

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V NITRE

Fakulta európskych štúdií
a regionálneho rozvoja

Katedra regionálnej
bioenergetiky

Ing. Žaneta Pauková, PhD.

ZÁKLADY TOXIKOLÓGIE A EKOTOXIKOLÓGIE



Nitra 2020

Vydala Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
vo Vydavateľstve SPU

Autorka: Ing. Žaneta Pauková, PhD. (3,86 AH)
Katedra regionálnej bioenergetiky
FEŠRR, SPU v Nitre

Recenzenti: prof. RNDr. Oľga Kontrišová, CSc.
doc. Ing. Helena Hybská, PhD.

Schválila rektorka Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre dňa 4. 5. 2020
ako online skriptá pre študentov SPU.

© Ž. Pauková, Nitra 2020

ISBN 978-80-552-2165-6

Obsah

Zoznam ilustrácií.....	5
Zoznam tabuliek.....	6
Úvod.....	7
1. Definícia ekotoxikológie a jej prepojenie s inými vedami.....	8
1.1 Historický vývoj toxikológie.....	13
1.2 Základné pojmy.....	16
1.3 Delenie toxických látok podľa účinku.....	20
1.3.1 Všeobecné účinky.....	20
1.3.2 Špecifické účinky.....	20
1.3.3 Systémové účinky.....	21
1.3.4 Alergizujúce účinky.....	22
1.3.5 Karcinogénne účinky.....	22
1.3.6 Mutagénne účinky.....	24
1.3.7 Teratogénne účinky.....	24
1.4 Ekologická toxikológia.....	26
2. Expozícia a účinok toxických látok.....	32
2.1 Vstup toxických látok do organizmu.....	34
2.1.1 Vstup inhalačne.....	34
2.1.2 Vstup perorálne.....	35
2.1.3 Vstup perkutánne.....	36
2.1.4 Vstup parenterálne.....	37
3. Toxické účinky vybraných ťažkých kovov.....	39
3.1 Hlavné skupiny anorganických prvkov.....	39
3.1.1 Skupina IV - olovo.....	39
3.1.2 Skupina V - arzén.....	40
3.2 Vedľajšie podskupiny anorganických prvkov.....	40
3.2.1 Skupina Ib - meď.....	40
3.2.2 Skupina IIb - zinok.....	41
3.2.3 Skupina VIb - chróm.....	42
3.2.4 Skupina VIIb - mangán.....	43
3.2.5 Skupina VIIIb - kobalt, nikel.....	43

4. Fytoremediácia.....	46
4.1 Fytoremediačné techniky.....	47
4.1.1 Fytoextrakcia.....	48
4.1.2 Rhizofiltrácia.....	49
4.1.3 Fytovolatilizácia.....	49
4.1.4 Fytostabilizácia.....	49
4.1.5 Fytodegradácia.....	50
4.1.6 Fytostabilizácia.....	50
4.1.7 Fytoremediačné metódy.....	50
4.1.8 Príjem ťažkých kovov rastlinami.....	53
4.1.9 Transport ťažkých kovov v rastline.....	56
4.1.9.1 Membránový transport.....	56
4.1.9.2 Radiálny transport.....	57
4.1.9.3 Translokácia látok v rastline.....	57
4.1.10 Výhody a nevýhody fytoremediácie.....	57
5. Prehľad ekotoxikologických biotestov.....	59
5.1 Podľa doby expozície.....	59
5.1.1 Akútne testy.....	59
5.1.2 Subchronické testy.....	59
5.1.3 Chronické testy.....	59
5.2 Výpočet inhibície rastu.....	60
5.3 Test inhibície rastu koreňa vyššej kultúrnej rastliny.....	62
5.4 Test akútnej toxicity na perloočkách.....	63
5.5 Test inhibície (stimulácie) rastu žaburinky.....	64
Literatúra.....	67

Zoznam ilustrácií

Obrázok 1 Postavenie ekotoxikológie medzi vednými odbormi (Anděl, 2011).....	9
Obrázok 2 Príklady väzby vodíkových mostíkov DNA a RNA.....	24
Obrázok 3 Jednotlivé obdobia vývoja orgánov ľudského plodu a ich citlivosť ku teratogénom (Moore, 1993).....	25
Obrázok 4 Talidomid (vľavo) a Akutan (vpravo).....	26
Obrázok 5 Dichlórdifenyiltrichlóretán (DDT).....	29
Obrázok 6 Biomagnifikácia DDT potravinovým reťazcom.....	30
Obrázok 7 Dýchacia sústava (https://www.registerednursing.org/teas/respiratory-system/)....	35
Obrázok 8 Tráviaca sústava (https://encyklopediapoznania.sk/clanok/6396/traviaca-sustava).....	36
Obrázok 9 Zloženie kože (https://www.dixo.sk/kozne-zmeny/).....	37
Obrázok 10 Fytoremediačné techniky (Dengra Xavier, 2015).....	48
Obrázok 11 Klasifikácia metabolicky a nutrične dôležitých prvkov (Fagrašová, 2008).....	53
Obrázok 12 Akumulácia ťažkých kovov v rastline (Prasad, 1998).....	54
Obrázok 13 Rozdelenie ťažkých kovov v nadzemných a podzemných orgánoch rastlín (Prasad, 1999).....	54
Obrázok 14 Horčica biela (<i>Sinapis alba</i>), semená (vľavo) a vyklíčené rastliny (vpravo) (Kijovská, 2013).....	62
Obrázok 15 Perloočka veľká (<i>Daphnia magna</i>) (Kijovská, 2013).....	63
Obrázok 16 Žaburinka menšia (<i>Lemna minor</i>) (Kijovská, 2013).....	65

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1 Rozdiely medzi toxikológiou a ekotoxikológiou (Fargašová, 2008).....	10
Tabuľka 2 Rozdiely medzi ekológiou (biologickou a chemickou) a ekotoxikológiou (Fargašová, 2008).....	10
Tabuľka 3 Podskupina karcinogénov životného prostredia a výživy.....	23
Tabuľka 4 Stupnice toxicity podľa dávky pre človeka a potkana.....	33
Tabuľka 5 Rozdelenie toxických látok podľa kritérií WHO a EPA.....	33
Tabuľka 6 Letálna dávka vybraných látok, pri ktorej uhynie 50 % jedincov.....	33
Tabuľka 7 Akútny a chronický účinok vybraných ťažkých kovov (https://www.vitarian.sk/clanky/zdravie/2016/toxicke-tazke-kovy).....	45
Tabuľka 8 Prehľad a charakteristika fytosanačných metód (Frankovská a i., 2010).....	52
Tabuľka 9 Podmienky testu inhibície rastu horčice bielej (<i>Sinapis alba</i>).....	62
Tabuľka 10 Zásobné roztoky na prípravu riediacej vody.....	63
Tabuľka 11 Podmienky testu akútnej toxicity na perloočku veľkú (<i>Daphnia magna</i>).....	64

Úvod

Ako sa rozvíja ľudská spoločnosť a zvyšuje sa životná úroveň, tak spolu s jej technologickým vývojom narastajú nároky a prichádzajú dopady na životné prostredie. Jedným z takýchto dopadov je aj zamorenie životného prostredia cudzorodými látkami, ktoré nie sú prírodného pôvodu. Čiže ide o látky vytvorené človekom, ktoré sa v danej podobe v prírode nenachádzajú. Tieto látky majú v nižších či vyšších koncentráciách negatívny vplyv na životné prostredie. Ekotoxikológia patrí k relatívne novým vedným disciplínam. V zásade je možné konštatovať, že ako skutočne vedný odbor sa rozvíjala od osemdesiatych rokov 19. storočia. Vznikala postupne ako vedecký protipól výrazného rozvoja priemyselných odvetví koncom 19. a začiatkom 20. storočia. Odborníci sa začali problematike látok vo vodnom prostredí venovať a prvé skúšky toxicity sa robili už v roku 1863. Ekotoxikológia je oblasť vedy, ktorá integruje ekologické a toxikologické účinky chemických polutantov na populácie, spoločenstvá a ekosystémy s osudom (transport, transformácia, odbúravanie) všetkých polutantov v prírodnom prostredí. Vo svojej podstate je integrujúcou a interdisciplinárnou vedou.

Autorka pripravila súhrn informácií, ktoré ponúkajú možnosť zoznámiť sa s problematikou ekotoxikológie a jej začlenenia v rámci toxikológie ako takej. Zároveň je tu priestor o prepojenie problematiky z pohľadu environmentálneho manažéra.

Učebné texty sú rozdelené do piatich základných kapitol, pričom každá kapitola poskytuje množstvo špecifických informácií rozdelených do jednotlivých podkapitol.

Učebné texty sú určené predovšetkým študentom II. stupňa vzdelávania, ktorí študujú študijný program environmentálny manažment v rámci študijného odboru ekologické a environmentálne vedy na Fakulte európskych štúdií a regionálneho rozvoja Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre.

Autorka

1. Definícia ekotoxikológie a jej prepojenie s inými vedami

Ekotoxikológia je veda, ktorá sa zaoberá negatívnym pôsobením toxických látok na organizmy, populácie, spoločenstvá a ekosystémy.

Ekotoxikológia v sebe spája oblasti ekológie a toxikológie. **Toxikológia** je považovaná za medicínsky vedný odbor, ktorý sa zaoberá účinkami jedov a škodlivých látok na živý organizmus. Názov z gréckeho *toxon* (šíp) alebo *toxikon* (jedovatá látka, do ktorej namáčali hroty šípov Hekaté) a *logos* (veda, náuka). Využíva poznatky vied biologických (molekulárna biológia, genetika, botanika, zoológia, mikrobiológia, lekárske vedy) a chemických (chémia analytická, anorganická, organická, biochémia). Nie je len sumou poznatkov o jedoch a ich účinkoch. Zaoberá sa vzájomným pôsobením chemických látok a živého organizmu. U väčšiny látok dochádza po vstupe do organizmu k ich premenám - biotransformáciám. Toxikológia má stránku opisnú, experimentálnu a teoretickú. Toxikológia je príbuzná farmakológii, ktorá študuje priaznivé i nepriaznivé účinky liečiv.

Toxikológia, svojou povahou ako veda založená na experimente, poskytuje okrem iného veľmi presné informácie pri rozbere situácie v ekologickom systéme. V dôsledku toho sa vymedzenie pojmu toxikológie ako vednej oblasti v súčasnosti rozširuje vzhľadom na rýchly vývoj vied všeobecne, no najmä v oblasti ekológie, ktoré zaznamenávajú pri súčasnom trende zmien životného prostredia kritické hodnoty destabilizácie ekosystémov, zapríčinených antropogénnou činnosťou. Ide tu o sledovanie toxického pôsobenia najmä priemyselných exhalátov na všetko živé, čo sa v ekosystéme nachádza, a to vo vzájomných vzťahoch jedincov medzi sebou. Toxikológia ako základná disciplína, tu dáva možnosť vytvorenia novej disciplíny „**ekotoxikológie**“.

Kým toxikológia sleduje pomocou rôznych metód účinky škodlivín na laboratórne zvieratá, s cieľom interpretácie výsledkov na človeka, ekotoxikológia spravidla pracuje s biologickými modelmi nachádzajúcimi sa na danej lokalite.

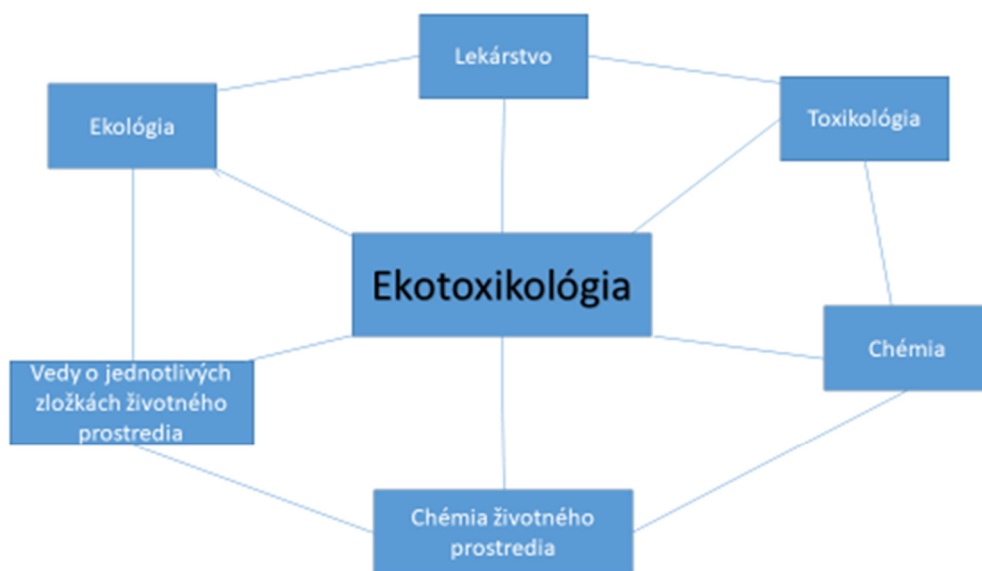
Výsledky toxikologických a ekotoxikologických sledovaní poskytujú exaktné informácie, ktoré môžu indikovať riziká súvisiace so vstupom xenobiotík do ekosystémov, vrátane ľudskej populácie.

Ekotoxikológia je vedná disciplína, ktorú prvýkrát definoval francúzsky vedec René Truhaut v roku 1969 ako vedu o sledovaní nepriaznivých účinkov chemických látok na prostredie s cieľom chrániť prírodné druhy a spoločenstvá. Definoval ju ako "odvetvie zaoberajúce sa

štúdiom toxických účinkov prírodných alebo syntetických znečisťujúcich látok na jednotlivé zložky ekosystémov, zahrňujúce živočíchy (vrátane človeka), rastliny aj mikroorganizmy. V integrálnom kontexte to znamená, že sa zaoberal sledovaním toxického účinku látok prírodného aj antropogénneho charakteru na živé organizmy, spoločenstvá a populácie. Hoci sa spočiatku venoval sledovaniu antropogénnych škodlivín, termín je v súčasnosti používaný hlavne na výskum ekologických dopadov rôznych abiotických a biotických stresorov, ktorými sa integrujú vedľajšie účinky antropogénnych aktivít. Navrhol rozšírenie zamerania z čisto toxikologických účinkov, ktoré boli mimo definície "ekotoxikológie".

Ekotoxikológia je v súčasnosti chápaná ako interdisciplinárny vedný odbor kombinujúci predovšetkým poznatky vedy študujúcej ekosystémy (ekológia) a vedy študujúcej interakcie chemických látok so živými organizmami (toxikológia). Ekotoxikológia sa zaoberá štúdiom pôsobenia škodlivých látok na ekosystém, študuje toxické vplyvy v prírode, v organizmoch, najmä vplyvy v populáciách a vplyvy cudzorodých látok v prostredí.

Ako väčšina vedných disciplín, ktoré sa v súčasnosti využívajú aj ekotoxikológia je interdisciplinárnou vedou, ktorá úzko súvisí a využíva poznatky iných vedných disciplín napr. chémie, matematického modelovania, teórie pravdepodobnosti, fyziky, geológie, pedológie, geografie, klimatológie, hydrochémie, lekárstva a iných vedných disciplín (obr. 1).



Obrázok 1 Postavenie ekotoxikológie medzi vednými odbormi (Anděl, 2011)

Tabuľka 1 Rozdiely medzi toxikológiou a ekotoxikológiou (Fargašová, 2008)

Toxikológia	Ekotoxikológia
Cieľom je chrániť človeka pred toxickými látkami.	Cieľom je chrániť populácie mnohých druhov.
Vždy vychádza zo zvieracích modelov (testovanie na človeku?).	Môže využiť priame testovanie citlivosti druhov.
Človek je dobre charakterizovaný - menšie chyby pri extrapoláciach.	Jednotlivé druhy sú veľmi rozdielne - miera neistoty pri extrapoláciach veľká.
Testovacie organizmy aj človek sú teplotné - dobrá predikcia účinkov.	Mnoho chladnokrvných živočíchov, mnoho rastlín, baktérií.
Jednoduché dávkovanie a meranie toxicity (výsledok LD ₅₀).	Nejednotné dávkovanie (vonkajšie, vnútorné), koncentrácia vo vonkajšej vode je rovnaká ako dávka
Dobre charakterizované mechanizmy pôsobenia.	Menej informácií o biochemických mechanizmoch.
Dobre štandardizované testovacie metódy.	Mnoho metód, málo štandardných, snaha o predikciu účinkov v ekosystémoch.

Tabuľka 2 Rozdiely medzi ekológiou (biologickou a chemickou) a ekotoxikológiou (Fargašová, 2008)

Ekológia	Ekotoxikológia
Veľmi široký záber štúdia (vzťahy medzi organizmami navzájom a organizmami)	Zúžený záujem - organizmy vs. prostredie, resp. negatívne vplyvy zmien prostredia (vyvolané)
Študuje skôr „fyziologické“ (prirodzené) stavy - vplyvy bežných faktorov prostredia -	Študuje nefyziologické stavy - neprirodzené látky v prostredí, nadmerné pôsobenie fyzikálnych
Ekológia vychádza z poľných (ekologických) štúdií.	Viac informácií o jednotlivých druhoch, poľné štúdie len v obmedzenom množstve, často

Rozdelenie toxikológie na tri hlavné odbory:

- **Experimentálna toxikológia**, ktorá sleduje účinok jedov predovšetkým na experimentálnych zvieratách, objasňuje mechanizmus účinku jedov a ich metabolizmus v organizme a hľadá protijedy.
- **Klinická toxikológia**, ktorú zaraďujeme medzi lekárske vedy, sa zaoberá sledovaním účinku toxických látok na živý organizmus, ich dôsledkami na jednotlivé orgány tela a ich funkcie, prejavmi poškodenia a možnosťou reparácie dôsledkov.
- **Priemyselná toxikológia**, ktorá sa postupne vyvinula z klasickej klinickej toxikológie, vznikla ako dôsledok rozvoja chémie a chemického priemyslu. Je to veda, ktorá definuje limity a prípustné bezpečnostné normy jedovatých látok a iných škodlivín v ovzduší, vode, pôde, diagnostikuje akútne aj chronické otravy, vypracúva laboratórne testy a bezpečnostné predpisy pre prácu s jedovatými a zdraviu škodlivými látkami,

sleduje metabolizmus škodlivín v organizme, zaoberá sa prevenciou priemyselných otráv.

Aplikované odbory toxikológie:

1. **Súdnolekárska toxikológia** - študuje patologicko-anatomické zmeny vyvolané účinkami jedu, dokazuje jed v organizme a v tkanivách. Súvisí so súdnou chémiou.
2. **Popisná toxikológia** - zaoberá sa popisom druhu a rozsahu poškodenia organizmu špeciálnou látkou.
3. **Toxikológia životného prostredia** - zaoberá sa vplyvom znečisteného prostredia na ľudí a zvieratá.
4. **Toxikológia potravín a aditív** - študuje predovšetkým účinky konzervačných a vylepšujúcich látok, farbív a spojovadiel, aromatických látok na potraviny.
5. **Toxikológia pesticídov a umelých hnojív** - zaoberá sa biologickými účinkami ich reziduí v požívatinách, zmenou nutričnej hodnoty resp. možnej tvorby nových resp. toxických látok z hľadiska ochrany zdravia konzumenta.
6. **Toxikológia návykových látok** - študuje vplyv účinku alkaloidov, drog, alkoholu, tabaku, narkotík a rozmanitých prípravkov ovplyvňujúcich konanie a myslenie človeka a postupný vznik narkománie a toxikománie.
7. **Toxikológia liečiv** - sleduje vedľajšie účinky liekov.
8. **Predikčná toxikológia** - odhad toxicity zo štruktúry látky QSAR - Quantitative Structure - Activity Relationship).
9. **Súdna toxikológia** - spôsoby ako preukázať otravu.
10. **Vojenská toxikológia** - sleduje účinky bojových látok na človeka a životné prostredie, možnosti obrany proti nim a ich likvidácia.
11. **Ekotoxikológia** - sleduje pôsobenie škodlivých látok na ekosystém, študuje toxické vplyvy v prírode, v organizmoch, najmä vplyvy v populáciách a vplyvy cudzorodých látok v prostredí. Je to najmladší odbor toxikológie.

Pri posudzovaní cieľov ekotoxikológie je dôležité aj časové hľadisko, na základe ktorého sa dá sledovanie účinkov na živé zložky ekosystémov rozdeliť na retrospektívne a prospektívne:

Ekotoxikológia retrospektívna:

- Zaoberá sa hodnotením dopadov činností a aktivít, ktoré boli realizované v minulosti.

