

Ekotoxikologie. Kovy. Průmyslové látky

Ing. Věra Marešová, CSc
Ústav soudního lékařství a toxikologie
vera.maresova@lf1.cuni.cz

Ekotoxikologie

Ekotoxikologie je interdisciplinární vědní obor kombinující poznatky vědy studující ekosystémy (ekologie) a vědy studující interakce chemických látek s živými organismy (toxikologie). **Ekotoxikologie** se zabývá studiem působení škodlivých látek na ekosystém, studuje toxické vlivy v přírodě, v organismech, zejména vlivy v populacích a společenstvech, monitoruje a předpovídá osud a vlivy cizorodých látek v prostředí .

Ekosystém

- funkční soustava živých i neživých složek životního prostředí, které jsou navzájem spojeny výměnou látek, tokem energie a předáváním informací
- funkční soustava živých i neživých složek životního prostředí, které se navzájem ovlivňují a vyvíjejí v určitém prostoru a čase
- základní jednotka biosféry složená ze živých organismů (rostlin, živočichů, mikroorganismů) a okolního abiotického prostředí (fyzikálně – chemických faktorů)
- tok energie vede ke zřetelně definované trofické (potravní) struktuře, biotické rozmanitosti, koloběhu látek (k výměně látek mezi živými a neživými složkami) a výměně informace uvnitř této soustavy
- primárním zdrojem energie ekosystémů je Slunce

Ekotoxikologie

Ekologie

- název z řeckého oikos (dům) a logos (věda, rozprava)
- vědní disciplína z oblasti věd o životě (biologická disciplína) o vztazích mezi organismy navzájem (jedinci), mezi skupinami organismů (populacemi a společenstvy) a mezi organismy a jejich abiotickým neboli anorganickým prostředím (fyzikálně – chemické faktory)
- zabývá se sledováním vlivu škodlivých (toxických) cizorodých látek na volně žijící organismy v jejich prostředí
- zabývá se působením škodlivých látek z prostředí na člověka, ať už přímo ze složek prostředí (voda, ovzduší, půda), nebo prostřednictvím přirozených nebo člověkem řízených (výroba potravin) potravních řetězců

Ekotoxikologie

Toxikologie

- název z řeckého toxon (šíp) nebo toxikon (jedovatá látka, do které namáčela hroty šípů Hekaté a logos (věda, rozprava)
- využívá poznatků věd biologických (molekulární biologie, genetika, botanika, zoologie, mikrobiologie, lékařské vědy) a chemických (chemie analytická, anorganická, organická, biochemie)
- není jen sumou poznatků o jedech a jejich účincích
- zabývá se vzájemným působením chemických látek a živého organismu
- u většiny látek dochází po vstupu do organismu k jejich přeměnám – biotransformacím
- toxikologie má stránku popisnou, experimentální a teoretickou
- toxikologie je příbuzná farmakologii, která studuje příznivé i nepříznivé účinky léčiv

Základní pojmy

Toxicita – schopnost látky poškozovat živý organismus. Závisí na fyzikálně – chemických vlastnostech látky, způsobu vstupu látky do organismu, metabolismu látky, četnosti podání, dávce apod.

Xenobiotikum – cizorodá látka, která je organismu nebo prostředí cizí, není produktem ani meziproduktem fyziologického metabolismu.

Jed – toxická látka. Zda je látka jedem závisí na dávce a podmínkách působení. Jed má za následek toxický účinek na živý organismus.

Ekotoxikologie

Definice jedu:

Paracelsus (1492 – 1541): Všechny sloučeniny jsou jedy. Neexistuje sloučenina, která by jedem nebyla. Rozdíl mezi lékem a jedem tvoří dávka.

Riedel, Vondráček (1954): Jedem rozumíme látku, která vniknuvší do těla v malém množství (několik mikrogramů až desítek gramů), vyvolá chorobné změny, které mohou vést i k zániku organismu.

Merhold (1962): Jed je látka, která poškozují organismus již v malých dávkách. Hranice mezi malou a velkou dávkou není přesně určena.

Dávka – množství látky, které se dostane do organismu, je absorbováno.

Za jedy tedy považujeme jen ty látky, které jsou schopny vyvolat nepříznivý účinek – **otravu** již v malých dávkách.

Antidotum (protijed) – látka, která ruší účinek jedu na organismus.

Ekotoxikologie

Rozdíly mezi toxikologií a ekotoxikologií

	Toxikologie	Ekotoxikologie
Cíl	Chránit člověka před toxickými látkami	Chránit populace jednotlivých druhů
Cílový organismus	Člověk je dobře charakterizován, menší chyby při extrapolacích testů. Testovací organismy i člověk jsou teplokrevní.	Jednotlivé druhy jsou velmi rozdílné (studenokrevní živočichové, rostliny, mikroorganismy), míra nejistoty při extrapolacích výsledků je vysoká
Používané testy	Modelové testy (na zvířatech)	Přímé testování citlivosti druhů
Měření toxicity	Jednoduché dávkování a měření toxicity (LD ₅₀)	Nejednotné dávkování i měření ekotoxicity (závisí na druhu organismu)
Mechanismy působení	Dobře charakterizované mechanismy působení toxických látek v organismu	Méně informací o biochemických mechanismech
Standardizace metod	Dobře standardizované testovací metody	Mnoho metod, málo standardních, proto je obtížná predikce vlivů v ekosystémech

Ekotoxikologie

Rozdíly mezi ekologií (biologickou a chemickou) a ekotoxikologií

Ekologie	Ekotoxikologie
Velmi široký záběr studia (vztahy mezi organismy navzájem, jejich komunikace a vztahy mezi organismy a prostředím)	Zúžený zájem – organismy vs. prostředí, resp. negativní vlivy změn prostředí
Studuje spíše “fyziologické“ (přirozené) stavy – vlivy faktorů prostředí – teplota, vlhkost, světlo	Studuje nefyziologické stavy – nepřirozené látky v prostředí, nadměrné působení fyzikálních stresorů (hluk, záření, stavby)
Ekologie vychází z polních (ekologických) studií	Více informací o jednotlivých druzích, polní studie jen v omezeném množství

Ekotoxikologie

Ekotoxikologické testy sledují reakce, kdy je určený, často jednoduchý organismus s dobře známými životními projevy, stavbou těla a fyziologií v uměle připraveném prostředí vystaven známé koncentraci známé látky nebo je daný organismus vystaven působení neznámého prostředí (např. dafnie ve vodě o různých koncentracích solí těžkých kovů). Z reakce organismu se usuzuje na rizika plynoucí z expozice sledované známé nebo neznámé noxy pro volně žijící populace téhož či jiného organismu, který se např. testovaným exponovaným organismem živí nebo je mu způsobem života (či metabolismem) příbuzný. Z reakce organismu se usuzuje na rizika plynoucí z expozice sledované známé nebo neznámé noxy pro volně žijící populace nebo člověka.

