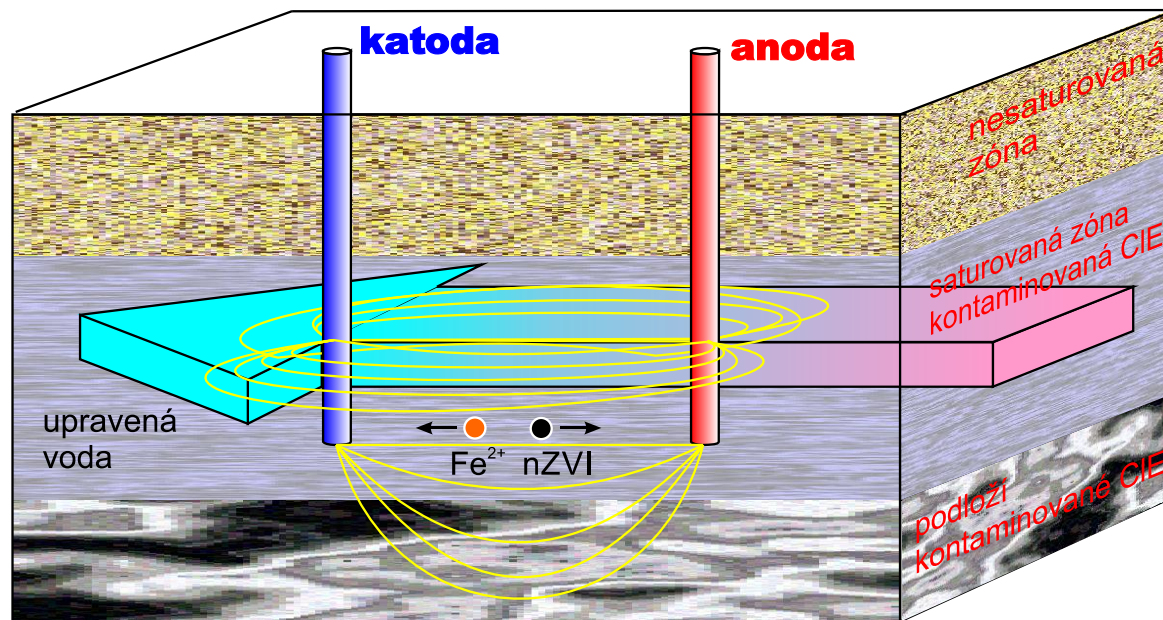


ELEKTROGEOCHEMIE A JEJÍ UPLATNĚNÍ JAKO PERSPEKTIVNÍ SANAČNÍ TECHNOLOGIE PŘI REDUKTIVNÍ DECHLORACI CHLOROVANÝCH UHLOVODÍKŮ



Jaroslav Hrabal, Dagmar Bartošová

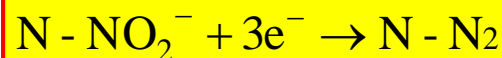
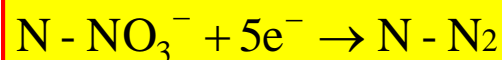
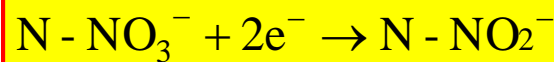
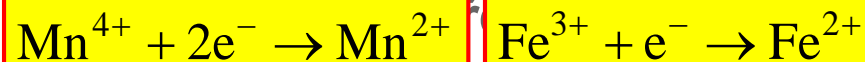
reduktivní dechlorace CIE a konkurenční reakce

Reduktivní dechlorace CIE

- alifatické chlorované ethyleny spotřebovávají protony a elektrony

Konkurenční reakce

- redukce látek v oxidovaném stavu
 - kyslík (redukce)
 - dusičnany (redukce)
 - sírany (redukce, srážení s Fe)



Karbonátový systém

- stabilizuje geochemický systém (regulace pH)
- disociací H_2CO_3 je do prostředí uvolňován nascentní vodík

Srážení minerálů

- kalcit, siderit, goethit, magnetit, atd.

- Boj s chlorovanými ethyleny se v ČR vede od roku 1991, kdy byly nalezeny první významné ekologické zátěže tohoto typu.
- Na některých lokalitách dosud přetrvává masivní kontaminace složek životního prostředí, riziková je především kontaminace podzemní vody.
- Přibližně před 13 lety se do rukou sanačních geologů v ČR dostala nová zbraň - nanočástice elementárního železa.
- Od té doby jsou prováděny laboratorní experimenty (obvykle nevhodně), pilotní pokusy (limitované rozpočtem a časem), když to dostatek finančních prostředků umožní dojde i provozní nasazení.
- Výsledkem je obvykle konstatování, že to funguje nebo také ne a v tom případě se neví proč.....
- ... **protože v naprosté většině případů nejsou hodnoceny geochemické podmínky konkrétních lokalit.**