Medzi jej základné úlohy patria:

- Hodnotenie vplyvov existujúcich („starých“) chemických látok - uvedených na trh pred 19.09.1981. Jedná sa cca o 100 000 chemických látok najrôznejšej povahy a tiež rôznej rizikovosti pre životné prostredie.
- Hodnotenie tzv. starých záťaží, t. j. miest, ktoré boli v minulosti kontaminované priemyselnou, poľnohospodárskou alebo inou ľudskou činnosťou. Predmetom hodnotenia je stanovenie toxicity kontaminovaných materiálov (pôdy, vody, sedimentov, hornín) ako podklad pre návrh ďalších opatrení.
- Sledovanie varovných príznakov negatívneho vplyvu chemických látok na organizmy napr. o náhle úhyny niektorých druhov rastlín a živočíchov alebo ich postupné miznutie.
- Základom sú terénne štúdie a dlhodobé monitorovacie programy, ktoré sledujú rozšírenie vybraných toxických látok v jednotlivých zložkách životného prostredia a hľadajú miesta nadmernej akumulácie a anomálie, ktoré by mohli viesť k negatívnom účinkom v prostredí.

Ekotoxikológia prospektívna:

- zaoberá sa prevenciou znečistenia prostredia,
- testovaním nových chemických látok pred uvedením na trh a do životného prostredia,
- hodnotením miery ekologického rizika pri použití nových chemikálií, využívanie a recyklácia odpadov. Dostatočne varujúcim je prípad polychlorovaných bifenylov (PCB), ktoré boli určené pre celkom iné odvetvie (náplň transformátorov, prímiesi farieb atď.) ktorých rizikovosť nebola známa a napriek tomu v súčasnosti kontaminujú všetky zložky životného prostredia,
- kľúčovou metodikou sú laboratórne ekotoxikologické testy.

Zo začiatku v období 20. rokov min. storočia sa ekotoxikológia zameriavala na špecifické skupiny organizmov, na základe čoho definovala oblasť svojho záujmu ako akvatickú toxikológiu. Neskôr sa začali prvýkrát objavovať počas priemyselnej revolúcie okolo roku 1850 správy o antropogénnych kontaminantoch v oblasti terestrickej toxikológie napr. znečistenia arzénom a toxicity z emisií priemyselného dymu z komínov.

Akvatická ekotoxikológia je považovaná za „klasickú“ ekotoxikológiu, ktorá sa zaoberá predovšetkým vodným prostredím. Voda je dobrým médiom a preto bolo vodné prostredie veľmi vhodné pre prvé ekotoxikologické experimenty. V rámci tejto ekotoxikológie sa využívajú autotrofné organizmy (riasy, vyššie rastliny) tak aj heterotrofné živočíchy (kôrovce, larvy hmyzu, ryby, cicavce) a baktérie.

Terestrická ekotoxikológia sleduje účinky toxikantov v suchozemskom prostredí (les, lúka, pole a iné). Zhodnocuje účinky na pôdu a jej funkciu, vrátane účinkov na baktérie a ďalšie dekompozítory (dážďovky, larvy hmyzu a iné), tak aj na terestrické rastlinstvo a vyššie živočíchy (včely, vtáky, hlodavce, zvieratá všeobecne). K tejto toxikológii a často pridružuje aj **ekotoxikológia človeka**, ktorej súčasťou je toxikológia látok v prostredí a chemicky indukovaná karcinogenéza.

Oblasti uplatnenia ekotoxikológie v praxi:

- Správanie sa a vplyv emisií so spaľovacích procesov,
- Vplyv používania pesticídov,
- Vplyv látok ovplyvňujúcich ozónovú vrstvu a teplotnú bilanciu Zeme,
- Testovanie novo uvádzaných chemických látok na trh,
- Vplyv rádionulidov a rádioekológie,
- Vplyv perzistentných organických látok,
- Vplyv ťažkých kovov,
- Vplyv acidifikácie prostredia, kyslé dažde.

Tieto oblasti sa vyvíjajú relatívne samostatne, o čom svedčí i špecializovaná odborná literatúra a organizovanie samostatných konferencií.

1.1 Historický vývoj toxikológie

Toxikológia je vedná disciplína, ktorej korene siahajú do najstarších dejín ľudstva. Už primitívny človek poznal toxické účinky jedov zvierat, plazov, hmyzu, ako aj nižších a vyšších rastlín. Naučil sa ich využívať tak pri obranne, ako aj pri love.

Zmienky o úmyselnom použití jedovatej alebo omamnej látky sa objavili už v staroveku:

- Staroveké indické vedy (až 1500 p. n. l.),
- Biblia napr. príbeh o Jonášovi, zmienka o jedovatej byline ricín obyčajný (*Ricinus communis*),
- Staroegyptské zvitky (napr. použitie jedu posvätnéj kobry),
- Grécka mytológia (známe trávičky - bohyne Hekaté, v podsvetí vládkyne temných síl a travička, Kirké, Médea),
- 1500 p. n. l. starí Egypťania destilovali kyanovodík z jadier broskýň,
- Starý Rím - sledovanie jedov a protijedov bolo dôležité.

Jed alebo jedovatá/toxická látka alebo toxikum je látka, ktorá už v malých množstvách spôsobuje poškodenie biologických funkcií organizmu, až smrť. Za jedy sa považujú len tie látky, ktoré sú schopné vyvolať nepriaznivý účinok - otravu už v malých dávkach. Jed bol definovaný nasledovne:

- Paracelsus (Theophrastus Aureolus Bombastus von Hohenheim) (1493- 1541): Všetky zlúčeniny sú jedy. Neexistuje zlúčenina, ktorá by nebola jedom. Rozdiel medzi liekom a jedom tvorí dávka.
- Riedel, Vondráček (1954): Jedom rozumieme látku, ktorá vnikla do tela v malom množstve (niekoľko mikrogramov až desiatok gramov), vyvolá chorobné zmeny, ktoré môžu viesť aj k zániku organizmu.
- Merhold (1962): Jed je látka, ktorá poškodzuje organizmus už v malých dávkach. Hranica medzi malou a veľkou dávkou nie je presne určená. Dávka je množstvo látky, ktoré sa dostane do organizmu a je absorbované.

Najčastejšie používané jedy v období antiky sú:

1. Vývar ihlíc a semien tisu červeného (*Taxus baccata*) (alkaloidy **taxíny**), ktorý sa rýchlo sa vstrebáva v tráviacom trakte a tým urýchľuje intoxikáciu. Prítomné sú aj ďalšie alkaloidy, ako je **milosin** a **efedrin**. Za smrteľnú dávku je považovaný nálev z 50 - 100 g ihličia. Príznaky otravy sa u človeka dostávajú do 30 - 90 min. po požití. Dochádza ku kŕčom svalstva, zblednutie kože, pulz je slabý, zrenice nereagujú na osvit. Nastávajú poruchy videnia, nevoľnosť a poruchy kardiovaskulárneho systému. Zhruba do dvoch hodín po požití nastáva smrť v dôsledku zástavy srdca a obrny.
2. Výťažok z byliny prilbica modrá (*Aconitum napellus*) čeľaď iskerníkovité (*Ranunculaceae*) (alkaloidy, poškodenie srdca a zástava dychu). Prilbica modrá patrí medzi najjedovatejšie rastliny Európy, preto sa volá aj rastlinný arzén. Po požití alkaloidu **akonitín** má človek pocit, ako keby mu v žilách kolovala studená voda, je mu nevoľno, prežíva úzkosť. Otravy sa prejavujú slinotokom, dusením, triaškou, zvýšeným pulzom a zosilneným dýchaním. Príčinou smrti býva zastavenie dýchania. Smrteľná dávka predstavuje už len niekoľko málo gramov látky a pôsobí veľmi rýchlo, do hodiny nastáva úmrtie. Droga sa väčšinou používa na izoláciu akonitínu, ktorý sa v lekárstve uplatňuje v analgetických zmesiach proti bolestiam (reuma, ischias, bolesti zubov).
3. Výťažok z bolehlavu škvrnitého (*Conium maculatum*) obsahujúci alkaloid **koniín**, použitý k poprave Sorkatesa. Letálna dávka v rozmedzí 0,15 - 0,30 g spôsobuje obrnu dýchacích svalov. Silne toxická je celá rastlina, najmä však nezrelé semienka. Už polovica gramu jedovateho koniínu predstavuje smrteľnú dávku. Otráviť sa človek

môže už pri intenzívnom privoňaní ku kvetu. Semienka sa ponášajú na aníz či fenikel. Najprv pôsobí povzbudivo, no postupne dochádza k ochrnutiu od končatín smerom vyššie a v dôsledku toho dochádza k zastaveniu dýchania. Človek sa udusí pri plnom vedomí.

4. Jedy z ľuľkovitých rastlín patria na Slovensku k najprudkejším, príkladom je ľuľkovec zlomocný (*Atropa beladonna*). Otravy bobuľami ľuľkovca sú najčastejšie spomedzi všetkých rastlinných otráv na Slovensku. Obsahuje **atropín, skopolamín a hyosciamín**. Veľké riziko môže predstavovať konzumácia už 3 - 4 bobuľ. Medzi prvé príznaky otravy patrí sucho v ústach, rozšírené zreničky, tvár je červená, oči nereagujú na svetlo a následne dochádza k celkovému ochabnutiu, útlmu srdcovej činnosti a zastaveniu dýchania.

Ďalšie zmienky o znečisťovaní životného prostredia:

- 13. st. anglický kráľ Edward I. vydal nariadenie - zákaz spaľovať uhlie počas zasadania parlamentu - trest smrti,
- 1850 - priemyselná revolúcia - spaľovanie uhlia spôsobilo **melanizmus molí** (tmavé sfarbenie pokožky účinkom melanínov),
- 1887 - Forbes - navrhol klasifikáciu znečistenia vodných tokov na základe biodiverzity - prvé jednoduché testy akútnej toxicity,
- 20.st. - vyliatím ropy došlo k usmrteniu tisícok polárnych kačíc,
- 1924 - toxicita banských vôd - úhyn rýb,
- 1950 - DDT (dichlórdifenyiltrichlóretán) - insekticíd (na likvidáciu malárie) v poľnohospodárstve - vplyv na populácie vtákov (drozd, orol, pelikán) a populácie rýb,
- 1970 - pesticídy v pôde - zdravotné riziká pre človeka, účinky na vodné a prírodné ekosystémy,
- 70 roky 20 st. - DDT ako pôvodca rakoviny, vývojových porúch u detí atď.,
- 1986 - jadrová havária Černobyľ, tzv. červený les borovic zničený silným rádioaktívnym spádom,
- 1990 - PCB (polychlórované bifenyly) a OCP (organochlórované pesticídy) - ovplyvnenie reprodukcie aligátorov (abnormálny vývoj reprodukčných orgánov, zmeny v koncentráciách hormónov, zníženie životaschopnosti vajec) z kontaminovaných jazier na Floride.

1.2 Základné pojmy

Absorbent - látka schopná viazať inú látku v celom svojom objeme.

Aditívum - prídavná látka.

Aditívny účinok - sčítanie účinkov dvoch a viacerých látok.

Alergén - látka, ktorá môže vyvolať alergickú reakciu.

Antidotum (protijed) - látka, ktorá ruší, neguje účinok jedu na organizmus.

Akútna dávka - koncentrácia, ktorá zvyčajne spôsobí smrť organizmu.

Akútna otrava - jednorazová.

Bezprahový účinok - je pre vzťah účinku v závislosti od dávky platí, že účinok je nulový, keď je dávka nulová. Len nulová dávka nemá účinok a látka má vtedy bezprahový účinok. U chemických látok, ako sú karcinogény a mutagény sa z etických dôvodov predpokladá, že závislosť je bezprahová, tzn. že i jedna molekula vyvolá účinok.

Bioakumulácia - predstavuje nárast koncentrácie cudzorodých látok v tkanivách alebo pletivách organizmov v dôsledku expozície v prostredí alebo príjmu z potravy.

Biocid - látka používaná k cielenému vyhynutiu živých organizmov napr. pesticídy, insekticídy, rodenticídy, moluskocídy atď..

Bioindikátor - organizmus (mikroorganizmus, prvok, huba, rastlina, živočích), ktorý slúži k posúdeniu toxicity látok alebo pôsobeniu vonkajších podmienok.

Biotest - test na stanovenie toxického vplyvu (účinku) testovanej látky na laboratórne testovacie organizmy.

Biotoxin - jed produkovaný živými organizmami ako napr. mikroorganizmami, rastlinami, hmyzom, hadmi atď..

Dávka - množstvo toxickej látky, ktoré sa dostane (vstúpi) do organizmu a je absorbované (napr. v mg/kg/d).

Dioxíny - vznikajú pri spaľovaní odpadu obsahujúceho chlórované látky, alebo ako vedľajší produkt v chemickej výrobe, kde sa používa chlór (výroba pesticídov, bielenie papiera chlóróm a pod.).

Efektívna dávka (ED) - uvádza percento jedincov, ktorí reagujú na expozíciu testovanou látkou.

Efektívna dávka (ED₅₀) - efektívna dávka, pri ktorej reaguje 50 % testovacích jedincov.

Efektívna dávka (ED₀) - efektívna dávka, pri ktorej nereaguje žiadny testovací jedinec.

Efektívna dávka (ED_x) - efektívna dávka, pri ktorej reaguje x % testovacích jedincov.

Ekotoxická - vlastnosť látky, ktorá má okamžitý alebo oneskorený nepriaznivý účinok na životné prostredie tým, že je bioakumulovaná alebo pôsobí toxicky na biotické systémy.

Ekotoxikológia - je veda, ktorá sa zaoberá negatívnym pôsobením toxických látok na organizmy, populácie, spoločenstvá a ekosystémy.

Expozícia - pôsobenie, vystavenie organizmu pôsobeniu látky určitej koncentrácie, v určenej dobe pôsobenia a cesty vstupu do organizmu.

Extrapolácia - proces odhadovania určitej veličiny na podmienky, napr. z jedného druhu na iný, z určitej dávky na inú.

Fytoextrakcia - schopnosť extrakcie bioprístupných látok z pôdy pomocou koreňov a ich ďalšieho premiestnenia a akumulácie v pletivách nadzemných častí rastlín, ako sú stonka, listy alebo plody.

Fytomining (fytodolovanie, fytodobývanie alebo fytot'ažba) - využitie hyperakumulátorov pre získavanie cenných kovov z pôd (tália, niklu, kadmia, medi, mangánu, zlata, striebra atď.).

Fytoremediácia - je proces, ktorý využíva rastliny na odstránenie, degradáciu alebo zachytenie nebezpečných (toxických) látok (kontaminantov) prítomných v pôde alebo vo vode. Je to jeden zo spôsobov bioremediácie.

Fytovolatilizácia - (*volatilita* - prchavosť) je uvoľnenie kontaminantov transpiráciou v plynnej forme (napr. ortuť, selén, arzén atď.).

Hepatotoxické poškodenie - poškodenie pečene.

Chronická dávka - koncentrácia látky, hlboko pod prahovou hodnotou, ale s dlhodobým pôsobením.

Chronické otravy - podľa dĺžky trvania expozície aj celoživotné.

Inhalácia - cesta vstupu do organizmu vdychovaním.

Intoxikácia - otrava.

In vivo - na živom organizme.

In vitro - mimo živý organizmus.

Jed, jedovatá látka, toxin - spôsobujú otravu už v malých množstvách (niekoľko mg až desiatok g), pri ktorom dochádza k poškodeniu biologických funkcií organizmu a až k smrti. Či je látka jedom závisí od dávky (množstve), cesty vstupu do organizmu, od podmienok pôsobenia, hmotnosti organizmu a jeho celkového zdravotného stavu.

Karcinogénny účinok - zmeny v bunke vedú k zhubnému bujneniu buniek (tkaniva), čím vzniká tumor (nádor).

Kongenér - je definovaný ako člen rovnakého druhu, triedy alebo skupiny chemikálií, napr. hociktorý z 209 individuálnych PCB.

Kontaminant, škodlivina - látka ktorej prítomnosť spôsobuje odchýlku od prirodzeného zloženia okolitého prostredia. Kontaminant nie je klasifikovaný ako polutant, pokiaľ svoje okolie nepoškodzuje.

Látka nebezpečná v životnom prostredí - látka, ktorá je schopná vyvolať v prostredí toxický účinok. Môže byť nebezpečná už v malých koncentráciách, odolná voči rôznym formám rozkladu. Akumuluje sa v abiotických i biotických zložkách prostredia.

Látka perzistentná v životnom prostredí - je charakterizovaná dobou zotrvania látky v prostredí. Vyjadruje sa pomocou polčasu rozpadu - doby, kedy koncentrácia látky klesne na polovicu pôvodnej hodnoty napr. DDT má polčas rozpadu 6 - 10 rokov.

Letálna dávka (LD_x) - dávka chemickej látky, pri ktorej uhynie x % testovacích jedincov.

Letálna dávka (LD_{50}) - dávka chemickej látky, pri ktorej uhynie 50 % testovacích jedincov inou ako inhalačnou cestou. Látka je tým toxicejšia, čím je nižšia jej číselná hodnota LD_{50} . Porovnaním $LD_{50} = 1 \text{ mg/kg}$ s látkou $LD_{50} = 10 \text{ mg/kg}$ je toxicejšia tá, ktorá má nižšiu koncentráciu. Pri hodnotách LD sa uvádza druh testovacieho organizmu (myš, potkan, pes atď.) a spôsob podania testovanej látky (tráviacou, dýchacou sústavou, kožou a pod.).

Letálna koncentrácia (LC_{50}) - vypočítaná koncentrácia chemickej látky vo vzduchu (vode), po expozícii ktorou za určitý čas dôjde k úmrtiu (úhynu) 50 % testovacích jedincov.

Letálna koncentrácia (LC_x) - najnižšia koncentrácia chemickej látky vo vzduchu, ktorá môže spôsobiť úmrtie človeka alebo úhyn zvierat'a.

Lipofilný - rozpustný v tukoch.

LOAEL (Lowest Observable Adverse Effect Level) - najnižšia dávka, pri ktorej bol pozorovaný škodlivý účinok.

Mortalita - úmrtnosť.

Mutagénny účinok - predstavuje pôsobenie xenobiotiká na zmenu štruktúry niektorej bázy nukleovej kyseliny - deoxyribonukleovej (DNA) alebo ribonukleovej (RNA).

Nefrotoxické poškodenie - poškodenie obličiek.

Neurotoxické poškodenie - poškodenie nervovej sústavy.

NOAEC (No Observable Effect Concentration) - koncentrácia, pri ktorej nebol pozorovaný škodlivý účinok.

NOAEL (No Observable Effect Level) - dávka, pri ktorej nebol pozorovaný škodlivý účinok.

LOAEC (Lowest Observable Adverse Effect Concentration) - najnižšia koncentrácia, pri ktorej bol pozorovaný škodlivý účinok.

Parenterálny - vstup do organizmu mimo tráviacu sústavu (iné cesty vstupu: očná sliznica, konečník, injekčne - intravenózne, močová rúra).

PEC (Predicted Environmental Concentration) - predpokladaná koncentrácia látky v životnom prostredí.

Perkutánnny - vstup toxickéj látky do organizmu cez kožu.

Perorálny - vstup toxickéj látky do organizmu ústami.

Perzistentné organické polutanty (POP) - látky, ktoré sa do životného prostredia dostávajú vplyvom ľudskej činnosti, a to buď úmyselne alebo ako únik z antropogénnych činností, napr. PCB.

PNEC (Predicted No Effect Concentration) - najvyššia predpokladaná koncentrácia látky bez škodlivých účinkov. $PEC/PNEC < 1,0$ (riziko spôsobené prítomnosťou látky v životnom prostredí je nízke.)

Pneumotoxické poškodenie - poškodenie pľúc.

Polutant - látka kontaminujúca, znečisťujúca životné prostredie, hlavne ako odpadový produkt ľudskej činnosti.

Prahový účinok - je známa koncentrácia toxikanta tzv. prahová hodnota množstva alebo koncentrácie toxickéj látky, pri ktorej nedochádza k poškodeniu (fyziologickej zmene) žiadneho jedinca sledovaného druhu. Prahová hodnota je stanovená experimentálne.

Reverzibilné - vratné.

Riziko - pravdepodobnosť, s akou sa pri definovanej expozícii určitej látky prejaví jej toxicita. Veľkosť rizika nadobúda hodnoty od 0,0 do 1,0. Nulové riziko znamená, že k poškodeniu organizmu nikdy nedôjde. Riziko = 1,0 znamená, že k poškodeniu organizmu dôjde vo všetkých prípadoch. Hodnotenie rizika zahŕňa:

- ☐ vyhodnotenie nebezpečnosti látky,
- ☐ vyhodnotenie vzťahu medzi dávkou látky a biologickou odpoveďou,
- ☐ vyhodnotené expozície,
- ☐ charakteristiky rizika.

Rhizofiltrácia - použitie rastlín k absorpcii xenobiotika do koreňov alebo do koreňov a nadzemnej časti rastlín spolu (pri fytoextrakcii výlučne do nadzemnej časti rastlín).

Subakútna otrava - niekoľkonásobné vystavenie organizmu toxickéj látke, väčšinou trvá 2-4 týždne.

Subchronická otrava - podľa dĺžky trvania expozície nastáva otrava do 3 mesiacov.

Synergizmus - spolupôsobenie, zosilňovanie účinkov vzájomne pôsobiacich látok.

Teratogénny účinok - poškodenie plodu (embrya), ktoré vedie ku tvorbe defektného jedinca, ktorý je životaschopný.

