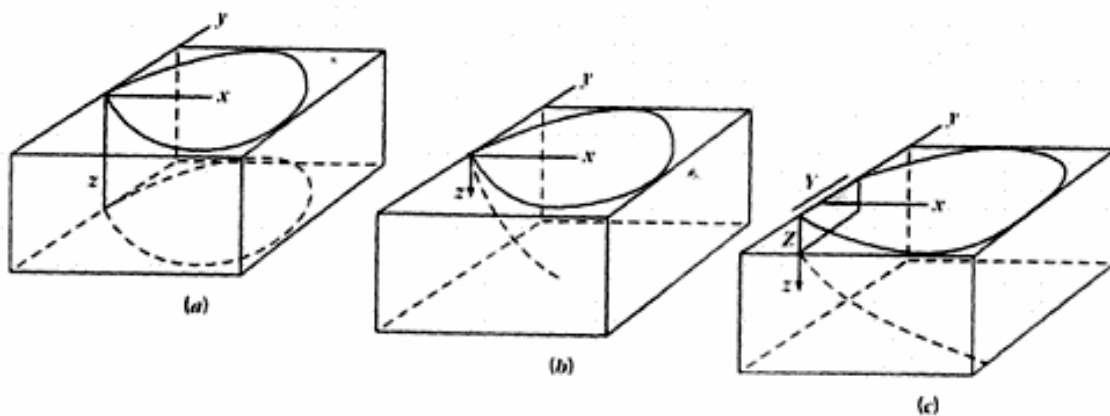


## ZDROJE KONTAMINACE

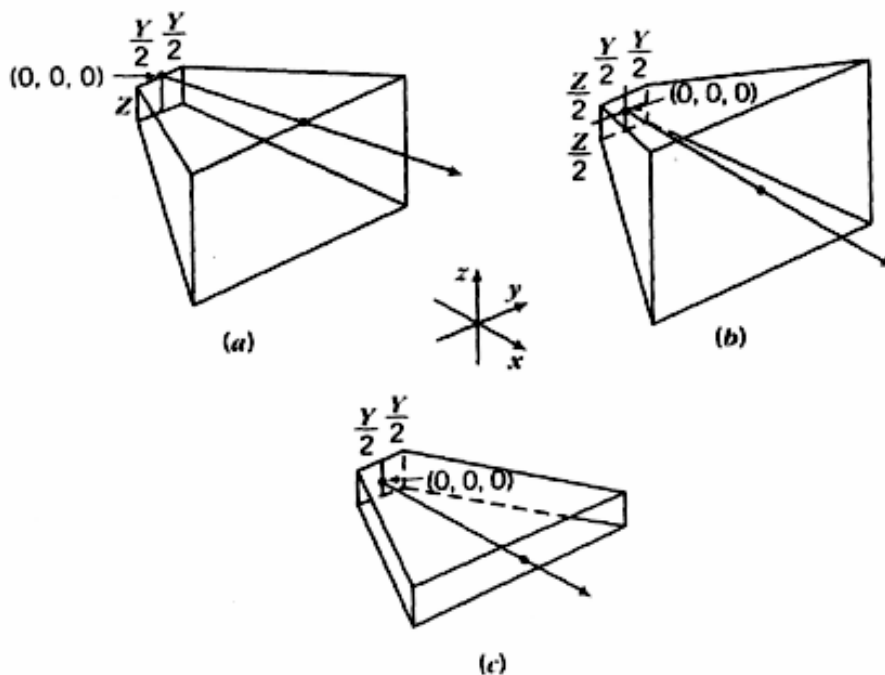
Před vlastním hodnocením zákonitostí migrace polutantů zvodněným horninovým prostředím, či řešením případných nápravných opatření, je třeba poznat základní způsoby, jakými se mohou polutanty vstupovat do horninového prostředí. Prostor, ve kterém dochází ke vstupu polutantů do horninového prostředí, označujeme jako **ohnisko**, případně též **zdroj znečištění** (*contamination source*). Zdroje kontaminace můžeme klasifikovat různým způsobem.

