

Centrum environmentálního výzkumu:
Odpadové a oběhové hospodářství
a environmentální bezpečnost



Workshop
**DEKONTAMINAČNÍ
TECHNOLOGIE**
Stávající možnosti a metody
v oblasti sanací
kontaminovaných míst

23. 1. 2025, Ústav pro životní prostředí, PřF UK



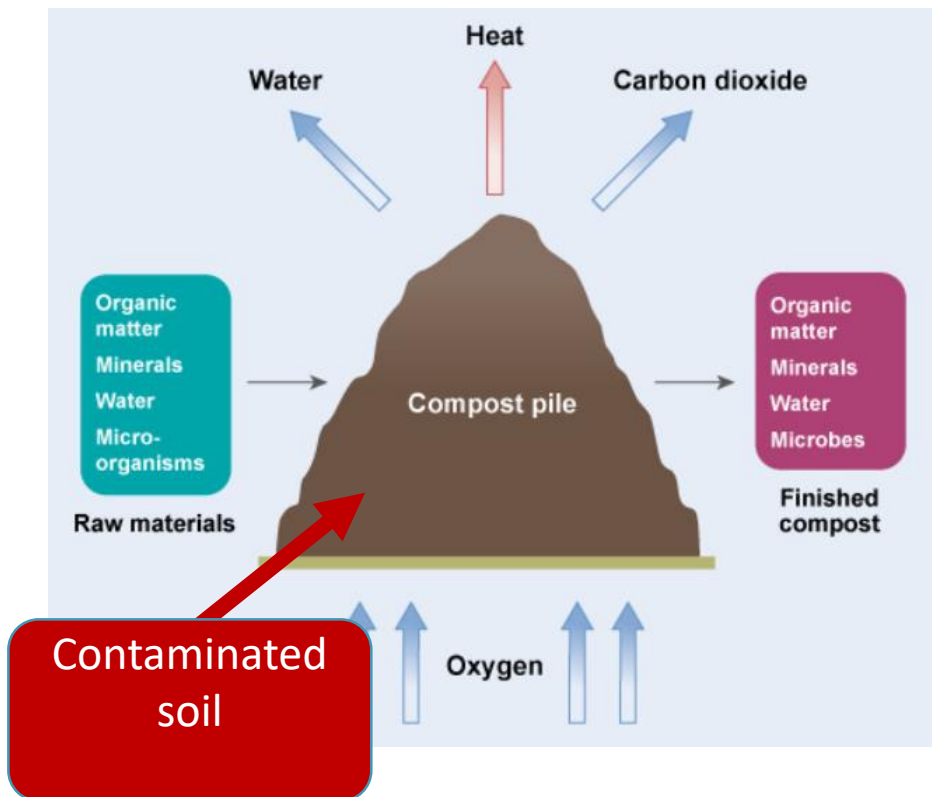
T A
Č R

Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je financován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Technologie ko-kompostování pro dekontaminaci kontaminovaných zemín

Ondřej Lhotský, DEKONTA, a.s.





- Takzvané ko-kompostování je bioremediační technologií, která spočívá v míchání kontaminované půdy s organickým substrátem, který podléhá procesu kompostování.
- Kontaminanty jsou během procesu aerobně rozkládány spolu s dodanými organickými substráty.
- Výsledným produktem je dekontaminovaná půda obsahující vysoký podíl humusu.

- Ko-kompostování je již po desetiletí využíváno pro sanace snadno rozložitelných kontaminantů v plném rozsahu (např. americkou armádou pro úpravu půd kontaminovaných TNT (US EPA 1997)
- Nedávný výzkum pak prokázal, že v průběhu procesu kompostování dochází k degradaci mnoha látek, jejichž biodegradace je jinak značně omezená (rekalcitrantní kontaminanty).
- Pro úspěšné zavedení ko-kompostování do praxe nutná optimalizace procesu z pohledu používaných organických substrátů a poměru substrátu ku zemině
- Na MBÚ ve spolupráci s DEKONTA probíhal vývoj a optimalizace technologie ko-kompostování pro odstranění polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU) a dalších problematických kontaminantů ze zemin v rámci výzkumného projektu NanoBioWat

Testy optimalizace organického substrátu

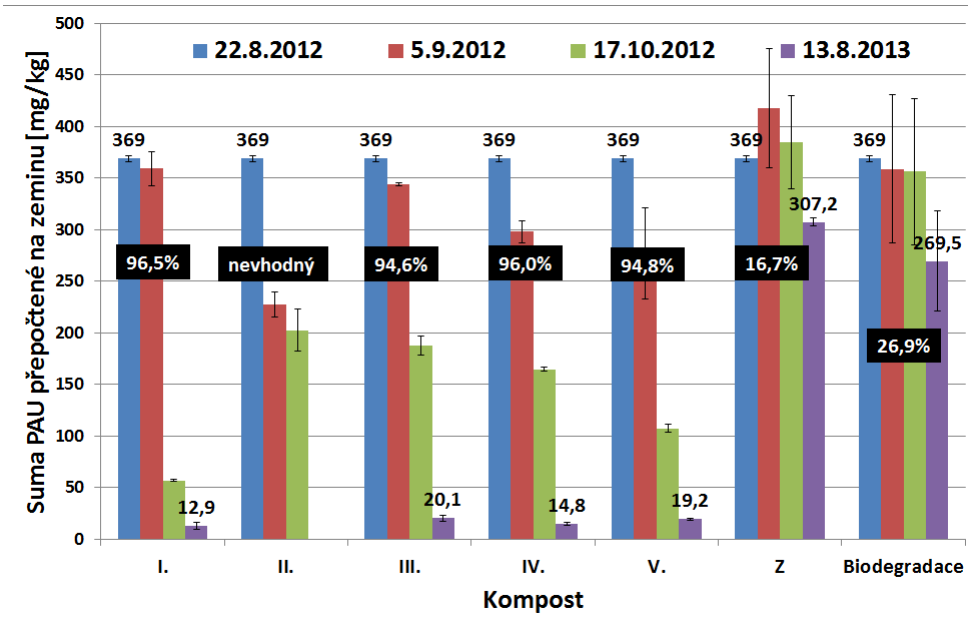
- Testovány směsi různorodých organických substrátů se zeminami kontaminovanými PAU
- Poměr sušiny zeminy ku sušině kompostu 1:1