Toxicita - schopnosť látky poškodzovať živý organizmus. Závisí od fyzikálno - chemických vlastností látok, spôsobu (cesty) vstupu látky do organizmu, od metabolizmu látky, od počtu podaní, dávke a pod..

Toxikant, toxikum, toxická látka - je chemická látka alebo zmes látok, ktoré majú schopnosť vyvolať negatívne účinky na organizmy, populácie, spoločenstvá a ekosystémy. Látka, ktorá má alebo môže mať škodlivé účinky na živé organizmy.

Účinok - je odpoveď organizmu na expozíciu látkou. Toxické účinky závisia od koncentrácie a dávky látky, spôsobu kontaktu s organizmom, od metabolitov látky, od miesta účinku.

Účinok akútny - bezprostredný, po jednorazovej dávke toxickéj látky.

Účinok chronický - po dlhodobom styku s toxickou látkou.

Xenobiotikum - (*xenos* - cudzie, *bios* - život) cudzorodá látka, ktoré je organizmu alebo prostrediu cudzia, nie je produktom ani medziproduktom fyziologického metabolizmu. Je to cudzorodá umelá zlúčenina, ktorá nie je vytvorená prírodnými procesmi, ale človekom, napr. liečivá, jedy, priemyselné chemikálie.

1.3 Delenie toxických látok podľa účinku

Máloktorá látka sa prejaví jediným a jednoznačným účinkom. Všeobecne sa dá konštatovať, že kým na jednej strane sa toxický účinok mnohých látok zvyčajne prejavuje viacerými príznakmi (symptómami), na druhej strane môžu rovnaké alebo podobné príznaky vyvolať viaceré, chemicky značne odlišné látky. Podľa účinku potom delíme toxické látky na látky s týmito účinkami, ktoré sa môžu v mnohých prípadoch kombinovať:

1.3.1 Všeobecné účinky

Toxické látky so všeobecnými účinkami (celkovými, nešpecifickým), ktoré sa prejavujú poškodením životných funkcií a začleňujem k nim aj látky s účinkami

- *dráždivými* napr. poleptanie alebo podráždenie - HCl, NH₃, dimetylsulfát,
- *dusivými* - dusenie spôsobené vytesnením kyslíka inými plynmi, dusenie spôsobené blokováním krvného farbiva, t. j. prenosu kyslíka, dusenie tkanivové.

1.3.2 Špecifické účinky

Xenobiotikum pôsobí priamo na orgán (pečeň, obličky, pľúca atď.), tkanivá, bunky, ktoré poškodzuje. Napr. kyselina šťaveľová kryštalizuje v podobe šťaveľanu vápenatého v tubuloch obličiek, mechanicky ich poškodzuje a má priamy toxický vplyv na tento orgán. Silné kyseliny

a zásady poškodzujú tie časti organizmu, s ktorými prišli do styku. Tým, že xenobiotikum pôsobí na určitý orgán, dochádza k poškodeniu až odumretiu buniek určitého orgánu, napr.:

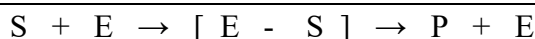
- pečeň - poškodenie hepatotoxické (hepatoxíny),
- obličky - poškodenie nefrotoxické (nefrotoxíny),
- pľúca - poškodenie pneumotoxické (pneumotoxíny).

1.3.3 Systémové účinky

Pri toxických látkach so systémovými účinkami dochádza k poškodeniu systémov a cieľových orgánov, na ktoré jed prevažne pôsobí:

- centrálna nervová sústava - poškodenie neurotoxické (neurotoxíny),
- neurovegetatívna sústava - poškodenie myotoxické (myotoxíny),
- krvotvorné orgány - poškodenie hemotoxické (hemotoxíny).

Ovplyvnenie biochemického deja v organizme, resp. v jeho bunkách, interakcia enzýmu s jedom. Najčastejšie sa jedná o inhibíciu enzýmov. Inhibícia znamená spomalenie reakcie katalyzovanej (urýchľovanej) príslušným enzýmom.



(E - enzým, S - substrát a P - produkt)

Tichý jed acetaldehyd poškodzuje proteíny a tým aj DNA, pričom stačí odlišná verzia jediného génu a následky požitia alkoholu môžu byť dramatické. Týka sa to približne 50 % Japoncov, Číňanov, Kórejčanov a aj u príslušníkov iných národov. Iná verzia jedného génu spôsobuje, že telo buď vôbec nedokáže rozkladať acetaldehyd vznikajúci z etanolu, alebo ho rozkladá nedokonale. Následky aj po jedinom poháriku alkoholu sa v takom prípade takmer okamžite prejavujú sčervenaním, zrýchlením srdcovej činnosti, nevoľnosťou, bolesťou hlavy a vracaním. Preto veľa Ázijčanov alkohol neznáša. V osemdesiatych rokoch minulého storočia sa na acetaldehyd ako prvý zameral výskumný tím z King's College v Londýne. Vedci zistili, že acetaldehyd je tridsaťkrát toxickjší ako samotný etanol. Pretrváva v organizme veľmi dlho aj potom, čo sa človek zbaví subjektívne negatívnych príznakov opitosti. Okrem toho sa zistilo, že acetaldehyd je nebezpečný svalový jed, z čoho vyplýva, že alkohol oveľa viac ohrozuje svaly ako mozog a pečeň, ako sa dlho predpokladalo. Telo je proti acetaldehydu vybavené účinnou obranou. Produkuje celý rad enzýmov, ktoré ho rozkladajú. Každé tkanivo v tele obsahuje napr.

enzýmy známe ako acetaldehyddehydrogenáza (ALDH), ktoré rozkladajú acetaldehyd na neškodné acetáty. Z ALDH je v tomto procese mimoriadne dôležitý ALDH2, podieľajúci sa na rozklade acetaldehydu predovšetkým v pečeni.

1.3.4 Alergizujúce účinky

Imunotoxické účinky sú reakcie imunitného systému na vstup látky do organizmu. Ak je látka rozpoznaná ako cudzia, vyvolá v imunitnom systéme tvorbu protilátky. Imunitné odpovede sú rôzne reakcie organizmu od kožného podráždenia, žihľavky, dýchacích ťažkostí až po anafylaktický šok. Xenobiotika imunitný proces buď potlačia (imunosupresiu vyvoláva napr. benzén, polycyklické aromatické uhľovodíky, PCB, ozón), alebo zvýšia (alergická reakcia). Alergická reakcia je vyvolaná, pokiaľ dôjde k opätovnej expozícii organizmu cudzorodou látkou. S cudzorodou látkou reagujú už vytvorené protilátky.

1.3.5 Karcinogénne účinky

Karcinogénne účinky sú zmeny v bunkách, vyvolané pôsobením látok, ktoré signifikantne zvyšujú výskyt malígnych nádorov v populácii oproti spontánnemu výskytu. Dochádza pri tom k zhubnému bujneniu buniek (tkaniva) a vzniká pri tom tumor (nádor). Zmeny sú vyvolané:

- **poškodením opravných mechanizmov** schopných opraviť alebo nahradiť poškodenú DNA;
- **inými mechanizmami** pôsobenia chemickej látky (tab. 3), ktorá môže s vysokou pravdepodobnosťou vyvolať vznik zhubných nádorov.

Niekoľko rádioaktívnych látok sa považuje za karcinogény, ale ich karcinogénna aktivita sa pripisuje žiareniu, napr. gama lúčom a alfa časticiam, ktoré emitujú. Bežnými príkladmi nerádioaktívnych karcinogénov sú vdychovaný azbest, určité dioxíny a tabakový dym. Hoci verejnosť vo všeobecnosti spája karcinogenitu so syntetickými chemikáliami, je rovnako pravdepodobné, že sa vyskytuje v prírodných aj syntetických látkach.

Tabuľka 3 Podskupina karcinogénov životného prostredia a výživy

Karcinogén	Popis
Heterocyklické aromatické amíny	Mutagénne činidlá, ktoré sú závislé od aktivácie a tepla a ktoré sú prevažne prítomné v potravinách obsahujúcich dusíkaté a keratínové zložky.
Ultrafialové (UV)	Priamo a nepriamo pôsobiace genotoxické činidlo spôsobujúce rakovinu, primárne absorbované epidermálnymi zložkami, ako sú napr. bázy DNA (tymín a cytozín) a proteíny.
Kyselina aristolochová (AA)	Prírodne odvodené kyseliny z rastlín čeľade <i>Aristolochiaceae</i> . Preukázalo sa, že požitie týchto karcinogénov je vo veľkej miere spojené s nefrotoxitou obličkovej kôry a ďalším poškodením močového mechúra a pečene.
Nitrozamíny	Ľudia sú vystavení týmto látkam prostredníctvom rôznych potravín a tabakového dymu.
Mykotoxíny	Metabolity pochádzajúce z húb, ktoré primárne kontaminujú potraviny. Najčastejšie sa vyskytujúcim mykotoxínom je aflatoxín B1, objavený na začiatku 60. rokov.
Ionizujúce žiarenie (IR)	Vystavenie ionizujúcemu žiareniu spôsobuje nepriame alebo priame poškodenie DNA. Nepriamy karcinogénny účinok je sprostredkovaný vodnou rádiolýzou.
Azbest	Vysoko karcinogénny a historicky sa používal v priemysle a v domácnostiach, môže spôsobiť rakovinu pľúc.
Nanočastice (NP)	Využívanie nanočastíc v lekárskom, kozmetickom a elektronickom priemysle. Nanočastice majú jeden rozmer <100 nm, napomáhajú prenikaniu do buniek po inhalácii, dermálnej alebo orálnej expozícii s následnou schopnosťou spôsobiť poškodenie DNA.

Medzinárodná agentúra pre výskum rakoviny (International Agency for Research on Cancer, IARC) je špecializovaná agentúra Svetovej zdravotníckej organizácie pre výskum rakoviny. Cieľom IARC je podporovať medzinárodnú spoluprácu v oblasti výskumu rakoviny.

Kategorizácia karcinogénov podľa IARC:

Skupina 1 - preukázaný karcinogén pre človeka (fajčenie, azbest, kryštalická forma oxidu kremičitého, vírus infekčnej žltčky B a C, ionizujúce žiarenie),

Skupina 2A - pravdepodobný karcinogén pre človeka (akrylamid, dichlormetan, tetrachloretylén, ľudský papilomavírus typ 68, vinylbromid, vinylfluorid),

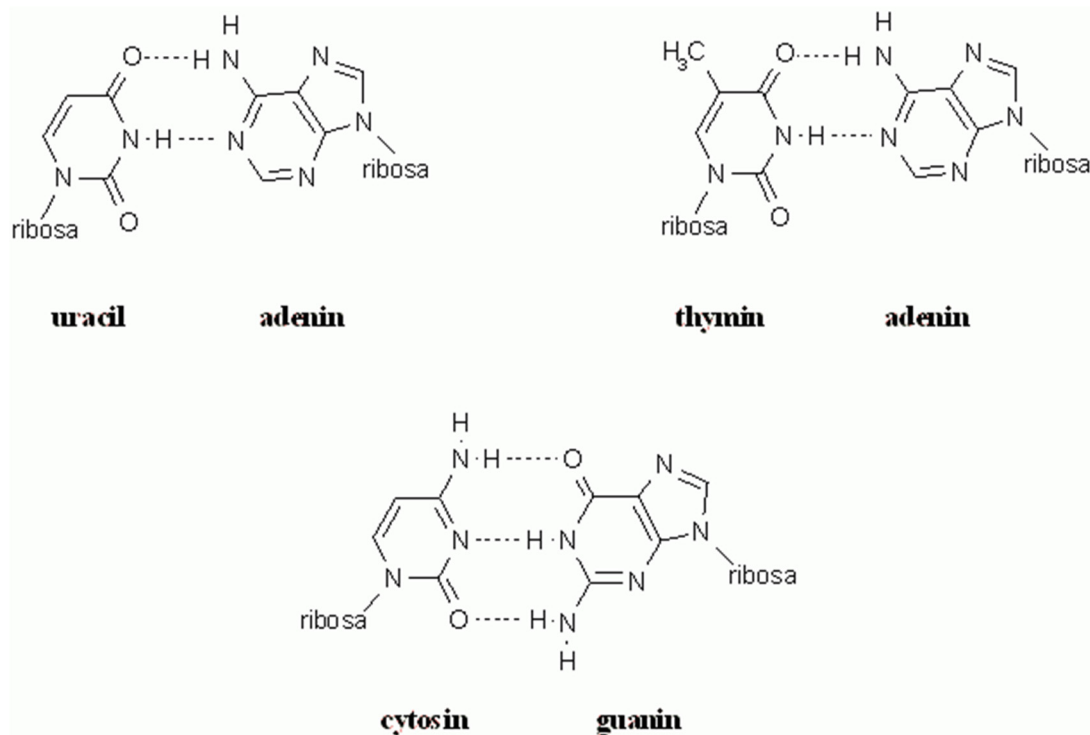
Skupina 2B - podozrivý karcinogén pre človeka (acetylamid, chloroform, zlúčeniny kobaltu),

Skupina 3 - neklasifikovaný,

Skupina 4 - pravdepodobne nie je karcinogénny pre človeka.

1.3.6 Mutagénne účinky

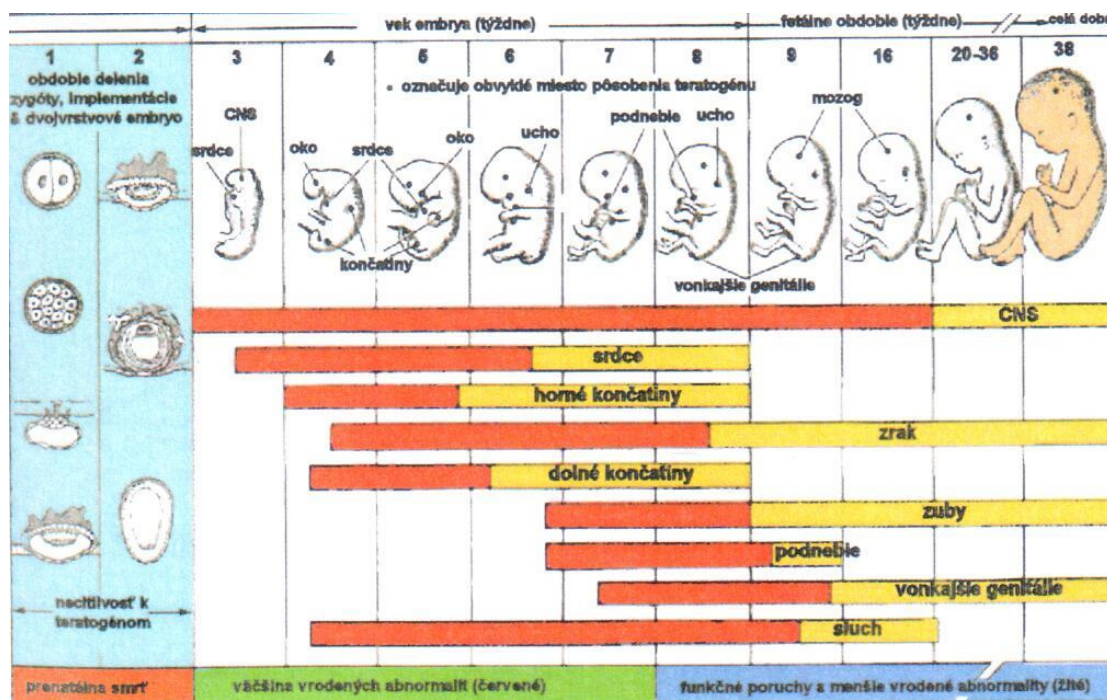
Mutácia je zmena v genetickej informácii, ktorá vedie ku zmene vlastností nasledujúcej generácie. Mutagenita chemických látok je schopnosť meniť dedičné vlohy (vlastnosti, znaky) organizmu na základe náhlej neusmernenej a trvalej zmeny genetického materiálu v DNA - mutácie. Predstavuje pôsobenie xenobiotika na zmenu štruktúry niektorej bázy nukleovej kyseliny - deoxyribonukleovej (DNA) alebo ribonukleovej (RNA). Obidve kyseliny sú tvorené dvojíťmi špirálami (helixy). Vlákna špirál sú k sebe pripútané vodíkovými mostíkmi v pároch pyrimidínovými (cytozín, uracil a tymín) a purínovými bázami (adenín a guanín). Každá purínová báza je viazaná s určitou pyrimidínovou bázou a naopak. V RNA sú to páry adenín - uracil a guanín - cytozín. V DNA je namiesto uracilu tymín. Príklady väzby vodíkových mostíkov sú znázornené na obr. 2. Pri pôsobení mutagénnou látkou dochádza k prestavbe poradia nukleotidov v molekule DNA a to spôsobuje poruchy vo vývoji organizmu.



Obrázok 2 Príklady väzby vodíkových mostíkov DNA a RNA

1.3.7 Teratogénne účinky

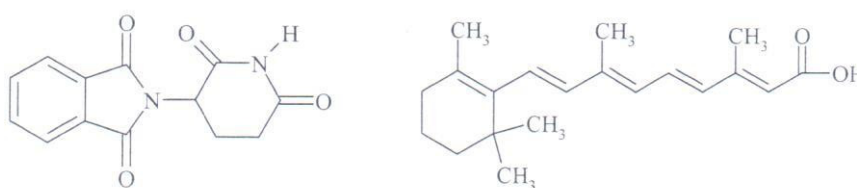
Teratogénne účinky vyvolávajú poškodenie plodu (embrya), ktoré vedie ku tvorbe defektného jedinca, ktorý je životaschopný. Teratogénnym účinkom rozumieme vývinové anomálie z hľadiska štrukturálnych, funkčných a biochemických zmien organizmu (obr. 3). Teratogenitu môžu spôsobovať nielen chemické látky, ale aj vírusy (rubeola) a iné infekcie, imunologické fenomény, žiarenie rôzneho druhu, výživa a pod.



Obrázok 3 Jednotlivé obdobia vývoja orgánov ľudského plodu a ich citlivosť ku teratogénom (Moore, 1993)

Talidomid - je liek, ktorý patrí k teratogénom. Používal sa v 50. a 60. rokoch 20. storočia v 48 štátoch sveta ako liek na liečbu rannej nevoľnosti, ktorá sprevádza u žien prvé mesiace gravidity. Bol však zakázaný, pretože sa potvrdilo, že ide o silný teratogén (tzv. Conterganova aféra). Narodilo sa okolo 10 000 postihnutých detí s rôznymi malformáciami. Liek spôsoboval predovšetkým tzv. **améliu** alebo **fokoméliu** - absenciu alebo ťažké skrátenie horných alebo dolných končatín.

V roku 1998 získal Talidomid (obr. 4) v USA povolenie na liečenie zhubných nádorov, lepry, vredom vyvolaným AIDS. V roku 2008 Európska agentúra pre lieky v Londýne (European Medicine Agency, EMA) odporučila schválenie Talidomidu ako účinnej látky na liečbu rakoviny kostnej drene pre pacientov nad 65 rokov. Klinické štúdie ukázali, že takáto kombinácia látok môže predĺžiť život až o 18 mesiacov v porovnaní s pacientmi liečenými len chemoterapiou. Liečivo pomáha v boji s metabolickou poruchou **kachexia**, ktorá sa vyskytuje u 50 % ľudí trpiacich rakovinou.



Obrázok 4 Talidomid (vľavo) a Akutan (vpravo)

Akutan - v roku 1988 U. S. Food and Drug Administration odhadla, že Akutan (obr. 4), liek, ktorý používali najmä dospelí na liečenie nepríjemných hnisavých vyrážok na tvári (akné), môže byť zodpovedný za asi 1 000 vrodených väd u detí, ktoré sa narodili matkám užívajúcim tento liek v období rokov 1982 až 1986. Pri sledovaní vzorky 409 ukončených tehotenstiev žien, ktoré užívali tento liek, skončilo 37 % tehotenstvo spontánnym potratom, viac ako 5 % novorodencov sa narodilo s rôznymi vývinovými chybami a v 54 % sa skočilo tehotenstvo prerušením gravidity. Teratogenita je vysoká a pohybuje sa v rozmedzí 14 - 45 %. Chemický názov Akutanu je izotretinoin a je chemicky príbuzný kyseline retínovej, vitamínu A, ktorý je pri nadmerných dávkach tiež teratogénny. Expozícia plodu Akutanom po dobu dlhšiu ako niekoľko dní môže viesť ku vzniku vrodených väd, akými sú ťažké tvárové malformácie (znetvorenia), poruchy srdca, srdcovo-cievneho systému, týmusu a mentálna retardácia.

1.4 Ekologická toxikológia

Ekosystém je základná funkčná jednotka prírody. Je tvorený spoločenstvom (biocenózou) žijúcim na určitom území s určitými abiotickými faktormi (biotop). Je to otvorená sústava s nasledovnými funkciami: prenos a obeh látok, tok energie, výmena informácií a produkcia biomasy.

