



Geochemická charakteristika procesů a mineralogických změn miocenních pískovců Vídeňské pánve při simulovaném ukládání CO₂

Případové studie lokalit Brodské a Dolní Bojanovice (Vídeňská pánev)

ÚVOD

Zachytávání a ukládání CO₂ (CCS) spočívá v zachycení CO₂ vypouštěného velkými průmyslovými provozy a jeho následném uložení v tekuté formě do hornin hluboko pod zemským povrchem pomocí vrtů. Motivací je snaha o omezení růstu množství CO₂ v atmosféře a zmírnění souvisejících klimatických změn.

Tuzemský výzkum se soustředí na vytěžená ložiska uhlovodíků (projekty **REPP-CO2** a **CO2-SPICER**).

Nejžádanějším bezpečnostním mechanismem je **minerální zachycování** (mineral trapping).

Geologická charakteristika lokalit

Lokalita **BRODSKÉ**

Vrt **Br-52**

Hloubka ~ **1 150 m**

Termodynamické
podmínky:

teplota **43 °C**

tlak **116 bar**

Lokalita **DOLNÍ BOJANOVICE**

Vrt **P-106**

Hloubka ~ **1 660 m**

Termodynamické
podmínky:

teplota **53 °C**

tlak **160 bar**

METODIKA: Lokalita Brodské



Syntetická solanka

Jako výchozí roztok byla zvolena syntetická solanka s chemickým složením odpovídajícím původní formační vodě rezervoáru.

Chemická analýza solanky byla provedena pouze před začátkem experimentu.



Laboratorní experiment

Testování trvalo 60 dnů při teplotě **43 °C** a tlaku **116 bar** (nadkritický stav CO₂) v tlakových autoklávech ÚJV Řež.

Mineralogické složení vzorků bylo stanoveno **rentgenovou difrakcí** (XRD) před i po ukončení experimentu

(Zdroj dat: Mendoza et al., 2015).



Geochemické modelování

Simulace interakcí plyn-voda-hornina s využitím rovnovážného geochemického modelování v softwaru **PHREEQC**.

(Zdroj dat: Klajmon et al., 2016).

METODIKA: Lokalita Dolní Bojanovice



Demineralizovaná voda

Jako výchozí roztok byla zvolena demineralizovaná voda, která cíleně vytváří prostředí s vysokým reakčním potenciálem.

Chemická analýza roztoků byla provedena před i po ukončení experimentu.