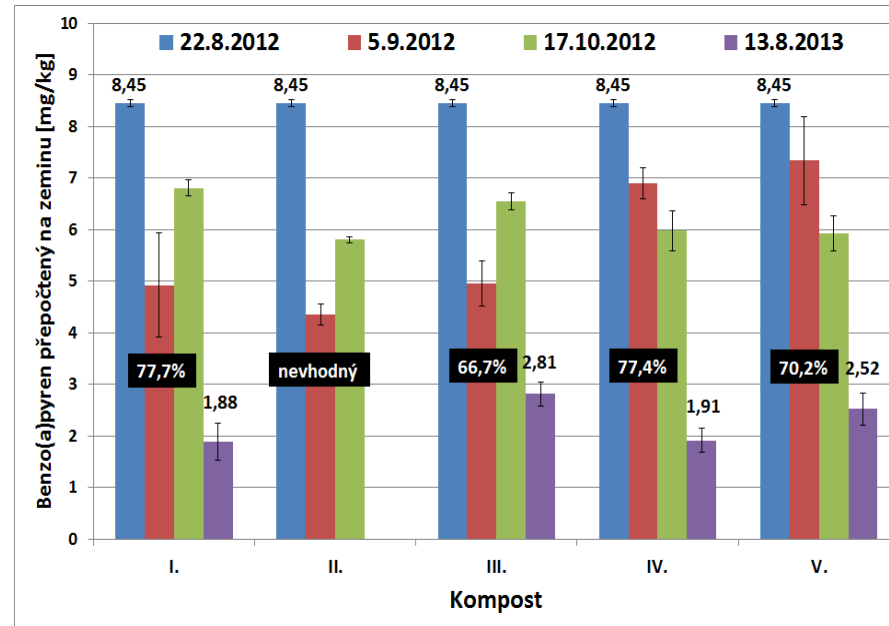
Test optimalizace organického substrátu

- Po 1 roce ko-kompostování poklesy koncentrací sumy PAU o více než 90%
- V případě nejtoxičtějšího BaP poklesy koncentrací o více než 70 %
- Vliv složení použitého organického substrátu je minimální – možné je použít víceméně jakékoliv kompostovatelné substráty, pokud jsou zachovány základní kompostářská pravidla
- Výsledné komposty jsou netoxické

