

Analýza rizik kontaminovaného území v ČR a SR

Hodnocení zdravotních rizik

Mgr. Petr Kozubek

ENACON s.r.o.

Principy hodnocení zdravotních rizik

Úvod (1)

- V případě překročení závazných limitních hodnot dle platných právních předpisů (pro vodu, zemědělskou půdu, pracovní prostředí apod.) není potřebné hodnotit (počítat) potenciálně přijaté dávky, protože již tato skutečnost je dostatečným dokladem o závažných zdravotních rizicích. Důvodem nápravných opatření je v daném případě dosažení nezbytného souladu s platnou legislativou.
- Pokud se nejedná o hodnocení expozic v prostředích s legislativně stanovenými limitními koncentracemi, provádějí se výpočty expozice, tj. přijatých dávek, a to podle expozičních rovnic specifických pro jednotlivé expoziční scénáře a vycházejících z predikčních modelů U.S. EPA.

Principy hodnocení zdravotních rizik

Úvod (2)

- Výpočty přijatých či absorbovaných dávek má smysl provádět pouze u **reálných expozičních scénářů a také pouze u prioritních kontaminantů nebo jejich směsí**, pro které v renomovaných databázích existují informace o vztahu přijatých dávek a jejich účinků na lidské zdraví, protože bez znalosti vztahu dávka - účinek nelze kvantifikaci rizik na lidské zdraví dokončit.
- U ostatních kontaminantů je možné provést pouze kvalitativní hodnocení, případně orientační srovnání s účinky obdobně působících látek a příslušné informace názorným způsobem doložit.

Metodika hodnocení zdravotních rizik

zahrnuje čtyři popř. šest základních kroků:

- **identifikace** nebezpečnosti (hazard identification)
- určení vztahu **dávka - účinek** (evaluation of dose - response relationship)
- hodnocení **expozice** (exposure characterisation)
- **charakterizace rizika** (risk characterisation)
- **řízení rizika** (risk management)
- **komunikace rizika** (risk communication)

Identifikace nebezpečnosti

Identifikace zdravotních rizik zahrnuje:

- Určení a zdůvodnění prioritních škodlivin a dalších rizikových faktorů *(Přehled rizikových faktorů a prioritních kontaminantů pro danou lokalitu, včetně přehledu prokázaného či potenciálního porušení legislativních norem, zejména zjištění závažného ohrožení)*
- Základní charakteristika příjemců rizik *(Přehled a zdůvodnění všech ohrožitelných subjektů - s důrazem na zvýšeně vnímavé populační skupiny)*
- Shrnutí transportních cest a přehled reálných scénářů expozice *(shrnutí hlavních mechanismů migrace znečištění s ohledem na příjemce rizik a prognózu dalšího šíření znečištění)*

Výběr prioritních kontaminantů

- Hlavní/dominantní polutanty
 - Zohlednění charakteru, míry a rozsahu kontaminace a charakteru identifikovaných příjemců znečištění
 - Porovnání s legislativními/screeningovými ukazateli
 - Statistické hodnocení



2. Určení vztahu dávka – účinek

Znalost vztahu dávka - účinek je základem pro hodnocení zdravotních rizik.

Při tomto hodnocení jsou aplikovány dva základní přístupy, které se odvíjejí od předpokladu 1.) prahových či 2.) bezprahových účinků:

- **Koncepce hodnocení látek s prahovým (nekarzinogenním) účinkem**

V případě chemických látek, které se vyznačují jiným než karzinogenním účinkem, se předpokládá, že existuje řada fyziologických, adaptačních a reparačních procesů, jejichž prostřednictvím se organismus úspěšně vyrovnává s expozicí nejrozumnějším toxickým látkám. Teprve když jsou tyto mechanismy vyčerpány, začnou se projevovat účinky - předpokládá se tedy existence prahové dávky.