První definice ekotoxikologie (1969): René Truhaut: studium nepříznivých účinků chemikálií s cílem chránit přírodní druhy a společenstva.

Rachel Carson (1962): monografie The Silent Spring poukazuje na používání pesticidů, především DDT a dalších agrochemikálií. Kniha vedla v USA k založení **Úřadu pro ochranu životního prostředí (US Environmental Protection Agency EPA)**.

Zavádění metod popisujících toxické účinky lidmi produkováných látek na životní prostředí a v něm obsažené organismy. Systematické zavádění metod testování toxicity na rybách. Vedle přímých toxických účinků se studují účinky biokoncentrace a bioakumulace – nárůsty koncentrace cizorodých látek v tkáních organismů v důsledku expozice z prostředí.

Ekotoxikologie

r. 2004 ratifikace ES: Protokol o perzistentních organických znečišťujících látkách

k Úmluvě o dálkovém znečišťování ovzduší přecházejícím hranice států z roku 1979

Cílem protokolu je omezovat, snižovat nebo vylučovat vypouštění, emise a ztráty perzistentních organických znečišťujících látek, které mají významné nepříznivé účinky na lidské zdraví nebo životní prostředí v důsledku dálkového přenosu ovzduším přes hranice států.

r. 2006 bylo vydáno nařízení Evropského parlamentu a Rady ES č. 166/2006, kterým se zřizuje **Evropský registr úniků a přenosů znečišťujících látek**. Představuje veřejně přístupnou databázi úniků znečišťujících látek do ovzduší, vody a půdy, informace o odpadních vodách informace o únicích znečišťujících látek z rozptýlených zdrojů.

r. 2003 byl Evropskou komisí přijat a Evropským parlamentem schválen návrh na nový rámec pro legislativu pokrývající bezpečnost chemikálií **REACH (Registration, Evaluation and Authorization of Chemicals)**. Podniky a firmy, které importují více než 1 tunu chemické sloučeniny ročně, budou nuceny tuto chemikálii registrovat v centrální datové bance. Cílem je zlepšit ochranu zdraví přírody, včetně lidí, zvýšit inovační kapacity a schopnost konkurence chemického průmyslu v Evropské unii. Nová opatření se týkají nejen nových chemických látek uváděných na trh, ale i látek, které se již delší dobu používají. Program má zajistit, aby nejpozději v roce 2020 byly používány pouze chemické látky se známými vlastnostmi a způsobem, který nepoškozuje zdraví člověka a životní prostředí.

Ekotoxikologie

Základní pojmy:

Ekotoxicita – vlastnost látky, která má okamžitý nebo opožděný nepříznivý účinek na životní prostředí tím, že je bioakumulována nebo působí toxicky na biotické systémy. Bioakumulace představuje nárůst koncentrace cizorodých látek v tkáních organismů v důsledku expozice z prostředí nebo příjmu z potravy.

Polutant – látka kontaminující, znečišťující prostředí, zejména jako produkt 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 je schopna vyvolat v prostředí toxický účinek. Může být nebezpečná již v malých koncentracích, odolná vůči různým formám rozkladu. Akumuluje se v abiotických i biotických složkách prostředí.

Látka perzistentní v životním prostředí – je charakterizována dobou setrvání látky v prostředí. Vyjadřuje se pomocí poločasu života ($T_{1/2}$), doby, kdy koncentrace látky klesne na polovinu původní hodnoty.

Ekotoxikologie

Základní pojmy:

Bioindikátor – organismus (mikroorganismus, prvok, houba, rostlina, nižší nebo vyšší živočich), který slouží k posouzení toxicity látek nebo působení vnějších podmínek.

Biotest – proces, při němž je testovací systém (organismus, populace) v přesně definovaných podmínkách vystaven různým koncentracím zkoumané látky.

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 nabývá hodnot od 0 do 1.0.

Nulové riziko znamená, že k poškození organismu nikdy nedojde.

Riziko = 1.0 znamená, že k poškození organismu dojde ve všech případech.

Ekotoxikologie

Základní pojmy:

Hodnocení rizika zahrnuje:

- vyhodnocení nebezpečnosti látky
- vyhodnocení vztahu mezi dávkou látky a biologickou odpovědí
- vyhodnocené expozice
- charakterizace rizika

Řízení rizika – rizika lze nejen odhadovat, ale také řídit, a tak omezovat jejich dopad na životní prostředí (např. zabránění nebo omezení kontaktu s toxickou látkou – užívání ochranných pomůcek pro člověka, dekontaminace prostředí, rychlé šíření přesných zpráv o riziku).

Ekotoxikologie

Stupnice toxicity podle dávky pro člověka a pro potkana

Charakteristika dávky	Potkan	Člověk	Příklady látek
Látka supertoxická	< 5 mg/kg	stopa – 7 kapek	Nikotin, As ³⁺ , botulotoxin
Látka extrémně toxická	5 – 50 mg/kg	7 kapek – lžička	BaCO ₃ , KClO ₃
Látka silně toxická	50 – 500 mg/kg	lžička – 50 ml	Cd ²⁺ , Pb ²⁺ , methanol
Látka mírně toxická	0.5 – 5 g/kg	50 – 500 ml	NaCl, FeSO ₄
Látka málo toxická	5 – 15 g/kg	0.5 – 1.0 l	ethanol
Látka prakticky netoxická	> 15 g/kg	více než 1.0 l	BaSO ₄

Ekotoxikologie

Rozdělení toxických látek podle kritérií WHO a EPA

Charakteristika látky Toxicita	Kriteria WHO	Potkan LD ₅₀ mg/kg	Kriteria EPA	Potkan LD ₅₀ mg/kg
Extrémně toxická	1a	< 5	I	< 50
Silně toxická	1b	5 - 50	II	50 - 500
Toxická	II	50 - 500	III	500 - 5000
Slabě toxická	III	> 501	IV	> 5000

WHO World Health Organisation - Světová zdravotnická organizace

EPA Environmental Protection Agency – Úřad pro ochranu životního prostředí v USA

Ekotoxikologie

LD₅₀ vybraných látek

Látka	Ethanol	NaCl	Morfin	Fenobarbital	Nikotin	Dioxin	Botulotoxin
LD ₅₀ mg/kg	10 000	4 000	900	150	1	0.001	0.00001

Expozice působení – proces, při kterém organismus přichází do styku s látkou a při kterém lze předpokládat vstup látky do organismu.