Výsledky – Suma PAU



Výsledky – Benzo(a)pyren

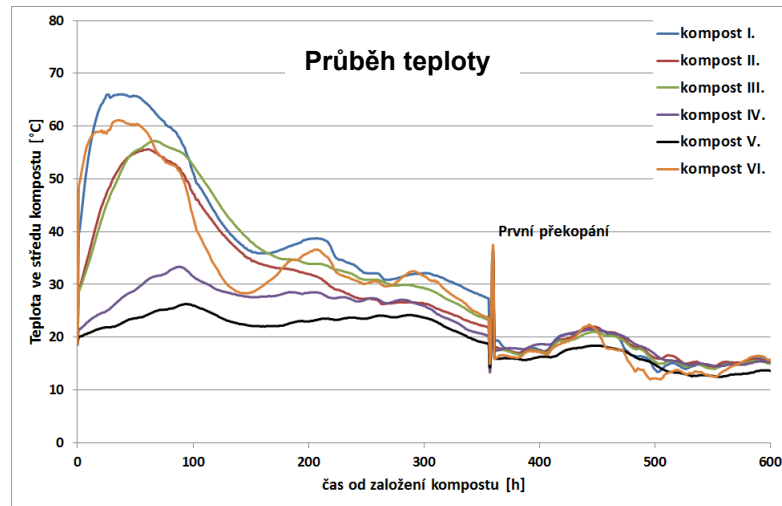


Test optimalizace poměru zemina:substrát

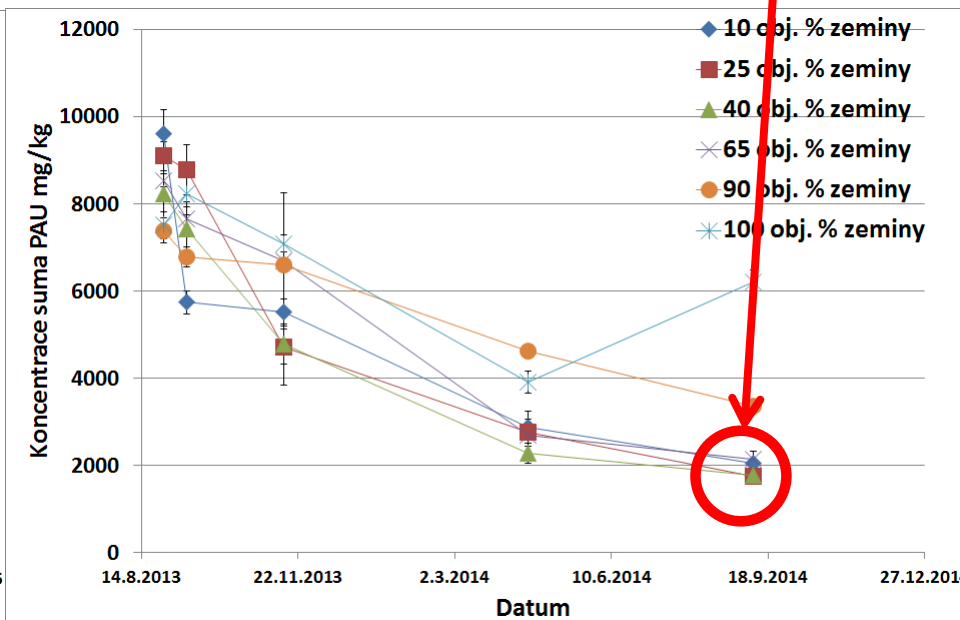
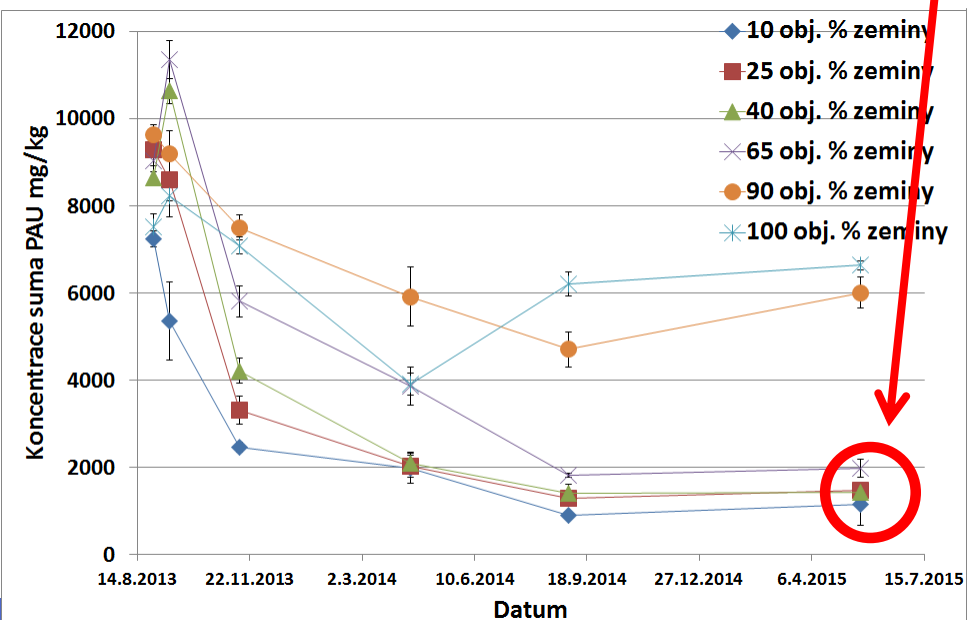
- Proveden obdobný test se zeminou jako v případě optimalizace organického substrátu, ovšem jako proměnná byl sledován vliv poměru zemina:substrát

Vzorek:		Kompost I.	Kompost II.	Kompost III.	Kompost IV.	Kompost V.
zemina tvoří	objemu	10%	25%	40%	65%	90%
	hmotnosti	29%	56%	71%	85%	95%
	hmotnosti sušiny	45%	72%	83%	92%	98%

- 2 různé org. substráty (směs BRKO a dřevní štěpky a komplexnější směs s obsahem hnoje a čistírenských kalů)



	compost I.			compost III.		
	residual PAHs conc. (mg/kg)	PAHs degradation	ekotoxicity	residual PAHs conc. (mg/kg)	PAHs degradation	ekotoxicity
pure compost			toxic			toxic
10 vol. % soil	629	91% OK		1302	86% OK	
25 vol. % soil	839	91% OK		1457	84% OK	
40 vol. % soil	928	89% OK		1333	84% OK	
65 vol. % soil	1451	84% OK		1487	83% OK	
90 vol. % soil	3355	65% toxic		2004	73% toxic	
pure soil	4842	36% toxic		4842	36% toxic	
Bioaug	4609	43% toxic		4609	43% toxic	



Control – pure compost



Control – pure soil



90 vol. % S



65 vol. % S



40 vol. % S



25 vol. % S



Test fytotoxicity výsledných kompostů

10 vol. % S



- Na základě výsledků provedených testů navrženy parametry pro aplikaci technologie ko-kompostování v praxi
- Jedním ze závěrů je, že návrh technologie pro konkrétní lokality musí vycházet z laboratorních a pilotních testů.
- V roce 2017 byly v rámci studie proveditelnosti sanace území kontaminovaného historickým provozem impregnace dřeva na lokalitě Srní u České Lípy provedeny testy technologie ko-kompostování písčitých zemin se silnou kontaminací těžkými PAU.
- Testy potvrdily použitelnost této technologie pro odstranění PAU, včetně nejtěžších zástupců, pro které byly na základě analýzy rizik nastaveny poměrně přísné individuální sanační limity.
- Na základě těchto výsledků byla technologie ko-kompostování vyhodnocena jako nejvhodnější řešení pro sanaci této lokality.

Sanace staré ekologické
zátěže v území
kontaminovaném
historickým provozem
impregnace dřeva v oblasti
vodního zdroje Česká Lípa –
jih