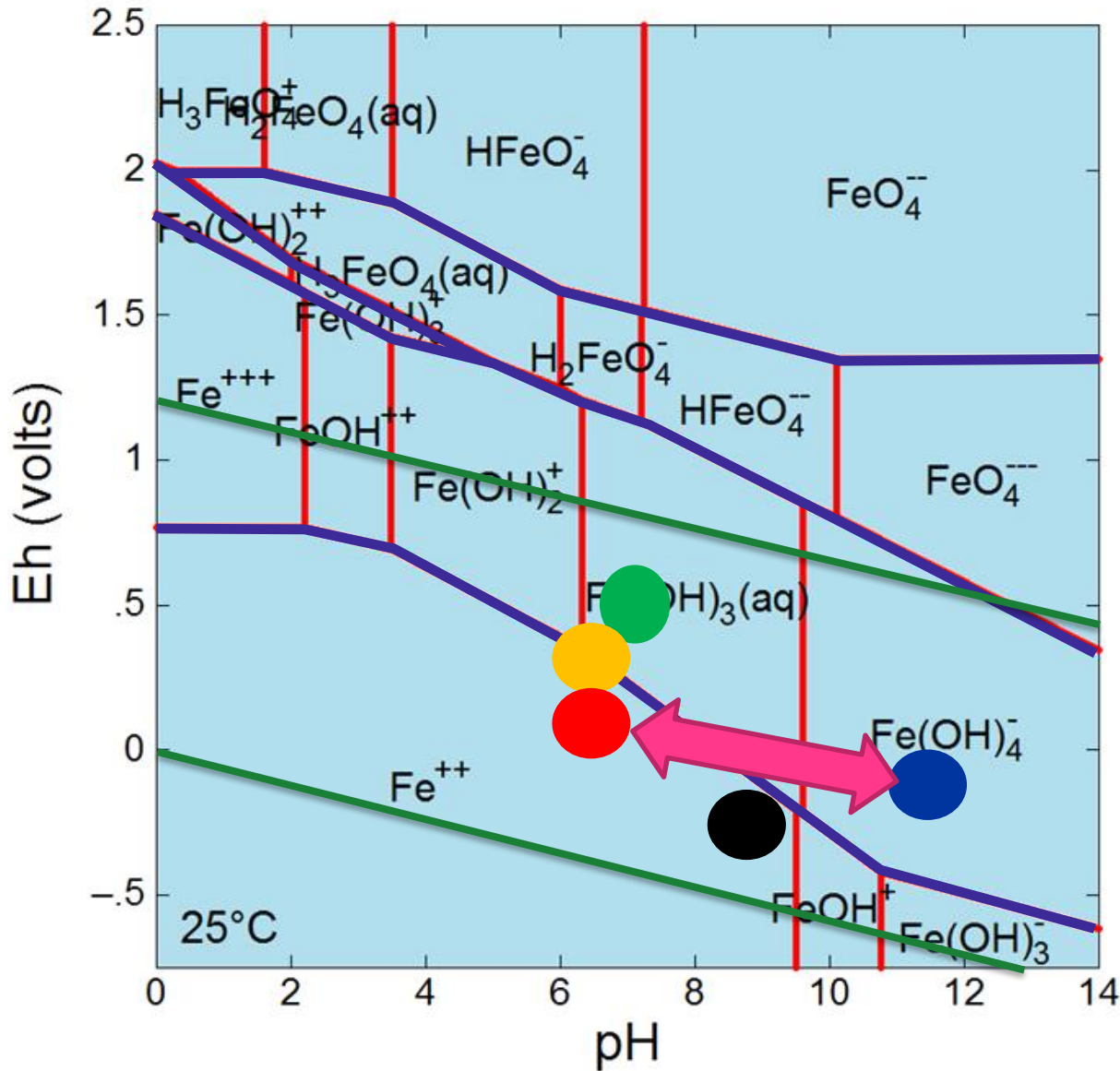


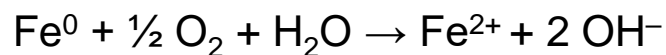
Diagram Fe^{+} , $T = 25^\circ\text{C}$, $P = 1.013 \text{ bars}$, a [main] = 10^{-6-40} , a [H₂O] = 1; Suppressed $\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{+++}$, $\text{Fe}_3(\text{OH})_4^{5+}$; Decoupled: $\text{H}_2(\text{aq})$, NO_2