Účinek – je odpovědí organismu na expozici látkou. Toxické účinky závisí na koncentraci a dávce látky, způsobu kontaktu s organismem, na metabolitech látky, na místě účinku.

Účinek akutní – bezprostřední po jednorázové dávce toxické látky

Účinek chronický – po dlouhodobém styku s látkou

LD₅₀ – letální dávka, při níž uhynie 50% sledovaných jedinců. Látka je tím toxičtější, čím je nižší její číselná hodnota. Uvádí se druh testovaného zvířete (myš, potkan, pes) a způsob podání látky (zažívacím, dýchacím ústrojím, na kůži apod.).

ED – efektivní dávka, udává, jaké procento jedinců testovaného souboru reaguje po expozici testovanou látkou.

ED₅₀ – efektivní dávka, při které reaguje 50% jedinců souboru

ED₀ – efektivní dávka, při které nereaguje žádný jedinec testovaného souboru

Ekotoxikologie

Podle **mechanismu působení** lze **účinek toxické látky** rozdělit na

- **přímý toxický** – xenobiotikum působí přímo na orgán (játra, ledviny, plíce), tkáň, buňky, které poškozuje. Např. kyselina šťavelová krystalizuje v podobě šťavelanu vápenatého v tubulech ledvin. Silné kyseliny a zásady poškozují ty části organismů se kterými přišly do styku. Lipofilní látky (alkany, ethery) mohou reverzibilně narušit buněčnou membránu např. nervových buněk.
- **orgánová toxicita** – xenobiotikum působí na určitý orgán. Dochází k poškození až odumření buněk určitého orgánu:
 - játra – poškození hepatotoxické
 - ledviny – poškození nefrotoxické
 - plíce – poškození pneumotoxické
 - nervová soustava – poškození neurotoxické
- **mutagenní účinek** – působení xenobiotika na změnu struktury některé báze nukleové kyseliny (DNA a RNA). DNA uchovává genetickou informaci organismu, je tvořena dvojitými šroubovicemi – helixy. Báze, adenin – thymin a guanin – cytosin jsou k sobě poutány vodíkovými můstky. Porušení chemického složení a tím struktury DNA způsobují oxidační látky nebo alkylační činidla. Při alkylationi jednotlivých bází DNA jde o tvorbu methylderivátu stejné báze. Dochází ke změně kódované nebo přenášené genetické informace. Při mutaci jde také o změnu sekvence bází na DNA, jde o změnu pořadí nukleosidů v nukleových kyselinách. Mutace je změna genetické informace, která vede ke změně vlastností následující generace.

Ekotoxikologie

- **karcinogenní účinky** – změny v buňce vedou ke zhoubnému bujení tkáně, vzniká tumor (nádor). Změny jsou vyvolány: **poškozením opravných mechanismů** schopných opravit nebo nahradit poškozenou DNA **jinými mechanismy** působením chemické látky, která může s vysokou pravděpodobností vyvolat vznik zhoubných nádorů
- **teratogenní účinky** – poškození plodu (embrya), které vede ke tvorbě defektního jedince, který je životaschopný
- **imunotoxické účinky** – reakce imunitního systému na vstup látky do organismu. Je-li látka rozpoznána jako cizí, vyvolá v imunitním systému tvorbu protilátky. Imunitní odpovědi jsou různé reakce organismu od kožního podráždění, kopřivky, dýchacích potíží až po anafylaktický šok. Xenobiotika imunitní proces buď potlačí (imunosupresi vyvolává např. benzen, polycyklické aromáty, PCB, ozon), nebo zvýší (alergická reakce). Alergická reakce je vyvolána, pokud dojde k opětovné expozici organismu cizorodou látkou. S cizorodou látkou reagují již vytvořené protilátky.

Kovy

Mezi nejčastější kontaminaty životního prostředí patří rizikové prvky pocházející z antropogenní činnosti (znečištění zapříčiněné lidskými činnostmi). Pokud se dostanou do půdy přetrvávají v ní tisíce let a je obtížné eliminovat jejich účinky na rostliny a na úrodnost půdy. Povolené limity obsahů rizikových prvků pro půdy jsou uvedeny v legislativních předpisech: vyhláška č. 13/1994 Sb. a vyhláška č. 382/2001 Sb. definují úroveň znečištění půd v ČR. Vyšší obsahy rizikových prvků v půdách mají negativní účinky na biologické a fyzikálně – chemické procesy v půdách, dostávají se do potravinového řetězce a negativně působí na zdraví člověka.

Rizikové prvky RP– As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb a Zn (Alloway (1990), Adriano (2001))– patří k nejdéle známým toxickým látkám. Výrazný zájem o kovy a jejich chování v životním prostředí je vyvolán jejich rozsáhlým průmyslovým využitím.

- *stopové kovy* – jsou přítomné v organismu nebo v životním prostředí ve velmi nízkých koncentracích v jednotkách ppm (v lidském organismu např. Zn, Cr, Fe)
- *těžké kovy* – jsou označovány kovy o specifické hmotnosti vyšší než 5 g/cm³ (např. Cd, Hg, Pb)
- *toxické kovy* – působí škodlivě na člověka a ostatní biotické složky ekosystémů

Ekotoxikologie upřednostňuje pro kovy škodlivé pro životní prostředí termín těžké kovy: Cu, Zn, Cd, Hg, Pb, Cr, Ni, Mn a Fe a polokovy (metaloidy): As a Se.

