

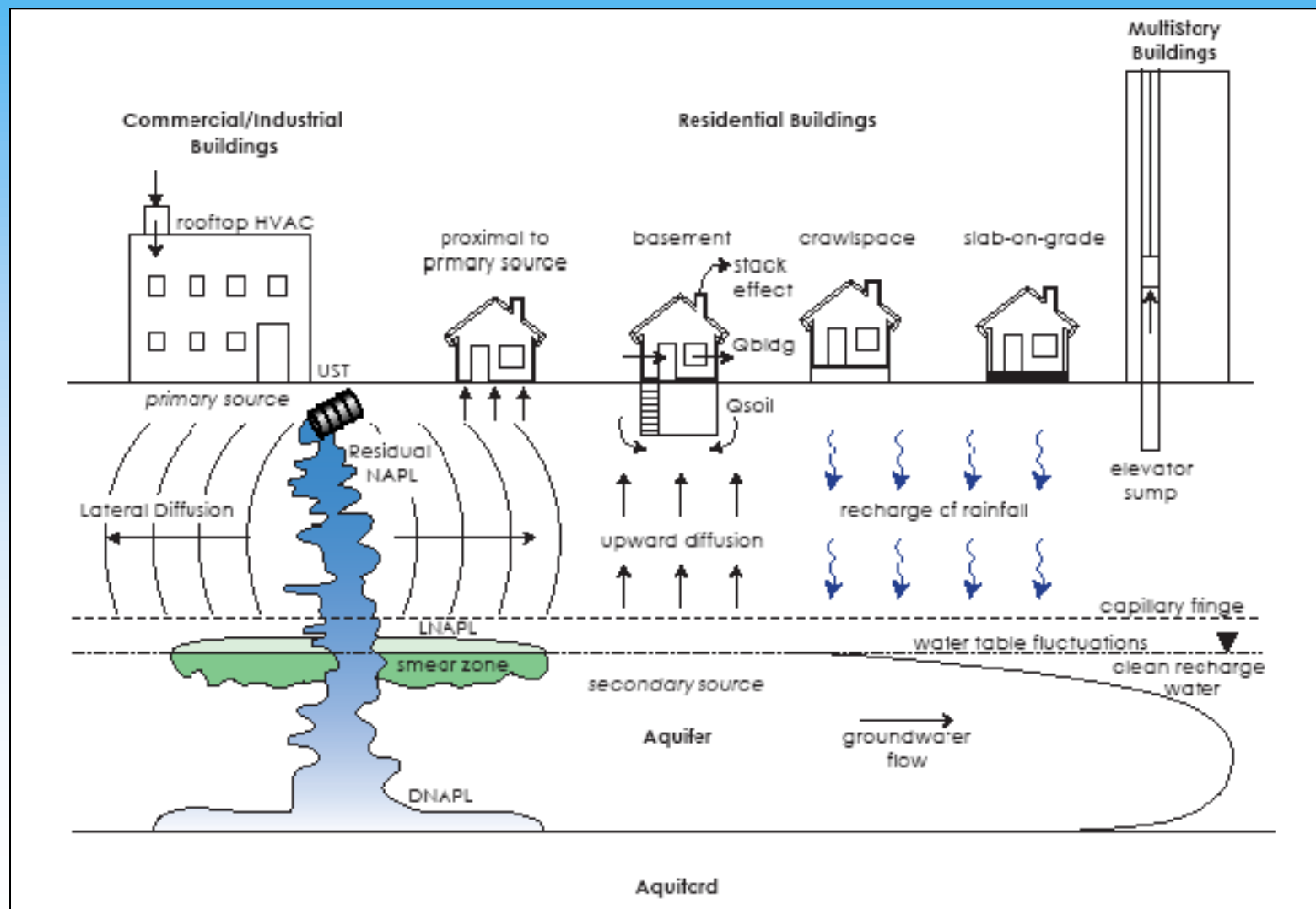
Analýza rizik kontaminovaného území v ČR a SR

Posouzení šíření znečištění

Mgr. Petr Kozubek

ENACON s.r.o.

Schéma možností šíření znečištění



Posouzení šíření znečištění

Poněkud odlišný přístup mezi ČR a Slovenskem

Česko

- Benevolence ve volbě postupu – „.....v rámci kvantifikace migrace lze využívat postupy jednoduchých numerických výpočtů až 3D matematických modelů“
- Požadavek na strukturovaný postup:
 - nesaturovaná zóna
 - saturovaná zóna
 - ohrožení povrchových vod

Slovensko

- Hodnocení aktuálnosti environmentálního rizika
 - V biologické kontaktní zóně
 - Šíření podzemní vodou – „využití krokové metody“
 - Ohrožení povrchových vod

Posouzení šíření znečištění ČR

- **Šíření znečištění v nesaturované zóně**

Nesaturovaná zóna tvoří komunikační prostředí mezi zdrojem znečištění a kolektorem podzemních vod.

V této zóně dochází k pohybu polutantů především vlivem proudění prosakující vody (infiltrujícím podílem srážek) a hydrodynamickou disperzí. Zároveň zde dochází k sorpci kontaminantů na pevných částicích horninového prostředí a ke změnám koncentrace a charakteru znečištění vlivem mikrobiálních, chemických a dalších procesů.

U těkavých látek může v nesaturované zóně docházet k šíření znečištění ve formě par těchto látek.

V obvyklých případech bývá šíření posuzováno pouze kvalitativně.

