

# BIOLOGICKÁ REDUKTIVNÍ DECHLORACE CHLOROVANÝCH ETHENŮ S VYUŽITÍM ROSTLINNÉHO OLEJE JAKO ORGANICKÉHO SUBSTRÁTU – PILOTNÍ OVĚŘENÍ

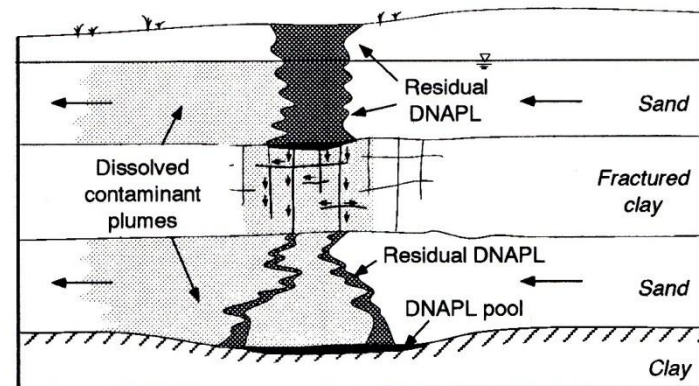
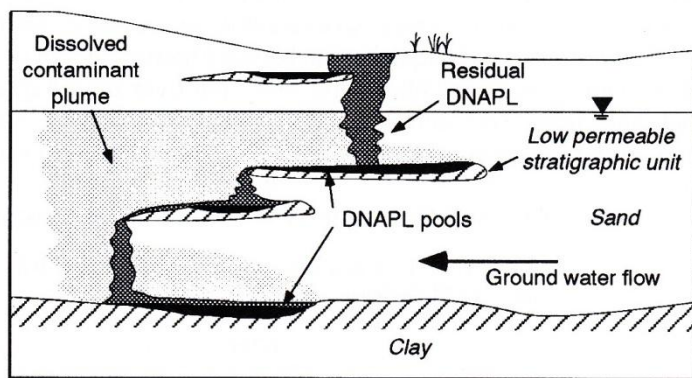
Inovativní sanační technologie ve výzkumu a praxi VI, Praha, 16.-17.10.2013

Jan Němeček 1), Petr Pokorný1),

ENACON s.r.o., Krčská 16/23, 140 00 Praha 4, Česká Republika; [nemecek@enacon.cz](mailto:nemecek@enacon.cz)



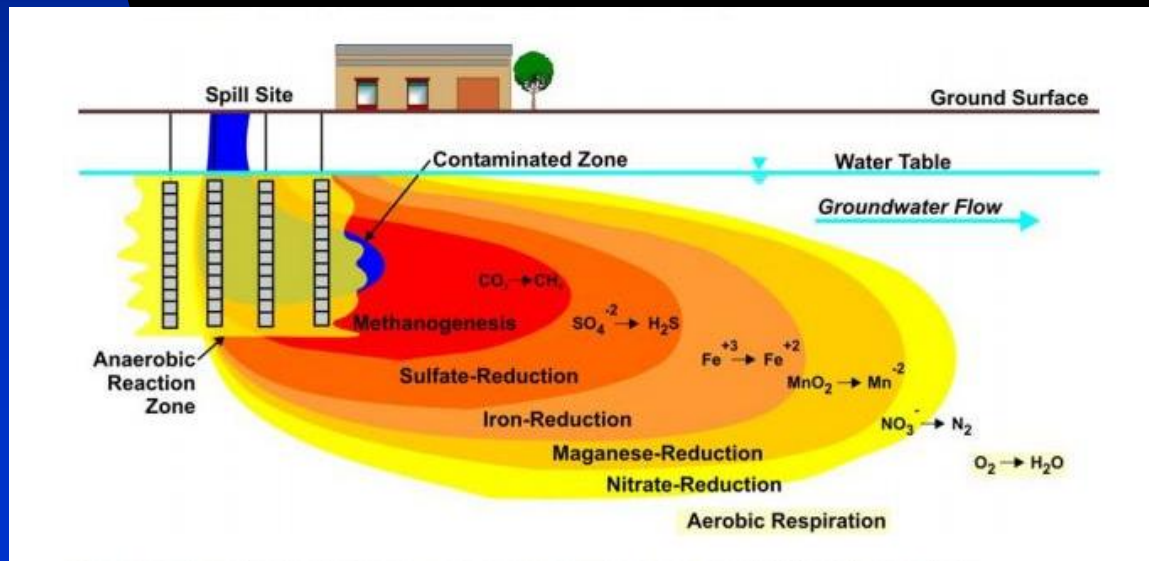
# Chlorované etheny – chování v horninovém prostředí



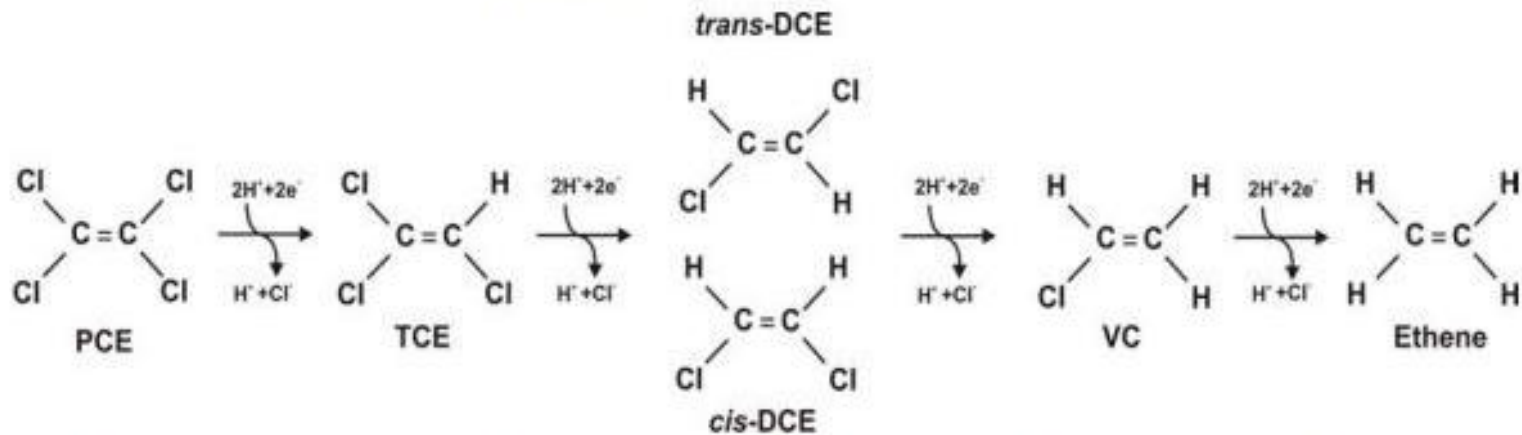
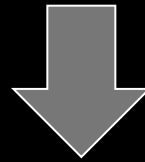
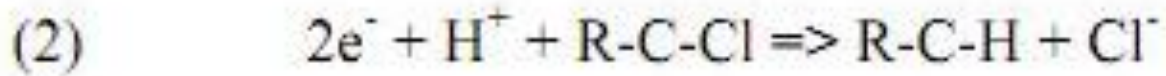
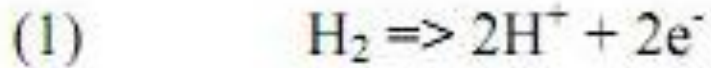
Zdroj: Waterloo Centre for Ground Water Research (1991)