Kovy

Nejdůležitější zdroje kontaminace životního prostředí rizikovými prvky
(Kafka, Punčochářová 2002)

Rizikový prvek	Zdroj kontaminace
Olovo	Úpravny rud, rafinerie, chemický průmysl, akumulátory, pigmenty do barev, olovnaté sklo, přípravky do glazur, hnojiva, insekticidy, spalování fosilních paliv, olovnatý benzin
Arsen	Zpracování rud, aditiva do skla, hnojiva, insekticidy, kouření, léčiva pro veterinární medicínu, ochranné prostředky na dřevo
Měď	Elektrotechnický materiál, slitiny (mosaz, bronz), komunální odpad, chemický průmysl, fungicidy, měděné dráty a plechy
Zinek	Galvanizace, pigmenty do barev a keramických glazur, slitiny (mosaz, bronz), zemědělství, komunální odpad, kouření

Kovy

Nejdůležitější zdroje kontaminace životního prostředí rizikovými prvky (Kafka, Punčochářová 2002)

Rizikový prvek	Zdroj kontaminace
Kadmium	Doprovodný kov v zinkových a olověných rudách, fosforečná hnojiva, pigmenty pro barvy a plasty, baterie, spalování fosilních paliv, kouření
Rtuť	Zpracování rud, herbicidy, fungicidy, elektrochemie, katalytické procesy, baterie, lékařství (teploměry, zubní amalgamy), spalování fosilních paliv
Chrómový	Chemický průmysl, pigmenty do barev, ochranné prostředky na dřevo, zpracování kůže, výroba cementu, pokovování, slitiny, spalování fosilních paliv
Nikl	Úpravny rud, hutě, rafinerie, baterie, pokovování, slitiny, kosmetické přípravky (šampony, laky na vlasy), kouření

Kovy

Olovo

- Vstup do organismu člověka trávicím ústrojím (vstřebá se 5 – 10 % Pb), plícemi a placentou.
- Vstřebané olovo je transportováno krví, kde je z 96 – 98 % vázáno na erythrocytech. Při dlouhodobé expozici se až 98 % olova ukládá v kostech.
- Postižení krvetvorného systému (anémie způsobená inhibicí syntézy hemu), nervového systému a to jak centrálního (encefalopatie), tak i periferního, trávicího ústrojí a ledvin. Zvýšení krevního tlaku a hladiny cholesterolu v krvi, poškození srdečního svalu.
- Akutní otrava je dnes řídká. Projevuje se nasládlou chutí v ústech, sliněním, nauseou, zvracením, křečovitými bolestmi žaludku.
- Chronická otrava se projevuje olověným lemem: temným až černým okrajem dásní, popelavým zbarvením kůže, změnou na červených krvinkách, poklesem tělesné hmotnosti, slabostí, psychickými změnami a retardací.
- Oxidy olova, olovnaté a olovičité soli jsou toxické se smrtelnými dávkami pro člověka 10 g. Olovnaté ionty jsou karcinogenní.
- Nebezpečné je tetraetraethylolovo, přidávané jako antidetonátor do benzínu.
- Intoxikace se projevuje bolestmi hlavy, nechutenstvím, nespavostí. Postižený se rychle unaví, dostaví se vegetativní poruchy: zpomalení srdeční činnosti (bradykardie), pokles tělesné teploty. Při akutní otravě se stupňují psychopatické příznaky, stoupají pokusy o sebevraždu.

Kovy

Olovo

- Pro lidský organismus je nejvíce rizikový vstup olova požitím, vede k vyšší zadrži (až 60% přijatého množství oproti 30% z inhalace).
 - Jako antagonisté mohou působit preparáty na bázi zinku.
 - Zdrojem olova v životním prostředí jsou emise benzínových motorů, metalurgie, energetika. Je obsaženo ve velkém počtu nerostů (biotit, muskovit, živce, křemičitany), z hornin nejvíce v kyselých vyvřelých horninách, dále v jílech a břidlicích.
 - Průměrný obsah olova v půdách je 5 – 50 mg.kg⁻¹.
 - Mobilita olova v půdách je nízká, soli olova jsou málo rozpustné (uhličitan, sírany), dobře se adsorbují na jílovou koloidní frakci i humus.
 - V rostlinách se nejvíce ukládá v kořenech, v nadzemních částech rostlin jsou koncentrace nízké i u půd silně kontaminovaných olovem.
 - Fytotoxicita se projevuje až u extrémně vysokých koncentrací.
- Z celé skupiny těžkých kovů je olovo nejméně toxické vůči dafniím (drobným koryšům), které jsou hlavními testovacími organismy v monitoringu životního prostředí.

Kovy

Arsen

- arsen patří mezi nejtoxičtější kovy. Arsenité sloučeniny jsou toxičtější než arseničné.
- Nejznámějším jedem je oxid arsenitý, As_2O_3 , arsenik neboli otruščík. Patří již od starověku mezi obávané travičské prostředky. Smrtná dávka pro člověka je 60 – 200 mg.
- Akutní otrava po požití se projevuje kovovou chutí v ústech, škrábáním a pálením v hltanu. Následuje úporné zvracení a prudké bolesti v břiše, později se dostaví průjem spojený s dehydratací jako u cholery. Později se dostaví křeče, anurie, zrychlený nepravidelný tep, paralýza a smrt. Tyto příznaky jsou důsledkem primárního působení na nervový systém. Při vyšších dávkách může mít otrava také paralytickou formu, projevující se celkovou slabostí, křečemi, ztrátou vědomí a ochrnutím dýchacího a vasomotorického centra.
- Dalším cílovým orgánem je imunitní systém, což se projevuje zejména při chronických otravách.
- Podobné účinky mají arsenitany. Arseničnany jsou méně toxické.

Kovy

Arsen

- arsenovodík, arsin, nyní arsan AsH_3 je plyn, který se objevuje jako nečistota v některých technických plynech.
- Jako AsH_3 se arsen prokazoval tzv. Marshovou zkouškou, kdy plynný AsH_3 vzniklý po termickém rozkladu materiálu se vysráží na stěně skleněné trubičky jako kovový As.
- J. M. Marsh v roce 1836 využil poznatky Scheeleho a Serullase a položil tak objevem a zavedením této analýzy základy toxikologické analytické chemie.
- Dnes se používají moderní metody atomové absorpční spektrometrie AAS, neutronové aktivační analýzy NAA.
- Intoxikace AsH_3 je charakterizována pálením v obličeji a nauzeou. Chronická otrava se projeví především v CNS polyneuritidou.
- Cirhóza jater a nefritida jsou následky každé závažnější otravy arsenem, jako pozdější účinky se uvádí nádorové bujení kůže, plic a horních cest dýchacích.
- Mezi nejméně toxické sloučeniny arsenu patří ve vodě téměř nerozpustné sulfidy – sulfid arsenitý As_2S_3 a sulfid arsenatý As_2S_2 .