- podzemní voda
- nZVI
- laktát apod.
- anoda
- katoda

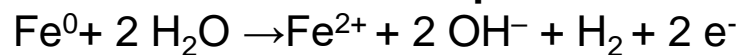
geochemická podstata působení Fe

Chemické vlastnosti Fe

aerobní koroze



koroze s vodíkovou depolarizací



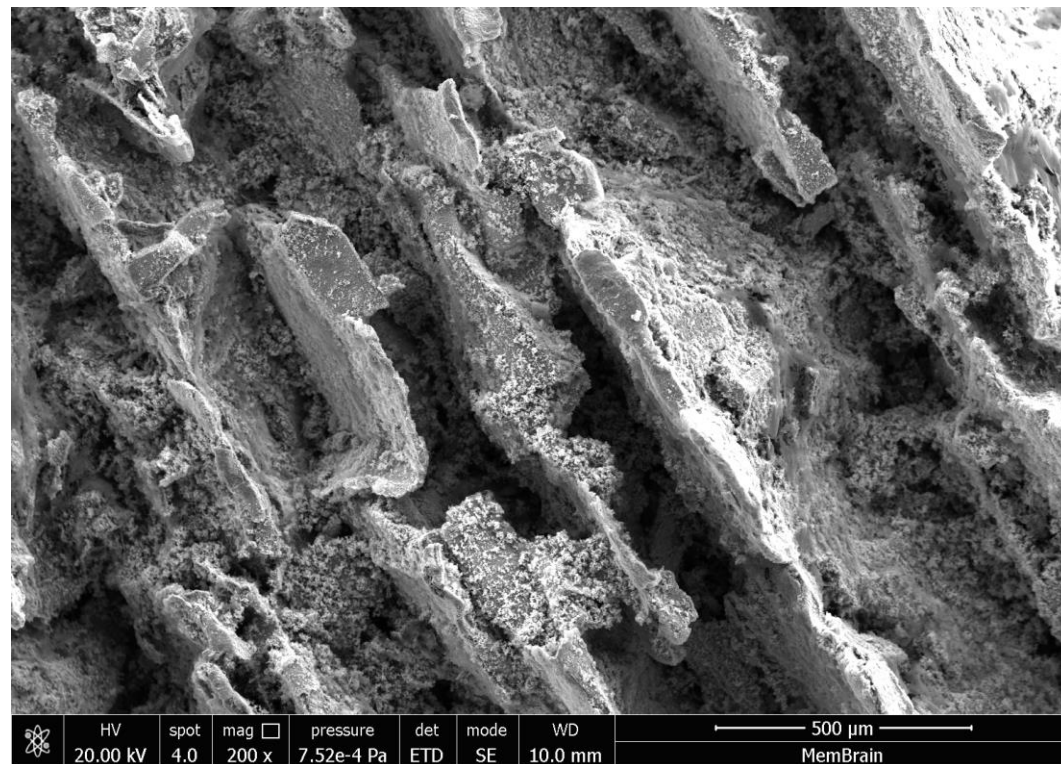
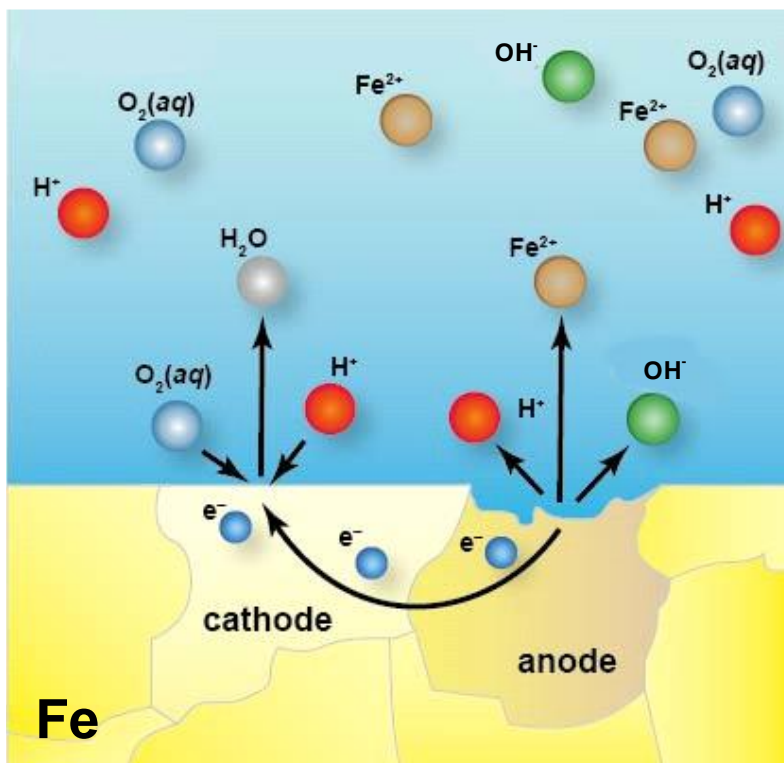
pH 3,5 – 6,3