Jedním z významných způsobů klasifikace je hodnocení zdrojů podle jejich **geometrie**. Při **plošném zobrazení** jsou zdroje klasifikovány jako bodové, liniové a plošné. Za bodové zdroje zpravidla považujeme ty, jejichž plošný rozsah můžeme vzhledem k nesrovnatelně větší celkové ploše hodnoceného území považovat za zanedbatelný. Jde např. o podzemní zásobníky, injektované vrty, apod. Skutečné plošné rozsahy takových zdrojů se mohou pohybovat v metrech i desítkách metrů čtverečních. Typickým příkladem liniových zdrojů jsou například povrchové komunikace nebo produktovody. Příkladem plošných zdrojů jsou rozsáhlé skládky odpadů, zemědělsky intenzivně obdělávané plochy s četnou aplikací hnojiv, odvaly z důlních děl, spad kyselých dešťů, apod. Tento způsob klasifikace zdrojů kontaminace je však použitelný spíše při mapování. Naopak pro hodnocení kontaminace z hlediska její možné migrace či pro modelování transportu polutantů je nevhodný, protože nedostatečně popisuje reálný přírodní systém, který je trojrozměrný.

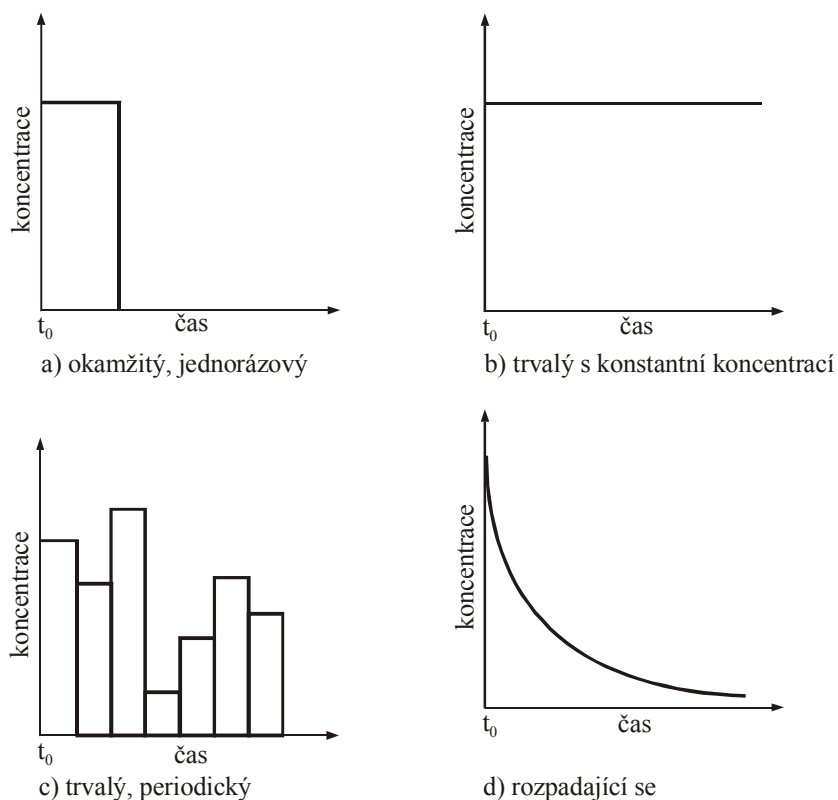
Protože při hodnocení migrace polutantů a modelování v **3-D prostředí** musíme uvažovat i vertikální rozměr domény, je běžněji používaná klasifikace geometrie zdrojů s použitím souřadnic os  $x$ ,  $y$  a  $z$ . Ta je naopak založená na popisu geometrie zdroje z hlediska jeho vertikálního rozsahu ve zvodněném prostředí. Základními geometrickými tvary zdrojů kontaminace mohou být zdroje liniové (obr. 1a), bodové (1b) a plošné (1c). V blokdíagramech je uvažován přítok podzemní vody levou stěnou a její odtok stěnou pravou. Liniový zdroj přitom nemusí procházet celou mocností zvodně, jak je ukázáno na obrázku, podobně bodový zdroj nemusí být situovaný při hladině podzemní vody. Potom se může výrazně uplatňovat právě vertikální šíření kontaminace, jak naznačují obrysy kontaminačních mraků na obrázcích. Příkladem liniového zdroje může být injektovaný vrt, bodového zdroje potom uložené barely s tekutým odpadem nebo podzemní zásobníky. Nejčastějším zdrojem je však zdroj plošný. Jeho plošný rozsah v rovině kolmé na směr proudění podzemní vody popisujeme hodnotami  $Y$  a  $Z$ . Hodnota  $Y$  charakterizuje příčnou šířku zdroje a hodnota  $Z$  vertikální výšku (mocnost) zdroje, obě hodnoty jsou nejčastěji zadávány v metrech. Podobně jako v předcházejících případech nemusí plocha ležet pouze při svrchním okraji domény. Rozhodující je vždy to, jakou plochou zdroj skutečně zasahuje do zvodněné vrstvy.



