IL jsou vyjádřeny v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a jsou vztaženy na standardní podmínky ($0\text{ }^\circ\text{C}$ a $101,325\text{ kPa}$). Pro jednotlivé ZL jsou uvedeny meze možné tolerance a četnost možného překročení. V některých případech, jako například u troposférického ozonu je přípustná úroveň znečištění ovzduší určena cílovými IL a dlouhodobými imisními cíli. Pokud se týká doby jejich působení (doby hodnocení), vyhodnocujeme IL jako 1 hodinové, 24 hodinové nebo za celý kalendářní rok. V tab. 5.3 jsou uvedeny přehledně IL pro nejvýznamnější ZL (SO_2 , NO_x , PM_{10} , O_3).

Tab. 5.3 Imisní limity (pro ochranu zdraví lidí) pro vybrané ZL – aritmetický průměr

ZL	Doba působení	Hodnota IL [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Datum splnění IL
SO_2	1 hodina	350	1. 1. 2005
	24 hodin	125	1. 1. 2005
	rok	50	1. 7. 2002
NO_x	1 hodina	200	1. 1. 2010
	rok	40	1. 1. 2010
polévatý prach jako PM_{10}	24 hodin	50 (50)	1. 1. 2005 (2010)
	rok	40 (20)	1. 1. 2005 (2010)
O_3	8 hodin	120	1. 1. 2010

PM_{10} – frakce polévatého prachu (suspendovaných částic), které projdou filtrem, vykazujícím pro aerodynamický průměr $10\text{ }\mu\text{m}$ odlučovací účinnost 50 %. Někdy je IL stanovován jako SPM, což je polévatý prach bez velikostního rozlišení částic se zanedbatelnou sedimentační rychlostí (přetrvávajících dlouhou dobu v atmosféře), obvykle částice menší než $25\text{ }\mu\text{m}$. Pro polévatý prach jsou IL stanoveny pro thorakální frakci PM_{10} , protože tato frakce se lépe shoduje s hodnocením zdravotních účinků než SPM. Za thorakální frakci se považuje hmotnostní frakce částic pronikající za hrtan, která není zachycována v horních dýchacích cestách (dutina nosní, ústní).

Depoziční limity

Vedle hodnocení kvality ovzduší vyjádřenou množstvím prachového aerosolu (poletavého prachu) vyhodnocujeme i spad prachu. Množství spadu vyjadřujeme obvykle v t na km^2 za rok, což v přepočtu je rovnocenné v g na 1 m^2 za rok. Za hygienicky únosnou hodnotu spadu prachu se podle hygienických předpisů považuje hodnota $12,5\text{ g}/\text{m}^2$ za 30 dní (v přepočtu $150\text{ g}/\text{m}^2$ za rok). Při hodnocení spadu se přihlíží k pH vodního výluhu (únosná hodnota pH je 5 – 7). Tato únosná hodnota spadu prachu je v průmyslových oblastech, a to zejména v okolí průmyslových podniků, násobně překračována. DL tedy vyjadřují množství ZL dopadlé na obvykle na 1 m^2 povrchu (např. množství Pb v mg/m^2 , dusičnanů v mg/m^2 atd.).

Zdroje znečišťování

Zdroje znečišťování mohou být **stacionární** nebo **mobilní**. Stacionární zdroje znečišťování ovzduší jsou taková zařízení spalovacích nebo jiných technologických procesů, které znečišťují nebo mohou znečišťovat ovzduší.

Stacionárními zdroji jsou také:

- o šachty, lomy,
- o plochy s možností zapaření, hoření a úletu ZL,
- o skládky paliv, surovin a odpadů.

Stacionární zdroje se dělí podle míry svého vlivu na kvalitu ovzduší na 4 kategorie (viz tab. 6.3).

Mobilními zdroji znečišťování ovzduší jsou:

- o pohyblivé zdroje vybavené spalovacími motory,
- o dopravní prostředky (silniční vozidla, letadla a plavidla),
- o nesilniční mobilní zdroje (stavební, zemědělské a lesnické stroje),
- o přenosné nářadí (sekačky, pily, sbíječky).

Tab. 6.3 Rozdělení stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší podle velikosti a druhu zdroje

Kategorie zdroje	Definice souboru zdrojů	
	spalovací zdroje	spalovny odpadů
zvláště velké	zdroje znečišťování o jmenovitém tepelném příkonu 50 MW a vyšším bez přihlédnutí ke jmenovitému tepelnému výkonu	množství spalovaného odpadu je větší než 10 t nebezpečného odpadu za den nebo 3 t komunálního odpadu za hodinu nebo 50 t ostatního odpadu
velké	zdroje znečišťování o jmenovitém tepelném výkonu od 5 MW do 50 MW	ostatní spalovny
střední	zdroje znečišťování o jmenovitém tepelném výkonu od 0,2 MW do 5 MW	–
malé	zdroje znečišťování o jmenovitém tepelném výkonu nižším než 0,2 MW	–

Pozn.: Do uvedených kategorií jsou jmenovitě podle míry nebezpečnosti zařazeny i ostatní zdroje znečišťování ovzduší. U zvláště velkých zdrojů, na rozdíl od ostatních spalovacích zdrojů, je zdroj definován tepelným příkonem.

Rozptyl znečišťujících látek v ovzduší

Konečnou hodnotu kvality ovzduší, sledovanou z pohledu škodlivosti na lidské zdraví, míry působení na hmotné statky a ostatní určuje pak celá řada dalších činitelů. K nejvýznamnějším patří rozptyl těchto znečišťujících látek. Ten závisí na vydatnosti zdroje znečišťujících látek, výšce zdroje, rychlosti větru, vertikálním teplotním gradientu v ovzduší. Souhrn těchto parametrů pak ovlivňuje typické charaktery a tvary tzv. kouřových vleček, které jsou průvodním jevem procesů znečišťování ovzduší příslušnými zdroji. Příklady takových vleček uvádí při různém teplotním rozvrstvení uvádí následná animace „Typy kouřových vleček“ [A17K3].

3.4 Koncentrace a obsahy znečišťujících látek

Koncentrace plynů a par vyjadřujeme:

- podílovým složením v % [% obj; % hm],
- hmotnostní koncentrací vztaženou k jednotce objemu [mg/m^3 ; $\mu\text{g}/\text{m}^3$],
- podílovým složením v ppm nebo ppb (obj. nebo hm.).

jednotky ppm a ppb (parts per million a billion)

$$1 \text{ ppm}_{\text{obj.}} = 1 \text{ cm}^3/\text{m}^3 = 0,0001 \text{ \% obj.}$$

$$1 \text{ ppm}_{\text{hm.}} = 1 \text{ mg/kg} = 0,0001 \text{ \% hm.}$$

Pozn.: $\text{ppm}_{\text{obj.}} = \text{ppmv}$ - odpovídá objemovému poměru $1:10^6$ ($1 \text{ cm}^3/\text{m}^3$)
 $\text{ppb}_{\text{obj.}} = \text{ppbv}$ - odpovídá objemovému poměru $1:10^9$ ($1 \text{ mm}^3/\text{m}^3$)
 $\text{ppt}_{\text{obj.}} = \text{pptv}$ - odpovídá objemovému poměru $1:10^{12}$ ($10^{-3} \text{ mm}^3/\text{m}^3$)
 (Termín billion v USA má hodnotu 10^9 a trillion 10^{12} .)

- Pro přepočty podílového složení v ppm ($1 \text{ ppm} = 1 \text{ cm}^3$ škodliviny v 1 m^3 ovzduší) na hmotnostní koncentraci v mg/m^3 (hmotnostní množství 1 cm^3 škodliviny v mg v 1 m^3 ovzduší) platí:

$$1 \text{ ppm} = \frac{M}{m} = \frac{M}{22,414} = 0,0446 M [\text{mg}/\text{m}^3]$$

kde M – molekulová hmotnost škodliviny [mg/mol],
 m – molární objem škodliviny [$22,414 \text{ cm}^3/\text{mol}$].

V praxi pro přepočty používáme hodnoty reálných molárních objemů plynů, a to:

$$1 \text{ ppm SO}_2 = \frac{64,05}{21,84} = 2,93 \text{ mg/m}^3$$

$$1 \text{ ppm NO}_2 = \frac{46,01}{22,41} = 2,05 \text{ mg/m}^3$$

$$1 \text{ ppm CO} = \frac{28,01}{22,40} = 1,25 \text{ mg/m}^3$$

$$1 \text{ ppm NO} = \frac{30,01}{22,41} = 1,34 \text{ mg/m}^3$$

- Pro přepočty naměřených množství škodlivin ve vlhkých spalínách (*vzdušině*) při teplotě t a tlaku p na normální podmínky (0°C ; $101,325 \text{ kPa}$) a pro přepočet na referenční obsah kyslíku ve spalínách používáme následujících vztahů:

Výpočet emisního faktoru pro normální stav vlhkých spalín

$$E_v = \frac{273,15 + t}{273,15} \cdot \frac{101325}{101325 + p} \cdot E_n$$

Výpočet emisního faktoru pro normální stav suchých spalín

$$E_s = \frac{273,15 + t}{273,15} \cdot \frac{101325}{101325 + p} \cdot \frac{100}{100 - w} \cdot E_n$$

Výpočet emisního faktoru pro normální stav suchých spalín a referenční obsah kyslíku ve spalínách

$$E_{sr} = \frac{273,15 + t}{273,15} \cdot \frac{101325}{101325 + p} \cdot \frac{100}{100 - w} \cdot \frac{21 - O_s}{21 - O_M} \cdot E_n$$

nebo

$$E_{sr} = \frac{21 - O_s}{21 - O_M} \cdot E_s$$

kde v rovnicích:

- E_n - naměřený obsah škodlivin v 1 m^3 spalín za provozních podmínek [mg/m^3],
- E_v - obsah škodliviny v 1 m^3 vlhkých spalín za normálních podmínek [mg/m_N^3],
- E_s - obsah škodliviny v 1 m^3 suchých spalín za normálních podmínek [mg/m_N^3],
- E_{sr} - obsah škodliviny v 1 m^3 suchých spalín za normálních podmínek a pro referenční obsah kyslíku ve spalínách [mg/m_N^3],
- t - provozní teplota spalín [$^\circ\text{C}$],
- p - tlakový rozdíl provozního tlaku k normálnímu tlaku [Pa],
- w - obsah vodní páry ve spalínách [% obj.],
- O_M - obsah kyslíku ve spalínách odpovídající provozním podmínkám (změřený) [% obj.],
- O_s - referenční obsah kyslíku ve spalínách [% obj.].

Emisní limity jsou stanoveny pro normální podmínky spalín (0°C ; $101,325 \text{ kPa}$, vlhké) a na určitý referenční obsah kyslíku ve spalínách (obvykle na 5 %, pokud není jinak stanoveno).

Koncentrace **tuhých znečišťujících látek (TZL)** vyjadřujeme:

- hmotnostní koncentrací vztaženou k jednotce objemu [mg/m^3 ; $\mu\text{g/m}^3$],
- podílovým složením v ppm_{hm} ,
- počtem částic vztažených k jednotce objemu [počet částic/ m^3 ; cm^3].

3.5 Měření a výpočet emisí

Způsob měření a zjišťování množství emisí v jednotlivých kategoriích zdrojů znečišťování ovzduší se provádí:

- o kontinuálním měřením
- o jednorázovým měřením
- o výpočtem.

Kontinuální měření je trvalé měření emisí pomocí přístrojů (vyhovujícím požadavkům na toto měření) s registrací a souběžným zaznamenáváním, vyhodnocováním naměřených údajů pomocí prostředků výpočetní techniky v průběhu kalendářního roku. Kontinuální měření musí být prováděno u těch zdrojů znečišťování, u nichž jsou emise ZL při ročním provozu větší než:

200 t TZL, 1000 t SO₂, 200 t NO_x, 4 t Cl, 2 t F, 50 t CO, 1 t H₂S, 10 t organických látek

Legislativně se stanovuje jmenovitě jakým způsobem musí být prováděno měření u elektráren, tepláren, ve spalovnách odpadů a výrobě vápna, cementu a zpracování magnezitu. Zvláště přísně požaduje měření emisí u spaloven. U všech musí být navíc jednorázově stanoven ve spalinách obsah těžkých kovů a kovů nebezpečných pro životní prostředí: Pb, Cr, Cd, Hg, Co, As, Ni, Cu, Mn, Te, obsah HF a HCl a polychlorovaných dibenzodioxinů a dibenzofuranů.

Výpočtem se zjišťují emise obvykle u menších stacionárních zdrojů, pro které nejsou stanoveny emisní limity (vytápění škol, objektů zdravotních a sociálních služeb a objektů určených k bydlení). O způsobu měření emisí rozhoduje ČIŽP. Pro výpočet se použije emisních faktorů v tab. 7.3.

