



GEOINŽENIRING d.o.o.
Dimičeva 14, Ljubljana

Tehnologija zajema in skladiščenja CO₂ (CCS)

4. Geološko skladiščenje CO₂

Marjeta Car
m.car@geo-inz.si

predstavitev v okviru predmeta Okoljska geologija

UL - NTF, oddelek za geologijo

21. december 2011



Geoinženiring

Vsebina predstavitve:

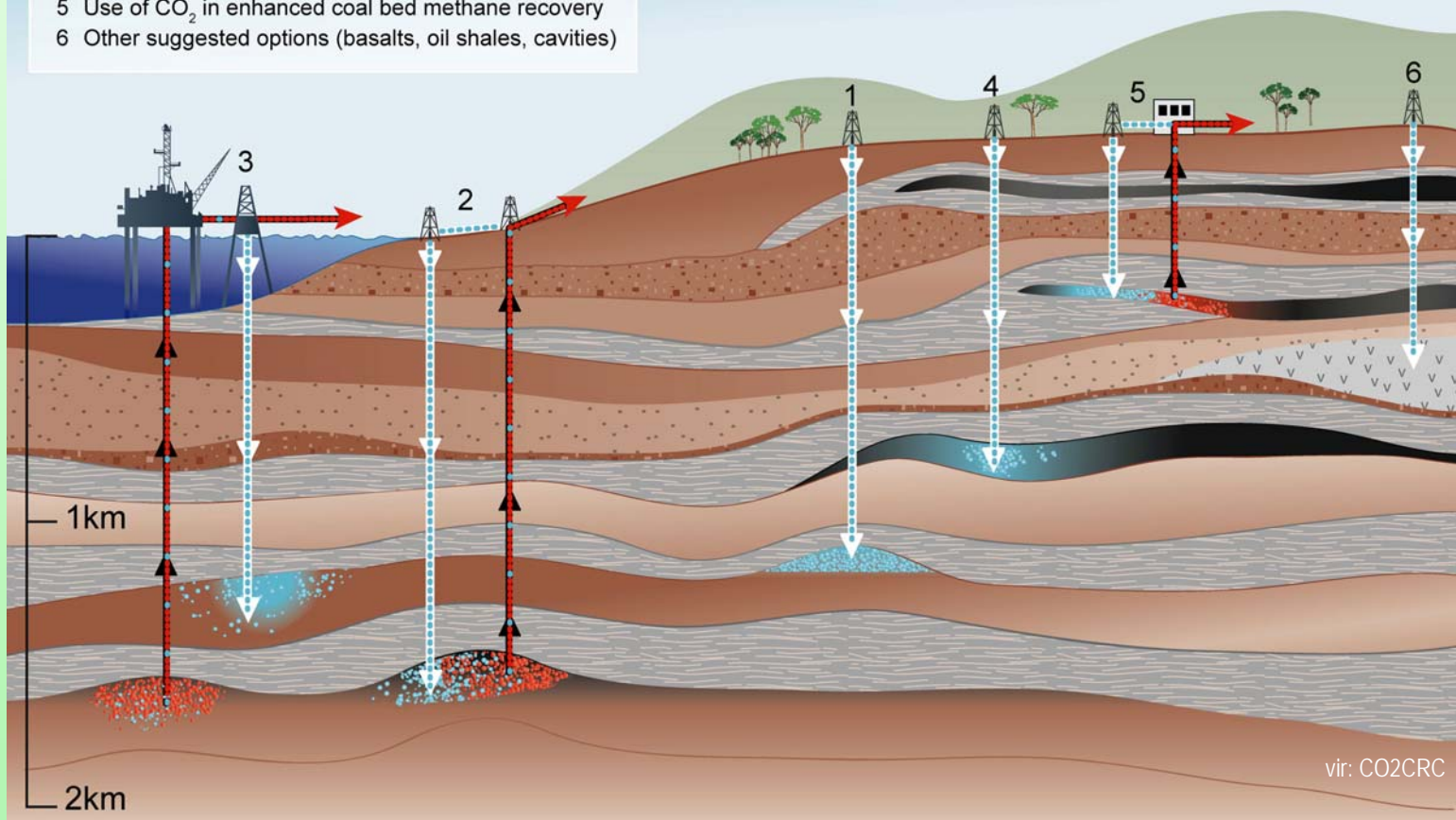
- Glavni načini geološkega skladiščenja CO₂
- Mehanizmi ujetja
- Ocenjevanje skladiščnih kapacitet
- Kriteriji za izbiro lokacije geološkega skladišča
- Primer Sleipner



