

# Sanace kontaminovaného území Plzeň – Libušín kombinací několika sanačních metod

Jana Kolářová<sup>1</sup>, Petr Kvapil<sup>2</sup>, Vít Holeček<sup>2</sup>

<sup>1)</sup> DEKONTA a.s., Volutová 2523, 158 00 Praha 5

<sup>2)</sup> AQUATEST a.s., Geologická 4, 152 00 Praha 5

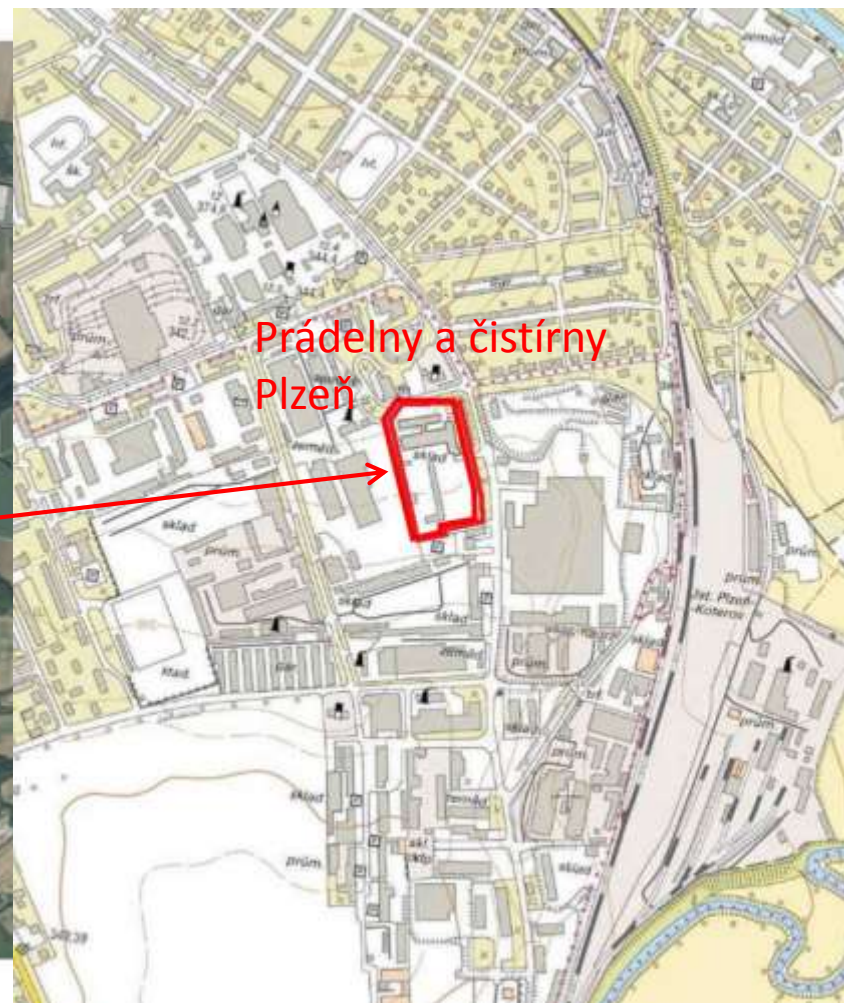
Sanační technologie XVIII. 19.-21.5.2015  
Uherské Hradiště

# ZÁKLADNÍ ÚDAJE O SANACI

- Sanace v areálu bývalých Prádelen a čistíren města Plzeň je řešena kombinací vzájemně se doplňujících sanačních technologií.
- Prezentována je kombinace fyzikálních, chemických a biologických postupů sanace pro odstranění znečištění (CIU a RL) ze saturované i nesaturované zóny.
- Sanace je financována dotací z operačního programu, dotací od SFŽP a dotací KÚ Plzeňského kraje.
- Dodavatelem prací je sdružení s názvem „Sdružení SANACE PLZEŇ – LIBUŠÍN“
- Termín realizace: 6/2013 až 9/2015



# Situace lokality



# Přírodní poměry lokality

## Geologické podloží:

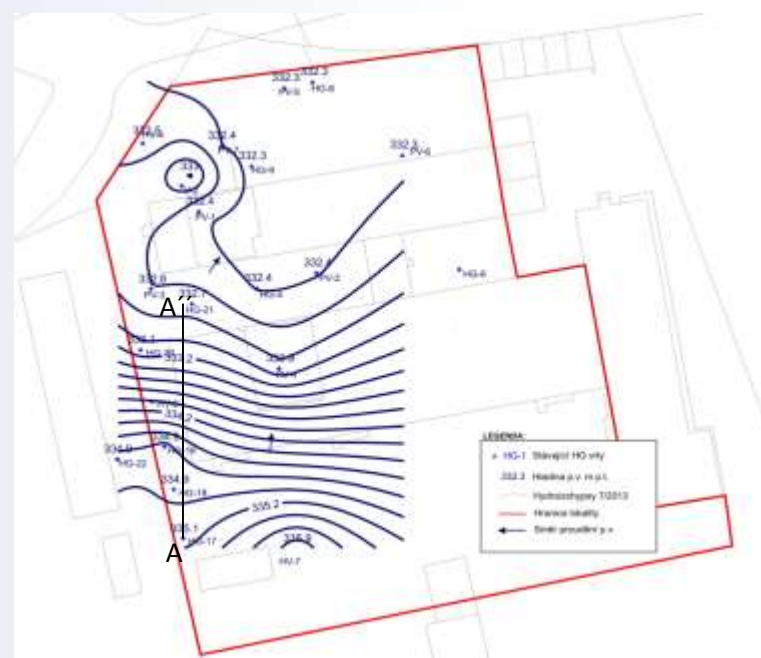
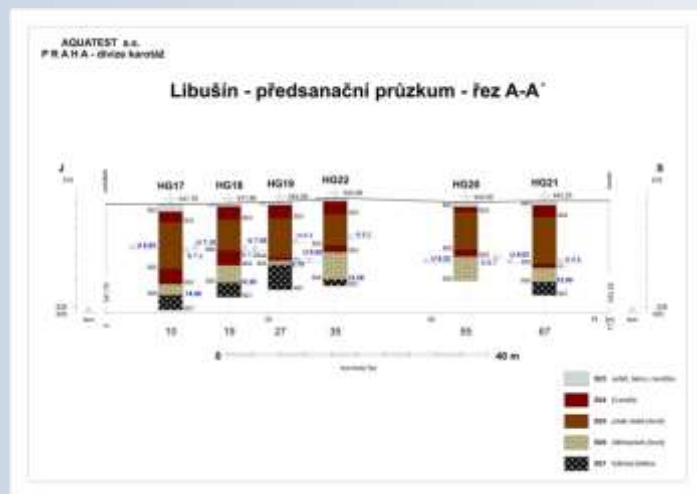
Skalní podloží tvořeno proterozoickými jílovitými břidlicemi, místy fylitizovanými, s výskytem bazaltoidních vulkanitů

Nadložní neogenní a kvartérní sedimenty - ověřeny do úrovně 11,0 až 14,0 m pod terémem - tvořeny jílovitými písky až písčitými jíly,

- při bázi 1,5 až 3 m mocnými štěrkopísky,
- lokálně antropogenní navážky – mocnost až 3 m

Zájmový kolektor v neogenních a kvartérních sedimentech - štěrkopísky

- propustnosti –  $k_f 10^{-7} - 10^{-5}$  m/s
- hladina p.v. 8 - 10 m p.t.
- přirozený směr proudění S až SV – 07/2013



# Znečištění lokality

## Znečištění zemin (AR 2011):

- *dvě ohniska znečištění* –

1. SZ okraj areálu
2. prostor čistíren a mezi nimi

### kontaminace NEL

- max. 36 700 mg/kg suš. do hl. 1,5 p.t.