Tab. 7.3 Vybrané hodnoty emisních faktorů pro stanovení množství emisí znečišťujících látek ze spalovacích procesů výpočtem

Druh paliva	Druh topeniště	Tepelný výkon kotle	Tuhé látky	SO ₂	NO _x	CO	VOCs
Měrné emise v kg z 1 t spáleného paliva							
všechna tuhá paliva mimo černé uhlí a koks	pevný rošt	jakýkoliv	1,0.A _p	19,0.S _p	3,0	45,0	8,9
černé uhlí a koks		jakýkoliv	1,0.A _p	19,0.S _p	1,5	45,0	8,9
dřevo	jakékoliv	do 3 MW	12,5	1,0	3,0	1,0	0,89
		> 3 MW	15,0	1,5	3,0	1,0	0,89
těžký a střední topný olej	jakékoliv	do 100 MW	2,91	20.S	10,0	0,53	0,29
lehký topný olej	jakékoliv	jakýkoliv	2,13	20.S	10,0	0,59	0,34
nafta a podobná paliva	jakékoliv	jakýkoliv	1,42	20.S	5,0	0,71	0,34
propan-butan	jakékoliv	do 3 MW	0,45	0,02.S (0,004)	2,4	0,46	0,09
		> 3 MW	0,42	0,02.S (0,004)	2,8	0,37	0,04
Měrné emise v kg z 1 mil.m ³ spáleného plynu							
koksárenský plyn	jakékoliv	do 3 MW > 3 - 100 MW	302 290	2,0.S (9500) 2,0.S (9500)	1920 3700	320 270	64 24
generátorový plyn	jakékoliv	do 3 MW > 3 - 100 MW	302 290	2,0.S (6500) 2,0.S (6500)	1920 3700	320 270	64 24
vysokopecní plyn	jakékoliv	do 3 MW > 3 - 100 MW	302 290	2,0.S (150) 2,0.S (150)	1920 3700	320 270	- -
zemní plyn	jakékoliv	< 0,2 MW	20	2,0.S(9,6)	1600	320	64
		0,2 - 5 MW	20	2,0.S(9,6)	1920	320	64

Poznámky a pomocná legenda k výpočtům emisí prováděných pomocí emisních faktorů podle tab. 7.3:

- o u pevných paliv byly uvedeny pouze emise pro pevný rošt. Pro ostatní druhy topenišť a tepelné výkony jsou hodnoty uvedeny v příslušné vyhlášce MZP;
- o S znamená obsah síry v původním vzorku paliva (pro kapalná paliva v % hm., pro propan-butan v g/kg a pro plynná paliva v mg/m³). Pokud není znám obsah síry v palivu S , používají se čísla v závorkách;
- o A_p znamená obsah popela v původním vzorku tuhých paliv v % hm. Pro hodnotu A_s , obsah popela v bezvodém palivu, platí pro přepočet na hodnotu A_p následující vztah:

$$A_p = A_s \frac{100 - W_p}{100}$$

přičemž W_p je obsah vody v původním palivu v %. Obdobně tyto vztahy platí i pro S_p , obsah veškeré síry v původním palivu v %.

V odborné palivářské praxi se pro označení stavu paliva používají horní indexy.

r = původní stav $A^r = A_p$

d = bezvodý stav $A^d = A_s$

- o pro výpočty množství spotřebovaného paliva a pro výpočty energie můžeme použít následující výhřevnosti

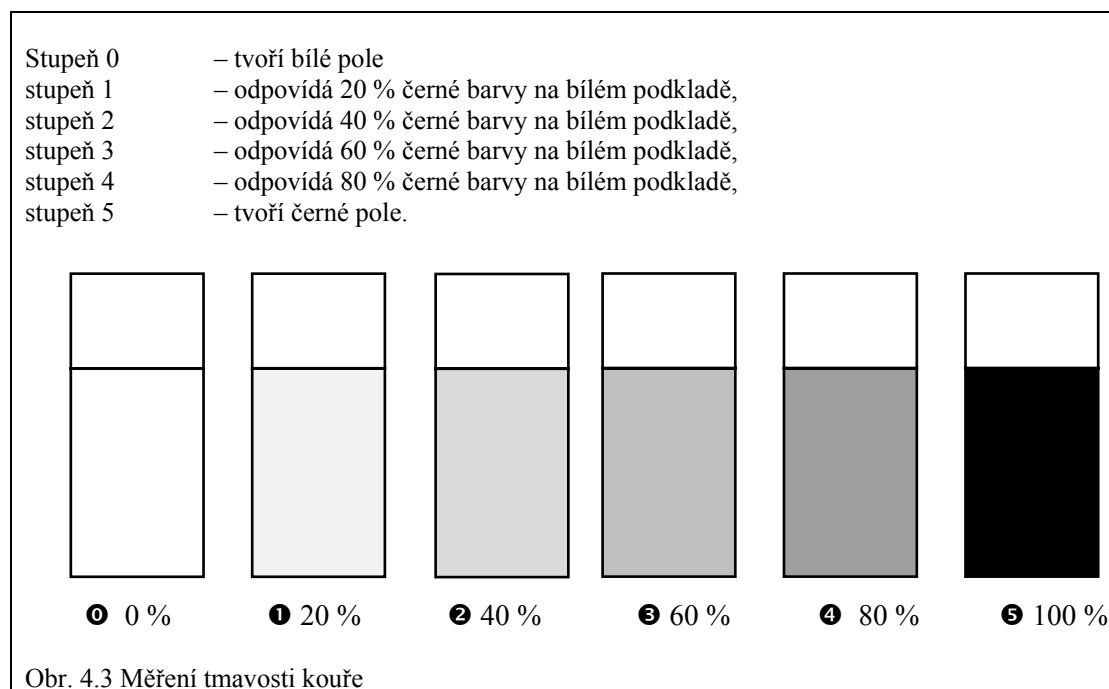
hnědé uhlí	18,8 MJ/kg	zemní plyn	33,6 MJ/m ³
černouhelné kaly	14,6 MJ/kg	svítiplyn	15,7 MJ/m ³
černé uhlí	25,9 MJ/kg	vysokopecní plyn	3,6 MJ/m ³
koks	28,9 MJ/kg	koksárenský plyn	17,2 MJ/m ³
topná nafta ($\rho = 0,85$)	36,5 MJ/kg		
dřevo (vyschlé)	15,7 MJ/kg	elektrická energie	3,6 MJ/kWh

Příklad výpočtu emisí znečišťujících látek při spalování vybraných paliv uvádí program „Výpočet emisí znečišťujících látek“ [P1K3].

Obdobně poměrně velké rozdíly v množství emitovaných ZL bychom vypočítali při otápění ostatními fluidními palivy (hnědým a černým uhlím, koksem). Z hlediska znečišťování ovzduší je jednoznačně nejvýhodnější využití zemního plynu nebo elektřiny. Majitelé rodinných domků často tyto přednosti neberou v úvahu a vždy dávají přednost nejlevnějším palivům.

Tmavost kouře

Měření tmavosti kouře se měří pomocí RINGELMANNOVY STUPNICE. Tato stupnice má šest stupňů (viz obr. 4.3).



Obr. 4.3 Měření tmavosti kouře

Měření tmavosti kouřové vlečky se provádí pomocí papírového měřítka, přičemž horní otvory nad barevnými poli jsou vyříznuty. Měření se provádí ve vzdálenosti 150 – 400 m od zdroje a v místě výstupu dýmu z koruny komína. Provádí se 30 měření po půlminutových intervalech. Výsledná hodnota je jejich průměrem.

Tmavost kouře lze vyjadřovat i pomocí stupnice podle BACHARACHA. Při této metodě se porovnává stupeň zčernání filtru po nasátí předepsaného množství spalin. Stupnice má 10 stupňů (0 – 9).

Alternativní metodou měření stupně tmavosti kouře je přímé měření hodnoty opacity v % (opacita je optická hustota – v našem případě stupeň propustnosti světla v %).

Nejvyšší přípustná tmavost kouře, emisní limit pro tmavost kouře při spalování paliv nesmí být tmavší než 2. stupeň RINGELMANNOVY STUPNICE nebo změřená hodnota opacity, nesmí být větší než 40 %. Po dobu roztápění a pro spalování kapalných paliv platí zvláštní emisní limity.



Pojmy k zapamatování

Znečišťování a znečištěné ovzduší, emise, imise, depozice, zdroje znečišťování ovzduší, emisní, imisní a depoziční limity



Shrnutí pojmů



Otázky 3

1. Jaký je obsah kyslíku v naší atmosféře a jak je udržována jeho rovnováha?
2. Jak vznikl kyslík v naší atmosféře?
3. Jak se měří intenzita pachu a jak tento problém řeší naše legislativa v oblasti ochrany životního prostředí?
4. Jak dělíme UV záření a kterou část tohoto záření zachycuje ozonová vrstva naší Země?
5. Co vše je zahrnuto pod pojem ?
6. Jak působí tuhé znečišťující látky, prachové částice na zdraví člověka?
7. Jaké nebezpečí představují těkavé organické látky?
8. Jak rozdělujeme podle naší legislativy zdroje znečišťování ovzduší?
9. Jak vyjadřujeme koncentrace (obsahy) znečišťujících látek v ovzduší?
10. Co víte o ozonu, jaké nebezpečí představuje?
11. Jak se měří a vyjadřuje množství ozonu v ozonové vrstvě? Co znamenají hodnoty vyjádřené v Dobsonových jednotkách a UV indexu?
12. Jak hodnotíme intenzitu fotochemického smogu a jakou úlohu při tom sehrávají (představují) organické látky?
13. Kde a při kterých činnostech a procesech vznikají emise SO_2 ?
14. Jak působí oxidy síry a dusíku na naše zdraví, na přírodu?
15. Jak vznikají kyselé deště a jaký dopad mají na naši půdu?
16. Pro které znečišťující látky je stanoven depoziční limit?
17. Jak měříme emise, co nám prikazuje pro jejich měření naše legislativa a je možné emise teoreticky vypočítat bez měření?
18. V čem spočívá podstata postupného oteplování Země v důsledku skleníkového efektu?
19. Dokážete vyjmenovat nejvýznamnější skleníkové plyny?
20. Je oteplování Země vědecky prokázáno, či se jedná pouze o vědecké dohady?



Další zdroje

- /16/ Herčík M., Lapčík V., Obroučka K. *Ochrana životního prostředí pro inženýrské studium*. ES VŠB-TU, Ostrava 1994.
- /17/ Herčík M. *111 otázek a odpovědí o životním prostředí*. Montanex, a.s., Ostrava 2004.
- /18/ Palatý J., Paleček J. *Základy ekologie*. ES VŠCHT, Praha 1992.
- /19/ Kurfürst J. *Zdroje znečišťování ovzduší*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha 1982.
- /20/ Neužil V. *Znečišťování ovzduší*. CA Publishing, Praha 1991.
- /21/ Obroučka K. *Látky znečišťující ovzduší*. ES VŠB-TU, Ostrava 2001.
- /22/ Šiška F. *Ochrana ovzdušia*. ALFA, Bratislava 1981.
- /23/ Kol. autorů. *Rizika změny klimatu a strategie jejich snížení*. Národní klimatický program ČR svazek 10, nakl. ČHÚ, 1993.
- /24/ *Climate Change*. The IPCC Scientific Assessment, WHO 1990.
- /25/ *Climate Change 1992*. The Supplementary Report, WHO 1992.
- /26/ Jílek, P. *Předběžná bilance emisí oxidu uhličitého a hlavní strategické směry jejich snižování v čs. podmínkách*. Závěrečná zpráva projektu B210.01 Praha, FVŽP 1992.
- /27/ Pretel, J. *Strategie snižování emisí metanu a pokus o předběžnou bilanci*. Závěrečná zpráva projektu B 210.01, FVŽP 1992.
- /28/ Loggett, J. *Nebezpečí oteplování Země*. Zpráva Greenpeace. Academia Praha, 1992.

4. ZNEČIŠŤOVÁNÍ VOD



Čas ke studiu: 10 hodin



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- charakterizovat vlastnosti a funkci vody z hlediska životního prostředí
- popsat a vysvětlit základní pojmy z oblasti vod (chemické vlastnosti apod.)
- definovat vodu z pohledu hodnocení jakosti, rozdělit vodu podle míry znečištění
- popsat procesy vedoucí k znečišťování vod
- vyjmenovat a popsat mechanismy odbourávání znečišťujících látek ve vodách
- navrhnout modelový příklad čistírny odpadních vod



Výklad

4.1 Vlastnosti a funkce vody

Voda pokrývá více než dvě třetiny zemského povrchu. Její objem se odhaduje na 1 400 mil. km³. Podstatnou část (cca 97 %) tvoří slané vody moří a oceánů.

Je chemickou sloučeninou kyslíku a vodíku, H₂O. Vyskytuje se ve skupenství plynném (**pára**), kapalném (**voda**) a tuhém (**led**). Molekula vody vytváří s jinými sloučeninami krystalové struktury minerálů. Významnou anomální vlastností vody je to, že dosahuje největší hustoty při 4 °C (přesně 3,98 °C). Voda, která má tuto teplotu je nejhustší a klesá ke dnu. V zimě proto vodní nádrže (rybníky, přehrady, jezera), ale i oceány nezamrzají a umožňují život pod zamrzlým povrchem.

Další významnou anomální vlastností vody je její expanze při mrznutí. Voda je jednou z několika málo látek (ale také Ge, Si, Ga, Bi, Sb a některé slitiny), které při tuhnutí zvětšují svůj objem. Předpokládáme-li hmotu kapalně vody při 0 °C = 1,00 g/cm³, bude mít led hustotu 0,92 g/cm³, zvětší svůj objem cca o 9 %. Toto zvětšení objemu ledu má obrovské důsledky pro život na Zemi. Kdyby se voda při mrznutí smršťovala, led by neplaval na vodě, ale klesal ke dnu jezer a oceánů. Led na dně oceánů by byl odloučen od působení Slunce, takže oceány, s výjimkou tenké vrstvy kapaliny na povrchu za teplého počasí, by byly věčně zamrzlou tuhou hmotou. Větší odrazení slunečního světla zamrzlými oceány a jejich větší chladicí účinek na atmosféru by způsobily, že teplota půdy (Země) by byla mnohem nižší než dnes. Na Zemi by tedy panovala věčná doba ledová. Protože se život zřejmě vyvinul v pravěkých mořích, je nanejvýš pravděpodobné, že kdyby se led při mrznutí smršťoval, nebylo by dnešního života na naší planetě.

