

MUNI
PHARM

Ekotoxikologie

přednáška z Toxikologie 5. 12. 2022

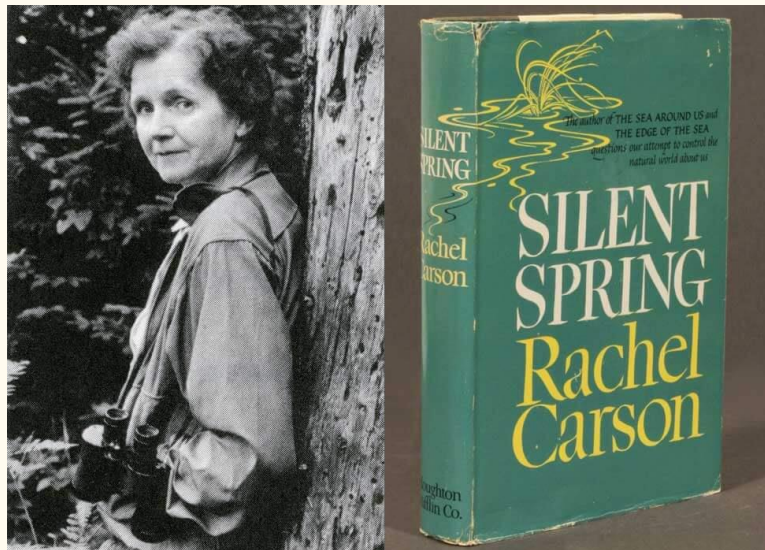
M. Chalupová

Ekotoxikologie jako obor

- interdisciplinární obor kombinující poznatky z ekologie a toxikologie
- studuje vliv chemických látek na ekosystémy, toxické vlivy v přírodě, v organismech, v populacích a společenstvech
- monitoruje a předpovídá osud a vlivy cizorodých látek v prostředí
- využívá těchto poznatků pro racionální ochranu živých organismů, jejich populací, společenstev a ekosystémů, před chemických znečištěním

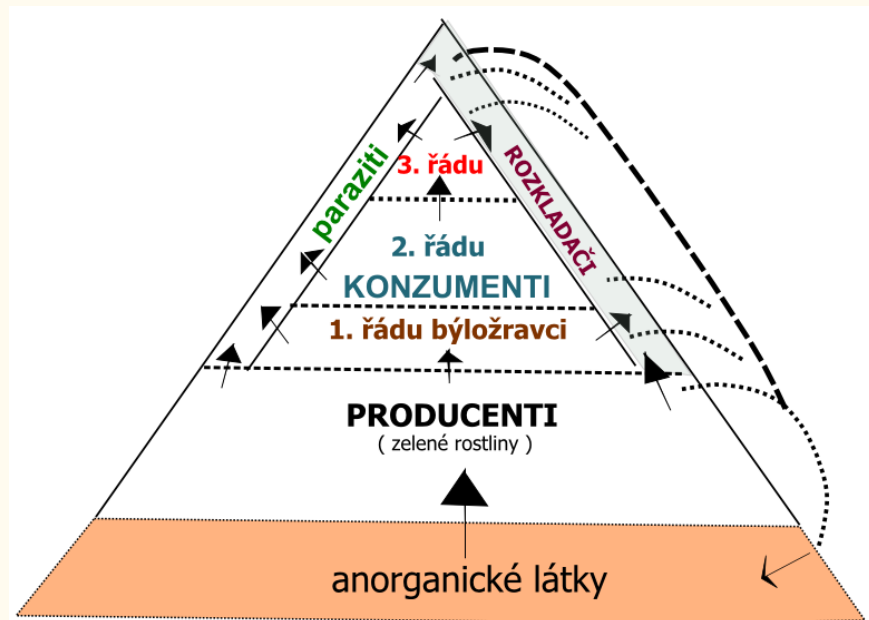
Ekotoxikologie

- výraz „ekotoxikologie“ použit poprvé v práci francouzského vědce René Truhauta (1969)
- **The Silent Spring** (1962) autorky Rachel Carson, upozornění na vliv používání pesticidů, zejména DDT, a jejich kumulaci v potravních řetězcích

