

BỘ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ

BỘ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG

CHƯƠNG TRÌNH KH&CN CẤP NHÀ NƯỚC “KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ PHỤC VỤ CHƯƠNG TRÌNH MỤC TIÊU QUỐC GIA ỨNG PHÓ VỚI BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU”,
MÃ SỐ KHCN-BĐKH/11-15

BÁO CÁO TỔNG HỢP

KẾT QUẢ KHOA HỌC CÔNG NGHỆ ĐỀ TÀI

**NGHIÊN CỨU CƠ SỞ KHOA HỌC VÀ THỰC TIỄN, ĐỀ XUẤT GIẢI
PHÁP CÔNG NGHỆ CẮT GIỮ CO₂ TRONG CÁC HỆ TÀNG, CẤU
TRÚC ĐỊA CHẤT Ở MIỀN BẮC VIỆT NAM**

MÃ SỐ: BĐKH 34

Tập I: Báo cáo chính

Cơ quan chủ trì đề tài: Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản

Chủ nhiệm đề tài: TS. Hồ Hữu Hiếu

Hà Nội, 2015

BỘ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ

BỘ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG

CHƯƠNG TRÌNH KH&CN CẤP NHÀ NƯỚC “KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ PHỤC VỤ CHƯƠNG TRÌNH MỤC TIÊU QUỐC GIA ỨNG PHÓ VỚI BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU”,
MÃ SỐ KHCN-BĐKH/11-15

BÁO CÁO TỔNG HỢP

KẾT QUẢ KHOA HỌC CÔNG NGHỆ ĐỀ TÀI

**NGHIÊN CỨU CƠ SỞ KHOA HỌC VÀ THỰC TIỄN, ĐỀ XUẤT GIẢI
PHÁP CÔNG NGHỆ CẮT GIỮ CO₂ TRONG CÁC HỆ TÀNG, CẤU
TRÚC ĐỊA CHẤT Ở MIỀN BẮC VIỆT NAM**

MÃ SỐ: BĐKH 34

Tập I: Báo cáo chính

Chủ nhiệm đề tài:

Cơ quan chủ trì đề tài:

TS. Hồ Hữu Hiếu

Ban chủ nhiệm chương trình

Bộ Tài nguyên và Môi trường

Hà Nội, 2015

MỤC LỤC

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT.....	5
DANH MỤC CÁC BẢNG	7
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ.....	9
MỞ ĐẦU	15
Chương I. TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU CẮT GIỮ ĐỊA CHẤT CO₂.....	19
I.1. CƠ SỞ LÝ THUYẾT	19
I.1.1. Độ sâu cắt giữ CO ₂	19
I.1.2. Cơ chế cắt giữ CO ₂	20
I.1.3. Sự an toàn trong cắt giữ địa chất CO ₂ và các tác động môi trường, kinh tế-xã hội tiềm năng	24
I.1.4. Các thành tạo địa chất có khả năng cắt giữ CO ₂	25
I.1.5. Trình tự nghiên cứu cắt giữ địa chất CO ₂	29
I.2. TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU VÀ TRIỂN KHAI THỰC TẾ.....	33
I.2.1. Hiện trạng nghiên cứu trên thế giới.....	33
I.2.2. Hiện trạng thu hồi và cắt giữ CO ₂ ở Việt Nam	36
I.2.3. Sự cần thiết nghiên cứu tiềm năng cắt giữ CO ₂ ở Miền Bắc Việt Nam	38
I.3. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU.....	40
I.3.1. Mục tiêu.....	40
I.3.2. Nhiệm vụ	40
I.3.3. Phạm vi và đối tượng nghiên cứu.....	41
Chương II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU	45
II.1 CÁCH TIẾP CẬN.....	45
II.1.1. Tiếp cận hệ thống, tổng hợp và liên ngành	45
II.1.2. Tiếp cận kế thừa	46
II.1.3. Tiếp cận chuyên gia	46

II.1.4. Tiếp cận điển hình, trọng tâm, trọng điểm	47
II.2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU	47
II.2.1. Các phương pháp nghiên cứu thực địa	47
II.2.2. Các phương pháp nghiên cứu trong phòng	50
II.3. XÂY DỰNG TIÊU CHÍ ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG CẤT GIỮ ĐỊA CHẤT CO₂	54
II.3.1. Phương pháp và tiêu chuẩn đánh giá mức độ thích hợp cất giữ CO ₂ của một trũng trầm tích	54
II.3.2. Khoanh định và ước đoán khả năng cất giữ CO ₂ của các thành tạo địa chất	63
Chương III. ĐÁNH GIÁ TIỀM NĂNG CẤT GIỮ CO₂ Ở MIỀN BẮC VIỆT NAM.....	71
III.1. ĐẶC TRƯNG PHÁT THẢI CO₂	71
III.1.1. Tổng quan về phát thải CO ₂ ở Việt Nam	71
III.1.2. Ước đoán lượng phát thải CO ₂ có thể thu hồi và cất giữ ở miền Bắc Việt Nam.....	73
III.2. PHÂN BẠC MỨC ĐỘ THÍCH HỢP CẤT GIỮ ĐỊA CHẤT CO₂ CHO CÁC TRŨNG TRẦM TÍCH LẠNH THỔ MIỀN BẮC VIỆT NAM	79
III.2.1. Đặc điểm địa chất và kinh tế-xã hội các trũng trầm tích	79
III.2.2. Đánh giá và xếp hạng mức độ thích hợp cất giữ địa chất CO ₂	87
III.3. ĐÁNH GIÁ TIỀM NĂNG CẤT GIỮ CO₂ CHO CÁC TRŨNG TRẦM TÍCH TRIỂN VỌNG	91
<i>III.3.1. TRŨNG CHÁU THỔ SÔNG HỒNG</i>	<i>92</i>
III.3.1.1. Đặc điểm cấu trúc- địa chất	92
III.3.1.2. Đặc trưng tầng chứa và tầng chắn.....	96
III.3.1.3. Khoanh định và ước đoán khả năng cất giữ địa chất CO ₂	109
<i>III.3.2. TRŨNG TRẦM TÍCH AN CHÁU</i>	<i>127</i>
III.3.2.1. Đặc điểm cấu trúc- địa chất	128
III.3.2.2. Đặc trưng tầng chứa và chắn.....	130
III.3.2.3. Khoanh định và ước đoán khả năng cất giữ địa chất CO ₂	135

Chương IV. MÔ HÌNH MÔ PHÒNG GIẢI PHÁP CÔNG NGHỆ CẤT GIỮ CO₂ CHO MỎ KHÍ TIỀN HẢI C, THÁI BÌNH 141

IV.1. ĐẶC ĐIỂM ĐỊA CHẤT MỎ TIỀN HẢI C.....	141
IV.1.1. Cấu trúc địa chất.....	141
IV.1.2. Đặc điểm địa chất các vỉa chứa.....	144
IV.2. MÔ HÌNH MÔ PHÒNG CÁC ĐẶC TRƯNG VỈA CHỨA.....	146
IV.2.1. Độ sâu đáy, nóc của vỉa chứa và hệ thống đứt gãy.....	146
IV.2.2. Độ rỗng và độ thấm.....	148
IV.2.3. Độ bão hòa khí và nước của vỉa chứa.....	152
IV.2.4. Đặc trưng nhiệt độ vỉa mỏ Tiền Hải C.....	155
IV.2.5. Đặc điểm biến đổi chế độ thủy động lực.....	156
IV.3. MÔ PHÒNG BƠM ÉP CO₂.....	162
IV.3.1. Các phương án mô phỏng.....	162
IV.3.2. Kết quả động thái CO ₂ sau khi bơm vào tập T8.....	165
IV.4. HIỆU QUẢ KINH TẾ CHO VIỆC CẤT GIỮ CO₂.....	166
IV.4.1. Các giả thiết áp dụng trong tính toán.....	166
IV.4.2. Kết quả tính toán.....	167
IV.4.3. Kết luận.....	169

Chương V. CÁC GIẢI PHÁP CÔNG NGHỆ CẤT GIỮ CO₂ TRONG CÁC THÀNH TẠO ĐỊA CHẤT Ở MIỀN BẮC VIỆT NAM..... 171

V.1. GIẢI PHÁP CÔNG NGHỆ CẤT GIỮ CO₂ CHO CÁC BỂ CHỨA KHÍ.....	171
V.1.1. Các nghiên cứu thí nghiệm.....	172
V.1.2. Các nghiên cứu nguồn CO ₂	173
V.1.3. Các nghiên cứu mô phỏng bể khí.....	174
V.1.4. Mô hình hóa quá trình cất giữ CO ₂	174
V.2. GIẢI PHÁP CÔNG NGHỆ CẤT GIỮ CO₂ CHO CÁC VỈA THAN KHÔNG THỂ KHAI THÁC NẦM SÂU.....	176
V.2.1. Nghiên cứu đặc trưng khu vực.....	178

V.2.2. Nghiên cứu triển khai.....	178
V.3. GIẢI PHÁP CÔNG NGHỆ CẤT GIỮ CO₂ TRONG CÁC TẦNG CHỨA LỖ RỒNG NẦM SÂU.....	181
V.3.1. Nghiên cứu đặc trưng khu vực.....	182
V.3.2. Nghiên cứu triển khai.....	185
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	187
Kết luận.....	187
Kiến nghị.....	188
Lời cam đoan và cảm ơn.....	190
TÀI LIỆU THAM KHẢO	191
Tiếng Việt	191
Tiếng Anh	192

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

HC : Hydrocarbon

Capex (Capital expenditure): Chi phí vốn

CBM (Coal Based Methane): Khí methan từ than

CCN: Cụm công nghiệp

CCOP (Coordinating Committee for Geoscience Programmes in East and Southeast Asia): Ban điều hành các chương trình khoa học địa chất Đông và Đông Nam Á

CCS (Carbon Capture and Storage): Thu hồi và Cất giữ địa chất CO₂

CDM (Clean Development Mechanism): Cơ chế phát triển sạch

CER (Certified Emission Reduction): Giảm phát thải được chứng nhận

CO₂-ECBM (CO₂-Enhanced Coal-Based Methane): Cất giữ CO₂ kết hợp tăng hiệu suất thu hồi khí methan trong than

CSLF (Carbon Storage Leading Forum): Diễn đàn Lãnh đạo Cất giữ CO₂

CTSH: Châu thổ Sông Hồng

ĐB: Đông Bắc

ĐN: Đông Nam

ĐVLGK: Địa vật lý giếng khoan

EGR (Enhanced Gas Recovery): Cất giữ CO₂ kết hợp tăng hiệu suất thu hồi khí

EOR (Enhanced Oil Recovery): Cất giữ CO₂ kết hợp tăng hiệu suất thu hồi dầu

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): Ủy ban liên chính phủ về biến đổi khí hậu

IRR (Internal Rate Of Return): Tỷ lệ hoàn vốn nội bộ

KCN: Khu công nghiệp

mD: Milidacies

MPa: Mega pascan

NPV (Net present value): Giá trị hiện tại ròng

Opex (Operational expenditure): Chi phí hoạt động

scf (Standard cubic feet): bộ khối tại điều kiện tiêu chuẩn (1 scf \approx 28,32 lit = 0,02832 m³)

RGKN: Ranh giới khí nước

TB: Tây Bắc

THC: Tiền Hải C

THTKT: Tổ hợp thạch kiến tạo

TN: Tây Nam

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 2.1. Bộ tiêu chuẩn để đánh giá mức độ thích hợp cất giữ địa chất CO ₂ của các trũng trầm tích.....	56
Bảng 2.2. Điểm và trọng số thiết kế đối với các hạng và tiêu chuẩn để xếp hạng mức độ thích hợp cất giữ địa chất CO ₂ của trũng trầm tích...	62
Bảng 3.1. Các loại nguồn điểm phát thải CO ₂ có thể thu hồi	74
Bảng 3.2. Giá trị điểm các tiêu chí và điểm tổng mức độ thích hợp cất giữ CO ₂ của các trũng trầm tích miền Bắc Việt Nam.....	89
Bảng 3.3. Ước đoán khả năng cất giữ CO ₂ lý thuyết trong mỏ khí Tiền Hải C	111
Bảng 3.4. Kết quả tính toán thể tích khí methan có thể thu hồi và khả năng cất giữ lý thuyết của CO ₂ trong các vỉa than sâu (1.000 - 1.500m) của trũng Châu thổ Sông Hồng	119
Bảng 3.5. Kết quả tính toán khả năng cất giữ CO ₂ lý thuyết cho các tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu trũng Châu thổ Sông Hồng.....	127
Bảng 3.6. Kết quả tính toán khả năng cất giữ CO ₂ lý thuyết cho các tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu trũng An Châu.....	140
Bảng 4.1. Tính chất nước vỉa mỏ THC	152
Bảng 4.2. Nhiệt độ vỉa ban đầu đo tại một số vỉa chứa khí trong giếng khoan.....	155
Bảng 4.3. Áp suất ban đầu đo tại các vỉa khí mỏ Tiền Hải C.....	157
Bảng 4.4. Ranh giới khí nước của các vỉa chứa khí của mỏ khí Tiền Hải C..	158
Bảng 4.5. So sánh sai khác thể tích khí ban đầu theo báo cáo nghiên cứu mỏ Tiền Hải C và theo mô hình 3D.....	159
Bảng 4.6. Số liệu bơm ép CO ₂ theo 3 phương án cho toàn tập vỉa.....	163

Bảng 4.7. Sản lượng CO ₂ giảm thải hàng năm.....	167
Bảng 4.8. Hiệu quả kinh tế của dự án	167
Bảng 4.9. Điểm hòa vốn của nhà đầu tư	169

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ

Hình 1.1. Đồ thị các pha của CO ₂ phụ thuộc nhiệt độ và áp suất.....	19
Hình 1.2. Sự thay đổi tỷ trọng CO ₂ với độ sâu.	20
Hình 1.3. Sự an toàn của bể CO ₂ theo thời gian.	21
Hình 1.4. A. Bể cấu trúc; B. Bể địa tầng.....	22
Hình 1.5. Bể tàn dư	23
Hình 1.6. Bể hòa tan.....	24
Hình 1.7. Bể khoáng vật.....	24
Hình 1.8. Các khả năng khác nhau cho việc cất giữ địa chất CO ₂	26
Hình 1.9. Ba loại hệ thống tầng chứa lỗ rỗng cho cất giữ CO ₂	29
Hình 1.10. Tỷ lệ đánh giá và mức độ chi tiết của số liệu	30
Hình 1.11. “Tháp tài nguyên-trữ lượng kinh tế-kỹ thuật cho khả năng cất giữ CO ₂ trong thành tạo địa chất cho một vùng chủ quyền quốc gia hay vùng địa lý”.....	32
Hình 1.12. Vị trí các khu vực đang được triển khai hoặc lập kế hoạch cất giữ CO ₂ trên thế giới năm 2005	35
Hình 1.13: Sơ đồ các trũng trầm tích và địa tầng Mesozoi- Kainozoi ở miền Bắc Việt Nam.....	42
Hình 3.1. Sơ đồ phân bố các nhà máy phát thải CO ₂ ở miền Bắc Việt Nam..	74
Hình 3.2. Sơ đồ phân hạng mức độ thích hợp cất giữ CO ₂ cho các trũng trầm tích lãnh thổ miền Bắc Việt Nam:.....	91
Hình 3.3. Cột địa tầng tổng hợp trũng Châu thổ Sông Hồng.....	93
Hình 3.4. Phân vùng cấu trúc trũng Châu thổ Sông Hồng.....	94
Hình 3.5. Mặt cắt địa chấn phương TN-ĐB cắt qua các đơn vị cấu trúc chính của trũng Châu thổ Sông Hồng.....	94

Hình 3.6. Sự xen kẽ của các lớp cát kết, cát sạn kết (màu vàng) với các tầng sét kết, sét bột kết (màu xanh) tạo nên hệ thống chứa- chắn ở trũng CTSH.....	97
Hình 3.7. Thành phần cát kết Oligocen trũng Châu thổ Sông Hồng	99
Hình 3.8. Cát kết Oligocen hạt trung, lựa chọn và mài tròn trung bình.....	99
Hình 3.9. Quan hệ độ rỗng-thấm đá chứa Oligocen (Hệ tầng Đình Cao).....	100
Hình 3.10. Thành phần cát kết Miocen dưới trũng Châu thổ Sông Hồng	101
Hình 3.11. Quan hệ độ rỗng và độ thấm Miocen dưới (Hệ tầng Phong Châu)	101
Hình 3.12. Cát kết Miocen giữa hạt nhỏ đến trung, hạt vụn có độ lựa chọn tốt, mài tròn trung bình.....	103
Hình 3.13. Thành phần đá cát kết Miocen giữa- trên trũng Châu thổ Sông Hồng	103
Hình 3.14. Quan hệ rỗng- thấm Miocen giữa- hệ tầng Phù Cù	104
Hình 3.15. Quan hệ rỗng - thấm Miocen trên – hệ tầng Tiên Hưng	105
Hình 3.16. Quan hệ giữa độ rỗng hiệu dụng và chiều sâu từ 400-2.800m theo tài liệu giếng khoan trũng Châu thổ Sông Hồng.....	106
Hình 3.17. Thành phần khoáng vật sét trầm tích Oligocen và Miocen, trũng Châu thổ Sông Hồng	108
Hình 3.18. Sơ đồ vị trí địa lý khu vực mỏ khí Tiền Hải C.....	110
Hình 3.19. Đồ thị biến đổi độ chứa than (δ) của phụ hệ tầng Tiên Hưng dưới.....	112
Hình 3.20. Đồ thị biến đổi độ chứa than (δ) của phụ hệ tầng Tiên Hưng giữa.....	113
Hình 3.21. Đồ thị biến đổi độ chứa than (δ) của phụ hệ tầng Tiên Hưng trên.....	113

Hình 3.22. Bản đồ đẳng sâu đáy và diện tích các vỉa than triển vọng cho CO ₂ -ECBM của phụ hệ tầng Tiên Hưng dưới (N ₁ ³ th ₁).....	116
Hình 3.23. Bản đồ đẳng sâu đáy và diện tích các vỉa than triển vọng cho CO ₂ -ECBM của phụ hệ tầng Tiên Hưng giữa (N ₁ ³ th ₂).....	117
Hình 3.24. Bản đồ đẳng sâu đáy và diện tích các vỉa than triển vọng cho CO ₂ -ECBM của phụ hệ tầng Tiên Hưng trên (N ₁ ³ th ₁).....	118
Hình 3.25. Bức tranh sóng địa chấn thể hiện cấu trúc nếp lồi của các địa tầng địa chất ở đới trung tâm.	121
Hình 3.26. Bức tranh sóng thể hiện cấu trúc đá đơn nghiêng ở khu vực phụ trũng Đông Quan.....	121
Hình 3.27. Các diện tích tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu triển vọng cất giữ CO ₂ được khoan định dựa trên bản đồ đồng đẳng độ sâu đáy của phụ hệ tầng Tiên Hưng trên	123
Hình 3.28. Các diện tích tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu triển vọng cất giữ CO ₂ được khoan định dựa trên bản đồ đồng đẳng độ sâu đáy của phụ hệ tầng Tiên Hưng giữa	124
Hình 3.29. Các diện tích tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu triển vọng cất giữ CO ₂ được khoan định dựa trên bản đồ đồng đẳng độ sâu đáy của phụ hệ tầng Tiên Hưng dưới.....	125
Hình 3.30. Các diện tích tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu triển vọng cất giữ CO ₂ được khoan định dựa trên bản đồ đồng đẳng độ sâu đáy của hệ tầng Phù Cừ.....	126
Hình 3.31. Mặt cắt địa chất- địa vật lý ngang trũng và cột địa tầng tổng hợp thể hiện phân bố sâu của các địa tầng địa chất trũng An Châu	131
Hình 3.32. Hạt vụn thạch anh (q) dạng hạt nửa góc cạnh, góc cạnh, nửa tròn cạnh, xi măng tiếp xúc – lấp đầy trong đá cát kết thạch anh hệ tầng Nà Khuất.	132

Hình 3.33. Hạt vụn thạch anh (q) dạng hạt nửa góc cạnh, nửa tròn cạnh, góc cạnh, xi măng tiếp xúc – lấp đầy – ít nén ép trong cát kết ít khoáng hệ tầng Mẫu Sơn.....	134
Hình 3.34. Lỗ rỗng (lr) hiệu dụng dạng méo méo mó, là lỗ rỗng giữa các hạt trong cát kết ít khoáng hệ tầng Mẫu Sơn. Mẫu 834.....	134
Hình 3.35. Mặt cắt địa chấn- địa chất thể hiện cấu trúc các lớp đá gần nằm ngang của phụ hệ tầng Mẫu Sơn dưới ($T_{3c} ms_1$) và hệ tầng Nà Khuất (T_{2nk}) khu vực trung tâm trũng An Châu	137
Hình 3.36. Các sơ đồ đồng đẳng độ sâu nóc và đẳng dày và diện tích các tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu triển vọng cất giữ CO_2 của phụ hệ tầng Mẫu Sơn dưới ($T_{3c} ms_1$) ở trũng An Châu.....	138
Hình 3.37. Các sơ đồ đồng đẳng độ sâu nóc và đẳng dày và diện tích các tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu triển vọng cất giữ CO_2 của hệ tầng Nà Khuất ($T_2 nk$) ở trũng An Châu.....	139
Hình 4.1. Bản đồ độ sâu đáy: A.Tiên Hưng 1 và B. Tiên Hưng 2 ở khu vực mỏ THC	141
Hình 4.2. Mặt cắt địa chấn các tuyến A94-05 và A94-06 qua mỏ Tiền Hải C.....	142
Hình 4.3. Cột địa tầng tổng hợp mỏ Tiền Hải C.	145
Hình 4.4. Ranh giới mỏ và kích thước ô lưới (100x100m) của mô hình.....	147
Hình 4.5. Bản đồ nóc và đáy tầng T8, T7, T6, T5 và T4	148
Hình 4.6. Mô hình đứt gãy mỏ khí Tiền Hải C	148
Hình 4.7. Quan hệ độ rỗng - độ thấm Miocen trên (hệ tầng Tiên Hưng)	149
Hình 4.8. Phân bố độ rỗng trung bình vỉa chứa T4, T5, T6, T7 & T8.....	150
Hình 4.9. Mặt cắt độ rỗng thẳng đứng qua các vỉa T4 đến T8.....	150
Hình 4.10. Phân bố độ rỗng và độ thấm vỉa T4 (a), T5 (b), T6 (c), T7 (d) và T8 (e)	151
Hình 4.11. Độ bão hòa nước vỉa T4 (a), T5 (b), T6 (c), T7 (d) & T8 (e)	153

Hình 4.12. Độ bão hòa khí vỉa T4 (a), T5 (b), T6 (c), T7 (d) & T8 (e).....	154
Hình 4.13. Biến đổi nhiệt độ theo độ sâu ở mỏ Tiền Hải C.....	156
Hình 4.14. Biến đổi áp suất vỉa theo độ sâu mỏ Tiền Hải C.....	157
Hình 4.15. Ranh giới khí- nước vỉa T8, T7, T6, T5 và T4	158
Hình 4.16. Mô hình phân bố áp suất thời điểm ban đầu và trước khi bơm ép CO ₂ của các vỉa T4 (a), T5 (b), T6 (c), T7 (d) và T8 (e).....	161
Hình 4.17. Kết quả bơm ép CO ₂ cho toàn tập vỉa.....	162
Hình 4.18. Độ bão hòa CO ₂ sau 1 năm, 2 năm và 3 năm bơm ép	165
Hình 4.19. Áp suất vỉa sau 1 năm và 3 năm bơm ép.....	165
Hình 4.20. Phân tích độ nhạy đánh giá các yếu tố Capex, Opex và giá bán CER.....	168
Hình 5.1. Sơ đồ khối thể hiện các nghiên cứu tiếp theo trong quá trình thiết kế cất giữ CO ₂	172
Hình 5.2. Mô phỏng quá trình lan truyền của CO ₂ trong vỉa chứa theo thời gian.....	175
Hình 5.3. Mô phỏng phân bố của CO ₂ trong vỉa chứa.....	176
Hình 5.4. Sơ đồ mô phỏng công nghệ cất giữ CO ₂ kết hợp thu hồi khí methan trong than (CO ₂ -ECBM)	177
Hình 5.5. Sơ đồ mô phỏng quy trình công nghệ cất giữ địa chất CO ₂ trong tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu	182

MỞ ĐẦU

Biến đổi khí hậu và nước biển dâng đã và đang trở thành một trong những vấn đề thời sự nhất trong thời gian gần đây, được thể hiện một cách đầy đủ nhất trong:

- *Báo cáo đánh giá lần thứ 4* của Ủy ban liên chính phủ về biến đổi khí hậu, công bố năm 2007 (gọi tắt là báo cáo IPCC-AR4) [35]; và
- *Báo cáo về tác động của mực nước biển dâng đến các nước đang phát triển* của Ngân hàng Thế giới công bố năm 2007 (gọi tắt là báo cáo WPS4136) [42].

Tư tưởng chủ đạo của các báo cáo này là:

- Biến đổi khí hậu đương đại bắt đầu từ cuộc cách mạng công nghiệp đầu thế kỷ 20, với các biểu hiện chính là sự nóng lên toàn cầu và mực nước biển dâng với tốc độ ngày càng cao; thiên tai ngày càng gia tăng cả về cường độ lẫn tần suất v.v....;

- Biến đổi khí hậu đương đại chủ yếu là do các hoạt động kinh tế - xã hội của con người gây phát thải quá mức vào khí quyển các loại khí gây hiệu ứng nhà kính. Báo cáo IPCC-AR4 ghi nhận rằng “các thay đổi nồng độ khí nhà kính và aerosol, lớp phủ thực vật và bức xạ Mặt Trời làm thay đổi cân bằng năng lượng của hệ khí hậu” và “gia tăng nồng độ khí nhà kính nhân sinh rất có thể đã là nguyên nhân chính yếu làm gia tăng nhiệt độ trung bình toàn cầu kể từ giữa thế kỷ 20”;

- Vì thế, nhân loại cần chung tay thích ứng và giảm nhẹ hậu quả của biến đổi khí hậu, chủ yếu dưới hình thức giảm phát thải khí nhà kính;

Vậy khí nhà kính là gì? Khí nhà kính (Greenhouse gases) là các loại khí trong quyển khí có thể hấp thụ và phát xạ trong dải phổ hồng ngoại, từ đó gây

nên hiệu ứng nhà kính. Khí nhà kính có ảnh hưởng lớn đến nhiệt độ Trái Đất. Các hoạt động nhân sinh kể từ thời kỳ công nghiệp năm 1750 góp phần làm gia tăng lượng khí nhà kính trong khí quyển dẫn đến tăng nhiệt độ trung bình trên Trái Đất [35].

Các loại khí nhà kính phổ biến nhất trên Trái Đất gồm: 1). Hơi nước; 2). Khí carbonic CO_2 ; 3). Khí methan CH_4 ; 4). Khí oxyt nitơ; 5). Khí ozone; và 6). Các loại khí CFC như sulfur hexafluoride, hydrofluorocarbons và perfluorocarbons. 6 loại khí nhà kính là đối tượng áp dụng chính của Nghị định thư Kyoto lại gồm: *CO₂, methan, ôxít nitơ và 3 nhóm khí chứa flor là hydrofluorocarbons (HFCs), perfluorocarbons (PFCs) và sulfur hexafluoride (SF₆)*. Theo mức độ góp phần gây nên hiệu ứng nhà kính có thể sắp xếp các loại khí nhà kính theo trình tự sau: 1) Hơi nước 36–72%; 2) Khí carbonic 9–26%; 3) Khí methan 4–9%; và 4) Khí ozone 3–7% [35].

Theo ước tính của IPCC, khí carbonic CO_2 chiếm tới 60% nguyên nhân của sự nóng lên toàn cầu. Nồng độ CO_2 trong khí quyển đã tăng 28% từ 288 ppm lên 366 ppm trong giai đoạn 1850–1998 và hiện nay nồng độ CO_2 tăng khoảng 10% trong chu kỳ 20 năm. Vì thế, khí CO_2 đã trở thành đối tượng chính trong các nỗ lực của loài người nhằm giảm phát thải khí nhà kính, dưới các hình thức hoặc là giảm phát thải khí CO_2 hoặc thu hồi và cất giữ nó một cách an toàn và lâu dài.

Các công nghệ cô lập CO_2 có khả năng thực hiện ở quy mô lớn như cất giữ CO_2 trong các thành tạo địa chất sâu dưới lòng đất, bơm CO_2 trực tiếp xuống biển hay khoáng hóa carbon đều đã được nghiên cứu và thử nghiệm. Trong đó, việc cất giữ CO_2 trong các thành tạo địa chất nổi lên là phương pháp tiềm năng nhất cho việc giảm thiểu lượng khí thải CO_2 trên quy mô lớn do hiệu quả kinh tế và kỹ thuật của nó. Còn phương pháp lưu trữ CO_2 trong nước biển được cho là không khả thi vì có thể làm phát sinh quá trình axit hóa

đại dương; và phương pháp khoáng hóa carbon khó thực hiện vì không có hiệu quả kinh tế [37].

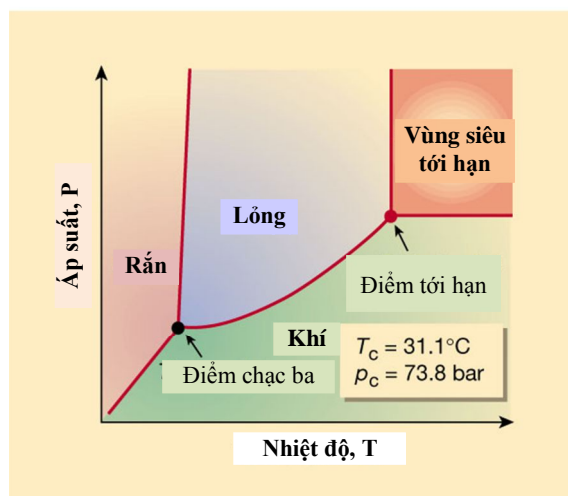
Thuật ngữ “Thu hồi và cất giữ CO₂ (Carbondioxide capture and storage- CCS)” hay “Cất giữ địa chất CO₂” dùng để chỉ nhóm kỹ thuật nhằm thu hồi, vận chuyển CO₂ từ các nguồn phát thải và cất giữ nó trong các thành tạo/cấu trúc địa chất như các bể chứa dầu và khí cạn kiệt, các vỉa than sâu không thể khai thác, và các tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu, v.v... giúp giảm lượng khí thải CO₂ thoát vào khí quyển và qua đó giảm nhẹ quá trình biến đổi khí hậu [30]. Giải pháp quan trọng nhằm giảm lượng khí nhà kính này đang được chú trọng đầu tư nghiên cứu và triển khai trên thế giới, cho phép nhân loại tiếp tục sử dụng nguyên liệu hóa thạch (dầu, khí, than) trong lúc tìm kiếm nguồn năng lượng sạch có khả năng tái tạo thay thế cũng như cải thiện hiệu quả sử dụng năng lượng. Cơ quan Năng lượng Quốc tế (IEA) ước tính đến năm 2050, khoảng 1/3 lượng khí thải CO₂ toàn cầu (tương đương 236 tỷ tấn CO₂) sẽ được cất giữ trong các thành tạo địa chất [32].

Chương I. TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU CẮT GIỮ ĐỊA CHẤT CO₂

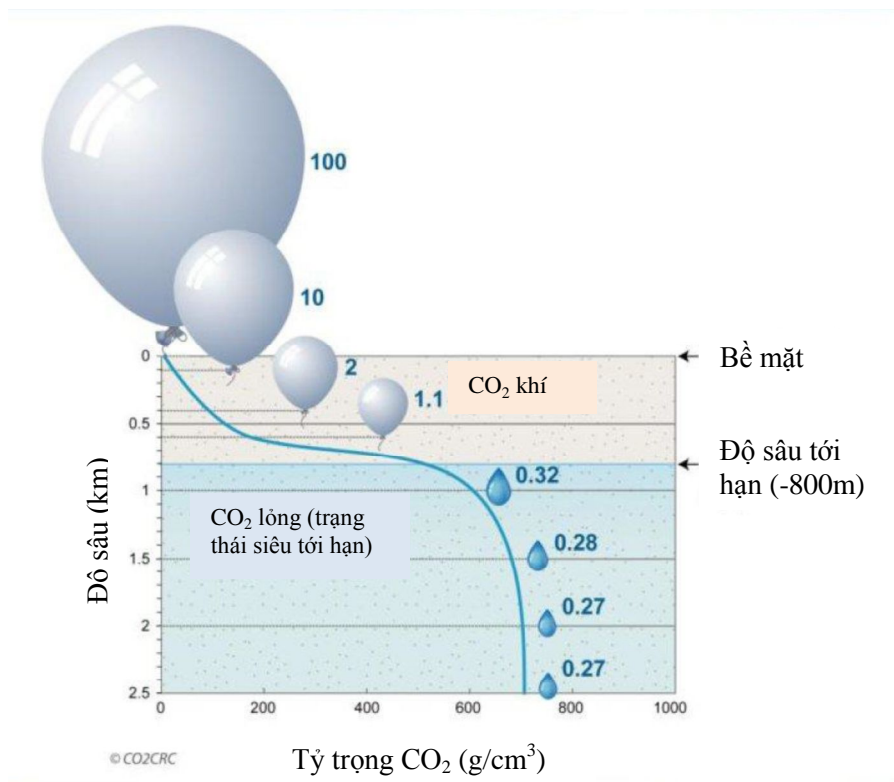
I.1. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

I.1.1. Độ sâu cắt giữ CO₂

Tại điều kiện khí quyển bình thường, CO₂ là một khí rất vững bền về mặt nhiệt động học và nặng hơn không khí. Tại nhiệt độ (T) lớn hơn 31,18°C và áp suất (P) lớn hơn 73,8 bar (tương đương với độ sâu lớn hơn -800m), CO₂ sẽ ở trạng thái “siêu tới hạn” (Hình 1.1 và 1.2). Ở trạng thái này, nó có đặc tính của “chất khí” có thể lấp đầy các thể tích lỗ rỗng, nhưng có tỷ trọng của “chất lỏng” từ 400 đến 900 kg/m³ (gần tương đương với tỷ trọng nước) phụ thuộc vào nhiệt độ và áp suất. CO₂ ở trạng thái “siêu tới hạn” là không thể trộn lẫn trong nước. Đặc tính quan trọng khác của CO₂ là nó có khả năng hấp phụ đối với than gấp 2 lần khí methan (một khí phổ biến trong các vỉa than). Các đặc tính này của CO₂ đóng vai trò quan trọng trong việc lựa chọn phương pháp và khu vực thích hợp cho việc cắt giữ CO₂ [17]. Để đảm bảo cắt giữ CO₂ một cách hiệu quả và an toàn, CO₂ phải được cắt giữ ở trạng thái “siêu tới hạn”, và độ sâu >800m đã được coi như tiêu chuẩn đầu tiên cho việc lựa chọn các thành tạo địa chất cắt giữ CO₂.



Hình 1.1. Đồ thị các pha của CO₂ phụ thuộc nhiệt độ và áp suất

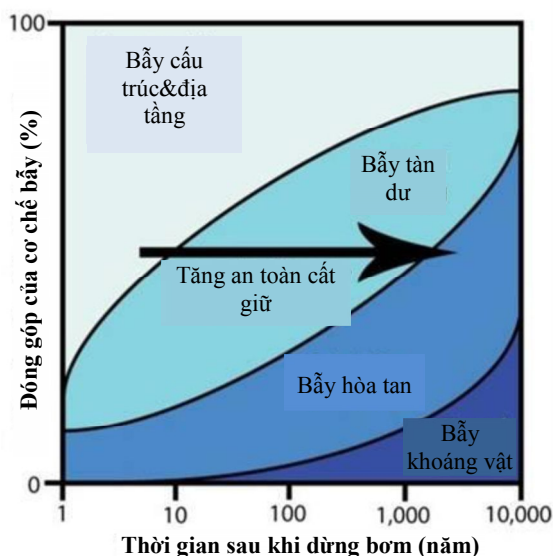


Hình 1.2. Sự thay đổi tỷ trọng CO₂ với độ sâu. Giả sử áp suất là thủy tĩnh và gradient địa nhiệt là 25°C/km từ 15°C tại bề mặt. Tỷ trọng CO₂ tăng nhanh đến độ sâu -800m khi CO₂ tiến tới trạng thái “siêu tới hạn”. Thể tích bóng thể hiện thể tích CO₂, xuôi xuống -800m thể tích này giảm nhanh chóng với độ sâu. Dưới -1500m, tỷ trọng và thể tích CO₂ trở nên gần như không đổi.

I.1.2. Cơ chế cất giữ CO₂

Các thành tạo địa chất dưới sâu được thành tạo bởi sự kết hợp của các hạt mảnh vụn đá, vật chất hữu cơ và các khoáng vật kết tinh sau khi được tích tụ. Khoảng trống (lỗ rỗng) giữa các hạt và các khoáng vật nhiều trường hợp được chiếm giữ bởi chất lỏng (chủ yếu là nước và đôi khi là dầu và khí). Ngoài ra, các khe nứt mở và các hang hốc cũng có thể được lấp đầy bởi chất lỏng. Khi CO₂ được bơm tới các lỗ rỗng và khe nứt của một thành tạo địa chất có tính thấm thấu, nó thay thế chất lỏng hay hòa tan hoặc trộn lẫn với chất lỏng hay tạo nên phản ứng với các hạt khoáng vật hoặc có khả năng là một sự kết hợp của các quá trình này [19].

Hiệu quả của việc cất giữ địa chất CO₂ phụ thuộc vào một tổ hợp của các cơ chế bẫy vật lý và địa hóa (Hình 1.3). Khu vực cất giữ hiệu quả nhất là nơi mà CO₂ trở nên bất động do nó được bẫy cố định dưới một tầng chắn dày có độ thấm thấp hay CO₂ được biến đổi thành các khoáng vật rắn hoặc được hấp phụ trên bề mặt các vi lỗ rỗng than, hoặc tổ hợp của các cơ chế này.

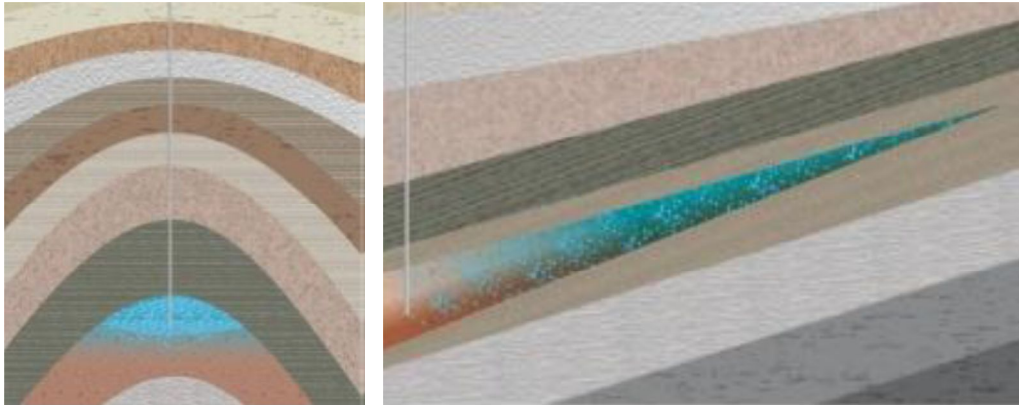


Hình 1.3. Sự an toàn của bẫy CO₂ theo thời gian. Mức độ an toàn cất giữ CO₂ phụ thuộc vào sự kết hợp của các cơ chế bẫy vật lý và địa hóa. Theo thời gian, các quá trình bẫy tàn dư, bẫy hòa tan và bẫy khoáng vật sẽ được gia tăng.

a. Cơ chế bẫy vật lý: bẫy địa tầng và bẫy cấu trúc

Trước hết, bẫy vật lý của CO₂ dưới tầng chắn với độ thấm thấp (như đá phiến hoặc các vỉa muối mỏ) được xem là các bẫy chủ đạo để cất giữ CO₂ trong các thành tạo địa chất. Nhiều trũng trầm tích có các cấu trúc được bao kín và có thể được chiếm giữ bởi nước, dầu và khí. Các bẫy cấu trúc được hình thành do quá trình uốn nếp hoặc nứt nẻ của các thực thể địa chất (Hình 1.4A). Trong nhiều trường hợp, các đứt gãy có thể đóng vai trò là các rào chắn thấm thấu hoặc là tuyến lưu thông thuận lợi của các chất lỏng. Các bẫy địa tầng được hình thành do sự thay đổi đặc điểm thạch học xuất phát từ sự

khác nhau về môi trường thành tạo trầm tích của các loại đá (Hình 1.4B). Cả hai loại bẫy này đều thích hợp để cất giữ địa chất CO₂, tuy nhiên kỹ thuật và khối lượng CO₂ được bơm cần được xem xét để đảm bảo không làm vượt trội áp suất gây nứt nẻ tầng chắn và tái hoạt động các đứt gãy.



A

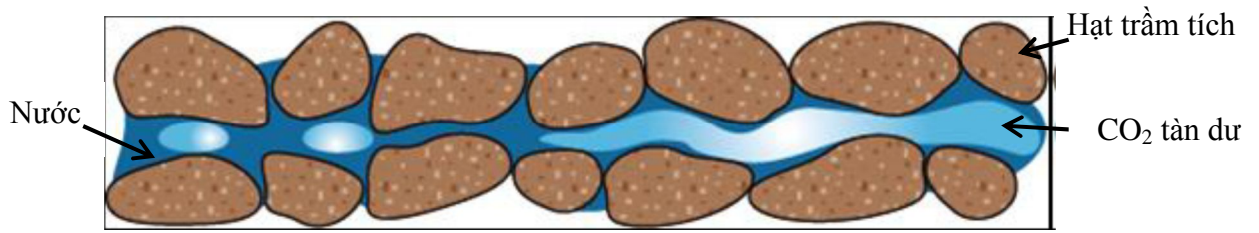
B

Hình 1.4. A. Bẫy cấu trúc; B. Bẫy địa tầng

b. Cơ chế bẫy vật lý (bẫy thủy động lực)

Quá trình hình thành bẫy thủy động lực xảy ra trong các tầng chứa có độ lỗ rỗng cao, không có các cấu trúc bẫy kín, và chất lỏng di chuyển chậm chạp trong một khoảng thời gian dài. Khi CO₂ được bơm xuống các thành tạo địa chất này, nó thay thế nước, sau đó do có tỷ trọng nhỏ hơn nước, CO₂ xâm nhập lên trên mặt. Khi di chuyển tới đỉnh của cấu trúc địa chất, CO₂ tiếp tục di chuyển theo một pha riêng rẽ ứng với sự bão hòa CO₂ tàn dư cho đến khi CO₂ được nạp bẫy loại này (Hình 1.5) hay bẫy địa tầng và bẫy cấu trúc địa phương trong tầng chắn.

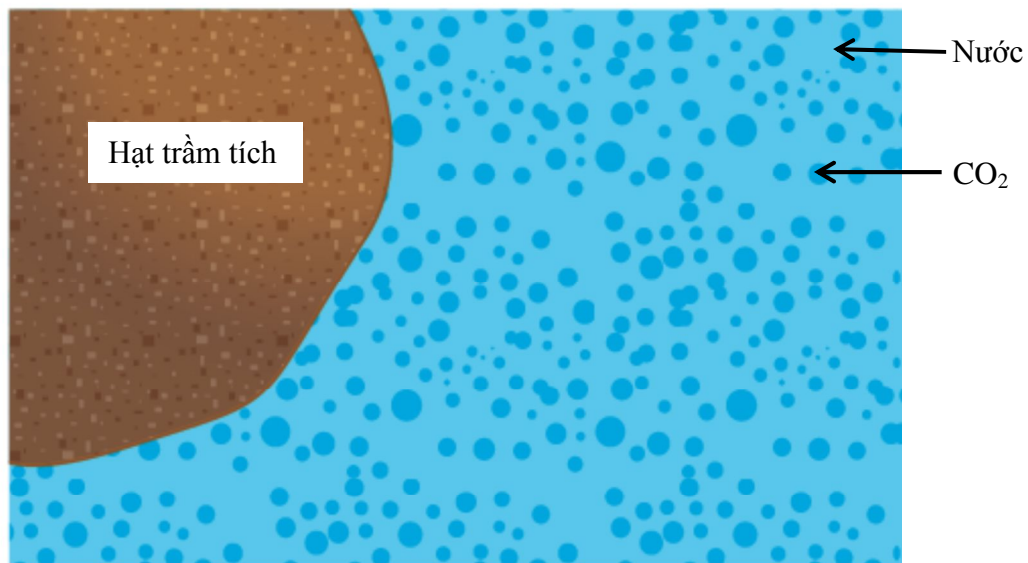
Sau một thời gian dài, số lượng lớn CO₂ sẽ hòa tan trong nước và sau đó di chuyển cùng với nước ngầm. Nếu khoảng cách từ các vị trí bơm CO₂ đến tầng chắn nằm trên dài hàng km, thời gian cho chất lỏng chứa CO₂ có thể lên đến bề mặt là hàng triệu năm.



Hình 1.5. Bẫy tàn dư

c. Cơ chế bẫy địa hóa

CO₂ dưới lòng đất có thể trải qua một chuỗi các tương tác địa hóa với đá và nước ngầm để làm tăng hơn nữa khả năng và hiệu quả cất giữ. Ban đầu khi CO₂ hòa tan trong nước ngầm, một quá trình gọi là “bẫy hòa tan” xảy ra (Hình 1.6). Lợi ích chủ yếu của bẫy hòa tan là CO₂ hòa tan, không còn tồn tại ở pha riêng rẽ nữa, vì vậy loại bỏ lực nổi làm nó di chuyển lên trên bề mặt. Hơn nữa, CO₂ sẽ thành tạo các loại ion khi đá hòa tan, cùng với sự gia tăng độ pH. Cuối cùng, một phần có thể biến đổi thành các khoáng vật carbonat vũng bền (bẫy khoáng vật) (Hình 1.7), đây là hình thái bền vững nhất của quá trình cất giữ địa chất CO₂. Quá trình bẫy khoáng vật được cho là xảy ra chậm chạp, có thể tới một ngàn năm hay lâu hơn. Tuy nhiên, tính ưu việt về sự bền vững của cất giữ khoáng vật cùng với khả năng cất giữ lớn trong các cấu trúc địa chất, trở thành một hình thức mong muốn cho việc cất giữ địa chất CO₂ lâu dài.



Hình 1.6. Bẫy hòa tan



Hình 1.7. Bẫy khoáng vật

Một loại hình khác của cơ chế lưu giữ khí CO₂ được hấp phụ trong các lớp than và đá phiến hữu cơ. Ngoài ra, CO₂ có thể được cất giữ khi CO₂ hydrat được thành tạo ở các thềm biển và ngoài khơi tại các khu vực băng giá.

I.1.3. Sự an toàn trong cất giữ địa chất CO₂ và các tác động môi trường, kinh tế- xã hội tiềm năng

Mục đích của cất giữ địa chất CO₂ là giữ CO₂ trong lòng đất trong thời gian hàng ngàn năm để giảm thiểu sự gia tăng nhiệt độ toàn cầu. Vì vậy, khả năng rò rỉ CO₂ lên bề mặt cần phải càng thấp càng tốt và lý tưởng nhất là

bằng không. Một vài nhà khoa học đưa ra tỷ lệ thất thoát CO₂ tới bề mặt tối đa là 0.01% của lượng CO₂ được bơm vào hàng năm [23].

Sự cất giữ CO₂ cần đảm bảo không ảnh hưởng các hệ sinh thái biển/trên cạn và nước ngầm cho sinh hoạt. Cần phải có các biện pháp đề phòng và biện pháp an toàn để hạn chế ảnh hưởng môi trường tại bề mặt hoặc tại các độ sâu nông. Các đường ống dẫn và vị trí cất giữ CO₂ có thể có xung đột với các hình thức sử dụng đất khác như khu vực cư trú, bảo vệ thiên nhiên, hay quân sự, v.v...

Ngoài ra, nguy cơ rò rỉ đột ngột của CO₂ từ các thành tạo/cấu trúc địa chất cất giữ có thể có các hậu quả sau:

- Sự xâm nhập của CO₂ vào nước ngầm có thể làm giảm độ pH của nước, hòa tan và biến đổi các khoáng vật trong đá và đất gây nên sự ô nhiễm hóa học (ví dụ kim loại nặng) của các tầng nước cung cấp cho sinh hoạt.

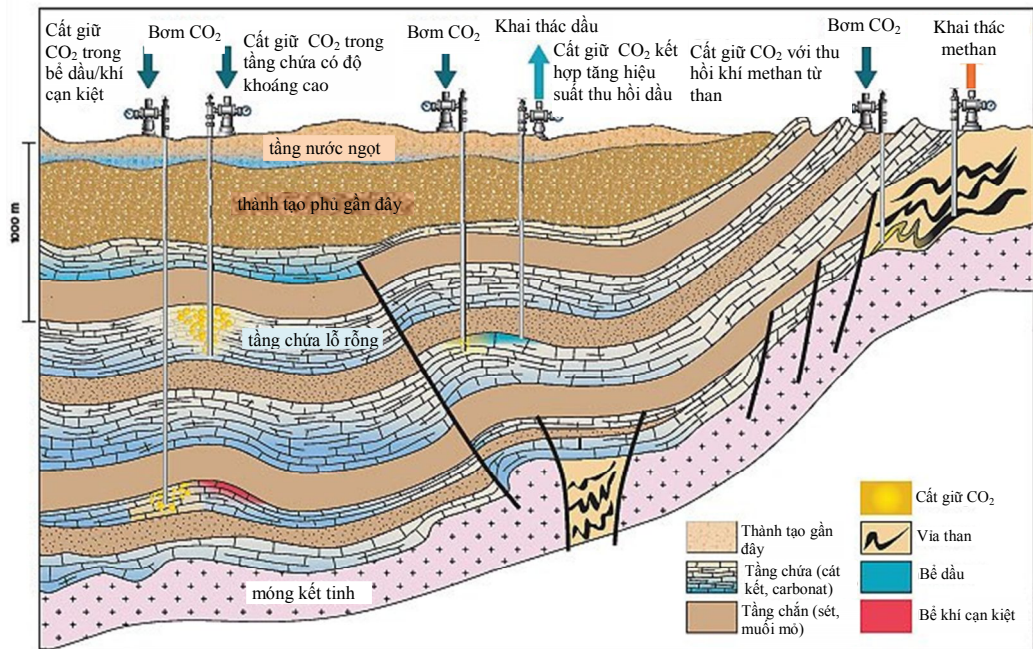
- Nếu CO₂ rò rỉ có điều kiện để tích lũy (ví dụ trong phòng kín), nồng độ cao của CO₂ có thể gây nguy hại cho sức khỏe con người và động vật.

- Ngoài ra, sự rò rỉ CO₂ có thể gây những tác hại đối với sự đa dạng sinh học của các hệ thống sinh thái.

I.1.4. Các thành tạo địa chất có khả năng cất giữ CO₂

Cất giữ địa chất của CO₂ có thể được thực hiện trong một loạt thành tạo địa chất trong các trũng trầm tích (Hình 1.8). CO₂ có thể được bơm tới các tầng đá rỗng và dễ thấm thấu ở sâu, thường là các tầng chứa nước có độ khoáng cao không thể sử dụng cho sinh hoạt của con người. Sự có mặt của các lớp không thấm (sét, sét kết v.v.) nằm trên tầng chứa ngăn ngừa sự rò rỉ của CO₂ lên trên mặt đất. Một vài vị trí trong những tầng đá đó có thể là các cấu trúc kín chứa dầu và khí tự nhiên: CO₂ có thể được cất giữ trong các bể dầu/khí đã được khai thác cạn kiệt hoặc suy giảm để tăng hiệu suất thu hồi

dầu/khí. Ngoài ra, CO₂ cũng có thể được cất giữ trong các vỉa than sâu không thể khai thác, nơi mà khả năng hấp phụ mạnh hơn của CO₂ với than cho phép thu hồi khí methan [33].



Hình 1.8. Các khả năng khác nhau cho việc cất giữ địa chất CO₂

1.1.4.1. Các bể dầu và khí

Hiện nay, các bể chứa khí và dầu đã khai thác cạn kiệt hoặc đang khai thác là những đối tượng hàng đầu lựa chọn để cất giữ CO₂ bởi nhiều lý do: 1) Dầu và khí đã được tích tụ trong các bẫy (bẫy cấu trúc và bẫy địa tầng) không thể thoát ra được trong một thời gian rất dài (hàng triệu năm), vì vậy các bẫy này được tồn tại nguyên vẹn và đảm bảo an toàn cho cất giữ địa chất CO₂; 2) Các đặc điểm địa chất và đặc điểm tự nhiên của hầu hết các mỏ dầu và khí đã được nghiên cứu và mô tả một cách khá đầy đủ; 3) Các mô hình mô phỏng đã được phát triển trong ngành công nghiệp dầu và khí để dự báo sự di chuyển, cũng như hoạt động thay thế và bẫy của hydrocarbon; Một số cơ sở hạ tầng và giếng khai thác sẵn có trong khu vực mỏ có thể được sử dụng cho các hoạt động cất giữ CO₂; và 4) Các mỏ đã khai thác cạn kiệt sẽ không bị

ảnh hưởng bởi CO₂ được cất giữ và nếu như các mỏ dầu và khí vẫn còn đang khai thác, thì quá trình cất giữ CO₂ có thể được kết hợp làm tăng khả năng thu hồi dầu hoặc khí.

Cất giữ CO₂ làm tăng hiệu suất thu hồi dầu (Enhanced Oil Recovery-EOR): Cất giữ CO₂ kết hợp tăng sự thu hồi dầu (EOR) làm tăng hiệu quả kinh tế từ sản lượng dầu tăng thêm. Vì dầu nguyên khai trong các mỏ thường được thu hồi từ 5-40% theo công nghệ khai thác thông thường và nhờ việc sử dụng nước bơm vào các bể chứa dầu, sản lượng khai thác có thể tăng thêm 10-20%. Trên thực tế, các hợp chất khác nhau bao gồm cả CO₂ đã được sử dụng để tăng sự thu hồi dầu với sản lượng tăng thêm 7-23% (trung bình là 13,2%) của dầu nguyên khai trong các bể chứa.

Cất giữ CO₂ làm tăng hiệu suất thu hồi khí (Enhanced Gas Recovery-EGR): Mặc dù khoảng 95% khí ban đầu trong bể chứa có thể được khai thác, CO₂ có thể được bơm vào các bể chứa khí đã khai thác để làm tăng sự thu hồi khí bằng cách tăng áp lực nén của bể chứa.

1.1.4.2. Các vỉa than không thể khai thác

Trong tự nhiên, các vỉa than thường chứa các loại khí, đặc biệt là khí methan. Khí được giữ trong các lỗ hổng trên bề mặt than và trong những khe nứt nẻ của vỉa than. Khi CO₂ được bơm vào các vỉa than, nó sẽ hấp phụ và thay thế khí methan trong than, và khí methan sau đó có thể sẽ được thu hồi như là một chất khí tự do. Quá trình này được gọi là “Cất giữ CO₂ kết hợp tăng thu hồi khí methan từ than (CO₂-ECBM)”. Với kỹ thuật này có khả năng thu hồi khoảng 90% thậm chí là lớn hơn lượng khí methan có trong các vỉa than. Đây là một tiềm năng thuận lợi để chứa CO₂ ở dưới sâu. CO₂ sẽ được cất giữ lâu dài trong các vỉa than với điều kiện là vỉa than đó không bao giờ

được khai thác. Ngoài ra, việc bán sản phẩm khí methan có thể giúp bù đắp chi phí của việc bơm khí CO₂ vào trong các vỉa than.

1.1.4.3. Các tầng lỗ rỗng nằm sâu

“Các tầng lỗ rỗng dưới sâu” có được sự chú ý đặc biệt bởi sự phân bố rộng khắp và khả năng cất giữ CO₂ lớn của chúng. Chỉ các tầng lỗ rỗng chứa nước không đáp ứng được yêu cầu cấp nước cho sinh hoạt và cho nông nghiệp được xem là các tầng chứa thuận lợi. Các tầng chứa có độ lỗ rỗng cao ở sâu có thể tồn tại độc lập, đặc biệt tại độ sâu lớn hơn 800 m. Tại độ sâu này, các điều kiện áp suất và nhiệt độ trong các tầng chứa (nhiệt độ >31⁰C và áp suất >74 bar) dẫn đến tỷ trọng của CO₂ khá cao, vì vậy sự cất giữ CO₂ mới hiệu quả và an toàn.

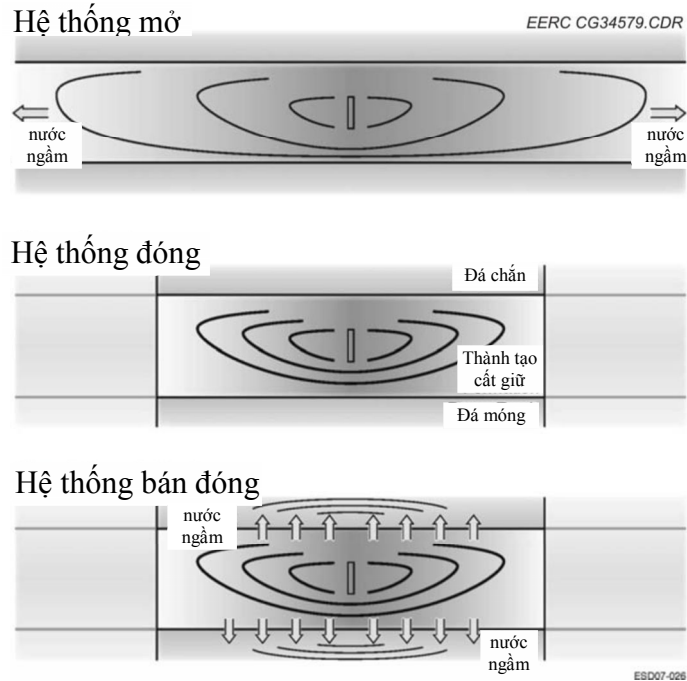
Các tầng lỗ rỗng bao gồm 3 dạng cấu trúc có tiềm năng cất giữ địa chất CO₂ (Hình 1.9):

- *Hệ thống mở*: Các “tầng chứa lỗ rỗng dạng hệ thống mở” thường có quy mô lớn. Chúng là những hệ thống hoạt động không giới hạn. Trong tầng chứa này, nước ngầm có thể di chuyển đi nơi khác từ điểm bơm trong phạm vi hoạt động không giới hạn, đồng thời không có sự gia tăng áp suất tầng chứa khi bơm CO₂.

- *Hệ thống đóng*: Các “tầng chứa lỗ rỗng dạng hệ thống đóng” bị giới hạn bởi những đới có độ thấm thấp được hình thành do các thay đổi trong độ lỗ hổng của đá chứa hay các đứt gãy bị bịt kín. Tầng chứa này không cho phép bất cứ sự di chuyển nào của chất lỏng trong tầng chứa ra khỏi cấu trúc.

- *Hệ thống nửa đóng- nửa hở*: Trong một số trường hợp, tầng chứa lỗ rỗng hoạt động theo cách nửa đóng- nửa mở, tức là chất lỏng không thể di chuyển về hai phía, mà ít nhiều di chuyển theo chiều thẳng đứng giữa các

tầng chứa liên thông. Các tầng chứa loại này khá phổ biến và có giá trị lớn cho cất giữ địa chất CO₂.

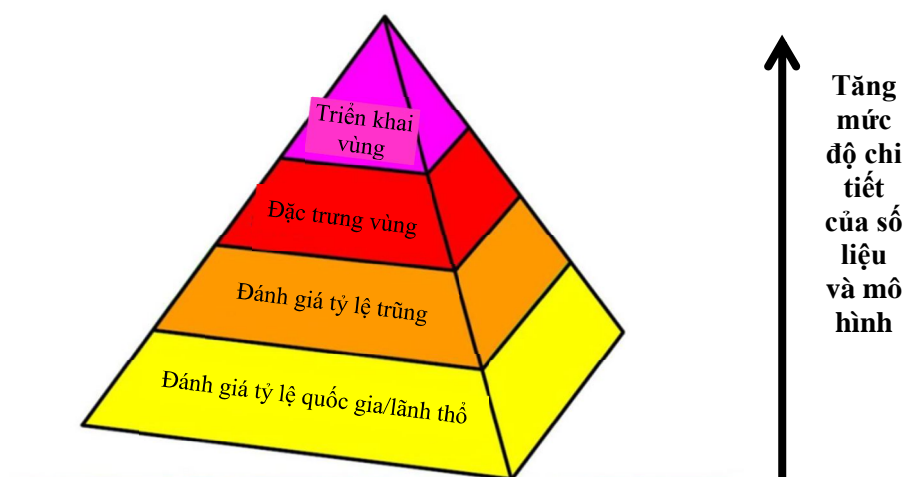


Hình 1.9. Ba loại hệ thống tầng chứa lỗ rỗng cho cất giữ CO₂

I.1.5. Trình tự nghiên cứu cất giữ địa chất CO₂

I.1.5.1. Tỷ lệ đánh giá

Giống như trình tự nghiên cứu điều tra khoáng sản, nghiên cứu “cất giữ địa chất CO₂” thường được bắt đầu với tỷ lệ nhỏ (đánh giá ở tỷ lệ quốc gia/lãnh thổ) và tăng dần mức độ chi tiết trong các nghiên cứu tỷ lệ lớn (nghiên cứu triển khai vùng) (Hình 1.10).



Hình 1.10. Tỷ lệ đánh giá và mức độ chi tiết của số liệu [16], [25]

Năm tỷ lệ đánh giá khác nhau được Diễn đàn các Nhà nghiên cứu Cát giữ CO₂ của Úc đề xuất như sau:

1) **Đánh giá tỷ lệ quốc gia/lãnh thổ:** là đánh giá tổng quan cho 1 vùng địa lý được xác định bởi chủ quyền quốc gia (đất nước) và thường bao gồm ít nhất một vài trung tâm tích.

2) **Đánh giá tỷ lệ trung:** là một sự đánh giá chi tiết hơn cho một trung tâm tích cụ thể nhằm đánh giá và định lượng tiềm năng cát giữ của trung và để nhận dạng các khu vực tốt nhất cho cát giữ CO₂. Công nghệ cát giữ có thể áp dụng ở đó phải được liên kết với các điểm nguồn phát thải CO₂ lớn trong phạm vi trung hay ở vùng lân cận của trung.

3) **Đánh giá tỷ lệ vùng:** được thực hiện với mức độ chi tiết tăng cao cho một vùng liên nhau về địa lý của một trung tâm tích, thường được xác định bởi sự có mặt của các nguồn phát thải CO₂ lớn và/hay bởi tiềm năng lớn của sự cát giữ CO₂ được biết của vùng.

4) **Đánh giá tỷ lệ địa phương:** là rất chi tiết, thường được thực hiện lúc một vài khu vực triển vọng cho cát giữ CO₂ được kiểm tra để xác định khả

năng cất giữ, khả năng bơm và khả năng chứa trước khi quyết định lựa chọn khu vực.

5) **Đánh giá tỷ lệ xác định khu vực:** thường được thực hiện cho một đơn vị cất giữ xác định (ví dụ: bể chứa hydrocarbon, tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu hay vỉa than) để mô hình hành vi của CO₂ được bơm.