Třetí anomální odchylka vody souvisí s táním ledu. Teplota tání ledu podle fázového diagramu H₂O (led, voda, pára) se vzrůstajícím tlakem klesá. Křivka oddělující tuhou a kapalnou fázi od trojného bodu vzrůstá směrem doleva. U značné většiny látek je tomu naopak. To má značný význam

geologický, klimatický a hydrologický. Příznivě ovlivňuje například koloběh vody na naší Zemi. Ledovce v údolích (kde je atmosférický tlak větší) odtávají rychleji.

Voda je základní složkou životního prostředí a nezbytnou podmínkou existence života na Zemi. Z tohoto pohledu (ale zejména z hlediska člověka) je voda nezastupitelná a plní následující funkce:

- o biologickou,
- o zdravotní,
- o kulturní a estetickou.

Biologická funkce vody spočívá především v tom, že voda je prakticky jediným univerzálním rozpouštědlem ve světě živých soustav – organismů. Podle přibližného odhadu je zhruba 15 % organismů vodních, zbytek tvoří organismy suchozemské.

V ekosystémech se působení vody uplatňuje jak ve stavu tekutém, tak i ve formě par. Většina organismů není schopna existence bez příjmu vody v tekutém stavu (mnohde postačuje jen nepatrné množství – hmyz, ještěrky atd.). Schopnost přímého využití vzdušné vlhkosti je dána jen velmi omezenému okruhu organismů vesměs rostlinného původu. Z našich domácích druhů jsou to některé druhy lišejníků vegetujících ve skalách. Z exotických rostlin jsou to různé vegetující druhy rostlin na kmenech a větvích živých i odumřelých stromů.

V souvislosti s ekologickým významem vody je třeba připomenout i změny vodních režimů ekosystémů, ke kterým dochází v důsledku antropogenní činnosti (zemědělské, průmyslové). Tyto nežádoucí vlivy narušují, a neřídka zcela od základů mění celou biocenózu.

Funkce vody jako „rozpuštědla“ se uplatňuje u celé řady **minerálních solí**, které patří k nezastupitelným složkám vnějšího prostředí, a které slouží jako zdroj iontů k udržení metabolických procesů, a tím i života organismů. U vyšších rostlin se tento přívod iontů uskutečňuje prostřednictvím kořenového systému. U živočichů jednak pitím vody, obsahující příslušné látky ve více nebo méně koncentrované formě, ale především pevnou potravou obsahující příslušné soli. Příjem musí tedy být nějakým způsobem regulován, nebo přebytky včas vyloučeny, aby se předešlo případnému poškození organismu.

Z iontů, které jsou naprosto nezbytné pro život převážné většiny organismů, je třeba jmenovat především Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , k nimž lze připojit i ionty vápníku a fosforu. Vedle této základní skupiny existuje řada iontů, které jsou nezbytné pro určité skupiny organismů. Potřeba iontů Fe^{2+} pro obratlovce, a tedy i pro člověka, nezbytných při tvorbě hemoglobinu atd. Velmi důležitý je i dostatek takzvaných „stopových prvků“ (J, Cr, Mn, Cu, Mo, Se, Zn).

Z ekologického hlediska jsou mimořádně zajímavá a důležitá i **společenstva brakických vod** (mořská voda se zmenšeným obsahem solí vlivem příměsí sladké vody – ústí řek do moře), kam jednak pronikají odolnější a přizpůsobivější druhy jak z prostředí moří, tak z prostředí sladkých vod. Tomuto prostředí se přizpůsobil a našel zde optimální životní podmínky ne právě malý podíl rostlinných a živočišných druhů adaptovaných výhradně na tyto speciální podmínky. Jen málo živočišných druhů je schopno žít ve vodách sladkých i mořských (výjimka losos, úhoř).

Přijímání vlastní vody v organismech se v podstatě děje na základě osmotického tlaku. Spolu s molekulami vody organismy difundují vše, co je ve vodním roztoku. Obsahuje-li voda jako prostředí i látky škodlivé, přecházejí tyto škodliviny do organismu stejným způsobem.

Základní funkce vody pro rostliny spočívá:

- o v rozpouštění rostlinných živin (solí) v kořenové zóně,
- o v transportu živin v rostlině,
- o v účasti při fotosyntéze,

- o v hydrataci enzymů,
- o v nedílné součásti strukturální složky vody,
- o v regulačních tepelných vlastnostech.

Nároky kulturních plodin na vodu, důležitých pro výživu člověka, jsou značné. Žádná agrotechnika nemůže změnit obecně platný princip, že na vytvoření jednoho kg organické hmoty (jako sušiny biomasy) je potřeba průměrně 400 – 500 litrů vody.

V živočišných ekosystémech plní voda následující funkce:

- o je důležitou součástí protoplazmy,
- o působí v trávicí soustavě jako rozpustidlo,
- o účastní se látkové výměny,
- o je důležitou součástí tělních tekutin (krev, míza),
- o pro některé živočichy je přímo jejich životním prostředím.

Zdravotní funkce vody spočívá v tom, že je nezastupitelná pro zajištění osobní i veřejné hygieny člověka a pro široké uplatnění při jeho rekreaci. Slouží k mytí, čištění, odstraňování odpadů, vytápění, ke klimatizaci atd.

Kulturní a estetické funkce. Je přínosem ke zkrášlení krajiny a sídel. Je důležitým činitelem z hlediska krajinářské architektonické tvorby. Právní úprava vztahů a vlastnictví k vodám má velmi dlouhou historii související s vývojem lidské společnosti. Nepůjdeme do dávné minulosti, ale začneme u Říma. V římském právu byla přijata významná zásada **veřejnosti** tekoucích vod. Jejich veřejnost se projevovala v tom, že nesměly být předmětem obchodu, ale byly vyhrazeny obecnému užívání pro všechny obyvatele. Výjimky, kdy mohly být toky užívány nad míru tohoto obecného užívání, povoloval sám císař. Tato zásada veřejnosti vod ale byla ve středověku často porušována určitými privilegii vrchnosti. Vztahy k vodám se však radikálně změnily s rostoucím rozvojem průmyslu, což je logické. Významným přelomem v českých zemích byl zákon č. 71/1870 českých zákonů zemských „o tom, kterak lze vody užívati, jí svozovati a jí se brániti“. Obdobně zněly i zákony zemí moravských a slezských. Tyto zákony dělily vody na veřejné a soukromé. Veřejnými vodami byly vodní toky používané k plavbě loděmi a vory. Vodní tok byl v tomto případě považován za veřejný statek i s vedlejšími rameny (i umělými). Veřejnými vodami byly i ostatní tekoucí vody a jezera, u nichž nebylo prokázáno, že jsou soukromým vlastnictvím. Vlastník musel tedy jednoznačně prokázat, že jde o jeho soukromou vodu, což nebylo jednoduché. S postupem socializace naší společnosti, velkým zásahem do vlastnictví vody, byl nový zákon č. 138/1973 Sb., o vodách. Tato právní úprava převedla veškeré vodní toky včetně jejich koryt do vlastnictví státu, a to bez náhrady.

Práva k vodám jsou řešena v současnosti podle Vodního zákona č. 254/2001 Sb., v němž se mimo jiné říká, citujeme: „**Vody povrchové a podzemní nejsou předmětem vlastnictví a nejsou součástí ani příslušenstvím pozemků, na němž nebo pod nímž se vyskytují**“. Neboli voda má charakter veřejnosti, je majetkem nás všech. Koryta řek však podle vodního zákona podléhají obecným zásadám evidence vlastnictví pozemku, mohou mít tedy vlastníka. Zákon dokonce předepisuje vlastníkům pozemků, na nichž se vyskytují koryta vodních toků, a majitelům sousedních pozemků celou řadu povinností a omezení.

Význam vody pro člověka a jeho životní prostředí byl výstižně formulován v „Evropské chartě o vodě“ (vyhlášena v roce 1968 ve Strassburgu Evropskou radou). Pro její stále aktuální platnost uvádíme ve stručnosti alespoň její hlavní zásady:

	EVROPSKÁ CHARTA O VODĚ
I.	Bez vody není života. Voda je drahocenná a pro člověka ničím nenahraditelná.
II.	Zásoby dobré vody nejsou nevyčerpatelné. Proto je stále naléhavější tyto zásoby udržet, šetrně a hospodárně s nimi zacházet.
III.	Znečišťování vody způsobuje škody lidem a všem ostatním živým organismům.
IV.	Jakost vody musí odpovídat požadavkům zdraví lidu a účelům využití.
V.	Použitá voda musí být vrácena do recipientů v takovém stavu, který neovlivní její další využití pro veřejnou i soukromou potřebu.
VI.	Pro udržení zásob vody má značný význam rostlinstvo, především les.
VII.	Zásoby vody musí být udrženy v současných stavech.
VIII.	Potřebný pořádek ve vodním hospodářství vyžaduje řízení příslušnými organizacemi.
IX.	Ochrana vod vyžaduje rozšíření vědeckého výzkumu, vyškolení odborníků a výchovu veřejnosti.
X.	Každý člověk má povinnost šetrně a hospodárně využívat vodu k dobru všech.
XI.	Vodohospodářské plánování se má řídit ne podle politických a správních hranic, ale podle přirozených hranic povodí.
XII.	Voda nezná žádných státních hranic.

Podle výskytu, zdrojů, odběrů a znečišťování rozdělujeme vody na **vody povrchové** a **podzemní**. Pro vody tekoucí, tzn. potoky, řeky, kanály, užíváme ve vodohospodářské praxi synonyma **recipient** nebo **vodoteč**. Podle způsobu užití (jakosti) rozeznáváme **vodu pitnou**, **užitkovou** a **provozní**.

4.2 Znečišťování vod

Historický vývoj vztahu člověka k vodě měl postupně různé aspekty. V prvním období civilizace měla voda úlohu zavlažovací, později byla její dominanta dopravní a energetická. Teprve až v posledním dnešním období, v důsledku rostoucí hustoty obyvatel, zvyšování kultury bydlení a mohutným rozvojem průmyslu, nabývá význam **zdravotně hygienický a technologický**. Současně s těmito novými významy se obrací pozornost mimo kvantitativní stránku i na kvalitativní problematiku – na otázku **jakosti vody**, na její čistotu.

Problematika jakosti vody je tedy odrazem moderních způsobů nakládání s vodou, a to:

- o centrálního zásobování sídlišť pitnou vodou,
- o odvádění použité znečištěné vody z těchto sídlišť,
- o moderních průmyslových výrobních,
- o zprůmyslnění zemědělské činnosti.

Voda v řece (obecně v recipientu) může být podle vizuálního hodnocení „čistá“ nebo „špinavá“. Toto subjektivní hodnocení se však nekryje s objektivní skutečností. Definice pojmu „čistoty vody“ má řadu problémů. Vzhledem k těmto potížím hovoří vodohospodáři raději o „znečištění“. Obsah tohoto pojmu definuje Světová zdravotnická organizace (WHO): „Řeka je znečištěna, je-li složení vody změněno v důsledku přímé nebo nepřímé činnosti člověka tak, že je méně vhodná pro některé nebo všechny účely, pro které je vhodná voda v přirozeném stavu“.

Podle zdrojů znečištění rozdělujeme vody na:

- o průmyslové a odpadní (tzv. bodové znečištění),
- o průsakové a splachové (tzv. plošné znečištění),
- o srážkové (méně významné).

Povrchové vody jsou obvykle znečišťovány prvním uvedeným zdrojem. Podzemní vody jsou znečišťovány hlavně z ploch, a to průnikem plošně aplikovaných látek (složky umělých a přírodních hnojiv, posypové soli atd.). Vypouštění průmyslových a městských odpadních vod do povrchových vod vytváří jejich soustavné znečišťování. Kromě tohoto znečišťování jsou známy i havárie, což je obvykle náhlé, nárazové, nepředvídané a přechodné zhoršení jakosti vod (úniky ropných látek,

silážních šťáv, močůvky atd.). Katastrofické následky pro celý vodní ekosystém mají úniky toxických látek, např. kyanidů.

Z hlediska způsobu a druhu znečišťujících látek můžeme znečištění povrchových vod rozdělit na primární a sekundární:

- a) **Primární znečištění** je způsobeno látkami přítomnými v odpadní vodě popř. změnou některých vlastností a lze je dále dělit na:
 - ♦ znečištění inertními materiály (půda, kaolin apod.),
 - ♦ znečištění organickými látkami, buď přirozeného (huminové látky, splašky) nebo antropogenního původu (ropné produkty, fenoly, pesticidy, detergenty). Ropné produkty, i když nejsou toxické, zhoršují senzorické vlastnosti vody, většinou plavou na hladině a zabraňují přestupu kyslíku do vody. Podobné účinky mají detergenty, které vytvářejí pěnu. Fenoly, pesticidy a velká část metabolitů jsou látky toxické pro ryby a mikroorganismy,
 - ♦ znečištění anorganickými látkami. Tyto látky mohou zvyšovat solnost vody a její korozivost (NaCl , CaCl_2), mohou způsobovat sekundární znečištění (PO_4^{3-} , NO_3^-), mohou měnit pH vody (NH_3 , kyseliny), nebo mohou být toxické (sloučeniny Hg, Pb, As, Se, Cd, Cu, Cr, kyanidy, některé pesticidy atd.),
 - ♦ znečištění bakteriální. Toto znečištění je způsobeno zvýšeným přísunem mikroorganismů, z nichž některé mohou být patogenní,
 - ♦ znečištění radioaktivní.
- b) **Sekundární znečištění** můžeme vyjádřit jako následný nadměrný rozvoj některých organismů vyvolaný přísunem vhodných látek. Mezi typické příklady patří především **eutrofizace** vodních nádrží, tj. zarůstání nádrží řasami, sinicemi a rozsivkami (vodním květem), které je vyvoláno nadměrným přísunem dusičnanů a fosforečnanů. Eutrofizace vod je složitý proces neustálého obohacování vod minerálními živými látkami, a tím zapříčiněné rostoucí intenzity biologických pochodů, které vedou především k tvorbě nežádoucích monokultur a intenzivnímu zarůstávání vodního tělesa. Následky jsou většinou pro zasažený biotop katastrofální. Jako příčina eutrofizace je obecně označováno zvýšení živých látek z různých zdrojů lidské činnosti a hlavní úloha je v tomto souboru přisuzována fosforu a dusíku.