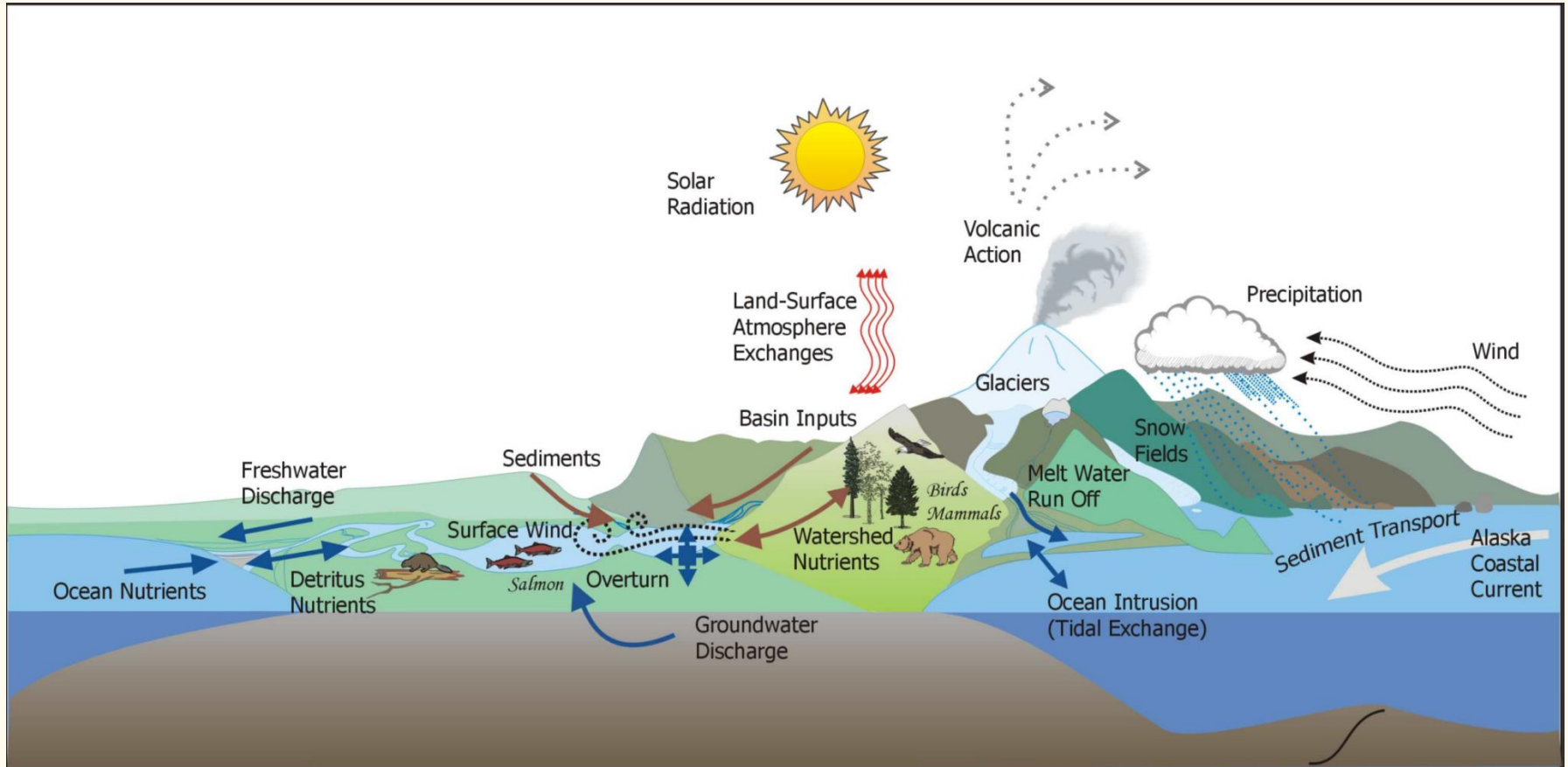


Ekosystém

- **funkční soubor organismů** (rostlin, živočichů, mikroorganismů) a jejich okolního prostředí, které jsou navzájem spojeny výměnou látek, tokem energie a předáváním informací
- **tok energie** vede ke zřetelně definované trofické (potravní) struktuře, biotické rozmanitosti, výměně látek a informací mezi živými a neživými složkami uvnitř této soustavy