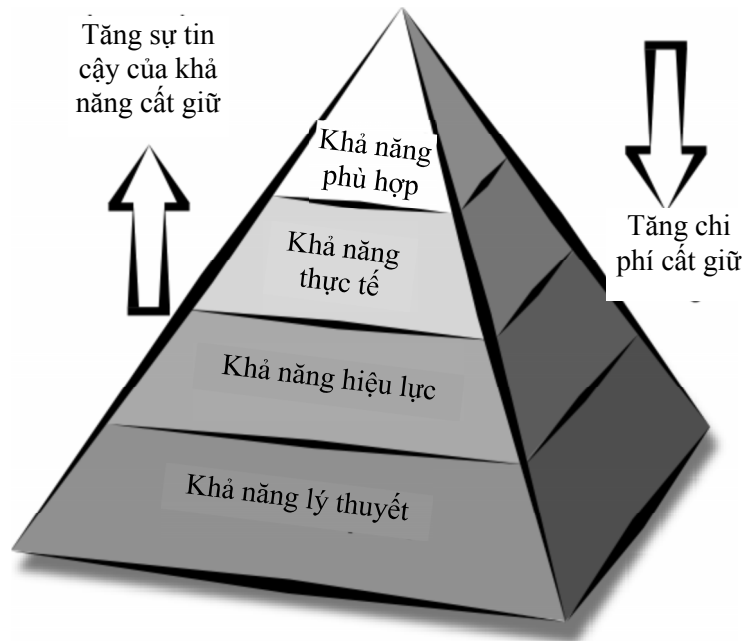
Mối quan hệ giữa tỷ lệ trữ và tỷ lệ vùng có thể đảo ngược trong trường hợp các nước lớn tầm châu lục mà một vùng có thể bao hàm một vài trữ trầm tích.

1.1.5.2. Ước đoán khả năng cất giữ

“Khả năng cất giữ CO₂” cũng có thể được xem như một tài nguyên địa chất mà khả năng sẵn có của nó có thể được vận dụng khái niệm “tài nguyên” và “trữ lượng” giống như các tài nguyên năng lượng và khoáng sản khác như dầu, khí, than, uran, sắt, vàng, v.v..

Sử dụng các khái niệm “tài nguyên” và “trữ lượng”, Bachu (2007) đã là người đầu tiên đề xuất một “tháp tài nguyên-trữ lượng kinh tế-kỹ thuật cho khả năng cất giữ CO₂” (Hình 1.11). Các khả năng khác nhau được mô tả theo thứ tự tăng dần trong tháp tài nguyên-trữ lượng này:

1) **Khả năng cất giữ lý thuyết:** tương đương khái niệm “tài nguyên”, đại diện cho giới hạn cơ học của một hệ thống địa chất có thể chấp nhận và chiếm giữ toàn bộ tháp tài nguyên. Khả năng cất giữ lý thuyết được giả định là toàn bộ thể tích có thể được tiếp cận và sử dụng hết khả năng để cất giữ CO₂ trong các khoảng không lỗ rỗng, hay hòa tan với sự bão hòa tối đa trong chất lỏng thành tạo. Điều này đại diện cho một giới hạn trên tối đa đối với dự báo khả năng, tuy nhiên đây là một ước đoán không có độ tin cậy cần thiết, bởi vì trong thực tế, có những giới hạn vật lý, kỹ thuật, pháp lý và kinh tế ngăn cản việc sử dụng đầy đủ khả năng cất giữ này.



Hình 1.11. “Tháp tài nguyên-trữ lượng kinh tế-kỹ thuật cho khả năng cất giữ CO₂ trong thành tạo địa chất cho một vùng chủ quyền quốc gia hay vùng địa lý”. Tháp thể hiện mối quan hệ giữa khả năng lý thuyết, khả năng hiệu lực, khả năng thực tế và khả năng phù hợp [16].

2) **Khả năng cất giữ hiệu lực:** Trước đây còn được gọi là “khả năng tin cậy”. Giá trị này là một phần của khả năng cất giữ lý thuyết và đạt được từ việc xem xét cấu phần của khả năng cất giữ lý thuyết có thể tiếp cận một cách cơ học và đáp ứng được một loạt các tiêu chuẩn địa chất và kỹ thuật. Tuy nhiên, ước đoán này có thể thay đổi khi sở hữu được những số liệu và kiến thức mới có liên quan.

3) **Khả năng cất giữ thực tế (hay khả năng cất giữ có thể thực hiện):** là một hợp phần của khả năng cất giữ hiệu lực có thể đáp ứng được các rào cản kỹ thuật, luật pháp, qui định, cơ sở hạ tầng và kinh tế nói chung đối với cất giữ địa chất CO₂. Khả năng cất giữ thực tế tương đương với thuật ngữ “trữ lượng” sử dụng trong các ngành năng lượng và khai thác tài nguyên.

4) **Khả năng cất giữ phù hợp:** là một hợp phần của khả năng cất giữ thực tế có thể đảm bảo phù hợp các nguồn phát thải CO₂ điểm lớn với các khu

vực cất giữ địa chất có đủ khả năng cất giữ, khả năng bơm và tốc độ cung cấp dòng CO₂ từ các nguồn phát thải. Khả năng cất giữ phù hợp nằm tại đỉnh của tháp tài nguyên-trữ lượng và tương quan với thuật ngữ “trữ lượng thương mại được xác định” sử dụng trong ngành công nghiệp khai thác. Sự khác nhau giữa “khả năng cất giữ thực tế” và “khả năng cất giữ phù hợp” là “khả năng cất giữ bị bỏ rơi” không được xác định do về mặt kinh tế, cơ sở hạ tầng hay các nguồn CO₂ không đáp ứng được.

I.2. TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU VÀ TRIỂN KHAI THỰC TẾ

I.2.1. Hiện trạng nghiên cứu trên thế giới

Cất giữ địa chất CO₂ là một biện pháp nhằm giảm thiểu khí nhà kính đã bắt đầu được đề xuất từ những năm 70 của thế kỷ trước. Tuy nhiên, có khá ít các nghiên cứu được thực hiện cho đến đầu những năm 90 khi ý tưởng này trở nên khả thi thông qua kết quả nghiên cứu của các cá nhân và của một vài nhóm nhà khoa học. Việc cất giữ địa chất của các khí thải axit từ các sản phẩm phụ của sản xuất dầu mỏ (hàm lượng CO₂ chiếm tới 98%) ở Alberta (Canada) và Hoa Kỳ đã cho những kinh nghiệm quý giá. Vào năm 1996, dự án cất giữ CO₂ qui mô lớn đầu tiên trên thế giới đã được tập đoàn Statoil khởi động tại mỏ khí đốt Sleipner ở biển Bắc (Na Uy). Vào cuối thập kỷ 90, nhiều chương trình nghiên cứu cá nhân và nhà nước nhằm thu hồi và cất giữ CO₂ đã được thực hiện ở Hoa Kỳ, Canada, Nhật Bản, Châu Âu và Úc. Cũng trong thời gian này, một vài công ty dầu mỏ đã lặng lẽ quan tâm đến việc cất giữ địa chất CO₂ như một biện pháp giảm thiểu, đặc biệt cho các mỏ khí đốt với hàm lượng CO₂ tự nhiên cao như ở Natuna (Indonesia), Salah (Angeria) và Gordon (Úc). Gần đây, các công ty khai thác than và các công ty sản xuất điện bắt đầu nghiên cứu việc thu hồi và cất giữ địa chất CO₂ và được xem là một biện pháp giảm thiểu khí thải CO₂ đối với ngành sản xuất của họ. Nói chung, qua vài thập kỷ, việc cất giữ địa chất CO₂ đã phát triển từ một ý tưởng ít được quan

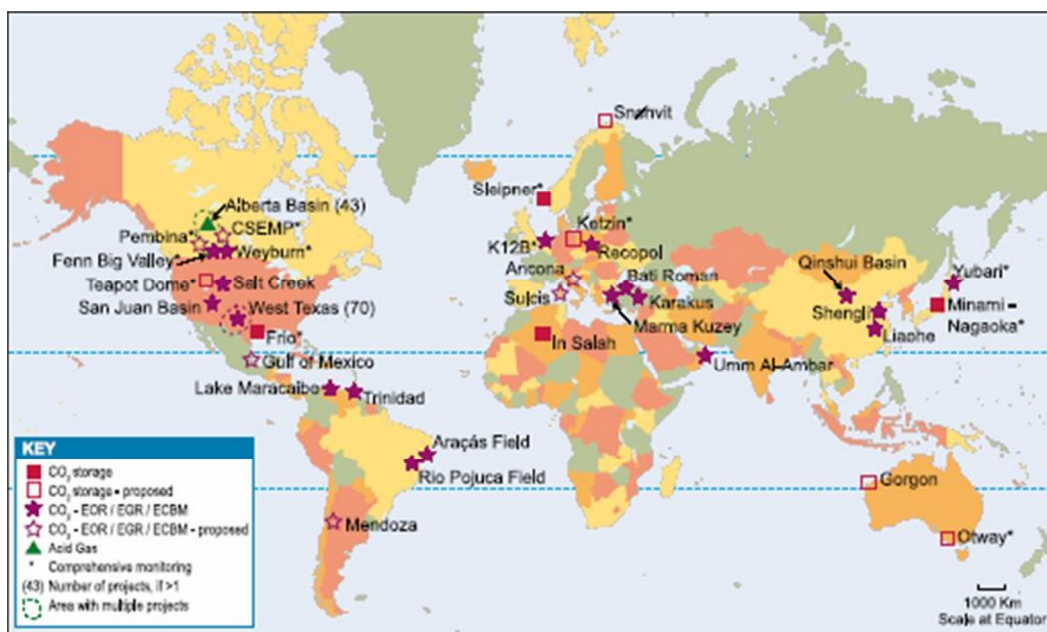
tâm, đến nay đã được hầu hết các nước thừa nhận là một biện pháp giảm thiểu khí thải CO₂ quan trọng. Có một vài lý do cho điều này: 1). Một vài dự án thương mại đã được thực hiện thành công và mức độ tin cậy của công nghệ đã tăng lên; 2). Có sự đồng thuận trên thế giới về sự cần thiết phải giảm thiểu khí thải CO₂; và 3). Việc thu hồi và cất giữ địa chất CO₂ có thể giảm đáng kể phát thải CO₂ vào khí quyển.

Hình 1.12 thể hiện vị trí các dự án cất giữ CO₂ trên thế giới cho đến năm 2005. Dự án ở Salah (Algeria) có công suất 1 triệu tấn CO₂/năm; 2 dự án ở Sleipner và Snøvit (Na Uy) thực hiện trên những mỏ khí ngoài khơi, mỗi dự án có công suất xấp xỉ 1 triệu tấn CO₂/năm; 1 dự án làm tăng khả năng thu hồi dầu ở Weyburn (Canada) có công suất 2,8 triệu tấn CO₂/năm; 4 dự án ở Hoa Kỳ, trong đó có 2 dự án lớn nhất thế giới thực hiện trên các mỏ dầu có công suất lần lượt là 8,5 triệu và 7 triệu tấn CO₂/năm.

Hiện nay, nhiều nước phát triển đã và đang đầu tư rất lớn cho nghiên cứu và triển khai các dự án cất giữ CO₂. Năm 2008 và 2009, chính phủ liên bang Canada đầu tư xấp xỉ 1,4 tỷ USD và chính quyền bang Alberta đầu tư 2 tỷ USD vào 4 dự án cất giữ CO₂ qui mô lớn. Các tài liệu công bố cho thấy Hoa Kỳ đã tiến hành nhiều công trình cụ thể đánh giá tiềm năng cất giữ CO₂ trong các thành tạo địa chất. Trong “Atlas cô lập CO₂ của Hoa Kỳ và Canada” năm 2008, các bang của Hoa Kỳ đều đã có số liệu định lượng cụ thể về khả năng chứa CO₂. Công nghệ thu hồi và cất giữ CO₂ hiện đang được thực hiện tại 144 nơi trên lãnh thổ Hoa Kỳ. Hà Lan có kế hoạch vận hành dự án “Thu hồi và cất giữ CO₂ ở Rotterdam” vào năm 2015, mỗi năm thu hồi và cất giữ khoảng 1,1 triệu tấn CO₂. Ba Lan đang triển khai dự án RECOPOL ở Silesia từ năm 2003 với sự trợ giúp của Đức, Pháp, Hà Lan thực hiện bơm khí CO₂ vào các vỉa than ở độ sâu 1.050 – 1.090 m và thu hồi khí methan thoát ra. Đức đang thí điểm dự án thu hồi và cất giữ CO₂ trong các mỏ than không có giá trị

kinh tế. Ngoài ra, công ty Vattenfall AB đầu tư 70 triệu euro vào một dự án 2 năm (bắt đầu từ 2008) để cất giữ 204 tấn CO₂/ngày từ một nhà máy điện có công suất 30 MW trong một mỏ khí đã khai thác. Gần đây (23/04/2009) Hội đồng nghị viện Châu Âu đã có chỉ thị, văn bản hướng dẫn cụ thể về vấn đề thu hồi và cất giữ CO₂. Dự án số hiệu SES6-518318 là một dự án lớn mang tính tổng thể, nghiên cứu khả năng cất giữ địa chất CO₂ trên toàn bộ lãnh thổ Châu Âu [38].

Dự án cất giữ CO₂ đầu tiên ở nam bán cầu được Úc tiến hành năm 2008 có khả năng cất giữ 65 triệu tấn CO₂. Nhà máy thu hồi và nén khí CO₂ mới được xây dựng ở bang Victoria phía nam nước Úc, thu gom 110.231 tấn khí CO₂/năm để bơm xuống một mỏ khí đốt tự nhiên đã bị khai thác cạn kiệt trước đây. Trung Quốc là nước có nguồn than đá còn khá dồi dào và hiện nay CO₂ cũng đã được cất giữ và sử dụng trong việc thu hồi khí methan tại 3 khu vực khai thác than [24].



Hình 1.12. Vị trí các khu vực đang được triển khai hoặc lập kế hoạch cất giữ CO₂ trên thế giới năm 2005 [34]

Việc bơm CO₂ vào lòng đất nhằm cắt giảm lượng khí nhà kính đã được nhiều nước thực hiện, nhưng Nhật Bản là nước đầu tiên đang thử nghiệm biến CO₂ thành năng lượng. Cơ quan Nghiên cứu và Phát triển Hải dương Nhật Bản đã bắt tay vào việc phát triển công nghệ biến khí thải CO₂ thành khí đốt tự nhiên (methan), bằng cách bơm CO₂ xuống mỏ than dưới đáy biển và "nhờ" các vi sinh vật đặc biệt ở đó chuyển CO₂ thành khí đốt tự nhiên. Từ năm 2006, các nhà khoa học Nhật Bản bắt đầu bơm khí CO₂ xuống tầng than non nằm ở độ sâu -2.000 – -4.000m ở ngoài khơi bán đảo Shimokita thuộc tỉnh Aomori bằng đường ống từ nhà máy nhiệt điện có thiết bị thu khí CO₂, sau đó thu khí methan lại để sử dụng cho nhà máy nhiệt điện đó. Vấn đề hiện nay nằm ở khả năng của vi khuẩn sinh khí methan. Ở trong lòng đất, việc chuyển đổi từ CO₂ thành methan mất từ 100 triệu đến 10 tỷ năm. Nhóm nghiên cứu Nhật Bản đặt mục tiêu trong vòng 3 – 5 năm tới sẽ phát triển thành công kỹ thuật nâng cao năng lực của loại vi khuẩn có thể biến CO₂ thành khí methan trong vòng 100 năm, bằng cách sử dụng hiệu quả chất dinh dưỡng lấy từ tầng than non. Cơ quan Nghiên cứu và Phát triển Hải dương Nhật Bản ước tính mỗi năm có thể bơm tới 200 tỷ tấn khí CO₂, tức là gấp 100 lần lượng khí thải CO₂ của Nhật Bản xuống tầng than non trải dài từ Đông Bắc Nhật Bản tới vùng biển ngoài khơi tỉnh Hokkaido. Nếu dự án này thành công, trong tương lai, Nhật Bản có khả năng vừa giải quyết được lượng khí thải CO₂, vừa thu được một nguồn khí đốt tự nhiên khổng lồ [43].

I.2.2. Hiện trạng thu hồi và cất giữ CO₂ ở Việt Nam

Ở Việt Nam, việc nghiên cứu công nghệ “thu hồi và cất giữ CO₂” cấp độ Nhà nước vẫn chưa được triển khai. Tuy nhiên, năm 2009 Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam (DGMV, Bộ Tài nguyên và Môi trường) đã phối hợp với Cơ quan Nghiên cứu Mỏ- Địa chất (BRGM) của Pháp triển khai đề tài nghiên cứu “Khả năng thu giữ khí CO₂ tại Việt Nam đến đâu?” và đã báo cáo

kết quả nghiên cứu tại kỳ họp thứ 8 Diễn đàn kinh tế- tài chính Việt- Pháp tổ chức tại Thành phố Hạ Long (Quảng Ninh) ngày 16-18/11/2009. Thông qua nghiên cứu này, các tác giả đã sơ bộ dự đoán một số bồn trầm tích ở Miền Bắc Việt Nam như bể than Quảng Ninh, bồn Châu thổ Sông Hồng và bồn Sông Hồng (phần ngoài khơi) có thể thích hợp để tìm kiếm các thành tạo và cấu trúc địa chất cho cất giữ địa chất CO₂ như: các tầng chứa lỗ rỗng ở sâu, các mỏ dầu và khí cạn kiệt và các vỉa than không khai thác được. Ngoài ra, các tác giả còn chỉ ra tính khả thi cho việc cất giữ CO₂ trong các thành tạo và cấu trúc địa chất ở Việt Nam, và đề xuất với Nhà nước sự cần thiết tiến hành các nghiên cứu chi tiết hơn [10].

Cũng trong năm 2009, Viện Dầu Khí Việt Nam (Tập đoàn Dầu Khí quốc gia Việt Nam) đã phối hợp với Tổng công ty Dầu khí và Kim loại Nhật Bản (JOGMEC) và Công ty thăm dò Dầu khí Nippon (NOEX) tiến hành một dự án nghiên cứu tiền khả thi “Nghiên cứu khả năng sử dụng CO₂ nhằm tăng cường thu hồi dầu ngoài khơi Việt Nam, góp phần giảm thiểu thay đổi khí hậu toàn cầu”. Kết quả nghiên cứu cho thấy việc sử dụng CO₂ để tăng cường thu hồi dầu cho một mỏ dầu cụ thể là chưa khả thi về mặt kinh tế ở Việt Nam hiện nay, bởi vì chi phí cho thu gom và vận chuyển CO₂ đến vị trí giếng bơm là quá cao và đầu tư trang thiết bị quá lớn. Tuy nhiên, nếu có thể kết hợp thu gom và sử dụng CO₂ tại nhiều mỏ dầu một cách đồng thời thì có thể giảm được chi phí [7].

Ngoài ra, một vài công ty ở Việt Nam đã nghiên cứu, ứng dụng công nghệ thu hồi CO₂ trong quá trình phát thải để sản xuất sản phẩm mới hoặc sản xuất sạch hơn. Tháng 1/2009, Tổng Công ty Phân bón và Hóa chất Dầu khí (PVFCCo) đã tổ chức lễ khởi công Dự án xây dựng hệ thống thu hồi CO₂ từ khói thải lò phản ứng Primary Reformer của nhà máy Đạm Phú Mỹ (Tân Thành, Bà Rịa - Vũng Tàu) với mục đích tăng sản lượng phân urea hàng năm

của Nhà máy này từ 740.000 tấn urea/năm lên 800.000 tấn urea/năm. Hệ thống thu hồi CO₂ không chỉ làm giảm lượng khí thải, mà còn cung cấp CO₂ có độ tinh khiết 99% kết hợp với ammonia (NH₃) dư thừa trong quá trình sản xuất, tổng hợp thành phân urea. Dự án được đầu tư với tổng giá trị trên 27 triệu USD, sử dụng công nghệ thu hồi CO₂ của Mistubishi Heavy Industries Ltd. (Nhật Bản). Đây là công nghệ thu hồi CO₂ "KM-CDR Process" độc quyền của Mistubishi Heavy Industries Ltd. và là một trong các công nghệ thu hồi CO₂ tiên tiến nhất trên thế giới hiện nay, cho phép thu hồi triệt để CO₂ từ khí thải công nghiệp để sản xuất CO₂ với độ tinh khiết cao (99%).

I.2.3. Sự cần thiết nghiên cứu tiềm năng cất giữ CO₂ ở Miền Bắc Việt Nam

Theo Nghị định thư Kyoto, Việt Nam hiện không phải là quốc gia có nghĩa vụ phải cắt giảm khí phát thải theo Chương trình khung về biến đổi khí hậu của Liên hợp quốc (UNFCCC), thậm chí còn có thể thương mại hóa “hạn ngạch carbon cho phép” với các quốc gia phát triển khác để đổi lấy hỗ trợ về tài chính hay đầu tư công nghệ sạch. Điều này cho thấy việc thu hồi và cất giữ CO₂ để góp phần giảm nhẹ biến đổi khí hậu toàn cầu chưa phải là một đòi hỏi bắt buộc đối với Việt Nam. Tuy nhiên, trong tương lai gần, vị thế này có thể thay đổi và Việt Nam cần chuẩn bị trước để sẵn sàng cho mục tiêu giảm thiểu khí nhà kính khi Liên hợp quốc và cộng đồng quốc tế yêu cầu.

Trong báo cáo của Ngân hàng Thế giới (2007), Việt Nam là một trong 12 nước chịu ảnh hưởng nặng nề nhất của biến đổi khí hậu và nước biển dâng [42]. Vì vậy, trong những năm vừa qua, Chính phủ Việt Nam đã có những bước đi tích cực nhằm thích ứng và giảm nhẹ ảnh hưởng của biến đổi khí hậu. Chương trình “Mục tiêu quốc gia ứng phó với biến đổi khí hậu giai đoạn 2012 – 2015” được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt ngày 30/8/2012 thể hiện rõ rằng: Chúng ta “cần từng bước hiện thực hóa Chiến lược quốc gia về biến đổi

khí hậu, tăng cường nhận thức và năng lực thích ứng với biến đổi khí hậu, định hướng giảm phát thải khí nhà kính, xây dựng nền kinh tế carbon thấp, tích cực cùng cộng đồng quốc tế bảo vệ hệ thống khí hậu Trái đất”. Chính phủ yêu cầu tất cả các bộ, các ngành cần nghiên cứu, triển khai công nghệ giảm phát thải khí nhà kính trong tất cả các lĩnh vực hoạt động sản xuất liên quan.

Hiện nay trên thế giới cũng như ở Việt Nam, trên 85% năng lượng được sử dụng trong đời sống là các năng lượng hóa thạch (dầu, khí, than), đây là các nguồn phát thải chủ yếu của CO₂. Báo cáo của Cơ quan Năng lượng Quốc tế (IEA) năm 2008 cũng chỉ rõ “cắt giữ địa chất CO₂” là giải pháp quan trọng nhằm giảm lượng khí nhà kính, cho phép nhân loại tiếp tục sử dụng nguyên liệu hóa thạch (dầu, khí, than) trong lúc tìm kiếm nguồn năng lượng sạch có khả năng tái tạo thay thế cũng như cải thiện hiệu quả sử dụng năng lượng. Một so sánh của việc “cắt giữ địa chất CO₂” với các giải pháp giảm thiểu khí phát thải CO₂ khác bởi tổ chức này là: “Cắt giữ địa chất CO₂” là giải pháp đơn giản nhưng cho hiệu quả lớn, có thể giảm thiểu khoảng 1/3 lượng khí thải CO₂ vào khí quyển vào năm 2050 [32]. Ngoài ra, việc cắt giữ địa chất CO₂ đồng thời với tăng hiệu suất thu hồi dầu và khí cũng là một trong những công nghệ/sản xuất sạch đang được các nước hàng đầu trên thế giới triển khai áp dụng trong ngành dầu, khí và than.

Chính vì vậy, với mục tiêu phát triển kinh tế- xã hội bền vững của đất nước và hạn chế phát thải khí nhà kính, vấn đề thu hồi và cắt giữ CO₂ trong các thành tạo/cấu trúc địa chất ở Việt Nam cần được nghiên cứu và triển khai.

Miền Bắc Việt Nam có nhiều trũng trầm tích trên đất liền và ngoài khơi với những đặc điểm địa chất tiềm năng cho việc cắt giữ CO₂. Vì vậy, Đề tài “*Nghiên cứu cơ sở khoa học và thực tiễn, đề xuất giải pháp công nghệ cắt giữ CO₂ trong các hệ tầng, cấu trúc địa chất ở miền Bắc Việt Nam*” là một trong những bước đi đầu tiên của Việt Nam trong nghiên cứu giảm thiểu khí nhà

kính. Kết quả của đề tài sẽ làm nền tảng cho các bước tiếp theo trong việc nghiên cứu “thu hồi và cất giữ CO₂” trên toàn bộ lãnh thổ Việt Nam.

I.3. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

I.3.1. Mục tiêu

Phù hợp với đặt hàng của Chương trình “Khoa học và công nghệ phục vụ chương trình mục tiêu quốc gia ứng phó với biến đổi khí hậu”, tập thể tác giả đặt ra các mục tiêu dưới đây:

1. Xây dựng cơ sở khoa học và thực tiễn thông tin về công nghệ cất giữ CO₂ trên thế giới, để xác định các hệ tầng, cấu trúc địa chất ở Việt Nam phù hợp cho việc cất giữ CO₂ và lựa chọn công nghệ phù hợp cho Việt Nam;

2. Phân vùng dự đoán tiềm năng cất giữ CO₂ trên toàn lãnh thổ miền Bắc Việt Nam.

3. Đề xuất các giải pháp công nghệ cất giữ CO₂ trong các thành tạo địa chất ở miền Bắc Việt Nam.

4. Mô hình mô phỏng giải pháp công nghệ cất giữ CO₂ cho một vùng cụ thể ở miền Bắc Việt Nam.

I.3.2. Nhiệm vụ

Để đạt được các mục tiêu đề ra, tập thể tác giả đã đặt ra các nhiệm vụ nghiên cứu sau:

1. Thu thập, tổng hợp, phân tích tài liệu hiện có trên thế giới nhằm xác lập cơ sở khoa học và thực tiễn về giải pháp cất giữ CO₂ trong các hệ tầng và cấu trúc địa chất.

2. Nghiên cứu, đánh giá và phân bậc mức độ thích hợp cất giữ địa chất CO₂ của các trầm tích ở miền Bắc Việt Nam.

3. Nghiên cứu và đánh giá chi tiết khả năng cất giữ CO₂ cho các cấu trúc địa chất trong các trầm tích triển vọng được chọn (trũng Châu thổ Sông Hồng và trũng An Châu).

4. Đề xuất các giải pháp công nghệ cất giữ CO₂ trong các thành tạo địa chất ở miền Bắc Việt Nam.

5. Mô phỏng giải pháp công nghệ cất giữ CO₂ cho mỏ khí Tiền Hải C, Thái Bình (gần cạn kiệt).

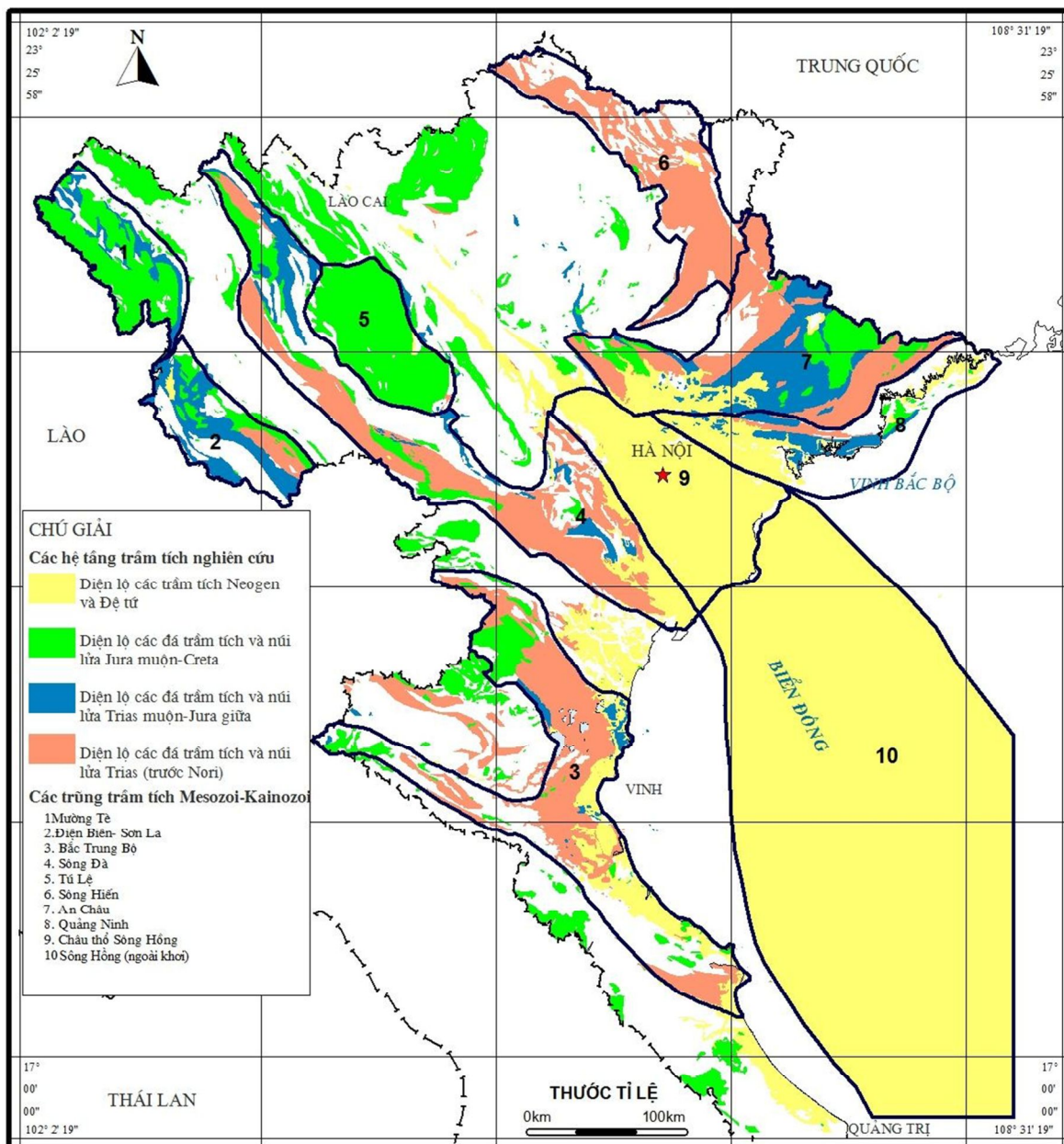
I.3.3. Phạm vi và đối tượng nghiên cứu

Kết quả nghiên cứu trên thế giới về cất giữ địa chất CO₂ cho thấy chỉ có các trầm tích trẻ mới chứa các thành tạo địa chất thích hợp cho cất giữ CO₂ như các bể dầu/khí, các tầng chứa có độ lỗ rỗng cao ở sâu và các vỉa than, v.v.... Ngoài ra, các thành tạo địa chất thích hợp để cất giữ CO₂ cần có độ lỗ rỗng và khả năng thẩm thấu đủ tốt cho lưu giữ và bơm CO₂, trong khi đó, các thực thể địa chất cổ thường trải qua các quá trình kiến tạo và biến chất phức tạp nên độ lỗ rỗng và khả năng thẩm thấu bị suy giảm, tầng chắn thường bị nứt nẻ nhiều dẫn đến rò rỉ CO₂ trong quá trình cất giữ lâu dài. Vì vậy, một số tác giả cho rằng việc nghiên cứu các thành tạo địa chất thích hợp cho cất giữ CO₂ nên tập trung vào các trầm tích trẻ ít chịu ảnh hưởng của các chu kỳ kiến tạo và biến chất khu vực [19].

I.3.3.1. Nghiên cứu tổng quan

Phạm vi nghiên cứu của đề tài bao gồm toàn bộ phần đất liền và thềm lục địa miền Bắc Việt Nam, từ vĩ tuyến 17°N đến hết phần biên giới phía bắc. Trên phạm vi nghiên cứu này, có nhiều đơn vị cấu trúc kiến tạo khác nhau có tuổi từ Proterozoi đến Kainozoi. Tuy nhiên, chúng tôi đã chọn ra 10 trũng trầm tích có tuổi từ Paleozoi muộn đến Kainozoi, gồm: Mường Tè, Điện Biên- Sơn La, Bắc Trung Bộ, Sông Đà, Tú Lệ, Sông Hiến, An Châu, Quảng

Ninh, Châu thổ Sông Hồng và Sông Hồng (ngoài khơi) để nghiên cứu tổng quan và xem xét xếp hạng mức độ thích hợp cất giữ địa chất CO₂. Ranh giới của các trũng được phân chia theo cách phân chia các đơn vị cấu trúc của Trần Văn Trị và nnk (2009) [11]. Đối tượng nghiên cứu là các hệ tầng trầm tích Mesozoi và Kainozoi (Hình 1.13).



Hình 1.13: Sơ đồ các trũng trầm tích và địa tầng Mesozoi- Kainozoi ở miền Bắc Việt Nam

1.3.3.2. Nghiên cứu chi tiết

Hai trũng trầm tích trẻ, bao gồm trũng Châu thổ Sông Hồng tuổi Kainozoi và trũng An Châu tuổi Mesozoi là các khu vực được lựa chọn để nghiên cứu chi tiết, khoan định và ước đoán khả năng cất giữ CO₂ của các thành tạo địa chất, với lý do:

- Các trũng này có bề dày trầm tích hàng ngàn mét, với các tầng trầm tích đa dạng nằm xen kẽ nhau, có thể đóng vai trò là những tầng chứa và tầng chắn.

- Tác động của các hoạt động tân kiến tạo yếu ớt hơn so với các khu vực khác, tránh việc phá vỡ các cấu trúc cất giữ và gây rò rỉ CO₂ trong quá trình cất giữ lâu dài.

- Đã và đang có nhiều dự án khoan thăm dò và khai thác than, dầu/ khí trên diện tích của trũng.

Chương II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

II.1 CÁCH TIẾP CẬN

II.1.1. Tiếp cận hệ thống, tổng hợp và liên ngành

Nghiên cứu cất giữ địa chất CO₂ cần được tiến hành theo trình tự từ nghiên cứu tổng quan đến nghiên cứu chi tiết ở các tỷ lệ lớn. Vì vậy, trong khuôn khổ đề tài này, chúng tôi đã tiến hành nghiên cứu ở qui mô lãnh thổ (miền Bắc Việt Nam) để đánh giá và xác định các trũng trầm tích thích hợp nhất cho cất giữ địa chất CO₂. Tiếp theo các trũng trầm tích này đã được tiến hành các nghiên cứu tỷ lệ lớn hơn nhằm đánh giá và khoanh định các diện tích thành tạo địa chất cụ thể (bể dầu khí, vỉa than sâu và tầng chứa lỗ rỗng) cho cất giữ địa chất CO₂, cũng như ước đoán khả năng cất giữ CO₂ lý thuyết của chúng.

Các công tác nghiên cứu chuyên đề cũng cần được tiến hành một cách hệ thống theo trình tự: thu nhận số liệu thực tế - xử lý - luận giải - số hóa. Các kết quả thu được sẽ được quản lý một cách có hệ thống bằng công nghệ GIS, đối sánh với các thông tin từ các công trình nghiên cứu khác trên thế giới để đảm bảo kết quả có chất lượng chuyên môn cao nhất.

Để đánh giá mức độ thích hợp và khả năng cất giữ địa chất CO₂ của một trũng trầm tích hay một khu vực đòi hỏi phải có một bộ cơ sở dữ liệu đầy đủ về các yếu tố về địa chất (trầm tích, địa tầng, thành phần vật chất, cấu trúc- kiến tạo, tân kiến tạo- tai biến địa chất) và kinh tế- xã hội (mức độ phát triển công nghiệp, nguồn thu hồi CO₂, mức độ cơ sở hạ tầng, v.v...). Nguồn số liệu này cần được tổng hợp từ nhiều ngành khác nhau như địa chất, năng lượng (dầu khí, than, điện, v.v.) và các ngành khoa học kinh tế- xã hội. Vì vậy, Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản đã phối hợp với các cơ quan liên quan để tiến hành các nghiên cứu này.

II.1.2. Tiếp cận kế thừa

Do đây là một lĩnh vực mới mẻ ở Việt Nam, các thành viên đề tài hầu như chưa có kinh nghiệm gì. Vì vậy, tập thể tác giả chủ trương kế thừa kiến thức và kinh nghiệm từ các nhà khoa học/các nước tiên tiến trên thế giới, thông qua thu thập các bài báo, tài liệu từ các dự án, sách và tạp chí quốc tế, và thông qua các hội nghị, hội thảo khoa học và trao đổi hợp tác khoa học với các nhà khoa học/ tổ chức khoa học đang nghiên cứu về vấn đề này để thành lập bộ tiêu chí và cơ sở khoa học cho việc đánh giá, phân loại và phân hạng các yếu tố địa chất liên quan đến khả năng cất giữ CO₂.

Ngoài ra, tập thể tác giả cũng nhận thức rằng miền Bắc Việt Nam đã được nghiên cứu khá kỹ về địa chất thông qua các đề tài/dự án nghiên cứu cơ bản, đo vẽ bản đồ địa chất và tìm kiếm, thăm dò khoáng sản. Vì vậy, để đảm bảo tính kế thừa cũng như tiết kiệm chi phí nghiên cứu, đề tài đã thu thập và sử dụng lại các kết quả này trong việc đánh giá tiềm năng cho đối tượng mới là “cất giữ địa chất CO₂”.

II.1.3. Tiếp cận chuyên gia

Đề tài đã sử dụng kinh nghiệm, kiến thức của đội ngũ chuyên gia địa chất Việt Nam trong các lĩnh vực trầm tích học, địa tầng, cấu trúc-kiến tạo, thành phần vật chất, tân kiến tạo, địa vật lý, khoan địa chất,...vv để điều tra, khảo sát và thành lập bộ cơ sở dữ liệu về các yếu tố địa chất liên quan này.

Ngoài ra, đề tài đã thông qua các hoạt động hợp tác quốc tế để tiếp cận các chuyên gia có kinh nghiệm trên thế giới, qua đó cập nhật và thu nhận những kiến thức và kinh nghiệm trong nghiên cứu cất giữ địa chất CO₂ từ các bài giảng hoặc thảo luận với các chuyên gia quốc tế này.

II.1.4. Tiếp cận điển hình, trọng tâm, trọng điểm

Đối với nghiên cứu tổng quan để đánh giá và phân bậc mức độ thích hợp cất giữ địa chất CO₂ của các trũng trầm tích trên lãnh thổ miền Bắc Việt Nam, các khu vực điển hình với đầy đủ các địa tầng trầm tích và có đặc điểm cấu trúc- kiến tạo giống như trũng trầm tích nghiên cứu đã được lựa chọn cho công tác khảo sát địa chất và lấy mẫu trên mặt.

Bên cạnh nghiên cứu tổng quan, đề tài tiến hành nghiên cứu chi tiết với các phương pháp đo trọng lực, đo địa chấn phản xạ và lấy mẫu lõi khoan, v.v... tại 2 trũng trầm tích triển vọng (Châu thổ Sông Hồng và An Châu) nhằm đánh giá và khoanh định các cấu trúc địa chất triển vọng cho cất giữ CO₂. Đây có thể được coi là cách tiếp cận điển hình, có trọng tâm, trọng điểm của đề tài.

II.2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

II.2.1. Các phương pháp nghiên cứu thực địa

II.2.1.1. Phương pháp khảo sát địa chất trên mặt

Các công tác khảo sát về trầm tích, địa tầng, thành phần vật chất, cấu trúc-kiến tạo, tân kiến tạo, tai biến địa chất v.v. được tiến hành tại các vết lộ trên mặt nhằm đánh giá về các đặc điểm địa chất của các hệ tầng và thành lập các sơ đồ, mặt cắt địa chất, cột địa tầng trầm tích dự đoán các cấu trúc địa chất sâu cho các trũng trầm tích ở miền Bắc Việt Nam.

Khảo sát trầm tích- địa tầng nhằm mục đích: 1) Đánh giá về mặt chất lượng cho cất giữ địa chất CO₂ của các phân vị địa tầng dựa trên các đặc điểm trầm tích (loại đá, độ hạt, độ lỗ rỗng, độ thấm, v.v.), đặc điểm địa tầng (bề dày, cấu tạo phân lớp, quan hệ địa tầng, v.v.); và 2) Phân định quy mô phân bố (theo chiều đứng và theo chiều ngang) của các thành tạo trầm tích có khả năng chứa CO₂ và các thành tạo trầm tích có khả năng chắn giữ CO₂.

Các nhiệm vụ khảo sát chủ yếu gồm: Nghiên cứu quan hệ địa chất giữa các thực thể trầm tích, trầm tích biến chất và các thực thể địa chất khác; Nghiên cứu cấu tạo phân lớp, phân tập của các phân vị địa tầng; Xác định thành phần trầm tích cụ thể cấu thành khối lượng của các phân vị địa tầng có mặt trên phạm vi nghiên cứu; Xác định mức độ nứt nẻ, vò nhàu, biến chất của các thực thể trầm tích do tác động của các hoạt động địa động lực; Xác định độ dày thực tế của từng tập, lớp và tổng độ dày của các phân vị địa tầng trong vùng nghiên cứu; Trên cơ sở các tiêu chí kỹ thuật ở trên, đánh giá các địa tầng trầm tích có khả năng chứa hay chắn CO₂.

Khảo sát cấu trúc - kiến tạo nhằm mục đích 1) Làm sáng tỏ đặc điểm cấu trúc địa chất chung của khu vực nghiên cứu; 2) Đánh giá và phân định các khu vực với mức độ uốn nếp và thế nằm chung khác nhau; và 3) Xác định đới phá hủy và mức độ kín của các đứt gãy.

Các nhiệm vụ nghiên cứu khảo sát bao gồm: Xác định thế nằm (đường phương, hướng cắm, độ dốc) của các thực thể địa chất; Dạng uốn nếp, mức độ uốn nếp, vò nhàu của các thực thể địa chất; Dạng đứt gãy, thế nằm (đường phương, hướng cắm, độ dốc) của mặt đứt gãy, độ mở và vật liệu lấp nhét, kích thước và mức độ của đới phá hủy đứt gãy; Trên cơ sở các tiêu chí kỹ thuật trên, dự báo sự phân bố dưới sâu của các tầng chứa/chắn và đánh giá khả năng cất giữ CO₂ của các cấu trúc địa chất.

Khảo sát thành phần vật chất nhằm mục đích làm sáng tỏ thành phần vật chất của các tầng chứa, tầng chắn cũng như các tầng đá bao quanh.

Các nhiệm vụ nghiên cứu khảo sát bao gồm: Xác định ranh giới giữa các tập đá có thành phần vật chất khác nhau; Lấy mẫu xác định thành phần vật chất (khoáng vật và hóa học) tầng chứa và chắn; Đánh giá các thực thể địa chất có thành phần vật chất thuận lợi cho cất giữ.

Khảo sát tân kiến tạo- tai biến địa chất nhằm mục đích đánh giá và khoanh định các khu vực chịu ảnh hưởng của hoạt động tân kiến tạo, qua đó đánh giá khả năng bền vững cho các cấu trúc cất giữ địa chất CO₂.

Các nhiệm vụ nghiên cứu khảo sát gồm: Xác định các dấu hiệu hoạt động của đứt gãy như: vách đá thẳng đứng, các điểm trượt lở, nứt đất do đứt gãy, các điểm xuất lộ nước khoáng nóng, biểu hiện núi lửa (họng núi lửa cổ) và động đất, sự có mặt các đá nguồn gốc tân kiến tạo, chuyển dịch sông, suối, bậc thềm, v.v....; Phân định đới ảnh hưởng của hoạt động tân kiến tạo.

Công tác khảo sát địa chất trên mặt đã được thực hiện tại 10 khu vực đại diện của các trũng trầm tích Mesozoi- Kainozoi với tổng diện tích 1.700 km². Khối lượng khảo sát gồm 3.742 km lộ trình, 2.002 điểm khảo sát, thi công 1.100 m³ vỉa lộ và lấy 665 mẫu các loại. Kết quả của công tác này đã thành lập các sơ đồ trầm tích- địa tầng, cấu trúc- kiến tạo, tân kiến tạo- tai biến địa chất cho 10 khu vực đại diện, và 13 mặt cắt ngang trũng, cột địa tầng tổng hợp của các trũng trầm tích.

II.2.1.2. Phương pháp khảo sát địa tầng và cấu trúc ẩn sâu

Trên cơ sở kết quả đánh giá từ công tác khảo sát địa chất trên mặt, các khu vực triển vọng ở các trũng nghiên cứu chi tiết (Châu thổ Sông Hồng và An Châu) được tiến hành khảo sát về phân bố địa tầng, cấu trúc- kiến tạo, đặc điểm tầng chứa/chấn dưới sâu bằng các phương pháp như khoan và đo địa vật lý (trọng lực và địa chấn phản xạ 2D).

Phương pháp khoan: Đề tài đã tiến hành hợp tác với Dự án “*Đánh giá tổng thể tài nguyên than bùn trũng Sông Hồng*” do Liên đoàn Intergeo- Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam chủ trì để tiến hành mô tả đặc điểm địa chất, lập cột địa tầng tổng hợp cho 3 lỗ khoan (LK 102, LK 104 và LK 105

với tổng chiều dài: 3.080 m), và lấy 65 mẫu phân tích các loại, v.v. đối với các thành tạo địa chất thuộc trũng Châu thổ Sông Hồng.

Phương pháp địa vật lý: Trong việc nghiên cứu cấu trúc và phân bố địa tầng ẩn sâu trong các khu vực triển vọng ở trũng An Châu, các công tác địa vật lý như đo trọng lực và đo địa chấn phản xạ đã được kết hợp cùng với nhau.

Công tác đo trọng lực tỷ lệ 1/100.000 được áp dụng trước để nghiên cứu cấu trúc móng, các đứt gãy và đới dập vỡ ẩn sâu trước khi tiến hành công tác đo địa chấn phản xạ 2D cho một mặt cắt triển vọng. Công tác này đã được tiến hành trên 3 khu vực được lựa chọn, với tổng diện tích: 500 km²; số điểm tựa trọng lực: 17 điểm; số điểm đo trọng lực: 589 điểm.

Công tác “Đo địa chấn phản xạ 2D” được thực hiện nhằm đánh giá phân bố địa tầng trầm tích ẩn sâu với độ phân giải cao (có thể phân biệt các tập/lớp đá của một địa tầng) tại một cấu trúc triển vọng cất giữ CO₂. Công tác này đã được thực hiện dọc theo 1 mặt cắt dài 4.034m vuông góc phương cấu trúc với khoảng cách giữa các điểm nổ mìn là 30m tại khu vực Sơn Động-Bắc Giang. Tổng số băng sóng thu được là 133 băng, trong đó 103 băng có chất lượng tốt được sử dụng cho luận giải số liệu.

II.2.2. Các phương pháp nghiên cứu trong phòng

II.2.2.1. Tổng hợp, phân tích, xử lý tài liệu hiện có

Lãnh thổ Miền Bắc Việt Nam về cơ bản đã được nghiên cứu khá kỹ về địa chất và khoáng sản thông qua các đề tài/dự án nghiên cứu địa chất cơ bản, đo vẽ bản đồ địa chất hay tìm kiếm, thăm dò dầu/khí và than. Vì vậy, số lượng lớn tài liệu đã được thu thập từ Viện KH Địa chất và Khoáng sản, Tổng cục Địa chất- Khoáng sản Việt Nam, Tổng Công ty Than- Khoáng sản Việt Nam và Tập đoàn Dầu khí quốc gia, v.v. Các thông tin về trầm tích (độ lỗ

rỗng, độ thấm, độ hạt, mức độ biến chất, vò nhàu và nứt nẻ của đá chứa/chấn, v.v.), địa tầng (chiều dày tầng chứa, chiều sâu phân bố tầng chứa, mối quan hệ giữa tầng chứa và tầng chấn, v.v.), cấu trúc- kiến tạo (cấu trúc địa chất, hoạt động đứt gãy, uốn nếp, v.v.), thành phần vật chất (khoáng vật, hóa học), tân kiến tạo (đứt gãy hoạt động/ không hoạt động) và tai biến địa chất (động đất, đứt gãy, sụt lún khu vực) của các trũng trầm tích, cũng như các khu vực nghiên cứu khảo sát của đề tài đã được tổng hợp và xử lý. Ngoài ra, các thông tin kinh tế- xã hội (mức độ phát triển công nghiệp, nguồn phát thải CO₂, mật độ dân cư, khu bảo tồn thiên nhiên, khu quân sự, v.v.) còn được thu thập từ Viện NC Quản lý Kinh tế Trung Ương và từ internet. Trên cơ sở đó, đề tài đã có được bộ cơ sở dữ liệu sơ bộ về các yếu tố địa chất và kinh tế- xã hội liên quan đến cất giữ địa chất của CO₂ của các trũng trầm tích và các khu vực nghiên cứu khảo sát.

II.2.2.2. Phân tích mẫu

Các mẫu đá trầm tích được thu nhận từ công tác khảo sát địa chất trên mặt và các lỗ khoan đã được tiến hành các phân tích khác nhau nhằm đánh giá về khả năng chứa, thấm CO₂ và thành phần vật chất (khoáng vật và hóa học) của các địa tầng địa chất.

Phân tích thạch học lát mỏng: Các mẫu thạch học lát mỏng được lấy từ các đá chứa (cát kết, sạn kết, đá vôi), nhằm xác định thành phần thạch học của tầng chứa. Ngoài ra, độ lỗ rỗng theo diện còn được tính toán. Số lượng mẫu phân tích: 95 mẫu.

Phân tích độ hạt trầm tích dưới kính hiển vi: Các mẫu được lấy từ các tầng đá hạt thô, nhằm xác định thành phần cơ giới của tầng chứa. Số lượng mẫu phân tích: 50 mẫu.

Phân tích thành phần khoáng vật (Ronghen): Mẫu được lấy từ các đá chắn như sét kết, sét than, phiến sét, sét vôi, v.v... nhằm xác định thành phần khoáng vật sét của tầng chắn. Số lượng mẫu phân tích: 50 mẫu.

Phân tích hóa học silicat (Silicat 10 chỉ tiêu): Mẫu được lấy từ các đá chứa và chắn tiềm năng, nhằm xác định thành phần hóa học của các đá chứa và chắn. Số lượng mẫu phân tích: 50 mẫu.

Phân tích cơ lý đá toàn diện: Mẫu cơ lý đá được lấy cho các tầng chứa tiềm năng, nhằm xác định độ lỗ rỗng theo thể tích, độ thấm và các chỉ tiêu cơ lý khác (độ ẩm, khối lượng riêng, độ kháng nén, v.v...). Số lượng mẫu phân tích: 52 mẫu.

II.2.2.3. Phân tích ảnh vệ tinh

Công tác phân tích ảnh viễn thám đã được tiến hành cho 10 khu vực khảo sát địa chất trên mặt của đề tài với tổng diện tích 1.700 km². Công tác này nhằm phân tích và đánh giá về các yếu tố địa chất phục vụ cho công tác khảo sát thực địa. Nguồn ảnh viễn thám là ảnh Landsat7 TM, được bay chụp từ năm 2000 cho đến 2010. Các yếu tố được phân tích bao gồm:

- + Về cấu trúc-kiến tạo: các cấu trúc vòng, dạng tuyến, nếp lồi, nếp lõm, mức độ biến dạng địa tầng (mức độ thay đổi thể nằm đá), các đứt gãy và đới phá hủy, v.v...
- + Về thành phần vật chất: sự phân bố của các đá carbonat, lục nguyên hạt mịn, lục nguyên hạt thô, magma, v.v...
- + Về tân kiến tạo: sụt lún đất, chuyển hướng sông suối, chênh lệch độ cao bậc thềm sông, v.v...

II.2.2.4. Mô hình mô phỏng

Các mặt cắt và cột địa tầng ngang các trũng nghiên cứu chi tiết (trũng Châu thổ Sông Hồng và trũng An Châu) được thành lập từ các công tác khảo sát địa chất trên mặt và địa chất sâu (khoan và địa vật lý) đã được sử dụng như các số liệu đầu vào và áp dụng các module phần mềm ArcGIS version 10.0 để xây dựng các bản đồ đẳng sâu đáy/nóc và đẳng dày của các phân vị địa tầng tiềm năng chứa/chấn CO₂. Ngoài ra, sự phân bố các đặc tính vỉa chứa (độ lỗ rỗng, độ thấm, độ bão hòa nước, độ bão hòa khí), hành vi của CO₂ trong cấu trúc địa chất, và những thay đổi về áp suất và độ bão hòa CO₂ trong quá trình cất giữ ở mỏ khí Tiền Hải C- Thái Bình đã được mô hình bằng các phần mềm chuyên dụng của ngành dầu khí.

II.2.2.5. Ứng dụng công nghệ GIS và công nghệ thông tin xây dựng cơ sở dữ liệu

Bộ cơ sở dữ liệu của đề tài được thành lập dưới dạng các lớp thông tin (yếu tố thành phần) về trầm tích, địa tầng, thành phần vật chất, cấu trúc-kiến tạo, tân kiến tạo, tai biến địa chất, điều kiện kinh tế- xã hội, v.v. Các yếu tố này được phân loại và đánh giá theo các mức độ thích hợp khác nhau cho cất giữ địa chất CO₂ dựa trên các tiêu chuẩn/cơ sở khoa học thành lập từ văn liệu thế giới. Trên cơ sở chồng ghép và gán trọng số cho các lớp thông tin này, việc phân bậc mức độ thích hợp cất giữ CO₂ như: rất thích hợp, thích hợp và kém thích hợp, v.v... được thực hiện. Bộ cơ sở dữ liệu này được xây dựng và thống nhất bằng các phần mềm ArcGIS, Mapinfo, Excel, v.v...

II.3. XÂY DỰNG TIÊU CHÍ ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG CẮT GIỮ ĐỊA CHẤT CO₂

II.3.1. Phương pháp và tiêu chuẩn đánh giá mức độ thích hợp cắt giữ CO₂ của một trũng trầm tích

Bước đầu tiên trong đánh giá tiềm năng cắt giữ CO₂ tỷ lệ quốc gia/lãnh thổ là phân bậc mức độ thích hợp của các trũng trầm tích và nhận dạng các trũng trầm tích thích hợp nhất cho cắt giữ địa chất CO₂ [19]. Một loạt các tiêu chuẩn đánh giá đã được phát triển và có thể phân nhóm như sau:

- Các tiêu chuẩn địa chất gồm các tiêu chuẩn về kiến tạo, tân kiến tạo, trầm tích và địa tầng, điều kiện địa nhiệt và thủy động lực. Đây là các tiêu chuẩn “cứng” bởi vì chúng phải được sử dụng trong các hệ thống đánh giá của các quốc gia khác nhau.

- Các tiêu chuẩn về tài nguyên trữ (hydrocarbon, than và muối), mức độ trưởng thành của hoạt động thăm dò, khai thác và cơ sở hạ tầng, v.v.... Đây được xem là các tiêu chuẩn “bán cứng” hay “bán mềm” bởi vì chúng có thể thay đổi cùng với những phát hiện mới, tiến bộ khoa học kỹ thuật và mức độ phát triển kinh tế của từng quốc gia.

- Các tiêu chuẩn xã hội như: loại hệ thống chính trị, sự ổn định chính trị, giáo dục và thái độ cộng đồng, v.v.... Đây là các tiêu chuẩn mềm bởi vì chúng phụ thuộc vào tính đặc thù của từng quốc gia, vì vậy có thể hoặc không áp dụng trong các hệ thống đánh giá.

Có nhiều phương pháp khác nhau để đánh giá mức độ thích hợp của trũng trầm tích, tuy nhiên trong nghiên cứu này, chúng tôi đã áp dụng phương pháp được giới thiệu bởi CCOP và một số tác giả khác [18], [22].

II.3.1.1. Lựa chọn các tiêu chuẩn đánh giá

Các tiêu chuẩn trình chiếu trong việc xếp hạng mức độ thích hợp cất giữ CO₂ của các trũng trầm tích tại tỷ lệ quốc gia/lãnh thổ thường được xác lập dựa vào điều kiện đặc thù của mỗi quốc gia. Bảng 2.1 thể hiện 17 tiêu chuẩn đánh giá khác nhau được áp dụng trong nghiên cứu này. Trong mỗi tiêu chuẩn, 3 đến 5 hạng được xác định với mức độ từ kém thích hợp đến thích hợp nhất cho cất giữ CO₂. Việc nhận dạng các hạng như sau:

Tân kiến tạo (hoạt động địa chấn): Các trũng nằm ở các khu vực hoạt động tân kiến tạo mạnh có thể kém thích hợp cho cất giữ địa chất của CO₂. Các hoạt động núi lửa, đứt gãy và động đất có thể phá vỡ các cấu trúc cất giữ CO₂ và gây ra các thảm họa môi trường, vì CO₂ có thể thoát ra lại tới khí quyển với khối lượng lớn dọc theo đứt gãy và khe nứt mở. Trên lãnh thổ miền Bắc Việt Nam, tai biến địa chất đáng lo ngại nhất là động đất, vì vậy tiêu chuẩn này được chia thành 4 hạng dựa trên cường độ động đất dọc theo các đứt gãy hoạt động trong phạm vi trũng trầm tích: Rất mạnh (>6 độ Richter); Mạnh (5,5-6,0 độ Richter); Trung bình (5,0-5,5 độ Richter); Thấp (<5,0 độ Richter).

Kích thước trũng: Diện tích của trũng trầm tích ảnh hưởng đến qui mô phân bố của các tầng chứa và chắn, từ đây sẽ ảnh hưởng đến thể tích có thể cho cất giữ địa chất CO₂. Dựa vào diện tích của trũng, tiêu chuẩn này được chia thành 4 hạng: Nhỏ (<5.000km²); Trung bình (5.000-25.000 km²); Lớn (25.000-50.000 km²); Rất lớn (>50.000 km²).

Độ sâu trũng trầm tích: Độ sâu một trũng trầm tích sẽ quyết định đến việc lựa chọn độ sâu của thành tạo cất giữ, từ đây sẽ ảnh hưởng đến giá thành cho việc khoan và nén CO₂. Độ sâu thành tạo cất giữ hiệu quả nhất về mặt kinh tế cho công nghệ khoan và nén CO₂ hiện nay là từ 800 đến 2.500m. Độ sâu một trũng trầm tích có thể tính bằng tổng chiều dày của tất cả các hệ tầng

trầm tích tính từ thời gian trũng bắt đầu hình thành. Tiêu chuẩn này được chia thành 3 hạng: Nông (<1.500 m); Sâu (>3.500m); Trung bình (1.500-3.500m).

Bảng 2.1. Bộ tiêu chuẩn để đánh giá mức độ thích hợp cất giữ địa chất CO₂ của các trũng trầm tích

TT	Tiêu chuẩn	Hạng				
		1	2	3	4	5
1	Tân kiến tạo (hoạt động địa chấn)	Rất mạnh	Mạnh	Trung bình	Yếu	
2	Kích thước trũng	Nhỏ	Trung bình	Lớn	Rất lớn	
3	Độ sâu trũng trầm tích	Nông	Sâu	Trung bình		
4	Môi trường trầm tích	Không phải biển	Cả biển và không biển	Biển		
5	Mật độ đứt gãy	Dày đặc	Trung bình	Thưa		
6	Địa chất thủy văn	Nghèo	Trung bình	Tốt		
7	Địa nhiệt	Trũng nóng	Trũng ấm vừa	Trũng lạnh		
8	Tiềm năng hydrocarbon	Không có	Ít	Vừa phải		
9	Mức độ các hoạt động thăm dò và khai thác hydrocarbon	Chưa thăm dò	Đã thăm dò	Sắp khai thác	Đang khai thác	Đã khai thác từ lâu
10	Tiềm năng than và khí than	Không	Nông	Sâu		
11	Tầng chứa	Không	Kém	Trung bình	Tốt	
12	Tầng chắn	Không	Kém	Trung bình	Tốt	
13	Ghép cặp chứa/chắn	Không	Kém	Trung bình	Tốt	
14	Vị trí trũng (trên đất liền/ ngoài khơi)	Ngoài khơi sâu	Ngoài khơi nông	Trên đất liền		
15	Cơ sở hạ tầng	Kém	Trung bình	Tốt		
16	Nguồn CO ₂	Không	Ít	Nhiều		
17	Sự sẵn có số liệu	Nghèo	Trung bình	Giàu		

Môi trường trầm tích: Môi trường trầm tích quyết định đến qui mô phân bố của tầng chứa và tầng chắn. Các trầm tích có nguồn gốc biển thường có qui mô phân bố rộng trong khi các trầm tích nguồn gốc lục địa thường nhỏ

hẹp địa phương. Tiêu chuẩn này được chia thành 3 hạng: Không phải biển (gồm các tướng lục địa hoặc vũng, vịnh); Cả biển và không biển (có mặt cả nguồn gốc biển và lục địa, vũng, vịnh); Biển (gồm các tướng biển nông, biển sâu, v.v...).

Mật độ đứt gãy: Các đứt gãy sâu và mở sở hữu nguy cơ rò rỉ của CO₂ trong quá trình cất giữ lâu dài. Vì vậy, các trũng trầm tích với mật độ đứt gãy dày sẽ khó khăn trong việc lựa chọn khu vực/cấu trúc cất giữ. Dựa vào mật độ đứt gãy, tiêu chuẩn này được chia thành 3 hạng: Dày đặc (>0,4 km/km²); Trung bình (0,2 - 0,4 km/km²); Thưa (<0,2 km/km²).

Địa chất thủy văn: Hiệu quả và mức độ an toàn của việc cất giữ CO₂ phụ thuộc vào cơ chế và qui mô dòng chảy của chất lỏng trong tầng chứa. Sau khi được bơm xuống tầng chứa, CO₂ sẽ tồn tại ở dạng tàn dư trong các lỗ rỗng hoặc khoảng không bên dưới tầng chắn, sau đó CO₂ di chuyển cùng dòng nước ngầm và dần dần hòa tan vào nước ngầm hoặc tạo khoáng chất carbonat (những dạng kém linh động của CO₂). Những quá trình này đòi hỏi CO₂ phải cư trú thời gian dài trong tầng nước ngầm sâu, không bị thoát lên trên vào các tầng nước sinh hoạt hay tới mặt đất. Các trũng với các dòng chảy ngầm chậm và dài là thuận lợi cho quá trình hòa tan và tạo khoáng của CO₂ trong tầng chứa, tạo hiệu quả và an toàn cho quá trình cất giữ CO₂. Dựa vào loại và qui mô dòng nước ngầm, tiêu chuẩn này được chia thành 3 hạng: Nghèo (chủ yếu nước khe nứt, dòng ngắn); Trung bình (chủ yếu nước khe nứt, dòng chảy dài vừa phải); Tốt (Hệ thống dòng chảy dài, khu vực, dòng chảy theo địa hình).

Địa nhiệt: Chế độ địa nhiệt của một trũng sẽ quyết định việc lựa chọn độ sâu tối ưu cho cất giữ CO₂ trong trũng trầm tích. Độ sâu cất giữ thường được lựa chọn sao cho tỷ trọng CO₂ là tối đa (liên quan đến giá thành cho khoan, ép nén và bơm CO₂). Cho các trũng nóng, sự cất giữ CO₂ tại độ sâu nông là không an toàn bởi vì lực nổi CO₂ rất cao. Tốt nhất, CO₂ được cất giữ

trong các trũng lạnh (độ sâu cất giữ lớn). Chế độ địa nhiệt của trũng phụ thuộc vào sự có mặt của nguồn magma và các đứt gãy hoạt động. Trong điều kiện gradient địa nhiệt chưa được đánh giá đầy đủ ở miền bắc Việt Nam, việc xác định chế độ địa nhiệt của trũng dựa vào mật độ các điểm xuất lộ địa nhiệt và magma. Tiêu chuẩn này được chia thành 3 hạng: Trũng nóng (tập trung nhiều nguồn magma xâm nhập và các điểm xuất lộ địa nhiệt); Trũng ấm vừa (tập trung một vài nguồn magma và điểm xuất lộ địa nhiệt); Trũng lạnh (hầu như không có các nguồn magma và điểm xuất lộ địa nhiệt).