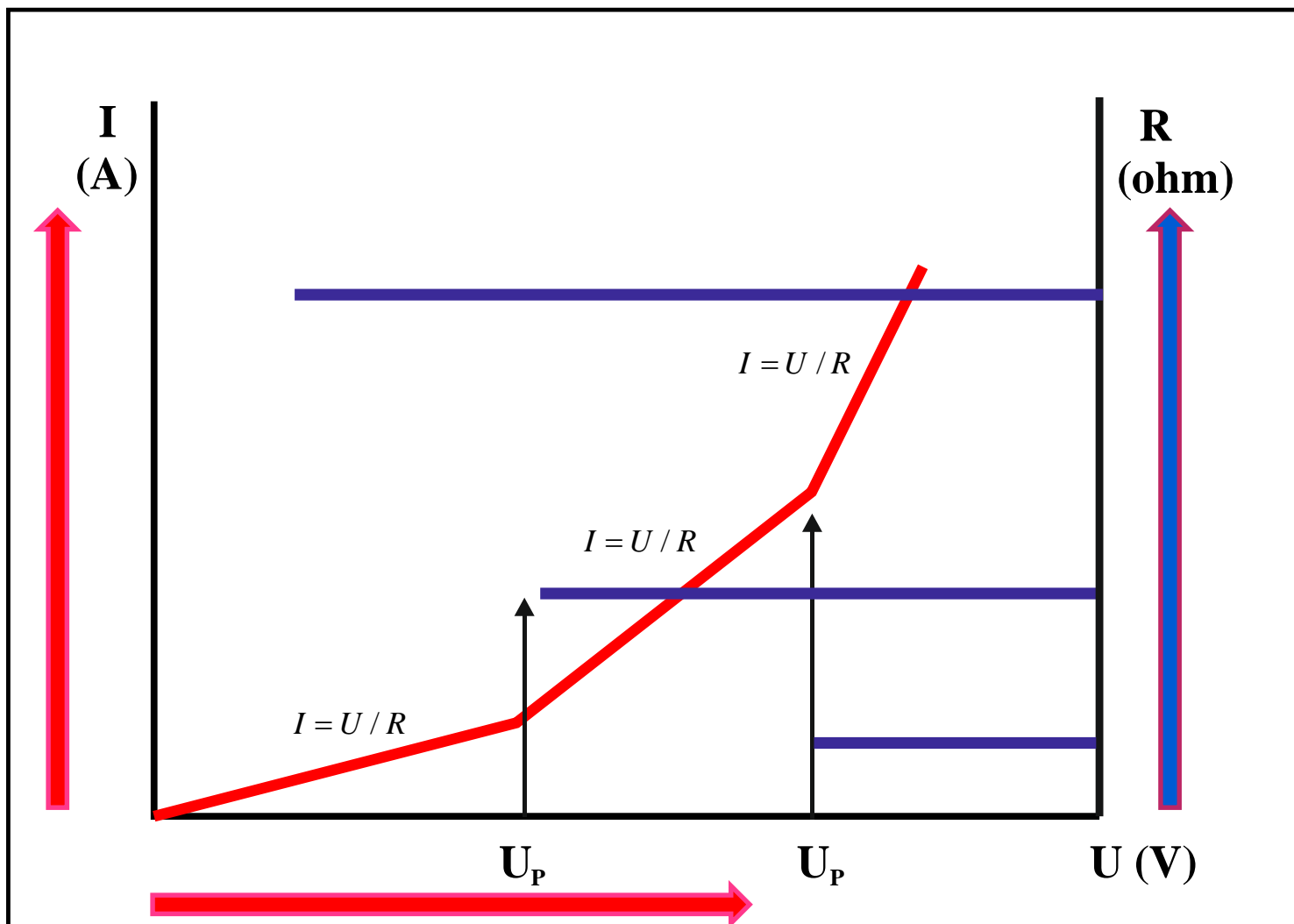
pH 6,3 – 9,5



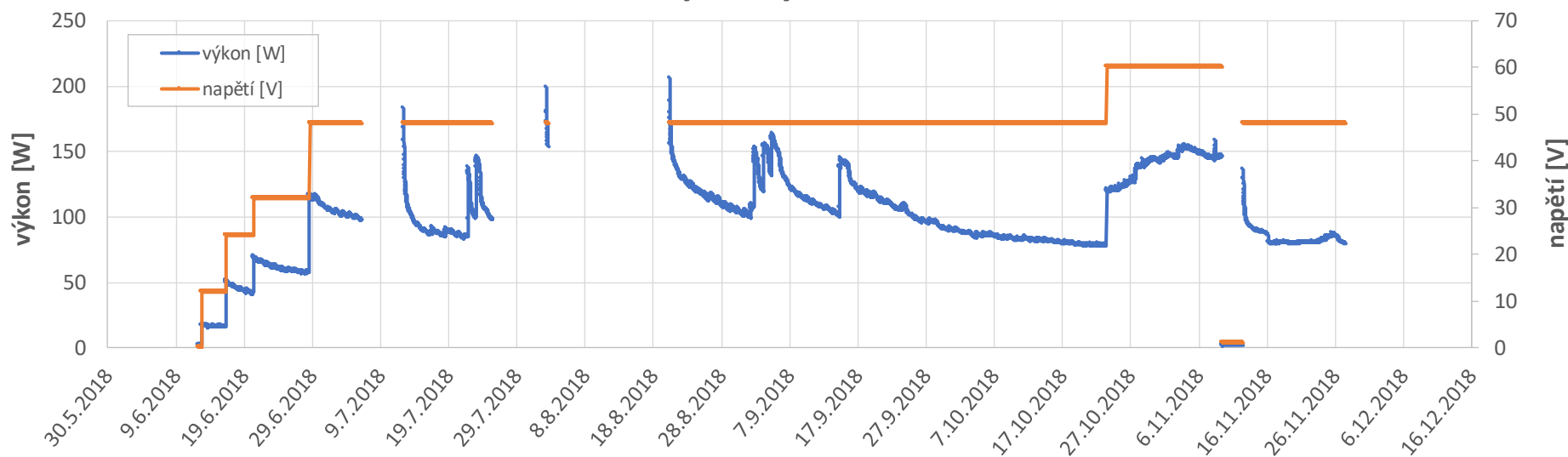
pH 9,5 – 14



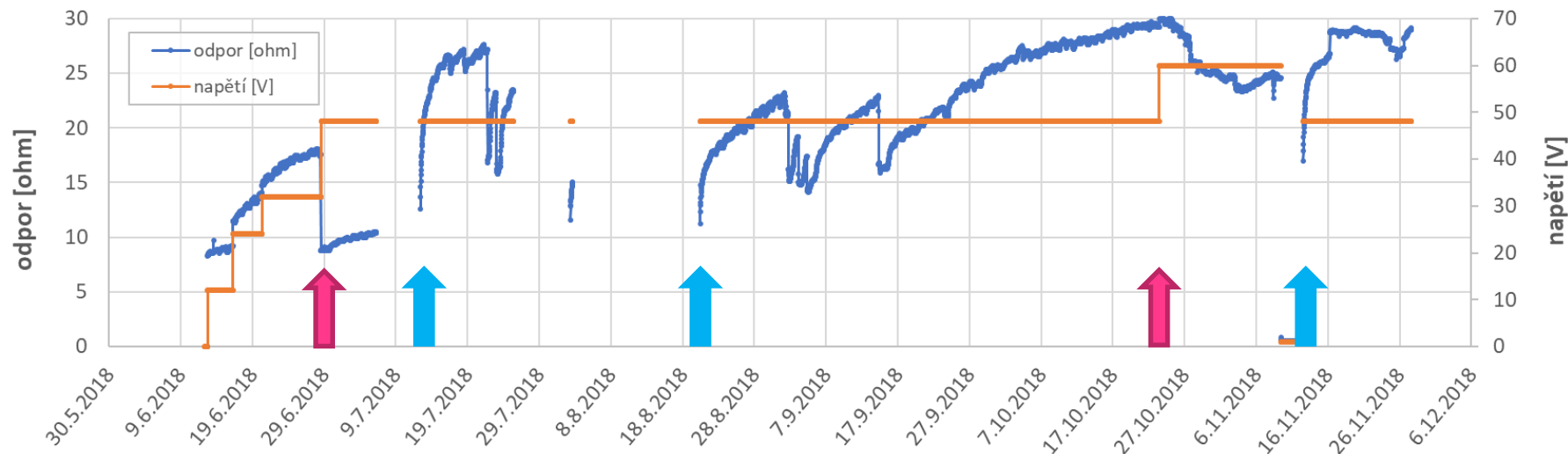
Závislost napětí na proudu – obecná platnost Ohmova zákona



