



Slovenská agentúra životného prostredia  
Ú s t r e d i e  
Tajovského 28, 975 90 Banská Bystrica



HES – COMGEO, s.r.o.  
Kostiviarska cesta 4, 974 01 Banská Bystrica

---

# **METODICKÝ POKYN PRE RIZIKOVÚ ANALÝZU KONTAMINOVANÝCH LOKALÍT**

(návrh)

**Požiadavky na rozsah a kvalitu vstupných údajov a postup spracovania  
a možnosti použitia rizikovej analýzy kontaminovaných lokalít**

**Autorský kolektív:**

RNDr. Anton Auxt (HES-COMGEO spol. s r.o., Banská Bystrica)

RNDr. Miroslav Holubec, CSc. (Výskumný ústav vodného hospodárstva Bratislava)

Ing. Katarína Paluchová (Slovenská agentúra životného prostredia Banská Bystrica)

## **Obsah metodického pokynu**

A. ÚVOD.....	3
B. PREDMET A CIEĽ RIZIKOVEJ ANALÝZY KONTAMINOVANÝCH LOKALÍT .....	3
C. VYUŽITIE RIZIKOVEJ ANALÝZY KONTAMINOVANÝCH LOKALÍT .....	3
D. ZÁKLADNÉ POJMY .....	4
E. OBSAH RIZIKOVEJ ANALÝZY KONTAMINOVANÝCH LOKALÍT .....	4
F. ZÁSADY A PODMIENKY SPRACOVANIA ANALÝZY RIZIKA KONTAMINOVANEJ LOKALITY.....	6

## A. ÚVOD

Kontaminované lokality predstavujú významný problém v ochrane životného prostredia. Znečistenie jednotlivých zložiek životného prostredia je v mnohých prípadoch zdrojom neprijateľných rizík pre zdravie ľudí a pre životné prostredie. Ich odstraňovanie je často značne finančne náročné. Riziková analýza je jedným z nástrojov, ktoré prispievajú k nájdeniu spoločensky prijateľnej miery zdravotných a environmentálnych rizík. Princíp spoločensky prijateľnej miery rizík vyjadruje skutočnosť, že dosiahnutie „nulového rizika,, (napr. absolútne odstránenie znečistenia) nie je vždy z hľadiska životného prostredia nutné. Nie vždy sú totiž už dnes k dispozícii vhodné a účinné technológie a postupy pre úplné odstránenie znečistenia, alebo úplné odstránenie znečistenia často vyžaduje neprimerane vysoké finančné náklady.

## B. PREDMET A CIEĽ RIZIKOVEJ ANALÝZY KONTAMINOVANÝCH LOKALÍT

Riziková analýza kontaminovanej lokality alebo iného znečisteného územia je proces zahrňujúci popis a zhodnotenie východiskových podmienok na území s kontaminovanou lokalitou (so znečistením zložiek životného prostredia), vyhodnotenie súčasných a potenciálnych rizík s ohľadom na súčasné a budúce využitie územia.

Pre účely tejto metodiky sú predmetom hodnotenia rizika znečistené zeminy a podzemné vody, ktoré môžu predstavovať ohrozenie zdravia človeka a zložiek životného prostredia.

Cieľom rizikovej analýzy je charakterizovať existujúce a potenciálne riziká vyplývajúce z existencie znečisteného územia pre životné prostredie a zdravie človeka a na základe posúdenia ich závažnosti navrhnúť cieľové parametre nápravných opatrení.

Riziková analýza vyhodnocuje konkrétne okolnosti, pričom vychádza z informácií o prítomných znečisťujúcich látkach a o možných cestách ich šírenia a expozícii cieľovej skupiny na ktorú sa dané riziko vzťahuje v každej z daných situácií.

## C. VYUŽITIE RIZIKOVEJ ANALÝZY KONTAMINOVANÝCH LOKALÍT

Riziková analýza je rozhodujúcim podkladom pre rozhodovanie orgánov štátnej správy v procese znižovania nepriaznivých účinkov kontaminovaných lokalít na životné prostredie a zdravie človeka podľa zákona o environmentálnych záťažiach. Je dôležitou a nevyhnutnou súčasťou programu sanácie vypracovaného podľa zákona o environmentálnych záťažiach. Je rozhodujúcim a zásadným podkladom pre určenie cieľových limitov sanácie pri jej povoľovaní a ukončení.

Nevyhnutné je spracovanie rizikovej analýzy po ukončení podrobného prieskumu lokality, pred návrhom jej sanácie. Rizikovú analýzu je možné vypracovať aj v iných častiach procesu identifikácie, prieskumu a sanácie kontaminovanej lokality, prípadne využiť pre iné účely :

- stanovenie priorít riešenia kontaminovaných lokalít v územnom celku
- určenie cieľových parametrov nápravných opatrení (sanácie) kontaminovanej lokality
- posúdenie a určenie najvhodnejšej varianty nápravných opatrení (sanácie) kontaminovanej lokality
- posúdenie účinnosti nápravných opatrení, alebo ich etáp
- prognózovanie negatívnych účinkov kontaminácie z potenciálnych a aktívnych zdrojov

- hodnotenie vplyvov stavieb a činností na životné prostredie
- pri navrhovaní ochranných pásiem vodných zdrojov a opatrení v nich
- pri zmene majiteľa nehnuteľností a pod.

## D. ZÁKLADNÉ POJMY

Environmentálna záťaž je stav vzniknutý kontamináciou pôdy a horninového prostredia ako zložiek životného prostredia nad mieru kritérií ustanovených v prílohe zákona o environmentálnych záťažach. Environmentálna záťaž je aj stav vzniknutý kontamináciou podzemnej vody ako zložky životného prostredia nad mieru kritérií ustanovených osobitným predpisom<sup>1</sup>.

Kontaminácia je znečisťovanie<sup>2</sup> zložiek životného prostredia nad úroveň predstavujúcu riziko pre ľudské zdravie a životné prostredie.

Riziko je pravdepodobnosť, s ktorou dôjde za definovaných podmienok expozície k prejavu nepriaznivých vplyvov environmentálnej záťaže na zdravie človeka a životné prostredie, alebo pravdepodobnosť, s ktorou dôjde k šíreniu znečisťujúcich látok do okolitého prostredia.

Analýza rizika environmentálnej záťaže je proces zahrňujúci popis a zhodnotenie východiskových podmienok na území s environmentálnou záťažou, vyhodnotenie súčasných a potenciálnych rizík s ohľadom na súčasné a budúce využitie územia.

Sanácia environmentálnej záťaže (ďalej len „sanácia“) zahŕňa súbor opatrení vykonaných na vode, pôde a horninovom prostredí, ktorých cieľom je odstrániť, znížiť alebo obmedziť kontamináciu na úroveň akceptovateľného rizika so zreteľom na súčasné a budúce využívanie územia.

Pôda je pre účely tohto metodického pokynu prírodný útvar, ktorý vzniká bezprostredne na zemskom povrchu ako produkt vzájomného pôsobenia klimatických podmienok, organizmov, človeka, reliéfu a materských hornín, s výnimkou poľnohospodárskej pôdy.<sup>3</sup>

Horninové prostredie je súbor všetkých hornín predmetnej časti zemskej kôry vrátane antropogénnych sedimentov.

Cieľové hodnoty sanácie – koncentrácia nebezpečných látok v jednotlivých zložkách prostredia, ktoré sú doporučené na základe hodnotenia rizika s ohľadom na stávajúce a potenciálne využitie územia. Tieto hodnoty musia zaručovať ochranu zdravia človeka a životného prostredia.

## E. OBSAH RIZIKOVEJ ANALÝZY KONTAMINOVANÝCH LOKALÍT

### 1. Úvod

(identifikácia environmentálnej záťaže a osoby predkladajúcej analýzu rizika)

---

<sup>1</sup> Zákon č. 364/2004 Z. z.

<sup>2</sup> Zákon 17/1992 Zb. o životnom prostredí v znení neskorších predpisov.

<sup>3</sup> § 2 písm. b) zákona č. 220/2004 Z. z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a o zmene zákona č. 245/2003 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

## **2. Základné údaje**

### **2.1 Všeobecné údaje o území**

1st)(osídlenosť dotknutej lokality, využitie územia v minulosti, súčasnosti a budúcnosti)

### **2.2 Prírodné pomery územia**

(klimatické pomery, hydrologické pomery, geologické pomery, hydrogeologické pomery, ekologické charakteristiky)

### **2.3 Prieskumné a analytické práce**

(prehľad doteraz realizovaných prác, analýza výsledkov prieskumných prác a získaných informácií, priestorové ohraničenie kontaminácie, materiálová bilancia)

### **2.4 Ekotoxikologické hodnotenie**

## **3. Hodnotenie rizika**

### **3.1 Situačný (konceptný) model lokality a charakteristika kontaminantov**

#### **3.1.1 Požiadavky na konceptné modely**

### **3.2 Hodnotenie environmentálnych rizík**

#### **3.2.1 Posúdenie aktuálnosti environmentálneho rizika**

- Hodnotenie aktuálnosti rizika šírenia znečistenia podzemnou vodou
- Hodnotenie aktuálnosti ekologického rizika zo znečistenia zemín

#### **3.2.2 Výpočet rizika šírenia znečistenia podzemnou vodou a do povrchovej vody**

- Výpočet rizika z migrácie kontaminantov v podzemných vodách krokovou metódou
- Výpočet rizika vo vzťahu k povrchovým vodám

### **3.3 Hodnotenie zdravotných rizík z kontaminovanej lokality**

#### **3.3.1 Hodnotenie nebezpečnosti**

#### **3.3.2 Hodnotenie vzťahu dávka – účinok**

#### **3.3.3 Hodnotenie expozície**

#### **3.3.4 Hodnotenie rizika**

## **4. Závery rizikovej analýzy (charakterizácia rizika)**

## **5. Stanovenie cieľových hodnôt v podzemných vodách a zemine**

## **6. Návrh a rámcové zhodnotenie možností sanácie a ochranných opatrení**

## **7. Zoznam použitej literatúry**

## **8. Textové, tabuľkové a mapové prílohy**

## F. ZÁSADY A PODMIENKY SPRACOVANIA ANALÝZY RIZIKA KONTAMINOVANEJ LOKALITY

### 2. Základné údaje

Základné údaje o území je potrebné spracovať v rozsahu potrebnom pre posúdenie vzťahov územia s kontaminovanou lokalitou k okoliu. Časti irelevantné pre hodnotenie rizika z kontaminovanej lokality nie je potrebné vypracovať, je však potrebné uviesť dôvod irelevantnosti.

#### 2.1 Všeobecné údaje o území

Všeobecné: presné geografické vymedzenie posudzovaného územia podľa dostupných mapových podkladov, identifikácia územia, správna a katastrálna príslušnosť, mapa vhodnej mierky (1:25000, 1:10000, 1:5000).

Využitie územia: Zhrnutie využitia posudzovaného územia a jeho okolia (minulé, súčasné a predpokladané využitie)

Údaje o území sa čerpajú z verejne dostupných zdrojov (územnoplánovacia dokumentácia, mapové podklady, archívne materiály, štatistické ročenky, ústne informácie, obhliadka územia...)

#### 2.2 Prírodné pomery územia

Geografické pomery: regionálne geomorfologické začlenenie územia, charakter posudzovaného územia a jeho vzťah k širšiemu okoliu, morfológia terénu, orografia, významné krajinné prvky a ochranné pásma

Geologické pomery: podrobné zhodnotenie litostratigrafických a tektonických pomerov lokality. regionálne geologické zaradenie, výskyt ložísk nerastných surovín a ich ťažba a ochrana, geodynamické javy - seizmicita územia, zosuvy ... – ak môžu ovplyvniť, alebo byť ovplyvnené kontaminovanou lokalitou.

Údaje o geologických pomeroch sa čerpajú z geologických máp, archívnych materiálov uchovávaných predovšetkým v archíve odboru geologických informácií ŠGUDŠ. Zhodnotenie geologických pomerov sa doplní o vyhodnotenie výsledkov vlastných geologických prác. Hodnotí sa samotné hodnotené územie a jeho okolie v rozsahu potrebnom pre posúdenie vzájomných vplyvov. Údaje by mal poskytnúť prieskum kontaminovanej lokality.

Hydrogeologické pomery: Regionálne hydrogeologické zaradenie, charakteristika výskytu vody v horninovom prostredí (priestorové vymedzenie pásma prevzdušnenia a rozsahu zvodne, charakteristika počvového a stropného izolátora (ak sú), charakteristika zvodnenca, hydrogeologické vlastnosti hornín (priepustnosť – koeficient prietočnosti, koeficient filtrácie, pórovitosť), hladiny a úrovně podzemnej vody (úroveň hladiny podzemnej vody, hĺbka hladiny podzemnej vody pod terénom, sklon hladiny podzemnej vody, kolísanie hladiny podzemnej vody), kvalitatívne charakteristiky podzemnej vody (prirodzená mineralizácia podzemnej vody), hranice a okrajové podmienky zvodneného systému, obeh podzemnej vody (infiltrácia, akumulácia, výstup, významné pramene v hodnotenom území), prúdenie podzemnej vody (smer a rýchlosť), hydraulické parametre hornín (koeficient filtrácie, koeficient prietočnosti), využívanie podzemnej vody v hodnotenom území a jeho okolí, ochrana podzemných vôd, minerálne, termálne, liečivé a zvláštne vody a ich ochrana v okolí hodnoteného územia

Hydrogeologické pomery sa v tejto etape hodnotia predovšetkým na základe vlastných prieskumných prác, ale aj archívnych materiálov, hlavne údajov z dlhodobého monitoringu

podzemných a povrchových vôd. Pokiaľ v blízkosti územia nie sú pozorovacie body na základe ktorých by bolo možné hodnotiť napr. kolísanie hladín podzemnej vody, jej vzťah k povrchovým vodám a pod. odporúča sa tieto údaje získať vlastným pozorovaním po dobu min. 1 roka (ak charakter kontaminácie a navrhovaný spôsob sanácie nie je taký, že nezávisí od režimu podzemnej vody).

Hydrologické pomery: Hydrologické povodie, charakteristika recipientu, vzťah povrchových vôd k podzemným, popis extrémnych stavov – napr. povodne, dlhotrvajúce suchá, ročné zrážky, celkový odtok, špecifické odtoky, zvláštny režim vôd v okolí posudzovanej lokality – využitie vôd, ochranné pásma.

Hydrologické pomery sa hodnotia na základe dlhodobých pozorovaní a vlastných meraní.

Pedologické pomery: pôdne typy, druhy a ich bonita, stupeň náchylnosti pôd na mechanickú a chemickú degradáciu, spôsob využívania pôd v hodnotenom území a jeho okolí (poľnohospodársky a lesný pôdny fond).

Pedologické pomery sa hodnotia podľa archívnych materiálov, hlavne: Výsledky štátneho monitoringu – čiastkový monitorovací systém pôda“, „Komplexný prieskum pôd“ a „Bonitácia pôd – mapy BPEJ“, ktoré sa v prípade potreby konkretizujú výsledkami vlastných prieskumných prác.

Klimatické pomery: Klimatologické charakteristiky, smery prevládajúcich vetrov, maximálna a minimálna teplota vzduchu, dlhodobé priemerné a aktuálne úhrny zrážok, počet mrazových dní, teplotné inverzie, hrúbka a doba trvania snehovej pokrývky, ...