Kovy

Arsen

- Je prokázáno, že arsen v roztoku je toxičtější než nerozpuštěný, pravděpodobně z důvodu jeho lepší absorpce. Rovněž trojmocné sloučeniny arsenu jsou toxičtější než pětímocné.
- Arsenitany mohou interagovat s thiolovými skupinami v enzymech a tvoří velmi stabilní thioarsenitany, čímž mohou inaktivovat některé enzymy (alaninamino-transferasa - ALT).
- Arseničnany s thiolovými skupinami přímo interagovat nemohou, nicméně mohou být redukovány mitochondriemi na arsenitany.
- Arseničnany a metylestery kyseliny arseničné však reagují s thioly in vitro a produkují disulfidy a thioarsenitany.
- Arseničnany mohou přemísťovat fosfor ve fosforylačních činidlech a významně tak ovlivňují jejich aktivitu. Bylo prokázáno, že pětímocný a trojmocný As jeví určité účinky v inhibici mitochondriální respirace a odpojení oxidace od fosforylace ADP na ATP.
- Vysoké obsahy As se často vyskytují v uhlí. V USA se průměrný obsah As v uhlí pohybuje v rozmezí 1 - 10 mg.kg⁻¹ zatímco v uhlí těžném v České republice bylo nalezeno až 1500 mg As.kg⁻¹.
- Je tedy zřejmé, že hlavními zdroji znečištění ovzduší a prostřednictvím plošného spadu i zemědělských půd arsenem jsou spalování uhlí a tavení kovů.

Kovy

Arsen

- Nekontaminované půdy obsahují obvykle 0,2 - 40 mg As.kg⁻¹, u kontaminovaných půd se obsah As zvyšuje až na 550 mg.kg⁻¹.
- V půdách se arsen vyskytuje hlavně ve formě arsenitanů a arseničnanů železa a hliníku, které jsou málo rozpustné, zvláště v kyselějších půdách.
- Mobilita arsenu je dána intenzitou sorpce v půdě a je určována zrnitostí půdy, obsahem humusu, obsahem aktivních oxidů železa a hliníku, pH a vlhkostí půdy.
- V podmínkách suchého klimatu jsou sloučeniny arsenu prakticky nepohyblivé. Nízký redox-potenciál zvyšuje redukcí As⁵⁺ na As³⁺ mobilitu půdního arsenu, který se následně snadno vyluhuje z podorničí.
- Při srovnatelných obsazích celkového arsenu v půdě je rostlinami méně přijatelný As z jílovitých půd s vysokým obsahem jílovitých minerálů a oxidů železa a hliníku ve srovnání s lehčími půdami.
- Hladina As v rostlinách 0,01 - 1 mg.kg⁻¹ se považuje za normální a obsahy 3 – 10 g.kg⁻¹ za fyto toxické. Ze zemědělských plodin jsou na účinky As nejcitlivější luštěniny.

Kovy

Selen

- Toxicita selenu a jeho sloučenin byla známa již od roku 1935, ovšem jeho esencialita pro savce byla identifikována až v roce 1957, kdy byla zjištěna jeho protektivní úloha při nekrose jater vyvolané avitaminosou E.
- V přírodě se vyskytuje mnoho organismů, které přijímají Se z okolního prostředí a jsou schopny ho zabudovat do svých tělesných struktur místo síry, které se selen, po chemické stránce, velmi podobá.
- V současné době je průměrný příjem populace ČR kolem 45 μg Se/den.
- V organismu se Se vyskytuje vázaný většinou v selenoproteinech nebo aminokyselinách, kde nahrazuje síru, např. selenomethionin, selenocystein.
- Se je součástí některých enzymů a enzymových systémů i nukleoproteinových a membránových komplexů.
- Se je mikrobiální prvek, v živých organizmech působí již v nepatrných koncentracích jako antioxidant. Ve vyšších dávkách je toxický.
- Akutní otravy jsou u člověka neobvyklé. Účinkem připomínají sloučeniny arsenu. Charakteristický je česnekový zápach vydechovaného vzduchu.
- Oxid seleničitý je silně dráždivý, působí na imunitní systém (senzibilizující účinek). Mezi nejtoxičtější sloučeniny selenu patří selan (selenovodík, H_2Se). Podobné toxikologické vlastnosti mají sloučeniny teluru.

Kovy

Selen

- Se patří mezi polokovy, řadí se k esenciálním prvkům
- V lidském organismu je součástí metaloenzymů, působí jako účinný antioxidant
- Snižuje toxicitu kadmia, rtuti, methylrtuti, thalia a stříbra tím, že mění jejich metabolismus
- Z hlediska medicínského má velký význam přímý vztah Se ke kardiovaskulárním, nádorovým a některým metabolickým onemocněním.
- V současné době je nejvíce přijímána teorie o ochraně před volnými kyslíkovými radikály prostřednictvím enzymu glutathion peroxidasy.
- V nedávné době byl zjištěn také významný vliv Se na metabolismus jódu. V tomto případě deficiencie Se inhibuje utilizaci jódu organismem a vlastně způsobuje jeho druhotnou deficienci.
- Do lidského organismu Se vstupuje prostřednictvím trofických řetězců z obilných produktů, z masných a mléčných výrobků.
- Otravy Se jsou řídké, příznaky jsou různé dermatitidy, poškození nehtů, zubů, vypadávání vlasů, zasažení CNS
- Biologicky dobře přístupnou formou Se pro rostliny a zvířata jsou rozpustné selenany SeSO_4^{2-} , které se tvoří v přírodě v alkalickém prostředí za oxidačních podmínek

Kovy

Měď

- Měď je biogenní prvek. Nedostatek mědi se projevuje anémií, která je výsledkem ztráty schopnosti absorbovat Fe^{2+} z potravy.
- Již mírný chronický nedostatek Cu vyvolává neurologické poruchy.
- Denní potřeba pro člověka je 2 – 5 mg.
- V párách při sváření a ve větších koncentracích je toxická. Dráždí lokálně kůži, vyvolává horečku, nauzeu, rozvíjí se gastroenteritida, poškození jater a ledvin.
- Smrtelná dávka mědi (rozpuštěných měďnatých solí) je 10 g. Rozpuštěné soli mědi mohou kromě anemie způsobit poškození jater, ledvin, zažívací potíže spojené s krvácením do zažívacího traktu
- Cu^{2+} ionty mají adstringentní a fungicidní účinky.
- Cu je akumulční xenobiotikum, hromadí se především v játrech a kostní dřeni.
- Soubor zdravotních problémů souvisejících s chronickou akumulací Cu v játrech, ledvinách, mozku a oční rohovce je označován jako Wilsonova nemoc. Dochází k poškození a funkční nedostatečnosti orgánů.