Průmysl je největším odběratelem vody, ale také současně se zemědělstvím je největším znečišťovatelem. Různá průmyslová odvětví produkují odpadní vody odlišných vlastností. Při podobném výrobním sortimentu se mohou odpadní vody lišit podle technologie vodního hospodářství, využívání jednotlivých proudů odpadních vod atd. Hlavní zásadou řešení problematiky vztahu průmyslového podniku a prostředí je minimalizace produkce a likvidace všech forem znečištění. Rozhodující opatření pro ochranu prostředí musí být zakotvena již přímo ve výrobní technologii. Tam, kde je produkováno významné znečištění, musí být hledána její úprava nebo i zásadní změna, případně náhrada jinou technologií, bezodpadovou nebo maloodpadovou. Všechny další postupy likvidace produkovaného znečištění jsou ve srovnání s technologickými opatřeními méně výhodné.

Hodnocení jakosti povrchových vod se provádí podle ČSN 75 7221. Tato norma platí pro jednotné určení třídy jakosti tekoucích povrchových vod – klasifikaci, která slouží k porovnání jejich jakosti na různých místech a v různém čase. Klasifikace jakosti vychází ze zhodnocení 47 ukazatelů, které jsou rozděleny do 5 skupin

- o obecné, fyzikální a chemické ukazatele,
- o specifické organické látky,
- o kovy a metaloidy,
- o mikrobiologické a biologické ukazatele,
- o radiologické ukazatele.

Podle výsledných ukazatelů znečištění, jejich mezních hodnot, jsou vody zařazovány do pěti jakostních tříd:

- třída I** – **neznečištěná voda**: stav povrchové vody, který nebyl významně ovlivněn lidskou činností, při kterém ukazatele jakosti nepřesahují hodnoty odpovídající běžnému přirozenému pozadí v tocích. Je vhodná pro všechna užití, pro vodárenské účely, potravinářský a jiný průmysl požadující jakost pitné vody, koupaliště, pro chov lososovitých ryb, má velkou krajinnotvornou hodnotu.
- třída II** – **mírně znečištěná voda**: stav povrchové vody, který umožňuje existenci bohatého, vyváženého a udržitelného ekosystému. Je vhodná obvykle pro většinu užití, pro vodárenské účely, vodní sporty, chov ryb, zásobování průmyslu vodou, má krajinnotvornou hodnotu.
- třída III** – **znečištěná voda**: stav povrchové vody, který nemusí vytvořit podmínky pro existenci bohatého, vyváženého a udržitelného ekosystému. Je vhodná obvykle jen pro zásobování průmyslu vodou, její použití pro vodárenské účely je podmíněno náročnou víceetapovou technologií úpravy, má malou krajinnotvornou hodnotu.
- třída IV** – **silně znečištěná voda**: stav povrchové vody, který umožňuje existenci pouze nevyváženého ekosystému. Je vhodná obvykle jen pro omezené účely.
- třída V** – **velmi silně znečištěná voda**: stav povrchové vody, který umožňuje existenci pouze silně nevyváženého ekosystému. Obvykle se nehodí pro žádný účel.

Klasifikace jakosti vod do tříd jakosti může být prováděna samostatně pro jednotlivé ukazatele nebo skupinu ukazatelů. **Základní klasifikace** jakosti vod se provádí podle vybraných šesti ukazatelů. Vybranými ukazateli jsou: saprobní index makrozoobentosu, biochemická spotřeba kyslíku (BSK), chemická spotřeba kyslíku dichromanem (CHSK), dusičnanový dusík, amoniakální dusík a celkový fosfor. **Výsledná třída** v obou případech se určí podle nejpříznivějšího zařazení zjištěného u jednotlivých ukazatelů.

4.3 Povaha a vlastnosti znečišťujících látek

Povrchové a podzemní vody mohou být, jak již bylo uvedeno v předcházející části této kapitoly, znečištěny velkým množstvím organických a anorganických látek. Znečištění může mít také charakter bakteriální, radioaktivní, a konečně i fyzikální (teplota, pH, elektrovodivost atd.).

Z hlediska ochrany ekologických soustav (ekosystémů) jsou nejčastěji sledována následující znečištění:

BSK, CHSK	Biochemická a chemická spotřeba kyslíku. Indikuje organické znečištění.
Dusík (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+)	Zvýšené koncentrace těchto dusíkatých látek indikují únik ze zemědělské půdy a fekální znečištění (způsobují eutrofizaci povrchových vod).
Fosfor (PO_4^{3-} , celkový P)	Zvýšené koncentrace těchto dusíkatých látek indikují únik ze zemědělských soustav (způsobují eutrofizaci povrchových vod).
Radioaktivní prvky (U, Ra, Rn)	Indikují radioaktivní znečištění.
Detergenty, fenoly, ropné látky, oleje, těžké kovy	Indikují průmyslové a komunální znečištění.
Pesticidy	Indikují zemědělské znečištění.

Mezi hlavní ukazatele průmyslového, zemědělského a komunálního znečištění patří:

Organické látky. V odpadních vodách je přítomno mnoho různých organických látek. Není možné sledovat a stanovovat každou zvlášť. Protože jsou schopny oxidace, vyjadřujeme jejich sumu množstvím kyslíku potřebného na jejich úplnou oxidaci. Organické látky lze oxidovat, buď chemicky nebo biochemicky.

Chemická spotřeba kyslíku (CHSK). Chemická spotřeba kyslíku udává množství kyslíku potřebného k oxidaci organických látek silnými oxidačními činidly (KMnO_4 , KIO_3 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$).

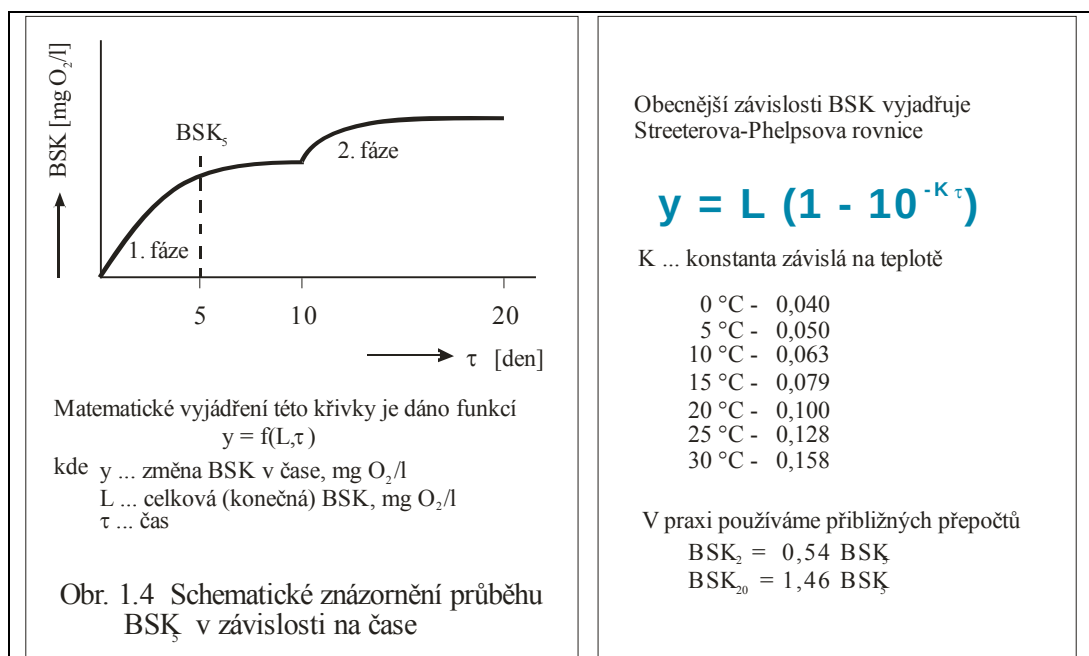
Pro oxidaci jsou stanoveny uzačnické podmínky (doba oxidace, teplota, kyselost prostředí atd.). V poslední době se nejčastěji používá oxidace $K_2Cr_2O_7$ v kyselém prostředí, označovaná jako $CHSK_{Cr}$. Méně častěji oxidace pomocí $KMnO_4$, označovaná jako $CHSK_{Mn}$.

Biochemická spotřeba kyslíku (BSK, anglicky BOD, německy BSB). Organické látky charakterizované jako BSK_5 , představují množství kyslíku spotřebovaného k aerobnímu biochemickému rozkladu organických látek obsažených ve vodě po dobu 5 dnů při standardních podmínkách. Pětidenní spotřeba kyslíku byla vybrána jako standardní proto, že voda v Temži z Londýna doteče do moře za 5 dní. Biochemická oxidace organických látek probíhá tedy přírodní cestou v delším časovém úseku. Chemická oxidace probíhá naopak bez přítomnosti živých organismů okamžitě a drasticky pomocí silných oxidačních činidel, tedy čistě chemicky. V praxi proto vykazuje $CHSK$ vyšší hodnoty spotřeby kyslíku než BSK .

Biochemický rozklad organických látek ve vodě probíhá ve dvou fázích:

- o v první fázi se odbourávají hlavně uhlíkaté látky. Tento rozklad trvá přibližně 20 dnů (BSK_{20}). Odbourávání uhlíkatých látek obvykle probíhá ihned po organickém znečištění. V případě, že dochází nejprve k adaptaci mikroorganismů na organickou látku, vzniká krátká prodleva (1 – 2 dny), kterou nazýváme – lagová fáze;
- o v druhé fázi (začíná až desátým dnem) se odbourávají dusíkaté látky a jejich rozklad není do 20 dnů ukončen. Prakticky však pokládáme rozklad všech organických látek ukončený za 20 dní (odbouráno asi 99 %). V praxi stanovíme obvykle, jak již bylo uvedeno, úbytek kyslíku za 5 dní (BSK_5).

Jsou-li splněny potřebné podmínky (zejména množství O_2 a pH), pak probíhá odbourávání organických látek ve vodách téměř přesně podle časového standardního průběhu. Jako by měly bakterie svůj jízdní řád. Do 20 dnů dojedou do cíle a odbourání organických látek je ukončeno. Na obr. 1.4 je uvedený průběh biochemického odbourávání znázorněn schematicky a doložen matematickými vztahy pro výpočty a přepočty.



Nerozpuštěné látky (NL). Nerozpuštěné látky jsou tuhé a suspendované látky, které jsou vodami unášeny, sunuty po dnu nebo plovoucí na povrchu hladiny. Nerozpuštěné látky se stanoví filtrací vody a vysoušením zbytku na filtru při 105 °C do konstantní hmotnosti.

Pro čištění odpadních vod obsahujících NL používáme běžná zařízení jako síta, česla, lapáky a usazovací nádrže (pravoúhlé nebo velmi často kruhové). Mezi modernější způsoby (pro určité druhy odpadních vod) využíváme filtraci, magnetickou koagulaci a filtraci atd. Někdy využíváme i velkých přírodních kalodjemů (přírodní sedimentační nádrže, odkaliště atd.). V hornictví pro odstranění flotačních hlušín, v energetice popílku a produktů z odsíření spalin (CaSO_4). Jakékoliv odkalovací zařízení se však nechovají k životnímu prostředí přátelsky a jsou proto nevhodná.

Rozpuštěné látky (RL). Jsou to látky, které zbudou ve filtrátu ve vzorku po odpaření, vysušení a vyžihání při $600\text{ }^\circ\text{C}$ do konstantní hmotnosti. Jedná se především o rozpuštěné anorganické soli (v podstatě o kationty kovů a anionty kyselin). Pro skupinu rozpuštěných anorganických solí užíváme zkratku RAS.

Odstranění RL z vod je na rozdíl od NL velmi složité a vyžaduje použití technicky a ekonomicky velmi náročných technologií. Mezi tyto technologie patří destilace (odpařovací způsoby), membránové způsoby (reverzní osmóza a elektrodialýza), iontová výměna (iontoměniče) atd.

Ropné látky. Stanovené jako nepolární extrahovatelné látky (NEL). Jsou to látky vyextrahovatelné z vody bez polárních extrahovatelných látek (EL), např. tuků. Jejich oddělení se provádí standardizovaným způsobem.

Reakce vody. Vyjadřuje se pH. Hodnota $\text{pH} = 7$ vyjadřuje prostředí neutrální, při $\text{pH} > 7$ zásadité, pro $\text{pH} < 7$ kyselé. Emisní standardy pro vypouštění průmyslových odpadních vod jsou stanoveny v rozmezí $\text{pH} 6 - 9$.