### kontaminace PCE

- max. 179 mg/kg suš. do hl. 3 m p.t.

- kontaminace zjištěna pod objekty čistíren



## Znečištění podzemních vod (AR 2011):

- **Zájmová impakťová oblast A**

- kontaminace NEL – až 410 mg/l

kontaminace PCE – až 206 mg/l (přítomnost fáze)

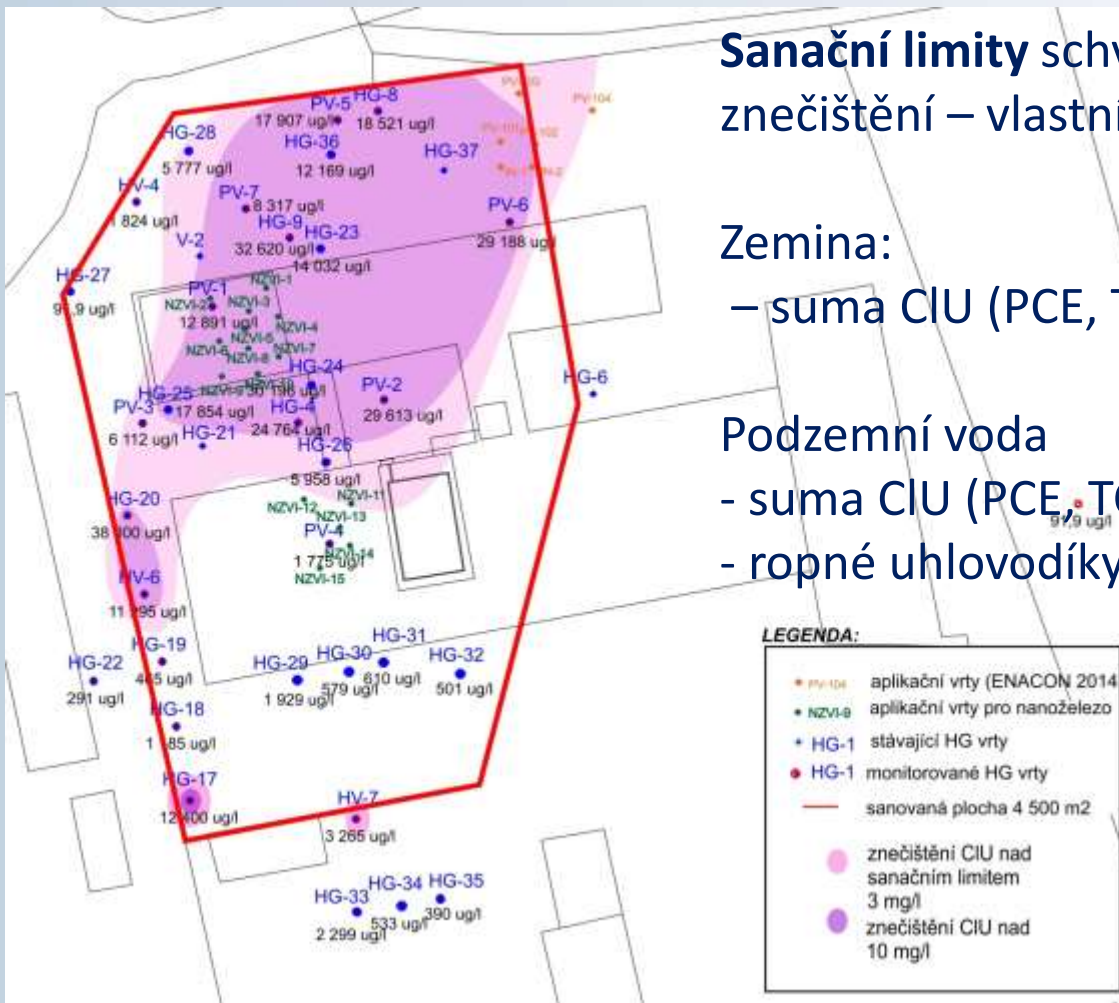
- **Impakťová oblast B**

- kontaminace CIU – řádově až desítky mg/l

# Znečištění lokality

## Znečištění podzemních vod – prosinec 2013

- Plocha zájmového území 4500 m<sup>2</sup>



**Sanační limity** schválené MŽP ČR pro ohnisko znečištění – vlastní bývalý areál PaČ:

Zemina:

– suma CIU (PCE, TCE, 1,2-cis-DCE, VC) - 5 mg.kg<sup>-1</sup>

Podzemní voda

- suma CIU (PCE, TCE, 1,2-cis-DCE, VC) - 3 mg.l<sup>-1</sup>

- ropné uhlovodíky - odstranění fáze RU

# Použité sanační technologie

## Sanace nesaturované zóny

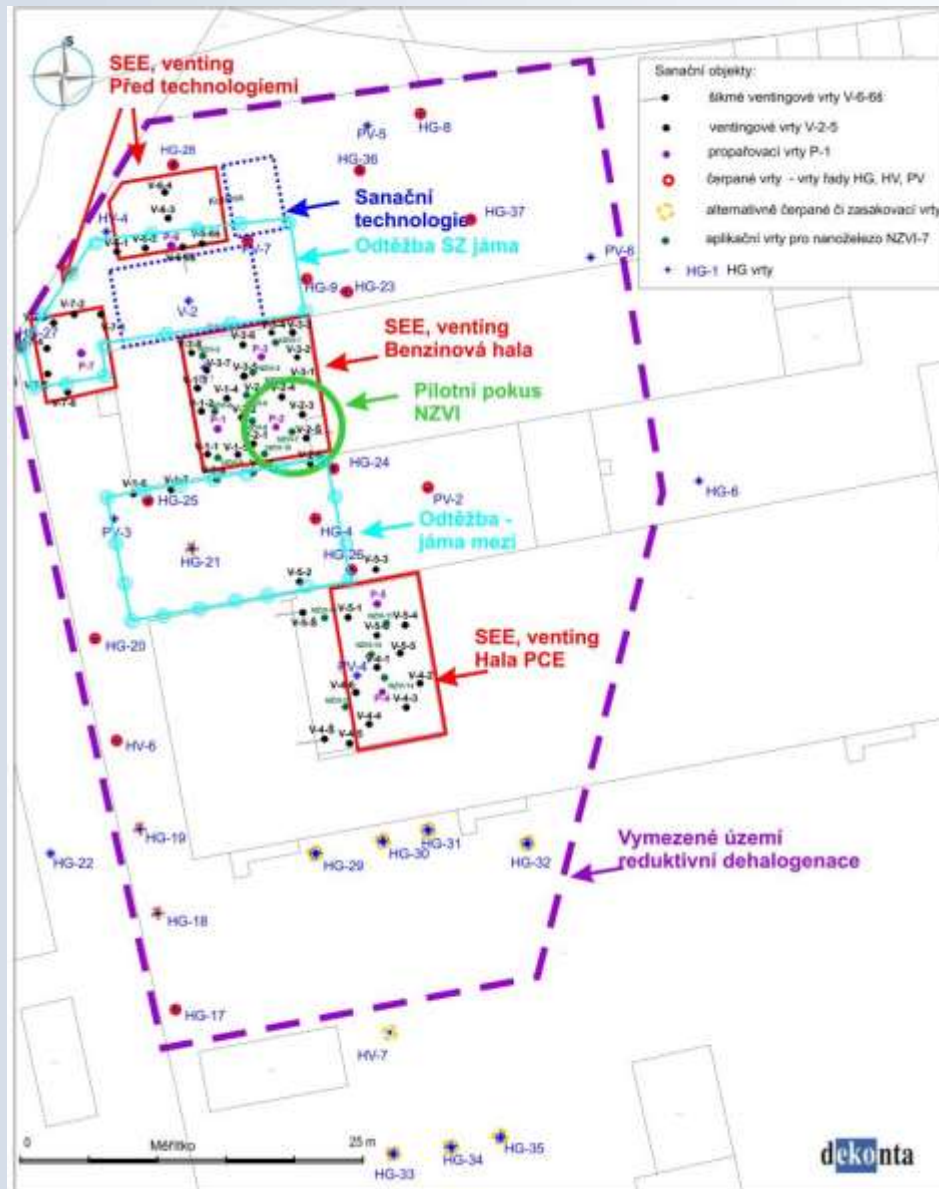
- selektivní odtěžba zemin do hloubky 4,8 m p.t.  
(dekontaminace ex-situ)
- metoda řízeného propařování horninového prostředí parou (SEE)  
kombinovaného s ventingem (dekontaminace in-situ)