Z hľadiska vzťahov v ekosystéme sa organizmy rozdeľujú na:

1. Primárnych producentov - autotrofné organizmy vytvárajúce fotosyntézou organickú hmotu.

2. Konzumentov - heterotrofné organizmy, ktoré konzumujú veľkú časť organických látok, ktorú vyprodukovali rastliny a vytvárajú novú organickú hmotu svojich tel (sekundárni producenti)

Rozlišujeme:

- konzumentov 1. radu (bylinožravce - herbivory),
- konzumentov 2. radu (mäsožravce - karnivory),
- konzumentov 3. radu (predátory).

2 Reducentov (dekompozítorov) - rozkladajú mŕtvu organickú hmotu, ktorú tvoria odumreté telá rastlín a živočíchov. Mineralizujú tak organickú hmotu a podieľajú sa na kolobehu látok v ekosystéme.

Všetky skupiny organizmov vytvárajú v ekosystéme potravné (trofické) reťazce. Potravný reťazec je súbor jedincov, ktoré sú na seba viazané potravnými (trofickými) vzťahmi.

Základné typy potravinových reťazcov:

Pastevno - korisnícky reťazec: v reťazci sa veľkosť tiel konzumentov postupne zväčšuje, ale ich počet klesá.

primárny producent - herbivor - karnivor - predátor

Dekompozičný (rozkladový, detritový) reťazec: umožňuje kolobeh látok v prírode. Ide o postupný rozklad organickej hmoty za vzniku humusu a neskôr o úplnú mineralizáciu. Veľkosť tela konzumentov sa znižuje, ale rastie ich počet.

odumretá organická hmota - dekompozítory - detritivory - predátor

Parazitický (cudzopasný) reťazec: opak pastevno - korisníckeho reťazca, kde sa veľkosť organizmov konzumentov znižuje a ich počet rastie.

hostiteľ – parazit – parazitoid – karnivor

Perzistentné organické polutanty

V posledných desaťročiach sa venuje značná pozornosť ťažko odbúrateľným, tzv. perzistentným organickým polutantom (POP). Ide o chemické látky s toxickým účinkami s vysokou odolnosťou voči fyzikálno - chemickým a biologickým rozkladným procesom.

Medzi takéto perzistentné organické polutanty patria:

- polycyklické aromatické uhľovodíky (PAU),
- polychlórované bifenyly (PCB),
- polychlórované fenoly (PCP),
- organochlórované pesticídy (OCP),
- polychlórované dibenzo-para-dioxíny (PCDD),
- polychlórované dibenzofurany (PCDF).

Znečistenie životného prostredia perzistentnými organickými látkami je jedným z najzložitejších problémov dnešnej doby. Tieto látky ohrozujú všetky živé organizmy, a to aj v tých najodľahlejších miestach našej planéty.

Od roku 1998 sa UNEP (United Nations Environmental Programme) aktívne podieľa na príprave medzinárodnej zmluvy o celosvetovom zákaze a eliminácii týchto látok. V súvislosti s tým prebiehajú aj konferencie, ktoré sa zaoberajú odpadmi, kde sa riešia súčasne aj problémy s ich nakladaním. Hlavne nevládne organizácie sa pokúšajú o zákaz spaľovania odpadu, pri ktorom vznikajú tieto nebezpečné látky a navrhujú zavedenie čistých technológií, s minimalizáciou ich

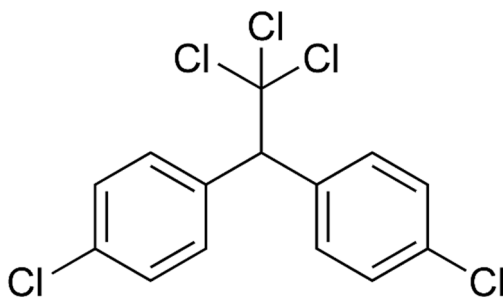
vzniku týchto látok a s využitím recyklácie, anaeróbného rozkladu a kompostovania na ich zneškodnenie a prípadné zhodnotenie.

Dioxíny vznikajú pri spaľovaní odpadu obsahujúceho chlórované látky, či ako vedľajší produkt v chemickej výrobe, kde sa používa chlór (výroba pesticídov, bielenie papiera chlóróm a pod.). Dioxíny a príbuzné látky ako dichlórdifenyiltrichlóretán (DDT) či polychlórované bifenyly (PCB) sú podľa Európskej hospodárskej komisie pri OSN (Organizácia spojených národov) zaradené do skupiny perzistentných organických polutantov a ich metabolitov (POPs) pre ich nízku degradovateľnosť. Pre životné prostredie a pre ľudský organizmus predstavujú nebezpečnú hrozbu, a to hlavne kvôli ich vysokej stabilite a schopnosti absorpcie. Ich účinky sa nemusia prejaviť hneď, ale až na ďalších generáciách. Nie sú rozpustné vo vode a hromadia sa v tukoch - sú **lipofilné**.

Viaceré kongenéry dioxínov a furánov majú preukázané mnohé negatívne účinky:

- rakovinotvornosť,
- teratogenita - schopnosť poškodzovať vyvíjajúci sa plod v tele ženy,
- imunotoxicita - poškodenie a následné poruchy imunitného systému,
- kožné ochorenia,
- poruchy hormonálnej činnosti (poruchy mužských a ženských pohlavných orgánov, negatívny vplyv na kardiovaskulárny systém, poškodenie nervovej sústavy),
- zvyšujú výskyt cukrovky,
- spôsobujú poškodenia chrupu.

DDT (dichlór - difenyl - trichlóretán) (obr. 5) bol prvýkrát syntetizovaný už v roku 1874, ale jeho insekticídne účinky objavil až švajčiarsky chemik Paul Hermann Müller v roku 1939. Od druhej svetovej vojny sa DDT hromadne používal ako prípravok proti škodlivému hmyzu v poľnohospodárstve, ale predovšetkým na likvidáciu komárov a moskytov.



Obrázok 5 Dichlórdifenyiltrichlóretán (DDT)

Regulácia

Výroba a používanie DDT je dnes zakázaná vo väčšine krajín sveta, ale v rade afrických a ázijských krajín sa stále používa. Dôvodom je zníženie výskytu malárie, ku ktorému preukázateľne dochádza vďaka účinkom DDT na komáre rodu *Anopheles*, ktoré maláriu prenášajú. Prebieha však spor medzi jeho zástancami a odporcami, či je najvhodnejšou formou boja s maláriou.

Výrobu a užívanie DDT celosvetovo reguluje Štokholmský dohovor o perzistentných organických polutantoch, ktorý bol podpísaný 23. mája 2001 vo švédskom Štokholme pod patronátom UNEP (United Nations Environmental Programme - Environmentálny program Organizácie spojených národov) a je právne záväznou medzinárodnou dohodou, ktorej cieľom je eliminácia vybraných perzistentných organických látok.

Dokonca v 60. rokoch 20. storočia sa používal prípravok DDT aj v Československu, napr. aj proti všiam a dal sa bežne zakúpiť v drogerii. Bol lacný, veľmi účinný a chemicky stály, nerozkladal sa. Keď bolo DDT nasypané na dno skrine a prikryté papierom, na ktorom bola bielizeň, dotykovo hubil hmyz ešte pol roka.

Toxicita

DDT je toxický. U laboratórnych myší bola zistená smrteľná dávka LD₅₀ pri podaní v potrave 135 mg/kg, u potkanov 87 mg/kg, u človeka 1500 mg/kg. Pre vodné živočíchy je napriek nízkej rozpustnosti vo vode silne jedovaté. Letálna koncentrácia LC₅₀ je podľa druhu rýb v rozmedzí 8 000 - 100 000 mg/l pri pôsobení počas 96 hodín. Pre usmrtenie hmyzu stačia nepatrné dávky. U muchy domácej (*Musca domestica*) je uvádzaná hodnota LD₅₀ pri 24 hodinovej expozícii približne 0,033 mg na jedného jedinca.

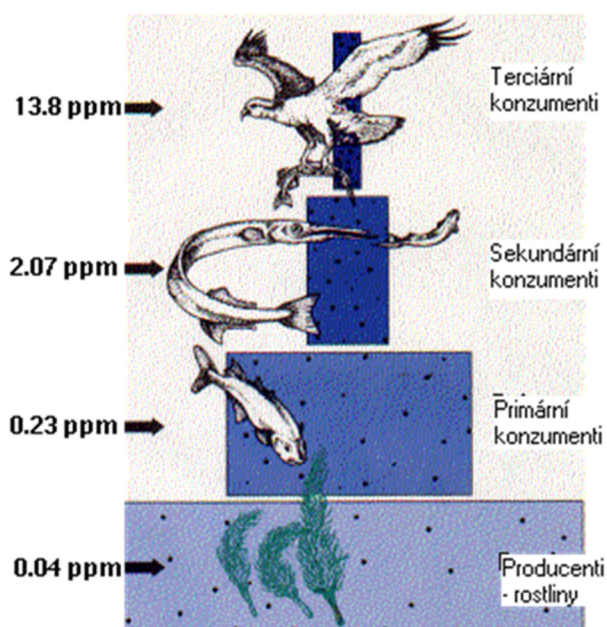
Vplyv na človeka

DDT sa dobre rozpúšťa v tukoch, bola preukázaná karcinogenita a mutagenita. Pri chronickej otrave sa prejavujú zmeny krvného obrazu, pri akútnom zasiahnutí pôsobí na centrálnu nervovú sústavu, vyvoláva kŕče a končí obrnou dýchania. Akútna inhalácia spôsobuje bronchitídu. Vystavení DDT môžeme byť pri konzumácii dovážaných surovín z oblastí, kde bolo DDT aplikované ako pesticíd, či konzumáciou kontaminovaných živočíchov, pri jedení plodín rastúcich v kontaminovanej pôde. Dojčatá môžu DDT do svojho tela dostávať prostredníctvom materského mlieka.

Uskutočnilo sa mnoho testov, aby sa určil jeho účinok na človeka. Nízka až stredná expozícia (10 mg/kg) môže spôsobiť nevoľnosť, hnačku, podráždenie očí, nosa alebo hrdla, zatiaľ čo vyššie dávky (16 mg/kg) môžu viesť k triasom a kŕčom. U ľudí, ktorí boli v pracovnom prostredí vystavení pôsobeniu DDT sa zistili mutagénne účinky (poškodenie chromozómov).

Vplyv na životné prostredie

DDT sa biologicky rozkladá veľmi pomaly, dostáva sa potravnými reťazcami do tel mnohých živočíchov a usadzuje sa v tele všetkých organizmov na celej planéte. Prítomnosť DDT bola zistená aj u morských vtákov v Antarktíde a u rýb žijúcich v hĺbke 3000 m. Model na obr. 6 ukazuje, ako sa koncentruje DDT na vrchole potravinovej pyramídy. U dravých vtákov sa možno stretnúť s koncentráciami stonásobne vyššími ako v rastlinách. Polčas rozpadu sa pohybuje od 2 do 15 rokov.



Obrázok 6 Biomagnifikácia DDT potravným reťazcom

(<https://www.slideshare.net/mschenteaches/biomagnification-tues-reg>)

DDT sa rozkladá na dva produkty: DDE (dichlór - difenyl - dichlóretylén) a DDD (dichlór - difenyl - dichlóretán) s veľmi podobnými vlastnosťami a rovnakými vysoko perzistentnými vlastnosťami, aké sa nachádzajú v pôvodnom DDT. DDE spôsobuje rednutie vaječných škrupín vtákov. Devastujúci účinok DDT na vodné prostredie bol dôkladne sledovaný. Vďaka svojej nízkej rozpustnosti má vyššiu rýchlosť bioakumulácie vo vode, a preto predstavuje dlhodobú hrozbu pre vodnú faunu a flóru.

Osvedčený ekologický vplyv na vtáky najmä dravé vtáky ako orol bielohlavý (*Haliaeetus leucocephalus*), sokol sťahovavý (*Falco peregrinus*) je riedenie škrupín vajec, evanescencia (zanikanie) a poškodenie vajec, ktoré môžu priamo ovplyvniť dlhodobý rast populácie. DDT môže spôsobiť disfunkcie v centrálnom a periférnom nervovom systéme potkanov prostredníctvom účinku na transportné mechanizmy v nervovom systéme. Spôsobuje

teratogénne účinky u myší, potkanov a škrečkov, zvýšenú produkciu nádorov, najmä v pľúcach a pečeni. Ďalším negatívnym účinkom je, že chemikália nie je selektívna, čo zabíja aj užitočný hmyz. Je to obzvlášť škodlivé pre mnohé druhy vodných živočíchov.

2. Expozícia a účinok toxických látok

Expozícia = pôsobenie, vystavenie organizmu pôsobeniu látky určitej koncentrácie, v určenej dobe pôsobenia a cesty vstupu do organizmu.

Otravy sa podľa dĺžky trvania expozície delia na:

1. Akútne otravy - jednorazové,
2. Subakútne otravy - niekoľkonásobné vystavenie organizmu, väčšinou trvá 2 - 4 týždne,
3. Subchronické otravy - do 3 mesiacov,
4. Chronické otravy - aj celoživotné.

Účinok - je odpoveď organizmu na expozíciu látkou. Toxické účinky závisia od koncentrácie a dávky látky, spôsobu kontaktu s organizmom, od metabolitov látky, od miesta účinku.

Účinok akútny - bezprostredný po jednorazovej dávke toxické látky.

Účinok chronický - po dlhodobom styku s látkou.

Dávka = množstvo toxické látky, ktoré sa dostane (vstúpi) do organizmu a je absorbované. Uvádza sa v hmotnostných jednotkách na jednotku hmotnosti organizmu za jednotku času (napr. mg/kg/d).

Akútna dávka = koncentrácia, ktorá zvyčajne spôsobí smrť organizmu.

Chronická dávka = koncentrácia, hlboko pod prahovou hodnotou s dlhodobým pôsobením.

Základným údajom o akútnej toxicite je smrteľná - **letálna dávka (LD)** alebo pre plyny a pary **letálna koncentrácia (LC)**.

LD₅₀ - letálna dávka - dávka chemickej látky, pri ktorej uhynie 50 % testovacích jedincov inou ako inhalačnou cestou. Látka je tým toxicejšia, čím je nižšia jej číselná hodnota LD₅₀. Porovnaním LD₅₀ = 1 mg/kg s látkou LD₅₀ = 10 mg/kg je toxicejšia tá, ktorá má nižšiu koncentráciu. Pri hodnotách LD sa uvádza druh testovacieho organizmu (myš, potkan, pes atď.) a spôsob podania testovanej látky (tráviacou, dýchacou sústavou, kožou a pod.).

LD_x - letálna dávka chemickej látky, pri ktorej uhynie x % testovacích jedincov.

LC₅₀ - vypočítaná letálna koncentrácia chemickej látky vo vzduchu (vode), po expozícii ktorou za určitý čas dôjde k úmrtiu alebo úhynu 50 % testovacích jedincov.

LC_x - najnižšia letálna koncentrácia chemickej látky vo vzduchu, ktorá môže spôsobiť úmrtie človeka alebo úhyn zvierat.

V toxikológii sa používa dávka, ktorá usmrtí priemerného dospelého človeka s hmotnosťou asi 70 kg (tab. 4). Rozdelenie toxických látok podľa kritérií WHO (World Health Organisation - Svetová zdravotnícka organizácia) a EPA (Environmental Protection Agency - Úrad pre ochranu životného prostredia v USA) je uvedené v tab. 5. Ďalšia možnosť rozdelenia toxických látok je podľa delenia LD₅₀ (tab. 6).

Tabuľka 4 Stupnice toxicity podľa dávky pre človeka a potkana

Charakteristika dávky	Potkan	Človek	Príklady látok
Látka supertoxická	<5 mg/kg	stopa -7 kvapiek	nikotin, As ³⁺ , botulotoxin
Látka extrémne toxická	5 - 50 mg/kg	7 kvapiek - lyžička	BaCO ₃ , KClO ₃
Látka silne toxická	50 - 500 mg/kg	lyžička - 50 ml	Cd ²⁺ , Pb ²⁺ , methanol
Látka mierne 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	> 1,0 l	BaSO ₄

Tabuľka 5 Rozdelenie toxických látok podľa kritérií WHO a EPA

Toxicita/ Charakteristika látky	Kritéria WHO	Potkan LD ₅₀ mg/kg	Kritéria EPA	Potkan LD ₅₀ mg/kg
Extrémne toxická	1a	<5	I	<5
Silne toxická	1b	5-50	II	50-500
Toxická	II	50-500	III	500-5000
Slabo toxická	III	>501	IV	>5000

Tabuľka 6 Letálna dávka vybraných látok, pri ktorej uhynie 50 % jedincov

Látka	Etanol	NaCl	Morfín	Fenobarbital	Nikotín	Dioxín	Botulotoxín
LD ₅₀ mg/kg	10 000	4 000	900	150	1	0,01	0,000 01

ED - efektívna dávka = účinná dávka (EC - efektívna koncentrácia) uvádza, aké percento testovacích jedincov reaguje po expozícii testovanou látkou.

Efektívna dávka (ED) - uvádza, aké percento jedincov reaguje po expozícii testovanou látkou.

ED₅₀ - efektívna dávka, pri ktorej reaguje 50 % testovacích jedincov.

ED₀ - efektívna dávka, pri ktorej nereaguje žiadny testovací jedinec.

ED_x - efektívna dávka, pri ktorej reaguje x % testovacích jedincov.

Ďalšími základnými údajmi o akútnej toxicite sú hodnoty:

NOAEL - dávka, pri ktorej nebol pozorovaný škodlivý účinok (no observable effect level)

LOAEL - najnižšia dávka, pri ktorej bol pozorovaný škodlivý účinok (lowest observable adverse effect level)

NOAEC - koncentrácia, pri ktorej nebol pozorovaný škodlivý účinok (no observable effect concentration)

LOAEC - najnižšia koncentrácia, pri ktorej bol pozorovaný škodlivý účinok (lowest observable adverse effect concentration)

Vzťah odpovede a dávky

Je to kvantitatívny vzťah medzi dávkou a expozíciou toxikkej látky a výskytom nežiadúcich účinkov. Pokusy na zvieratách sa vykonávajú za účelom stanovenia vzťahu účinku na dávke toxikantu meraním rozsahu akéhokoľvek pozorovaného efektu pri rôznych dávkach a na stanovenie dávky, ktorá nemá žiadny merateľný fyziologický účinok.

Prahový a bezprahový účinok:

Prahový účinok je známa koncentrácia toxikanta tzv. prahová hodnota množstva alebo koncentrácie toxikkej látky, pri ktorej nedochádza k poškodeniu (fyziologickej zmene) žiadneho jedinca sledovaného druhu. Prahová hodnota je stanovená experimentálne.

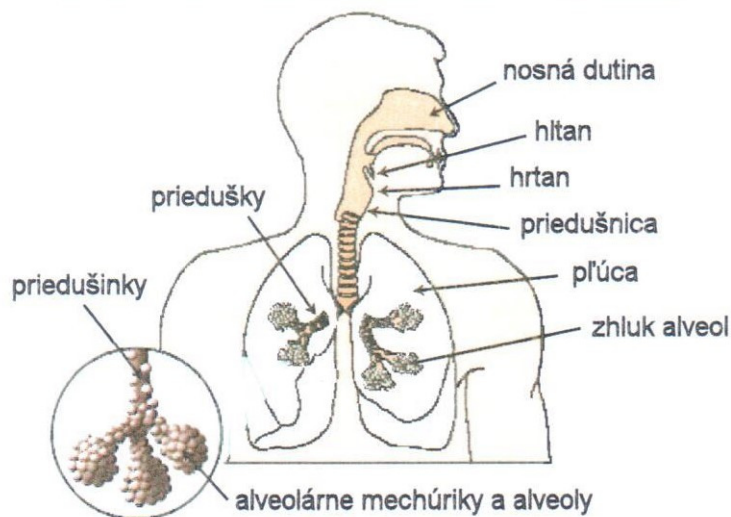
Bezprahový účinok je pre vzťah účinku v závislosti od dávky platí, že účinok je nulový, keď je dávka nulová. Len nulová dávka nemá účinok a látka má vtedy bezprahový účinok. U chemických látok, ako sú karcinogény a mutagény sa z etických dôvodov predpokladá, že závislosť je bezprahová, tzn. že i jedna molekula vyvolá účinok.

2.1 Vstup toxických látok do organizmu

2.1.1 Vstup inhalačne

Pri tejto ceste vstupu **vdychovanín** sa plyny, pary kvapalín, kvapky aerosólu alebo prachové častice dostávajú do tela dýchacími cestami. V horných cestách dýchacích sa časť vdychovaných látok môže zadržiavať. Zadržujú sa hlavne látky dobre rozpustné vo vode, ktoré sa rozpúšťajú na vlhkom povrchu slizníc a tiež väčšie častice tuhých a kvapalných látok, >1 µm, ktoré sa zachytávajú na riasnatej výstelke slizníc. Zbytok sa dostáva s vdychovaným vzduchom až do pľúcnych mechúrikov (aveol) a odtiaľ do krvi (obr. 7). Dobrá absorpčná schopnosť pľúc je daná ich vysokým prekrvením. Pre toxicitu má zásadný význam, či je látka vdychovaná v podobe pár alebo aerosolov. Aerosoly sú oveľa toxickéjšie, hlavne silnejšie

dráždivé, než pary s rovnakou koncentráciou vo vdychovanom vzduchu. Otravy inhaláciou sú najčastejšie v priemysle, pretože touto cestou môže škodlivina preniknúť do tela veľakrát a nepozorovane.