# Biologická anaerobní reduktivní dechlorace

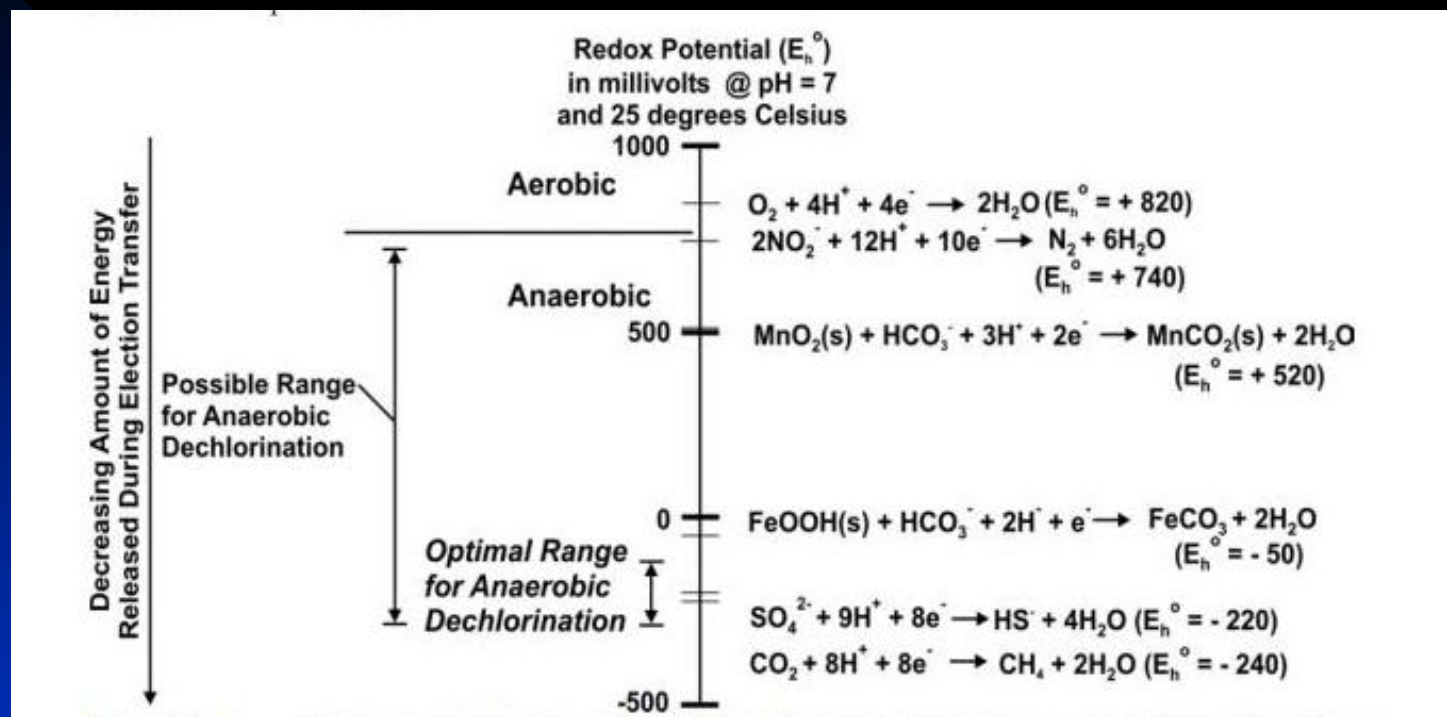
- biologická reakce, kterou bakterie získávají energii a růst tím, že je jeden nebo více atomů chlóru nahrazen vodíkem v anaerobním prostředí.
- v této reakci chlorované látka slouží jako akceptor elektronu a vodík jako donor elektronu
- vodík využitý v této reakci je zpravidla dodáván rozkladem organických substrátů (USEPA, 2000)



# Schéma sekvenční reduktivní dechlorace



# ORP pro různé procesy transferu elektronů



**optimální podmínky pro BRD (USEPA 1998):**

$O_2$  rozp. < 0,5 mg/l


$NO_3^-$  < 1 mg/l

$SO_4^{2-}$  < 20 mg/l

TOC > 20 mg/l

# Mikroorganismy schopné reduktivní dechlorace

<u>Bacterial species</u>	PCE	TCE	DCE	VC	Ethene
<i>Dehalococcoides</i>	→				
<i>Dehalospirillum</i>	→				
<i>Desulfuromonas</i>	→				
<i>Dehalobacter</i>	→				
<i>Desulfitobacterium</i>	→			- - - - -	→
<i>Desulfomonile</i>	→				

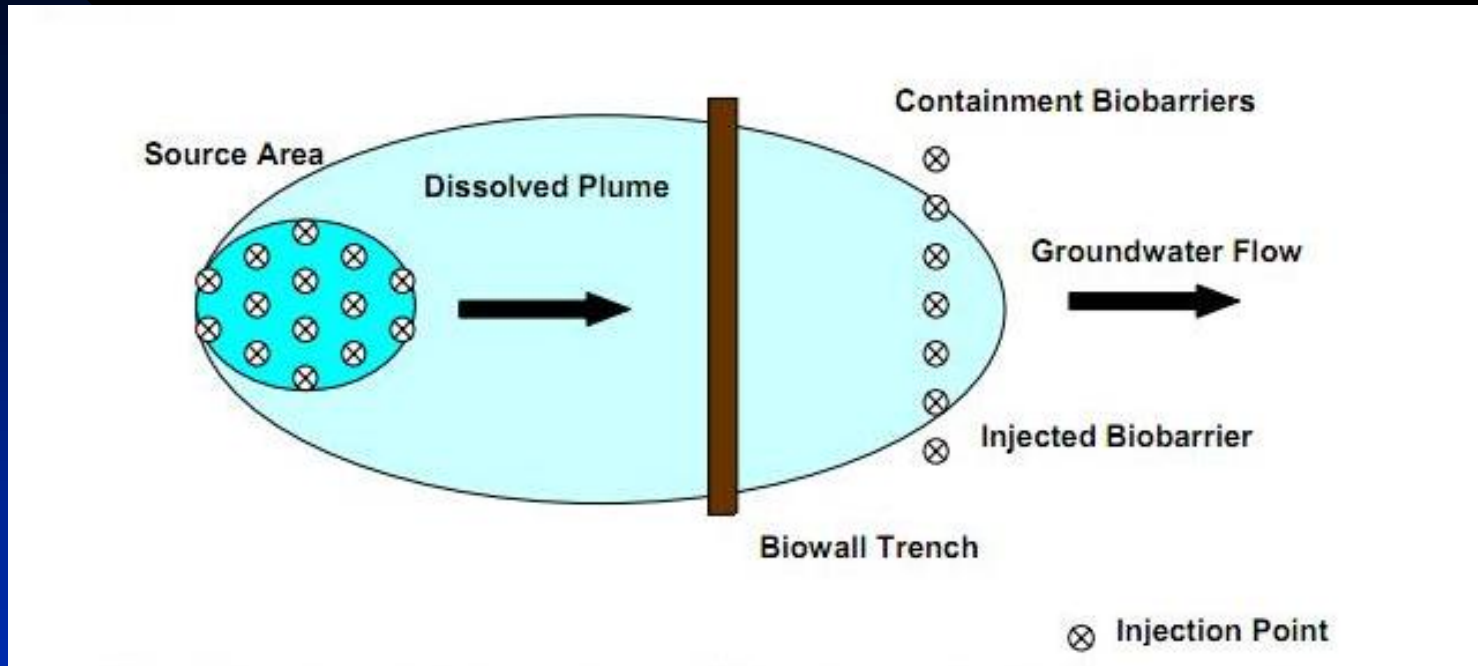


se souhlasem spol. Carus

## Organické substráty

- mléčnan
- máselnan
- methanol
- ethanol
- melasa
- syrovátka
- rostlinný olej
- mulč a kompost (celulóza)
- chitin
- EHC® (polyester kyseliny mléčné)
- H<sub>2</sub> - plynný

# Schéma konfigurace injecktáže substrátu





# Poloprovozní ověření substrátu na bázi rostlinného oleje

## Cíle:

- ověření účinnosti
- stanovení parametrů pro provozní aplikaci
- optimalizace systému monitoringu a řízení sanace

## Návrh:

- zaměření na prioritní polutant – CIU
- metoda biologické reduktivní dechlorace (BRD)
- jako organický substrát bude použit přípravek CAP18 ME (na bázi rostlinného oleje), důvodem je jeho delší životnost substrátu oproti alternativním substrátům



