

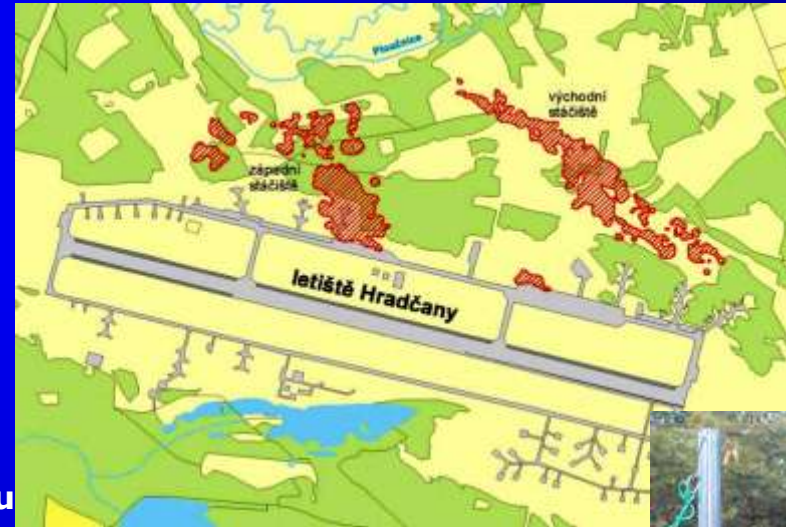
Úskalí a problémy spojené s aplikací biodegradace *in situ* jako sanační technologie – praktické zkušenosti

J. Macháčková, S. Prokšová, F. Herčík
Earth Tech CZ s.r.o.

Aerobní biodegradace ropných uhlovodíků

- Ropné látky, zvláště lehčí frakce, patří k biologicky odbouratelným látkám, půdní mikroorganismy jsou schopny tyto látky za vhodných podmínek využívat jako zdroj uhlíku a energie a metabolizovat je na oxid uhličitý
 - První testy provedeny v 80. letech, v polovině devadesátých let publikován rozsáhlé materiály US EPA a US armádních agentur, zaměřené na nesaturovanou zónu (venting, bioventing)
 - Saturovaná zóna – air sparging – v polovině 90. let inovativní metoda

Zájmové území – letiště Hradčany



- bývalé vojenské letiště, situované v severních Čechách u města Mimoň
- provozováno v období 1940 -1990
- Rozsáhlá kontaminace ropnými látkami, odhad v roce 1997 - 5 .000 -7.000 tun na ploše 28,3 ha
- Semi-volatilní RU, 70% letecký petrolej (střed C10)
- Volná fáze RU (LNAPL) přítomna na 50% území, mocnost až 90 cm

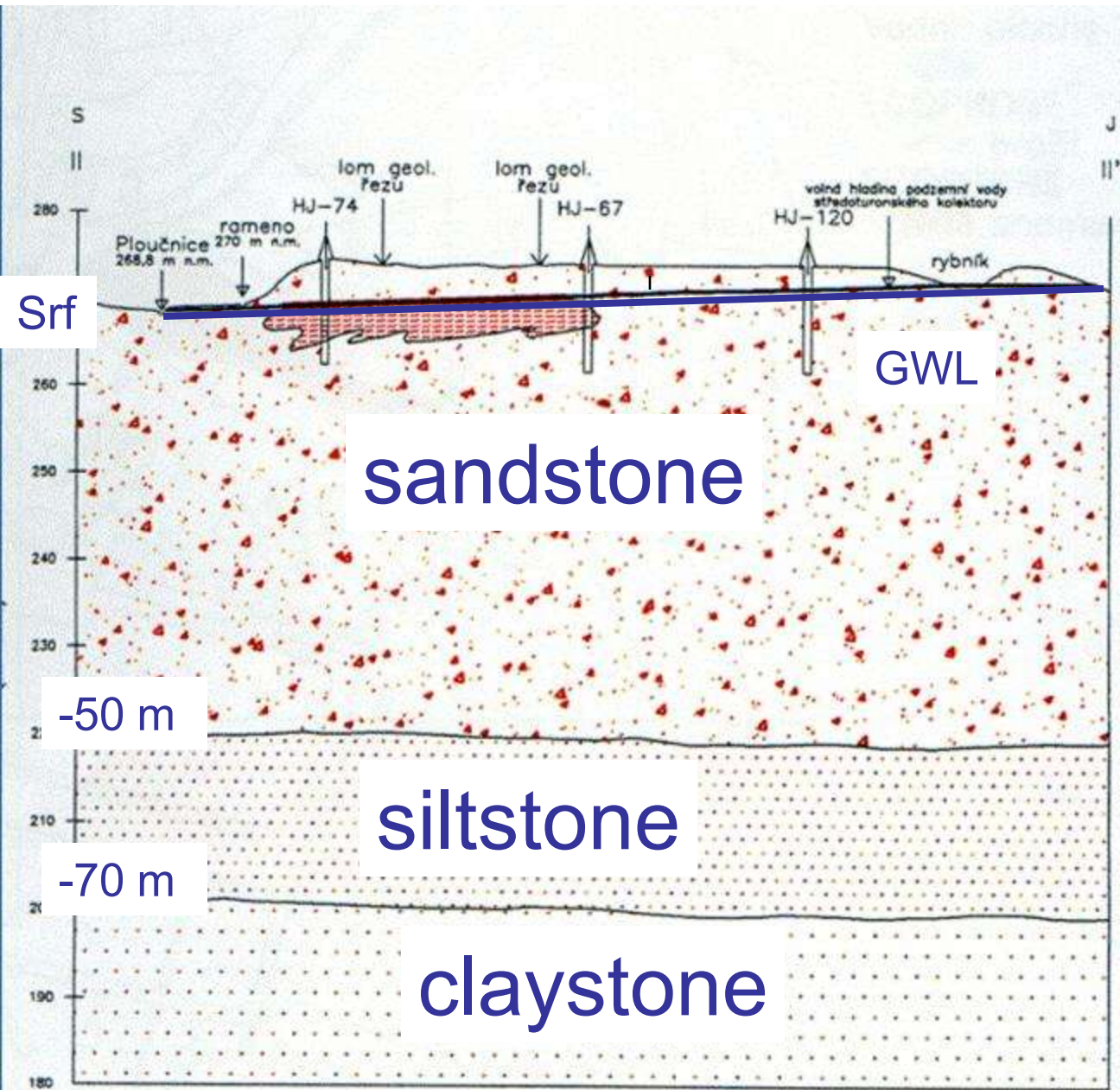
1995 – 1996

pilotní testování biodegradace sanace na lokalitě Hradčany – dobrá odbouratelnost kontaminantu, mimo dostupnosti kyslíku limitující faktor živiny

1997

biodegradace leteckého petroleje hlavní sanační metoda, projekt vycházel z pilotního testu a literárních údajů

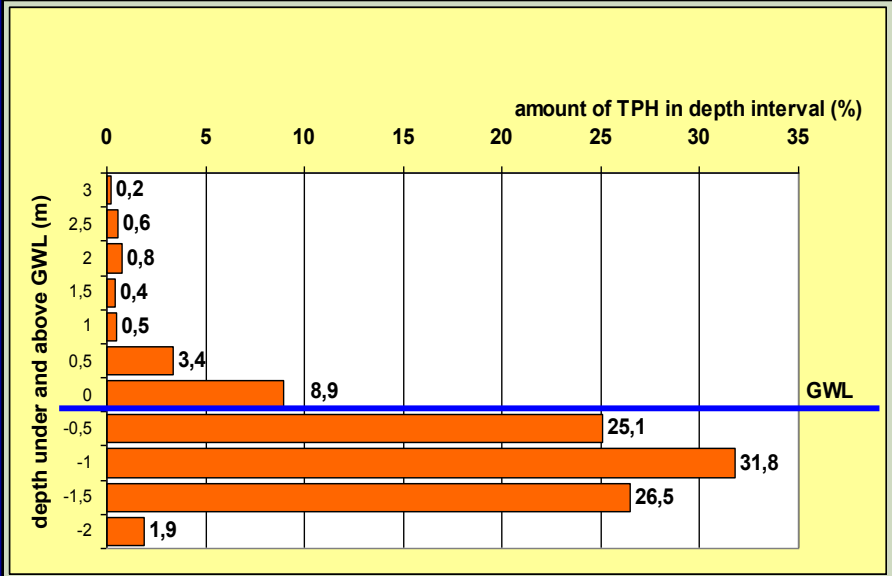




- Sedimentary complex of the Bohemian Cretaceous Basin
- Overlaid with Quaternary river terrace (2-5 m)
- GWL 4-10 m bgs
- Main and intensively used drinking water source in wide vicinity of the site
- Contamination limits use and revitalization of the site