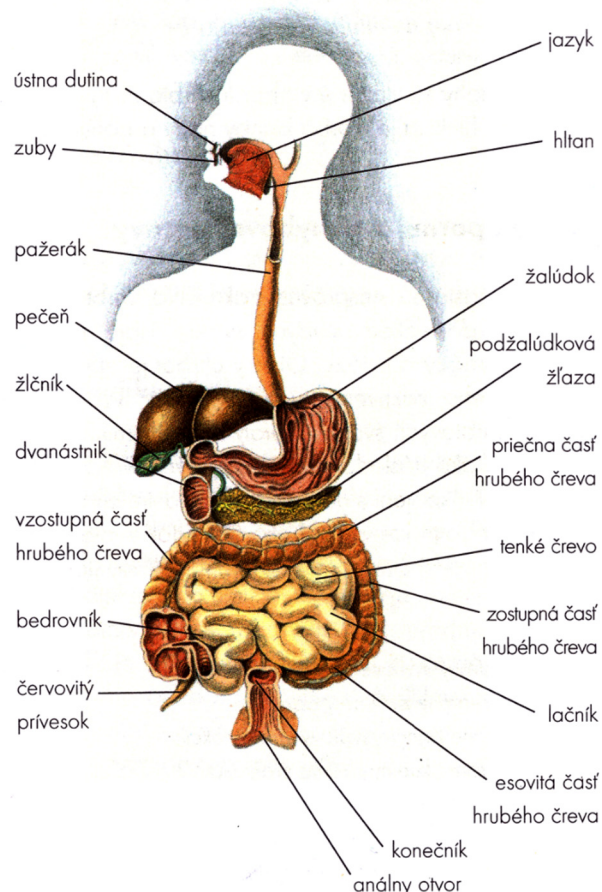


Obrázok 7 Dýchacia sústava

(<https://www.registerednursing.org/teas/respiratory-system/>)

2.1.2 Vstup perorálne

Vstup perorálne - ústami. Tráviacu sústavu si môžeme predstaviť ako trubicu, ktorou putujú látky s potravy do úst a ku konečníku. Pokiaľ sú škodlivé látky v tráviacom trakte spravidla nespôsobujú otravu, pokiaľ sa nejedná o látky žieraviny alebo dráždiace. Aby škodlivina mohla pôsobiť systémovo, musí byť z tráviaceho traktu absorbovaná do krvi. K tomu dochádza pozdĺž celého tráviaceho traktu, ale najvýznamnejším miestom absorpcie je tenké črevo (obr. 8). Aj tu absorpciu podobne ako v žalúdku ovplyvňuje charakter stravy. Rýchlosť vstrebávania môžu ovplyvniť etanol alebo tuky. V tenkom čreve sa toxické látky účinne absorbujú a translokujú. Tenké črevo má veľký povrch vhodný pre absorpciu. Hnacou silou absorpcie je lipofilita látky (rozpustnosť v tukoch). Lipofilné látky sa dobre vstrebávajú aj v hrubom čreve a rektálnej sliznici, ak sa dostanú až tam. Zložky cyklu črevo – krv – pečeň – žlč vytvárajú **enterohepatický cirkulačný systém**, ktorý je uzavretý. Takéto látky sa z tela veľmi zle vylučujú a môžu byť vysoko nebezpečné.



Obrázok 8 Tráviaca sústava

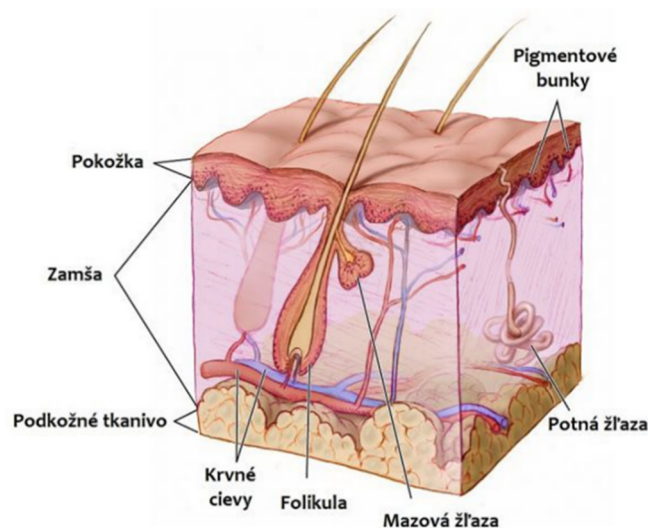
(<https://encyklopediapoznania.sk/clanok/6396/traviaca-sustava>)

2.1.3 Vstup perkutánne

Vstup perkutánne (transdermálne) cez kožu. Neporušená ľudská koža tvorí určitú bariéru pre vstup cudzorodých látok do tela. Koža pozostáva z troch vrstiev: na jej povrchu je ochranná vrstva **epiderma** (skladá z vrchnej zrohovatenej časti a zvyšku pokožky), stredná vrstva tzv. **zamša** (zložená z vysoko vaskularizovaného pojivového tkaniva) a vnútorný podkožný tuk tzv. **hypoderma** (zložená zo zmesi tukového a pojivového tkaniva) (obr. 9). Koža netvorí kompaktný celok, je pretkaná kanálkami potných a mazových žliaz. Spodná vrstva je prekrvená krvnými vlásočnicami.

Poznáme tri možné cesty perkutánnej absorpcie:

- difúzia cez epidermu do zamše,
- vstup cez potné a mazové kanáliky,
- vstup pozdĺž otvorov vlasových folikulov.



Obrázok 9 Zloženie kože

(<https://www.dixo.sk/kozne-zmeny/>)

Po absorpcii kožou sa látka dostane do krvného obehu a s krvou tak do celého tela. Účinok látky aplikovanej na kožu môže byť buď lokálny (látky, ktoré kožu dráždia, niektoré leptajú) alebo systémový, pokiaľ sa látka vstrebáva. Lipofilné látky môžu prenikať cez bunkové membrány epidermálnych a dermálnych buniek. Na rozdiel od hydrofilných látok prenikajú kanálkami potných a mazových žliaz. Prierez týchto kanálikov tvorí však iba 0,1 - 1 % povrchu kože. Je ťažké predpovedať schopnosť látok prenikať kožou. Závisí to od viacerých faktorov, ako napr. vlhkosť kože, teplota, vek. Perkutánne môžu prenikať látky lipofilné, ako aj hydrofilné. Sú známe prípady smrteľných otráv po absorbovaní kožou. Najväčšou bariérou pre vstup cudzorodých látok je zrohovatená vrstva kože. Touto vrstvou môžu najlepšie prenikať polárne aprotické rozpúšťadla ako dimethylsulfoxid, dimethylformamid, a pod.. Tieto rozpúšťadla, najmä ako dimethylsulfoxid, môžu veľmi významne uľahčiť prestup v nich rozpustených látkach. Ochranné schopnosti kože sú výrazne oslabené, ich povrchová vrstva porušená. Vstup toxických látok kožou je významná cesta neúmyselnej intoxikácie pri práci s chemickými látkami.

2.1.4 Vstup parenterálne

Cesta parenterálna zahŕňa iné cesty vstupu napr. očnou sliznicou, konečníkom, injekčne - intravenózne, močovou rúrou atď.. Prakticky všetky kvapaliny (okrem špeciálne upravených

roztokov) a pevné častice pri vniknutí do oka viac či menej dráždia. Niektoré látky pôsobia na oko nevratne a neodvratne, takže ani rýchle vypláchnutie oka vodou alebo prípravky k tomu určené nemôžu zabrániť poškodeniu alebo strate zraku. Príkladom bežného činidla, ktoré môže spôsobiť stratu zraku už pri malej dávke je diclohexytkarbodiimid. Menej známa je skutočnosť, že cez oči môžu mnohé látky preniknúť do mozgu a spôsobiť otravu, ktorá bezprostredne nesúvisí so zrakom (systémový účinok). Táto cesta vstupu toxických látok je síce v bežnom živote málo pravdepodobná, pri práci chemika je však veľmi významná. Je to ďalší dôvod, prečo je nutné v laboratóriách a na pracoviskách, kde sa pracuje s nebezpečnými látkami, používať ochranné okuliare a vo zvláštnych prípadoch aj ochranný štít.

3. Toxické účinky vybraných ťažkých kovov

Ťažké kovy patria medzi látky často kontaminujúce životné prostredie. Ukladajú sa v organizmoch a len ťažko sa z organizmu odbúravajú. Uvoľňujú sa do ovzdušia najmä pri priemyselnej výrobe (čistenie kovov, galvanizácia), ale aj pri spaľovaní fosílnych palív. Ukladajú sa v pôde a najmä vo vode a tak sa cirkuláciou vody na Zemi ťažké kovy akumulujú v moriach. Tam kontaminujú ryby a vďaka potravinovému reťazcu kontaminácia organizmov postupne stúpa, pretože dravé živočíchy sa živia kontaminovanými organizmami. Kvôli tomu sú ťažkými kovmi ohrozené najmä živočíchy na konci potravinového reťazca a aj človek, najmä v prímorských oblastiach, kde je celkovo vyššia konzumácia morských živočíchov.

Ťažké kovy sú v určitých koncentráciách v organizme toxické až so smrteľným účinkom. Napriek tomu, niektoré kovy sú pre človeka a niektoré organizmy **esenciálne** - organizmus ich potrebuje ako katalyzátory niektorých biochemických reakcií, napr. zinok, meď, železo či selén.

3.1 Hlavné skupiny anorganických prvkov

3.1.1 Skupina IV - olovo

Olovo (Pb) je najrozšírenejším ťažkým kovom. Pochádza najmä z priemyselnej a banskej činnosti. Akútne otravy olovom spôsobujú disfunkcie rôznych orgánov, ako napr. obličiek, pečene, mozgu a centrálnej a periférnej nervovej sústavy, ako aj poruchy reprodukčnej sústavy. Olovo tiež inhibuje syntézu hemoglobínu. S výnimkou ojedinelých prípadov, jeho prítomnosť v pitnej vode nie je najväčším hygienickým problémom. Potvrďuje to fakt, že nie sú zaznamenané otravy ani v prípadoch dlhoročného používania olovených vodovodných potrubí a to aj napriek tomu, že koncentrácie olova tam môžu krátkodobo dosiahnuť značné hodnoty.

Olovo je ľahko spracovateľný kov a preto ho ľudstvo už využíva veľmi dávno. Príkladom sú staré vodovodné rúry a cínové nádoby používané v starom Ríme. Od čias Gutenberga do prvej polovice 20. storočia chronickými otravami olovom trpeli tlačiar. Je zložkou rôznych farbív a existuje aj názor, že duševné poruchy Vincenta van Gogha boli spôsobené otravou olovom.

Vplyv na zdravie: Stredne ťažká otrava sa prejavuje anorexiou, únavou, dráždivosťou, zápchou, občasnými bolesťami brucha. Ak je príjem olova väčší ako výdaj, jeho obsah v krvi je vyšší. Približne 95 % sa viaže na červené krvinky, zároveň sa zvyšuje jeho ukladanie v pečeni a v kostiach. Ukladanie olova v tele je rizikové najmä pre duševný a telesný vývin detí. U dospelých vzniká anémia ako následok ukladania olova v kostnej dreni.

3.1.2 Skupina V - arzén

Arzén (As) je považovaný za jeden z najzákernejších anorganických polutantov. Tvorí niekoľko toxických zlúčenín. Veľké množstvá arzénu sa do prírodného prostredia uvoľňujú spaľovaním fosílnych palív, najmä uhlia. Ďalším zdrojom sú odpady z banskej činnosti. Arzén je vedľajším produktom pri výrobe Cu, Au a Pb. Pretože tento zdroj vysoko prevyšuje požiadavky priemyslu, sa arzén kumuluje na skládkach odpadov a predstavuje vážny ekologický problém.

Vplyv na zdravie: oxid arzenitý (As_2O_3) sa absorbuje v pľúcach a v črevnom trakte. Biochemický účinok arzénu spočíva v koagulácii proteínov, tvorbe komplexov s koenzýmami a inhibícii adenosíntrifosfátu. Akútna otrava arzénom nastáva pri požití viac ako 100 mg As. Chronickú otravu spôsobuje príjem malých dávok počas dlhšej časovej periódy. Sú dôkazy o karcinogénnych účinkoch As. Spôsobuje rôzne degeneratívne zmeny v rastlinách a mikroskopických hubách. Pitie kontaminovanej vody spôsobuje poškodenia kože a ďalšie sprievodné choroby. Sú známe otravy arzénom v oblastiach Bangladéšu, kde dediční nemali prístup k zdrojom pitnej čistej vody.

3.2 Vedľajšie podskupiny anorganických prvkov

3.2.1 Skupina Ib - meď

Meď (Cu) je ušľachtilý nealotropický kov s kryštálovou sústavou červenej farby. Má vysokú tepelnú vodivosť, tvárnosť za tepla aj studena a dobrú odolnosť proti korózii. Meď sa na technické účely využíva ako čistý kov (asi 55 % produkcie), aj ako zliatina s rôznymi prvkami. Až 75 % medených výrobkov sa používa v elektrotechnike, v strojárstve, potravinárstve a chemickom priemysle. Používa sa pri výrobe drôtov, plechov, potrubia a mincí, v poľnohospodárstve pri ošetrovaní chorôb plodín, na ochranu dreva, kože a tkanív. Zliatiny medi, bronz a mosadz, sa používajú na výrobu prístrojov a náradia v rozličných odvetviach. Meď je aj esenciálny stopový prvok, ktorý v tele plní rad dôležitých funkcií. Pomáha udržiavať zdravý metabolizmus, podieľa sa na zachovaní pevnosti a zdravia kostí a zaisťuje tiež správne fungovanie nervovej sústavy a mozgu.

Vplyv na zdravie: Všetky zlúčeniny medi, ak nie je známy opak, treba považovať za toxické. Smrteľná dávka síranu meďnatého pre človeka je približne 7 000 - 10 000 mg. Meď je po zinku a železe tretím najpočetnejším stopovým prvkom v organizme. Navrhovaná bezpečná koncentrácia v pitnej vode pre ľudí sa líši v závislosti od zdroja, v rozmedzí 1,5 - 2 mg/l. Potravinový referenčný príjem: tolerovateľná horná hranica konzumácie potravinovej medi pre dospelých zo všetkých zdrojov je 10 mg/denne.

Príznaky nadbytku medi: Otrava meďou, ktorá môže byť aj smrteľná, sa prejavuje najmä nasledujúcimi príznakmi: nevoľnosť, zvracanie (často s prímiesou nestrávenej potravy, či krvi), hnačka, bolesť brucha, čierna farba stolice (vyzerá ako rozmočené uhlie), bolesti hlavy, dýchavičnosť, nepravidelnosť srdcového rytmu, kóma, žlté sfarbenie kože a slizníc (žltáčka), poškodenie obličiek, poškodenie pečene. Našťastie je prakticky nemožné otráviť sa meďou, ak ju prijímame v potrave. K otrave meďou môže dôjsť pri pití kontaminovanej vody alebo konzumovaní meďou kontaminovaných potravín.

Príznaky nedostatku medi: Aj keď je nedostatok medi veľmi vzácny, niektorí ľudia môžu mať problém získať dostatok medi z potravín. Z dôvodu poruchy vstrebávania živín v čreve (napr. ľudia trpiaci celiakiou, zápalovými črevnými chorobami) alebo u ľudí, ktorí konzumujú veľké množstvo zinku, pretože nadbytok zinku vedie k nedostatočnému vstrebávaniu medi. Príznakmi sú: slabosť a únava, častejšie ochorenia, slabé a lámavé kosti, problémy s pamäťou a učením, ťažkosti s chôdzou a pohybom, citlivosť na chlad, svetlejšia pokožka, predčasné šedivenie vlasov, poruchy zraku.

3.2.2 Skupina IIb - zinok

Zinok (Zn) je mäkký ľahko taviteľný kov, používa sa od stredoveku. Slúži ako súčasť rôznych zliatin. Používa sa pri výrobe farbív a jeho prítomnosť v potrave je nevyhnutná pre správny vývoj organizmu, ale nadmerné množstvo môže byť škodlivé. Zinok je esenciálny stopový prvok, ktorý stimuluje aktivitu asi 100 enzýmov v ľudskom tele. Je koncentrovaný najmä vo svaloch, kostiach, koži, obličkách, podžalúdkovej žľaze, očiach a u mužov v prostate. Jeho nutričný význam bol objavený až v 60. rokoch minulého storočia po správach o priaznivom efekte suplementácie tohto prvku u neprospeievajúcich detí. Okrem spomínaného vplyvu na správny rast a vývoj zohráva nezameniteľnú úlohu pri syntetizácii DNA, čo zásadne vplýva napr. na dobrú hojivosť rán. Hoci množstvo zinku, potrebné pre správne fungovanie tela je pomerne malé, jeho účinky na organizmus sú obrovské.

Potrebuje ho každá bunka nášho tela pri jeho zásadných funkciách, ako je zažívanie, rozmnožovanie, rast, či činnosť mozgu. Optimálna hladina zinku v tele je nevyhnutným predpokladom pre zdravú pleť, na vlasy a silné nechty. Ďalšou podstatnou funkciou zinku v tele je zabezpečenie správnej funkcie imunitného systému. Ľudia, ktorí majú chronický nedostatok zinku sú dokázateľne náchylnejší na infekčné a zápalové ochorenia.

Vplyv na zdravie: zinok patrí medzi stopové prvky a hoci ho ľudský organizmus obsahuje len 2 - 3 gramy, je pre jeho existenciu nevyhnutný. Zinok je potrebný pre správnu funkciu

reprodukčných orgánov, kožnej bariéry, imunitného systému, či produkciu hormónov štítnej žľazy a inzulínu. Zásoby zinku v organizme sú malé a pri nedostatočnom prívide sa jeho deficit prejavuje pomerne skoro. Medzi najčastejšie príznaky nedostatku zinku v organizme patria: suchosť kože a problematická pleť, vypadávanie vlasov, poruchy rastu a vývoja, poruchy učenia u detí, recidivujúce infekcie dýchacích ciest u detí, znížená imunita a náchylnosť na prechladnutie a infekcie, zhoršená hojivosť rán, znížená reprodukčná schopnosť u žien aj mužov, poruchy vnímania chuti, zhoršenie zraku, depresia, podráždenosť a nervozita, zvýšená únava. Zinok je najmenej toxický stopový prvok. Ani dávky 10 -násobne vyššie ako odporúčané, nespôsobia akútne poškodenie organizmu.

Dlhodobý nadmerný príjem zinku (vyše 40 mg/deň) môže spôsobiť:

- deficit medi a železa (môže sa prejavovať anémiou),
- poškodenie imunitných funkcií,
- zvýšenie hladiny LDL (low density lipoprotein - lipoproteín s nízkou hustotou) a zníženie HDL (high density lipoprotein - lipoproteín s vysokou hustotou) cholesterolu v krvi.

Akútny nadmerný príjem zinku vo forme sulfátu (vyše 2000 mg/deň) môže spôsobiť:

- podráždenie tráviacej sústavy (vracanie, hnačku).

Zdroje zinku: morské živočíchy, červené mäso, strukoviny (najmä sója, arašidy, pinto a strakatá fazuľa) a výrobky z nich, obilniny a celozrnné výrobky (biela múka obsahuje menej ako 20 % pôvodného obsahu), orechy, tekvicové semená, huby, inaktívne pivovarské kvasnice, zelené vňate, zelená fazuľka.

3.2.3 Skupina VIb - chróm

Chróm (Cr) sa v prírode vyskytuje vo forme minerálov (napr. chromit), ktoré častokrát sprevádzajú rudy iných kovov. Používa sa pri výrobe kovových zliatin, napr. oceli. Ide o esenciálny prvok nevyhnutný pre život, no pri prekročení určitých limitov sa stáva toxickým. Možnými zdrojmi znečistenia sú odpadové vody z metalurgických závodov a povrchovej úpravy kovov, odkiaľ do vodného prostredia preniká viazaný v zlúčeninách.

Vplyv na zdravie: Rovnako, ako pri ostatných kovoch, je nebezpečná inhalácia pár obsahujúcich chróm, napr. pri zváraní ocele alebo u ľudí žijúcich v priemyselných oblastiach. Vyšším koncentráciám chrómu sú vystavení aj fajčiari. Chróm spôsobuje alergiu, až zápal pri kontakte s pokožkou alebo sliznicou, čo bolo dokázané počas manuálnej výroby kože a u robotníkov

pracujúcich pri povrchovej úprave kovov (tzv. chrómovanie). Z potravy sa vstrebáva len malé množstvo, asi 1 - 2 % z prijatého chrómu.

Najbohatším zdrojom chrómu sú ryby, mäso, zelenina, nerafinovaný cukor, kvasnice a rastlinné oleje. Aj korenie, kakao a jeho produkty a mak obsahujú vyššie množstvo chrómu. Ovocné džúsy, najmä kyslé, ktoré sa uskladňujú v ocelových nádobách, majú vyšší obsah chrómu.