Šíření znečištění v nesaturované zóně

Může zjištěné znečištění v nesaturované zóně ovlivnit :

- kvalitu podzemní vody ?
- kvalitu ovzduší ?
 - Vnitřní prostory budov (intruze par do budov)
 - Venkovní prostředí
 - Průnik par
 - Tvorba prachu

Šíření znečištění v nesaturované zóně

- Kvalitativní posouzení
 - Distribuce znečištění zemin (pokles stavu znečištění směrem do hloubky)
 - Typ kontaminantu – těkavé x netěkavé
 - Mocnost nesaturované zóny
 - Charakter pokryvu (eliminace infiltrace atmosférických srážek i průniku par do ovzduší)
- Přímá měření
 - Stav znečištění podzemní vody x vzduchu

Šíření znečištění v nesaturované zóně

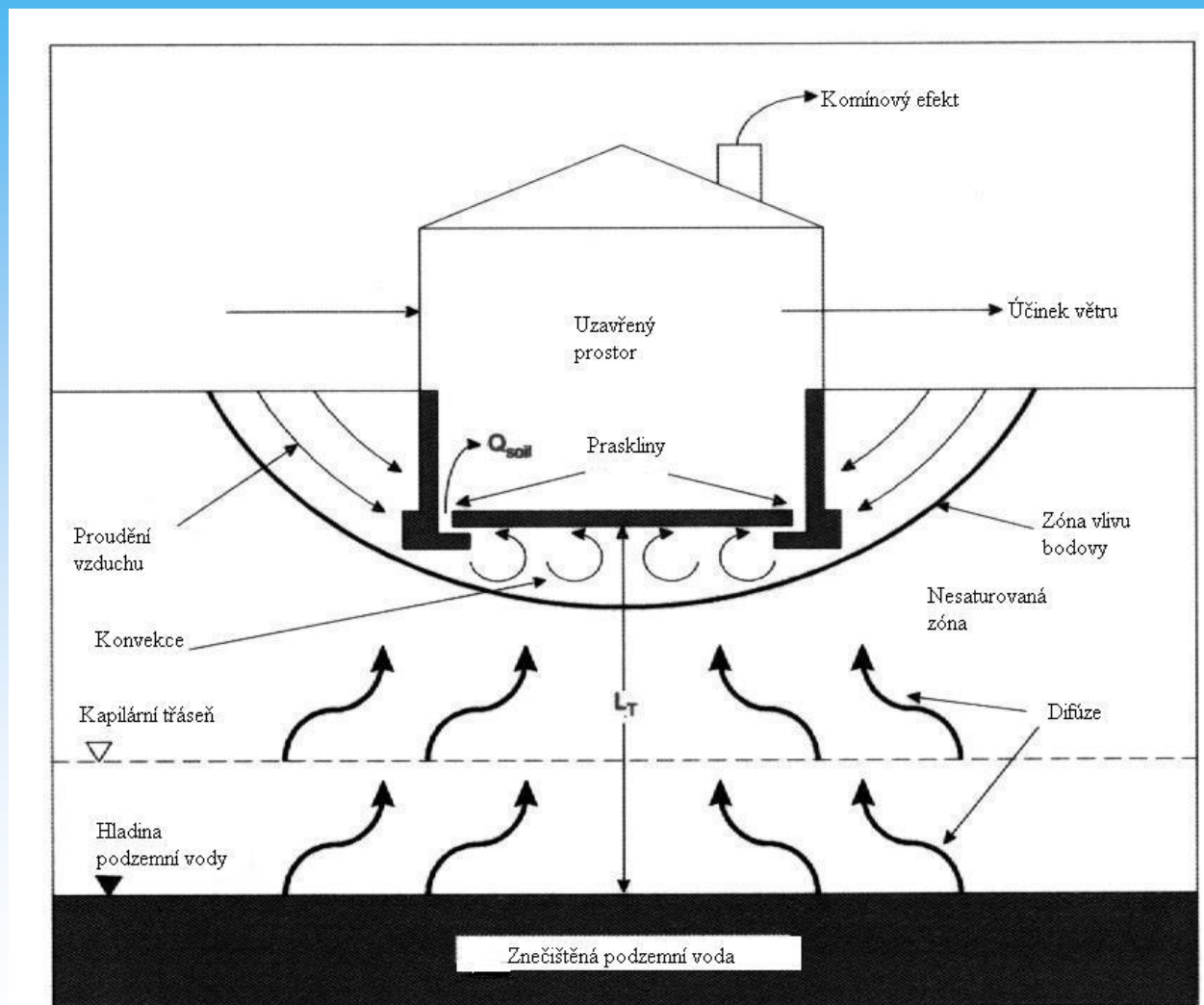
- Vyluhovatelnost
 - Rozdělovací koeficient zemina – voda K_D

$$K_D = \frac{C_s}{C_L}$$

Čím vyšší hodnota K_D tím vyšší schopnost sorpce a tedy nižší vyluhovatelnost a menší riziko pro ovlivnění kvality podzemní vody

- Vysoká vyluhovatelnost - $K_D < 1000$ l/kg
- Střední vyluhovatelnost - $K_D > 1000$ a $< 10\,000$ l/kg
- Nízká vyluhovatelnost - $K_D > 10\,000$ l/kg

Intruze par těkavých látek do budov



Posouzení šíření znečištění

- **Šíření znečištění v saturované zóně**
- Šíření znečištění ve volné fázi (LNAPL x DNAPL)
- Šíření znečištění rozpuštěné ve vodě

Polutanty, které jsou rozpuštěny ve vodě, se v saturované zóně šíří advekčně disperzním pohybem, který je ovlivňován sorpcí kontaminantu na částice horninového prostředí, biodegradačními procesy a různými chemickými procesy, případně sanačními zásahy.

Pro kvantifikaci používány

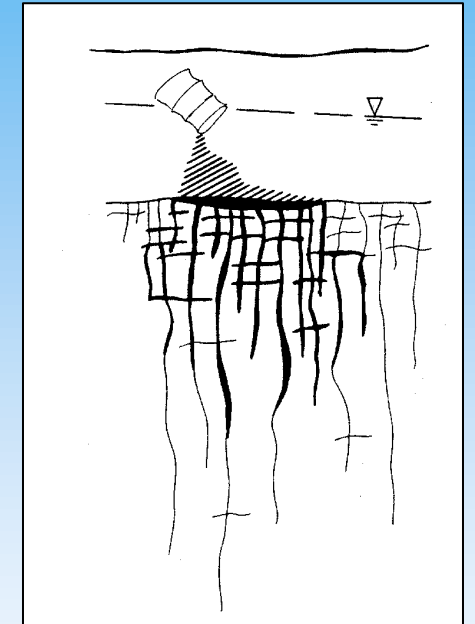
- Numerické modely transportu znečištění
- Analytické 2D modely (např. BIOSCREEN, BIOCHLOR)
- Analytické řešení na základě Darcyho zákona