Geološko skladiščenje CO₂

Geological Storage Options for CO₂

- 1 Depleted oil and gas reservoirs
- 2 Use of CO₂ in enhanced oil recovery
- 3 Deep unused saline water-saturated reservoir rocks
- 4 Deep unmineable coal seams
- 5 Use of CO₂ in enhanced coal bed methane recovery
- 6 Other suggested options (basalts, oil shales, cavities)



vir: CO2CRC

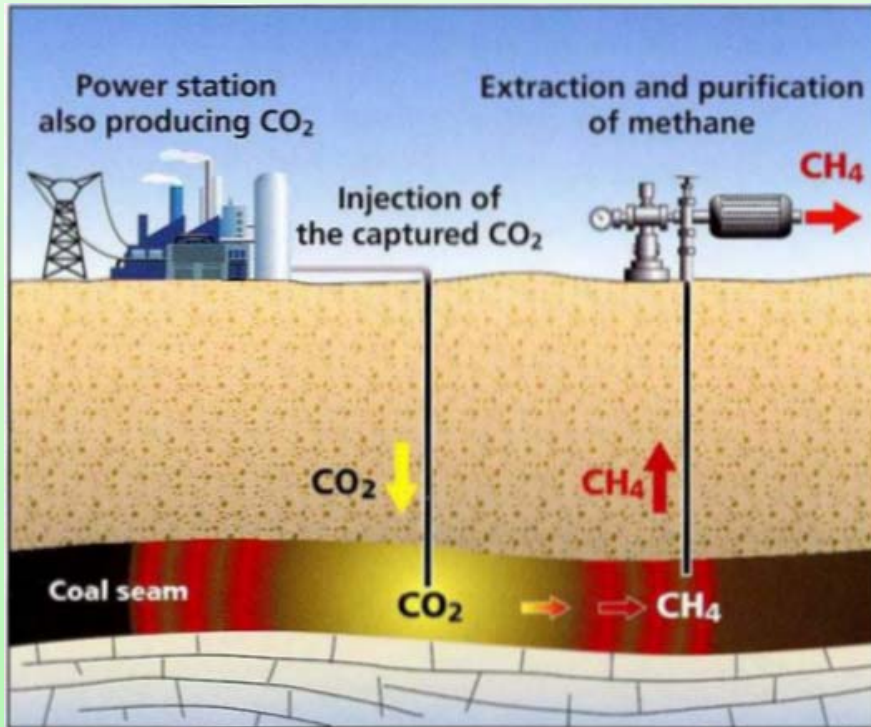


Geološko skladiščenje CO₂

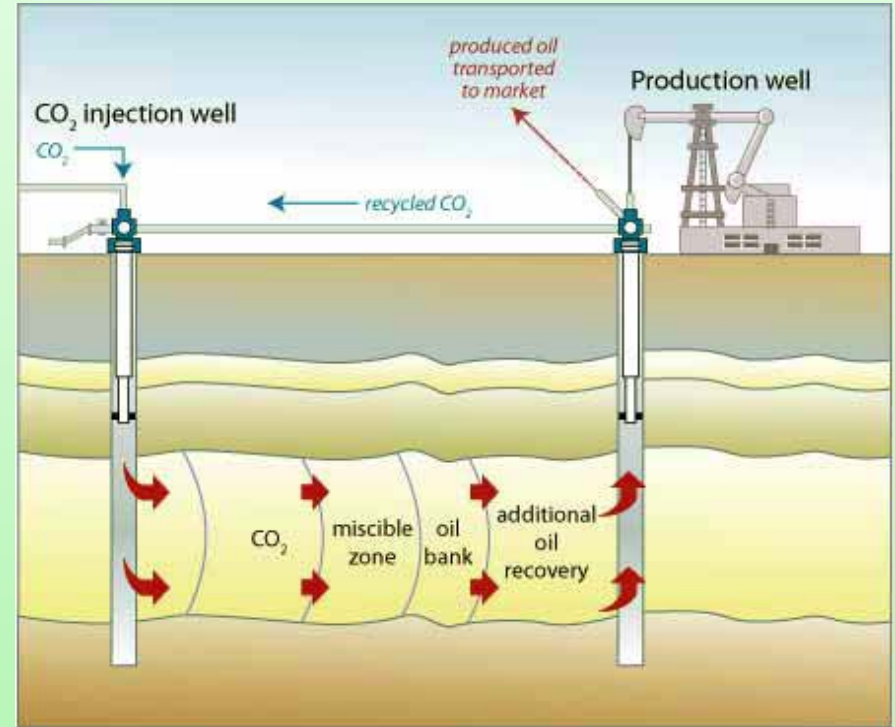
posebna primera:

enhanced coal bed methane ECBM

enhanced oil / gas recovery EOR / EGR



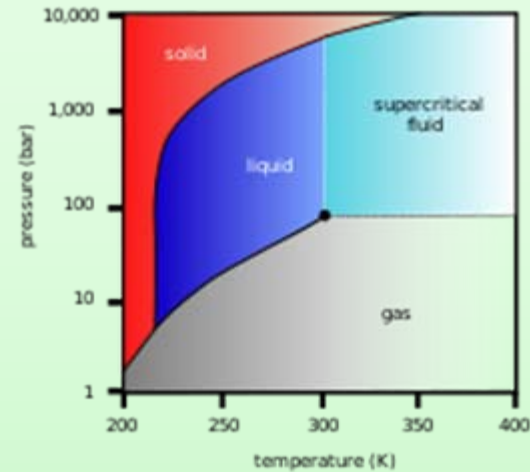
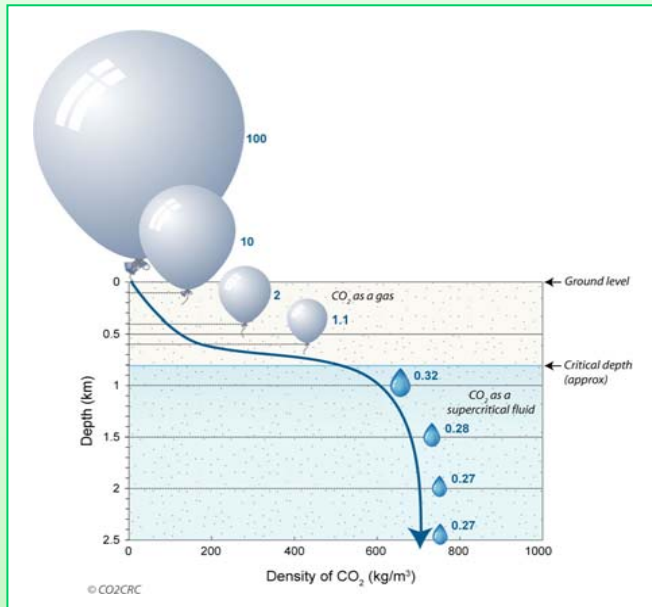
vir: BRGM