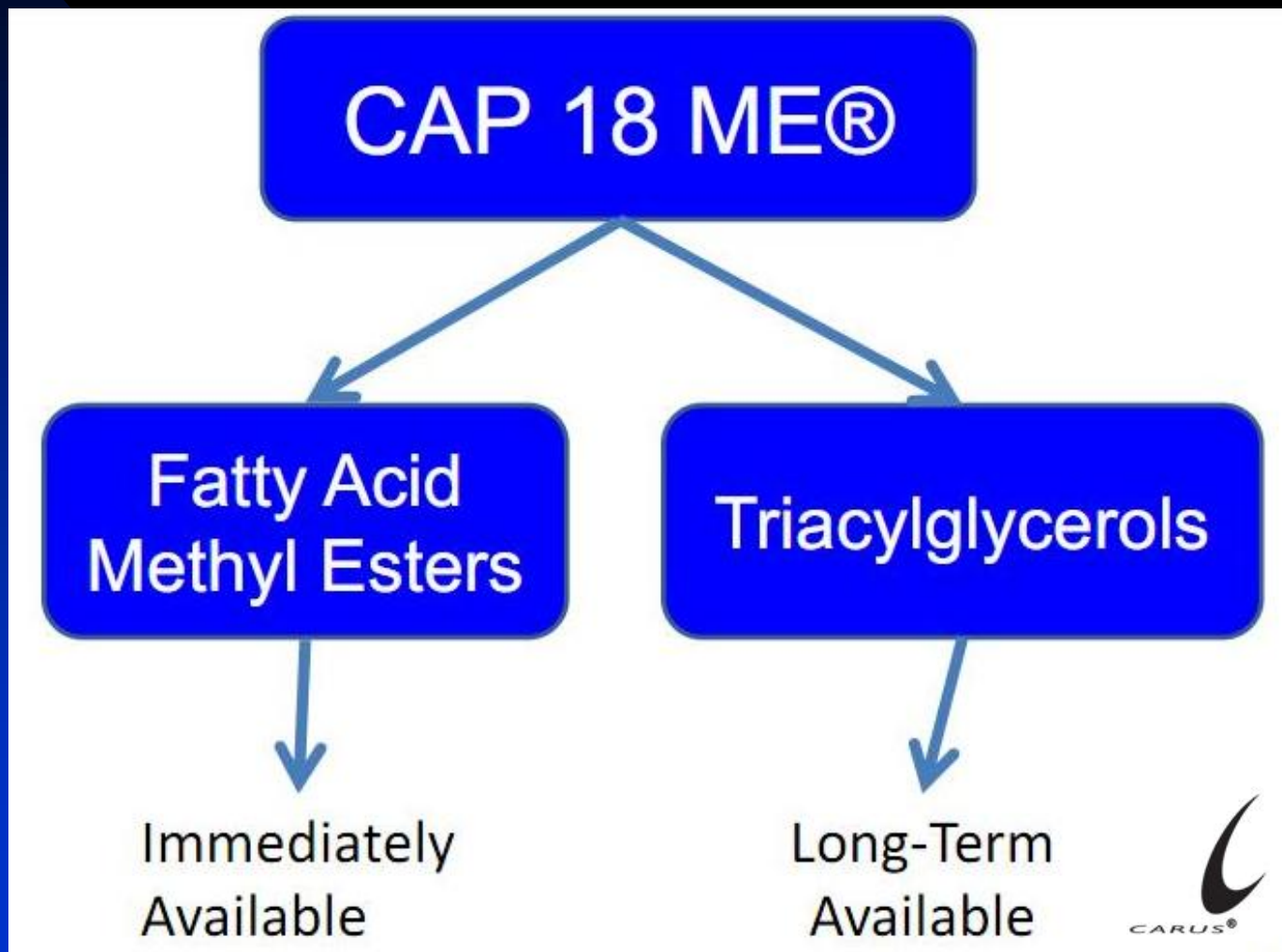
# Poloprovozní ověření substrátu na bázi rostlinného oleje

## CAP18 ME®:

- je komerční sanační přípravek firmy Carus Corporation (USA),
- směs triacylglycerolu obsahující směs dlouho řetězených (C18) mastných kyselin a metyl esteru rafinovaných z rostlinného oleje,
- úspěšně použitý pro sanaci 34 lokalit kontaminovaných chlorovanými uhlovodíky v USA a 30 lokalit v Evropě,
- používá se k sanaci zvodněného horninového prostředí kontaminovaného chlorovanými uhlovodíky, dusičnany, sírany, perchlorátem, výbušninami a jinými polutanty podléhajícími redukčním biologickému rozkladu.

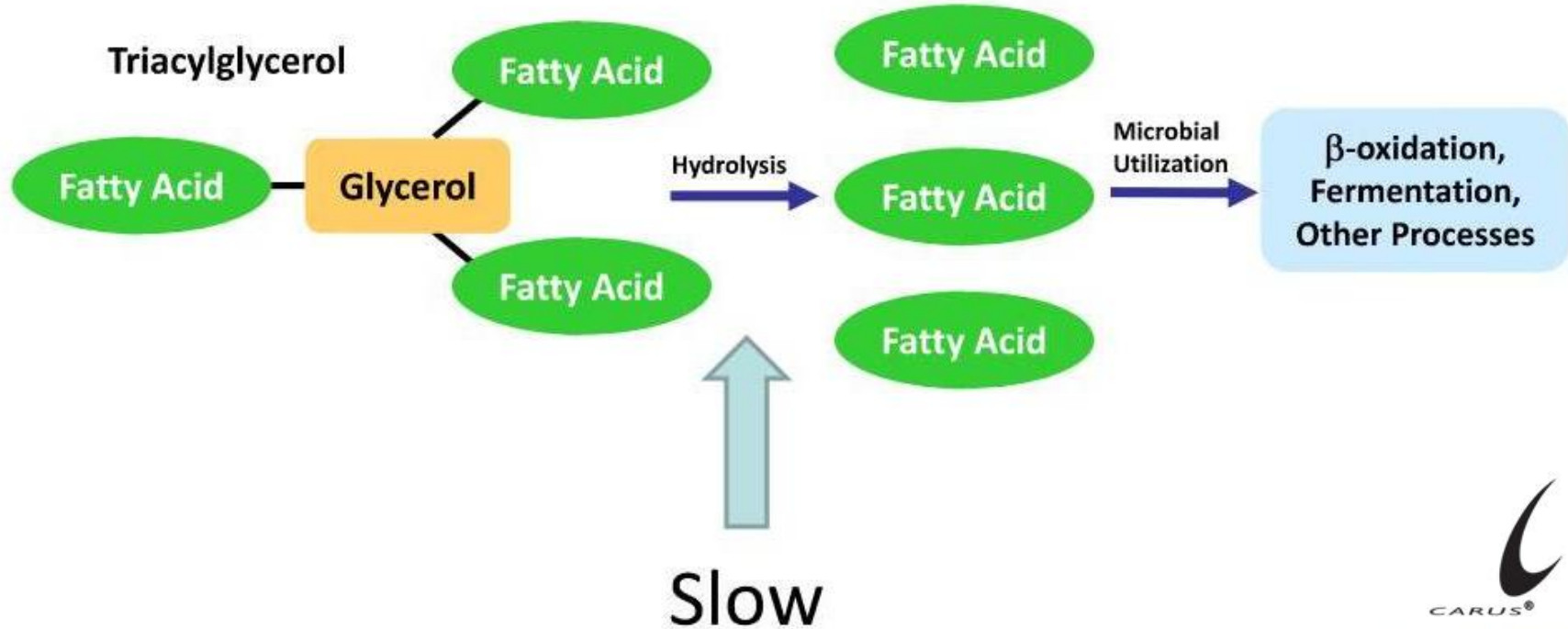


# Organický substrát CAP 18 ME®



*se souhlasem spol. Carus*

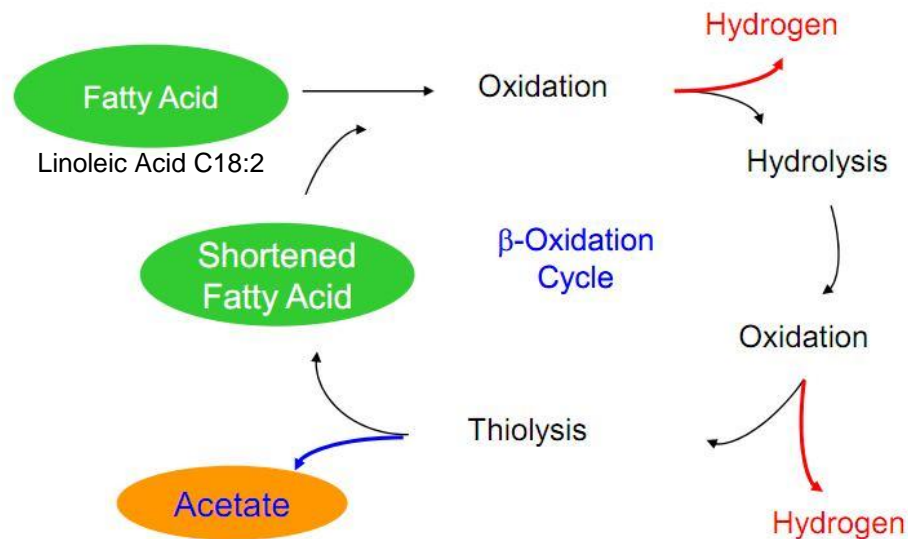
# Hydrolýza rostlinného oleje - uvolnění mastných kyselin a jejich následný mikrobiální rozklad



se souhlasem spol. Carus

# Rozklad mastných kyselin $\beta$ -oxidací

## Fatty Acids are Metabolized by Beta ( $\beta$ ) Oxidation



Ultimate Production: 13-17 H<sub>2</sub> (26-34 electrons)  
9 molecules of Acetic Acid

# Srovnání s ostatními substráty

Frekvence aplikace

CAP18<sup>®</sup>

polylaktát

laktát syrovátka melasa



>3 roky

1 až 3 měsíce

Způsob aplikace

CAP18<sup>®</sup>

laktát

syrovátka melasa

polylaktát



bez ohřevu  
bez recirkulace  
bez emulzifikace

recirkulace  
vícenásobná injektáž

vysoké tlaky  
viskózní  
nutný ohřev

Nevýhoda

CAP18<sup>®</sup>

- tvorba sraženin v případě vyšších obsahů Ca a Mg



## Lokalita pilotní zkoušky

### Geologie:

0,0 – 6,0 m: navážka (jílovito-písčítá hlína)

6,0 – 7,0 m: jíł, jílovitá hlína

7,0 – 8,5 m: písčité eluvium

> 8,5 m: žula (ve svrchní partii navětralá až zvětralá)

Hladina podzemní vody: 3 až 4 m p.t.