Volná fáze CIU

- Výskyt volné fáze lze předpokládat v případě zjišťovaných koncentrací v podzemní vodě v úrovni 1 % jejich tabulkové rozpustnosti (TCE 1100 mg/l, PCE 200 mg/l)
- Vzhledem ke své hustotě mají tendenci pronikat saturovanou zónou až na nepropustné podloží a v depresích na jeho povrchu se akumulovat jako „kaluže“ volné fáze.
- Během tohoto průniku saturovanou zónou může docházet k zadržování CIU kapilárními silami v pórech horninového prostředí (reziduální znečištění může obsadit až 15 % objemu pórů, kterými CIU pronikají směrem k nepropustnému podloží).
- Rychlost rozpouštění volné fáze CIU je ovlivněna rychlostí proudění podzemní vody, charakteristikami horninového prostředí (disperzivita, pórovitost) a rozměry „kaluže“ volné fáze CIU.
- Pankow a Cherry (1996) odhadují dobu rozpouštění 1,5 m dlouhé, 0,5 m široké a 0,2 m mocné kaluže volné fáze CIU při rychlosti proudění podzemní vody $0,75 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$ na 50 až 100 let.

Volná fáze CIU

- K migraci volné fáze může dojít několika způsoby:
 - (1) jestliže je kaluže CIU na svažující se nepropustné vrstvě, bude se kaluže šířit ve směru gravitačního gradientu bez ohledu na směr proudění podzemní vody;
 - (2) jestliže je kaluže CIU na nepropustné vrstvě, která je rozpukaná, budou CIU zatekat do těchto diskontinuit;
 - (3) jestliže je nepropustná vrstva tvořena především jílovitými minerály, může podle některých autorů (např. Brown a Daniel, 1988) docházet k chemické interakci CIU a jílovitých minerálů způsobující porušení nepropustné vrstvy. Podle jiných autorů (např. Pankow a Cherry, 1996) je však interakce CIU a jílovitých minerálů v saturované zóně nepravděpodobná.
- Dlouhou dobu rozpouštění lze předpokládat zejména u volné fáze zateklé do sevřených puklin s minimálním pohybem podzemní vody.



Analytické řešení transportu znečištění

v - filtrační rychlost

$$v = k \times I$$

v_s – skutečná rychlost

$$v_s = \frac{v}{n_e}$$

v_s – skutečná rychlost kontaminantu

$$v_r = \frac{v_s}{R}$$

$$R = 1 + \frac{\rho_b}{n} K_d$$

$$K_d = K_{oc} \times f_{oc}$$

BIOCHLOR Natural Attenuation Decision Support System

Version 2.2

Excel 2000

Pátek

Styl_1_kalibrace

Run Name

Data Input Instructions:

115

↑ or

0,02

1. Enter value directly....or
2. Calculate by filling in gray cells. Press Enter, then **C**

(To restore formulas, hit "Restore Formulas" button)

Variable* → Data used directly in model.

Test if
Biotransformation
is Occurring

Natural Attenuation
Screening Protocol

TYPE OF CHLORINATED SOLVENT:

Ethenes



Ethanes



1. ADVECTION

Seepage Velocity*

Vs

32,8 (ft/yr)

or

Hydraulic Conductivity

K

1,8E-02 (cm/sec)

Hydraulic Gradient

i

0,0012 (ft/ft)

Effective Porosity

n

0,2 (-)

2. DISPERSION

Alpha x*

65,6 (ft)

(Alpha y) / (Alpha x)*

6,56 (-)

(Alpha z) / (Alpha x)*

1,E-99 (-)

3. ADSORPTION

Retardation Factor*

R

or

Soil Bulk Density, rho

2,2 (kg/L)

Fraction Organic Carbon, foc

2,7E-3 (-)

Partition Coefficient

Koc

PCE

95 (L/kg)

TCE

61 (L/kg)

DCE

86 (L/kg)

VC

22 (L/kg)

ETH

98 (L/kg)

Common R (used in model)* =

3,55

4. BIOTRANSFORMATION

Zone 1

PCE → TCE

TCE → DCE

DCE → VC

VC → ETH

Zone 2

PCE → TCE

TCE → DCE

DCE → VC

VC → ETH

-1st Order Decay Coefficient*

λ (1/yr)

0,070

0,385

0,198

2,567

0,139

0,000

0,000

0,000

half-life (yrs)

9,90

1,80

3,50

0,27

5,00

Yield

0,79

0,74

0,64

0,45

5. GENERAL

Simulation Time*

50 (yr)

Modeled Area Width*

100 (ft)

Modeled Area Length*

1000 (ft)

Zone 1 Length*

1000 (ft)

Zone 2 Length*

0 (ft)

L

W

Zone 2=

6. SOURCE DATA

Source Options

TYPE: Continuous
Single Planar

Source Thickness in Sat. Zone*

10 (ft)

Y1

Width* (ft)

20

Conc. (mg/L)*

C1

PCE

57,0

TCE

287,0

DCE

74,7

VC

2,4

ETH

k_s*

(1/yr)

0

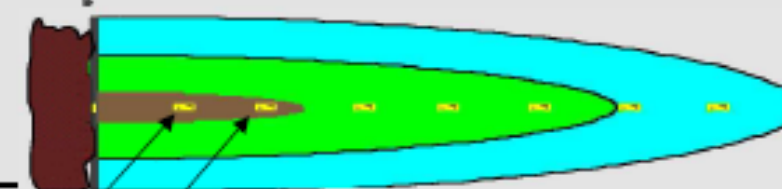
0

0

0

0

0



View of Plume Looking Down

Observed Centerline Conc. at Monitoring Wells

7. FIELD DATA FOR COMPARISON

PCE Conc. (mg/L)

57,0

TCE Conc. (mg/L)

287,0

DCE Conc. (mg/L)

74,7

VC Conc. (mg/L)

2,4

ETH Conc. (mg/L)

Distance from Source (ft)

0

Date Data Collected

2010

	107	628	004	002	001	0	0			
	105	156	035	024	011	001	0			
	485	194	513	041	022	006	0			
	123	084	037	0	0	0	0			