Teplota vody. Zvýšením teploty vody se především snižuje rozpustnost kyslíku ve vodě a stimulují až zastavují se biologické procesy organických látek. Překročí-li teplota hranici 38 až $40\text{ }^\circ\text{C}$, odumírají bakteriofagové. Životní podmínky ryb ovlivňuje teplota většinou nepřímo. Výtěr ryb probíhá v teplejší vodě dříve, než je k dispozici dostatek potravy. Při snížené koncentraci kyslíku může docházet k udušení ryb. Horní meze dovolené teploty pro některé ryby – pstruh potoční ($22,5 - 29,0\text{ }^\circ\text{C}$), štika ($25,0 - 29,0\text{ }^\circ\text{C}$), losos ($32,5 - 33,8\text{ }^\circ\text{C}$), kapr ($37,5\text{ }^\circ\text{C}$).

4.4 Přípustné znečišťování vod

Povolování vypouštění odpadních vod a zvláštních vod (např. důlních vod) se provádí podle nařízení vlády ČR č. 61/2003 Sb. Při povolování vypouštění odpadních a zvláštních vod do **povrchových vod** vychází vodohospodářský orgán (VO) z **ukazatelů přípustného znečištění** obsažených v přílohách 1. až 3. uvedeného nařízení vlády. Vypouštění těchto vod do **podzemních vod** je povoleno VO jen ve výjimečných případech (pro rozptýlenou rodinu, rekreační zástavbu atd.), a to pouze za předpokladu, že jejich vypouštění nezhorší a neohrozí jakost podzemních vod.

Vypouštění odpadních vod a zvláštních vod (například důlních) do povrchových a podzemních vod povolují podle nařízení vlády č. 61/2003 Sb. příslušné vodoprávní orgány. Toto nařízení (v souladu s právem Evropského společenství) stanoví:

- o ukazatele vyjadřující **stav vody** ve vodním toku,
- o ukazatele a hodnoty přípustného znečištění **povrchových vod**,
- o ukazatele a hodnoty přípustného znečištění **odpadních vod**,
- o ukazatele a hodnoty přípustného znečištění **odpadních vod pro citlivé oblasti**,
- o ukazatele a hodnoty přípustného znečištění **pro zdroje povrchových vod** (zdroje pitné vody, vod vhodných pro život ryb a vodních živočichů a vod využívaných pro koupání).

V šesti přílohách tohoto nařízení jsou podrobně rozvedeny následující přípustné hodnoty a ukazatele:

Příloha č. 1 **Emisní standardy** pro:

- o přípustné znečištění vypouštěných odpadních vod z městských čistíren,

- o přípustné znečištění vypouštěných odpadních vod z vybraných průmyslových a zemědělských odvětví.

Příloha č. 2 **Požadovaný a cílový stav jakosti ve vodním toku.** Voda ve vodním toku by v cílovém stavu měla vykazovat:

- o neporušenou **samočisticí schopnost**,
- o stav bez **přítomnosti organismů** (s patogenními a toxickými vlastnostmi),
- o stav, při němž nedochází k nadměrnému rozvoji **autotrofních organismů**,
- o stav, při němž nedochází ke vzniku **kalových lavic nebo pokrytí vodní hladiny pěnou, tuky, oleji nebo jinými látkami**,
- o koncentrace **nebezpečných závadných látek** musí být minimální a nesmí se ve vodním prostředí, sedimentech a živých organismech znatelně zvyšovat v čase,
- o **koncentrace rtuti** v reprezentativním vzorku masa ryb, zvolených jako indikátor, nesmí přestoupit hodnotu 0,1 mg/kg čerstvé tkáně (svaloviny),
- o stav, při němž nedochází k porušování požadavků na ochranu před **ionizujícím zářením**,
- o stav, při němž nedochází v důsledku škodlivého působení látek ke změně **produktivity vodního ekosystému**,
- o dobrý stav vodních útvarů povrchových vod podle Rámcové směrnice 2000/60/ES o vodní politice Společenství by mělo být dosaženo do **22.12.2015**.

Příloha č. 3 **Imisní standardy** pro:

- o přípustné znečištění povrchových vod,
- o přípustné znečištění povrchových vod, které jsou vhodné pro život a reprodukci původních druhů ryb a dalších vodních živočichů (rozdělení na vody lososové a kaprové),
- o přípustné znečištění povrchových vod, které jsou nebo budou využívány jako zdroje pitné vody,
- o přípustné znečištění povrchových vod, které jsou nebo budou využívány pro koupání osob.

Příloha č. 4 až 6 **Organizační záležitosti**:

- o stanoví četnost a počet odebíraných vzorků,
- o stanoví povinné údaje předávané znečišťovatelem vodoprávnímu úřadu (vzor hlášení, místo odběru vzorků, umístění výpustí atd.).

Nařízení vlády č. 61/2003 Sb. patří z hlediska ochrany ŽP, z hlediska ochrany vod, mezi nejdůležitější. Toto nařízení vlády nám stanovuje (určuje), jak znečištěné odpadní vody mohou být vypouštěny do povrchových vod (viz příloha č. 1). V analogii s ochranou ovzduší je to tedy omezení **emisní** (emisní limity).

Hodnoty ukazatelů v přílohách č. 2 a 3 pak stanovují cílové meze (hranice) možného znečištění povrchových vod po jejich smíšení s vodami odpadními. Z pohledu ochrany vod jsou tedy **imisními ukazateli** (imisní limity).

Ve skutečnosti jsou přílohy č. 1 a 3 rozsáhlé a obsahují celou řadu závazných ukazatelů přípustného znečišťování vod, podle kterých je povolováno vypouštění odpadních vod do našich řek. Student by si měl po přečtení uvědomit, o jak složitou vodohospodářskou problematiku se jedná a měl by si ještě jednou přečíst pozorně přílohu č. 2, jak mají vypadat v cílovém stavu naše řeky.

4.5 Koncentrace a obsahy znečišťujících látek

Koncentrace (obsahy) znečišťujících látek ve vodách se vyjadřují v hmotnostní jednotce vztažené na objemovou jednotku (obvykle na 1 litr), tedy: g/l, mg/l, µg/l popř. u velmi toxických látek v ng/l. Hmotnostní jednotka ppm pro ZL ve vodách má hodnotu

$$1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg/l} (1 \text{ l} = 10^6 \text{ mg})$$

U ukazatelů radioaktivity v **Bq/l** (Becquerel na litr), popř. v mBq/l.

Reakci vody vyjadřujeme ve stupnici **pH**. U celkové alkality a acidity pak v množství, a to mol/l popř. kmol/l.

U biologických a mikrobiologických ukazatelů jednotkou **KTJ/1 ml**, což značí počty jednotek tvořících kolonii (počty kolonií) z 1 ml. KTJ v tomto případě je kolonie tvořící jednotku.

U výpočtů ukazatelů přípustného znečištění povrchových vod při vypouštění odpadních vod se vychází ze směšovací rovnice, která má následující tvar:

$$Q_r \cdot C_r + Q_o \cdot C_o = (Q_r + Q_o) \cdot C_v$$

neboli po matematické úpravě

$$Q_o (C_o - C_v) = (Q_r + Q_o) \cdot C_v$$

kde Q_r – průtok vody v recipientu [m^3/s],
 Q_o – množství odpadní vody [m^3/s],
 C_r – koncentrace znečištění v recipientu [mg/l],
 C_o – koncentrace znečištění v odpadní vodě [mg/l],
 C_v – výsledná koncentrace znečištění v recipientu [mg/l].

Celý mechanismus procesu vypouštění odpadních vod ze zdrojů znečišťování vod, včetně povinností které musí plnit z vodního zákona uvádí animace „Vypouštění odpadních vod ze zdroje znečišťování“ [A18K4]. Pro výpočet ukazatelů znečištění i požadavků na ochranu vod může posloužit program „Výpočet odpadních vod“ [P2K4].

4.6 Biochemické procesy ve vodách

Podstatou biochemického čištění vod je činnost mikroorganismů. Základním předpokladem pro tuto činnost je přítomnost živého společenstva mikroorganismů (především bakterií) a takové fyzikální a chemické poměry v prostředí, že mohou normálně probíhat životní pochody tohoto společenstva. Pod fyzikálními a chemickými poměry rozumíme nejedovatost prostředí, vhodnou teplotu a příznivou koncentraci vodíkových iontů (pH). Další podmínkou pro život mikroorganismů je přítomnost potravy. Potravu v tomto případě tvoří organické, biologicky odbouratelné látky (jako cukry, tuky, bílkoviny, fenoly apod.), které požadujeme, aby byly z odpadní vody odstraněny. Při stejných fyzikálních a chemických podmínkách se v prostředí odpadních vod čištěných na různých místech vyvíjí prakticky stejné společenstvo mikroorganismů.

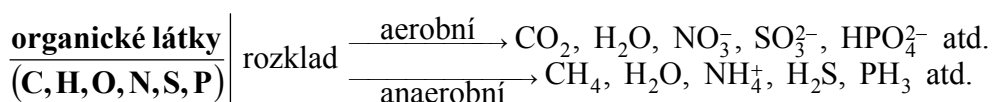
Rozklad (*mineralizace*) rozložitelných organických látek může probíhat vzhledem k přítomnosti kyslíku dvěma základními pochody:

- o aerobním způsobem,
- o anaerobním způsobem.

Aerobní způsob. Při udržovaném přebytku vzduchu probíhá pochod aerobní. Životní pochody mikroorganismů jako celek pak způsobují postupnou oxidaci organických látek. Podle koncentrace organických látek (potravy) a mikroorganismů, podle rychlosti životní reakce a podle technického provedení objektů se v současné době vyvinula celá řada různých způsobů aerobního čištění odpadních vod.

Anaerobní způsob. Při nedostatku nebo nepřítomnosti rozpuštěného kyslíku probíhá pochod anaerobní. Povaha anaerobních mikroorganismů je v tomto případě jiná než u pochodů aerobních. Společenstvo je v tomto případě tvořeno nižšími organismy, převážně bakteriemi. Anaerobní pochody jsou vlastně pochody hnilobné.

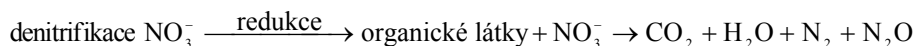
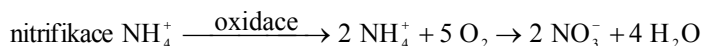
Výsledné rozkladné produkty organických látek jsou tedy dány (určeny) jejich stupněm oxidace a můžeme je pro oba způsoby schematicky znázornit následovně:



K velmi složitým procesům v přírodě dochází při odbourávání amoniakálního znečištění (amonných iontů NH_4^+). Zvýšený přísun sloučenin dusíku do přírodních vod je nežádoucí z následujících důvodů.

Amoniakální dusík má velkou spotřebu kyslíku na biochemickou oxidaci (4,57 g O_2 na 1 g NH_4^+ , zatímco například jednomocné fenoly mají BSK₅ jen 1,85 g O_2 na 1 g). Značně se podílí na eutrofizaci

povrchových vod, a konečně větší koncentrace dusičnanů v pitné vodě je nežádoucí a nebezpečná pro lidi. Biologické odstraňování amoniakálního dusíku spočívá v jeho biochemické oxidaci na dusitany a dusičnany (nitrifikace) a jejich následné redukci na plynný dusík nebo N_2O (denitrifikace). Odbourávání amoniakálního dusíku ve vodách v přírodním prostředí je tedy velmi složitým procesem s vážnými následky na stav ŽP. Ve stručnosti a zjednodušení obě chemické rovnice můžeme vyjádřit následovně:



Samočisticí biochemické pochody ve vodních tocích (nebo nádržích) jsou přirozeným způsobem čištění vod. Pod pojmem samočisticí schopnost vody zahrnujeme souhrn fyzikálních, chemických a bakteriologických procesů, probíhajících ve stojatých a tekoucích vodách.

Z ekologického pohledu jsou samočisticí pochody ve vodních tocích (v recipientech) a vodních nádržích názorným příkladem autoregulace vodního ekosystému při jeho vychýlení z rovnovážného stavu (homeostáze). Ve stručnosti a názornosti můžeme tento složitý proces rozdělit do několika základních, současně probíhajících dějů:

- o **biochemický rozklad** – rozklad organických látek mikroorganismy. K rozkladu mikroorganismy potřebují nezbytně O_2 a produkují CO_2 ,
- o **fotosyntéza** – řasy a vodní rostliny pouze za světla spotřebovávají vzniklý CO_2 a produkují O_2 . Rozmnožené řasy jsou začátkem pastevecko-kořistnického potravního řetězce, na jehož konci jsou ryby nebo jiní vodní živočichové,
- o **rozpuštění kyslíku** – vzdušný kyslík se rozpouští ve vodě a nahrazuje O_2 spotřebovaný při biochemickém rozkladu. Bez přítomnosti O_2 by se zastavil základní článek samočisticího procesu – biochemický rozklad znečišťujících látek. Množství rozpuštěného O_2 je především závislé na ploše, rychlosti, proudění a provzdušňování vody (jezy, peřeje). Pokryje-li vodní povrch led nebo plovoucí znečišťující látky (tuky, oleje, ropa, pěny), rozpouštění O_2 se zastavuje. Z fyzikálních faktorů mají na množství rozpuštěného O_2 vliv tlak a teplota. Oba však působí protisměrně. U tlaku (resp. parciálního tlaku O_2) je závislost přímá, u teploty nepřímá. Čím je teplota vody větší, tím méně se O_2 rozpouští,
- o **přímá konzumace** – organismy mohou přímo konzumovat znečištění organického původu (např. odpadní vody z potravinářského průmyslu). Tím může začít první článek detritového potravního řetězce,
- o **působení gravitace** – některé NL unášené a sunuté po dně se mohou na dně usadit a vytvořit kal, který nemá O_2 , a proto začíná anaerobní rozklad. Při velkých vodách si však vodní toky poradí, nežádoucí kaly odplaví,
- o **chemické reakce** – ve vodním toku dochází k interakci mezi znečišťujícími látkami a vodním prostředím. Mohou nastat různé chemické reakce, které vedou k rovnováze, např.: neutralizace, vzájemné srážecí reakce a adsorpce na dně toku (těžké kovy), oxidace snadno oxidovatelných látek atd.

