

# TECHNICKÉ NORMY A EKONOMIKA PŘIROZENÉ ATENUACE

Vít Matějů

ENVISAN-GEM, a.s., Biotechnologická  
divize, Radiová 7, 102 31 Praha 10

[envisan@grbox.cz](mailto:envisan@grbox.cz)

# PROTOKOLY, NORMY,.....

- První protokol – draft 1994 – vydání v roce 1995 – Todd Wiedermeier a kol., Brooks AFB, San Antonio, TX – letecká paliva (AFCEE)
- U.S. Army – 1995
- Todd Wiedermeier a kol., 1998 (vydaný U.S. EPA) – chlorované ethyleny

# PROTOKOLY, NORMY,.....

- Protokoly pro posuzování procesů přirozené atenuace – od roku 1994
- AFCEE, U.S. EPA, U.S. Army, U.S. Air Force, DoE, GWRTAC, státní ministerstva a mnoho dalších
- Protokolů je k dispozici několik desítek
- Kritéria nejsou vždy srovnatelná

# PROTOKOLY, NORMY,.....

- R.D. Wilson, S.F. Thornton, A. Hüttmann, M. Gutierrez-Neri, H. Slenders (2005): CoronaScreen: PROCESS-BASED MODELS FOR NATURAL ATTENUATION ASSESSMENT Guidance for the application of NA assessment screening models. This guidance and the associated CoronaScreen decision support spreadsheet tool were prepared as part of the CORONA project, funded by the European Commission under the Fifth Framework programme (contract number EVK1-CT-2001-00087).
- Todd H. Wiedemeier, Matthew A. Swanson, David E. Moutoux, E. Kinzie, John T. Wilson, Barbara H. Wilson, Donald H. Kampbell, Patrick E. Haas, Ross N. Miller, Jerry E. Hansen, Francis H. Chapelle, (1998): TECHNICAL PROTOCOL FOR EVALUATING NATURAL ATTENUATION OF CHLORINATED SOLVENTS IN GROUND WATER, United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, EPA/600/R-98/128
- ITRC (1999): TECHNICAL/REGULATORY GUIDELINES, Natural Attenuation of Chlorinated Solvents in Groundwater: Principles and Practices, Interstate Technology and Regulatory Cooperation Work Group In Situ Bioremediation Work Team, Industrial Members of the Remediation Technologies Development Forum
- ASTM (2010): Standard Guide for Remediation of Ground Water by Natural Attenuation at Petroleum Release Sites, ASTM E1943 - 98(2010)

# PROTOKOLY, NORMY,.....

- NHDES, 1999. *Guidelines for Selection of Natural Attenuation for Groundwater Restoration*. New Hampshire Department of Environmental Services, Waste Management Division, October 1999. MPCA, 1999. *Guidelines: Natural Attenuation of Chlorinated Solvents in Ground Water*. Minnesota Pollution Control Agency, Site Remediation Section.
- Navy, 1998. *Technical Guidelines for Evaluating Monitored Natural Attenuation of Petroleum Hydrocarbons and Chlorinated Solvents in Ground Water at Naval and Marine Corps Facilities*. Department of the Navy, September 1998.
- NCDWM, 2000. *Guidance on Developing a Monitored Natural Attenuation Remedial Proposal for Chlorinated Organics in Ground Water*. North Carolina Division of Waste Management, Hazardous Waste Section, October 2000.

# PROTOKOLY, NORMY,.....

- AFCEE, 1999. *Natural Attenuation of Chlorinated Solvents Performance and Cost Results from Multiple Air Force Demonstration Sites*. Technology Demonstration Technical Summary Report, Air Force Center for Environmental Excellence, Technology Transfer Division, October 1999.
- AFCEE, 2000. *Designing Monitoring Programs to Effectively Evaluate the Performance of Natural Attenuation*. Air Force Center for Environmental Excellence, Technology Transfer Division, Brooks Air Force, San Antonio, Texas, January 2000.
- U.S. Department of the Army (1995): *Natural Attenuation for Environmental Restoration Interim Army Policy*

# PROTOKOLY, NORMY,.....

**ASTME E1943** *Standard Guide for Remediation of Ground Water by Natural Attenuation at Petroleum Release Sites* pro implementaci přirozené atenuace byla poprvé vydána v roce 1998 a aktualizována v roce 2004 a v roce 2010.