Obr. 1: Geometrie zdrojů kontaminace v 3-D prostředí



Zejména pro matematické řešení migrace polutantů z konkrétního zdroje je důležitá klasifikace zdrojů z hlediska jejich **vývoje v čase**, respektive charakteru uvolňování polutantů ze zdroje do podzemní vody. Zdroje mohou být jednorázové, trvalé, trvalé periodické a rozpadající se (obr. 2). Okamžitým, **jednorázovým zdrojem**, může být např. únik určitého objemu kapaliny (např. roztoku kyseliny, anorganických solí, apod.), která je po dosažení saturované zóny ihned transportována podzemní vodou. Příkladem **trvalého zdroje** s konstantními koncentracemi v čase jsou např. kapalná rezidua nebo volné fáze NAPL, nebo anorganické látky v pevných fázích, které se postupně rozpouští v podzemní vodě. Tento typ zdroje je však spíše hypotetický. Vzhledem k variabilitě hydrogeologických a zejména hydrogeochemických parametrů zpravidla nedochází k uvolňování konstantních koncentrací polutantů, které dosahují např. rozpustnosti pevných fází anorganických látek nebo organických kapalin. V praxi se však zavádí pro charakteristiku zdroje určité zjednodušení usnadňující výpočty, a proto je tento typ zdrojů považován za nejběžnější. **Trvalými periodickými zdroji** jsou zdroje, u kterých dochází k uvolňování proměnlivých koncentrací v čase v závislosti na dalším procesu – např. vymývání nesaturované zóny atmosférickými srážkami, vymýváním zdroje pouze při vyšších úrovních hladiny podzemní vody, změnami hydrogeochemických parametrů zvodněného prostředí, apod. Tento typ zdroje se nejvíce přibližuje realitě, v praxi však bývá často velmi obtížné definovat a popsat periodicitu zdroje. **Rozpadající se zdroje** jsou takové, u kterých dochází k trvalému postupnému poklesu koncentrací polutantů uvolňovaných do podzemní vody. Tento pokles lze charakterizovat rozpadovou konstantou zdroje. Její aplikace v transportních rovnicích potom umožňuje dosáhnout přesnějších výsledků simulací.



Obr. 2: Charakteristika zdrojů z hlediska jejich vývoje v čase

Ke vzniku kontaminace podzemních vod může dojít celou řadou potenciálních způsobů. Podle Fettera (1993) lze vyčlenit více než 30 potenciálních zdrojů kontaminace podzemních vod, respektive způsobů, jakými se mohou polutanty dostat do horninového prostředí a následně do podzemních vod.

## KATEGORIE I

### Zdroje navržené k ukládání látek

V těchto zdrojích jednak dochází k cirkulaci látek, to jsou např. septiky nebo trativody. Do této kategorie patří i injektované vrty, kam se ukládají nejčastěji tekuté odpady, podobně jsou však injektovány i roztoky v případě těžby nerostných surovin loužením, apod. Můžeme sem zařadit i potenciální zdroje, kde dochází k plošné aplikaci látek na povrchu – např. zavlažování, rozstřikování odpadních vod, apod.

## KATEGORIE II

### Zdroje navržené k ukládání, čištění nebo manipulaci s látkami – neplánované úniky

Mezi zdroje s touto charakteristikou patří především skládky, kam je deponován odpad nejrozličnějšího charakteru (průmyslové skládky, skládky komunálního odpadu, skládky nebezpečných odpadů, divoké skládky, lokální skládky malých rozsahů, apod.). Rozhodující pro případný vznik kontaminace je zejména to, zda se jedná o skládky řízené se zabezpečeným provozem (drenáže skládkových vod, těsnění bází a povrchů skládek, apod.), nebo skládky neřízené, kde hrozí vysoké riziko úniku polutantů. Podobně jako na skládkách jsou často dočasně ukládány i různé materiály, které nemají charakter odpadů, a to často na nezpevněných a nezabezpečených plochách (např. skládky uhlí – riziko kyselých výluhů). Mezi velmi rizikové zdroje dále patří v této kategorii zdrojů nadzemní a zejména podzemní zásobníky materiálů, zejména organických kapalin. Zejména starší typy podzemních zásobníků, které byly budovány jako jednoplášťové, jsou jedněmi z nejčastějších zdrojů

kontaminace podzemních vod. Rizikovými mohou být dále i plochy s cíleným spalováním odpadů nebo detonační prostory, podobně prostory určené výhradně k ukládání radioaktivního odpadu. Do této kategorie potenciálních zdrojů kontaminace podzemních vod je nutné zahrnout i pohřebiště.