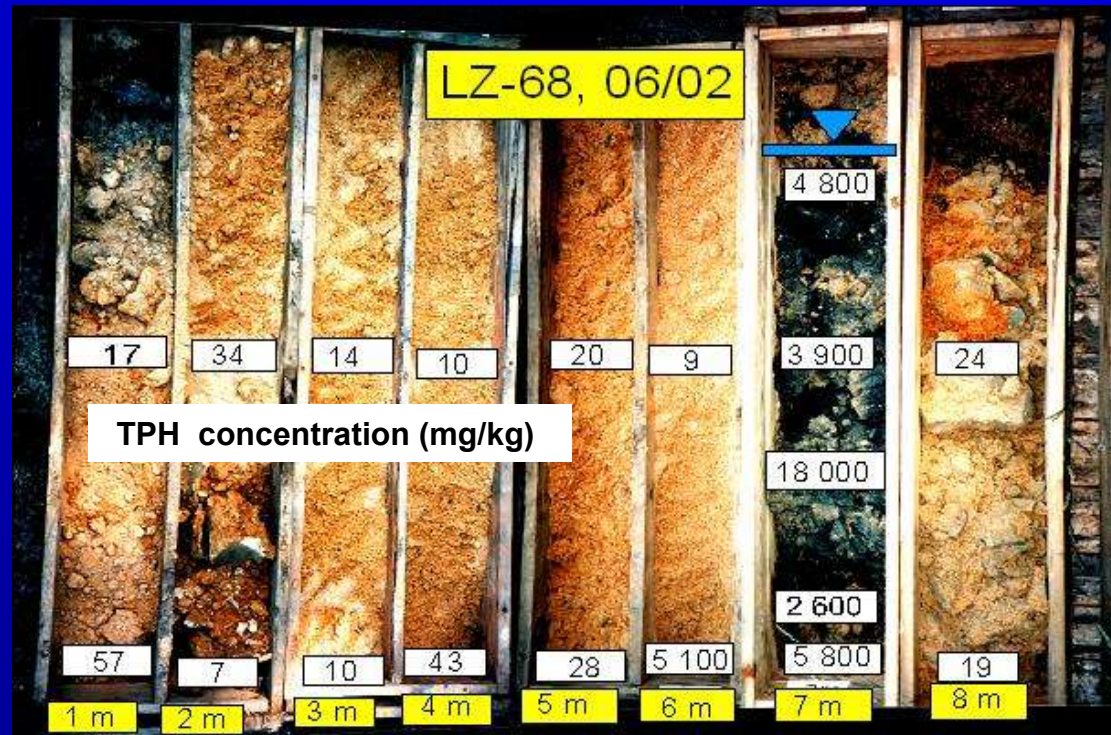
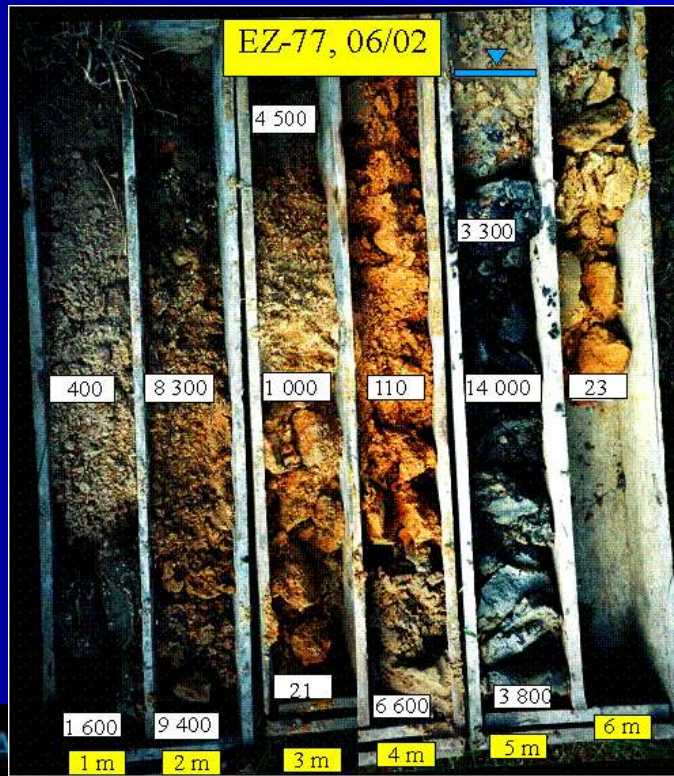
Rozsah kontaminace zemin v roce 2000





Distribuce kontaminantu v půdním profilu

Maximum of contamination (70 %) bounded to layer 1,5 m under groundwater table (soil sampling result in area of 11 ha, rok 2000)



Clean-up technology

Combination of several methods

I. stage

- Soil vapor extraction + vacuum oil phase extraction – removal of extractable LNAPL
- 1 – 2 years in the source zone

II. stage

- *In situ* aerobic biodegradation
- stimulation of indigenous aerobic bacteria
- Oxygenation of soil and groundwater (venting, air sparging)
- Naturally very low nutrient content
periodical application of nutrients (N,P,K)
- 2 – 6 years, based on initial contamination

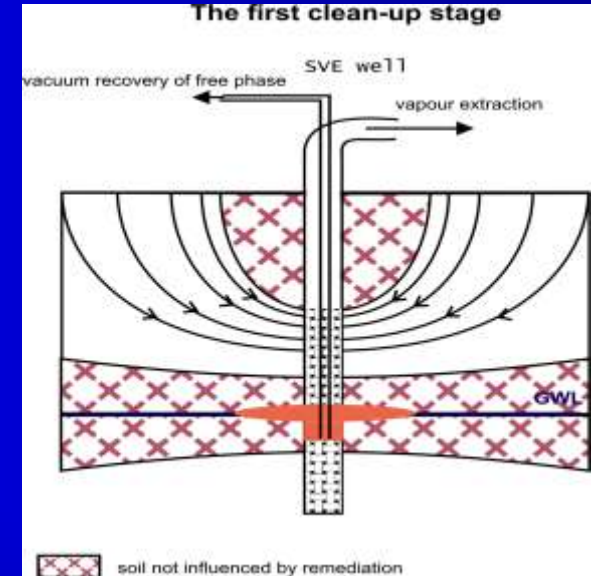
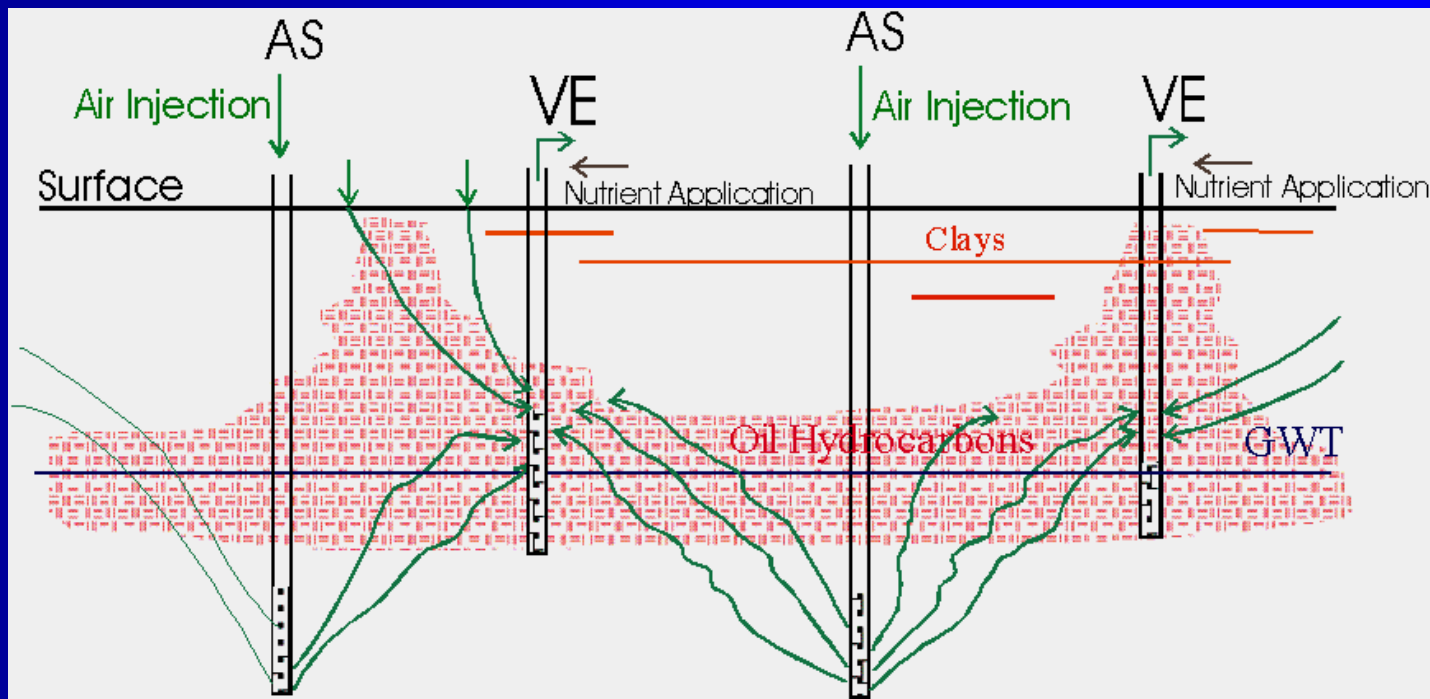
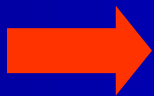


