



**PŘÍRODNÍ A  
TECHNOLOGICKÉ FAKTORY  
URČUJÍCÍ  
ÚSPĚŠNOST SANAČNÍHO  
ZÁSAHU NA LETIŠTI  
HRADČANY**

**Jiřina Macháčková  
Stanislava Prokšová  
Ferdinand Herčík**

# Sanační technologie

kombinace několika metod

## I. fáze

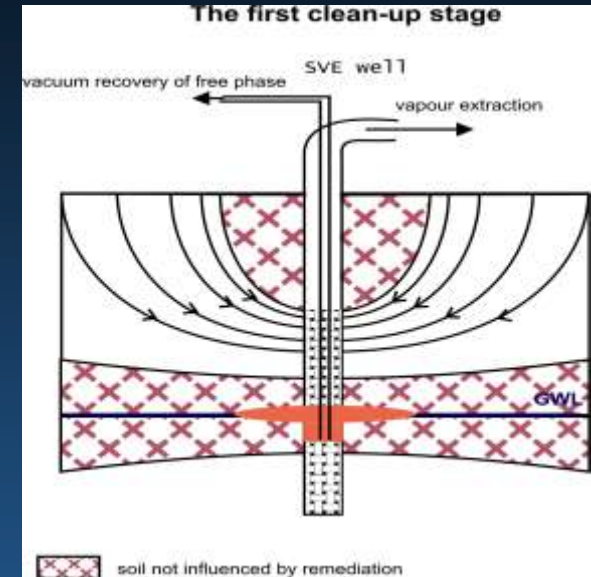
### venting (VE) + vakuová extrakce fáze RU

- odstranění volné olejové fáze
- odstranění těkavé složky v půdním vzduchu
- podpora biodegradace v nesaturované zóně

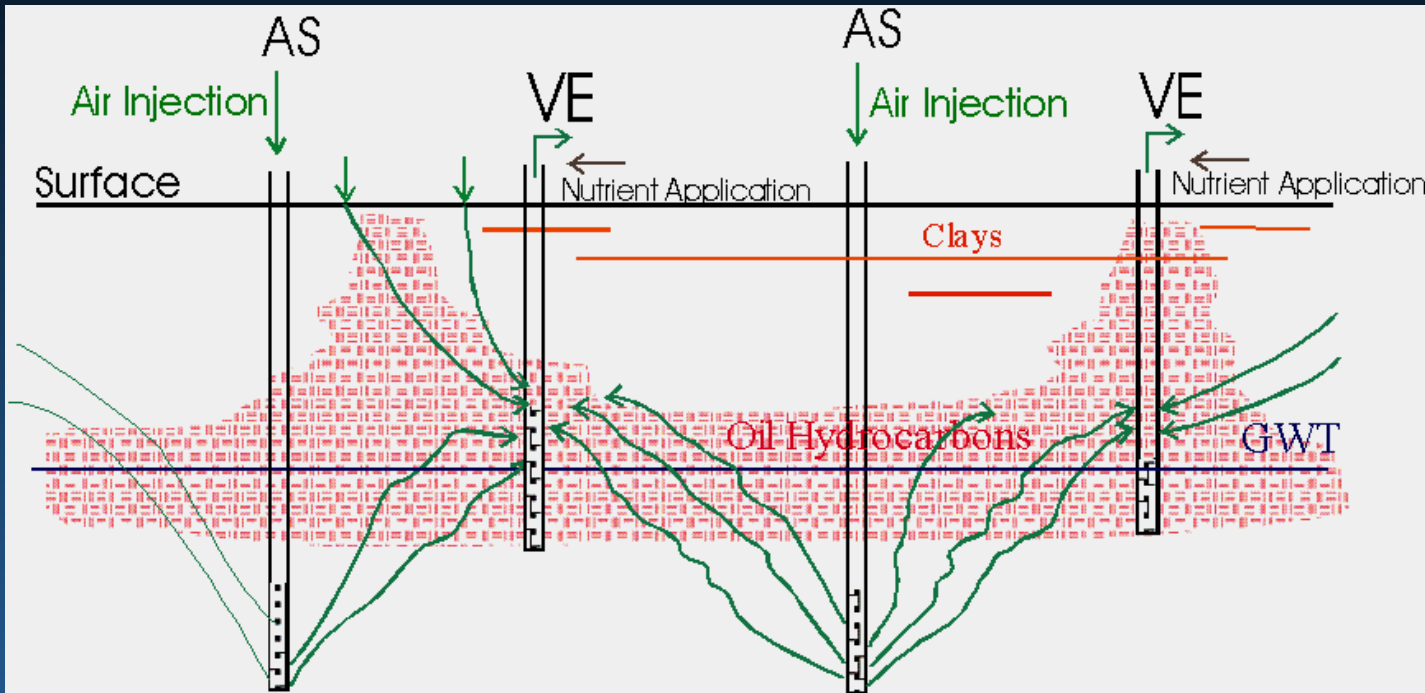
## II. fáze

### venting + air sparging (AS)

- odstranění těkavého podílu RU
- provzdušnění podzemní vody a zemin v celém kontaminovaném profilu
- podpora aerobní biodegradace *in situ*
- stimulace metabolické aktivity autochtonních půdních bakterií
- přirozeně velmi nízké obsahy makronutrientů v podzemní vodě (setiny mg/l) periodická aplikace roztoků zemědělských hnojiv (N,P,K)



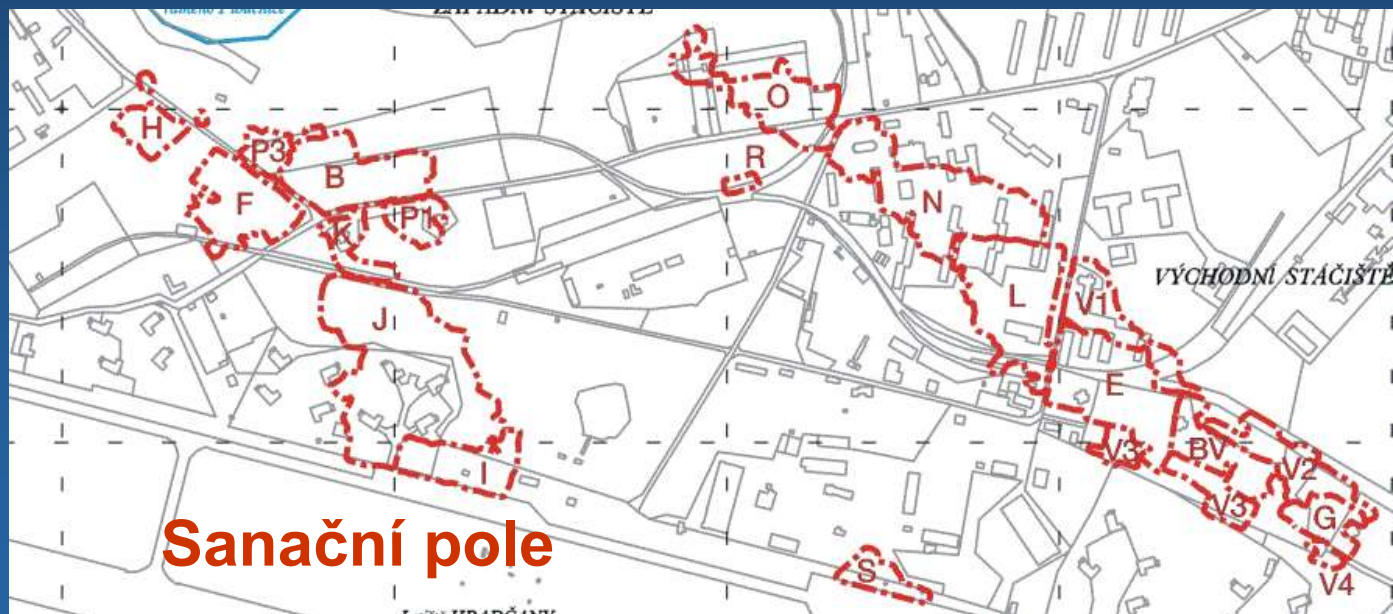
# Schéma biodegradační technologie





# Průběh sanace letiště Hradčany

- Ⓜ 28,3 ha postupně pokryto vrtnou sítí a uvedeno do provozu v období 1997- 2005
- Ⓜ plocha rozdělena na dílčí sanační pole (0.5 – 4,9 ha)
- Ⓜ 1650 AS vrtů, 1350 VE vrtů
- Ⓜ 60 kompresorů, 28 ventilátorů, cca 100 km různých rozvodů
- Ⓜ provoz technologie ukončen 2008, 2009 -2010 posanační monitoring



# Účinnost sanace

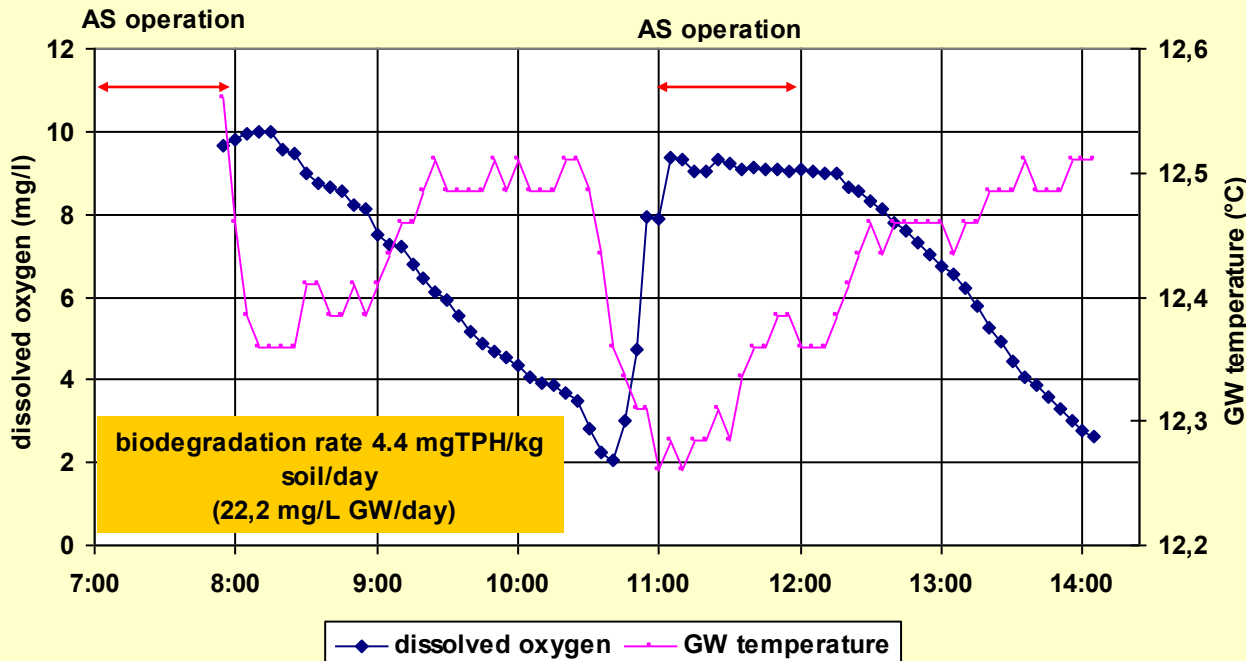
- Ⓜ monitoring odsávaného vzduchu - obsah O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, objem
  - měsíčně, přesnost ověřována křížovou bilancí, účinnost záchytu ověřena héliovými testy

**kvantifikace rozložených RU podle stochiometrie**

$$\text{C}_{10}\text{H}_{18} + 14,5 \text{ O}_2 \longrightarrow 10 \text{ CO}_2 + 9 \text{ H}_2\text{O}$$
- Ⓜ požadová respirace stanovena v poli R na 2,3 t/ha/rok
- Ⓜ bodová respirační aktivita sledována respiračními testy v nesaturevané i saturevané zóně
  - 1 – 2 ročně
- kontrolní vzorkování zemin – bilance množství RU (jako NEL) v sanačních polích, 20 sond/ha, bodový vzorek v intervalu 0,5 m
  - perioda 2 -4 roky
- vzorkování podzemní vody, 25 vrtů/ha, 1x ročně
- monitoring fáze, 100 vrtů/ha, 2x ročně