Radek Červinka
Ondřej Lhotský



Kontaminace lokality – Kreosotové oleje v písčité zemině



Budova tlakové
impregnace dřevy
kreosotovými oleji

1946

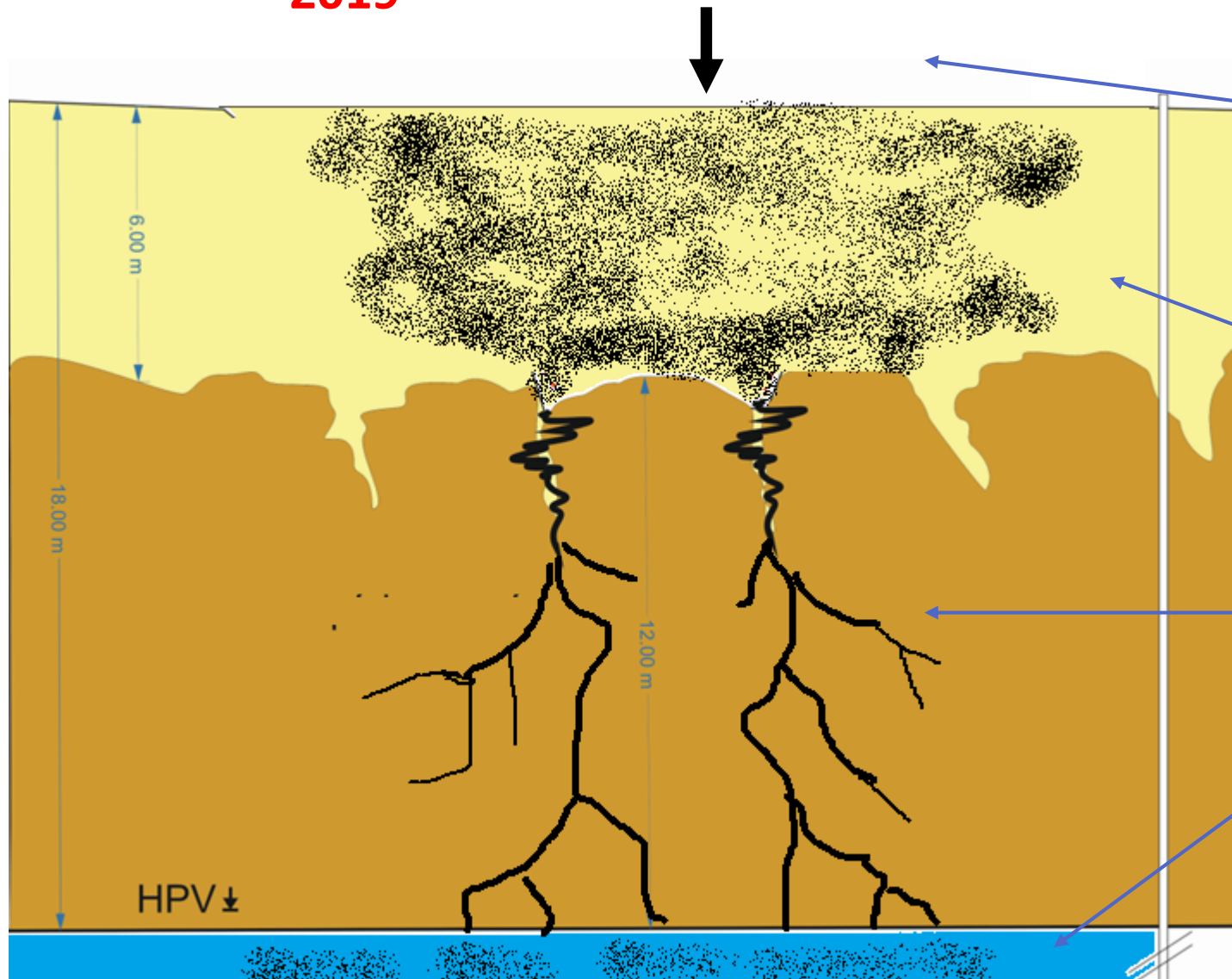


- Impregnační jednotka zde fungovala po řadu desetiletí
- Mořené železniční pražce byly po impregnaci ponechány „okapat“ na volné ploše

- Pod vlastní budovou tlakové impregnace ponechána nefunkční jímka s kreosotovým olejem a rozvodné potrubí