Schéma sanace s podporou biodegradace v celém kontaminovaném profilu



Problém s použitím amerických postupů

- metodiky pro projektování technologií vycházely z lokalit s podstatně nižší kontaminací
- US Air Force Bioventing Initiative vyhodnocoval data ze 125 lokalit, kde průměrná koncentrace NEL byla 2300 mg/kg a pouze 16% vzorků zeminy překročilo koncentraci 5.000 mg/kg NEL
- na lokalitě byla průměrná koncentrace 11.000 mg/kg NEL, 5.000 mg/kg NEL sanační limit
- AS v roce 1997 nebyl ověřená sanační technologie



záhy po zapojení sanační technologie AS v projektovaném výkonu (1 kompresor s výkonem 80 m³/hod/0,5 ha sanované plochy, cyklicky přepínaný mezi 4 skupinami vrtů s intervalem 1 hodina) byly zjištěny **rozsáhlé deficity v provzdušnění podzemní vody**

Hlavní problém sanace

Optimální distribuce kyslíku v saturevané zóně

Půdní vzduch - ***areační kapacita 21% obj.***

sanační limity v nesaturevané zóně dosaženy v roce 2002,
projektovaná kapacita postačovala

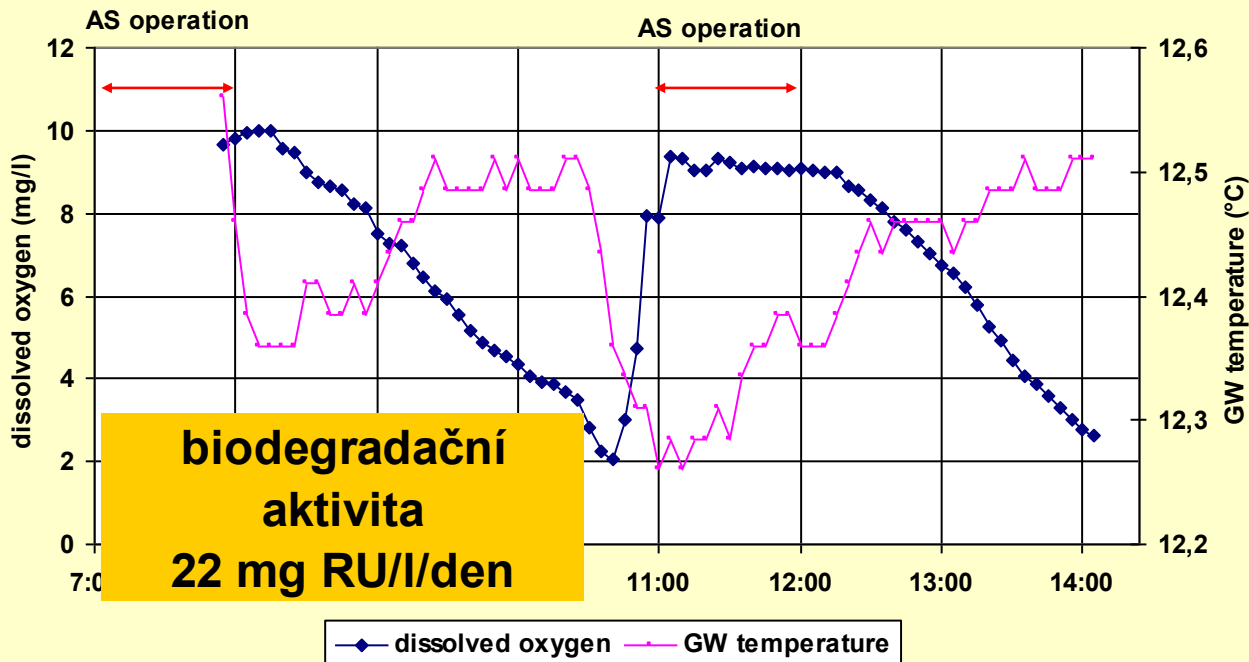
Podzemní voda

Maximální areační kapacita – **12 mg/l (0,001%)**

Dostačuje k biodegradaci **3,5 mg/l RU**

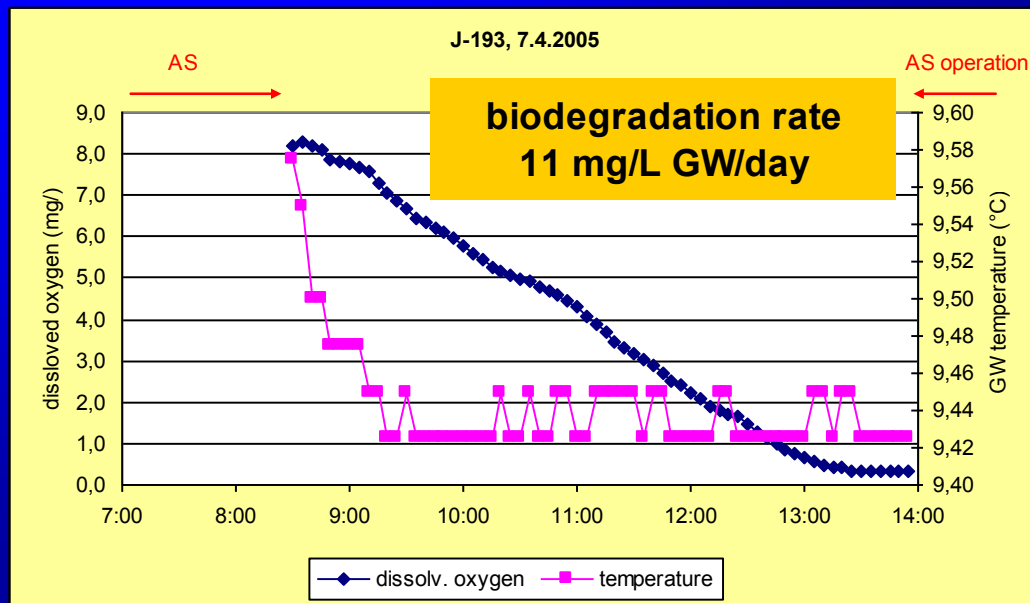
Pomalý postup sanace, nebylo zajištěno dosažení
sanačních limitů v projektovaném čase, nutno sáhnout k
zásadnímu zvýšení areační kapacity, zvláště v
silně kontaminovaných částech lokality

