

Problematika využití mikrovlnného ohřevu v sanačních technologiích

Ing. Jiří Kroužek

Ing. Jiří Hendrych Ph.D., Ing. Pavel Mašín, Ing. Jiří Sobek Ph.D.



**VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE**

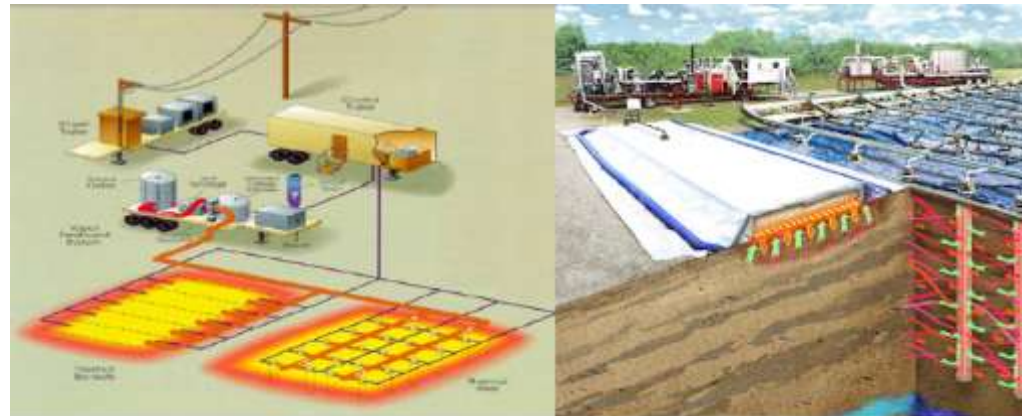
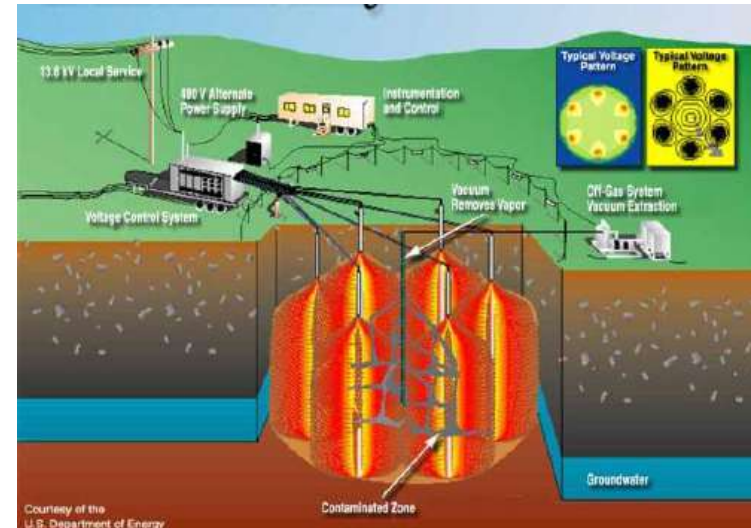
Tepelná energie v sanačních technologiích

- Zvýšení mobility kontaminantů
 - vyšší těkavost, rozpustnost, reaktivita (bioaktivita)
- Ex-situ termická desorpce
 - účinná a rychlá dekontaminace
 - těžko odstranitelné kontaminanty – POPs, PAH
 - teploty až 600°C
 - odtěžba a předúprava materiálu, ohřev a desorpce, čištění odplynů, zpracování produktů