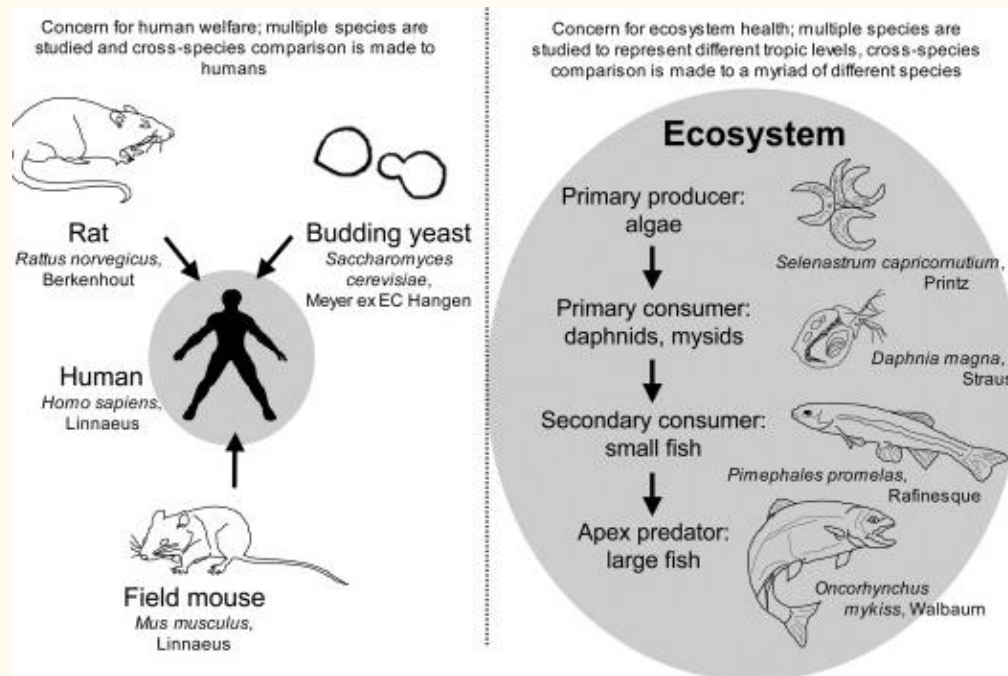
Vztahy v ekosystému



Toxikologie vs. Ekotoxikologie

Absorpce
Distribuce
Metabolismus
Eliminace

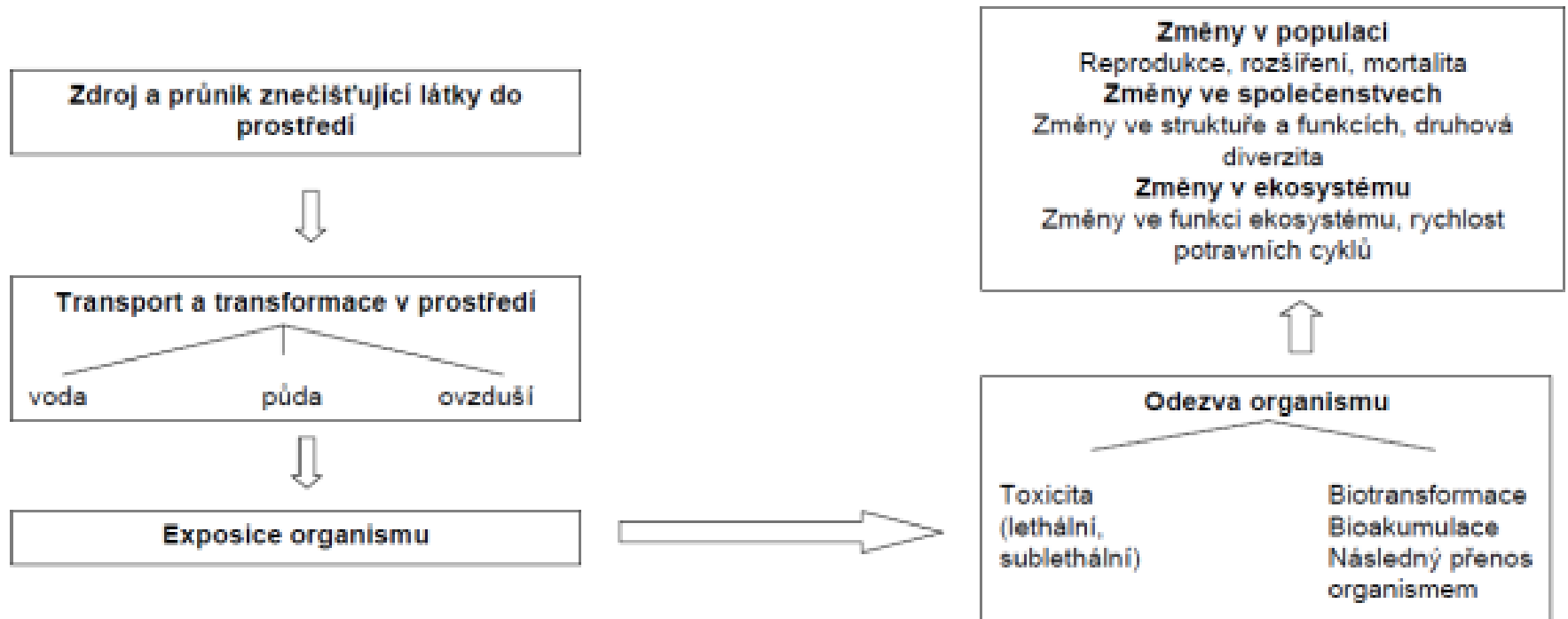
Uvolnění do prostředí
Distribuce a uložení v prostředí
Metabolismus
Žádná korelace (pohyb mezi
médii)



Toxikologie vs. Ekotoxikologie

	TOXIKOLOGIE	EKOTOXIKOLOGIE
Cíl	ochrana člověka před toxickými vlivy	ochrana populace jednotlivých druhů před toxickými vlivy
Cílový organismus	člověk, menší chyby při extrapolacích testů	jednotlivé druhy jsou velmi rozdílné (studenokrevní živočichové, rostliny, mikroorganismy), horší extrapolace
Používané testy	modelové testy (buňky, zvířata)	přímé testování citlivosti druhů
Měření toxicity	jednoduché dávkování a měření toxicity (LD50)	nejednotné dávkování i měření ekotoxicity (dle druhu organismu)
Mechanismy účinku	dobře charakterizované mechanismy působení toxických látek v organismu	méně informací o přesných mechanismech
Standardizace metod	dobrá standardizace testovacích metod	mnoho metod, málo standardních, obtížná predikce vlivů v ekosystémech

Ekotoxikologie



Ekotoxikologie – terminologie

Ekotoxicita

- nepříznivý účinek látek na životní prostředí spočívající v bioakumulaci či přímé toxicitě na živé systémy

Bioakumulace

- nárůst koncentrace cizorodých látek v tkáních organismů v důsledku expozice z prostředí nebo příjmu z potravy

Polutant

- látka znečišťující či kontaminující životní prostředí, zejména odpadní produkty lidské činnosti

Kontaminant

- látka, jejíž přítomnost způsobuje odchylku od přirozeného složení okolního prostředí, kontaminant není klasifikován jako polutant, pokud své okolí nepoškozuje

Látka nebezpečná pro životní prostředí

- látka, která vyvolává v prostředí toxický účinek, může být nebezpečná již při nízkých koncentracích, je odolná vůči rozkladu a má tendence se akumulovat jak v živých, tak i v neživých složkách prostředí

Ekotoxikologie – terminologie

Látka perzistentní v životním prostředí

- látka odolná proti rozkladu a dlouhodobě se udržující v prostředí, charakterizována dobou, po kterou setrvává v prostředí, nejčastěji tzv. **poločasem života** ($T_{1/2}$) – dobou, kdy koncentrace látky klesne na polovinu původní hodnoty

Bioindikátor

- organismus (bakterie, protozoa, rostliny, živočichové), který slouží k posouzení toxicity látek nebo působení vnějších podmínek

Biotest

- test, při němž je vybraný biologický systém (organismus, populace) exponován za přesně definovaných podmínek různým koncentracím zkoumané látky

Biodegradace

- schopnost biosystému (většinou organismus – bakterie) rozkládat škodlivé látky na méně škodlivé či neškodné, důležitá součást samočisticích procesů

Ekotoxikologie – terminologie

Imise

- znečišťující příměsi v atmosféře, ovlivňují příjemce (organismus, půda, stavební materiál), vznikají z **emisí** (vypouštění látek do ovzduší) po následné distribuci v ovzduší

PEC (Predicted Environmental Concentration)

- předpokládaná koncentrace látky v životním prostředí

PNEC (Predicted No Effect Concentration)

- nejvyšší předpokládaná koncentrace látky bez škodlivých účinků
- $PEC/PNEC < 1.0$ – riziko způsobené přítomností látky v životním prostředí je nízké