2019

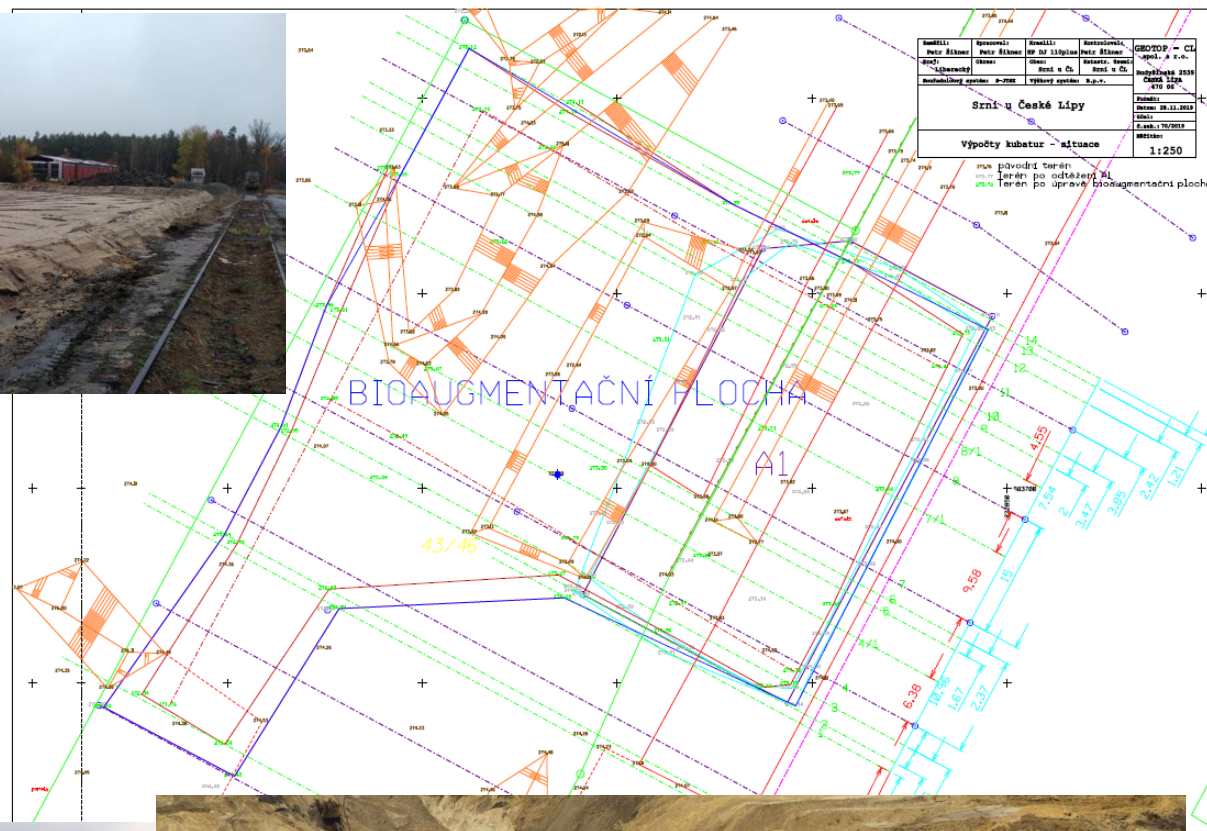


- Kreosotové oleje unikaly do písčitých zemin, kde byly částečně degradovány a docházelo k separaci těžkých a lehkých frakcí na základě jejich migračních vlastností
- Ve svrchních polohách přítomny především těžké PAH jako benzo(a)pyren, které jsou velmi obtížně biologicky rozložitelné konvenčními bakteriálními technologiemi
- Nižší PAU a další kontaminanty domigrovaly do pískovcového podloží
- Některé lehké PAU a oleje se dostaly do podzemních vod

- Dekontaminace kontaminovaných písčitých zemin metodou ko-kompostování na místě:
 - odtěžba zemin do max. hloubky 6 m pod terén
 - Mísení s organickým substrátem a kompostování na vybudované vodohospodářsky zabezpečené ploše
 - Navrácení dekontaminovaných zemin do výkopových jam

Ukazatel	Cílový parametr nápravných opatření [mg/kg] sušiny
Benzo(a)pyren	60
Benzo(b)fluoranthén	60
Benzo(k)fluoranthén	600
Indeno(1,2,3-cd)pyren	60
Benzo(a)anthracen	60
Σ PAU	2 000
C ₁₀ -C ₄₀	1 500

- Vlastní sanace spočívala ve výstavbě vodohospodářsky zabezpečené plochy 5600 m² pro provedení ko-kompostování.
- V místech původní impregnační technologie a odkapávacích ploch byly ve třech letech po sobě postupně odtěžovány kontaminované zeminy, které byly následně ošetřeny na ploše.
- Každý rok odtěženo a ošetřeno cca 7 tisíc m³ kontaminovaných zemin, které byly po cca 240denním ko-kompostovacím cyklu a dosažení sanačních limitů navráceny zpět do sanačního výkopu.
- Celkem vytěženo a ošetřeno cca 21 tisíc m³ zemin.



Odtěžby

- Odtěžba kontaminovaných zemin v segmentu 1B, odkryv jímky



Odtěžby:

- Finální kontury odtěžby v segmentu 1B



- Materiál z každého výkopu byl rozdělen na dvě části. První z nich byl aktivně kompostován v období od května do srpna, druhá pak od září do jara dalšího roku.
- Jako organický substrát využíván materiál dovážený z blízké kompostárny SAP Mimoň, který je produkován drcením BRKO z údržby zahrad
- Poměr kontaminované zeminy ku organickému substrátu byl 1 ku 1 objemově. Při objemové hustotě organického substrátu cca 350 kg/m³ a písku cca 1700 kg/m³ to představuje hmotnostní poměr cca 1:5 na čerstvou váhu, na sušinu pak cca 1:10.
- Vliv ředění PAU organickým substrátem se tedy pohybuje pouze okolo 10 %.
- Zemina byla s organickým substrátem mísená pomocí tzv. třídící lopaty umístěné na nakladači
- Směs ukládána na ploše v podobě dlouhých hromad

- Mísení kontaminované zeminy s organickým substrátem



- Při aktivním kompostování je směs zeminy s organickým substrátem průběžně překopávána pomocí bagru a vlhčena vodou zachycenou v jímce pomocí ostřikovačů, neboť zde dochází k intenzivním mikrobiálním procesům a rychlé spotřebě kyslíku.
- Postupem času dochází k vyčerpání většiny organického substrátu a proces se výrazně zpomaluje. Od té doby již není nutné materiály aktivně překopávat. Při aplikaci v praxi trvala aktivní část kompostování cca 120 dní.
- Následně je kompost ponechán dalších cca 120 dní na velké hromadě bez ošetření, tak aby se na ploše uvolnilo místo pro založení dalších hromad
- Na jaře dalšího roku byly ošetřené zeminy opětovně navezeny do sanačního výkopu