Koeficient filtrace  $k=2,0 \cdot 10^{-5}$  m/s (vztažený na celý vodní sloupec vrtu).

Karotáží zjištěny velmi propustné polohy s přirozeným prouděním o rychlosti až 2,5 m/den.

### Hydrochemie :

pH 6,5 až 6,9,

celková mineralizace 800 až 1500 mg/l, typ Na-Cl nebo Na-Cl-HCO<sub>3</sub>.

ORP 90 až 190 mV,

### Kontaminace :

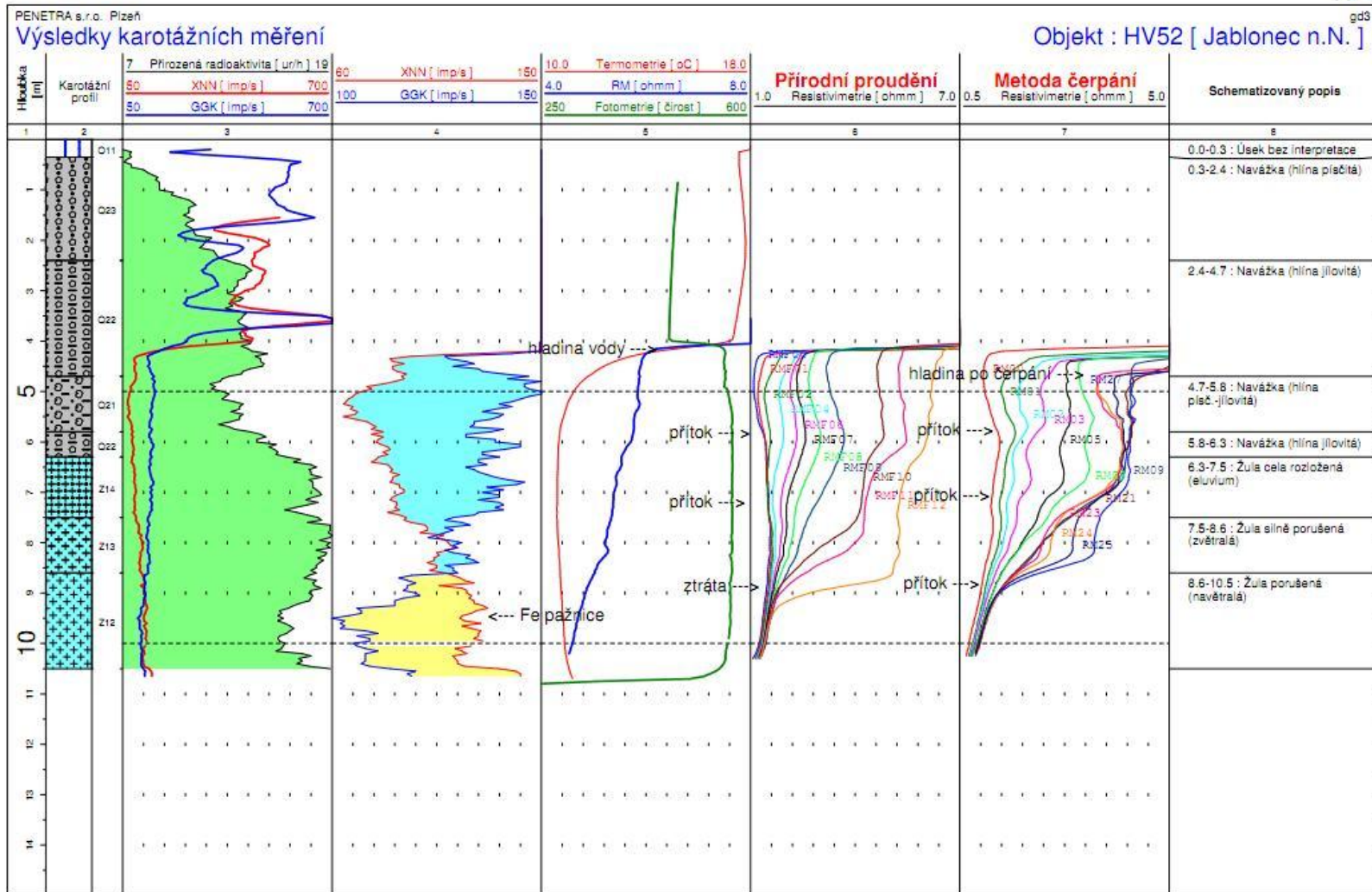
Chlorované etheny (CIU) 200 až 1700 µg/l, již před pilotní zkouškou významný stupeň rozkladu na DCE , VC a ethan.

RU C10-C40 lokálně až 4750 µg/l.