## Sanace saturované zóny

- in-situ reduktivní dehalogenace s využitím organického substrátu  
(syrovátka)
- sanační čerpání kontaminovaných podzemních vod, jejich čištění na  
sanační stanici (metoda pump & treat)
- zásak přečištěných vod zpět do horninového prostředí
- intenzifikace pomocí nulamocného železa (NZVI).

Realizován sanační monitoring zemin, podzemních vod a půdního vzduchu, teplotní monitoring a monitoring provozu sanační technologie.

# Koordinační situace lokality

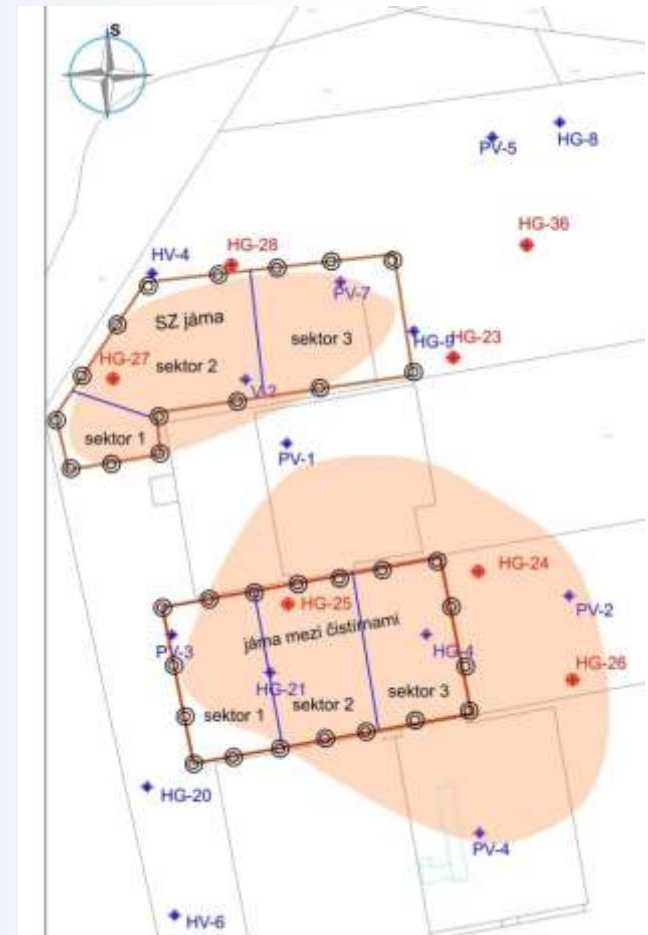




# Odtěžba kontaminovaných zemín

## Sanace nesaturované zóny mimo budovy

- Ohnisko na sz. okraji areálu PaČ (SZ jáma) a prostor mezi halami čistíren (jáma mezi)
  - Statické zajištění sanačních jam
  - Zjištěna koncentrace až 741,7 mg/kg suš. suma CIU
  - Odtěžba do hloubky 4,8 m p.t.
  - Znečištění zjištěno do 7 mp.t. - rozšíření oblasti propařování a ventingu
  - Odtěženo 1 628 t kont. zemín
  - Dekontaminace ex-situ odstraněno cca 200 kg CIU
  - Realizováno stavebně sanační čerpání
  - Zpětný závoz a úprava terénu
- Realizace říjen – listopad 2013



# Propařování horninového prostředí venting

- Technologie řízeného propařování použita především jako technologie k zintenzivnění sanace nenasycené zóny metodou ventingu
  - Ohniska pod halami PaČ (benzínová hala a hala PCE).
  - Ohnisko v realizovaných odtěžeb (před technologiemi).
- Princip metody:
  - přehřátá pára se vhání do horninového prostředí speciálními injektážními (propařovacími) vrtly.
  - dochází k prohřátí kontaminované oblasti a uvolnění (např. desorpcí, vytěkáním) organických látek (např. RU a CIU).
  - z extrakčních (ventingových) vrtů se odsává půdní vzduch.
  - odsátá plynná fáze se na povrchu zachycuje a čistí ověřenými technologickými postupy (sorbcí na aktivní uhlí).
- Hlavním přínosem popisované metody je velká rychlost sanace, přibližně o řád vyšší než při použití jiných metod.

# Propařování horninového prostředí venting

Cílová teplota - bod varu kontaminujících látek.

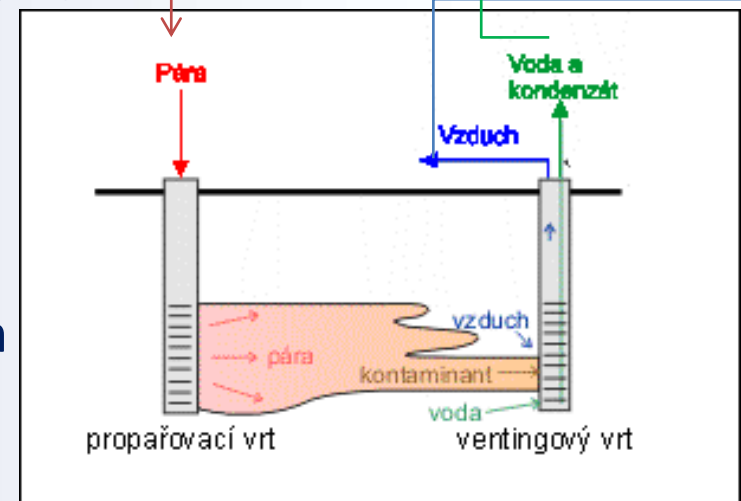
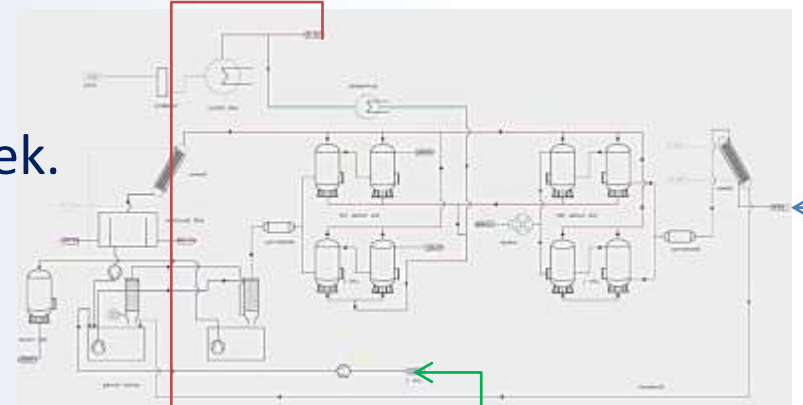
V případě zájmové lokality jsou to teploty

- PCE 121 °C, TCE 87 °C,
- benzíny 30-180 °C.