Klimatické pomery sa hodnotia na základe údajov pozorovacej siete SHMÚ, v prípade potreby sa doplnia vlastné pozorovania – mikroklimatické pomery priamo na lokalite.

Ochrana prírody a krajiny v okolí lokality: Osobitne chránené územia, územné systémy ekologickej stability, lokality s výskytom chránených rastlín a živočíchov, lesné ekosystémy. Zdrojom informácií sú archívne materiály, najmä územné plány a územné systémy ekologickej stability, doplnené o vlastné prieskumy. Všetky informácie o prírodných pomeroch má poskytnúť prieskum kontaminovanej lokality.

## 2.3 Prieskumné a analytické práce

Z hľadiska potrieb analýzy rizika je nevyhnutné, aby prieskumné práce zabezpečili potrebné vstupné údaje. Tie možno rozdeliť do dvoch hlavných skupín:

- údaje o hydrogeologických a prírodných pomeroch v záujmovom území, vrátane širších vzťahov (kap.B2)
- priestorovú, kvantitatívnu a kvalitatívnu charakteristiku a materiálovú bilanciu znečistenia

### 2.3.1 Požiadavky na prieskum znečistenia

Z hľadiska zabezpečenia potrebných údajov pre analýzu rizika je nevyhnutné, aby prieskumné práce poskytli dostatočné vstupné údaje o rozsahoch znečistenia podzemných vôd a zemín vo všetkých formách ich výskytu v tuhej, kvapalnej a plynnej fáze.

Z hľadiska rozsahu znečistenia, cieľom prieskumných prác je zabezpečiť nasledovné údaje:

- rozsah znečistenia podzemných vôd a zemín podľa koncentračných úrovní
- koncentračnú úroveň znečisťujúcich látok a ich heterogenitu
- priestorovú bilanciu znečisťujúcich látok v jednotlivých vrstvách a koncentračných úrovniach
- ekotoxicitu vzoriek znečistených médií a materiálov

Vo fáze posúdenia rizika zo znečistených zemín sa požaduje zistenie rozsahu znečistenia zemín na plochách väčších ako 50 m<sup>2</sup>, čo pre hrúbku vrstvy zemín, pôdy, horninového prostredia 1 m predstavuje objem 50 m<sup>3</sup>. Pre podzemné vody sa požaduje zistenie rozsahu a

nárastu znečistenia s objemom 100 m<sup>3</sup>, čo pri priemernej pórovitosti prostredia 0,2 predstavuje objem 500 m<sup>3</sup>. Tieto čísla determinujú požadovaný rozsah prieskumných prác.

### 2.3.2 Pravdepodobnosť preukázania rozsahu znečistenia

Pre podrobný prieskum požadovaná pravdepodobnosť preukázania znečistenia má byť väčšia ako 80%. Pre orientačný prieskum pravdepodobnosť preukázania má dosahovať minimálne 60 %.

### 2.3.3 Odber vzoriek podzemných vôd

Z hľadiska odberov vzoriek podzemných vôd je potrebné, aby práce boli vykonávané v zmysle platných noriem. Predovšetkým je potrebné vychádzať z normy STN EN 25667-1: 1999. Kvalita vody. Odber vzoriek. Časť 1: Pokyny na návrhy programov odberu vzoriek (75 7051) a projekt prieskumných prác musí v prípade odberu vzoriek podzemných vôd obsahovať aj spracovaný program vzorkovania v zmysle uvedenej normy.

### 2.3.4 Analýzy vzoriek

Je nevyhnutné, aby prieskumnými prácami bola dokumentovaná kvalitatívna a kvantitatívna bilancia kontaminantu podľa jednotlivých chemických látok. Analýza kontaminantu neselektívnymi analytickými postupmi (typu CHSK, TOC, DOC, NEL) je nutnou, ale nie postačujúcou podmienkou pre návrh rozsahu a spôsobu sanačnej techniky.

Analýzy vzoriek by mali byť spracované v akreditovanom laboratóriu, pričom približne 5% vzoriek by mali byť kontrolné vzorky (interné + externé).

Dôležité je, aby rozsah sledovaných ukazovateľov zohľadňoval tak indikačné ukazovatele ako aj konkrétne znečisťujúce látky. Medzi indikačné ukazovatele zaraďujeme nasledovné stanovenia:

- rozpustené a nerozpustené látky
- elektrolytickú vodivosť
- tvrdosť vody
- stanovenie chemickej spotreby kyslíka (CHSK), celkový organický uhlík (TOC), biologická spotreba kyslíka (BSK<sub>5</sub>)
- stanovenie nepolárnych extrahovateľných látok (NEL), fenolový index, extrahovateľný organický chlór (EOX)

Do tejto skupiny ukazovateľov nezaraďujeme skupiny látok, ktoré sú súčtom individuálnych obsahov viacerých chemických zlúčenín, ako sú ukazovatele BTEX (benzén, toluén, etylén, xylén), PAU (polyaromatické uhľovodíky), PCB (polychlórované bifenyly) a podobne, pretože tieto skupiny museli byť stanovené aj ako individuálne chemické zlúčeniny.

Je však potrebné, aby pre rizikovú analýzu boli tieto výsledky poskytnuté a aby boli spracované priestorové, kvantitatívne a kvalitatívne materiálové bilancie pre individuálne znečisťujúce látky a nie ich súčty (sumáry).

Je vhodné a často aj nevyhnutné, aby chemické analýzy boli doplnené aj testami toxicity, pretože sa často jedná o široké spektrum znečisťujúcich látok, ktoré nie sú celkom identifikovateľné a analyticky kvantifikovateľné. Testy toxicity sú obzvlášť dôležité v prípadoch „starších“ znečistení, kedy transformačnými a rozpadovými procesmi mohlo dôjsť k výraznej zmene zastúpenia znečisťujúcich látok v porovnaní s pôvodnými a súčasne aj k zmene ich ekotoxikologických vlastností. Samotnému výberu sledovaných ukazovateľov v priebehu prieskumných prác by mala predchádzať analýza problému a hodnotenie potenciálnych zdrojov znečistenia a látok, s ktorými sa nakladalo.



### 2.3.5 Lokalizácia vrtov

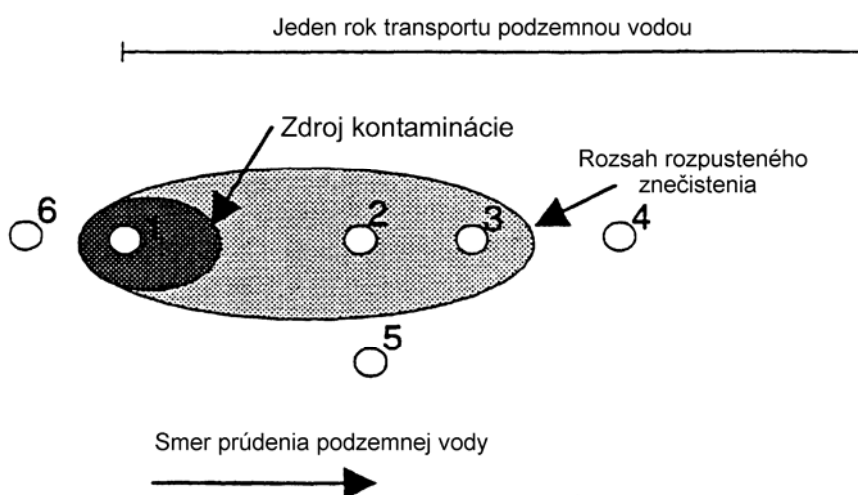
Pre kvalitné spracovanie rizikovej analýzy je nevyhnutné podrobné zmapovanie rozsahu znečistenia a hydrogeologických pomerov.

Presná poloha monitorovacích bodov, množstvo monitorovacích bodov a dĺžka monitorovania závisia od zloženia znečisťujúcich látok a od hydrogeologických pomerov. Monitoring je nutné posudzovať v každom prípade individuálne. V niektorých prípadoch je možné použiť prieskumné vrty na monitorovacie účely.

Pre stanovenie rozpadových rýchlostí je dôležitá tiež lokalizácia prieskumných a monitorovacích objektov.

V etape orientačného prieskumu a monitorovania lokality je potrebné vybudovať najmenej tri vrty v smere prúdenia podzemnej vody od zdroja kontaminácie (okrem vrtov realizovaných za účelom zisťovania smeru prúdenia a rozsahu znečistenia), v súlade s obrázkom 1.

**Obrázok 1. Príklad situovania prieskumných/monitorovacích vrtov vzhľadom na šírenie znečistenia**



## 2.4 Ekotoxikologické hodnotenie

Pri neustálom uvoľňovaní chemických látok, prípravkov, či ich zmesí do jednotlivých zložiek prostredia, je dôležité pristúpiť k ich kontrole. Najefektívnejším nástrojom, ktorým je možné dosiahnuť preukázateľné a dôveryhodné výsledky je kombinovaný prístup monitoringu - analytické hodnotenie (kontrola plnenia limitných ukazovateľov) a biologické, napr. ekotoxikologické monitorovanie (hodnotenie integrovaných vplyvov všetkých chemických látok vo vzorke). Hodnotením fyzikálno-chemických a ekotoxikologických vlastností je zabezpečená spoľahlivá identifikácia rizika, skrytého často v látke s nízkou koncentráciou, ale s vysokou toxicitou vznikajúcou nekontrolovane ako degradačný alebo reakčný produkt v jednotlivých zložkách.

Výhodou ekotoxikologických skúšok je, že môžu rýchlo indikovať možné riziko a že skúšame reálne vzorky odobraté priamo na hodnotenej lokalite. Môžeme teda posúdiť účinky zmesí záujmových látok, ktoré sa na predmetnej lokalite vyskytujú, ich synergické, aditívne či antagonistické vplyvy.

### 2.4.1 Odber, transport a spracovanie vzoriek

Odber vzoriek vôd a zemín zo zaťaženej lokality by mal byť vykonaný tak, aby boli vzorky

reprezentatívne pre celú sledovanú lokalitu. Pri odbere vzoriek by mala byť vždy odoberaná vzorka zo zdroja znečistenia a následne ďalšie vzorky z príľahlých oblastí, pričom počet a miesta odberu vzoriek sú dané v závislosti od plochy znečisteného územia a smeru prúdenia znečistenia. Pre odpadové vody by mali byť prednostne hodnotené zlievané vzorky.

Transport vzoriek po odbere by mal byť všeobecne v čo najkratšom čase. Pre odobraté vzorky vody je dôležité udržiavať vzorku v chlade ( $\sim 5^{\circ}\text{C}$ ) a spracovať do 24 hod po odbere, príp. zakonzervovať.

Spracovanie vzoriek v laboratóriu je dané použitím skúšky. Dôležité je, aby vzorka bola dostatočne homogénna a reprezentatívna pre všetky použité skúšky toxicity.

#### 2.4.2 Skúšanie vzoriek a vyhodnotenie výsledkov

Na hodnotenie vôd (odpadové, podzemné a povrchové vody) na zaťaženej lokalite je potrebné vykonať limitné skúšky na všetkých troch trofických úrovniach :

A. DEŠTRUENT

Stanovenie inhibície luminiscencie baktérií (*Vibrio fischeri*) STN EN ISO 11348,

B. PRODUCENT

Stanovenie inhibície rastu rias (*Desmodesmus subspicatus*) STN EN ISO 8692 (OECD 201, C.3),

C. KONZUMENT

Stanovenie inhibície mobility, skúška akútnej toxicity (*Daphnia magna*) STN EN ISO 6341 (OECD 202, C.2),

Skúšaná vzorka je považovaná za toxickú, ak je zistený jej inhibičný účinok oproti kontrolnej vzorke aspoň na jednom z troch skúšaných organizmov. V prípade, že zistený účinok presiahne 50 % je potrebné stanoviť hodnotu  $\text{EC}_{50}$ .

Na hodnotenie zemín, sedimentov a odpadov je dôležité, aby boli vykonané nielen skúšky s vodným výluhom z nich pripraveným, ale aj priame kontaktné skúšky v natívnom stave. Pri základnom hodnotení je potrebné vykonať nasledovné skúšky:

A. DEŠTRUENT

Stanovenie inhibície luminiscencie baktérií (*Vibrio fischeri*) STN EN ISO 11348,

B. PRODUCENT

Stanovenie inhibície rastu rias (*Desmodesmus subspicatus*) STN EN ISO 8692 (OECD 201, C.3),

C. KONZUMENT

Akútna skúška toxicity na dážďovky (*Eisenia foetida*) OECD 207, C.8

Skúšaná vzorka je považovaná za toxickú, ak je zistený jej inhibičný, resp. letálny (dážďovky) účinok oproti kontrolnej vzorke aspoň na jednom z troch skúšaných organizmov. V prípade, že zistený účinok presiahne 50 % je potrebné stanoviť hodnotu  $\text{EC}_{50}/\text{LC}_{50}$ .

### 3. Hodnotenie rizika

#### 3.1 Situačný (konceptný) model lokality a charakteristika kontaminantov

Prvým krokom spracovania rizikovej analýzy je návrh konceptného modelu, v ktorom na základe charakterizovania zdroja, identifikácie potenciálnych rizík a nebezpečenstiev, možnosti migrácii sa určia možné transportné cesty vedúce k environmentálnym rizikám pre abiotické a biotické zložky životného prostredia, alebo zdravotným rizikám. Za zložky životného prostredia sa vo vzťahu k ich biotám v rámci tejto metodiky pokladajú:

- voda
- hornina, zemina, pôda
- pôdny vzduch

##### 3.1.1 Požiadavky na konceptné modely

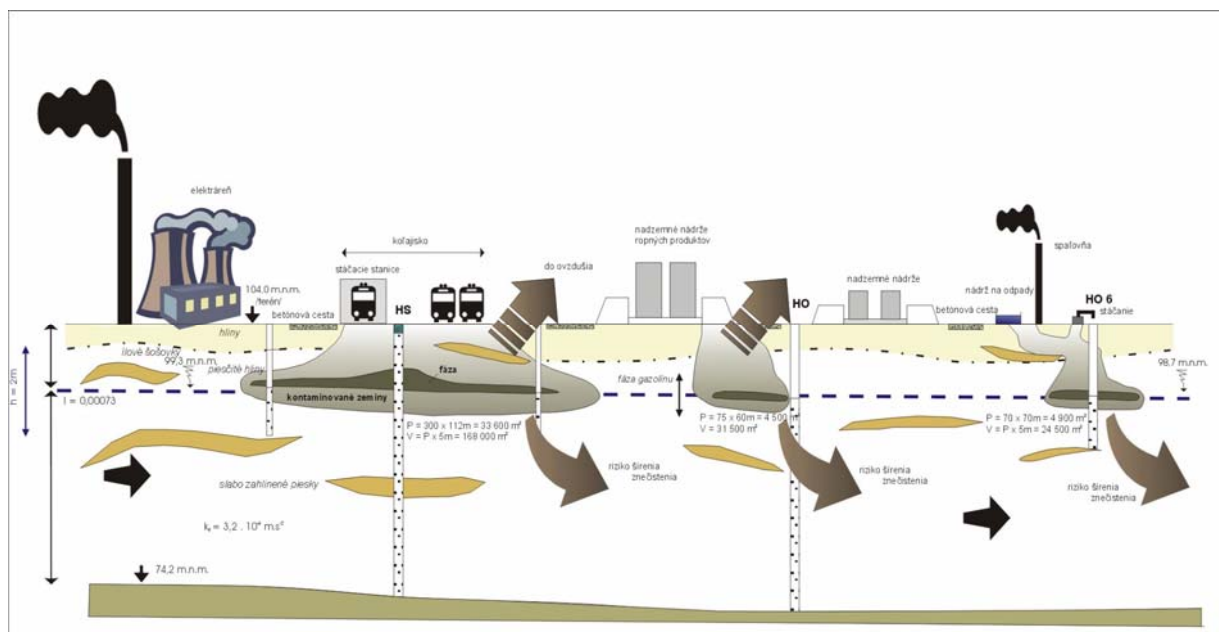
Konceptný model je špecifický pre danú lokalitu. V zásade konceptný model zhrňuje všetky dôležité dosiahnuté výsledky prieskumných a monitorovacích prác na lokalite do vizuálnej formy. Z výsledkov prieskumných prác musí abstrahovať nasledovné aspekty:

1. hydrogeologické vlastnosti prostredia
  - litologické profily (hlavne prítomnosť nepriepustných vrstiev, zvodnených horizontov, šošoviek, puklín a podobne)
  - hĺbka hladiny podzemnej vody (narazená a ustálená)
  - rozkvyv hladiny podzemnej vody
  - hydraulické gradienty
  - smery prúdenia
  - koeficienty filtrácie a prietochnosti
2. Využitie lokality
  - charakter lokality (priemysel, poľnohospodárstvo, sídelné útvary a podobne)
  - recipienty (povrchové toky, jazerá, štrkoviská, chránené územia, mokrade a pod.)
  - receptory (podzemné a/alebo povrchové vody, ľudia, zvieratá, bioty)
3. Znečistenie
  - zdroje znečistenia
  - rozsah znečistenia povrchových vrstiev zemín a pôd do hĺbky 1,5 m
  - rozsah znečistenia nenasýtenej zóny
  - rozsah znečistenia podzemných vôd
  - rozsah znečistenia voľnou fázou (aj na dne zvodnenej vrstvy pre uhl'ovodíky ťažšie ako voda)
  - transportné cesty k potenciálnym receptorom a recipientom
  - bilančné a koncentračné údaje ak sú známe

Konceptné modely môžu byť dvojrozmerné, alebo trojrozmerné. Pre väčšinu prípadov postačuje dvojrozmerný model, ktorého príklad pre lokalitu s priemyselnou činnosťou je uvedený na obrázku 2.

Trojrozmerné modely by mali byť vytvorené pre zložitejšie lokality. Jedným z druhov trojrozmerného konceptného modelu môže byť aj matematický model.

Obrázok 2. Príklad koncepčného modelu pre priemyselnú lokalitu



V zmysle definícií environmentálnej záťaže, kontaminácie a znečistenia sa pre potreby hodnotenia rizika definujú kontaminanty, ktorých koncentrácie prekračujú kritériá ustanovené zákonom o environmentálnych záťažoch (závislé od spôsobu využitia územia a nebezpečnosti kontaminantu). Identifikácia kontaminantov, ich koncentrácií, množstva a priestorového rozloženia je výsledkom prieskumu kontaminovanej lokality. Do hodnotenia vstupujú aj vysoké hodnoty „všeobecných a sumárnych ukazovateľov“ a výsledky testov ekotoxicity. Zoznam kontaminantov, kvantitatívnych a kvalitatívnych charakteristík, vlastností podstatných pre hodnotenie rizika sa odporúča spracovať vo forme prehľadne tabuľky „vstupných údajov pre hodnotenie rizika“ spolu s podstatnými (najmä migračnými) charakteristikami prostredia.

## 3.2 Hodnotenie environmentálnych rizík

### 3.2.1 Posúdenie aktuálnosti environmentálneho rizika

Cieľom posúdenia aktuálnosti rizika je prvotný odhad existencie rizík. Vykonáva sa predovšetkým ako prvý krok hodnotenia rizika, ale aj pri nižšej úrovni preskúmanosti lokality.

Environmentálne riziká odhadujeme pre podzemnú vodu a pôdy (zeminy). Cieľom je posúdiť existenciu (možnosť) rizika šírenia sa kontaminácie podzemnou vodou a existenciu kontaminácie zemín v koncentráciách a rozsahu predstavujúcom riziko pre jednotlivé zložky ekosystému.

➤ *Hodnotenie aktuálnosti rizika šírenia znečistenia podzemnou vodou*

#### *Jednoduchý test rizika šírenia znečistenia*

Jednoduchý test šírenia znečistenia spočíva v odpovedaní na nasledujúce 4 otázky:

- Je na hladine podzemnej vody voľná fáza kontaminantu s mernou hmotnosťou  $<1$  ?
- Prechádza kontaminant cez horninové prostredie (kontaminant s mernou hmotnosťou  $>1$ )?
- Možno predpokladať šírenie sa kontaminácie v nenasýtenej zóne ?
- Je nad hodnoty C kontaminovaných viac ako  $100 \text{ m}^3$  podzemných vôd ?

V prípade, že budú všetky odpovede „Nie“ nepredpokladá sa žiadne riziko. V prípade, že sú odpovede na otázky A, B, C „Áno“ predpokladá sa vážne riziko. V prípade, že je len na otázku D odpoveď „Áno“ sú potrebné ďalšie výpočty.

*Vstupné údaje pre hodnotenie aktuálnosti rizika šírenia sa znečistenia*

A merná hmotnosť horniny v nasýtenej zóne ( $\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ )

B obsah vody v nasýtenej zóne (číselne = aktívnej pórovitosti  $n$ )

C frakcia organického uhlíka  $f_{OC}$

D kontaminant v zemine presahujúci LC50, alebo ak nie je určená LC50 - kritérium C.

E  $K_{OC}$  = koeficient adsorpcie na organický uhlík ( $\log K_{OC} = 1,04 * \log K_{ow} - 0,84$  ( $\text{dm}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ )), kde  $K_{ow}$  je rozdeľovací koeficient oktanol/voda (tabuľková hodnota)

F rozdeľovací koeficient, kde  $K_d = f_{OC} \cdot K_{OC}$  ( $\text{dm}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ )

G retardačný faktor  $R = 1 + \rho \cdot K_d / n$

*Aktuálnosť rizika šírenia*

sa hodnotí pre kontaminanty definované v predchádzajúcich kapitolách analýzy rizika. Počíta sa prírastok kontaminácie podzemných vôd s danou koncentráciou kontaminantu. Ak je tento prírastok väčší ako  $100 \text{ m}^3/\text{rok}$ , hovoríme o vážnom riziku šírenia. (poznámka – vypočítané hodnoty sú tzv. najnepriaznivejším stavom a nemusia predstavovať reálnu situáciu na lokalite – ich úlohou je rýchlo a na základe minima informácií posúdiť možnosť šírenia sa znečistenia zo zemín do podzemnej vody. Ak výsledok tohto kroku preukázal riziko šírenia, sú potrebné ďalšie výpočty).

Hodnota nárastu znečistenia sa môže vypočítať podľa vzorca

$$d = (v/R) \cdot P$$

d - ročný nárast kontaminácie ( $\text{m}^3/\text{rok}$ )

v - rýchlosť prúdenia podzemnej vody

P - kontaktná plocha ( $\text{m}^2$ )

R - retardačný faktor (-)

$v = (k \cdot I)/n$  (m/s, m/rok)

k - koeficient filtrácie (m/s)

I - hydraulický gradient

n - aktívna pórovitosť

➤ *Hodnotenie aktuálnosti ekologického rizika zo znečistenia zemín*

Hodnotenie aktuálneho rizika zo znečistených zemín (pôd) spočíva v určení rozsahu kontaminácie, stanovení pomeru skutočných (nameraných) koncentrácií a hodnoty LC (EC)50.

Praktická aplikácia metódy pozostáva z dvoch základných krokov - jednoduchého testu aktuálnosti rizika a výpočtu aktuálneho rizika.

#### **Jednoduchý test aktuálnosti rizika zo znečistených zemín (pôd)**

Rozhodnutie	Áno	Nie
Je kontaminant prítomný v kontaktnej zóne?		

Za kontaktnú zónu pre hodnotenie rizík zo znečistených zemín považujeme nesaturovanú zónu do hĺbky asi 1,0 - 1,5 m.

*V prípade, že odpoveď v jednoduchom teste je áno, je potrebné posúdenie aktuálnosti rizika :*

**Kritériá posúdenia aktuálneho ekologického rizika**

A Využitie lokality		Kontaminovaná plocha, v ktorej sú obsahy kontamin. <10.LC50	Kontaminovaná plocha, v ktorej sú obsahy kontamin. >10.LC50
1.	Prírodné (chránené územia, prírodné parky, ...)	>50 m <sup>2</sup>	>50 m <sup>2</sup>
2.	Poľnohospodárstvo Domy s bytmi a záhrady Rekreácia, oddychové zóny	>5 000 m <sup>2</sup>	>50 m <sup>2</sup>
3.	Stavby, priemysel, infraštruktúra Nevyužívané lokality	>500 000 m <sup>2</sup>	>5 000 m <sup>2</sup>

Rizikom sa v tomto prípade rozumie nevratné poškodenie viac ako 50 % bioty v znečistenom území, strata funkčných vlastností pôdy a pod..

**3.2.2 Výpočet rizika šírenia znečistenia podzemnou vodou a do povrchovej vody**

V prípade, že v lokalite je predchádzajúcim postupom preukázaná aktuálnosť environmentálnych rizík, vykonáva sa výpočet rizika z migrácie kontaminantov zo zemín do podzemnej vody, migrácie podzemnou vodou a rizika vo vzťahu k povrchovej vode.

➤ *Výpočet rizika z migrácie kontaminantov v podzemných vodách krokovou metódou*

Cieľom je zistiť, či daný typ znečistenia zeminy (horniny, pôdy) alebo podzemnej vody prispieva k znečisteniu podzemnej vody v takom rozsahu, že prekračuje kritériá pre podzemné vody predmetnej znečisťujúcej látky .

Riziková analýza a návrh nasledovných ochranných, alebo sanačných opatrení, musí zaručiť, že využívané zdroje podzemných vôd, alebo zdroje podzemných vôd plánovaných na využitie, zostanú neznečistené; to znamená, že budú splnené kritériá pre podzemné vody v danej lokalite.

Riziková analýza je založená na princípoch opatrnosti. Princíp opatrnosti znamená, že výsledok rizikovej analýzy bude zodpovedať nadhodnoteniu rizika znečistenia, čo je nevyhnutné z hľadiska ochrany kvality podzemnej vody.

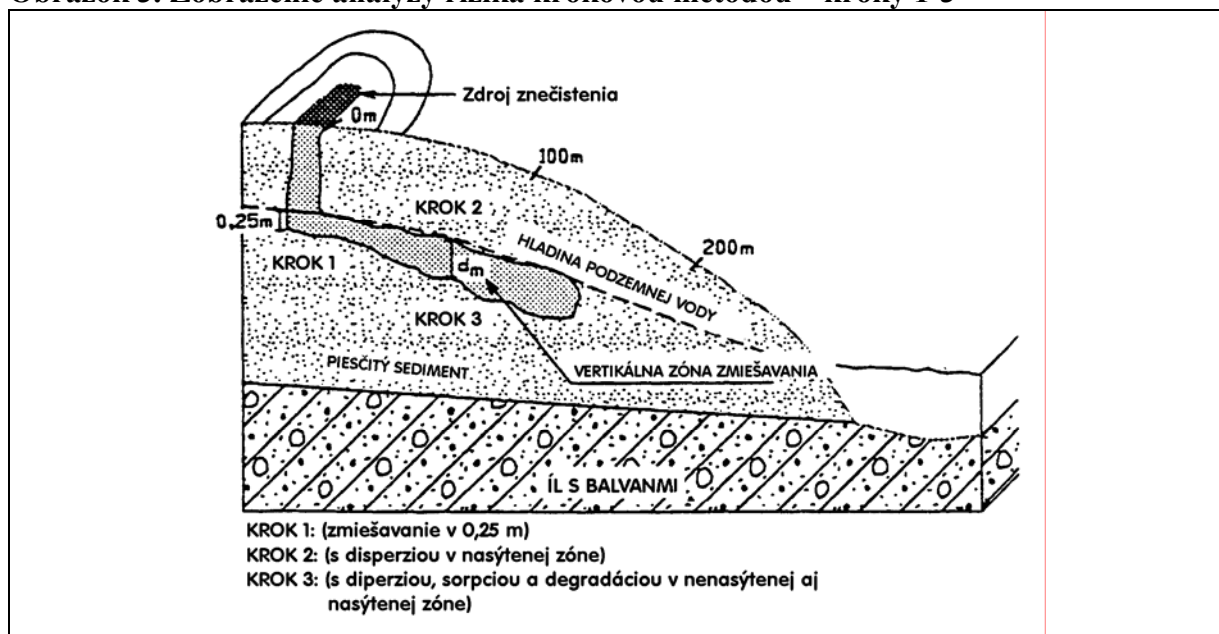
V prípade, že nejaká iná lokalita už je zdrojom znečistenia podzemných vôd, táto skutočnosť nevstupuje do rizikovej analýzy. Prípadná havária, či znečistenie z iných zdrojov, ako je samotná lokalita, na ktorej prebieha riziková analýza nie je do nej zahrnuté, považuje sa za pozadie, je však nevyhnutné na túto skutočnosť v záveroch poukázať.

Presakovanie znečisťujúcich látok zo zdroja znečistenia (napríklad kg látky/rok) v jednotkovom množstve vody, sa nazýva koncentrácia pri zdroji. Koncentrácia pri zdroji je maximálna koncentrácia znečisťujúcej látky (v čase a priestore), ktorá sa uvoľňuje zo zdroja znečistenia do vody v póroch.

Voľné fázy kontaminantov sú kontaminanty s koncentráciou, ktorá prekračuje maximálnu rozpustnosť predmetnej látky. V prípade ich zistenia aj bez nasledovných výpočtov predpokladáme vždy existenciu rizika a minimálne tá časť kontaminácie, ktorá sa nachádza vo voľnej fáze, má byť odstránená. Výpočet rizika šírenia sa znečistenia podzemnými vodami sa preto zaoberá iba kontamináciou v rozpustenom stave.

Transportné procesy prebiehajúce tak v nenasýtenej, ako aj v nasýtenej zóne spôsobujú zmenšenie koncentrácie znečisťujúcej látky v primárnej podzemnej vode (prírodná, prirodzená atenuácia). Uplatňujú sa pri tom procesy : sorpcia, disperzia a prirodzená transformácia (degradácia, rozpad).

Obrázok 3. Zobrazenie analýzy rizika krokovou metódou – kroky 1-3



#### Krok 1 : Proces miešania v blízkosti zdroja

Krok 1 zahŕňa proces zmiešavania v blízkosti zdroja, pričom výpočty sú založené na zmiešavaní vo vrchných 0,25 m zvodnenej zóny. Výpočet neuvažuje so sorpciou, disperziou, degradáciou ani difúziou. Predpokladá sa, že zvodnená vrstva je homogénna, rýchlosť prúdenia podzemnej vody je konštantná. Výpočet obsahu kontaminantov v podzemnej vode sa uskutočňuje, ako výpočet rovnovážneho stavu vo vrchnej časti zvodnenej vrstvy.