3.2.4 Skupina VIIb - mangán

Mangán (Mn) je sivobiely, tvrdý a veľmi krehký ťažký kov, v niektorých vlastnostiach podobný železu. Viazaný mangán je esenciálny stopový prvok pre všetky formy života. Ľudské telo obsahuje zhruba 0,3 mg/g mangánu a malo by prijať asi 4 mg/g za deň. Bohaté na mangán sú: orechy, celozrnné produkty, klíčky a kakao.

Vplyv na zdravie: Mangán podporuje normálny vývoj kostí, pomáha pri tvorbe pohlavných hormónov a zúčastňuje sa metabolizmu tukov, cukrov a bielkovín v tele, ovplyvňuje aj tvorbu chrupaviek. Jeho nedostatok zapríčiňuje spomalenie vývoja a rastu a zmeny v metabolizme cukrov, v štruktúre kostí a chrupaviek.

Napriek tomu, že mangán je jeden z 3 stopových prvkov veľmi dôležitých pre vývoj a život stavovcov, dlhodobá expozícia organizmu voči nadmerným dávkam je toxická. Všeobecne sa uvádza, že sústavné vdychovanie 5 mg/m³ môže spôsobiť tzv. **manganizmus**, ktorý sa v úvode prejavuje psychickými poruchami (podráždenosť, zmeny nálad, spomalené reakcie až halucinácie) a v neskorších štádiách prechádza do neurotoxicity (problémy koordinácie, trasenie, až nezvratné poškodenie nervov s príznakmi podobnými Parkinsonovej chorobe). Riziku neurotoxicity nadmernej expozície mangánu môžu byť vystavení ľudia pracujúci ako zvárači, baníci, obyvatelia oblastí bez kontroly pitnej vody v oblastiach ťažby mangánu atď..

3.2.5 Skupina VIIIb - kobalt, nikel

Kobalt (Co) je tvrdý, magnetický kov. Je dôležitý stopový prvok v živých organizmoch. Jeho nedostatok spôsobuje u človeka málokrvnosť. V prírode sa vyskytuje vždy s niklom a arzénom, najčastejšie v nerastoch smaltíne a kobaltíne. Tieto rudy sa redukujú uhlíkom na kov. Využitie: oceliarsky priemysel, výroba silných permanentných magnetov, v medicíne (zubári), farbenie skla a keramiky.

Vplyv na zdravie: kobalt je biogénny prvok dôležitý pre mnohé živočíšne organizmy vrátane človeka. V organizme sa neviaže ani nehromadí, len prechodne ukladá v pečeni; v tele človeka je asi 1 - 2 mg/kg. Je centrálnym atómom v molekule vitamínu B12. Zúčastňuje sa krvotvorby,

aktivuje niektoré enzýmy, napr. dipeptidázu, a ovplyvňuje energetický metabolizmus. Nedostatok kobaltu je zriedkavý a spôsobuje anémiu (chudokrvnosť). Nedostatok kobaltu v pôde pastvín spôsobuje pri prežúvavcoch tzv. dánsku chorobu, ktorá sa prejavuje anémiou, chudnutím a poruchami plodnosti a laktácie. Nadbytok kobaltu je pre človeka škodlivý, prejavom dlhodobého prívodu väčších dávok sú napr. polycytémia a kardiomyopatia. Vdychovanie prachu obsahujúceho kobalt, napr. z priemyselných emisií (metalurgia, výroba karbidov, cementu, tepelné elektrárne) vyvoláva pľúcne ochorenia. Dôsledky otravy kobaltom: angína, panická úzkostlivosť, dýchavičnosť, astma, kardiomyopatia, kongestívne srdcové zlyhanie, polycytémia, problémy štítnej žľazy, nadmerná tvorba červených krviniek, neurologické problémy, kožné vyrážky, dermatitída. Zdroje kobaltu: pohánka, mliečne výrobky, figy, zelená listová zelenina, kapusta, mäso, kôrovce, morské riasy.

Nikel (Ni) je to strieborno biely kov, ktorý má vysoký lesk. Patrí k tranzitným (prechodným) kovom a je tvrdý a dobre tváriteľný (kujný). Nachádza sa v prírode vo forme zlúčenín so sírou, arzénom a kyslíkom. Nachádza sa vo vode a v mnohých potravinách (napr. vnútornosti, sója, rôzne druhy ovocia a zeleniny, čokoláda, kakao, rôzne druhy orechov, v poniklovaných konzervách). Človek prijíma potravou malé množstvo niklu, ktoré je nevyhnutné pre jeho zdravie. Vyskytuje sa v pôde, do ovzdušia sa dostáva vplyvom sopečnej činnosti. Používa sa v mnohých zliatinách a chemických zlúčeninách. Hlavným zdrojom expozície človeka je kontaminovaná potrava a pitná voda a priamy kontakt s pokožkou pri používaní výrobkov s obsahom niklu.

Príznaky nedostatku niklu: Nedostatok niklu sa prejavuje len nepriamo, a to tým, že sa pri ňom nedostatočne vstrebáva železo. V ľudskom tele je asi 18 % množstva niklu uloženého v koži. Zvlášť vysoká koncentrácia niklu je aj v kostnej dreni, v uzlinách, pečeni a v pote. Nedostatok niklu spôsobuje nadmerné potenie, poruchy trávenia, chudokrvnosť, steatózu pečene, poruchu funkcie obličiek (narušuje vstrebávanie železa).

Príznaky nadbytku niklu: K nadbytku niklu v organizme dochádza najmä vdychovaním dymu a atmosférickým znečistením. Predstavuje ohrozenie zvierat a ľudí, pretože kov v tejto forme ľahko podlieha kumulácii v organizme. Nikel v príliš veľkej koncentrácii poškodzuje sliznice, spôsobuje alergické reakcie, chromozomálne zmeny, zmeny v kostnej dreni, môže sa podieľať na rozvoji nádorových buniek. Cigaretový dym obsahuje veľa niklu. Príznaky: angína, kožná vyrážka, hypoglykémia (nízka hladina cukru v krvi), pokles estrogénu, dýchavičnosť, astma,

nevoľnosť, vracanie, hnačka, bolesť hlavy, znížený tep, zvýšené bielkoviny v moči, zvýšenie počtu červených krviniek, srdcové zlyhanie.

Zdroje niklu: orechy, vnútornosti zvierat, haringy, mušle, čokoláda, kakao, ustrice, čaj, sled', semeno pohánky, hrach, proso, ovos, ovsené vločky, cesnak, fazuľa, sójové bôby, figy, šošovica, marcipán, mandle, oriešky, slnečnicové jadrá, kel hlávkový, kapusta, jablká.

Tabuľka 7 Akútny a chronický účinok vybraných ťažkých kovov
(<https://www.vitarian.sk/clanky/zdravie/2016/toxicke-tazke-kovy>)

Prvok	Akútne vystavenie Zvyčajne po menej ako dni	Chronické vystavenie sa často po mesiacoch alebo rokoch
Kadmium (Cd)	Pneumónia (zápal pľúc)	Rakovina pľúc Osteomalácia (mäknutie kosti) Protinúria (nadbytok bielkovín v moči, možné poškodenie obličiek)
Ortuť (Hg)	Hnačka Horúčka Vracanie	Stomatitída (zápal ďasien a úst) Nevôľnosť Nefrotický syndróm (nešpecifické poruchy obličiek) Neurasténia (neurotická porucha) Parageusia (kovová chuť) Bolesť a ružové zafarbenie rúk a nôh Chvenie
Olovo (Pb)	Encefalopatia (mozgová dysfunkcia) Nevôľnosť Vracanie	Anémia Encefalopatia Ochrnutie zápästia alebo chodidla Nefropatia (ochorenie obličiek)
Chróm (Cr)	Gastrointestinálne krvácanie Hemolýza (deštrukcia červených krviniek) Akútne zlyhanie obličiek	Pľúcna fibróza (zjazvenie pľúc) Rakovina pľúc
Arzén (As)	Nevôľnosť Vracanie Hnačka Encefalopatia Multiorgánové účinky Arytmia Bolestivá neuropatia	Diabetes Hypopigmentácia/Hyperkeratóza Rakovina

4. Fytoremediácia

Fytoremediácia je proces, ktorý využíva rastliny na odstránenie, degradáciu alebo zachytenie nebezpečných (toxických) látok (kontaminantov) prítomných v pôde alebo vo vode. Je to jeden zo spôsobov bioremediácie.

Fytoremediáciou je označovaná skupina metód, ktoré využívajú zelené rastliny a ich rizosférické mikroorganizmy na fixáciu, akumuláciu a degradáciu znečisťujúcich látok nachádzajúcich sa v pôde, sedimentoch, spodnej alebo povrchovej vode alebo dokonca aj v atmosfére.

Rastliny sú považované za zdroj potravy, suroviny na výrobu paliva alebo vlákien, ale ich schopnosť vysporiadať sa so znečistením životného prostredia a aktívne sa podieľať na jeho vyčistení bola spozorovaná len nedávno. Vyššie rastliny sú schopné metabolizovať a degradovať mnohé znečisťujúce látky, preto sú často označované ako „zelená pečeň“. Okrem toho niektoré rastliny sú schopné v pletivách akumulovať toxické kovy v takom rozsahu, že sa často hovorí o hyperakumulácii. Technológia, ktorá sa snaží tieto vlastnosti rastlín využiť pri čistení životného prostredia sa nazýva fytoremediácia.

Fytoremediácia je využívanie zelených rastlín a mikroorganizmov, ktoré sa k nim pridružujú, na odstraňovanie znečistenia z vody alebo pôdy. Ide o skupinové označenie sanačných postupov, ktoré využívajú schopnosti rastlín kumulovať napr. ťažké kovy bez závažného poškodenia ich metabolizmu. Fytoremediácie predstavujú progresívny typ bioremediačných postupov a keďže hlavnú úlohu v nich zohrávajú rastliny, niekedy sa zvyknú označovať tiež pojmom zelené fytotechnológie. Pojmom fytoremediácie môžeme označiť všetky metódy a technológie využívajúce rastliny na stabilizovanie alebo dekontamináciu znečisteného životného prostredia.

Veda o fytoremediáciách vznikla na základe objavu **hyperakumulátorov**, druhov rastlín, ktoré absorbujú veľmi vysoké koncentrácie kontaminantov z biomasy (napr. vysoké hladiny ťažkých kovov) začiatkom 80tych rokov 20. storočia. Jedince majú druhovo špecifickú vlastnosť vyvinutú často dôsledkom selekčného tlaku na území, v ktorom žijú (územie je dlhodobo kontaminované napr. kovy). Toxický substrát im neuškodí, pretože sa dokonale adaptovali na kontamináciu špecifickými biochemickými reakciami a fyziologickými procesmi. Príkladom sú rastliny z čeľade *Salicaceae*, ktoré intenzívnym rastom a vysokou rýchlosťou transpirácie

dokážu extrahovať (fytoextrakcia) rôzne látky z prostredia (aj toxické). Prijaté látky sú buď uložené do pletív a orgánov, alebo sú metabolizované na rôzne netoxické látky (fytotransformácia).

Nastáva však problém, čo urobiť s rastlinami alebo ich časťami, v ktorých sú uložené toxické látky z pôdy alebo vody. Jednou z možností je recyklovanie deponovaných toxických kovov. Fytoremediácia je proces, ktorý je nielen že ekonomicky najvýhodnejší, ale je tiež často iba jediným spôsobom dekontaminácie prostredia. Okrem rastlín z čeľade *Salicaceae* sa využívajú aj rastliny z čeľadí *Brassicaceae*, *Fabaceae*, *Asteraceae* atď.. Fytoextrakcia sa nemusí týkať len toxických kovov, ale aj pesticídov, rozpúšťadiel, olejov, dokonca aj ropy. Okrem akumulovania kovov, niektoré rastliny degradujú aj organické kontaminanty, ktoré metabolicky premieňajú na menej škodlivé. Ako doplnok sa pridružujú aj mikroorganizmy z rizosféry. Takéto rastliny dokážu, ktoré vo svojich pletivách a orgánoch prijímať a následne akumulovať alebo premieňať v netoxické zlúčeniny väčšie množstvo kovov. Hyperakumulátory môžu akumulovať kovy v 100 krát vyšších hladinách ako je normálne prípustná hladina v rastlinách.

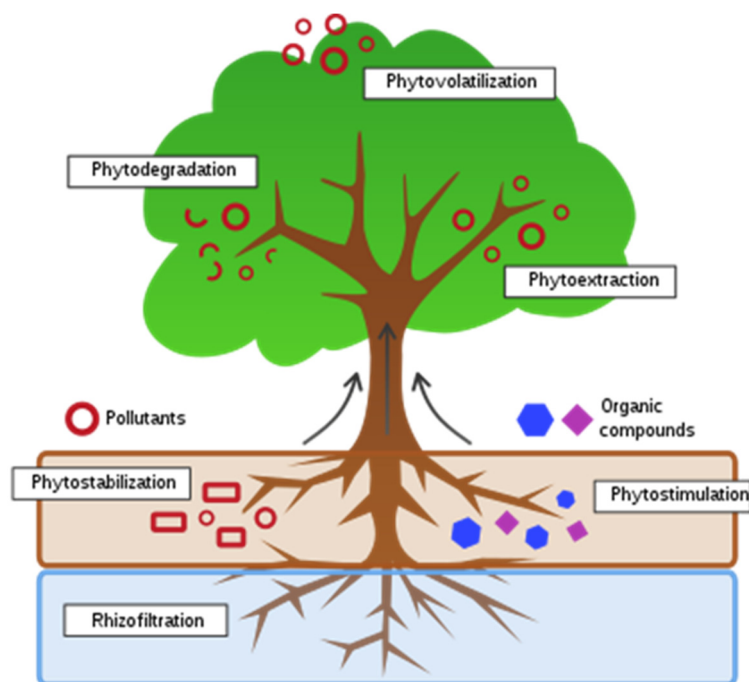
Ideálna rastlina pre fytoremediáciu by mala:

- rýchlo rásť a produkovať veľa biomasy (najlepšie viac ako 3 t na ploche asi 40 árov za rok),
- mať hlboké korene a s ľahkým zberom nadzemnej časti rastliny,
- schopnosť akumulovať veľké množstvo kovov v nadzemnej časti (aspoň 1000 mg/kg).

4.1 Fytoremediačné techniky

Fytoremediačné techniky môžu byť rozdelené podľa spôsobu, akým sa kontaminujúca látka z pôdy alebo vody odstráni (obr. 10). Medzi najčastejšie spôsoby patria extrakcia, degradácia, stabilizácia alebo ich vzájomná kombinácia. Je to vlastne spôsob, akým rastlina daný kontaminant spracuje. Pri výbere spôsobu fytoremediačnej techniky je dôležité poznať akým spôsobom sa dá dekontaminovať znečistené prostredie, aké má vlastnosti kontaminant a vybrať rastlinu vhodnú a schopnú spôsobu dekontaminačnej fytoremediačnej techniky. Na základe doterajších poznatkov poznáme niekoľko technológií používaných k dekontaminácii prostredia:

- 1. Fytoextrakcia**
- 2. Rhizofiltrácia**
- 3. Fytovolatilizácia**
- 4. Fytostabilizácia**
- 5. Fytodegradácia**
- 6. Fytodesalinizácia**



Obrázok 10 Fytoremediačné techniky

(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phytoremediation_Process.png)

4.1.1 Fytoextrakcia

Je založená na schopnosti extrakcie bioprístupných látok z pôdy pomocou koreňov a ich ďalšieho premiestnenia a akumulácie v pletivách nadzemných častí rastlín, ako sú stonka, listy alebo plody. Niekedy sa zvyknú do pôdy pridávať rôzne látky napr. chelatačné zlúčeniny, ktorých úlohou je mobilizovať prvky a zvýšiť tak ich bioprístupnosť pre rastliny. Napr. fytoextrakcia olova závisí aj od chemických činidiel, ktoré chelatujú olovo a zvyšujú jeho dostupnosť pre rastlinu. Na poľnohospodárske účely bolo vyvinutých niekoľko takýchto činidiel, napr. syntetické organické cheláty EDTA (kyselina etyléndiamíntetraoctová), DTPA (kyselina dietyléntriámín-pentaoctová) a HEDTA (kyselina hydroxyetylétyletyléndiamíntri-octová). Rastliny sa pozbierajú, po vysušení skládajú alebo sa po zneškodnení spálením sa kovy recyklujú.

Fytoextrakcia patrí medzi najpoužívanejšia metódy v praxi. Táto metóda je najčastejšie aplikovaná na média kontaminované ťažkými kovmi, ale používa sa aj pri kontaminácii metaloidmi, rádionuklidmi alebo nekovmi. Prípadne sa fytoextrakcia aplikuje na čistenie pôd, sedimentov a kalov. V menšom rozsahu na čistenie vôd.

Súčasťou fytoextrakcie je aj **fytomining** (fytodolovanie, fytodobývanie alebo fytot'azba). Ide o využitie hyperakumulátorov pre získavanie cenných kovov z pôd, kde by sa klasická ťažba

nevyplatila. Tuto metódu je možné použiť pro ťažbu tália, kobaltu, uránu, niklu, kadmia, medi, mangánu, zlata, striebra atď..

4.1.2 Rhizofiltrácia

Rhizofitrácia funguje podobným spôsobom ako fytoextrakcia. Hlavným rozdielom je, že rhizofitrácia sa viaže k procesu použitia rastlín k absorpcii xenobiotika do koreňov alebo do koreňov a nadzemnej časti rastlín spolu, ale pri fytoextrakcii výlučne do nadzemnej časti rastlín. Rhizofiltrácia sa využíva vo vodných ekosystémoch. Na jej princípoch sú založené tzv. koreňové čistiarne alebo biobazény. Znečisťujúce látky sa zachytávajú najmä v koreňovej sústave rastlín, ktoré plávajú na vodnej hladine alebo sú zakorenené na dne nádrže.

Medzi suchozemské rastliny, ktoré našli uplatnenie v rhizofitrácii patrí napr. slnečnica ročná (*Helianthus annuus*), ktorá dobre dekontaminuje stanovištia zamorené ťažkými kovmi. Táto rastlina bola tiež použitá v pilotnom pokuse neďaleko Černobylskej elektrárne na Ukrajine na dekontamináciu jazierka od rádionuklidov.

4.1.3 Fytovolatilizácia

Fytovolatilizácia (volatilita - prchavosť) je uvoľnenie kontaminantov transpiráciou v plynnej forme, pričom zahrňuje ťažké kovy napr. Hg, Se, As a iné. Rýchlosť procesu závisí od teploty, typu, koncentrácie kontaminantu a druhu rastliny.

Princíp fytovolatilizácie spočíva v prijímaní látok koreňmi a následným uvoľnením do atmosféry pomocou listov. Fytovolatilizácia je často predmetom diskusií, keďže nejde o priamu dekontamináciu, ale skôr o rozptýlenie kontaminantu do okolia.

Fytovolatilizáciou je možné odstraňovať organické aj anorganické kontaminanty napr. trichlóretylén, BTEX, vinylchlorid, selén, ortuť a arzén. Príkladom sú kapusta sitinová (*Brassica juncea*) a repka olejná (*Brassica napus*), ktoré boli testované na volatilizáciu anorganických kontaminantov selénu, kde bol selén premenený na dimetyl selenit, ktorý je menej toxický, a následne vypustený do atmosféry.

Táto metóda je používaná na čistenie vôd, ale je aplikovateľná aj na dekontamináciu pôd a sedimentov.

4.1.4 Fytostabilizácia

Nie všetky fytoimediačné metódy sú založené na princípe dekontaminácie. Často na povrchu nachádzame také miesta, kde miera znečistenia daným prvkom alebo nebezpečnou látkou je

taká vysoká, že použitie rastlín na vyčistenie takéhoto územia nie je pri súčasných možnostiach a našich poznatkoch reálne. Je preto vhodnejšie zabrániť rozšíreniu takéhoto znečistenia formou veternej alebo vodnej erózie a zvýšiť environmentálnu hodnotu územia jednoduchým zazelenením. Takýto fytoimediačný postup sa označuje ako fytostabilizácia. Pomocou rastlín sa zabráni migrácii a rozšíreniu kontaminantov. Výsadba rastlín chráni pred kontaminovaním povrchových vrstiev pôdy.

Ďalším procesom je fytolignifikácia (drevnatenie) - proces, pri ktorom sa organické zlúčeniny zakomponujú do lignínu rastliny. Taktiež je možné že sa takéto zlúčeniny zakomponujú do humusovej zložky pôdy pri procese humifikácie.

4.1.5 Fytodegradácia

Progresívnou fytoimediačnou metódou je tiež fytodegradácia, ktorou možno degradovať výlučne organické látky pomocou rastlinných enzýmov priamo v rastlinnom tele alebo v okolí koreňov. Často je proces degradácie úzko spätý s činnosťou rôznych pôdnych mikroorganizmov, ktoré vytvárajú s rastlinami dôležité vzťahy.