Cílem je tedy dosáhnout teploty 80 °C až 100 °C.

Fyzikální procesy v prostředí:

- odpaření vody z porézního prostředí
- snížení nasycení pórů vodou
- zvýšení propustnosti prostředí pro vzduch
- odkrytí fázových rozhraní mezi kapalnou organickou fází a plynnou fází
- zvýšení odparu kapalných organických látek



# Propařování horninového prostředí venting

Vybudování sanačního systému:

- vyvíječ páry, rozvody (ocel),
- 7 ks propařovacích vrtů – hl. 10 m p.t.  
(dvojúrovňové – spodní a svrchní horizont)
- 50 ks ventingových vrtů – hl. 11 m p.t.

Instalace - 192 teplotních čidel – automatické  
stahování dat

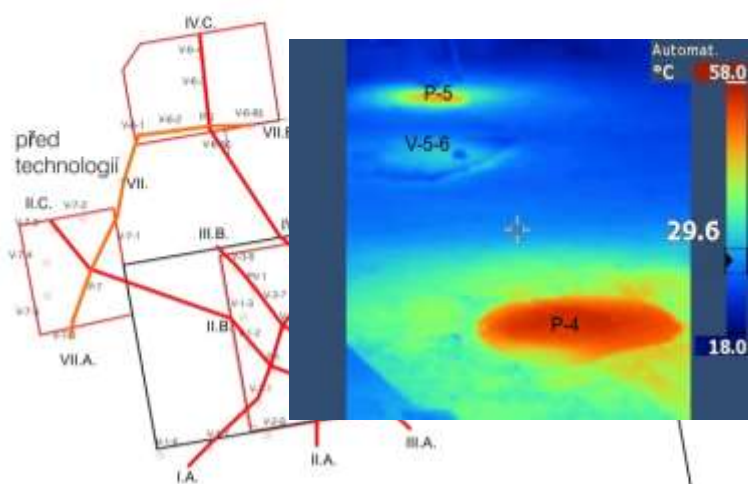


# Propařování horninového prostředí

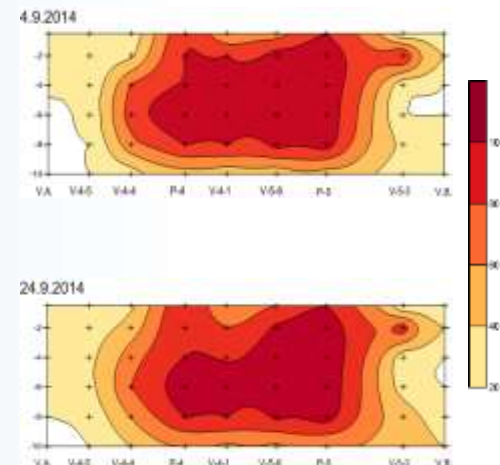
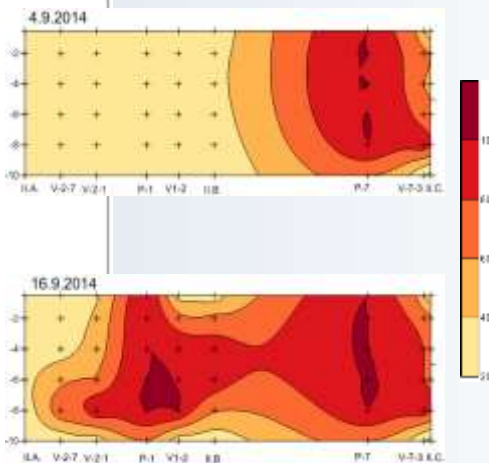
Vyhodnocení propařování – v roce 2014 realizovány 3 kola propařování

Profil V.A.-V.B.

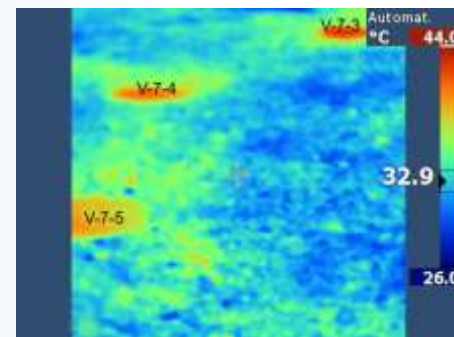
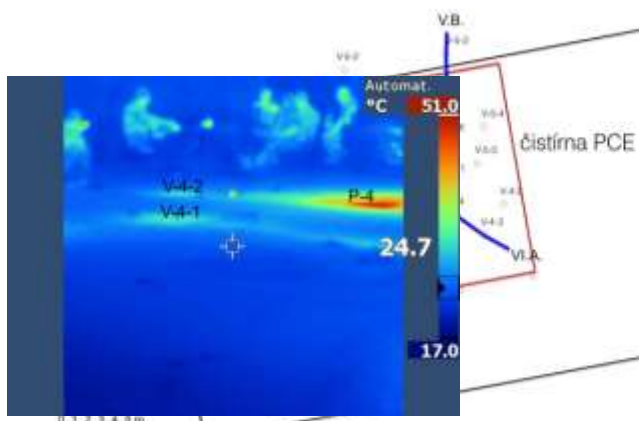
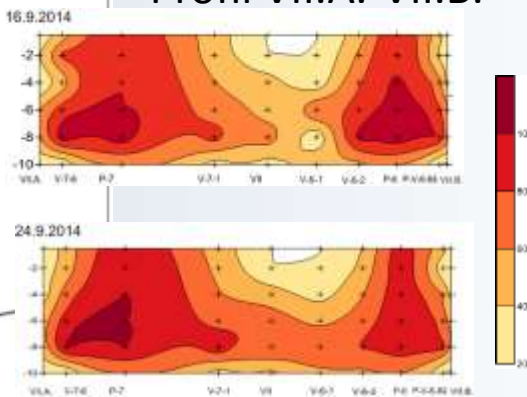
Mapa profilů teplot v průběhu propařování