Riziko

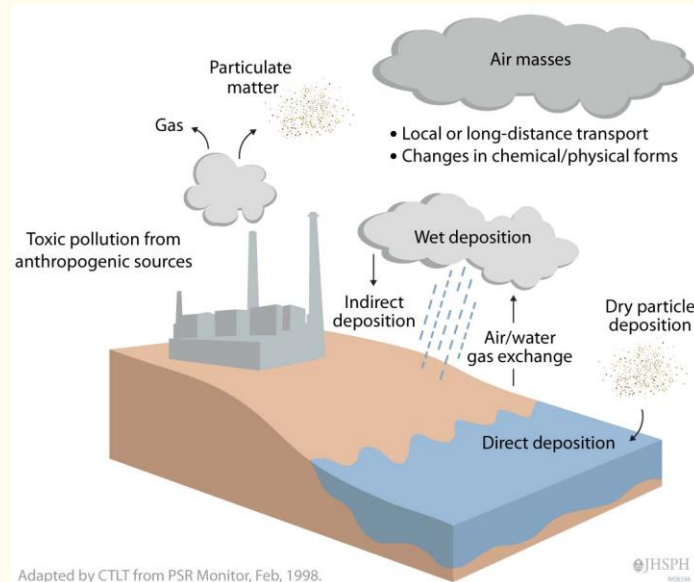
- pravděpodobnost, s jakou se při definované expozici určité látce projeví její toxicita, velikost rizika 0 – 1.0

Znečišťující látky v prostředí – polutanty

- ve většině případů se jedná o látky pocházející z antropogenní (lidské) činnosti a jsou škodlivé pro životní prostředí
- **přímý kontakt** nebo **zprostředkovaný vodou, půdou, vzduchem** nebo **potravním řetězcem**
- voda a vzduch transportují škodlivinu velmi rychle
- půda umožňuje pomalý transport látek a působí spíše jako rezervoár škodlivin (akumulace)
- díky propojení a návaznosti biochemických procesů se škodlivina dostane i do jiného prostředí, než které původně kontaminovala
- dochází tak k postupné **kontaminaci** všech složek životního prostředí

Znečišťující látky v ovzduší

- nejčastějšími zdroji znečištění ovzduší jsou **spalovací procesy** nutné k výrobě energií nebo probíhající ve spalovacích motorech dopravních prostředků, metalurgie, zemědělství a chemický průmysl
- **plyny** (SO_2 , NO_x , CO , uhlovodíky, NH_3)
- **aerosoly** jako adsorbenty aromatických uhlovodíků, sloučenin těžkých kovů, anorganických solí, mikrobů, vláken, spor



Znečišťující látky v ovzduší

Emise

- vypouštění nebo únik znečišťujících látek do prostředí ze zdrojů znečištění (tzv. **primární znečištění**)
- **stacionární** (průmysl, zejména emise SO₂, CO, tuhé látky)
- **mobilní** (doprava, zejména emise NO_x, CO, C_xH_y)

Imise

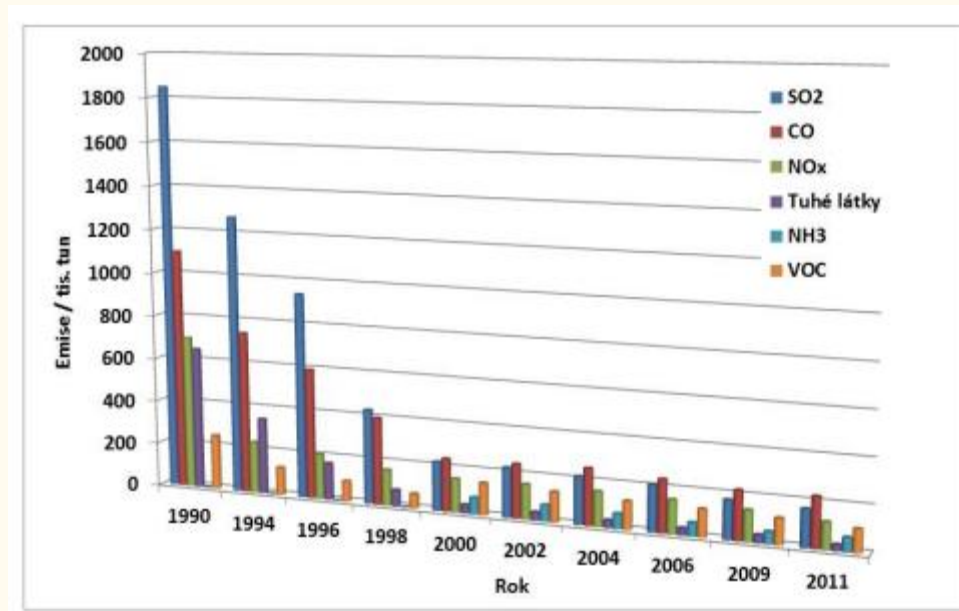
- přítomnost znečišťujících látek v ovzduší nebo jejich vznik v ovzduší (tzv. **sekundární znečištění**)
- množství udáváno v mg/m³ nebo µg/m³ , popř. v jednotkách ppb či ppm

Registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO)

- spravován ČHMÚ, sleduje SO₂, NO_x, CO, VOC (těkavé organické sloučeniny), NH₃ a TZL (látky pocházející z chovu hospodářských zvířat
 - ze steliva, krmiva, exkrementů)

Znečišťující látky v ovzduší

- v letech 1990 – 1998 – pokles emisí SO₂ o 78% díky restrukturalizaci průmyslu, zavedení emisních limitů, odsiřování
- **automatický imisní monitoring (AIM)**, provozovaný ČHMÚ (SO₂, NOx, prašný aerosol, CO)
- kvalita ovzduší se dělí na šest skupin – velmi dobrá, dobrá, uspokojivá, vyhovující, špatná a velmi špatná



Znečišťující látky v ovzduší



Smog

- vysoká koncentrace prachových částic v ovzduší, na nichž se mohou adsorbovat další látky, např. organické aromatické látky, oxidy síry nebo dusíku

Zimní smog (redukční, londýnský)

- vytápění domácností či spalování v teplárnách, v ovzduší zejména SO₂ a další látky, podléhající oxidaci

Letní smog (oxidační, losangeleský)

- plynné látky uvolňované do ovzduší dopravou ve velkých aglomeracích
- $\text{NO}_2 \xrightarrow{\text{UV}} \text{NO} + \text{O}\cdot$ $\text{O}\cdot + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_3$

Samočištění ovzduší – depozice

Suchá atmosférická depozice

- kontakt znečišťujících látek s povrchem půdy, hornin, vegetace, těl živočichů a staveb