vir: IPCC

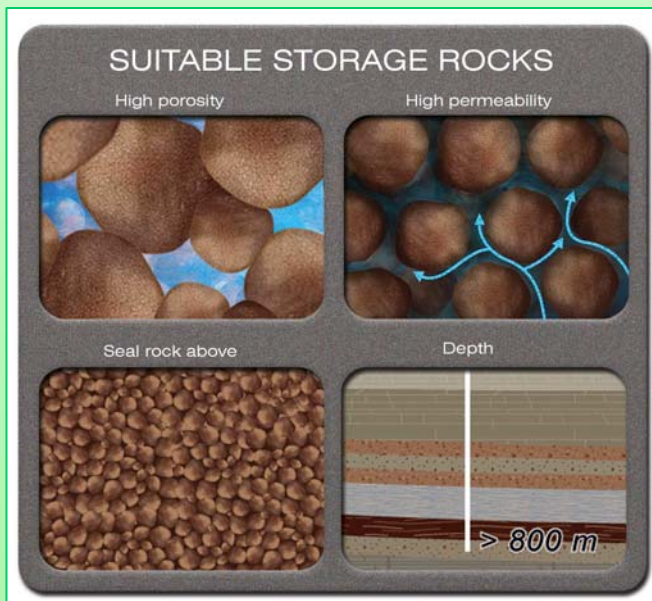


Geološko skladiščenje CO₂



OSNOVNI POGOJI ZA SKLADIŠČENJE CO₂

- **primerna skladiščna plast**
(*pritisk, temperatura, poroznost, prepustnost, obstoječi fluidi v plasti, kemizem, skladiščna kapaciteta*)
- **primerna tesnilna plast**
(*pritisk, prepustnost, geomehansko stanje, litološka zgradba*)
- **primerni pogoji za vtiskavanje**
(*pritisk, prepustnost, geomehansko stanje, litološka zgradba*)

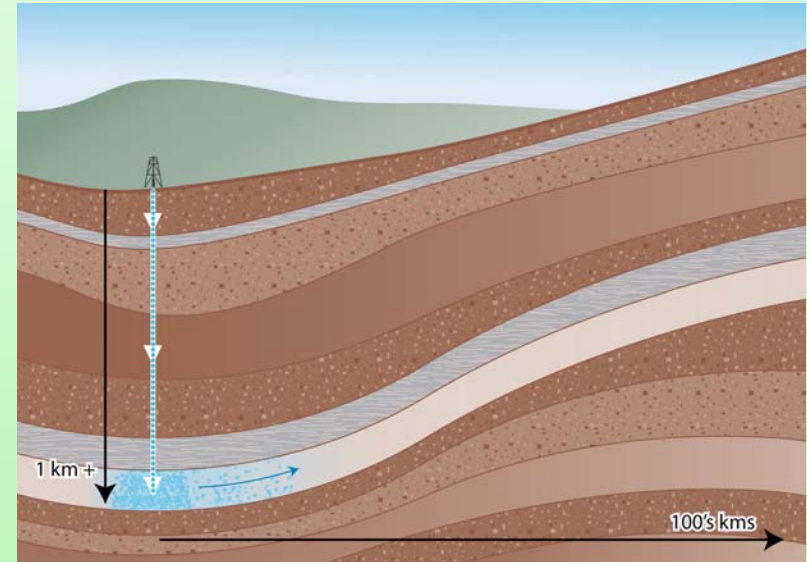
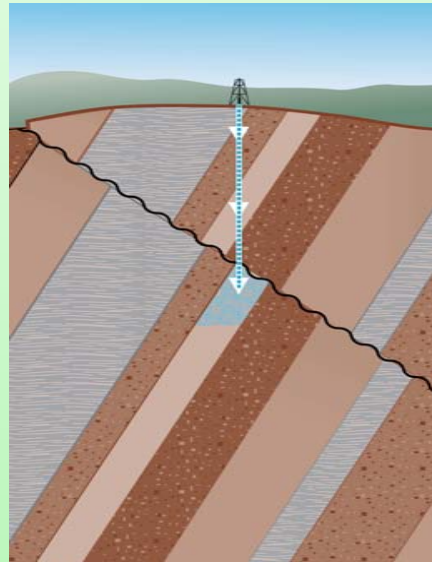
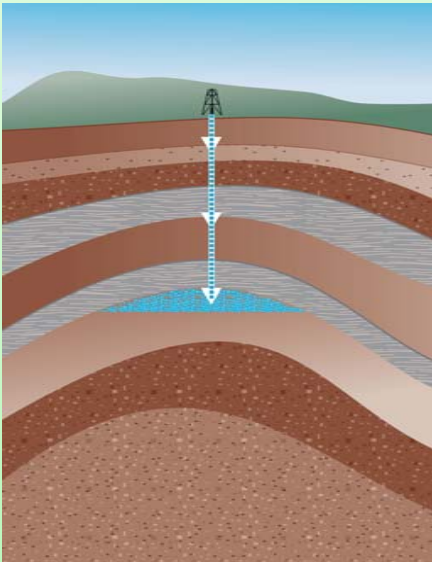
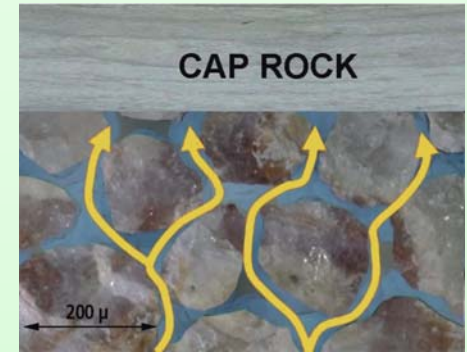