# Hydrokarotáž

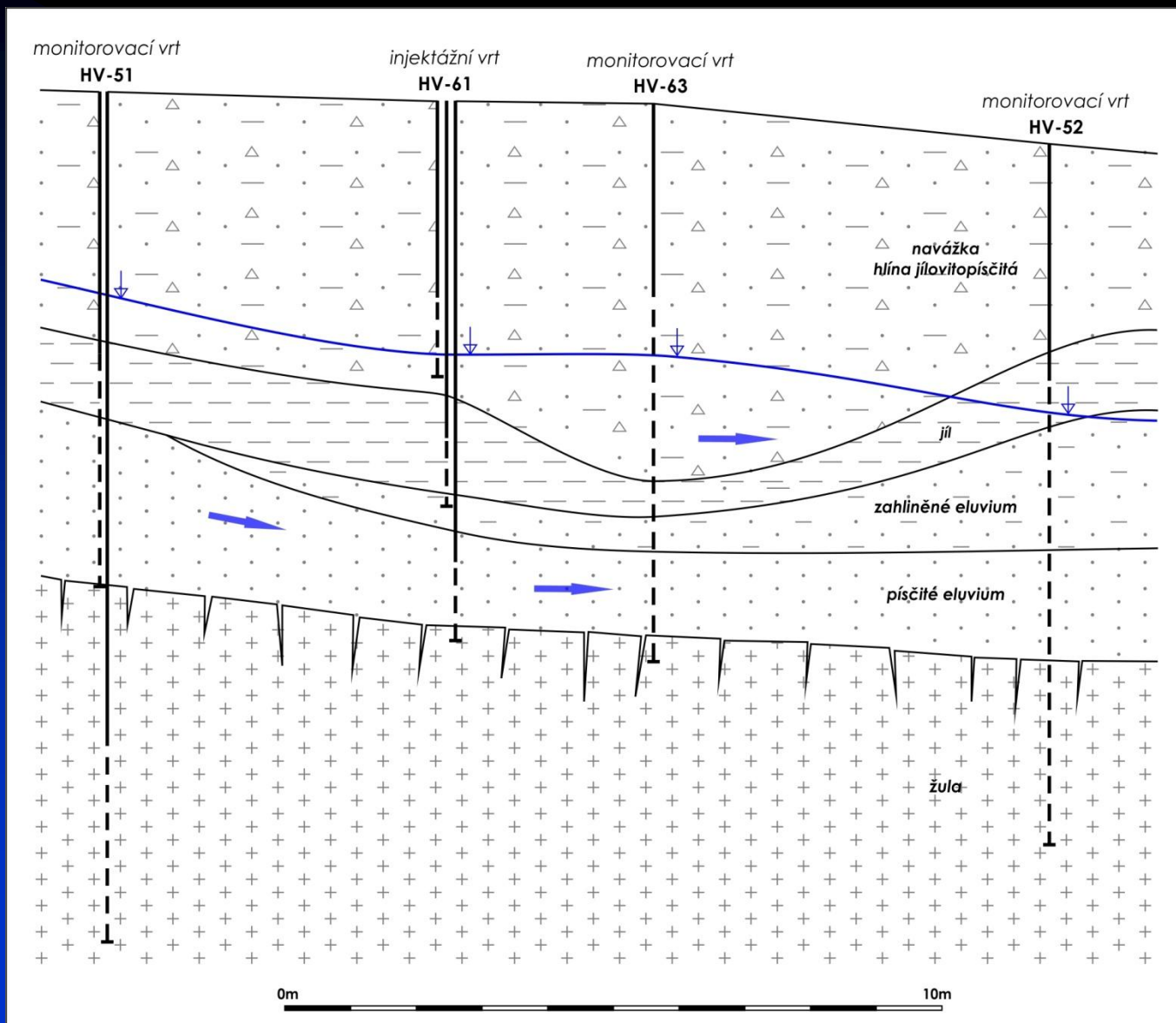


Obr. 4

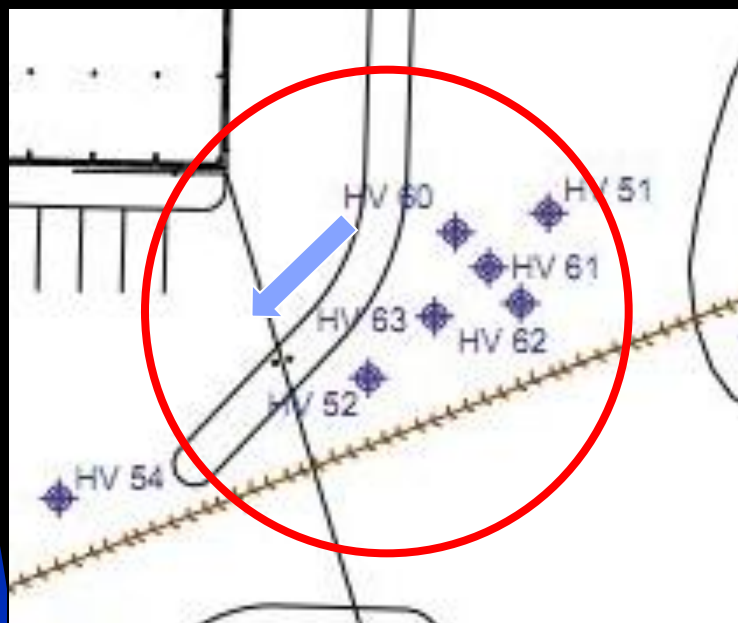




# Lokalita pilotní zkoušky



# Uspořádání pilotního pokusu

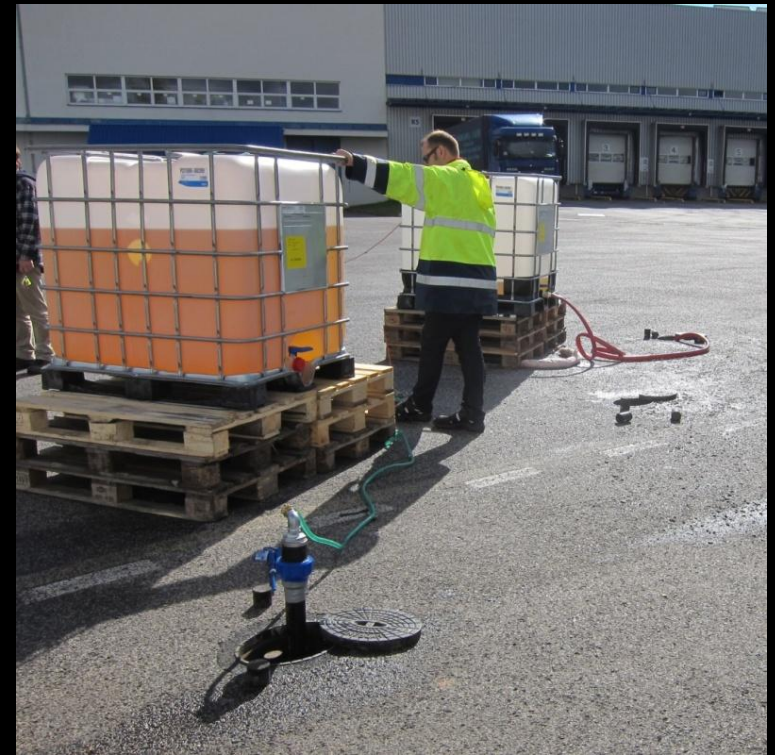


# Instalace vrtů, aplikace substrátu

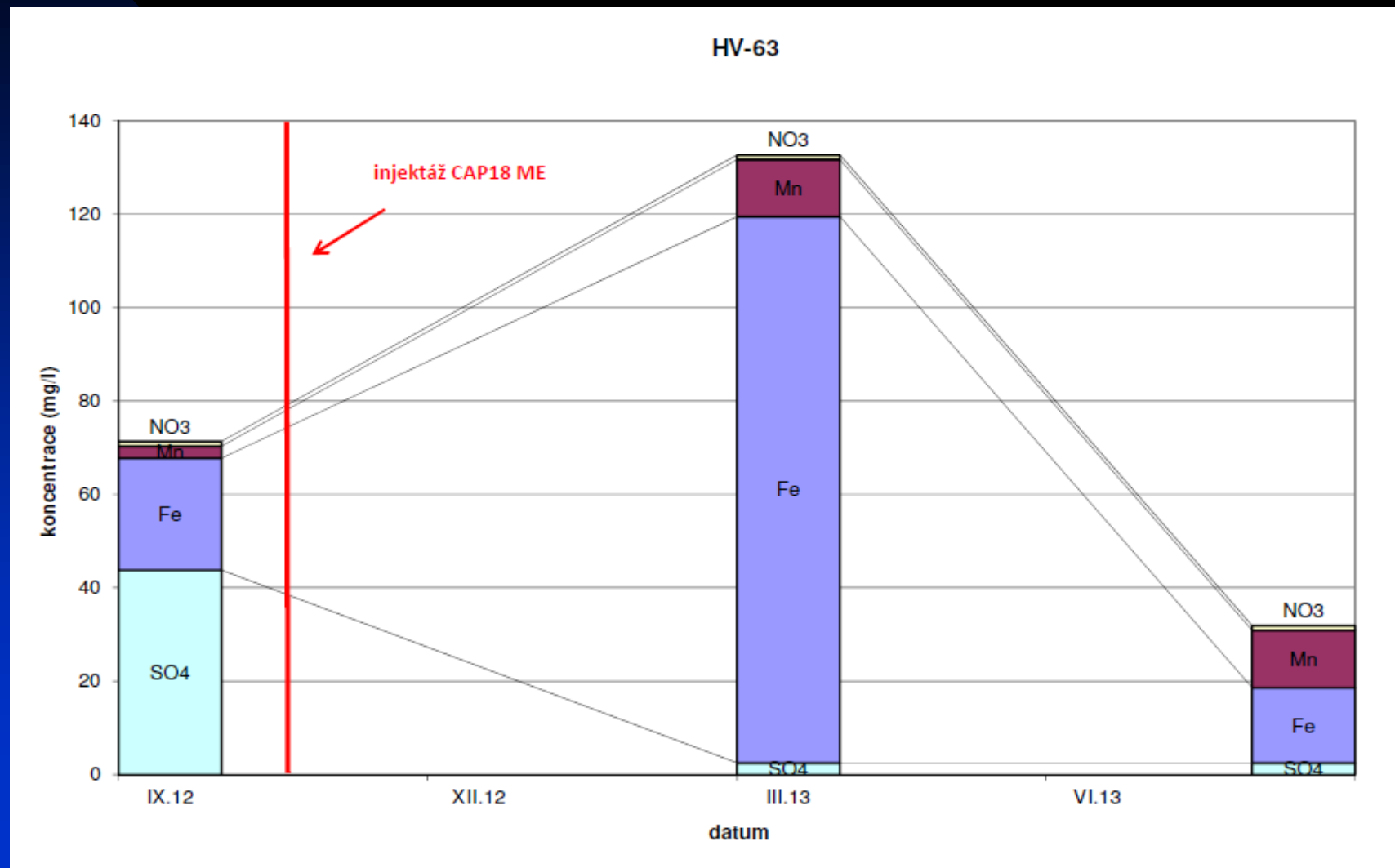
3.-4.8.2012 – instalace vrtů  
pro pilotní zkoušku