Kovy

Zinek

- Zinek je výrazně esenciálním prvkem, hrajícím životní roli ve všech aspektech buněčného metabolismu.
- Zn je součástí více než 200 enzymů či enzymových systémů (např. alkohol dehydrogenasy, alkalické fosfatasy, aldolasy, laktát dehydrogenasy, RNA a DNA polymerasy, reversní transkriptasy či Zn dependentní superoxid dismutasy).
- Všeobecně je známo, že Zn je součástí insulinu, ale paradoxem je, že na jeho biologický účinek má velmi malý vliv.
- Denní potřeba pro člověka je 25 mg.
- Zinečnaté ionty mají adstringentní a dezinfekční účinek. Nedostatek zinku se projevuje zpomalením růstu a kožními poruchami.
- Zinečnaté ionty jsou toxické, smrtelná dávka pro člověka je 10 g ZnSO_4 .
- Chronická expozice zinkem může vést k anémii na základě snížení obsahu železnatých iontů v séru.
- Zvláště toxické jsou páry kovového zinku.
- Zdrojem zinku v životním prostředí je hutnictví, městské aglomerace, kaly z čistíren odpadních vod. Přijatelnost zinku pro rostliny se zvyšuje se snižujícím se pH půdy a při nadbytku Fe v půdě.
- V rostlinách se kumuluje zejména v kořenech, ve vyšších koncentracích je fytotoxický.

Kovy

Kadmium

- Kadmium – je vysoce toxický kov. Způsobuje inhibici mnoha enzymů tím, že se váže na sulfanylové skupiny nebo kompeticí s biogenními prvky jako je železo, zinek a měď.
- Pro toxicitu Cd (jak v kovové formě, tak kademnatých solí) je rozhodující cesta vstupu. Cd i Cd^{2+} ion má silný emetický účinek. Po požití akutně toxických dávek se značná část vyzvrací. Smrtná dávka se pohybuje v rozmezí od 0.3 –8.9 g.
- Nebezpečnější je inhalace prachu a dýmů. Smrtná koncentrace pro člověka je 40 –50 mg/m³. Příznaky jsou dráždění dýchacích cest, svíravý pocit v hrdle, kovová chuť v ústech, kašel, příznaky podobné chřipce, lapání po dechu, píchání pod žebry, edém plic a smrt zástavou dechu. U přeživších obětí zůstává dlouhodobé poškození jater, ledvin a reprodukčních orgánů. Z chronických účinků jsou nejdůležitější karcinogenita (plíce, prostata), poškození reprodukčních orgánů – neplodnost, poškození jater, plic a kostí. Cd se kumuluje v ledvinách.

Kovy

Kadmium

- Retence kadmia přijatého v potravě u člověka nepřekračuje 25 %, střední letální dávka nebyla dosud jednoznačně stanovena.
- Kritickými orgány jsou varlata, plíce, ledviny a játra.
- V plicních alveolách se při dlouhodobé expozici absorbuje až 40 % inhalovaného Cd^{2+} .
- V játrech se kumuluje 50 – 75 % subtoxické dávky.
- Při koncentraci Cd 30 mg.kg^{-1} je kov imobilizován jako metalothionein, při koncentraci vyšší než 40 mg Cd.kg^{-1} se projeví toxický účinek změnami v hepatocytech a nekrotizací parenchymu.
- Kritická koncentrace Cd v kortexu ledvin je 200 mg.kg^{-1} , toxicita se projevuje změnami v buňkách proximálních tubulů nebo degenerací těchto tubulů.
- Byl prokázán teratogenní a mutagenní efekt kadmiových iontů a byly pozorovány chromozomové aberace.
- Hlavními zdroji kontaminace půd jsou odpady a spady z energetického, metalurgického a chemického průmyslu, dále pak fosforečná hnojiva, kaly z čistíren odpadních vod a některé průmyslové komposty.
- Rozpustnost kadmia v půdě roste s klesajícím pH (při hodnotě pH nižší než 5 je více než 80 % půdního kadmia schopno migrace).

Kovy

Rtuť

- **Rtuť** – a její sloučeniny patří mezi známé jedy. Jediný kov za normální teploty tekutý. Je-li atmosféra nasycena kovovou rtutí za teploty 20°C, obsahuje asi 19 mg/ m³ Hg. Je to koncentrace akutně netoxická, ale rtuť má schopnost významně se kumulovat v těle, proto při inhalaci par rtuti dochází k chronické otravě. Zvlášť významné riziko intoxikace je tam, kde se pracuje se rtutí za vyšších teplot.
- Rtuť se váže na sulfanylové skupiny a tím inhibuje nekompetitivně řadu enzymů.
- Působí na nervový systém, ledviny, plíce, kůži.
- Po požití vyvolává kovová rtuť zvracení, je často vyloučena bez dopadu na organismus.
- Vzhledem ke kumulaci ve tkáních je však možná otrava opakovanými menšími dávkami.
- Rozpustné soli jsou silně toxické. Mezi nejtoxičtější patří chlorid rtuťnatý, sublimát, jehož smrtelná dávka je 0.1 – 0.5 g. Méně toxický je chlorid rtuťný (Hg₂Cl₂, kalomel) a sirník rtuťnatý (rumělka), díky malé rozpustnosti ve vodě.
- Akutní otrava rtuťnatými solemi se projevuje kovovou chutí v ústech, temným lemem sirníku rtuťnatého kolem zubů, krvácivostí a hnisáním dásní, nevolností, zvracením, později průjmem, někdy zánětem ledvin, třesem, poruchami řeči a chůze. Na kůži a na sliznici žaludku a dvanáctníku se tvoří vředy. Významnější než akutní otravy jsou otravy chronické.