Koncentrácia pri zdroji ( $C_1$ ) je maximálna koncentrácia znečisťujúcej látky (v čase a priestore), ktorá sa uvoľňuje zo zdroja znečistenia do vody v póroch. Na účely rizikovej analýzy používame najvyššie namerané hodnoty. Je dôležité vyhodnotiť, či sa v predmetnom prípade jedná o dočasné (ukončené) znečistenie zvodnenca, alebo ide o permanentné znečistenie (dlhodobo pôsobiace).

$C_1$  výsledná koncentrácia kontaminantu v podzemnej vode tesne pod kontaminovaným územím : (g.m<sup>-3</sup>)

$$C_1 = \frac{A \cdot N \cdot C_0 + B \cdot 0,25 \text{ (m)} \cdot k \cdot i \cdot C_g}{A \cdot N + B \cdot 0,25 \text{ (m)} \cdot k \cdot i}$$

Použité symboly :

A	plocha kontaminovaného územia	(m <sup>2</sup> )
B	šírka kontaminovaného územia (kolmo na smer prúdenia podz. vody)	(m)
$C_0$	koncentrácia v zdroji	(g.m <sup>-3</sup> )
$D_M$	hrúbka zóny miešania (0,25)	(m)
$V_D$	filtračná (Darcyho) rýchlosť prúdenia podzemnej vody, $v_D = k \cdot I$	(m.s <sup>-1</sup> )
$C_G$	prirodzená pozadová koncentrácia v podzemnej vode ( mg.l <sup>-1</sup> = g.m <sup>-3</sup> )	(g.m <sup>-3</sup> )
$K_H$	koeficient filtrácie v nasýtenej zóne, $k_h$	(m.s <sup>-1</sup> )
I	hydraulický gradient	(-)
$K_V$	vertikálny koeficient priepustnosti nenasýtenej zóny, $k_v$	(m.s <sup>-1</sup> )
N	infiltrácia zrážkovej vody do prostredia, N = zrážky – výpar – odtok	(m.s <sup>-1</sup> )
$Q_0$	tok vody presakujúcej cez kontaminované územie $Q_0 = N \cdot A$	(m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )
$J_0$	tok kontaminantu presakujúceho do podzemnej vody $J_0 = C_0 \cdot Q_0$	(g.s <sup>-1</sup> )
$Q_G$	tok vody prúdiacej pod kontaminovaným územím $Q_g = B \cdot 0,25 \cdot v_D$	(m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )

*Stanovenie hodnôt  $C_o$  (koncentrácia v zdroji)*

Koncentrácia pri zdroji je maximálna koncentrácia znečisťujúcej látky (v čase a priestore), ktorá sa uvoľňuje zo zdroja znečistenia do vody v póroch. Koncentrácia pri zdroji sa zisťuje nasledovne:

- Meraním koncentrácie znečistenia vo vode v póroch nenasýtenej zóny
- V mnohých prípadoch bude možné zistiť iba koncentráciu znečistenia v zemine alebo pôde (alebo podľa možnosti v pôdnom vzduchu). V týchto prípadoch môžeme koncentráciu pri zdroji vypočítať na základe predpokladu vytvorenia rovnováhy medzi rozdelením fáz v zemine (pôde), vode a vzduchu (princíp rozdeľovacích koeficientov).
- Používame najväčšiu možnú rozpustnosť predmetnej znečisťujúcej látky vo vode.
- Stanovením výluhu zo vzorky zeminy buď statickým testom v zmysle normy STN, alebo dynamickým testom cez prietočné kolóny.

Keď používame namerané koncentrácie, je dôležité vyhodnotiť, či sa v predmetnom prípade jedná o dočasné (ukončené) znečistenie kolektora podzemnej vody, alebo permanentné, dlhodobé pôsobiace znečistenie. Na účely rizikovej analýzy používame najvyššie namerané hodnoty. Použitie maximálnej rozpustnosti bude obyčajne viesť k nadhodnoteniu koncentrácie pri zdroji, pretože rozpustnosť danej látky môže byť ovplyvnená inými rozpustenými látkami. Pretože kontaminant sa často vyskytuje v zmesi jednotlivých látok je nevyhnutné stanoviť jeho partičné zastúpenie, pretože jeho rozpustnosť je daná jeho podielom v zmesi ostatných rozpustených látkach. Napríklad benzén sa v ropných produktoch vyskytuje s podielom 0,5 -10% a preto je potrebné jeho rozpustnosť vo vode 1 760 mg/l prepočítať na jeho skutočné partičné zastúpenie ( $x = 0,005-0,1$ ). Teda

$$C_o = S \cdot x$$

kde

$C_o$  je koncentrácia pri zdroji (mg/l)

$S$  je rozpustnosť (mg/l)

$x$  je podiel v zmesi látok (partičný koeficient)

*Fázové rozdelenie v zemine*

Celkový objem kontaminantu v zemine môže byť stanovený ako suma objemu všetkých fáz v zemine,

$$V_L + V_V + V_J = 1$$

kde:  $V_L$  = Relatívny objemový podiel plynnnej fázy v zemine

$V_V$  = Relatívny objemový podiel vody v zemine

$V_J$  = Relatívny objemový podiel tuhej fázy v zemine

Maximálne množstvo látok v jednom kubickom metri ( $1 \text{ m}^3$ ) zeminy, rozdelených medzi tri fázy zemín, môže byť vypočítané nasledovne:

*V plynnnej fáze zemín (pôdny vzduch):*

$$M_{L,\max} = V_L \cdot C_{L,\max}$$

kde:  $M_{L,\max}$  = maximálne množstvo látky v pôdnom vzduchu ( $\text{mg}/\text{m}^3$  objemu zeminy)

$C_{L,\max}$  = koncentrácia saturovaných pár kontaminantu ( $\text{mg}/\text{m}^3$  pôdneho vzduchu).

$C_{L,\max}$  môže byť vypočítané na základe parciálneho tlaku identifikovaných látok.

$$C_{L,\max} = \frac{p \cdot m \cdot 10^3}{R \cdot T}$$

kde:  $p$  = parciálny tlak látky ( $\text{N}/\text{m}^2$ )

$m$  = mólová hmotnosť ( $\text{g}/\text{mol}$ )

$R$  = plynová konštanta ( $8.314 \text{ J}/\text{mol} \cdot \text{K}$ )

$T$  = teplota ( $298 \text{ K} = 25^\circ \text{C}$ )

*Vo vodnej fáze (pôdna voda):*



$$M_{V,max} = V_V \cdot S$$

kde:  $M_{V,max}$  = maximálne množstvo látky v pôdnej vode ( $\text{mg}/\text{m}^3$  objemu zeminy)  
 $S$  = rozpustnosť látky vo vode ( $\text{mg}/\text{m}^3$  pôdnej vody).

V parciálnej časti pevných látok:

$$M_{J,max} = V_J \cdot d \cdot K_{oc} \cdot f_{oc} \cdot S \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

kde:  $M_{J,max}$  = maximálne množstvo danej látky, ktoré je adsorbované na organickej frakcii tuhých častíc ( $\text{mg}/\text{m}^3$  objemu zemín)  
 $d$  = objemová hmotnosť pevnej fázy častíc  
 $K_{oc}$  = rozdeľovací koeficient organický uhlík/voda (1/kg)  
 $f_{oc}$  = obsah organického uhlíka v zemine (0.001)

Maximálna kapacita zeminy pre danú látku potom bude:

$$M_{L,max} + M_{V,max} + M_{J,max}$$

Na základe predpokladu, že relatívne rozdelenie medzi tri fázy je nezávislé na celkovej koncentrácii v zemine, môže byť vypočítané rozdelenie danej látky v jednotlivých fázach. Pre plynnú fázu platí nasledovné:

$$f_L = \frac{M_{L,max}}{M_{L,max} + M_{V,max} + M_{J,max}} = \frac{M_L}{M_L + M_V + M_J}$$

kde:  $f_L$  = relatívne množstvo (prchavej frakcie) v pôdnom vzduchu vo vzťahu k celkovému obsahu v zemine (vypočítané na  $\text{m}^3$  zeminy).

$M_L, M_V, M_J$  = aktuálne množstvo v každej z troch fáz ( $\text{mg}/\text{m}^3$  zeminy).

Aplikáciou uvedených vzťahov možno z meraní obsahov kontaminantu v danej fáze vypočítať jeho obsah v ostatných fázach. Pretože vypočítané obsahy platia aj v tomto prípade pre čisté látky a nie ich zmesi, je potrebné vypočítané obsahy prepočítať pomocou partičného koeficientu zastúpenia danej látky v zmesi.

C1 je možné stanoviť aj meraním (odberom a analýzou vzoriek) vo vrchnej časti nasýtenej zóny – z vrtov s maximálnou veľkosťou filtra 0,25 m pri hladine podzemnej vody.

Ak hodnota C1 prekračuje intervenčné kritériá, je potrebné vykonať aj druhý krok hodnotenia.

### Krok 2 : Proces miešania v smere prúdenia

Krok 2 zahrňuje zmiešavací proces v smere prúdenia podzemnej vody, v ktorom sa počíta s hĺbkou miešania kontaminovanej podzemnej vody ( $d_m$ ) na základe disperzie, filtračnej rýchlosti a času zmiešavania.

Výsledná koncentrácia kontaminantov sa počíta v bode, situovanom od zdroja znečistenia vo vzdialenosti 100 m. V tomto teoretickom výpočtovom bode musia byť splnené kritériá kvality pre podzemné vody. Ak sú prekročené, je v lokalite vážne riziko šírenia. V prípade, že je dôvod pre splnenie kritérií v menšej vzdialenosti ako 100 m, počíta sa pre túto vzdialenosť. Výpočet neuvažuje so sorpciou, degradáciou ani difúziou, uvažuje s disperziou. Predpokladá sa, že zvodnená vrstva je homogénna, rýchlosť prúdenia podzemnej vody je konštantná.

$v_p$	skutočná (pórová) rýchlosť prúdenia podzemnej vody, $v_p = v_D / n$	( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )
$n$	pórovitosť,	(-)
$t$	čas,	(s)
$d_m$	hrúbka zóny miešania, pre danú vzdialenosť $d_m = \text{SQRT}((72/900) \cdot a_L \cdot v_p \cdot t)$	(m)
$a_L$	pozdlžna disperzia, tabuľková hodnota ako funkcia vzdialenosti od zdroja (pre 10 m = 0,02)	(m)
$C_2$	výsledná koncentrácia kontaminantu vo vzdialenosti 10 m a hrúbke hornej časti zvodnenej vrstvy $d_m$	( $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ) ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )

$$C_2 = (J_0 + B * d_m * k * i * C_g) / (Q_0 + B * d_m * k * i)$$

ak  $C_g = 0$  (látky nepôvodné v prírodnom prostredí), rovnica sa upraví na

$$C_2 = J_0 / (Q_0 + B * d_m * k * i)$$

pre látky v zistené len vo vode rovnica bude

$$C_2 = (B * d_m * k * i * C_g) / (Q_0 + B * d_m * k * i)$$

Ak pre vzdialenosť 100 m zostáva koncentrácia nad intervenčnou hodnotou, je potrebné vykonať ďalšie priblíženie tretím krokom so zohľadnením degradácie kontaminantu.

### Krok 3 : Šírenie v smere prúdenia s vplyvom degradácie

V kroku 3 sa počíta aj s procesmi sorpcie a degradácie. Často nie je možné priamo použiť degradačné konštanty a sorpčné koeficienty pre čisté kontaminanty. V týchto prípadoch je nutné urobiť osobitné výpočty pre zmes znečisťujúcich látok ako takú, bez vplyvu sorpcie a degradácie a zvlášť urobiť výpočty s vplyvom procesov sorpcie a degradácie pre tie chemické zlúčeniny, ktoré najviac ohrozujú prostredie, teda zlúčeniny s najpomalšou mierou degradácie, najnižším kritériom pre podzemné vody a s najnižšou sorpčnou konštantou vo vzťahu k aktuálnemu druhu znečistenia.

Na základe rýchlosti degradácie látky podľa reakcie 1. rádu môžeme vyjadriť výslednú koncentráciu kontaminantov  $C_3$  po degradácii nasledovne:

$$C_3 = C_2 * e^{(-k_1 * t)}$$

kde

$C_2$	výsledná koncentrácia kontaminantu podľa kroku 2	(g.m <sup>-3</sup> )
$k_1$	rýchlostná rozpadová konštanta reakcie prvého poriadku	(deň <sup>-1</sup> )
$t$	čas reakcie, doba potrebná na prekonanie vzdialenosti 100 m rýchlosťou prúdenia podzemnej vody	(deň)

Za riziko šírenia sa považuje vypočítané prekročenie kritéria vo vzdialenosti 100 m (v prípade, že potenciálny receptor znečistenia (napr. ochranné pásmo vodného zdroja, domová studňa a pod. je v menšej vzdialenosti, počíta sa s touto vzdialenosťou).

#### ➤ Výpočet rizika vo vzťahu k povrchovým vodám

Potenciálne ohrozené sú povrchové vody recipientu kontaminovanej podzemnej vody (povrchová voda v smere prúdenia podzemnej vody od kontaminovaného územia).

Pre stanovenie rizika ohrozenia povrchovej vody je možné použiť rovnaký mechanizmus výpočtu ako pre stanovenie rizík krokovou metódou.

V prípade, že vypočítané znečistenie podzemnej vody na brehu toku prekračuje koncentrácie v toku, vypočítame prírastok kontaminácie v toku vplyvom infiltrácie kontaminovanej podzemnej vody. Ako koncentrácie kontaminantu v podzemnej vode použijeme vypočítané koncentrácie  $C_3$ .

Pre výpočet prírastku kontaminácie sa použije zmiešavacia rovnica :

$$C_v = (C_3 * Q_3 + C_t * Q_t) / (Q_3 + Q_t)$$

$$C_p = C_v - C_t$$

kde :

$C_3$  = koncentrácia v podzemnej vode na brehu toku

$Q_3$  = množstvo podzemnej vody infiltrujúce do toku

$C_t$  = koncentrácia v toku pred zmiešaním

$Q_t$  = prietok v toku

$C_p$  = prírastok kontaminácie

### 3.3 Hodnotenie zdravotných rizík z kontaminovanej lokality

Zdravotné riziko vo všeobecnosti predstavuje pravdepodobnosť poškodenia, choroby alebo smrti človeka ako dôsledok vystavenia (expozície) rizikovým faktorom vyskytujúcim sa v životnom prostredí. Riziková analýza má v prípade hodnotenia zdravotných rizík za cieľ stanoviť mieru nebezpečenstva na zdravie jednotlivcov a aj populácie v hodnotenej lokalite s ohľadom na súčasné, prípadne budúce využitie územia.

Faktory v lokalite hodnotíme podľa všeobecných zásad postupu hodnotenia zdravotných rizík nasledujúcimi krokmi:

1. Určenie (identifikácia) nebezpečnosti
2. Hodnotenie vzťahu dávka – účinok (odpoveď)
3. Hodnotenie expozície
4. Charakterizácia rizika

Určenie nebezpečnosti a hodnotenie vzťahu dávka – účinok sa môže označiť spoločným názvom hodnotenie účinkov.

