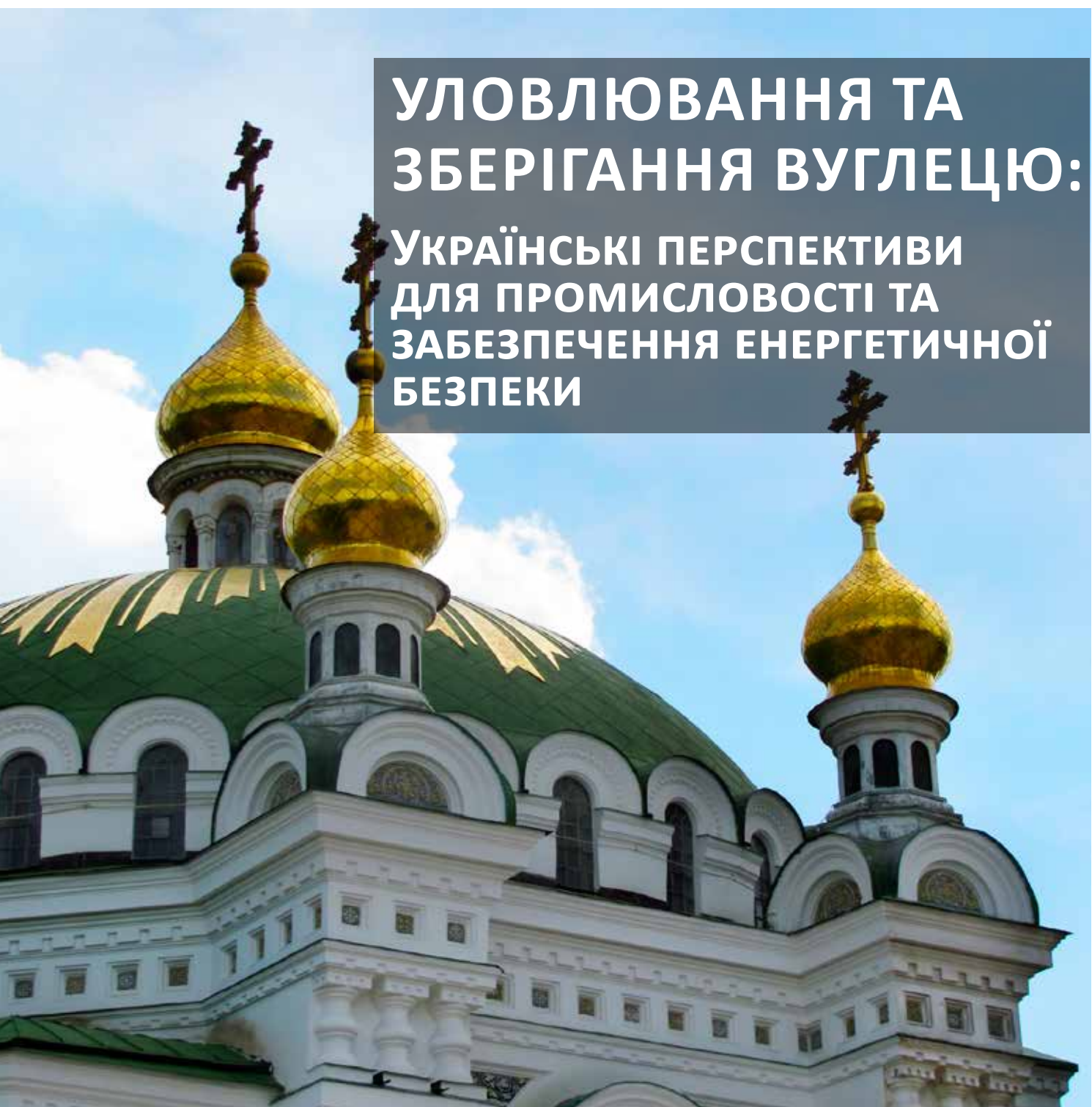


# BELLONA

**УЛОВЛЮВАННЯ ТА  
ЗБЕРІГАННЯ ВУГЛЕЦЮ:**

**УКРАЇНСЬКІ ПЕРСПЕКТИВИ  
ДЛЯ ПРОМИСЛОВОСТІ ТА  
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ  
БЕЗПЕКИ**



**BEST**

BELLONA ENVIRONMENTAL CCS TEAM

## Подяка та юридичні застереження

*Міжнародне екологічне об'єднання «Біллона» (The Bellona Foundation), Осло, Норвегія, 2013 р.*

*Цю публікацію було підготовлено організацією «Біллона» з метою обговорення уловлювання та зберігання CO2 в Україні. Документ є результатом дворічної роботи як в Україні, так і в Норвегії. Об'єднання «Біллона» висловлює подяку Норвезькому Міністерству закордонних справ та іншим партнерам Bellona Environmental CCS Team BEST + (Екологічна група Білона з питань уловлювання та зберігання CO2 ) за їхню цювру підтримку. Лідерами групи BEST+ є Понас Хелсет та Фредерік Хауге.*

*Автор: Кім Уїрріскі.*

*Автор висловлює щирю подяку команді Центру «Розвиток КСВ» за їхню співучасть та поради, а також Марині Сапрікиній, керівнику Центру за її внесок та відданість справі.*

*Ми також висловлюємо подяку всім членам Групи за їхню допомогу при зборі інформації, цінні поради та час:*