Geološko skladiščenje CO₂

MEHANIZMI SKLADIŠČENJA - 1

fizikalno ujetje:

- ujetje v strukturnih pasteh
- ujetje v stratigrafskih plasteh



vir: CO2CRC

- rezidualno ujetje

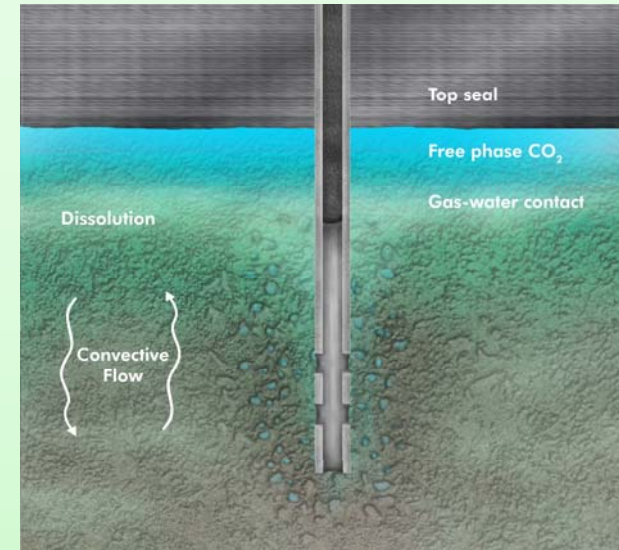


Geološko skladiščenje CO₂

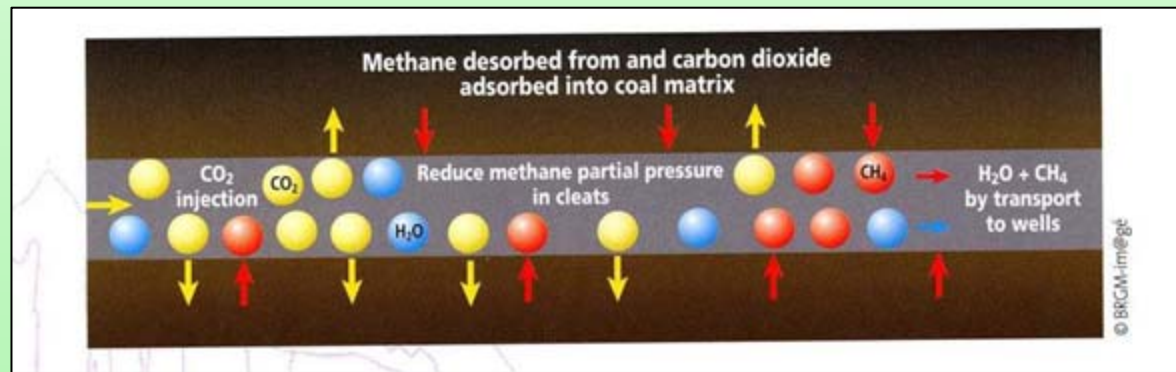
MEHANIZMI SKLADIŠČENJA - 2

kemično ujetje:

- ujetje z raztapljanjem
- ujetje z adsorbpcijo na premog ali drugo organsko snov