V rámci hodnotenia účinkov je potrebné určenie a zdôvodnenie prioritných kontaminantov s ohľadom na charakter, mieru a rozsah kontaminácie a na identifikovaných príjemcov znečistenia, prípadne ostatné zložky životného prostredia (voda, ovzdušie, pôda) na lokalite. Cieľom tohto kroku je zároveň uvedenie základných vlastností znečisťujúcich látok - fyzikálno-chemické, toxikologické a ekotoxikologické (nebezpečnosť). Určovanie týchto charakteristík nie je vo väčšine prípadov predmetom rizikovej analýzy. Môžeme ich získať z relevantných databáz alebo bezpečnostných listov a ďalších materiálov. *(Niektorými zdrojmi sú napríklad: International Chemical Safety Cards - WHO, IPCS (Environmental Health Criteria), EPA's Office of Pollution Prevention and Toxics (OPPT) Chemical Fact Sheets and Chemical Summaries, EPA's Office of Air Quality Planning and Standards Hazardous Air Pollutants Fact Sheets, EPA's Office of Ground Water and Drinking Water Contaminant Fact Sheets, Material Safety Data Sheets (MSDS), Agency for Toxic Substance and Disease Registry (ATSDR), EPA's Office of Research and Development and National Center for Environmental Assessment Integrated Risk Information System (IRIS), HEAST, CC Info, Silver Platter, Ekotoxikologická databáze Českého ekologického ústavu, Úrad verejného zdravotníctva SR, atď).*

#### 3.3.1 Hodnotenie nebezpečnosti

Tento krok sa uskutočňuje za účelom identifikácie obecnej nebezpečnosti danej látky (alebo zmesi látok). Nebezpečnosť (Hazard) je vlastnosť danej látky spôsobiť nepriaznivé účinky. Prejaví sa však iba vtedy, ak je organizmus vplyvu danej látky vystavený - exponovaný. V prípade hodnotenia kontaminantu na človeka nepriaznivé účinky delíme na prahové (systémová toxicita, vývojová toxicita) a bezprahové (karcinogénne, mutagénne):

- Prahové (nekarcinogénne) účinky - existuje určitá prahová dávka (úroveň expozície), pre dávky nižšie než je táto sa neočakáva nežiaduci účinok. Nepriaznivý účinok sa prejaví až po prekonaní homeostatických, kompenzačných a adaptačných mechanizmov organizmu. Napríklad ak má veľký počet buniek rovnaké alebo podobné funkcie, k prejavu nepriaznivých účinkov dôjde až vtedy, ak sú všetky tieto bunky podstatne poškodené alebo zničené
- Bezprahové (karcinogénne) účinky - je predpokladaná neexistencia prahovej hodnoty, neexistuje bezpečná hladina expozície. Akákoľvek expozícia (aj jedinou časticou danej látky) vedie k zvýšeniu pravdepodobnosti vzniku rakovinového ochorenia. Látky, ktoré vykazujú karcinogénne účinky, prejavujú zároveň i systémovú toxicitu

Nebezpečnosť látok je určovaná toxikologickými testami (pokusy na laboratórnych zvieratách), epidemiologickými štúdiami (sledovanie ľudskej populácie), ďalej analýzami havarijných situácií majúcimi za následok poškodenie zdravia ľudí alebo zložiek životného prostredia, pokusy na dobrovoľníkoch, farmakokinetickými štúdiami, porovnávacími metabolickými štúdiami, analýzou vzťahov medzi štruktúrou látok a ich biologickými účinkami (QSAR analýza), kombináciami týchto zdrojov. Cieľom je určenie typu nepriaznivých účinkov, ktoré môžu byť spôsobené expozíciou danej látky a charakterizácie kvality a závažnosti dôkazov, ktoré určenie nebezpečnosti podporujú. Pre určenie nebezpečnosti pre človeka sú najspoľahlivejším zdrojom informácií epidemiologické štúdie. V prípade epidemiologických štúdií je zvláštny dôraz kladený na vysoko rizikové podskupiny - tehotné ženy, malé deti, starí ľudia. Pre väčšinu chemických látok však nie sú údaje z epidemiologických štúdií dostupné. Jediným zdrojom informácií môžu byť iba výsledky sledovania toxicity na zvieratách. Tieto výsledky sa potom s určitými obmedzeniami na človeka extrapolujú. Obecne platí zásada, že človek je tak citlivý, ako najcitlivejší druh experimentálnych zvierat.

Karcinogéza predstavuje mnohostupňový proces, zahrňujúci iniciáciu, vývoj a premenu normálnych buniek na neoplastické bunky, ktorého výsledkom je rakovina. Hodnotenie nebezpečnosti karcinogénnych účinkov podľa IARC (International Agency for Research on Cancer – Medzinárodná organizácia pre výskum rakoviny pracujúca pod Svetovou zdravotníckou organizáciou) a U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency – Americká agentúra pre ochranu životného prostredia), OECD, EÚ. Dané látky sú zaradené do niekoľkých nasledovných kategórií.

#### Klasifikácia karcinogénov podľa rôznych klasifikačných stupňov

EÚ	OECD	IARC	US EPA
1 Karcinogénny pre ľudí	1A Je známy karcinogénny potenciál pre ľudí	1 Karcinogénny pre ľudí	A Karcinogénny pre ľudí, dostatočný stupeň dôkazu
2 Treba hodnotiť tak, ako by bol karcinogénny pre ľudí	1B Predpokladá sa, že je karcinogénny pre človeka	2a Pravdepodobne karcinogénny pre ľudí	B1 Pravdepodobný karcinogén, limitované humánne dáta, dostatočné údaje na zvieratách
3 Spôsobuje obavy u ľudí	2 Podozrivý karcinogén pre človeka	2b Možný karcinogén pre ľudí	B2 Pravdepodobný karcinogén, nedostatočné humánne údaje
3a Látky, ktoré sú dobre prebádané		3 Neklasifikovaný ako karcinogén pre ľudí	C Možný karcinogén pre ľudí
3b Látky, ktoré sú nedostatočne prebádané		4 Pravdepodobne nekarcinogénny pre ľudí	D Neklasifikovaný ako karcinogén pre ľudí
			E Nekarcinogénny pre ľudí

Pri popise nebezpečnosti u jednotlivých látok patriacich do jednej skupiny (PCB, PAU, PCDD, PCDDF a pod.) sa môžu používať aj tzv. toxické ekvivalenty. Nebezpečnosť danej látky je týmto spôsobom udaná vzhľadom k najnebezpečnejšej látke v skupine (tá má toxický

ekvivalent rovný 1). Napríklad v prípade PAU sa používa toxický ekvivalent vzhľadom k benzo(a)pyrénu, v prípade PCDD vzhľadom k 2,3,7,8-tetrachlordibenzo-p-dioxínu.

### 3.3.2 Hodnotenie vzťahu dávka – účinok

Potrebné údaje vzťahu dávka – účinok je možné nájsť v toxikologických databázach (napr. IRIS, HEAST,...), ich odvodenie v rámci rizikovej analýzy sa vykonáva iba výnimočne. Obecne táto časť procesu hodnotenia napr. v prípade zdravotného rizika popisuje kvantitatívne vzťahy medzi dávkou a závažnosťou nepriaznivého účinku (poškodenie, nemoc, v extrémnych prípadoch smrť jedincov) s ohľadom na prahové (nekarciogénne) a neprahové (karciogénne) účinky.

Prahové - nekarciogénne účinky

Charakterizujúce parametre pre prahové účinky (systémová toxicita) sú podľa U.S. EPA referenčná dávka RfD (Reference Dose) a referenčná koncentrácia RfC (Reference Concentration).

- RfD (Reference Dose) – je odhad (s presnosťou asi jedného alebo viac rádov) každodennej expozície ľudskej populácie (vrátane zvlášť citlivých populačných skupín), ktorá pravdepodobne nepredstavuje žiadne riziko nepriaznivých účinkov. Vyjadruje sa ako hmotnosť danej látky vstrebaná jednotkou telesnej hmotnosti za jednotku času (mg/kg/deň).
- RfC (Reference Concentration) - je odhad maximálnej koncentrácie danej látky vo vzduchu, ktorá pri inhalačnej expozícii veľmi pravdepodobne nepredstavuje žiadne riziko nepriaznivých účinkov. Vyjadruje sa v mg danej látky na m<sup>3</sup> vzduchu (mg/m<sup>3</sup>). Predpokladá sa telesná hmotnosť 70 kg a rýchlosť pľúcnej ventilácie 20 m<sup>3</sup> vzduchu za deň.

RfD (RfC) sa obyčajne odvodzujú z dát získaných pri hodnotení expozície v pracovnom prostredí, epidemiologických štúdií a zo štúdií vykonávaných na zvieratách. Dostupné údaje sa ďalej upravujú pomocou faktorov neistoty a modifikujúcich faktorov:

RfD (al.RfC) = NOAEL (v prípade výpočtu RfC NOAEL<sub>HEC</sub>) alebo LOAEL/UF x MF

kde,:

- NOAEL (No Observed Adverse Effect Level) – najvyššia dávka (úroveň expozície), pri ktorej ešte nie je pozorovaná štatisticky významná nepriaznivá odpoveď v porovnaní s kontrolnou skupinou. V prípade výpočtu RfC musíme previesť NOAEL na ekvivalentnú koncentráciu pre človeka NOAEL<sub>HEC</sub>
- LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level) - najnižšia dávka (úroveň expozície), pri ktorej je ešte pozorovaná štatisticky významná nepriaznivá odpoveď v porovnaní s kontrolnou skupinou
- UF (Uncertainty Factor) - faktory neistoty (násobky 10), používajú sa k pokrytiu individuálnych rozdielov a ochrane citlivých populačných skupín, k vyrovnaniu neistôt pri extrapolácii zo zvierat na človeka, k vyrovnaniu neistôt pri použití NOAEL odvodené zo subchronickej namiesto chronickej štúdie pre stanovenie chronickej RfD, k vyrovnaniu neistôt spôsobených použitím LOAEL namiesto NOAEL
- MF (Modifying Factor) – modifikujúce faktory, používajú sa k vyrovnaniu ďalších neistôt (>0 - 10)

Charakterizujúci parameter pre prahové účinky udávaný WHO je TDI (Tolerable Daily Intake) tolerovateľná denná dávka, poprípade ADI (Acceptable Daily Intake) prijateľná denná

dávka, tj. odhad dennej expozície, ktorá môže byť prijímaná bez škodlivých účinkov kontinuálne počas celého života. Analogicky platí:

$$ADI \text{ (TDI)} = NOAEL \text{ (LOAEL)} / UF$$

◆ **Bezprahové - karcinogénne účinky**

Charakterizujúcim parametrom pre bezprahové (karcinogénne) účinky, keď so stúpajúcou dávkou stúpa pravdepodobnosť nepriaznivého účinku, je faktor smernice SF (Slope Factor). Faktor smernice je smernicou priamky vyjadrujúcej vzťah dávka - odozva (dávka - riziko) v oblasti nízkych dávok. Priamka vychádza z nulovej dávky a nulového rizika. Pokiaľ nie je možno v oblasti nízkych dávok predpokladať linearitu, je faktor smernice smernicou krivky vychádzajúcej z nulovej dávky a nulového rizika k dávke vedúcej k riziku zvýšenému o 1 %. Namiesto vlastnej smernice je obvykle používaná jej horná hranica. Pre odhad najvyššej možnej hodnoty faktora smernice (na 95 % hladine významnosti) U.S. EPA najčastejšie uprednostňuje lineárny viacstupňový model. Výsledná hodnota 95 % percentilu intervalu spoľahlivosti sa ďalej upravuje modifikačnými faktormi. Výsledkom je faktor smernice rizika rakoviny CSF (Cancer Slope Factor) tj. jednotka rizika vzniku rakoviny (cancer risk unit). Rozlišujeme (U.S.EPA) OSF - Oral Slope Factor - pre orálnu cestu expozície a IUR - Inhalation Unit Risk - pre inhalačnú cestu:

- OSF (Oral Slope Factor) - tj. perorálny faktor smernice, je odhad na hornej (95 %) hranici spoľahlivosti smernice priamky dávka – odozva pre orálnu expozíciu. Vyjadruje sa v  $(\text{mg}/\text{kg}/\text{deň})^{-1}$
- IUR (Inhalation Unit Risk) - tj. inhalačná jednotka rizika, je odhad na hornej (95 %) hranici spoľahlivosti smernice priamky dávka – odozva pre inhalačnú expozíciu. Vyjadruje sa v  $1/(\text{mg}/\text{m}^3)$ . Predpokladá sa telesná hmotnosť 70 kg a rýchlosť pľúcnej ventilácie 20 m<sup>3</sup> vzduchu za deň.

Riziká spojené s expozíciou voči potenciálnemu karcinogénu sa kvantitatívne vyčíslujú na základe hodnoty príslušnej smernice faktora karcinogenity. Celoživotné riziko vzniku rakoviny je úmerné celoživotnej dávke spriemerovanej na jeden deň (LADD - celoživotná priemerná denná dávka).

V prílohe 1 je uvedený odporúčaný formát tabuľkového prehľadu vlastností kontaminantu vzťahujúcich sa k hodnoteniu zdravotných (aj environmentálnych rizík) v rámci rizikovej analýzy.

### 3.3.3 Hodnotenie expozície

Hodnotenie zdravotných rizík obsahuje vyhľadanie a vyhodnotenie zdroja, cesty, veľkosti, frekvenciu a trvanie expozície danej populácie vplyvom sledovaného faktora. Ďalšou zložkou odhadu expozície je aj odhad veľkosti, povahy a typu exponovanej populácie. Cieľom hodnotenia expozície je odhadnúť expozičné dávky pre jednotlivca a pre populáciu.