Dissolved Oxygen Utilisation, E -122 well, 5.4.05

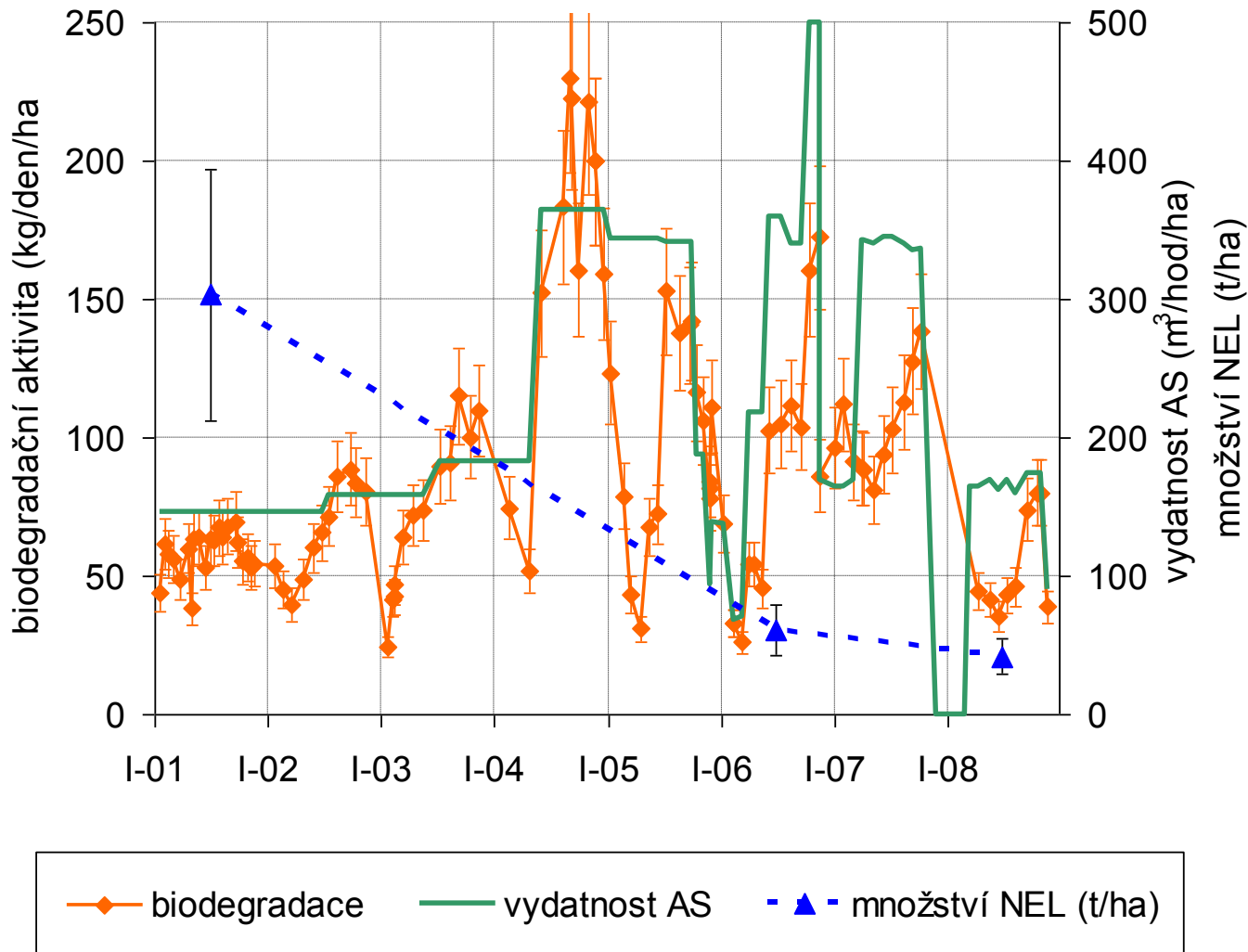


**Respirační
aktivita v
podzemní
vodě**

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

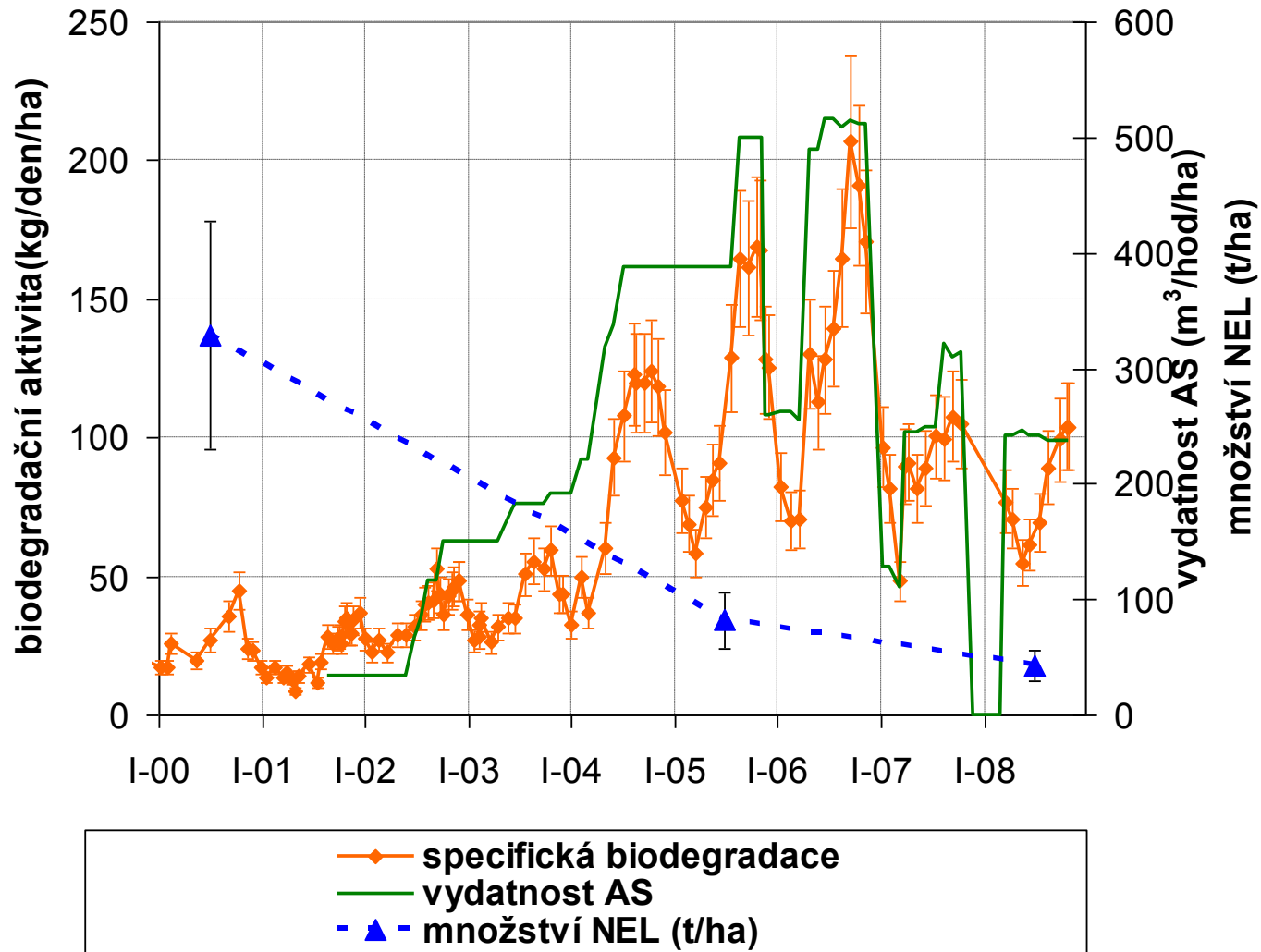


Sanace pole L (2,5 ha)

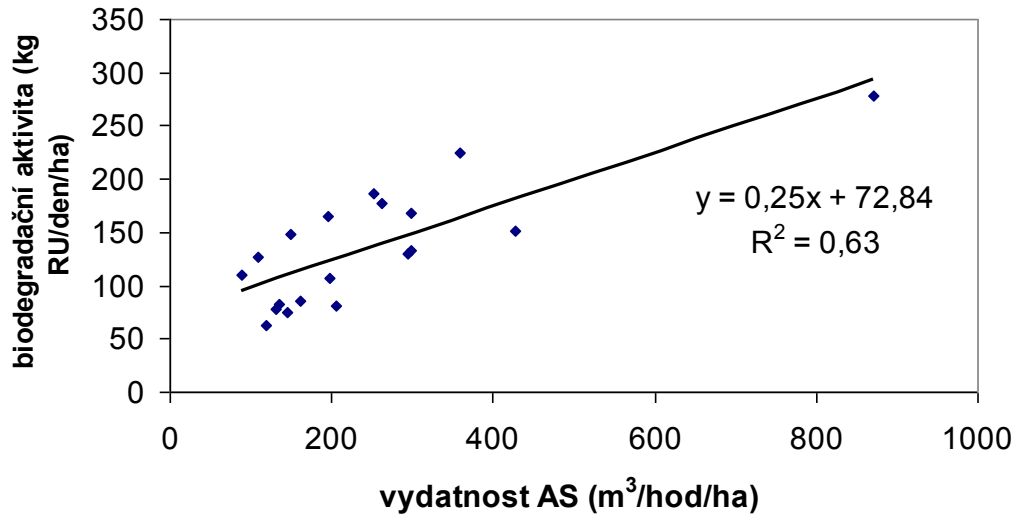


- v roce 2006 v části pole (1,5 ha) dosaženo sanačních limitů
- provoz sanace pokračoval jen v nadlimitní části plochy