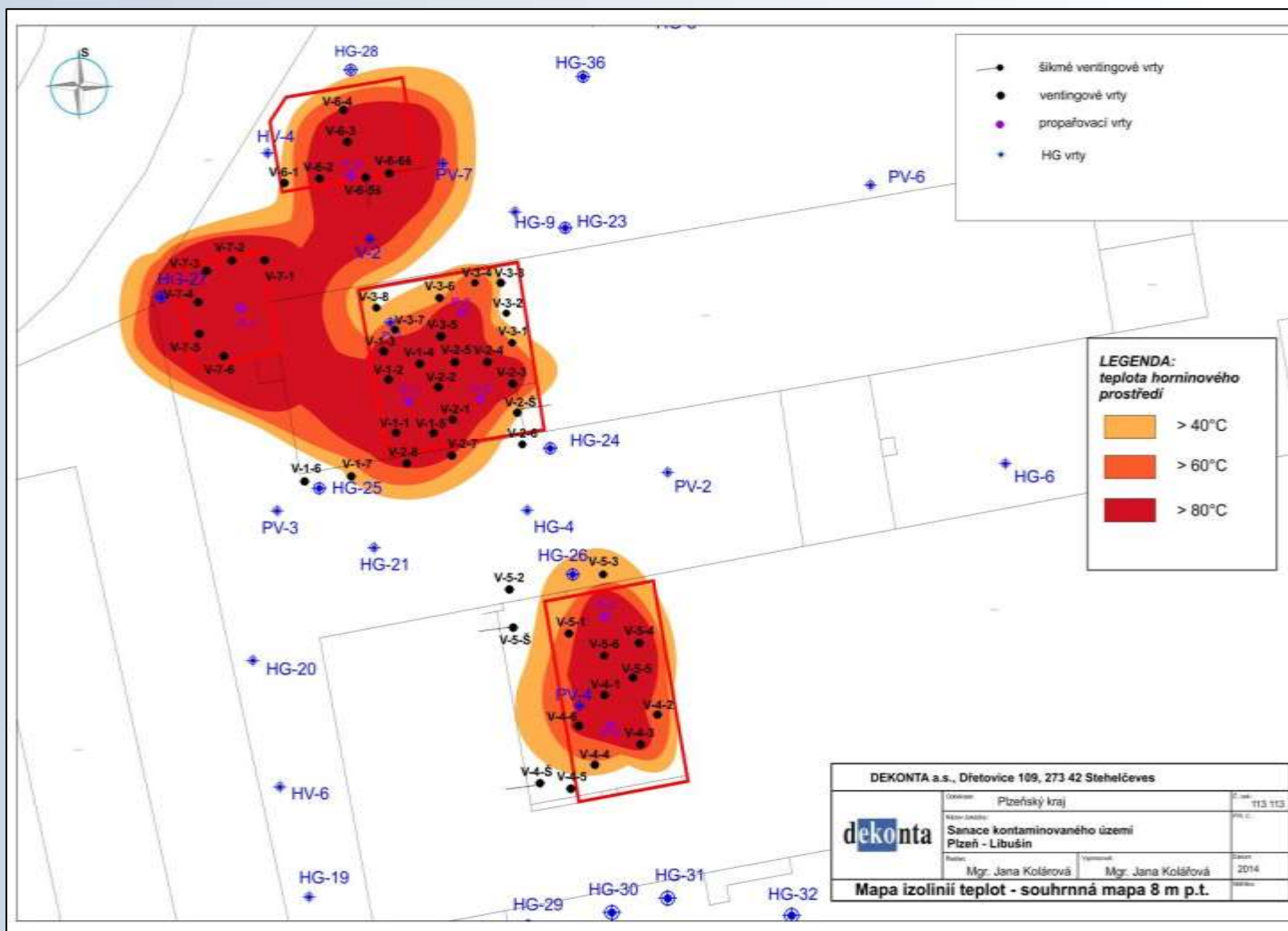
Profil II.A. – II.B. –II.C.



Profil VII.A.-VII.B.



# Propařování horninového prostředí



Souhrnná mapa max. plošného rozšíření teplot v hloubce 8 m p.t. v roce 2014

# Propařování horninového prostředí venting

## Provoz ventingu

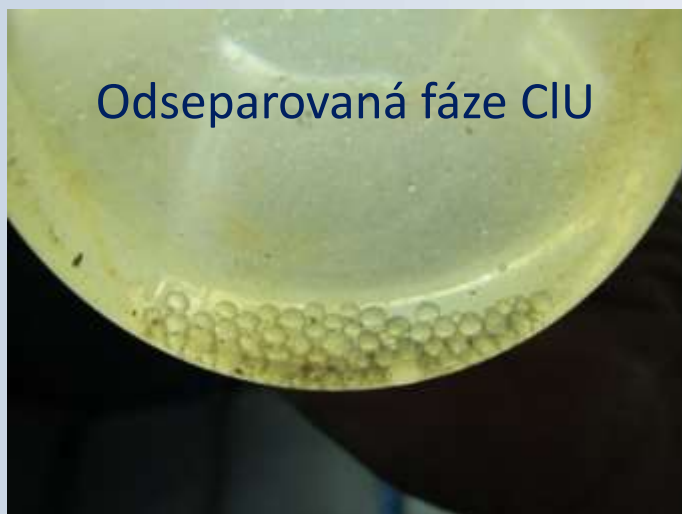
- Venting provozován od začátku sanačních prací nepřetržitě
- Odsáváno průměrně 350 m<sup>3</sup>/hod
- Počty ventovaných vrtů přizpůsobovány výsledkům monitoringu půdního vzduchu a provozu propařování
- Od 12/2013 do 12/2014 odsáto 2 500 080 m<sup>3</sup> půdního vzduchu



# Propařování horninového prostředí venting

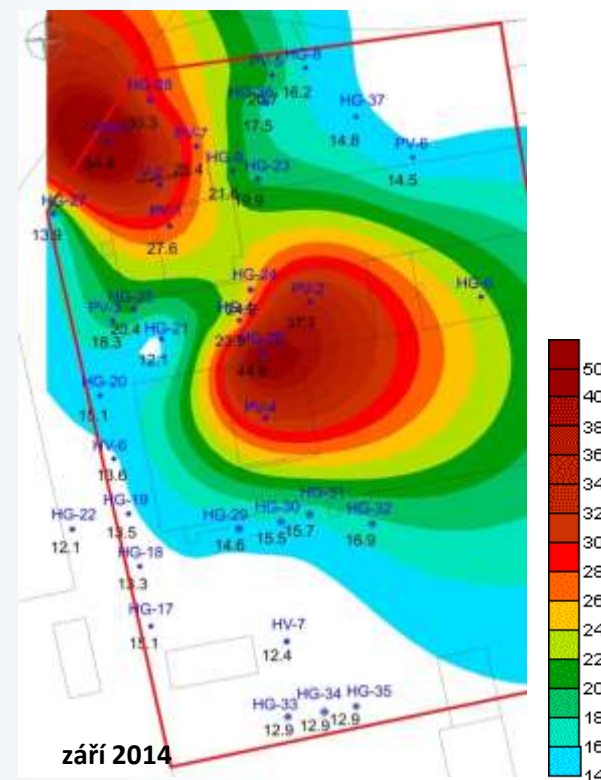
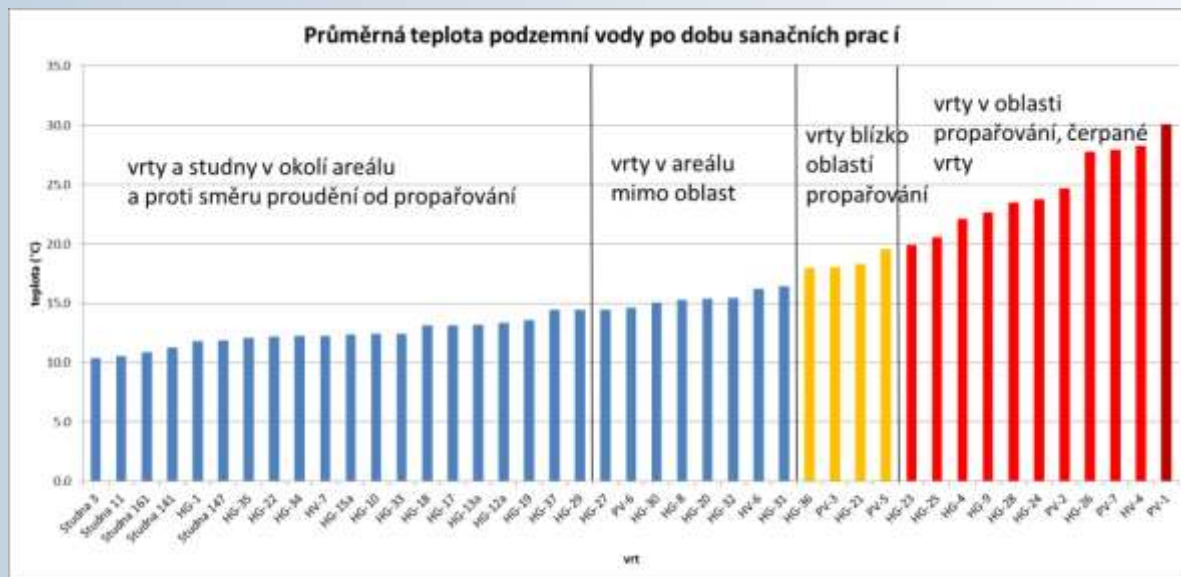
## Vyhodnocení propařování

- V roce 2014 byly realizovány celkem 3 kola propařování horninového prostředí.
- Ve všech třech oblastech prohřáto horninové prostředí na teplotu více jak 80°C téměř v celém sledovaném profilu od cca 2 do 8 m.
- Prohřáto téměř 90% vymezené plochy.
- Pozorován jednoznačný dosah teplot do saturované zóny, kdy dochází k intenzifikaci sanačního čerpání a mikrobiální aktivity in-situ reductivní dehalogenace díky vyšším teplotám podzemní vody.