Organické zlúčeniny môžu byť v rastline transportované aj do pletív mimo koreňa. Tieto látky sú buď postupne odparované alebo môžu byť degradované prípadne transformované na menej fytotoxické zlúčeniny. Väčšina organických látok je v rastlinných bunkách nejakým spôsobom degradovaná.

Táto metóda je používaná na čistenie pôd, sedimentov, podzemných, a povrchových vôd a tiež kalov.

4.1.6 Fytodesalinizácia

V posledných rokoch sa do popredia dostáva nová metóda, tzv. fytodesalinizácia. Je založená na odsolovaní slaných pôd, keďže tlak na obhospodarovanie doteraz nevyužitelných pôd vďaka rastúcej celosvetovej populácii stúpa.

4.1.7 Fytoimediačné metódy

Príklady využitia fytoimediačných technológií sú nasledovné:

- a) **fytoextrakcia** - použitie rastlín schopných akumulovať znečisťujúce látky vo svojich nadzemných častiach a tak umožniť ich odstránenie z pôdy,
- b) **fytoimediaácia** - čiastočná alebo úplná degradácia komplexných organických molekúl, alebo ich inkorporácia do rastlinných pletív,

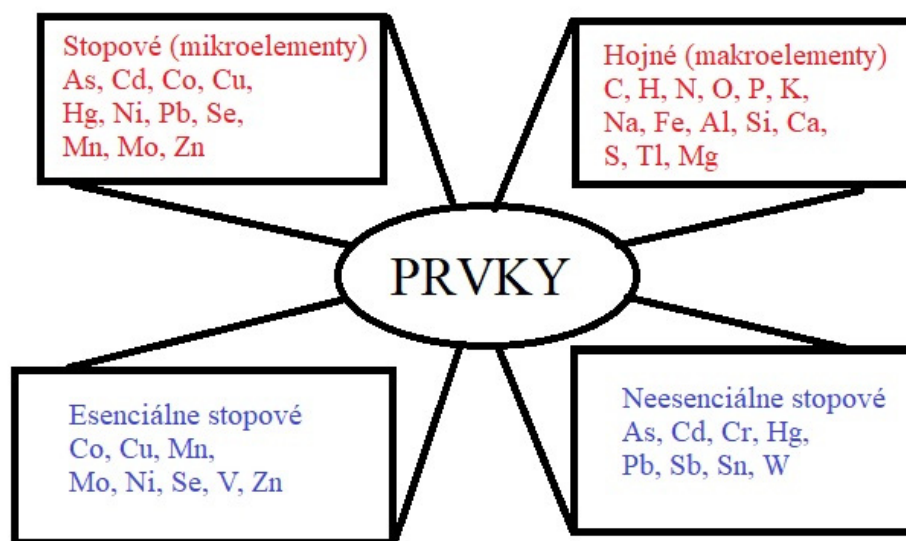
- c) **fyto stimulácia alebo bioremediácia uľahčená rastlinami** (niekedy označovaná aj ako fyto degradácia) - stimulácia degradácie organických látok mikroorganizmami alebo hubami pomocou látok (napr. enzýmov), ktoré rastlina uvoľňuje do svojej koreňovej zóny (rizosféry),
- d) **fyto volatilizácia** - premena znečisťujúcich látok na plynné látky počas rastlinného metabolizmu,
- e) **rhizofiltrácia** - použitie rastlinných koreňov na absorpciu alebo adsorpciu znečisťujúcich látok, najčastejšie kovov, ale aj organických látok, z vôd a ich následné skoncentrovanie a vyzrážanie,
- f) **„stromové čerpadlo“** - použitie stromov na odparovanie veľkých objemov vody z pôdy, čo zároveň umožní extrakciu kovov obsiahnutých v prečerpanej vode,
- g) **fyto stabilizácia** - použitie rastlín na zníženie pohyblivosti a biologickej dostupnosti znečisťujúcich látok s cieľom zabrániť ich vstupu do spodných vôd a potravného reťazca,
- h) **hydraulická kontrola** - kontrola hladiny spodných vôd pomocou koreňových systémov rastlín, najlepšie sa osvedčili rastliny s dlhým koreňom systémom schopné prijímať veľké množstvo vody (bavlník, vrba, topol' atď.).

Prehľad a charakteristika fyto sanačných metód sú uvedené v tab. 8. Najvhodnejšími podmienkami na aplikáciu fyto sanačných metód sa vyznačujú veľké územia s nízko až stredne kontaminovanými pôdami aj vodami.

Tabuľka 8 Prehľad a charakteristika fytosanačných metód (Frankovská a i., 2010)

Metóda	Mechanizmus	Prostredie
Rizofiltrácia	príjem kovov koreňmi rastlín	povrchová voda sa vháňa do kanálov
Fytodegradácia	príjem organických látok rastlinou a ich degradácia	povrchová voda, podzemná voda
Asistovaná biosanácia	mikrobiálny príjem, resp. degradácia toxických látok v rizosfére, podporená prítomnosťou vyšších rastlín	horninové prostredie, voda v rizosfére
Fytoextrakcia	príjem a akumulácia kovov v rastlinných pletivách s následným odstránením rastliny	horninové prostredie
Fytostabilizácia	výlučky koreňov spôsobujú zrážanie kovov a tým znižujú ich biodostupnosť	horninové prostredie, podzemná voda, banské skládky
Fytovolatilizácia	evapotranspirácia Se, Hg a plyných organických látok	horninové prostredie, podzemná voda
Odstraňovanie organických látok z ovzdušia	príjem plyných organických látok listami	vzduch
Vegetatívny kryt	zabránenie vyplavovaniu škodlivín zo znečistených miest evapotranspiráciou dažďovej vody	horninové prostredie

Na to, aby mohli rastliny rásť a ukončiť svoj životný cyklus, potrebujú nielen makronutrienty (N, P, K, S, Ca a Mg), ale aj esenciálne mikronutrienty, akými sú Fe, Zn, Ni, Cu, a Mo. Niektoré stopové prvky sú dôležité pre metabolizmus rastlín (Co, Cu, Mn, Mo, Ni, Se, V a Zn), mnohé z nich sú neesenciálne (As, Cd, Cr, Hg, Pb, Sb, Sn a W) a pôsobia na metabolické funkcie stresujúco (Obr. 11).



Obrázok 11 Klasifikácia metabolicky a nutrične dôležitých prvkov (Fagrašová, 2008)

4.1.8 Príjem ťažkých kovov rastlinami

Po vstupe do koreňového systému rastliny sú ťažké kovy distribuované do jednotlivých nadzemných častí, prípadne až do semien. Pre mnohé rastlinné druhy platí, že väčšina prijatého kovu sa kumuluje v koreňovom systéme rastliny. Relatívne nižšie množstva kovov boli pozorované vo výhonkoch. Tieto hodnoty sú podmienené akumuláčnou schopnosťou jednotlivých rastlinných druhov, a môžu sa medzi sebou výrazne odlišovať. Schopnosť rastlín vo väčšej miere akumulovať kovy je daná geneticky. Z hľadiska distribúcie kovov do jednotlivých častí rastlín boli pozorované rozdiely medzi jednotlivými rastlinnými druhmi, ale zároveň aj medzi jednotlivými odrodami i v rámci druhu.

Ťažké kovy a ich rozdelenie v rámci celej rastliny sa dá rozčleniť do troch kategórií (obr. 12 a 13):

- a) akumulácia viac v nadzemných orgánoch** (stonky a listy) - striebro, chróm, olovo, cín,
- b) akumulácia viac v podzemných orgánoch** (korene a rizómy) - kadmium, kobalt, meď, železo, molybdén,
- c) akumulácia rovnomerne v nadzemných a podzemných orgánoch** - mangán, nikel, zinok.

Mnohé rastlinné druhy nie sú rezistentné proti pôsobeniu nízkej ani vysokej koncentrácií ťažkých kovov v prostredí. V procese evolúcie sa však u niektorých druhov vyvinulo niekoľko typov stratégie na prežitie v prostredí - pôde alebo vode - s vysokým obsahom ťažkých kovov. Na ich základe je možné ***rastliny rozdeliť na dve, silne kontrastné skupiny:***

Koreňové akumulátory (excluders) - rastliny schopné obmedziť príjem ťažkých kovov alebo ich transport z koreňa do nadzemných orgánov. Tieto rastliny efektívne zabráňujú vstupu kovov do nadzemných orgánov, hoci môžu akumulovať veľké množstvo kovov vo svojich koreňoch (tzv. koreňové akumulátory). Medzi koreňové akumulátory patrí napr. pálka širokolistá (*Typha latifolia*), ktorá v koreni zadržiava približne 90 % prijatého kadmia, a trst' obyčajná (*Phragmites australis*), v prípade ktorej translokácia takmer vôbec nenastáva. V koreni pálky (*Typha*) sa však akumuluje 3-krát viac kadmia ako u predchádzajúceho druhu. Obranný mechanizmus pálky je založený na indukcii tiolu a následnom viazaní kovu fytochelatínmi. V prípade trsti (*Phragmites*) je obrana založená na zvýšenej aktivite antioxidantných enzýmov.

Hyperakumulátory (hyperaccumulators) - rastliny, ktoré sú schopné akumulovať viac ako 1 mg niklu na 1000 mg suchej hmoty (t. j. 0,1 %) stoniek, resp. nadzemných orgánov v ich prirodzenom prostredí. Táto hranica platí aj pre Co, Cu, Cr a Pb. Dodnes bolo opísaných viac ako 430 hyperakumulátorov patriacich do 45 čeľadí, z ktorých asi 75 % sú hyperakumulátory niklu a asi 18 druhov sú hyperakumulátory zinku a akumulujú viac ako 10 mg Zn na 1000 mg suchej hmoty (1 %). Najznámejší hyperakumulátor zinku a kadmia je peniažtek modrastý (*Thlaspi caerulescens*) akumuluje Cd a Zn z čeľade *Brassicaceae*. Príklady ďalších hyperakumulátorov sú slnečnica ročná (*Helianthus annuus*) (*Asteraceae*) - akumuluje As a U, kapusta sitinová (*Brassica juncea*) (*Brassicaceae*) a ambrózia palinolistá (*Ambrosia artemisiifolia*) (*Asteraceae*) - akumulujú Pb.

Rastové formy doteraz opísaných hyperakumulátorov varírujú od malých jednoročných rastlín až po kry a stromy. Hyperakumulátory boli objavené na všetkých kontinentoch, vo všetkých teplotných a klimatických pásmach. Výskyt hyperakumulátorov je väčšinou ohrozený len na určitý typ pôdy alebo materskej horniny. To naznačuje, že hyperakumulácia je dôležitá ekofyziologická adaptácia na stres vyvolaný zvýšeným obsahom kovov v prostredí a jeden z prejavov rezistencie proti inak toxickému hladine kovov. Hyperakumulátory vďaka väzbe na určitý typ horniny bývajú cenným geobotanickým indikátorom minerálnych ložísk. Využívajú sa aj ako indikátory antropogénneho znečistenia, pretože sú schopné obsadiť územia

s vysokou koncentráciou toxických kovov a tým načrtnúť obrys znečistenej plochy. Je všeobecne známe, že flóra banských oblastí je odolná proti kovovým prvkom a tieto rastliny boli označené ako **metalofyty**. Pri niektorých druhoch alebo ekotypoch je rezistencia ohraničená na jeden prvok, pri niektorých sa vyskytuje tolerancia dvoch alebo viacerých prvkov.

4.1.9 Transport ťažkých kovov v rastline

Transport látok v rastline sa uskutočňuje viacerými transportnými mechanizmami a viacerými transportnými cestami. Ich vznik bol podmienený prostredím, v ktorom sa rastliny vyvíjali a diferenciáciou buniek na jednotlivé pletivá a orgány. Diferenciáciou buniek došlo k prispôbeniu sa orgánov zodpovedných za sorpciu a translokáciu iónov (látok) v rastline.

4.1.9.1 Membránový transport

Dynamika príjmu ťažkých kovov rastlinami alebo prechod ťažkých kovov z pôdy do koreňového systému zabezpečuje najmä difúzia plazmatickou membránou. Tá tvorí v rastlinnom organizme základný faktor udržiavajúci rovnováhu medzi príjmom a výdajom živín a vody. Rýchlosť prechodu kovu cez membránu zohráva v prijímaní ťažkých kovov významnú úlohu. Interakcia medzi koncentráciou kovových iónov mimo povrchu koreňa a účinnosťou ich transportu naznačuje príjem týchto iónov koreňovým systémom. Avšak na druhej strane, kinetika transportu ťažkých kov do jednotlivých častí rastliny nie je stále úplne objasnená.

Transport ťažkých kovov na krátke vzdialenosti je membránový transport. Ťažké kovy putujú z bunky do bunky vďaka špecifickým membránovým prenášačom - ATP (adenozíntrifosfát) - ázovým pumpám takzvaného P-typu. Jedná sa o primárny aktívny transport, ktorý je charakteristický tým, že na transmembránový pohyb iónov sa energia získava priamym spojením s chemickou reakciou (rozklad ATP, PP). Tieto pumpy sa niekedy označujú aj ako E1 - E2 - ATPázy, pretože počas katalytického cyklu sa molekula enzýmu nachádza v dvoch konformačných stavoch. Zmena konformácie je sprevádzaná uvoľnením iónu na opačnej strane membrány a po defosforylácii nastáva návrat do konformačného stavu E1. Tento mechanizmus je charakteristický pre všetky ATPázy P-typu. Týmto spôsobom sa transportujú mnohé katióny ťažkých kovov (Cu^{2+} , Mo^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Ag^{+}), ale aj molekuly fosfolipidov.

4.1.9.2 Radiálny transport

Transport ťažkých kovov na stredné vzdialenosti je radiálny transport alebo pohyb látok v koreni, môže prebiehať dvoma cestami. Pohyb látok v extracelulárnom priestore (apoplaste) sa označuje ako **apoplastický transport**, transport látok v intracelulárnom priestore (symplaste) ako **symplastický transport**. Ťažké kovy s neznámou metabolickou funkciou sa dostávajú do nadzemných častí apoplastickou cestou. Pri symplastickom transporte stačí transportovanej látke prekonať dvakrát cytoplazmatickú membránu. Na začiatku cytoplazmatickú membránu epidermálnej bunky pri vstupe do symplastu a na konci cytoplazmatickú membránu parenchymatickej bunky centrálného valca pred vstupom do xylému. Transportovaná látka (ťažký kov) sa celý čas pohybuje v intracelulárnom prostredí buniek.

4.1.9.3 Translokácia látok v rastline

Transport ťažkých kovov na dlhé vzdialenosti - translokácia látok v rastline. Pozdĺžny transport látok sa uskutočňuje v špecializovaných bunkách centrálného valca (xylém a floém). Xylémový transport predstavuje mŕtve bunky, ktoré stratili cytoplazmu. Je tvorený cievmi (trachey) a cievicami (tracheidy) a má charakteristický tvar a štruktúru, spevňuje rastlinu. Jeho hlavnou úlohou je transport vody a v nej rozpustených látok z koreňa do nadzemných orgánov. Tento transport je vždy jednosmerný a akropetálny (z koreňa do nadzemných orgánov). Floémový transport je nezávislý transportný systém zabezpečujúci transport prevažne organických látok z listov do koreňov, výhonkov, plodov a podobne. Na rozdiel od xylémového toku je floémový tok obojsmerný. Podobne ako xylémový tok je aj floémový tok veľmi výkonný a rýchly systém pohybu látok a vody. Floém je systém živých buniek skladajúci sa zo sitkovice a jednej alebo viacerých sprievodných buniek.

4.1.10 Výhody a nevýhody fytořediácie

Výhody fytořediácie:

- náklady spojené s fytořediáciou sú oveľa nižšie, ako by stáli jednotlivé kroky klasického ozdravovania prostredia in situ a ex situ,
- cenovo výhodná technológia pre veľké plochy pôdy alebo veľké objemy vody s nízkymi koncentráciami znečisťujúcich látok,
- rastliny môžu byť pravidelne monitorované (ľahko detekovateľné zmeny v ich raste a vývine kvôli makroskopickým štruktúram),

- možnosť ozdravenia prostredia a zároveň znovu využitia dostupných kovov (spoločnosťami špecializovanými na tzv. “phytomining”),
- jednoznačne ide o metódu, ktorá nijako nepoškodzuje životné prostredie a predstavuje minimálne zásahy do prírodného prostredia (v závislosti od lokality a typu znečistenia),
- možnosť aplikácie na široké spektrum znečisťujúcich látok, vrátane kovov a rádionuklidov,
- menšia produkcia sekundárnych odpadov ako pri tradičných metódach,
- možnosť degradovať organické látky až na CO₂ a H₂O (anaeróbna degradácia), teda možnosť ich úplného odstránenia zo životného prostredia,
- použiteľnosť vrchnej časti pôdy po remediácii a možnosť jej úpravy aj pre poľnohospodárske použitie,
- ponechanie pôdy po odstránení znečisťujúcich látok na mieste, nie je nutné ju skládkovať a nevzniká nový druh odpadu,
- zachytenie znečistených spodných vôd rastlinami umožňuje predísť úniku týchto látok do okolitého prostredia.

Nevýhody fytořmediácie:

- dlhý čas potrebný na priebeh procesu,
- fytořmediácia je limitovaná veľkosťou plochy znečisteného územia a dosahom koreňov rastlín,
- pomalý rast rastlín (hlavne drevín),
- ani s využitím rastlín - hyperakumulátorov nie je možné zabrániť vyplaveniu toxických látok do podzemných vôd pri ich vyššej koncentrácii v pôde (tu už musia prebehnúť iné opatrenia spojené s odstránením kontaminovanej časti pôdy inými metódami podľa typu znečistenia),
- prežitie rastlín je ovplyvnené toxicitou kontaminovanej pôdy,
- možnosť preniknutia kontaminantov do potravného reťazca cez primárnych konzumentov do jeho ďalších úrovní,
- obmedzená účinnosť na hornú časť pôdy (približne meter od povrchu) a spodnú vodu v blízkosti povrchu,
- klimatickými a hydrologickými podmienkami môžu byť obmedzené rastové rýchlosti použitých rastlín,
- potreba úpravy povrchu miesta pre fytořmediáciu, aby sa zabránilo zaplaveniu alebo erózii,
- niekedy si proces vyžaduje potrebu dodania nekontaminovanej pôdy.

5. Prehľad ekotoxikologických biotestov

Testy toxicity sa líšia použitými bioindikátormi alebo sledovaním rôznych reakcií, aspektov alebo faktorov pre určitý testovací organizmus. Dôležité je aj sledovanie zdravotných rizík na ľuďoch. Testovanie účinkov xenobiotík na ľudský organizmus je vždy založené na nepriamych metódach. Testy toxicity sú dnes trvalou súčasťou vývoja nových liekov a prípravy hygienických noriem v potravinárstve a priemysle.

Rozdelenie testov toxicity je možné podľa viacerých kritérií, napr. podľa druhu testovacieho organizmu, doby expozície a koncentrácie toxického látky.

5.1 Podľa doby expozície

5.1.1 Akútne testy

Akútna toxicita sa prejaví po jedinej okamžitej dávke. Doba expozície sa pri akútnych testoch toxicity pohybuje v rozmedzí 4 - 24 hodín. Na testovanie prírodných vzoriek sa používajú predovšetkým skúšky akútnej toxicity. Tento test sa používa najčastejšie a robí sa ako prvý.

5.1.2 Subchronické testy

Subchronické - chronická toxicita sa prejaví po dlhodobom pôsobení látky. Doba expozície sa pri subchronických testoch toxicity trvá niekoľko týždňov až 4 mesiace. Rozdiel medzi subchronickými a chronickými testami toxicity spočíva najmä vo voľbe dávky toxického látky, nakoľko sa časovo prelínajú. Voda máloktovej nádrže alebo toku je však natoľko toxická, aby sa výraznejšie prejavila vo svojej akútnej forme, prírodné vzorky je preto vhodné podrobiť testom subchronickej alebo chronickej toxicity. Pri získavaní údajov o subchronickom toxickom účinku je cieľom hodnotenie biologického účinku a zistenie prípadného akumulatívneho účinku a patologických zmien, ako aj rozpätie koncentrácií, pri ktorých zmeny nastávajú.

5.1.3 Chronické testy

Chronické - doba expozície pri chronických testoch trvá aj pol roka až niekoľko rokov. Sledovanie chronického toxického účinku cudzorodých látok zvyčajne zodpovedá prevažnej dĺžke života, prípadne sa sleduje aj viac generácií. O prejave chronických účinkov na organizmus rozhodujú najmä akumulatívne vlastnosti látok a schopnosť sumácie účinkov. Významnú skupinu z tohto hľadiska tvoria viaceré chlórované uhlíkovodíky, ktorých chemická stabilita a hydrofobita podporuje ich akumuláciu v organizme.

Pre toxikologické veličiny iné ako úmrtnosť sa používajú **špeciálne testy**, ktoré vystihujú charakteristické zmeny a reakcie testovacích systémov a organizmov: neurotoxický test, reprodukčný test, test na teratogenitu, mutagenitu a karcinogenitu, test vplyvu látok na imunitný systém, kožu, oči, test správania sa organizmu a iné testy.