Tiềm năng hydrocarbon: Việc nhận dạng các bể dầu và khí đã biết trong trũng là cần thiết để xác định một cách định tính khả năng cho cất giữ CO₂ trong các bể dầu và khí cạn kiệt hay cho việc sử dụng và cất giữ CO₂ trong các hoạt động tăng cường thu hồi dầu và khí (EOR và EGR). Tiêu chuẩn này được chia thành 3 hạng: Không; Ít; Lớn.

Mức độ các hoạt động thăm dò và khai thác hydrocarbon: Mức độ các hoạt động thăm dò và khai thác dầu/khí cần được xem xét lúc xếp hạng mức độ thích hợp cất giữ địa chất CO₂ của trũng trầm tích. Trong các trũng chưa thăm dò, hầu hết các bể chứa dầu/khí vẫn chưa được phát hiện, nên có nguy cơ nhiễm bẩn các bể dầu/khí này khi cất giữ CO₂. Ngoài ra, các trũng này không có các bể chứa dầu/khí cạn kiệt và điều kiện địa chất và địa chất thủy văn vẫn chưa được hiểu kỹ. Ngược lại, trong các trũng đã và đang khai thác, điều kiện địa chất, địa chất thủy văn và chế độ địa nhiệt của trũng được biết rõ. Cộng thêm, cơ sở hạ tầng (đường tiếp cận, đường ống và lỗ khoan) đã sẵn có giúp tiết giảm chi phí cất giữ. Đối với tiêu chuẩn này có thể chia ra 5 hạng: Chưa thăm dò; Đã thăm dò; Sắp khai thác; Đang khai thác; Đã khai thác từ lâu.

Tiềm năng than và khí than: Tương tự, việc nhận dạng các vỉa than dưới dạng độ sâu, chiều dày, hàm lượng khí, độ thấm, v.v... là cần thiết để xác

định khả năng cho cất giữ CO₂ trong các vỉa than và tiềm năng sử dụng CO₂ để thu hồi khí methan như là năng lượng sạch hơn. Tiêu chuẩn này được chia thành 3 hạng: Không; Có các vỉa than và than chứa khí nằm nông (200-800m); Có các vỉa than và than chứa khí nằm sâu (>800m).

Tầng chứa: Tiêu chuẩn tầng chứa là một điều kiện tiên quyết cho cất giữ địa chất CO₂. Các tầng chứa là cát kết, sạn kết hoặc đá vôi, phân bố ở độ sâu 800 đến 3000m và nói chung có chiều dày net >50m, có độ lỗ rỗng và khả năng thấm thấu đầy đủ cho việc bơm và chứa CO₂. Dựa vào độ lỗ rỗng trung bình của tầng chứa, tiêu chuẩn này được chia thành 4 hạng: Không; Kém (<10%); Trung bình (10-20%); Tốt (>20%).

Tầng chắn: Tầng chắn cũng là một tiêu chuẩn quan trọng cho đánh giá khả năng cất giữ CO₂ của trũng trầm tích. Các tầng chắn thường là đá phiến sét, sét kết, sét than, sét vôi, v.v... phân bố rộng lớn để đảm bảo rằng CO₂ không thoát tới các tầng nước ngọt nằm trên và cuối cùng tới mặt đất. Các tầng chắn được xem là có chất lượng tốt khi: có nhiều hơn 1 lớp chắn, có bề dày net >100m, không bị đứt gãy cắt qua, không bị nứt nẻ nhiều; Các tầng chắn được xem là chất lượng kém là: chỉ có 1 lớp chắn, bề dày net <50m, thành phần là bột kết hoặc giàu bột, bị nhiều đứt gãy lớn xuyên qua [29]. Tiêu chuẩn này được chia thành 4 hạng: Không; Kém (Chỉ có 1 lớp chắn bề dày net <100m); Trung bình (Có 1 lớp chắn bề dày net >100m); Tốt (Có nhiều lớp chắn, bề dày net >100m).

Ghép cặp chứa/chắn: Đối với tiêu chuẩn này, các tác giả trên thế giới cho rằng nhiều cặp chứa/chắn thì tốt hơn là chỉ có 1 cặp chứa/chắn. Tiêu chuẩn này được chia thành 4 hạng: Không có; Kém (Tầng chứa được phủ bởi một lớp chắn, tuy nhiên không đều, đôi chỗ không được phủ); Trung bình (Có 1 cặp chứa/chắn và tầng chứa được phủ bởi một tầng chắn rộng lớn); Tốt (Có

nhiều cặp chứa/chấn và các tầng chứa được phủ tốt bởi các tầng chắn rộng lớn).

Vị trí trữ: Vị trí trên đất liền hay ngoài khơi của một trữ trảm tích liên quan đến giá thành cho cất giữ CO₂ bởi vì nó quyết định tới khả năng tiếp cận và cơ sở hạ tầng bắt chấp mức độ thăm dò. Trong trường hợp các trữ ngoài khơi, việc phát triển cơ sở hạ tầng cần thiết cho việc bơm CO₂ trong các thành tạo địa chất là rất đắt đỏ. Tiêu chuẩn này được chia thành 3 hạng: Ngoài khơi sâu (độ sâu >200m); Ngoài khơi nông (độ sâu <200m); Trên đất liền.

Cơ sở hạ tầng: Cơ sở hạ tầng của khu vực sẽ ảnh hưởng đến việc phát triển các phương tiện và cơ sở hạ tầng cho cất giữ địa chất CO₂ như đường tiếp cận, đường ống dẫn, các lỗ khoan bơm, cơ sở vận hành v.v.... Sự tồn tại trước của cơ sở hạ tầng cho việc vận chuyển CO₂ hay ít nhất là cơ sở để phát triển, có thể tạo nên sự khác nhau đáng kể dưới dạng giá thành cất giữ. Đối với tiêu chuẩn này có thể được chia thành 3 hạng: Kém; Trung bình; Tốt.

Nguồn CO₂: Sự phát thải CO₂ cần được xác định dưới dạng phân bố, loại, vị trí, nguồn và độ lớn. Về mặt kinh tế, nếu CO₂ được sản sinh từ các nguồn điểm lớn như nhà máy nhiệt điện, xi măng, thép, gạch ngói, v.v..., việc thu hồi sẽ dễ dàng và hiệu quả. Ngược lại, nếu CO₂ được phát thải bởi nhiều nguồn nhỏ, việc thu hồi và tập hợp sẽ khó khăn và đắt đỏ. Nếu CO₂ phải vận chuyển từ các nguồn xa xôi sẽ dẫn đến giá thành cao cho việc xây dựng các đường ống dẫn hoặc giá thành vận chuyển cao. Đối với tiêu chuẩn này có thể chia thành 3 hạng: Không; Ít; Nhiều.

Sự sẵn có số liệu: Mức độ sẵn có số liệu nghiên cứu địa chất sâu (khoan, địa vật lý, v.v...) có thể giúp tiết kiệm việc đầu tư nghiên cứu từ đầu, cũng như tăng độ tin cậy trong đánh giá tiềm năng cất giữ CO₂ của trữ trảm tích. Đối với tiêu chuẩn này có thể chia thành 3 hạng: Nghèo; Trung bình; Giàu.

II.3.1.2. Gán trọng số và tính điểm cho các trứng trầm tích

Đối với mỗi tiêu chuẩn i ($i= 1, \dots, 17$) trong Bảng 2.1 để đánh giá khả năng thích hợp của trứng, một hàm số tăng dần F_i là được thiết kế, mà nó có thể là liên tục hay riêng biệt, để mô tả giá trị cho hạng j của tiêu chuẩn đó. Giá trị thấp nhất và cao nhất của hàm này đặc trưng cho hạng kém thích hợp nhất và thích hợp nhất của tiêu chuẩn i , tức là $F_{i,1} = \min(F_i)$ và $F_{i,n} = \max(F_i)$, trong đó n là số lượng hạng ($n=3, 4$, hay 5). Nếu mức độ quan trọng tăng với sự tăng của hạng, thì một hàm mũ là tốt hơn. Bảng 2.2 trình bày những giá trị số được thiết kế đối với các hạng khác nhau cho các tiêu chuẩn trong Bảng 2.1.

Lúc trứng trầm tích k được đánh giá dưới dạng độ thích hợp chung của nó cho cất giữ CO_2 , các hạng j cho mỗi tiêu chuẩn i là được nhận dạng đưa đến một giá trị điểm tương ứng. Bởi vì hàm F_i có các khoảng giá trị khác nhau cho mỗi tiêu chuẩn làm cho việc so sánh và vận dụng trở nên khó khăn, vì vậy các giá trị điểm đơn lẻ là được trung hòa như sau:

$$P_i^k = (F_{i,j} - F_{i,1}) / (F_{i,n} - F_{i,1})$$

để $P_i=0$ cho hạng kém nhất và $P_i=1$ cho hạng tốt nhất đối với tất cả các tiêu chuẩn $i=1, \dots, 17$. Như vậy, mỗi trứng trầm tích k là đều được đánh giá bởi 17 giá trị điểm riêng P_i^k .

Kết quả của việc thông số hóa và trung hòa sẽ chuyển hóa các đặc trưng trứng khác nhau (có các ý nghĩa và sự quan trọng khác nhau) tới các biến số vô hướng trong khoảng giữa 0 và 1. Các giá trị này sau đó được làm tổng để sản sinh ra một giá trị điểm chung R^k sử dụng trong việc xếp hạng trứng:

$$R^k = \sum_{i=1}^{17} w_i P_i^k$$

trong đó, w_i là các trọng số thể hiện mức độ quan trọng của tiêu chuẩn. Giá trị w_i phụ thuộc vào đánh giá của các chuyên gia và thỏa mãn điều kiện: $\sum_{i=1}^{17} w_i = 1$. Các trọng số w_i thiết kế trong nghiên cứu này được thể hiện trong

Bảng 2.2. Các tiêu chuẩn như hoạt động địa chấn, mật độ đứt gãy, tầng chứa, tầng chắn, nguồn CO₂ được xem là rất quan trọng, quyết định mức độ thích hợp cho cất giữ CO₂ của trũng trầm tích. Vì vậy, giá trị w_i cho các tiêu chuẩn đó được thiết kế là 0,10, trong khi các tiêu chuẩn ít quan trọng hơn được thiết kế các giá trị 0,05 và 0,04 để phân biệt mức độ cần thiết của các tiêu chuẩn trong đánh giá và xếp hạng mức độ thích hợp cất giữ CO₂ của một trũng trầm tích.

Bảng 2.2. Điểm và trọng số thiết kế đối với các hạng và tiêu chuẩn để xếp hạng mức độ thích hợp cất giữ địa chất CO₂ của trũng trầm tích

TT	Tiêu chuẩn	Điểm					Trọng số
		j=1	j=2	j=3	j=4	j=5	
i=1	Tân kiến tạo (hoạt động địa chấn)	1	2	3	4		0,10
i=2	Kích thước trũng	1	2	3	4		0,05
i=3	Độ sâu trũng trầm tích	1	2	3			0,05
i=4	Môi trường trầm tích	1	2	3			0,04
i=5	Mật độ đứt gãy	1	2	3			0,10
i=6	Địa chất thủy văn	1	2	3			0,04
i=7	Địa nhiệt	1	2	3			0,04
i=8	Tiềm năng hydrocarbon	1	2	3			0,04
i=9	Mức độ các hoạt động thăm dò và khai thác hydrocarbon	1	2	3	4	5	0,04
i=10	Tiềm năng than và khí than	1	2	3			0,04
i=11	Tầng chứa	1	2	4	8		0,10
i=12	Tầng chắn	1	2	3	4		0,10
i=13	Ghép cặp chứa/chắn	1	2	3	4		0,04
i=14	Vị trí trũng (trên đất liền/ ngoài khơi)	1	2	3			0,04
i=15	Cơ sở hạ tầng	1	2	3			0,04
i=16	Nguồn CO ₂	1	2	3			0,10
i=17	Sự sẵn có số liệu	1	2	3			0,04

Như vậy, một giá trị điểm phân bậc chung sẽ mang cả 17 tiêu chuẩn vào xem xét để nhận được một giá trị định lượng cho mức độ thích hợp cất giữ CO₂ của một trũng trầm tích.

II.3.2. Khoanh định và ước đoán khả năng cất giữ CO₂ của các thành tạo địa chất

Như một bước tiếp theo trong nghiên cứu Cất giữ địa chất CO₂, tiềm năng của một trữ lượng tích cần được đánh giá chi tiết và các thành tạo địa chất cụ thể (bể dầu/khí cạn kiệt, vỉa than sâu không thể khai thác hay tầng lỗ rỗng nằm sâu, v.v...) cần được khoanh định và ước đoán khả năng cất giữ CO₂.

Một loạt các tiêu chuẩn để đánh giá sự thích hợp cho cất giữ địa chất CO₂ đã được phát triển cho các thành tạo địa chất khác nhau dựa trên đặc thù riêng của thành tạo.

II.3.2.1. Các bể khí

Các tiêu chí đánh giá:

Trước tiên, để đánh giá khả năng cất giữ địa chất CO₂ của các bể chứa dầu và khí, tiêu chuẩn độ sâu của bể chứa cần phải được xem xét. Sự cất giữ ở độ sâu nhỏ hơn hoặc xấp xỉ 800 m là có thể, tuy nhiên, hiệu quả cất giữ CO₂ thấp do CO₂ chỉ ở dạng khí với tỷ trọng rất nhỏ. Ngược lại, các bể chứa khí nằm sâu trên 800m có thể cất giữ lượng lớn CO₂ và an toàn hơn vì ở đây với điều kiện nhiệt độ và áp suất cao, CO₂ sẽ ở trạng thái siêu tới hạn hay dạng lỏng với tỷ trọng cao.

Ngoài ra, một số tiêu chuẩn khác cần được xem xét thêm, đó là:

— Đối với các bể chứa nằm ngang, không có dòng chảy của nước tự nhiên, các khe nứt lấp đầy khí và nước, độ dày và độ thấm không phải là yếu tố quyết định. Ngược lại, đối với các bể chứa tương đối mỏng (bề dày <20 m) với độ dốc bể chứa cao, thành phần đồng nhất thì độ thấm thẳng đứng của đá chứa phải thấp để tránh sự di chuyển của CO₂ qua tầng chắn.

— Sự đồng nhất của bể chứa có thể ảnh hưởng đến hiệu quả cất giữ CO₂. Tỷ trọng khác nhau giữa CO₂ và chất lỏng trong bể chứa sẽ dẫn đến sự di chuyển của CO₂ dọc theo mặt trên của bể chứa, đặc biệt, nếu như bể chứa có sự đồng nhất và có độ thấm cao sẽ ảnh hưởng không tốt đối với sự cất giữ CO₂. Do vậy, sự hỗn tạp của bể chứa làm giảm tốc độ dâng lên của CO₂ đến đỉnh của bể chứa và khiến nó trải đều ra, làm gia tăng diện tích xâm chiếm của CO₂ và vì vậy, tiềm năng cất giữ CO₂ sẽ lớn hơn.

Ước đoán khả năng cất giữ CO₂:

Trong trường hợp các bể khí, giả thiết cơ bản là thể tích được các khí hydrocarbon chiếm giữ trước đây sau khi khai thác sẽ trở thành nơi thích hợp cho cất giữ CO₂. Nhìn chung, giả thiết này rất khả quan trong trường hợp các bể chứa không có sự liên thông thủy động lực với một tầng chứa nước hay không bị ngập nước trong các quá trình khai thác. Trong các bể chứa có sự liên thông thủy lực với tầng nước nằm dưới, do quá trình khai thác nước sẽ xâm chiếm bể chứa do áp suất giảm, dẫn tới sự sụt giảm khoảng không lỗ rỗng sẵn có cho cất giữ CO₂. Quá trình bơm CO₂ có thể đẩy nước phần nào trở lại tầng chứa của nó, nhờ vậy sẽ tạo thêm khoảng không cho việc cất giữ CO₂. Tuy nhiên, về lý thuyết, khả năng cất giữ CO₂ sẽ được tính toán trên cơ sở thể tích ban đầu của hydrocarbon tại bể chứa như sau [26], [41]:

$$M_{CO_2} = \rho_{CO_2r} \times IGIP \times B \quad (1.1)$$

Trong đó:

- M_{CO_2} là khả năng cất giữ CO₂ lý thuyết (Mtấn CO₂);
- IGIP: thể tích khí ban đầu tại điều kiện tiêu chuẩn (triệu m³ stp)
- B là hệ số thể tích thành tạo mà nó chuyển đổi thể tích khí từ điều kiện tiêu chuẩn tới điều kiện tại chỗ;

- ρ_{CO_2r} là tỷ trọng CO_2 tại điều kiện bề chứa (đối với độ sâu từ 800 đến 2500m: $\rho_{\text{CO}_2r} = 0,5-0,9$, TB: $0,7 \text{ tấn/m}^3$).

II.3.2.2. Các vỉa than không thể khai thác

Các tiêu chí đánh giá:

Để đánh giá một vỉa than có thích hợp cho cất giữ CO_2 kết hợp thu hồi khí methan trong than (CO_2 -ECBM) hay không, các tiêu chí sau cần được xem xét:

- Độ sâu vỉa than: Để xác định một vỉa than là “có thể khai thác” hay “không thể khai thác” là rất khó khăn. Hầu hết các nước đánh giá các vỉa than “không thể khai thác” để sử dụng cho CO_2 -ECBM trên cơ sở độ sâu vỉa than. Hiện nay, các vỉa than đang được khai thác ở độ sâu dưới 400m, tuy nhiên đã có một vài dự án khai thác than thử nghiệm đến độ sâu 1.000m [21]. Độ sâu tối ưu của vỉa than cho CO_2 -ECBM là dưới 1.500m, đôi khi đến 2.000m, bởi vì tại độ sâu lớn than gần như không còn khả năng thẩm thấu CO_2 . Vì vậy, trong điều kiện Việt Nam, để đảm bảo trong tương lai các vỉa than tiềm năng cho CO_2 -ECBM sẽ không được khai thác, tiêu chuẩn độ sâu để đánh giá cho các vỉa than cho CO_2 -ECBM là 1.000- 1.500m.

- Phân bậc của than hay nhân than cũng là yếu tố quan trọng để đánh giá khả năng của các vỉa than cho CO_2 -ECBM. Phân bậc của than có vai trò quan trọng do sự phụ thuộc của bậc than với khả năng hấp phụ methan và CO_2 . Tỷ số thể tích khí có thể hấp phụ CO_2 : CH_4 thay đổi từ 1 cho than anthracit đến 10 hay lớn hơn cho than lignit, vì vậy các loại than non như bitum và lignit là thích hợp hơn cho CO_2 -ECBM.

- Các vỉa than cần có độ bão hòa khí cao (trong đó khí methan chiếm chủ yếu). Các vỉa than như vậy mới có triển vọng cho việc thu hồi sản phẩm

khí methan, bởi vì việc cất giữ CO₂ nếu không kèm với thu hồi sản phẩm khí methan thì sẽ không còn là đối tượng hấp dẫn về mặt kinh tế.

- Các vỉa than cần có qui mô (trữ lượng) lớn để có đủ khả năng cất giữ một khối lượng lớn CO₂.

Ngoài ra, các tiêu chuẩn sau cũng cần được xem xét:

- Độ thấm: Độ thấm của than là một yếu tố quyết định đến khả năng của một vỉa than sử dụng cất giữ CO₂. Độ thấm tối thiểu của than cần có cho CO₂-ECBM là 1mD (liên quan đến việc bơm khí CO₂). Độ thấm liên quan đến mức độ nứt nẻ của than, than có độ thấm cao là các than bị nứt nẻ mạnh do biến chất hoặc phong hóa.

- Khu vực bề than có hoạt động uốn nếp yếu, không có hoặc ít các đứt gãy cắt qua.

- Thành phần than đồng nhất và kín: Sự có mặt của một tầng chắn phủ kín trên các vỉa than sẽ ngăn chặn sự rò rỉ của CO₂ tự do vào các tầng chứa nước ngọt nằm trên.

- Các vỉa than có độ bão hòa nước và độ tro thấp: Sự bão hòa nước trong than thấp sẽ thích hợp hơn bởi vì các vỉa than sẽ phải khử nước trước khi nó có thể chứa được CO₂. Ngoài ra, độ tro cao thể hiện hàm lượng cao của các chất không hấp phụ CO₂ trong than.

- Bề than phải có mật độ các trầm tích than hay độ chứa than cao. Ngoài ra, nhiều vỉa than mỏng sẽ tốt hơn là một ít vỉa than dày, bởi vì các vỉa than dày có thể được khai thác tại một thời gian nào đó trong tương lai, còn nhiều vỉa than mỏng hầu như chỉ được dùng để chứa CO₂ [27].

Ước đoán thể tích khí tự nhiên trong than và khả năng cất giữ CO₂:

Thể tích khí methan có thể thu hồi và khả năng cất giữ CO₂ lý thuyết trong các vỉa than của một khu vực phụ thuộc vào qui mô trữ lượng than và khả năng hấp phụ của than [26].

- Công thức chung để tính toán thể tích khí methan có thể thu hồi như sau:

$$PGIP = A \times h \times \rho_c \times G_c \times R \quad (1.2)$$

Trong đó:

PGIP: Thể tích khí methan có thể thu hồi (10⁶ m³stp)

A: Diện tích chứa than (km²)

h: Chiều dày tổng cộng của than trong diện tích chứa than (m)

ρ_c : Tỷ trọng của than (tấn/m³)

G_c : Hàm lượng khí trong than (m³ khí /tấn than)

R: Hệ số thu hồi. Hệ số thu hồi là phần trăm khối lượng than đóng góp vào hấp phụ khí methan, hay $R = 1 - f_a - f_m$, trong đó f_a , f_m là độ tro và độ ẩm của than [40].

- “Khả năng cất giữ CO₂ lý thuyết” được tính toán bởi công thức:

$$M_{CO_2} = PGIP \times ER \times \rho_{CO_2} \times 10^{-9} \quad (1.3)$$

Trong đó:

M_{CO_2} : Khả năng cất giữ CO₂ lý thuyết (Mtấn)

ER: Tỷ lệ trao đổi của CO₂ đối với methan

ρ_{CO_2} : Tỷ trọng của CO₂ tại điều kiện tiêu chuẩn (1,8 kg/m³stp)

II.3.2.3. Các tầng lỗ rỗng nằm sâu

Các tiêu chí đánh giá:

Các tầng lỗ rỗng nằm sâu khá phổ biến trong các trũng trầm tích, tuy nhiên để có thể sử dụng cho cất giữ địa chất CO₂, chúng cần đáp ứng các tiêu chuẩn sau:

- Để có thể cất giữ được khối lượng lớn và an toàn, CO₂ cần được cất giữ ở điều kiện siêu tới hạn ($T^{\circ} > 31^{\circ}\text{C}$ và $P > 74 \text{ bar}$), tức là sâu hơn 800m từ mặt đất (tốt nhất ở độ sâu 800 - 2500m).

- Khả năng chứa phụ thuộc vào khoảng không lỗ rỗng sẵn có, tức là tỷ lệ thuận với độ lỗ rỗng, chiều dày tầng chứa và kích thước bể chứa. Một tầng chứa cho cất giữ địa chất CO₂ cần có độ lỗ rỗng tốt để chứa được một khối lượng lớn CO₂ và tầng chắn dày và rộng lớn để ngăn ngừa sự di chuyển của CO₂ lên phía trên. Các tầng chứa đáp ứng yêu cầu là các tầng cát kết, sạn kết hoặc đá vôi, có chiều dày >50m, có độ lỗ rỗng >10% và có thành phần đồng nhất. Các tầng chắn được xem là có chất lượng tốt khi có nhiều hơn 1 lớp chắn, có bề dày tổng cộng >100m, không bị đứt gãy cắt qua, không bị nứt nẻ nhiều. Ngoài ra, cấu trúc cất giữ cần có kích thước đủ lớn để ngăn ngừa sự tạo áp suất lớn trong bể chứa khi bơm CO₂, đặc biệt đối với các hệ thống đóng. Đối với các hệ thống cấu trúc mở, kích thước ngang của bể chứa cần đủ lớn để CO₂ được bơm không thể xâm nhập vào các tầng chứa nước ngọt nằm trên. Kết quả của một số nghiên cứu cho thấy: Sau khi bơm, CO₂ sẽ hòa tan và di chuyển cùng dòng nước ngầm trong bể chứa. Hầu hết các dòng chảy nước ngầm có tốc độ khoảng 1cm/năm, vì vậy để các dòng chất lỏng chứa CO₂ không thể thoát ra ngoài sau 1.000.000 năm thì bán kính cấu trúc chứa tính từ điểm bơm khoảng 10km.

- Khả năng bơm có thể được xem là tốc độ bơm CO₂ trước khi áp suất được tạo vượt trội giới hạn cho phép. Khả năng bơm phụ thuộc vào độ thấm của tầng chứa và các điều kiện nhiệt động (T° và P) xác định tỷ trọng và độ nhớt CO₂, chiều dày bể chứa và đặc tính cơ học của cả tầng chứa và tầng chắn. Độ thấm tốt để cho phép việc bơm CO₂ có tốc độ dòng cao mà không cần tạo áp suất bơm lớn, thông thường phải lớn hơn 1mD.

- Để bảo vệ các nguồn tài nguyên nước ngầm, CO₂ không được bơm đến các tầng chứa nông với tổng độ khoáng hóa nhỏ hơn 10.000 mg/l, bởi vì các tầng nước ngầm này có thể được sử dụng cho sinh hoạt và công nghiệp trong tương lai.

- Nguy cơ rò rỉ CO₂ trong quá trình cất giữ CO₂ lâu dài liên quan đến các đứt gãy và các tuyến đường rò rỉ tiềm năng khác, hay thông qua các thảm họa địa chất như động đất, sụt lún do đứt gãy hoạt động, v.v... Vì vậy, các diện tích tầng lỗ rỗng nằm sâu được chọn nên có mật độ đứt gãy thấp, và tránh xa các đứt gãy đang hoạt động, các trung tâm động đất và sụt lún.

- Khu vực cất giữ CO₂ cần tránh làm ảnh hưởng hoặc gây hậu quả pháp lý đến môi trường xung quanh. Vì vậy, cất giữ CO₂ cần tránh các khu vực với mật độ dân số cao, các khu công nghiệp, các khu vực bảo tồn sinh thái v.v... để giảm thiểu hậu quả nếu rò rỉ CO₂ xảy ra.

Ước đoán khả năng cất giữ CO₂ trong các tầng lỗ rỗng:

Công thức chung để tính toán “khả năng cất giữ lý thuyết của CO₂ (M_{CO2})” như sau [41]:

$$M_{CO_2} = S \times h \times \rho \times E \times d \quad (1.4)$$

Trong đó:

S: Diện tích (km²) của tầng chứa có độ lỗ rỗng cao;

h: Bề dày của tầng chứa (m). Có thể được tính bởi chiều dày chung của địa tầng nhân với tỷ số (net/gross) của các lớp cát kết trong địa tầng.

ρ : Độ lỗ rỗng trung bình của tầng chứa (được tính trung bình trên chiều dày tầng chứa);

E: Hệ số hiệu lực cát giữ ($E = 0,1 - 5\%$, TB 4%).

d: Tỷ trọng CO_2 tại điều kiện bể chứa ($d = 0,5-0,8$, TB: $0,7 \text{ tấn/m}^3$ tại độ sâu từ 800 đến 2.500m).

Chương III. ĐÁNH GIÁ TIỀM NĂNG CẮT GIỮ CO₂ Ở MIỀN BẮC VIỆT NAM

III.1. ĐẶC TRƯNG PHÁT THẢI CO₂

III.1.1. Tổng quan về phát thải CO₂ ở Việt Nam

Việt Nam là một nước đang phát triển. Thời gian vừa qua, cùng với sự phát triển, tăng trưởng của kinh tế là sự phát thải các khí nhà kính, đặc biệt là khí CO₂.

CO₂ bước vào khí quyển từ 2 nguồn: tự nhiên và nhân sinh. CO₂ nguồn gốc tự nhiên đến từ sự hô hấp của động thực vật, phun trào núi lửa, cháy rừng, quá trình phân rã vật chất hữu cơ, và phong hóa các thành tạo đất đá, v.v.... Các nguồn nhân sinh bao gồm sự đốt các nhiên liệu hóa thạch và sinh học, sản xuất xi măng và các hoạt động công nghiệp khác, sự đốt rừng, hoạt động nông nghiệp hay quá trình chuyển đổi sử dụng đất. Mặc dầu, lượng CO₂ thoát ra từ các nguồn tự nhiên lớn hơn rất nhiều so với nguồn nhân sinh, nhưng các nguồn này là sự cân bằng tự nhiên thuộc quá trình trao đổi giữa lục địa, đại dương và khí quyển trong chu trình carbon toàn cầu. Ngược lại, sự tăng phát thải CO₂ nhân sinh trong suốt 20 năm qua đã làm cho nồng độ của CO₂ và các khí nhà kính khác tăng nhanh trong khí quyển.

Các hoạt động phát thải CO₂ nhân sinh chủ yếu có thể kể đến các nhóm sau:

– *Phát thải do các hoạt động công nghiệp và sản xuất:* Các ngành gây phát thải chủ yếu theo mức độ phát thải từ lớn đến nhỏ là: Nhiệt điện, sản xuất xi măng và vật liệu xây dựng, luyện kim, khai thác mỏ (than, khí đốt tự nhiên, v.v...), công nghiệp hoá chất, công nghiệp phân bón, chế biến giấy, công nghiệp thực phẩm và các làng nghề.

– *Phát thải do hoạt động giao thông vận tải:* Đây là vấn đề bức xúc của

các đô thị lớn, các trục giao thông chính, đặc biệt là mức độ phát thải tăng lên nhiều lần do tắc nghẽn giao thông. Trước năm 1980, khoảng 80-90% dân số đô thị ở nước ta đi lại bằng xe đạp, ngày nay khoảng 80% dân đô thị đi bằng ô tô, xe máy. Khi kinh tế phát triển, mức sống ở các đô thị tăng lên, người ta càng có nhu cầu đi lại nên càng mua thêm nhiều xe máy và cả ô tô con, càng làm tăng tắc nghẽn giao thông và phát thải thêm cho môi trường không khí.

– *Phát thải do sinh hoạt của nhân dân*: Ở các vùng đô thị người dân thành phố đun nấu đa số bằng than, một số không nhiều bằng khí tự nhiên (gas), bằng điện nhưng một số nơi vẫn còn dùng dầu hoả. Ở các vùng nông thôn chủ yếu dùng đốt sinh khối nông nghiệp (củi và rơm, rạ, lá khô...). Đun nấu bằng than, củi và dầu thải ra một lượng khí CO₂ rất lớn, tuy nhiên phân tán và khó kiểm soát.

Các nguồn CO₂ nhân sinh có thể được chia thành 2 loại: nguồn điểm và phân tán. Trong số các hoạt động gây phát thải CO₂ kể trên, các hoạt động giao thông vận tải và sinh hoạt của nhân dân được coi là các nguồn phân tán, mà nó rất khó khăn cho việc thu hồi bằng các công nghệ hiện hành. Với mục đích cho thu hồi CO₂ để cất giữ trong các thành tạo địa chất, các nguồn điểm CO₂ lớn đến từ các hoạt động công nghiệp và sản xuất đang là đối tượng được quan tâm trong “thu hồi và cất giữ CO₂”.

Trong số các nguồn điểm CO₂ từ các hoạt động con người, phần lớn CO₂ đến từ việc sản xuất và tiêu thụ năng lượng. Hơn 80% năng lượng được sử dụng ở Việt Nam là nhiên liệu hóa thạch gồm có than, dầu và khí. Sản xuất năng lượng trung bình tăng 8% mỗi năm. Trong năm 2010, sản lượng than là 44 triệu tấn, và dự đoán năm 2015 là 65 triệu tấn, năm 2020 là 75 triệu tấn. Sản lượng dầu đã là 15 triệu tấn vào năm 2010 và dự đoán là 17 triệu tấn năm 2015 và 15 triệu tấn vào 2020. Sản lượng khí đã là 9 tỷ m³ năm 2010 và dự đoán là 13 tỷ m³ năm 2015 và 16 tỷ m³ năm 2020.

Cùng với sự tăng lên trong sản xuất và tiêu thụ năng lượng hóa thạch, lượng phát thải CO₂ đã tăng nhanh chóng trong những năm qua. Theo thống kê của Bộ Tài nguyên và Môi trường Việt Nam, trong giai đoạn 1994-2010, tổng lượng phát thải khí nhà kính ở Việt Nam tăng nhanh từ 103,8 Mtấn CO₂ tương đương lên 246,8 Mtấn CO₂ tương đương, trong đó lĩnh vực năng lượng tăng nhanh nhất từ 25,6 Mtấn CO₂ tương đương lên 141,1 Mtấn CO₂ tương đương và cũng là lĩnh vực phát thải nhiều nhất năm 2010 [14].

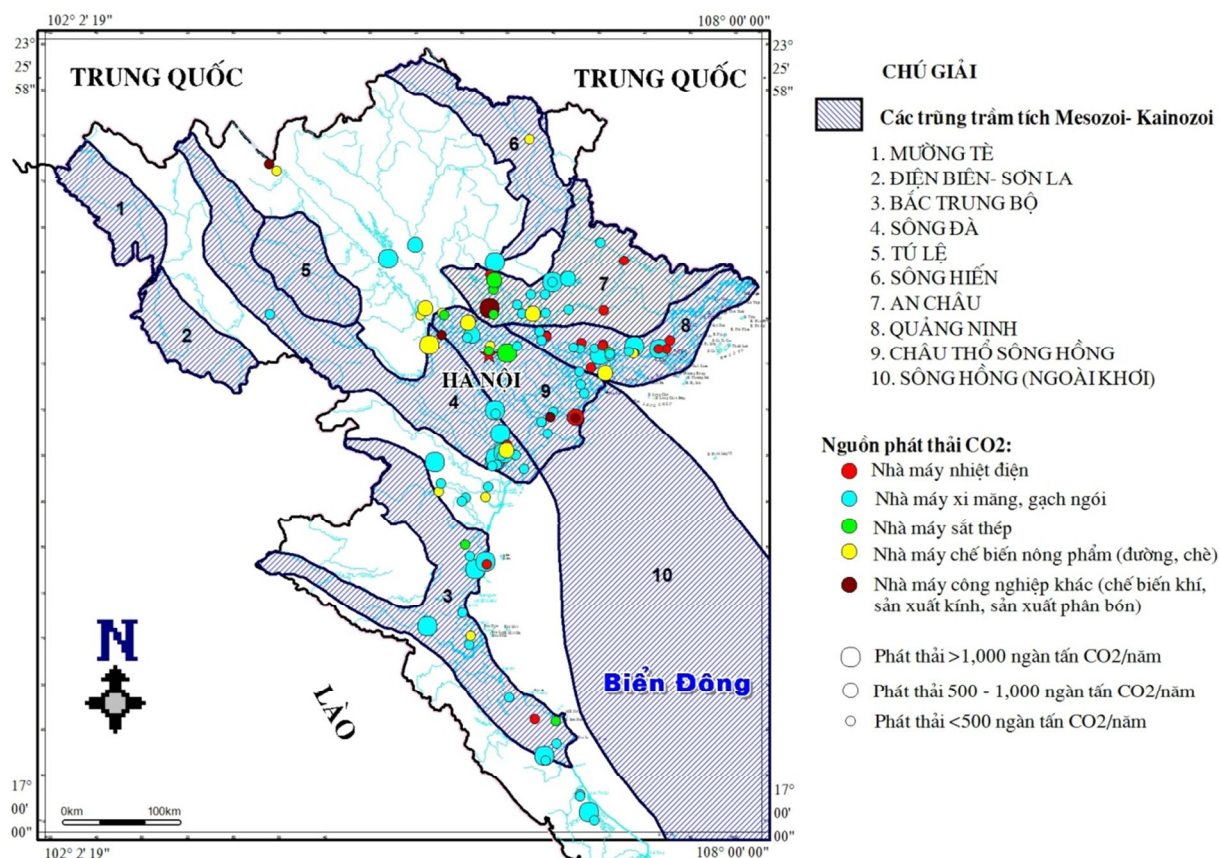
III.1.2. Ước đoán lượng phát thải CO₂ có thể thu hồi và cất giữ ở miền Bắc Việt Nam

Trên lãnh thổ miền Bắc Việt Nam có nhiều khu công nghiệp (KCN) và cụm công nghiệp (CCN), tập trung chủ yếu ở các tỉnh thuộc Châu thổ Sông Hồng và Đông Bắc Việt Nam. Trong phần này, các nguồn phát thải CO₂ điếm lớn, hiện nay đang được các nước phát triển trên thế giới quan tâm thu hồi và cất giữ trong các thành tạo địa chất, được đánh giá về lượng phát thải CO₂ (Hình 3.1). Thông tin về các cơ sở công nghiệp phát thải CO₂ ở miền Bắc Việt Nam chủ yếu được lấy từ cơ sở dữ liệu thống kê trên internet và ấn phẩm đã xuất bản (báo, tạp chí). Để đánh giá lượng khí CO₂ thải ra từ các loại công nghiệp trên, chúng tôi đã sử dụng phương pháp và công thức tính toán được Bộ Năng lượng Hoa Kỳ sử dụng trong quá trình thành lập “Atlas Cất giữ địa chất CO₂ của Mỹ và Canada” [41]. Phương pháp này dựa trên việc nhận dạng các nguồn phát thải ở các khu vực, đánh giá sự sẵn có của số liệu sản xuất hàng năm và ước đoán giá trị lượng phát thải CO₂ dựa trên các thông số sản xuất (sản lượng hàng năm, hệ số sử dụng năng lượng, tỷ lệ carbon trong nhiên liệu tiêu thụ, v.v...).

Các nguồn điếm CO₂ chính có thể được thu hồi với trình độ công nghệ hiện nay thuộc một trong 6 loại thể hiện trong bảng 3.1.

Bảng 3.1. Các loại nguồn điểm phát thải CO₂ có thể thu hồi

TT	Loại	Các nguồn CO ₂
1	Nhiệt điện	<ul style="list-style-type: none"> • Các nhà máy nhiệt điện than, khí và dầu; • Các lò đốt rác đô thị.
2	Sản xuất ethanol	<ul style="list-style-type: none"> • Nhà máy sản xuất ethanol, methanol hay cồn, v.v...bất kể loại nguyên liệu (ngô, khoai, sắn, gạo, ...) sử dụng
3	Chế biến khí thiên nhiên	<ul style="list-style-type: none"> • Nhà máy chế biến khí thiên nhiên
4	Sắt và thép	<ul style="list-style-type: none"> • Nhà máy sản xuất sắt và thép
5	Xi măng và gạch ngói	<ul style="list-style-type: none"> • Nhà máy xi măng • Lò nung vôi, gạch ngói, v.v...
6	Sản xuất phân bón	<ul style="list-style-type: none"> • Nhà máy sản xuất ammonia • Nhà máy sản xuất phân bón



Hình 3.1. Sơ đồ phân bố các nhà máy phát thải CO₂ ở miền Bắc Việt Nam

III.1.2.1. Lượng phát thải CO₂ cho từng nhóm công nghiệp

Cụ thể việc tính toán lượng phát thải CO₂ cho các nhóm công nghiệp khác nhau được mô tả dưới đây và kết quả tính toán của từng nhà máy là được thể hiện trong phụ lục 1.

Nhiệt điện và xử lý chất thải rắn đô thị:

- Cho các nhà máy nhiệt điện chạy bằng than, dầu và khí và các nhà máy không có số liệu phát thải CO₂, lượng phát thải CO₂ hàng năm được ước đoán dựa trên sản lượng hàng năm của nhà máy như sau:

$$M_{CO_2} = 1100P/2000$$

Trong đó:

M_{CO_2} = Lượng phát thải CO₂ hàng năm (tấn CO₂/năm)

P = Sản lượng điện hàng năm (MWh)

- Cho các nhà máy xử lý chất thải rắn, lượng phát thải CO₂ hàng năm được tính như sau:

$$M_{CO_2} = 3,664C_{\%}F_t$$

Trong đó:

M_{CO_2} = Lượng phát thải CO₂ hàng năm (tấn CO₂/năm)

$C_{\%}$: Tỷ lệ CO₂ trong chất thải được đốt (chất thải rắn: $C_{\%}$ = 38%)

F_t : Khối lượng chất thải được đốt hàng năm (tấn/năm)

Kết quả tính toán thể hiện rằng tổng lượng phát thải từ các nhà máy nhiệt điện chạy than, dầu và khí là: 4.939 tấn CO₂/năm, trong khi các nhà máy xử lý chất thải rắn là: 1.486.536 tấn CO₂/năm.

Sản xuất ethanol và methanol:

Loại này bao gồm các nhà máy ethanol, methanol và các sản phẩm khác được sản xuất dựa trên sự lên men của ngô, khoai, sắn, gạo, v.v....

Lượng phát thải CO₂ được tính toán như sau:

$$M_{CO_2} = 6,34E_{g,f}/2000$$

Trong đó:

$E_{g,f}$ = Sản lượng ethanol/methanol hàng năm (gallon/năm)

M_{CO_2} = Lượng phát thải CO₂ hàng năm (tấn CO₂/năm)

Kết quả tính toán thể hiện rằng tổng lượng phát thải từ các nhà máy ethanol và methanol là: 403.452 tấn CO₂/năm.

Chế biến khí tự nhiên:

Loại này bao gồm các nhà máy xử lý và chế biến khí thiên nhiên. Phát thải CO₂ là được tính toán dựa trên quá trình thu hồi khí tự nhiên với hàm lượng CO₂ là 4% trong khí đưa vào và 1% trong khí thoát ra.

$$M_{CO_2} = 608 E_{NG}$$

Trong đó:

E_{NG} = Năng suất chế biến khí tự nhiên (triệu scf/ngày)

M_{CO_2} = Lượng phát thải CO₂ hàng năm (tấn CO₂/năm)

Kết quả tính toán thể hiện rằng tổng lượng phát thải từ các nhà máy chế biến khí thiên nhiên là: 4.864 tấn CO₂/năm.

Luyện sắt thép:

Thuộc loại này là các nhà máy luyện gang, sắt và thép. Lượng phát thải được tính từ lượng thép sản xuất hàng năm:

$$M_{CO_2} = 1,27 E_S$$

Trong đó:

E_S = Sản lượng thép hàng năm (tấn/năm)

M_{CO_2} = Lượng phát thải CO₂ hàng năm (tấn CO₂/năm)

Kết quả tính toán thể hiện rằng tổng lượng phát thải từ các nhà máy luyện sắt thép là: 2.581.021 tấn CO₂/năm.

Sản xuất xi măng hoặc gạch ngói:

Thuộc loại này là các nhà máy xi măng. Ngoài ra, các lò nung vôi, gạch ngói còn được bao gồm.

Lượng phát thải CO₂ từ các nhà máy xi măng được tính như sau:

$$M_{CO_2} = 0,9E_{CP}$$

Trong đó:

E_{CP} = Sản lượng xi măng hàng năm (tấn/năm)

M_{CO_2} = Lượng phát thải CO₂ hàng năm (tấn CO₂/năm)

Kết quả tính toán thể hiện rằng tổng lượng phát thải từ các nhà máy xi măng là: 49.082.625 tấn CO₂/năm, trong khi các nhà máy gạch ngói là: 1.376.100 tấn CO₂/năm.

Sản xuất phân bón:

Loại này bao gồm các nhà máy sản xuất phân bón, ammonia hoặc hóa chất nông nghiệp. Lượng phát thải được tính từ sản lượng NH₃:

$$M_{CO_2} = E_{NH_3} (\theta_{NH_3} + \theta_{fuel})$$

Trong đó:

E_{NH_3} = Sản lượng NH₃ (tấn NH₃/năm)

θ_{NH_3} = Hệ số phát thải cho sản xuất NH₃ (1.2 tấn CO₂/tấn NH₃)

θ_{fuel} = Hệ số phát thải cho quá trình đốt (0.5 tấn CO₂/tấn NH₃)

M_{CO_2} = Lượng phát thải CO₂ hàng năm (tấn CO₂/năm)

Kết quả tính toán thể hiện rằng tổng lượng phát thải từ các nhà máy phân bón là: 6.331.250 tấn CO₂/năm

III.1.2.2. Lượng phát thải CO₂ cho từng khu vực và toàn miền Bắc Việt Nam

Kết quả tính toán chuyển đổi cho các nguồn điểm CO₂ khác nhau đã cho thấy lượng phát thải CO₂ có thể thu hồi và sử dụng cho cất giữ địa chất CO₂ trên toàn lãnh thổ miền Bắc Việt Nam vào khoảng **61.270.787 tấn/năm hay 61,27 Mtấn/năm**, tập trung chủ yếu ở các trũng Châu thổ Sông Hồng, Quảng Ninh và An Châu.

- Trũng Châu thổ Sông Hồng là khu vực có mức độ phát triển công nghiệp cao nhất của miền Bắc Việt Nam. Trong diện tích trũng phân bố khoảng 140 khu công nghiệp (KCN) và cụm công nghiệp (CCN) với diện tích tổng cộng khoảng 26.000 ha thuộc 10 tỉnh và thành phố: Thái Bình, Nam Định, Ninh Bình, Hà Nam, Hà Nội, Vĩnh Phúc, Bắc Ninh, Hưng Yên, Hải Dương và Hải Phòng. Trong và lân cận khu vực trũng Châu thổ Sông Hồng tập trung nhiều nguồn điểm phát thải CO₂ lớn với tổng lượng phát thải CO₂ khoảng **14.147.960 tấn CO₂/năm hay 14,148 Mtấn CO₂/năm**.

- Trũng trầm tích An Châu chiếm một diện tích lớn khoảng 13.000 km² ở vùng Đông Bắc Bắc Bộ, thuộc địa phận các tỉnh Lạng Sơn, Quảng Ninh, Bắc Giang, Thái Nguyên và Vĩnh Phúc. Mức độ phát triển công nghiệp chỉ sau khu vực châu thổ Sông Hồng, bao gồm khoảng 120 khu công nghiệp và cụm công nghiệp với tổng diện tích khoảng >20.000 ha. Trong diện tích trũng và các khu vực lân cận, có trên 6 nhà máy nhiệt điện chạy than, 12 nhà máy xi

mãng, 8 nhà máy gạch ngói, 6 nhà máy chế biến nông phẩm và nhiều nguồn phát thải CO₂ điếm lớn khác với tổng lượng phát thải CO₂ được tính toán vào khoảng **10.804.365 tấn CO₂/năm** hay **10,804 Mtấn CO₂/năm**.

III.2. PHÂN BẠC MỨC ĐỘ THÍCH HỢP CÁT GIỮ ĐỊA CHẤT CO₂ CHO CÁC TRŨNG TRẦM TÍCH LÃNH THỔ MIỀN BẮC VIỆT NAM

III.2.1. Đặc điểm địa chất và kinh tế-xã hội các trũng trầm tích

Trên cơ sở điều tra khảo sát tại các khu vực điển hình và theo các tuyến mặt cắt ngang trũng cũng như tổng hợp tài liệu nghiên cứu trước đây, các đặc điểm địa chất và kinh tế-xã hội của các trũng trầm tích trên lãnh thổ miền Bắc Việt Nam được mô tả dưới đây. Ngoài ra, cột địa tầng tổng hợp và mặt cắt địa chất ngang trũng được thể hiện trong phụ lục 2; Kết quả phân tích các thông số trầm tích và thành vật vật chất được thể hiện trong phụ lục 3.

Trũng Mường Tè: diện tích <5.000 km², thuộc 2 tỉnh Điện Biên và Lai Châu. Trũng được lấp đầy bằng các trầm tích Mesozoi muộn thuộc các hệ tầng Suối Bàng (T_{3n-rsb}), Nậm Pô (J_{1-2np}) và Nậm Ma (Knm), phần phía TN trũng có thêm các trầm tích Kainozoi hệ tầng Nậm Bay (E_{3nb}). Các đá cát kết, đá vôi hệ tầng Sông Đà (P_{1-2sđ}) được coi là móng của trũng. Bề dày trầm tích Mesozoi- Kainozoi từ 900 đến 3.000m. Trũng có dạng một phức nếp lồi kéo dài theo phương TB-ĐN, với thể nằm các cánh thoải (10- 30⁰) hướng vào tâm, trong khi phần TN trũng có cấu trúc đơn nghiêng với thể nằm chung của các đá 10-20°. Tập cuội sạn kết hệ tầng Suối Bàng dày 300m và các tập cát kết, cát sạn kết hệ tầng Nậm Pô dày 200-350m, phân bố ở độ sâu 800 đến 3000m đóng vai trò tầng chứa, tuy nhiên độ lỗ rỗng thấp (2-3%). Các tập đá hạt mịn (sét kết, sét bột kết, sét than) thuộc cùng hệ tầng xen kẽ hoặc phủ lên trên các tập đá chứa đóng vai trò tầng chắn. Mật độ đứt gãy 0,29 km/km². Cường độ

động đất dọc các đứt gãy Mường Tè-Mường Lay, Mường Nhé-Mường Chà và Điện Biên-Lai Châu dao động từ 4,5 đến 6,2 độ Richter. Trũng bao gồm các thành tạo chứa nước khe nứt với dòng chảy ngăn. Điều kiện địa nhiệt thuộc loại trũng ấm vừa với 1 điểm xuất lộ nước nóng 65,5°C và một vài nguồn magma phức hệ Điện Biên. Khu vực này thuộc các tỉnh nghèo ở miền Bắc Việt Nam, cơ sở hạ tầng kém phát triển và không có nguồn phát thải CO₂ lớn. Trong địa phận trũng, chưa có các công trình nghiên cứu địa chất sâu.

Trũng Điện Biên- Sơn La (thuộc trũng rift nội lục Sầm Nua- Hoàng Sơn của Trần Văn Trị và nnk, 2009): diện tích <5.000 km² kéo dài từ bắc Điện Biên đến TN Sơn La. Trũng có dạng một nếp lồi lớn kéo dài theo phương TB-ĐN, được lấp đầy bởi các thành tạo molas chứa than và lục địa màu đỏ hệ tầng Suối Bàng (T_{3n-rsb}) và Nậm Pồ (J_{1-2np}) với các đá có thể nằm thoải (10-20°) hoặc gần như nằm ngang ở phần trung tâm trũng. Đá móng là các đá trầm tích thuộc hệ tầng Nậm Sư Lư (MP *ns*) và Tây Trang (D₁₋₂ *tt*). Bề dày trầm tích 500- 1.100m. Tập cuội kết cơ sở và tập cát kết nằm ngay trên dày 200- 250m của phụ hệ tầng Suối Bàng dưới đóng vai trò tầng chứa, tuy nhiên do quá trình nén ép và biến chất khu vực, độ lỗ rỗng đã bị giảm đáng kể (2-5%). Phủ trên các tầng đá chứa này là các tập phiến sét, phiến sét than, bột kết của các phụ tầng Suối Bàng dưới và trên dày 500-600m có thể đóng vai trò tầng chắn. Mật độ đứt gãy 0,19 km/km². Cường độ động đất dọc theo các đứt gãy Điện Biên- Lai Châu và Sông Mã khoảng 5,5- 6,8 độ Richter. Trũng bao gồm các thành tạo chứa nước khe nứt và dòng chảy ngăn. Trong trũng xuất hiện nhiều nguồn lộ địa nhiệt với nhiệt độ trên mặt từ 32 đến 78°C và các nguồn magma phức hệ Điện Biên và Sông Mã, vì vậy, được xem là trũng nóng. Trong khu vực này, cơ sở hạ tầng kém phát triển, không có nguồn phát thải CO₂ lớn và chưa có các công trình nghiên cứu địa chất sâu.

Trũng Bắc Trung Bộ (thuộc trũng rift nội lục Sầm Nưa- Hoành Sơn của Trần Văn Trị và nnk, 2009): có diện tích 16.000 km², kéo dài từ nam Thanh Hóa, bắc Nghệ An và mở rộng ở khu vực ven biển Nghệ An và Hà Tĩnh. Trũng được lấp đầy bởi các lớp đá lục nguyên- phun trào- carbonat thuộc THPTKT rift nội lục Trias giữa và các đá lục nguyên thuộc THPTKT molas chứa than và lục địa màu đỏ Trias muộn, Nori- Jura giữa: các hệ tầng Đồng Trầu (T_{2ađt}), Hoàng Mai (T_{2ahm}), Quy Lăng (T_{2ql}), Đồng Đò (T_{3n-rđđ}) và Mường Hinh (J_{3mh}), phân bố trong các cấu trúc nếp uốn với các cánh thoải 20-30⁰ hoặc nằm ngang ở phần trung tâm. Đá móng là các đá biến chất cao hệ tầng Sông Cả (O₃-S_{1sc}). Bề dày trầm tích 1.000- 3.000m. Các tập cát sạn kết tuf, cát kết tuf, cát kết dày 300-400m của phụ hệ tầng Đồng Trầu dưới, độ lỗ rỗng 3-6% phân bố rộng rãi với độ sâu từ 800 đến 3.000m đóng vai trò tầng chứa. Trong khi đó, các tập bột kết, sét bột kết, sét kết và sét vôi của phụ hệ tầng Đồng Trầu trên, hoặc các hệ tầng Quy Lăng và Hoàng Mai là những tầng chắn tốt. Mật độ đứt gãy 0,17 km/km². Cường độ động đất 4,0- 6,8 độ Richter dọc theo các đới đứt gãy Sông Mã và Sông Hiếu. Khu vực này bao gồm các thành tạo chứa nước khe nứt, dòng chảy ngầm, và được xem là trũng ấm vừa do có một vài điểm xuất lộ nước nóng nhiệt độ từ 41 đến 67°C và các nguồn magma phức hệ Điện Biên, Sông Mã, v.v... Trong địa phận trũng, có một vài nguồn phát thải CO₂ như nhà máy xi măng Bỉm Sơn, nhà máy điện Famosa, v.v... Cơ sở hạ tầng kém phát triển và chưa có các nghiên cứu địa chất sâu.

Trũng Sông Đà: diện tích khoảng 18.000 km², kéo dài từ khu vực Phong Thổ (Lai Châu), qua Sơn La, Hòa Bình xuống tới khu vực ven biển Thanh Hóa. Trũng được lấp đầy bởi các đá lục nguyên- carbonat- phun trào mafic thuộc THPTKT rift nội lục Permi muộn- Trias muộn, Carni và các đá lục nguyên thuộc THPTKT molas á lục địa, lục địa Trias muộn, Nori- Creta: các hệ tầng Cò Nòi (T_{1cn}), Đồng Giao (T_{2ađg}), Nậm Thảm (T_{21nt}), Mường

Trai ($T_{21}mt$), Sông Bôi ($T_{2-3}sb$), Pác Ma ($T_{3c}pm$), Suối Bàng ($T_{3n-r}sb$), Nậm Pồ ($J_{1-2}np$), và Yên Châu (K_{2yc}). Đá móng gồm nhiều loại với tuổi trước Mesozoi. Bề dày trầm tích Mesozoi 1.000-3.000m. Nói chung, ở trung Sông Đà có nhiều hệ tầng với các tập đá hạt thô có khả năng chứa. Tuy nhiên, dựa trên tiêu chí về độ sâu (>800m) chỉ có các lớp cuội sạn kết, cát kết (tập 1 hệ tầng Cò Nòi) dày 70m, độ lỗ rỗng 2-5%; các lớp cát kết thạch anh, cát kết đa khoáng (tập 2 hệ tầng Suối Bàng) dày 400m, độ lỗ rỗng 2-4%; cát kết hạt mịn- trung (tập 1 hệ tầng Mường Trai) dày 100m, độ lỗ rỗng 2-3%; và các lớp cuội kết, cát kết (tập 1 và 3 hệ tầng Sông Bôi) dày 200m, độ lỗ rỗng 2-3% tại một số vị trí đạt độ sâu cần thiết. Các tầng chứa này được chắn trên bởi các lớp phiến sét, sét kết, sét bột kết, sét vôi, v.v... dày của bản thân tập 1 hệ tầng Mường Trai và tập 1 hệ tầng Sông Bôi, hoặc tập 2 hệ tầng Cò Nòi, hệ tầng Nậm Thảm, tập 2 hệ tầng Sông Bôi, hệ tầng Nậm Mu. Các đá này phân bố trong các nếp uốn hẹp dạng đường, phương TB-ĐN với hai cánh có hướng khác nhau hoặc cùng hướng thế nằm dốc 50-80⁰, bị phá hủy mạnh bởi các hệ thống đứt gãy. Mật độ đứt gãy dày đặc (0,46 km/km²). Cường độ động đất 4,5- 6,8 độ Richter dọc các đứt gãy Sơn La, Sông Đà và Phong Thổ- Nậm Pồ. Trũng chủ yếu gồm các thành tạo chứa nước khe nứt, khe nứt-karst dòng chảy ngầm. Trong trũng có nhiều điểm xuất lộ địa nhiệt (30-74°C) và nguồn magma, vì vậy được xem là trũng nóng. Nói chung, cơ sở hạ tầng của các tỉnh thuộc trũng Sông Đà kém phát triển, có một vài nguồn phát thải CO₂ như nhà máy nhiệt điện và nhà máy xi măng thuộc các tỉnh Ninh Bình và Thanh Hóa. Các nghiên cứu địa chất sâu hầu như chưa có gì.

Trũng Tú Lệ: diện tích 5.000 km² thuộc các tỉnh Yên Bái, Sơn La và Lào Cai, được lấp đầy bằng các thành tạo núi lửa có thành phần từ mafic đến felsit được mô tả trong các phức hệ Tú Lệ ($\tau\lambda J_3-K_1 tl$), Ngòi Thia ($\gamma\tau K_2 nt$) và các trầm tích lục nguyên xen phun trào trong các hệ tầng Trạm Tấu ($J_3-K_1 tt$),

Suối Bé ($J_3-K_1 sb$). Hệ tầng Trạm Tấu bao gồm các tập cuội kết tuf, cuội sạn kết tuf, cát kết tuf có thể đóng vai trò tầng chứa, xen kẽ đá phiến tufogen, đá vôi, vôi sét đóng vai trò tầng chắn. Tuy nhiên, bề dày trầm tích Mesozoi trong trũng khá mỏng (<1000m). Trũng chịu nhiều ảnh hưởng của các quá trình kiến tạo, magma và trầm tích giữa núi, vì vậy bề dày địa tầng không ổn định, hầu như các lớp đá trầm tích diện lộ hẹp, thể nằm dốc và bị phá hủy mạnh mẽ. Mật độ đứt gãy $0,27 \text{ km/km}^2$. Cường độ động đất 4,5- 5,5 độ Richter dọc theo đới đứt gãy Mường La- Nậm Pì và Nghĩa Lộ. Trũng gồm các thành tạo chứa nước khe nứt dòng chảy ngắn, và được xem là trũng nóng với nhiều nguồn xuất lộ địa nhiệt (30 đến 58°C) và magma dày đặc. Cơ sở hạ tầng kém phát triển, không có nguồn CO_2 tiềm lớn và chưa có các công trình nghiên cứu địa chất sâu.

Trũng Sông Hiến: với diện tích khoảng 8.000 km^2 , thuộc các tỉnh Cao Bằng và Lạng Sơn. Trũng được lấp đầy bằng các trầm tích lục nguyên- phun trào- carbonat thuộc THPTKT rift nội lục Permi muộn- Trias sớm, các đá lục nguyên- carbonat thuộc THPTKT á lục địa, lục địa Trias giữa, và các trầm tích Kainozoi tuổi Eocen – Oligocen: các hệ tầng Bằng Giang (P_3-T_1bg), Sông Hiến (T_1sh), Hồng Ngài (T_1hn), Lân Páng (T_2lp), Cao Bằng (E_2cb) và Nà Dương (E_3^1nd). Đá móng là các đá vôi hệ tầng Bắc Sơn ($C-Pbs$), Mia Lé (D_1ml) hoặc Bản Páp ($D_{1-2}bp$). Bề dày trầm tích 1.000- 3.000m. Các đá tạo nên các nếp uốn đơn giản, nếp lồi thường trùng với các vùng sụt lún của trũng Sông Hiến với các cánh thay đổi $30- 60^\circ$. Các lớp cát sạn kết tuf, cát kết tuf của tập dưới hệ tầng Sông Hiến (dày 500-600m, độ lỗ rỗng 7-16%) phân bố tại các độ sâu trên 800m, có thể đóng vai trò tầng chứa. Các lớp đá trầm tích hạt mịn (phiến sét, phiến sét vôi, sét bột kết) của tập 2 và 3 hệ tầng Sông Hiến dày vài trăm m với diện phân bố rộng đóng vai trò tầng chắn. Mật độ đứt gãy $0,40 \text{ km/km}^2$. Cường độ động đất 4,5 - 5,5 độ Richter dọc theo các

đứt gãy Cao Bằng- Tiên Yên và Yên Minh- Ngân Sơn- Phú Lương. Trũng bao gồm các thành tạo chứa nước khe nứt dòng chảy ngăn, và được xem là trũng ấm vừa do có một số điểm xuất lộ địa nhiệt và nguồn magma. Cơ sở hạ tầng kém phát triển, không có các nguồn phát thải CO₂ lớn, và chưa có các công trình nghiên cứu địa chất sâu.

Trũng An Châu: với diện tích khoảng 13.000 km², thuộc các tỉnh Quảng Ninh, Lạng Sơn, Bắc Giang, Thái Nguyên và Vĩnh Phúc. Trũng được lấp đầy bởi các đá lục nguyên- phun trào axit thuộc THPTKT rift nội lục Permian- Trias giữa và lục nguyên màu đỏ thuộc THPTKT lục địa, á lục địa Trias muộn- Creta: các hệ tầng Lạng Sơn (T₁ls), Bắc Thủy (T_{1o}bt), Tam Danh (T_{2a}td), Khôn Làng (T_{2a}kl), Nà Khuất (T₂nk), Mẫu Sơn (T_{3c}ms), Vân Lãng (T_{3n-r}vl), Hà Cối (J₁₋₂hc), Tam Lung (J₃tl), Bản Hang (Kbh). Ngoài ra, dọc theo đứt gãy Tiên Yên– Cao Bằng còn có mặt các trầm tích Kainozoi thuộc các hệ tầng Na Dương (E₃¹nd), Rinh Chùa (E₃²rc). Bề dày trầm tích này có thể đến 6.000m. Trũng có dạng một phức nếp lồi phương ĐB-TN với các cánh thoải 10-30⁰ và nằm ngang ở phần trung tâm. Các lớp cát kết thuộc hệ tầng Nà Khuất (dày 200-250m, độ lỗ rỗng 3-18%), Mẫu Sơn (dày 500-600m, độ lỗ rỗng 4 - 20%), phân bố ở các độ sâu lớn hơn 800m, có thể đóng vai trò tầng chứa. Các lớp đá hạt mịn (sét vôi, sét bột kết, sét kết) có trong hệ tầng Nà Khuất và tập 2 hệ tầng Mẫu Sơn dày vài trăm mét, diện phân bố rộng đóng vai trò tầng chắn. Mật độ đứt gãy 0,25 km/km². Cường độ động đất 4,5- 5,9 độ Richter dọc theo các đứt gãy Sông Thương, Yên Tử- Tân Mai và Cao Bằng- Tiên Yên. Trũng gồm các thành tạo chứa nước khe nứt có dòng vừa phải và được xem là trũng lạnh vì hầu như không có các nguồn lộ địa nhiệt và magma. Trong khu vực này, cơ sở hạ tầng tương đối phát triển với nhiều nguồn phát thải CO₂ lớn như các nhà máy nhiệt điện, xi măng, thép, gạch

ngói, v.v.... Đã có một số công trình nghiên cứu địa chất sâu được thực hiện trên diện tích trũng để tìm kiếm dầu khí.