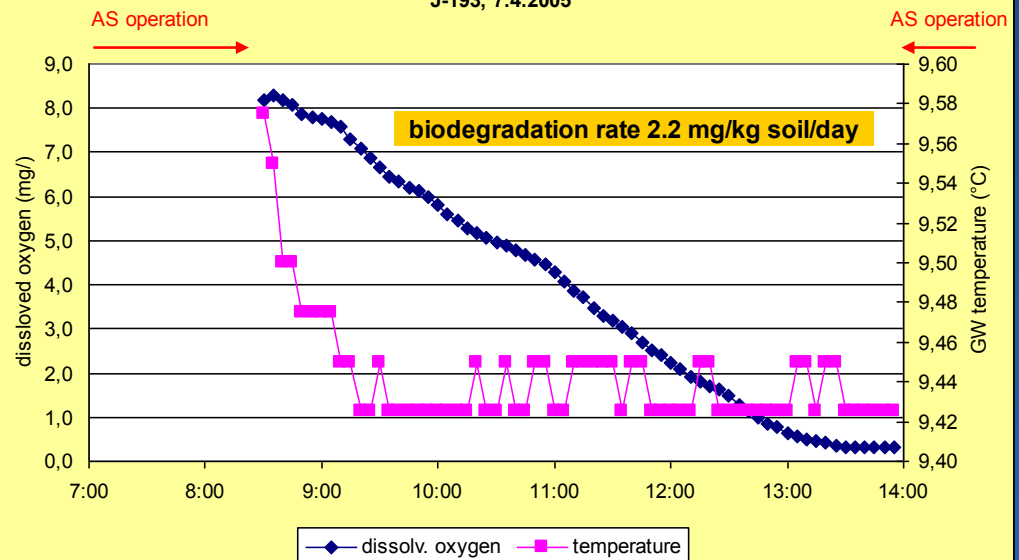
Dissolved Oxygen Utilisation, E -122 well, 5.4.05



# Respirační aktivita v podzemní vodě

- point information
- oxygen concentration changes in groundwater (saturated zone)
- $O_2$  consumption = biodegradation rate stoichiometrically

J-193, 7.4.2005



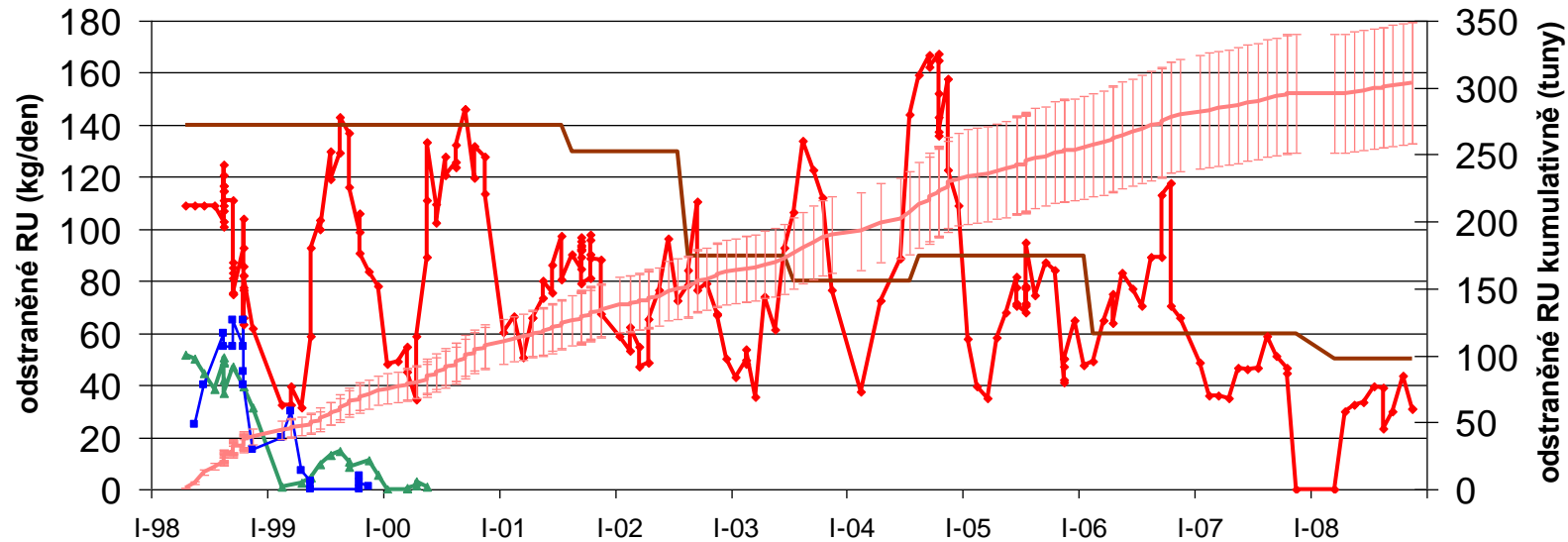
# Hlavní faktory, ovlivňující aerobní biodegradační aktivitu

- Ⓜ dostupnost kyslíku
- Ⓜ dostupnost makro a mikronutrientů – lokalita tvořena písky a pískovci – limitace N, P, K – aplikace živin
- Ⓜ biodostupnost polutantu – kolonovými testy ověřena téměř úplná biodegradabilita a biodostupnost polutantu
- Ⓜ teplota
- Ⓜ vlhkost, pH



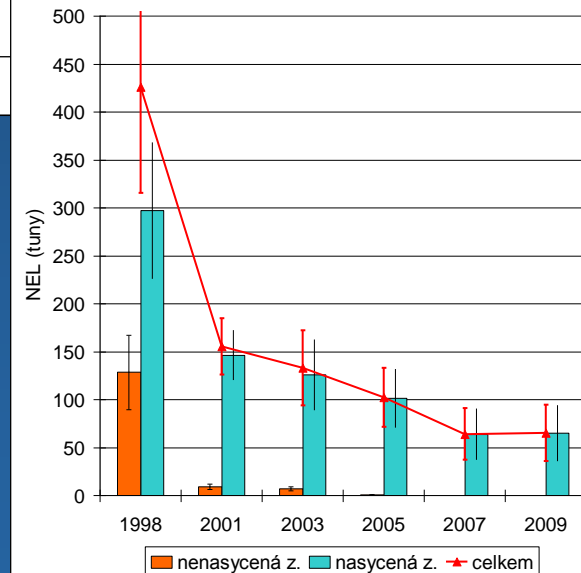


## sanační bilance, pole I (1,4 ha)



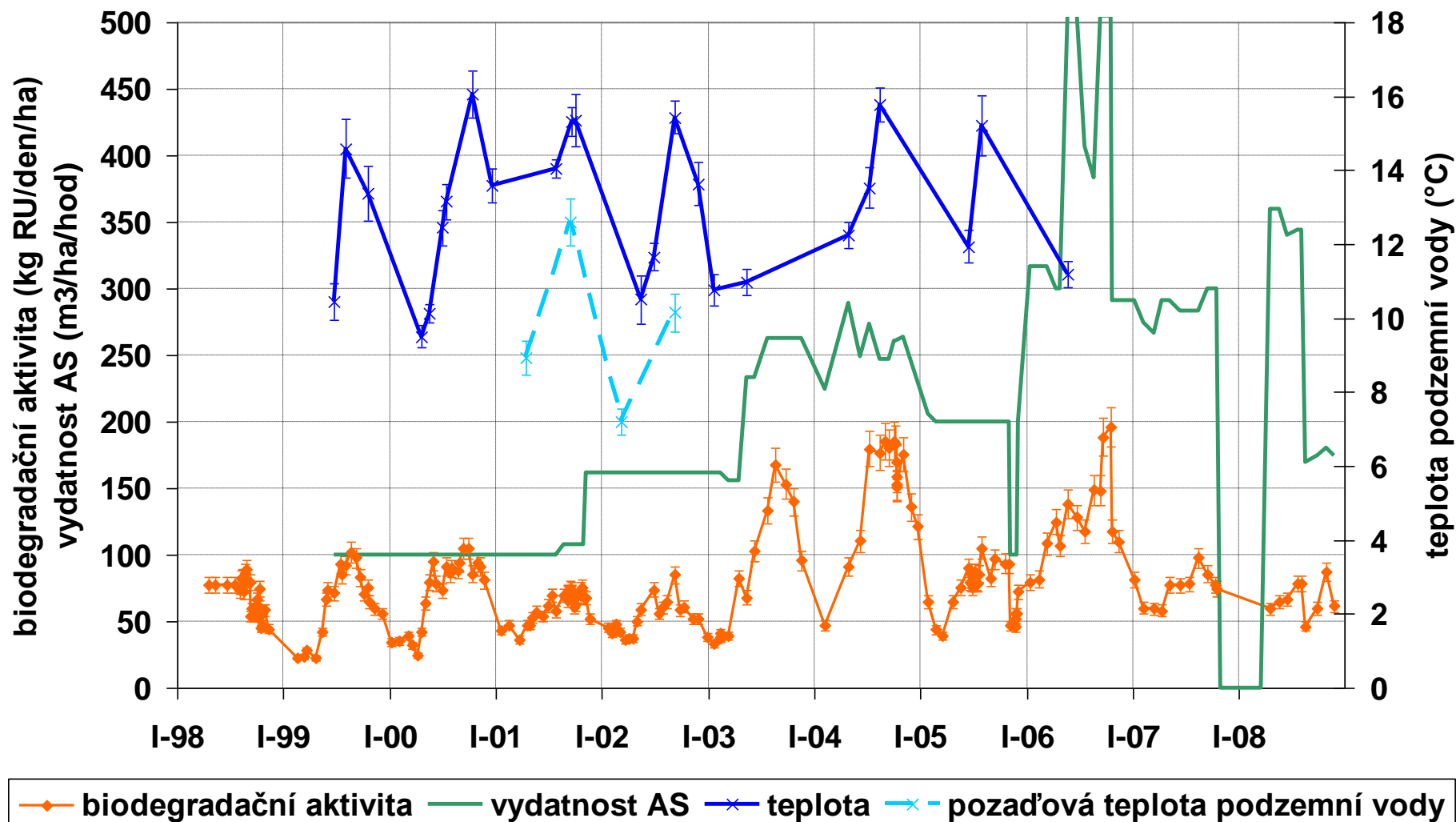
- biodegradace RU (kg/den)
- odsávání RU fáze (kg/den)
- RU odstraněné - sanace
- venting RU (kg/den)
- sanovaná plocha (ha\*100)