### **KATEGORIE III**

#### **Zdroje navržené k transportu látek**

K úniku rizikových látek může dojít i při jejich transportu. Typickým příkladem je mechanické poškození produktovodů a s tím související úniky nejčastěji organických kapalin (ropa, benzín, apod.). I při aktivitách navazujících na transport může docházet k úniku látek, v těchto případech však spíše opakovaných úniků malých objemů polutantů. Příkladem jsou stáčiště pohonných hmot, apod.

### **KATEGORIE IV**

#### **Zdroje uvolňující polutanty jako součást jiných plánovaných činností**

Do této kategorie potenciálně rizikových činností vytvářejících možné zdroje kontaminace podzemních vod patří zejména řada činností souvisejících se zemědělskou výrobou – zavlažování, aplikace pesticidů a herbicidů. Současně je nutné uvažovat i s vlivem solení povrchových komunikací v zimním období, odtokem povrchových vod z městských aglomerací a jejich následnými úniky z netěsných kanalizačních sběračů. V některých oblastech je rizikový i spad atmosférických polutantů a také aktivity související s povrchovou a podzemní těžbou nerostných surovin.

### **KATEGORIE V**

#### **Zdroje propojující více zvodní nebo umožňující drenáž látek**

Rizikovými mohou být i činnosti, při kterých vznikají umělá propojení více zvodněných horizontů, nebo která umožňují migraci látek do původně izolovaných částí horninového prostředí. Typickými příklady jsou nedostatečně těsné těžební vrty, nebo průzkumné vrty nedostatečně utěsněné po skončení průzkumných prací. Podobně však může docházet k průniku kontaminace s povrchu do horninového prostředí v podstatě jakýmkoliv umělým hydrogeologickým objektem (monitorovací vrty, studny, apod.). Do této kategorie zdrojů je třeba zařadit i stavební jámy výkopy.

### **KATEGORIE VI**

#### **Zdroje přírodní jejichž rizikovost je aktivována lidskou činností**

Tyto zdroje v podstatě uměle vytváří především zásahy do přirozeného režimu podzemních vod. Příkladem je rozšíření infiltračních oblastí intenzivně jímáných zdrojů podzemních vod, které tak mohou obsahovat i plochy s výskytem jiných rizikových zdrojů nebo činností. Podobně může ohrozit kvalitu podzemní vody i změněná úroveň její hladiny. Příkladem mohou být rizika zatopení sklepních prostor nebo kontaktu podzemních vod s navážkami nebo odpady, které byly umístěny mělce pod povrchem terénu v období, kdy byly hladina podzemní vody snížena např. intenzivní vodárenskou exploatací mělkých zvodní. Známým problémem v oblastech s přímořskými oblastech je intruze mořské vody do vodárensky exploatovaných kolektorů a jejich znehodnocení.

Důsledkem obrovského množství aktivit, které vedou ke vzniku kontaminace podzemních vod, je i obrovská škála potenciálních kontaminantů, která dosahuje počtu tisíců až desítek tisíc různých sloučenin. Toto vysoké číslo je způsobeno zejména obrovským počtem různých typů organických sloučenin. Řadu z nich však není možné běžně

používanými laboratorními metodami detekce stanovit. Podle U.S.EPA je možné mezi prioritní, tedy nejběžnější řešené a rizikové kontaminanty, zařadit přibližně 130 látek. Klasifikovat do skupin můžeme kontaminanty z mnoha hledisek. Základním kritériem by ale mělo zohledňovat podobné fyzikálně-chemické vlastnosti kategorizovaných sloučenin, protože tyto vlastnosti zpravidla předurčují zákonitosti migrace sloučenin. Dalším používaným hlediskem může být ještě účelová klasifikace podle toho, jaké kontaminanty se zpravidla vyskytují společně - vzhledem k tomu, že se zde zpravidla aplikuje i přístup charakterizující ohnisko kontaminace, je tento přístup méně vhodný.