- **Koncepce hodnocení látek s bezprahovým (karzinogenním) účinkem**

U karzinogenních látek se předpokládá, že pouze několik málo změn na molekulární úrovni může vést k nekontrolovatelné proliferaci jediné buňky, což může vyústit až ke vzniku maligního onemocnění - neexistuje dávka, která by nebyla asociovaná s rizikem vzniku zhoubného novotvaru, jedná se o „bezprahový, účinek stochastického charakteru“.

Určení vztahu dávka – účinek

Prahový (nekarcinogenní) účinek

- Odhadování rizika se soustřeďují na tzv. **kritický účinek**, za který je obvykle považován ten, který je pozorován při **nejnižších expozičních úrovních**
- Pro všechny toxické látky s výjimkou genotoxických látek je stanovena expozice, pod níž je minimální nebo žádná pravděpodobnost vzniku nepříznivého účinku látky. Tato hodnota se nazývá prahovou hodnotou.

Určení vztahu dávka – účinek

Prahový (nekarcinogenní) účinek

- Prahová hodnota - **NOAEL** (No Observed Adverse Effect Level) je úroveň expozice, při které **není** pozorován nepříznivý účinek, a může být určena i z pokusu na zvířeti.
- Hodnota **LOAEL** (Lowest Observed Adverse Effect Level) odpovídající nejnižším dávkám, při kterých byly negativní vlivy na zdraví zjištěny. přiřazováním faktorů nejistoty **UF (Uncertainty Factors)**, popř. modifikujících faktorů **MF (Modifying Factors)** odvozovány např. akceptovatelné denní dávky látky ADI (Acceptable Daily Intake) nebo referenční dávky RfD (Reference Dose).

Určení vztahu dávka – účinek

Prahový (nekarcinogenní) účinek

- **Dermálně přijaté referenční dávky** RfD_{ABS} se v některých případech (např. EPA, 2004) odvozují z referenční dávky pro orální expozici RfD_o , a to pomocí následující rovnice:

$$RfD_{ABS} \text{ (mg.kg}^{-1}\text{.den}^{-1}\text{)} = RfD_o \text{ (mg.kg}^{-1}\text{.den}^{-1}\text{)} \times ABS_{GI}$$

kde ABS_{GI} je frakce kontaminantu absorbovaná v gastrointestinálním traktu (hodnoty ABS_{GI} lze rovněž dohledat v příslušných toxikologických databázích)

Určení vztahu dávka – účinek

Prahový (nekarcinogenní) účinek

- **Inhalační expoziční scénáře**

Pro výpočet se používá

referenční koncentrace kontaminantu RfC ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$),

expozice dospělého člověka o váze 70 kg,

celodenní expozici $20 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ vzduchu,

$$\text{RfD} (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}) = \text{RfC} (\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}) \times 20 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1} \times 70 \text{ kg}^{-1}.$$

V případě nejasností nebo u kombinace více expozičních cest je místo kvantitativního výpočtu doporučeno provést pouze kvalitativní hodnocení rizik nebo konzultovat hodnocení rizik se Státním zdravotním ústavem případně kanceláří ECAO (U.S. EPA Environmental Criteria and Assessment Office).

Určení vztahu dávka – účinek

Bezprahový (karcinogenní) účinek

- **Využití faktoru směrnice SF (Slope Factor), kterým se rozumí biologicky možný horní okraj odhadu pravděpodobnosti vzniku zhoubného novotvaru vztažený na jednotku průměrné denní dávky přijímané po celý život.**
- Hodnoty SF (nejčastěji pro **ingesční expozici**) jsou pro vybrané kontaminanty dostupné v renomovaných toxikologických databázích (především USA, Kanada)

Určení vztahu dávka – účinek

Bezprahový (karcinogenní) účinek

- Pro **dermální expozici** lze dle EPA (2004) odvodit dermální faktor směrnice SF_{ABS} přepočtem z orálního faktoru směrnice SF_o a koeficientu ABS_{GI} podle rovnice:

$$SF_{ABS} (\text{mg.kg}^{-1}.\text{den}^{-1})^{-1} = SF_o (\text{mg.kg}^{-1}.\text{den}^{-1})^{-1} \times ABS_{GI}^{-1}$$

- SF je vztahován k jednotkovému příjmu daného kontaminantu, jedná se o riziko karcinogenního působení dané látky při velikosti orálního příjmu $1 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{den}^{-1}$ a SF je udáván v jednotkách $(\text{mg.kg}^{-1}.\text{den}^{-1})^{-1}$.