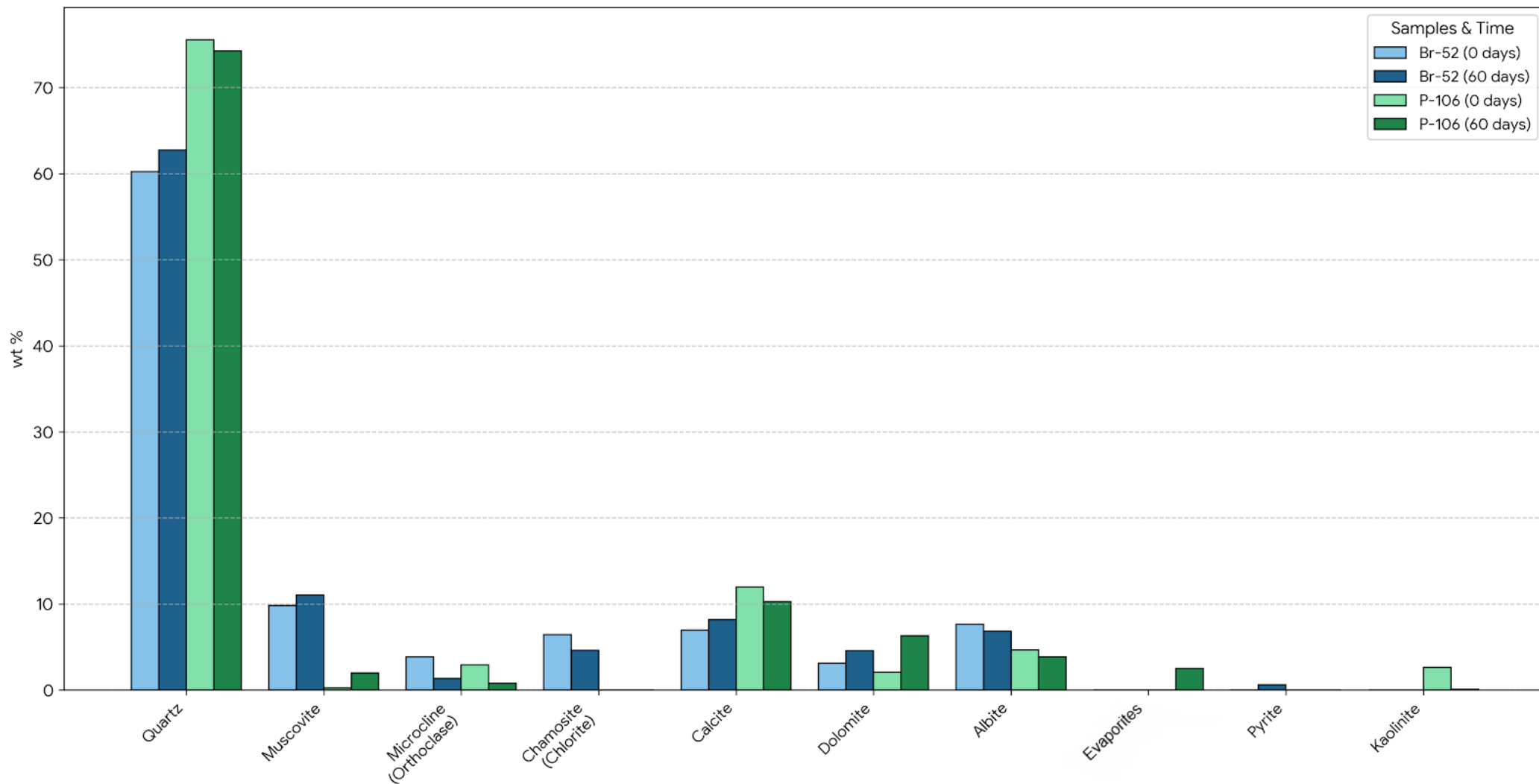
Laboratorní experimenty

Testování trvalo 14, 60, 120 a 180 dnů při teplotě **53 °C** a tlaku **160 bar** (nadkritický stav CO₂) v reakční komoře Katedry geologického inženýrství VŠB TU v Ostravě.

Mineralogické složení vzorků bylo stanoveno **rentgenovou difrakcí** (XRD) před i po ukončení experimentu.

VÝSLEDKY: Laboratorní experimenty

Mineralogické změny (interval 60 dnů)



VÝSLEDKY: Laboratorní experimenty

Mineralogické změny (interval 60 dnů)



Karbonáty

U vzorku P-106 došlo k rozpouštění kalcitového tmelu a následnému **vysrážení dolomitu.**



Alumosilikáty

U obou vzorků bylo zaznamenáno **rozpouštění draselných živců a plagioklasů** s následnou tvorbou sekundárního muskovitu.



Fylosilikáty a další

Rozpouštění chloritu (Br-52) a kaolinitu (P-106). Detekováno formování pyritu (Br-52) a krystalizace evaporitů (P-106).

VÝSLEDKY: Porovnání experimentů s geochemickým modelováním

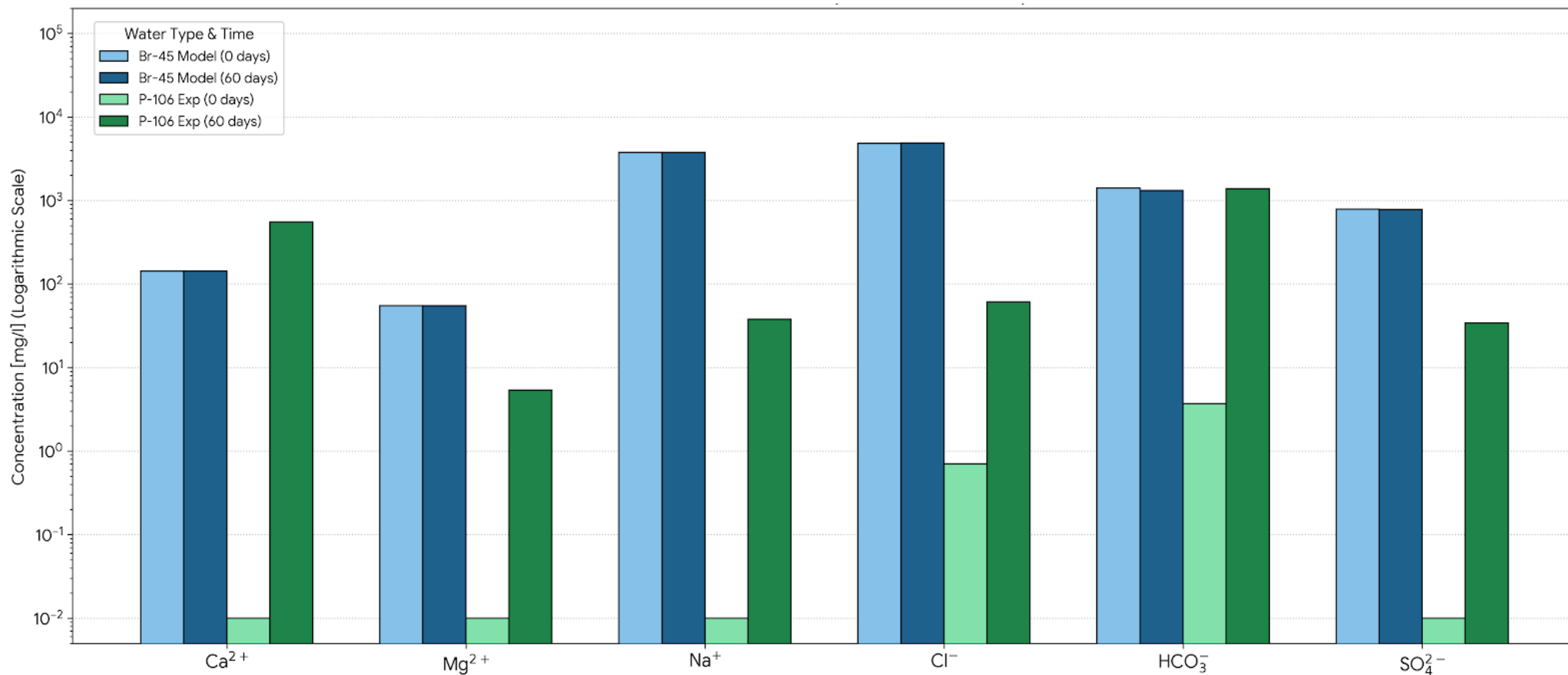
Mineralogické změny (interval 60 dnů)