Trũng Quảng Ninh: với diện tích khoảng 8.000 km², gồm phần đất liền và một số đảo kề cận của tỉnh Quảng Ninh và Hải Phòng. Trũng cấu tạo chủ yếu bởi các đá thuộc THPTKT molas á lục địa, lục địa Trias muộn- Jura giữa (các hệ tầng Hòn Gai (T_{3n-r}hg) và Hà Cối (J₁₋₂hc)) và các trầm tích Đệ tam (các hệ tầng Đồng Ho (E₂đh) và Tiêu Giao (N₁¹⁻²tg)). Móng là các đá thuộc các hệ tầng Tấn Mài (O₃-S tm) và Bắc Sơn (C₂-P bs)Trũng có dạng cấu trúc nếp lồi với thể nằm các cánh thay đổi 15- 50⁰, dạng địa hào bị khống chế bởi các đới đứt gãy rìa phương á vĩ tuyến. Bề dày trầm tích Mesozoi- Kainozoi khoảng 2.100- 3.400m. Các lớp cuội kết, sạn kết và cát kết của phụ hệ tầng Hòn Gai dưới dày vài trăm m, độ lỗ rỗng thấp (4%), phân bố ở độ sâu lớn có thể chứa, được chắn trên bởi các lớp bột kết, sét than và các vỉa than có khả năng chắn. Mật độ đứt gãy 0,21 km/km². Cường độ động đất 4,5 - 5,9 độ Richter dọc theo các đứt gãy Đường 18B (đứt gãy Trung Lương) và đứt gãy Nam (hay Đường 18A). Trũng bao gồm các thành tạo chứa nước khe nứt dòng chảy ngắn, và được xem là trũng ấm vừa vì có một vài điểm xuất lộ địa nhiệt 43 đến 55°C. Cũng giống trũng An Châu, cơ sở hạ tầng khu vực này tương đối phát triển, có nhiều nhà máy nhiệt điện, xi măng. Trũng đã được nghiên cứu bởi nhiều công trình địa chất sâu (khoan và địa vật lý) trong quá trình đánh giá trữ lượng than trong trũng.

Trũng Châu thổ Sông Hồng: là phần đất liền của trũng Sông Hồng, diện tích khoảng 9.000 km², gồm các tỉnh Hà Nội, Hải Phòng, Hưng Yên, Hải Dương, Nam Định, Thái Bình. Trũng Châu thổ Sông Hồng có móng là các đá Paleozoi và Mesozoi, còn các hệ tầng Kainozoi bao gồm: Phù Tiên (E₂pt), Đình Cao (E₃đc), Phong Châu (N₁¹pch), Phù Cừ (N₁²pc), Tiên Hưng (N₁³th), Vĩnh Bảo (N₂vb) và các trầm tích Đệ Tứ (hệ tầng Kiến Xương và hệ tầng Hải

Dương). Bề dày trầm tích Kainozoi có thể trên 10.000m ở trung tâm trũng. Trũng gồm 3 đới cấu trúc, trong đó đới trung tâm gồm các cấu trúc nếp lồi dạng địa hào và các cấu trúc dạng vòm, và các đới rìa thường có thể nằm đá thoải (0-10°). Các hệ tầng trầm tích chủ yếu là trầm tích lục nguyên tương bồi tích sông-hồ, ven bờ-biển nông, bao gồm nhiều nhịp trầm tích. Mỗi nhịp thường bắt đầu bằng các trầm tích hạt thô (cuội kết, sạn kết, cát kết), và chuyển dần lên là trầm tích hạt mịn (bột kết và sét kết). Các tập hạt thô dày từ vài chục đến vài trăm mét, độ lỗ rỗng rất cao, đặc biệt là của các hệ tầng Phù Cừ (độ lỗ rỗng: 6-18%) và Tiên Hưng (16-24%, TB: 22%) là các tầng chứa lý tưởng, trong khi các tập trầm tích hạt mịn (bề dày vài trăm mét) nằm xen kẽ hoặc ở trên các tập chứa là các tầng chắn tốt cho cất giữ địa chất CO₂. Ngoài ra, trũng trầm tích này chứa 115 vỉa hoặc thấu kính than tại các độ sâu khác nhau từ 300 đến 2.000m, với trữ lượng khoảng 210 tỷ tấn. Than chủ yếu là than lignit và á bitum, có khả năng hấp phụ các khí hydrocarbon và CO₂ rất tốt. Ngoài ra, trong đới trung tâm đã phát hiện và khai thác các mỏ khí Tiền Hải C, Sông Trà Lý và Đông Quan. Mật độ đứt gãy 0,16 km/km². Cường độ động đất 4,5 - 6,1 độ Richter dọc theo các đới đứt gãy trong khu vực. Trũng bao gồm các thành tạo chứa nước lỗ rỗng, dòng chảy dài theo địa hình. Trong địa phận trũng, có một số điểm xuất lộ địa nhiệt với nhiệt độ từ 32 đến >100°C, vì vậy, trũng được xếp vào loại trũng ấm vừa. Cơ sở hạ tầng phát triển và các phương tiện khai thác khí có thể được sử dụng nếu cất giữ CO₂. Có nhiều nguồn phát thải CO₂ lớn như các nhà máy nhiệt điện, xi măng, thép và hóa dầu. Số liệu địa chất sâu (khoan và địa vật lý) phong phú từ các công trình thăm dò- khai thác than và khí.

Trũng Sông Hồng (ngoài khơi): diện tích khoảng 120.000 km² trên vùng thềm lục địa ven bờ biển Bắc Bộ với độ sâu nhất đạt khoảng 200m. Trũng này có thể được chia thành 2 đơn vị cấu trúc: - Phần Bắc Sông Hồng:

dãy trầm tích Eocen- Miocen trung bao gồm các hệ tầng Phù Tiên ($E_2 pt$), Đình Cao ($E_3 đc$), Phong Châu ($N_1^1 pc$) và Phù Cừ ($N_1^2 phc$). Thành phần trầm tích của các hệ tầng cũng giống như ở trũng Châu thổ Sông Hồng, tuy nhiên ở đây, các đá hạt mịn chiếm ưu thế hơn và bề dày trầm tích lớn hơn. Nói chung, phần này có đầy đủ các điều kiện địa chất cho chứa/chấn CO_2 ; - Phần Nam Sông Hồng (nằm trên thềm lục địa biển Đông, ngang với các tỉnh Thừa Thiên- Huế, Quảng Nam, Quảng Ngãi): dãy trầm tích Eocen- Miocen trung gồm các hệ tầng Bạch Trĩ ($E_3 bt$), Sông Hương ($N_1^1 sh$) và Tri Tôn ($N_1^2 tt$). Các hệ tầng Bạch Trĩ và Sông Hương gồm các trầm tích lục nguyên với thành phần hạt mịn chiếm ưu thế như sét kết, bột kết, sét bột kết máu xám dày, xen kẽ các lớp cát kết hạt mịn mỏng. Ngoài ra, các hệ tầng này cũng chứa các lớp hoặc thấu kính than nâu mỏng. Ngược lại, hệ tầng Tri Tôn gồm đá vôi dạng khối có độ rỗng và độ thấm tốt có thể được chấn trên bởi các trầm tích sét bột của hệ Đệ Tứ.

Mật độ đứt gãy trên trũng Sông Hồng ngoài khơi nhỏ hơn $0,1 \text{ km/km}^2$. Động đất có cường độ 3 – 5 độ Richter phân bố dọc theo các đứt gãy. Trũng này bao gồm các thành tạo chứa nước lỗ rỗng hoặc khe nứt-karst, dòng chảy dài, và được xem là trũng lạnh. Trũng Sông Hồng (ngoài khơi) cũng đã được nghiên cứu khá chi tiết bởi các công trình thăm dò dầu và khí. Một số bể chứa dầu và khí đã được phát hiện, tuy nhiên chưa có điều kiện để đưa vào khai thác.

III.2.2. Đánh giá và xếp hạng mức độ thích hợp cất giữ địa chất CO_2

Kết quả xếp hạng cho 17 tiêu chí và điểm phân bậc tổng cộng của 10 trũng trầm tích Paleozoi muộn- Kainozoi trên lãnh thổ miền Bắc Việt Nam theo phương pháp được giới thiệu bởi CCOP được thể hiện trong Bảng 3.2. Trên cơ sở kết quả tính toán điểm phân bậc, các trũng trầm tích được sắp xếp

theo thứ tự từ thích hợp nhất cho đến kém thích hợp như sau: Trũng Châu thổ Sông Hồng (Điểm: **0,687**) → Trũng Sông Hồng ngoài khơi (Điểm: **0,673**) → Trũng An Châu (Điểm: **0,502**) → Trũng Quảng Ninh (Điểm: **0,402**) → Trũng Bắc Trung Bộ (Điểm: **0,368**) → Trũng Sông Hiến (Điểm: **0,335**) → Trũng Mường Tè (Điểm: **0,248**) → Trũng Điện Biên- Sơn La (Điểm: **0,228**) → Trũng Sông Đà (Điểm: **0,223**) → Trũng Tú Lệ (Điểm: **0,203**).

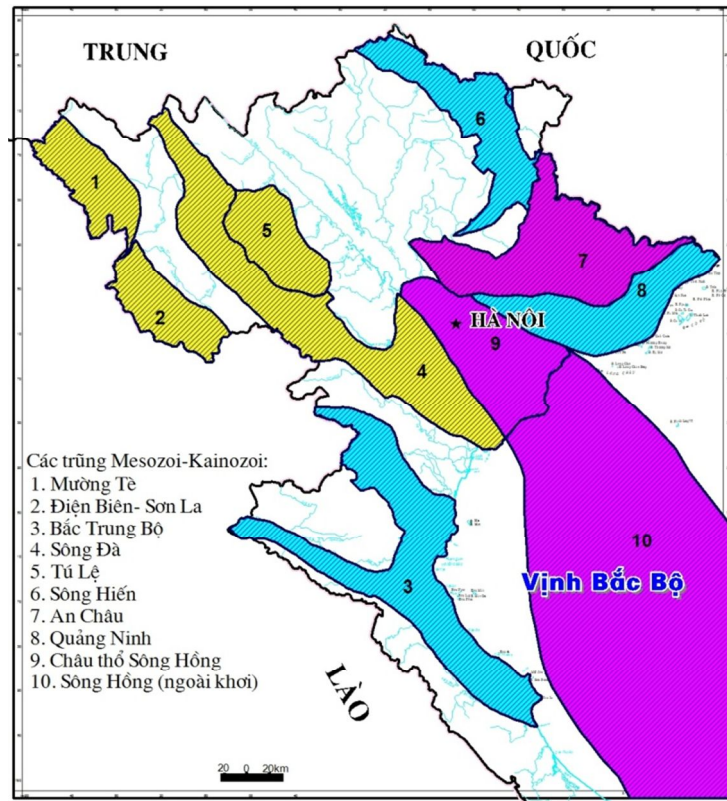
Tóm lại, việc đánh giá và xếp hạng mức độ thích hợp cất giữ địa chất CO₂ cho các trũng trầm tích trên lãnh thổ miền Bắc Việt Nam đưa đến các kết luận sau: Các trũng Châu thổ Sông Hồng, Sông Hồng (ngoài khơi) và An Châu với nhiều điều kiện địa chất và kinh tế- xã hội thuận lợi (tổng điểm >0,5) là rất thích hợp cho cất giữ địa chất CO₂. Các nghiên cứu chi tiết hơn cần được tiến hành nhằm đánh giá cụ thể về tiềm năng cho cất giữ CO₂ và khoanh định các cấu trúc/thành tạo cụ thể như các tầng chứa có độ lỗ rỗng cao, bề khí, hay vỉa than triển vọng; Các trũng Quảng Ninh, Bắc Trung Bộ và Sông Hiến (tổng điểm 0,3 - 0,5) có mức độ thích hợp trung bình; Các trũng Mường Tè, Điện Biên- Sơn La, Sông Đà và Tú Lệ phân bố ở các vùng núi xa xôi và điều kiện địa chất phức tạp được xếp vào mức kém thích hợp cất giữ địa chất CO₂ (Hình 3.2).

Bảng 3.2. Giá trị điểm các tiêu chí và điểm tổng mức độ thích hợp cất giữ CO₂ của các trũng trầm tích miền Bắc Việt Nam

TT	Tiêu chuẩn	Tân kiến tạo (hoạt động địa chấn)				Kích thước trũng				Độ sâu trũng trầm tích			Môi trường trầm tích			Mật độ đứt gãy			Địa chất thủy văn			Địa nhiệt			Tiềm năng hydrocarbon			Mức độ các hoạt động thăm dò và khai thác hydrocarbon				
	Trọng số (P)	0,10				0,05				0,05			0,04			0,10			0,04			0,04			0,04			0,04				
	Điểm của hạng (j)	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	5
1	MUỜNG TÈ	1				1						3	1					2	1			2			1			1				
2	ĐIỆN BIÊN-SƠN LA	1				1				1			1					3	1			1			1			1				
3	BẮC TRUNG BỘ	1					2					3	2					3	1			2			1			1				
4	SÔNG ĐÀ	1					2					3	2	1				1			1				1			1				
5	TÚ LỆ			3		1				1			1					2	1			1			1			1				
6	SÔNG HIẾN			3			2					3	2	1				1				2			1			1				
7	AN CHÂU		2				2					2	2					2				3			2				2			
8	QUẢNG NINH		2				2					3	1					2	1			2			1				2			
9	CHÂU THỎ SÔNG HỒNG		2				2					2	2					1			3	2					3				4	
10	SÔNG HỒNG NGOÀI KHƠI				4				4	2				3				1			3			3			3			3		

(Tiếp theo)

TT	Tiêu chuẩn	Tiềm năng than và khí than			Tầng chứa				Tầng chắn				Ghép cặp chứa/chắn				Vị trí trung (trên đất liền/ ngoài khơi)			Cơ sở hạ tầng			Nguồn CO ₂			Sự sẵn có số liệu			Tổng số điểm
	Trọng số (P)	0,04			0,10				0,10				0,04				0,04			0,04			0,10			0,04			
	Điểm của hạng (j)	1	2	3	1	2	4	8	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	MUỜNG TÈ	1				2					3			2					3	1			1			1			0,248
2	ĐIỆN BIÊN-SƠN LA	1				2					3			2					3	1			1			1			0,228
3	BẮC TRUNG BỘ	1				2					3			2					3	1				2		1			0,368
4	SÔNG ĐÀ	1				2				2				2					3	1				2		1			0,223
5	TÚ LỆ	1				2				2				2					3	1			1			1			0,203
6	SÔNG HIÊN	1					4				3			2					3	1			1			1			0,335
7	AN CHÂU	1					4				3				3				3		2				3		2		0,502
8	QUẢNG NINH		2			2				2				2					3		2				3			3	0,402
9	CHÂU THỎ SÔNG HỒNG			3				8				4			4				3			3			3			3	0,687
10	SÔNG HỒNG NGOÀI KHƠI			3				8				4			4		2			1			1				2		0,673



Hình 3.2. Sơ đồ phân hạng mức độ thích hợp cất giữ CO₂ cho các trũng trầm tích
lãnh thổ miền Bắc Việt Nam: Trũng rất thích hợp cất giữ địa chất CO₂; Trũng thích hợp trung bình cho cất giữ CO₂; Trũng kém thích hợp cho cất giữ địa chất CO₂.

III.3. ĐÁNH GIÁ TIỀM NĂNG CẤT GIỮ CO₂ CHO CÁC TRŨNG TRẦM TÍCH TRIỂN VỌNG

Các trũng Châu thổ Sông Hồng và An Châu là 2 trũng thích hợp cất giữ địa chất CO₂ đã được chọn để tiến hành các công tác nghiên cứu chi tiết của đề tài. Sau đây, đặc điểm cấu trúc địa chất của trũng, đặc trưng các tầng chứa và chắn, cũng như các diện tích triển vọng cất giữ địa chất CO₂ sẽ được mô tả.

III.3.1. TRŨNG CHÂU THỔ SÔNG HỒNG

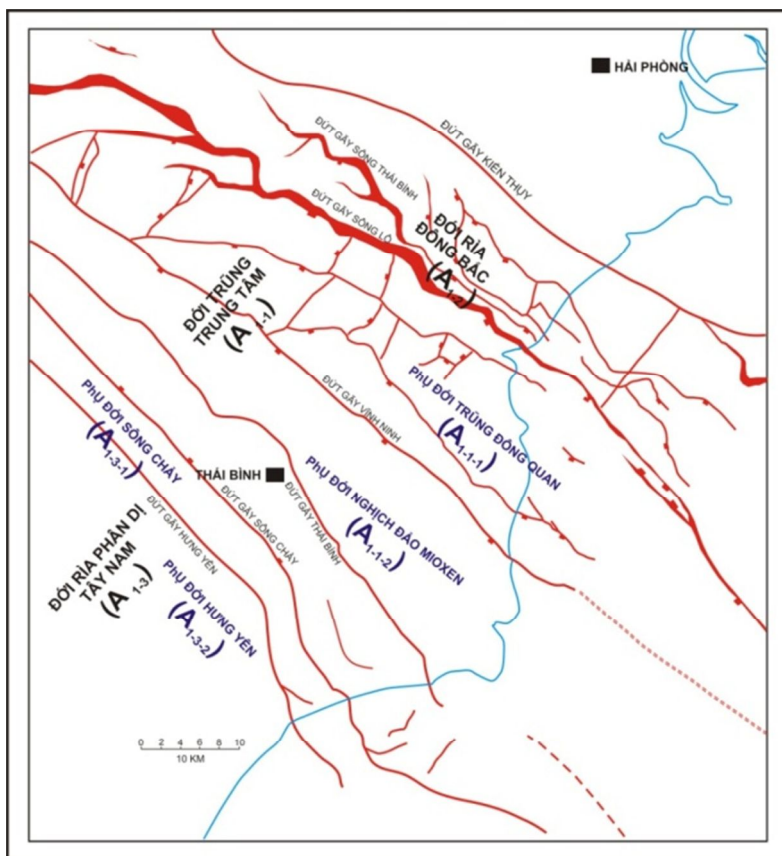
III.3.1.1. Đặc điểm cấu trúc địa chất

Trũng Châu thổ Sông Hồng là phần TB của bề trầm tích Đệ Tam Sông Hồng. Sự hình thành và phát triển của trũng chịu sự khống chế của các hệ thống đứt gãy phương TB - ĐN bao gồm: đứt gãy Sông Chảy ở phía TN, đứt gãy Sông Lô ở phía ĐB, và các đứt gãy nhỏ hơn khác. Trũng được lấp đầy bởi các trầm tích lục nguyên Kainozoi thuộc các hệ tầng: Phù Tiên (E_{2pt}); Đình Cao ($E_{3đc}$); Phong Châu ($N_1^1 pch$); Phù Cừ ($N_1^2 pc$); Tiên Hưng ($N_1^3 th$); Vĩnh Bảo ($N_2 vb$) và trầm tích Đệ Tứ (hệ tầng Hải Dương và Kiến Xương) (Hình 3.3). Trên cơ sở đặc điểm trầm tích, địa tầng và cấu trúc- kiến tạo, trũng Châu thổ Sông Hồng được chia thành các đơn vị cấu trúc sau: 1) Đới rìa Đông Bắc; 2) Đới Trung tâm (phụ đới Đông Quan và phụ đới nghịch đảo Miocen); và 3) Đới rìa Tây Nam (Hình 3.4 và 3.5).

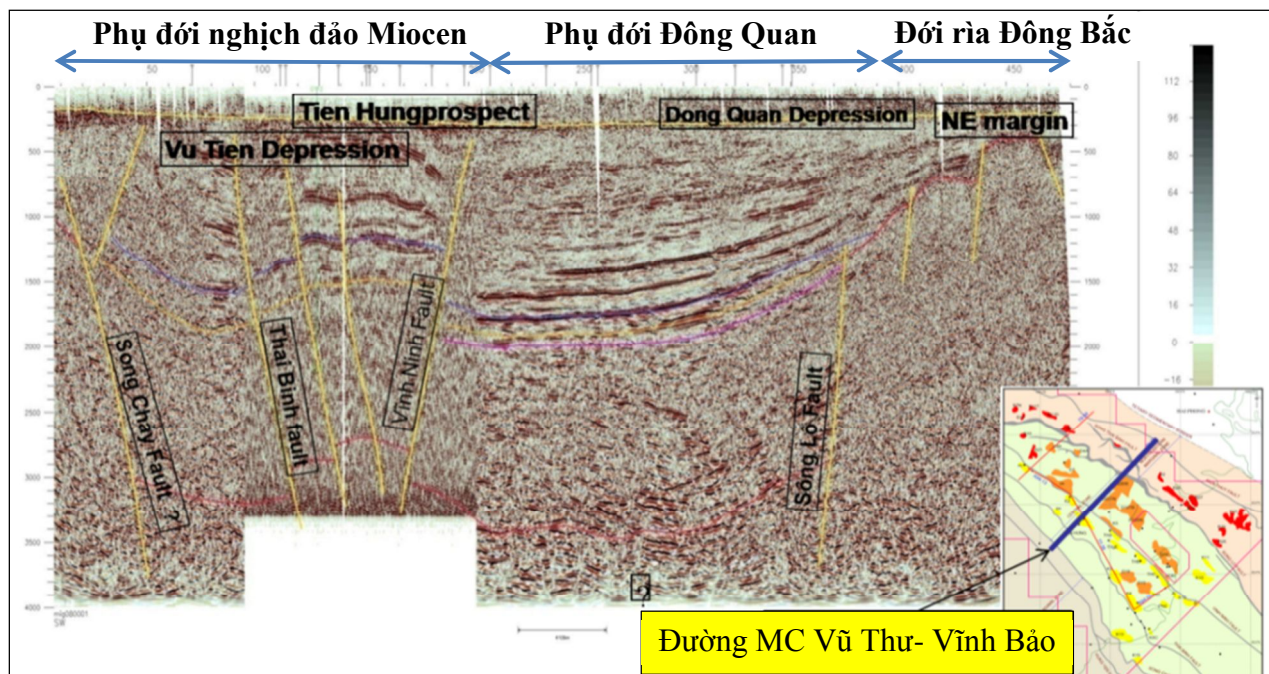
Đới rìa Đông Bắc: Được giới hạn từ đứt gãy Sông Lô lên phía ĐB. Trầm tích Đệ Tam ở đây có chiều dày không lớn, thay đổi từ 250m đến 2.750m, chúng nằm kế thừa lên móng và bao gồm các trầm tích từ Oligocen đến Đệ Tứ. Là khu vực vùng rìa, bao gồm các đới nâng, đới sụt nằm xen kẽ nhau hoặc tạo thành dãy, chúng bị chia cắt bởi các đứt gãy thuận theo hướng TB-ĐN hoặc ĐB-TN và tạo thành các cấu tạo âm dương như nhô Gia Lương, trũng Hải Dương, nâng Thanh Hà, nhô Tiên Lãng và các khối nâng địa phương khác như B10, B26, B6 với chiều sâu móng không lớn, nhiều nơi khác móng còn nhô cao, có nơi lộ lên cả trên bề mặt như tại khu vực núi Voi ở Hải Phòng.

GIỚI	HỆ THỐNG	PHỤ THỐNG	HỆ TẦNG	CỘT ĐỊA TẦNG			CHIỀU DÀY (M)	TRẮM TÍCH	ĐỐI CỔ SINH			TẬP ĐỊA CHẤN	MÔI TRƯỜNG	BIỂU HIỆN D/K		
				PHÙ CÙ TIỀN HẢI	THÁI THUY	VĨNH BẮC BỘ			FORAM	NANNO	PALYNO					
KAINOZOI	NEOGEN			Q	KIẾN XƯƠNG HẢI DƯƠNG			0-200	Cuội, sạn chuyển lên cát bột sét, than bùn							
				N ₂	VĨNH BẢO			100-500	Cát, bột, sét bột rôi, nhiều di tích động vật biển	<i>Pseudotalia</i> <i>Azeotulites</i> N9	NN12	<i>Dacrydium</i> <i>Liquidambar</i>	SH ₁	Biển		
				N ₁	N ₁ ³	TIÊN HUNG			400-1200	Cát kết dày màu xám xen bột, sét kết và than	<i>Pseudoretzia</i>	NN10-NN11	<i>Stenoclaena</i> <i>Ilex</i> <i>Quercus</i>	SH ₂	Đồng bằng châu thổ	
					N ₁ ²	PHÙ CÙ			500-1000	Sét, bột kết xám, xám tối, xen các lớp cát kết và than	" <i>Corbula</i> " <i>Balanus</i> <i>Trochamita</i> <i>Ammonia</i> N9-N13	NN6-NN9	<i>F. semilobata</i> <i>F. trilobata</i> <i>Betula</i> <i>Alnipollenites</i>	SH ₃	Đồng bằng châu thổ biển nông	☀
					N ₁ ¹	PHONG CHÂU			400-1400	Cát kết xen cát bột kết, phân lớp dạng thấu kính, dạng gợn sóng			<i>F. levipoli</i> <i>Betula</i> <i>Alnipollenites</i>	SH ₄	Đồng bằng châu thổ	☀
	PALEOGEN				E ₃	ĐÌNH CAO		100-1000	Cát, bột và sét kết xám, xám đen, xen cuội kết dạng puding	" <i>Viviparus</i> "		<i>F. trilobata</i> <i>Cicatricosisporites</i> <i>Vermuricosporites</i> <i>Göthanopolis</i>	SH ₅	Đầm lầy	☀	
					E ₂	PHÙ TIÊN			500-600	Cuội kết, cát kết, xen bột và sét phân nhiều màu tím.			<i>Trudopollis</i>	SH ₆ ?	Đầm lầy Aluvial	
TRƯỚC KZ					ĐÁ MÓNG									●		

Hình 3.3. Cột địa tầng tổng hợp trùng Châu thổ Sông Hồng



Hình 3.4. Phân vùng cấu trúc trũng Châu thổ Sông Hồng



Hình 3.5. Mặt cắt địa chấn phương TN-ĐB cắt qua các đơn vị cấu trúc chính của trũng Châu thổ Sông Hồng

Đới Trung tâm: Được giới hạn bởi hai đứt gãy chính là đứt gãy thuận Sông Lô ở phía ĐB và đứt gãy Sông Chảy ở phía TN. Đây là vùng sụt lún lớn, có cấu trúc địa chất và đặc điểm kiến tạo hết sức phức tạp. Chiều dày trầm tích Đệ Tam ở đây rất lớn, nơi dày nhất đạt trên 7.000m, có xu hướng chìm dần ra vịnh Bắc Bộ. Theo đặc điểm cấu trúc và kiến tạo thì đới này được chia ra hai phụ đới khác nhau:

+ *Phụ đới Đông Quan:* Trũng Đông Quan là cấu tạo bậc IV của bề trầm tích Sông Hồng. Nó được giới hạn bởi hai đứt gãy chính là đứt gãy Sông Lô ở phía ĐB và đứt gãy nghịch Vĩnh Ninh ở phía TN. Đây là đới sụt lún sâu của trũng Châu thổ Sông Hồng và có xu hướng giảm dần về phía ĐB. Chiều dày trầm tích Đệ tam ở đây đạt trên 5.500m ở chỗ sâu nhất và 3.000m ở phía rìa kè đứt gãy. Trầm tích Đệ tam ở đây có mặt đầy đủ các thành tạo từ Paleogen đến Đệ Tứ, chúng bị chia cắt thành các khối bởi các hệ thống đứt gãy có phương khác nhau như TB-ĐN, ĐB-TN và có cả các đứt gãy á vĩ tuyến.

+ *Phụ đới nghịch đảo Miocen:* Đới nghịch đảo này còn gọi là đới nghịch đảo Khoái Châu- Tiên Hải- Kiến Xương, được khống chế bởi hai đứt gãy lớn: đứt gãy Vĩnh Ninh phía ĐB và đứt gãy Sông Chảy phía TN. Chiều dày trầm tích Đệ Tam ở đới này rất lớn, chỗ sâu nhất đạt trên 7.000m bao gồm các thành tạo từ Eocen đến Đệ Tứ. Là khu vực bị nén mạnh do pha hoạt động kiến tạo xảy ra ở cuối Miocen giữa, đầu Miocen muộn và kéo dài cho đến tận cuối Miocen muộn. Do tác động của pha hoạt động nén ép này nên đã gây ra sự uốn nếp mạnh hình thành hàng loạt cấu tạo hình hoa như các cấu tạo: Khoái Châu, Phù Cừ, Tiên Hưng, Kiến Xương và Tiên Hải.

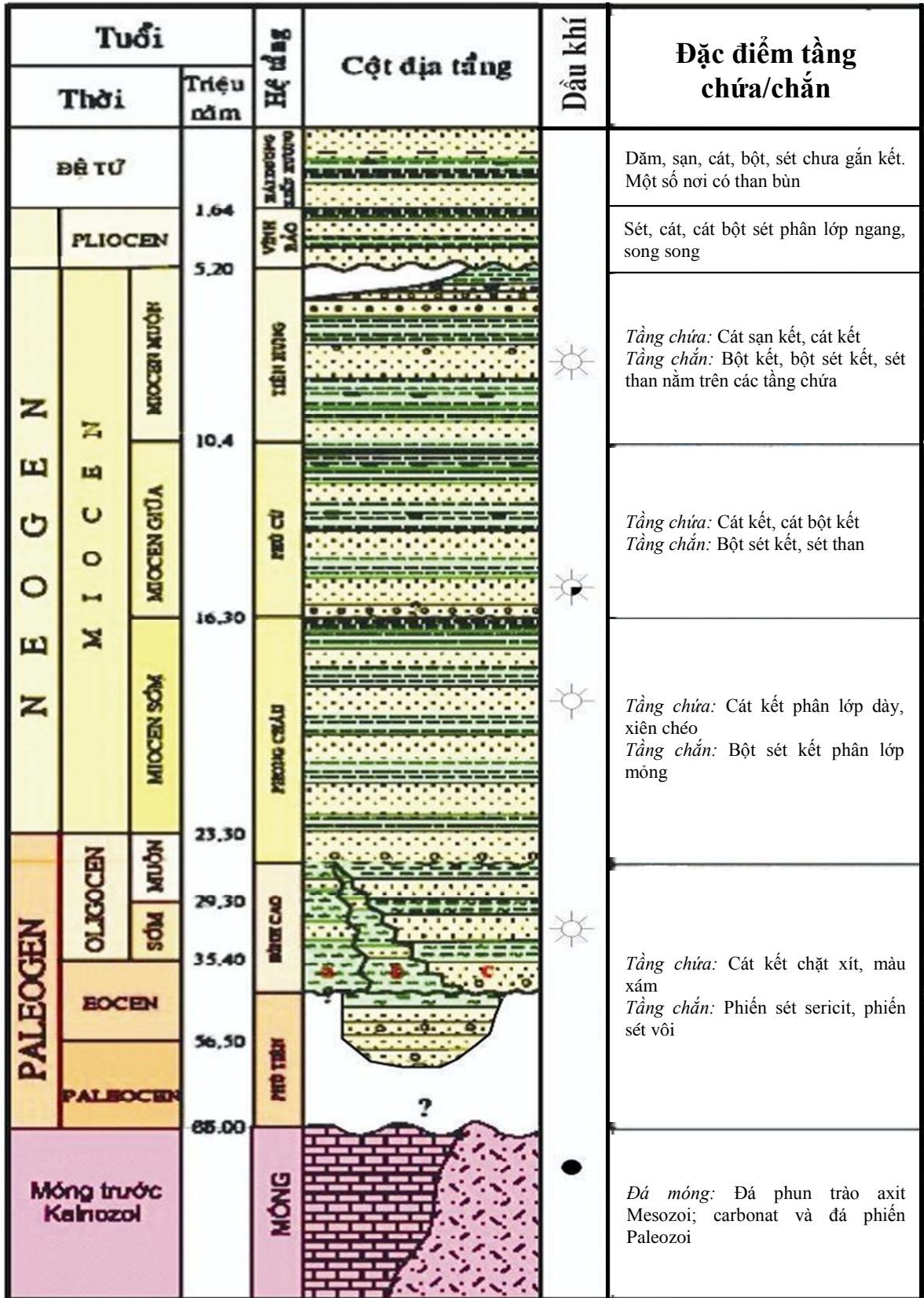
Đới rìa Tây Nam: Cũng như đới rìa Đông Bắc, đới rìa phân dị Tây Nam này cũng là cấu tạo bậc III của bề Sông Hồng. Là đới được hình thành trên một khu vực có móng trước Đệ Tam bị phân dị mạnh và hết sức phức tạp về thành phần đá và tuổi địa chất. Chiều dày trầm tích Đệ Tam ở đây tương đối mỏng,

thay đổi từ vài trăm mét đến nghìn mét, nhưng cũng có những hố sâu đạt 3.000 - 4.000m. Trong đới này bao gồm các đới nâng sụt khác nhau, nằm gần như xen kẽ và chúng được khống chế bởi các đứt gãy lớn với phương cấu trúc trùng với phương phát triển của đứt gãy.

III.3.1.2. Đặc trưng tầng chứa và tầng chắn

Nếu xét đến khoảng độ sâu thích hợp cho cất giữ CO₂ (từ -800 đến -3.000m) và diện phân bố lớn, chỉ có các hệ tầng Đình Cao (E_{3đc}), Phong Châu (N₁¹*pch*), Phù Cù (N₁²*pc*) và Tiên Hưng (N₁³*th*) được xem là đối tượng nghiên cứu của đề tài tại vùng Châu thổ Sông Hồng, còn các hệ tầng Phù Tiên (E_{2pt}), Vĩnh Bảo (N_{2vb}) và trầm tích Đệ Tứ (hệ tầng Hải Dương và Kiến Xương) quá sâu hoặc quá nông và qui mô phân bố nhỏ, vì vậy không phải là đối tượng đánh giá của đề tài.

Các hệ tầng này đều là các trầm tích lục nguyên, được đặc trưng bởi tính chu kỳ rõ rệt với sự xen kẽ giữa các lớp cát sạn kết, cát kết hạt vừa, cát bột kết phân lớp mỏng, bột kết, sét kết cấu tạo khối chứa nhiều vỉa than lignit. Trong đó, các tầng với chủ yếu các lớp cát kết, cát sạn kết đóng vai trò các tầng chứa cho cất giữ CO₂, còn các tầng sét kết, sét bột kết dày, phân bố rộng đóng vai trò tầng chắn cho các tầng chứa nằm dưới nó (Hình 3.6). Ngoài ra, còn phải kể đến các vỉa than lignit phân bố trong các hệ tầng Phù Cù và Tiên Hưng còn là các tầng chứa trong loại hình cất giữ CO₂ trong các vỉa than sâu [2], [11], [4]. Trong đoạn sau, đặc điểm trầm tích và thành phần thạch học của các tầng chứa và tầng chắn được mô tả:



Hình 3.6. Sự xen kẽ của các lớp cát kết, cát sạn kết (màu vàng) với các tầng sét kết, sét bột kết (màu xanh) tạo nên hệ thống chứa- chấn ở trữing CTSH

Tầng chứa

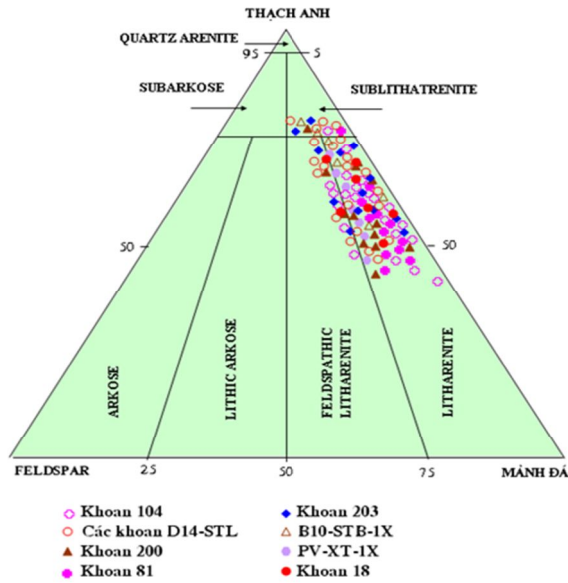
Oligocen, Hệ tầng Đình Cao (E_3 đc)

Đá chứa Oligocen (hệ tầng Đình Cao) gồm cát kết hạt mịn đến vừa, ít hạt trung đến thô, đôi khi xuất hiện cát kết chứa sạn, sỏi gắn kết chắc. Hạt vụn có độ chọn lọc trung bình đến trung bình kém. Cát kết phần nhiều thuộc loại litharenit, với một lượng ít hơn là sublitharenit và feldspathic litharenit (Hình 3.7) với thành phần chủ yếu thạch anh và mảnh đá các loại (đá phun trào và đá phiến kết tinh, ít mảnh đá carbonat) và một lượng nhỏ felpat. Hàm lượng ximăng rất cao, bao gồm ximăng carbonat (trung bình 5 - 8.7%), sét (trung bình 7 - 12%) và ximăng thạch anh (2 - 6%) cùng một lượng nhỏ ôxit sắt (Hình 3.8).

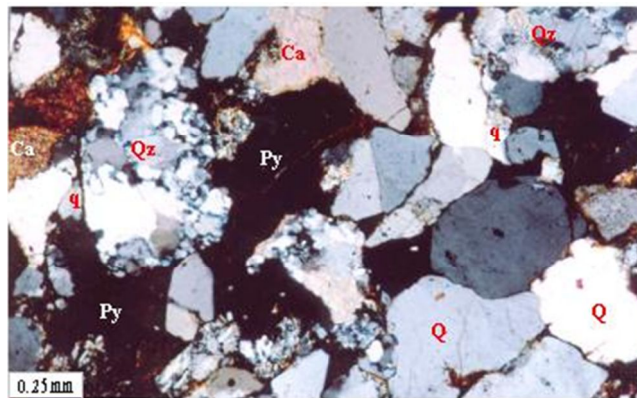
Kết quả phân tích mẫu lõi khoan cho thấy độ rỗng chủ yếu nằm ở dưới 12% (tương ứng với độ thấm < 1mD), có rất ít mẫu với độ rỗng lớn hơn 15% và độ thấm lớn hơn 20-30mD (Hình 3.9). Phân tích tài liệu ĐVLGK cũng đưa ra kết quả phù hợp với độ rỗng hiệu dụng tập trung phần lớn từ 8 - 12%. Hầu hết cát kết khá rắn chắc do được gắn kết bởi một lượng lớn ximăng sét, carbonat và thạch anh, kết quả của quá trình biến đổi thứ sinh xảy ra tương đối mạnh và tăng dần theo độ sâu từ giai đoạn Katagene sớm (trầm tích ở độ sâu <2500m) đến Katagene muộn (đối với các trầm tích ở độ sâu lớn hơn 3.000m) và Katagene muộn - Metagene sớm (trầm tích nằm sâu hơn 3.900m). Kết quả của của phần lớn các hiện tượng biến đổi này, đặc biệt là quá trình ximăng hoá và nén kết, đã làm giảm rất mạnh độ rỗng nguyên sinh giữa hạt (thường <10% cho các trầm tích nằm sâu hơn 3.000m). Tuy nhiên, quá trình hoà tan các khoáng vật kém vững bền cũng tạo ra một lượng nhất định các lỗ rỗng thứ sinh (từ 1% đến 6%) và các lỗ rỗng hoà tan này đã cải thiện phần nào đặc tính chứa của đá. Như vậy, có thể thấy rằng đặc tính thấm chứa của cát kết Oligocen nằm ở sâu hơn 3.000m chỉ ở mức trung bình đến kém. Khả

nặng chứa có thể sẽ tốt hơn đối với các đá cát kết Oligocen nằm ở độ sâu <2800m.

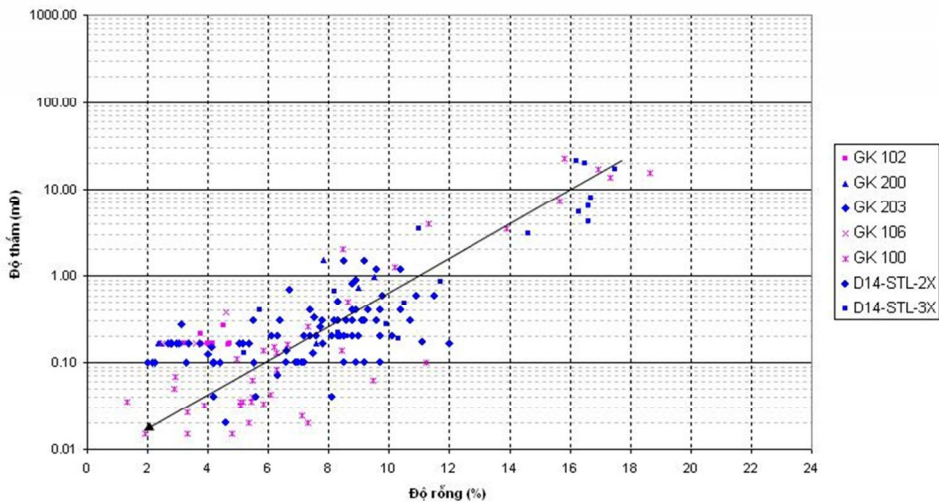
Với đặc trưng như vậy, đá chứa của hệ tầng này được đánh giá là có chất lượng thuộc loại kém.



Hình 3.7. Thành phần cát kết Oligocen trũng Châu thổ Sông Hồng



Hình 3.8. Cát kết Oligocen hạt trung, lựa chọn và mài tròn trung bình. Thành phần nhiều thạch anh (Q), mảnh đá quartzit (Qz) và đá phiến. Ximăng thạch anh (q), carbonat (Ca) và pyrit (Py) lấp đầy hầu hết lỗ rỗng giữa hạt. Tiếp xúc các hạt vụn chủ yếu dạng đường cong và răng cưa do đá bị nén kết mạnh; Giếng khoan PV-XT-1X, sâu 1176m, Nikon +

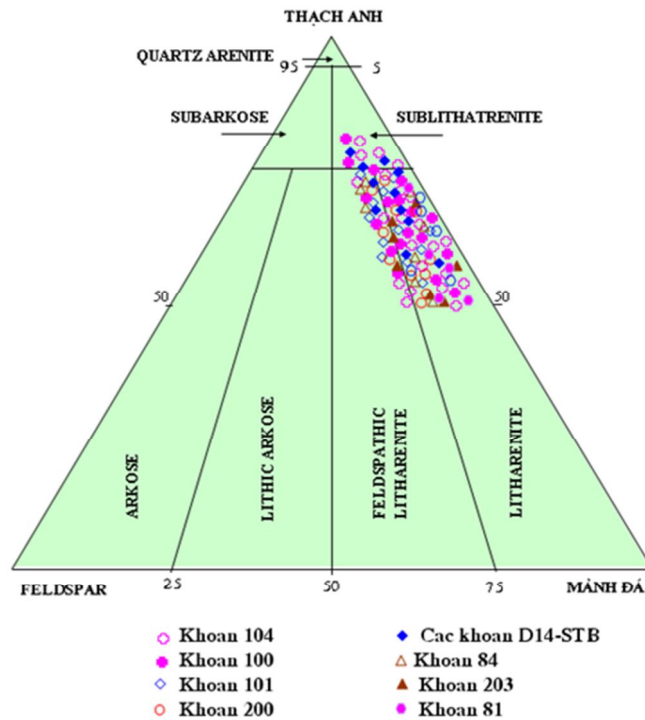


Hình 3.9. Quan hệ độ rỗng-thấm đá chứa Oligocen (Hệ tầng Đình Cao)

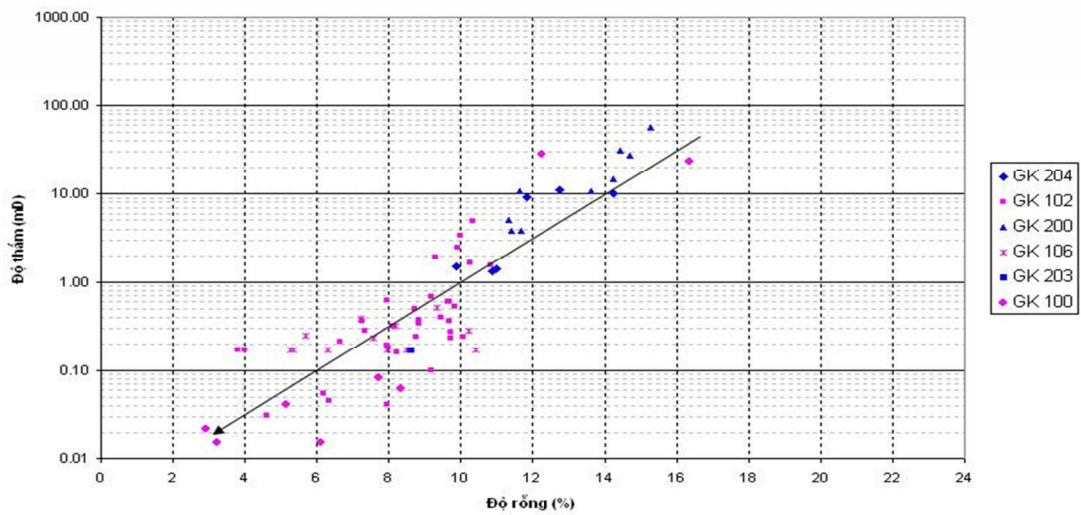
Miocen dưới, Hệ tầng Phong Châu (N_1^1 pch)

Đá chứa Miocen dưới (hệ tầng Phong Châu) là các tập cát kết nằm ở độ sâu từ 1.200m đến 3.000m. Cát kết màu xám, xám sáng, xám tối, xám xanh hạt mịn đến trung, đôi chỗ gặp cát hạt thô chứa cuội, sạn. Hạt vụn nhìn chung có độ chọn lọc từ trung bình đến tốt. Độ mài tròn phần lớn ở dạng bán góc cạnh đến bán tròn cạnh. Phần lớn cát kết được gắn kết chắc bởi ximăng carbonat. Cát kết ở khu vực trung tâm thường chứa nhiều khoáng vật glauconit và hoá đá foram, tuy nhiên chúng hiếm gặp hoặc vắng mặt ở khu vực trũng Đông Quan và các nơi khác. Đa phần cát kết hệ tầng Phong Châu thuộc loại litharenit, ít sublitharenit và feldspathic litharenit với thành phần giàu mảnh vụn thạch anh, mảnh đá và một lượng nhỏ felpat (Hình 3.10). Tỷ lệ mảnh đá gặp khá cao (>15%) gồm nhiều mảnh đá phun trào, đá biến chất (đá phiến các loại, quaczit) và một lượng ít hơn các mảnh đá carbonat và silic. Thành phần ximăng chủ yếu là carbonat, phổ biến 10-25%, ít ximăng sét và thạch anh. Theo kết quả phân tích mẫu lõi (Hình 3.11) thì độ rỗng của đá thuộc hệ tầng này thay đổi từ 4 - 16%, tương ứng với độ thấm từ dưới 0,1mD đến 50mD. Độ rỗng hiệu dụng xác định theo tài liệu ĐVLGK tập trung chủ

yếu từ 11 - 15%. Với đặc trưng như vậy, đá chứa ở đây được đánh giá có chất lượng từ kém đến trung bình.



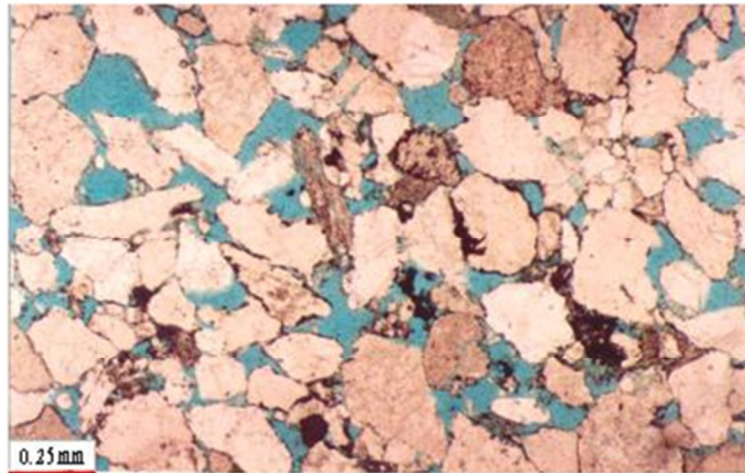
Hình 3.10. Thành phần cát kết Miocen dưới trũng Châu thổ Sông Hồng



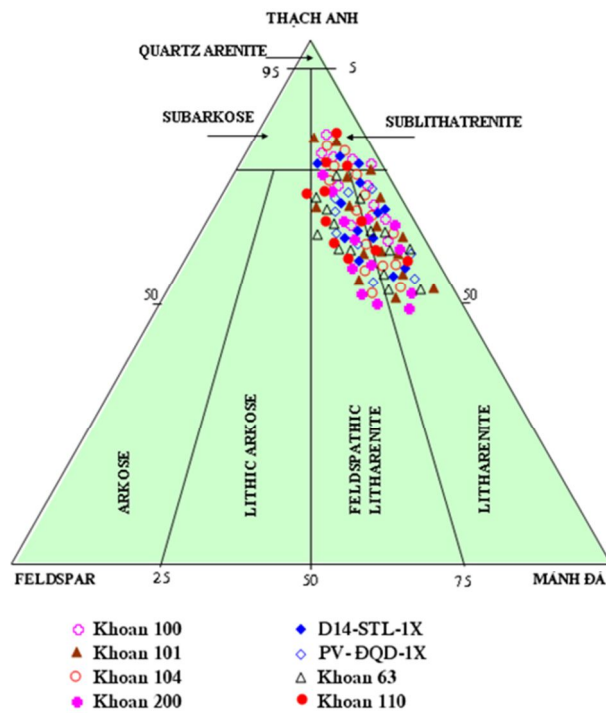
Hình 3.11. Quan hệ độ rỗng và độ thấm Miocen dưới (Hệ tầng Phong Châu)

Miocen giữa, Hệ tầng Phù Cừ (N_1^2 pc)

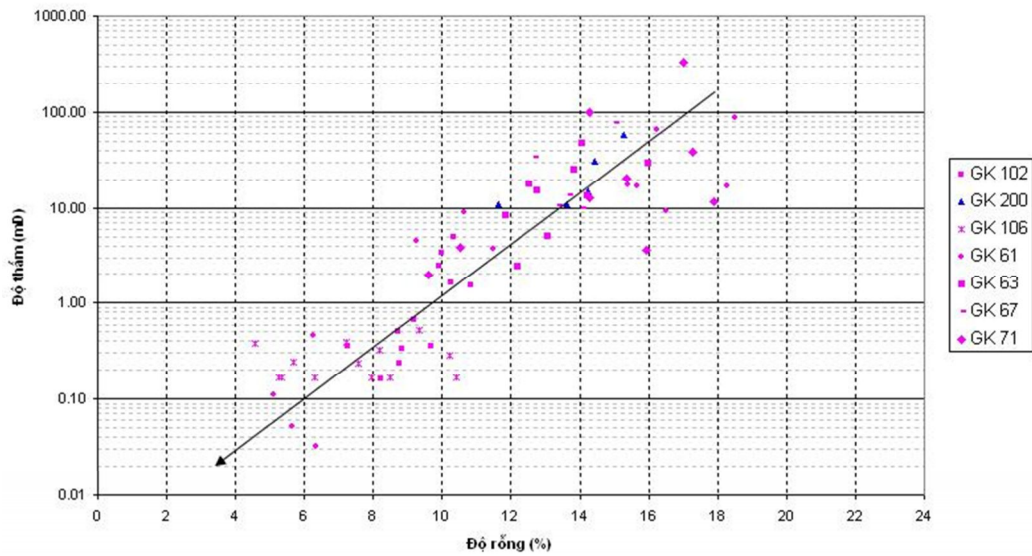
Đá chứa Miocen giữa (hệ tầng Phù Cừ) bao gồm các tập cát kết nằm ở độ sâu từ 800m đến 2.500m. Cát kết có màu xám sáng đến xám xanh thường hạt nhỏ đến trung (với kích thước hạt phổ biến 0.14-0.3mm), đôi khi xuất hiện ít cát hạt thô. Hạt vụn có độ chọn lọc và mài tròn tốt đến trung bình (Hình 3.12). Cát kết phổ biến có cấu tạo phân lớp mỏng hoặc dạng thấu kính, phân lớp xiên kiểu “sọc vằn”, đôi khi dạng khối có chứa nhiều kết hạch siderit. Trong cát kết thường có mặt của các dạng hoá đá biển: Foraminifera, Ostracoda, Macrofauna và khoáng vật glauconit đặc trưng cho môi trường biển nông, ven bờ. Khoáng vật phụ có mặt tuamalin, zircon và granat. Cát kết phần nhiều thuộc loại litharenit, ít sublitharenit và feldspathic litharenit (Hình 3.13). Đá được gắn kết trung bình - tốt bởi một lượng lớn ximăng bao gồm carbonat (6-10%), sét (7-12%) và các ximăng khác (2-5%). Trầm tích Miocen giữa nhìn chung bị biến đổi thứ sinh chưa cao, phần lớn ở giai đoạn Katagene sớm, và một số ở Katagene sớm - Katagene muộn đối với các đá bị chôn vùi ở độ sâu lớn hơn 2.500m. Quá trình ximăng hoá xảy ra tương đối mạnh và là hiện tượng biến đổi đặc trưng cho các trầm tích hệ tầng Phù Cừ. Kết quả của quá trình này đã tạo ra một lượng ximăng đáng kể (>10%) lấp đầy một phần hoặc hoàn toàn các lỗ rỗng giữa hạt. Và đây cũng là nguyên nhân chính làm giảm một phần khả năng thấm chứa nguyên sinh cho các đá nằm sâu hơn 2.200m. Nhìn chung, đặc tính thấm chứa của các đá vụn Miocen giữa thuộc loại trung bình - khá, độ rỗng thay đổi từ 6 đến 18%, trung bình khoảng 15%, độ thấm từ 0,1 đến 100 mD, trung bình khoảng 10- 20 mD (Hình 3.14). Một số vỉa khí và condensat đã được phát hiện trong các lớp cát kết tuổi này (mỏ khí Tiền Hải C, Thái Bình).



Hình 3.12. Cát kết Miocen giữa hạt nhỏ đến trung, hạt vụn có độ lựa chọn tốt, mài tròn trung bình. Đá có đặc tính chứa khá với sự có mặt chủ yếu các lỗ rỗng nguyên sinh giữa hạt (hạt xanh) kích thước 0,07 - 0,25mm, sự lưu thông của lỗ rỗng tốt. GK 100, sâu 1692m, Nikon (-)



Hình 3.13. Thành phần đá cát kết Miocen giữa- trên trũng Châu thổ Sông Hồng

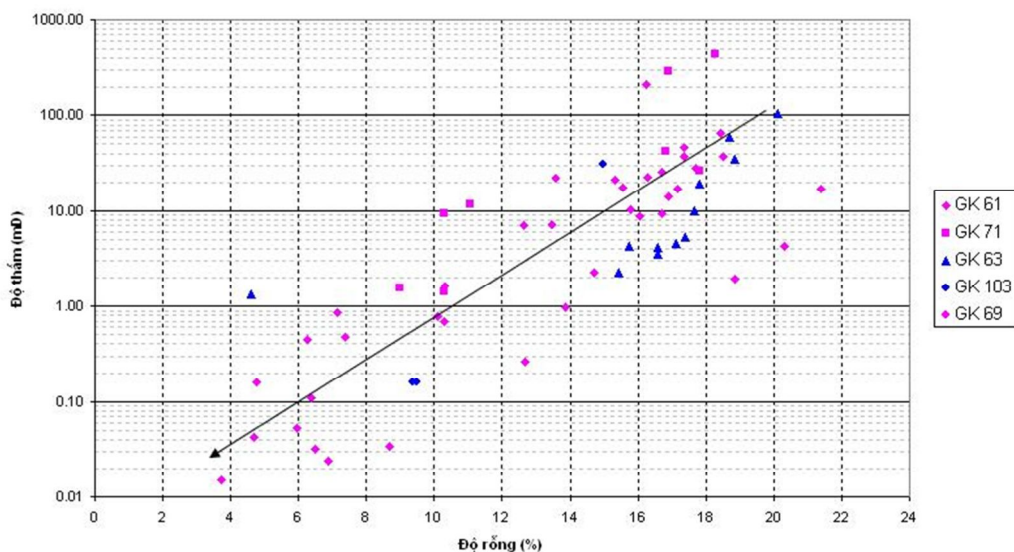


Hình 3.14. Quan hệ rỗng- thấm Miocen giữa- hệ tầng Phù Cù

Miocen trên, Hệ tầng Tiên Hưng (N_1^3 th)

Đá chứa Miocen trên (hệ tầng Tiên Hưng) bao gồm các tập cát kết nằm ở độ sâu từ 300- 1800m. Các lớp cát kết màu xám trắng, xám nhạt đôi khi xám xanh thường có phân lớp dày đến dạng khối. Kích thước hạt thay đổi từ mịn đến thô, độ chọn lọc không đồng đều, thay đổi từ trung bình đến kém. Đa phần hạt vụn có dạng bán góc cạnh đến bán tròn cạnh. Nhìn chung, cát kết được gắn kết ở mức trung bình ở phần dưới hoặc còn bở rời ở phần trên của lát cắt. Ximăng gắn kết chủ yếu là carbonat và sét có tỷ lệ tăng dần từ phần trên đến phần dưới của lát cắt. Khoáng vật đồng sinh gặp nhiều siderit, pyrit và đôi khi có glauconit. Giống như hệ tầng Phù Cù, cát kết Miocen trên hệ tầng Tiên Hưng phần nhiều là loại litharenit, feldspathic litharenit (Hình 3.13). Đá bị tác động yếu bởi quá trình biến đổi thứ sinh (Katagenes sớm) nên vẫn bảo tồn được độ rỗng, độ thấm nguyên sinh tốt (Hình 3.15). Kết quả phân tích mẫu lõi của một số giếng khoan cho thấy nhìn chung độ rỗng và độ thấm của đá là cao, độ rỗng từ 6 đến 22% (trung bình 18%) và độ thấm từ 0,1 đến vài trăm mD (trung bình 20-30 mD). Độ rỗng hiệu dụng xác định theo tài liệu

ĐVLGK tập trung nhiều trong khoảng từ 16 đến 20%, có nơi cao tới 35 - 36%. Đây là tầng chứa tốt nhất ở trũng Châu thổ Sông Hồng.

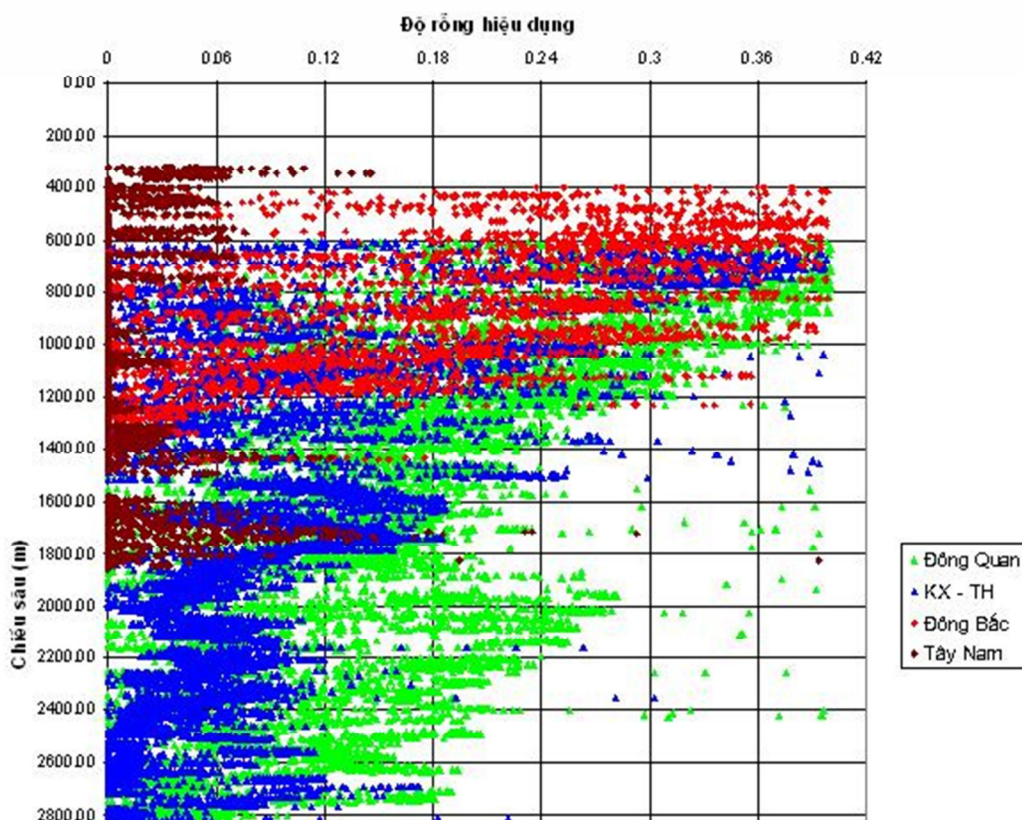


Hình 3.15. Quan hệ rỗng - thấm Miocen trên – hệ tầng Tiên Hưng

Đánh giá chung:

Đá chứa ở trũng Châu thổ Sông Hồng được chia làm 4 tầng, ứng với Miocene trên (hệ tầng Tiên Hưng); Miocene giữa (hệ tầng Phù Cừ), Miocene dưới (hệ tầng Phong Châu) và Oligocen (hệ tầng Đình Cao). Các tầng này có các đặc điểm khác nhau về đặc trưng thạch học, môi trường trầm tích và tính chất thấm chứa. Quan hệ giữa độ rỗng hiệu dụng với chiều sâu của đá chứa (Hình 3.16) cho thấy phần trên của lát cắt địa chất trũng Châu thổ Sông Hồng (từ khoảng độ sâu 2.500m trở lên), tương ứng với Miocen giữa và trên (các hệ tầng Tiên Hưng và Phù Cừ), đá chứa có độ rỗng hiệu dụng rất cao (có nơi tới 40%) và độ rỗng giảm rất nhanh theo chiều sâu. Điều này cũng rất phù hợp với đặc trưng thạch học đá chứa như đã mô tả ở trên. Ở phần dưới của lát cắt (khoảng độ sâu 2.500m trở xuống) tương ứng với Miocen dưới và Oligocen (hệ tầng Phong Châu và hệ tầng Đình Cao), do đá bị nén kết và biến chất

manh mà độ rỗng hiệu dụng giảm. Độ sâu tương ứng với độ rỗng hiệu dụng 10% (độ thấm khoảng 1mD) là khoảng 3.000m. Như vậy, ở trũng Châu thổ Sông Hồng, các tầng chứa quan trọng cho cất giữ địa chất CO₂ là các tầng cát kết, sạn kết của hệ tầng Tiên Hưng và Phù Cừ. Dưới độ sâu 3.000m rất ít có khả năng còn tìm thấy các tầng chứa tốt, trừ phi chúng bị phá huỷ kiến tạo, tạo nên độ rỗng nứt nẻ.