## zeminná bilance obsahu NEL, pole I

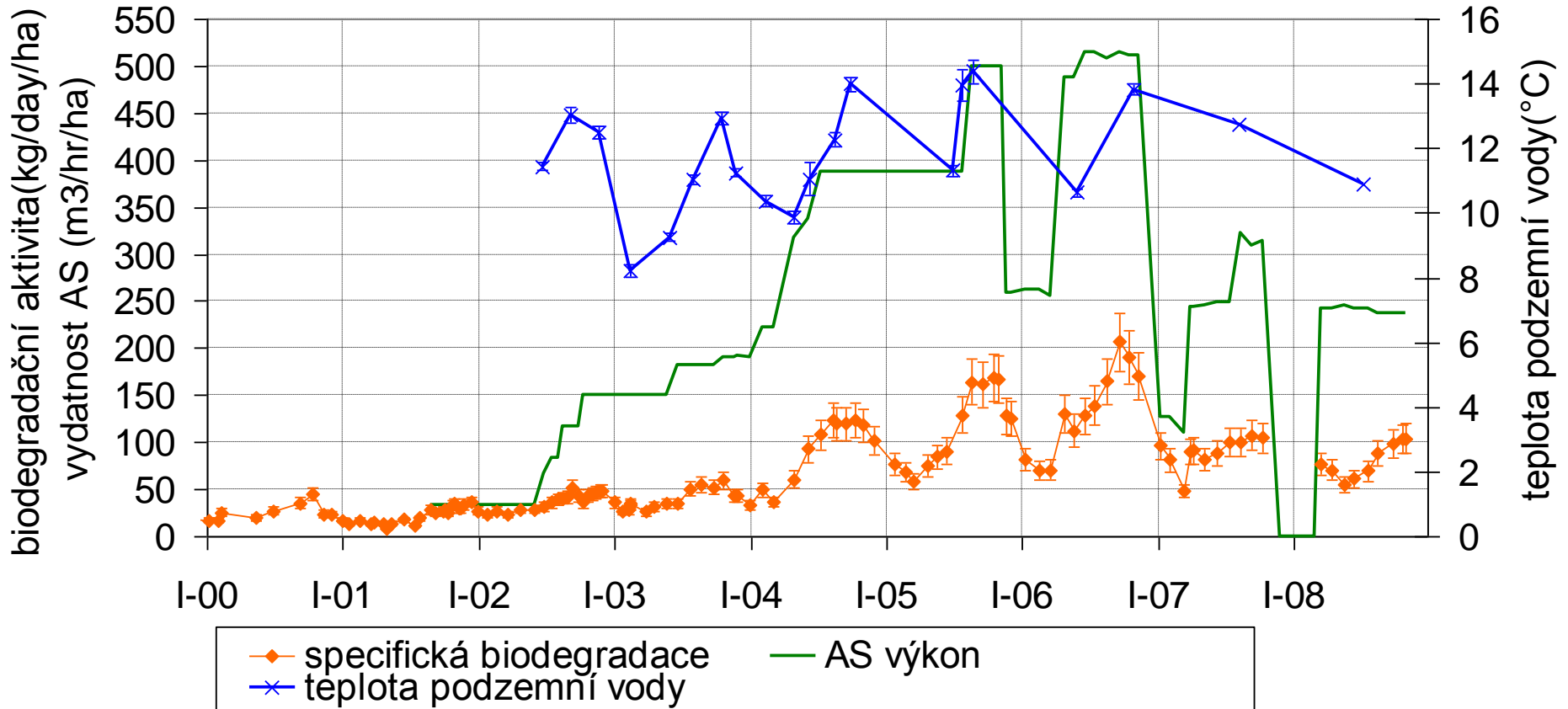


# Průběh sanace pole I

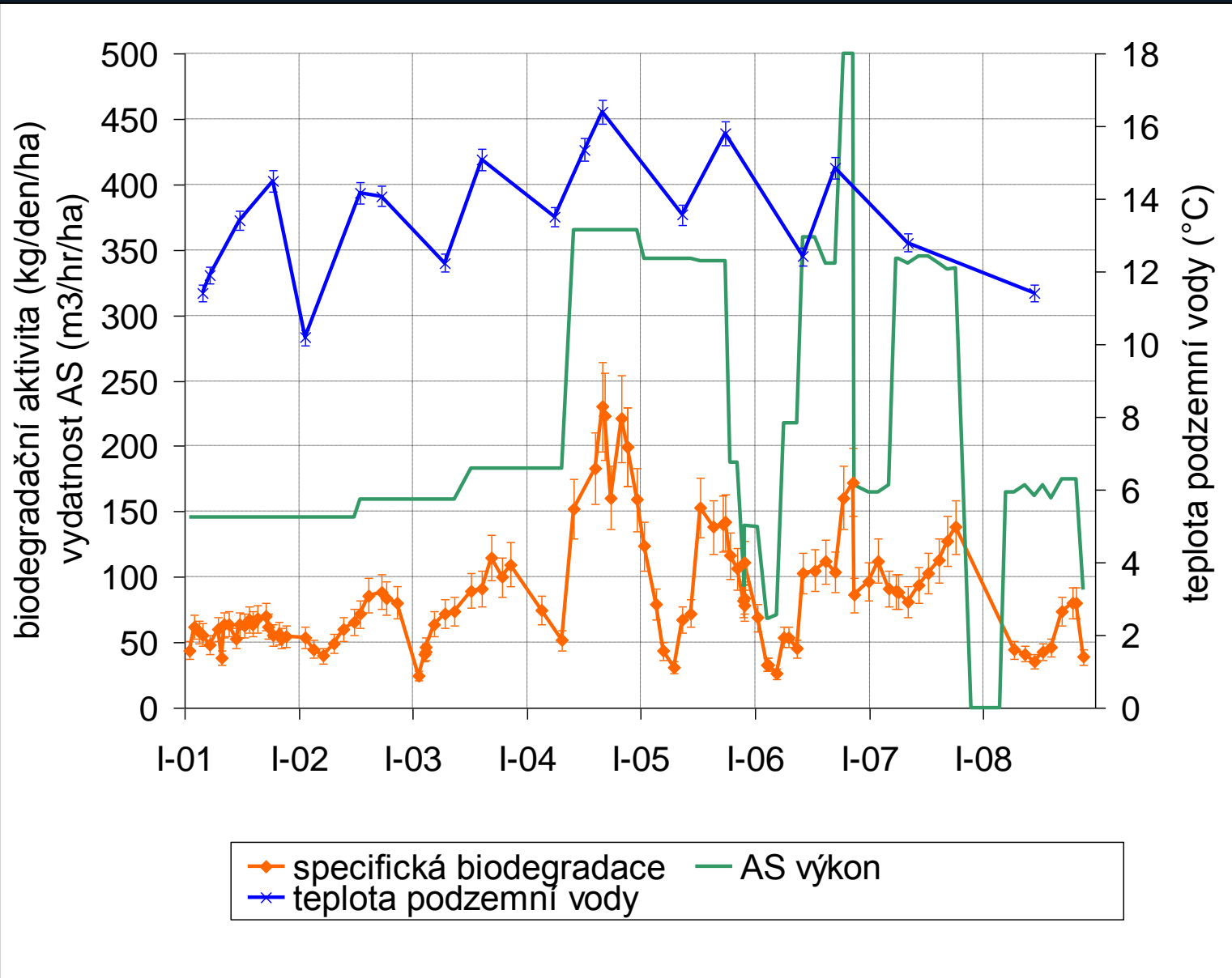
# Průběh specifické biodegradace na poli I (1,4 ha)



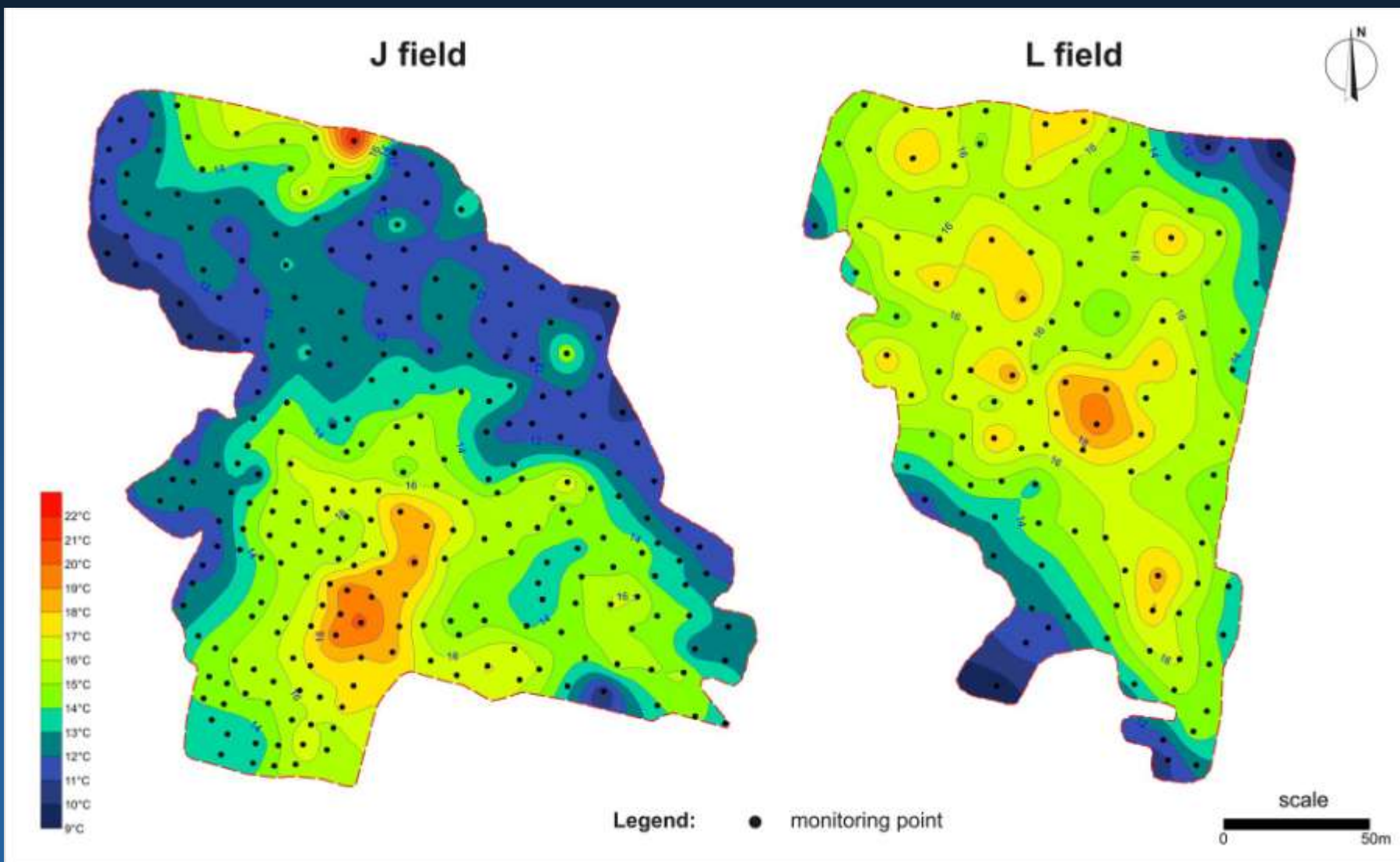
# Průběh specifické biodegradace na poli J (4,9 ha)



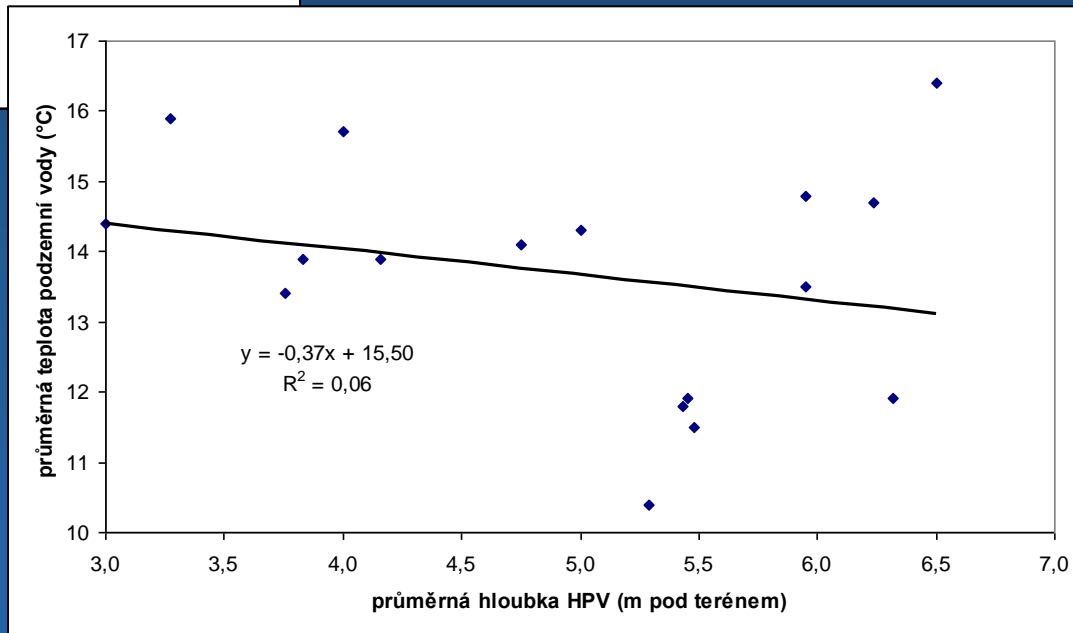
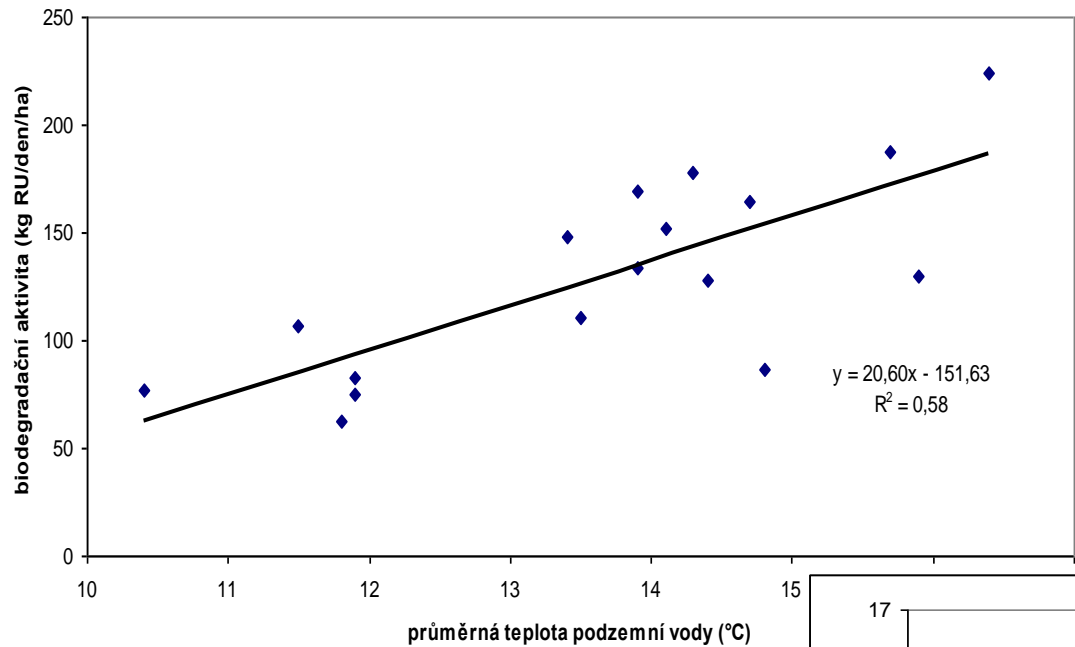
# Průběh specifické biodegradace na poli L (2,5 ha)