Minerál	Br-52		P-106
	60 dnů	60 dnů	60 dnů
	Model	Experiment	Experiment
Křemen	+	+	–
Muskovit	+	+	+
Draselné živce a plagioklasy	–	–	–
Chamosit (Chlorit)	–	–	
Kalcit	–	+	–
Dolomit	–	+	+
Evaporitové fáze	–	nezjištěno	+
Ankerit	+	nezjištěno	nezjištěno
Dawsonit	+	nezjištěno	nezjištěno
Kaolinit	+	nezjištěno	–
Pyrit	nezjištěno	+	nezjištěno

Vysvětlivky: symbol + značí srážení, – rozpouštění.

VÝSLEDKY: Porovnání experimentů s geochemickým modelováním

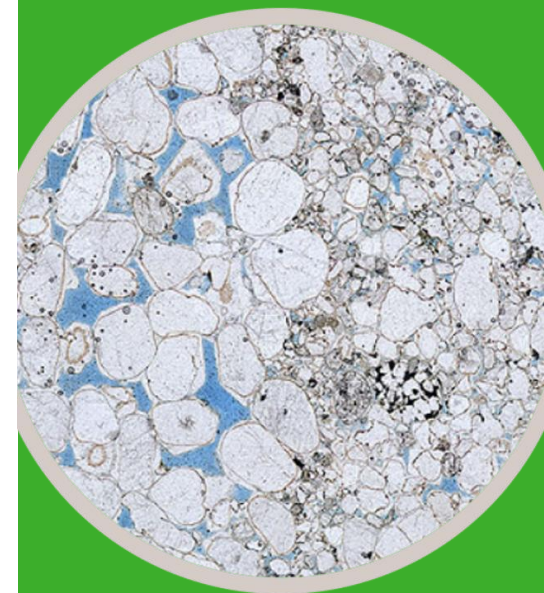
Vývoj chemismu roztoků



VÝSLEDKY: Porovnání experimentů s geochemickým modelováním

Vývoj chemismu roztoků

- **Lokalita Brodské (Solanka):**
Minimální změny v chemismu indikují vysokou geochemickou stabilitu systému blížící se rovnováze.
- **Lokalita D. Bojanovice (Demineralizovaná voda):**
Extrémní reakční potenciál vedl k **intenzivnímu vyluhování Ca^{2+} a Mg^{2+}** z karbonátového tmelu.
- Zvýšená koncentrace hydrogenuhličitánů koreluje s acidifikací roztoku vlivem vtlačeného CO_2 a spouští rekrystalizaci dolomitu.