8. CHOOSE TYPE OF OUTPUT TO SEE:

RUN CENTERLINE

RUN ARRAY

Help

Restore

RESET

SEE OUTPUT

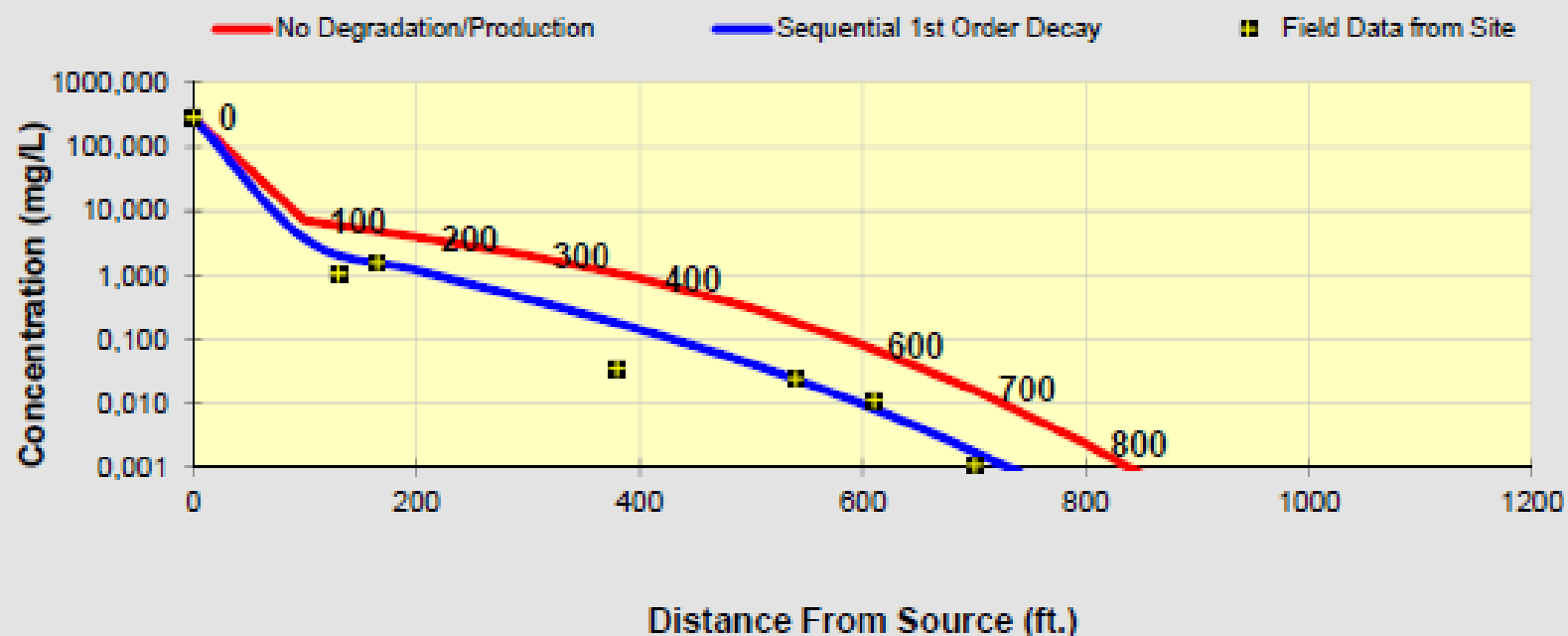
Paste

λ
HELP

DISSOLVED CHLORINATED SOLVENT CONCENTRATIONS ALONG PLUME CENTERLINE (mg/L) at Z=0

TCE	Distance from Source (ft)										
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
No Degradation	287,000	7,067	3,923	2,058	0,898	0,309	0,081	0,016	0,002	0,000	0,000
Biotransformation	287,0000	3,657	1,195	0,426	0,143	0,041	0,010	0,002	0,000	0,000	0,000

	Monitoring Well Locations (ft)									
	0	130	165	380	540	610	700	850		
Field Data from Site	287,000	1,050	1,560	0,035	0,024	0,011	0,001	0,000		



See PCE

See TCE

See DCE

See VC

See ETH

Replay

Time:

25,0 Years

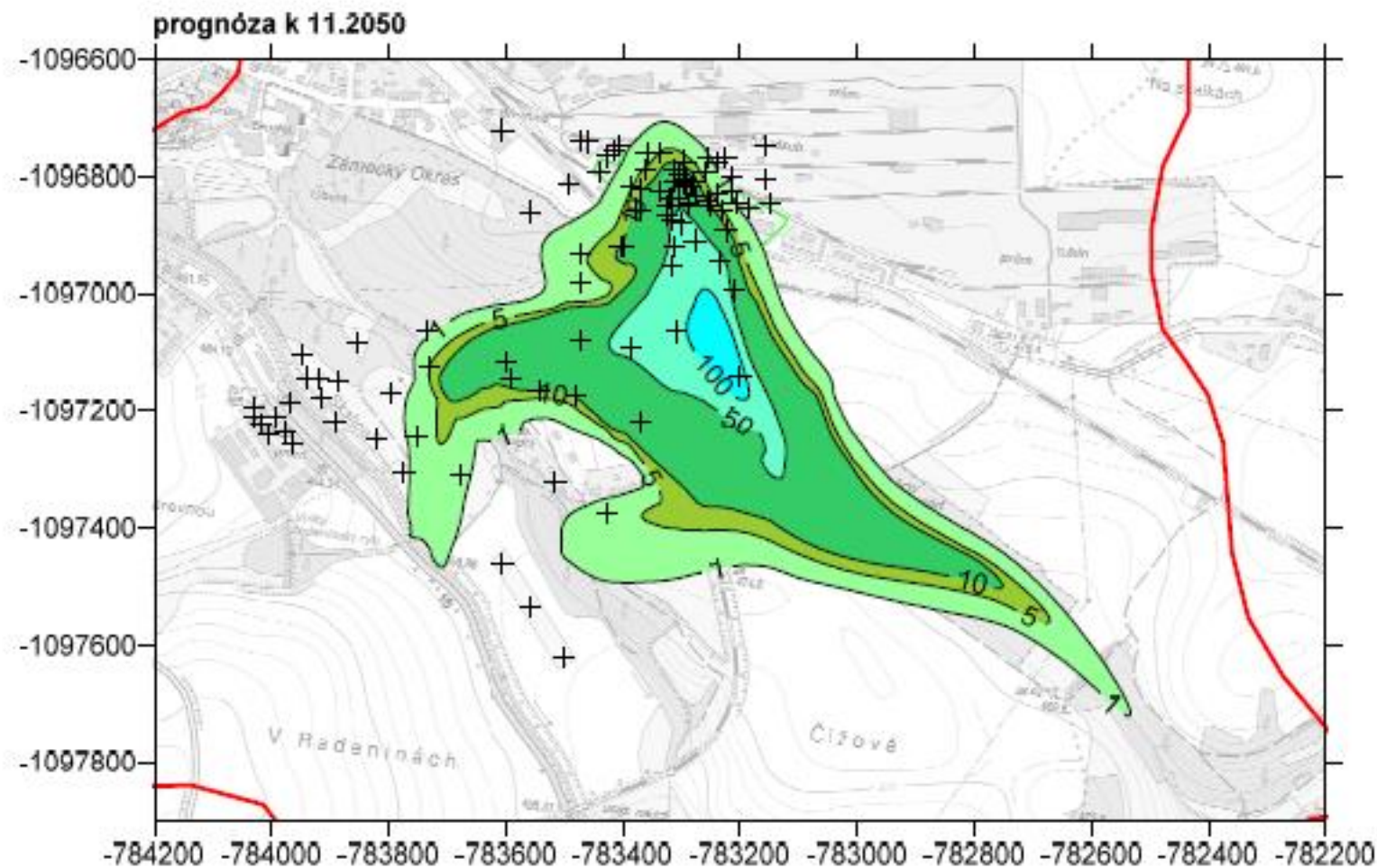
Log $\longleftrightarrow$ Linear

Return to
Input

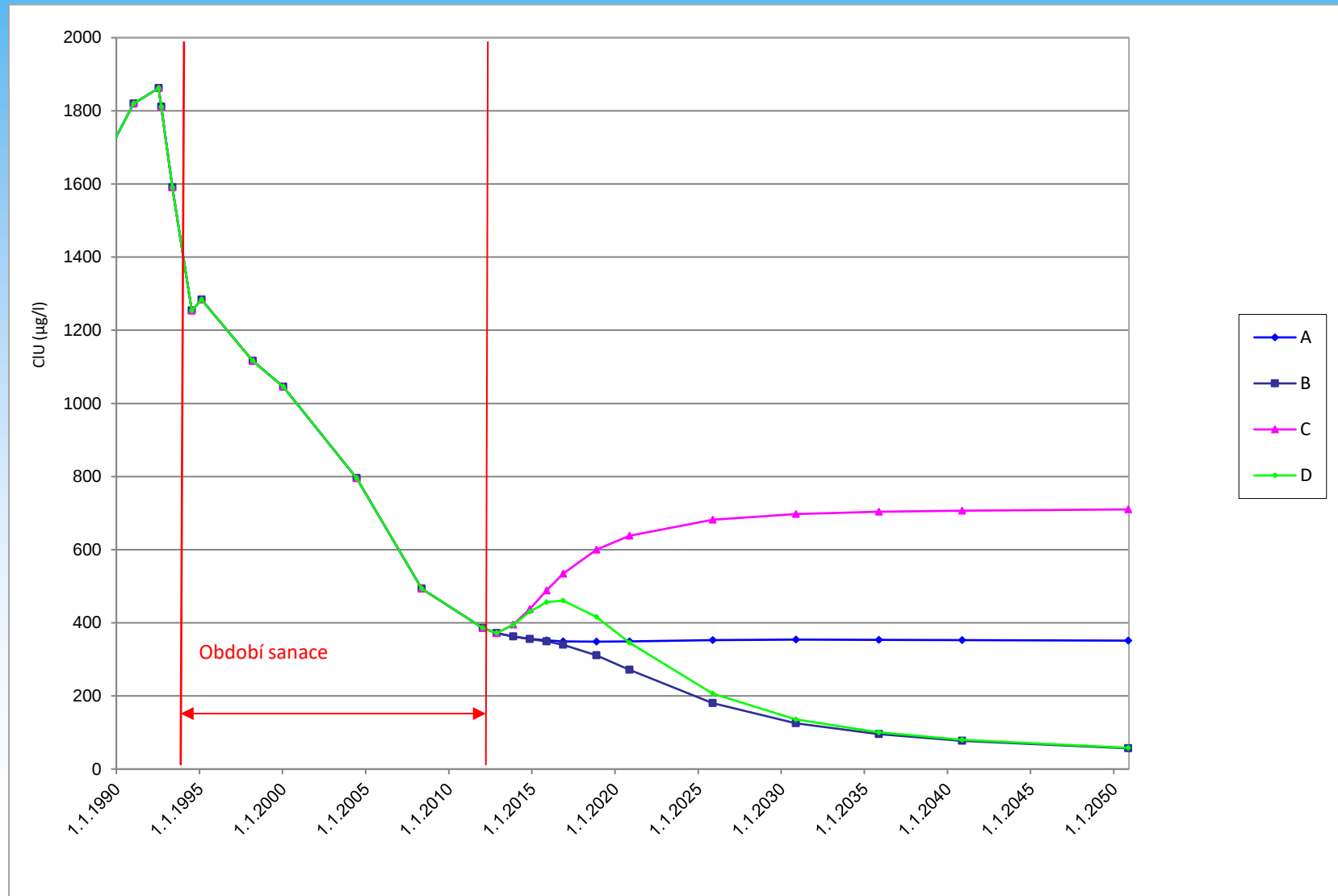
To All

To Array

Numerické modely transportu znečištění



Numerické modely transportu znečištění



Posouzení šíření znečištění

- **Charakteristika vývoje znečištění z hlediska procesů přirozené atenuace**

Posoudit/objasnit zda:

- Je kontaminační mrak ve fázi rozšiřování, stagnace či zmenšování
- Nedochozí k tvorbě nebezpečných meziproduktů
- Odhad budoucího chování kontaminačního mraku – charakterizace úbytku a případně rychlosti odbourávání znečištění v horninovém prostředí

Nástroje:

- Posouzení vývoje znečištění porovnáním aktuálních dat s daty z předchozích průzkumů
- Posouzení charakteru hydrochemických a mikrobiologických podmínek

Charakteristika vývoje znečištění

- Nezbytnost časové řady dat z monitoringu
 - doporučována min. 4 kola monitoringu, nejlépe po dobu 2 let
 - Využití jednoduchých statistických testů
 - Posouzení stability kontaminačního mraku
 - Grafické zpracování
- Jaká je však realita ?