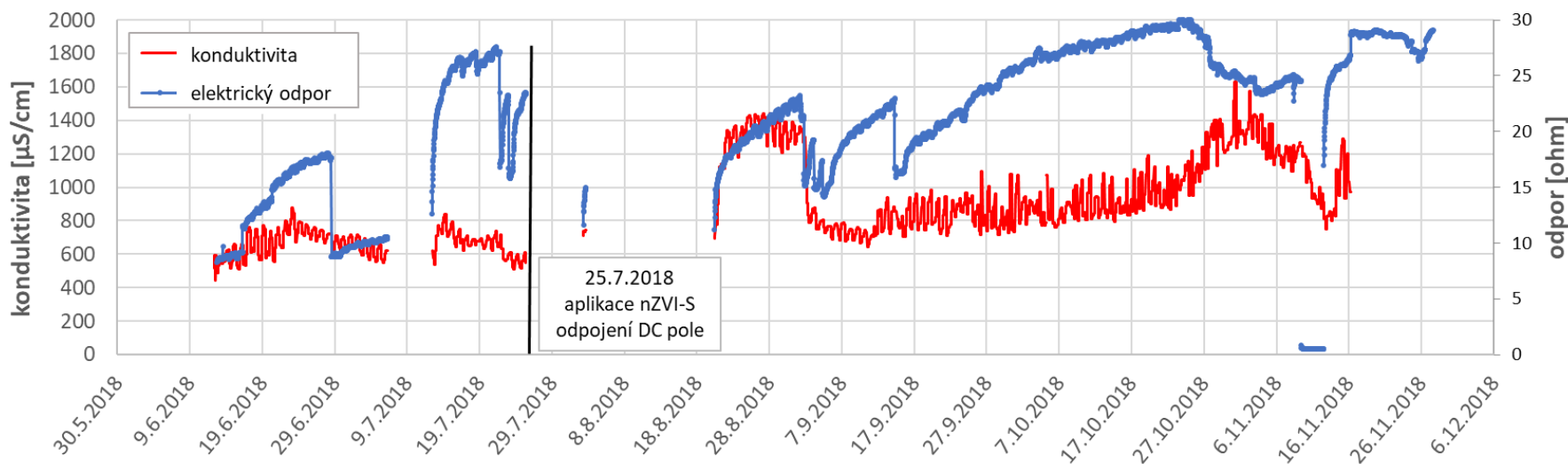
HN-2 výkon systému v čase



HN-2 napětí a elektrický odpor prostředí v čase

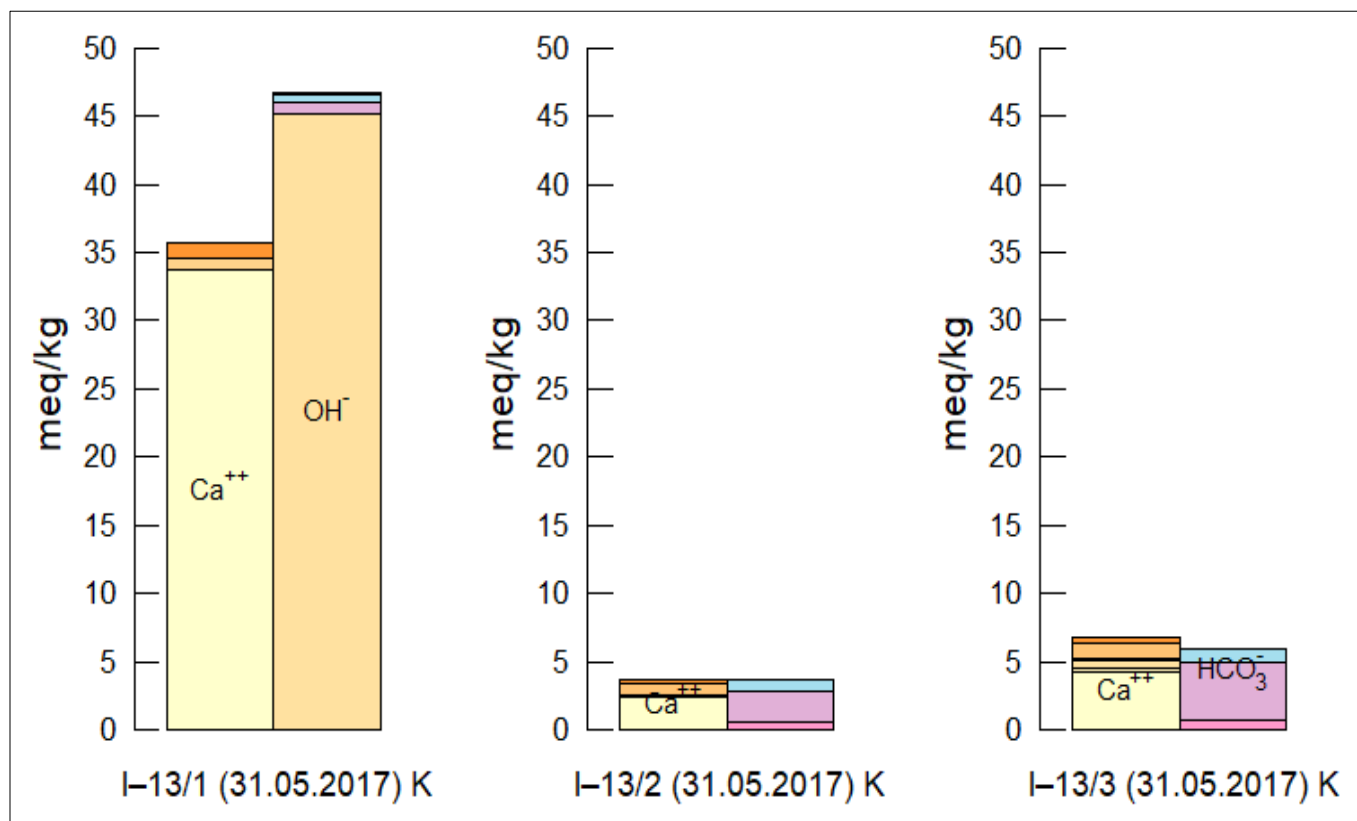