vir: CO2CRC



vir: BRGM

- ujetje z mineralizacijo



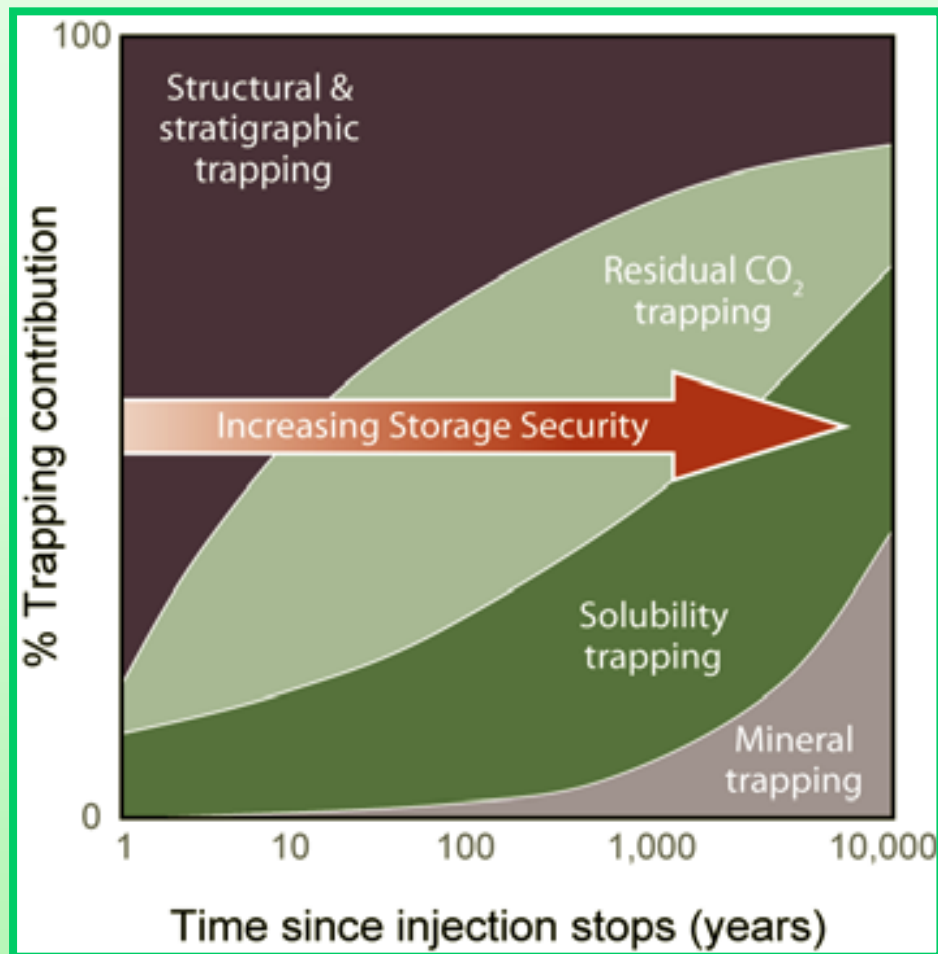
vir: CO2GeoNet



Geoinženiring

Geološko skladiščenje CO₂

**mehanizmi ujetja
potekajo z različno
hitrostjo**



vir: IPCC

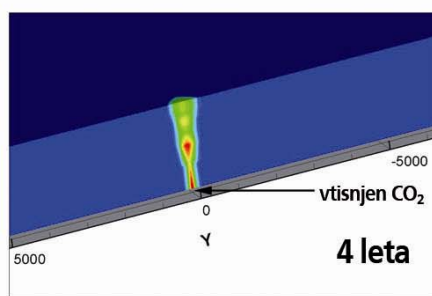
varnost skladiščenja se s časom povečuje



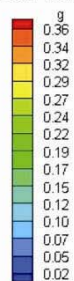
Geološko skladiščenje CO₂

Modeliranje migracije CO₂

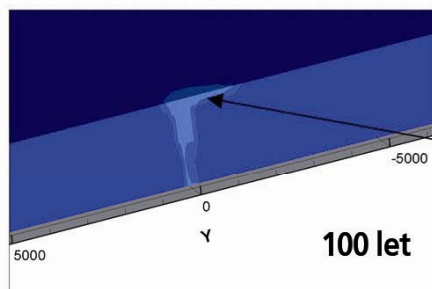
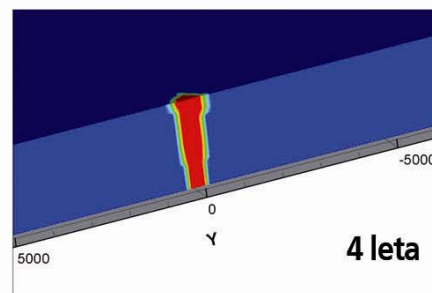
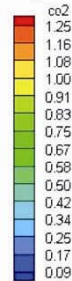
(primer 4-letnega vtiskavanja 150.000 t CO₂ v doggerski vodonosnik v Franciji)