# PROTOKOLY, NORMY,.....

## ASTME E1943

Přirozenou atenuaci nelze pokládat za presumptivní sanační postup. Pro rozhodnutí, zda přirozená atenuace je vhodnou alternativou pro lokalitu kontaminovanou ropnými uhlovodíky je třeba provést její charakterizaci, zhodnotit potenciál přirozené atenuace, posoudit dosažitelnost sanačních limitů a vzít v úvahu další okolnosti. **Je nezbytné prokázat, že bude dosaženo sanačních limitů a aplikace přirozené atenuace povede ke snižování koncentrace polutantů!!**



# PROTOKOLY, NORMY,.....

## ASTME E1943

V normě jsou zmíněny tři druhy důkazů toho, že přirozená atenuace probíhá. Jsou formulovány téměř totožně jako v protokolech jiných institucí. Primární důkazy proto, že remediace přirozenou atenuací probíhá je redukce velikosti kontaminačního mraku a snižování koncentrace polutantu v lokalitě. Sekundární důkazy poskytují geochemické indikátory přirozené degradace a odhady atenuačních rychlostí. Doplnkové – např. mikrobiologie.

# PROTOKOLY, NORMY,.....

## **ASTME E1943** rozhodovací proces

- charakterizace lokality
- výběru polutantů významných pro lokalitu
- stanovení sanačních limitů
- zhodnocení stavu kontaminačního mraku
- sběru a hodnocení doplňkových dat
- porovnání účinnosti remediac přirozenou atenuací a sanačních limitů
- porovnání remediac přirozenou atenuací a jinými sanačními technikami
- implementace kontinuálního monitorovacího programu
- hodnocení pokroku remediac přirozenou atenuací

# PROTOKOLY, NORMY,.....

## ASTME E1943 – 7 příloh

- Příloha č. 1 popisuje procesy účastníci se přirozené atenuace
- Příloha č. 2 shrnuje požadavky na charakterizaci lokality a implementaci monitoringu pro remediaci přirozenou atenuací
- Příloha č. 3 popisuje zásady designu a implementace monitoringu sanace přirozenou atenuací
- Příloha č. 4 popisuje zásady vzorkování a analytické metody pro stanovení indikátorových parametrů pro sanaci přirozenou atenuací
- Příloha č. 5 popisuje interpretaci různých druhů důkazů jako indikátorů přirozené atenuace
- Příloha č. 6 popisuje metody hodnocení a kvantifikaci rychlostí přirozené atenuace
- Příloha č. 7 uvádí příklady problémů, které mohou vzniknout při aplikaci a implementaci sanace přirozenou atenuací

Analysis	Concentration in Most Contaminated Zone	Interpretation	Value
Oxygen*	<0.5 mg/L	Tolerated, suppresses the reductive pathway at higher concentrations	3
Oxygen*	>5 mg/L	Not tolerated; however, VC may be oxidized aerobically	-3
Nitrate*	<1 mg/L	At higher concentrations may compete with reductive pathway	2
Iron II*	>1 mg/L	Reductive pathway possible; VC may be oxidized under Fe(III)-reducing conditions	3
Sulfate*	<20 mg/L	At higher concentrations may compete with reductive pathway	2
Sulfide*	>1 mg/L	Reductive pathway possible	3
Methane*	<0.5 mg/L	VC oxidizes	0
	>0.5 mg/L	Ultimate reductive daughter product, VC Accumulates	3
Oxidation Reduction Potential* (ORP) against Ag/AgCl electrode	<50 millivolts (mV)	Reductive pathway possible	1
	<-100mV	Reductive pathway likely	2
pH*	5 < pH < 9	Optimal range for reductive pathway	0
	5 > pH >9	Outside optimal range for reductive pathway	-2
TOC	> 20 mg/L	Carbon and energy source; drives dechlorination; can be natural or anthropogenic	2
Temperature*	> 20°C	At T >20°C biochemical process is accelerated	1
Carbon Dioxide	>2x background	Ultimate oxidative daughter product	1
Alkalinity	>2x background	Results from interaction between CO <sub>2</sub> and aquifer minerals	1
Chloride*	>2x background	Daughter product of organic chlorine	2
Hydrogen	>1 nM	Reductive pathway possible, VC may accumulate	3
Hydrogen	<1 nM	VC oxidized	0
Volatile Fatty Acids	> 0.1 mg/L	Intermediates resulting from biodegradation of more complex compounds; carbon and energy source	2
BTEX*	> 0.1 mg/L	Carbon and energy source; drives dechlorination	2
Tetrachloroethene		Material released	0
Trichloroethene*		Material released	0
		Daughter product of PCE	2 <sup>a/</sup>
DCE*		Material released	0
		Daughter product of TCE	2 <sup>a/</sup>
		If cis is > 80% of total DCE it is likely a daughter product	
		1,1-DCE can be chemical reaction product of TCA	
VC*		Material released	0
		Daughter product of DCE	2 <sup>a/</sup>
1,1,1-Trichloroethane*		Material released	0
DCA		Daughter product of TCA under reducing conditions	2
Carbon Tetrachloride		Material released	0
Chloroethane*		Daughter product of DCA or VC under reducing conditions	2
Ethene/Ethane	>0.01mg/L	Daughter product of VC/ethene	2
	>0.1 mg/L		3
Chloroform		Material released	0
		Daughter product of Carbon Tetrachloride	2
Dichloromethane		Material released	0
		Daughter product of Chloroform	2

\* Required analysis. a/ Points awarded only if it can be shown that the compound is a daughter product (i.e., not a constituent of the source NAPL).