2. Určení vztahu dávka – účinek

Bezprahový (karcinogenní) účinek

- Pro **inhalační expozici** je používán tzv. **Inhalation Unit Risk (riziko inhalační jednotky) IUR**, odpovídající horní hranici pravděpodobnosti celoživotního rizika vzniku rakoviny při stálé expozici látky o koncentraci $1 \mu\text{g.m}^{-3}$ vzduchu, a uvádí se proto v jednotkách $(\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$.
- Referenční dávky a referenční koncentrace, resp. faktory směrnice a rizika inhalační jednotky se pro potřeby analýzy rizik přebírají z databázových pramenů - *vždy je nutné ověřit v relevantních databázích (některé příklady budou uvedeny – revidovaná databáze je např. IRIS s aktuální platností potřebných dat)*

Hodnocení expozice

- Jak již bylo zmíněno v úvodu:

1.) V případě překročení závazných limitních hodnot dle platných právních předpisů (pro vodu, zemědělskou půdu, pracovní prostředí apod.) není potřebné hodnotit potenciálně přijaté dávky, protože již tato skutečnost je dostatečným dokladem o závažných zdravotních rizicích. Důvodem nápravných opatření je v daném případě dosažení nezbytného souladu s platnou legislativou.

2.) Pokud se nejedná o hodnocení expozic v prostředích s legislativně stanovenými limitními koncentracemi, provádějí se výpočty expozice, tj. přijatých dávek, a to podle expozičních rovnic specifických pro jednotlivé expoziční scénáře a vycházejících z predikčních modelů U.S. EPA. Terminologie a obecné postupy byly uvedeny výše a konkrétněji budou i součástí závěrečné části dále

Odhad zdravotního rizika (charakterizace rizika)

- V této etapě analýzy rizik se vypočteným reálným expozicím (přijatým, resp. absorbovaným dávkám) přiřazuje míra rizika a provádí se i další slovní hodnocení zjištěných rizik.
- **Odhad zdravotních rizik pro látky s prahovým (nekarcinogenním) účinkem**
- **Odhad zdravotních rizik pro karcinogenní látky**

Odhad zdravotního rizika (s nekarcinogenním účinkem)

Používá se porovnání přijaté či absorbované dávky s toxikologicky akceptovatelným příjmem dané látky, tj. s referenčními dávkami RfD, resp. porovnání zjištěné koncentrace kontaminantu ve vzduchu při kontinuální inhalační expozici s referenční koncentrací (RfC).

Míru rizika reprezentuje tzv. kvocient nebezpečnosti HQ (Hazard Quotient, bezrozměrný), vypočtený prostřednictvím jednoduché rovnice:

$$HQ = E / RfD \text{ popř. } Cp/RfC$$

- *E* průměrná denní absorbovaná dávka ADD nebo průměrná celoživotní denní absorbovaná dávka LADD, resp. chronický denní příjem CDI ($\text{mg.kg}^{-1}.\text{den}^{-1}$) RfD referenční dávka ($\text{mg.kg}^{-1}.\text{den}^{-1}$), Cp-chronic., subchronic. zprůměrovaná dlouhodobá (pokud možno po celou dobu sledované dlouhodobé- chronické či subchronické expozice koncentrace polutantu). Popř. spíše při akutní expozici postupuje tak, jak je uvedeno dále...