# Vliv propařování prostředí na teploty podzemní vody



Nárůst teploty podzemní vody:

- vrt PV-7 ve směru proudění podzemí vody od benzínové haly 50-60°C
- vrtu HG-26 mezi halami 44,8 °C
- vrtu PV-2 ve vzdálenosti 9 m SV od propařovacího vrtu P-5 37,7°C

Průměrné teploty podzemní vody ve všech monitorovacích vrtech na lokalitě v roce 2014 dosáhly 15 až 30 °C.

# Sanační čerpání – (metoda pump & treat)

Provoz sanačního čerpání:

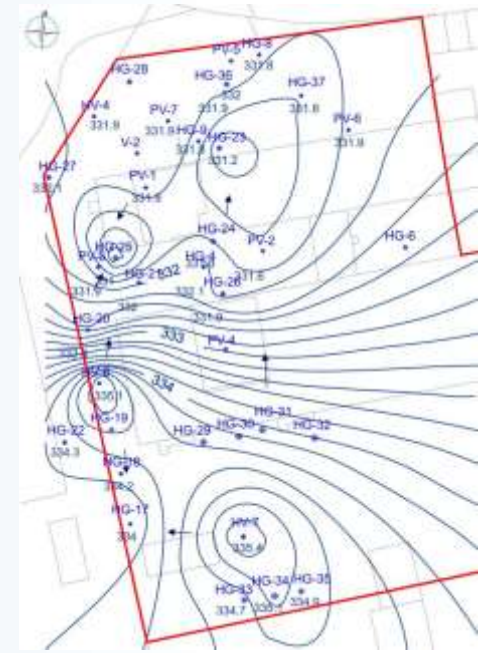
Čerpány 2 až 16 sanačních vrtů –  
prům. vydatnosti 0,3 l/s.

Celkem od prosince 2013 odčerpáno  
6 413 m<sup>3</sup> kontaminovaných vod

Zásak přečištěné vody do podzemních vod –  
celkem zasáknuto 1 879 m<sup>3</sup>, přebytečné  
množství vypouštěno do kanalizace

Sanační a ochranná funkce sanačního čerpání:

- odčerpávána kontaminace mobilizovaná parou a horkou vodou při propařování
- umožňuje řízenou distribuci aplikovaných podpůrných látek v hornině
- snížení hladiny podzemní vody v ohniscích kontaminace
- zmenšení obsahu vody v horninovém prostředí a zvýšení propustnosti prostředí pro vzduch a páru - výrazné zvýšení účinnosti SEE
- hydraulická ochrana okolí kontaminované lokality.



Mapa hydroizohyps 03/2014

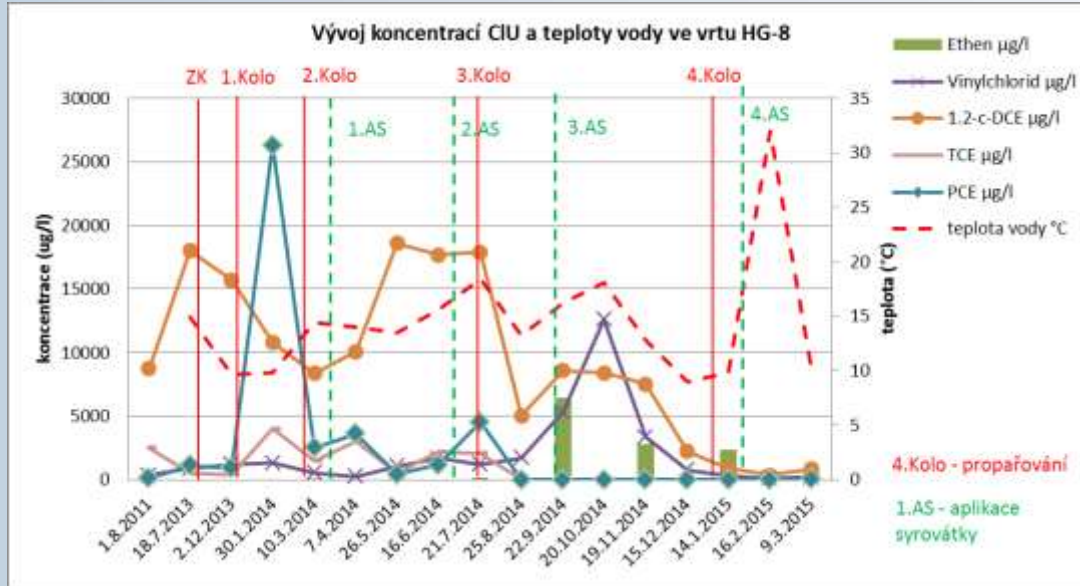
# In-situ reduktivní dehalogenace

**Reduktivní dehalogenace CIU = biologická transformace CIU v horninovém prostředí na látky neškodné vodám**

- ✓ atomy chloru jsou v molekule CIU nahrazovány vodíkem - za anaerobních podmínek - degradační cesta chlorovaných alifatických uhlovodíků :  
PCE – TCE – cis-1,2 DCE – vinylchlorid – ethen
- ✓ podmínky pro stimulovanou reduktivní dehalogenaci jsou na lokalitě vytvořeny opakovanou aplikací syrovátky do vybraných aplikačních vrtů dle koncentrací CIU.
- ✓ Pro účinnou dehalogenaci CIU až na úroveň ethenu je v sanovaném kolektoru nutno dosáhnout koncentrace organického substrátu v úrovni cca 1,0 g/l (sledováno jako CHSK-Cr).
- ✓ V roce 2014 realizována 3 kola aplikace – celkem zasáknuto 280 m<sup>3</sup> syrovátky.
- ✓ Po každé aplikaci vrt propláchnut 0,5 m<sup>3</sup> vody.