Mokrá atmosférická depozice

- vymývání znečišťujících látek z ovzduší srážkami (déšť, sníh, rosa) → tzv. **kyselá dešť**
 - kyseliny sírová, dusičná (rozpuštění oxidů síry a dusíku v dešťové vodě), kyselina chlorovodíková (reakce chloru se vzdušnou vlhkostí)



Plynné látky v ovzduší

Oxid siřičitý (SO₂)

- spalování fosilních paliv (uhlí), od 80. let zlepšení díky odsiřování uhelných elektráren
- **přímý účinek:** podráždění dýchacích cest živočichů, inhibice fotosyntézy rostlin
- **nepřímý účinek:** vznik H₂SO₄, snížení pH vody a půdy (kyselá dešť)
 - ➔ rozpouštění toxických látek v půdě, vliv na vodní a lesní ekosystémy

Oxid uhelnatý (CO)

- zdrojem doprava a průmysl
- vazba na hemoglobin a snížení transportu kyslíku

Plynné látky v ovzduší

Ozón (O_3)

- silné oxidační činidlo, součást fotochemického smogu, dráždí sliznice dýchacích cest a oči
- jeden ze skleníkových plynů v troposféře
- součást tzv. **ozonoféry** (ochrana proti UV záření)

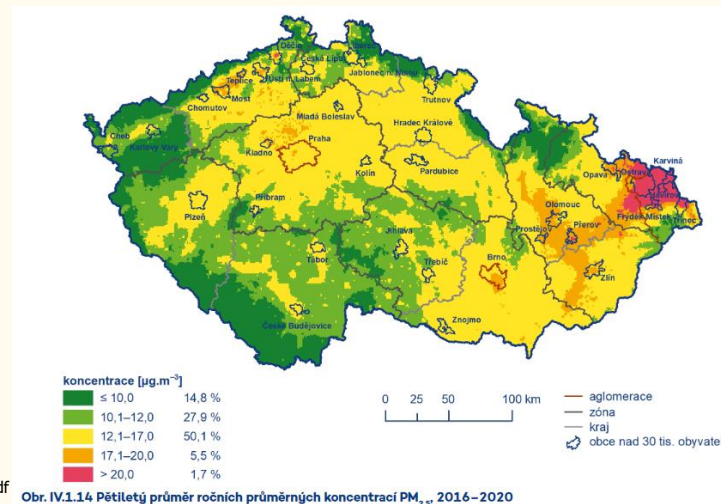
Oxidy dusíku (NO_x)

- NO_2 a NO , zdrojem emisí je doprava
- mokrou depozicí NO_x vzniká NH_4^+ a NO_3^-
- amoniak (NH_3) zdrojem dusíku v půdě, uvolňován zemědělskou činností (živočišná výroba, hnojení)
- NO_x součástí kyselých dešťů, radikály se podílejí na vzniku přízemního ozonu (letní smog)

Tuhé látky v ovzduší

Prašný aerosol

- měří stanice AIM
- **PM10, PM2,5** – částice pod 10 μm , resp. 2,5 μm
- pronikání do dýchacích cest, menší částice až do plic, kde vyvolávají zánětlivé změny (astma bronchiale)
- prašné částice mohou mít na svém povrchu naadsorbovány další toxické látky (kovy – Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn a As, polyaromatické sloučeniny)
- zdrojem je spalování fosilních paliv, průmysl a metalurgie



MUNI
PHARM

Znečišťující látky ve vodě

- povrchové a pozemní vody
- zdroje znečištění: obce, průmyslová výroba, zemědělství, skládky nebezpečných odpadů, havárie (ropné látky)

Kontaminace organickými látkami

- zpracování ropy, uhlí, výroby barev, laků, pesticidy v zemědělství
- netoxické organické látky (tuky, bílkoviny, sacharidy) se rozkládají a dochází ke spotřebě kyslíku, tím vzniká toxické anoxické prostředí



Znečišťující látky ve vodě

Kontaminace anorganickými látkami

- soli toxických kovů (Hg, Zn, Cu, Cr, Ni, Cd) z chemického průmyslu a při zpracování rud
 - vazba na sedimenty a jejich **bioakumulace**
- atmosférická depozice (kyselá dešť)
- **fosforečnany a dusičnany** (smyvy hnojiv), dochází k nadměrnému růstu řas a sinic při zvýšení obsahu živin – **eutrofizace vody**
 - při rozkladu odumřelého fytoplanktonu klesá obsah kyslíku ve vodách

Kontaminace biologickými látkami

- **viry, bakterie, plísně nebo prvoci** (patogenní organismy)
- v odpadních vodách z lidských sídel

- v ČR výrazné **zlepšení kvality vody** díky omezení produkce odpadních vod a zprovoznění nových čistíren odpadních vod

Znečišťující látky v půdě

- půda je nejsvrchnější vrstva zemské kůry, úložiště látek, životní prostředí rostlin, živočichů i člověka
- vliv na kvalitu dalších složek životního prostředí (rostliny, živočichové) a potravin

Eroze

- přirozený proces rozrušování povrchové vrstvy půdy a hornin
- chemické, fyzikální (klíma) a biologické vlivy (organismy)
- ↑ podíl člověka (zemědělství, odlesňování, těžba, stavebnictví)

Acidifikace půd

- zvýšený obsah SO_4^{2-} a NO_3^-
- vlivem okyselení se uvolňuje hliník, který negativně ovlivňuje růst rostlin a působí toxicky na vodní organismy

Znečišťující látky v půdě

Perzistující organické polutanty (POP)

- toxické chemické látky, které jsou těžko odbouratelné a velmi odolné vůči fyzikálně-chemickým i biologickým procesům
- obsahují nepolární molekuly, které se kumulují v tukových tkáních, a tím dochází k průniku do potravních řetězců

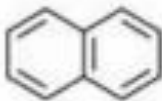
- polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)
- polychlorované bifenyly (PCB)
- polychlorované fenoly (PCP)
- organochlorované pesticidy (OCP)
- polychlorované dibenzo-para-dioxiny (PCDD)
- polychlorované dibenzofurany (PCDF)

Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)

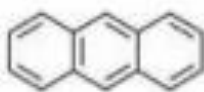
- tvořeny dvěma nebo více aromatickými (benzenovými) jádry
- málo rozpustné ve vodě, nepolární, hydrofobní charakter
 - rozpustnost ve vodě klesá s rostoucím počtem aromatických jader a stoupající molekulovou hmotností
- vznikají při spalování odpadů, metalurgii, výrobě hliníku, koksu, cementu, jsou součástí cigaretového kouře, uzenin a výfukových plynů
- pohyb vzduchem, vodou i půdou
- první prokázané karcinogeny
 - produkty rozkladu PAU jsou toxické a některé karcinogenní/ mutagenní
 - nejvíce karcinogenní jsou PAU s čtyřmi, pěti a šesti aromatickými cykly



Pyren



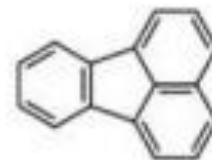
Naftalen



Anthracen



Benzo [a] pyren



Fluoranthen

Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)

- koncentrace větší v organismech než ve vodě díky lipofilitě
 - játra, ledviny, slezina, vaječníky

Toxicita

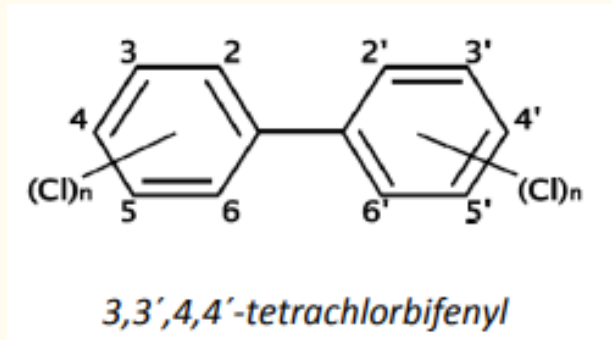
- **akutní**: toxické jsou PAU s nízkou molekulovou hmotností
- **chronická**: karcinogenní, mutagenní a teratogenní účinky
- **fototoxicita**: při působení UV záření vzrůstá toxicita (např. u koryšů, ryb, žab)

Eliminace

- fotodegradace (rozklad za přítomnosti O_2 a jeho radikálů)
- chemická oxidace (čistírenské procesy – ozonizace a chlorace)
- působení mikroorganismů a hub (rozklad na CO_2 a vodu)

Polychlorované bifenyly (PCB)

- dvě spojená benzenová jádra substituovaná 1 –10 atomy chloru
- málo rozpustné ve vodě, velmi odolné vůči chemickému i biologickému rozkladu
- podle stupně chlorace a polohy atomu chloru existuje 209 různých kongenerů PCB, biologicky nejvýznamnější jsou s 4 až 7 atomy chloru
 - biologická aktivita závisí především na poloze atomů chloru v molekule PCB (ortho- poloha Cl nejtoxičtější PCB)
 - k nejtoxičtějším patří 3,3',4,4'-tetrachlorbifenylyl a 3,3', 4,4', 5,5' – hexachlorbifenylyl
- média do kondenzátorů a transformátorů, součást hydraulických olejů a maziv, změkčovadel vosků, barev a inkoustů



Polychlorované bifenyly (PCB)

Toxicita

- indukce cytochromu P450
- akutní: nízká
- chronická:
 - ekzémy, dermatitidy a imunitní poruchy u člověka, možné karcinogeny
 - vysoká toxicita pro vodní živočichy, zejména bezobratlé – snížení reprodukčních schopností a poruchy růstu
 - teratogenní vliv u ptáků
 - poruchy imunity
- velmi pomalá degradace (poločas rozpadu až několik desítek let)
- PCB v ovzduší se váží na pevné částice a vymýváním deštěm se dostávají do vody, kde se adsorbují na pevné částice a ukládají se v sedimentech

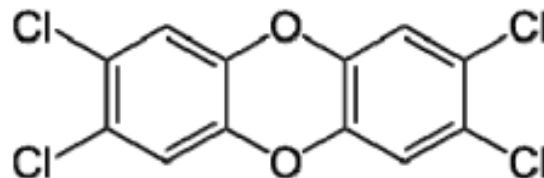
Nemoc Yusho a Yu-cheng

- Japonsko (1968) a Taiwan (1979)
- otrava **rýžovým olejem** kontaminovaným komerčním přípravkem na bázi **PCB** (Kanechlor-400)
- postižení kůže, jater a ledvin



Polychlorované dibenzo-para-dioxiny (PCDD) Polychlorované dibenzofurany (PCDF)

- tzv. **dioxiny**
- vedlejší produkty výroby pesticidů, spalování PCB za přítomnosti kyslíku (požáry transformátorů), spalování odpadů
- velmi stabilní látky, odolné vůči vysokým teplotám, rezistentní v životním prostředí (poločas rozpadu řádově stovky let)
- 210 kongenerů, nejtoxičtější je **2,3,7,8-tetrachlordibenzo-p-dioxin (TCDD)** – lidský karcinogen
- člověk přijímá dioxiny z 98 % z potravin, zejména z másla, mléka, sýrů, masa, vajec a ryb



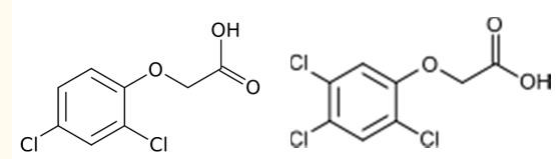
2,3,7,8-tetrachlordibenzo-p-dioxin (TCDD)

Dioxiny – havárie

Seveso – Itálie (1976)

- výbuch továrny vyrábějící herbicidy a uvolnění velkého množství toxických látek včetně asi 2,5 kg dioxinů
- teratogenita, karcinogenita, nefrotoxicita, hepatotoxicita





Dioxiny – válka ve Vietnamu

- **dioxiny (TCDD)** byly složkou defoliantů **Agent Orange** a **Agent White**, užívané americkou armádou
 - 2,4-dichlorfenoxyoctová a 2,4,5-trichlorfenoxyoctová kyselina
- poruchy zraku, nespavost, kožní onemocnění, solidní nádory a leukemie, poruchy plodnosti, teratogenita