Odhad zdravotního rizika (s nekarcinogenním účinkem)

- Pro inhalační expozici platí:

$$HQ = CA / RfC \times 1000 \mu g.mg^{-1}, \text{ resp. } HQ = EC / RfC \times 1000 \mu g.mg^{-1}$$

CA naměřená koncentrace kontaminantu ve vzduchu při akutní expozici ($\mu g.m^{-3}$)

EC průměrná expoziční koncentrace při delší - subchronické či chronické - expozici ($\mu g.m^{-3}$)

RfC referenční koncentrace / hodnota toxicity ($mg.m^{-3}$)

- Při současném působení více kontaminantů je pak nezbytné uvažovat sumární kvocient nebezpečnosti:

$$HQ_{\Sigma} = HQ_a + HQ_b + HQ_c + \dots + HQ_n$$

Nebezpečnost konkrétní expozice je signalizována hodnotami $HQ > 1$.

Odhad zdravotního rizika (karcinogenní látky)

Pro výpočet nadměrného celoživotního karcinogenního rizika ELCR - Excess Lifetime Cancer Risk (bezrozměrný ukazatel odpovídající pravděpodobnosti vzniku rakoviny při celoživotní expozici) pro látky nejvyšších kategorií lze obecně použít jednoduchou rovnici:

$$\text{ELCR} = \text{CDI} \times \text{SF} \text{ resp. } \text{ELCR} = \text{LADD} \times \text{SF}$$

CDI chronický denní příjem, resp. průměrnou denní dávku LADD vztaženou na celoživotní expozici v délce 70 let ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$)

SF faktor směrnice ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$)⁻¹

Tento výpočet platí pro malá rizika do hodnoty 0,01 (pravděpodobnost vzniku rakoviny u jednoho člověka ze sta). Pro vysoká rizika je doporučeno používat upravenou rovnici:

$$\text{ELCR} = 1 - \exp(-\text{CDI} \times \text{SF})$$

Odhad zdravotního rizika (karcinogenní látky)

Pro inhalační expozici se adekvátně násobí zjištěná, resp. vypočtená expoziční koncentrace kontaminantu ve vzduchu a IUR:

$$\text{ELCR} = \text{CA} \times \text{IUR}, \text{ resp. } \text{ELCR} = \text{EC} \times \text{IUR}$$

EC průměrná expoziční koncentrace ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)

IUR riziko inhalační jednotky ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)⁻¹

- Vzhledem k uvažované 95% pravděpodobnosti účinků je vypočtená hodnota ELCR většinou horní hranicí rizika a skutečné riziko by nemělo být větší.

Odhad zdravotního rizika (karcinogenní látky)

**Za přijatelnou míru rizika jsou považovány tyto hodnoty
ELCR:**

- **1.10^{-6}** (pravděpodobnost vzniku rakoviny u 1 člověka z milionu) při hodnocení regionálních vlivů - obvykle nad 100 ohrožených osob
- **1.10^{-5}** (pravděpodobnost vzniku rakoviny u 1 člověka ze 100 000) při hodnocení lokálních vlivů - řádově mezi 10 a 100 ohroženými osobami
- **1.10^{-4}** (pravděpodobnost vzniku rakoviny u 1 člověka z 10 000) při hodnocení jednotlivců do 10 osob

Shrnutí celkového rizika

- V závěru hodnocení rizik musí být uveden výčet a charakteristika zjištěných rizik, která je potřebné nadále monitorovat (ověřit) či eliminovat. I v případě, že lze rizika pro jednotlivé expoziční scénáře kvantifikovat, je nutné rizika a jejich podmíněnost charakterizovat také slovně.
- Ze shrnutí a slovního popisu by mělo jasně vyplynout, které kontaminanty a expoziční cesty znamenají zásadní rizika pro jednotlivé příjemce a musí být proto přednostně řešeny (vhodné sumarizovat např. graficky či tabelárně společně se slovním komentářem).
- Výsledky kvantifikace rizika z předchozí kapitoly se zde diskutují v kontextu s dalšími okolnostmi a vyslovují se závěry, ze kterých se vychází při formulaci cílů a charakteru nápravných opatření.