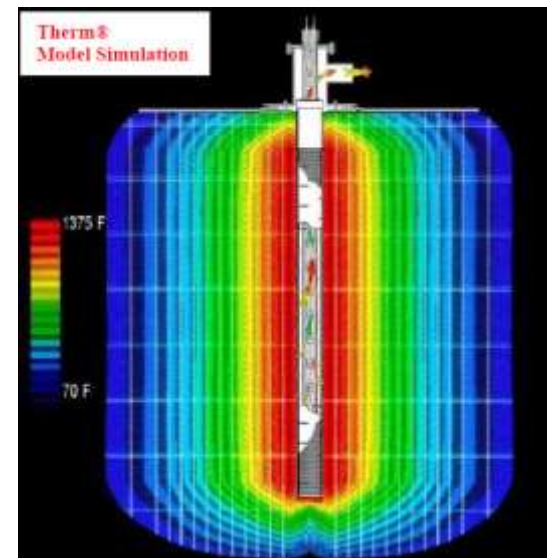
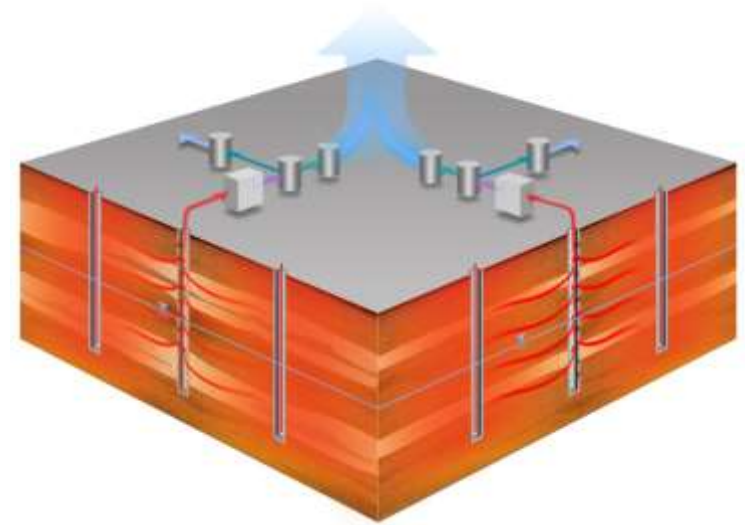
Termicky podporované sanační technologie

- Ex-situ termicky podporované dekontaminace
 - HAVE, Thermopile apod.
- Dekontaminace povrchů
 - Kobercové uspořádání
- Sanace horninového prostředí
 - In-situ termická desorpce (ISTD)
 - Termicky podporovaný venting (TESVE)
 - Vstřikování horké páry/vzduchu
 - Speciální techniky ohřevu – ERH, ISRF



Technologie ohřevu

- Klasický kondukční způsob
 - **přímý a nepřímý**
- Advekční
- Elektrický odporový ohřev
- Elektromagnetický
 - **radiofrekvenční**
 - **mikrovlnný**



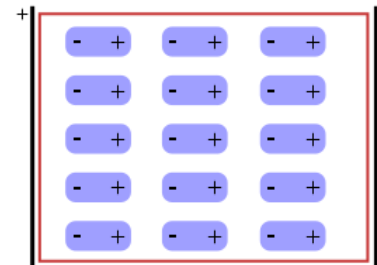
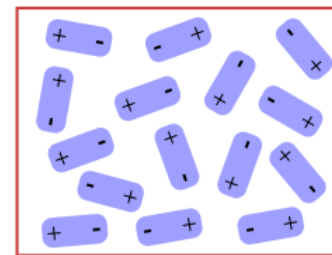
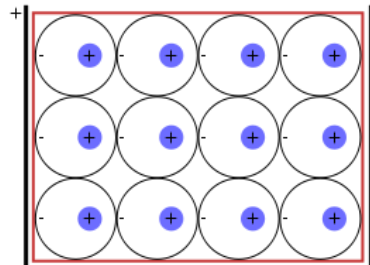
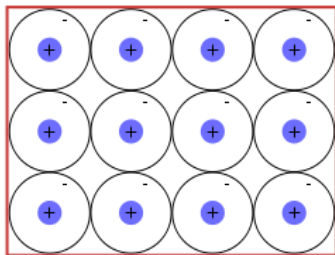
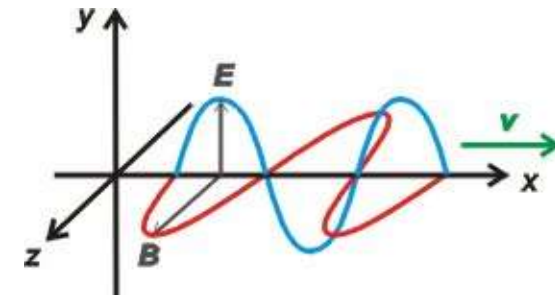
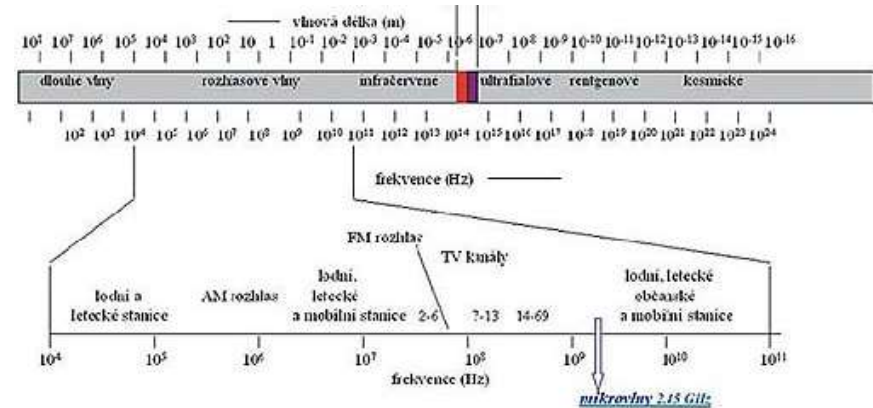
Elektromagnetický ohřev