Príkladom súhrnného kvalitatívneho vyjadrenia expozičných ciest pre hodnotenie zdravotných rizík bez znázornenia zdrojov znečistenia na hypotetickej lokalite môže byť pre priemyselný areál a ak je to účelné aj pre širšie okolie priemyselného areálu (napr. v prípade šírenia sa kontaminovaného mraku k obytným zónam) nasledovné:

#### Druhy expozície a expozičné cesty

Druh expozície	Expozičná cesta	Príklad expozičného scenára
Inhalačná		
	Inhalácia kontaminovaného vzduchu (s použitím koncentrácie	Priemyselná zóna – stáli pracovníci, prechodní pracovníci (napr. pri výkopových prácach)

	kontaminantu zisteného v ovzduší )	Obytná zóna - trvalo bývajúc obyvateľstvo Rekreačný areál – obyvateľstvo
	Evaporácia do vnútorného prostredia budov (s použitím koncentrácie kontaminantu zisteného v podzemných vodách a/alebo zeminách)	Priemyselná zóna – stáli pracovníci Obytná zóna - trvalo bývajúc obyvateľstvo Rekreačný areál – obyvateľstvo
	Evaporácia do vonkajšieho prostredia budov (s použitím koncentrácie kontaminantu zisteného zeminách alebo v podzemných vodách)	Priemyselná zóna – stáli pracovníci, prechodní pracovníci (napr. pri výkopových prácach) Obytná zóna - trvalo bývajúc obyvateľstvo Rekreačná zóna – obyvateľstvo
	Evaporácia pri sprchovaní, príp. kúpaní	Obytná zóna - trvalo bývajúc obyvateľstvo Rekreačná zóna – obyvateľstvo
Dermálna		
	Dermálny kontakt s kontaminovanou zeminou	Priemyselná zóna – stáli pracovníci Priemyselná zóna – pracovníci pri výkopových prácach Obytná zóna - trvalo bývajúc obyvateľstvo Rekreačná zóna – obyvateľstvo
	Dermálny kontakt s kontaminovanou vodou	Priemyselná zóna – stáli pracovníci Priemyselná zóna – pracovníci pri výkopových prácach Obytná zóna - trvalo bývajúc obyvateľstvo Rekreačná zóna – obyvateľstvo
Orálna		
	Ingescia produktov dopestovaných na kontaminovanej pôde (napr. doma vypestovaná produkcia)	Obytná zóna - trvalo bývajúc obyvateľstvo Rekreačná zóna – obyvateľstvo
	Ingescia kontaminovanej vody na pitné účely ( napr. studne)	Obytná zóna - trvalo bývajúc obyvateľstvo Rekreačná zóna – obyvateľstvo
	Ingescia kontaminantu zo zeminy (pôdy)	Priemyselná zóna – trvalo bývajúc obyvateľstvo Obytná zóna – trvalo bývajúc obyvateľstvo Rekreačná zóna – obyvateľstvo
	Ingescia rýb ulovených vo vodných nádržiac, plochách, riekach..	Obyvateľstvo ( napr. rybári)

Keď sa hodnotiteľ rozhodne pre zanedbanie niektorej expozičnej cesty, mal by si byť istý, že je splnené jedno z nasledujúcich kritérií:

- V danom mieste styku je expozičná cesta oveľa menej významná ako iná cesta prostredníctvom toho istého média
- Množstvo kontaminantu (nebezpečného faktora) v médiu je pre danú expozičnú cestu veľmi malé
- Pravdepodobnosť, že k expozícií dôjde je veľmi malá (okrem havárií, ktoré sú predmetom iného hodnotenia)

Výsledkom kvantitatívneho vyjadrenia expozície je denný príjem (Intake) danej látky, tj. expozičná dávka v mg vzťahnutá na deň trvania expozície a na kg telesnej hmotnosti človeka (mg/kg/deň). Pre prahové účinky sa chronický denný príjem (CDI) spriemerovaný po celú dobu expozície nazýva ADD - priemerná denná dávka.

Pre bezprahové účinky sa úroveň expozície prepočítava na celkovú predpokladanú dĺžku života exponovanej osoby. Táto celoživotná dávka spriemerovaná na jeden deň sa nazýva LADD - celoživotná priemerná denná dávka. U.S. EPA odporúča, aby chronický denný príjem (CDI) bol odhadnutý ako pre priemerné, tak pre maximálne odôvodnené podmienky (RME - Reasonable Maximum Exposure). Podmienky RME sú U.S. EPA (1989) definované ako najvyššia expozícia, ktorú je možné na danej lokalite odôvodnene očakávať. Základná schéma kvantitatívneho vyjadrenia expozičného scenára je nasledujúca:

**Príjem, t.j. ADD alebo LADD (mg/kg/deň) = C \* CR \* EF \* ED / BW \* AT**

- C – expozičná koncentrácia, tj. koncentrácia látky prenikajúca do organizmu. Väčšinou koncentrácia látky v médiu, prípadne vnútorná dávka [ mg / (jednotka hmotnosti alebo objemu) ]
- CR – miera podielu (napr. ingescie, inhalácie,..) v závislosti od typu expozičnej cesty [ (jednotka hmotnosti alebo objemu) / deň ]
- EF – frekvencia expozície (0 - 365 deň/rok)
- ED – doba trvania expozície (roky)
- BW – priemerná telesná hmotnosť (kg)
- AT - doba priemerovania (doba po ktorú je expozičná koncentrácia C považovaná za konštantnú), tj. časový úsek, počas ktorého je počítaná priemerná expozícia (deň).

V prípade prahových účinkov (výpočet ADD) je rovnaká ako celková doba expozície, tj. ED 365 dní/rok; v prípade bezprahových účinkov (výpočet LADD) je to 70 rokov dĺžky života, tj. 70 rokov x 365 dní/rok.

V rovnici sa vyskytujú dva základné typy premenných. Koncentrácia C a čiastočne i rýchlosť kontaktu CR sú získané odhadom z transportného modelu alebo z merania imisných koncentrácií. Pre ostatné parametre (expozičné faktory) sú spravidla použité konvenčné hodnoty - napríklad U.S. EPA Handbook of Exposure Factors. Pretože rad týchto konvenčných hodnôt nemusí v našich podmienkach platiť, nie je možné pri ich používaní postupovať mechanicky, ale v prípade potreby použiť domáce zdroje - napríklad Slovenský štatistický úrad, Úrad verejného zdravotníctva SR atď. Vždy je ale potrebné zdroj uviesť a zdôvodniť výber parametra.

(Pre kvantifikáciu expozície je možné využiť i niektoré softwarové produkty - napr., na základe odporúčani Metodiky rizikovej analýzy kontaminovaných území (2 pracovná verzia, VÚVH) Dánsky model JAGG prípadne Holandský model Risc – Human 2.0, ktorého základom je CSOIL model (Van Hall Institut - VHI) alebo Risk Assisstant, Risk Human, CalTOX a iné.)

**Vyššie uvedená rovnica môže byť ďalej modifikovaná pre jednotlivé expozičné cesty, uvedené v tabuľke: (Druhy expozície a expozičné cesty).**

**Na záver hodnotenia expozície sa spočítajú všetky vypočítané expozičné dávky vyjadrené pre relevantné expozičné cesty (inhalačná, dermálna, orálna) a určí sa celková expozičná dávka pre každý hodnotený kontaminant.**

### 3.3.4 Charakterizácia zdravotných rizík

Charakterizácia rizika predstavuje konečný krok v procese hodnotenia zdravotného rizika. Obsahuje zhrnutie dát získaných v predchádzajúcich krokoch hodnotenia rizika. Vedie k určeniu pravdepodobnosti, s akou sledovaný objekt (populácia) utrpí niektoré z možných poškodení.



◆ Kvantifikácia rizika pre nekarcinogénne (prahové) účinky

Nekarcinogénne riziko sa odhaduje porovnaním vypočítaných ADD (LADD) s referenčnými hodnotami (RfD, TDI). Kvantitatívnym vyjadrením je bezrozmerný kvocient nebezpečenstva HQ (Hazard Quotient). Platí:

$$HQ = \text{prijem látky pre danú exp. cestu (t.j. ADD alebo LADD)} / \text{RfD}$$

V prípade, že HQ prekročí hodnotu 1 znamená to, že existuje riziko nekarcinogénneho toxického účinku. Platí:

- HQ < 1 žiadne významné riziko nekarcinogénnych účinkov by nemalo existovať
- HQ > 1 bolo zistené potencionálne riziko, je vhodné zahájiť nápravné opatrenia (nie je však možné výslovne prehlásiť, pri ktorom pomere potenciálne riziko prechádza v skutočné)
- HQ > 10 tieto hodnoty už vypovedajú o havarijnej situácii, sanácia by mala byť zahájená čo najskôr

Ak existuje expozícia viacerým chemickým látkam s podobnými účinkami uvádzame tzv, Index nebezpečenstva (Hazard index) ako súčet jednotlivých HQ.

$$HI = \sum HQs$$

◆ Kvantifikácia rizika pre karcinogénne účinky

Podľa alternatívnych prístupov k vyhodnoteniu vzťahu dávka – odpoveď je možné zvoliť i alternatívne prístupy k charakterizácii rizika. Kvantitatívnym vyjadrením rizika karcinogénnych účinkov je celoživotný vzostup pravdepodobnosti počtu nádorových ochorení nad všeobecný priemer v populácii pre jednotlivca (CVRK), alebo pre populáciu (CVRP). Teda:

- CVRK – charakterizuje celoživotné riziko vzniku rakoviny pre jednotlivca. Obecne platí:

$$CVRK = SF \times LADD$$

jedná sa o numerické vyjadrenie hornej hranice odhadu rizika vzniku rakoviny za celú dobu trvania života pre každého exponovaného jedinca. Dĺžka života je štandardne uvažovaná 70 rokov.

- CVRP – charakterizuje celoživotné riziko populácie, tj. Počet prípadov potenciálne zvýšeného rizika vzniku rakoviny v populácii, čiže vzostup prípadov rakoviny behom 70 rokov. CVRP = CVRK \* veľkosť populácie.

Štandardne je pre kvantifikáciu rizika karcinogénnych účinkov používaný nasledujúci vzťah:

$$CVRK = 1 - e^{-(OSF \text{ alebo } IUR) \times LADD}$$

Pravdepodobnosť vzniku nádorového ochorenia  $10^{-5}$  pre populáciu a  $10^{-4}$  pre jednotlivca (podľa rôznych krajín), sa označuje za spoločensky prijateľnú úroveň.

Prípustné riziko zatiaľ u nás nebolo stanovené. V SR sa postupuje analogicky podľa odporúčaní Svetovej zdravotníckej organizácie, kde sa riziko jedného prípadu nádorového ochorenia na 1 milión obyvateľov považuje za akceptovateľné.

Teda platí:

- CVRK >  $10^{-4}$  bola prekročená spoločensky prijateľná celoživotná miera vzniku rakoviny pre jednotlivca, tj. je pravdepodobné, že viac ako jeden človek z 10 000 ľudí ochorie nádorovým ochorením
- CVRK >  $10^{-5}$  bola prekročená spoločensky prijateľná celoživotná miera vzniku rakoviny pre populáciu, tj. je pravdepodobné, že viac ako jeden človek z 1 000 000 ľudí ochorie nádorovým ochorením

Pretože táto sumarizácia je založená na všetkých predpokladoch požadovaných ku kompletizácii predchádzajúcich krokov, je dôležité kvalitatívne, prípadne kvantitatívne posúdiť mieru neistoty konečných odhadov.

## **4. Závěry rizikovej analýzy (charakterizácia rizika)**

**4.1 Rekapitulácia vstupných údajov : podstatné charakteristiky prostredia (najmä transportné), zistené kontaminanty, ich koncentrácia a množstvo.**

**4.2 Výsledky a závery výpočtov a hodnotení osobitne pre všetky hodnotené riziká:**

environmentálne riziká :

- pre pôdy
- pre podzemné vody
- pre povrchové vody

zdravotné riziká

- nebezpečnosť kontaminantov
- identifikované expozičné cesty
- výsledky hodnotenia zdravotných rizík

**4.3 Neistoty a neurčitosti hodnotenia**

## 5. Stanovenie cieľových hodnôt v podzemných vodách a zemine

Jednou z možností využitia rizikovej analýzy a zároveň jedným z jej hlavných cieľov je návrh cieľových hodnôt. Návrh je možné realizovať viacerými postupmi, ktoré sú však v princípe rovnocenné, pretože základným prvkom je aplikácia rovnakých vzťahov ako v prípade výpočtu rizika.

V prípade zemín existujú nasledovné možné riziká :

- Riziko vyprchávania do vnútorného a vonkajšieho ovzdušia. Výpočet realizujeme tak, že za koncentráciu kontaminantu v ovzduší  $C_u$  dosadíme limitnú hodnotu  $C_a$  a počítame koncentráciu v pôdnom vzduchu  $C_p$ . Požadovaný cieľový obsah znečistenia v zemine vypočítame následne pomocou fázového rozdelenia látok.
- Riziko znečistenia zemín v povrchových vrstvách sa nepočíta, je dané príslušnými limitmi, alebo stanovenými maximálnymi expozičnými hodnotami alebo stanovenými limitmi (napr. pre pôdu)
- Riziko pre podzemné vody je spojené s rizikom šírenia sa znečistenia podzemnými vodami. V tomto prípade za hodnotu  $C_3$  dosadíme požadovanú limitnú hodnotu v podzemnej vode vo vzdialenosti ročného prúdenia  $a$ /alebo 100 m od zdroja znečistenia. Postupne vypočítame hodnoty  $C_2$ ,  $C_1$  a  $C_0$ . Ďalej postupujeme zase pomocou vzorcov pre fázové rozdelenie danej látky.

### 1. metóda

Postup výpočtu je opačný ako pri výpočte rizika, teda začíname od požadovanej limitnej hodnoty a počítame pri akej hodnote  $C_0$  bude splnená podmienka limitnej hodnoty.

### 2. metóda

Princíp spočíva v realizácii rady výpočtov rizika s rozličnými vstupnými hodnotami nižšími ako pôvodné hodnoty. Radou výpočtov (4-5), s klesajúcimi vstupnými hodnotami rozsahov znečistenia, zistíme závislosť počiatočného obsahu znečistenia na vstupnej hodnote. Zostavením grafickej závislosti zistíme hodnotu pri ktorej už nie je identifikované riziko.

Rozdiel medzi zistenou požadovanou cieľovou hodnotou a počiatočným stavom na lokalite je požadovaná účinnosť ochranných opatrení.

## 6. Návrh a rámcové zhodnotenie možností sanácie a ochranných opatrení – ak sú potrebné

Všeobecne možno sanáciu deliť na sanáciu aktívnu a na sanáciu pasívnu.

Sanácia aktívna (Likvidácia znečistenia) – dôjde k likvidácii znečistenia v danom priestore, a to až na požadované hodnoty, ktoré neohrozujú okolie.

Sanácia pasívna (Imobilizácia znečistenia) – jedná sa o postup, ktorý zamedzí šíreniu kontaminácie mimo zistený priestor. Negatívne pôsobenie škodlivých látok je obmedzené iba na znečistený priestor.

Riadené znečistenie – je stav, kedy z ekonomických, alebo technologických dôvodov nie je možné vykonať sanačný zásah a celá znečistená oblasť je monitorovaná. Ak sa kontaminácia nepohybuje, sú iba pripravené havarijné opatrenia pre likvidáciu mimoriadnych situácií.

Nasadenie sanačných metód je potrebné hodnotiť aj z hľadiska sanačných scenárov vyjadrujúcich rôzne ciele sanácie. Pre potreby ďalšieho rozhodovacieho procesu sa odporúča porovnanie 4 sanačných scenárov .

- A. nulový variant
- B. izolácia územia
- C. sanácia po navrhované sanačné limity
- D. úplné odstránenie znečistenia, alebo sanácia po inak stanovené limity

### *A Nulový variant*

Nulový variant predstavuje súčasný stav – t.j. silné znečistenie podzemných vôd a zemín.

### *B. Izolácia územia*

Cieľom izolácie územia je zamedzenie šírenia sa kontaminácie podzemnou vodou do okolia, najmä do povrchového toku. Izolácia je vhodná najmä v prípade, že sa predpokladá pretrvávanie aktivity zdrojov znečistenia, resp. v lokalite je zvýšené riziko havarijných únikov.

Tento sanačný scenár znamená elimináciu všetkých negatívnych vplyvov kontaminácie na okolité prostredie. V samotnom znečistenom území nebudú vykonávané sanačné práce a v prípade zmeny jeho využívania bude pravdepodobne potrebné ich vykonať. Je potrebné vykonávať pravidelný a dlhodobý.

### *C. Sanácia po navrhované sanačné limity*

Cieľom tohto sanačného scenára je znížiť koncentrácie kontaminantov na prijateľnú úroveň v tých územiach, kde ich prítomnosť môže predstavovať najvýznamnejšie riziká.