Omezení a nejistoty

- V této kapitole je nutné popsat všechny nejistoty spojené s hodnocením zdravotních a ekologických rizik a vyhodnotit jejich dopad na závěry a doporučení analýzy rizik. Mezi základní nejistoty lze zařadit zejména:
 - Dopady nejistot z etapy průzkumu (tedy zejména problematiku reprezentativnosti vstupních dat).
 - Nejistoty spojené s podmíněností expozičních cest (sanační opatření by neměla být navrhována na základě zcela hypotetických scénářů nebo na základě rizik podmíněných pouze realizací vlastních sanačních prací).
 - Nejistoty spojené s odvozením expozičních koncentrací v případě, že nelze tyto koncentrace přímo měřit (je nutné uvést všechna omezení týkající se relevance použitých dat a provedených výpočtů).
 - Nejistoty týkající se vztahu dávka a účinek (je nutné provést diskusi dat použitých pro odvození referenčních dávek, včetně faktorů nejistoty a modifikujících faktorů).
 - Nejistoty spojené s hodnocením synergických účinků různých látek či kombinace dalších rizikových faktorů.

INGESCE VODY PŘI PITÍ

$$CDI = CW \times IR \times EF \times ED / (BW \times AT)$$

- CDI chronický denní příjem ($\text{mg.kg}^{-1}.\text{den}^{-1}$)
- CW koncentrace kontaminantu ve vodě (mg.l^{-1})
- IR množství požití vody (l.den^{-1})
- EF frekvence expozice (den.rok^{-1})
- ED trvání expozice (rok)
- BW váha těla (kg)
- AT doba průměrování (den)
 - pro nekarcinogenní: $ED (\text{rok}) \times 365 \text{ dní.rok}^{-1}$,
 - pro karcinogenní: $70 \text{ let} \times 365 \text{ dní.rok}^{-1}$

Ingesce (konzumace vody)

- **Obyvatelé - rezidenční a rekreační pobyt / pití vody a nápojů z vody připravených**
- IR obvyklá konzumace dospělí: 1,4 až 2,0 l.den⁻¹; *je vhodné uvážit podíl z kontaminovaných zdrojů (např. spotřeba 60 % doma, 40 % v práci) obvyklá konzumace děti do 6 let: 1,0 l.den⁻¹*
- EF obvyklá frekvence rezidenční expozice: 335 až 350 dní.rok⁻¹ (15 až 30 dní pobytu mimo domov)
- obvyklá frekvence při rekreačním pobytu: 75 dní.rok⁻¹ ED celoživotní expozice: 70 let maximální trvání expozice - doba pobytu na jedné lokalitě: 30 let (rozmezí 20 až 40 let), průměrná doba rekreačního pobytu na jedné lokalitě: 9 let
- trvání expozice dětí (do věku 6 let): 6 let (průměrně 3 roky) BW průměrná váha dospělý: 70 kg
- průměrná váha dítě od 1 do 6 let: 15 kg (je možné využít specifické hodnoty podle věku)

Ingesce (konzumace vody)

- **Zaměstnanci v průmyslových a obchodních areálech, resp. v zemědělství / pití vody a nápojů z vody připravených (není uvažována konzumace balené vody)**
- IR obvyklá konzumace dospělí: $1,0 \text{ l.den}^{-1}$,
- v zemědělství $2,0 \text{ l.den}^{-1}$,
- v horkých a venkovních provozech: $4,0 - 11,0 \text{ l.den}^{-1}$
- EF obvyklá frekvence expozice: $225 \text{ až } 250 \text{ dní.rok}^{-1}$ (u „rodinných farem“ až 350 dní.rok^{-1}) ED celoživotní expozice: 70 let
- předpoklad pobytu na jednom pracovním místě: 25 let
- BW průměrná váha dospělý: 70 kg