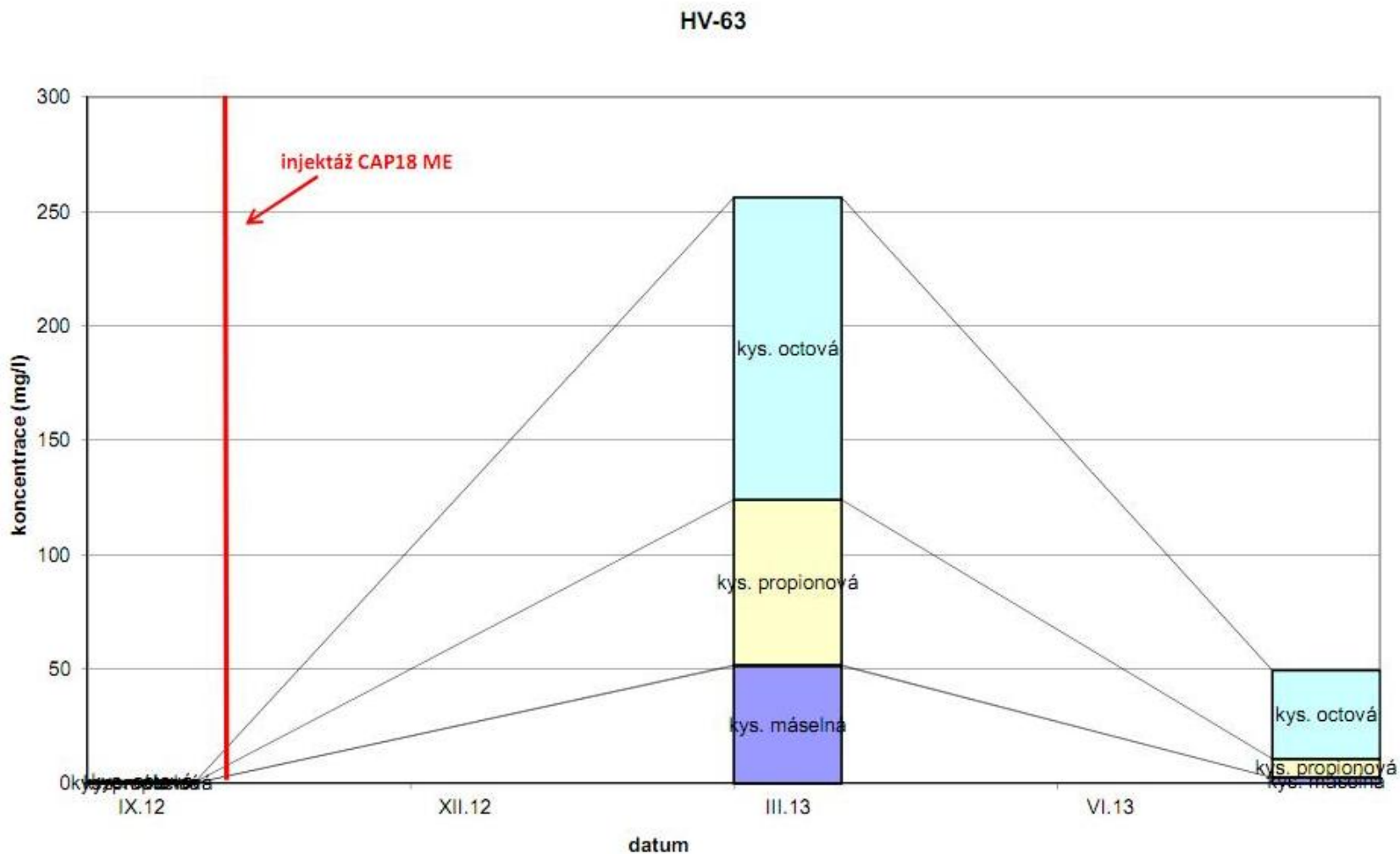
27.9.2012 - aplikace 1840 kg  
preparátu CAP 18 ME