Překopávání hromad – zajištění aerace

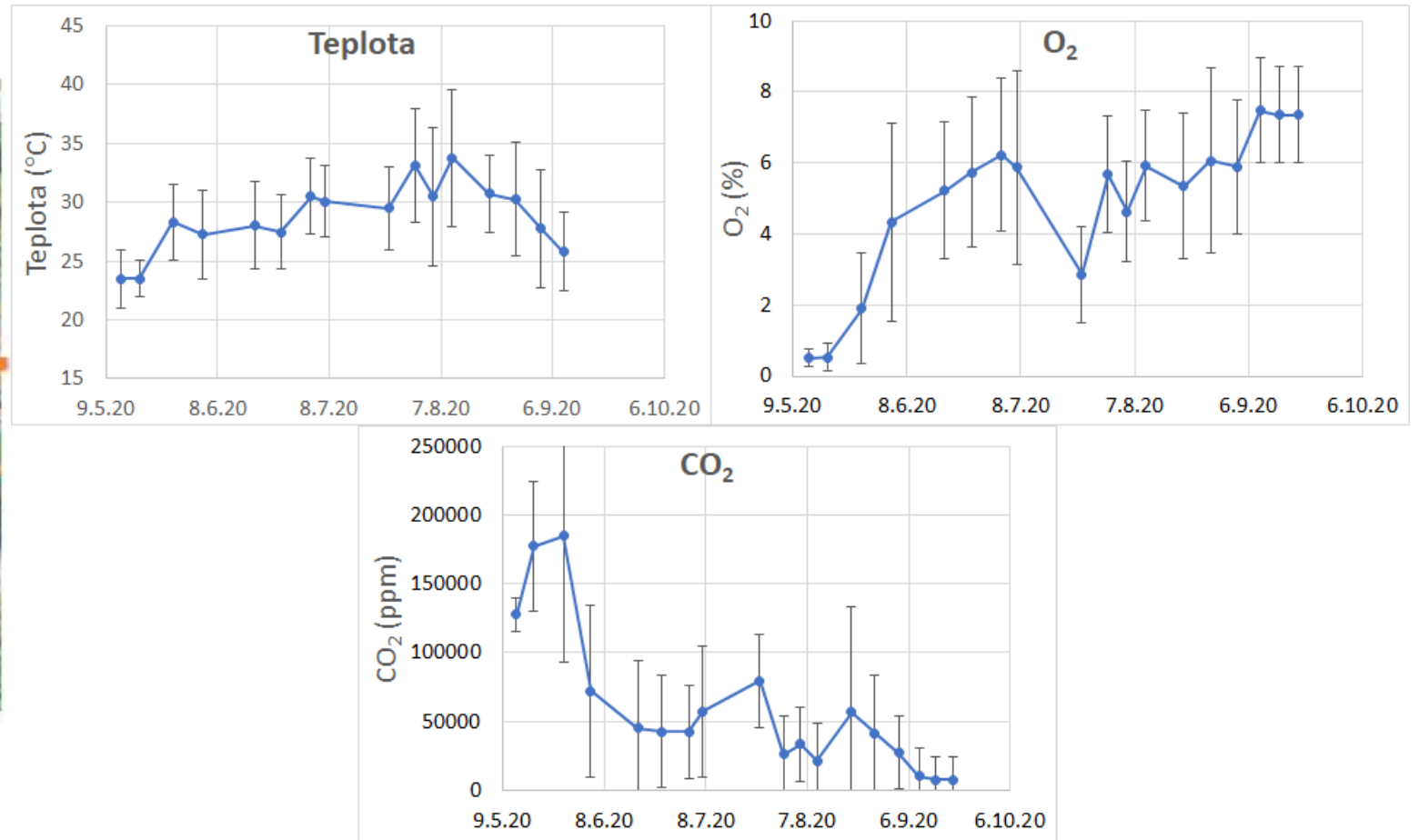


Postřik dešťovou vodou zachycenou v aerované jímce



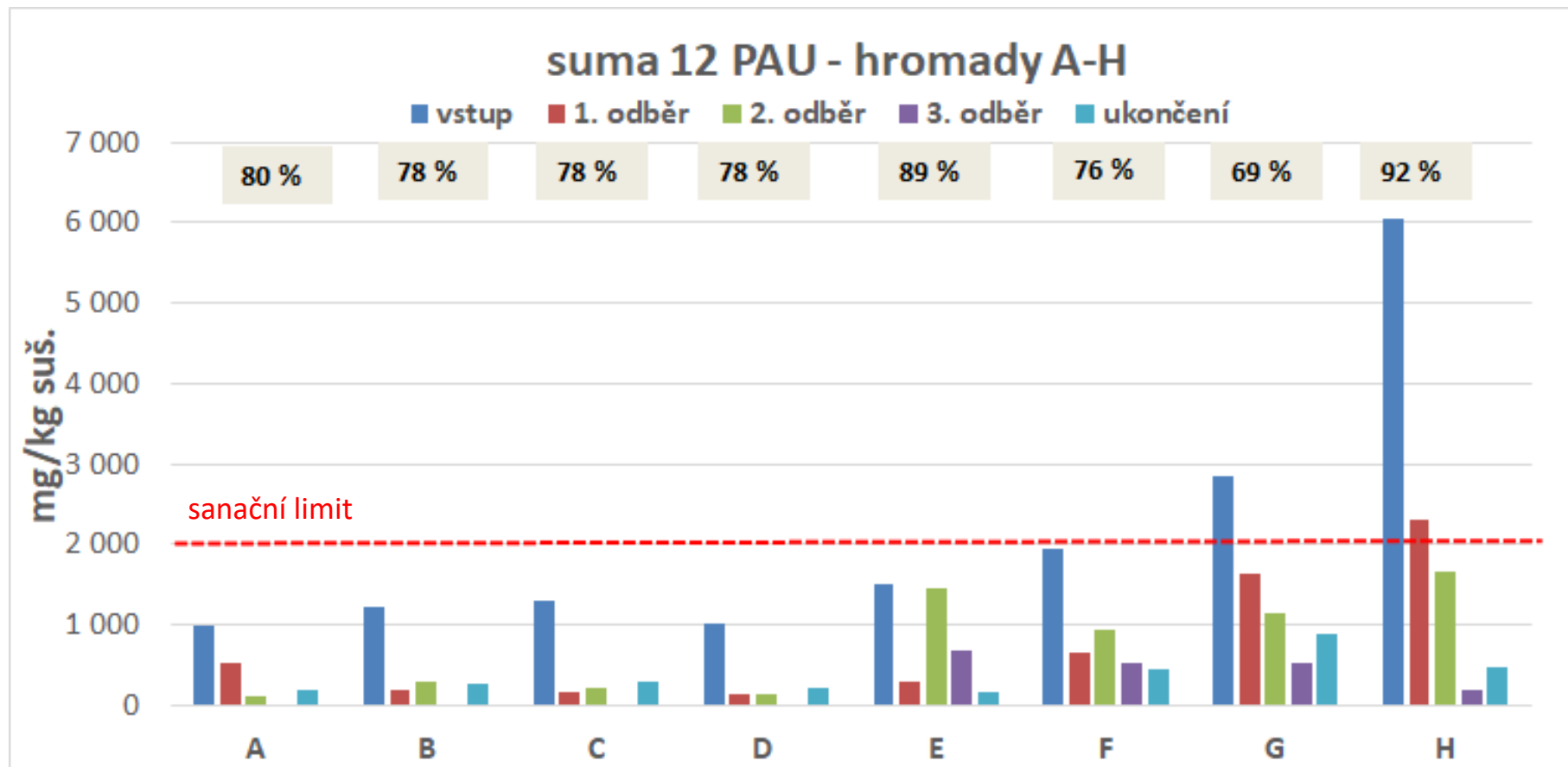
Průběh ko-kompostování

- V průběhu aktivního ko-kompostování průběžný monitoring teploty, obsahu O_2 a CO_2 a také vývoje kontaminace O_2 a CO_2)