Hình 3.16. Quan hệ giữa độ rỗng hiệu dụng và chiều sâu từ 400-2.800m theo tài liệu giếng khoan trũng Châu thổ Sông Hồng

Chế độ nhiệt độ và áp suất của các tầng chứa trong trầm tích trũng Châu thổ Sông Hồng được xác định trên cơ sở kết quả đo được từ các giếng khoan. Với các số liệu có được các tầng chứa trong trầm tích trũng Châu thổ Sông Hồng có gradient nhiệt độ biến đổi từ 3,3-3,5°C/100m, cao hơn các vùng khác ở miền Bắc Việt Nam. Nhiệt độ tầng chứa có thể đạt từ 50°C tại độ

sâu khoảng 800m tới hơn 90°C tại độ sâu 2.000m. Theo các số liệu đo áp suất, các vỉa chứa nước trong khoảng 800-2.000m có chế độ áp suất thủy tĩnh bình thường, độ khoáng hóa trung bình của nước vỉa khoảng 27.000mg/l tại khu vực mỏ khí Tiền Hải C.

Tầng chắn

Ở trũng Châu thổ Sông Hồng, sự tồn tại của đá chắn dầu khí trong trầm tích có tuổi Miocen và Oligocen đã được khẳng định qua việc phát hiện dầu khí ở các cấu tạo THC, D14-STL, B10-STB. Đây cũng là các tầng chắn tiềm năng cho cất giữ địa chất CO₂.

Miocen

Đá đóng vai trò tầng chắn bao gồm các tập sét kết, bột kết nằm ở các hệ tầng từ Tiên Hưng, Phù Cừ đến Phong Châu. Ngoài ra, ở hệ tầng Tiên Hưng và Phù Cừ còn có các tập than, sét than dày cũng có khả năng chắn đối với CO₂.

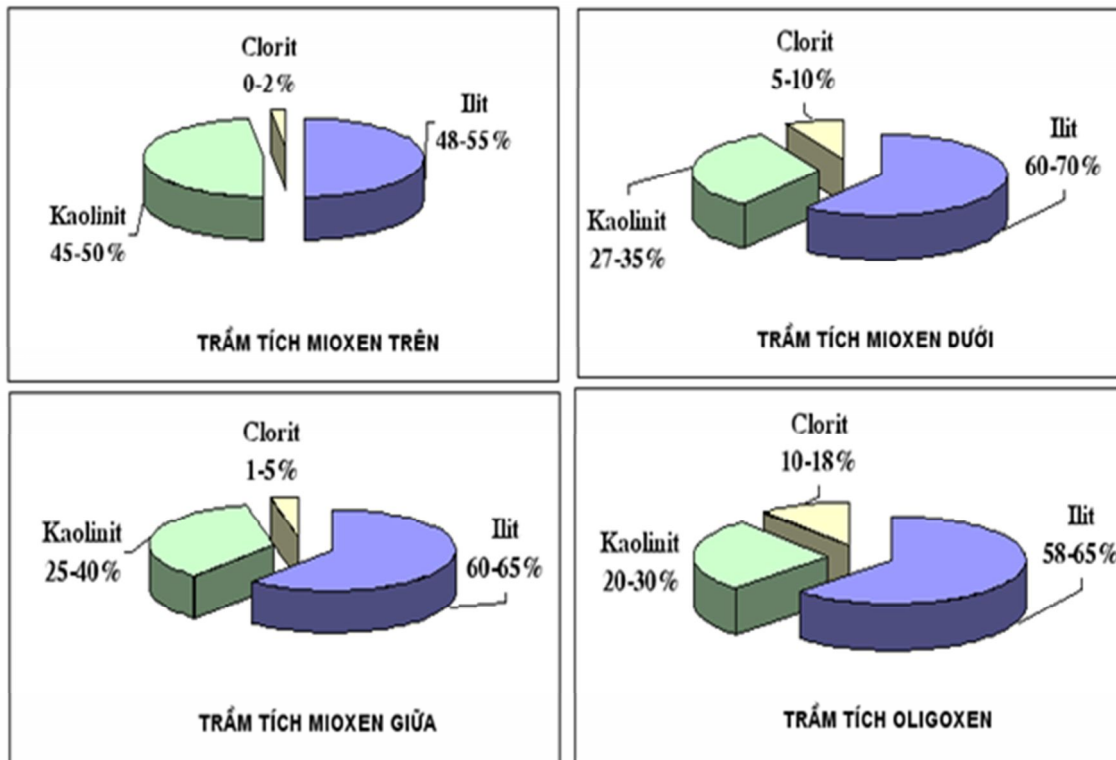
- Đá sét kết ở hệ tầng Tiên Hưng được gắn kết yếu, mềm và bở rời. Đá có màu xám xanh, xám sáng, xám nâu, xám đen và chứa nhiều vụn than. Nhiều lớp sét kết có chứa một lượng carbonat đáng kể (5-20%). Đá sét kết có độ dày từ 5-15m, với hàm lượng sét từ 65-90%.

- Đá sét kết ở hệ tầng Phù Cừ có độ dày từ 5-25m, phát triển tương đối ổn định, với hàm lượng sét từ 60-70%.

- Đá sét kết ở hệ tầng Phong Châu có độ gắn kết trung bình tới tốt. Với độ dày từ 10-30m và hàm lượng sét từ 65-70%. Các tập sét kết này được phân bố tương đối rộng và ổn định.

Nhìn chung, thành phần khoáng vật sét của cả 3 tầng nêu trên đều bao gồm chủ yếu là Illit và Kaolinit với một lượng nhỏ Clorit (Hình 3.17), không

chứa khoáng vật có độ trương nở cao và với các đặc điểm nêu trên thì đá chắn trong trầm tích Miocen ở vùng Châu thổ Sông Hồng chỉ được đánh giá ở mức độ trung bình. Ở các khu vực vùng Đông Quan, các tập sét kết này dày và phát triển ổn định hơn, tạo nên khả năng chắn tốt hơn so với ở các khu vực khác.



Hình 3.17. Thành phần khoáng vật sét trầm tích Oligocen và Miocen, vùng Châu thổ Sông Hồng

Oligocen

Đá chắn được biết đến là các tập sét kết, sét bột phát triển mang tính địa phương, với hàm lượng sét từ 65-80% và độ dày thay đổi từ khu vực này sang khu vực khác. Tại vùng Đông Quan nằm trên các tầng cát kết là các tập sét bột kết dày hơn 50m; tại rìa Đông Bắc, các tập sét kết dày tới 35m; còn ở rìa Tây Nam, các tập sét kết này dày từ 20-25m, đôi khi gặp sét kết với độ dày cao hơn (40-50m). Tuy nằm ở dưới sâu, được nén kết rắn chắc, song thành

phần khoáng vật sét cũng tương tự như đối với các tập sét kết trong Miocen, không chứa khoáng vật trương nở nên khả năng chắn của chúng cũng bị hạn chế. Hơn nữa, phân bố trong phạm vi hẹp nên chúng chỉ đóng vai trò là các tầng chắn địa phương đối với các tầng chứa nằm dưới.

III.3.1.3. Khoanh định và ước đoán khả năng cất giữ địa chất CO₂

Kết quả tổng hợp xử lý các tài liệu nghiên cứu trước, cùng với các tài liệu thu thập của đề tài trong quá trình khảo sát các lỗ khoan đang triển khai của Đề án “Đánh giá tổng thể tài nguyên than bòn trũng Sông Hồng” đã có thể khẳng định được rằng: Trong diện tích trũng Châu thổ Sông Hồng, các thành tạo địa chất có thể sử dụng cho cất giữ địa chất CO₂ bao gồm các bể chứa khí đang cạn kiệt, các vỉa than sâu không thể khai thác, và các tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu. Sau đây, việc đánh giá và khoanh định các thành tạo địa chất này sẽ được mô tả:

III.3.1.3.1. Các bể chứa khí

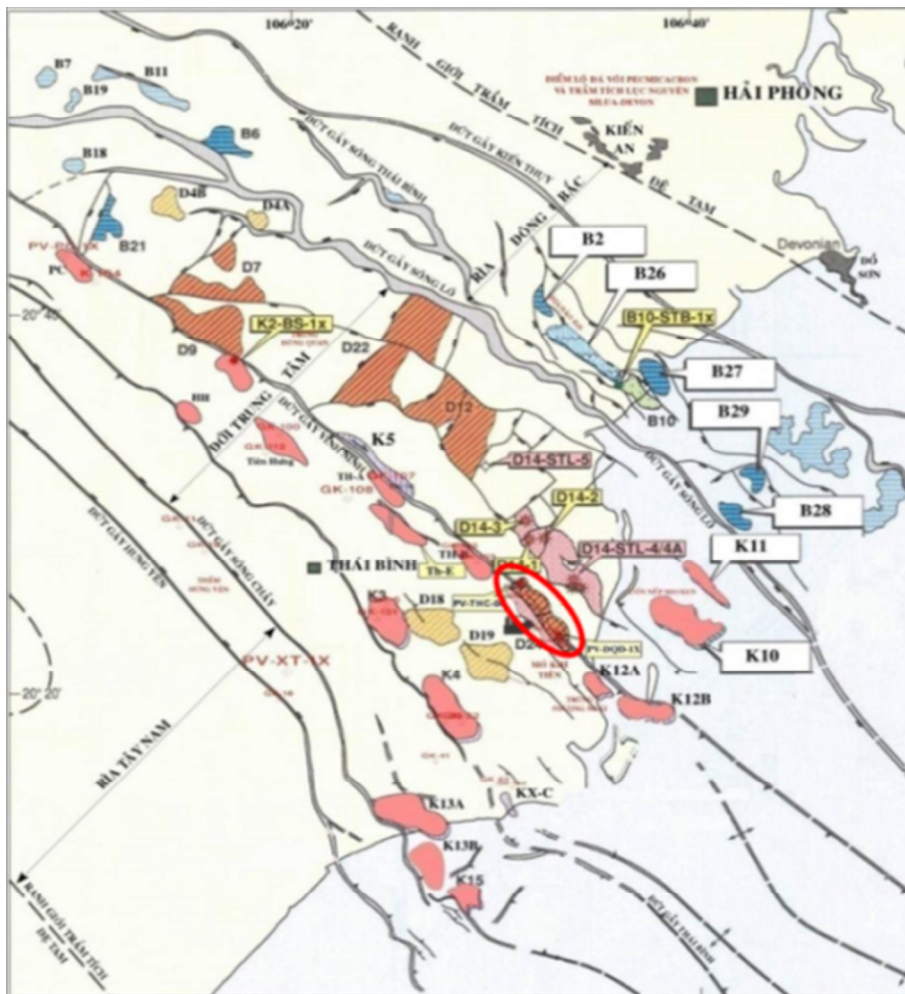
a. Đánh giá khả năng cất giữ CO₂

Các mỏ khí đang khai thác hoặc đã cạn kiệt là những khu vực có các điều kiện tốt cho việc cất giữ CO₂. Bởi vì, khí đã được tích trữ trong bẫy trong thời gian dài hàng triệu năm chứng tỏ bể khí là nguyên vẹn và an toàn cho cất giữ CO₂.

Hiện tại chúng ta đã phát hiện và khai thác ở các mỏ Tiền Hải C, Đông Quan D và Sông Trà Lý. Do nhiều nguyên nhân, cho đến nay các mỏ Đông Quan D và Sông Trà Lý đã đóng và các thiết bị khai thác đã được hủy. Chỉ còn mỏ Tiền Hải C đang khai thác với lưu lượng nhỏ từ một số vỉa chứa khí (Hình 3.18).

Mỏ khí Tiền Hải C nằm trên địa phận huyện Tiền Hải tỉnh Thái Bình. Mỏ gồm 14 vỉa cát kết chứa khí xếp chồng lên nhau tuổi từ Miocen giữa (hệ

tầng Phù Cừ ($N_1^2 pc$) đến Miocen trên (hệ tầng Tiên Hưng ($N_1^3 th$)). Các vỉa chứa này đều là cát - bột kết được thành tạo trong môi trường đồng bằng châu thổ phân bố xen kẽ giữa các tập sét biển, bùn sét và than có độ dày khá lớn đóng vai trò tầng chắn theo hướng thẳng đứng giữa các vỉa chứa của mỏ. Các vỉa chứa khí được đánh số từ dưới lên trên là T0 đến T14, phân bố trong khoảng độ sâu từ 460 đến 1.700m. Nói chung các vỉa chứa có độ sâu phân bố trên 800m là thích hợp cho cất giữ địa chất CO_2 kết hợp tăng hiệu suất thu hồi sản phẩm khí (EGR). Đa số các vỉa khí trong mỏ này đã cạn kiệt và bị ngập nước. Tuy nhiên các trang thiết bị bề mặt còn khá hoàn chỉnh và có thể sử dụng cho các thử nghiệm cũng như cất giữ CO_2 một cách hiệu quả.



Hình 3.18. Sơ đồ vị trí địa lý khu vực mỏ khí Tiên Hải C

b. Ước đoán khả năng cất giữ CO₂

Thể tích khí ban đầu của mỏ Tiền Hải C được đánh giá khoảng 1,3 tỷ m³ tại điều kiện tiêu chuẩn. Đến cuối năm 2014, khoảng 850 triệu m³ đã được khai thác sử dụng cho phát điện và các công nghiệp khác ở khu công nghiệp Tiền Hải. Dựa trên số liệu này, khả năng cất giữ CO₂ lý thuyết đã được ước đoán theo công thức 1.1 (trang 64, chương II) khoảng **12,7 Mtấn CO₂** (Bảng 3.3).

Bảng 3.3. Ước đoán khả năng cất giữ CO₂ lý thuyết trong mỏ khí Tiền Hải C

	Thể tích khí ban đầu (triệu m ³ stp)	Nhiệt độ trung bình tại bể chứa (°K)	Áp suất trung bình tại bể chứa (atm)	Thể tích tại điều kiện bể chứa (triệu m ³)	Tỷ trọng CO ₂ tại điều kiện bể chứa (tấn/m ³)	Khả năng cất giữ CO ₂ lý thuyết (Mtấn CO ₂)
Mỏ khí Tiền Hải C	1,300	343	90	18,1	0,7	12,7

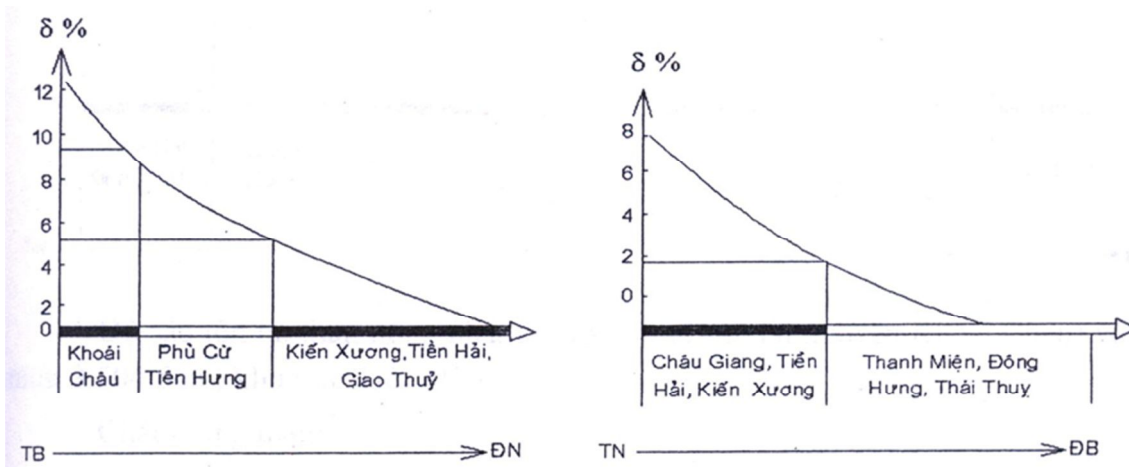
III.3.1.3.2. Các vỉa than không thể khai thác nằm sâu

a. Đánh giá khả năng cất giữ CO₂

Trũng Châu thổ Sông Hồng có tiềm năng lớn về than. Các lỗ khoan được tiến hành trong khu vực này gặp từ 2 đến 79 vỉa than trong các hệ tầng Phù Cừ (N₁²pc) và Tiên Hưng (N₁³th) phân bố ở độ sâu từ 200 đến 2.500m.

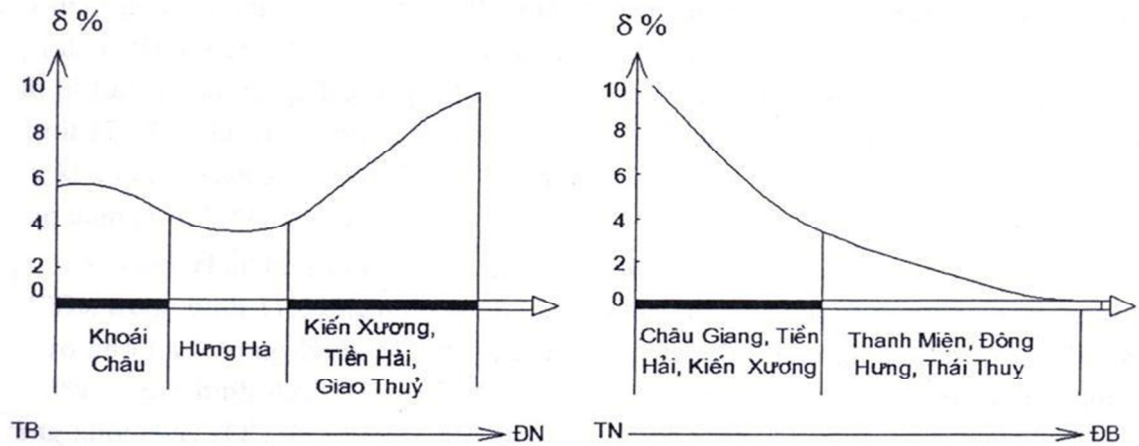
Phụ hệ tầng Phù Cừ trên (N₁²pc₂): phân bố sâu nhất ở đới Trung tâm (>3.500m), trong khi ở rìa ĐB và TN chỉ ở độ sâu <700- 1.200m. Chiều dày của hệ tầng rất khác nhau, từ 100m ở phần rìa đến 1.500 ở đới trung tâm (trung bình 600m). Thành phần chủ yếu gồm: cát kết hạt trung đến nhỏ xen kẹp bột kết và chứa một số vỉa than. Tuy nhiên tài nguyên than trong hệ tầng này mới chỉ ở mức phát hiện và chưa được đánh giá đầy đủ.

Phụ hệ tầng Tiên Hưng dưới ($N_1^3 th_1$): phân bố ở độ sâu từ 300 đến 3.500m, nông nhất ở khu vực huyện Khoái Châu và sâu nhất ở khu vực huyện Quỳnh Phụ, huyện Thái Thụy, tỉnh Thái Bình. Chiều dày phụ hệ tầng 249 - 693m (TB 443m). Phụ hệ tầng Tiên Hưng dưới chứa 13 đến 25 vỉa than với độ dày vài m đến >10m. Độ chứa than 0,4-14% (trung bình 6%), giảm dần từ TB (Khoái Châu hay Châu Giang cũ) về ĐN (Tiền Hải) và từ phía TN (Khoái Châu, Kiến Xương, Tiền Hải) về phía ĐB (Thanh Miện, Đông Hưng, Thái Thụy) (Hình 3.19).



Hình 3.19. Đồ thị biến đổi độ chứa than (δ) của phụ hệ tầng Tiên Hưng dưới

Phụ hệ tầng Tiên Hưng giữa ($N_1^3 th_2$): phân bố ở độ sâu từ 500m đến 2.500m. Chiều dày phụ hệ tầng Tiên Hưng giữa từ 100 - 1.500m (TB 800m). Phụ hệ tầng Tiên Hưng giữa chứa 20 đến 50 vỉa với bề dày 0,8 đến 3m phân bố khá đồng đều. Độ chứa than khá cao từ 1,9-11% (trung bình 8%) (Hình 3.20).



Hình 3.20. Đồ thị biến đổi độ chứa than (δ) của phụ hệ tầng Tiên Hưng giữa

Phụ hệ tầng Tiên Hưng trên ($N_1^3 th_3$): phân bố ở độ sâu từ 200 đến 1.500m. Chiều dày phụ hệ tầng từ 250 đến 700m (trung bình 440m). Phụ hệ tầng Tiên Hưng trên chứa 5-27 vỉa than với bề dày 0,8 đến 5m. Độ chứa than (δ) từ 0,23 đến 10.5% (trung bình 4%), cao nhất ở nếp lồi Kiên Xương và Tiên Hải (khoảng 6 - 10%), sau đó giảm dần ra biên của diện tích phân bố (Hình 3.21).



Hình 3.21. Đồ thị biến đổi độ chứa than (δ) của phụ hệ tầng Tiên Hưng trên

Tính chất hóa học, công nghệ của than: Than ở châu thổ Sông Hồng thuộc các nhãn lignit- á bitum (có thể đến bitum), thường có màu nâu đen hoặc đen, phớt nâu, ánh mờ; Thành phần thạch học: vitrinit: 85-90%; nhóm liptinit (cutinit, resinit, sporinit và suberinit): 7-8%,; nhóm inertinit (fusinit):

1-3%; Thành phần nguyên tố chính: C: 72,29% tăng dần theo chiều sâu, H: 4,42%, O: 23,09%, N: 2%, và S: 0,95%; Độ ẩm phân tích (W^{pt}): 1,22-21,78%, TB 11,09%, dao động rộng và giảm theo chiều sâu; Độ tro khô (A^d): 7,68-22,11%, TB 14,23% thuộc loại thấp; Tỷ trọng (d): 1,34g/cm³.

Tài nguyên than: Trong trũng Châu thổ Sông Hồng, diện tích phân bố các vỉa than khoảng 3.500 km², có tổng tài nguyên: 36.966 triệu tấn (đến -700m), trong đó, thuộc phạm vi khối Khoái Châu - Phù Cừ là 5.715 triệu tấn, khối Tiên Hưng - Kiến Xương là 31.251 triệu tấn.

Hàm lượng khí than (CH_4): Khí than tìm thấy trong các vỉa than ở Châu thổ Sông Hồng là sản phẩm của quá trình than hóa có thành phần chính là metan (>80%, thậm chí tới 98%), được lưu giữ trong các vỉa than, đất đá vây quanh và có xu thế tăng cao và tập trung ở các vỉa than có chiều dày lớn, độ tro và độ ẩm thấp. Lượng khí than trong các vỉa than phụ thuộc vào mức độ biến chất than và độ sâu phân bố vỉa than và có xu thế tăng cao ở phần sâu hơn, trong khoảng dao động lớn từ 0 đến một vài m³/tấn than ở phần nông đến 10-15 m³/tấn than ở phần sâu (khoảng 2.000m). Hàm lượng khí than được ước đoán cho toàn bộ các vỉa than vào khoảng 3 m³/tấn than.

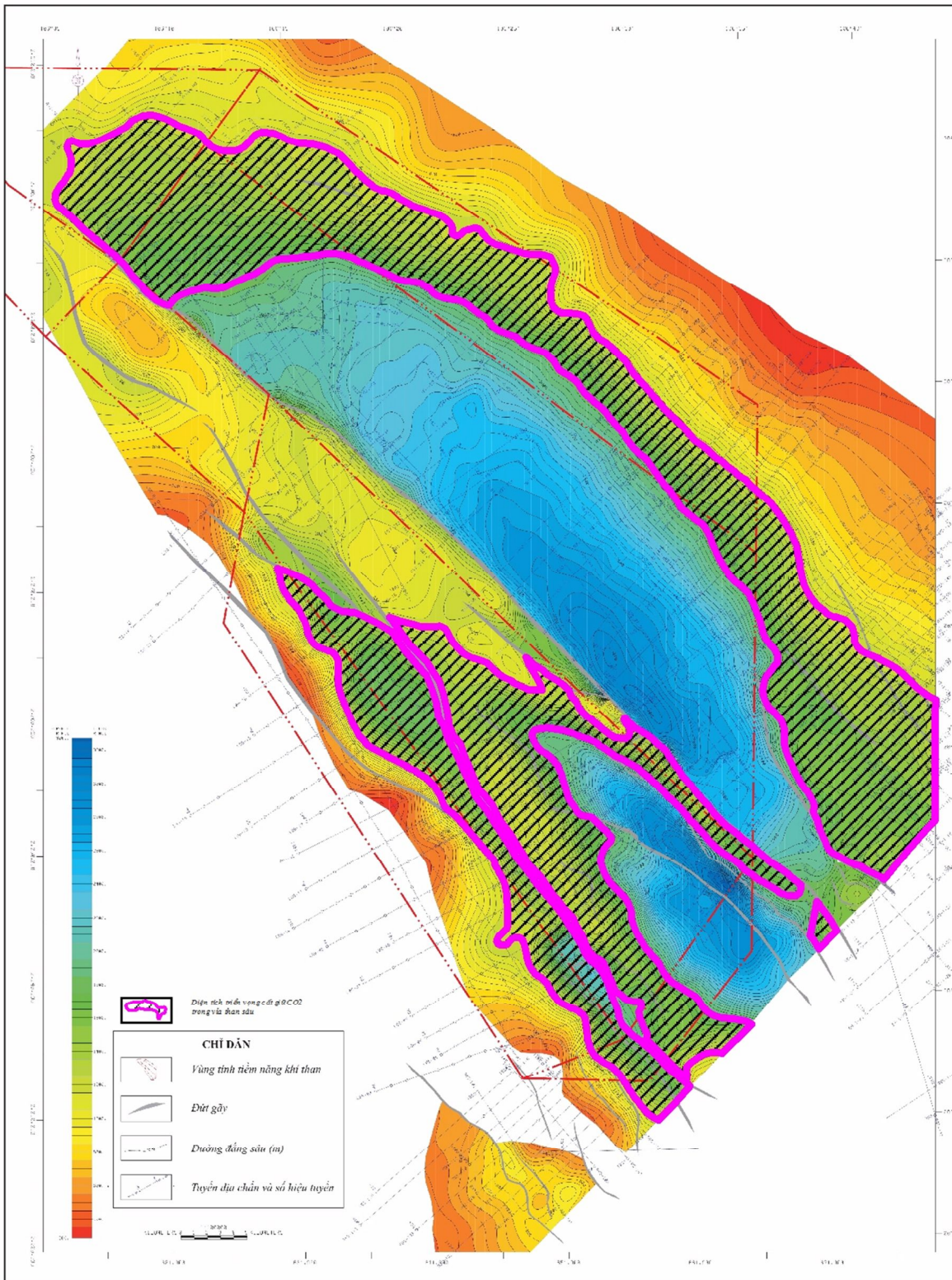
Đánh giá mức độ phù hợp cho CO₂-ECBM: Nói chung, các vỉa than ở trũng Châu thổ Sông Hồng thuộc các hệ tầng Tiên Hưng và Phù Cừ là loại than lignit- á bitum, độ ẩm và độ tro thấp, có khả năng hấp phụ CO₂ tốt, chứa hàm lượng khí methan cao. Đặc biệt, các vỉa than phân bố ở độ sâu từ 1.000 đến 1.500m rất thích hợp cho CO₂-ECBM. Các vỉa than phân bố rộng và khá đồng nhất nằm xen kẽ hoặc được chắn trên bởi các lớp sét kết, sét của hệ tầng Tiên Hưng và các trầm tích Đệ Tứ đảm bảo CO₂ được bơm sẽ không rò rỉ và thất thoát vào các tầng nước sinh hoạt và lên bề mặt. Trong diện tích trũng Châu thổ Sông Hồng, mật độ đứt gãy thưa và các lớp trầm tích chỉ uốn lớp nhẹ nhàng vì vậy có thể tìm ra các cấu trúc qui mô lớn cho CO₂-ECBM.

b. Khoanh định và ước đoán khả năng cất giữ CO₂ lý thuyết

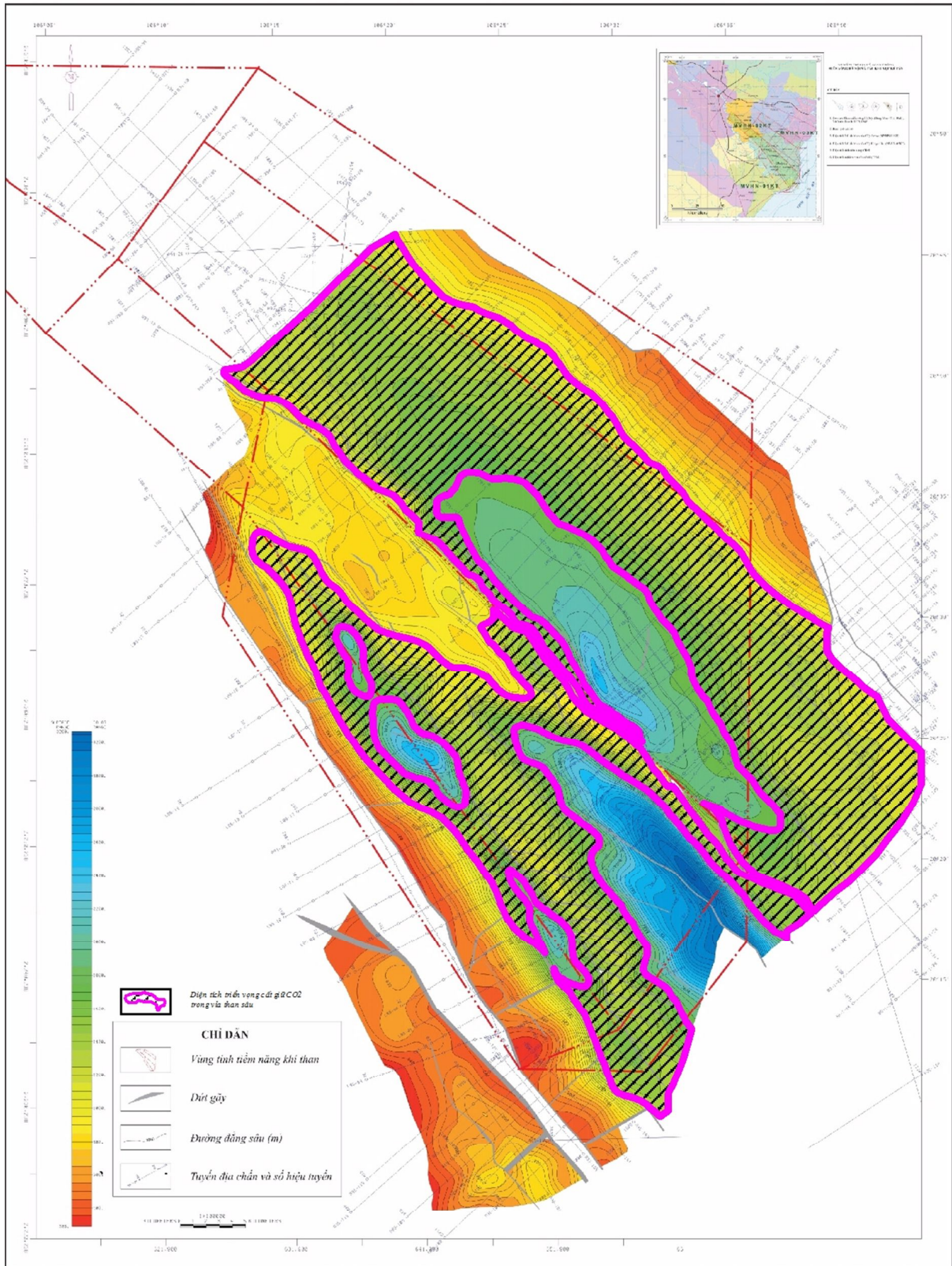
Trong trũng Châu thổ Sông Hồng, các vỉa than sâu từ 1.000 đến 1.500m chủ yếu tập trung trong hệ tầng Tiên Hưng (N₁^{3th}). Hệ tầng Phù Cù (N₁^{2pc}) chỉ chứa một vài vỉa than mỏng, nằm sâu trên 1.500m và chưa có các số liệu nghiên cứu đầy đủ. Vì vậy, việc khoanh định các diện tích triển vọng và ước đoán khả năng cất giữ CO₂ lý thuyết được thực hiện cho các phụ hệ tầng Tiên Hưng dưới, giữa và trên. Các tiêu chí sử dụng trong việc khoanh định các diện tích triển vọng cho CO₂-ECBM đã là: 1). Độ sâu vỉa than từ 1.000m đến 1.500m; 2). Các diện tích khoanh định không bị các đứt gãy lớn sâu và đang hoạt động cắt qua (Hình 3.22, 3.23 và 3.24).

Thể tích khí than (methan) có thể thu hồi và khả năng cất giữ CO₂ lý thuyết được tính toán theo công thức 1.2 và 1.3 (trang 67, chương II). Các kết quả tính toán được thể hiện trong Bảng 3.4. Các số liệu đầu vào cho tính toán được thu nhận từ các nghiên cứu trước của Vũ Xuân Doanh và nnk (1986) [4], Trần Văn Trị và nnk (2009) [11] và Vũ Trụ và nnk (2011) [12], và kết quả mô hình của đề tài.

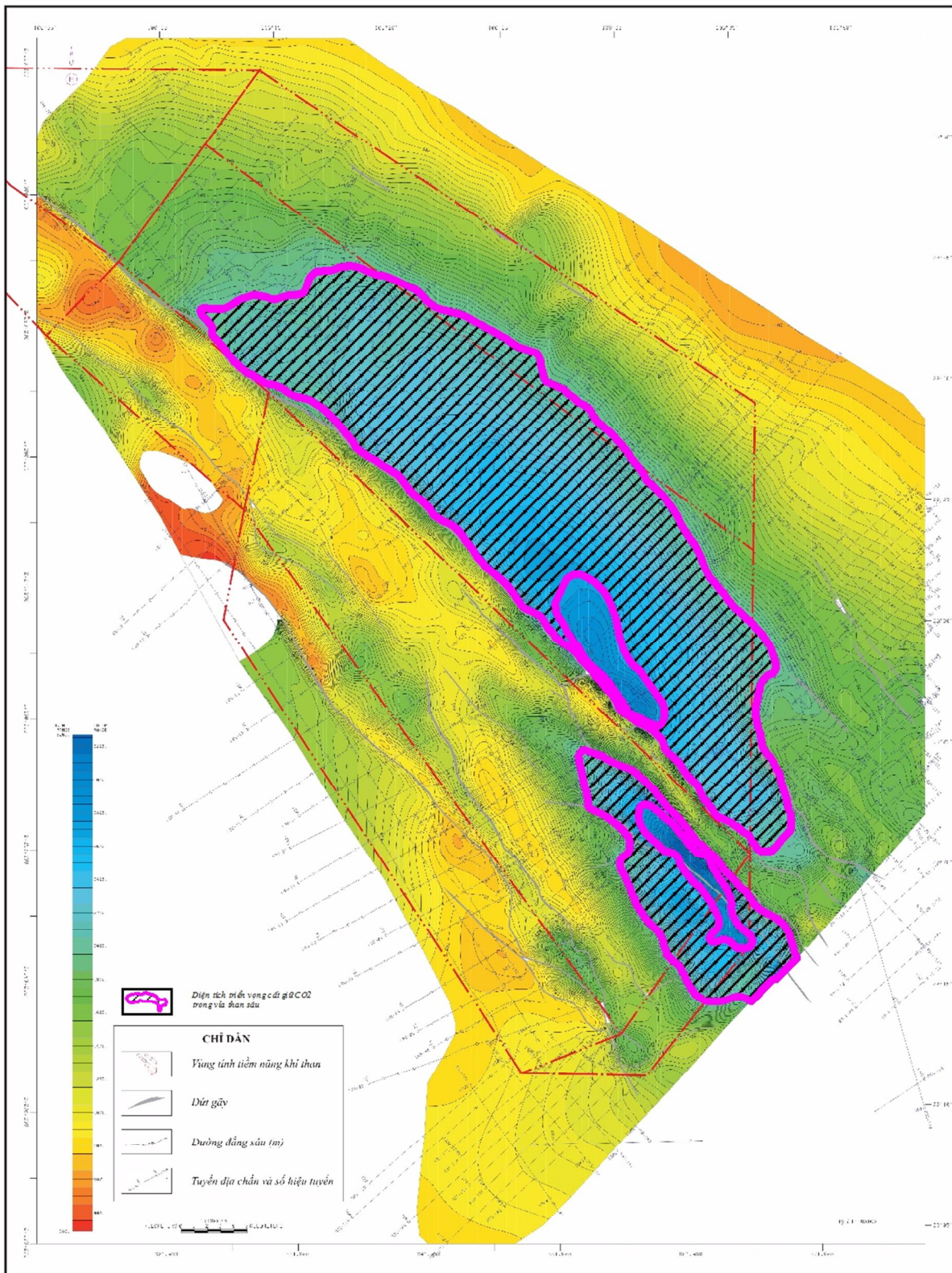
Kết quả thể hiện rằng thể tích khí methan có thể được thu hồi từ công nghệ CO₂-ECBM là **335.827 triệu m³ stp** và khả năng cất giữ CO₂ lý thuyết trong các vỉa than sâu không thể khai thác của trũng Châu thổ Sông Hồng là **2,418 Gtấn CO₂**.



Hình 3.22. Bản đồ đẳng sâu đáy và diện tích các vỉa than triển vọng cho CO₂-ECBM của phụ hệ tầng Tiên Hưng dưới (N₁³th₁)



Hình 3.23. Bản đồ đẳng sâu đáy và diện tích các vỉa than triển vọng cho CO₂-ECBM của phụ hệ tầng Tiên Hưng giữa (N₁³th₂)



Hình 3.24. Bản đồ đẳng sâu đáy và diện tích các vỉa than triển vọng cho CO₂-ECBM của phụ hệ tầng Tiên Hưng trên (N₁³th₁).

Bảng 3.4. Kết quả tính toán thể tích khí methan có thể thu hồi và khả năng cất giữ lý thuyết của CO₂ trong các vỉa than sâu (1.000 - 1.500m) của trũng Châu thổ Sông Hồng

Địa tầng	Diện tích (km ²)	Chiều dày (m)	Độ chứa than	Tỷ trọng than (tấn/m ³)	Hàm lượng khí (m ³ /tấn)	Độ tro	Độ ẩm	Thể tích khí methan (triệu m ³ stp)	Tỷ lệ trao đổi (CO ₂ :CH ₄)	Tỷ trọng CO ₂ tại điều kiện tiêu chuẩn (tấn/m ³)	Khả năng cất giữ CO ₂ lý thuyết (Mtấn CO ₂)
Phụ hệ tầng Tiên Hưng dưới	1.026	443	0,06	1,34	3	0,142	0,111	81.893	4	0,0018	590
Phụ hệ tầng Tiên Hưng giữa	1.123	800	0,08	1,34	3	0,142	0,111	215.827	4	0,0018	1.554
Phụ hệ tầng Tiên Hưng trên	721	440	0,04	1,34	3	0,142	0,111	38.106	4	0,0018	274
Tổng cộng								335.827			2.418

III.3.1.3.3. Các tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu

a. Đánh giá khả năng cất giữ CO₂

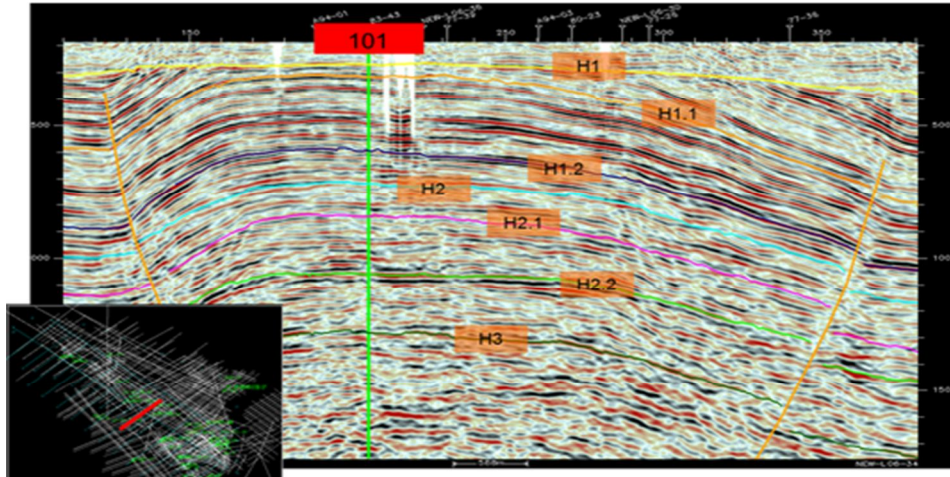
Do đặc tính phân nhịp của các hệ tầng Kainozoi trong trũng Châu thổ Sông Hồng, các tầng cát kết, cát sạn kết đóng vai trò tầng chứa có mặt rộng rãi trong các hệ tầng Kainozoi, được chắn trên bởi nhiều lớp sét kết, sét bột kết rộng lớn có khả năng chắn tốt. Tuy nhiên, xét đến tiêu chuẩn độ sâu thích hợp cất giữ CO₂ trong các tầng chứa lỗ rỗng là từ 800m đến 2.500m, chỉ có các hệ tầng từ Tiên Hưng trở về trước có thể đáp ứng được yêu cầu này. Các tầng cát kết, cát sạn kết có độ lỗ rỗng biến đổi từ vài % đến >30% và nói chung giảm theo chiều sâu. Độ lỗ rỗng trong các đá chứa Miocen trên (các phụ hệ tầng Tiên Hưng trên, giữa và dưới) là khá tốt từ 10 - 34% (trung bình 17-19%), giảm dần trong Miocen giữa (hệ tầng Phù Cù) (độ rỗng trung bình 15%), và trong Miocen dưới và Oligocen (các hệ tầng Đình Cao và Phong Châu), độ lỗ rỗng giảm xuống <10%, tương ứng với độ thấm <1mD (giới hạn cho cất giữ CO₂). Vì vậy, các tầng chứa lỗ rỗng thích hợp cho cất giữ CO₂ được cho là chủ yếu trong các tầng cát kết của các phụ hệ tầng Tiên Hưng trên, giữa và dưới, và phần trên hệ tầng Phù Cù.

Về cấu trúc, qua phân tích bức tranh sóng địa chấn khu vực, có thể thấy rằng, trong Châu thổ Sông Hồng có mặt nhiều dạng cấu trúc của các tầng chứa lỗ rỗng cho cất giữ địa chất CO₂ như cấu trúc đóng, mở hoặc nửa đóng-nửa mở.

- Khu vực phụ đới nghịch đảo Miocen và phụ trũng Đông Quan chịu ảnh hưởng từ hoạt động nén ép của các hệ thống đứt gãy Vĩnh Ninh và Sông Cháy, tạo ra nhiều cấu trúc đóng 3 chiều (dạng cấu trúc nếp lồi hoặc cấu tạo đóng giới hạn bởi các đứt gãy kín) (Hình 3.25).

- Mặt khác, trong các phụ đới trũng Đông Quan và đới rìa Đông Bắc,

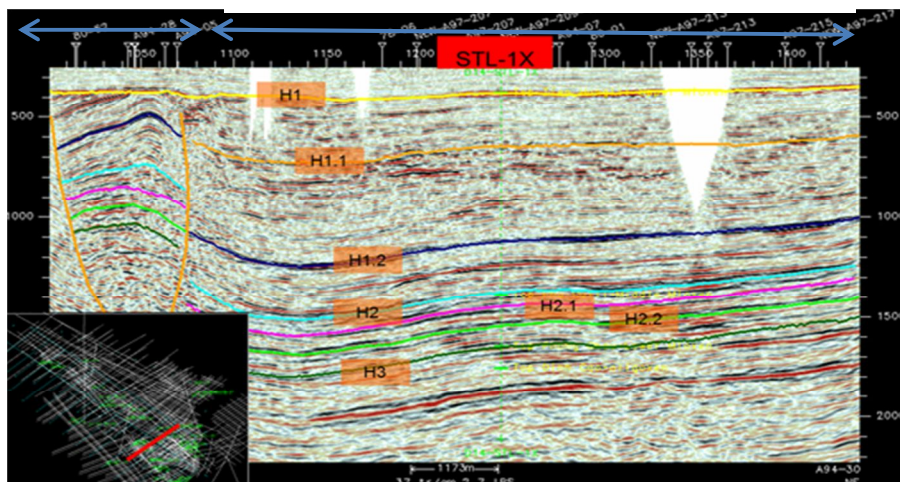
các lớp đá phát triển gần như song song trên diện rộng, gần như nằm ngang hoặc đơn nghiêng với thể nằm thoải vào trung tâm trũng, là các dạng cấu trúc mở hoặc nửa đóng- nửa mở cho cất giữ địa chất CO₂ (Hình 3.26).



Hình 3.25. Bức tranh sóng địa chấn thể hiện cấu trúc nếp lồi của các địa tầng địa chất ở đới trung tâm. H1: Ranh giới giữa Miocen và Pliocen-Đệ Tứ; H1.1: Ranh giới giữa phụ hệ tầng Tiên Hưng trên và giữa; H1.2: Ranh giới giữa các phụ hệ tầng Tiên Hưng giữa và dưới; H2: Ranh giới giữa các hệ tầng Tiên Hưng và Phù Cừ; H2.1: Ranh giới giữa các phụ hệ tầng Phù Cừ trên và giữa; H2.2: Ranh giới của Phù Cừ giữa và Phù Cừ dưới; H3: Ranh giới đáy hệ tầng Phù Cừ;

Phụ đới nghịch
đảo Miocen

Phụ đới Đông Quan

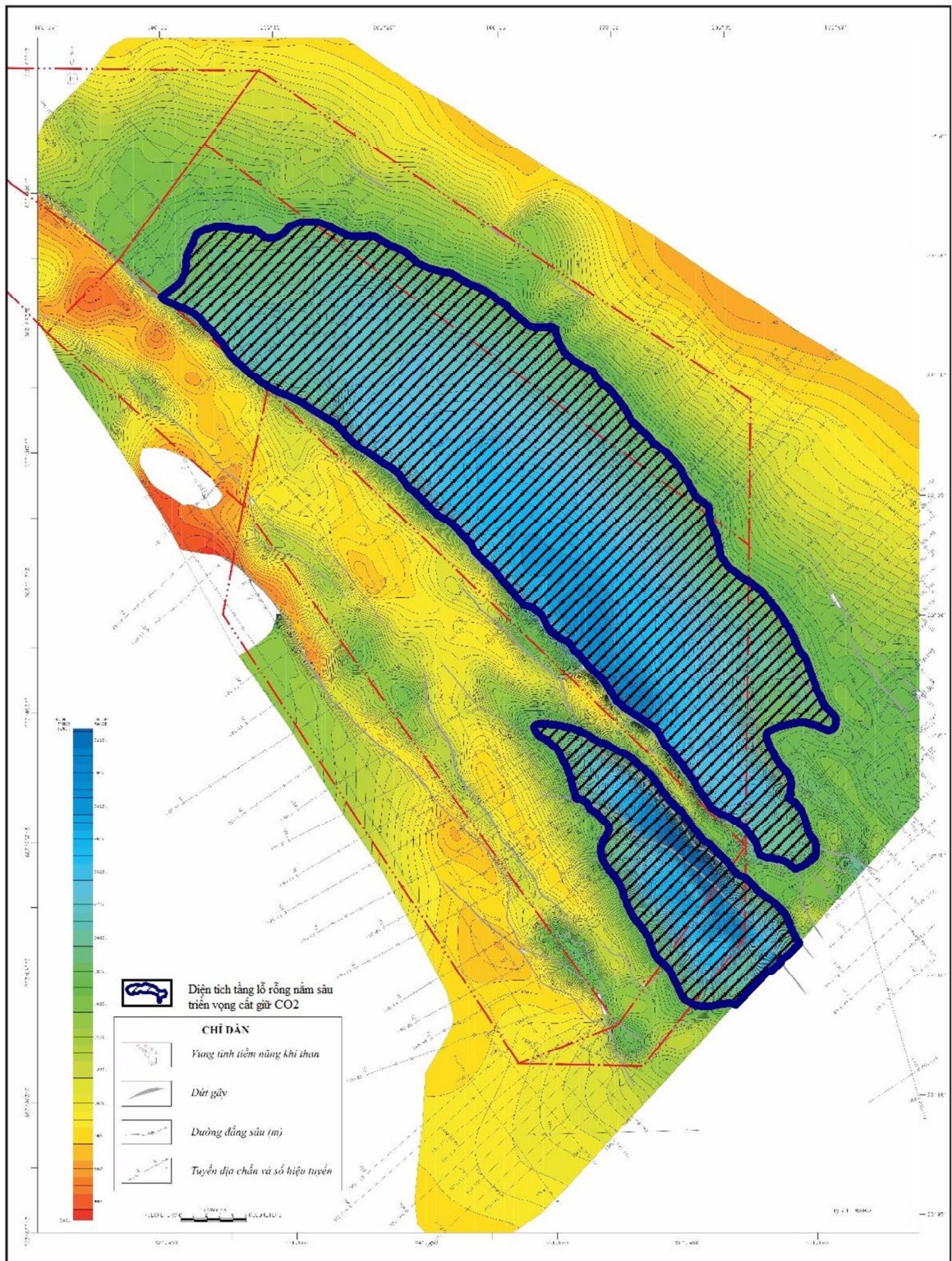


Hình 3.26. Bức tranh sóng thể hiện cấu trúc đá đơn nghiêng ở khu vực phụ trũng Đông Quan

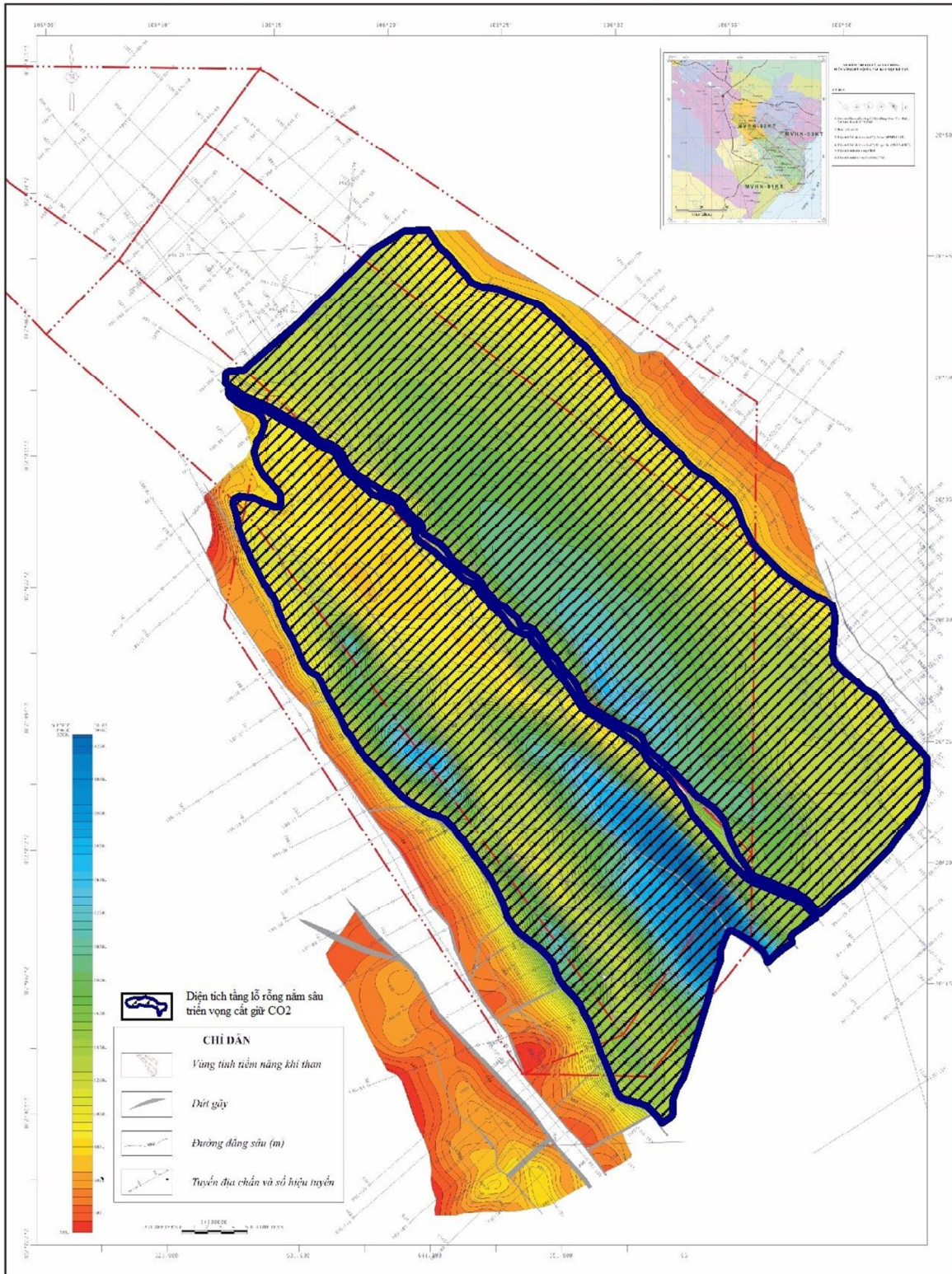
b. Khoanh định và ước đoán khả năng cất giữ CO₂ lý thuyết

Diện tích các tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu triển vọng cất giữ địa chất CO₂ được khoanh định theo các tiêu chí gồm: 1). Độ sâu 800m - 2500m; 2). Độ lỗ rỗng >10%; và 3). Diện tích khoanh định không bị các đứt gãy lớn đang hoạt động như đứt gãy Sông Lô, Vĩnh Ninh và Sông Chảy cắt qua. Các tầng chứa chủ yếu bao gồm các tầng cát kết thuộc các hệ tầng Tiên Hưng (N₁³ *th*) và Phù Cừ (N₁² *pc*) phân bố trong khoảng độ sâu từ 800m đến 2.500m (Hình 3.27, 3.28, 3.29 và 3.30). Dưới 2.500m (các hệ tầng Phong Châu (N₁¹ *phc*), Đỉnh Cao (E₃ *đc*) và Phù Tiên (E₂ *pt*)), các tập cát kết có độ thấm và độ lỗ rỗng thấp ít giá trị cho cất giữ CO₂.

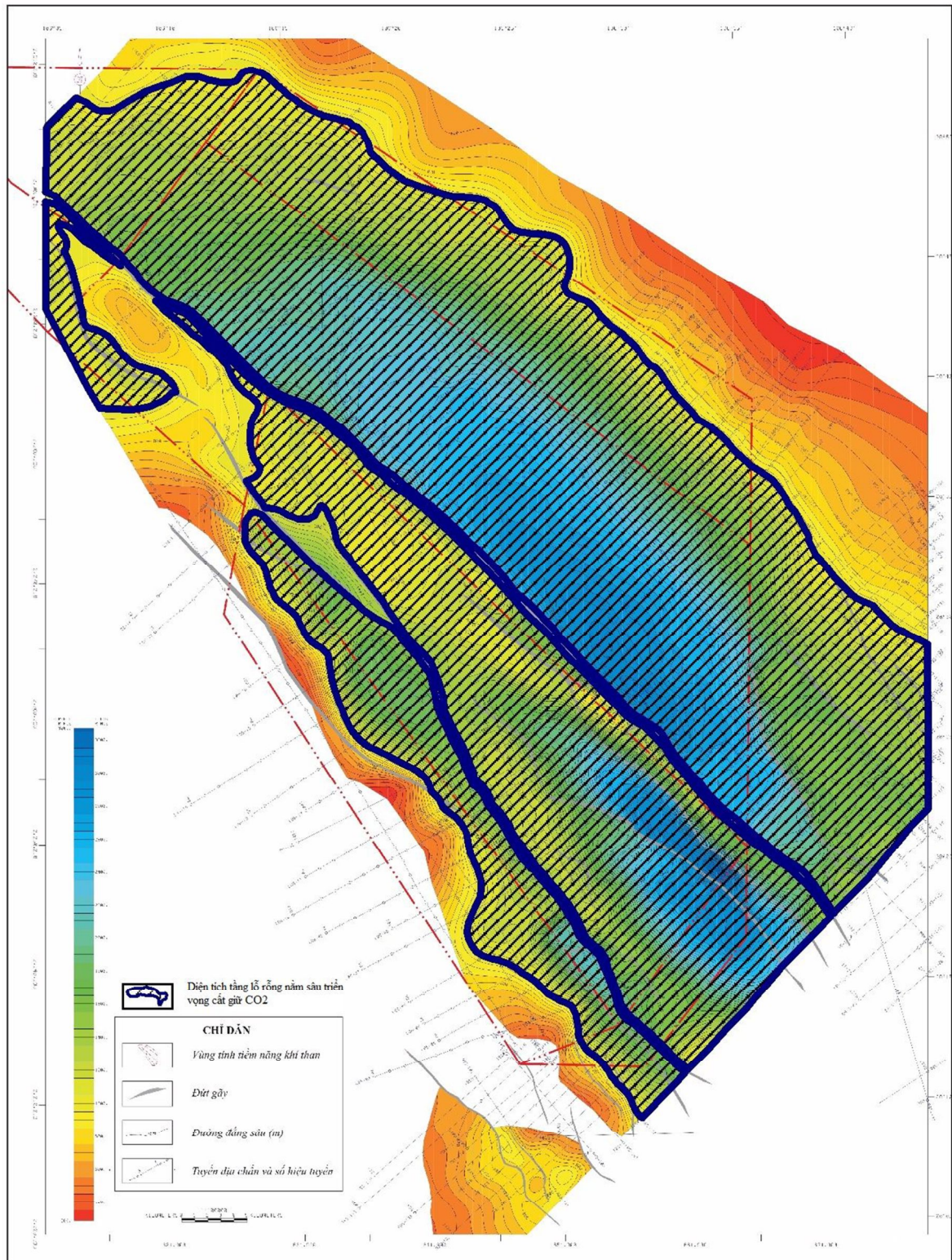
“Khả năng cất giữ CO₂ lý thuyết” của các tầng chứa lỗ rỗng trong trũng Châu thổ Sông Hồng được tính toán dựa trên công thức 1.4 (trang 69- chương II). Các thông số đầu vào được sử dụng từ các nghiên cứu trước trong trũng Châu thổ Sông Hồng của Viện Dầu khí. Khả năng cất giữ CO₂ lý thuyết của các tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu triển vọng ở trũng Châu thổ Sông Hồng khoảng: **8,952 Gtấn CO₂** (Bảng 3.5).



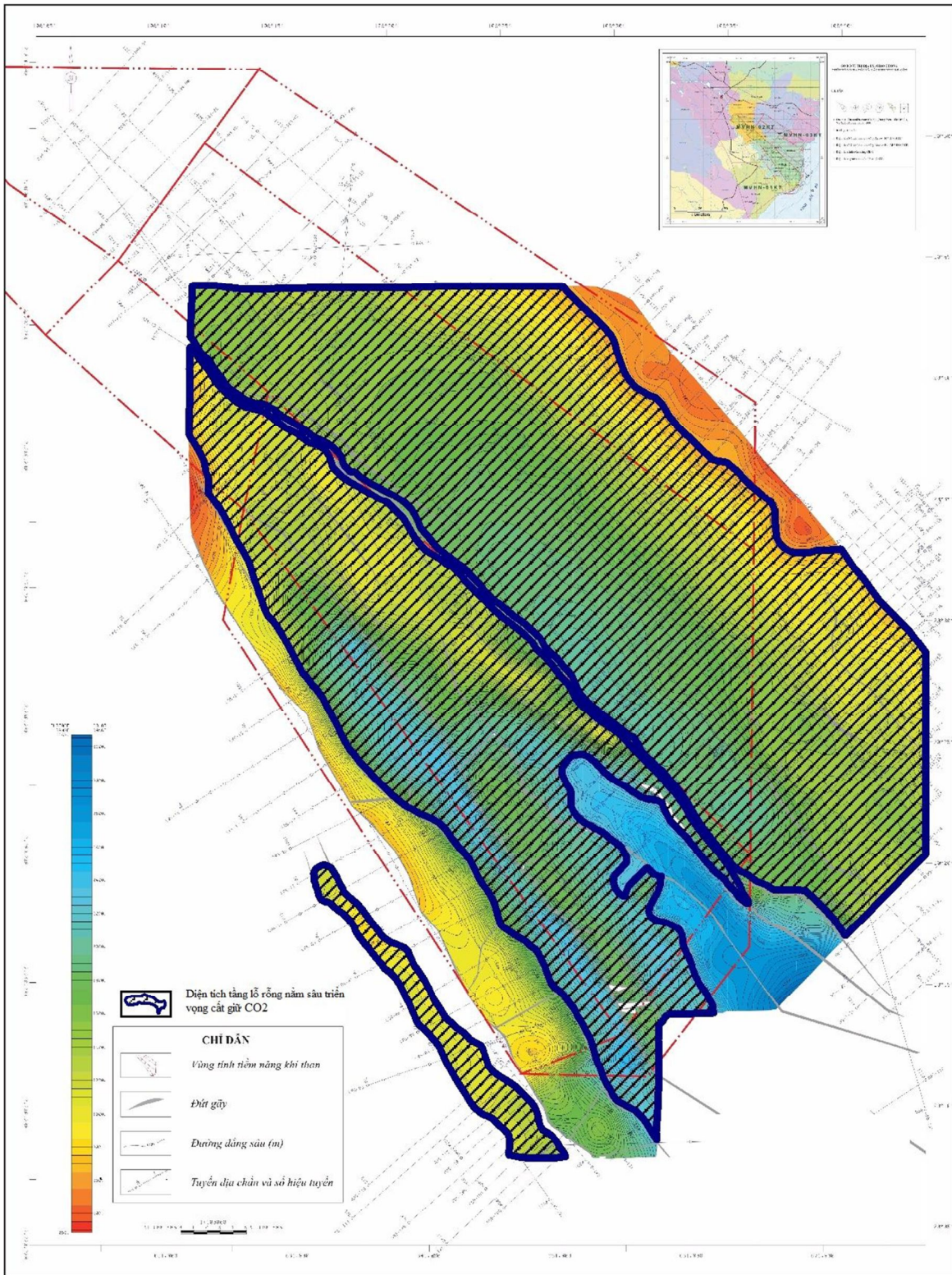
Hình 3.27. Các diện tích tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu triển vọng cất giữ CO₂ được khoanh định dựa trên bản đồ đồng đẳng độ sâu đáy của phụ hệ tầng Tiên Hưng trên



Hình 3.28. Các diện tích tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu triển vọng cất giữ CO₂ được khoanh định dựa trên bản đồ đồng đẳng độ sâu đáy của phụ hệ tầng Tiên Hưng giữa



Hình 3.29. Các diện tích tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu triển vọng cất giữ CO₂ được khoanh định dựa trên bản đồ đồng đẳng độ sâu đáy của phụ hệ tầng Tiên Hưng dưới



Hình 3.30. Các diện tích tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu triển vọng cất giữ CO₂ được khoanh định dựa trên bản đồ đồng đẳng độ sâu đáy của hệ tầng Phù Cù.