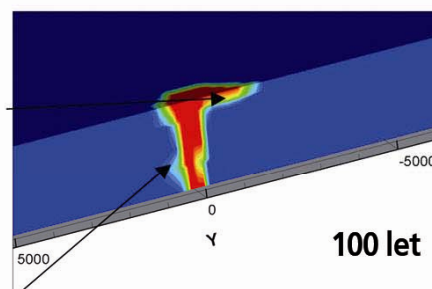
supercritični CO₂
v porah kamnine



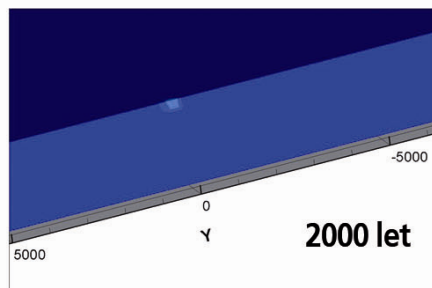
raztopljeni CO₂
(mol/kg vode)



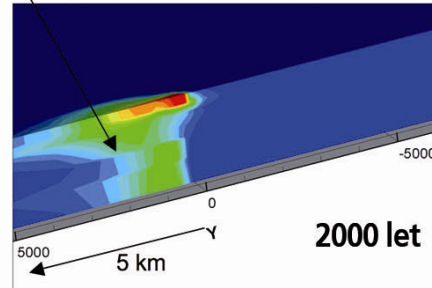
supercritični CO₂, ki je lažji od slanice,
potuje na vrh vodonosnika,
kjer se raztaplja



raztopljeni CO₂ zaradi težnosti
ponovno tone na dno
vodonosnika (slanica z raztopljenim
CO₂ je težja kot čista slanica)



po 2000 letih je CO₂ popolnoma
raztopljen in se pojavlja tudi
več kilometrov nizvodno
od točke vtiskanja



skladiščna kapaciteta M_{CO_2}

- za globoke vodonosnike

$$M_{CO_2} = f(\text{površina, debelina, poroznost, gostota } CO_2 \text{ ob rezervoarskih pogojih, } S_{\text{eff}})$$

S_{eff} storage efficiency factor - faktor, ki kaže na povezanost / odprtost poti za migracijo fluidov

zelo specifično !!

izkustvene vrednosti: 1 – 5 % za regionalne vodonosnike

3 – 40 % za stratigrafske pasti / strukture

obvezno upoštevati pri vseh izračunih razen pri teoretičnih kapacitetah

odprt vodonosnik

zaprt vodonosnik – dodatno upoštevati največji dopusten nadtlak v rezervoarju in stisljivost por oz. fluidov
(priporočene konzervativne vrednosti: nadtlak 10% hidrostatskega tlaka, stisljivost 10^{-4} bar^{-1})



Ocenjevanje skladiščnih kapacitet 2/ 2

- za naftna in plinska polja

$M_{CO_2} = f$ (gostota CO_2 ob rezervoarskih pogojih, R_f recovery factor, OOIP/OGIP original oil/gas in place, $B_{o/g}$ oil/gas formation factor, volumen injektirane/izčrpane vode oz. delež injektiranega plina, še drugi parametri)

nekateri faktorji so regionalno zelo različni (tip ogljikovodika, heterogenost, nabrekljivost, zasičenost, p , T ...) upoštevati mešalne pogoje, še posebej v primeru EOR / EGR



Best estimates v primeru nepoznavanja parametrov

- za premogove plasti

GIP (original gas in place)

PGIP (producible gas in place) za ECBM

$S = f$ (gostota CO_2 ob rezervoarskih pogojih, volumen premoga, gostota premoga, zrelost premoga, vsebnost CH_4 , R_f recovery factor, Completion factor količina primarnega plina v plasti oz. pridobljenega plina v primeru ECBM)

izkustvene vrednosti za faktorje

1 molekulo CH_4 lahko nadomestijo 2 – 4 molekule CO_2 (odvisno od zrelosti in vrste premoga)

upoštevati nabrekljivost premoga



Kriteriji za izbiro lokacije

Bistveni pogoji:

- primerna **globina** skladiščne plasti (CO_2 v superkritičnih pogojih; prevelika globina ni zaželjena;)
- primerna **tesnilna plast** (stratigrafska past / struktura, neprepustnost, kemična nereaktivnost, lateralna razprostranjenost, celovitost tesnilne plast, odsotnost prelomov oz. drugih možnih poti uhajanja, omejena tektonska aktivnost)
- zadostna **skladiščna kapaciteta** za izbrani vir (ali več virov) CO_2
- ustrezne **petrofizikalne lastnosti** skladiščne plasti (zagotoviti vtisljivost – prepustnost, poroznost)