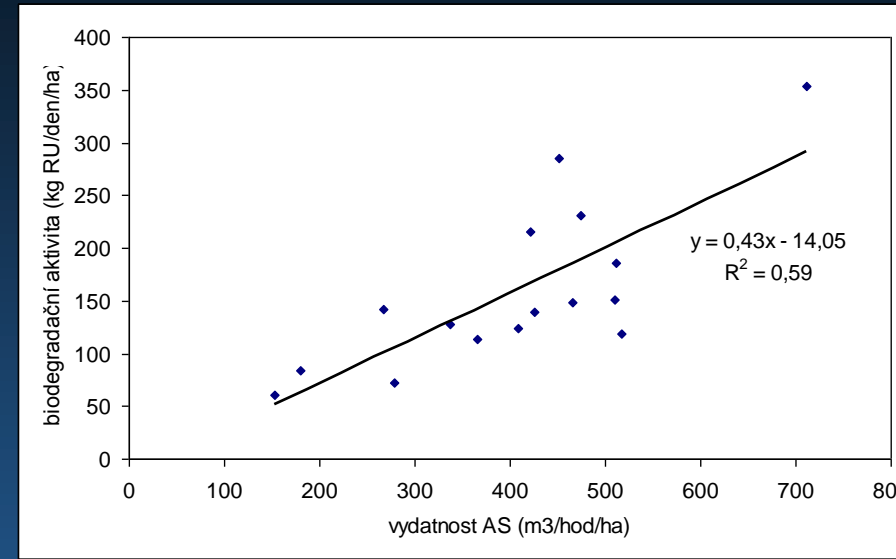
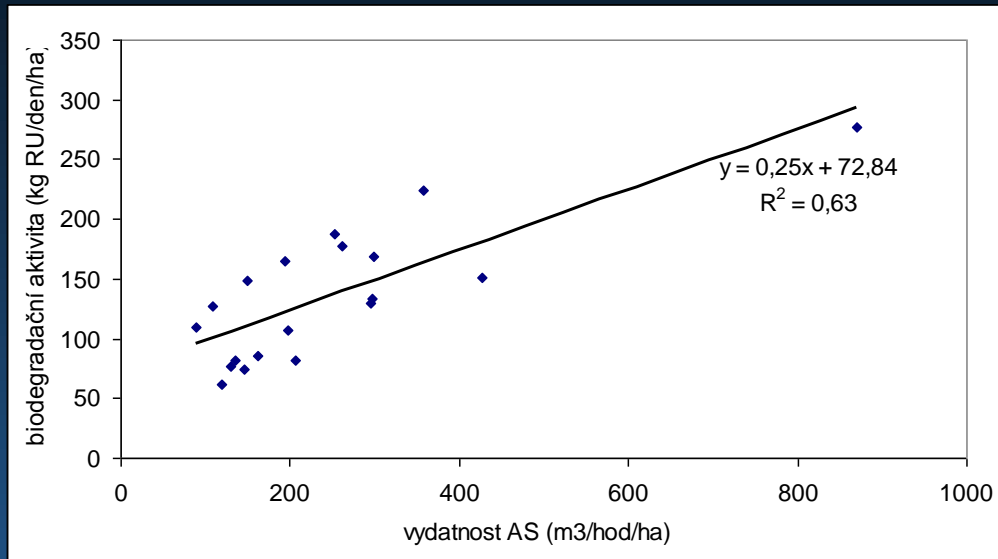
# Teplota podzemní vody v polích J a L v roce 2004 (léto)



# Vztah mezi teplotou, intenzitou biodegradace a HPV (data léto 2004)

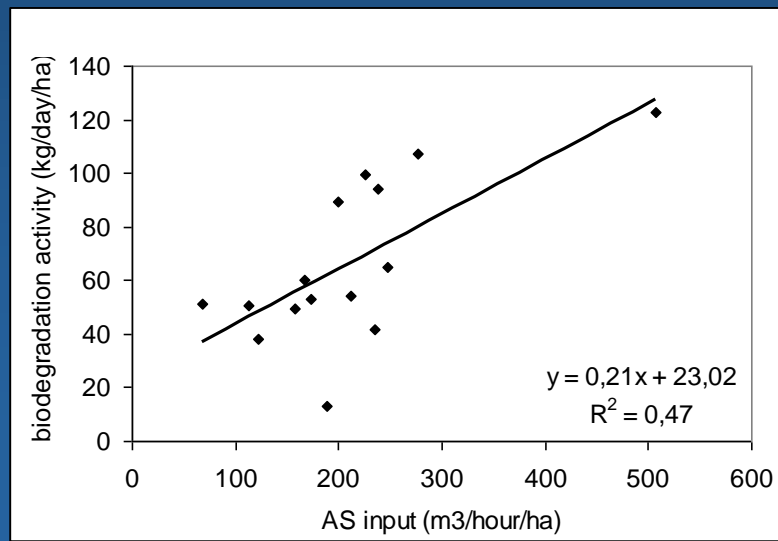


# Vliv objemu vtláčeného vzduchu na intenzitu biodegradace



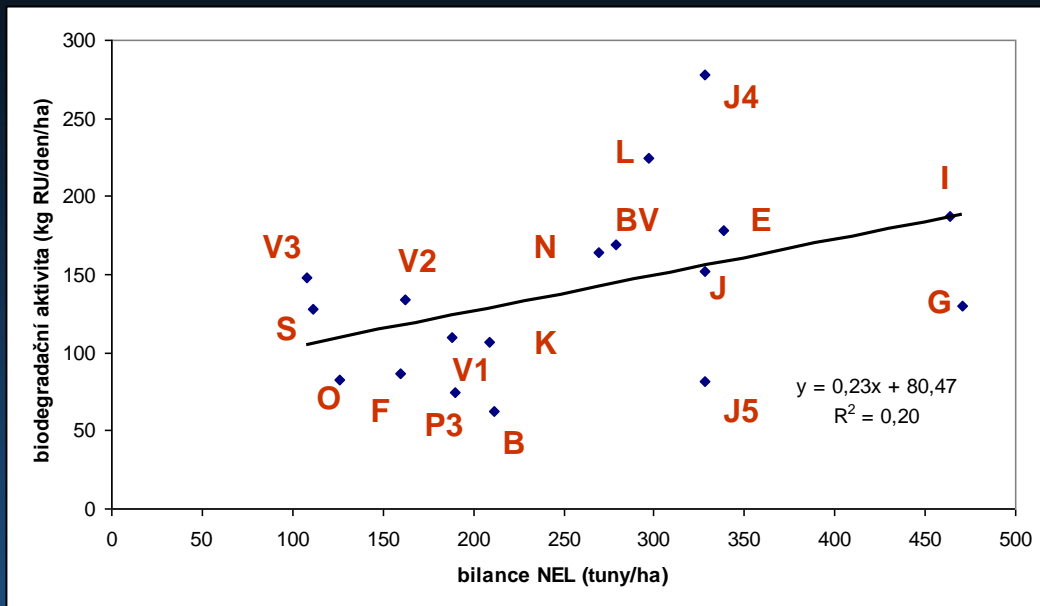
2004

2006



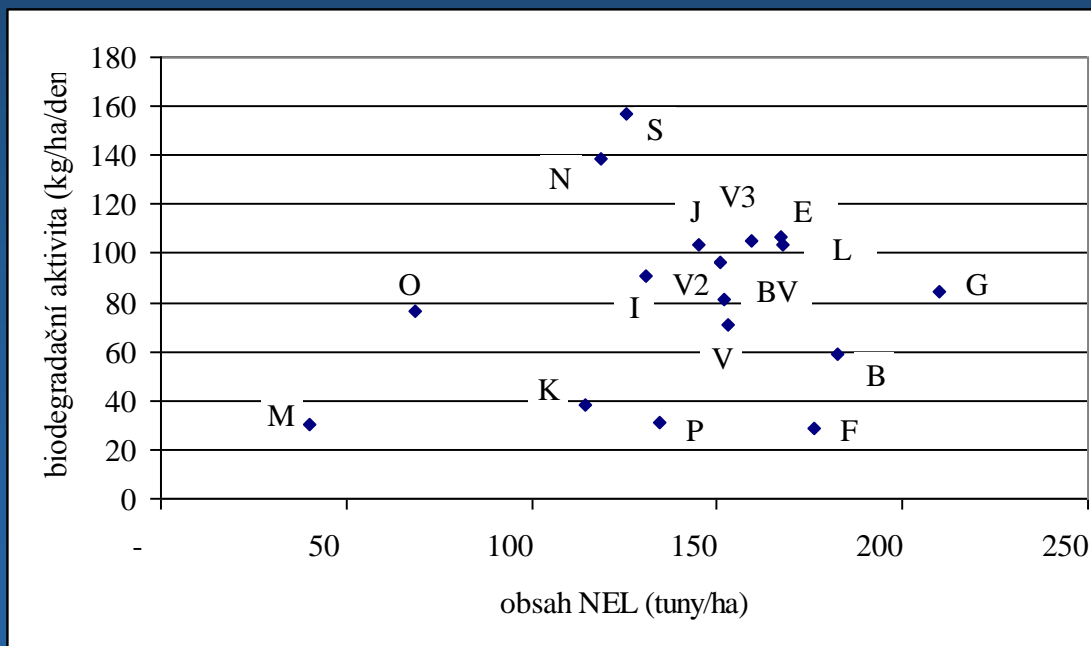
2008

# Vliv obsahu RU na intenzitu biodegradace



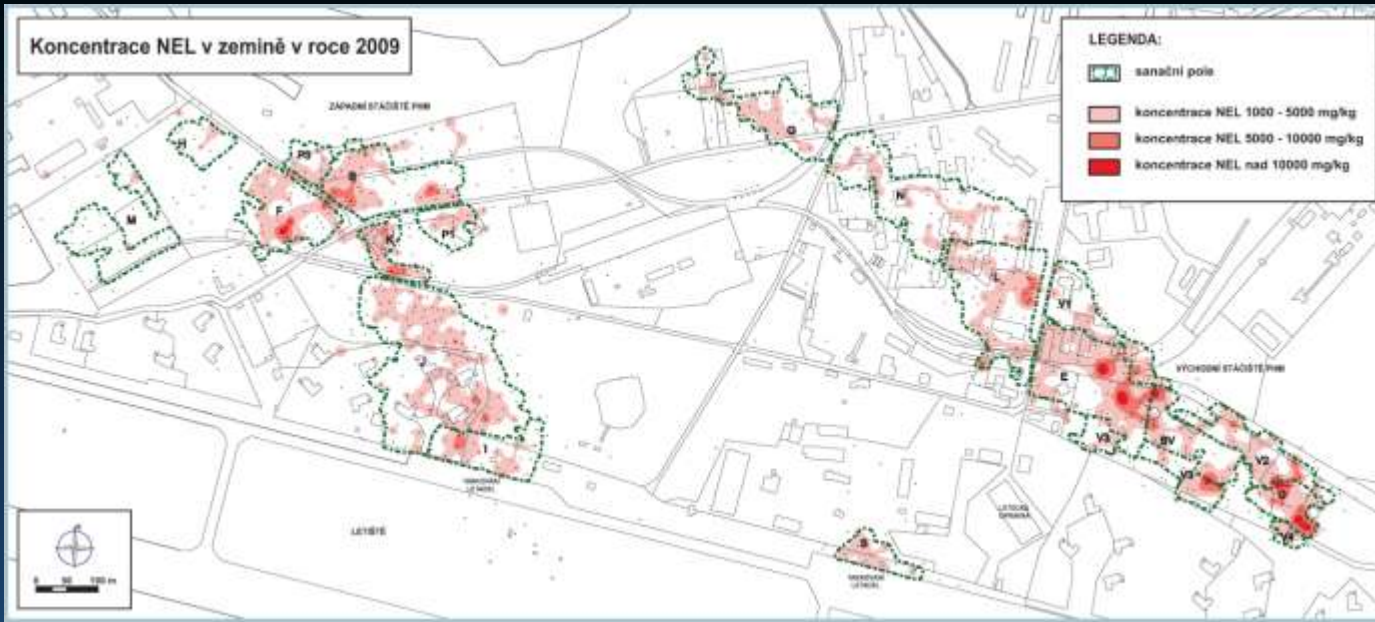
2004 – NEL vstup

2007 – NEL 2007 (nadlimitní části ploch)