Bảng 3.5. Kết quả tính toán khả năng cất giữ CO₂ lý thuyết cho các tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu trong Châu thổ Sông Hồng

Địa tầng	Diện tích triển vọng (km ²)	Chiều dày địa tầng (m)	Tỷ lệ cát kết (Net/gross)	Độ rỗng trung bình (ρ)	Tỷ trọng CO ₂ tại điều kiện bề chứa (d) (tấn/m ³)	Hệ số hiệu lực cất giữ (E)	Khả năng cất giữ lý thuyết (Mtấn CO ₂)
Phụ hệ tầng Tiên Hưng trên	1031	440	0,52	0,19	0,5	0,04	2.158,82
Phụ hệ tầng Tiên Hưng giữa	1796	800	0,7	0,18	0,6	0,04	4.344,88
Phụ hệ tầng Tiên Hưng dưới	2483	443	0,33	0,17	0,7	0,04	1.727,83
Phụ hệ tầng Phù Cừ trên	1973	300	0,29	0,15	0,7	0,04	720,93
Tổng cộng:							8.952,47

III.3.2. TRỪNG TRÂM TÍCH AN CHÂU

Trùng An Châu đã được các nhà địa chất chú ý để tìm kiếm và đánh giá về tiềm năng dầu khí từ những năm 70 của thế kỷ trước, bởi mức độ biến chất của các đá tương đối thấp và hoạt động kiến tạo không quá mạnh, có thể tạo ra các cấu trúc kín tàng trữ dầu và khí [6]. Đáng kể đến là các công trình nghiên cứu của Vũ Ngọc Diêu và nnk (1973) [3], Nguyễn Biểu, Phan Trung Điền (1974) [1], Ngô Thường San và nnk (1975a, 1975b) [8], [9], Nguyễn Quang Hạp (1977) [5], Vũ Trụ và nnk (2013) [13]. Trong khuôn khổ đề tài, chúng tôi cũng đã tiến hành các công tác khảo sát trên mặt, công tác đo trọng

lực tỷ lệ 1/100.000 để thành lập các mặt cắt ngang trũng và đo địa chấn phản xạ 2D theo mặt cắt triển vọng để đánh giá phân bố sâu và cấu trúc các tầng chứa và tầng chắn. Các mặt cắt ngang trũng và bức tranh sóng địa chấn thể hiện cấu trúc địa chất sâu và thể nằm của các đối tượng chứa/chắn được thể hiện trong phụ lục 4.

Sau đây, đặc điểm cấu trúc địa chất và tầng chứa/chắn, cũng như kết quả khoan định và ước đoán khả năng cất giữ CO₂ lý thuyết của trũng An Châu là được mô tả.

III.3.2.1. Đặc điểm cấu trúc- địa chất

Trũng An Châu có dạng phức nếp lồi khá đối xứng dạng chữ "V" hình cung, đầu mút là dãy núi Tam Đảo, giáp Sơn Dương kéo dài theo hướng Đ-ĐN, mở rộng dần theo hướng ĐB qua Lạng Sơn, Bắc Quảng Ninh, dài trên 250 km và nơi rộng nhất từ Đồng Đăng (Lạng Sơn) đến Bình Liêu (Móng Cái) khoảng 100 km, nằm giữa đứt gãy sông Thương phía TB và Yên Tử - Tân Mài phía ĐN.

Trũng được hình thành là do sự dịch chuyển trực sụt lún từ TB xuống ĐN theo thời gian, song song chuyển động thăng trầm từ rìa đông địa khối Việt Bắc chạy ra hướng ĐN. Tiếp cận với phức nếp lồi Quảng La- Móng Cái thuộc phần rìa của khối Katania cho nên trũng An Châu cùng với miền Đông Bắc Việt Nam là một thể thống nhất, mang tính kế thừa rõ rệt. Nó là một trũng nằm trong hệ cấu trúc Đông Việt Nam thuộc miền nền Nam Trung Quốc. Về mặt cấu trúc, trũng có thể chia ra các bậc kiến trúc sau:

- *Bậc kiến trúc dưới* gồm đá biến chất kết tinh được thành tạo do kết quả của pha kiến tạo Caledoni. Thành hệ đá này được coi là lớp móng cứng của trũng, không có triển vọng chứa CO₂ nên không phải đối tượng nghiên cứu.

- *Bậc kiến trúc giữa* nằm không chỉnh hợp lên bậc dưới, do kết quả pha kiến tạo Hecxini tạo thành. Thành hệ này chuyển từ đá lục nguyên ở phần dưới (D_{2e}) sang carbonat (C-P) nằm theo thể biến tiến, phân bố chủ yếu ở phần TB của trũng hiện đại, vào trung tâm móng dần và có thể bị vót nhọn về phía ĐN. Bề dày tăng từ Đông sang Tây, từ Nam lên Bắc (0-1.800m).

- *Bậc kiến trúc trên*: được tạo thành do kết quả của pha kiến tạo Indoxini nằm không chỉnh hợp địa phương trên bậc kiến trúc giữa và dưới. Thành phần chủ yếu là lục nguyên, giữa mặt cắt có vài lớp đá vôi. Bắt đầu bằng biến tiến, chấm dứt là trầm tích molas lục địa.

Bậc kiến trúc trên có bề dày lớn (có nơi tới 5.000m), gồm các hệ tầng có tuổi Mesozoi như: Lạng Sơn (T_{1ls}), Bắc Thủy (T_{1obt}), Khôn Làng (T_{2akl}), Diêm He (T_{2adh}), Nà Khuất (T_{2nk}), Mẫu Sơn (T_{3cms}), Vân Lãng (T_{3n-rvl}), Hà Cối (J_{1-2hc}) và Tam Lung (J_3-Ktl), và Bản Hang (K_1bh). Trầm tích Kainozoi gồm: các hệ tầng Nà Dương (E_3^1nd), Rinh Chùa (E_3^2rc) và trầm tích Đệ Tứ (Q), giới hạn ở hồ sụt nhỏ (Nà Dương – Lạng Sơn). Nói chung, bậc trên được đặc trưng bởi đá trầm tích chịu sự biến đổi trong giai đoạn katagene, có khả năng tồn tại các tầng lỗ rỗng và nứt nẻ, là những tiền đề tìm kiếm và khoan vùng triển vọng cất giữ địa chất CO_2 .

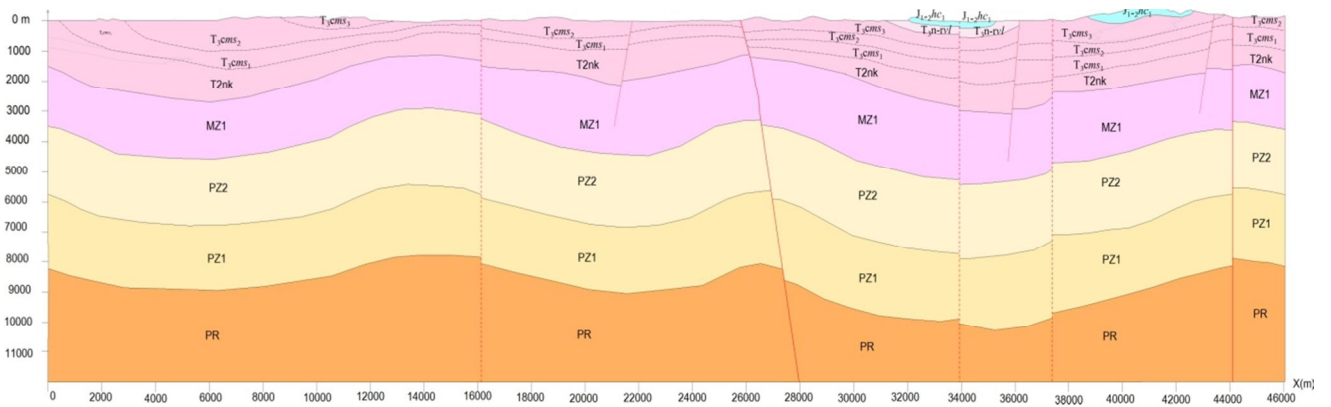
Trũng An Châu chứa đựng nhiều cấu tạo uốn nếp dạng vòm trong các trầm tích Mezozoi. Ở phía B-TB có hai nếp lồi lớn là Nà Mò và Chũ. Nhân nếp lồi Nà Mò lộ ra đất đá tuổi Ladini hệ tầng Nà Khuất, trong khi ở Chũ lộ ra đất đá tuổi Cacni của hệ tầng Mẫu Sơn. Các cấu trúc này không cân xứng, với cánh TB cắm dốc ($70-90^\circ$) trong khi cánh ĐN thoải hơn ($30-45^\circ$). Kích thước cấu trúc thường khá lớn: dài 20–30km, rộng 6–8km. Tại phía ĐN có cấu trúc Châu Sơn, Ba Nồi, Dương Hưu là những nếp uốn phức tạp ở phần đỉnh, thường là những cấu trúc ngắn và rộng, nhân cấu trúc lộ ra đất đá tuổi Ladini, các cánh dốc khoảng từ $30-45^\circ$ cắm theo nhiều hướng khác nhau.

Phía nam có các cấu trúc Thanh Mai, Yên Dũng nằm nối tiếp nhau theo hướng đông- tây, nhân lộ ra trầm tích Cacni, dạng dải dài, cánh dốc chừng 30–45°. Phần trung tâm An Châu có các cấu trúc chôn vùi dưới sâu như Đèo Gia, Lương Mã, Giao Liêm, Bản Trung. Đá Mezozoi ở các đỉnh thường sâu từ 3.000–5.000m. Các cấu trúc Lương Mã, Giao Liêm nối tiếp với Chũ thành một dãy cấu trúc dạng mũi kéo dài đến Khe Dăm, theo chiều tây sang đông, càng về đông các cấu trúc dạng mũi càng chìm sâu dần, nên trầm tích ở các đỉnh của chúng khác tuổi nhau (từ Cacni đến Reti). Cấu trúc Mẫu Sơn nằm ở bắc trung An Châu, có thể nằm ổn định góc cắm thoải, dài 25–30km, rộng 8–10km, dạng vòm, mang tính chất như một cấu trúc ở miền nền ổn định [5].

III.3.2.2. Đặc trưng tầng chứa và chắn

Tầng chứa

Đối tượng nghiên cứu tầng chứa và chắn trong trũng An Châu là các địa tầng Mesozoi có phân bố rộng và độ sâu lớn, còn các trầm tích Kainozoi với diện phân bố hẹp và độ sâu nông không có giá trị cho cất giữ địa chất CO₂ (Hình 3.31). Hầu hết các hệ tầng Mesozoi đều có mặt các tập cát kết, sạn kết có khả năng chứa, xen kẽ các tầng sét kết, sét bột kết, sét than hoặc sét vôi có khả năng chắn tốt. Tuy nhiên, kết quả phân tích độ lỗ rỗng của đá cho thấy trong các hệ tầng Lạng Sơn, Bắc Thủy và Khôn Làng, các đá cát kết có độ lỗ rỗng bị suy giảm (1-4%) do trải qua các quá trình biến chất mạnh trong quá khứ và nằm sâu nên bị ép chặt. Các hệ tầng Văn Lãng, Hà Cối, Tam Lung, Bản Hang, các tập cát kết có diện phân bố hẹp, nằm nông (<1.000m) nên hầu như ít giá trị cho cất giữ CO₂. Duy nhất các tập hạt thô (cát kết, sạn kết) thuộc hệ tầng Nà Khuất, và phụ hệ tầng Mẫu Sơn dưới, phân bố ở các độ sâu từ 800 đến 2.500m, có thể là các tầng chứa thích hợp cho cất giữ CO₂ của khu vực.

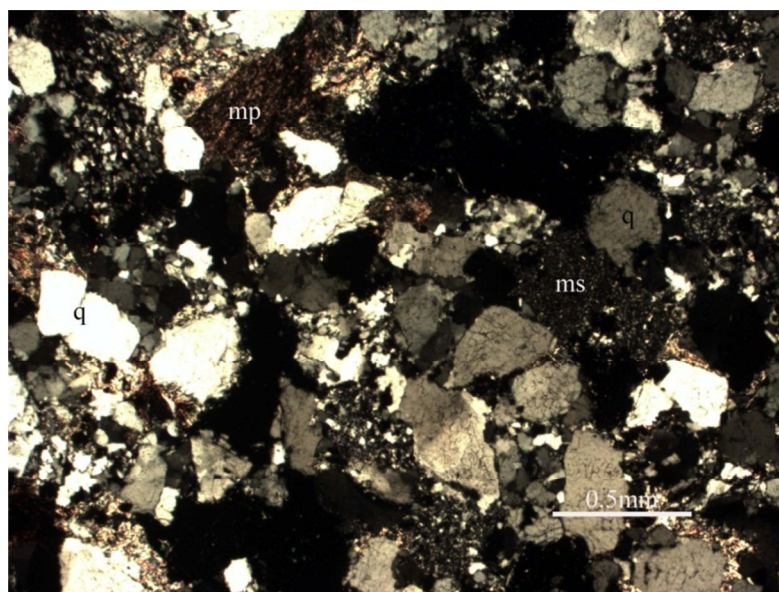


Hệ	Thống	Bioc	Hệ tầng	Tầng	Bề dày (m)	Đặc điểm thạch học	
Q							
CRETACEOUS			Bình Hưng		~400	Cuội kết, san kết, cát kết phân lớp xian, bột kết, sét bột kết, sét kết màu tím đỏ, nâu vàng loang lổ	
TRIAS	Thượng	Trung	Hà Cối	T ₁₋₂ Ac ₁	~700	Cát kết, bột kết, sét bột kết, sét kết màu tím đỏ, nâu vàng, xám sáng	
			Núi - Ret	Vân Lăng	T ₂ n-rvl	300	Cuội san kết, cát kết thạch anh, bột kết, sét bột kết, thấu kính sét vôi
		Carni		Màu Sơn	T ₃ oms ₂	~600	Cát kết, bột kết màu tím đỏ, tím vàng xen cuội san kết, thấu kính sét vôi, sét than
				Màu Sơn	T ₃ oms ₁	~500	Cát kết, bột kết, cát bột kết, sét bột kết, sét vôi màu nâu đỏ
				Màu Sơn	T ₃ oms ₂	~450	Bột kết, bột kết chứa vôi, cát kết, cát bột kết
	Trung	Anni - Ludin	Nà Khuất		T ₃ mk	~700	Cát kết, bột kết, sét bột kết xen kẽ nhau
					T ₃ mk	~900	Bột kết, bột kết chứa vôi, cát bột kết, cát kết, đá phiến sét
			Khôn Làng		T ₃ akl	~1200	Cuội san kết, cuội san kết tuf, cát kết, bột kết, sét bột kết, ryolit
			Tam Danh			150	Đá bazan, tuf, thấu kính sét, bột kết
			Đlenck	Bioc Thủy		250	Đá vôi vón cục, sét vôi, vôi sét
Hạ	Indi	Làng Sơn		T ₁ ls	~600	Cát kết, cát bột kết, bột kết, đá phiến sét	
		Bioc Sơn		C ₁ -P ₁ z		Đá vôi màu xám sáng, phân lớp dày - khối	

Hình 3.31. Mặt cắt địa chất- địa vật lý ngang trùng và cột địa tầng tổng hợp thể hiện phân bố sâu của các địa tầng địa chất trùng An Châu

Hệ tầng Nà Khuát (T₂lnk): Phần trên cùng của hệ tầng Nà Khuát là các lớp cát kết, cát kết chứa vôi màu xám lục dày 2 - 5 m, xen kẽ với ít lớp cát bột kết, bột kết màu xám lục có thể đóng vai trò tầng chứa cho cát giữ địa chất CO₂. Tầng chứa này có chiều dày tổng cộng khoảng 250m, có diện phân bố rộng gần như toàn trũng, trong khoảng độ sâu từ 0 đến 2.500m, độ lỗ rỗng thay đổi mạnh từ 4 đến 28%, trung bình 10%. Độ lỗ rỗng này được xem là tương đối thấp cho cát giữ địa chất CO₂, vì vậy đây là tầng chứa chất lượng trung bình kém.

Cát kết hệ tầng Nà Khuát gồm cát kết thạch anh, cát kết arkoz, cát kết ít khoáng, kiến trúc cát với xi măng lấp đầy, cấu tạo khối, thành phần hạt vụn chiếm 55–85%, trong đó thạch anh 45-80%, mảnh đá silic 1-10%, felspat 1-6%, mica 1-2% và mảnh đá sét, mảnh đá quazit, ... Xi măng chiếm 15–45% gồm các khoáng vật sericit, clorit, sét, silic, hydroxit Fe, carbonat (Hình 3.32).



Hình 3.32. Hạt vụn thạch anh (q) dạng hạt nửa góc cạnh, góc cạnh, nửa tròn cạnh, xi măng tiếp xúc – lấp đầy trong đá cát kết thạch anh hệ tầng Nà Khuát. Mẫu 5402.

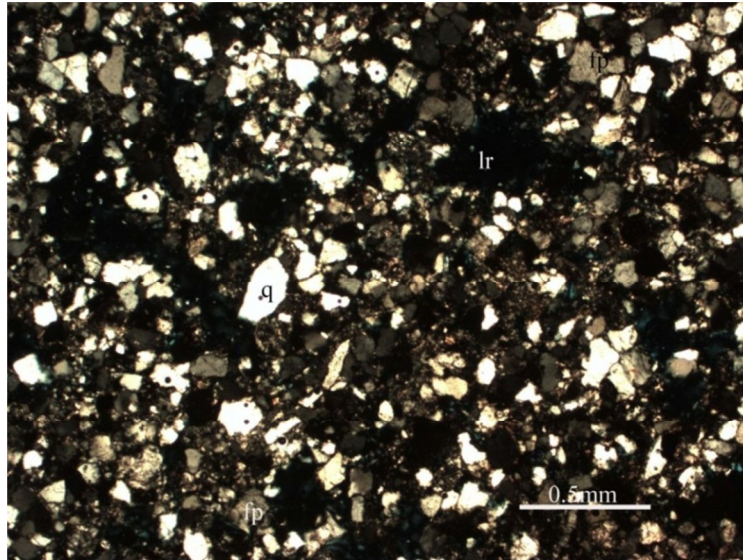
Nicol (+)

Hệ tầng Mẫu Sơn (T_{3cms}): Trong tập dưới của hệ tầng Mẫu Sơn nổi trội là các tập cát kết, một ít cát sạn kết, sỏi kết, tiềm năng là tầng chứa cho cát giữ địa chất CO₂. Bề dày của tập khoảng 520m, trong đó các lớp cát kết, sạn kết có chiều dày tổng cộng khoảng 200m (chiếm 38%). Tập này có diện phân bố rộng lớn gần như toàn bộ trùng với độ sâu từ 0 đến 2.000m phủ chính hợp trên các đá cát kết, cát kết vôi ở phần trên của hệ tầng Nà Khuất, vì vậy cùng với các lớp cát kết này tạo nên một tầng chứa liên thông cho cát giữ địa chất CO₂ ở trũng An Châu.

Cát kết bao gồm các loại: Cát kết thạch anh, cát kết thạch anh– arkoz, cát kết đa khoáng hạt thô đến mịn. Kiến trúc psamit xi măng kiểu tiếp xúc và lấp đầy, cấu tạo khối. Thành phần hạt vụn chiếm 60–90% gồm: thạch anh 57–80%, mảnh đá silic 1–3% còn lại là felspat và mảnh đá sét. Xi măng chiếm 10–40% gồm: silic, sét, sericit, clorit và hydroxit Fe. Có ít khoáng vật phụ gồm turmalin, zircon, muscovit, biotit, leucocen (Hình 3.33).

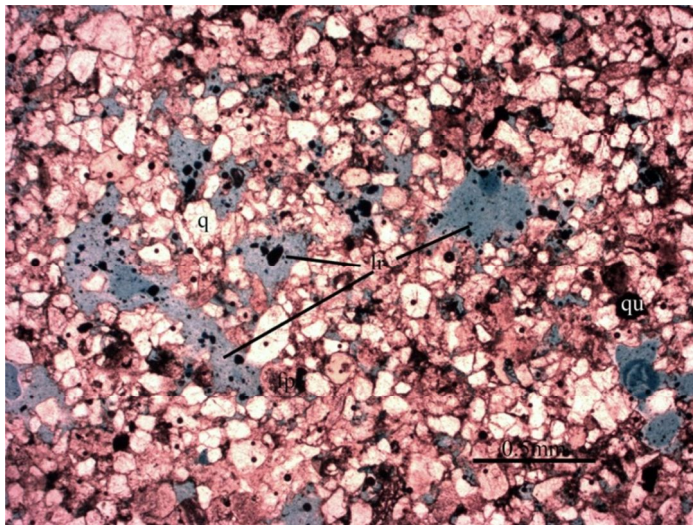
Cát sạn kết có kiến trúc psamo – pselit, cấu tạo khối. Thành phần mảnh vụn 80–85% gồm: Thạch anh 80–82%, ít mảnh đá silic, felspat. Phần xi măng chiếm 15–20% gồm: silic 13–14%, còn lại là sét, sericit, clorit và đôi hạt khoáng vật quặng.

Độ lỗ rỗng chủ yếu là độ rỗng giữa hạt, thay đổi từ 4 đến 29%, trung bình 11% (Hình 3.34), vì vậy tầng chứa này cũng chỉ được xem là tầng chứa có chất lượng trung bình.



Hình 3.33. Hạt vụn thạch anh (q) dạng hạt nửa góc cạnh, nửa tròn cạnh, góc cạnh, xi măng tiếp xúc – lấp đầy – ít nén ép trong cát kết ít khoáng hệ tầng Mẫu Sơn.

Mẫu 834. Nicol (+)



Hình 3.34. Lỗ rỗng (lr) hiệu dụng dạng méo méo mó, là lỗ rỗng giữa các hạt trong cát kết ít khoáng hệ tầng Mẫu Sơn. Mẫu 834. Nicol (-)

Tầng chắn

Các lớp bột kết màu xám nâu, phớt nâu xen kẽ bột kết, sét bột kết màu xám lục của phụ hệ tầng Mẫu Sơn dưới ($T_{3c} ms_1$) dày 220m phần nào có tác

dụng chắn cho các tầng chứa nằm dưới, trong khi đó tầng sét kết, sét bột kết của phụ hệ tầng Mẫu Sơn giữa ($T_{3c} ms_2$) dày 200m, diện phân bố rộng đóng vai trò tầng chắn khu vực cho cất giữ CO_2 trong các tầng cát kết, sạn kết nằm dưới. Ngoài ra, các lớp sét kết, sét than của hệ tầng Văn Lãng còn là các tầng chắn phụ thêm cho các tầng chứa nằm dưới.

Sét bột kết, sét kết hệ tầng Mẫu Sơn có kiến trúc pelit, cấu tạo khối. Phần hạt vụn chiếm 40–45%, thành phần chủ yếu là thạch anh. Phần xi măng chiếm 55–60% gồm sét, silic, sericit, clorit. Các lớp chắn này, tuy ít chứa các khoáng vật trương nở, nhưng chiều dày lớn và phân bố rộng tiềm năng là các tầng chắn chất lượng tốt.

Đá sét bột kết hệ tầng Văn Lãng bị ép phiến màu xám đen, xám chì, kiến trúc sét bột tàn dư, cấu tạo phân phiến. Thành phần khoáng vật: Sét, sericit, clorit chiếm 55-60%, thạch anh 35-40%, biotit bị biến đổi và muscovit chiếm 3%, quặng hydrocit 1-2%, plagioclas bị biến đổi có ít, carbonat ít. Khoáng vật phụ chiếm rất ít, có turmalin, zircon. Đá phiến sét sericit-clorit hệ tầng Văn Lãng màu xám đen, có kiến trúc sét tàn dư, cấu tạo phân phiến. Thành phần khoáng vật gồm: sét-sericit-clorit 90%, thạch anh 5%, biotit bị clorit hóa 1%, plagioclas-turmalin, zircon: ít. Ngoài ra các tập phiến sét than cũng cho thấy chúng chứa một lượng đáng kể vật chất hữu cơ, di tích thực vật. Các lớp chắn này chứa hàm lượng hữu cơ cao có khả năng hấp phụ CO_2 , tuy nhiên diện phân bố hẹp nên chỉ là tầng chắn mang tính địa phương.

III.3.2.3. Khoanh định và ước đoán khả năng cất giữ địa chất CO_2

a. Đánh giá khả năng cất giữ CO_2 của các tầng lỗ rỗng nằm sâu

Trong trũng An Châu, các thành tạo địa chất tiềm năng cho cất giữ CO_2 là các tầng chứa lỗ rỗng và nứt nẻ nằm sâu. Các lớp cát kết, cát sạn kết thuộc phần trên hệ tầng Nà Khuất ($T_2 nk$) và tập dưới hệ tầng Mẫu Sơn ($T_{3c} ms_1$) tạo

nên một tầng chứa liên thông với phần trung tâm trũng dày đến 400- 500m. Tầng chứa này có diện phân bố rộng lớn, tuy nhiên có chất lượng chứa chỉ được đánh giá ở mức trung bình hoặc trung bình kém. Tầng chắn gồm các lớp sét kết, sét bột kết của tập 1 và tập 2 hệ tầng Mẫu Sơn khá dày và phân bố rộng lớn. Ngoài ra, các tập sét kết, sét than của hệ tầng Văn Lãng còn là các tầng chắn mang tính địa phương.

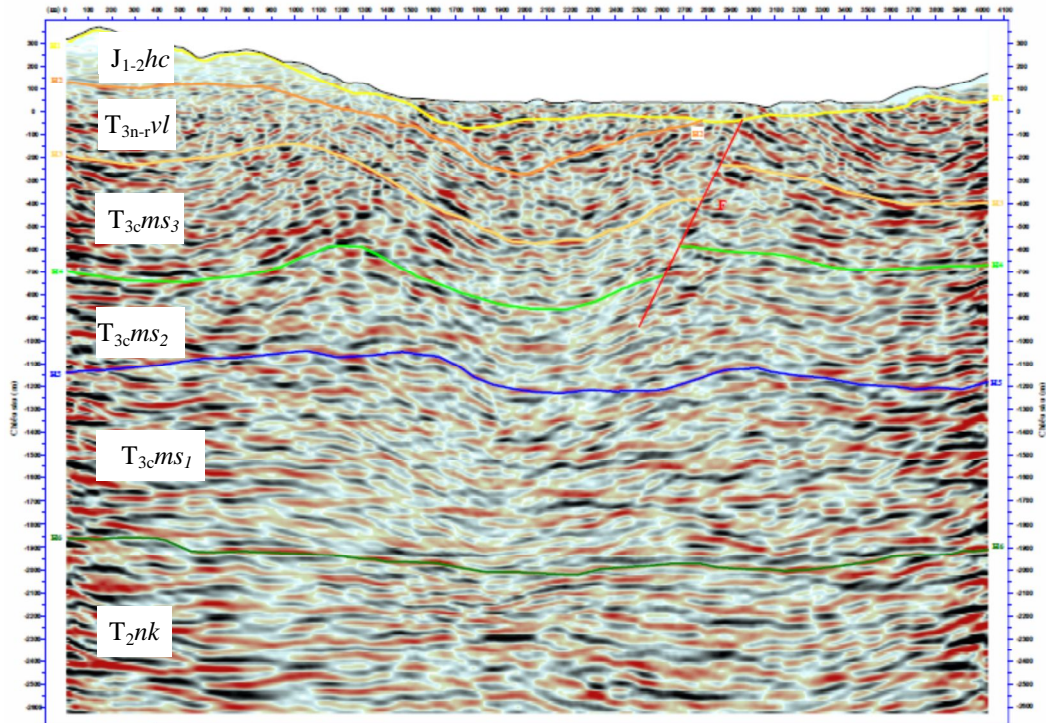
Ngược lại, các vỉa than thuộc hệ tầng Văn Lãng ($T_{3n-r vl}$) bao gồm cả than anthracit và bitum có khả năng hấp phụ CO_2 và CH_4 , tuy nhiên, trữ lượng nhỏ, độ chứa than thấp, số lượng vỉa ít và phân bố ở độ sâu nông (<800m) nên nói chung ít có giá trị cho cất giữ địa chất CO_2 .

Cấu trúc của trũng là một phức nếp lồi trải rộng trên một khoảng dài hàng trăm kilomet với các đá nói chung có thể nằm với góc dốc không quá lớn, phần trung tâm của trũng các đá thường có góc cắm thoải, nhiều chỗ gần như nằm ngang (Hình 3.35). Các cấu trúc đóng có thể là các cấu trúc vòm nâng như khu vực nếp lồi Chũ và Mẫu Sơn, còn các khu vực khác thường là các cấu trúc mở hoặc nửa đóng- nửa mở.

b. Khoanh định và ước đoán khả năng cất giữ CO_2 lý thuyết

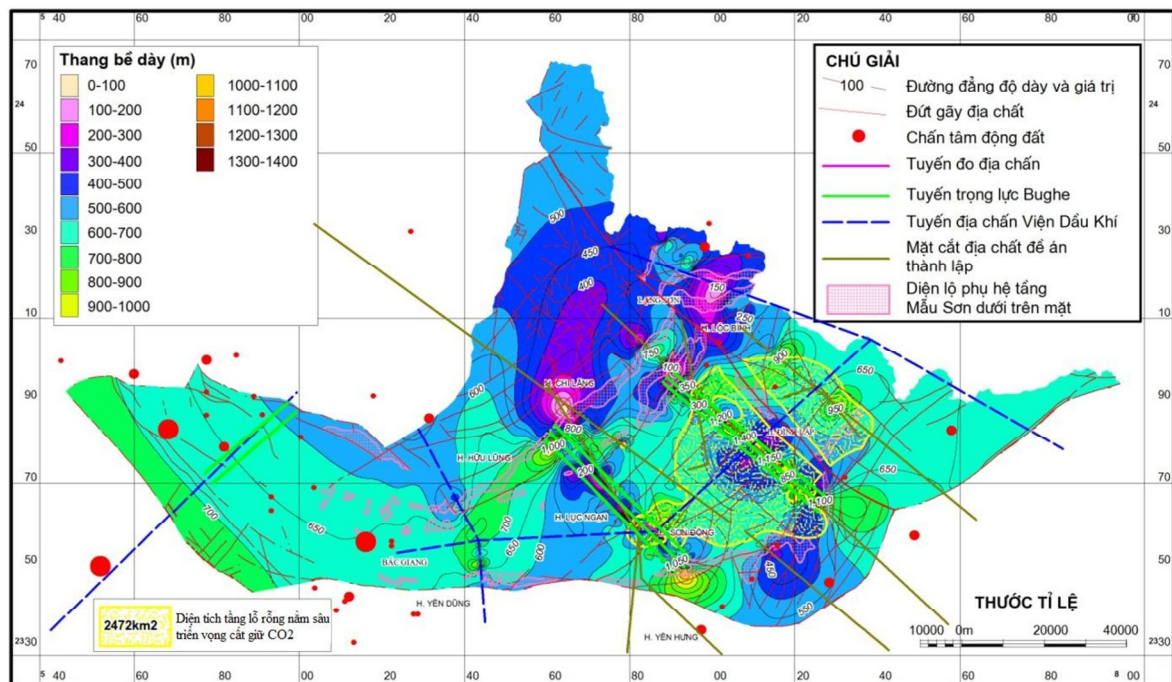
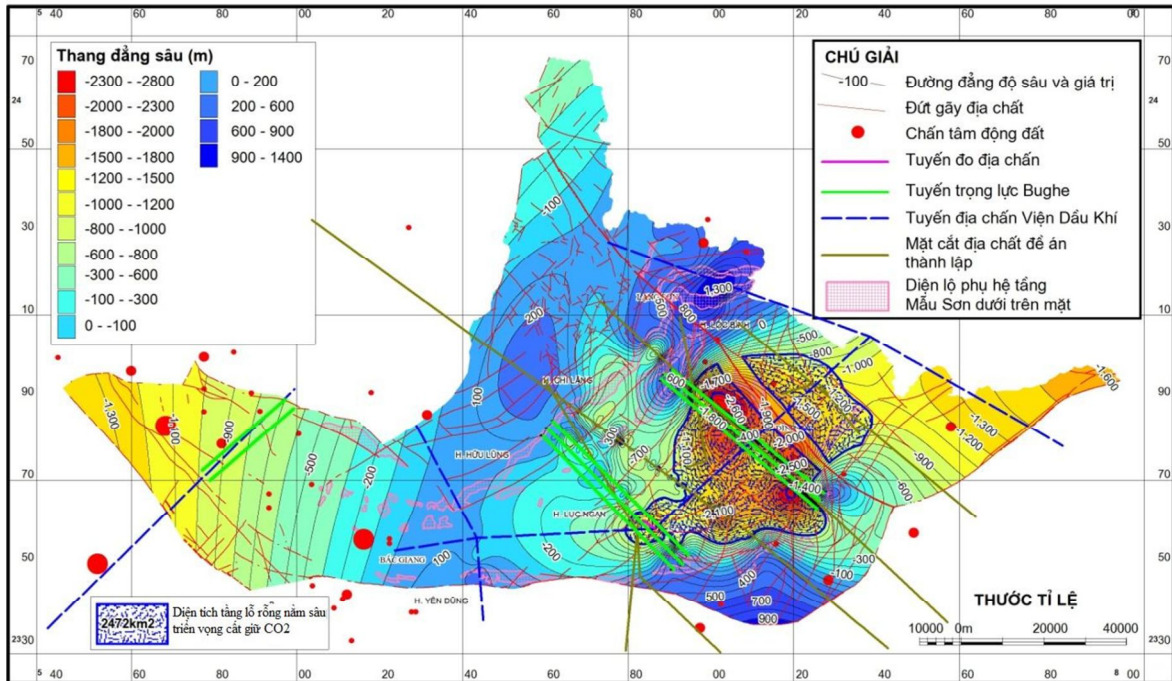
Trên cơ sở các mặt cất địa chất- địa vật lý ngang trũng An Châu đã được thu thập từ các công trình nghiên cứu trước đây [13] và từ công tác đo trọng lực tỷ lệ 1/100.000 của đề tài, các sơ đồ đồng đẳng độ sâu nóc và đáy, và đồng đẳng bề dày địa tầng đã được thành lập cho cho hệ tầng Nà Khuất (T_{2nk}) và phụ hệ tầng Mẫu Sơn dưới ($T_{3c ms1}$) của trũng An Châu. Các diện tích triển vọng cho cất giữ địa chất CO_2 được khoanh định cho từng địa tầng dựa trên các tiêu chí đã áp dụng cho trũng Châu thổ Sông Hồng ở trên, gồm: 1) độ sâu 800 - 2.500m; 2) độ lỗ rỗng trung bình $\geq 10\%$; và 3) Các diện tích tầng chứa lỗ rỗng triển vọng cất giữ CO_2 không bị cắt bởi các đứt gãy lớn

đang hoạt động như đứt gãy Cao Bằng- Tiên Yên, Sông Thương và Yên Tử- Tân Mài (Hình 3.36 và 3.37).

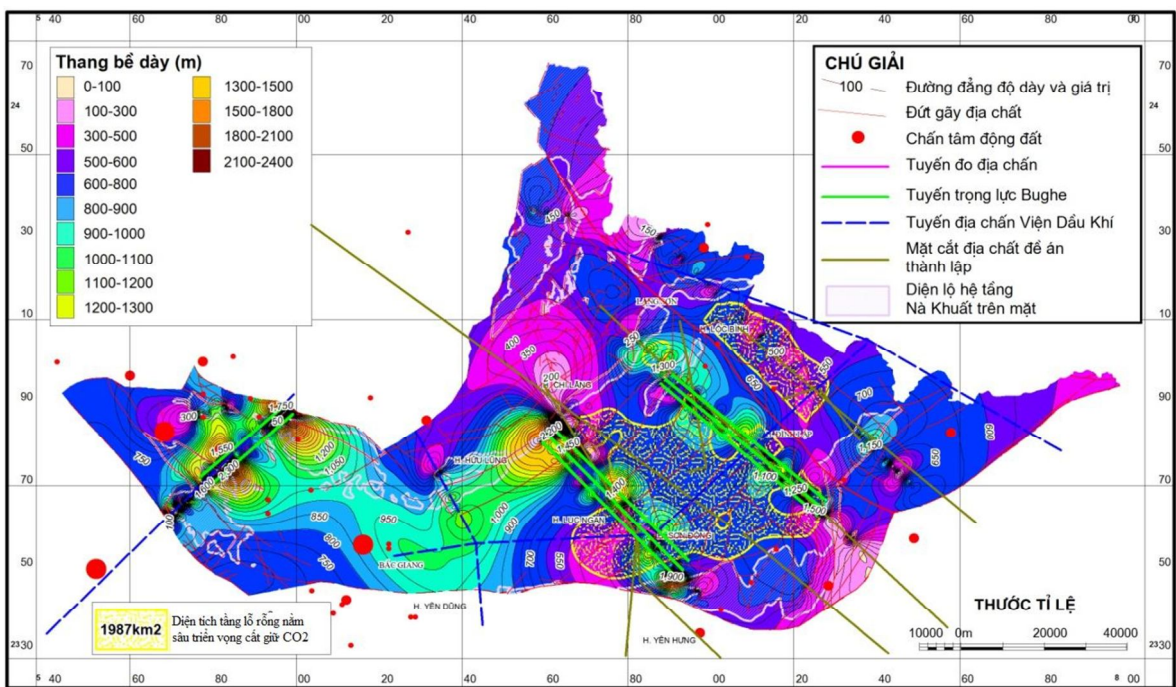
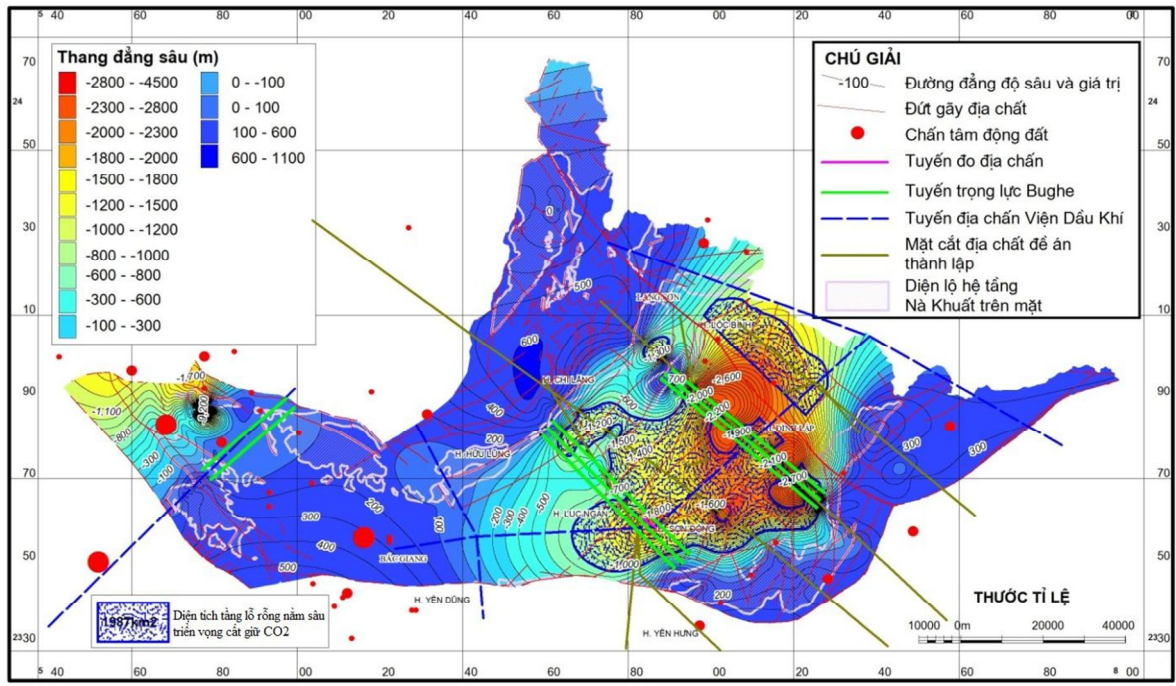


Hình 3.35. Mặt cắt địa chấn- địa chất thể hiện cấu trúc các lớp đá gần nằm ngang của phụ hệ tầng Mẫu Sơn dưới ($T_{3c} ms_1$) và hệ tầng Nà Khuất (T_{2nk}) khu vực trung tâm vùng An Châu

Khả năng cất giữ CO_2 lý thuyết đã được tính toán riêng rẽ cho các hệ tầng Nà Khuất (T_{2nk}) và phụ hệ tầng Mẫu Sơn dưới ($T_{3c} ms_1$) theo công thức 1.4 (trang 69 - chương II) (Bảng 3.6). Trong đó, diện tích triển vọng và chiều dày trung bình địa tầng được tính toán từ các sơ đồ đẳng đáy và đẳng dày; tỷ lệ cát được tính từ các mặt cắt và cột địa tầng lỗ khoan; độ lỗ rỗng từ kết quả phân tích mẫu trên mặt của đề tài; tỷ trọng CO_2 tại điều kiện bề chứa được lấy là $0,6 \text{ tấn}/\text{m}^3$; hệ số hiệu quả cất giữ được lấy bằng 4%. Kết quả thể hiện rằng: “Khả năng cất giữ CO_2 lý thuyết” cho các diện tích tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu triển vọng ở vùng An Châu là **2,131 Gtấn CO_2** .



Hình 3.36. Các sơ đồ đồng đẳng độ sâu nóc và đẳng dày và diện tích các tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu triển vọng cất giữ CO₂ của phụ hệ tầng Mẫu Sơn dưới (T_{3c} ms₁) ở trũng An Châu.



Hình 3.37. Các sơ đồ đồng đẳng độ sâu nóc và đẳng dày và diện tích các tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu triển vọng cất giữ CO₂ của hệ tầng Nà Khuất (T₂ nk) ở trũng An Châu.

Bảng 3.6. Kết quả tính toán khả năng cất giữ CO₂ lý thuyết cho các tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu trung An Châu

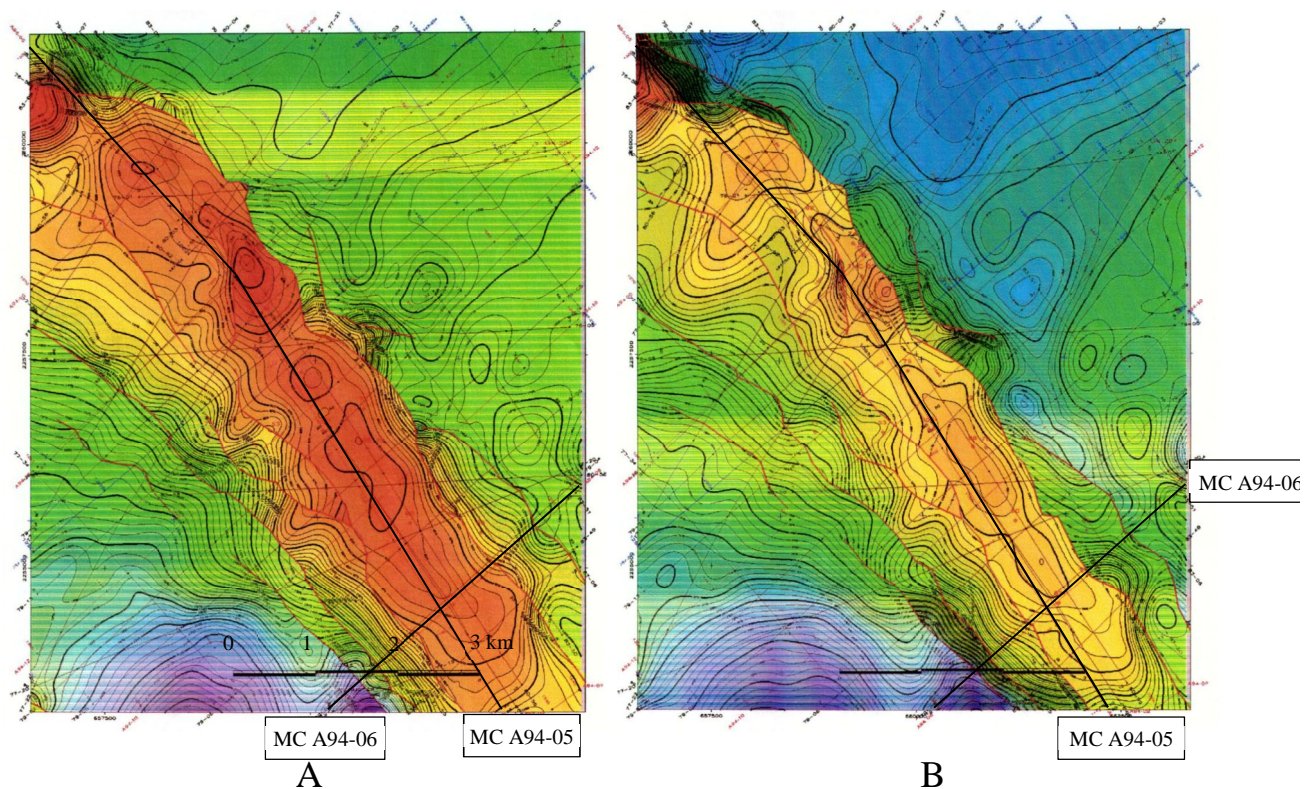
Địa tầng	Diện tích triển vọng (km ²)	Chiều dày địa tầng (m)	Tỷ lệ cát kết (Net/gross)	Độ rỗng trung bình (ρ)	Tỷ trọng CO ₂ tại điều kiện bể chứa (d) (tấn /m ³)	Hệ số hiệu lực cất giữ (E)	Khả năng cất giữ lý thuyết (Mtấn CO ₂)
Hệ tầng Nà Khuất (T _{2 nk})	1.987	840	0,21	0,1	0,6	0,04	841,22
Phụ hệ tầng Mẫu Sơn dưới (T _{3c ms1})	2.472	520	0,38	0,11	0,6	0,04	1.289,55
Tổng cộng:							2.130,77

Chương IV. MÔ HÌNH MÔ PHỎNG GIẢI PHÁP CÔNG NGHỆ CẮT GIỮ CO₂ CHO MỎ KHÍ TIỀN HẢI C, THÁI BÌNH

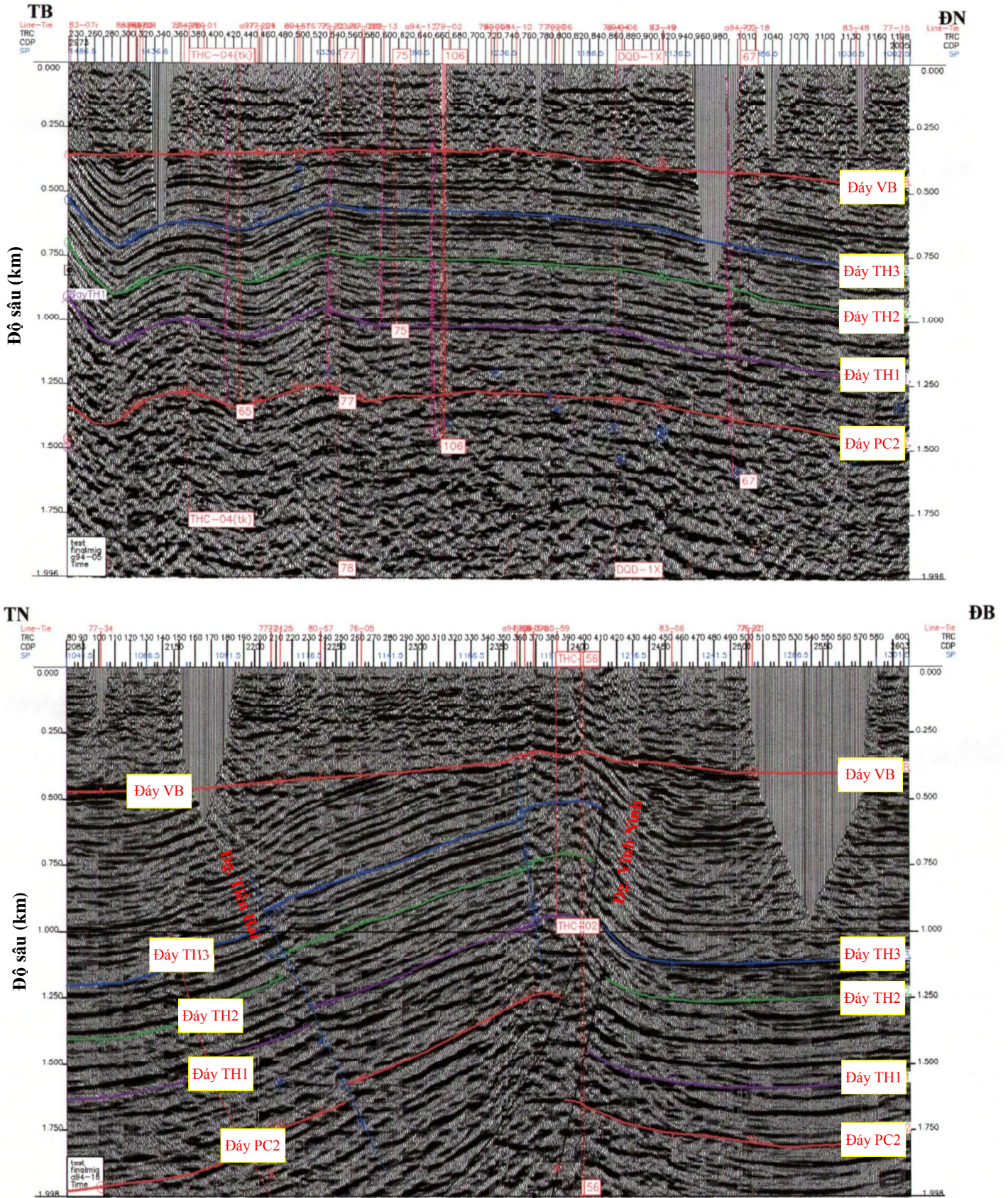
IV.1. ĐẶC ĐIỂM ĐỊA CHẤT MỎ TIỀN HẢI C

IV.1.1. Cấu trúc địa chất

Mỏ nằm ở đới Trung tâm Châu thổ Sông Hồng, phía ĐB là trũng Đông Quan, phía TN là trũng Phụng Ngãi. Đây là khối nâng nghịch đảo trong Miocen, có cấu trúc khép kín hai chiều được giới hạn bởi 2 hệ thống đứt gãy nghịch, có hướng cắt ngược chiều nhau: đứt gãy Vĩnh Ninh và đứt gãy Tiền Hải (Hình 4.1 và 4.2).



Hình 4.1. Bản đồ độ sâu đáy: A. Tiên Hưng 1 và B. Tiên Hưng 2 ở khu vực mỏ THC



Hình 4.2. Mặt cắt địa chấn các tuyến A94-05 và A94-06 qua mỏ Tiền Hải C

Đứt gãy Vĩnh Ninh là ranh giới cánh phải (Đông Bắc) của cấu tạo, trong quá trình nghịch đảo kiến tạo, đóng vai trò như mặt trượt chính cho các tầng đất đá từ phía TN lên. Đứt gãy này có lịch sử phát triển phức tạp qua các thời kỳ kiến tạo, ở hệ tầng Tiên Hưng (N_1^3th) mang tính nghịch rõ rệt. Đứt gãy có độ dốc không đồng đều, độ thoải lớn nhất trên mặt cắt ngang cấu tạo quan sát được ở hệ tầng Phù Cừ (N_1^2pc) (phần trên đứt gãy). Biên độ dịch chuyển của hệ tầng Tiên Hưng về hai phía đứt gãy dọc theo mỏ cũng biến đổi, có xu hướng tăng dần từ phía ĐN lên phía TB và đạt tới 700-800m. Có thể quan sát thấy 1, 2 mặt trượt của đứt gãy Vĩnh Ninh với phần địa tầng kẹp giữa bị phức tạp hoá, khó xác định ranh giới địa tầng theo pha sóng địa chấn. Tuy nhiên mặt trượt bên trong, sát trục mỏ là mặt trượt kiến tạo chính, được liên kết liên tục và là giới hạn cánh phải của mỏ.

Cánh TN mỏ Tiên Hải C bị phức tạp hoá bởi hệ thống đứt gãy Tiên Hải. Đây là các đứt gãy nghịch, có độ dốc tương đối đều nhau. Đứt gãy đầu tiên bên cánh này (sát đỉnh cấu tạo) có biên độ dịch chuyển tương đối nhỏ, các đứt gãy khác tiếp theo về phía cánh trái có biên độ dịch chuyển lớn hơn (200- 300m) và dịch dần liên tiếp xuống trũng Phượng Ngải.

Có rất ít các đứt gãy bậc cao khác ở phần phía Bắc và phía Nam của mỏ với biên độ dịch chuyển nhỏ, còn ở phần trung tâm mỏ các pha sóng địa chấn rất liên tục. Nhìn chung trên toàn mỏ Tiên Hải C chỉ quan sát thấy các đứt gãy hướng TB-ĐN.

Các đứt gãy giới hạn mỏ nói chung phát triển trong Miocen và không xuất hiện trong hệ tầng Vĩnh Bảo (N_2vb). Độ dày các tập trầm tích Tiên Hưng (N_1^3th) về hai phía đứt gãy tương đối ổn định chứng tỏ cấu tạo hình thành trong giai đoạn nghịch đảo kiến tạo, sau khi đất đá hệ tầng Tiên Hưng đã được trầm tích. Các đứt gãy đóng vai trò chính trong việc vận chuyển hydrocarbon chủ yếu từ các tầng đá mẹ tuổi Oligocen đã trưởng thành và di

dịch lên, tuy nhiên khó xác định được tính chất chắn của chúng. Trên các mặt cắt địa chấn, nhất là khu vực phía ĐN mỏ Tiền Hải C, các pha sóng địa chấn ở địa tầng TH₁ có xu hướng kê áp vào đứt gãy (mặt cắt ngang mỏ), và tương đối bằng phẳng, dốc nhẹ về phía ĐN (ở mặt cắt dọc mỏ).

Cấu trúc mỏ từ đáy TH₁ lên tới đáy TH₃ tương đối đồng nhất, với 2 vòm rõ rệt là vòm TB và vòm ĐN, ngoài ra ở phía rìa TB phát hiện một vòm nhỏ mới. Trên các bản đồ đẳng sâu: Mặt đáy TH₁: toàn cấu tạo khép kín theo đồng mức khoảng 1.225m với 3 vòm nhỏ tách biệt khép kín ở 1.200m, biên độ vòm khoảng 50-150m; Mặt đáy TH₂: khép kín ở đồng mức 900m, các vòm khép kín ở 800, 675 và 775m; Mặt đáy TH₃: khép kín ở đồng mức 675m, biên độ vòm TB đến >200m. Ngoài ra, ở phần kéo dài của mỏ về phía TB - phần chuyển tiếp giữa vòm TB của mỏ Tiền Hải C và cấu tạo Tiền Hải B, còn có một vòm nhỏ độc lập ở vị trí thấp hơn và cách vòm TB đã biết bởi một trũng yên ngựa nhỏ.

IV.1.2. Đặc điểm địa chất các vỉa chứa

Các địa tầng địa chất giếng khoan trên diện tích mỏ Tiền Hải C được phân chia theo thang địa tầng chung của Châu thổ Sông Hồng (Hình 4.3).

Mỏ khí Tiền Hải C gồm 14 vỉa cát kết chứa khí xếp chồng lên nhau tuổi từ Miocen giữa đến Miocen trên. Các tập chứa này đều là cát bột kết được thành tạo trong môi trường đồng bằng châu thổ phân bố xen kẽ giữa các tập sét biển, bùn sét đồng bằng ngập lụt và than có độ dày khá lớn đóng vai trò tầng chắn theo hướng thẳng đứng giữa các vỉa chứa của mỏ. Các vỉa cát kết chứa khí của mỏ tập trung trong các địa tầng Phủ Cừ 3, Tiên Hưng 1 và Tiên Hưng 2, được đánh số từ T₀ đến T₁₃ theo thứ tự từ dưới lên trên (từ PC₃ lên TH₂).

TUỔI ĐỊA CHẤT				CHIỀU DẪY (m)	VỊA SÀN PHẨM	CỘT THẠCH HỌC	MÔ TẢ THẠCH HỌC	MÔI TRƯỜNG TRẮM TÍCH
THÔNG	PHỤ THÔNG	DIỆP	PHỤ DIỆP					
BOLOXEN		MIỀN XƯƠNG		52 - 74			Bột sét màu xám, xám hồng. Cát hạt nhỏ đến thô, bào tròn tốt, nhiều tàn tích thực vật	Tướng châu thổ xen biển
PLEISTOXEN		HẢI DƯƠNG		90 - 160			Cát, sạn, sỏi là chủ yếu có màu xám hạt thô. Bột sét màu xám dẻo chứa nhiều mảnh thực vật	Tướng sông xen đầm hồ
PLIOXEN		VĨNH BẢO		104 - 363			Cát, cát kết màu xám phớt lục, hạt mịn đến trung, phân lớp song song, độ lựa chọn tốt. Đây là các lớp sạn, sỏi, bột sét màu xám, phớt lục	Tướng biển nông
MIOXEN	MIOXEN TRÊN	TIỀN HUNG	TIỀN HUNG 3	168 - 435			Cát kết màu xám, xám vàng hạt thô lẫn sạn sỏi thành phần đa khoáng gắn kết yếu. Bột kết - sét kết màu xám bẩn, xám tối. Phụ điệp này có 1 - 3 vỉa than nâu	Tướng bồi tích xen đầm lấy lục địa
			TIỀN HUNG 2	220 - 330	T11 - T13		Phần dưới là các tập cát dày màu xám, hạt mịn đến thô cấu tạo khối, chọn lọc kém, gắn kết trung bình. Phần trên có các lớp than xen kẽ các tập bột sét kết và cát kết	Tướng đầm hồ châu thổ (đồng bằng châu thổ trên)
			TIỀN HUNG 1	380 - 459	T1 - T10		Cát kết màu xám sáng, cấu tạo khối, dôi chỗ sóng xiên, xiên chéo. Đá gắn kết từ chắc đến trung bình, độ chọn lọc và bào tròn trung bình đến kém. Bột sét kết màu xám, xám đen phân lớp dày chứa nhiều vật liệu hữu cơ xen kẽ các vỉa than nâu (14 - 18 vỉa) với chiều dày 2 - 10m	Tướng đầm hồ, đầm lấy châu thổ: - Phần trên: đồng bằng châu thổ trên - Phần dưới: đồng bằng châu thổ dưới
			PHỤ CỬ 3	131 - 184	T0		Cát kết màu xám sáng, hạt nhỏ đến trung, sét kết - bột kết màu đen văng mặt các vỉa than	Tướng biển nông

GHI CHÚ Cát, cát kết Bột, bột kết Sét, sét kết Than Sạn, sỏi

Hình 4.3. Cột địa tầng tổng hợp mỏ Tiền Hải C.

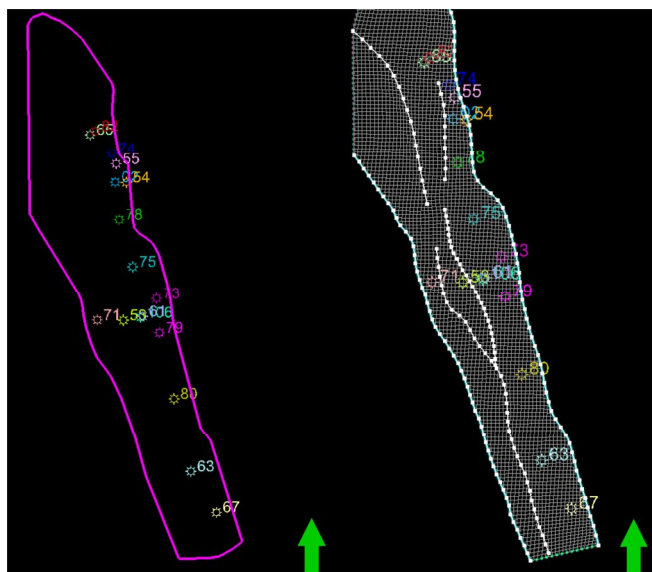
Các tập chứa trong phụ hệ tầng Phủ Cừ trên (PC₃) là cát kết màu xám sáng, hạt nhỏ đến trung bình, phân lớp song song, lượn sóng, đôi chỗ có cấu tạo khối (được đặt tên là vỉa T₀). Thành phần đa khoáng, chứa nhiều khoáng vật glauconit. Trầm tích được thành tạo trong môi trường biển nông. Tập chứa khí T₀ trong phụ hệ tầng này được phát hiện ở giếng THC-02.

Các tập chứa khí (T₁ đến T₁₃) thuộc phụ hệ tầng Tiên Hưng dưới và giữa (TH₁&TH₂) nằm xen kẽ với các tập sét, than đầm hồ, vũng vịnh và là các tập cát màu xám sáng, cấu tạo dạng khối, đôi chỗ phân lớp sóng xiên, xiên chéo, thành phần đơn khoáng. Các tập cát kết chứa khí T₁ đến T₁₃ được thành tạo trong môi trường cửa sông và đồng bằng châu thổ.

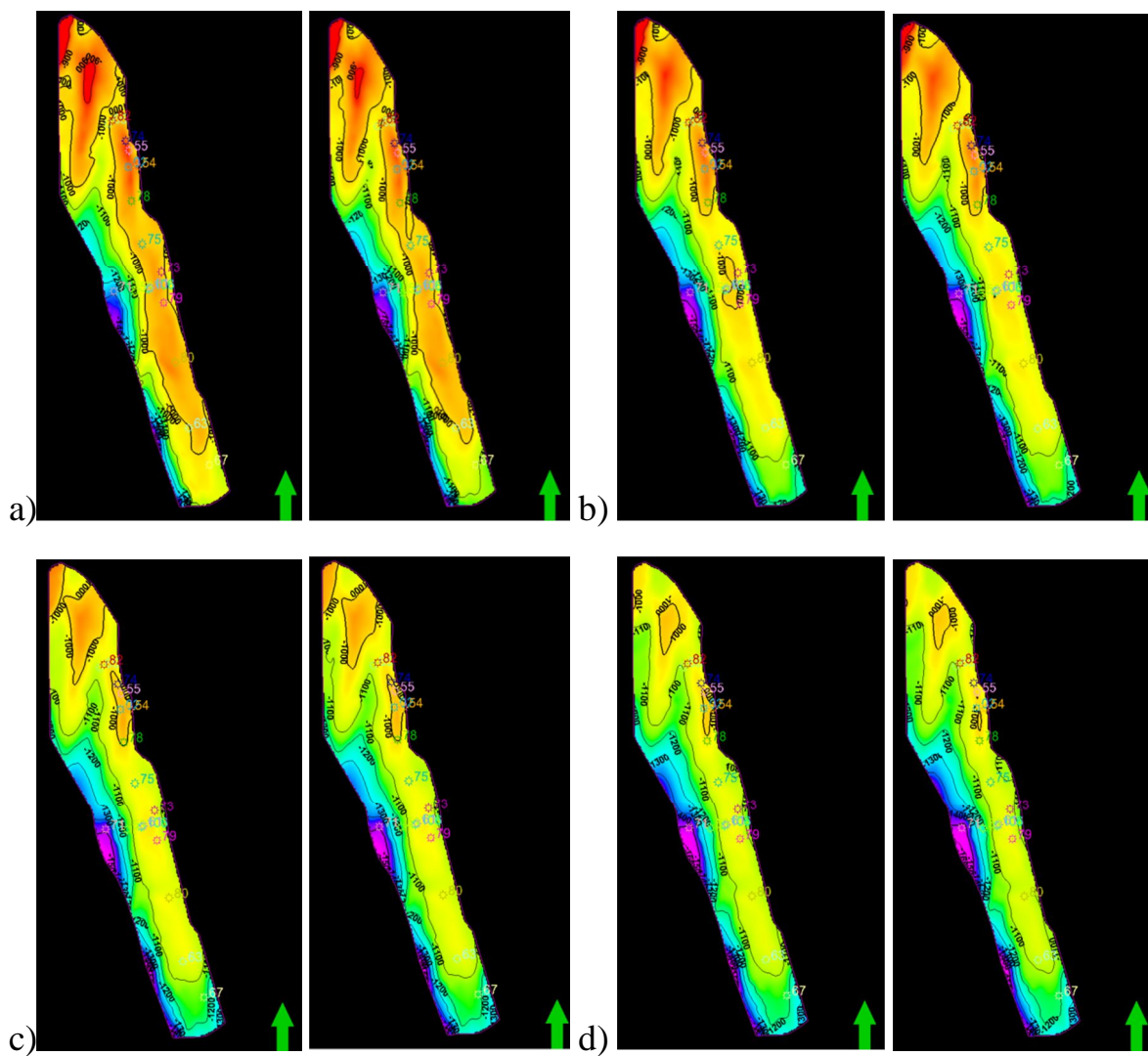
IV.2. MÔ HÌNH MÔ PHỎNG CÁC ĐẶC TRƯNG VỈA CHỨA

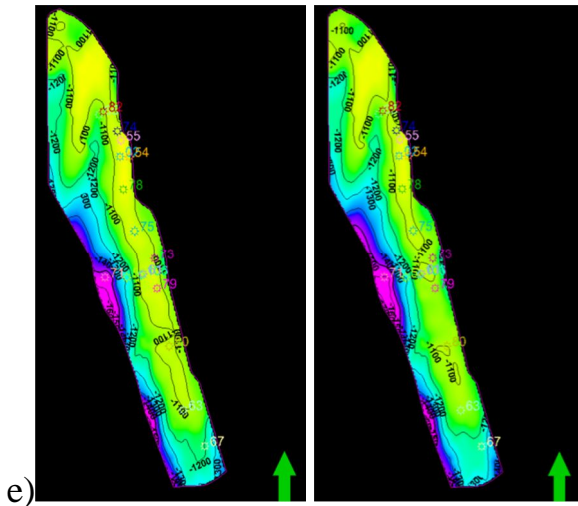
IV.2.1. Độ sâu đáy, nóc của vỉa chứa và hệ thống đứt gãy

Các bản đồ mô phỏng độ sâu đáy, nóc của vỉa chứa và hệ thống đứt gãy của mỏ khí Tiên Hải C được xây dựng dựa trên các tài liệu địa chấn và lỗ khoan trong khu vực. Ranh giới mô phỏng được giới hạn bao quanh khu vực được dự báo có trữ lượng khí của mỏ (Hình 4.4). Quá trình mô phỏng dựa vào ô lưới 3D kích thước theo chiều ngang 100x100m và đảm bảo trùng khớp với nóc và đáy vỉa đã được xác định tại vị trí giếng khoan. Như vậy, bản đồ nóc và đáy vỉa trong ô lưới 3D được thống nhất giữa tài liệu địa chấn và tài liệu giếng khoan. Quá trình chia lưới 3D thành các lớp nhỏ là bước cuối cùng trong xây dựng mô hình cấu trúc. Phương pháp chia theo tỷ lệ cân đều để tạo các lớp mỏng với độ dày trung bình cho ô lưới là 0.5 mét. Các vỉa chứa khí chính của mỏ từ T8 đến T4 phân bố ở độ sâu 850 đến 1.180 m đã được mô hình. Đa số các vỉa khí này đã cạn kiệt và bị ngập nước, vì vậy được xem là thích hợp cho cất giữ địa chất CO₂ kết hợp tăng hiệu suất thu hồi khí (EGR) (Hình 4.5).