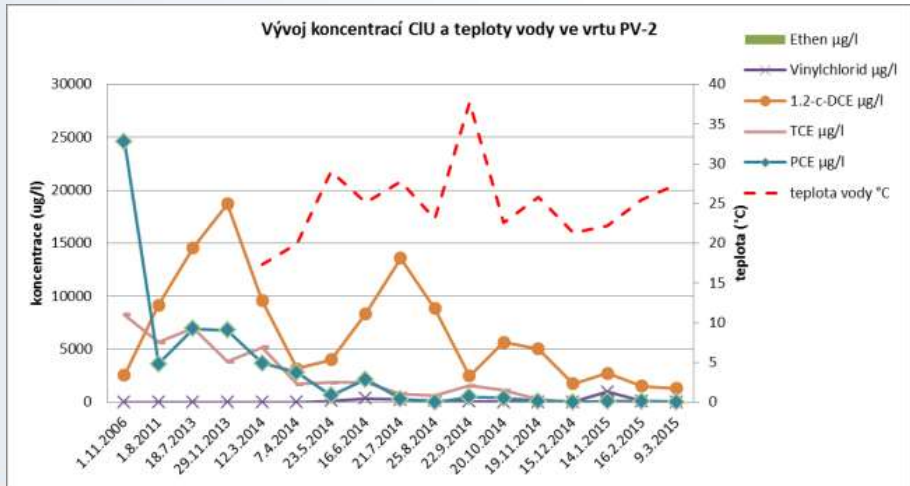
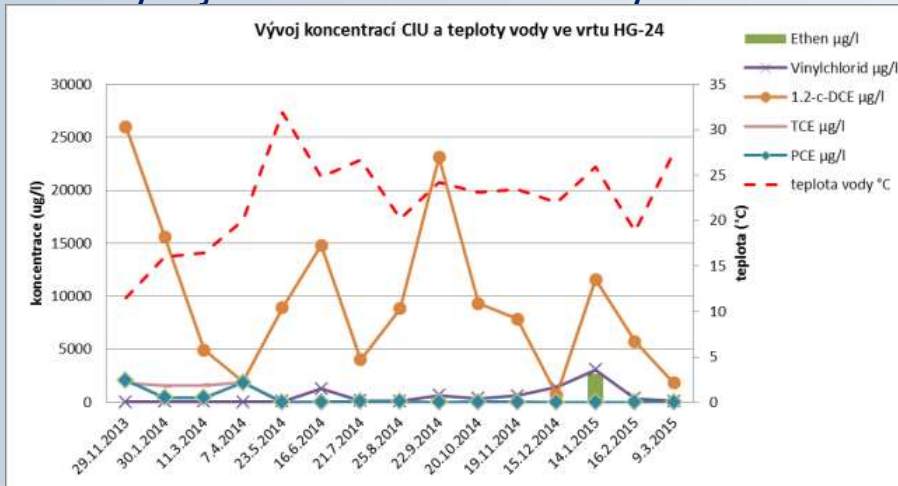
Monitoring - stanovení CHSK-Cr, CIU včetně VC, uhlovodíků C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>, produktů dehalogenace (ethan, ethen, mathan). Přímo v terénu prováděno při odběrech vzorků měření pH, Eh, teploty a obsahu O<sub>2</sub>.

# Vývoj koncentrací CIU



Vývoj jednotlivých CIU a teploty podzemní vody v závislosti na propařování a aplikaci syrovátky – vrt HG-8

## Vývoj koncentrací CIU – vrty HG-24 a PV-2



# In-situ reduktivní dehalogenace

## Vyhodnocení in-situ reduktivní dehalogenace CIU – vývoje znečištění CIU

- ✓ **Dobře nastartované a probíhající procesy reduktivní dehalogenace CIU** – poklesy koncentrací PCE- TCE – **DCE**, nárůst a následný pokles koncentrací VC a ethenu prakticky u všech vrtů na lokalitě, dobré odbourávání aplikované syrovátky.
- ✓ Doloženo šíření syrovátky po celé lokalitě i mimo aplikační vrty – šíření urychleno sanačním čerpáním.
- ✓ V březnu 2015 koncentrace nad sanačním limitem pouze ve 3 vrtech PV-6 (3 091 ug/l), HG-29 (3 079 ug/l) a HG-17 (4 555 ug/l) – v prosinci 2013 nad sanačním limitem celkem 15 vrtů

# Intenzifikace pomocí nulamocného železa (NZVI)

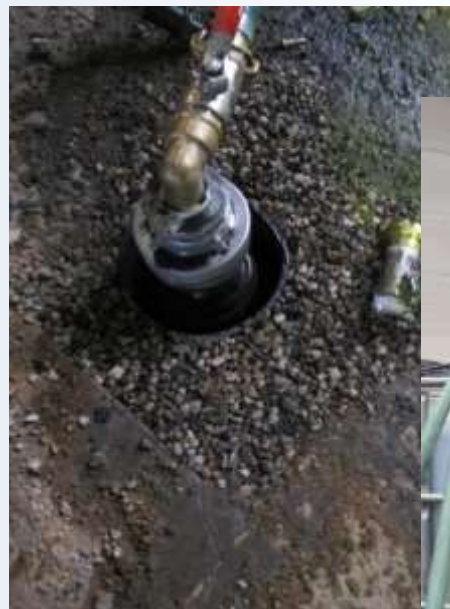
Princip metody:

- Aplikace elementárního železa jako donoru elektronů, (oxidované sloučeniny slouží jako akceptory elektronů).
- Pro použití NZVI při sanaci chlorovaných uhlovodíků probíhá reakce např. s TCE dle rovnice:



Zkušební aplikace na lokalitě:

- Aplikován produkt NANO FER 25S, obsah nanočástic železa v suspenzi 20%, výrobce NANO IRON s.r.o.
- Vzhledem k vysoké koncentraci CIU (131 mg/l) bylo do vrtu NZVI-7 injektováno 10 kg NZVI v roztoku o koncentraci 10 gFe/l
- Sledovány koncentrace jednotlivých CIU, produktů rozpadu (chloridů, rozpuštěných plynů – methan, ethen, ethan) a zbytkové koncentrace NZVI (stanovení celkového obsahu železa).
- měřeno pH, teplota, ORP, rozp. O<sub>2</sub>, vodivost a úroveň hladin podzemní vody