HN-2 konduktivita a elektrický odpor prostředí v čase



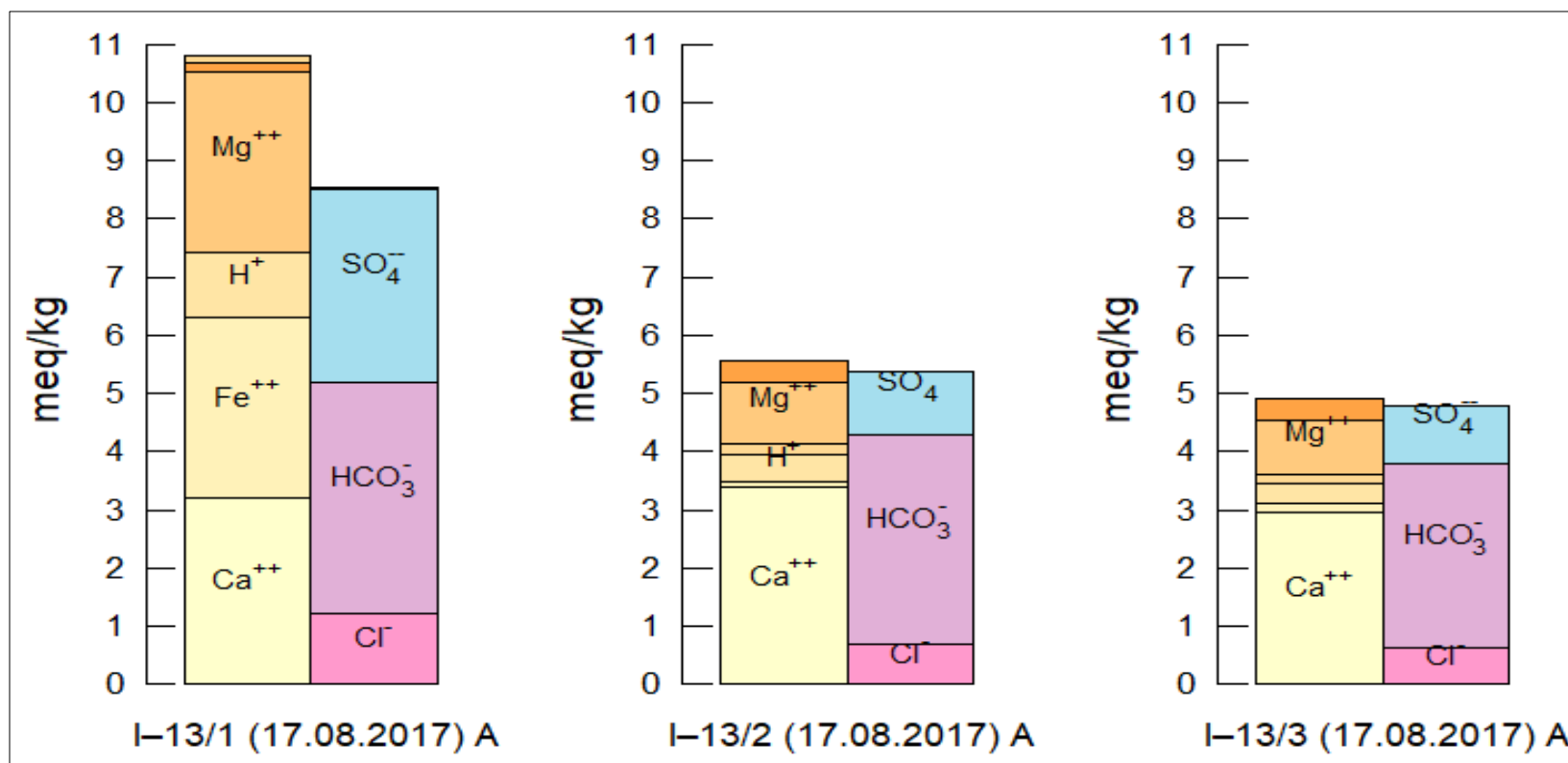
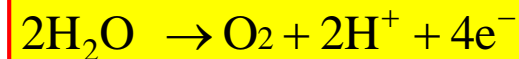
Katodový prostor