Drugi pogoji:

- primerna lokacija glede na mesto zajema (oddaljenost, logistične možnosti, drugo)
- drugi geološki in rezervoarski pogoji (heterogenost, tip skladišča, tlaki, temperatura idr.)
- (ne)konfliktna raba prostora (podzemlja in površine)
- sprejemljivost objekta za lokalno skupnost
- načrtovanja skladišča (upside down, bottom up)

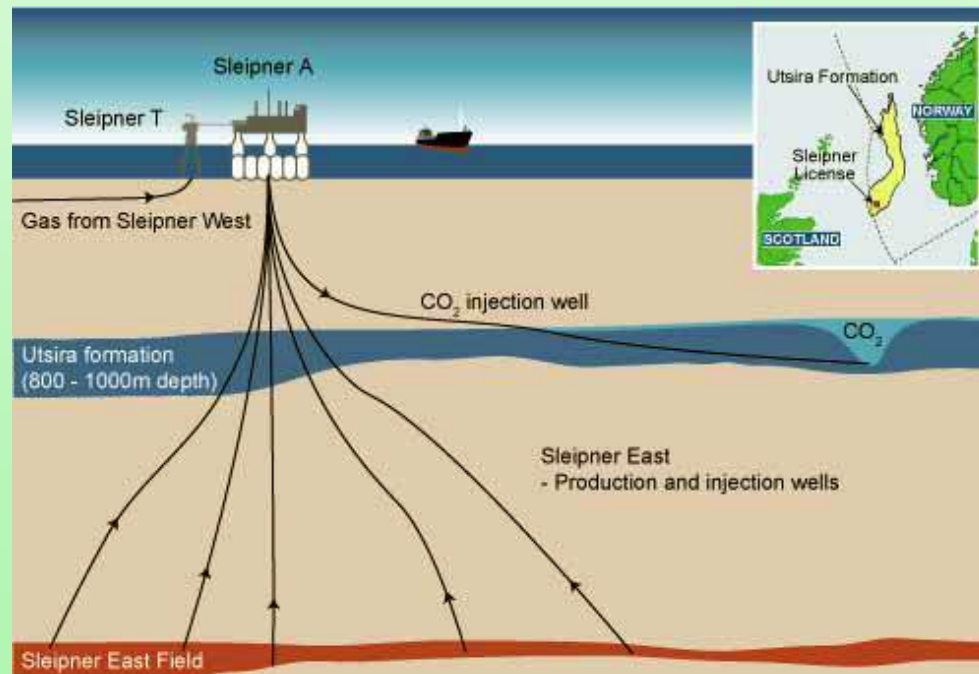
Rangiranje lokacij na podlagi gornjih parametrov



Primer geološkega skladiščenja CO₂

Sleipner, Norveška

- CO₂ vtiskujejo od 1996 (prvi komercialni projekt v svetu)
- skladiščenje CO₂ v slani vodonosnik vzporedno s pridobivanjem zemeljskega plina
- vodonosnik je nekonsolidiran peščenjak z vmesnimi tankimi horizontalnimi plastmi gline, zaradi česar se CO₂ širi lateralno
- tesnilna plast je obsežna in debela plast gline
- ~1 Mt CO₂ letno zajamejo iz načrpanega zemeljskega plina
- ocenjena kapaciteta skladišča v celotni življenjski dobi: 20 Mt CO₂



ZAKLJUČKI IN Poudarki

- obnašanje CO₂ v podzemlju je dobro preučeno
- različni načini geološkega skladiščenja (tudi v kombinaciji z drugimi tehnološkimi procesi)
- ocenjevanje skladiščnih kapacitet po obstoječih priporočilih (obvezno navajanje metodologije oz. za katere kapacitete gre)
- pomembna dobra karakterizacija skladiščnega kompleksa in njegovo opazovanje

vsak primer obravnavati specifično

realna ocena skladiščne kapacitete je bistvena za gospodarnost naložbe in uspešnost projekta kot celote