### *D. Sanácia po inak stanovené limity v celom kontaminovanom území*

V prípade inak stanovených limitov (napr. v ochranných pásmach vodných zdrojov je potrebné úplné odstránenie kontaminantu) sa volí sanačný scenár predstavujúci trvalé zníženie koncentrácií v celom dotknutom území .

## 7. Textové, tabuľkové a mapové prílohy

Prílohy dopĺňujú graficky, tabelárne i textovo hlavnú textovú časť.

1. Prevzaté mapové podklady
  - Základná mapa širšieho okolia s vyznačením záujmovej lokality.
2. Spracované mapové podklady
  - Prehľadné schémy záujmovej lokality s vyznačením dôležitých objektov.
  - Dokumentačná mapa s vyznačením vrtov, sond, odberových miest a merných profilov.
  - Mapové prílohy s vyznačením rozsahu a intenzity znečistenia zemín a podzemných vôd formou izolínií koncentrácií a s vyznačením smeru prúdenia podzemných vôd.
  - Účelová hydrogeologická mapa s vyjadrením hydroizohýps, rozvodníc a pod.
  - Mapy hrúbok zvodnencov, a pod.
3. Tabuľky
  - Tabelárne spracovanie vstupných údajov (chemické a bakteriologické analýzy, hydrologické merania a pod..)
4. Iné (napr.)
  - Textová príloha matematického modelovania vrátane grafických výstupov.
  - Textová príloha ekologického hodnotenia vrátane grafických výstupov.
  - Podľa účelu a rozsahu AR a charakteru miestnych pomerov je možné do tejto správy zaradiť ďalšie prílohy vzťahujúce sa k znečisteniu prírodného prostredia alebo k ochrane podzemných vôd.

## 8. Prílohy metodiky RA

### Príloha 1: Hodnotenie účinkov kontaminujúcej látky

Chemická látka	Označenie	Jednotka	Zdroj informácie + hodnota
CAS No			
Chemický vzorec			
Fyzikálno – chemické vlastnosti <ul style="list-style-type: none"> <li>• bod varu</li> <li>• tenzia pár</li> <li>• Henryho konštanta</li> <li>• difuzivita vo vzduchu</li> <li>• rozpustnosť vo vode</li> <li>• efektívna rozpustnosť</li> </ul>			
<b>Environmentálno-chemické vlastnosti</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• rýchlosť fotolýzy</li> <li>• rýchlosť hydrolyzy</li> <li>• prchavosť</li> <li>• schopnosť biodegradácie</li> <li>• schopnosť chemickej degradácie (hydrolyza a redoxné procesy)</li> <li>• celková rýchlosť degradácie (rozkladu)</li> <li>• perzistencia</li> <li>• <math>K_{WA}</math> – rozdeľovací koeficient voda / vzduch</li> <li>• <math>K_{PA}</math> – rozdeľovací koeficient tuhej častice / vzduch</li> <li>• <math>K_{WB}</math> – rozdeľovací koeficient voda / biota</li> <li>• <math>K_{PW}</math> – rozdeľovací koeficient tuhej častice / voda</li> <li>• <math>K_{SA}</math> – rozdeľovací koeficient pôda / vzduch</li> <li>• <math>K_{OW}</math> – rozdeľovací koeficient n-oktanol / voda ( <math>\log K_{OW}</math> )</li> <li>• <math>K_{OC}</math> – rozdeľovací koeficient sorpcie na organickej hmote (adsorpcia na organický uhlík)</li> <li>• <math>K_{WS}</math> – rozdeľovací koeficient voda / pôda,</li> <li>• <math>K_D</math> – rozdeľovací koeficient zemina / voda</li> <li>• Bioakumulácia/biokoncentrácia – biokoncentračný faktor BCF</li> </ul>			
<b>Ekotoxicita pre nižšie testovacie organizmy</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• toxicita pre mikroorganizmy (baktérie)</li> <li>• toxicita pre vodné rastliny (riasy)</li> <li>• toxicita pre nižšie vodné organizmy (bezstavovci)</li> <li>• toxicita pre vyššie vodné organizmy (stavovci – ryby)</li> <li>• toxicita pre vyššie rastliny</li> <li>• toxicita pre terestrické organizmy</li> </ul>			

<p><b>Toxicita pre cicavce a človeka</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• vratné / nevratné účinky (karcinogenita)</li> <li>• kvalitatívne typy účinkov napr. hepatotoxický, neurotoxický, genotoxický ...</li> <li>• dráždivosť a senzitivita</li> <li>• akútna / chronická toxicita</li> <li>• lokálna / systémová toxicita</li> <li>• genotoxicita – karcinogénne, mutagénne, teratogénne účinky</li> <li>• vývojová toxicita (vrátane reprodukčnej toxicity)</li> <li>• neurotoxicita</li> <li>• vzťahy medzi štruktúrou látok a ich biologickou účinnosťou (QSAR)</li> <li>• tzv. kritický účinok (napr. pre expozíciu olova je to obsah olova v krvi)</li> </ul>			
Karcinogenita (US EPA, IARC)			
Karcinogénne riziko pre človeka – orálne	OSF	[mg/kg/deň] <sup>-1</sup> [mg/l] <sup>-1</sup>	
Karcinogénne riziko pre človeka – inhalačne	IUR	[mg <sub>1</sub> /m <sup>3</sup> ]	
Nekarcinogénne riziko pre človeka – orálne	RfD	[mg/kg/deň]	
Nekarcinogénne riziko pre človeka – inhalačne	RfC	[mg/m <sup>3</sup> ]	
Rizikové vety	R veta, S veta		
Zhodnotenie humánneho rizika			
Limitné koncentrácie v zmysle platnej legislatívy	<i>povrchová voda, pitná voda, ovzdušie, sedimenty, pracovné prostredie</i>		

**Príloha 2: Výpočet zdravotných rizík pre jednotlivé expozičné cesty****Príloha 2.1: Inhalačná expozícia (nameraná koncentrácia v ovzduší)**

<b>ADD/LADD = CA * IR * ET * EF * ED / (BW * AT)</b>		
<b>CVRK = IUR * LADD</b>		
CA koncentrácia kontaminantu v ovzduší	mg/m <sup>3</sup>	namerané (namodelované)
IR inhalované množstvo	m <sup>3</sup> /hod	Dospelý 20 m <sup>3</sup> /deň (0,83 m <sup>3</sup> /hod), dieťa 16 m <sup>3</sup> /deň
ET doba expozície	hod/deň	Pracovníci 8 hod, stály obyvateľ priemerne 16 hod, (v prípade RME 24 hod)
EF frekvencia expozície	deň/rok	Podľa lokality a využitia územia (obyvatelia 350 dní/rok, priemyselný areál 250 dní /rok, rekreačne 45 dní /rok)
ED doba trvania expozície	rok	Celoživotná expozícia: 70 rokov Rekreačný pobyt: 9 rokov Doba pobytu na jednom pracovnom mieste: 25 rokov
BW priemerná telesná hmotnosť	kg	Priemerná telesná hmotnosť dospelý: 70 kg Priemerná váha dieťaťa do 6 rokov: 15 kg
AT doba, počas ktorej je CA považovaná za konštantnú	deň	Nekarcinogénna: ED (rok) x 365 dní/rok Karcinogénna: 70 (rok) x 365 dní/rok
ADD	mg/kg/deň	Výpočet
RfC	mg/m <sup>3</sup>	Databáza
HQ	bezrozmerná	Výpočet
IUR	1/mg/m <sup>3</sup>	Databáza
CVRK	bezrozmerná	Výpočet



**Príloha 2.2: Evaporácia do vnútorného prostredia budov (s použitím koncentrácie kontaminantu zisteného v podzemných vodách alebo zeminách)**

<b>ADD/LADD = CK * IR * ET * EF * ED / (BW * AT)</b>		
<b>CVRK = IUR * LADD</b>		
CK - celkový príspevok kontaminantu k vnútornému ovzdušiu (suma difúzneho a konvektívneho príspevku kontaminantu k vnútornému ovzdušiu)	mg/m <sup>3</sup>	CK ( pri výpočte je možné použiť napr. model JAGG, príp. postupom stanoveným v Prílohe 4 Metodika rizikovej analýzy kontaminovaných lokalít, 2001) Príloha 2.2.1
IR inhalované množstvo	m <sup>3</sup> /hod	Dospelý 20 m <sup>3</sup> /deň (0,83 m <sup>3</sup> /hod), dieťa 16 m <sup>3</sup> /deň
ET doba expozície	hod/deň	Pracovníci 8 hod, stály obyvateľ priemerne 16 hod, (v prípade RME 24 hod)
EF frekvencia expozície	deň/rok	Podľa lokality a využitia územia (obyvatelia 350 dní/rok, priemyselný areál 250 dní /rok, rekreačne 45 dní /rok)
ED doba trvania expozície	rok	Celoživotná expozícia: 70 rokov Rekreačný pobyt: 9 rokov Doba pobytu na jednom pracovnom mieste: 25 rokov
BW priemerná telesná hmotnosť	kg	Priemerná hmotnosť dospelý: 70 kg Priemerná váha dieťaťa do 6 rokov: 15 kg
AT doba, počas ktorej je CA považovaná za konštantnú	deň	Nekarcinogénna: ED (rok) x 365 dní/rok Karcinogénna: 70 (rok) x 365 dní/rok
ADD	mg/kg/deň	Výpočet
RfC	mg/m <sup>3</sup>	Databáza
HQ	bezrozmerná	Výpočet
IUR	l/mg/m <sup>3</sup>	Databáza
CVRK	bezrozmerná	Výpočet
Pozn.		Koncentrácie kontaminantov v zemine môžu byť odhadnuté na základe koncentrácie kontaminantu v podzemnej vode a distribučného koeficientu KD

**Príloha 2.2.1: Postup pri výpočte difúzneho a celkového príspevku kontaminantu k vnútornému ovzdušiu**

$C_i = J / (L_h * L_s)$		
J – tok (vyrchávanie)	mg/ (m <sup>2</sup> .s)	$J = - (N_1 * N_2) * D_L * ((C_0 - C_L) / N_2 * X_1 + N_1 * X_2)$
Lh - výška stropu v budove	M	nameraná hodnota
Ls - výmena vzduchu v budove	s <sup>-1</sup>	$8,3 \cdot 10^{-5} s^{-1}$
N – materiálová konštanta	bezrozmerná	$N = V_L^{3,33} / (V_L + V_V)^2$ N <sub>1</sub> - materiálová konštanta pre piesok (0,09) N <sub>2</sub> - materiálová konštanta pre betón (0,002)
DL – difúzny koeficient kontaminantu v ovzduší	m <sup>2</sup> .s	databázová hodnota
X1 – hrúbka piesočnej vrstvy	m	nameraná hodnota
X – hrúbka betónu	m	nameraná hodnota
C0 - požadovaná koncentrácia na mieste	mg/m <sup>3</sup>	nameraná hodnota
CL - koncentrácia v pôdnom vzduchu	mg/m <sup>3</sup>	nameraná hodnota
VL - relatívny objemový podiel plynnej fázy v zemine	bezrozmerná	0,30
VV - relatívny objemový podiel vody v zemine	bezrozmerná	0,15
v – rýchlosť vetra	m/s	databázová hodnoty – ročenka
$CK = ((N_b * DL) / x_b + q) * CL / (L_h * L_s) + ((N_b * x_1 * L_h * L_s) / x_b * N_1) + ((N_b * DL) / x_b) + ((q * x_1 * L_h * L_s) / N_1 * DL)$		
Nb - materiálová konštanta pre betón	bezrozmerná	0,002
N1 - materiálová konštanta pre piesok	bezrozmerná	0,09
DL -difúzny koeficient	m <sup>2</sup> /s	databáza
xb - hrúbka betónovej dosky	m	nameraná hodnota
x1 - hrúbka piesočnej vrstvy pod podlahou	m	nameraná hodnota
CL - koncentrácia kontaminantov v pôdnom vzduchu	mg/m <sup>3</sup>	nameraná hodnota
Lh - výška stropu v budove	m	nameraná hodnota
Ls - výmena vzduchu v budove	m <sup>-1</sup>	$8,3 \cdot 10^{-5} s^{-1}$
q – objemový tok na m2 plochy podlahy	(m <sup>3</sup> /s)/ m <sup>2</sup>	$q = ((l_{tot} * w^3) / (12 * \mu)) / ((\Delta P * 10^{-6}) / (h_b * A_g))$
ltot - celková dĺžka trhlín	m	? prepočet alebo odporučiť - prejednať
w - šírka trhlín	mm	? prepočet alebo odporučiť – prejednať
μ - dynamická viskozita vzduchu	(kg/m).s	$1,8 \cdot 10^{-5}$
delta P - tlakový rozdiel pod podlahou	Pa	5
mm – hrúbka betónovej dosky	mm	? prepočet alebo odporučiť - prejednať
Ag - plocha podlahy	m <sup>2</sup>	nameraná hodnota

**Príloha 2.3: Evaporácia do vonkajšieho prostredia budov (s použitím koncentrácie kontaminantu zisteného v zeminách)**

<b>ADD/LADD = CU * IR * ET * EF * ED / (BW * AT)</b>		
<b>CVRK = IUR * LADD</b>		
CU - difúzny príspevok kontaminantu do vonkajšieho ovzdušia	mg/m <sup>3</sup>	CU (pri výpočte je možné použiť napr. model JAGG, príp. postupom stanoveným v Prílohe 4 Metodika rizikovej analýzy kontaminovaných lokalít, 2001) postup vid' príloha 2.3.1
IR inhalované množstvo	m <sup>3</sup> /hod	Dospelý 20 m <sup>3</sup> /deň (0,83 m <sup>3</sup> /hod), dieťa 16 m <sup>3</sup> /deň
ET doba expozície	hod/deň	Pracovníci 8 hod, stály obyvateľ priemerne 16 hod, (v prípade RME 24 hod)
EF frekvencia expozície	deň/rok	Podľa lokality a využitia územia (obyvatelia 350 dní/rok, priemyselný areál 250 dní /rok, rekreačne 45 dní /rok)
ED doba trvania expozície	Rok	Celoživotná expozícia: 70 rokov Rekreačný pobyt: 9 rokov Doba pobytu na jednom pracovnom mieste: 25 rokov
BW priemerná telesná hmotnosť	kg	Priemerná telesná hmotnosť dospelý: 70 kg Priemerná váha dieťaťa do 6 rokov: 15 kg
AT doba, počas ktorej je CA považovaná za konštantnú	Deň	Nekarcinogénna: ED (rok) x 365 dní/rok Karcinogénna: 70 (rok) x 365 dní/rok
ADD	mg/kg/deň	Výpočet
RfC	mg/m <sup>3</sup>	Databáza
HQ	bezrozmerná	Výpočet
IUR	l/mg/m <sup>3</sup>	Databáza
CVRK	bezrozmerná	Výpočet
Pozn.		Koncentrácie kontaminantov v zemine môžu byť odhadnuté na základe koncentrácie kontaminantu v podzemnej vode a distribučného koeficientu K <sub>D</sub>