Aplikační vrt

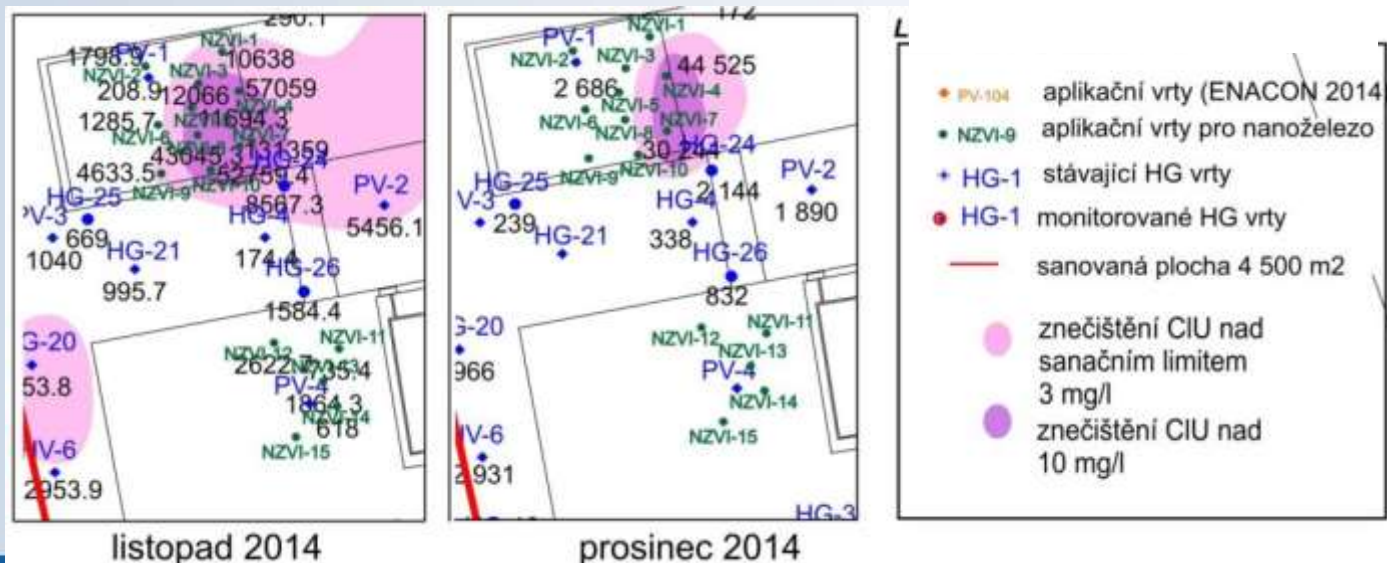


Míchání roztoku NZVI

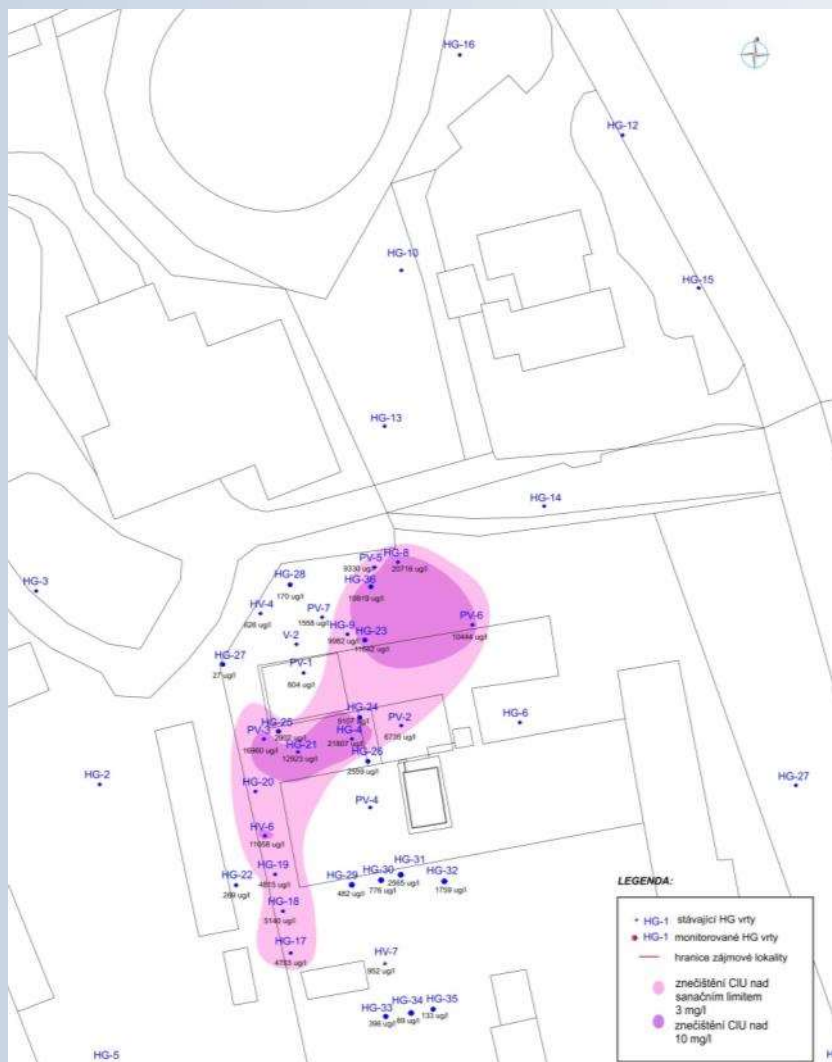
# Intenzifikace pomocí nulamocného železa (NZVI)

## Závěry zkušební aplikace nanoželeza

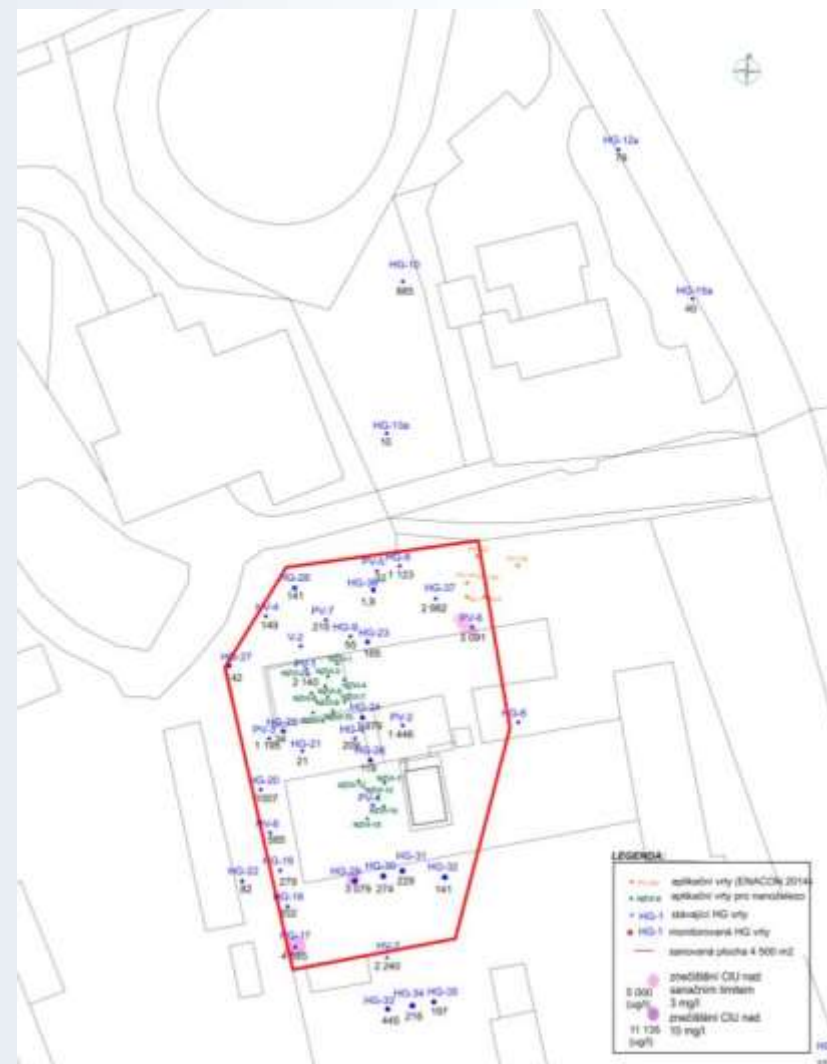
- Bylo ověřeno dostatečné množství injektovaného nanoželeza na aplikační vrt.
- Byla ověřena účinnost aplikace na degradaci a celkový pokles koncentrací CIU až na 23% původní koncentrace.
- Došlo k celkovému urychlení procesu degradace CIU až na plyny (ethen).
- Byla ověřena migrace nanoželeza (vlivu aplikace) ve směru proudění podzemní vody.
- Byla doložena vhodnost použití zvolené metody pro intenzifikaci sanačních prací.
- Nebyl zjištěn negativní vliv na reduktivní dehalogenaci spuštěnou na lokalitě aplikací syrovátky, naopak obě metody lze vzájemně kombinovat



# Vývoj znečištění podzemních vod CIU



Koncentrace CIU – květen 2014



Koncentrace CIU – březen 2015



## Závěr

- V průběhu doposud realizovaných sanačních prací se prokázal význam a synergické působení kombinace sanačních technologií založených na fyzikálních (odtěžba, SEE, venting, čerpání) i chemicko-biologických. (mikrobiálně i chemicky podpořená reduktivní dehalogenace) principech.
- Mimořádně pozitivní vliv na účinnost použitých technologií **má zvýšení teploty vody** vlivem technologie propařování horninového prostředí.
- Celkem bylo od září 2013 do prosince 2014 odstraněno z horninového prostředí **3,4 t CIU a 9,9 t RL**
- Přes mnohá technická úskalí dochází vlivem vzájemného kombinování sanačních metod k významnému poklesu koncentrací kontaminantů v horninovém prostředí saturevané i nesaturevané zóny a je předpoklad dosažení cílového limitu ve stanoveném termínu.

# Děkuji za pozornost