Mikrovlnný ohřev – 0,915 a 2,45 GHz

Radiofrekvenční - 13,56 nebo 27,12 MHz

- Interakce materiálů s vlněním

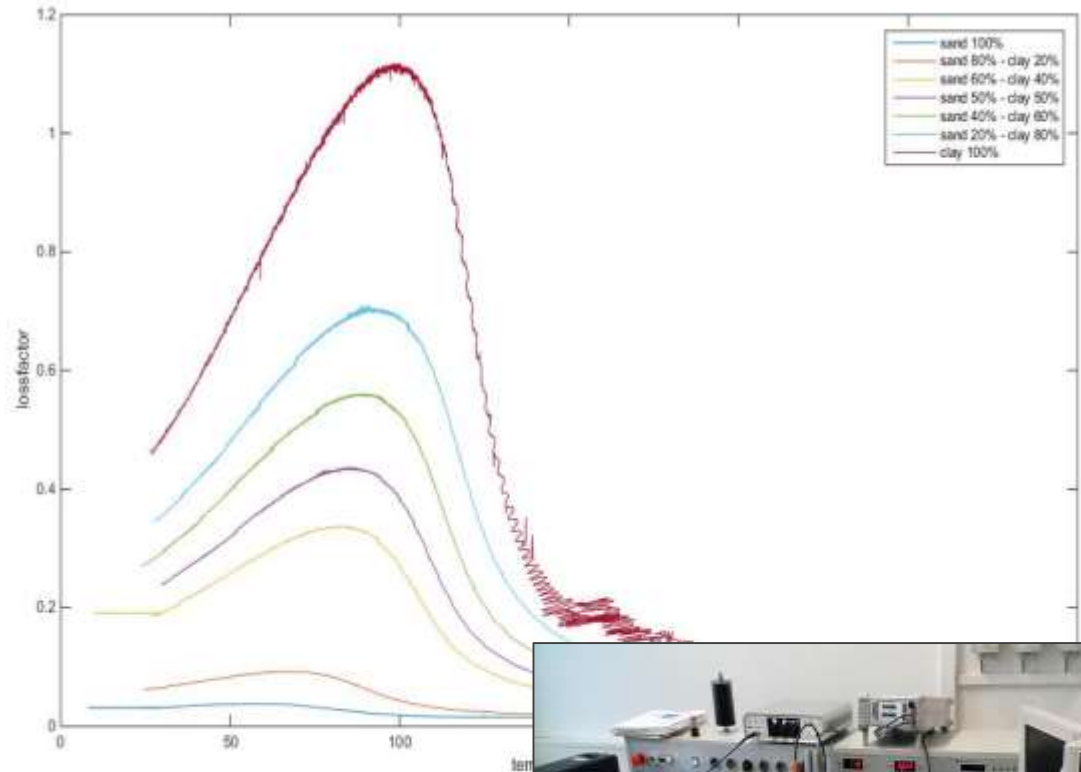
- zákony elektromagnetismu a optiky
- polarizační a vodivostní mechanismus aj. interakce
- objemový charakter, selektivita, specifické vlastnosti
- materiály – absorbující, transparentní a odrážející
- dielektrické vlastnosti