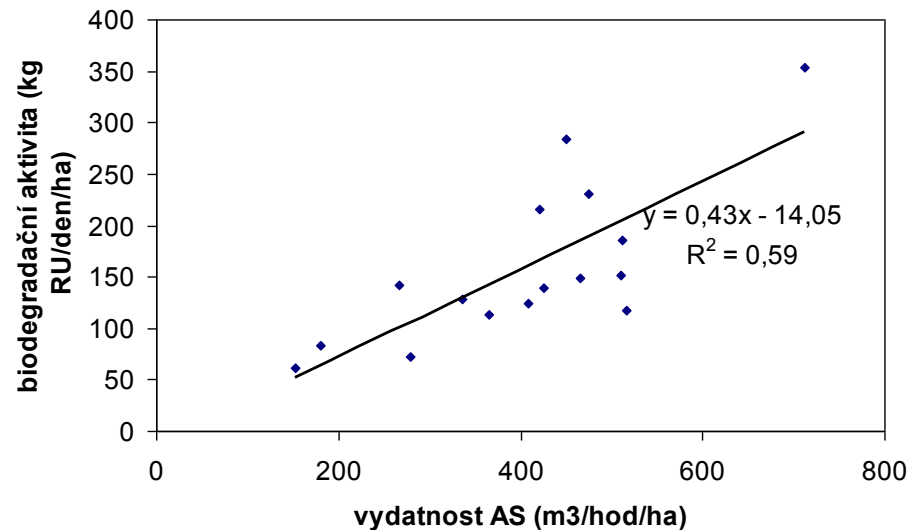
Sanace pole J (4,9 ha)



Vliv objemu vtláčeného vzduchu na intenzitu biodegradace

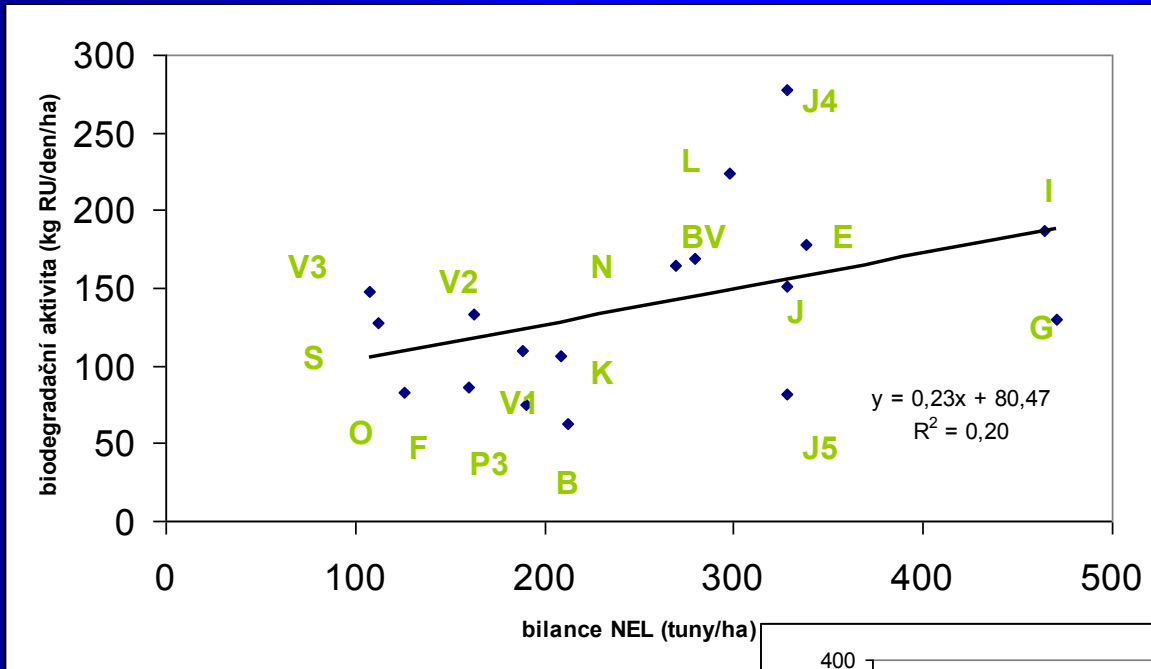


2004



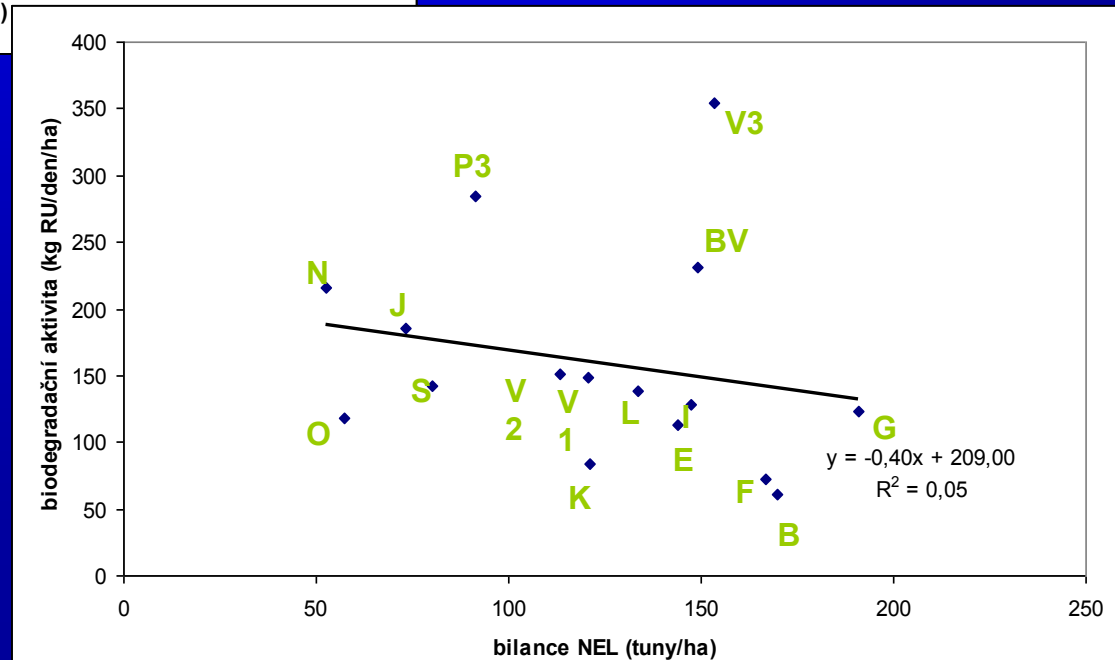
2006

Vliv obsahu RU na intenzitu biodegradace



2004 – NEL vstup

2006 – NEL 2006



Závěry I

Hlavní technologický faktor, který je určuje intenzitu biodegradace v silně kontaminovaných plochách je objem vzduchu vtláčený AS