Charakteristika vývoje znečištění

- Realita ?
 - Hodnocení na základě „prvoprůzkumů“
 - Předchozí průzkumy různě omezeny:
 - V plošném rozsahu
 - V rozsahu sledovaných analytů
 - Hodnocení na základě provozního sanačního monitoringu
 - Dočasná změna hydrogeologických podmínek (např. sanační čerpání)
 - Dočasná změna hydrochemických podmínek (aplikace různých substrátů, zásak přečištěné (okysličené) vody apod.)

Screeningové posuzování systém SINAS (TNO, 2001)

Kritérium	Body
Dechlorace	
> 80%	4
60 – 80%	3
30 – 60%	2
< 30%	1
Charakterizace redox podmínek	
prostředí redukující sírany/ methanogenní prostředí	3
prostředí redukující Fe/Mn	2
prostředí redukující dusičnany	1
Rozpuštěný org. uhlík	
> 10 mg/l	3
5 až 10 mg/l	2
< 5 mg/l	1

Šíření znečištění povrchovými vodami

Průtok podzemní vody vs. průtok povrchové vody (355-denní průtok)

$$Q_{gw} = v \times M \times f$$

Směšovací rovnice

$$C_{sw} = C_{gw} \frac{Q_{gw}}{Q_{gw} + Q_{sw}}$$

Metodický pokyn pro zpracování AR na Slovensku

Hodnocení environmentálního rizika

Hodnocení aktuálnosti environmentálního rizika pro receptory v kontaktní zóně - příloha 5a

Jednoduchý test aktuálnosti environmentálního rizika

Nachází se kontaminant v *kontaktní zóně* (zóně do hloubky 1-1,5 m)?

Kritériá hodnotenia environmentálneho rizika podľa využitia územia

Skupina využitia územia	Využitie územia	Znečistená plocha územia, v ktorej sú koncentrácie znečisťujúcej látky <10xLC50	Znečistená plocha územia, v ktorej sú koncentrácie znečisťujúcej látky >10xLC50
1.	Prírodné a zvlášť citlivé oblasti (chránené územia, prírodné parky, školské zariadenia, ihriská, ...)	>500 m ²	50 - 500 m ²
2.	Poľnohospodárstvo Domy s bytmi a záhrady Rekreácia, oddychové zóny	>5 000 m ²	>500 m ²
3.	Stavby, priemysel, infraštruktúra Nevyužívané lokality	>500 000 m ²	>5 000 m ²

Jednoduchý test aktuálnosti environmentálneho rizika

Hodnotenie environmentálneho rizika pre receptory v kontaktnej zóne

Názov lokality	XXX						
typ znečistenia = názov znečisťujúcej látky	LC 50**	IT	Nameraná hodnota (NH)	Prekročenie limitu (PL)	Znečis. plocha	Využitie územia	Hodnot. rizika*
	mg.kg ⁻¹ .suš	mg.kg ⁻¹ .suš	mg.kg ⁻¹ .suš	NH/IT alebo NH/LC 50	m ²	skup. 1, 2 alebo 3	ÁNO/ NIE
N1*							
N2*							
...							

Hg
NEL
PAU

20	720	36x	600	3	NE
1000	7 500	7,5x	90 000	3	NE
640	1 700	2,65x	2 500	3	NE

Hodnocení aktuálnosti rizika šíření podzemní vodou - příloha 5b

- Test spočívá v odpovědích na následujících 5 otázek:
 1. Je na hladině anebo pod hladinou podzemní vody přítomna volná fáze znečišťující látky?
 2. Přechází kontaminant horninovým prostředím ve vertikálním směru?
 3. Lze předpokládat šíření kontaminantu nesaturovanou zónou v horizontálním směru?
 4. Je množství kontaminované podzemní vody nad úroveň ID větší než 1000 m^3 anebo nad IT větší než 100 m^3 ?
 5. Je přírůstek znečištění podzemní vody za 1 rok větší než 100 m^3 ?

Alespoň jedna kladná odpověď předpokládá existenci rizika a je nutné provést výpočty rizika šíření znečištění

Hodnocení aktuálnosti rizika šíření podzemní vodou - příloha 5b

5. Je přírůstek znečištění podzemní vody za 1 rok větší než 100 m³ ?

Roční přírůstek kontaminace RPK:

$$RPK = P * v_p / R \text{ [m}^3\text{/rok]}$$

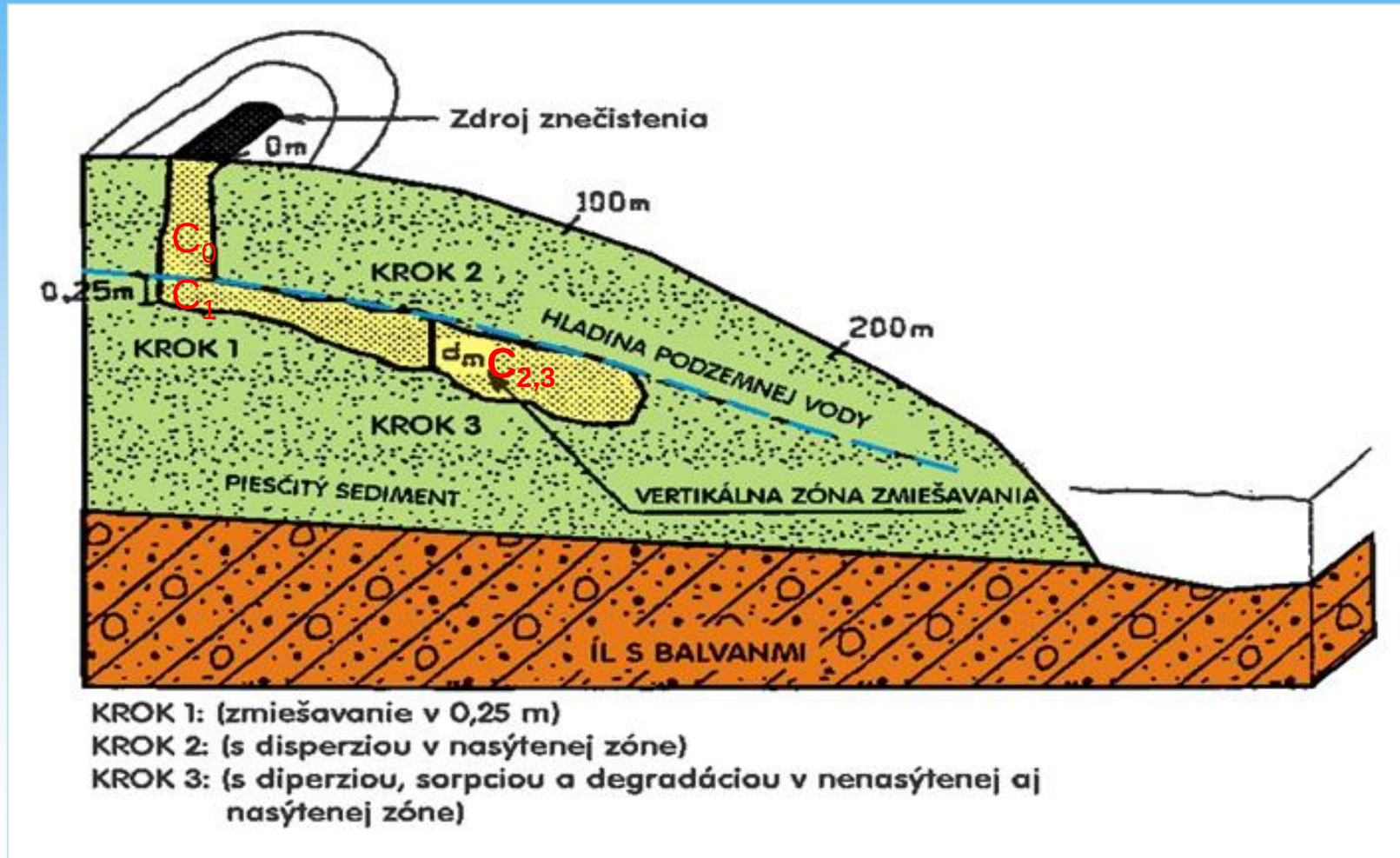
Výpočet rizika šíření znečištění podzemní vodou (1)

- Zdroj znečištění představuje riziko šíření znečištění podzemní vodou tehdy, když v referenčním bodě a referenčním čase bude koncentrace kontaminantu rovná nebo vyšší než je hodnota kritéria kvality pro podzemní vodu
- Výskyt volné fáze představuje riziko i bez dalších výpočtů a minimálně ta část znečištění, která se nachází ve volné fázi by měla být odstraněna

Výpočet rizika šíření znečištění podzemní vodou (2)

- Postup výpočtu rizika šíření znečištění podzemní vodou se skládá z následujících kroků:
 - Určení aktuálnosti, rozsahu a délky doby působení primárního zdroje znečištění
 - Stanovení distribuce a mobility kontaminantu v nesaturované zóně v blízkosti zdroje znečištění - **stanovení koncentrace C_0** (maximální koncentrace kontaminantu ve **vodě v pórech nesaturované zóny**)
 - Stanovení rozsahu a intenzity přenosu kontaminantu z nesaturované zóny v blízkosti zdroje do podzemní vody – **koncentrace C_1**
 - Výpočet koncentrace kontaminantu rozpuštěného v podzemní vodě v referenčním místě a v referenčním čase - **koncentrace C_2 a C_3**
- Optimální je výpočet pomocí matematického modelování, jinak je nutno použít tzv. krokovou metodu

Výpočet rizika šíření znečištění podzemní vodou (3)



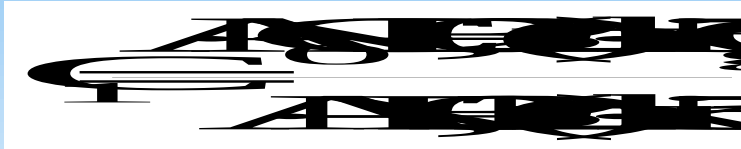
Výpočet rizika šíření znečištění podzemní vodou (4)

Stanovení koncentrace C_0 (maximální koncentrace kontaminantu ve **vodě v pórech nesaturované zóny**)

- Měřením
- Výpočtem – rovnováha mezi jednotlivými fázemi přítomnými v nesaturované zóně
- **Jako výluh ze zeminy**
- Hodnota rozpustnosti dané látky

Výpočet rizika šíření znečištění podzemní vodou (5)

Stanovení rozsahu a intenzity přenosu kontaminantu z
nesaturované zóny v blízkosti zdroje do podzemní vody –
koncentrace C_1



kde:

C_0 je koncentrácia pri zdroji (ML^{-3})

C_g je prirodzený pozadový obsah kontaminantov v podzemnej vode (ML^{-3})

A je veľkosť znečisteného územia (L^2)

N je plošná infiltrácia (LT^{-1})

B je šírka kontaminovaného územia (počítané vo vzťahu ku smeru prúdenia) (L)

k je koeficient filtrácie zvodnenca (LT^{-1})

i je hydraulický gradiend (bezrozmerný).

Výpočet rizika šíření znečištění podzemní vodou (6)

Stanovení rozsahu a intenzity přenosu kontaminantu z nesaturované zóny v blízkosti zdroje do podzemní vody –
koncentrace C_1 – varianta 2 (naměřená koncentrace)

$$C_1 = C_{1,\text{měřené}} \times L / 0,25$$

L – je délka perforované části vrtu / rozkvyv hladiny podzemní vody (m)

Příklad:	$C_{1,\text{měřené}}$	= 100 mg/l
	L	= 0,5 m
	C_1	= 200 mg/l

Výpočet rizika šíření znečištění podzemní vodou (7)