# VYHODNOCENÍ KRITÉRIÍ

- Interpretace bodového hodnocení

Skóre	Interpretace
0 až 5	Nedostatečný důkaz pro anaerobní biodegradaci <sup>+</sup> chlorovaných látek
6 až 14	Omezený důkaz pro anaerobní biodegradaci <sup>+</sup> chlorovaných látek
15 až 20	Adekvátní důkaz pro anaerobní biodegradaci <sup>+</sup> chlorovaných látek
> 20	Silný důkaz pro anaerobní biodegradaci <sup>+</sup> chlorovaných látek
<sup>+</sup> reduktivní dechlorace	

# VYHODNOCENÍ KRITÉRIÍ - PŘÍKLAD

Parametr	Koncentrace v ohnisku	Skóre
Rozpuštěný kyslík	0,1 mg/l	3
Dusičnany	0,3 mg/l	2
Fe <sup>2+</sup>	10 mg/l	3
Sířany	2 mg/l	2
Methan	5 mg/l	3
Redox potenciál	- 190 mV	2
Chloridy	3 x pozadí	2
PCE (polutant)	1000 µg/l	0
TCE (produkt transformace)	1200 µg/l	2
cis-DCE (produkt transformace)	500 µg/l	2
VC (produkt transformace)	50 µg/l	2
	Celkem bodů	23



# VYHODNOCENÍ KRITÉRIÍ - PŘÍKLAD

Parametr	Koncentrace v ohnisku	Skóre
Rozpuštěný kyslík	3 mg/l	-3
Dusičnany	0,3 mg/l	2
Fe <sup>2+</sup>	Nezjištěno	0
Sířany	10 mg/l	2
Methan	Nezjištěn	0
Redox potenciál	+ 100 mV	0
Chloridy	pozadí	0
TCE (polutant)	1200 µg/l	0
cis-DCE (produkt transformace)	Nezjištěn	0
VC (produkt transformace)	Nezjištěn	0
	Celkem bodů	1

# KROKY POSUZOVÁNÍ

Krok 1: Prokaž, zda probíhá v zájmové lokalitě biodegradace. Pokud ano, pokračuje se v prokazování a zjišťování dalších kroků

Krok 2: Urči jaké je proudění podzemní vody a jaký je transport polutantů

Krok 3: Lokalizuj ohnisko znečištění a receptory

Krok 4: Urči biodegradační rychlost

Krok 5: Porovnej rychlost transportu s rychlostí atenuace

Krok 6: Urči, jestli jsou splněna screeningová kritéria



# DVĚ ZÁSADNÍ OTÁZKY

1. Urazil kontaminační mrak kratší vzdálenost než by se dalo očekávat na základě známých (nebo odhadnutých) časů od doby, kdy se kontaminant do podzemí dostal a rychlosti pohybu kontaminantu v podzemní vodě, jak bylo vypočteno z měření hydraulické vodivosti a hydraulického gradientu na lokalitě a odhadu specifické porozity a retardace kontaminantu?

# DVĚ ZÁSADNÍ OTÁZKY

2. Je pravděpodobné, že polutanty na lokalitě jsou atenuovány rychlostmi dostatečnými pro dosažení sanačních limitů za čas, který je rozumný ve srovnání s ostatními alternativními sanačními metodami?

# DVĚ ZÁSADNÍ OTÁZKY

Pokud jsou odpovědi na předchozí otázky

„ano“,

je možné pokračovat s provozní aplikací přirozené atenuace.