**Príloha 2.3.1: Postup pri výpočte difúzneho príspevku kontaminantu k vonkajšiemu ovzdušiu**

<b>CU = J/ v * 0,08</b>		
J – tok (vyprchávanie)	mg/ (m <sup>2</sup> .s)	$J = - N * D_L * ((C_0 - C_L)/X)$
N – materiálová konštanta	bezrozmerná	$N = V_L^{3,33} / (V_L + V_V)^2$
D <sub>L</sub> – difúzny koeficient kontaminantu v ovzduší	m <sup>2</sup> .s	Databázová hodnota
X – hĺbka zodpovedajúca koncentrácií C <sub>L</sub>	m	nameraná hodnota
C <sub>0</sub> . požadovaná koncentrácia na mieste	mg/m <sup>3</sup>	nameraná hodnota
C <sub>L</sub> . koncentrácia v pôdnom vzduchu	mg/m <sup>3</sup>	nameraná hodnota
V <sub>L</sub> - relatívny objemový podiel plynnej fázy v zemine	bezrozmerná	0,30
V <sub>V</sub> . relatívny objemový podiel vody v zemine	bezrozmerná	0,15
v – rýchlosť vetra	m/s	databázová hodnoty – (napr. ročenka SHMÚ)

**Príloha 2. 4: Inhalačná expozícia pri sprchovaní (kúpaní)**

<p><b>ADD/LADD = CA * IR * EF * ED / (BW * AT)</b>                  ( len pre prchavé kontaminanty s Henryho konštantou <math>2 \times 10^{-7}</math> atm/ m<sup>3</sup> /mol alebo vyššiou)</p>		
<p><b>CVRK = IUR * LADD</b></p>		
	<b>Jednotky</b>	<b>Odporúčané hodnoty</b>
CA koncentrácia kontaminantu vo vzduchu	mg/ m <sup>3</sup>	V prípade, že nie je možné merať koncentráciu kontaminantu vo vzduchu je možné použiť orientačný prepočet (Risk assistant) $CA = (CW * f * F * t) / V / 2$ , kde: CW - koncentrácia kontaminantu vo vode f - frakcia uvoľniteľného kontaminantu (bezrozmerný , napr. 0,75) F - prietok vody (l/hod., napr. 600 l/hod) t – čas sprchovania (hod., napr.0,2 hod) V – objem kúpelky (m <sup>3</sup> , napr. 9 m <sup>3</sup> )
IR inhalované množstvo	mg/ m <sup>3</sup>	dieťa :1 l/deň ( do 6 rokov) dieťa nad 6 rokov a dospelý: 2 l /deň
EF frekvencia expozície	deň/rok	Podľa lokality a využitia územia (stáli obyvatelia 350 dní /rok, rekreačne 45 dní /rok)
ED doba trvania expozície	rok	Celoživotná expozícia: 70 rokov Rekreačný pobyt: 9 rokov
BW priemerná telesná hmotnosť	kg	Priemerná telesná hmotnosť dospelý: 70 kg Priemerná telesná dieťaťa do 6 rokov: 15 kg
AT doba, počas ktorej je C považovaná za konštantnú	deň	Nekarcinogénna: ED (rok) x 365 dní/rok Karcinogénna: 70 (rok) x 365 dní/rok
ADD	mg/kg/deň	Výpočet
RfD	mg/kg/deň	Databáza
HQ	bezrozmerná	Výpočet
IUR	mg/ m <sup>3</sup>	Databáza
CVRK	bezrozmerná	Výpočet

**Príloha 2. 5 : Dermálny kontakt s kontaminovanou zeminou**

<b>ADD/LADD = CS * CF * SA * AF * ABS* EF * ED/ (BW * AT)</b>		
<b>CVRK = OSF * LADD</b>		
	<b>Jednotky</b>	<b>Odporúčané hodnoty</b>
CS koncentrácia kontaminantu v zemine	mg/kg	nameraná
CF konverzný faktor 10 <sup>-6</sup> (kg/mg)	bezrozmerná	1,00E-06
SA plocha exponovaného povrchu tela	cm <sup>2</sup>	Kontakt s odkrytými časťami tela, v prípade priemyselného využitia je odporúčaná hodnota 3 300 cm <sup>2</sup>
AF faktor adhézie zeminy k pokožke	mg/cm <sup>2</sup>	0,2 mg/cm <sup>2</sup>
ABS dermálny absorpčný faktor	bezrozmerná	0,001 pre anorganické látky 0,01 organické látky
EF frekvencia expozície	deň/rok	Podľa lokality a využitia územia (obyvatelia 350 dní/rok, priemyselný areál 250 dní /rok, rekreačne 45 dní /rok)
ED doba trvania expozície	rok	Celoživotná expozícia: 70 rokov Rekreačný pobyt: 9 rokov Doba pobytu na jednom pracovnom mieste: 25 rokov
BW priemerná telesná hmotnosť	kg	Priemerná telesná hmotnosť dospelý: 70 kg Priemerná telesná hmotnosť dieťaťa do 6 rokov: 15 kg
AT doba, počas ktorej je C považovaná za konštantnú	deň	Nekarcinogénna: ED (rok) x 365 dní/rok Karcinogénna: 70 (rok) x 365 dní/rok
ADD	mg/kg/deň	Výpočet
RfD	mg/kg/deň	Databáza
HQ	bezrozmerná	Výpočet
OSF	l/mg/kg/deň	Databáza
CVRK	bezrozmerná	Výpočet

**Príloha 2. 6 : Dermálny kontakt s kontaminovanou vodou**

<b>ADD/LADD = CW * CF * SA * K<sub>p</sub> * ET * EF * ED * CF / (BW * AT)</b>		
<b>CVRK = OSF * LADD</b>		
	<b>Jednotky</b>	<b>Odporúčané hodnoty</b>
CW koncentrácia kontaminantu vo vode	mg/l	nameraná
CF konverzný faktor	l/cm <sup>3</sup>	0,001
SA plocha exponovaného povrchu tela	cm <sup>2</sup>	Odporúčaný priemerný dospelý : 18 000 cm <sup>2</sup> Deti: 6 600 cm <sup>2</sup>
K <sub>p</sub> koeficient permeability prieniku kožou	cm/hod	0,001 cm/hod
ET doba expozície	hod/deň	1-2 hod/deň
EF frekvencia expozície	deň/rok	7-45 dní/rok
ED doba trvania expozície	rok	Celoživotná expozícia: 70 rokov Rekreačný pobyt: 9 rokov Doba pobytu na jednom pracovnom mieste: 25 rokov
BW priemerná telesná hmotnosť	kg	Priemerná telesná hmotnosť dospelý: 70 kg Priemerná telesná hmotnosť dieťaťa do 6 rokov: 15 kg
AT doba, počas ktorej je C považovaná za konštantnú	deň	Nekarcinogénna: ED (rok) x 365 dní/rok Karcinogénna: 70 (rok) x 365 dní/rok
ADD	mg/kg/deň	Výpočet
RfD	mg/kg/deň	Databáza
HQ	bezrozmerná	Výpočet
OSF	l/mg/kg/deň	Databáza
CVRK	bezrozmerná	Výpočet

**Príloha 2. 7: Ingescia produktov dopestovaných na kontaminovanej pôde**

<b>ADD/LADD = C * IR * FI * EF * ED / (BW * AT)</b>		
<b>CVRK = OSF * LADD</b>		
	<b>Jednotky</b>	<b>Odporúčané hodnoty</b>
C koncentrácia kontaminantu v potravinách	mg/kg	nameraná
IR prijaté množstvo potravín	kg/jedlo	0,03 -0,05 kg /jedlo ryby, 0,1 kg /jedlo mäso, 0,14 kg /jedlo ovocie, 0,2 kg /jedlo zelenina, 0,4 kg /jedlo mliečne výrobky
FI množstvo kontaminovaných potravín z kontaminovaných zdrojov	bezrozmerná	0 -1 (0,2 - 1 ryby, 0,4 – 0,7 mäso, 0,2 – 0,3 ovocie, 0,25 – 0,4 zelenina, 0,4 -0,7 mliečne výrobky)
EF frekvencia expozície	jedlo/rok	48 jedál/rok ryby, 78-250 jedál/rok ovocie a zelenina, 350 jedál/rok mliečne výrobky mäso
ED doba trvania expozície	rok	20 – 30 rokov mliečne výrobky a mäso, 9 – 30 ovocie, zelenina, ryby
BW priemerná telesná hmotnosť	kg	Priemerná telesná hmotnosť dospelý: 70 kg Priemerná telesná hmotnosť dieťaťa do 6 rokov: 15 kg
AT doba, počas ktorej je C považovaná za konštantnú:	deň	Nekarcinogénna: ED (rok) x 365 dní/rok Karcinogénna: 70 (rok) x 365 dní/rok
ADD	mg/kg/deň	Výpočet
RfD	mg/kg/deň	Databáza
HQ	bezrozmerná	Výpočet
OSF	1/mg/kg/deň	Databáza
CVRK	bezrozmerná	Výpočet
<p>Pozn. Ryby !!! ulovené!!! Prepočet cez BCF!!!! Prekonzultovať a doplniť postup výpočtu!!!!                  Mliečne výrobky !!!! existuje spôsob výpočtu cez potravinový reťazec – zväžiť , či doplniť, prekonzultovať !!! – napr. rekreačná oblasť, pasienky</p>		



**Príloha 2. 8 : Ingescia kontaminantu z vody**

<b>ADD/LADD = CW* IR * EF * ED / (BW * AT)</b>		
<b>CVRK = OSF * LADD</b>		
	<b>Jednotky</b>	<b>Odporúčané hodnoty</b>
CW koncentrácia kontaminantu vo vode	mg/l	nameraná
IR prijaté množstvo vody	l/deň	dieťa : 1 l/deň ( do 6 rokov) dieťa nad 6 rokov a dospelý: 2 l/deň
EF frekvencia expozície	deň/rok	Podľa lokality a využitia územia (stály obyvatelia 350 dní /rok, priemyselné areály 250 dní/rok , rekreačne 45 dní /rok)
ED doba trvania expozície	rok	Celoživotná expozícia 70 rokov Rekreačný pobyt 9 rokov Doba pobytu na jednom pracovnom mieste: 25 rokov
BW priemerná telesná hmotnosť	kg	Priemerná telesná hmotnosť dospelý: 70 kg Priemerná telesná hmotnosť dieťaťa do 6 rokov: 15 kg
AT doba, počas ktorej je C považovaná za konštantnú:	deň	Nekarcinogénna: ED (rok) x 365 dní/rok Karcinogénna: 70 (rok) x 365 dní/rok
ADD	mg/kg/deň	Výpočet
RfD	mg/kg/deň	Databáza
HQ	bezrozmerná	Výpočet
OSF	l/mg/kg/deň	Databáza
CVRK	bezrozmerná	Výpočet

**Príloha 2. 9: Ingescia kontaminantu zo zeminy (pôdy)**

<b>ADD/LADD = CS * IR * CF * FI * EF * ED/ (BW * AT)</b>		
<b>CVRK = OSF * LADD</b>		
	<b>Jednotky</b>	<b>Odporúčané hodnoty</b>
CS koncentrácia kontaminantu v zemine	mg/kg	nameraná
IR prijaté množstvo zeminy	mg/deň	dieťa :200 mg/deň (1-6 rokov) dieťa nad 6 rokov a dospelý: 50 mg/deň
CF konverzný faktor	kg/mg	1,00E-06
FI požitá časť zeminy z kontaminovaných zdrojov	bezrozmerná	0-1
EF frekvencia expozície	deň/rok	Podľa lokality a využitia územia ( stáli obyvatelia 350 dní /rok , priemyselné areály 250 dní/rok, rekreačne 45 dní /rok)
ED doba trvania expozície	rok	Celoživotná expozícia: 70 rokov Rekreačný pobyt: 9 rokov Doba pobytu na jednom pracovnom mieste: 25 rokov
BW priemerná telesná hmotnosť	kg	Priemerná telesná hmotnosť dospelý: 70 kg Priemerná telesná hmotnosť dieťaťa do 6 rokov: 15 kg
AT doba, počas ktorej je C považovaná za konštantnú:	deň	Nekarcinogénna: ED (rok) x 365 dní/rok Karcinogénna: 70 (rok) x 365 dní/rok
ADD	mg/kg/deň	Výpočet
RfD	mg/kg/deň	Databáza
HQ	bezrozmerná	Výpočet
OSF	l/mg/kg/deň	Databáza
CVRK	bezrozmerná	Výpočet

**Príloha 3: Prehľad skratiek**

Skratka	Anglický názov	Slovenský názov
<b>RfD</b>	Reference Dose	Referenčná dávka
<b>RfC</b>	Reference Concentration	Referenčná koncentrácia
<b>NOAEL</b>	No Observed Adverse Effect Level	Hladina, pri ktorej nie sú pozorované žiadne nežiaduce účinky
<b>LOAEL</b>	Lowest Observed Adverse Effect Level	Najnižšia hladina pozorovaného nežiaduceho účinku
<b>UF</b>	Uncertainty Factor	Faktor neistoty
<b>MF</b>	Modifying Factor	Modifikačný faktor
<b>TDI</b>	Tolerable Daily Intake	Tolerovateľná denná dávka
<b>ADI</b>	Acceptable Daily Intake	Prijateľná denná dávka
<b>CSF</b>	Cancer Slope Factor	Faktor smernice karcinogenity
<b>OSF</b>	Oral Slope Factor	Orálny faktor smernice (karcinogenity)
<b>IUR</b>	Inhalation Unit Risk	Inhalačná jednotka rizika
<b>LADD</b>	Lifetime Average Daily Dose	Celoživotná priemerná denná dávka
<b>C</b>	Exposure concentration	Expozičná koncentrácia
<b>CR</b>	Contact rate	Rýchlosť kontaktu s kontaminovaným médiom
<b>EF</b>	Exposure Frequency	Frekvencia expozície
<b>BW</b>	Body Weight	Telesná hmotnosť
<b>ED</b>	Duration of Exposure	Doba trvania expozície
<b>AT</b>	Averaging Time	Doba priemerovania
<b>HQ</b>	Hazard Quotient	Kvocient nebezpečenstva
<b>HI</b>	Hazard index	Index nebezpečenstva

#### **Príloha 4 : Zdroje**

1. Koppová , K. a kol.: Hodnotenie, riadenie a komunikácia zdravotných rizík, Slovenská zdravotnícka univerzita, Bratislava 2007
2. US EPA: Exposure factors handbook – Final Report. Washington.DC, 1997
3. Vyhláška MH SR č.511/2001 Z.z. o podrobnostiach o hodnotení rizík existujúcich chemických látok a nových chemických látok pre život a zdravie ľudí a pre životné prostredie
4. VÚVH: Sanácie znečistených zemín a podzemných vôd v SR, DANCEE/MŽP SR, Metodika rizikovej analýzy kontaminovaných lokalít (druhá pracovná verzia), Bratislava, 2001
5. Návrh metodiky prioritizácie environmentálnych záťaží a analýzy rizika, SAŽP, ENVIGEO a.s. Banská Bystrica, o. Banská Bystrica, 2004
6. Metodický pokyn MŽP SR z 22.októbra 1998 č. 623/98-2 na postup a riadenie rizík (Vestník MŽP SR, ročník VI, čiastka 6)
7. European Commission: Technical Guidance Document on Risk Assessment, chapter 2 Risk Assessment for Human Health, European Communities, 2003
8. WHO: Principles for the Assessment of Risk to Human Health From Exposure to Chemicals. Environmental Health Criteria 210. WHO Regional Office for Europe, 2000
9. Metodický pokyn MŽP ČR pro analýzu rizik kontaminovaného území, Vestník MŽP ČR, ročník XV, čiastka 9, 2005