Dielektrické vlastnosti materiálů

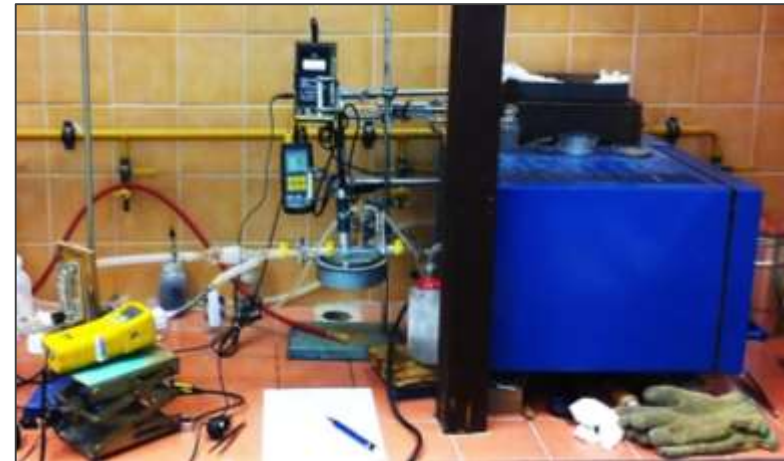
$$\epsilon_r = \epsilon_r' + i\epsilon_r''$$

- Teplota
- Frekvence
- Chemické složení
- Vlhkost
- Fyzikální vlastnosti



Výzkum aplikace mikrovln

- Laboratorní aparatury
- Studium specifických aspektů
- Měření a regulace teploty
- Přenositelnost dat do většího měřítka



Laboratorní experimenty

- Uměle i reálně kontaminované materiály
 - zeminy, stavební odpady
- Kontaminace POPs – PCB, PAH, OCPs
- Nízkoteplotní proces – do 230°C
 - Měření teploty optickým vláknem

- Interakce mikrovln s materiály
 - uzavřený i otevřený systém
- Termická desorpce vlhkých materiálů
- Aplikace aditiv
 - podpoření absorpce mikrovln
 - destruktivní účinky na kontaminanty

Výhody mikrovlnného ohřevu

- Rychlejší a účinnější ohřev
- Zacílení ohřevu
- Snížení teplotního gradientu
- Regulace ohřevu
- Zvýšení mobility zařízení
- Podpoření dekontaminačního účinku
- Snížení efektivní teploty
- Potenciál podpoření reaktivity kontaminovaného systému

- Nevýhoda
 - využití elektrické energie
 - potřeba výkonného zdroje

Aplikace mikrovln v sanačních technologiích

- Mikrovlnná termická desorpce
- In-situ mikrovlnná dekontaminace povrchů
- Mikrovlnami podporované in-situ sanační technologie

Mikrovlnná termická desorpce

JEMITER – Dekonta, a.s.

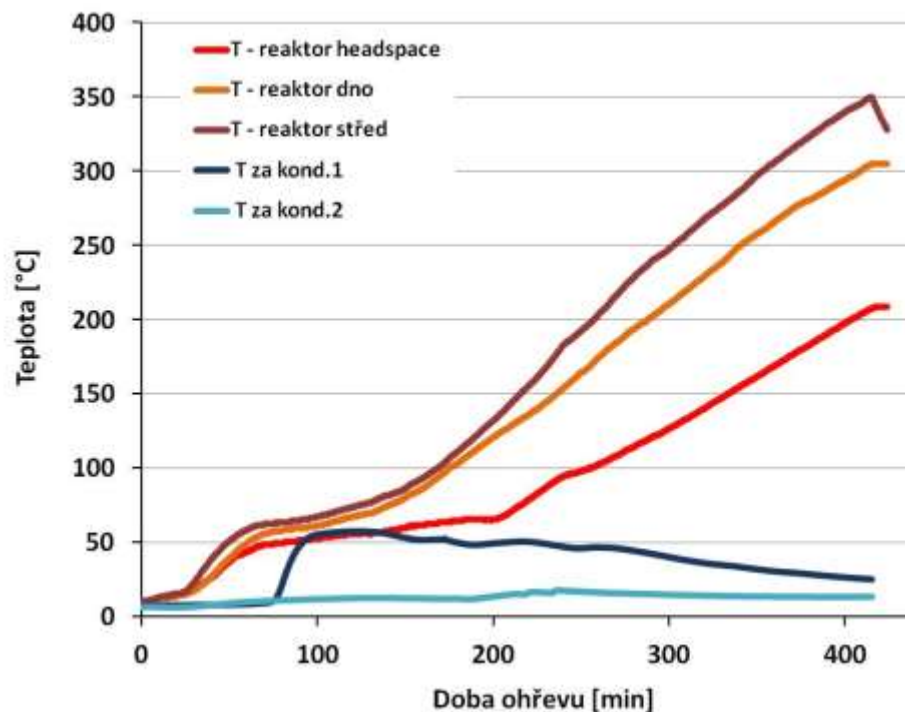
Maximální hmotnost vsádky		100 kg
Zrnitost vsádky		5 mm
Maximální provozní teplota		400 (°C)
Tlak v reaktoru abs.	rozsah	5 – 120 kPa
Výkon mikrovlnného záření		6 kW
Přídavný topný pás	Výkon	3 kW
	Teplota	300 °C
Míchadlo (kotvové), moment	kroučící	1380 Nm
Dusík (tlak. láhev) s předehřevem		300°C