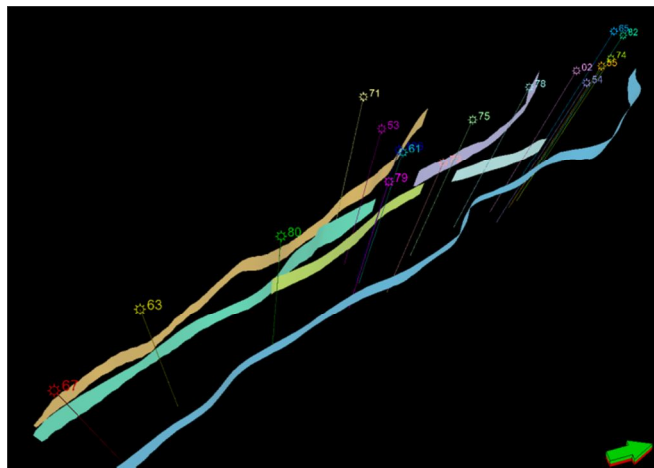
Hình 4.4. Ranh giới mở và kích thước ô lưới (100x100m) của mô hình





Hình 4.5. Bản đồ nóc và đáy các vỉa T8, T7, T6, T5 và T4

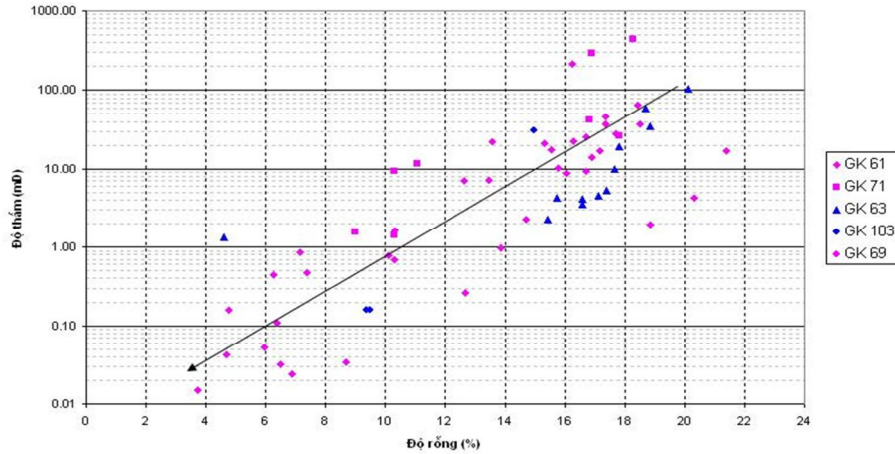
Mô hình đứt gãy được xây dựng bao gồm 6 đứt gãy theo phương TB-ĐN (Hình 4.6). Ngoài 2 đứt gãy lớn (Vĩnh Ninh và Tiền Hải), có 4 đứt gãy nhỏ xuyên cắt các vỉa chứa khí. Tuy nhiên đây đều là các đứt gãy kín hoạt động như là các tấm chắn tạo nên bẫy cấu trúc để giữ khí trong hàng triệu năm.



Hình 4.6. Mô hình đứt gãy mở khí Tiền Hải C

IV.2.2. Độ rỗng và độ thấm

Trên cơ sở mẫu lõi thu được đã xây dựng được quan hệ rỗng-thấm cho các đá chứa Miocen trên – hệ tầng Tiên Hưng ($N_1^3 th$) (Hình 4.7)

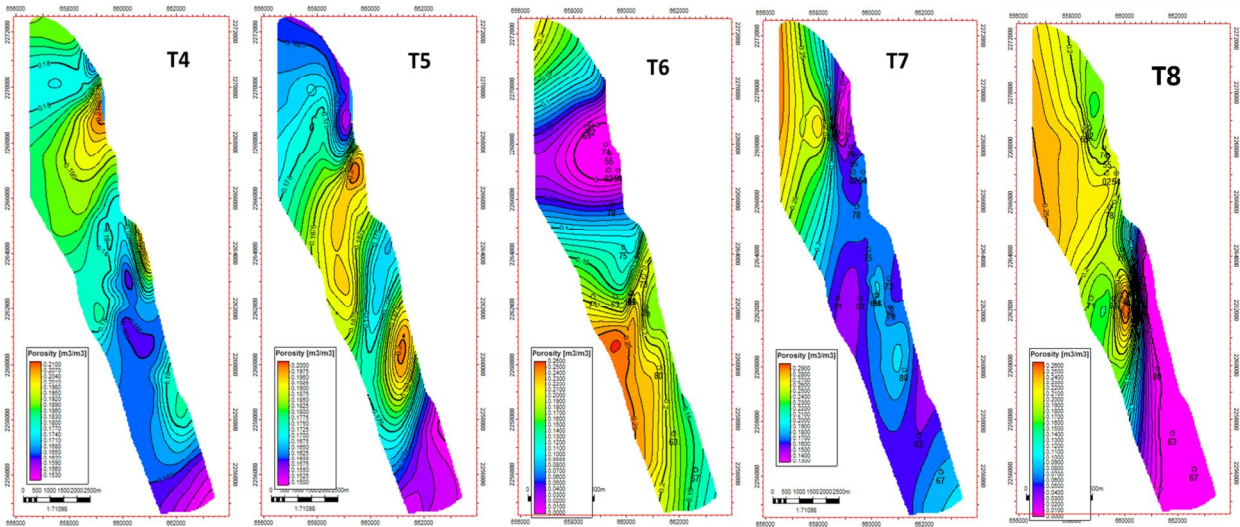


Hình 4.7. Quan hệ độ rỗng - độ thấm Miocen trên (hệ tầng Tiên Hưng)

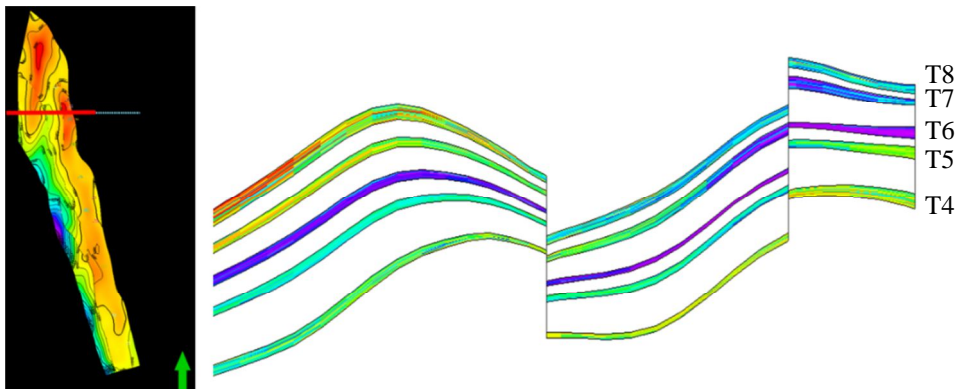
Kết quả cho thấy rằng trong các vỉa chứa từ T4 đến T8, độ rỗng tổng thay đổi trong phạm vi từ 10 đến 23.5% tập trung chủ yếu trong khoảng 12.5-20%, độ thấm từ 1 đến 500mD chủ yếu trong khoảng 3-70mD. So với giá trị độ rỗng và độ thấm đòi hỏi cho cát giữ CO₂ ($\Phi_T > 10\%$ và $K > 1\text{mD}$), các mẫu lõi lấy được ở các giếng khoan khác nhau phần lớn thuộc đá chứa từ trung bình đến tốt và một số mẫu đá chứa rất tốt. Điều này phù hợp với kết quả minh giải tài liệu địa vật lý giếng khoan. Hầu hết các vỉa chứa sản phẩm gặp ở các giếng khoan đều thuộc loại trung bình đến tốt và một số tập rất tốt có độ rỗng từ 16% đến 22%. Chỉ có một số giếng khoan gặp các tập T5, T6, T7 với chất lượng kém đến trung bình ($\Phi_T = 10\text{-}15\%$).

Mô hình phân bố độ rỗng:

Bản đồ phân bố độ rỗng của các vỉa chứa từ T4 đến T8 đã được lập trên cơ sở các số liệu phân tích mẫu lõi khoan, ĐVLGK và xu thế biến đổi các thân cát theo không gian từ nghiên cứu môi trường trầm tích của các vỉa chứa. Công tác này ứng dụng thuật toán mô phỏng Gaussian Function Simulation có sử dụng kết quả phân tích độ rỗng cho từng vỉa làm định hướng cho quá trình mô phỏng (Hình 4.8 và 4.9).



Hình 4.8. Phân bố độ rỗng trung bình vỉa chứa T4, T5, T6, T7 & T8



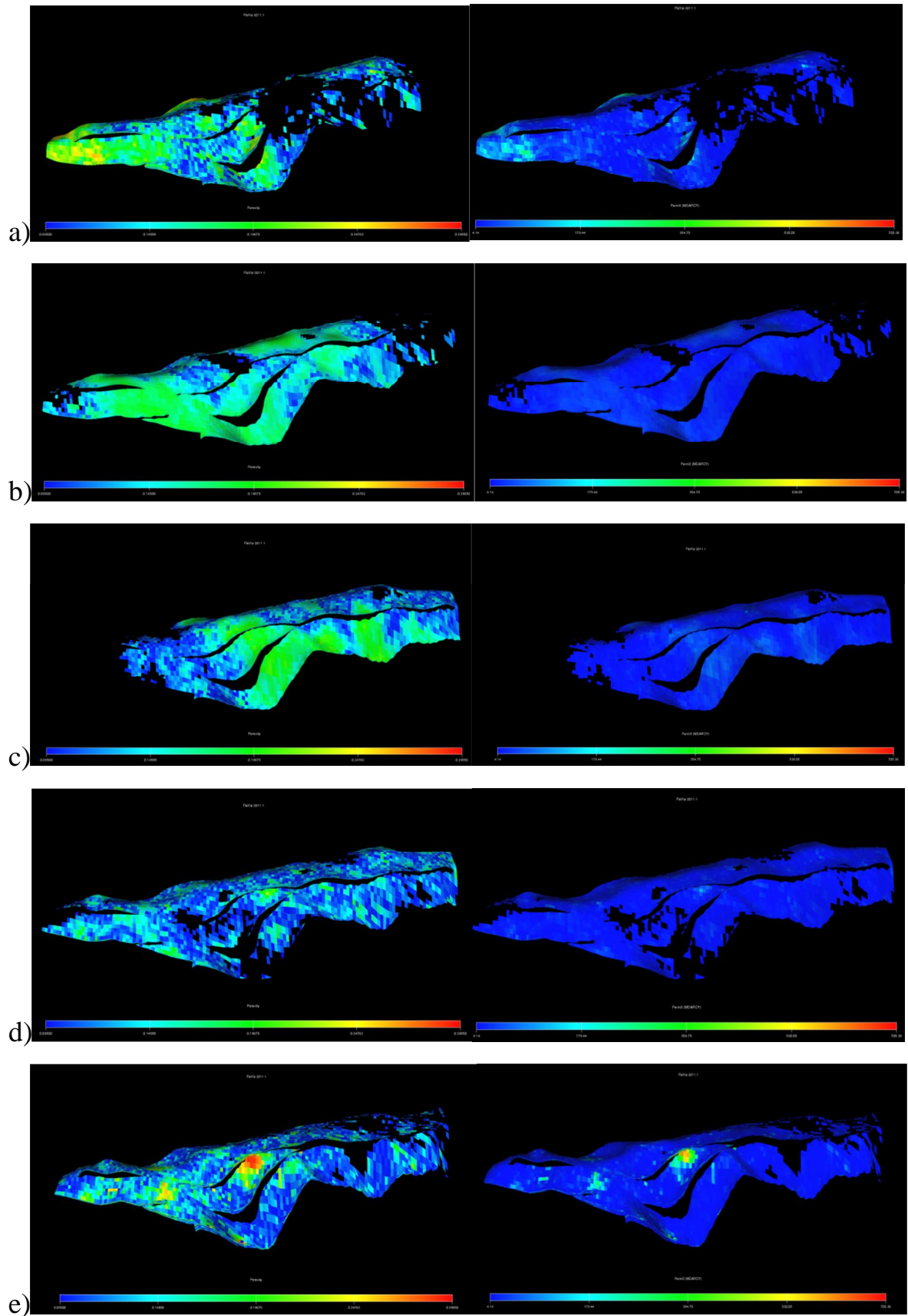
Hình 4.9. Mặt cắt độ rỗng thẳng đứng qua các vỉa T4 đến T8

Mô phỏng phân bố độ thấm tương đối:

Bản đồ phân bố độ thấm cho mỗi vỉa được xây dựng trên cơ sở bản đồ đẳng rỗng của vỉa và quan hệ độ rỗng-độ thấm. Quan hệ này dựa trên kết quả phân tích mẫu lõi và kết quả thử vỉa giếng khoan. Quan hệ độ thấm (K) và độ rỗng (ϕ) có phương trình như sau:

$$K = 0,3758 e^{0,2525\phi}$$

Trong mỗi vỉa chứa độ thấm hiệu dụng được xem như là đẳng hướng $K_x = K_y$, và độ thấm theo hướng thẳng đứng $K_z = 0.1K_x$. Kết quả được trình bày trong hình 4.10.



Hình 4.10. Phân bố độ rỗng và độ thấm via T4 (a), T5 (b), T6 (c), T7 (d) và T8 (e)

IV.2.3. Độ bão hòa khí và nước của vỉa chứa

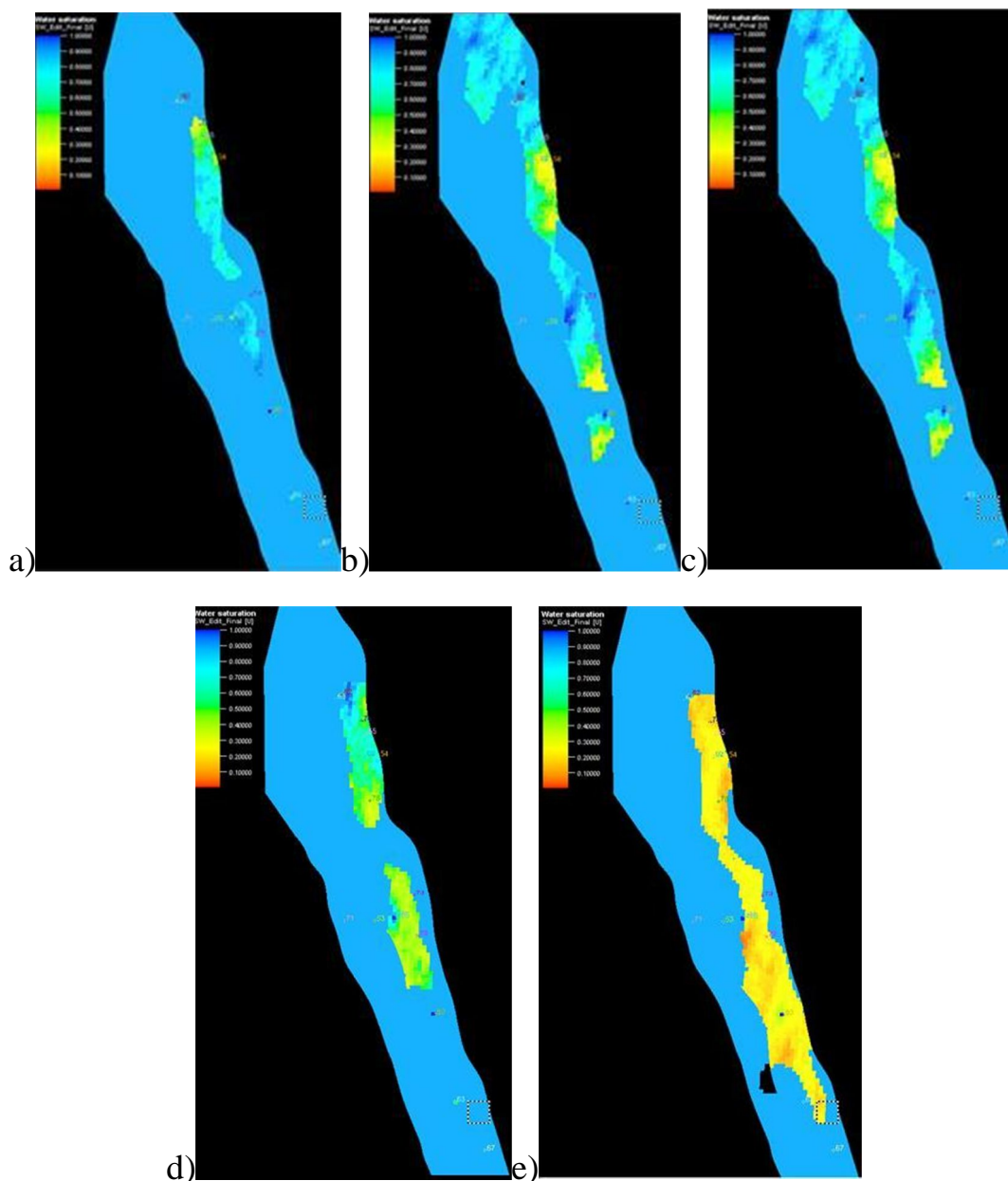
Mô phỏng độ bão hòa nước

Kết quả phân tích mẫu nước vỉa các giếng khoan mỏ Tiền Hải C cho thấy độ khoáng hóa của các mẫu nước trung bình khoảng 27.000 mg/l. Giá trị này được sử dụng để tính toán các tính chất khác (độ nhớt, độ nén, hệ số thể tích) của nước vỉa (bảng 4.1).

Bảng 4.1. Tính chất nước vỉa mỏ THC

Vỉa	Hệ số thể tích	Hệ số nén	Độ nhớt
	<i>Rb/bbl</i>	<i>l/psi</i>	<i>cP</i>
T4	1,0231	9,19E-06	0,458
T5	1,0234	9,11E-06	0,456
T6	1,0208	9,13E-06	0,483
T7	1,0195	9,54E-06	0,498
T8	1,0206	9,66E-06	0,485

Độ bão hòa nước được mô phỏng giả thiết dựa theo xu hướng biến đổi ngược lại với xu hướng biến đổi độ rỗng mà sử dụng thuật toán Gaussian Function Simulation. Với giả thiết lực mao dẫn có thể bỏ qua so với lực hấp dẫn nên ranh giới khí nước (RGKN) là một mặt phẳng. Kết quả tính toán trình bày trong Hình 4.11.



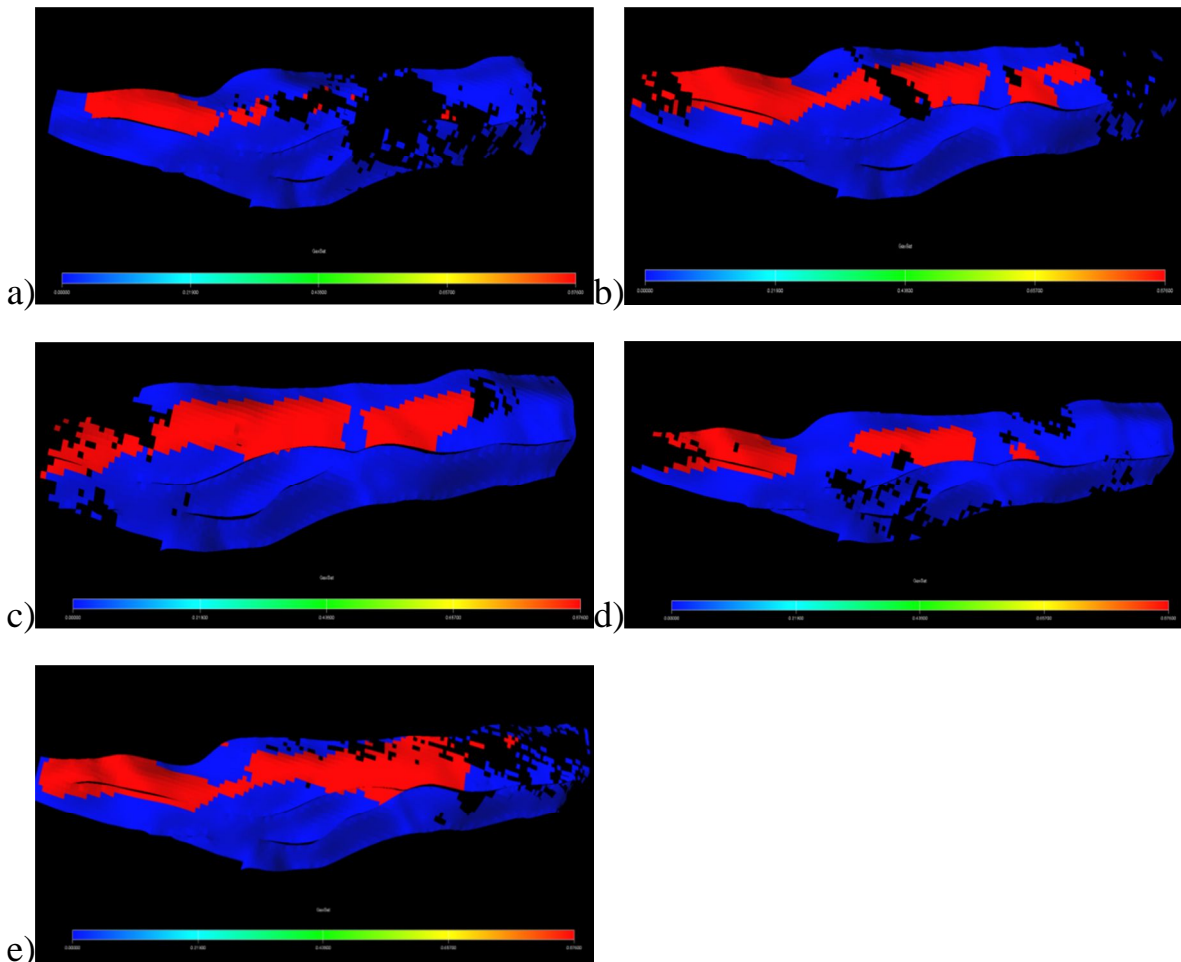
Hình 4.11. Độ bão hòa nước vỉa T4 (a), T5 (b), T6 (c), T7 (d) & T8 (e)

Mô phỏng độ bão hòa khí

Khí trong các vỉa sản phẩm của mỏ khí THC là khí khô và sạch, không có các thành phần H_2S và He. Hàm lượng Nitơ từ 0,6 đến 9,07 %; CO_2 từ 0,274 đến 2,08%; C_1 thay đổi từ 88,56 đến 92,926 %. Tỷ trọng khí tương đối của các vỉa T₄-T₈ từ 0,559 đến 0,6324. Do không có tài liệu phân tích PVT

(không làm thí nghiệm) nên các đặc trưng nhiệt độ và áp suất của khí được tính toán bằng phần mềm PVTi, sử dụng quan hệ Peng-Robinson dựa vào tỷ trọng đo được ở các vỉa chứa.

Tại điều kiện vỉa ban đầu, ranh giới khí nước (RGKN) được xác định theo tài liệu ĐVLGK và thử vỉa. Các ranh giới khí- nước được xem là mặt phẳng nằm ngang trong điều kiện ban đầu. Độ bão hòa khí (S_g) thể hiện trong hình 4.12 được tính toán trên cơ sở các ranh giới khí-nước và các tham số rỗng- thấm có được theo tài liệu địa vật lý giếng khoan và mẫu lõi.



Hình 4.12. Độ bão hòa khí vỉa T4 (a), T5 (b), T6 (c), T7 (d) & T8 (e)

IV.2.4. Đặc trưng nhiệt độ vỉa mỏ Tiền Hải C

Quan hệ giữa nhiệt độ và chiều sâu của mỏ Tiền Hải C được xây dựng dựa trên tài liệu đo nhiệt độ trong quá trình thử vỉa và khai thác tại các giếng khoan trên khu vực mỏ (Bảng 4.2). Kết quả cho thấy đối với các vỉa chứa có độ sâu nhỏ hơn 1.500m, gradient địa nhiệt trung bình cho cả mỏ khoảng 4,5 °C/100m, cao hơn rất nhiều gradient trung bình của khu vực (Hình 4.13). Điều này chứng tỏ ở phần nông của lát cắt có thể tồn tại tầng chắn nhiệt tốt làm nhiệt độ biến đổi nhanh. Tuy nhiên phần sâu của lát cắt nhiệt độ biến đổi chậm hơn và làm cho phong gradient nhiệt độ trung bình vẫn nằm trong dải gradient nhiệt độ khu vực CTSH. Nhiệt độ trung bình theo độ sâu được xác định theo phương trình:

$$T_i = 4,5 * D/100 + 28$$

Trong đó:

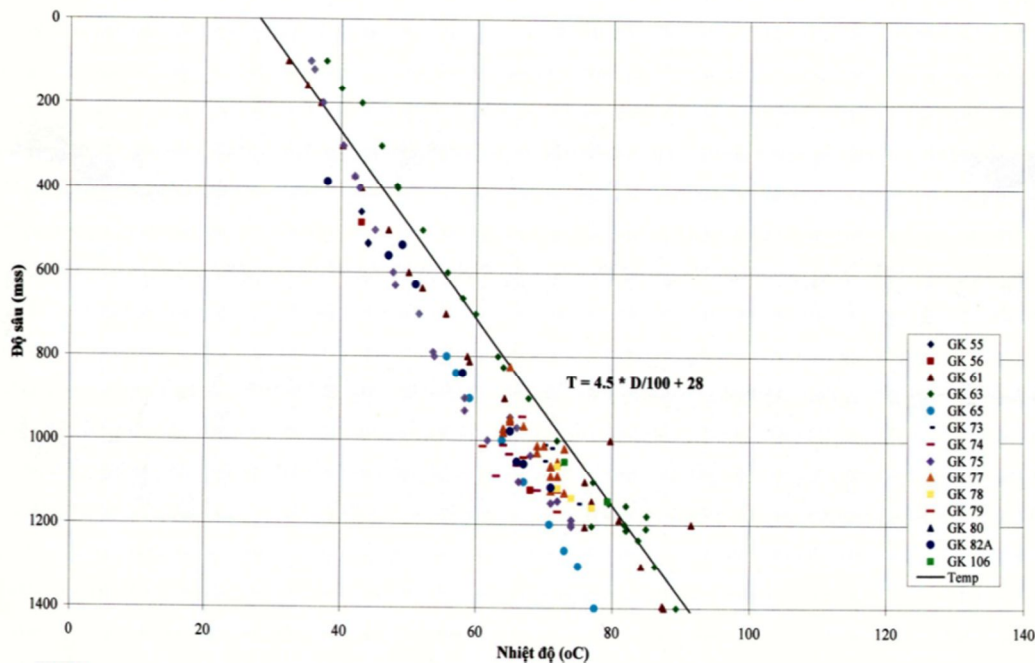
4,5: Gradient địa nhiệt (°C/100m)

D: Độ sâu (mss)

T_i: Nhiệt độ ban đầu của vỉa (°C)

Bảng 4.2. Nhiệt độ vỉa ban đầu đo tại một số vỉa chứa khí trong giếng khoan

Vỉa	Độ sâu	Nhiệt độ vỉa ban đầu	
	mss	°C	°F
T8 a2	813,6	64,6	148,3
T8 a1	822	65,0	149,0
T8b	929,3	69,8	157,7
T8	984	72,3	162,1
T7 TB	1009,9	73,4	164,2
T7 ĐN	1015,7	73,7	164,7
T6	1048,7	75,2	167,3
T5	1064,4	75,9	168,6
T4 TB	1082,1	76,7	170,1
T4 ĐN	1082,1	76,7	170,1



Hình 4.13. Biến đổi nhiệt độ theo độ sâu ở mỏ Tiền Hải C

IV.2.5. Đặc điểm biến đổi chế độ thủy động lực

Áp suất thành tạo

Áp suất vỉa ban đầu của mỏ khí Tiền Hải C được xây dựng dựa trên tài liệu thử vỉa giếng khoan cũng như số liệu khai thác. Áp suất vỉa trung bình ở điều kiện ban đầu của các vỉa sản phẩm từ T_0 đến T_{13} ở mỏ Tiền Hải C được thể hiện trong Bảng 4.3. Trên tài liệu đo được đã chỉ ra mỏ khí Tiền Hải C không có dị thường áp suất, áp suất ban đầu của vỉa tương đương với áp suất thủy tĩnh (Hình 4.14). Quan hệ giữa áp suất và độ sâu biểu diễn theo phương trình sau:

$$P_i = 1,428 * D + 14,7$$

Trong đó :

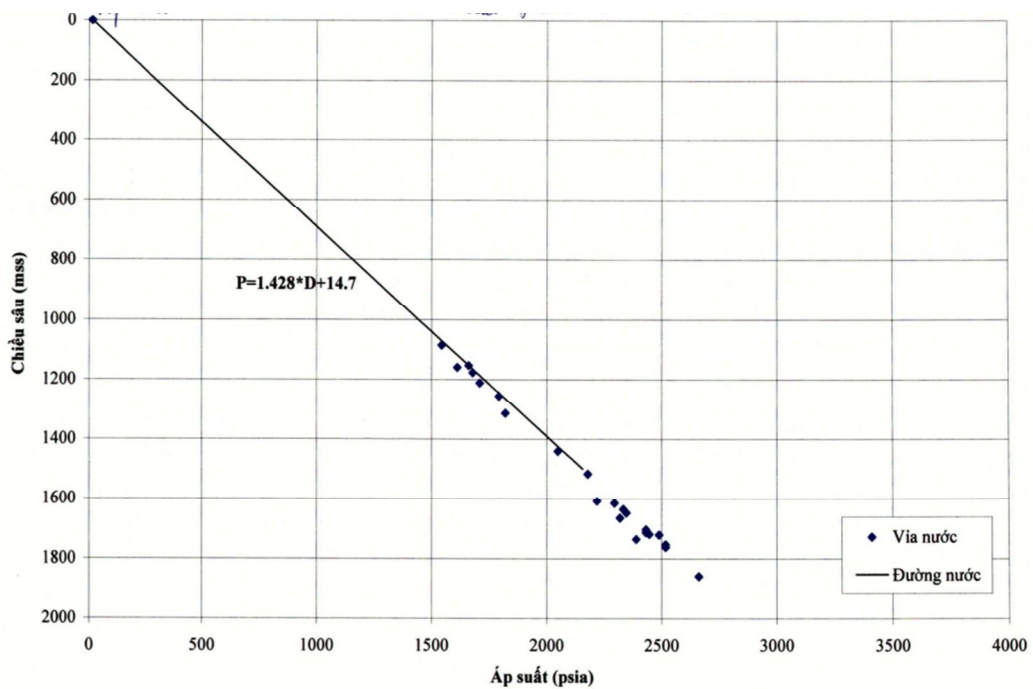
1,428: Gradient áp suất (psi/m)

D: Độ sâu (mss)

P_i : Áp suất ban đầu (psia)

Bảng 4.3. Áp suất ban đầu đo tại các vỉa khí mỏ Tiền Hải C

Vỉa	Áp suất vỉa ban đầu		
	<i>mss</i>	<i>ata</i>	<i>psia</i>
T8 a2	813,6	80,0	1176,5
T8 a1	822	80,9	1188,5
T8b	929,3	91,3	1341,7
T8	984	96,6	1419,9
T7 TB	1009,9	99,1	1456,8
T7 ĐN	1015,7	99,7	1465,1
T6	1048,7	102,9	1512,2
T5	1064,4	104,4	1534,7
T4 TB	1082,1	106,1	1559,9
T4 ĐN	1082,1	106,1	1559,9



Hình 4.14. Biến đổi áp suất vỉa theo độ sâu mỏ Tiền Hải C

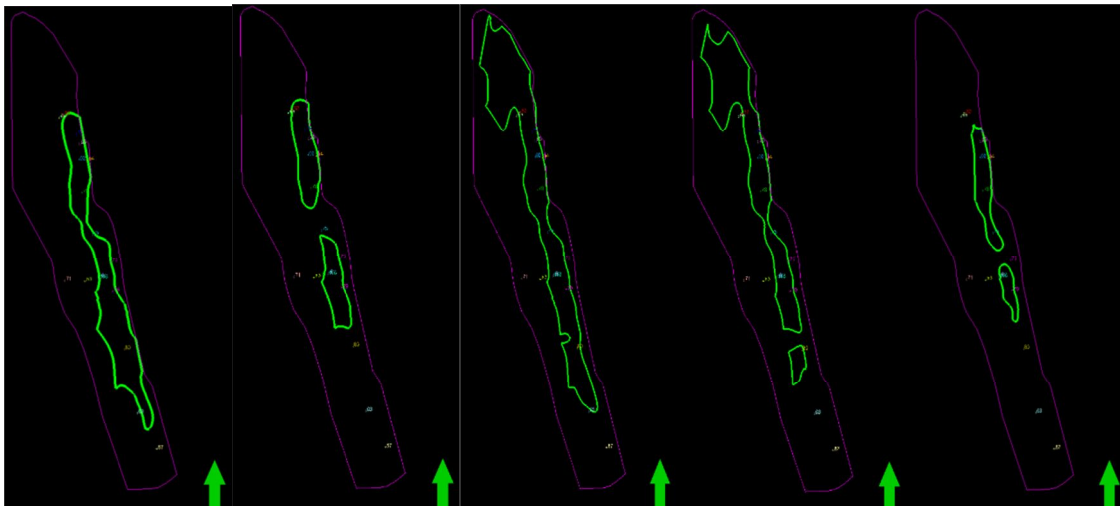
Ranh giới khí - nước tại thời điểm ban đầu

Trên cơ sở gradient áp suất vỉa nước đã được xác định, kết hợp với tài liệu độ chứa và bão hòa khí theo tài liệu địa vật lý tại các vỉa trong giếng khoan cho phép chúng tôi xác định các ranh giới khí- nước (RGKN) của từng

thân cát chứa khí. Ngoài ra đối với một số vỉa có các thông tin hạn chế, ranh giới khí nước được xác định ở vị trí gặp khí thấp nhất trong giếng khoan trong trường hợp thử vỉa hoặc trong tài liệu ĐVLGK. Kết quả các RGKN đã xác định được mô tả trong bảng 4.4 và hình 4.15.

Bảng 4.4. Ranh giới khí nước của các vỉa chứa khí của mỏ khí Tiền Hải C

Vỉa	Độ sâu RGKN (m)	Ghi chú
T8 a2	813,6	Theo đáy tại giếng khoan THC-02
T8 a1	822	Theo đáy tại giếng khoan THC-02
T8b ĐN	953,7	Theo RGKN tại giếng khoan 80
T8a TB	929,3	Theo đáy tại giếng khoan 82
T8	984	Theo RGKN tại giếng khoan 75
T7 ĐN	1012,5	Theo RGKN tại giếng khoan 106 (và hiệu chỉnh theo mô hình mô phỏng)
T7 BN	987,8	Theo đáy tại giếng khoan 77
T6	1052,1	Theo đáy tại giếng khoan 73
T5	1063	Theo RGKN tại giếng khoan 80 (và hiệu chỉnh theo mô hình mô phỏng)
T4 ĐN	1082,2	Theo RGKN tại giếng khoan 79
T4 TB	1082,1	Theo RGKN tại giếng khoan 75



Hình 4.15. Ranh giới khí- nước vỉa T8, T7, T6, T5 và T4

Tính toán trữ lượng khí

Trữ lượng khí ban đầu (IGIP) được tính toán theo công thức sau:

$$\text{IGIP (triệu m}^3 \text{ stp)} = A \times h \times \rho \times (1 - S_w) \times 1/B$$

Trong đó: B là hệ số thể tích thành tạo mà nó chuyển đổi thể tích khí từ điều kiện tiêu chuẩn tới điều kiện tại chỗ; A, h, ρ , và S_w là diện tích (được tính dựa vào các RGKN), chiều dày (được tính bằng chiều dày vỉa chứa nhân với tỷ lệ cát (Net/Gross)), độ lỗ rỗng, và độ bão hòa nước của vỉa chứa.

So sánh trữ lượng khí ban đầu theo báo cáo nghiên cứu mỏ Tiền Hải C và theo mô hình của đề tài được trình bày trong bảng 4.5. Sai khác là 3% cho tổng các vỉa cho thấy kết quả mô phỏng cho trữ lượng khí sai khác không quá lớn và có thể sử dụng làm đầu vào cho mô hình động nhằm đưa ra các dự báo về lưu lượng và khối lượng cất giữ CO₂.

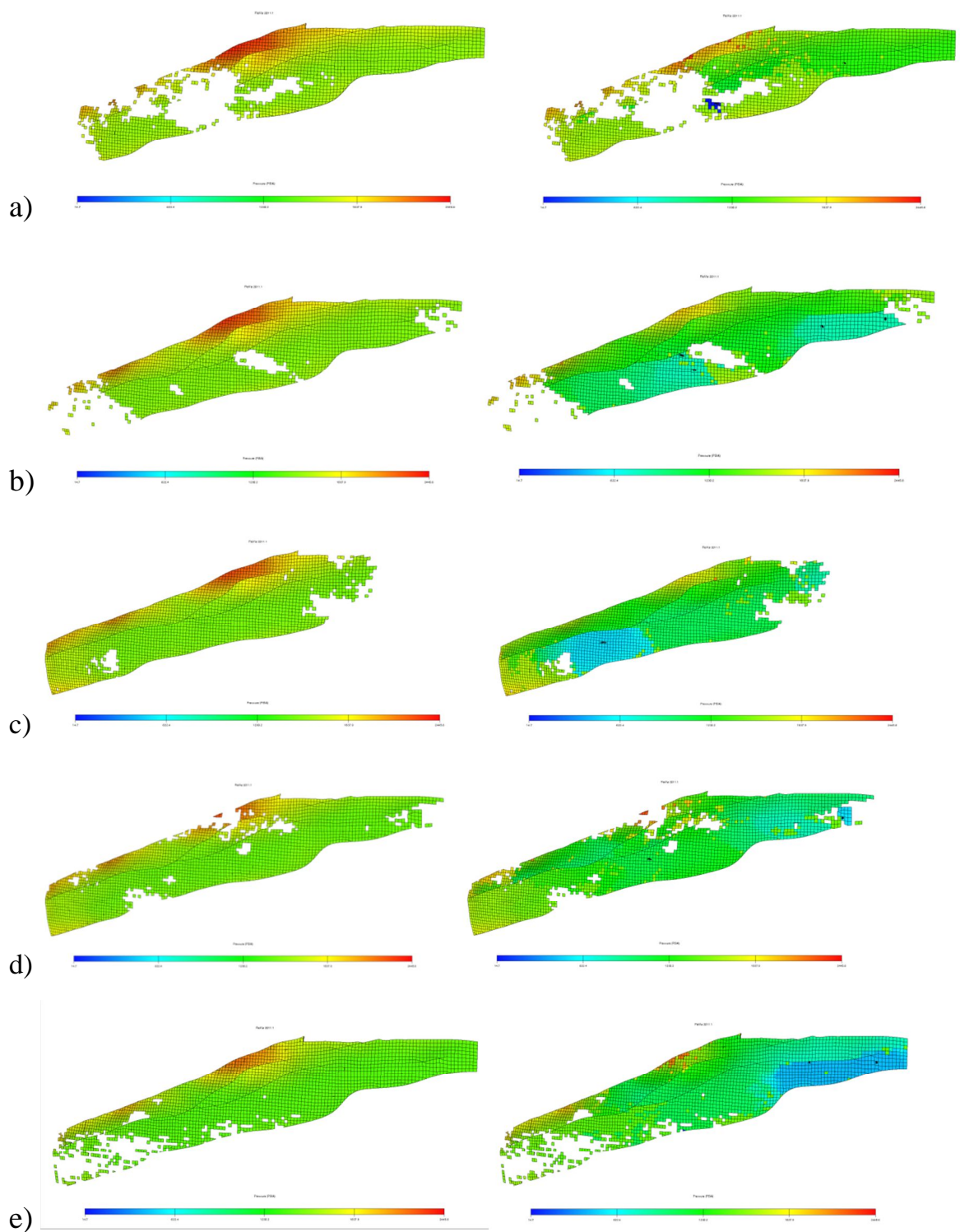
Bảng 4.5. So sánh sai khác thể tích khí ban đầu theo báo cáo nghiên cứu mỏ Tiền Hải C và theo mô hình 3D

STT	Vỉa chứa	Thể tích khí ban đầu theo báo cáo nghiên cứu mỏ Tiền Hải C (triệu m ³ stp)	Thể tích khí ban đầu được tính toán theo mô hình (triệu m ³ stp)	Sai khác (%)
1	T8	237,8	252	5,97
2	T7	122,4	89	-27,29
3	T6	132,5	136	2,64
4	T5	196,6	193	-1,83
5	T4	121,1	117	-3,39
	Tổng cộng	810,4	787	-2,89

Thay đổi áp suất vỉa chứa sau quá trình khai thác.

Chế độ thủy động học của vỉa trong khu vực mỏ Tiền Hải có sự thay đổi theo chiều sâu và có thể không có sự liên thông trong các tập vỉa. Các kết quả thử vỉa cho thấy áp suất đo đạc được có sự thay đổi ở từng vỉa và tập ở các giếng khác nhau và kết quả khai thác cũng đã cho thấy điều này. Để đơn giản hóa chế độ áp suất ban đầu của vỉa được xác định thông qua nội suy và ngoại suy với các tài liệu khu vực không chế. Chế độ áp suất và nhiệt độ vỉa cân bằng ban đầu được xác định như trong bảng 4.2 - 4.3. Các giá trị này được sử dụng để đánh giá các đặc trưng (T° , P) của chất lưu ở thời điểm ban đầu cũng như sử dụng để tính toán và dự báo sự thay đổi của các thông số của vỉa cũng như chế độ thủy động học trong quá trình khai thác khí từ các vỉa.

Sau 23 năm khai thác mỏ khí Tiền Hải C, các vỉa chứa khí có các thay đổi đáng kể về chế độ nhiệt áp. Trên cơ sở áp suất xác định tại các giếng và đặc tính vỉa chứa cũng như tính chất liên thông của vỉa, chúng tôi đã xây dựng bức tranh tổng thể về chế độ thủy động lực của các vỉa chứa khí tại thời điểm ban đầu và tại thời điểm xem xét khả năng bơm ép khí CO_2 . Qua các hình ảnh (Hình 4.16) về chế độ áp suất có thể thấy áp suất vỉa chứa suy giảm mạnh sau quá trình khai thác dài.



Hình 4.16. Mô hình phân bố áp suất thời điểm ban đầu và trước khi bơm ép CO₂ của các vỉa T4 (a), T5 (b), T6 (c), T7 (d) và T8 (e)

IV.3. MÔ PHỎNG BƠM ÉP CO₂

IV.3.1. Các phương án mô phỏng

Các vỉa gồm T5, T6 và T8 đã được lựa chọn để tiến hành nghiên cứu bơm ép CO₂. Đây là các tập vỉa có trữ lượng khí lớn và hệ số thu hồi cao nhất. CO₂ sẽ được bơm ép vào vỉa T5 (qua 3 giếng: 56, 78 và 106), vào vỉa T6 (qua giếng 80) và vỉa T8 (qua giếng 77).

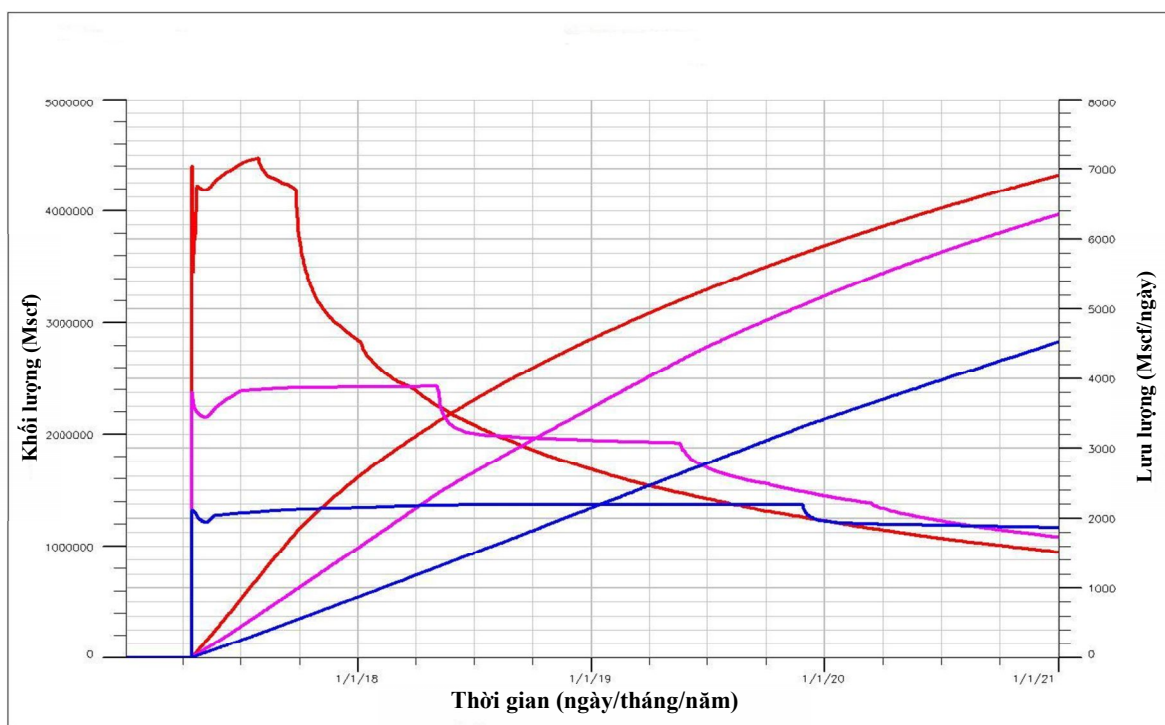
Tiến hành bơm ép theo 3 phương án thay đổi lưu lượng trong khoảng thời gian 2017 – 2020. Tiến hành thay đổi sản lượng của các giếng trong từng phương án bơm ép và kiểm soát bằng áp suất đáy.

Phương án 1: Lưu lượng bơm ép ban đầu 8,5 Mscf/ngày;

Phương án 2: Lưu lượng bơm ép ban đầu 4,25 Mscf/ngày;

Phương án 3: Lưu lượng bơm ép ban đầu 2,25 Mscf/ngày.

Kết quả cho toàn bộ tập vỉa được thể hiện trong hình 4.17 và bảng 4.6.



— Phương án 1; — Phương án 2; — Phương án 3

Hình 4.17. Kết quả bơm ép CO₂ cho toàn tập vỉa

Bảng 4.6. Số liệu bơm ép CO₂ theo 3 phương án cho toàn tập vỉa

Thời gian	Phương án 1		Phương án 2		Phương án 3	
	Lưu lượng	Khối lượng	Lưu lượng	Khối lượng	Lưu lượng	Khối lượng
	(Mscf/tháng)	(Mscf)	(Mscf/tháng)	(Mscf)	(Mscf/tháng)	(Mscf)
17/4	102.869	102.869	57.021	57.021	32.703	32.703
17/5	210.026	312.895	109.275	166.296	61.901	94.604
17/6	209.627	522.521	112.089	278.385	61.739	156.343
17/7	220.624	743.145	118.634	397.018	64.422	220.765
17/8	213.866	957.011	119.223	516.242	65.099	285.865
17/9	199.911	1.156.922	115.777	632.019	63.508	349.373
17/10	167.740	1.324.661	119.829	751.847	65.948	415.320
17/11	147.107	1.471.768	116.045	867.893	64.055	479.375
17/12	144.322	1.616.089	119.950	987.843	66.388	545.763
18/1	134.268	1.750.358	120.002	1.107.844	66.630	612.393
18/2	113.634	1.863.992	108.464	1.216.308	60.490	672.882
18/3	120.851	1.984.843	120.207	1.336.515	67.276	740.158
18/4	111.588	2.096.430	116.416	1.452.931	65.329	805.487
18/5	109.860	2.206.290	108.512	1.561.444	67.671	873.158
18/6	101.868	2.308.158	97.158	1.658.602	65.612	938.770
18/7	101.127	2.409.285	98.723	1.757.325	67.890	1.006.660
18/8	97.290	2.506.575	98.171	1.855.495	67.940	1.074.600
18/9	90.794	2.597.369	94.365	1.949.861	65.771	1.140.371
18/10	90.481	2.687.850	97.129	2.046.989	67.976	1.208.347
18/11	84.652	2.772.501	93.698	2.140.687	65.801	1.274.147
18/12	84.754	2.857.256	96.452	2.237.139	68.000	1.342.147
19/1	82.069	2.939.325	96.117	2.333.256	68.003	1.410.150
-19/2	71.902	3.011.226	86.576	2.419.832	61.431	1.471.581
19/3	77.402	3.088.628	95.616	2.515.448	68.009	1.539.590
19/4	72.843	3.161.472	92.295	2.607.743	65.809	1.605.399

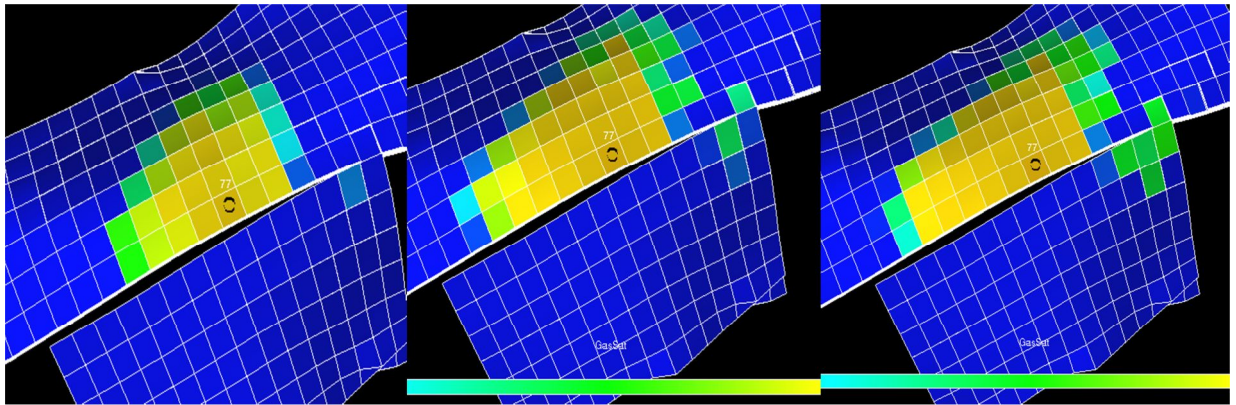
19/5	73.291	3.234.763	93.795	2.701.538	67.995	1.673.394
19/6	69.071	3.303.834	83.608	2.785.145	65.800	1.739.194
19/7	69.535	3.373.369	82.446	2.867.591	67.995	1.807.189
19/8	67.692	3.441.061	79.851	2.947.442	67.992	1.875.180
19/9	63.771	3.504.832	75.390	3.022.832	65.811	1.940.991
19/10	64.330	3.569.162	76.142	3.098.974	68.011	2.009.002
19/11	60.878	3.630.040	71.827	3.170.802	65.515	2.074.517
19/12	61.450	3.691.490	72.590	3.243.392	61.947	2.136.464
20/1	59.992	3.751.483	70.948	3.314.340	60.161	2.196.625
20/2	54.803	3.806.286	65.116	3.379.456	55.773	2.252.398
20/3	57.310	3.863.596	67.765	3.447.222	59.350	2.311.748
20/4	54.237	3.917.833	62.883	3.510.105	57.290	2.369.038
20/5	54.781	3.972.614	63.060	3.573.165	59.090	2.428.128
20/6	51.825	4.024.438	59.431	3.632.595	56.898	2.485.026
20/7	52.430	4.076.868	59.957	3.692.552	58.653	2.543.679
20/8	51.317	4.128.185	58.570	3.751.122	58.597	2.602.276
20/9	48.752	4.176.938	55.423	3.806.544	56.477	2.658.752
20/10	49.379	4.226.317	56.163	3.862.708	58.129	2.716.881
20/12	46.835	4.273.152	53.375	3.916.083	56.120	2.773.001
20/1	47.464	4.320.616	54.075	3.970.157	57.887	2.830.888

Với phương án 1 có lưu lượng bơm ép lớn nhất thì lượng khí bơm ép trong giai đoạn 2017 – 2020 cũng ở mức cao nhất (4,321 Bscf), cao hơn phương án 2 (3,970 Bscf) và phương án 3 (2,831 Bscf). Đến cuối giai đoạn bơm ép thì lưu lượng bơm ép của phương án 1 là thấp nhất do phải giảm lưu lượng bơm ép để đảm bảo kiểm soát áp suất đáy giếng không vượt quá giá trị áp suất vỡ vỉa.

IV.3.2. Kết quả động thái CO₂ sau khi bơm vào tập T8

Độ bão hoà CO₂:

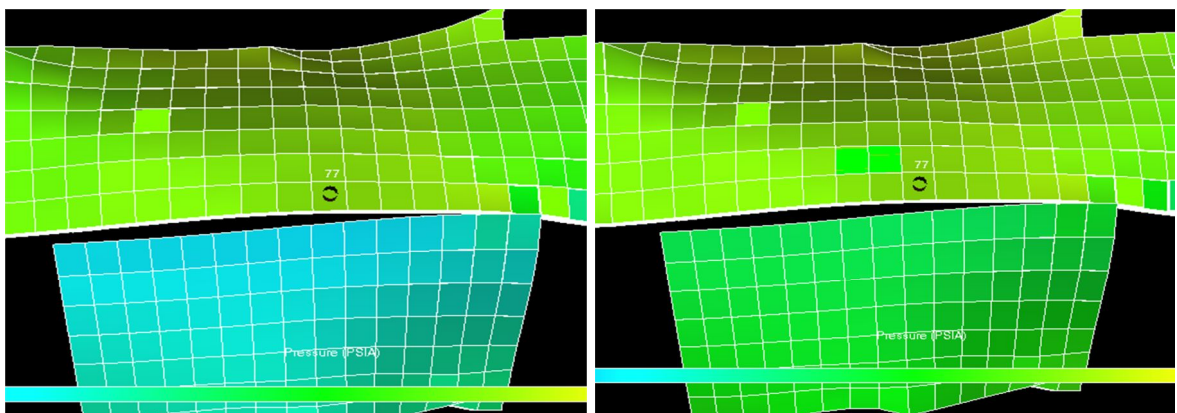
Độ bão hoà trung bình CO₂ tại tập vỉa T8 sau 1 năm, 2 năm và 3 năm bơm ép lần lượt là 15%, 27%, 33% với lưu lượng bơm ép là 1,5 Mscf/ngày. Độ bão hoà CO₂ cuối cùng mà vỉa có thể đạt được là 65% với tổng lượng CO₂ bơm ép là 5 Bscf (Hình 4.18)



Hình 4.18. Độ bão hoà CO₂ sau 1 năm, 2 năm và 3 năm bơm ép

Áp suất vỉa:

Áp suất vỉa tại tập T8 sau 1 năm và 3 năm bơm ép là 1.258 psia và 1.834 psia so với áp suất vỉa trước thời điểm bơm ép là 984 psia. Dự kiến với nồng độ tối đa của CO₂ là 65% thì áp suất vỉa cuối quá trình bơm ép là 3.000 psia (Hình 4.19)



Hình 4.19. Áp suất vỉa sau 1 năm và 3 năm bơm ép

IV.4. HIỆU QUẢ KINH TẾ CHO VIỆC CẮT GIỮ CO₂

IV.4.1. Các giả thiết áp dụng trong tính toán

Thu hồi và cất giữ CO₂ (CCS) được coi là một phần của cơ chế phát triển sạch (CDM), do đó khi đăng ký tham gia thực hiện CDM, dự án CCS sẽ được hưởng một số ưu đãi. Dưới đây là các loại phí cần phải trả để đăng ký tham gia CDM và những ưu đãi được hưởng. Các giả định như sau:

- Dự án CCS mỏ Tiền Hải C đăng ký thành công là một dự án CDM trong năm 2016
- Phí phê chuẩn trả cho DOE (Designated Operational Entities): 100.000 USD
- Phí xác minh trả cho DOE: 50.000 USD/năm dự án
- Chi phí quản lý SOP (Administration Share of Proceeds) cho mỗi chứng chỉ CER (Certified Emission Reduction) là:
 - + 0,1 USD/CER cho 15.000 CER đầu tiên
 - + 0,2 USD/CER cho bất kỳ số lượng vượt quá 15.000 CER
- Chi phí CER trả cho Quỹ bảo vệ môi trường Việt Nam: 2% tổng doanh thu bán CER
 - + CIT đối với doanh thu từ CER được trả cho Chính phủ Việt Nam:
 - + Miễn thuế 02 năm đầu
 - + Thuế CIT 2 năm tiếp theo: 13,5%
 - + Thuế CIT sau đó: 25%
- Sản lượng CO₂ giảm thải hàng năm (triệu tấn) (Bảng 4.7)

Bảng 4.7. Sản lượng CO₂ giảm thải hàng năm

Năm	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Sản lượng (Mtấn CO ₂ /năm)	0,26	1,14	1,89	2,46	2,87	3,17	3,10

- Dự án CCS mỏ Tiền Hải C sẽ cần chi phí máy nén là 20 triệu USD, chi phí hoá cải đường ống nội mỏ là 2 triệu USD và chi phí hoàn thiện giếng là 6 triệu USD.
- Dự án CCS mỏ Tiền Hải C có chi phí hoạt động hàng năm để duy trì dự án CDM là 200 nghìn USD/năm
- Chi phí tư vấn cần thiết để thực hiện CDM là 1,5 triệu USD và khi dự án thành công sẽ trả thêm 10% CER

IV.4.2. Kết quả tính toán

NPV, IRR

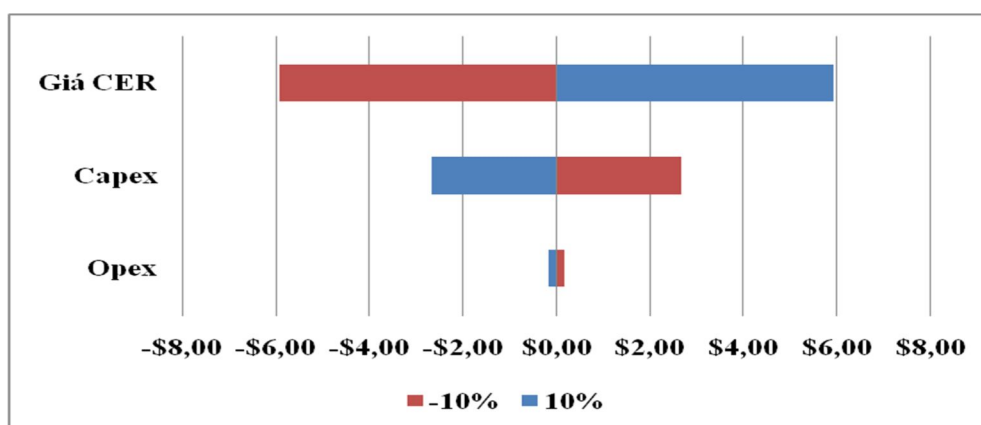
Việc đầu tư dự án CCS mỏ khí Tiền Hải C và tham gia CDM đem lại hiệu quả kinh tế cho nhà đầu tư. Nếu CER được bán với giá 10\$/tấn CO₂ thì NPV@10% của nhà đầu tư là 22,34 triệu USD, IRR của nhà đầu tư là 22,97% và hiệu quả kinh tế của Chính phủ Việt Nam (phần thu từ thuế) là 11,96 triệu USD. Trong trường hợp CER được bán với giá cao hơn sẽ đem lại hiệu quả kinh tế tốt hơn cho nhà đầu tư và đem lại một phần thu đáng kể cho Chính phủ Việt Nam (Bảng 4.8).

Bảng 4.8. Hiệu quả kinh tế của dự án

	CER 10\$/tấn		CER 12\$/tấn		CER 15\$/tấn	
	<u>NPV</u> <u>(tr.usd)</u>	<u>IRR</u> (%)	<u>NPV</u> <u>(tr.usd)</u>	<u>IRR</u> (%)	<u>NPV</u> <u>(tr.usd)</u>	<u>IRR</u> (%)
Nhà đầu tư	\$22,34	22,97%	\$33,60	28,01%	\$50,49	34,49%
Chính phủ	11,96		14,47		18,22	

Phân tích độ nhạy

Việc thực hiện phân tích độ nhạy sẽ được tính toán để xem khi các yếu tố Capex, Opex và giá bán CER thay đổi sẽ có ảnh hưởng như thế nào tới dự án CCS mở Tiền Hải C. Các kết quả tính toán cho thấy giá bán CER có ảnh hưởng lớn nhất tới hiệu quả kinh tế của dự án. Khi giá bán CER giảm 10%, NPV@10% của nhà đầu tư giảm 5,92 triệu USD. Yếu tố có ảnh hưởng đứng thứ hai là Capex. Khi Capex tăng 10%, hiệu quả kinh tế của nhà đầu tư giảm 2,67 triệu USD. Opex có ảnh hưởng không đáng kể tới hiệu quả kinh tế của nhà đầu tư trong dự án CCS mở Tiền Hải C (Hình 4.20).