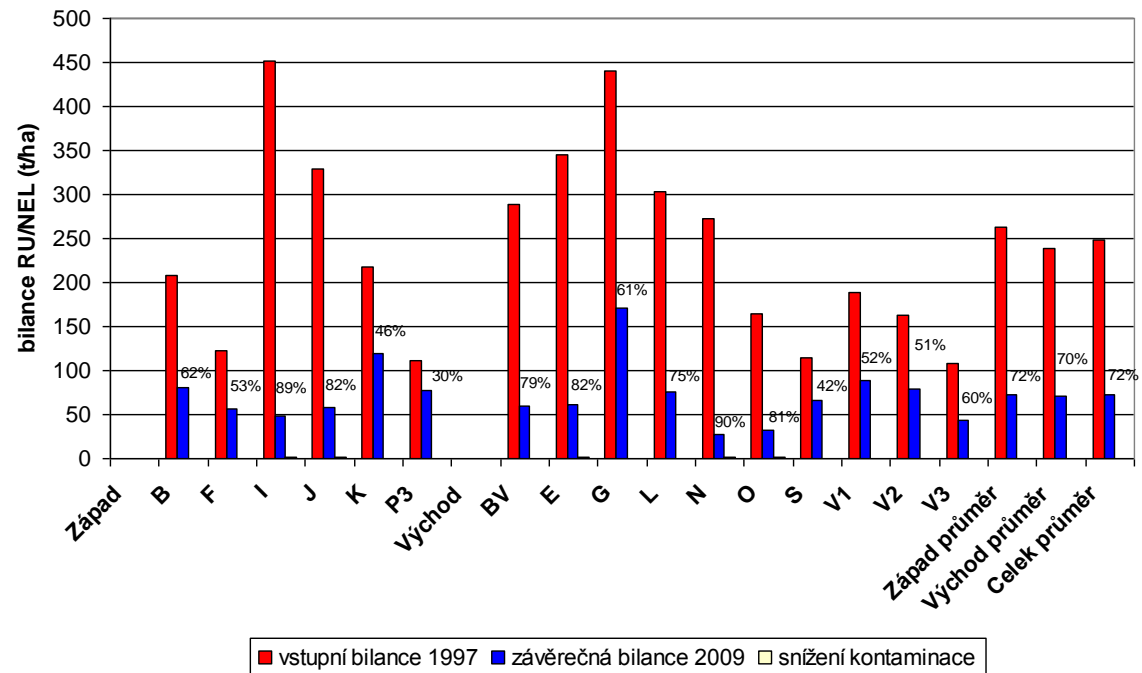


Koncentrace NEL v zemině v roce 2009



# Kontaminace zemín NEL při ukončení sanace

Bilance NEL v zeminách



Koncentrace NEL v zemině v roce 2009



Koncentrace NEL v podzemní vodě v roce 2010

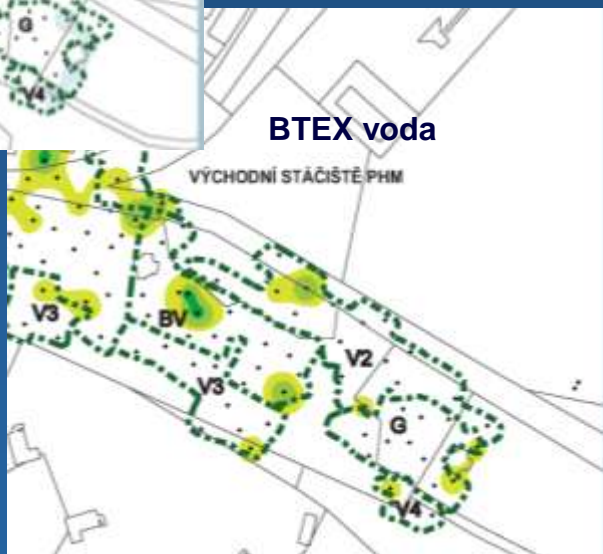
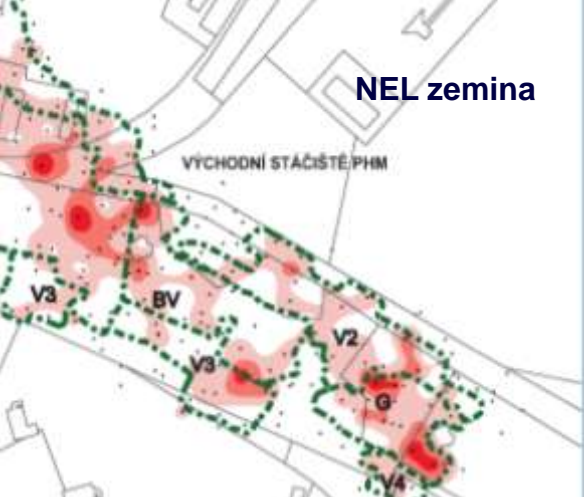


Koncentrace BTEX v podzemní vodě v roce 2010



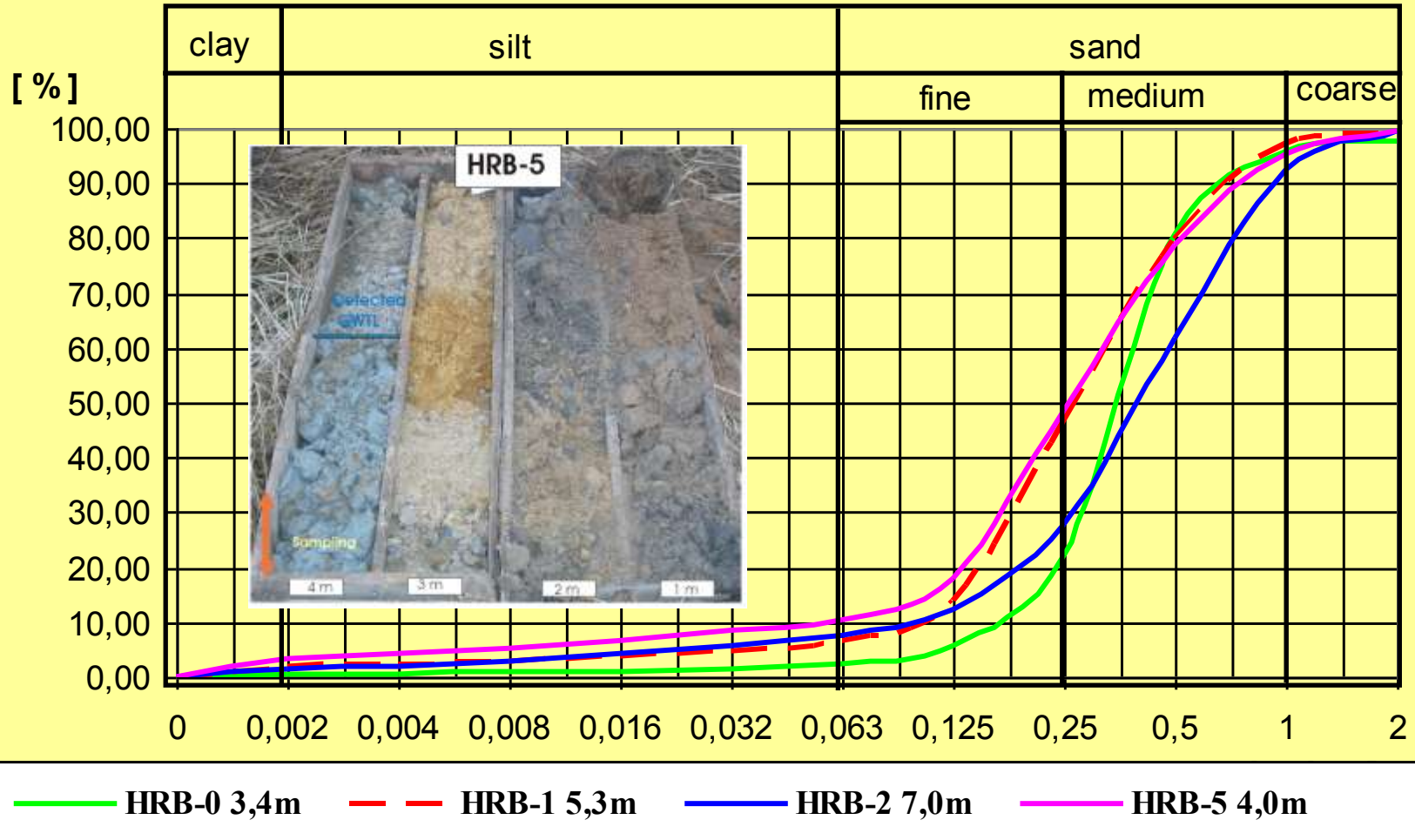
stav 2 roky po vypnutí technologie železité laminy částečně uvolňují ropné látky – atenuační procesy dostačují k udržení sanačních limitů specifická geologická stavba polí v severozápadní části ovlivnila dosažitelný sanační výsledek

	NEL vstup	NEL podlimitní 07	NEL závěr	snížení
pole	(t/ha)	(t/ha)	(t/ha)	%
B	208	38	80	62%
F	123	31	57	53%
I	452	20	48	89%
J	329	36	58	82%
K	218	7	119	46%
P3	111	51	78	30%

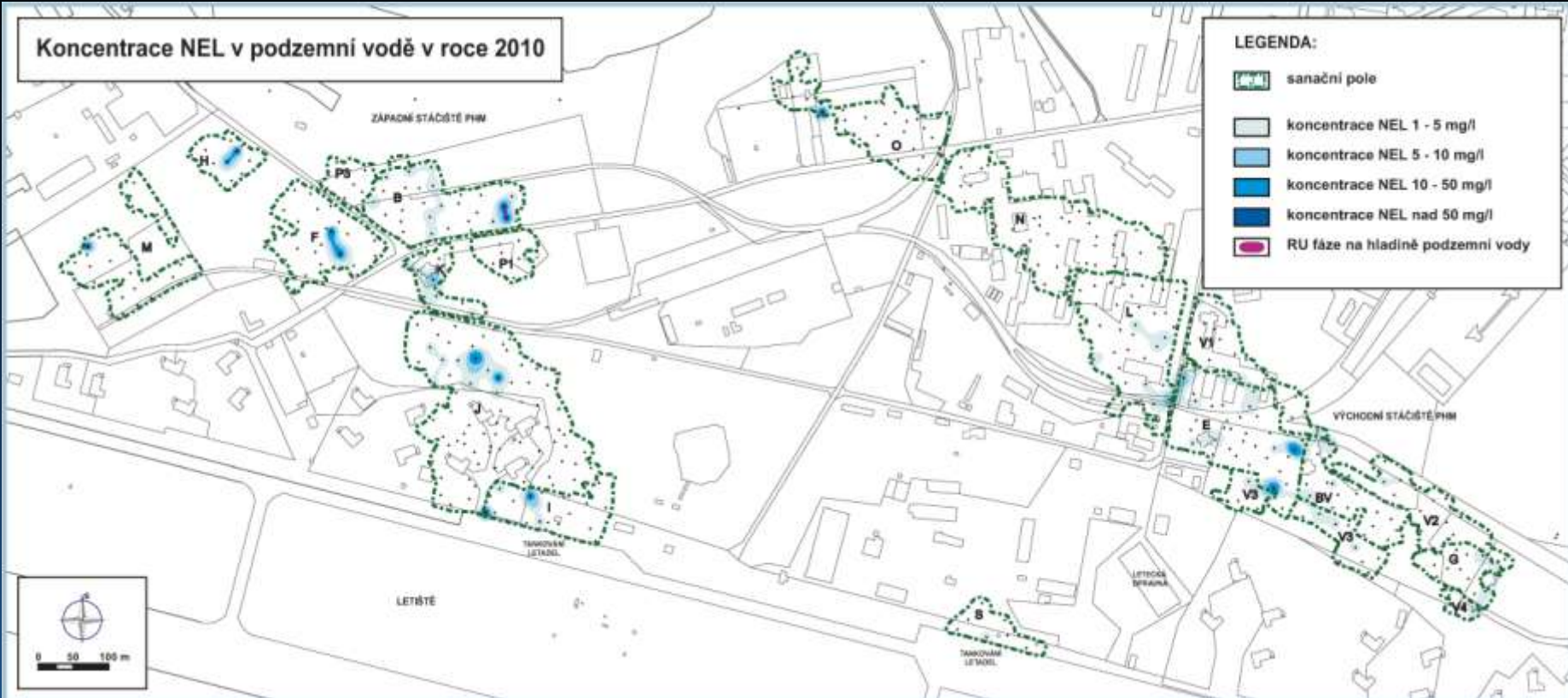


	<b>vstupní bilance NEL</b>	<b>závěrečná bilance NEL</b>	<b>snížení</b>
<b>Pole</b>	<b>(t/ha)</b>	<b>(t/ha)</b>	<b>%</b>
<b>BV</b>	<b>288</b>	<b>60</b>	<b>79%</b>
<b>E</b>	<b>345</b>	<b>62</b>	<b>82%</b>
<b>G</b>	<b>441</b>	<b>171</b>	<b>61%</b>
<b>L</b>	<b>303</b>	<b>76</b>	<b>75%</b>
<b>N</b>	<b>273</b>	<b>28</b>	<b>90%</b>
<b>O</b>	<b>164</b>	<b>32</b>	<b>81%</b>
<b>S</b>	<b>114</b>	<b>66</b>	<b>42%</b>
<b>V1</b>	<b>188</b>	<b>89</b>	<b>52%</b>
<b>V2</b>	<b>163</b>	<b>79</b>	<b>51%</b>
<b>V3</b>	<b>108</b>	<b>43</b>	<b>60%</b>