Poloprovozní testy

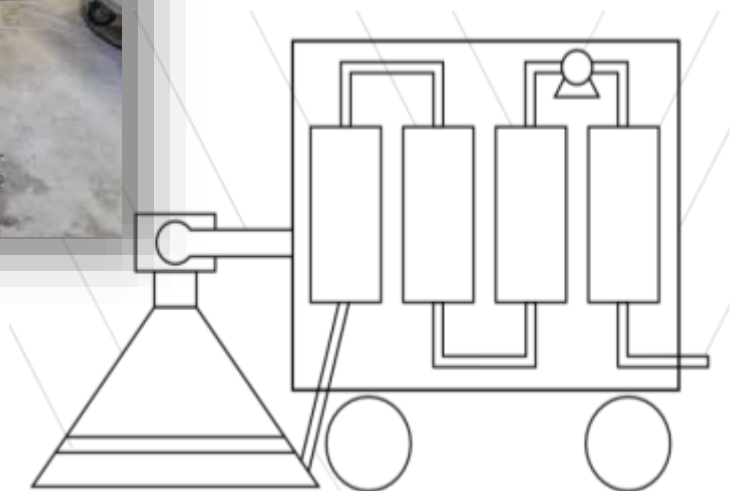
- Stavební suť, zeminy
- Kontaminace
 - ropné uhlovodíky
 - PCB
 - HCH
 - PAH
- Teplota 350°C
- Tlak 10-15 kPa
- Účinnost > 99%
- Testy s aditivy
 - snížení spotřeby energie

Kontaminant	Vstup [mg/kg]	Výstup [mg/kg]	Účinnost desorpce [%]
NEL	11 484	84,20	99,2
Σ 7 PCB	257	1,61	99,3
Alfa HCH	31 436	12,30	99,9
Beta HCH	4 464	1,61	99,9
Gama HCH	7 556	0,46	99,9
Delta HCH	7 720	1,95	99,9
Epsilon HCH	788	0,45	99,9