- Aktivní bioaugmentace (vlhčení, překopávání) trvala cca 120 dní, následně přesun na velkou hromadu (A až D), zakládky E až H ponechány v řadách, pasivní bioaugmentace dalších cca 120 dní



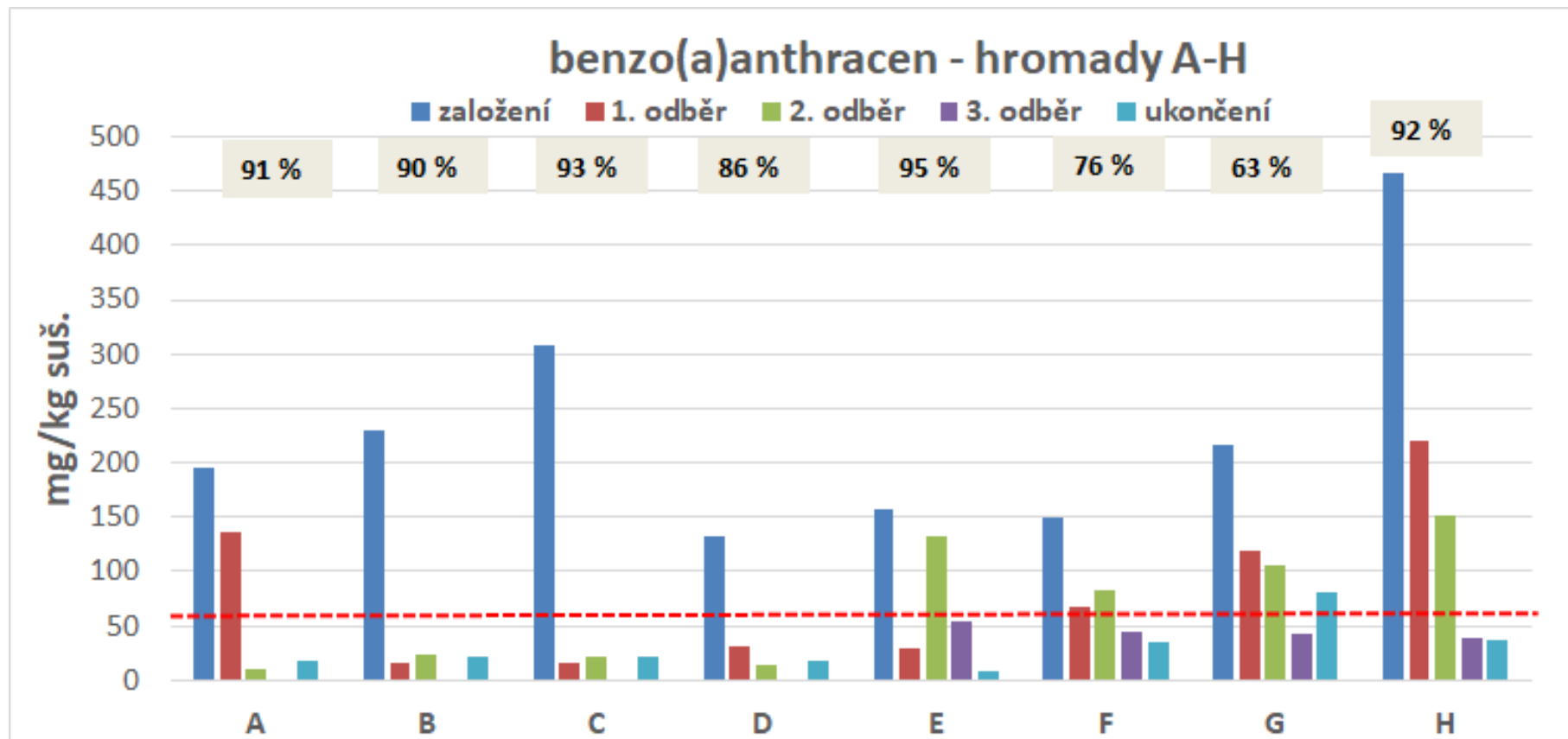
Průběh ko-kompostování – suma PAU

- Účinnost odstranění **sumy PAU** se pohybovala mezi 69–92 % a ve všech sledovaných zeminách suma PAU poklesla na méně než ½ sanačního limitu