- prudký pokles Eh - hodnoty -400 až -800 meV
- katodový prostor je přesycen elektrony
- zvyšuje se pH (12-14), což způsobuje přechod z redukčního do oxidačního prostředí
- dochází k rozkladu vody, produkci vodíku a za jistých podmínek redukci Fe^{3+}



Anodový prostor

- mírný pokles Eh
- pH se mění minimálně
- anodový prostor je přesycen protony
- dochází k rozkladu vody, produkci kyslíku, oxidaci Fe a redukci prostředí



možnosti nasazení elektroremediace

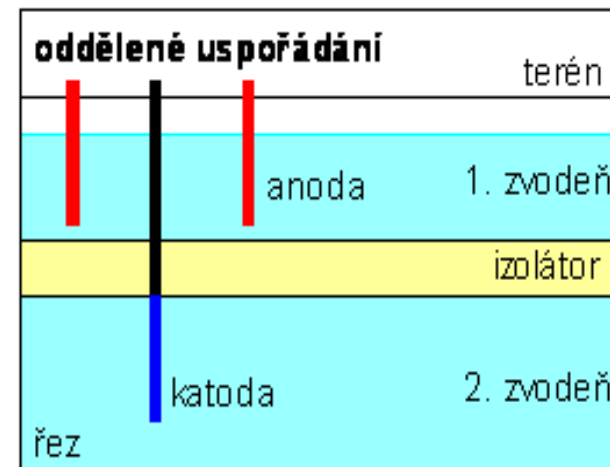
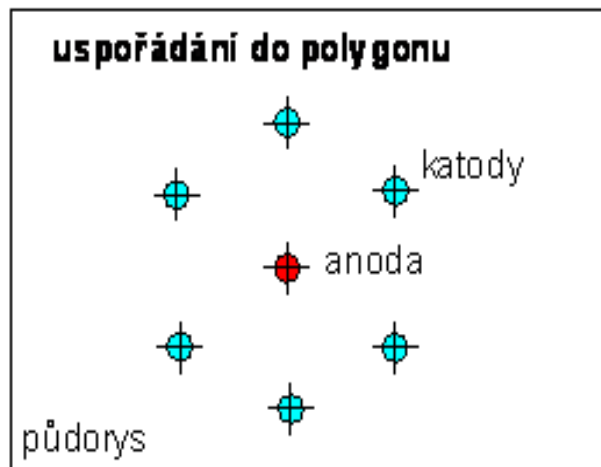
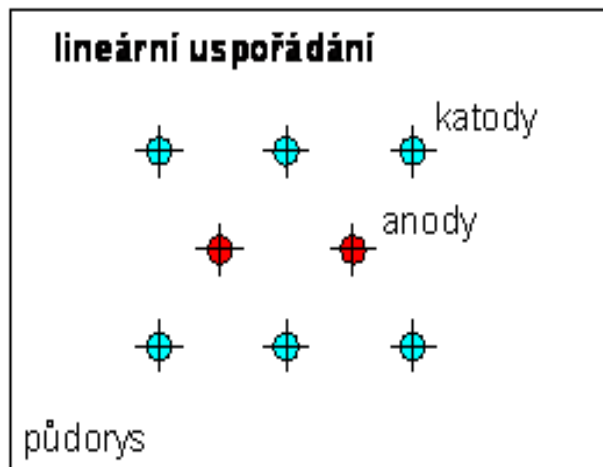
Elektrogeochemické procesy je možno nasadit v podstatě na dva základní typy kontaminantů.

- látky, u kterých lze chemickými ději změnit jejich vlastnosti (typicky redukce kovů a jejich vysrážení z podzemní vody)
- na látky, které lze v redukčních podmínkách rozložit nebo chemicky upravit (typický příkladem je redukční dehalogenace ClE, popřípadě dechlorace jiných ClU)