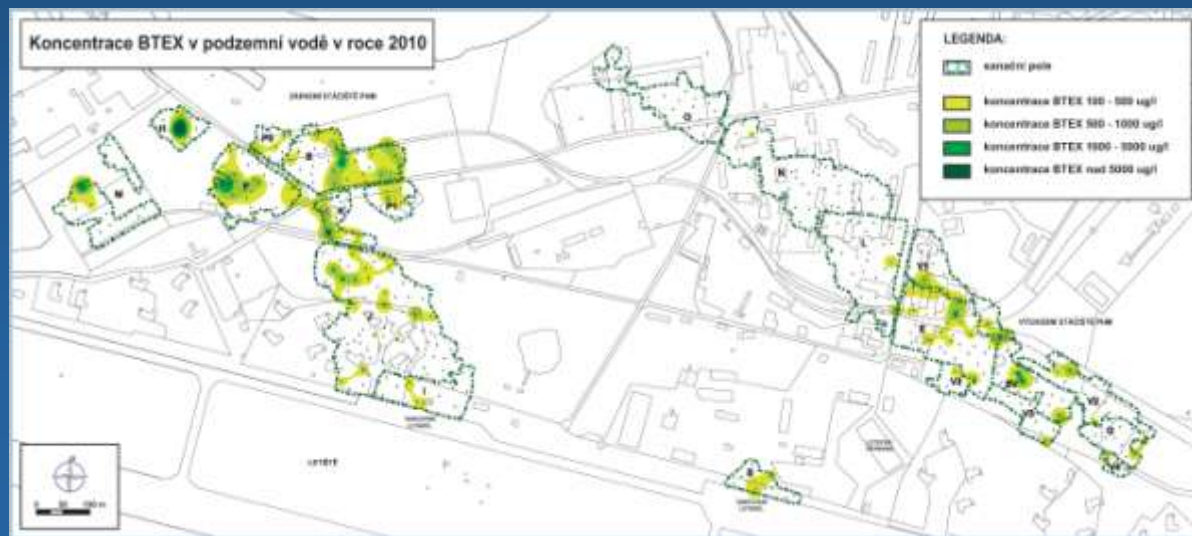
# Význam jílových částic



## Koncentrace NEL v podzemní vodě v roce 2010



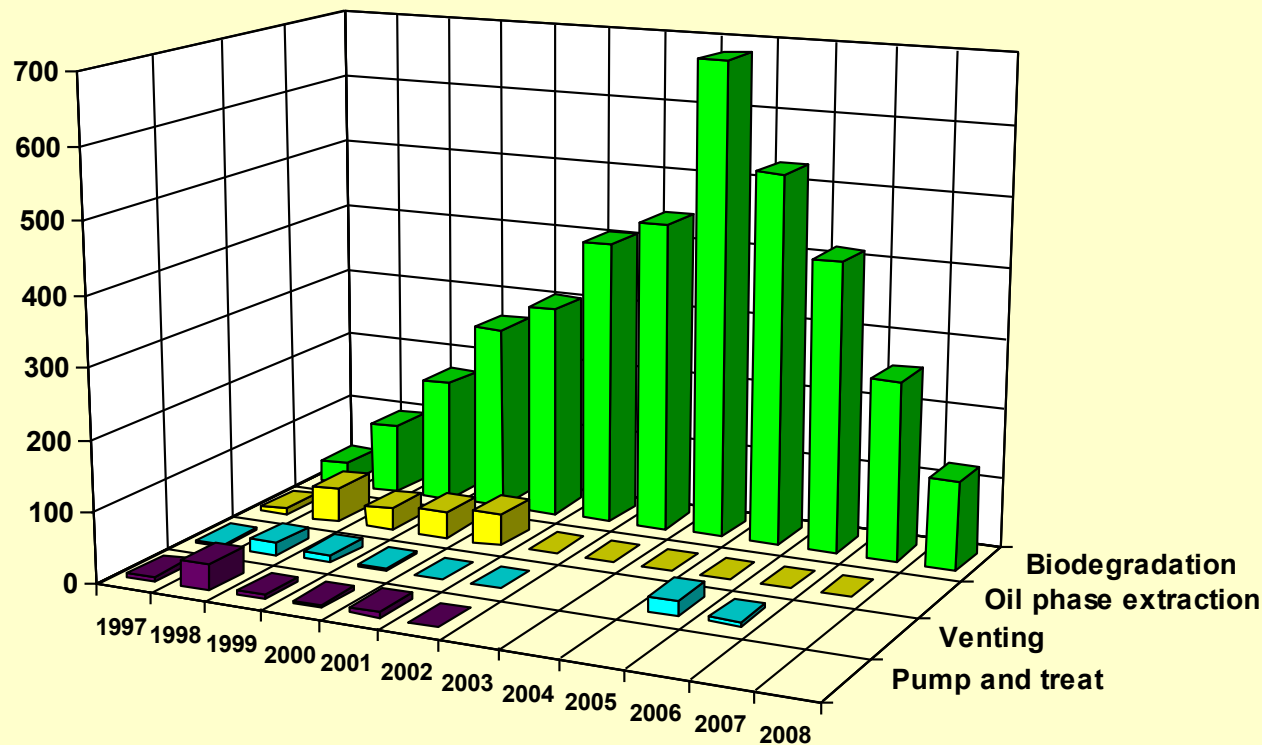
## Koncentrace BTEX v podzemní vodě v roce 2010



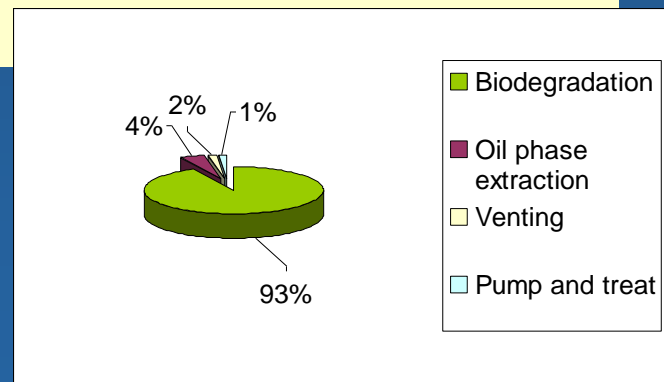
Kontaminace  
podzemní vody  
RU 2 roky po  
skončení  
provozu sanační  
technologie

# Výtěžnost RU jednotlivými sanačními postupy

RU odstraněné (tuny)



Celkové náklady 416 mil. Kč s DPH  
 Celkové náklady 108 Kč/kg RU  
 Odstraněno 4046 tun RU ( +/- 15%, dle sanační bilance)  
 Dle zeminové bilance – vstup 7.150 t, výstup 1.665 t (+- 30%)  
 Odstraněno 5.485 tun



# Závěry I

**Hlavní technologický faktor, který určoval intenzitu biodegradace v silně kontaminovaných plochách na lokalitě byl objem vzduchu vtláčený AS**

**Hlavním přírodním faktorem, který ovlivňoval intenzitu biodegradace byla teplota podzemní vody a její kolísání vlivem sezónních změn**

**Intenzivní biodegradace způsobila zvýšení teploty podzemní vody, v závěru sanace byl s poklesem bioaktivity pozorován i pokles teploty k pozad'ovým hodnotám**

# Závěry II

**Obsah kontaminantu (substrátu) v silně kontaminovaných plochách měl v prvních několika letech sanace malý vliv na pozorovanou intenzitu biodegradace. Limitace substrátem se začala výrazněji projevovat až po 6 – 8 letech.**

**Snížení biodegradační aktivity bylo impulsem k vzorkování zemin a vyřazení podlimitních částí ploch ze sanace.**

**V závěru sanace se projevil vliv geologických struktur na dosažitelný sanační výsledek. Odlišnosti v geologické struktuře lokality se projevily i na obsahu kontaminace v podzemí vodě 2 roky po skončení sanačního zásahu.**



# Poděkování

- ® kolegům ze společnosti AECOM CZ– zejména Mgr. Stanislavě Prokšové a RNDr. Ferdinandu Herčíkovi za dlouholetou spolupráci na projektu
- ® Prof. Ing. Zdeně Wittlingerové, CSc. , FŽP ČZU, školitelce pgs.studia
- ® vědcům spolupracujícím ve výzkumných projektech BIOTOOL a BACSIN
- ® MŽP, které financovalo sanační projekt
- ® rodině za podporu



"Biological procedures for diagnosing the status and predicting evolution of polluted environments"  
An EC-funded project (STREP) under the Sixth Framework Programme Priority [6] Sustainable Development, Global Change and Ecosystems

# Hlavní cíle výzkumu

- ④ nástroje molekulární biologie pro hodnocení složení půdní mikroflóry a její metabolické kapacity odbourávat polutanty
- ④ nástroje molekulární biologie pro hodnocení stresorů v horninovém prostředí
- ④ využití vzorkování dřevní hmoty pro detekci polutantů
- ④ hlavní zájmové polutanty – BTEX, chloroetyeny

# Zájmové lokality

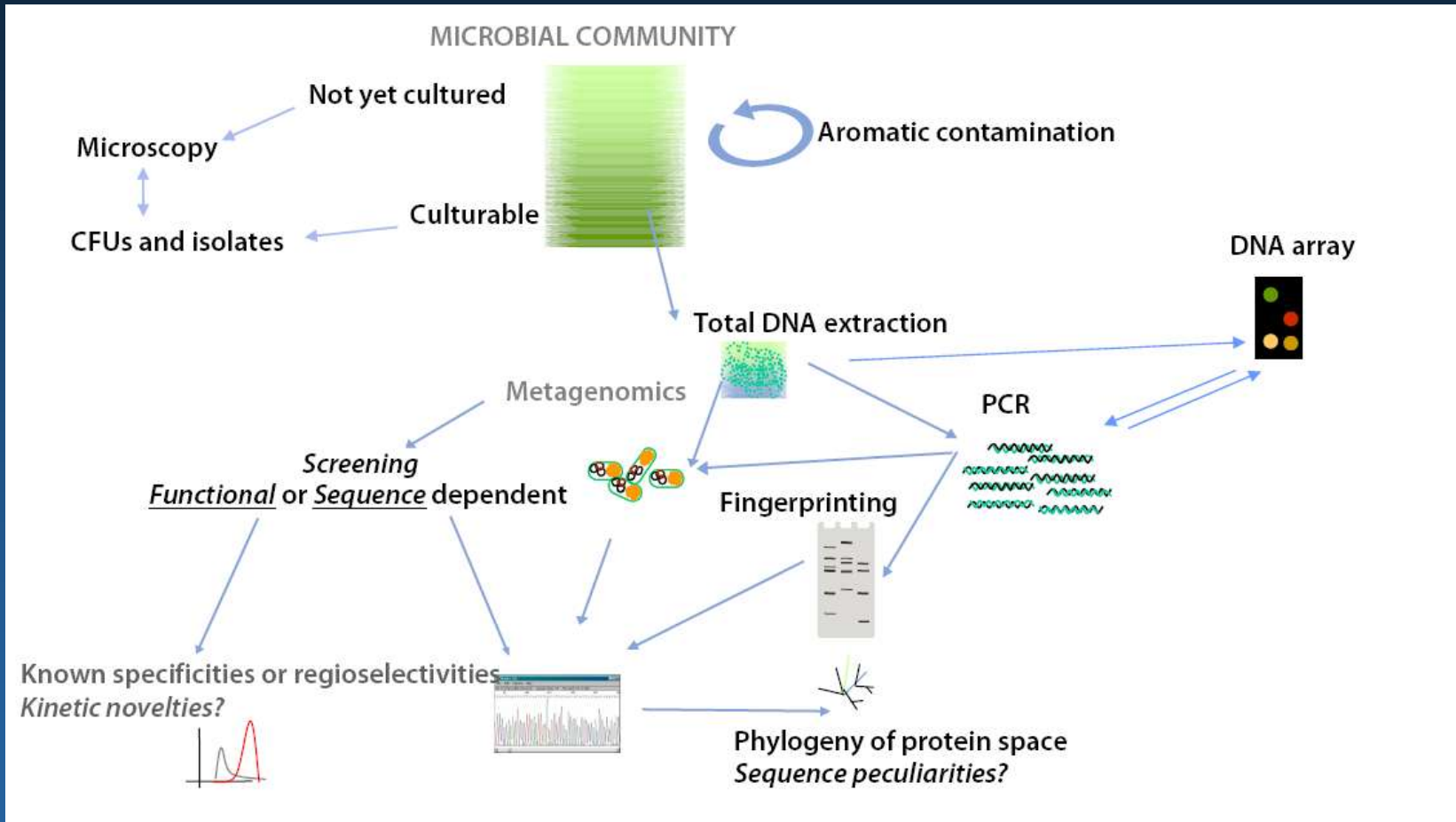
- ④ Hradčany – rozsáhlá kontaminace zemin a podzemních vod ropnými produkty (letecký petrolej, benzín)
- ④ SAP s.r.o. – lokalita s rozsáhlou kontaminací zemin a podzemních vod chloroeteny (primárně PCE)