Ekotoxikologické testy

Skúšky toxicity (ekotoxikologické skúšky) sa dajú taktiež charakterizovať ako experimentálne (spravidla laboratórne) metódy stanovenia toxického pôsobenia stresorov (toxických látok) na prírodné organizmy.

Ekotoxikologické skúšky nie je možné vykonať bez zabezpečenia komplexného logistického procesu, naplánovaním skúšky, výkonom samotných skúšok toxicity, ich vyhodnotením až na koniec využitím výsledkov stanovení pre vybrané látky.

Na stanovenie ekotoxikologických vlastností olejov ako kontaminantov povrchovej vody (modelové vzorky) sú používané napr. nasledovné biotesty:

- Test akútnej toxicity na perloočkách,
- Test inhibície rastu koreňa vyššej kultúrnej rastliny,
- Test inhibície rastu zelenej riasy,
- Test inhibície (stimulácie) rastu žaburinky.

5.2 Výpočet inhibície rastu

Pri stanovení inhibície rastu sa ako pri rastovom teste vychádza buď z plochy pod rastovou krivkou alebo z rastovej rýchlosti. Ďalším parametrom je porovnanie hmotnosti konečnej biomasy. Plocha pod rastovou krivkou sa vypočíta pre každú testovanú koncentráciu a kontrolu:

$$A = \frac{(N_1 - N_0) \cdot t_1}{2} + \frac{(N_1 + N_2 - 2N_0) \cdot (t_2 - t_1)}{2} + \dots + \frac{(N_n - 1 + N_n - 2N_0) \cdot (t_n - t_{n-1})}{2}$$

kde je

- A plocha pod rastovou krivkou
- N_0 počet lístkov na začiatku testu
- N_1 počet lístkov v čase t_1
- N_n počet lístkov v čase t_n
- t_1 čas prvého odčítania od začiatku testu
- t_n čas n-tého odčítania od začiatku testu.

Plocha by sa mala vypočítať pre celé testovacie obdobie, pre časť danej rastovej krivky len v odôvodnených prípadoch. Vypočítajú sa hodnoty A pre každú testovanú koncentráciu a aj kontrolu. Z týchto hodnôt sa potom vypočíta inhibícia (prípadne stimulácia) rastu I_{Ai} pre jednotlivé koncentrácie:

$$I_{Ai} = \frac{(A_k - A_i) \cdot 100}{A_k}$$

kde I_{Ai} = inhibícia (stimulácia) rastu v %, ak je $I_{Ai} < 0$, ide o stimuláciu

A_i = priemerná plocha pod rastovou krivkou pre testovanú koncentráciu,

A_k = priemerná plocha pod rastovou krivkou pre kontrolu.

Rastová rýchlosť μ sa vypočíta pre každú testovanú koncentráciu a kontrolu:

$$\mu = \frac{\ln N_n - \ln N_0}{t_n}$$

kde N_n = počet lístkov na konci testu

N_0 = počet lístkov na začiatku testu

t_n = čas trvania testu (d).

Z takto získaných hodnôt μ sa vypočíta inhibícia (stimulácia) rastu $I_{\mu i}$ pre každú testovanú koncentráciu

$$I_{\mu i} = \frac{(\mu_k - \mu_i) \cdot 100}{\mu_k}$$

kde I_i = inhibícia (stimulácia, ak $I_{\mu i}$) rastu v % zistená na základe porovnaní rastových rýchlostí,

μ_i = rastová rýchlosť pre testovanú koncentráciu,

μ_k = rastová rýchlosť v kontrole.

Hmotnosť konečnej biomasy pre jednotlivé koncentrácie vrátane kontroly sa zistí vážením a % redukcie biomasy I_B pre každú testovanú koncentráciu sa vypočíta:

$$I_B = \frac{(B_C - B_i) \cdot 100}{B_C}$$

kde, B_C = konečná biomasa v kontrole (v hmotnostných jednotkách) a

B_i = konečná biomasa v testovanej koncentrácii (v hmotnostných jednotkách).

5.3 Test inhibície rastu koreňa vyššej kultúrnej rastliny

Princíp: Testuje sa vplyv vybranej vody na klíčenie semien a rast koreňov horčice bielej (*Sinapis alba*) v počiatočných štádiách vývoja. Test spočíva v kultivácii semien na filtračných papierikoch nasýtených roztokmi testovanej látky v porovnaní so semenami, ktoré rastú na filtračnom papieriku nasýteným riediacou vodou (tab. 9). V testoch toxicity predstavuje horčica zástupcu kultúrnych plodín a vyšších rastlín. Horčica biela (*Sinapis alba*) patrí do čeľade kapustovitých (*Brassicaceae*) (obr. 14). Je to jednoročná, skorá jarná olejnína.

Tabuľka 9 Podmienky testu inhibície rastu horčice bielej (*Sinapis alba*)

Testovací organizmus	<i>Sinapis alba</i> , okrovo žltý, veľkosť 1,5 - 2 mm, klíčivosť > 90 %, 30 semien v Petriho miske, 10 ml vzorky
Teplota	20 °C ± 1 °C, laboratórny inkubátor
Kontrola	riediaca voda (tab. 9)
Doba expozície	72 hodín
Počet opakovaní	štyri
Predbežný test	30 semiačok na filtračnom papieriku namočenom v 10 ml neriedenej vzorky/ za rovnakých podmienok kontrola
Základný test	30 semiačok na filtračnom papieriku namočenom v 10 ml vzorky so stúpajúcou koncentráciou/ za rovnakých podmienok kontrola
Kritérium platnosti	jednotlivé hodnoty IC ₅₀ sa nesmú líšiť o viac ako 30 %
Sledovaná odozva	inhibícia rastu koreňa v porovnaní s kontrolou, IC



Obrázok 14 Horčica biela (*Sinapis alba*), semená (vľavo) a vyklíčené rastliny (vpravo)
(Kijovská, 2013)

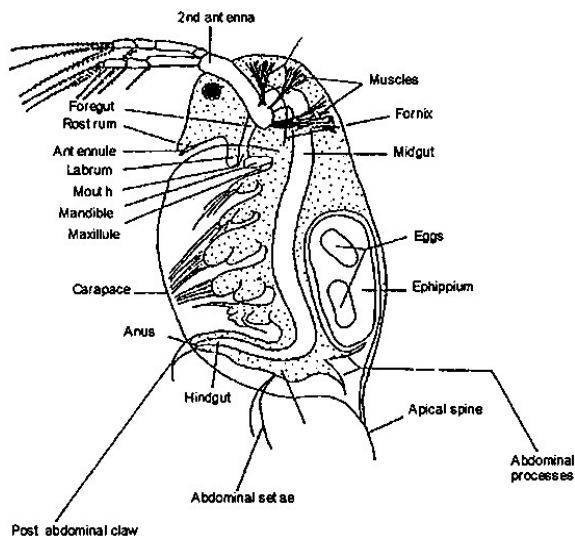
Riediaci voda sa pripraví z roztokov uvedených v tab. 10 a to pipetovaním po 10 ml roztokov 1 - 4 do objemu 1 liter.

Tabuľka 10 Zásobné roztoky na prípravu riediacej vody

Zásobný roztok	Chemická látka	Koncentrácia (g/l)
1	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, p. a.	117,6
2	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, p. a.	49,3
3	NaHCO_3 , p. a.	25,9
4	KCl , p. a.	2,3

5.4 Test akútnej toxicity na perloočkách

Najčastejšie využívaným testom je skúška akútnej toxicity - inhibície pohyblivosti (imobilizácie) perloočky veľkej (*Daphnia magna*), ktorá je primárnym konzumentom (obr. 15). Metóda sa uplatňuje pri stanovení akútnej toxicity pre *Daphnia magna* pre chemické látky, priemyslové odpadové vody, splašky povrchové a podzemné vody.



Obrázok 15 Perloočka veľká (*Daphnia magna*) (Kijovská, 2013)

Princípom testu je stanovenie koncentrácie, ktorá za presne stanovených podmienok v priebehu 24 alebo 48 hodín imobilizuje 50 % testovacích jedincov (tab. 10). Skúškou sa dá zistiť aj

najvyššia koncentrácia, ktorá nespôsobí imobilizáciu žiadneho z testovacích jedincov a najnižšia koncentrácia, ktorá imobilizuje všetky jedince.

Tabuľka 11 Podmienky testu akútnej toxicity na perloočke veľkej (*Daphnia magna*)

Testovací organizmus	<i>Daphnia magna</i>
Vek organizmu	jedince mladšie ako 24 h od narodenia
Kontrola	riediaca voda (tab. 9)
Objem vzorky	10 ml
Teplota inkubácie	20 °C ± 2 °C
pH	7,8 ± 0,2 - pH meter s kombinovanou elektródou, laboratórny oximeter s oximetrickou sondou
Trvanie skúšky	24 h /48 h
Počet opakovaní	štyri
Predbežný test	20 dafnií /neriedená vzorka a súčasne za rovnakých podmienok kontrola
Základný test	20 dafnií /stúpajúci rad riedení vzorky a súčasne za rovnakých podmienok kontrola
Kritérium platnosti	kontrola: imobilizácia ≤10 %, zmena koncentrácie rozpusteného O ₂ ≤ 2 mg/l
Sledovaná odozva	% imobilizovaných jedincov v porovnaní s kontrolou, pH, teplota, rozpustený O ₂

Perloočka veľká (*Daphnia magna*) najmenej tretej generácie, získaná acyklickou partenogénou za špecifikovaných podmienok rozmnožovania z laboratórneho chovu.

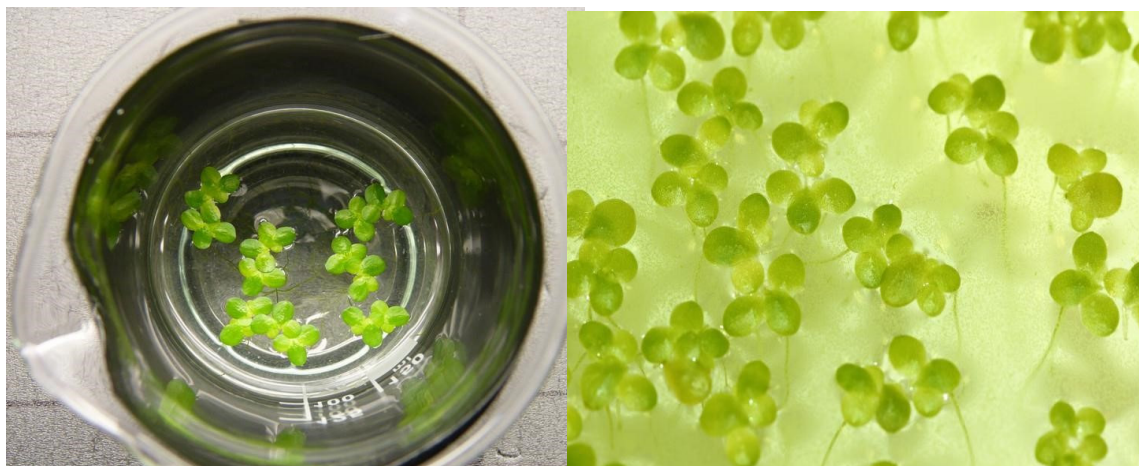
5.5 Test inhibície (stimulácie) rastu žaburinky

Test inhibície rastu žaburinky menšej (*Lemna minor*) hodnotí účinok toxických látok na sladkovodné rastlinstvo. Test trvá 7 dní a sleduje sa účinok na vegetatívny rast žaburinky a to počítaním počtu frondov alebo stanovením biomasy v porovnaní s kontrolou. Vyhodnocuje sa % inhibície rastu a vyjadruje sa ako EC₅₀.

Ako testovací organizmus sa používa žaburinka menšia (*Lemna minor*) (obr. 16). Za vhodných podmienok vytvárajú kompaktné porasty, ktoré neprepúšťajú svetlo a ich asimilačný kyslík uniká do vzduchu, čo má za následok zhoršenie akosti vôd pod nimi.

Žaburinka menšia je drobná vodná rastlina s plochými lístkami, pričom zdravé kolónie sú tvorené 2 - 5 lístkami. Rastie v stojatých alebo mierne tečúcich vodách v nížinách až subalpínskych polohách. Jej kultivácia je jednoduchá a nenáročná, nevyžaduje žiadne zvláštne zariadenie.

Princíp: Rastliny žaburinky sa nechajú rásť v rôznych koncentráciách testovanej látky rozpustenej v pripravenom živnom roztoku. Súčasne sa nasadia testovacie rastliny do kontrolného (živného) roztoku bez testovanej látky. Každých 24 hodín sa kontroluje a zaznamenáva stav rastlín a počet lístkov. Cieľom testu je zistiť účinky látky na vegetatívny rast žaburinky posúdením počtu listov, rýchlosti rastu, prípadne výskytu nekrózy. Porovnávanie rastu v testovaných roztokoch a kontrola sa stanovuje pomocou koncentrácie IC_{50} . V niektorých prípadoch môže testovaná látka spôsobovať stimuláciu rastu, potom sa hodnota IC_{50} nestanovuje. V prípade, že testovaná látka pôsobí stimulačne iba v nízkych koncentráciách, vyhodnocuje sa IC_{50} s použitím koncentrácií s preukázanou inhibíciou rastu.



Obrázok 16 Žaburinka menšia (*Lemna minor*) (Kijovská, 2013)

Základný test

Koncentrácia skúšanej látky sa volí v geometrickej rade pokrývajúcej širší koncentračný rozsah, v rozmedzí 10 - 90 % inhibície rastu kultúry. Pri testovaní rovnakej vzorky na viacerých organizmoch bývajú koncentrácie volené pre všetky tieto testy v približne rovnakom rozsahu.

Do pripravených (testovacích a kontrolných) kadičiek sa pinzety preniesú 2 - 4 lístkové kolónie žaburinky, v každej musí byť rovnaký počet lístkov. Celkový počet lístkov v koncentrácii má na začiatku testu byť 9 - 12. Kadičky sa prekryjú parafilmom a umiestnia do termoluminostatu (pod žiarivku s kontinuálnym osvetlením). Na začiatku a konci testu sa zmeria pH všetkých

vzoriek aj kontrol a zaznamená sa teplota. Kontrola testovacích organizmov sa vykonáva zisťovaním počtu lístkov a sledovaním vzhľadu kolónií minimálne každé tri dni, aspoň dvakrát počas 7 - dennej expozície a pri ukončení testu.

Vyhodnotenie:

Výsledky sa považujú za platné, ak sú splnené nasledujúce kritéria:

- priemerný počet lístkov v kontrole narástol v priebehu testu na osemnásobok,
- pH v kontrolnej vzorke by sa nemalo zvýšiť o viac než 1,5.

Literatúra

1. ANDĚL, P. 2011. *Ekotoxikologie, bioindikace a biomonitoring*. Liberec: Evernia. 265 s. ISBN 978-80-903787-9-7.
2. ATSDR, 2019. *Toxicological profile for DDT, DDE, and DDD*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 486 pp. [cit. 2019-04-12]. Dostupné na internete: <<https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp35.pdf>>
3. BARDÁČOVÁ, M. 2019. *Stanovenie a akumulácia toxických kovov vo vyšších rastlinách*. Rigorózna práca. Trnava: UCM. 79 s.
4. BARLOK, M. 2010. *Pesticídy a ich vplyv na spoločnosť*. [cit. 2019-04-12]. Dostupné na internete: <<http://www.enviroedu.sk/database/studenti/2010/Ekotoxikologia/Pesticidy.pdf>>.
5. BESEDA, I. a i. 2004. *Ekotoxikológia*. Zvolen: TU, 199 s. ISBN 80-228-1308-7.
6. BESEDA, I. - SCHWARZ, M. a i. 2009. *Toxikológia a ekotoxikológia*. Zvolen: TU, 258 s. ISBN 978-80-228-2108-7.
7. FARGAŠOVÁ, A. 2008. *Environmentálna toxikológia a všeobecná ekotoxikológia*. Bratislava: Orman, 348 s. ISBN 789-80-969675-6-8.
8. FARGAŠOVÁ, A. 2009. *Ekotoxikologické biotesty*. Bratislava: Perfekt, a.s.. 317 s. ISBN 978-80-8046-422-6.
9. FRANKOVSKÁ, J. a i. 2010. *Atlas sanačných metód environmentálnych záťaží*. Bratislava: Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, 360 s. ISBN 978-80-89343-39-3.
10. HORÁK, J. - LINHART, I. - KLUSON, P. 2004. *Úvod do toxikologie a ekologie pro chemiky*. Praha: VŠCHT, 187 s. ISBN 978-80-7080-548-0. http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-548-X/pages-img/obsah.html
11. HYBSKÁ, H. 2011. *Toxikológia a ekotoxikologie (návod na cvičenia)*. Zvolen: TU, 102 s. ISBN 978-80-228-2798-5.
12. HYBSKÁ, H. 2015. *Základy ekotoxikologie*. Zvolen: TU, 117 s. ISBN 978-80-228-2798-0.
13. HYBSKÁ, H. - D. SAMEŠOVÁ, D. 2015. *Ecotoxicology*. Banská Bystrica: Enterprise, spol. s r. o.. ISBN 978-80-228-2750-8.
14. KADUKOVÁ, J. - MIŠKUFOVÁ, A. - ŠTOFKO, M. 2006. Využitie rastlín na stabilizáciu a čistenie pôdy a vody kontaminovanej kovmi. In *Acta Montanistica Slovaca*. vol. 11, iss. 2, p. 130-136.

15. KIJOVSKÁ, L. 2013. *Ekotoxikológia vo vodnom hospodárstve Slovenska*. Zvolen: STU. 286 s. ISBN 978-80-227-3944-3.
16. KURUCZ, J. 2017. *Priemyselne toxické látky*. Banská Bystrica: UMB. 94 s. ISBN 978-80-557-1263-5.
17. MASAROVÍČOVÁ, E. a i. 2002. *Fyziológia rastlín*. Bratislava : UK, 303 s. ISBN 80-223-1615-6.
18. MAREŠOVÁ, V. 2012. *Ekotoxikologie. Kovy. Průmyslové látky*. Dostupné na internete: [cit.2012-03-13]. <<https://el.lf1.cuni.cz/p79657934/>>.
19. MOORE, K. L. 1993. Before we are born. Basic embryology and birth defectes. 2nd ed., W. B: Saunders Company.
20. OUVANG, Y. 2002. Phytoremediation: modeling plant uptake and contaminant transport in the soil-plant-atmosphere continuum. In *Journal of Hydrology*, 266, p. 66-82.
21. PAVLÍKOVÁ, D. - PAVLÍK, M. - MATĚJU, L. - BALÍK, J. 2009. *Ekotoxikologie*. Praha: ČZU. 171 s. ISBN 978-80-123-1843-4.
22. PROKEŠ, J. a i. 2005. *Základy toxikologie. obecná toxikologie a ekotoxikologie*. Praha: UK, Nakladatelství Karolinum. 248 s. ISBN 807262301X.
23. RASKIN, I. - KUMAR, P. B. A. N. - DUSHENKOV, S. - SALT, D. E. 1994. Bioconcentration of heavy metals by plants (Review article). In *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 5, p. 285-290.
24. STN 83 8303. *Slovenská technická norma - skúšanie nebezpečných vlastností odpadov. Ekotoxická. Skúšky akútnej toxicity na vodných organizmoch a skúšky inhibície rastu rias a vyšších kultúrnych rastlín*.
25. SCHWITZGUÉBEL, J. P. 2002. Hype or Hope: The Potential of Phytoremediation as an Emerging Green Technology, In *Federal Facilities Environmental Journal*, p. 109-125.
26. ŠTOKHOLMSKÝ DOHOVOR, 2001. Štokholmský dohovor o perzistentných organických polutantoch. Podpísaný 23. mája 2001 vo švédskom Štokholme pod patronátom UNEP.
27. TRUHAUT, R. 1977. Eco-toxicology - objectives, principles and perspectives. In *Ecotoxicology and Environmental Safety*. vol. 1, iss. 2, p. 151-173. ISSN 0147-6513.
28. TUMOVÁ, I., 2016. *Toxikológia pre farmaceutov*. Herba, 192 s. ISBN 978-80-89631-56-8.

29. USEPA, 2000. *Risk based Concentration Table*. United States Environmental Protection Agency, Philadelphia, PA; Washington DC.
30. VACULÍK, M. - LUX, A. 2018. Sila fytořediácie, resp. využitie rastlín na očisťovanie životného prostredia. In Veda na dosah. [cit. 2020-02-03]. Dostupné na internete: <https://vedanadosah.cvtisr.sk/sila-fytořediácie-resp-vyuzitie-rastlin-na-ocistovanie-zivotneho-prostredia>

Autorka:

Ing. Žaneta Pauková, PhD.

Názov:

ZÁKLADY TOXIKOLÓGIE A EKOTOXIKOLÓGIE

Vydavateľ: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Vydanie: prvé

Forma vydania: online

Rok vydania: 2020

AH-VH: 3,86-3,99

Neprešlo redakčnou úpravou vo Vydavateľstve SPU.

ISBN 978-80-552-2165-6