NÁHODNÁ INGESCE ZEMIN NEBO PRACHU

$$\text{CDI} = \text{CS} \times \text{IR} \times \text{CF} \times \text{FI} \times \text{EF} \times \text{ED} / (\text{BW} \times \text{AT})$$

- CDI chronický denní příjem ($\text{mg.kg}^{-1}.\text{den}^{-1}$)
- CS koncentrace kontaminantu v zemině, resp. v prachu (mg.kg^{-1})
- IR množství požití zeminy nebo prachu za den (mg.den^{-1})
- CF konverzní faktor pro přepočet jednotek kg a mg ($10^{-6} \text{ kg.mg}^{-1}$)
- FI podíl požití zeminy z kontaminovaných zdrojů (0 - 1, bezrozměrný)
- EF frekvence expozice (den.rok^{-1})
- ED trvání expozice (rok)
- BW váha těla (kg)
- AT doba průměrování (den)
- pro nekarcinogenní: ED (rok) x 365 dní.rok⁻¹, pro karcinogenní: 70 let x 365 dní.rok⁻¹

Nahodilá ingesce zemin či prachu

Obyvatelé - rezidenční a rekreační pobyt / náhodná ingesce zemin či prachu

- IR obvyklé množství požití zeminy děti: 100 až 250 mg.den⁻¹ (ve věku 1 - 6 let), nejčastěji používáno 200 mg.den⁻¹
obvyklé množství požití zeminy dospělí: venkovní pobyt 50 až 480 mg.den⁻¹, obvyklé množství požitého prachu děti: 50 až 100 mg.den⁻¹ (do 2,5 let), 3 mg.den⁻¹ (6 let); obvyklé množství požitého prachu dospělí - obytný prostor: 0,56 mg.den⁻¹; obvyklé množství požitého prachu dospělí - půdy, sklepy: 110 mg.den⁻¹
- CF konverzní faktor pro přepočet kg na mg: 10⁻⁶ kg.mg⁻¹
- FI množství požití zeminy z kontaminovaných zdrojů: 0 - 1 podle lokality (bezrozměrný)
- EF obvyklá frekvence expozice při rezidenčním pobytu (podle lokality je nutné uvažovat mrazové dny, dny se sněhovou pokrývkou, deštivé dny + dny pobytu mimo lokalitu): obvyklá maximální doba rezidenční expozice při venkovním pobytu: 274 dní.rok⁻¹. Obytný prostor - prach: 335 až 350 dní.rok⁻¹; obvyklá frekvence expozice při rekreačním pobytu: 45 - 75 dní.rok⁻¹
- ED celoživotní expozice: 70 let obvyklé trvání expozice - doba pobytu na jedné lokalitě dospělý: 24 let (+ 6 let dětství)
průměrná doba rekreačního pobytu na jedné lokalitě: 9 let
- BW průměrná váha dospělý: 70 kg

Ingesce zemin / prachu

Zaměstnanci - průmyslové areály / náhodná ingesce zemin při zemních či sanačních pracích

- IR obvyklé množství požití zeminy dospělí: 50 - 480 mg.den⁻¹, v běžných průmyslových areálech 50 mg.den⁻¹
- EF frekvence expozice: specificky podle charakteru prací obvykle první desítky dní.rok⁻¹ při nárazových výkopových pracích (nejčastěji 20 dní.rok⁻¹) pro stabilní charakter prací doporučuje EPA používat hodnotu 225 - 250 dní.rok⁻¹
- ED celoživotní expozice: 70 let; předpoklad pobytu na jednom pracovním místě: 25 let; předpoklad běžné expozice při sanačních pracích: 1 rok

INHALACE KONTAMINOVANÉHO VZDUCHU

$$\text{CDI} = \text{CA} \times \text{IR} \times \text{ET} \times \text{EF} \times \text{ED} / (\text{BW} \times \text{AT})$$