Kovy

Rtuť

- Příjem rtuti organismem je možný jak plicemi, tak i trávicím ústrojím metylrtuť se zde vstřebává ze 100 %), ale i kůží a placentární bariérou.
- Při akutní intoxikaci anorganickými sloučeninami rtuti dochází k poškození trávicího ústrojí a ledvin, intoxikace organickými sloučeninami rtuti vede k poškození nervového systému (degenerace neuronů v mozkové kůře, atrofie mozkové kůry).
- Byl prokázán karcinogenní účinek methylrtuti.
- Zdrojem rtuti v životním prostředí je hutnictví, energetika (spalování fosilních paliv), kaly z čistíren odpadních vod. Značná schopnost metylace rtuti působením některých mikroorganismů a kumulace organických sloučenin rtuti v rostlinných i živočišných organismech.
- Obsah rtuti v půdě se pohybuje v rozmezí $0,002 - 0,2 \text{ mg.kg}^{-1}$, transformace rtuti v půdách ovlivněna mikrobiální činností v půdě.
- Fytotoxický účinek se projevuje poruchami vnitřního uspořádání chloroplastů, zvětšením endoplazmatického retikula a mitochondrií.
- Ovlivňuje fotosyntetické reakce, a to více v organické formě než v anorganické.

Kovy

Chrom

- **Chrom** – je v kovové formě málo toxický, toxicita sloučenin je závislá na oxidačním stupni. Sloučeniny chromičité jsou velmi málo toxické, chromnaté a chromité málo toxické, mají však dráždivý účinek na kůži a sliznice zažívacího traktu, vyvolávají alergie.
- Nejvíce toxické jsou sloučeniny chromové, oxid chromový, chromany a dichromany. Jsou to významné karcinogeny, vedou k rakovině plic, některé mají mutagenní účinky, poškozují játra a ledviny a způsobují vnitřní krvácení. Mohou také silně dráždit kůži a sliznice, vyvolávat vředy na kůži, žaludku a dvanáctníku.
- Inhalační chronická intoxikace chromových sloučenin vyvolává podráždění nosní sliznice, kýchání a krvácení z nosu. Větší dávky vyvolávají proděravění nosní přepážky. Těžká akutní otrava se projevuje závratí, zvracením, mrazením, zrychlením tepu a bolestí žaludku.
- Inhalací prachu se dráždí dýchací cesty, vzniká dušnost a cyanoza.
- Cr je biogenní prvek, jeho potřeba je 20 mg denně.

Kovy

Chrom

- Sloučeniny Cr^{6+} jsou klasifikovány jako jeden z nejvýznamnějších kontaminátů životního prostředí, zejména atmosféry, ale i ostatních abiotických složek jako je hydrosféra a pedosféra.
- Šestimocný kation Cr^{6+} je v životní prostředí velmi mobilní, zvláště v půdních vodách.
- Pro většinu rostlin je Cr^{6+} značně toxický, při vysokém obsahu klesá úrodnost půdy.
- Některé rostliny (včetně průmyslových, např. obilí), mohou přijímat koncentraci chromu z půdy, většinou ji zadrží ve svém kořenovém systému, chrom tak nepřechází do dalších pletiv tvořících nadzemní část rostliny.
- Z potravin obsahují zvýšené množství chromu např. některé druhy koření, maso, nerafinovaný cukr.

Kovy

Nikl

- **Nikl** – je toxický prvek. Toxické jsou veškeré nikelné sole (chlorid, dusičnan, fosforečnan nebo síran), oxid a tetrakarbonylnikl ($\text{Ni}(\text{CO})_4$).
- Nikl lokálně dráždí a působí kožní záněty, charakteristickou dermatitidu.
- Prach vznikající při zpracování niklových součástí může být příčinou vzniku rakoviny plic nebo rakoviny nosní a krční sliznice.
- Mutagenita Ni byla prokázána pouze u testovaných zvířat.
- Akutní otrava po požití má za následek závratě, ztížené dýchání, cyanozu, edém plic, poškození zažívacího traktu, cév, ledvin, srdce a CNS.
- Při chronickém působení nastává poškození srdečního svalu, ledvin a CNS, způsobuje alergie, erosi nosní přepážky a rakovinu plic.
- Zdrojem expozice niklu je hutnictví, galvanické pokovování, výroba nikl – kadmiových článků, spalovny komunálního odpadu a kouření.
- Nejtoxičtější sloučeninou niklu je tetrakarbonylnikl.
- Nikl se může vyskytovat jako kontaminant ve všech typech abiotického prostředí.
- Znečištění půd niklem je oproti vodám významnější. Jde o lokality v blízkosti hutí a rafinerií niklu, kde dochází často k úplné devastaci přirozené vegetace.

Průmyslové látky

Hlavními zdroji antropogenního znečištění ovzduší jsou:

- spalování fosilních paliv
- automobilová doprava
- výrobní procesy v petrochemickém a hutním průmyslu
- lesní požáry a sopečná činnost

Mnoho průmyslových zemí reguluje předpisy maximální povolenou koncentraci vybraných polutantů v atmosféře.

Tvorba smogu:

Zimní smog – typický pro zimní období, kdy se intenzivně topí (v teplárnách, v domácnostech). Vzniká v období inverzního počasí. Spaliny zůstávají v přízemní vrstvě atmosféry.

Letní (ozónový smog) – vytváří se zejména ve městech s hustým automobilovým provozem při horkém letním počasí s intenzivním slunečním zářením. Hlavní příčinou jsou výfukové plyny, které obsahují oxidy dusíku a zbytky organických sloučenin. Za těchto podmínek vzniká ozón.