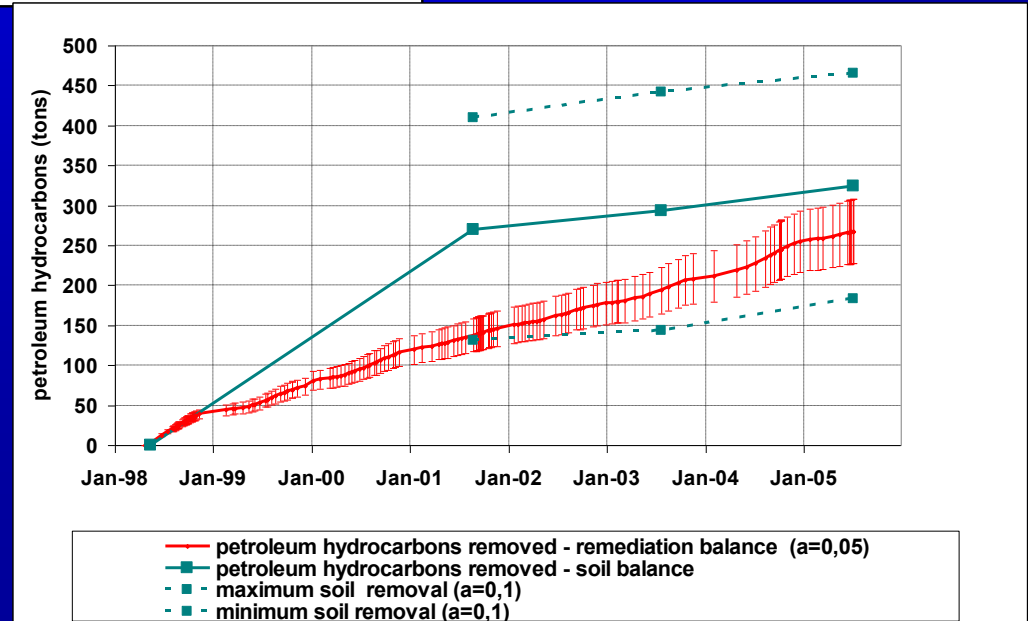
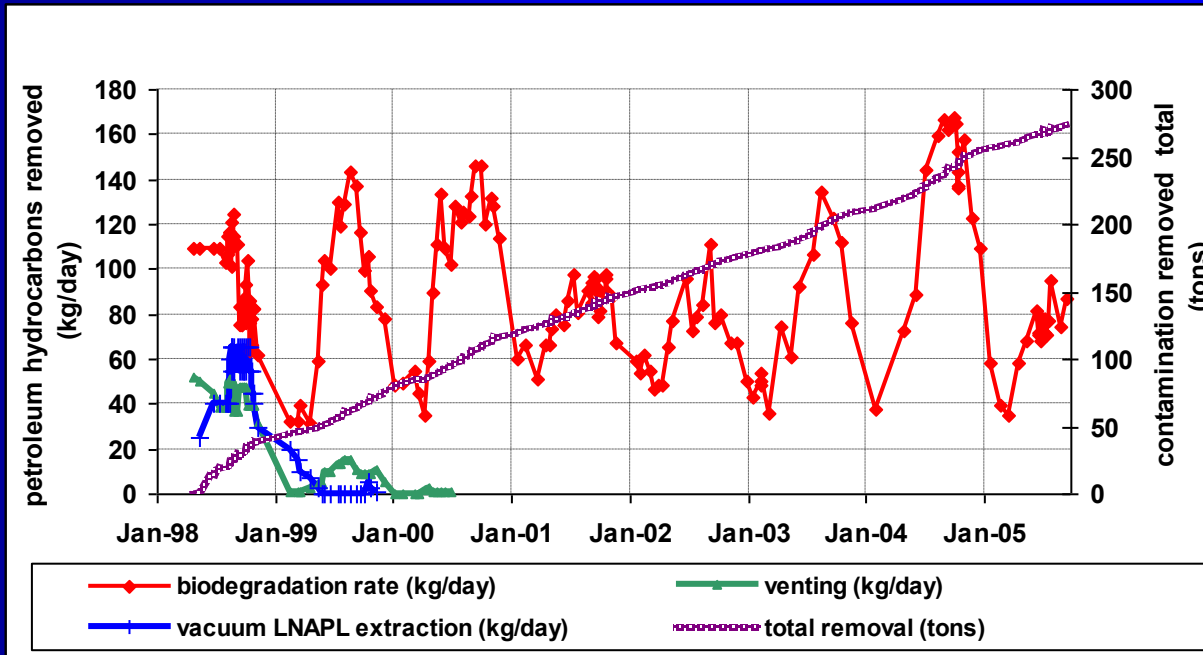
Výkon aerační technologie musí být přizpůsoben obsahu kontaminantu – důležitá co nejpřesnější kvantifikace obsahu kontaminantu
Pro biodegradaci neplatí, že maximální účinnost je dosažena na začátku sanace a pak pouze klesá – účinnost sanace je dána mírou optimalizace podmínek, které určují metabolickou aktivitu půdní mikroflóry.
Potřebný objem vzduchu i na relativně homogenní lokalitě ve střednězrnných pískovcích výrazně ovlivňovaly geologické podmínky.

Obsah kontaminantu (substrátu) v silně kontaminovaných plochách má malý vliv na pozorovanou intenzitu biodegradace
Limitace substrátem se začala projevovat po odstranění cca 80% vstupního znečištění

Hodnocení účinnosti sanace

- Měření respirační aktivity půdních mikroorganismů (1x měsíčně, spotřeba kyslíku, produkce oxidu uhličitého) – stochiometrická bilance odbouraných RU, poměr bilance oxid uhličitý/kyslík na lokalitě v průměru 0,9 – kontrola úplného odbourání RU
- Kvantifikace obsahu kontaminantu v sanované ploše – bilance NEL na základě vzorkování zemin (1x za dva – tři roky) – uzavírání podlimitních ploch, kontrola sanace

Sanační a zeminová bilance – pole I



Sanační a zeminová bilance lokality Hradčany

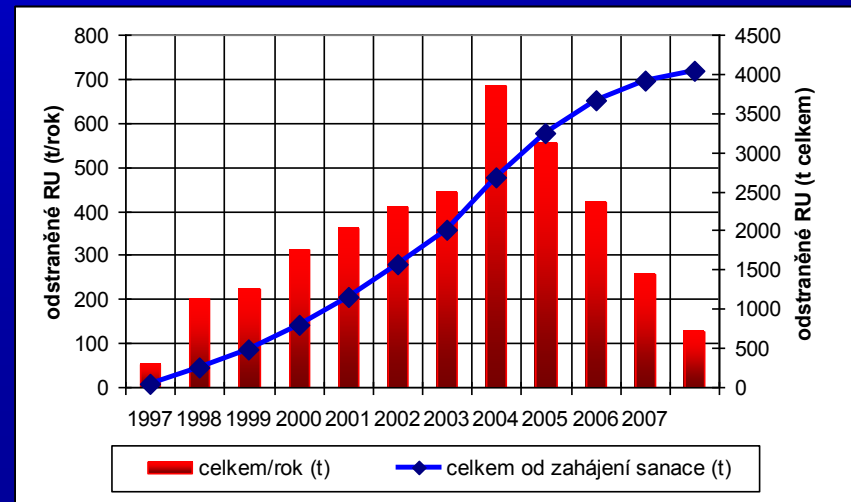
Bilance kontaminace v zeminách (P 90%)

- rok 1997 5.243 – 7.150 tun ropných látek
- rok 2008 843 – 1.863 tun ropných látek
- odstraněné množství 3.380 – 6.307 tun ropných látek

Sanační bilance 1997 – 2008 (chyba měření 15%)

odstraněné množství 3.440 – 4.654 tun ropných látek
93% biodegradace, 5% volná fáze, 2% venting

- Hlavní sanační činitel – metabolická aktivita půdní mikroflóry – nutno při sanaci monitorovat a kvatifikovat měření *in situ* – úbytek kontaminantu možno posoudit pouze v delších časových intervalech