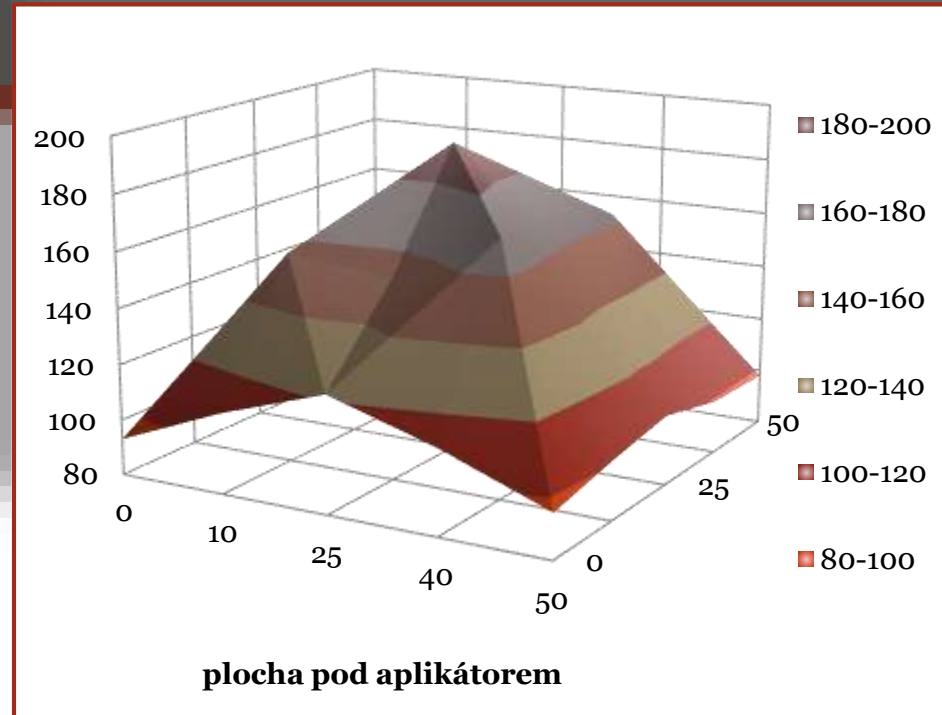
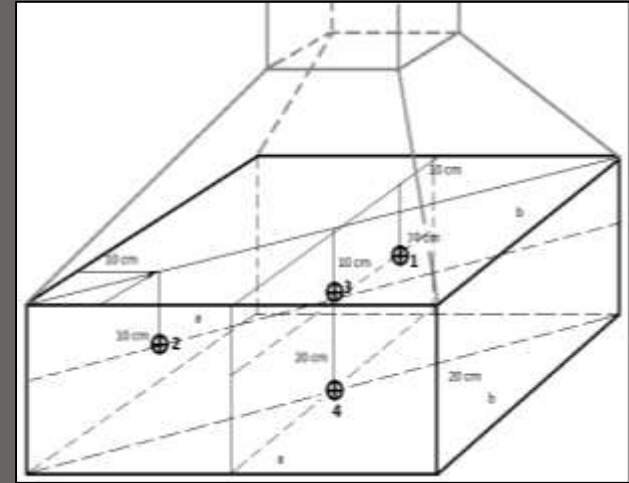


In-situ mikrovlnná dekontaminace povrchů

VLNOCHOD - CHEMCOMEX, a.s.



In-situ mikrovlnný ohřev



Testy mikrovlnného ohřevu povrchů

- Výkon technologie vyplývá z limitů generátoru mikrovln
 - 6 kW, účinnost 60-70 % (chlazení), nízké ztráty odrazem - do 5 %
 - Teplota 220°C - plocha 2,5 m², hloubka 20cm, cca 1 t zeminy
 - Nehomogenní distribuce teploty v matrici
 - Malá část energie (do 5 %) – ztráta do okolní matrice, ztráta do okolí technologie
- Bezpečný provoz
 - Měření úniků nepotvrdilo porušování NPH (SAR limit) – ref. hodnota 10 W/m²
 - Problémy s nerovným povrchem – technická opatření
- Nastavení výkonu a velikosti plochy – přibližně lineární vztah
- Vliv dielektrických vlastností materiálu
 - nelineární průběh ohřevu
 - efekt na rychlost a homogenitu ohřevu
- Obtížné sledování a predikce průběhu ohřevu – modelování

Modelování mikrovlnného ohřevu

- Komplexní fyzikální problém
- Závislost dielektrických vlastností na mnoha faktorech
- Vzájemně se prolínající procesy
 - Sdílení tepla
 - Elektromagnetické interakce
 - Sdílení hmoty – sušení
- Numerická řešení
- Složitý výpočet – drahé nástroje (COMSOL)

Mikrovlnami podporované sanace horninového prostředí

- Nový úkol výzkumu
- Potenciál mikrovln v kombinaci s běžnými sanačními postupy
- Možnost zacílení do ohniska kontaminace
- Aplikace získaných zkušeností
 - Aplikace RF ohřevu v horninovém prostředí

Závěr

- Mikrovlnný ohřev – efektivní alternativa
- Řada specifických aspektů aplikace mikrovln
- Možnost aplikace Ex-situ i In-situ
 - další prvek kombinovaných sanačních technik??
- Mobilita vyvinutých zařízení
- Nevýhody elektrického ohřevu
- Lokality menšího rozsahu znečištění

Děkuji za pozornost

Podpora TAČR projektů

TA01020383, TA02021346 a TA04020435