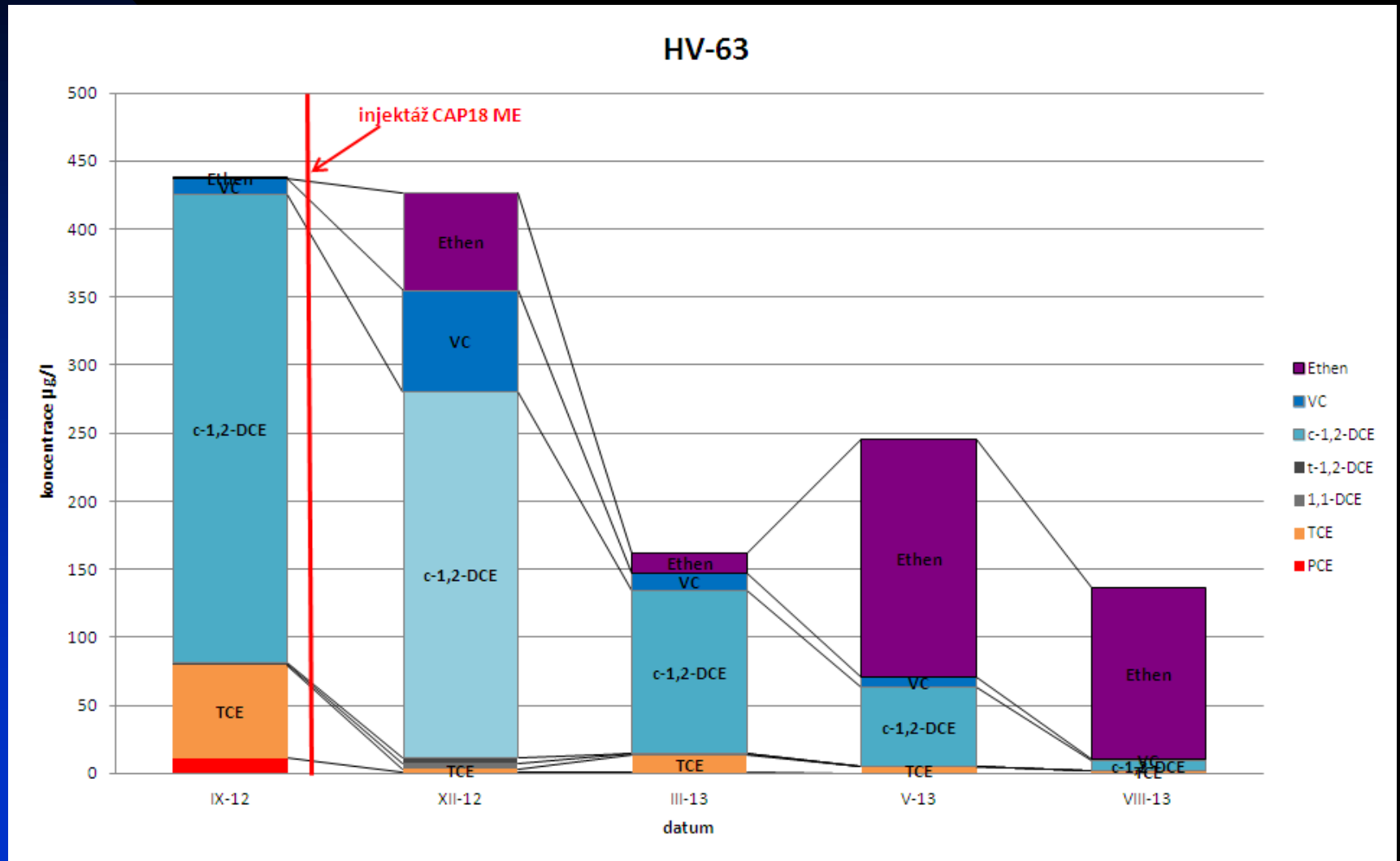
# Akceptory elektronů – vrt HV-63



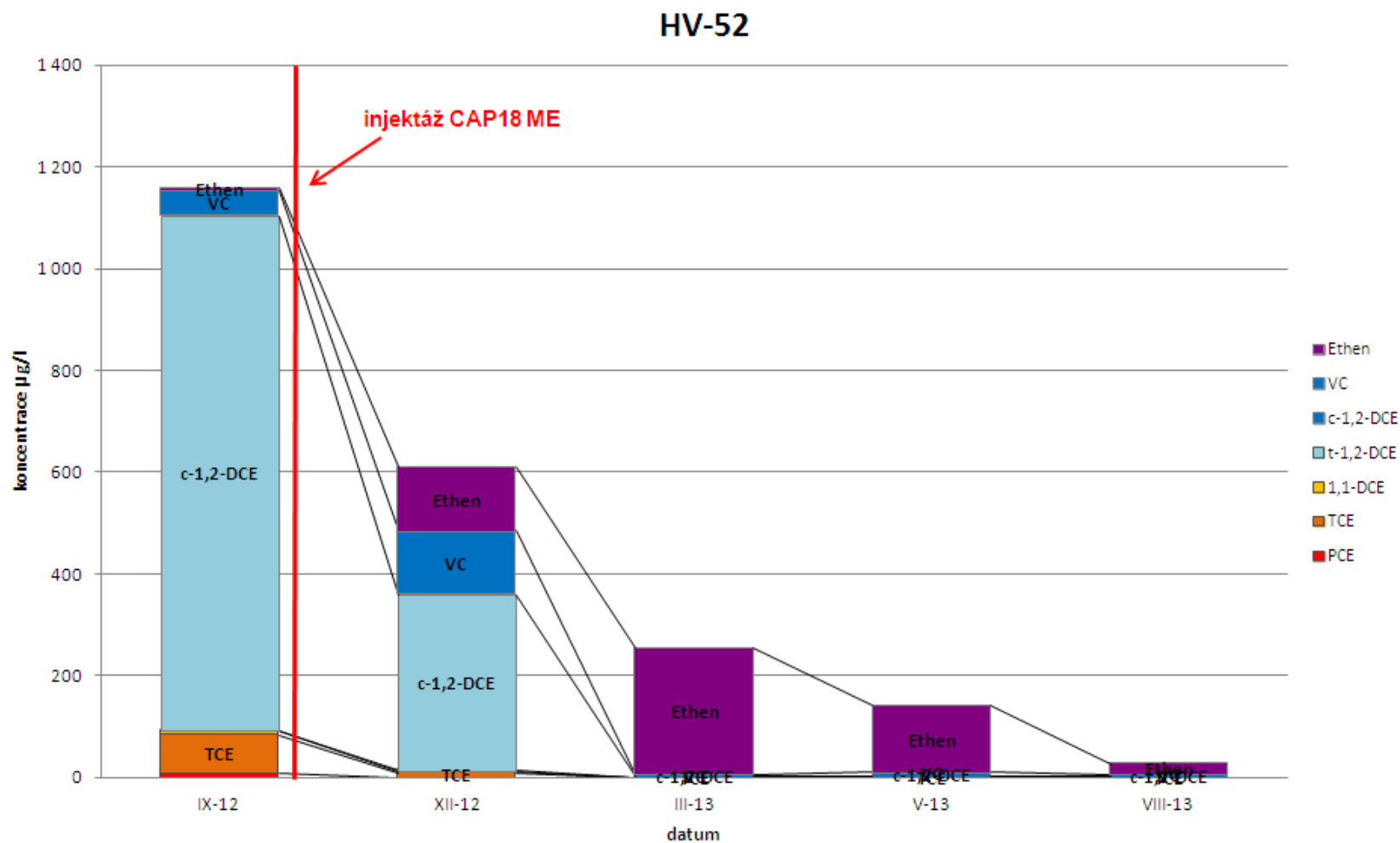
# Mastné kyseliny – vrt HV-63



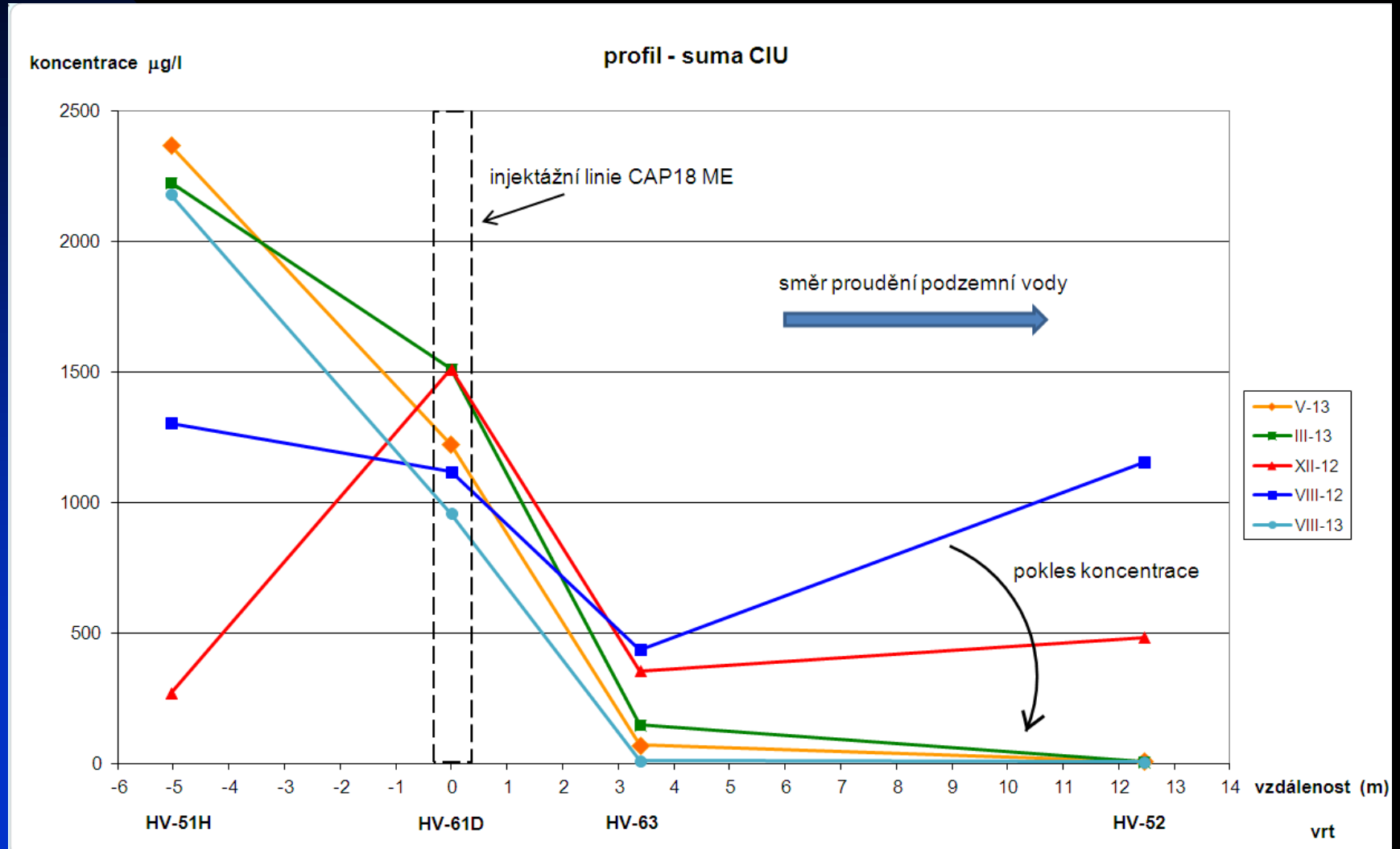
# Zastoupení jednotlivých CIU – vrt HV-63