Samočisticími pochody se ve vodním toku, po jeho znečištění, stav zlepšuje a vrací po určitém čase (po několika km toku), zpět do původního stavu. Pokud není nadále znečišťován. Názorně jsou tyto pochody, které byly rozvedeny v předcházející části, zobrazeny na animaci „Samočisticí pochody ve vodách“ [A19K4].

Umělé procesy čištění odpadních vod

Jsou realizovány na čistírnách odpadních vod. Podle ukazatelů znečištění jsou modelové čistírny postaveny většinou ne několika technologických principech, které jsou zřejmé z animace „Schéma ČOV“ [A20K4] včetně posloupnosti řazení jednotlivých technologických uzlů. Využíváme mimo jiné zde pak obou biochemických pochodů (jak kyslíkového tak bezkyslíkového) pokud obsahují organické znečištění. Při vyšších koncentracích (a při vyšších teplotách) využíváme anaerobního

čištění. Při aerobním čištění odpadních vod je v současné době nejvíce využíván tzv. aktivační proces, který nazýváme **aktivací**.

Aktivační proces probíhá v aktivačních, neboli provzdušňovaných nádržích různé konstrukce, ve kterých se za uměle připravených podmínek intenzivně rozvíjí činnost aerobních mikroorganismů. Intenzivní činnost mikroorganismů je docilována zpětným přidáním aktivovaného (již usazeného) kalu do odpadní vody v těchto nádržích. Jemně suspendované a koloidní částice přinášené do aktivačních nádrží s odpadní vodou jsou aktivovaným kalem nejprve adsorbovány, a pak intenzivní činností aerobních mikroorganismů přetvářeny. Aktivace je nejvíce používáno při čištění splaškových vod, ale její použití je možné i v případě průmyslových vod.

Aktivační způsoby čištění, na rozdíl od klasických způsobů biologického čištění, se liší dvěma urychlujícími prvky. Přidáním kalu (mikroorganismů a intenzivní dodávkou kyslíku – provzdušňování, popř. použití čistého kyslíku). Mikroorganismy se okamžitě rozmnožují, mají dostatek kyslíku, a tím značně urychlí a zintenzivní čistící proces. Umělé procesy čištění odpadních vod v případě čištění komunálních odpadních vod na vybrané čistírně ukazuje následující videoklip „Umělé procesy čištění OV na příkladu ÚČOV Ostrava“ [VK4K4].



Shrnutí pojmů



Pojmy k zapamatování

Voda jako H_2O je:

- ✓ nejrozšířenější kapalina na Zemi,
- ✓ jedna z hlavních složek životního prostředí,
- ✓ součást přírodního bohatství a energie,
- ✓ mocný živel,
- ✓ ale především **základ života** všech organismů na Zemi.



Otázky 4

1. V čem spočívá nezastupitelnost biologické funkce vody?
2. Jak jsou řešena práva k vodám v současnosti?
3. Podle kterých ukazatelů hodnotíme jakost povrchových vod?
4. Co považujeme za primární a co za sekundární znečišťování povrchových vod?
5. Podle kterých hlavních ukazatelů je hodnoceno znečištění vod?
6. Vysvětlíte blíže vztah mezi organickým znečištěním ve vodách a hodnotami BSK a CHSK!
7. Jak vyjadřujeme koncentrace (obsahy) znečišťujících látek ve vodách?
8. Jaký je rozdíl mezi aerobními a anaerobními biochemickými procesy ve vodách?
9. Co je to samočisticí biochemický proces ve vodách?



Další zdroje

- /29/ Kümmel, R., Papp, S. *Umwelt chemie*. VEB, Leipzig, 1988.
- /30/ Tuček, F., Chudoba, J., Koníček, Z. *Základní procesy a výpočty v technologii vody*. STNL, Praha 1988.
- /31/ Dočkal, P. *Opětovné používání vody v průmyslu*. SNTL, Praha 1988.
- /32/ Herčík, M., Lapčík, V., Obroučka, K. *Ochrana životního prostředí pro inženýrské studium*. ES VŠB - TU Ostrava, 1995.
- /33/ Chudoba, J. a kol. *Biologické čištění odpadních vod*. SNTL, Praha 1991.
- /34/ Dirner, V. a kol. *Ochrana životního prostředí*. MŽP a VŠB – TU Ostrava, 1997.
- /35/ Šálek, J. *Přírodní způsoby čištění odpadních vod*. VUT Brno, 1995.
- /36/ Sládečková, A., Sládeček, V. *Hydrobiologie*. ČVUT Praha, 1995.
- /37/ Kysela, L., Tomčala, J. *Vodní hospodářství v energetice*. ES VŠB – TU Ostrava, 2001.

5. ODPADY

5.1 Základní pojmy a vztahy

Naše životní prostředí je v současné době nadměrně zatěžováno značným množstvím odpadů všeho druhu. Odpadem se obvykle nazývá to, co není ve výrobním procesu přeměněno na užitnou hodnotu, co z výrobního procesu odpadá. V nevýrobních činnostech vzniká odpad z toho, co nebylo užito, zkonsumováno, anebo to, co krátkodobým nebo dlouholetým užíváním ztratilo schopnost plnit svoji funkci. Sem patří zejména nespotebované potraviny, obaly předmětů, šatstvo, obuv, nábytek atd.

Zásadní obrat v naší právní úpravě odpadového hospodářství nastal teprve v roce 1991, kdy byl přijat první zákon č. 238/1991 Sb., o odpadech. Do současné doby byl tento zákon nahrazen několika novými zákony a neustále probíhala jejich novelizace. Časté změny v legislativě totiž odrážely prudce se zhoršující a kritickou situaci způsobenou vznikem nadměrného množství odpadů všeho druhu a problémy s jejich odstraňováním. Tyto změny v postupně přijatých zákonech nejlépe dokumentuje vývoj velmi důležité legislativní definice, **co je vlastně odpad**. První zákon č. 238/1991 Sb. stanovil, „že odpadem je věc, které se chce její majitel zbavit, nebo též movitá věc, jejíž odstranění (zneškodnění) je nutné z hlediska péče o zdravé životní podmínky a z hlediska ochrany životního prostředí“. Současný zákon č. 185/2001 Sb. vymezuje, **„že odpad je každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit a přísluší do některé ze skupin odpadů uvedených v příloze č. 1 k tomuto zákonu“**. Příloha č. 1 pak podrobně definuje šestnáct skupin odpadů. Legislativní polemika, co je a co není odpadem, je touto definicí značně zúžena a téměř vylučuje dvojí výklad. Např. zda nové auto, kterému vždy v dešti nejdou stěrače a bohatý majitel se ho chce zbavit, je odpadem či ne atd.

Zásadně se měnily i definice a základní pojmy. Současně jednoznačný výraz „**odstraňování odpadů**“ nahradil dříve používané „zneškodňování odpadů“ a „likvidace odpadů“. Odpady se dělí pouze na dvě skupiny, na **nebezpečný** a **ostatní odpad**, dříve se užívaly tři, a to zvláštní, nebezpečný a ostatní odpad atd.

Určitá část odpadů je schopna opětovného použití ve výrobním cyklu (recyklace, regenerace, rafinace atd.). V těchto případech se jedná o **využívání odpadů**. Druhá část odpadu, která není využita, musí být vhodně zneškodněna. V tomto případě se jedná **odstraňování odpadů**. Za energetické využití odpadů se spalování odpadů považuje tehdy, jestliže je odpad použit jako palivo nebo přídatné palivo v zařízeních na výrobu energie nebo materiálů.

Podle původu vzniku můžeme rozdělit odpady na průmyslové, na odpady vznikající v zemědělské výrobě a odpady komunální. Průmyslové odpady zaujímají, co se týká množství, dominantní postavení. Největší objem těchto vytvářejí hlušiny, haldy, výsypky vydobyty z lomů a dolů při těžbě užitných nerostů a surovin.

Neustále narůstající objem odpadů představují odpady komunální. Je to velmi různorodý typ odpadu, obsahující vše, od látek anorganických po organické, látky spalitelné i nespalitelné, látky podléhající chemickému nebo biochemickému rozkladu látky relativně stabilní, a konečně látky neškodné až po látky toxické. Řečeno zkrátka a výstižně, téměř všechno.

Obecně je **odpadové hospodářství** nadřazeným pojmem „**nakládání s odpady**“.

Odpadové hospodářství	předcházení vzniku odpadů	
	péče o místa trvale uložených odpadů	
	nakládání s odpady	— shromažďování, soustřeďování
		— sběr, výkup, třídění, skladování
		— přeprava, doprava a úprava
		— využívání a odstraňování



Průvodce studiem

- o Ze zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, pro původce (producenty) vyplývá v oblasti odpadového hospodářství celá řada povinností. Obecně tyto povinnosti můžeme shrnout do čtyř základních principů:
 1. kdo produkuje odpady, odpovídá za jejich využití a odstranění,
 2. využití odpadů má přednost před odstraněním,
 3. odpady musí být soustředěovány, tříděny, ukládány odděleně,
 4. o odpadech musí být vedena evidence.
- o Podle současné legislativy musí oprávněné osoby provádějící sběr nebo výkup odpadů vést evidenci fyzických a právnických osob a zjišťovat jejich totožnost v případě, že přijímají druh odpadu obsahující měď, bronz, mosaz, hliník, olovo, zinek, cín a jejich směsi. Tato povinnost se vztahuje i na kabely.
- o Za komunální odpad se považuje veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob, dále fyzických osob oprávněných k podnikání a právnických osob, pokud se na ně nevztahuje povinnost původce. Obec se stává původcem komunálního odpadu v okamžiku, kdy fyzická osoba odpady uloží na místě k tomu určeném. Obec se současně stane vlastníkem těchto odpadů. Místa sběru (i nebezpečných odpadů), způsob jejich využití a odstraňování včetně výše poplatků stanoví obecně závaznou vyhláškou. Směsný komunální odpad není zařazen do kategorie nebezpečných odpadů.
- o Každý původce při své činnosti podle zákona o odpadech musí zajistit přednostně využití odpadů před jejich odstraněním. Materiálové využití má přednost před jiným využitím. Při posuzování vhodnosti způsobů odstranění odpadů má vždy přednost způsob, který zajistí vyšší ochranu lidského zdraví a je šetrnější k životnímu prostředí. Uložení na skládku mohou být odstraňovány pouze ty odpady, u nichž jiný způsob odstraňování není dostupný nebo by přinášel vyšší riziko pro ŽP a lidské zdraví.

5.2 Druhy a kategorizace odpadů

Z krátkého úvodu je zcela zřejmé, že dělení a kategorizace odpadů, vzhledem k jejich různorodému složení a charakteru, je velmi složité a obtížné. To se samozřejmě týká i způsobu jejich hodnocení ve vztahu k životnímu prostředí.

Podle naší legislativy se odpady dělí na **ostatní (O)** a **nebezpečné (N)**.

Odpad, který je škodlivinou nebo který má významné nebezpečné vlastnosti pro člověka nebo pro životní prostředí, je odpadem **nebezpečným**. Mezi vlastnosti způsobující nebezpečnost odpadu patří:

- o výbušnost,
- o oxidační schopnost,
- o vysoká hořlavost a hořlavost,
- o dráždivost,
- o škodlivost zdraví,
- o toxicita,
- o genotoxicita – karcinogenita, teratogenita a mutagenita,
- o žíravost,
- o infekčnost,
- o schopnost uvolňovat vysoce toxické nebo toxické plyny ve styku s vodou, vzduchem nebo kyselinami,
- o schopnost uvolňovat nebezpečné látky do životního prostředí při odstraňování,
- o ekotoxicita.

Mimo uvedené vlastnosti se do kategorie nebezpečný odpad zařazují i odpady, které jsou uvedeny v Seznamu nebezpečných odpadů, Katalogu odpadů nebo jsou s těmito odpady smíšeny či znečištěny. Seznam a Katalog vydává formou vyhlášky MŽP. Nakládání s nebezpečnými odpady se řídí zvláště přísnými předpisy. Nakládat s těmito odpady je možné jen prostřednictvím oprávněných osob a na zařízeních k tomu určených a schválených, přičemž nesmí být ohroženo lidské zdraví, životní prostředí a nesmí být překročeny přípustné limity znečišťování (ovzduší u spaloven atd.). **Ředění nebo míšení** nebezpečných odpadů za účelem splnění požadovaných kritérií je zakázáno.

Zvláštní povinnosti mají původci při nakládání s následujícími vybranými výrobky, odpady a zařízeními: PCB, odpadními oleji, bateriemi a akumulátory, kaly z čistíren odpadních vod, odpady z výroby oxidu titaničitého, odpady azbestu a autovraky.

Legislativními předpisy je rovněž stanovena povinnost zpětného odběru výrobků po jejich použití. Tato povinnost se vztahuje na minerální oleje, elektrické akumulátory, galvanické články a baterie, výbojky a zářivky, pneumatiky a domácí chladničky. Povinnost zpětného odběru použitých výrobků mají výrobci a dovozci. Ti musí spotřebitele informovat o způsobu odběru těchto výrobků bez úplaty za jejich odběr.

Zákon č. 477/2001 Sb., o obalech legislativně doplňuje odpadový zákon. Účelem tohoto zákona je chránit životní prostředí předcházením **vzniku odpadů z obalů**, a to zejména snižováním jejich:

- o hmotnosti a objemu,
- o škodlivosti a chemických látek.