- Výpočet koncentrace kontaminantu rozpuštěného v podzemní vodě v referenčním místě a v referenčním čase - **koncentrace C_2**

$$C_2 = C_1 \times 0,25 / d_m$$

$$d_m = \sqrt{\frac{72}{900} \cdot a_L \cdot v_p \cdot t}$$

kde

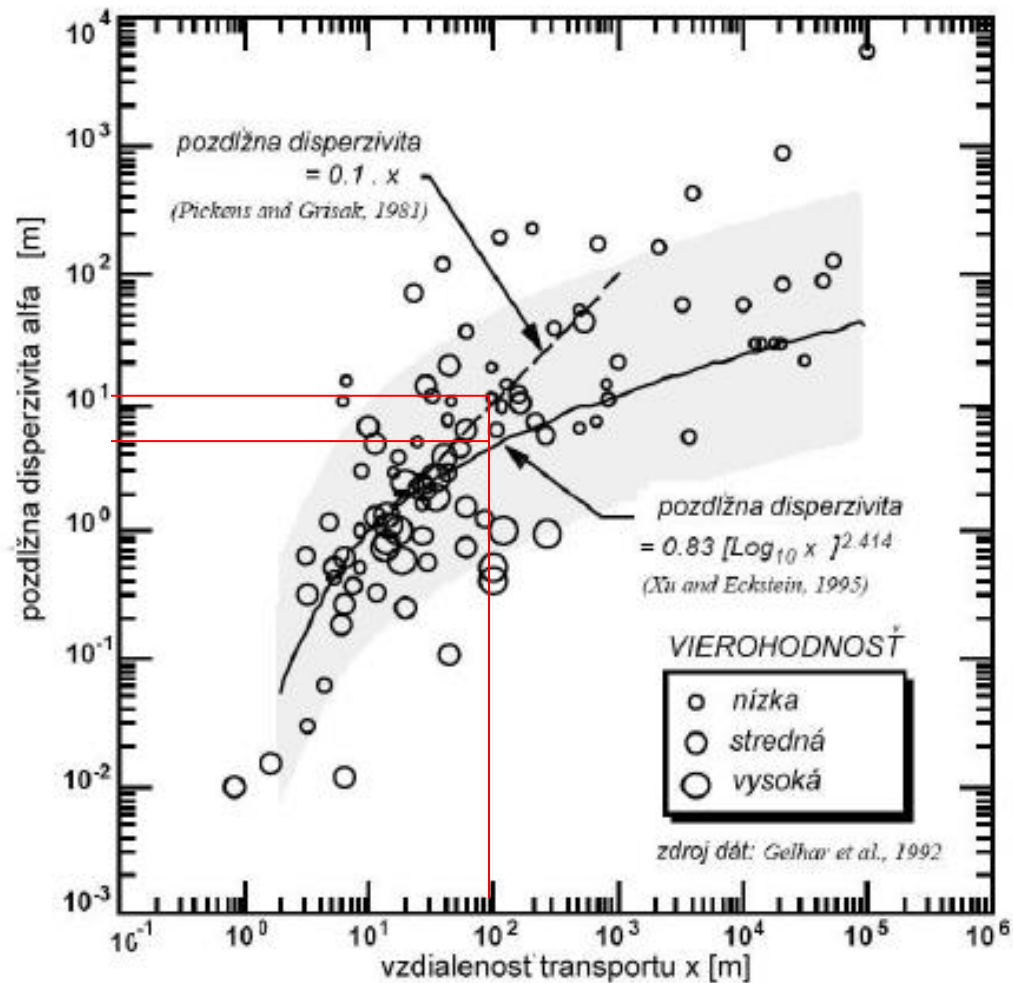
d_m je mocnost zóny míšení

a_L je podélná disperzivita (m),

v_p je filtrační rychlost (m/s)

t je čas proudění podzemní vody od zdroje znečištění

Výpočet rizika šíření znečištění podzemní vodou (8)



Příklad: $C_1 = 200 \text{ mg/l}$
 $a_L = 10 \text{ m}$
 $v_p = 10 \text{ m/rok}$
 $t = 1 \text{ rok}$
 $d_m = 8,9 \text{ m} > 5 \text{ m}$
 $C_2 = 10 \text{ mg/l}$

Výpočet rizika šíření znečištění podzemní vodou (9)

- Výpočet koncentrace kontaminantu rozpuštěného v podzemní vodě v referenčním místě a v referenčním čase - **koncentrace C_3** – zohlednění degradace a případně dalších atenuačních procesů

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

k_1 je degradační konstanta reakce 1. řádu [den^{-1}],
 t je délka průběhu procesu degradace [den].

Příklad: $C_2 = 10 \text{ mg/l}$
 $k \text{ (pro TCE)} = 0,008 \text{ den}^{-1}$
 $t = 365 \text{ dní}$
 $C_3 = 0,54 \text{ mg/l}$



IT pro TCE = 0,05 mg/l



Nutná sanace

Výpočet rizika ve vztahu k povrchovým vodám

Referenčním bodem je břeh řeky – C_3

Směšovací rovnice

$$C_{sw_1} = \frac{C_{gw} Q_{gw} + C_{sw_0} Q_{sw}}{Q_{gw} + Q_{sw}}$$

Referenční místa

- **Referenční místo 1** – 100 m od zdroje ($\leq IT$)
- **Referenční místo 2** – na hranici průmyslového areálu resp. k místu změny využití území ($\leq ID$)
- **Referenční místo 3** – ochranné pásmo vodního zdroje (limit pro pitnou vodu)
- **Referenční místo 4** – břeh povrchového toku (limity pro povrchovou vodu)

Methodes for Inventories of Co

C:/Users/kozubek/Enacon/AR/Swedish%20Guidelines.pdf

Methodes for Inventories of Contaminated Sites - Environmental Quality criteria Gu...39 / 138150%

37

TABLE 7.

Principles for the classification of migration potential

Paths and rates of migration

Migration potential for

Path/medium	Slight	Moderate	Large	Very large
From buildings, constructions	None	<5 %/yr	5-50 %/yr	>50 %/yr
In soil & groundwater	None	<0.1 m/yr	0.1–10 m/yr	>10 m/yr
From soil & groundwater to surface water	>1000 yrs	1000–100 yrs	100–10 yrs	<10 yrs
In surface water*	None	<0.1 km/yr	0.1–10 km/yr	>10 km/yr
In sediments	None	<0.1 m/yr	0.1–10 m/yr	>10 m/yr

*So diluted that concentrations never reach toxic level

fine sand, sandy-silty moraines, sandy moraines, mixed and fine-grained

Vyhledat100%5°C Oblačno3:25