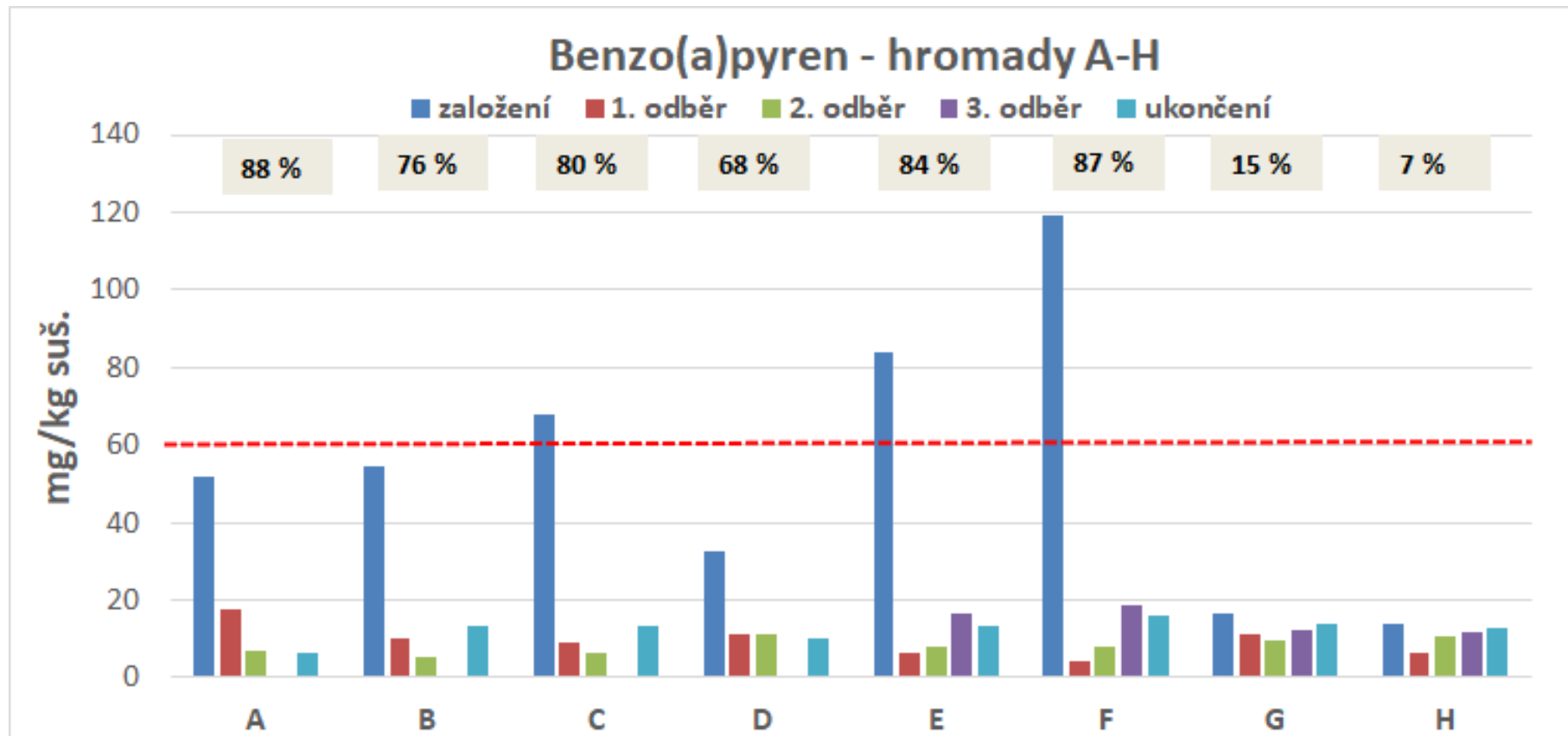
Průběh ko-kompostování – benzo(a)anthracen

- Účinnost odstranění **benzo(a)anthracenu** (nejproblematictější kontaminant) se pohybovala mezi 63-95 %



Průběh ko-kompostování – benzo(a)pyren

- Účinnost odstranění **benzo(a)pyrenu** se pohybovala od 7 % v případě zemin s jeho nízkou vstupní koncentrací po 88 % u zemin s vysokou vstupní koncentrací.



Sanace staré ekologické zátěže v území kontaminovaném historickým provozem impregnace dřeva v oblasti vodního zdroje Česká Lípa – jih

- Ko-kompostování vedlo k odstranění 84 % sumy 12 sledovaných PAU (pokles z průměrné koncentrace 2,1 g/kg na cca 0,3 g/kg) a 68 až 89 % jednotlivých těžkých zástupců PAU.
- Nejvýrazněji zastoupeným těžkým PAU byl benzo(a)antracen, jehož průměrná koncentrace ve vstupní zemině se pohybovala okolo 250 mg/kg a po ošetření poklesla na cca 27 mg/kg.
- V případě benzo(a)pyrenu pak byl zaznamenán pokles z koncentrací okolo 60 mg/kg na cca 15 mg/kg.
- Z praktického hlediska se technologie ko-kompostování ukázala jako robustní, jednoduchá a levná metoda pro úpravu zemin kontaminovaných PAU na sanační limity
- Lze očekávat, že biodegradační procesy nastartované v průběhu aktivní fáze kompostování poběží ještě několik let a v kontaminovaných zeminách dojde k rozkladu veškerých biologicky dostupných PAU
- Zbytková kontaminace přítomná v ošetřených zeminách nepředstavuje výrazná rizika, neboť je silně vázána v horninové matici, že nelze očekávat její rozpouštění do vody a s tím spojené riziko migrace a toxického působení.
- Výsledná zemina má cca 1,5 násobek objemu odtěžené zeminy, má dobrou strukturu a je velmi úrodná, její využití k závozu sanačních výkopů není ideální, byla by spíše vhodná např. pro pěstování energetických plodin



Ondrej Lhotsky (DEKONTA, a.s.)
lhotsky@dekonta.cz



Děkuji za pozornost.

Dotazy?