# Lokalita Hradčany

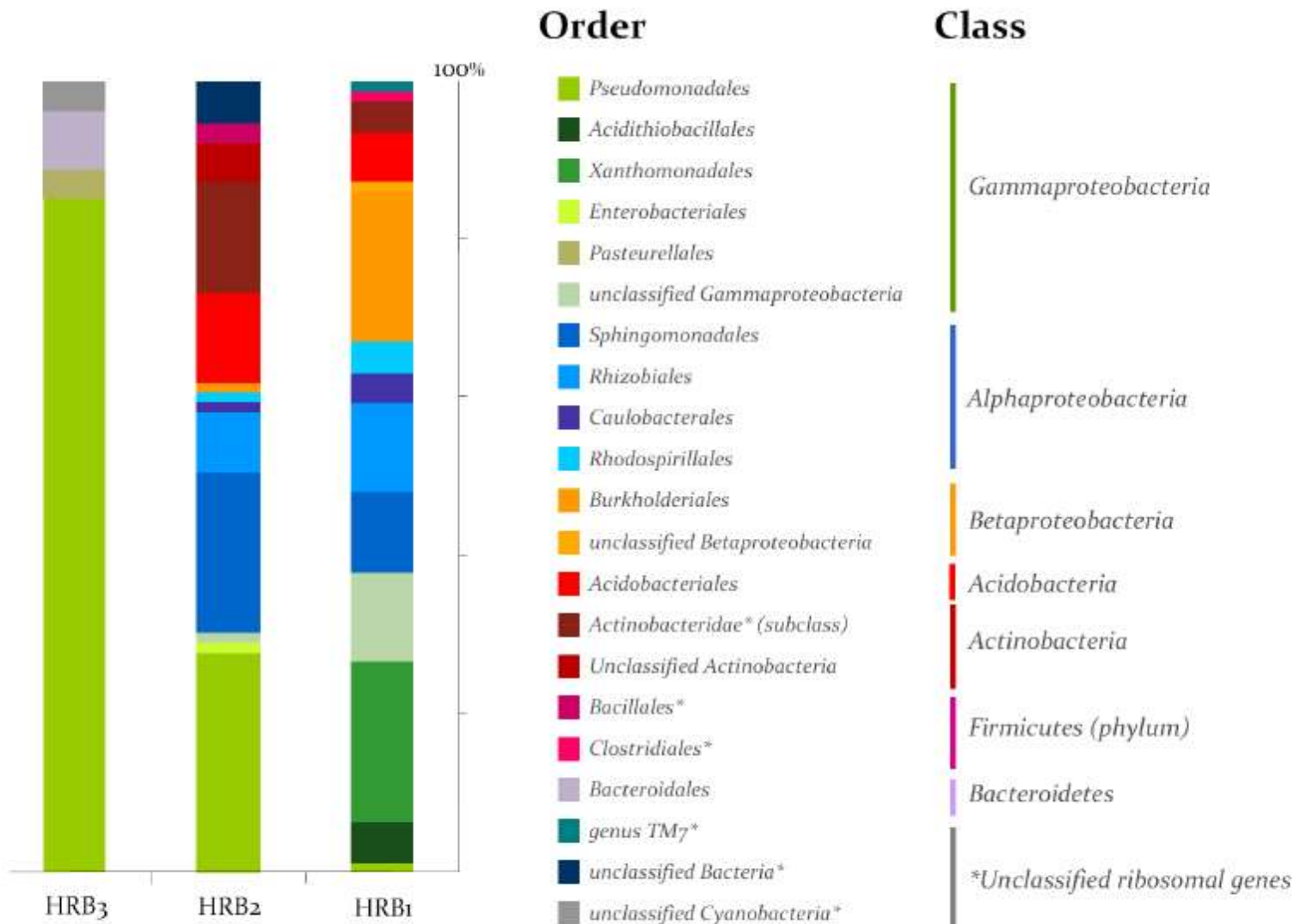
- ⑤ 5 vzorkovacích míst, vzorky zemin odebírány 3x v rozmezí dvou let

bod	NEL	BTEX
HRB-1 (5 - 6 rok sanace)	90 – 170 mg/l	0,01 – 49 mg/l (výrazný pokles v průběhu projektu)
HRB-2 (3 – 4 rok sanace)	40 – 180 mg/l	0,04 – 10 mg/l (kolísání)
HRB- 3 (0 – 1 rok sanace)	40 – 77 mg/l	43 – 70 mg/l
HRB-5 po dokončení	2 – 7 mg/l	0,7 – 1,1 mg/l
HRB-0	<0,1 mg/l	<0,5 ug/l

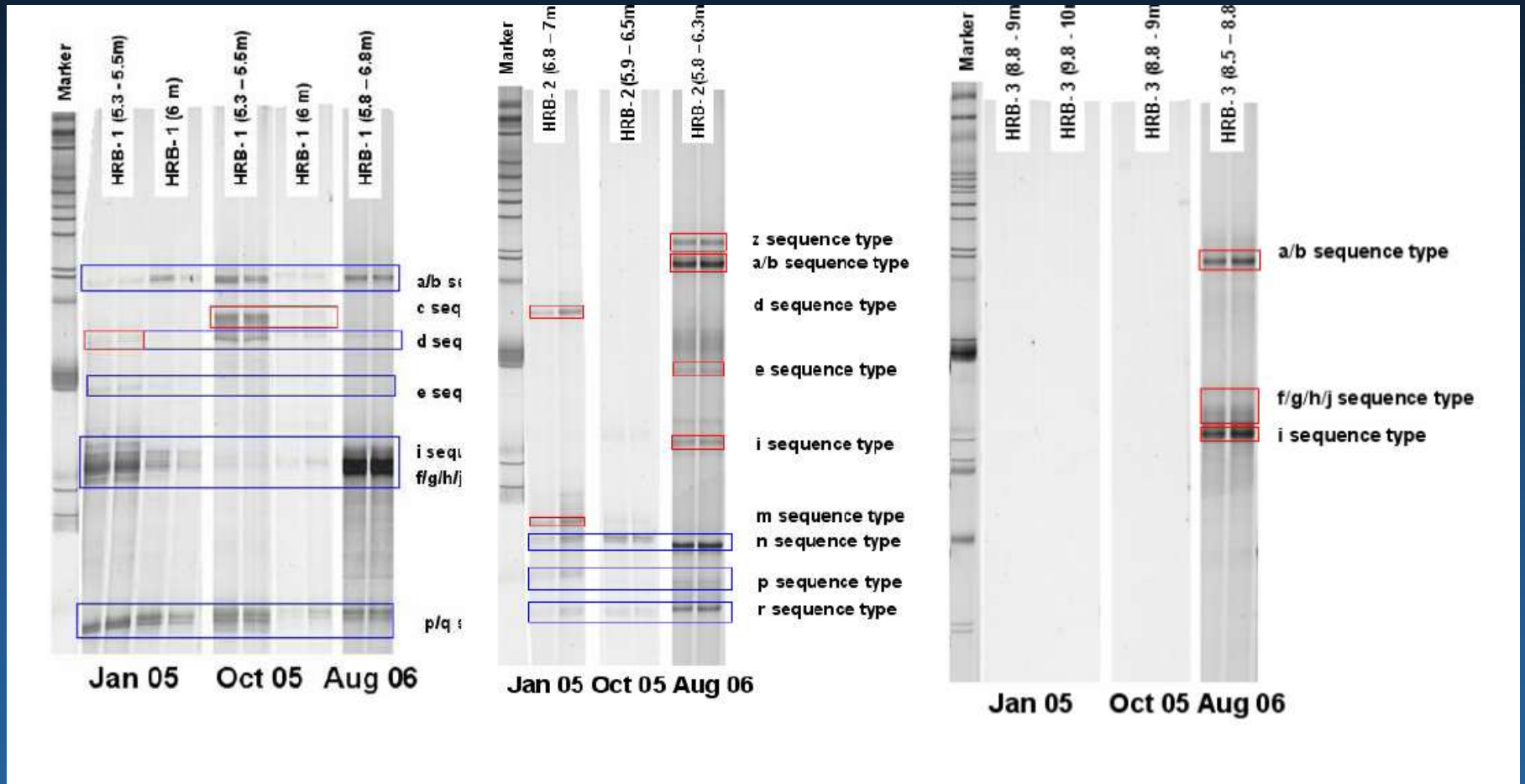
# Detekce taxonomického složení půdní mikroflóry a její metabolické kapacity metodami nezávislými na kultivaci



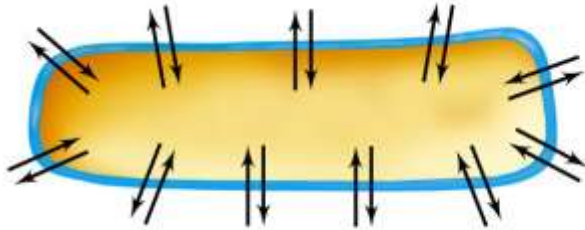
# Složení půdní mikroflóry na lokalitě Hradčany



# Detekce genů kódujících enzymy klíčové pro biodegradaci (TBI- toluen- bifenyl oxygenáza)

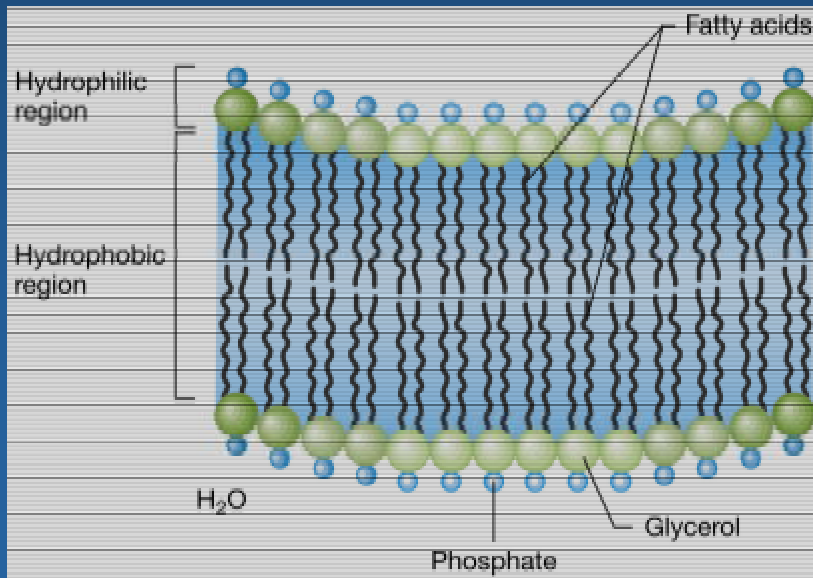


# Fosfolipidy jako biomarkery v procesu bioremediace



**Permeability Barrier** — Prevents leakage and functions as a gateway for transport of nutrients into and out of the cell

- Ⓡ fosfolipidy jsou sloučeniny tvořící cytoplazmatickou membránu buněk
- Ⓡ látky specifické pro živé organismy, možno využít ke kvantifikaci biomasy
- Ⓡ jednotlivé typy druhově specifické





# Adaptace na stres – změna viskozity membrány

Nasyčené mastné  
Kyseliny

High Melting Point  
C16:0/C16:0 = 63 °C

➤ málo viskózní membrána

*Model máslo*



Low Temp.