ZÁVĚR

-  **Vliv chemismu roztoku:** Typ použitého roztoku zásadně řídí intenzitu reakcí. Zatímco solanka vykazuje geochemickou stabilitu, demineralizovaná voda iniciuje kvůli vysokému koncentračnímu gradientu intenzivní vyluhování iontů a následnou rekrystalizaci.
-  **Dynamika minerálních fází:** V obou systémech dochází k rozpouštění karbonátů a alumosilikátů. Následuje tvorba sekundárních fází (rekrystalizace dolomitu, srážení muskovitu) ovlivněná lokálními mikropodmínkami.
-  **Limity rovnovážného modelování:** Modely PHREEQC naráží v krátkodobých (60denních) experimentech na kinetické bariéry. Predikované stabilní fáze (dawsonit) se vlivem lokálních mikrokrytalizačních procesů v reálných vzorcích nestihnou zformovat.
-  **Hodnocení integrity úložišť:** Interakce CO₂ s horninou jsou vysoce komplexní a lokálně specifické. Pro přesnou predikci dlouhodobého chování a bezpečnosti úložiště je nezbytné kombinovat geochemické modelování s kinetickými daty a strukturním výzkumem.

Děkuji za pozornost

Prostor pro vaše
dotazy.

Martina Molková, Monika Ličbinská

Katedra geologického inženýrství, HGF, VŠB – TU Ostrava
martina.molkova@vsb.cz | monika.licbinska@vsb.cz

REFERENCE

1. Bujok, P., Klempa, M., Porzer, M. 2015: *Výsledky nových petrofyzikálních měření – dílčí část. Příprava výzkumného pilotního projektu geologického ukládání CO₂ v České republice (REPP-CO₂) č. NF-CZ08-OV-1-006-2015, výstup V1.17.* Ostrava. – MS VŠB-Technická univerzita. Ostrava.
2. Gaus, I., 2010: *Role and impact of CO₂-rock interactions during CO₂ storage in sedimentary rocks.* – Int. J. Greenh. Gas Control 4, 73–89.
3. Izeg, O., Demiral, B., Bertin, H., Akin, S. 2008: *CO₂ injection into saline carbonate aquifer formations I: Laboratory investigation.* – Transp. Porous Media 72, 1–24.
4. Klajmon, M., Havlová, V., Ličbinská, M., 2016: Simulační model s geochemickými efekty. *Příprava výzkumného pilotního projektu geologického ukládání CO₂ v České republice (REPP-CO₂) č. NF-CZ08-OV-1-006-2015, výstup V3.13 ÚJV Řež, CV Řež. – Řež.*
5. Ličbinská, M., Mertová, L., Rapantová, N., Stejskalová, K., 2023: *Geochemical Modeling of Changes in Storage Rock Environments at CO₂ Injection Sites.* – Minerals 13(2), 298. <https://doi.org/10.3390/min13020298>
6. Mendoza, A. M., Vrbová, V., Havlová, V., Mališ, J., Klempa, M., Bujok, P., 2015: *Výsledky stanovení geochemických parametrů v laboratoři. Příprava výzkumného pilotního projektu geologického ukládání CO₂ v České republice (REPP-CO₂) č. NF-CZ08-OV-1-006-2015, výstup V1.24* Ostrava. – MS VŠB-Technická univerzita. Ostrava.
7. Molkova, M., Ličbinská, M., Klempa, M., 2025: *Laboratory Experiments on CO₂–Water–Dolomite Interactions for a Pilot CO₂ Storage Scheme in a Carbonate Reservoir in the Czech Republic.* – Engineering Proceedings 116(1), 1. <https://doi.org/10.3390/engproc2025116001>
8. Molková, M., Ličbinská, M., Klempa, M., 2025: *Results of Laboratory Experiments Simulating CO₂ Injection into Miocene Sandstones of the Elbe Horizon in the Vienna Basin (Czech Republic).* – Geosciences Research Reports 58, 2, 118–123. (in Czech)
9. Nehyba, S., 2015: *Litofaciální analýza a sekvenční stratigrafie rezervoáru a jeho nadloží – zpráva a datový soubor uložený v geodatabázi, připravený k využití ve 3D modelu. Příprava výzkumného pilotního projektu geologického ukládání CO₂ v České republice (REPP-CO₂) č. NF-CZ08-OV-1-006-2015, výstup V1.9.* – MS Masarykova univerzita. Brno.
10. Saeedi, A., Rezaee, R., Evans, B., Clennell, B. 2011: *Multiphase flow behaviour during CO₂ geo-sequestration: Emphasis on the effect of cyclic CO₂-brine flooding.* – J. Pet. Sci. Eng. 79, 65–85.
11. Sayegh, S. G., Krause, F. F., Girard, M. 1990: *Rock/fluid interactions of carbonated brines in a sandstone reservoir Pembina Cardium, Alberta, Canada.* – SPE Form. Eval. 5, 399–405.