# ROZHODOVACÍ PODPŮRNÝ SYSTÉM

	<b>AKTIVITY, KTERÉ JE TŘEBA PROVÉST V RŮZNÝCH STUPNÍCH HODNOCENÍ</b>	<b>ROZHODNUTÍ S OHLEDEM NA POUŽITÍ PŘIROZENÉ ATENUACE JAKO SANAČNÍ TECHNOLOGIE</b>
č. 1	Analýza dat (rychlý přehled) - dostupná historická data - zajištění dalších dat (na lokalitě či v laboratoři)	Existuje možnost pro použití přirozené atenuace jako sanační metody? <i>Ano – pokračujte do druhého stupně</i>
č. 2	Transportní model a osud polutantu - za předpokladu, že se přirozená atenuace objevuje (snižování množství polutantu s časem) - předpověď chování kontaminačního mraku	Bude přirozená atenuace dostatečně účinná a v rozumném čase? <i>Ano – pokračujte do třetího stupně</i>
č. 3	Diskuse se správnými orgány - zvážení politických a praktických aspektů	Je možné přirozenou atenuaci akceptovat na dané lokalitě? <i>Ano – pokračujte do čtvrtého stupně</i>
č. 4	Implementace přirozené atenuace - sestavení vhodné monitorovací strategie se zaměřením na verifikaci předpověděného chování kontaminačního mraku a ochranu potenciálních receptorů	Nakonec může být monitoring zastaven.

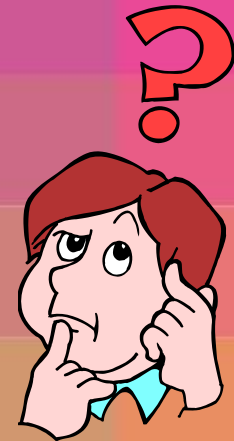
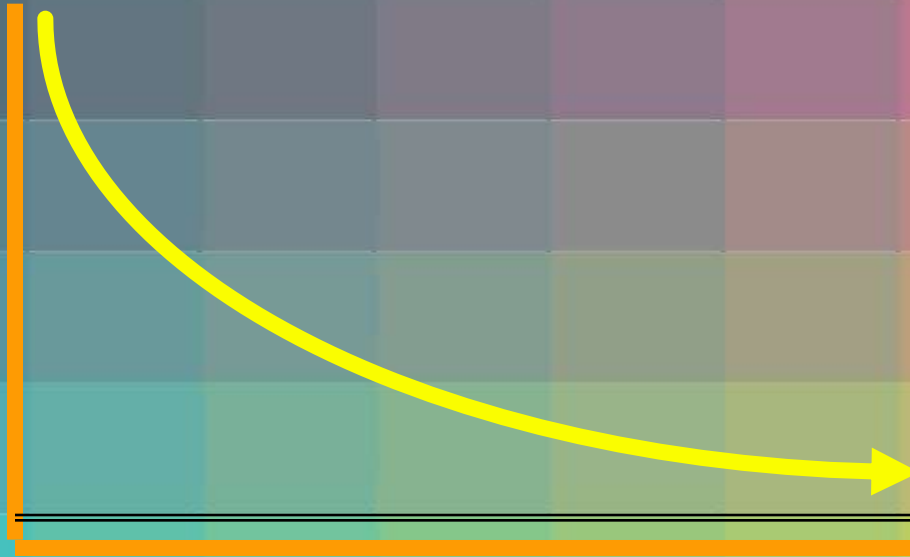
# EKONOMIKA PŘIROZENÉ ATENUACE

V České republice dosud přirozená atenuace v pravém slova smyslu nebyla realizována. Proto je v textech uvedeno srovnání nákladů mezi sanačním čerpáním a přirozenou atenuací v USA.

Doba sanace přirozenou atenuací by měla být „rozumně dlouhá“ ve srovnání s konkurenčními technologiemi. Doba trvání > 10 let!!!

# EKONOMIKA PŘIROZENÉ ATENUACE

K  
O  
N  
C  
E  
N  
T  
R  
A  
C  
E



čas

# EKONOMIKA PŘIROZENÉ ATENUACE

- Patrně nejlepší alternativa je integrovaný sanační systém, kde přirozená atenuace nebo spíše podporovaná atenuace tvoří závěrečnou fázi sanace – dočištění.
- V tomto kombinovaném systému lze dosáhnout velmi dobrých výsledků za příznivých nákladů na sanaci.

# EKONOMIKA PŘIROZENÉ ATENUACE

- 45 pět osob, 191 kontaminovaných lokalit. Pro 75 % lokalit byla přirozená atenuace vhodná, z toho pro 30 % jako jediná sanační metoda a ve 45 % jako kombinovaná sanace. Ve 23 % byla nevhodná.
- Nestabilita mraku a dlouhá doba sanace byly dva důvody proto, že přirozená atenuace nebyla použita.
- Průměrná cena celé aplikace monitorované přirozené atenuace byla \$ 177 000, rozmezí \$ 10 000 až \$ 750 000
- Průměrné náklady na monitoring za rok byly \$ 33 000, rozmezí \$ 3 000 až \$ 150 000
- Velikost lokality byla 4 ha až 20 ha, 30 % bylo < 4 ha a 23 % bylo větších než 20 ha



# OTÁZKY ?



DĚKUJI  
VÁM ZA  
POZORNOST