Hình 4.20. Phân tích độ nhạy đánh giá các yếu tố Capex, Opex và giá bán CER

Phân tích điểm hòa vốn

Việc phân tích điểm hòa vốn sẽ cho ta biết dự án CCS mở Tiền Hải C chịu đựng được mức chi phí đầu tư tối đa là bao nhiêu sẽ đem lại điểm hòa vốn cho nhà đầu tư (doanh thu từ việc bán CER đủ bù đắp cho chi phí bỏ ra) và cho biết mức giá bán CER thấp nhất cũng như số lượng CER tối thiểu phải đạt được để đủ bù đắp các chi phí cho nhà đầu tư. Các kết quả tính toán cho thấy chi phí Capex có tăng thêm tới 184% vẫn đảm bảo hòa vốn cho nhà đầu tư. Giá bán CER có thể giảm 38% vẫn đảm bảo nhà đầu tư hòa vốn và lượng CER tối thiểu cần thiết để đảm bảo nhà đầu tư hòa vốn là 8,16 triệu tấn CO₂ (Bảng 4.9).

Bảng 4.9. Điểm hòa vốn của nhà đầu tư

Các yếu tố	%	Giá trị
Capex	184%	51,43 triệu USD
Giá CER	38%	6\$/tấn CO ₂
CER	38%	8,16 triệu tấn CO ₂

IV.4.3. Kết luận

Qua phân tích đánh giá hiệu quả kinh tế của dự án CCS mỏ Tiền Hải C khi tham gia CDM, ta thấy rằng việc triển khai dự án CCS mỏ Tiền Hải C là hoàn toàn khả thi và đem lại hiệu quả kinh tế cho nhà đầu tư. Với giả định giá bán CER cơ sở là 10 USD/tấn CO₂, hiệu quả kinh tế của nhà đầu tư được đảm bảo với NPV@10% của nhà đầu tư là 22,34 triệu USD, IRR của nhà đầu tư là 22,97% và Chính phủ Việt Nam có nguồn thu từ thuế thu nhập doanh nghiệp là 11,96 triệu USD. Như vậy dự án CCS mỏ Tiền Hải C không chỉ làm giảm thiểu việc phát thải CO₂ ra bầu khí quyển mà còn đem lại hiệu quả kinh tế cho nhà đầu tư và nguồn thu cho Chính phủ Việt Nam (thuế thu nhập từ doanh thu bán CER).

Giá bán CER và Capex là hai yếu tố có ảnh hưởng lớn nhất tới hiệu quả kinh tế của nhà đầu tư. Opex không có nhiều ảnh hưởng đến hiệu quả của nhà đầu tư, ảnh hưởng rất nhỏ, không đáng kể. Khi Capex tăng thêm 184% vẫn đảm bảo hòa vốn cho nhà đầu tư, và khi giá bán CER hoặc lượng CER giảm 38% vẫn đảm bảo hòa vốn cho nhà đầu tư. Như vậy việc triển khai dự án CCS mỏ Tiền Hải C là hoàn toàn khả thi.

Chương V. CÁC GIẢI PHÁP CÔNG NGHỆ CẤT GIỮ CO₂ TRONG CÁC THÀNH TẠO ĐỊA CHẤT Ở MIỀN BẮC VIỆT NAM

Như trên đã trình bày, trên lãnh thổ miền Bắc Việt Nam, có 3 loại thành tạo địa chất cho cất giữ địa chất CO₂, bao gồm: các bể khí cạn kiệt, các vỉa than sâu không thể khai thác và các tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu.

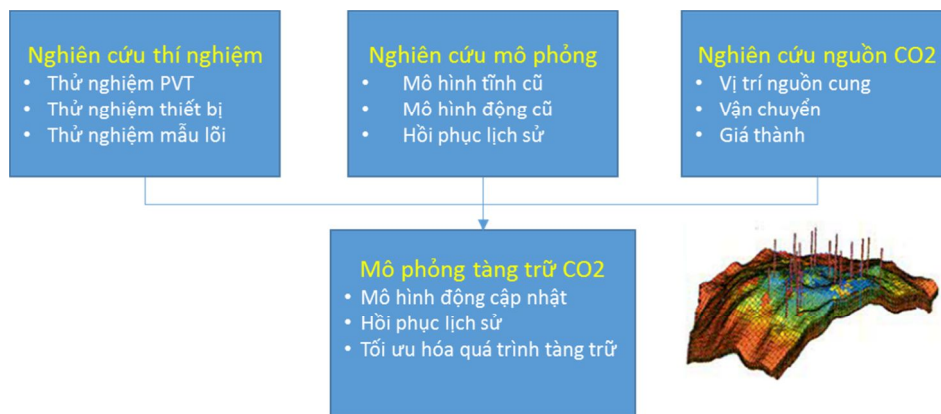
Nghiên cứu “Cất giữ địa chất CO₂ (CCS)” cần được tiến hành theo tuần tự từ các nghiên cứu tỷ lệ nhỏ (tỷ lệ lãnh thổ/quốc gia), tiếp đến là tỷ lệ trung bình (tỷ lệ trữ), cuối cùng là ở các tỷ lệ lớn như nghiên cứu đặc trưng vùng (cho một diện tích thành tạo địa chất triển vọng cụ thể) và nghiên cứu triển khai cất giữ (thử nghiệm và mô phỏng cất giữ cho thành tạo địa chất triển vọng). Trong khuôn khổ đề tài, chúng ta mới tiến hành các nghiên cứu ở tỷ lệ lãnh thổ/quốc gia và tỷ lệ trữ trầm tích. Vì vậy, một loạt các nghiên cứu tiếp theo các tỷ lệ lớn hơn cho thành tạo địa chất cụ thể và nghiên cứu triển khai là cần thiết để có thể tiến tới thực hiện thành công quá trình cất giữ CO₂.

V.1. GIẢI PHÁP CÔNG NGHỆ CẤT GIỮ CO₂ CHO CÁC BỂ CHỨA KHÍ

Qua các phân tích và đánh giá, Châu thổ Sông Hồng có mặt các bể chứa khí cạn kiệt thích hợp cho cất giữ địa chất CO₂ kết hợp tăng hiệu suất thu hồi khí (EGR). Cho tới thời điểm hiện tại, chúng ta đã phát hiện và khai thác ở các mỏ Tiền Hải C, Đông Quan D và Sông Trà Lý. Do nhiều yếu tố cho đến nay các mỏ Đông Quan D và Sông Trà Lý đã đóng và các thiết bị khai thác đã được hủy.

Hiện tại các vỉa khí tại mỏ Tiền Hải C đã khai thác cạn kiệt và chúng có thể được xem là cấu trúc cất giữ CO₂ đầy tiềm năng do lượng khí ban đầu đã bảo tồn trong hàng triệu năm, chứng tỏ các vỉa chứa này rất kín. Đồng thời hoạt động khảo sát thăm dò dầu và khí đã cung cấp tài liệu chi tiết về đặc điểm địa chất của các bể chứa và các mô hình mô phỏng đã trình bày ở trên

giúp dự đoán sự vận động của CO₂ trong bể chứa. Ngoài ra chúng ta có thể tận dụng cơ sở hạ tầng khai thác khí sẵn có để thử nghiệm và triển khai quá trình cất giữ CO₂. Nói chung, đối với mỏ khí đã cạn kiệt này, với nhiều tài liệu địa chất sâu sẵn có, chúng ta không cần các nghiên cứu đặc trưng vùng mà có thể tiến hành luôn các nghiên cứu triển khai. Cụ thể, các công tác nghiên cứu như thể hiện trong hình 5.1 cần được tiến hành.



Hình 5.1. Sơ đồ khối thể hiện các nghiên cứu tiếp theo trong quá trình thiết kế cất giữ CO₂ [19].

V.1.1. Các nghiên cứu thí nghiệm

- *Nghiên cứu sự thay đổi điều kiện nhiệt độ và áp suất:* Cơ chế cất giữ CO₂ trong các vỉa chứa khí dưới lòng đất có thể được xem như là việc thay thế một cách đơn giản khí và lưu thể tự nhiên có trong vỉa bằng lưu thể lỏng CO₂ “siêu tới hạn”. Do CO₂ có các tính chất đặc thù khi có sự thay đổi nhiệt áp, nên việc nghiên cứu đánh giá các tính chất của chúng cũng như khi có các thành phần khí khác tham gia vào hỗn hợp là hết sức cần thiết. Bởi vì, các chất khí khác có thể làm thay đổi trạng thái nhiệt áp và tính chất của CO₂ cất giữ trong vỉa và làm mất tính chất “siêu tới hạn” của CO₂ và kết quả có thể gây mất cân bằng trong vỉa chứa làm giảm hiệu quả cất giữ CO₂ [36].

- *Nghiên cứu các tương tác của CO₂ với đất đá, nước vỉa, v.v. trong môi trường chứa rất quan trọng, liên quan đến khả năng tàng trữ, hấp phụ và*

sự thay đổi bản chất các vỉa chứa trong từng thời kỳ khác nhau sau khi bơm CO₂.

- *Nghiên cứu các đặc tính đá chứa và sự thay đổi chúng trong quá trình khai thác khí và cất giữ CO₂*, ví dụ: sự thay đổi độ lỗ rỗng, độ thấm, đặc tính cơ lý của đá, v.v. ... do quá trình cất giữ CO₂, cũng như sự hình thành các khoáng vật trong tầng chứa và lòng giếng sẽ quyết định đến việc điều hành quản lý quá trình bơm ép một cách tối ưu và hiệu quả nhất.

V.1.2. Các nghiên cứu nguồn CO₂

Nguồn cung cấp CO₂ cho quá trình cất giữ trong các thành tạo địa chất cần được nghiên cứu dưới dạng: 1) *Vị trí và qui mô nguồn, loại và thành phần khí được thu hồi*; 2) *Phương thức vận chuyển CO₂ từ nguồn đến vị trí bơm CO₂*; và 3) *Giá thành thu hồi CO₂*.

Trước tiên, nguồn cung cấp CO₂ cần phải được xác định dưới dạng vị trí, thành phần khí và lượng phát thải. Vị trí và qui mô của nguồn cung cấp CO₂ liên quan đến việc vận chuyển cũng như giá thành của việc cất giữ. Loại và thành phần khí thu hồi cần được làm sáng tỏ. Khí thu hồi có thể là một hỗn hợp, ngoài CO₂ còn gồm nhiều loại khí khác như H₂S, NO_x, N₂, C_xH_y, v.v.... Các khí này có thể làm thay đổi tính chất của CO₂ trong bể chứa và gây ra các phản ứng cộng thêm với đá và lưu thể trong tầng chứa.

CO₂ thu hồi có thể được vận chuyển đến vị trí bơm bởi nhiều phương thức như: vận chuyển bằng đường ống; vận chuyển bằng tàu hỏa hoặc xe bồn chuyên dụng; hoặc vận chuyển bằng tàu thủy, v.v.... Phương thức vận chuyển và qui mô, mức độ của việc vận chuyển CO₂ cần được làm rõ.

Ngoài ra, việc xác định giá thành thu hồi CO₂ là cần thiết quyết định đến tính khả thi cho việc cất giữ CO₂ trong bể khí.

V.1.3. Các nghiên cứu mô phỏng bể khí

Các nghiên cứu mô phỏng hết sức quan trọng trong việc tối ưu hóa các hệ thống thiết bị và tối ưu hóa quá trình bơm ép CO₂ vào bể khí trong từng thời kỳ khác nhau cũng như dự báo sự thay đổi trong toàn bộ quá trình cất giữ CO₂. Đối với việc mô phỏng bể khí, các mô hình cần phải được cập nhật các thông tin mới nhất về các thông số đo đạc được từ bể khí. Một số việc cần làm đó là:

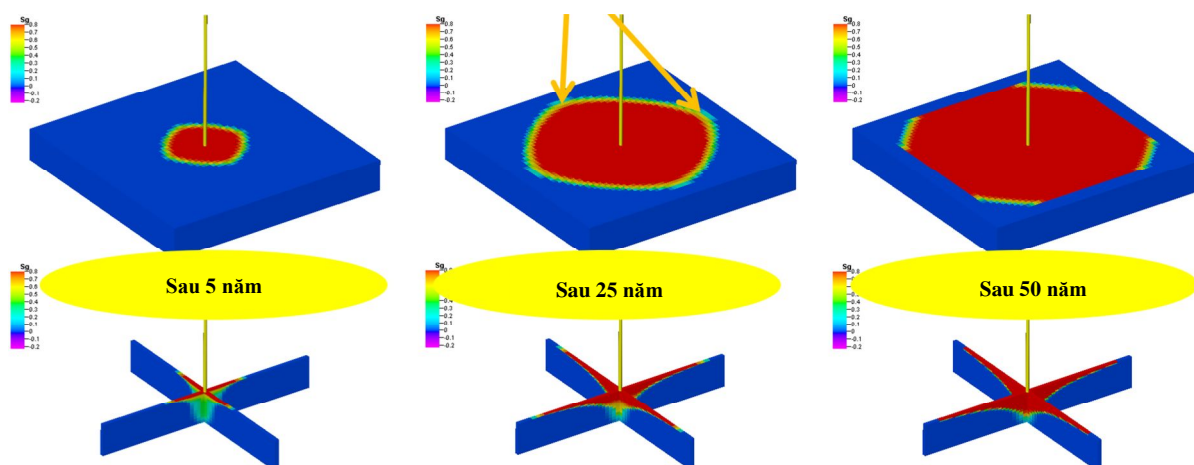
- Cập nhật lại cấu trúc của mỏ sau thời gian khai thác
- So sánh với các mô hình địa chất để có sự điều chỉnh thích hợp về đặc trưng phân bố các vỉa chứa
- Cập nhật lịch sử phát triển và khai thác toàn mỏ để có cái nhìn tổng thể trạng thái mỏ đến thời điểm bắt đầu bơm ép khí CO₂.
- Mô phỏng quá trình bơm ép của các giếng khoan vào các khoảng vỉa được lựa chọn và tối ưu hóa các vị trí bơm ép một cách hiệu quả nhất.
- Đánh giá ảnh hưởng của quá trình bơm ép CO₂ đến nhiệt áp vỉa và đặc tính vỉa chứa (độ lỗ rỗng, độ thấm, độ bão hòa khí, nước, v.v...) sau thời gian thử nghiệm; Đánh giá tính phù hợp của thiết kế thử nghiệm qui mô nhỏ và qui mô công nghiệp; So sánh các thông số thực tế và mô phỏng để có điều chỉnh phù hợp cho các giai đoạn sau; Tối ưu hóa sau khi có kết quả thử nghiệm.

V.1.4. Mô hình hóa quá trình cất giữ CO₂

Để đánh giá được sự thay đổi và khả năng cất giữ cũng như tối ưu hóa được thiết bị bề mặt, lòng giếng và vị trí bơm ép, việc triển khai công tác mô phỏng quá trình cất giữ CO₂ hết sức quan trọng. Việc mô phỏng này phải đảm bảo phản ánh hết được cấu trúc địa chất, các tính chất công nghệ của vỉa chứa

và các chỉ số kỹ thuật của các thiết bị có liên quan. Mô hình xây dựng được càng sát với các yếu tố thực tế thì độ tin cậy càng cao và mức độ dự báo càng chính xác.

Trên cơ sở các chỉ tiêu kỹ thuật đặt ra về lưu lượng bơm ép, khả năng chứa của vỉa, các chỉ số công nghệ của thiết bị sử dụng cho bơm ép cũng như các đặc tính của CO₂ và các đặc tính vỉa chứa, việc mô phỏng có thể được tiến hành trên các phần mềm chuyên dụng, cho phép ta quan sát sự di chuyển của lượng CO₂ bơm ép vào vỉa theo thời gian và mức độ lấp đầy, tương tác nước-CO₂, đá-CO₂ trong khu vực (Hình 5.2).

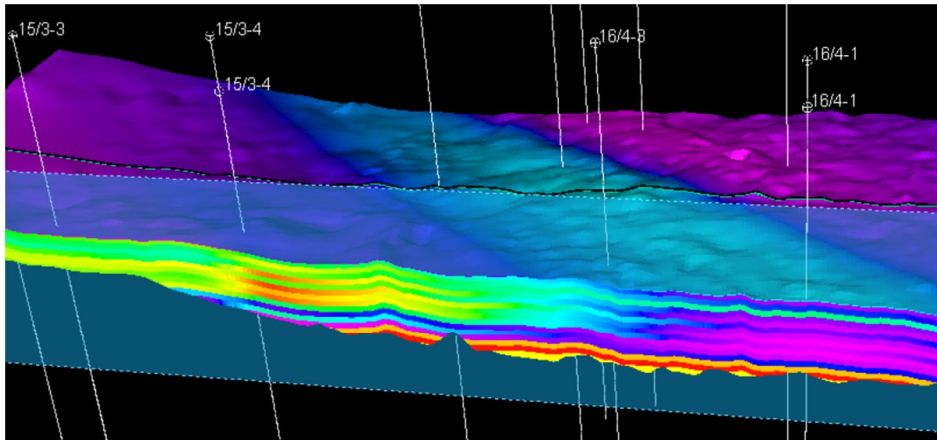


Hình 5.2. Mô phỏng quá trình lan truyền của CO₂ trong vỉa chứa theo thời gian

Để kiểm soát việc bơm ép chúng ta có thể dùng nhiều phương pháp kiểm tra và đánh giá như quan sát tại các vị trí giếng khoan có sẵn trong khu vực hoặc dùng các phương pháp gián tiếp như địa chấn 4D (theo dõi theo không gian và thời gian) kiểm soát sự dịch chuyển và bão hòa của CO₂ trong vỉa chứa.

Trên cơ sở kết quả mô phỏng với việc lặp lại lịch sử và hiệu chỉnh với các tài liệu quan sát và đo đạc, chúng ta có thể đánh giá được mức độ cất giữ của từng khu vực và thể tích còn lại trong mỏ có thể cất giữ tiếp (Hình 5.3).

Từ đó có thể đưa ra các dự báo động thái và các chỉ tiêu kỹ thuật cần thiết cho khoảng thời gian tiếp theo.

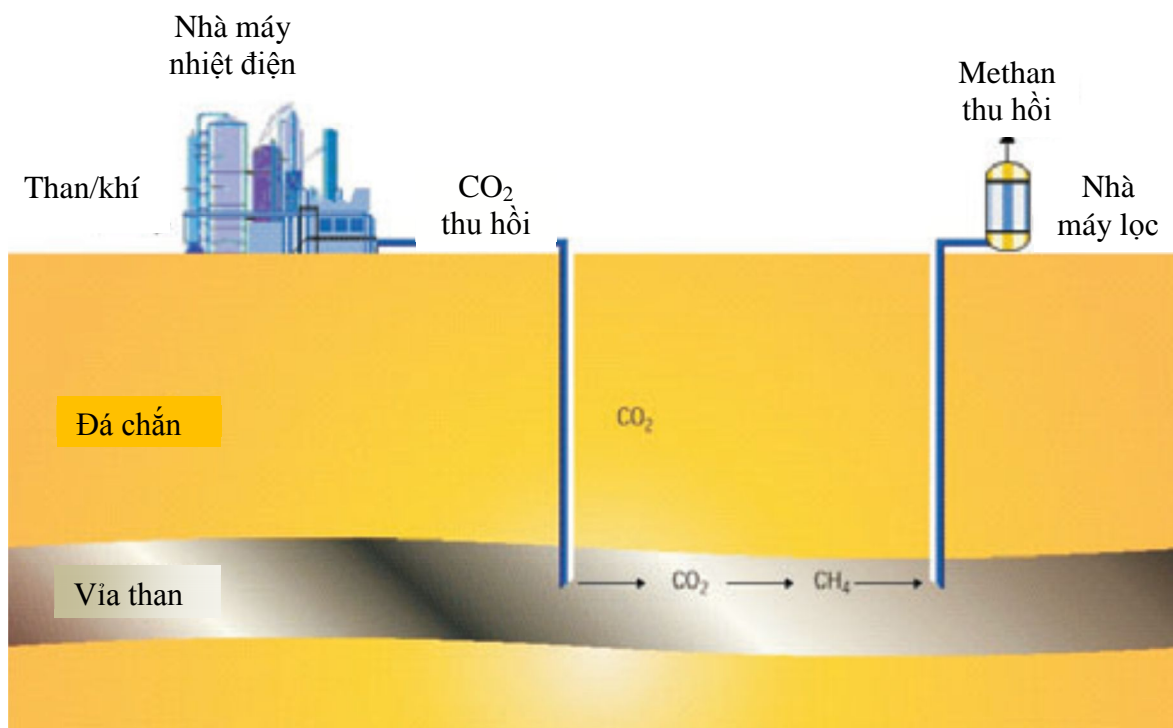


Hình 5.3. Mô phỏng phân bố của CO₂ trong vỉa chứa.

V.2. GIẢI PHÁP CÔNG NGHỆ CẮT GIỮ CO₂ CHO CÁC VỈA THAN KHÔNG THỂ KHAI THÁC NẦM SÂU

Miền Bắc Việt Nam với nhiều khu vực khác nhau có tiềm năng về than trong các hệ tầng có tuổi khác nhau như Pecmi muộn, Trias muộn và Đệ Tam. Tuy nhiên, chỉ có các vỉa than lignit- á bitum thuộc các hệ tầng Đệ Tam của trũng Châu thổ Sông Hồng (có thể cả Sông Hồng ngoài khơi) là có tiềm năng hơn cả cho công nghệ “cắt giữ CO₂ kết hợp thu hồi khí methan trong than (CO₂-ECBM)”.

Theo kết quả nghiên cứu của đề tài, các vỉa than lignit- á bitum phân bố ở độ sâu từ 1.000 đến 1.500m trong các phụ hệ tầng Tiên Hưng dưới, giữa và trên, chứa hàm lượng khí methan cao, độ tro và độ ẩm của than vừa phải nên có khả năng hấp phụ khí CO₂ tốt, thích hợp cho công nghệ CO₂-ECBM (Hình 5.4). Trữ lượng khí methan có thể thu hồi từ công nghệ này có thể lên tới 335.827 triệu m³ khí và trữ lượng cắt giữ lý thuyết của CO₂ khoảng 2,418 Gtấn CO₂.



Hình 5.4. Sơ đồ mô phỏng công nghệ cất giữ CO_2 kết hợp thu hồi khí methan trong than (CO_2 -ECBM) [31].

Hiện nay, hầu hết các nước trên thế giới chỉ khai thác các vỉa than ở độ sâu <400m, tuy nhiên ở Đức hiện nay cũng đã khai thác than thử nghiệm đến độ sâu 1.000m [28]. Độ sâu tối ưu cho CO_2 -ECBM được cho là giống như cho thu hồi khí methan từ than (300 đến 1.500m). Vì vậy, để tránh các vỉa than tại các độ sâu nông có thể được khai thác trong tương lai, trong các dự án CO_2 -ECBM hiện nay trên thế giới, độ sâu tối ưu của vỉa than khoảng từ 1.000 đến 1.500 mét. Vì vậy, lựa chọn “việc cất giữ CO_2 kết hợp thu hồi khí methan trong than” hay “để dành các vỉa than cho khai thác than tương lai khi tiến bộ của khoa học công nghệ cho phép” cần phải được Chính phủ quyết định.

Như đã nói ở trên, việc nghiên cứu các vỉa than sâu cho cất giữ địa chất CO₂ mới chỉ ở tỷ lệ trứng, vì vậy các nghiên cứu tiếp theo cần được tiến hành ở tỷ lệ khu vực (nghiên cứu đặc trưng vùng) và nghiên cứu triển khai.

V.2.1. Nghiên cứu đặc trưng khu vực

Các nghiên cứu chi tiết tỷ lệ khu vực bao gồm các loại sau [15]:

- Xác định vị trí, qui mô của nguồn phát thải CO₂ dự định thu hồi;
- Chọn khu vực nghiên cứu và mạng lưới khoan;
- Đánh giá trữ lượng than sẵn có; chiều dày các vỉa than; khoảng độ sâu chứa than; khả năng hấp phụ CH₄/CO₂; các điều kiện (nhiệt độ, áp suất, v.v...) dưới sâu; điều kiện kiến tạo; hệ thống thủy động lực; chất lượng và lưu lượng nước ngầm; khả năng thẩm thấu; nước thải mặn thu hồi;
- Ngoài ra, các yếu tố kinh tế- xã hội như các qui định và luật liên quan đến cất giữ CO₂; đánh giá tác động môi trường; sự đồng thuận của cộng đồng, v.v... cũng cần được xem xét.

V.2.2. Nghiên cứu triển khai

Công nghệ CO₂-ECBM chưa phải là công nghệ trưởng thành mặc dầu số lượng các dự án thử nghiệm hiện trường và trong phòng đang tăng lên nhanh chóng trên thế giới đã thể hiện tiềm năng của công nghệ này cũng như nổi bật các khó khăn của nó. Các khó khăn gặp phải đã là bản chất không đồng nhất của than, và sự tương tác phức tạp của nó với các khí. Những vấn đề đó cần được nghiên cứu thông qua các thí nghiệm trong phòng và thử nghiệm tại hiện trường trước khi thực hiện CO₂-ECBM [39]. Các công việc nghiên cứu triển khai bao gồm 2 loại sau:

- Loại 1: Các công việc thí nghiệm trong phòng và kiểm chứng;

- Loại 2: Các nghiên cứu thử nghiệm tại hiện trường: có thể thực hiện theo tuần tự từ thử nghiệm qui mô nhỏ đến thử nghiệm qui mô lớn.

Thử nghiệm qui mô nhỏ tại hiện trường: với mục đích để kiểm nghiệm số liệu thí nghiệm và mô hình. Thử nghiệm này sẽ được tiến hành tại 1 vị trí tiềm năng để đảm bảo giám sát các điều kiện thử nghiệm và sử dụng nguồn CO₂ từ một nhà máy phát thải CO₂ (ví dụ: nhà máy nhiệt điện).

Thử nghiệm qui mô lớn tại hiện trường: Lúc mà cuộc thử nghiệm qui mô lớn hoàn thành thì công nghệ CO₂-ECBM có thể được áp dụng đối với các bể than và khí than.

V.2.2.1. Các nghiên cứu thí nghiệm trong phòng

Một số các nghiên cứu thí nghiệm trong phòng là cần thiết để hiểu rõ hơn về hành vi CO₂ và CH₄ trong các vỉa than, sự tương tác của CO₂ với than, nước và các khí khác trong môi trường vỉa than.

Các nghiên cứu hiện hành thể hiện rằng sự phồng của than và những thay đổi vật lý khác trong suốt quá trình bơm có thể làm phức tạp hay hạn chế việc bơm CO₂ trong các vỉa than. Các nghiên cứu hơn nữa là cần thiết để nghiên cứu thành phần than, khả năng thẩm thấu, độ phồng và bất kể thay đổi vật lý khác của than gây ra bởi CO₂ cho các vỉa than.

Những ảnh hưởng môi trường tiềm năng của việc bơm CO₂ vào các vỉa than ngập nước trước đây còn nên được điều tra. Việc xác định độ thấm của các tập đá sét trên các vỉa than mục tiêu là hữu ích để đảm bảo các tầng chắn này ngăn ngừa chất lỏng và khí thoát ra ngoài cấu trúc.

Một số nghiên cứu trên thế giới thể hiện rằng than có thể hấp phụ CO₂ nhiều hơn 2 lần khí methan, vì vậy công nghệ CO₂-ECBM có thể cất giữ nhiều hơn 2 mol CO₂ cho mỗi mol methan được thu hồi. Tuy nhiên, bản chất hóa lý của quá trình này không được hiểu một cách đầy đủ và có thể rằng có

những quá trình vật lý khác hoạt động trong bể chứa làm biến đổi tỷ số này (ví dụ: tỷ số CO_2/CH_4 tăng lên do CO_2 truyền theo các khe nứt, đứt gãy hoặc các tuyến thẩm thấu khác). Vì vậy, các thí nghiệm về khả năng hấp phụ CO_2 của than cần được tiến hành.

Các số liệu thiết kế giếng khoan và kỹ thuật bơm khí hỗn hợp để hạn chế sự phòng và các yếu tố xử lý và khoan khác còn cần thiết nghiên cứu để đưa ra các giải pháp tốt nhất cho việc khoan, bơm và thu hồi khí.

Công nghệ giám sát còn cần được phát triển để xác định cách tốt nhất để truy tìm CO_2 từ các vỉa than và phát triển các qui trình và hướng dẫn cho việc giám sát và kiểm chứng dài hạn.

V.2.2.2. Các nghiên cứu thử nghiệm hiện trường

Các nghiên cứu thử nghiệm hiện trường cần được tiến hành tại 1 khu vực thích hợp về địa chất và gần nguồn phát thải CO_2 . Các nghiên cứu bao gồm: thử nghiệm qui mô nhỏ; thử nghiệm qui mô lớn nhiều lỗ khoan và giám sát môi trường để xác định khả năng thích hợp của các vỉa than như là giải pháp cất giữ CO_2 dài hạn. Sự kết hợp của các công nghệ giám sát (đo địa chấn 3D hay thông số địa hóa, v.v...) và mô hình là cần thiết để dự đoán hành vi CO_2 và methan, cũng như khả năng tin cậy và an toàn của quá trình cất giữ CO_2 .

Các nhiệm vụ của công tác thử nghiệm hiện trường là:

- Đánh giá chi tiết các vỉa chứa than và khí than sử dụng cho hoạt động CO_2 -ECBM;
- Kiểm nghiệm kết quả thí nghiệm trong phòng;
- Đánh giá ảnh hưởng của việc bơm CO_2 đến tỷ lệ thu hồi methan;
- Dự đoán định lượng tốc độ bơm và hấp phụ CO_2 tối đa;

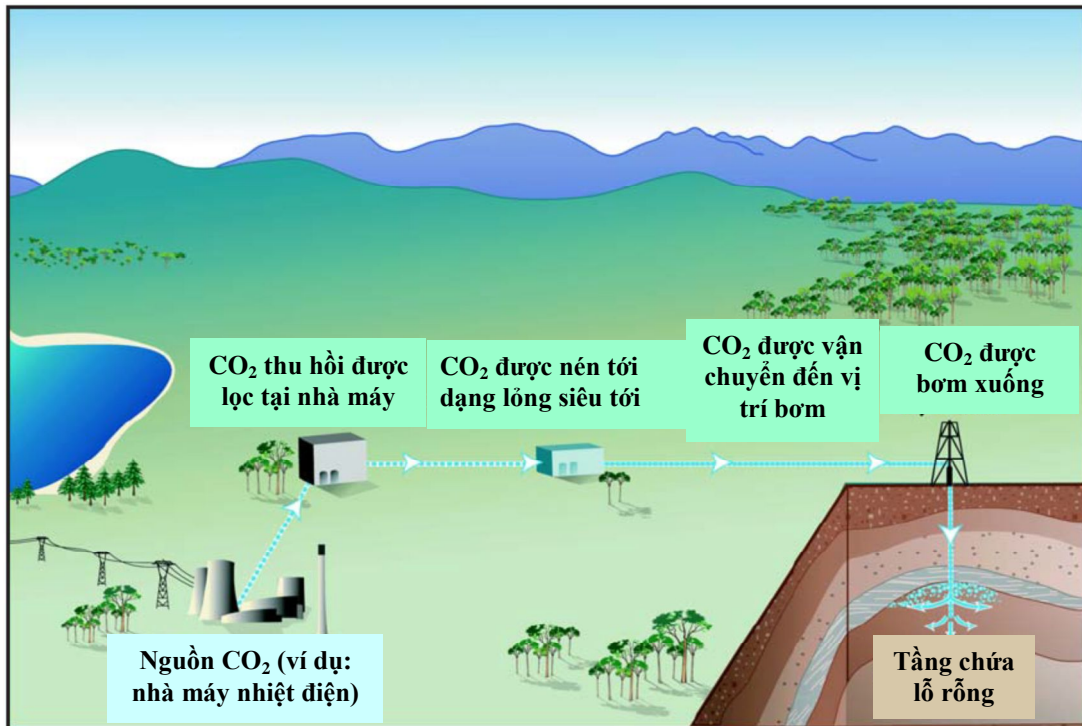
- Ảnh hưởng môi trường có thể của CO₂ đối với nước ngầm;
- Xác định khoảng thời gian hoạt động của dự án cất giữ.

Kết quả thí nghiệm trong phòng và thử nghiệm hiện trường sẽ xác định chế độ thu hồi và cất giữ tối ưu và đưa ra phương pháp giám sát thích hợp.

V.3. GIẢI PHÁP CÔNG NGHỆ CẤT GIỮ CO₂ TRONG CÁC TẦNG CHỨA LỖ RỖNG NẦM SÂU

Các tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu phân bố ở nhiều nơi trên lãnh thổ miền Bắc Việt Nam. Kết quả của đề tài đã khoanh định được các diện tích tầng chứa có độ lỗ rỗng cao triển vọng cho cất giữ địa chất CO₂ trong các hệ tầng Đệ Tam (Tiên Hưng-N₁^{3th} và Phù Cù- N₁^{2pc}) ở trũng Châu thổ Sông Hồng, và trong hệ tầng Nà Khuất (T_{2nk}) và phụ hệ tầng Mẫu Sơn dưới (T_{3cms1}) ở trũng An Châu. Đối với phần trũng Sông Hồng ngoài khơi, trên vịnh Bắc Bộ, các công trình tìm kiếm và thăm dò dầu khí đã xác định các tầng chứa có độ rỗng và độ thấm tốt ở các độ sâu khác nhau. Với chiều dày trầm tích chỗ sâu nhất có thể lên đến >10 km, hoàn toàn có thể tồn tại các tầng chứa lỗ rỗng bên dưới vịnh Bắc Bộ có điều kiện thuận lợi cho việc cất giữ địa chất CO₂.

Về cơ bản, quy trình công nghệ cất giữ địa chất CO₂ trong tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu được thực hiện theo sơ đồ 5.5. Theo sơ đồ này, khí thải CO₂ được tách và thu gom ở các nhà máy phát thải CO₂ trên mặt đất, sau đó được lọc và nén tới CO₂ dạng lỏng “siêu tới hạn”. CO₂ dạng lỏng được vận chuyển đến địa điểm thích hợp để bơm xuống các tầng chứa lỗ rỗng có độ sâu phù hợp (>800m) thông qua các giếng khoan bơm.



Hình 5.5. Sơ đồ mô phỏng quy trình công nghệ cất giữ địa chất CO₂ trong tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu

Cũng giống như đối với các vỉa than sâu, để có thể thực hiện việc cất giữ CO₂ trong các tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu, các nghiên cứu tiếp theo, gồm nghiên cứu đặc trưng khu vực và nghiên cứu triển khai, cần được tiến hành cho các diện tích tầng chứa lỗ rỗng triển vọng đã khoan định của đề tài.

V.3.1. Nghiên cứu đặc trưng khu vực

Trong các diện tích tầng chứa lỗ rỗng triển vọng được đề tài khoan định, nói chung, số liệu nghiên cứu dưới sâu còn khá ít ỏi, thường là từ các nghiên cứu tỷ lệ khu vực lớn, đặc biệt đối với các tầng chứa lỗ rỗng thuộc trũng An Châu. Trong trũng An Châu, các số liệu lỗ khoan và địa chấn 2D, 3D là không sẵn có. Các kết quả phân tích mẫu độ lỗ rỗng, độ thấm, độ hạt và thành phần vật chất, v.v... đều dựa vào các mẫu đá lộ trên mặt. Các đá chứa và chắn này đã trải qua các quá trình ngoại sinh như quá trình phong hóa lý hóa học, vì vậy không còn giữ nguyên các tính chất cơ lý và hóa học như các đá

dưới sâu tại điều kiện bề chứa. Vì vậy, trong tương lai, cần có các công trình khoan và phân tích bổ sung các thông số này để làm sáng tỏ các đặc tính liên quan khả năng chứa và chắn cho các diện tích tầng chứa lỗ rỗng triển vọng ở trữing An Châu.

Trong nghiên cứu đặc trưng khu vực, khi lựa chọn các diện tích nghiên cứu cũng cần phải xem xét đến các nhà máy phát thải CO₂ dự kiến thu hồi. Mục đích nghiên cứu là để đánh giá trữ lượng CO₂ phù hợp với lượng phát thải từ các nhà máy lân cận và đánh giá mức độ thích hợp cất giữ địa chất CO₂ của khu vực theo các tiêu chuẩn được đòi hỏi. Nghiên cứu đặc trưng khu vực đòi hỏi phải thu nhận nhiều số liệu địa chất, trong số đó nhiều số liệu đặc thù cho vùng nghiên cứu.

Khu vực cất giữ và lân cận cần được nghiên cứu trên các khía cạnh: địa chất, địa chất thủy văn, địa hóa và địa cơ học (địa chất cấu trúc và sự biến dạng do biến đổi ứng suất). Các nghiên cứu cần tập trung vào tầng chứa và chắn. Tuy nhiên các tầng nằm trên thành tạo cất giữ còn cần được xem xét, bởi vì nếu CO₂ rò rỉ, nó sẽ xâm nhập qua chúng [19], [20].

Những số liệu mô tả địa chất lỗ khoan và địa chất trên mặt là cần thiết để đặc trưng các đặc điểm tầng chứa và tầng chắn. Các công tác địa chấn là cần thiết để xác định các cấu trúc địa chất và nhận dạng các đứt gãy, khe nứt có thể tạo nên các tuyến đường rò rỉ. Việc đo lường áp suất thành tạo cần để vẽ bản đồ tốc độ và hướng của dòng chảy ngầm. Các mẫu chất lượng nước cần được thu nhận và phân tích để phân biệt các tầng nước độ khoáng cao nằm sâu với nước ngọt nằm nông.

Các tầng chắn là rào cản đối với sự thẩm thấu CO₂ được bơm ép. Khả năng nguyên vẹn của tầng chắn phụ thuộc vào phân bố không gian và các đặc tính vật lý của nó. Một tầng chắn lý tưởng nên có sự đồng nhất về thạch học, đặc biệt tại đáy tầng. Nếu các tầng chắn đồng nhất, rộng lớn và dày, một số

các yếu tố khác như độ cứng vật lý của đá, mật độ các đứt gãy, khe nứt, lỗ khoan có thể ảnh hưởng đến chất lượng của tầng chứa.

Nói chung, các nghiên cứu ở giai đoạn này cần đạt các kết quả sau: Hồ sơ địa chấn cắt qua khu vực lựa chọn, tốt nhất là từ các cuộc khảo sát địa chấn 2D và 3D; Bản đồ đồng đẳng cấu trúc của bể chứa, tầng chứa và chắn; Bản đồ chi tiết ranh giới cấu trúc của bẫy CO₂ cất giữ, đặc biệt làm sáng tỏ các điểm tràn tiềm năng; Bản đồ dự đoán các tuyến đường mà CO₂ xâm nhập từ điểm bơm ép; Hồ sơ và bản đồ các đứt gãy, khe nứt; Bản đồ tương trầm tích của tầng chứa và tầng chắn; Các mẫu lõi khoan lấy từ khoảng chứa và khoảng chắn; Hồ sơ khoan bao gồm các số liệu địa chất, địa vật lý và địa chất công trình; Số liệu phân tích và thí nghiệm chất lưu thể được thu hồi và lấy mẫu từ tầng chứa; Các thí nghiệm áp suất để đo lường khả năng thấm của tầng chứa và chắn; Số liệu đặc tính tầng chứa và chắn gồm: độ lỗ rỗng, độ thấm, thành phần khoáng vật, áp suất, nhiệt độ, độ mặn; Phân tích ứng suất tại chỗ để xác định nguy cơ tái hoạt động đứt gãy và xu hướng trượt của đứt gãy, và như vậy sẽ xác định áp suất lỗ rỗng tối đa trong quá trình bơm ép liên quan tới sự an toàn của tầng chứa, chắn và đứt gãy; Phân tích thủy động lực để xác định lưu lượng và hướng chảy của dòng nước ngầm, sự liên thông thủy lực của thành tạo; Số liệu địa chấn, địa mạo và kiến tạo liên quan các hoạt động tân kiến tạo.

Trong quá trình đặc trưng khu vực, việc mô phỏng bể chứa là cần thiết để đánh giá một khu vực cất giữ triển vọng. Nhiều thông tin địa vật lý, địa chất, địa chất thủy văn, địa cơ học được sử dụng để xây dựng mô hình. Các thông tin này để đưa vào một mô hình địa chất 3D với các số liệu được biết và ngoại suy tại tỷ lệ nghiên cứu thích hợp. Các mô hình mô phỏng giúp cho các quá trình thiết kế và hoạt động của công tác thử nghiệm hiện trường cho sự bơm CO₂ trong các tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu. Những dự đoán về trữ lượng

cất giữ CO₂ của khu vực là quan trọng đối với tính khả thi về kinh tế của dự án. Ngoài ra, mô hình mô phỏng còn được sử dụng trong các đánh giá kinh tế để tối ưu hóa vị trí, số lượng, thiết kế và độ sâu của các giếng bơm ép CO₂.

V.3.2. Nghiên cứu triển khai

Cũng giống như các vỉa than sâu, các công tác nghiên cứu triển khai để tiến tới thực hiện cất giữ địa chất CO₂ trong các tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu bao gồm 2 loại sau:

- Loại 1: Các công việc thí nghiệm trong phòng;
- Loại 2: Các nghiên cứu thử nghiệm tại hiện trường: có thể thực hiện theo tuần tự từ thử nghiệm qui mô nhỏ đến thử nghiệm qui mô lớn.

Thử nghiệm qui mô nhỏ tại hiện trường: để hiệu lực số liệu thí nghiệm và mô hình. Cuộc thử nghiệm này sẽ được tiến hành tại 1 vị trí tiềm năng để đảm bảo giám sát các điều kiện thử nghiệm và sử dụng nguồn CO₂ từ một nhà máy phát thải CO₂.

Thử nghiệm qui mô lớn tại hiện trường: có thể thực hiện với nhiều giếng bơm CO₂ ở qui mô lớn để đánh giá mức độ hiệu quả và an toàn trong việc bơm ép CO₂ qui mô công nghiệp vào tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu.

V.3.2.1. Các nghiên cứu thí nghiệm trong phòng

Các giá trị độ lỗ rỗng, độ thấm, độ bền cơ học, thành phần khoáng vật của tầng chắn và tầng chứa, độ mặn, độ pH và thành phần nước ngầm cần được phân tích và đánh giá.

Sự trộn lẫn của CO₂ vào nước trong hệ thống lỗ rỗng của đá chứa sẽ tạo CO₂ hòa tan, acid carbonic (H₂CO₃), và ion bicarbonat (HCO₃⁻). Tính acid của nước lỗ rỗng làm giảm khối lượng CO₂ có thể hòa tan và gây ra sự hòa tan các khoáng vật đá ở tầng chứa và chắn. Ngoài ra, nước acid này còn có thể

phản ứng với xi măng và thép ở lỗ khoan. Các phản ứng địa hóa này cũng cần được nghiên cứu.

Khi CO₂ được bơm ép tới đá chứa có khả năng thấm chứa, nó sẽ nằm trong các lỗ rỗng và tạo nên áp suất cao hơn trong tầng chứa so với các thành tạo xung quanh. Áp suất này có thể làm biến dạng đá chứa và đá chắn gây ra sự mở của các khe nứt dọc đứt gãy. Vì vậy, mô hình địa cơ học dưới sâu là cần thiết và nên tập trung vào áp suất thành tạo tối đa mà sự cất giữ CO₂ có thể được phép.

Ngoài ra, những ảnh hưởng môi trường tiềm năng của việc bơm CO₂ trong các tầng chứa lỗ rỗng nên được nghiên cứu và dự báo. Công nghệ giám sát còn cần được phát triển để xác định cách tốt nhất để truy tìm CO₂ rò rỉ và phát triển các qui trình và hướng dẫn cho việc giám sát và kiểm chứng dài hạn.

V.3.2.2. Các nghiên cứu thử nghiệm hiện trường

Trong nghiên cứu thử nghiệm hiện trường, cần lựa chọn 1 khu vực thích hợp và 1 nguồn CO₂ (có thể CO₂ từ một nhà máy nhiệt điện). Vị trí sẽ phụ thuộc vào khả năng thích hợp của khu vực liên quan đến nguồn CO₂ và các điều kiện địa chất phù hợp. Các nghiên cứu bao gồm: thử nghiệm qui mô nhỏ, thử nghiệm qui mô lớn nhiều lỗ khoan, và giám sát môi trường. Sự kết hợp của các công nghệ giám sát và mô hình là cần thiết để dự đoán hành vi CO₂ và khả năng tin cậy và an toàn dài hạn của quá trình cất giữ CO₂. Dựa trên các kết quả thử nghiệm hiện trường và trong phòng và các mô hình được cập nhật, một phương pháp tổng thể sẽ được phát triển và sử dụng để dự đoán hành vi và tối ưu hóa quá trình cất giữ CO₂.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận

Các kết quả nghiên cứu ở tỷ lệ lãnh thổ (toàn miền Bắc) và ở tỷ lệ trầm tích (Châu thổ Sông Hồng và An Châu), cũng như mô hình mô phỏng cho một thành tạo địa chất cất giữ CO₂ cụ thể của đề tài đã đưa đến các kết luận sau:

- Trong số các trầm tích trên lãnh thổ miền Bắc Việt Nam, trầm tích Châu thổ Sông Hồng, Sông Hồng ngoài khơi và An Châu rất thích hợp cho thu hồi và cất giữ địa chất CO₂. Các trầm tích Quảng Ninh, Bắc Trung Bộ và Sông Hiến có mức độ thích hợp trung bình, trong khi đó, các trầm tích Mường Tè, Điện Biên- Sơn La, Sông Đà và Tú Lệ phân bố ở các vùng núi xa xôi và điều kiện địa chất phức tạp là kém thích hợp cho cất giữ địa chất CO₂.

- Trong trầm tích Châu thổ Sông Hồng và An Châu, các diện tích thành tạo địa chất như: bể khí cạn kiệt, vỉa than sâu không thể khai thác và tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu triển vọng cho cất giữ địa chất CO₂, đã được đánh giá và khoanh định. Trầm tích Châu thổ Sông Hồng có khả năng cất giữ lý thuyết vào khoảng 11,921 Gtấn CO₂, trong đó các bể khí: 12,7 Mtấn CO₂, các vỉa than sâu: 2,418 Gtấn CO₂, và các tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu: 8,952 Gtấn CO₂. Trầm tích An Châu có khả năng cất giữ lý thuyết khoảng 2,131 Gtấn CO₂ trong các tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu. Nếu so sánh với tổng lượng phát thải CO₂ từ các nguồn điểm công nghiệp có thể thu hồi ở 2 trầm tích này, thì CO₂ thu hồi có thể được bơm xuống và cất giữ trong các thành tạo địa chất trên trong hàng trăm năm.

- Cấu trúc địa chất của mỏ khí Tiền Hải C, các đặc tính vật lý vỉa chứa (độ lỗ rỗng, độ thấm thấu, độ bão hòa chất lỏng, độ bão hòa khí, v.v...), hành vi của CO₂ trong vỉa chứa và hiệu quả kinh tế của việc cất giữ CO₂ đã được mô phỏng và đánh giá để làm cơ sở cho nghiên cứu bơm CO₂ thử

nghiệm và tiến tới cất giữ CO₂ lâu dài trong mỏ khí này. Kết quả đánh giá ban đầu cho thấy cất giữ CO₂ có thể được thực hiện cho 5 vỉa chứa chính có độ sâu từ 850 đến 1.180m. Riêng đối với vỉa chứa T8 có thể bơm ép với lưu lượng tối đa đến 1,5 Mscf/ngày và tổng khối lượng CO₂ bơm ép khoảng 5 Bscf. Việc cất giữ CO₂ kết hợp tăng hiệu suất thu hồi khí trong mỏ khí Tiền Hải C, Thái Bình có thể đem lại hiệu quả kinh tế cho Nhà nước từ việc bán “lượng giảm phát thải CO₂ được chứng nhận (CER)” khi tham gia vào cơ chế phát triển sạch (CDM) của Liên Hợp quốc.

- **Các mỏ khí cạn kiệt** bao gồm mỏ khí Tiền Hải C, Đông Quan D và Sông Trà Lý, có thể được sử dụng cho công nghệ cất giữ CO₂ kết hợp với tăng hiệu suất thu hồi khí (EGR). **Các vỉa than không thể khai thác** ở trũng Châu thổ Sông Hồng và Sông Hồng ngoài khơi có tiềm năng lớn cho cất giữ địa chất CO₂ kết hợp thu hồi khí methan trong than (CO₂-ECBM). **Các tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu** có mặt rộng rãi ở các trũng Châu thổ Sông Hồng và An Châu (có thể cả trũng Sông Hồng ngoài khơi), sở hữu tiềm năng lớn để cất giữ CO₂ trong nhiều năm. Tuy nhiên, các nghiên cứu chi tiết hơn nữa cần được tiếp tục trong những năm tới để tiến tới thực hiện cất giữ CO₂ trong các thành tạo địa chất này. Trước mắt, các nghiên cứu khả thi và thử nghiệm cất giữ CO₂ kết hợp tăng hiệu suất thu hồi khí tự nhiên (EGR) có thể được thực hiện cho mỏ khí Tiền Hải C. Đối với các vỉa than sâu và các tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu ở trũng Châu thổ Sông Hồng và An Châu, cần tiếp tục các nghiên cứu đặc trưng khu vực để đánh giá chi tiết điều kiện địa chất dưới sâu, đặc điểm tầng chứa/chấn, hệ thống thủy động lực, v.v.... Ngoài ra, việc đánh giá tác động môi trường, kế hoạch giám sát, v.v...cũng cần được tiến hành.

Kiến nghị

Như trong báo cáo này đã trình bày, đề tài này là một nghiên cứu tỷ lệ nhỏ và trung bình trên một phần lãnh thổ Việt Nam (miền Bắc), vì vậy để

đánh giá tổng thể về tiềm năng cất giữ địa chất CO₂ trên toàn lãnh thổ Việt Nam, cũng như tiếp tục các nghiên cứu hơn nữa tiến tới thử nghiệm và thực hiện cất giữ địa chất CO₂ ở Việt Nam, chúng tôi kiến nghị một số nhiệm vụ nghiên cứu tiếp theo như sau:

- Nghiên cứu và đánh giá tiềm năng cất giữ địa chất CO₂ lãnh thổ miền Nam Việt Nam;

- Đánh giá chi tiết khả năng cất giữ địa chất CO₂ cho các vỉa than sâu kết hợp thu hồi khí methan trong than và các tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu ở trũng Châu thổ Sông Hồng;

- Đánh giá chi tiết khả năng cất giữ địa chất CO₂ trong các tầng chứa lỗ rỗng nằm sâu ở trũng An Châu;

- Nghiên cứu tiền khả thi cho việc thử nghiệm cất giữ CO₂ kết hợp tăng hiệu suất thu hồi khí ở mỏ khí Tiền Hải C, Thái Bình.

Ngoài ra, song song với công tác nghiên cứu cấu trúc cất giữ địa chất CO₂, chúng ta cần có những bước đi trong việc cập nhật và cải thiện chính sách quản lý về môi trường nói chung và phát thải CO₂ nói riêng. Hiện nay, nhiều nước phát triển như Hoa Kỳ, Canada, và các nước EU, v.v... đều có những quy định chặt chẽ liên quan đến phát thải CO₂, cũng như đánh thuế môi trường đối với phát thải CO₂. Điều này sẽ bắt buộc các nhà máy xả thải CO₂ phải có những giải pháp giảm phát thải và đầu tư công nghệ để thu hồi và cất giữ CO₂.

Cộng thêm, các công nghệ thu hồi CO₂ từ các nhà máy xả thải cần được nghiên cứu phát triển. Hiện nay, một số công nghệ thu hồi CO₂ từ các nhà máy như thu hồi trước khi đốt, sau khi đốt hay đồng thời với quá trình đốt nhiên liệu, v.v... đã được phát triển trên thế giới. Tuy nhiên, hầu hết các công nghệ này khá phức tạp, chi phí cao và chưa được thử nghiệm ở Việt Nam.

Lời cam đoan và cảm ơn

Đề tài KHCN cấp Nhà nước “Nghiên cứu cơ sở khoa học và thực tiễn, đề xuất giải pháp công nghệ cất giữ CO₂ trong các hệ tầng, cấu trúc địa chất ở miền Bắc Việt Nam”, mã số BĐKH-34 thuộc Chương trình “Khoa học và công nghệ phục vụ chương trình mục tiêu Quốc Gia ứng phó với biến đổi khí hậu”, mã số: KHCN-BĐKH/11-15. Chúng tôi xin cam đoan rằng đây là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả đề tài. Các kết quả phản ánh trong báo cáo được tính toán và thành lập trên cơ sở thu thập các tài liệu, số liệu nghiên cứu trước đây ở Việt Nam, cũng như các kết quả phân tích, điều tra của đề tài.

Nhân dịp này, chúng tôi trân trọng cảm ơn Ban chủ nhiệm Chương trình đã tạo điều kiện để chúng tôi thực hiện đề tài này. Ngoài ra, chúng tôi muốn cảm ơn Ban giám đốc Viện KH Địa chất và Khoáng sản, cũng như các đồng nghiệp đã giúp chúng tôi trong việc thực hiện các công việc nghiên cứu của đề tài.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

- [1]. Nguyễn Biểu, Phan Trung Điền, 1974. Các đới biến đổi thứ sinh của các thành hệ lục nguyên Mesozoi vùng trũng An Châu và độ lỗ hồng collector của chúng. Trung tâm Thông tin và Lưu trữ địa chất, Hà Nội.
- [2]. Hoàng Thanh Cảnh, 1977. Về tầng chứa than Tiên Hưng- Khoái Châu- Tiền Hải miền vũng Hà Nội. Tạp chí Địa chất 129, 11-17.
- [3]. Vũ Ngọc Diêu và nnk, 1973. Báo cáo tổng kết lỗ khoan 301 (Cấu tạo Chũ- Hà Bắc). Lưu trữ Viện Dầu khí.
- [4]. Vũ Xuân Doanh và nnk, 1986. Báo cáo độ chứa than miền vũng Hà Nội (Hưng Yên- Thái Bình). Lưu trữ Viện KH Địa chất và Khoáng sản.
- [5]. Nguyễn Quang Hạp, 1975. Triển vọng dầu khí ở Trũng An Châu. Tạp chí Địa chất 120:7, 7-8.
- [6]. Nguyễn Nghiêm Minh, 1975. Kiến tạo vùng Đông bắc miền Bắc Việt Nam. Tạp chí Địa chất 119.
- [7]. PetroVietnam, 2009. Nghiên cứu khả năng sử dụng CO₂ nhằm tăng cường thu hồi dầu ngoài khơi Việt Nam, góp phần giảm thiểu thay đổi khí hậu toàn cầu. Báo cáo tại Diễn đàn Kinh tế- Tài chính Việt- Pháp lần thứ 8 tại Hạ Long, Tập đoàn Dầu khí quốc gia (PVN).
- [8]. Ngô Thường San, 1975. Nên nhận định về triển vọng dầu khí ở trũng An Châu như thế nào?. Tạp chí Địa chất 122: 813.
- [9]. Ngô Thường San, Nguyễn Biểu, Phan Trung Điền, Phạm Xuân Kim, Trịnh Lệ Thư, Ngô Xuân Vinh, 1975. Tìm hiểu các tổ hợp khoáng vật sét Mesozoi ở trũng An Châu. Tạp chí Địa chất 120: 4.

- [10]. Sở Mỏ- Địa chất Pháp & Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam, 2009. Khả năng thu giữ khí CO₂ ở Việt Nam đến đâu?. Báo cáo tại Diễn đàn Kinh tế- Tài chính Việt- Pháp lần thứ 8 tại Hạ Long.
- [11]. Trần Văn Trị (chủ biên) và nnk, 2009. Địa chất và tài nguyên Việt Nam. Nxb KHTN&CNQG, Hà Nội.
- [12]. Vũ Trụ và nnk, 2011. Đánh giá tiềm năng và khả năng khai thác khí than (CBM) tại dải trung tâm Miền Vống Hà Nội (Phù Cừ - Tiên Hưng - Kiến Xương - Tiền Hải). Lưu trữ Viện Dầu khí.
- [13]. Vũ Trụ và nnk, 2013. Tổng hợp các kết quả nghiên cứu địa chất - địa vật lý và đề xuất kế hoạch nghiên cứu các bể trầm tích trước Đề tam để phục vụ công tác tìm kiếm thăm dò dầu khí ở Việt Nam. Lưu trữ Viện Dầu khí.
- [14]. Bộ Tài Nguyên và Môi trường, 2014. Báo cáo cập nhật hai năm một lần- lần thứ nhất của Việt Nam cho công ước khung của Liên hợp quốc về biến đổi khí hậu. Nxb Tài nguyên-Môi trường và Bản đồ Việt Nam.

Tiếng Anh

- [15]. Amorino C., Bencini R., Cara R., Cinti D., Deriu G., Fandino V., Giannelli A., Mazzotti M., Ottiger S., Pizzino L., Pini R., Quattrocchi F., Sardu R. G., Storti G., Voltattorni N., 2005. CO₂ geological storage by ECBM techniques in the Sulcis area (SW Sardinia Region, Italy). <http://www.earth-prints.org/bitstream/2122/1142/1/Amorino-Quattrocchi.pdf>
- [16]. Bachu S., Bonijoly D., Bradshaw J., Burruss R., Holloway S., Christensen N.P., Mathiassen O.M., 2007. CO₂ storage capacity estimation: Methodology and gaps. International Journal of Greenhouse Gas Control 1, 430–443.

- [17]. Bachu Stefan, 2000. Sequestration of CO₂ in geological media: criteria and approach for site selection in response to climate change. *Energy Conversion & Management* 41, 953-970.
- [18]. Bachu Stefan, 2003. Screening and ranking of sedimentary basins for sequestration of CO₂ in geological media in response to climate change. *Environmental Geology* 44, 277–289.
- [19]. Benson S. & Cook P., 2005. Chapter 5: Underground geological storage. In IPCC Special Report on Carbon dioxide Capture and Storage. http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_chapter5.pdf.
- [20]. Bentham M. & Kirby G., 2005. CO₂ Storage in Saline Aquifers. *Oil & Gas Science and Technology* 60:3, 559-567.
- [21]. Byrer C. W. & Guthrie H. D., 1998. Carbon dioxide storage potential in coalbeds: a near-term consideration for the fossil fuel industry. Proceedings of the 23rd International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems, March 9-13, 593-600.
- [22]. CCOP Technical Secretariat - June 25, 2014. CCOP Guideline on the Methodologies for Selecting Geological Carbon Dioxide (CO₂) Storage and Estimation of Storage Capacities. CCS-M Program, Homepage: <http://ccop.or.th/ccsm/>.
- [23]. Chadwick A. & others, 2008. Best Practice for the Storage of CO₂ in Saline Aquifers. Observations and Guidelines from the SACS and CO₂STORE Projects.
- [24]. Cooperative Centre for Greenhouse Gas Technologies (CO₂CRC), 2004. Carbon Dioxide Capture and Storage: Research Development and Demonstration in Australia - A Technology Roadmap. Canberra-Canada, Publication No 2004/01, 60p.

- [25]. CSLF, 2007. Phase II Final Report from the Task Force for Review and Identification of Standards for CO₂ Storage Capacity Estimation. Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF). Homepage: <http://www.cslforum.org/publications/documents/PhaseIIReportStorageCapacityMeasurementTaskForce.pdf>.
- [26]. CSLF, 2008. Comparison between Methodologies Recommended for Estimation of CO₂ Storage Capacity in Geological Media. Phase III Report. Technical Group (TG) Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF), Homepage: <http://www.cslforum.org/publications/documents/PhaseIIIReportStorageCapacityEstimationTaskForce0408.pdf>.
- [27]. Frailey S.M., Finley R.J., Hickman T.S., 2006. CO₂ sequestration: storage capacity guidelines needed. Oil Gas J., 44–49.
- [28]. Franz May, 2003. CO₂ storage capacity of unminable coal beds in Germany. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, http://www.bgr.bund.de/EN/Themen/CO2Speicherung/Projekte/Abgeschlossen/Gestco/GESTCO_ECBM_Deutschland_report.pdf?blob=publicationFile&v=2.
- [29]. Halland E. K., Johansen W. T., Riis F. (Eds), 2012. CO₂ storage atlas Norwegian North Sea. Norwegian Petroleum Directorate, P O Box 600, NO -4003 Stavanger, Norway.
- [30]. IEA Greenhouse Gas R&D Programme, 2009. Natural and Industrial Analogues for Geological Storage of Carbon Dioxide. IEA Greenhouse Gas R&D Programme, Orchard Business Centre, Stoke Orchard, Cheltenham, Glos. GL52 7RZ, UK,

- http://www.ieaghg.org/docs/general_publications/Natural%20Analogues%20Final%20low%20res.pdf.
- [31]. IEA Greenhouse Gas R&D Programme, 2011. Storing CO₂ in Unminable Coal Seams. http://www.ieaghg.org/docs/general_publications/8.pdf.
- [32]. IEA, 2008. Energy Technology Perspectives 2008. International Energy Agency, <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/energy-technology-perspectives-2008-.html>.
- [33]. IFP&ADEME&BRGM, 2005. CO₂ capture and geological storage. IFP-ADEME-BRGM joint publication, http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/28576_co2_gb.pdf.
- [34]. IPCC, 2005. IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L. A. Meyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 442 p.
- [35]. IPCC, 2007. Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4). Intergovernmental Panel on Climate Change, http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml#1.
- [36]. Mamora D.D. & Seo J.G., 2002. Enhanced Recovery by Carbon Dioxide Sequestration in Depleted Gas Reservoirs. Soc. Pet. Eng., SPE-77347.
- [37]. Official Journal of the European Union, 2009. Directive 2009/31/EC of the European parliament and of the Council of 23 April 2009 on the geological storage of carbon dioxide and amending Council Directive 85/337/EEC, European Parliament and Council Directives 2000/60/EC,

2001/80/EC, 2004/35/EC, 2006/12/EC, 2008/1/EC and Regulation (EC) No 1013/2006.

- [38]. Pedersen T.V., Anthonsen K.L., Smith N., Kirk K., Neele F., Meer B.V., Gallo Y.L., Codreanu D.B., Wojcicki A., Le Nindre Y.M., Hendriks C., Dalhoff F., Christensen N.P., 2009. Assessing European capacity for geological storage of carbon dioxide—the EU GeoCapacity project. *Energy Procedia* 1:1, 2663–2670.
- [39]. Stephen F. G., Cortland F. E., Ernie R. S., Kristin M. C., Katharine L. A., 2010. Storing and Using CO₂ for Enhanced Coalbed Methane Recovery in Unmineable Coal Beds of the Northern Appalachian Basin and Parts of the Central Appalachian Basin. MRCSP Phase II Topical Report, October 2005–October 2010, http://www.mrcsp.org/userdata/phase_II_reports/topical_5_coalbed_methane.pdf.
- [40]. Stevens S. H., Pekot L., 1999. CO₂ injection for enhanced coalbed methane recovery: project screening and design. — Proceedings of the 1999 International CBM Symposium, Tuscaloosa, Alabama, United States.
- [41]. U.S. DOE, 2010. Summary of the Methodology for Development of Geologic Storage Estimates for Carbon Dioxide- Appendix B. In: Carbon sequestration Atlas of the United States and Canada (Third edition). Homepage: http://www.netl.doe.gov/technologies/carbon_seq/refshelf/atlasII/.
- [42]. World Bank, 2007. The Impact Of Sea Level Rise On Developing Countries : A Comparative Analysis. Policy Research Working Papers, <http://dx.doi.org/10.1596/1813-9450-4136>.

- [43]. Yoshinori Y., Motonori H., Toru Y., Norifumi T., 2011. Study of geological storage for a candidate CCS demonstration project in Tomakomai, Hokaido, Japan. *Energy Procedia* 4, 5677-5684.