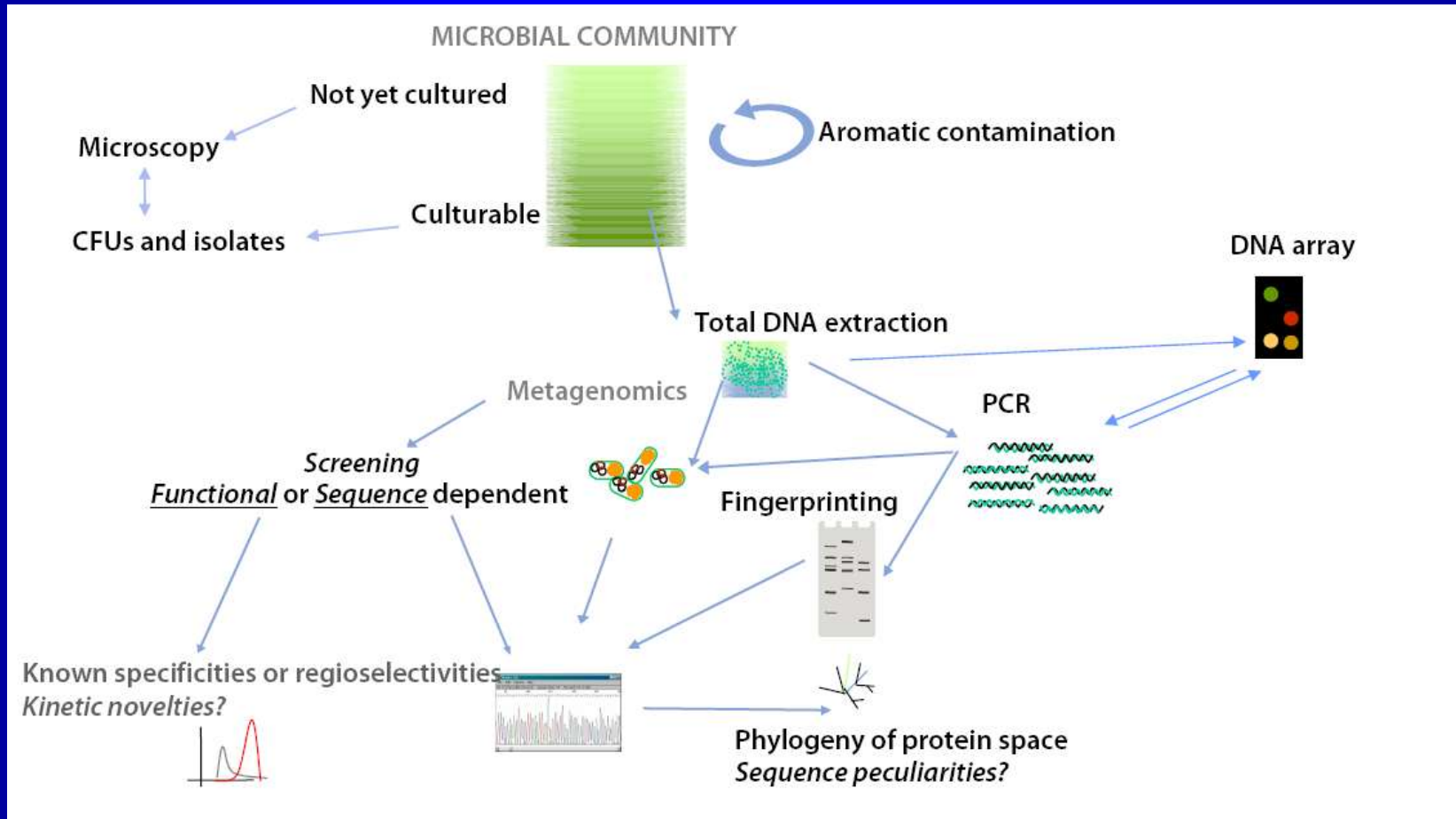


Lokalita Hradčany – použití nástrojů molekulární biologie k hodnocení sanace – projekt BIOTOOL

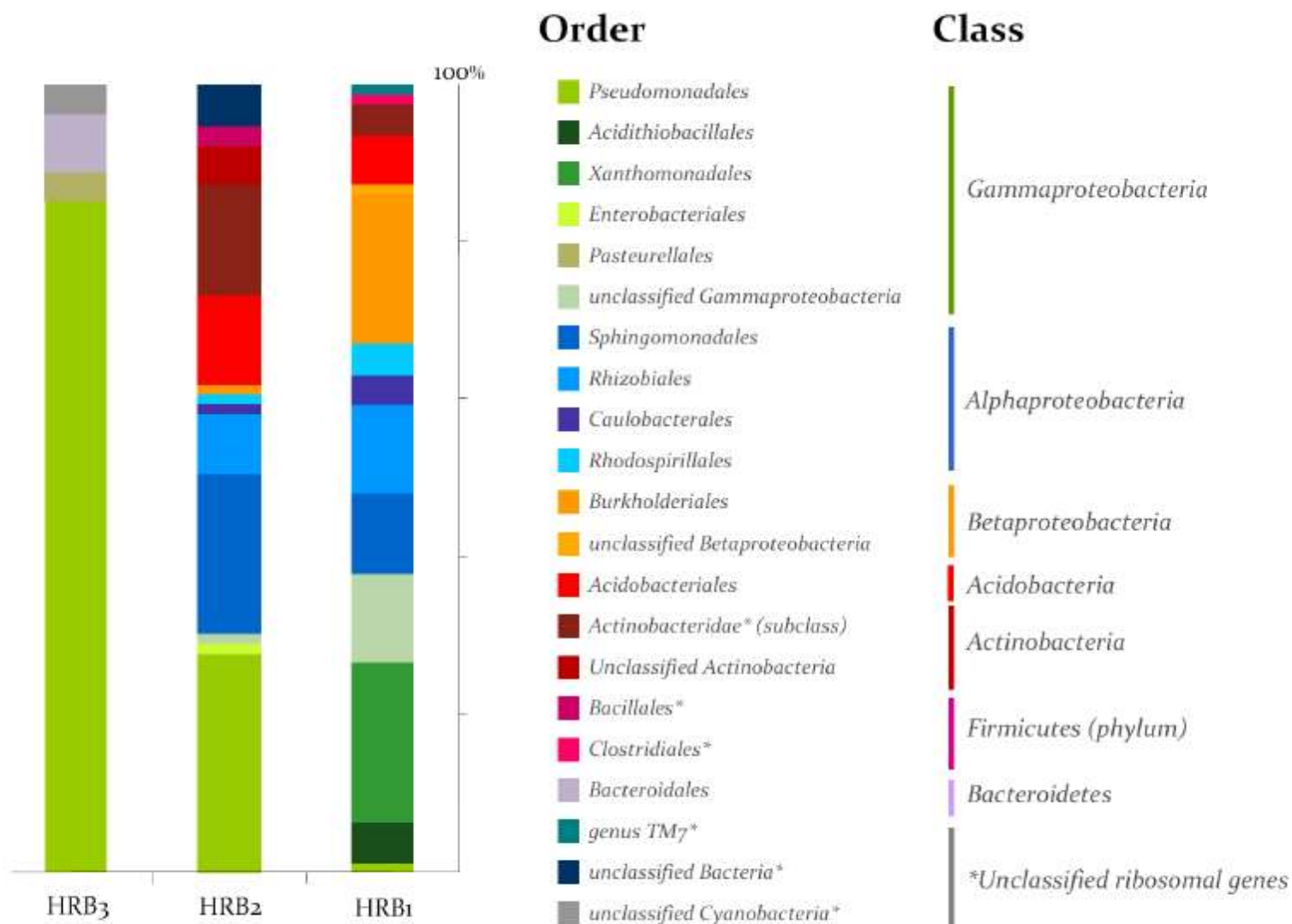
- 5 vzorkovacích míst, vzorky zemin odebírány 3x v rozmezí dvou let

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

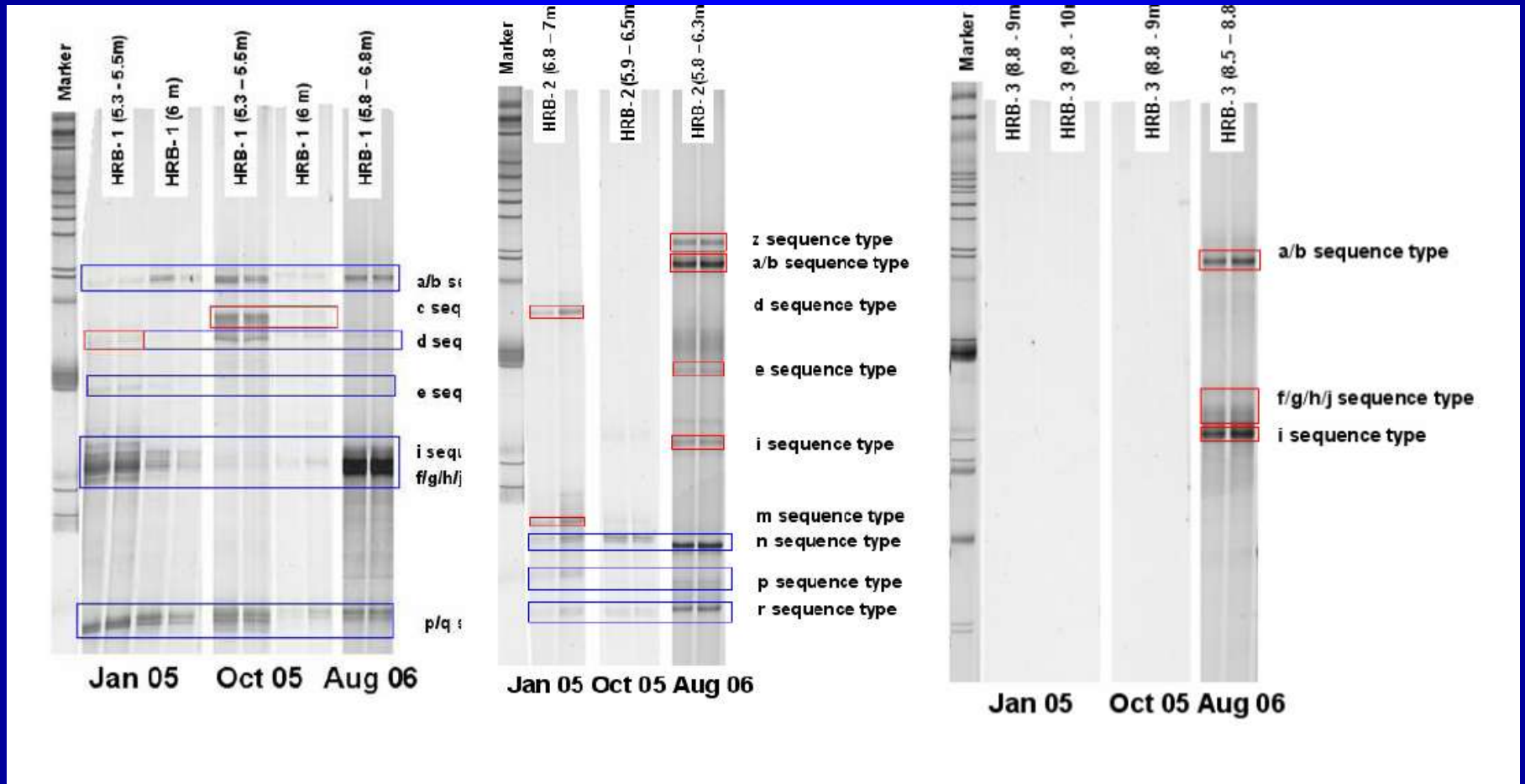
Detekce taxonomického složení půdní mikroflóry a její metabolické kapacity metodami nezávislými na kultivaci