Poznámka

- o Katalog odpadů podle vyhlášky MŽP č. 381/2001 Sb. dělí odpady do 20 skupin. Každý odpad má šestimístný kód. Prvé dvojčíslí označuje skupinu odpadu, druhé dvojčíslí označuje podskupinu odpadu, třetí dvojčíslí druh odpadu v příslušné podskupině.
- o Pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů stanovuje MŽP barevné seznamy odpadů (červený, žlutý a zelený). Nejprísněji jsou posuzovány odpady na červeném seznamu, odpady uvedené na zeleném seznamu nevyžadují souhlas MŽP pro uvedené činnosti.
- o Obalový zákon podrobně rozvádí podmínky pro uvádění obalů na trh, jejich označování a evidenci i podmínky, které musí být dodrženy pro vratné a zálohované obaly. Všechny osoby, které uvádí na trh nebo do oběhu obaly nebo balené výrobky, jsou legislativně povinny zajistit, aby odpady z obalů byly maximálně využity. Za nedodržování podmínek obalového zákona mohou být uděleny pokuty do výše 50 mil. Kč. Přesto, že většina států má velmi přísné obalové zákony, nepotřebných a nevyužitých obalů ve světě, ale i u nás, neustále vzrůstá a nabývá hrozivých rozměrů. Kdyby „životní prostředí“ mohlo nařizovat, tak bychom určitě chodili kupovat mléko do konviček, pivo a víno do džbánek, potraviny do svých tašek a výrobky, například z elektroniky, s dovozem prodejce bez obalu přímo ke spotřebiteli.

5.3 Vznik, využití a odstraňování odpadů

Mezi největší zdroje odpadů patří průmyslová činnost (asi 50 %), energetika (asi 40 %), zbytek tvoří odpady z komunální sféry a zemědělství. Odpady v zemědělství (popř. z potravinářského průmyslu) jsou převážně organického původu, a proto se většinou využívají jako krmiva a hnojiva. Jsou tedy převážně recyklovány svým výrobním odvětvím.

Průmyslové odpady se vyskytují v nesmírné rozmanitosti druhů. Mohou to být balastní inertní látky, které odpadají při těžbě a zpracování surovin (hlušiny, skřívky zemin), až po látky velmi toxické nebo jinak nebezpečné (kyanidové odpady z moření kovů, chemické odpady z výroby pesticidů).

V energetickém průmyslu při spalování fosilních paliv vzniká velké množství popelovin (škvára, struska, popílek). V současné době při odsiřovacích procesech spalín i velká množství sirnatých sloučenin (sádra).

Snad nejpestřejším (nehomogenním) odpadem je komunální odpad (KO). V komunálním odpadu jsou zastoupeny především domovní odpady (obaly, papír, sklo, kovy, plastické hmoty, zbytky potravin, textil a různé opotřebované předměty). Jsou v něm rovněž zastoupeny smetky z čištění obcí a měst, odpady provozoven služeb, obchodu a místního průmyslu a z drobných stavebních prací. Obsahuje také popel a škváru z místních kotelen. Složení a množství KO není jednotné a mění se ve velmi širokém intervalu. Je závislé na životní úrovni, zvyklostech a disciplíně

(výchově) obyvatelstva. V minulosti byly hlavní součástí KO popeloviny, dnes převažuje obalová technika. Současné odpady moderní společnosti mají vyšší obsah spalitelných materiálů, vyšší energetický potenciál, a proto by měly být prioritně tříděny a spalovány, než ukládány bez užítu na skládky.

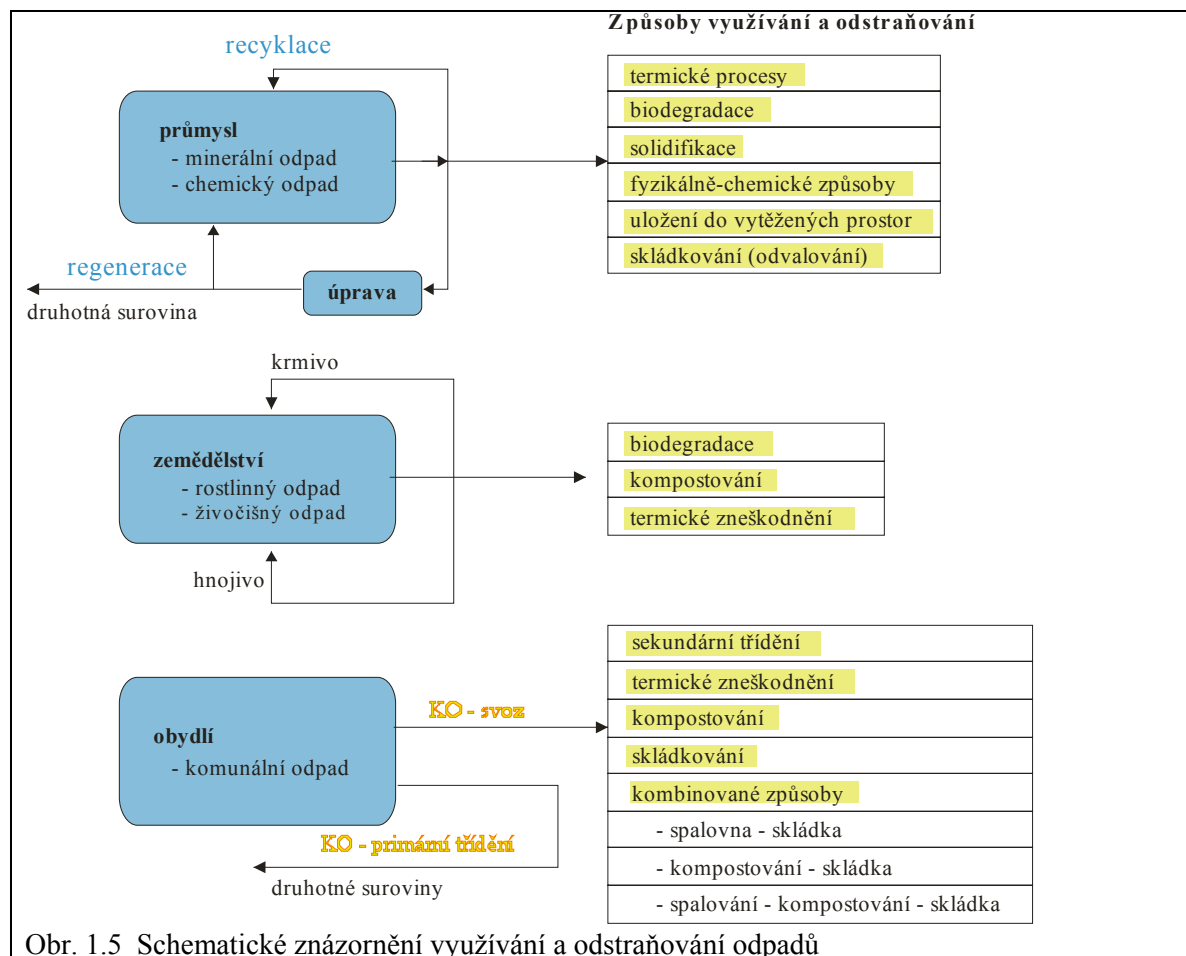


Poznámka

Podle naší legislativy za provoz systému shromažďování, sběru, přepravy, třídění, využívání a odstraňování komunálních odpadů platí každá fyzická osoba v České republice, která má v obci trvalý pobyt. Za domácnost může být poplatek odváděn společným zástupcem, za rodinný nebo bytový dům vlastníkem nebo správcem. Poplatek musí platit i fyzická osoba, která má ve vlastnictví stavbu určenou nebo sloužící k rekreaci, ve které není hlášena k trvalému pobytu. Poplatek se platí příslušné obci. Sazbu poplatku tvoří pevná částka a částka stanovená na základě skutečných nákladů obce na sběr a svoz KO předchozího roku.

Zvláštní kategorii odpadů tvoří **radioaktivní odpad (RAO)** z palivového cyklu jaderných elektráren. Jedná se o RAO z těžby a zpracování uranových rud, výroby jaderného paliva, vlastního provozu jaderných elektráren a z konečného zneškodnění již vyhořelých jaderných paliv. Jeden kilogram uranu nahradí asi sto tun uhlí, což odpovídá energii 250 000 kWh. Během provozu průměrné jaderné elektrárny (asi 30 let) vznikne cca 1500 tun radioaktivního odpadu. Likvidace RAO, zejména přepracování vyhořelých jaderných paliv je velmi složité a problematické a dosud úspěšně nevyřešené. Je třeba si uvědomit, že potřebná doba skladování upotřebeného jaderného paliva je 40 až 50 let (postupně jejich ochlazování v meziskladech a snížení jejich aktivity). Poté by se měly radioaktivní odpady uložit do naprosto bezpečného trvalého skladu, kde budou po stovky a tisíce let čekat, až zcela vyhasnou. Definitivní sklad vyhořelého paliva nemá zatím dobudován žádný stát na světě. Jaderné odpady jsou uloženy v dočasných skladech a jejich provozovatelé doufají, že než skončí jejich doba životnosti, bude na světě vymyšlena nová technologie jejich zpracování, možného využití nebo konečného odstranění.

Z předcházejícího krátkého přehledu je zcela zřejmé, že využívání a odstraňování odpadů probíhá ve velmi široké a rozmanité oblasti. Od jednoduchých procesů až po velmi složité a technicky náročné fyzikálně-chemické technologie. Přehledně, ve velmi zjednodušené formě, jsou tyto procesy znázorněny na obr. 1/5.



Obr. 1.5 Schematické znázornění využívání a odstraňování odpadů

Bezodpadové technologie a recyklace odpadů

Optimálním řešením problematiky hospodaření s odpady je **bezodpadová technologie**. Princip této technologie předpokládá, že uvedený proces je uzavřený. Vstupní produkty (suroviny) se přeměňují na produkty výstupní (výrobky) tak, že na konci výrobního cyklu není žádný odpad. Přitom v technologickém procesu vstup – výstup mohou být mezistupně, jejichž odpady jsou vstupní surovinou jiných výrobků a jsou beze zbytku spotřebovány. Tento princip vede obvykle k budování velmi složitých průmyslových komplexů.

Dalším optimálním stupněm hospodaření s odpady je **recyklace**. Recyklace je opětové zavedení odpadních látek (včetně odpadní energie) do procesu **výroba – spotřeba**. Někdy je recyklace uváděna jako součást bezodpadové technologie – jako její počáteční stav. Rozšířenější názor je, že bezodpadová technologie je zaměřena na komplexní technologii a organizaci výroby, při níž se zabrání vzniku odpadu, zatímco recyklace se zabývá problémem zpracování a zužitkováním odpadů již vzniklých.

Recyklaci podle obr. 2.5 můžeme rozdělit do tří základních procesů:

- o proces **opětného použití**. Tento princip je obvykle používán v návratné obalové technice.
- o proces **regenerace odpadů** a jeho opětového použití. V tomto případě jde o shromažďování odpadu, který je regenerován, někdy složitým technologickým procesem (hutě, sklárny, papírný apod.).
- o proces **dalšího využití** jako druhotné suroviny. Odpad vzniklý při výrobě výrobku jedna je vstupní surovinou při výrobě výrobku dvě. Přitom při výrobě druhého výrobku vzniká odpad. Není to tedy bezodpadová technologie. Aby se stal odpad jedna surovinou vhodnou pro výrobu výrobku dvě, je třeba někdy provést zpracování odpadu jedna biochemicky, chemicky, fyzikálně apod.

Mezi důležité oblasti recyklace odpadů patří třídění komunálních odpadů. Občané by měli odpady třídit podle složek a odevzdávat je do míst k tomu určených, v souladu s vyhláškou města. V místě svého bydliště se třídí mimo směsný komunální odpad i kovy, papír, sklo a plasty. Na místech zvláště určených objemný odpad, nebezpečné odpady, odpad ze zeleně a stavební odpad občanů. Materiálově vyseparované, popř. částečně vyseparované odpady mohou sloužit jako cenná surovina pro následnou výrobu. Příklad materiálové recyklace složek komunálního odpadu ve společnosti OZO Ostrava uvádí videoklip „Materiálová recyklace složek KO u OZO Ostrava“ [VK5K5].

Do kontejneru

 Papír	Patří noviny, časopisy, kancelářský papír, knihy, prospekty, krabice, karton, lepenka, katalogy, balicí papír Nepatří použité pleny a hygienické potřeby, obaly od mléka, uhlový papír, znečištěný papír
 Sklo	Patří láhve od nápojů, skleněné nádoby a střeby, tabulové sklo Nepatří sklo s drátěnou vložkou, automobilové sklo, porcelán a keramika, plexisklo
 Plasty	Patří obalové láhve z plastů - PET láhve, fólie všech druhů, igelitové tašky, plastové přepravky, duté obaly a kelímky Nepatří láhve a nádoby od nebezpečných látek, lino a novodurové trubky, bakelit a plexisklo, polystyrén
 Směsný odpad	Nepatří barvy, laky, tmely, mořidla, ředidla a rozpouštědla, lepidla, motorové oleje, kyseliny a louhy, chemikálie, baterie, léky

Obr. 2.5 Třídění odpadů

Velká část složek komunálního odpadu má potenciál pro účely energetického využití. Je možno z nich proto po předpravě vyrobit alternativní palivo, které lze využít ve vybraných průmyslových zařízeních (v současné době v cementárnách). Příklad výroby takového paliva na bázi spalitelných složek komunálního odpadu a některých složek průmyslové sféry uvádí videoklip „Příprava alternativního paliva ve společnosti OZO Ostrava“ [VK6K5].