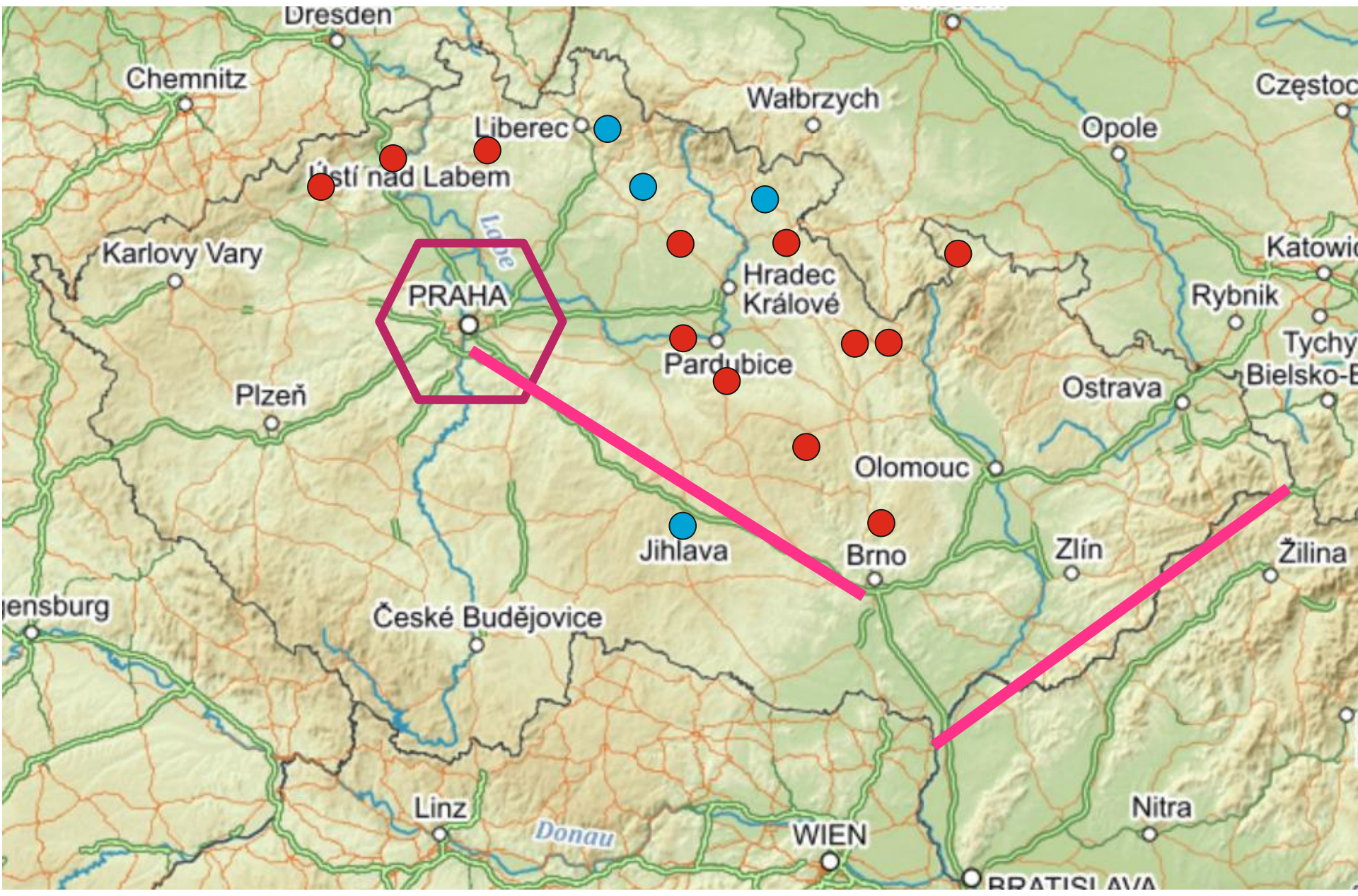
Stejnoseměrné elektrické pole lze využít i k dalším možným aplikacím, kde je možno využít transferu elektronů nebo změnu Eh a pH v horninovém prostředí (např. aktivace PDS)

Další možností praktického nasazení je použití elektrodového materiálu jako reagentu (efekt obětované anody).

- Využití některých kovů je vyloučeno z environmentálního důvodu (Hg, Pb, Cd atd.) jiných pak z ekonomických důvodů (Pt). Při použití nerezů je nutno zvážit uvolňování legovacích přísad (Cr, Mo atd.).
- V podstatě jediným bezproblémovým materiálem je ocel. Je však nutno počítat s anodickou korozí, která sice způsobuje degradaci anody, ale také dotuje prostředí Fe^{2+} .







Elektrogeochemické procesy se jeví jako perspektivní metoda sanace, kterou lze:

- nasadit i na lokalitách se složitými geologickými podmínkami, kde hydraulický zásah je neefektivní nebo nespolehlivý
- urychlit dobu nutnou pro průběh reduktivní dechlorace
- významně snížit dávku nZVI a to až na 1/3 běžně používaných dávek
- prodloužit dobu aktivního působení nZVI v kolektoru na několiknásobek
- provozně významné je urychlení transportu částic v elektrickém poli a zajištění homogenní distribuce nZVI v požadovaném prostoru potlačením agregace částic
- vhodným uspořádáním elektrod lze urychlit migraci nebo naopak stabilizovat částice v předem zvoleném místě.
- Jedná se však o poměrně sofistikovaný systém, kde úspěšná realizace předpokládá dokonalé zvládnutí managementu sanace a jeho optimalizaci na konkrétní podmínky lokality, které se navíc dynamicky mění při zapojení elektrického pole i aplikaci pomocných reagentů.

Požadavky na optimálně provedenou sanaci CIE

Dostatečně dimenzovaný průzkum

- **Identifikace veškerých ohnisek kontaminace**
- Podrobná znalost geologických poměrů včetně kolektorů v podloží kvartéru
- Podrobná znalost hydrogeologie a migrace kontaminantu

Sanace nesaturované zóny

- **Co nejúplnější odstranění ohnisek v nesaturované zóně**
- Využití výkopů pro instalaci drenážních prvků

Sanace saturované zóny

- **Omezení čerpání podzemních vod na minimum**
- Omezení laboratorních experimentů, pilotní pokusy
- **Zajištění aktivního okraje ohnisek geochemickou bariérou**
- Využití kombinovaných metod In situ sanace
- Podrobný monitoring, **účinnost hodnotit dle produktů rozkladu v mol/l**
- Možnost optimalizace technologie v průběhu sanace

Děkuji za pozornost

**Tato práce byla realizována za podpory Technologické agentury ČR
v rámci výzkumného projektu TH03030374
„Pokročilé real-time řízení sanačních technologií“**