Dioxiny – kontaminace krmiva

– **Belgie (1999)**

- směs polychlorovaných bifenyků (PCB) kontaminovaná dioxiny z nelegální skládky průmyslových olejů se dostala do recyklovaného tuku používaného při výrobě krmiv pro zvířata
- kontaminovaná **drůbež, vejce a vepřové maso**

– **Německo (2010)**

- dioxiny ve **vejcích a drůbeži**



Dioxiny – atentát

- ukrajinský prezident Viktor Juščenko (2004)
- chlorakné



Pesticidy

- látky používané k hubení organismů, které poškozují kulturní rostliny, zemědělské produkty, potravinářské produkty, průmyslové materiály, či ohrožují samotného člověka (vektory infekcí)
- zvyšují výnosy, zůstávají ale v životním prostředí a představují pro něj riziko

Plazmatické jedy – srážejí bílkoviny nebo dehydratují, narušují enzymy

Růstové regulátory, fytohormony – ovlivňují růst rostlin

Inhibice buněčného dělení (nitroaniliny)

Vliv na fotosyntézu a dýchání (deriváty močoviny)

Vliv na metabolismus nukleových kyselin, lipidů, karotenoidů (anilidy)

Vliv na syntézu proteinů (glyfosát)

Tvorba volných radikálů

Pesticidy – Insekticidy

– k hubení hmyzu v různých stádiích vývoje

Sloučeniny arsenu – svinibrodská (pařížská) zeleň

Chlorované uhlovodíky – DDT, lindan, hexachlorcyklohexan

– **DDT** (1,1,1-trichlor-2,2-bis(4-chlorfenyl)ethan)

- objev 1939 (P. Muller Nobelova cena)
- zákaz od r. 1974 – kumulace v tukové tkáni savců a průnik do potravního řetězce
- Africe se používá dodnes k potlačení malárie hubením komárů

Chlorované dieny – chlordan, aldrin, heptachlor

Organofosfáty – dichlorvos, disulfoton, diazinon, malathion

Karbamáty – karbaryl, aldicarb, carbofuran

Pyrethroidy – permethrin

Nitrofenoly, dinitrofenoly

Hormony a inhibitory růstu – diflubenzuron

- ovlivnění různých vývojových stádií hmyzu

Pesticidy – Rodenticidy, Moluskocidy

Rodenticidy

- látky k hubení hlodavců
- **warfarin** – antikoagulant
- **ANTU** (α -naftylthiomočovina), **deriváty močoviny** (promurit, chlorpromurit)

Moluskocidy

- látky k hubení měkkýšů
- **Metaldehyd (META-1)**, **pentachlorfenol**



Pesticidy – Herbicidy

- hubení nežádoucích rostlin a plevelů
- selektivní a neselektivní (vyhubení všech rostlin)

Chlorované karboxylové kyseliny – ovlivnění tvorby vosků

- Burex D – dalapon

Fenoxymastné kyseliny – ovlivnění metabolismu NK a buněčného dělení, vysoce selektivní herbicidy širokolistých a trávovitých plevelů

- Aminex, Fluroxypyr

Deriváty karbamidových kyselin – aplikace před vzejitím rostliny

- Liro, Betanal

Deriváty močoviny – inhibice fotosyntézy

- Afolon – linuron

Heterocykly (triaziny) – inhibice fotosyntézy

- Atrazin

Pesticidy – Fungicidy

– látky k hubení hub a plísní

Měďnaté fungicidy

– anorganické sloučeniny

– pentahydrát síranu měďnatého (modrá skalice) – moření semen

– organické sloučeniny

– naftenát měďnatý – ochrana dřeva, textilu a juty

Rtuťnaté fungicidy

– anorganické sloučeniny

– chlorid rtuťnatý – ochrana dřeva proti hnití

– organické sloučeniny

– alkylmerkurislučeniny a arylmerkurislučeniny – moření semen

Sírné fungicidy

– v ovocnářství proti padlí

Organické fungicidy

– sloučeniny s trichlormethylthioskupinou (kaptan)

– chlorované fenoly a chinony, nitrofenoly



Pesticidy v životním prostředí

Atmosféra

- hlavní transportní cesta pesticidů, forma par nebo aerosolů
- zachyceny pevnými částicemi v ovzduší

Pedosféra

- přímá aplikace, vymytí z atmosféry, při povodních nebo likvidaci odpadů
- chlorované uhlovodíky zůstávají v půdě několik let, deriváty močoviny několik měsíců, karbamáty a organofosfáty několik týdnů

Hydrosféra

- největší depo perzistentních pesticidů, akumulace v sedimentech
- přímá aplikace, z odpadních vod, povrchový splach, vyluhování z půdy

Ropné látky

- **ropa** – směs uhlovodíků s různou strukturou (alifatické, aromatické) a sloučenin s obsahem síry a dusíku
- rafinace a destilace
 - plyny, benzín, petrolej, plynový olej, lehký topný olej a mazut
 - těžké oleje a asfalt
- hlavní znečišťovatel oceánů
- **toxicita**
 - schopnost akumulace v živých organismech a potravních řetězcích
 - toxičtější rafinované produkty oproti surové ropě
- **eliminace** ropných látek z životního prostředí
 - **fotochemické procesy** (vznik reaktivních radikálů, peroxidů a ox. produktů)
 - **mikrobiální procesy** za přítomnosti bakterií a plísní (metabolizace uhlovodíků z ropy)



Kovy

- vyskytují se v litosféře v různých koncentracích a do prostředí se dostávají vlivem zvětrávání hornin
- **těžké kovy** – Cu, Zn, Cd, Hg, Pb, Cr, Ni, Mn a As
- zdrojem znečištění chemický průmysl a zpracování rud a kovů
- čím je sloučenina rozpustnější ve vodě a kyselinách, tím je její mobilita v prostředí vyšší

Olovo (Pb)