Termické způsoby odstraňování odpadu

Pod tímto pojmem souhrnně označujeme procesy, které využívají energetický potenciál odpadů. Jsou to takové technologie, které termickým působením na odpad překročí meze jeho chemické stability a způsobí jeho rozklad. Tyto termické procesy probíhají ve velmi širokém teplotním rozmezí, od 300 až do 2 000 °C. Podle charakteru procesu (vztahu ke kyslíku) je dělíme na:

- o **oxidační procesy**. Obsah kyslíku v reakčním prostoru je stechiometrický (roven) nebo vyšší vzhledem ke zpracovávanému odpadu. Tyto procesy zahrnují **spalování** nízkoteplotní nebo vysokoteplotní,
- o **redukční procesy**. Obsah kyslíku v reakčním prostoru je nulový nebo hluboko pod jeho stechiometrickou potřebou ke zpracovávanému odpadu. Tyto procesy zahrnují **pyrolýzu** a **zplyňování**.

Spalovny mohou mít různé konstrukce uspořádání spalovacího prostoru. Proto spalovny dělíme na spalovny s roštovým, rotačním nebo fluidním ohništěm.

Využití energetického potenciálu odpadů (samozřejmě po materiálovém využití) patří mezi nejefektivnější způsoby jejich odstraňování. Nutné je také dodat, že spalovny musí být samozřejmě vybaveny velmi účinným zařízením na čištění vzniklých spalin. Jinak by se problematika zneškodňování odpadů přenesla do oblasti znečišťování ovzduší.



Poznámka

Podle zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, lze odpady spalovat jen tehdy, jsou-li splněny podmínky stanovené právními předpisy o ochraně ovzduší (zákon č. 86/2000 Sb.) a o hospodaření energií (zákon č. 406/2000 Sb.). Za energetické využití odpadů se spalování odpadů považuje pouze ve dvou případech, a to: o použitý odpad nepotřebuje pro vlastní zapálení ke spalování podpůrné palivo a vznikající teplo se použije pro potřebu vlastní nebo dalších osob; o odpad se použije jako palivo nebo jako přidavné palivo v zařízeních na výrobu energie nebo materiálů (podle předpisů o ochraně ovzduší).

Spalovny odpadů, u nichž nejsou splněny uvedené podmínky spalování, jsou zařízeními k **odstraňování** odpadů. Spalovny odpadů, které využívají energii, odpad neodstraňují, ale energeticky využívají. Příkladem spaloven pro energetické využití vybraných složek komunálního a průmyslového odpadu uvádí videoklip „Technologie provozu spalovny komunálních odpadů SAKO Brno“ [VK7K5] a dále videoklip „Technologie provozu spalovny nebezpečných odpadů SPOVO Ostrava“ [VK8K5].

Zpracování vybraných odpadů na bioplyn a energii

Jedná se o procesy, při kterých se bioodpady obsahující organické látky rozkládají anaerobním způsobem za vzniku bioplynu, který se posléze využívá jako „obnovitelný“ zdroj energie. Z původních procesů spalování bioplynu pro svícení a výrobě tepla v kotlích se za efektivnější způsob považuje využití bioplynu v kogenerační jednotce s výrobou elektrické energie a tepla.

Velký potenciál výroby bioplynu představuje produkce bioplynu na skládkách komunálních odpadů a dále bioplyn ze stabilizace čistírenských kalů na čistírnách odpadních vod. Příklad zpracování a využití bioplynu uvádí videoklip „Výroba a zpracování bioplynu z odpadních kalů na ČOV a skládky KO“ [VK9K5].

Obecně můžeme napsat a zapamatovat si prioritní řadu pro využívání odpadů následovně:

*recyklace ⇒ regenerace ⇒ biologické procesy ⇒ termické procesy ⇒
⇒ ostatní procesy ⇒ skládka (odvaly)*

O prioritě bezodpadových technologií, regulaci a regeneraci není pochyb. Biologické procesy rozkladem odpadů vrací jeho části zpět do funkčního přírodního prostředí. Termické procesy využívají tepelnou energii pro výrobu páry, přípravu teplé užitkové vody apod. Na skládkách a odvalech leží odpad bez užitku. Navíc skládky se chovají k životnímu prostředí velmi nepřátelsky. Zabírají půdní fond a negativně mohou působit na okolní přírodní prostředí. O možném využití skládek KO v budoucnosti, vzhledem k jejich značné nehomogenosti, není dosud žádných představ. Bohužel, i přes uvedené negativní vlivy, jsou skládky nejrozšířenějším způsobem likvidace odpadů. Odstraňování odpadů se stalo druhem podnikání. Často jsou proto tyto způsoby odstraňování ovlivněny ekonomickými a podnikatelskými zájmy.

Kompostování

Kompostování je aerobní (oxidační) rozkladný proces organických částí odpadu za vzniku humusových látek. Kompostování na rozdíl od skládkování umožňuje přeměnit **organický odpad** na humusové látky a jeho vrácení do přírodního prostředí. Základní podmínky pro kompostování jsou následující:

- o odpad musí být rozmělněn na malé části a důkladně promíchán (homogenizován),
- o ve vstupním odpadu musí být zajištěn pro úspěšnou činnost mikroorganismů poměr C : N 30 : 1 a musí být zastoupeny i biogenní prvky,
- o vlhkost vstupujícího odpadu musí být 50 – 60 % a reakce neutrální (okolo pH = 7),
- o po dobu humifikace musí být zajištěna dostatečná aerace (přisun kyslíku), aby došlo ke zvýšení teploty na 60 – 70 °C.

Jsou-li zajištěny uvedené podmínky, dojde po době několika týdnů k úspěšnému zrání kompostu a vzniku požadovaného humusu. Vyšší teplota při kompostování (nad 55 °C) spolehlivě zničí všechny nežádoucí patogenní mikroorganismy.

Pro kompostování jsou vhodné zejména KO. Ty však musí být zbaveny nežádoucích látek (kovu, plastu, skla) a rozdrceny. Zásadně by neměly obsahovat popel. Pro kompostování jsou vhodné i vyhnílé čistírenské kaly (z ČOV), zemědělské, potravinářské a dřevní odpady.

Solidifikace

Pod pojmem **solidifikace** označujeme obecně přeměnu odpadu na nerozpustný (inertní) produkt. K této přeměně používáme fyzikálně-chemické metody. Účelem solidifikace je:

- o zamezení nebo zpomalení migrace (pohybu) nebezpečných škodlivin z odpadů do ŽP,
- o usnadnění manipulace (dopravy) a ukládání odpadů.

Mezi solidifikační technologie patří např.:

- o zkusování (tabletace, briketování),
- o vitifikace (přeměna odpadu na formu podobnou sklu nebo glazury),
- o zpevnění odpadu hydraulickými pojivy (cementy).

Fyzikálně-chemické způsoby

Mezi tyto procesy zařazujeme celou řadu technologických procesů jako odpařování, destilaci, oxidaci, redukci, neutralizaci, odsolování (snižování RL), rozklad pomocí ionizujícího záření atd.

Biodegradace

Procesy biodegradace umožňují pomocí mikroorganismů, hub, enzymů rozklad nebo detoxikaci organických nebo nebezpečných odpadů. O procesech biodegradace je pojednáno v biotechnologiích.

Skládkování

Skládkování patří mezi nejstarší a obvykle nejlevnější způsoby odstraňování tuhých odpadů. Je nejvíce rozšířeno ve světě, stejně jako u nás v ČR. Skládky zásadně rozdělujeme na **řízené** a **neřízené**, tzv. „divoké skládky“. Lokalita řízené skládky byla řádně vytipována, prošla procedurou EIA (byl posouzen její vliv na životní prostředí). Provoz takové skládky je kontrolován.

Neřízené (divoké skládky), na něž je ukládán odpad bez třídění a organizování z blízkého okolí, způsobuje velké obtíže a škody na okolním přírodním prostředí. Zapáchají, rozmnožuje se v nich hmyz a hlodavci a mohou být střediskem šíření infekčních chorob. Prosakující srážkové vody mohou vyluhovat rozpustné látky a znečistit podzemní vody (někdy i toxicky) a zamořit okolní krajinu.

Řízené skládky mohou být zakládány pouze ve vhodných místech po stránce geologické a hydrologické (stabilita, nepropustnost a skladba podloží, výška hladiny a směr proudění podzemních vod, neohrožení zdrojů pitné vody atd.). Skládka musí být zabezpečena proti průsakům vod nepropustnými jílovými vrstvami zemin, plastickými fóliemi a musí mít zabudován systém drenáží pro odvádění prosáklých srážkových vod.

Řízené skládky mohou být budovány jako podúrovňové nebo jako nadúrovňové (vytvářejí nový prvek v okolí). Jejich povrch během ukládání a ukončení ukládání odpadů musí být rekultivován, znovu začleněn do okolního terénu a musí plnit jeho přírodní funkce.

Uložená část organického odpadu za přítomnosti organismů a anaerobních podmínek podléhá rozkladu za vzniku zejména CH_4 a CO_2 . Směs těchto plynů je možno pomocí vrtů jímát a využít jako topného plynu. Před využitím je však nutné „skládkový plyn“ vyčistit, zbavit sulfanu a eventuálně chlorovaných uhlovodíků.

Skládky se dělí podle technického zabezpečení podle naší legislativy (vyhláška MŽP č. 383/2001 Sb.) na tři skupiny. První skupina S – inertní odpad (S-IO) je určena pro inertní odpad, druhá S – ostatní odpad (S-OO) je určena pro ostatní odpady. Na tento typ skládky je možné ukládat komunální odpad, směsný stavební a demoliční odpad. Poslední, třetí skupina skládek, S – nebezpečný odpad (S-NO) musí splňovat nejnáročnější požadavky – nepropustnost podloží, zabezpečení naprosté těsnosti skládek, odvedení srážkových a průsakových vod atd. Odpady jsou ukládány na jednotlivé typy skládek podle druhu a kategorie odpadů, podle stanovení třídy vyluhovatelnosti odpadů vodou a podle obsahu škodlivin. Příklad skládky komunálního odpadu uvádí videoklip „Provozování skládky tuhého komunálního odpadu v podmínkách OZO Ostrava“ [VK10K5].



Poznámka

- o Na skládky nesmějí být ukládány odpady kapalné, radioaktivní, výbušné, hořlavé, silně zapáchající nebo odpady, u kterých je překročen limitní obsah škodlivin {BTEX, EOX(Cl), NEL, PAU, PCB a kyanidy}. Na skládky rovněž nesmějí být ukládány veškerá léčiva, pneumatiky, využitelné odpady a odpady podléhající zpětnému odběru.
- o Každý původce odpadu musí tedy nejen znát druh a původ odpadu, ale musí znát i jejich šestimístný kód podle „katalogu odpadu“. Původci a oprávněné osoby, kteří nakládají s odpady (tedy i provozovatelé skládek) musí vést **průběžnou evidenci** odpadů podle druhů, množství a způsobu jak s nimi bylo naloženo.
- o Za ukládání odpadů na skládky je původce povinen platit poplatek. Poplatek platí i původce, který je sám provozovatel skládky a tato skládka je na vlastním pozemku. Poplatek za ukládání odpadů se skládá ze dvou složek. Základní složka poplatku se platí za uložení odpadu. Jedná-li se o nebezpečný odpad, platí se navíc riziková složka. Základní složka poplatku je příjem obce, na jejímž území skládka leží, riziková složka je příjem Státního fondu životního prostředí ČR.



Shrnutí pojmů

Naše životní prostředí je v současné době nadměrně zatěžováno značným množstvím odpadů všeho druhu. Odpadem se obvykle nazývá to, co není ve výrobním procesu přeměněno na užitnou hodnotu, co z výrobního procesu odpadá. V nevýrobních činnostech vzniká odpad z toho, co nebylo užito, zkonsumováno, anebo to, co dlouholetým užíváním ztratilo schopnost plnit svoji funkci. Sem patří zejména obaly předmětů a potravin. Naše legislativa definuje odpad jako movitou věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl či povinnost se jí zbavit. Za odpady se považuje i okruh věcí podle stanovených podmínek (např. výrobky neodpovídající požadované jakosti, s prošlou lhůtou spotřeby nebo pro které již vlastník nemá upotřebení – vyřazené a nepoužitelné předměty z průmyslu, zemědělství, domácností, kanceláří a obchodů).



Otázky 5

1. Co nazýváme odpadem, jaká je jeho legislativní definice?
2. Jak můžeme rozdělit odpady podle původu vzniku?
3. Jaká znáte optimální řešení hospodaření s odpady? (bezodpadové technologie a recyklace odpadů)
4. Jaký je rozdíl mezi nebezpečným a ostatním odpadem?
5. Co/kdo patří mezi největší zdroje odpadů?
6. Jaké formy využívání a odstraňování odpadů znáte?
7. Které technologie mají přednost ve využívání odpadů?
8. Jak třídíme odpad?
9. Která varianta nakládání s odpady se jeví jako nejméně vhodná – poslední možnost?



Další zdroje

- /38/ Kuraš, M. *Odpady, jejich využití a zneškodňování*. VŠCHT Praha, 1994.
- /39/ Palatý, J., Paleček, J. *Základy ekologie*. VŠCHT Praha 1992.
- /40/ Herčík, M., Lapčík, V., Obroučka, K. *Ochrana životního prostředí*. ES VŠB-TU Ostrava, 1995.
- /41/ Obroučka, K. *Termické odstraňování a energetické využívání odpadů*. ES VŠB-TU Ostrava, 2001.
- /42/ Herčík, M. *Ochrana životního prostředí a legislativa*. Vysoká škola podnikání, a.s., Ostrava 2004.