# Zastoupení jednotlivých CIU – vrt HV-52



# Koncentrace CIU v podélném profilu

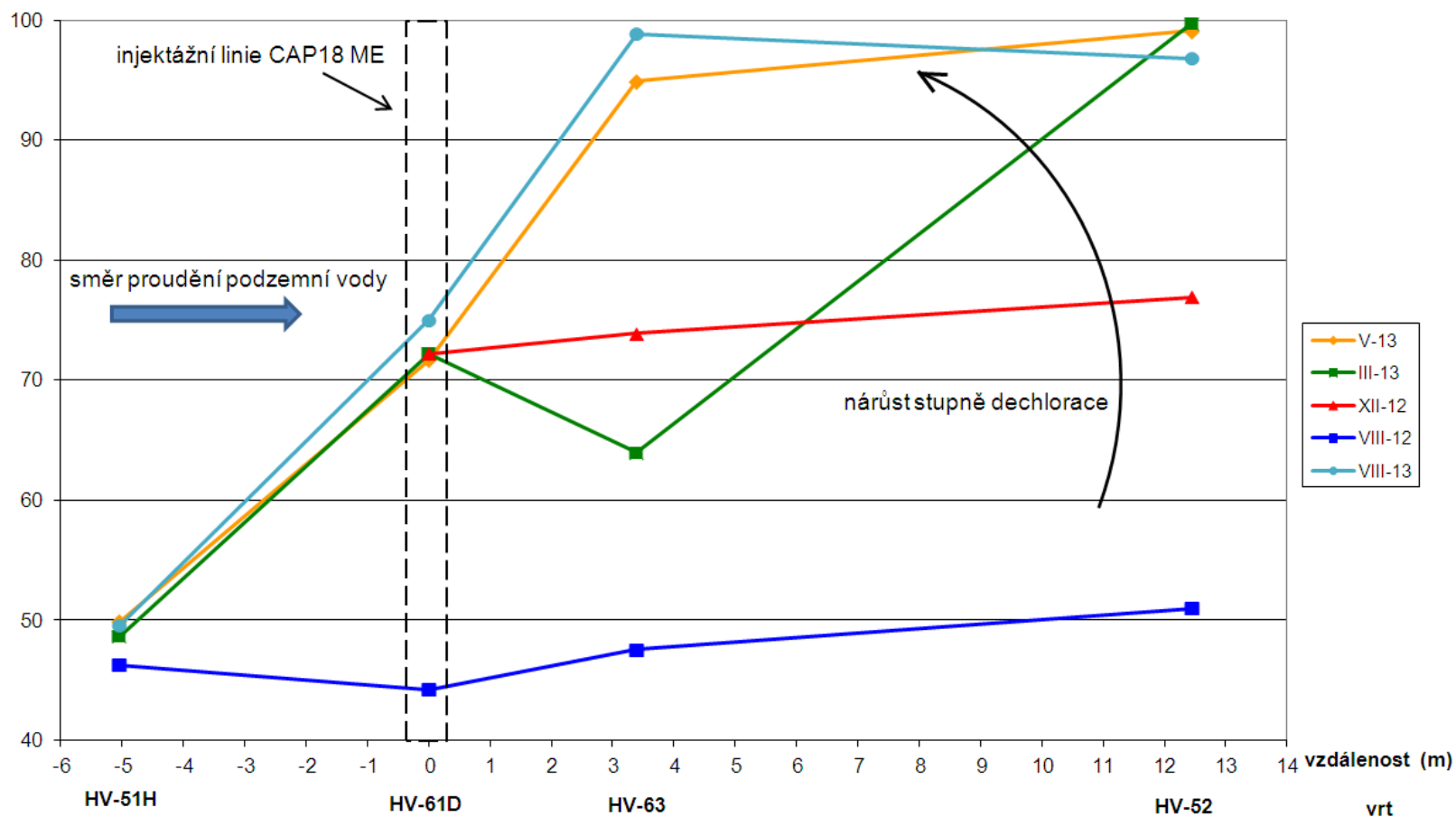




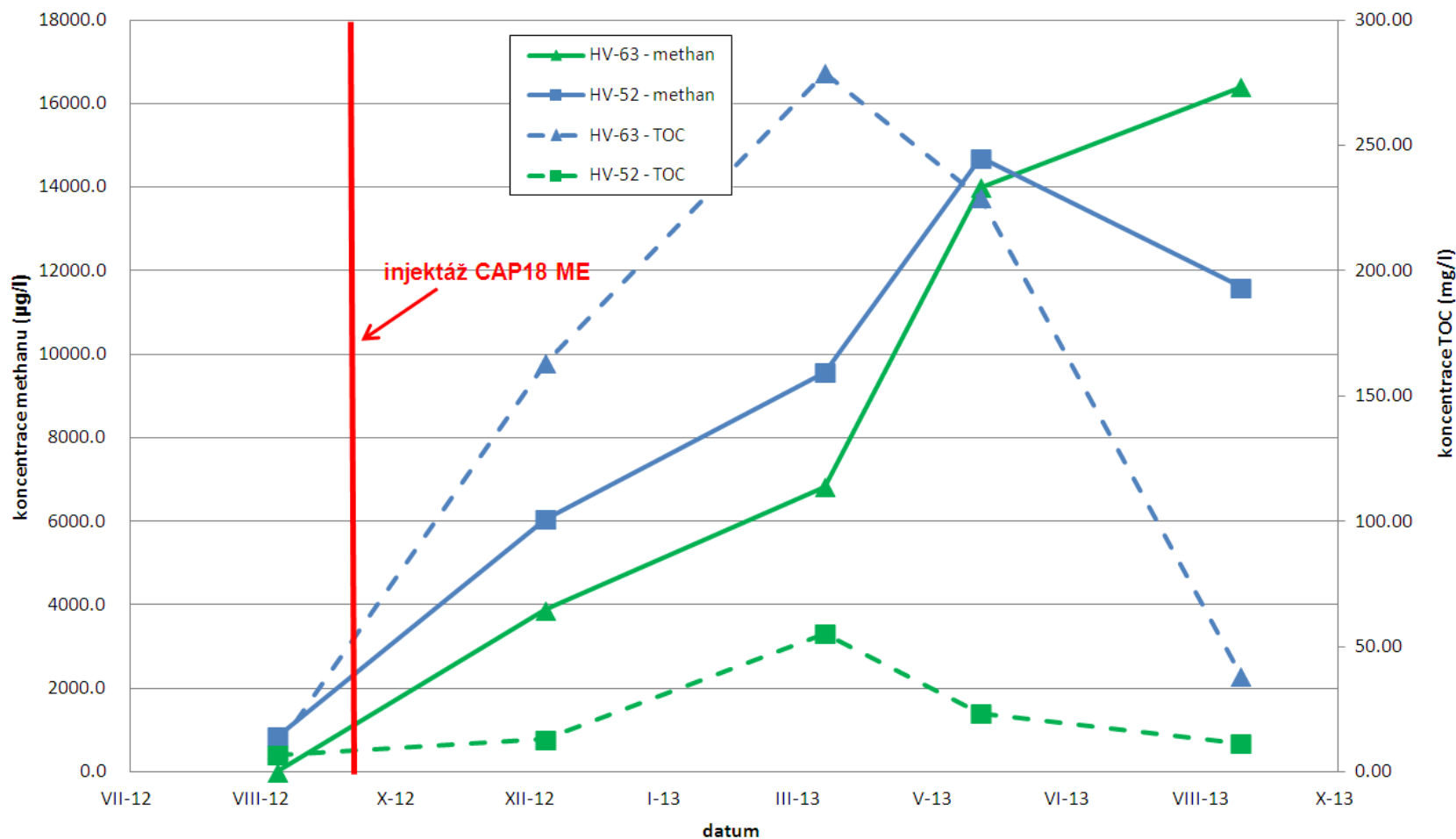
# Stupeň dechlorace CIU v podélném profilu

stupeň dechlorace %

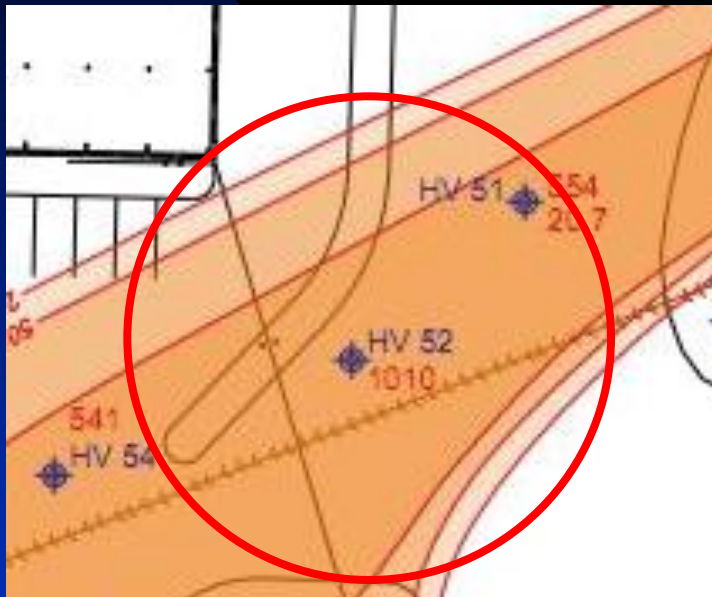
profil - stupeň dechlorace



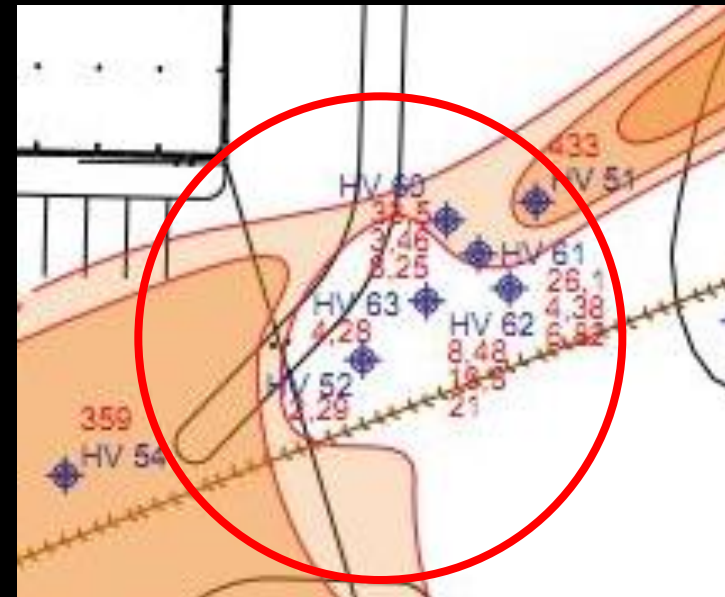
# Koncentrace TOC a methanu



# Mapa znečištění podzemní vody - TCE

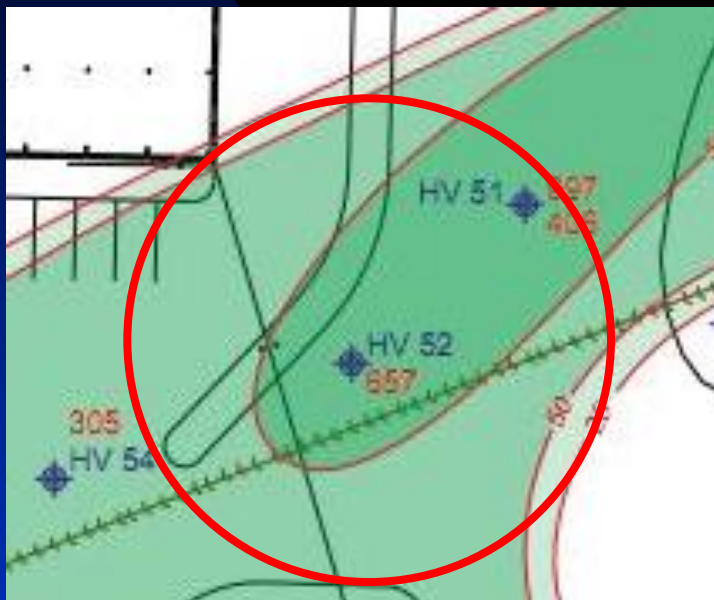


duben 2012



květen 2013

# Mapa znečištění podzemní vody - cis-1,2-DCE



duben 2012



květen 2013

## Shrnutí a závěr

Potvrzena vhodnost použití metody BRD s využitím substrátu na bázi rostlinného oleje v podmínkách testovací lokality.

Výrazná dechlorace původních CIU, stupeň dechlorace stoupl z 46% až 51% na 95% až 99%.

Pokles celkové koncentrace o 84% až 99%.

Nedochází k akumulaci toxického vinylchloridu (přítomna mikroflóra schopná dechlorovat CIU úplně až na ethen/ethan).

Substrát není vyčerpán ani po 11 měsících.



**Děkuji za pozornost**