- CDI chronický denní příjem ($\text{mg.kg}^{-1}.\text{den}^{-1}$) CA koncentrace kontaminantu ve vzduchu (mg.m^{-3})

pozn.: při převodu z koncentrací v zeminách či vodách je nutné používat speciální výpočty

- IR inhalované množství ($\text{m}^3.\text{hod}^{-1}$)
- ET doba expozice (hod.den^{-1})
- EF frekvence expozice (den.rok^{-1})
- ED trvání expozice (rok)
- BW váha těla (kg)
- AT doba průměrování (den)
- pro nekarcinogenní: $\text{ED (rok)} \times 365 \text{ dní.rok}^{-1}$, pro karcinogenní: $70 \text{ let} \times 365 \text{ dní.rok}^{-1}$
-

INHALACE

Obyvatelé - rezidenční a rekreační pobyt / inhalace kontaminovaného vzduchu

- IR inhalované množství pro dospělé: obvykle je udáváno $20 \text{ m}^3.\text{den}^{-1}$, tedy $0,83 \text{ m}^3.\text{hod}^{-1}$; lze ale rozlišovat také podle charakteru činnosti v rozmezí cca $0,3 - 4,8 \text{ m}^3.\text{hod}^{-1}$ (viz tabulka 4.4 MP)
- inhalované množství u dětí do 6 let: v rozmezí $0,3 - 1,9 \text{ m}^3.\text{hod}^{-1}$
- ET doba expozice - celodenní pobyt: $21 - 24 \text{ hod}.\text{den}^{-1}$ resp. průměr $16,43 \text{ hod}.\text{den}^{-1}$ (je nutné rozlišovat podle pobytu ve vnitřním a vnějším prostředí, resp. v závislosti na místě kontaminace vzduchu a charakteru činnosti)
- EF frekvence expozice při rezidenčním pobytu: obvykle $335 - 350 \text{ dní}.\text{rok}^{-1}$ při rekreačním pobytu: $45 - 75 \text{ dní}.\text{rok}^{-1}$ ED celoživotní expozice: 70 let; maximální trvání expozice - doba pobytu na jedné lokalitě: 30 let (rozmezí 20 - 40 let); průměrná doba rekreačního pobytu na jedné lokalitě: 9 let; trvání expozice dětí (do věku 6 let): 6 let (průměrně 3 roky)
- BW průměrná váha dospělý: 70 kg; průměrná váha dítě od 1 do 6 let: 15 kg (je možné využít specifické hodnoty podle věku)

INHALACE

Zaměstnanci - průmyslové či zemědělské areály / inhalace v pracovním prostředí nebo kontakt s půdním vzduchem při zemních nebo sanačních pracích

- IR inhalované množství pro dospělé: průměrně $20 \text{ m}^3.\text{den}^{-1}$, tedy $0,83 \text{ m}^3.\text{hod}^{-1}$, ale při středně těžké a těžké práci je vhodné uvažovat vyšší hodnoty cca v rozmezí 2,1 - 3,9 $\text{m}^3.\text{hod}^{-1}$ (viz tabulka 4.4 MP)
- ET doba expozice: obvykle $8 \text{ hod}.\text{den}^{-1}$ (je však nutné rozlišovat délku pobytu v kontaminovaném území a mimo něj)
- EF frekvence expozice: obvykle $225 - 274 \text{ dní}.\text{rok}^{-1}$ (při nárazových zemních pracích obvykle pouze desítky dní ročně podle charakteru těchto prací, naopak při zemědělském využití - v „rodinných“ farmách až $350 \text{ dní}.\text{rok}^{-1}$)
- ED celoživotní expozice: 70 let; předpoklad pobytu na jednom pracovním místě: 25 let; předpoklad běžné expozice při sanačních pracích: 1 rok
- BW průměrná váha dospělý: 70 kg