Specifickou skupinou kontaminantů jsou **radioaktivní látky**. Během těžby radioaktivních nerostných surovin se jedná zejména o  $^{238}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  a  $^{222}\text{Rn}$  (plyn), současně se do prostředí často uvolňují i stopové prvky a hlavní ionty, zejména síranové a chloridové. Při obohacování uranu vedoucímu ke zvyšování koncentrace  $^{235}\text{U}$  se do prostředí mohou uvolňovat  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  a  $^{137}\text{Cs}$ . Mnoho radionuklidů vzniká štěpením  $^{235}\text{U}$  a  $^{239}\text{Pu}$  ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^3\text{H}$  a  $^{131}\text{I}$ ). Celkem může vznikat až 75 různých radionuklidů.

Další významnou skupinou kontaminantů jsou **stopové kovy**. Stopové kovy zahrnují největší část periodické tabulky prvků – patří sem např. Al, Sb, As, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Li, Mn, Hg, Mo, Ni, Se, Ag, Sr, Sn, Ti, U, Zn. Stopové kovy mohou být uvolňovány do prostředí při celé řadě činností – těžba a zpracování rudních surovin, ukládání průmyslových odpadních vod, uvolňování z pevných odpadů nebo skládek komunálních odpadů nebo odpadů ze zemědělské výroby a při spalování fosilních paliv.

Skupinou kontaminantů, která je prakticky výhradně spojena se zemědělskou výrobou, jsou tzv. **živiny**. Do této skupiny látek patří ionty nebo organické sloučeniny obsahující dusík a fosfor. Hlavními kontaminanty jsou zde ionty dusičnanové a amonné. Sloučeniny obsahující dusík a fosfor mohou být uvolňovány i z odpadních vod.

Za určitých podmínek mohou být kontaminanty i **ostatní anorganické sloučeniny**, kationy i aniony, které se běžně v přírodních zvodních vyskytují ve vyšších koncentracích než stopových. Jedná se o Ca, Mg, Na, hydrogenuhličitanové a uhličitanové ionty, halogenidové ionty, sírany, apod. Většina z těchto iontů se dominantně podílí na látkovém složení podzemních vod a jejich salinitě. Negativní zdravotní účinky těchto iontů při jejich vysokých koncentracích nejsou ve srovnání s ostatními skupinami kontaminantů tak závažné. Vysoké koncentrace těchto iontů mohou být uvolňovány ze skládek, při zpracování rudních nerostných surovin a ropy, úniky průmyslových odpadních vod, apod.

Zdaleka nejrozsáhlejší skupinou kontaminantů jsou organické látky. Významnou skupinou jsou zejména **ropné uhlovodíky** a jejich deriváty, které jsou produkovány při frakční destilaci ropy. Podle bodu varu můžeme ropné uhlovodíky klasifikovat do třech kategorií. Sloučeniny mají v rámci těchto podobné fyzikálně-chemické vlastnosti. S výjimkou některých uhlovodíků s dlouhými řetězci (složky dehtu a kreosotových olejů) patří většina sloučenin k látkám typu LNAPL.

- 1. sloučeniny s bodem varu nižším než 220°C** (především benzín):  $\text{C}_4 - \text{C}_{12}$  alkany,  $\text{C}_4 - \text{C}_7$  alkeny, monoaromatické uhlovodíky (látky skupiny BTX- benzen, toluen, xyleny, styren),  $\text{C}_3$  a  $\text{C}_4$  benzeny – dobře rozpustné ve vodě, nízká tendence k sorpci – velmi mobilní
- 2. sloučeniny s bodem varu 220 – 310°C** (letecký benzín, nafta, lehký topný olej):  $\text{C}_{10} - \text{C}_{24}$  alkany,  $\text{C}_3$  a  $\text{C}_5$  benzeny, naftaleny a anthraceny – špatně rozpustné ve vodě
- 3. sloučeniny s bodem varu nad 310°C** (motorové a mazací oleje, dehet):  $\text{C}_{20} - \text{C}_{78}$  alkany, polyaromatické uhlovodíky (PAU) – prakticky nerozpustné ve vodě, silná tendence k sorpci – velmi málo mobilní

Jedněmi z nejsledovanějších skupin kontaminantů jsou **halogenované uhlovodíky**, které můžeme dělit na alifatické a aromatické. Základem alifatických halogenovaných uhlovodíků

jsou zpravidla molekuly metanu, etanu, etylénu nebo propanu, v nichž jsou různé počty atomů chloru nahrazeny halogeny (především chlorem, méně i fluorem nebo bromem). Mezi běžné kontaminanty patří tetrachloroetylén (PCE), trichlóretylén (TCE), tetrachlormetan (CT) a trichloretan (TCA).