- úpravny rud, hutě, pigmenty do barev, insekticidy, používání olovnatého benzínu a akumulátory
- mobilita olova v půdách je nízká, soli olova málo rozpustné
- nejvíce olova se ukládá v kořenovém systému rostlin

Arsen (As)

- z hnojiv, insekticidů, léčiv, ochranných prostředků na dřevo, zpracování rud
- v půdách se vyskytuje zejména ve formě arsenitanů a arseničnanů

Kovy

Zinek (Zn)

- pigmenty do barev a glazur, galvanizace
- vysoká koncentrace inhibuje růst rostlin a fotosyntézu

Kadmium (Cd)

- kov v zinkových a olověných rudách, fosforečná hnojiva, pigmenty pro barvy a plasty, baterie, spalování fosilních paliv, kouření
- redukce růstu listů, hnědnutí kořenových vlásků, inhibice fotosyntézy a ovlivnění dýchání rostlin
- indukce oxidačního stresu

Rtuť (Hg)

- herbicidy, fungicidy, elektrochemie, zpracování rud, spalování fosilních paliv a katalytické procesy a baterie
- kovová rtuť a dimethylrtuť těkají do ovzduší a jsou přijímány listy rostlin
- kořeny rostlin přijímají rtuť ve formě rtuťnatých iontů
- ovlivnění fyziologických a biochemických reakcí v rostlinách

Testy ekotoxicity

- sledují reakce organismů, které jsou vystaveny prostředí obsahujícímu testovanou látku
- **LD50** (letální dávka, při níž uhynie 50 % sledovaných jedinců)
- **ED** (efektivní dávka, % jedinců, které reaguje na testovanou látku)
- **ED50** (efektivní dávka, při které reaguje 50 % jedinců)
- **další parametry** (změna hmotnosti, morfologické a anatomické změny)
- **doba expozice**
 - akutní, subakutní, chronické
- **pokročilost testu**
 - klasické testy, mikrobiotesty, biosondy, biomarkery
- **trofické vztahy**
 - producenti (rostliny), konzumenti (býložravci, masožravci), reducenti (bakterie, houby)

Testy ekotoxicity

Testovací organismy pro vodní prostředí

– bakterie

- testy MICROTOX, LUMITOX (bioluminiscence)
- *Vibrio fischeri*

– ryby

- danio pruhované, živorodka duhová, kapr obecný, pstruh duhový, halančík japonský, střevele

– korýši

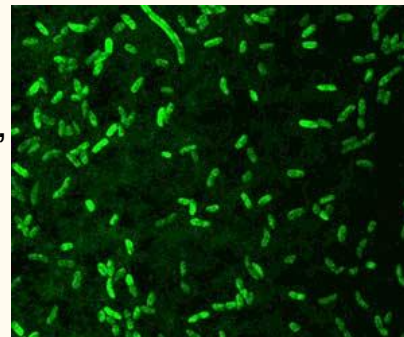
- hrotnatka velká (*Daphnia magna*)
- komerční sety pro hodnocení akutní toxicity: Daphtoxkit F™ magna, Rotoxkit F™

– řasy

- mořské i sladkovodní
- *Scenedesmus subspicatus* – sladkovodní řasa
- Algaltoxkit FTM (*Selenastrum capricornutum*)

– vodní rostliny

- okřehek (žabinec)



MUNI
PHARM

Testy ekotoxicity

Testovací organismy pro půdní prostředí

– bezobratlé organismy žijící v půdě
(žížaly, hlístice, chvostokoci)

– žížaly

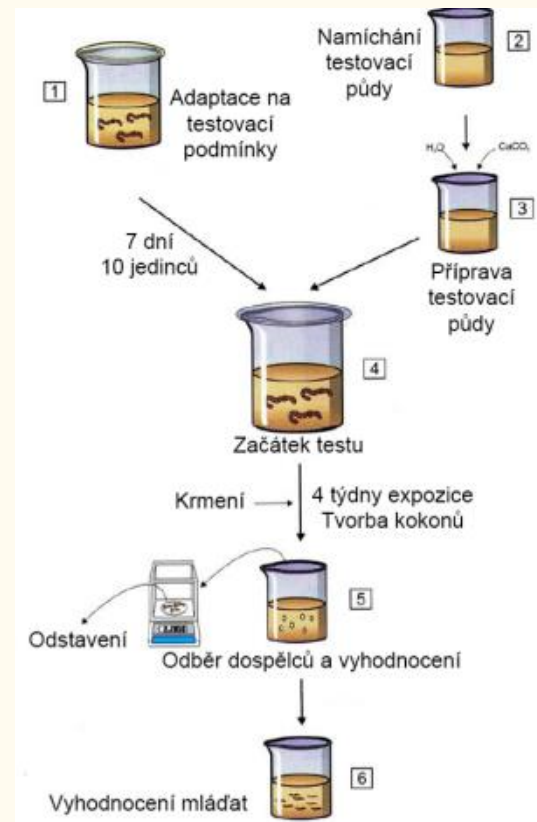
– *Eisenia fetida*, *E. fetida andrej*, *Lumbricus rubellus*, *L. terrestris*

– rostliny

– klíčivost semen a růst rostlin

– **jednoděložné rostliny** – kukuřice (*Zea mays*),
pšenice (*Triticum aestivum*), ječmen (*Hordeum vulgare*)

– **dvouděložné rostliny** – hořčice (*Sinapis alba*), salát setý
(*Lactuca sativa*), okurka setá (*Cucumis sativum*), rajské jablko
(*Lycopersicon esculentum*)



Bioindikátory

- organismy sloužící k **monitorování stavu ekosystému**
- velmi citlivé na změny životního prostředí

Lišejníky

- symbionti řasy a houby
- provazovky, větvičníky, terčovky

Houby

- hřib hnědý, hřib smrkový, svařetelka javorová

Rostliny

- mechy, jätrovky, gladioly, tabák, petúnie

Živočichové

- mandelinky, nosatci, jepice, měkkýši, ledňáčci



Děkuji za pozornost



**MUNI
PHARM**