DERMÁLNÍ KONTAKT S VODOU

$$\text{ADD} / \text{LADD} = \text{CW} \times \text{SA} \times K_p \times \text{ET} \times \text{EF} \times \text{ED} \times \text{CF} / (\text{BW} \times \text{AT})$$

- ADD/LADD průměrná denní/celoživotní denní absorbovaná dávka ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$)
- CW koncentrace kontaminantu ve vodě ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)
- SA povrch kůže (cm^2)
- K_p koeficient permeability průniku kůží ($\text{cm} \cdot \text{hod}^{-1}$)
- ET doba expozice ($\text{hod} \cdot \text{den}^{-1}$)
- EF frekvence expozice ($\text{den} \cdot \text{rok}^{-1}$)
- ED trvání expozice (rok)
- CF konverzní faktor ($0,001 \text{ l} \cdot \text{cm}^{-3}$)
- BW váha těla (kg)
- AT doba průměrování (den)
- pro nekarcinogenní: $\text{ED (rok)} \times 365 \text{ dní} \cdot \text{rok}^{-1}$, pro karcinogenní: $70 \text{ let} \times 365 \text{ dní} \cdot \text{rok}^{-1}$

Dermální kontakt s vodou

- **Obyvatelé - rezidenční a rekreační pobyt / dermální kontakt s vodou při plavání**
- SA obvykle udávaný povrch kůže: 18 000 cm² až 20 000 cm² (ženy: 16 900 cm², muži: 19 400 cm²) povrch kůže děti (do 6 let): 6 600 (podrobněji viz tabulka 4.2 MP)
- K_p pro anorganické látky odpovídá přibližně permeabilitě vody: 0,001 cm.hod⁻¹, pro organické látky je analogie s vodou použitelná omezeně - U.S. EPA (2004) doporučuje vycházet z Flynnovy databáze pro jednotlivé látky a používat predikované hodnoty K_p (viz EPA, 2004, tabulka B-3 MP)
- ET obvyklá doba expozice (při jedné události): 1 až 2,7 hod.den⁻¹
- EF obvyklá frekvence expozice: 7 až 45 dní.rok⁻¹ ED celoživotní expozice: 70 let; maximální trvání expozice - doba pobytu na jedné lokalitě: 30 let (rozmezí 20 - 40 let); průměrná doba rekreačního pobytu na jedné lokalitě: 9 let; trvání expozice dětí (do věku 6 let): 6 let (průměrně 3 roky)
- CF konverzní faktor pro přepočet litrů na cm³: 0,001 l.cm⁻³
- BW průměrná váha dospělý: 70 kg průměrná váha dítě od 1 do 6 let: 15 kg (je možné využít specifické hodnoty podle věku)

Dermální kontakt s vodou

Zaměstnanci v průmyslových, obchodních a zemědělských areálech / dermální kontakt s vodou při mytí

- SA uvažujeme-li pouze ruce a předloktí: cca 2 000 cm² (viz tabulka MP 4.2)
- ET obvyklá doba expozice: cca 0,2 - 0,5 hod.den⁻¹
- EF obvyklá frekvence expozice: 225 až 250 dní.rok⁻¹ (u „rodinných farem“ až 350 dní.rok⁻¹) ED celoživotní expozice: 70 let
- předpoklad pobytu na jednom pracovním místě: 25 let

Zaměstnanci - dermální kontakt s vodou při zemních případně sanačních pracích

- SA uvažujeme-li pouze ruce a převážné zastoupení mužů: cca 1 000 cm² (viz tabulka 4.2)
- ET obvyklá doba expozice při jedné události: 4 - 8 hod.den⁻¹
- EF frekvence expozice: specificky podle charakteru prací při zemních pracích obvykle první desítky dní.rok⁻¹ (nejčastěji 20 dní.rok⁻¹) při sanačních pracích až 250 dní.rok⁻¹
- ED celoživotní expozice: 70 let předpoklad pobytu na jednom pracovním místě: 25 let, při sanačních pracích 1 rok