Složení půdní mikroflóry na lokalitě Hradčany

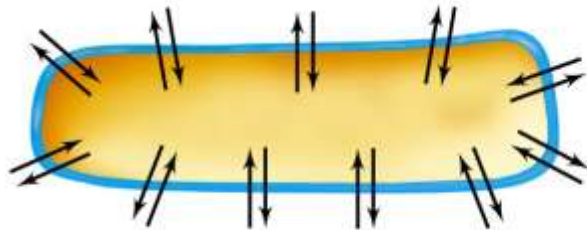


Detekce genů kódujících enzymy klíčové pro biodegradaci (TBI-toluen- bifenyl oxygenáza)



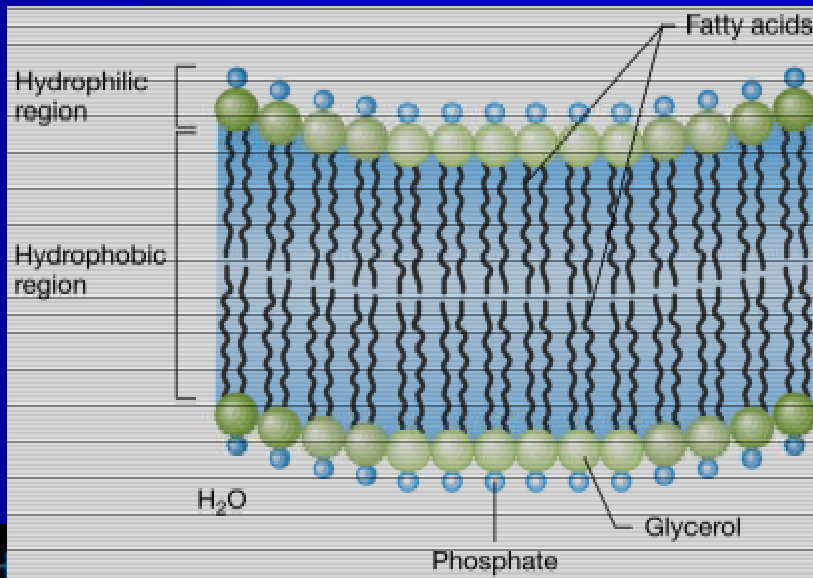


Fosfolipidy jako biomarkery v procesu bioremediace



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



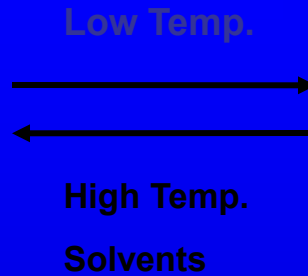
Adaptace na stres – změna viskozity membrány

**Nasycené mastné
Kyseliny**

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

➤ **málo viskózní membrána**

Model máslo



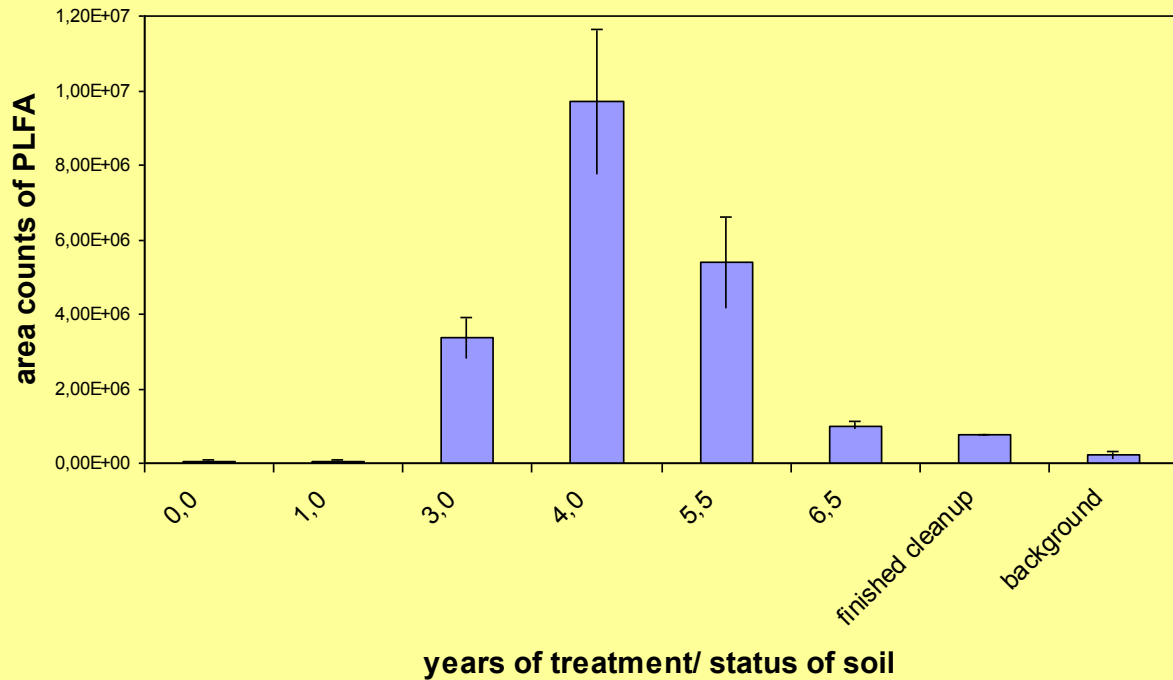
**Nenasycené mastné
kyseliny**

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

➤ **vysoce viskózní
membrána**

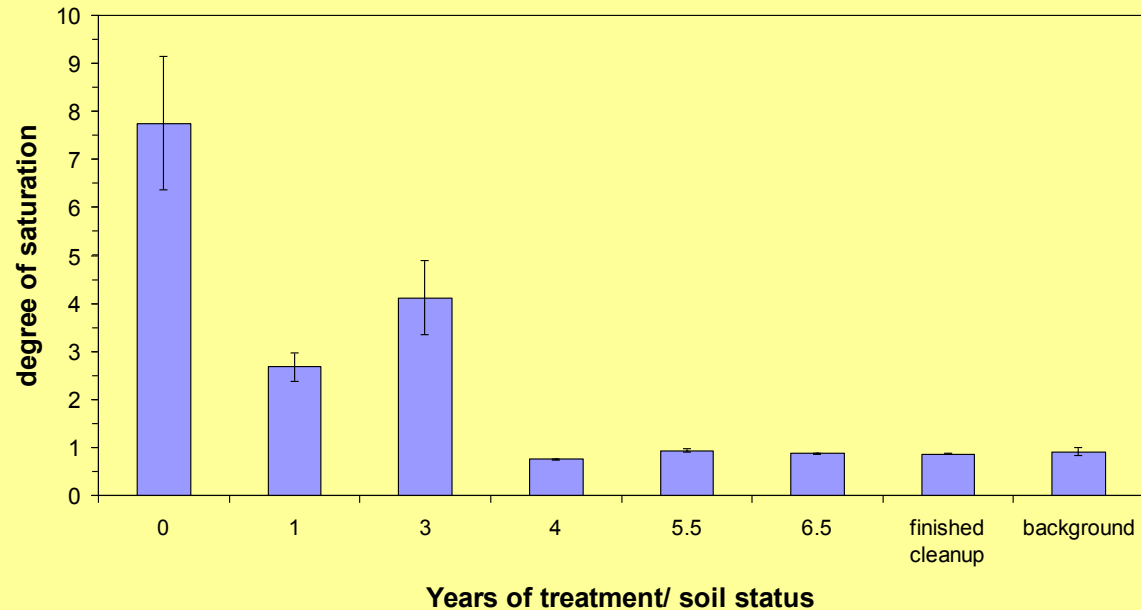
Model olivový olej





Obsah fosfolipidových mastných kyselin – na kultivaci nezávislá kvantifikace biomasy

Stupeň nasycení mastných kyselin – míra stresu mikroorganismů



Děkuji za pozornost!