High Temp.

Solvents



Nenasycené mastné  
kyseliny

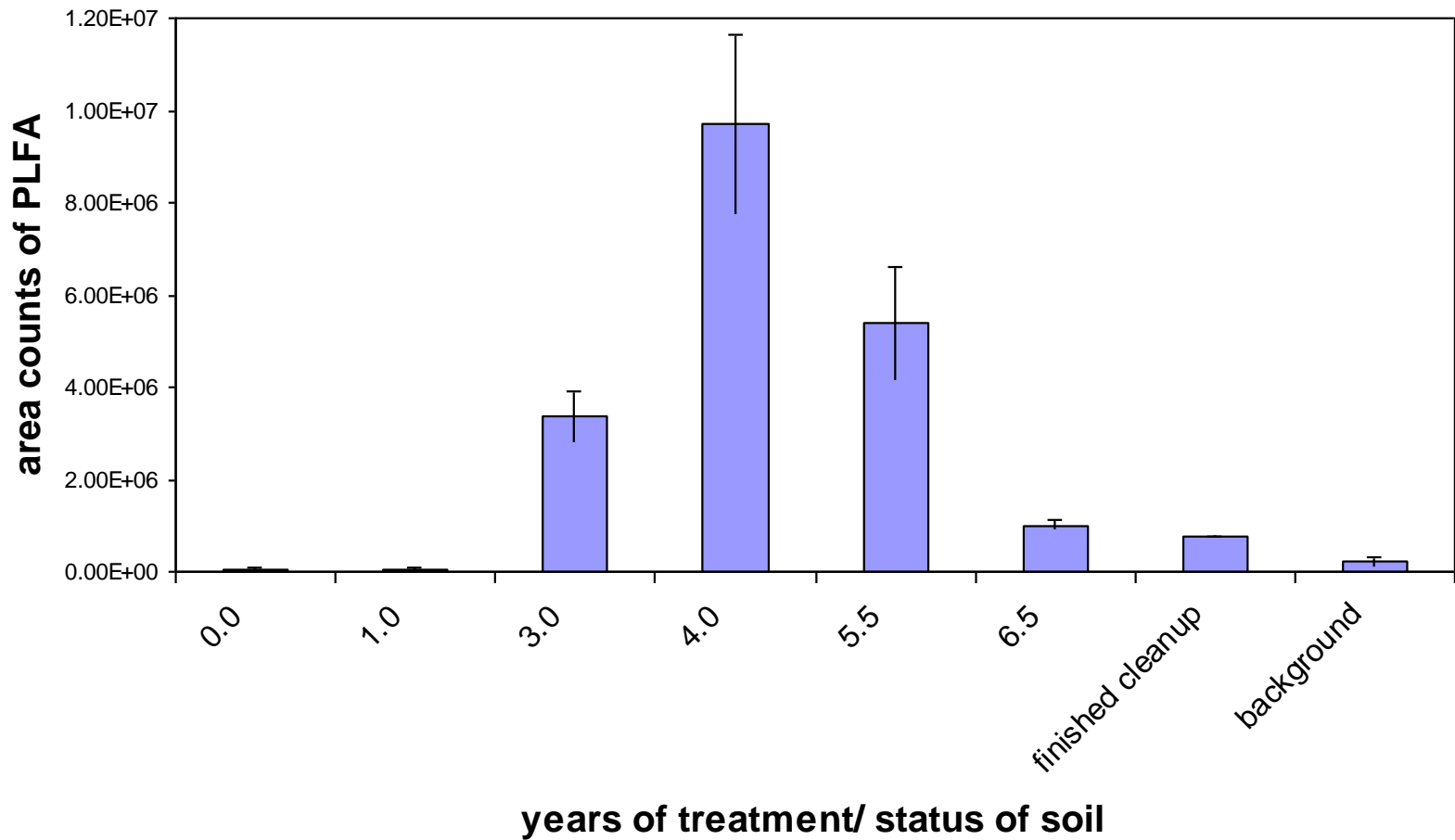
Low Melting Point  
C16:1/C16:1 = -34 °C

➤ vysoce viskózní membrána

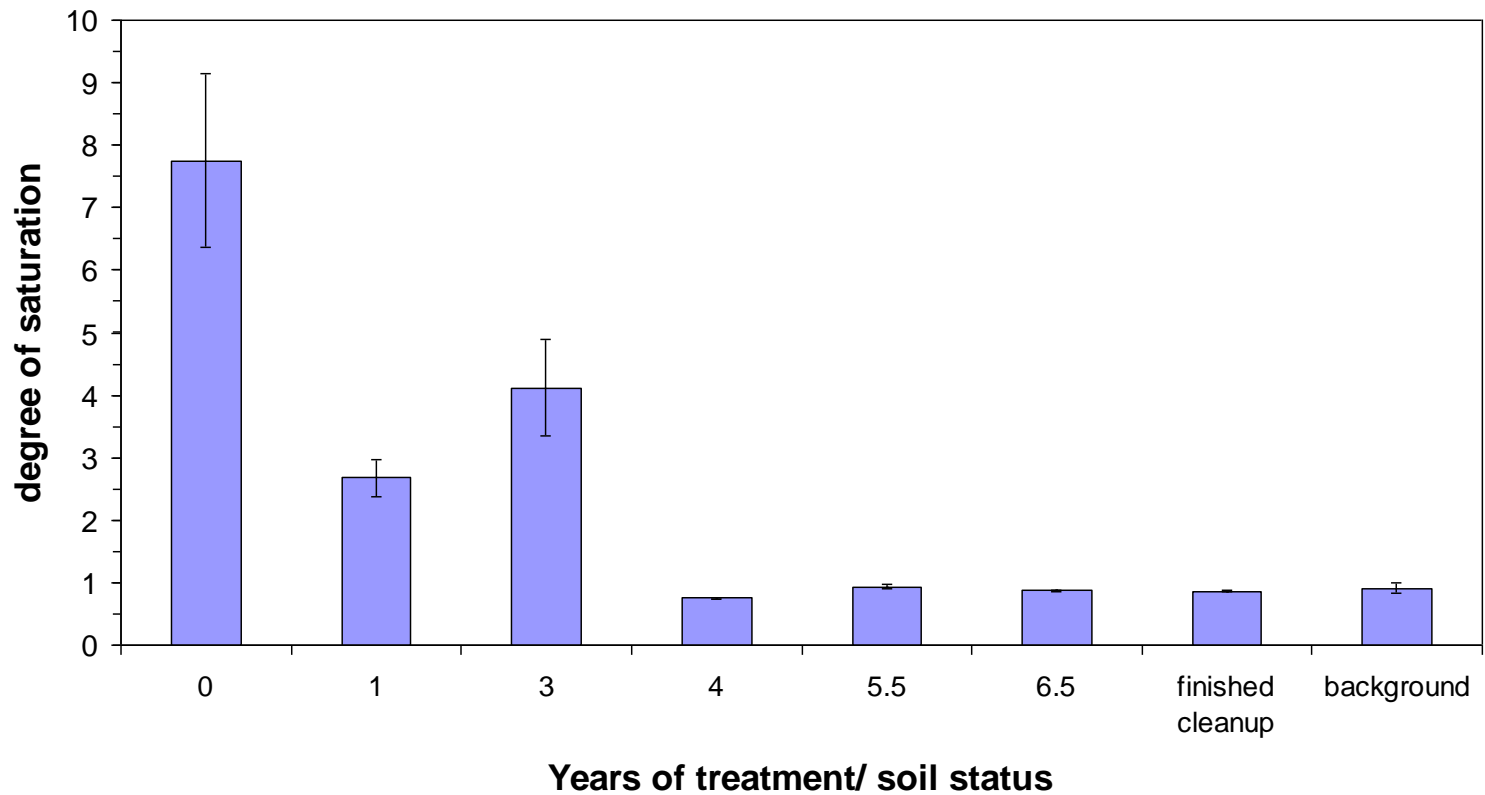
*Model olivový olej*



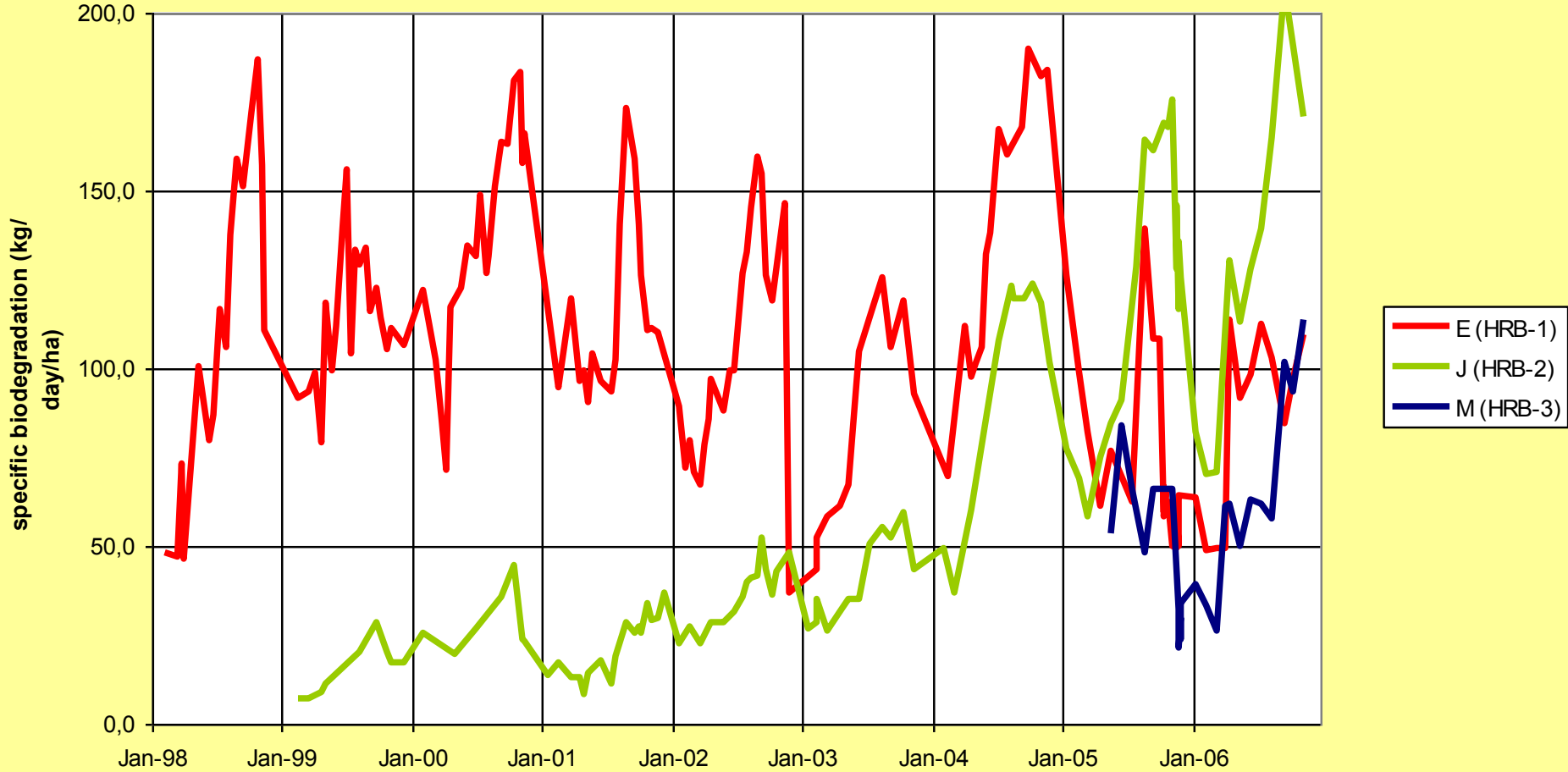
# Obsah fosfolipidových mastných kyselin



# Stupeň nasycení mastných kyselin



### Specific biodegradation in clean-up files



# Dílčí závěry

- ④ výsledky výzkumu pomocí metod molekulární biologie poskytly detailní informace o vývoji mikrobiálního oživení lokality
- ④ ukázaly že s postupem sanace dochází ke snižování toxicity horninového prostředí pro mikroorganismy
- ④ výzkum přispěl k prohloubení znalostí o průběhu biodegradačních procesu