Průmyslové látky

Škodlivé sloučeniny vznikající ve spalovacích procesech (Horák et al. 2004)

Produkt spalování	Podmínky ovlivňující tvorbu	Účinek
CO ₂	Vzniká vždy.	Je netoxický, běžná součást atmosféry, ovlivňuje skleníkový efekt.
H ₂ O	Vznik závisí na obsahu vodíku v palivu.	Neškodná součást paliva.
CO	Obsah závisí na přebytku vzduchu a na úrovni řízení spalovacího procesu.	Váže se na krevní barvivo a snižuje schopnost krve přenášet kyslík, je škodlivou složkou výfukových plynů.
NO _x	Vznikají reakcí vzdušného N s kyslíkem, vzniklé množství je závislé na teplotě a režimu spalování. Při vysoké teplotě jich vzniká více.	Jsou dráždivou složkou spalin, jsou složkou způsobující tvorbu zimního i letního smogu. V ovzduší přecházejí na kyselinu dusičnou a jsou složkou kyselých dešťů.
SO ₂	Vzniká ze sloučenin síry přítomných v palivu, do spalin přejde prakticky veškerá síra v palivu.	Je dráždivou součástí spalin, v ovzduší přechází rychle na kyselinu sírovou, jednou ze součástí způsobující tvorbu zimního smogu. Je základní složkou kyselých dešťů.
Zbytky paliva	Zbytky nespálených a nedokonale spálených organických sloučenin.	Mají dráždivé vlastnosti. Jsou součástí způsobujícími tvorbu zimního i letního smogu.
Prachové částice	Tvořeny popílkem a zbytky nespálených látek, jejich vznik je závislý na použitém palivu.	Mají dráždivé účinky. Spolupůsobí při tvorbě zimního i letního smogu. Někdy obsahují karcinogenní kondenzované PAH.

Průmyslové látky

Perzistentní organické polutanty (POP)

Perzistentní organické polutanty jsou látky, které se do životního prostředí dostávají pouze vlivem lidské činnosti, a to buď úmyslně (např. pesticidy) nebo jako únik z antropogenních aktivit (výroba, transport, doprava, chemické havárie apod.) Hlavním důvodem jejich sledování je prokázané široké spektrum toxických účinků těchto látek.

Perzistentní organické polutanty:

- polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH = polycyclic aromatic hydrocarbons)
- polychlorované bifenyly (PCB = polychlorinated biphenyls)
- organické pesticidy (OCP = organophosphate and carbamate pesticides)
- polychlorované dibenzo-p-dioxiny (PCDD)
- polychlorodibenzofurany (PCDF)

Průmyslové látky

POP jsou silně rezistentní vůči degradacím (chemickým i biologickým), mají nepolární molekuly kumulující se v tukových tkáních. Proto dochází k jejich silnému průniku do potravních řetězců.

Polycylické aromatické uhlovodíky PAH

- Uvolňují se při nedokonalém spalovacím procesu:
do prostředí se dostávají při výrobě energie, spalování odpadů, ze silniční dopravy, při krakování ropy, při výrobě hliníku, při výrobě koksu, asfaltu cementu, z metalurgie, z rafinérií, krematorií, z požárů, vulkanické činnosti při kouření, uzení masa apod.
- Molekuly PAH jsou tvořeny dvěma nebo více kondenzovanými benzenovými jádery s konjugovaným systémem dvojných vazeb
- Jsou prokázanými karcinogeny
- Sledováním PAH v ekosystémech bylo zjištěno, že z atmosférického množství PAH 10% vstupuje přímým spadem do půdy, 45% zachytí ve formě spadu vegetace, 5% je deponováno do vodních ploch, zbytek podléhá chemické transformaci v atmosféře

Průmyslové látky

Polychlorované bifenyly (PCB)

- Jsou synteticky vyráběné chemické látky, substituované 2 – 10 atomy chloru
- V 70. letech 20. století se rozšířily jako výborné nehořlavé teplotně odolné kapaliny v transformátorech a těžkých strojních zařízeních, chladicí oleje v elektrických zařízeních, plastifikátory polymerů, přísada do barev, nátěrových hmot, tiskařských barev, součást přípravku na ochranu rostlin, složka nátěrů v zemědělství
- Ukládají se v tělesných tucích, odkud se jen velmi pomalu vylučují
- K otravě může dojít po dlouhodobé expozici nízkým dávkám
- Při chronickém působení způsobují ekzém, dermatitidy
- PCB jsou neurotoxické, hepatotoxické a patří mezi podezřelé karcinogeny
- Účinek závisí na zastoupení jednotlivých PCB ve směsi
- Toxicita jednotlivých zástupců ve směsi se kvantitativně značně liší
- Spalováním PCB vznikají ještě mnohem toxičtější látky:
polychlorované dibenzo-p- dioxiny (PCDD)
dibenzofurany (PCDF)
- V současnosti je použití PCB povoleno jen pro speciální aplikace, např. v důlních zařízeních v prostředí nebezpečí požáru
- Dnes je koncentrace PCB v mléku, mase a másle sledována

Průmyslové látky

Organické pesticidy (OCP)

- Látky nebo směsi látek používaných proti organismům, které poškozují kulturní rostliny, zásoby zemědělských produktů, potravinářské produkty, průmyslové materiály a výrobky.
- Toxický účinek pesticidů je založen na extrémním toxickém zásahu do metabolismu organismu.

- Děli se na:
 - fungicidy
 - insekticidy
 - herbicidy
 - ostatní zooticidy

Průmyslové látky

DDT (dichlorodifenyltrichloethan) organochlorovaný insekticid

- Objeveno r. 1939 P. Müller - Nobelova cena
- Po objevu masově rozšířený insekticid (hubení komárů přenášejících malárii, hubení vší)
- V přírodě se šíří s koloběhem vody, významně těká s vodní párou
- Pomalá eliminace (1% denně), dosud se rozšiřuje potravním řetězcem
- Pomalá degradovatelnost je nebezpečná pro životní prostředí
- V ČR zakázáno od r. 1974, jeho rezidua se objevila v orgánech savců neodbourává se, kumuluje se v tukových tkáních, proniká do potravního řetězce
- Při akutní otravě jsou příznaky excitace a dysfunkce CNS, u perorální otravy nauzea, zvracení, desorientace, závratě, slabost, křeče, kóma
- Při chronické otravě působí neurotoxicky a imunotoxicky, je to podezřelý karcinogen, přestože karcinogenita byla prokázána pouze u zvířat
- Při podezření na profesionalitu intoxikace je třeba mít na paměti relativně nízkou toxicitu

Použitá literatura:

Horák J., Linhart I., Klusoň P. Úvod do toxikologie a ekologie pro chemiky VŠCHT
Praha 1999

Pavlíková D., Pavlík M., Matějů L., Balík J. Ekotoxikologie ČZU Praha 2009