*Ангеліна Ніазу, президент, Асоціації лікарів Чорнобиля. Андрій Коняшин, директор, Федерація органічного руху України. Олександр Михайлов, керівник відділу енергобезпеки, ДТЕК. Олександр Кротенко, перший секретар Департаменту економічного співробітництва, Міністерство закордонних справ України. Анна Мазур, директор, «Науково-технічний центр «Чиста хвиля» Вадим Сидяченко, радник, відділ економічного співробітництва, МЗС України. Валентин Середюк, директор департаменту екології, Інститут проблем екології та енергозбереження. Валентина Маслюченко, начальник відділу енергоефективності та екологічних інвестицій Департаменту охорони праці, промислової безпеки та надійності транспортування нафти та газу, Нафтогаз. Василь Конищук, голова правління; завідувач лабораторії екології водно-болотних угідь і торфовищ Інституту агроекології і природокористування НААН, екологічна асоціація «Західне Поліся - заболочений край». Віра Мороз, науковий співробітник, Інститут Агроекології і природокористування НААН. Віталій Драгомирецький, головний спеціаліст відділу стратегічного планування Департаменту міжнародного співробітництва, спільного впровадження та обліку парникових газів Держекоінвестагентства. Віталій Галмаш, заступник начальника відділу енергоефективності та екологічних інвестицій НАК «Нафтогаз України». Володимир Горнік, заступник начальника управління розвитку галузей промисловості Департаменту промислової політики, Міністерство економічного розвитку та торгівлі, Україна. Володимир Ширяєв, голова комісії Асоціації лікарів Чорнобиля. Гліб Стрізуненко, провідний спеціаліст Департаменту стратегічної політики та інвестицій, Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. Микола Шеставін, провідний науковий співробітник науково-дослідницького відділу ДонНУ, відповідальний виконавець грантового проєкту Європейської комісії «Можливості для зменшення викидів вуглекислого газу для індустріальних регіонів України» (LCOIR-UA), Донецький Національний Університет. Стелла Шехунова, вчений секретар, Інститут геологічних наук НАН України. Катерина Теліца, Головний спеціаліст відділу нафти та газу Департаменту геології, Державна служба геології та надр України. Ігор Вольчин, доктор наук, керівник лабораторії, Інститут вугільних технологій НАН України. Ігор Канука, заступник директора, відділ досліджень, Черкаський науково-дослідний інститут технічно-економічної інформації. Кирило Топляк, Директор, КТ-Energy. Роман Харитонов, Радник Голови Національного агентства екологічних інвестицій, відділ міжнародного співробітництва, Державне агентство екологічних інвестицій. Світлана Берзіна, Заступник Голови громадської Ради при Мінекології, Україна. Тетяна Годовська, Експертний центр «Укрєкобіокоп», член громадської ради Міністерства екології та природних ресурсів. Юрій Сільченко, начальник Управління інвестиційної діяльності, екотехнологій та охорони праці, НАК «Енергетична компанія України».*

*Окрема подяка нашому координатору перекладів та команді Бюро перекладів WellDone за виконання перекладу на українську мову.*

*© 2013, Міжнародне екологічне об'єднання «Біллона». Всі права захищені. Ця копія призначена лише для особистого, некомерційного використання. Користувачі можуть завантажити, роздрукувати або скопіювати деякі частини цієї публікації для своїх власних цілей та некомерційного використання. Жодна частина цього документа не може бути відтворена без посилання на Міжнародне екологічне об'єднання «Біллона» або джерело, використане в цьому звіті. Комерційне використання цієї публікації вимагає попередньої згоди.*

## Міжнародне екологічне об'єднання «Біллона»

*Міжнародне екологічне об'єднання «Біллона» – це багатопрофільна міжнародна екологічна недержавна організація, заснована в Осло, Норвегія, у 1986 р. як група протесту прямої дії. З того часу вона перетворилася на одну з найбільш відомих у світі екологічних організацій, відому своїми технологіями та рішеннями проблем довкілля, з об'єктами на двох континентах. «Біллона» поєднує близько 40 екологів, ядерних фізиків, інженерів, економістів, юристів, консультантів та журналістів.*

*«Біллона» фінансується за рахунок бізнесу та приватних осіб, а також грантів від благодійних організацій та уряду Норвегії.*

*За допомогою роботи офісів, розташованих у Брюсселі, Мурманську, Осло, Санкт-Петербурзі та Вашингтоні, «Біллона» співпрацює з відповідними урядами, експертами та іншими недержавними організаціями, з метою прийняття рішень стосовно найбільш актуальних світових екологічних проблем. Серед таких проблем можна назвати боротьбу з глобальним потеплінням, безпеку нафти та газопромисловості в Європі. Робота здійснюється через поширення інформації та лобіювання з фокусуванням на локальні та державні рівні. «Біллона» публікує свої висновки на своєму сайті з метою інформування громадськості про стан довкілля.*

*«Біллона» є організацією, яка зосереджує свою увагу на розробці суттєвих рішень для існуючих проблем навколишнього середовища.*



**Bellona Europa**  
**Rue du Trône 61**  
**1050 Brussels**  
**Tel: +32 (0)2 540 89 35**



**Bellona Oslo**  
**Grünerløkka 2141**  
**0505 Oslo**  
**Tel: +47 2323 4600**

## ЗМІСТ

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ЩО ТАКЕ ТЕХНОЛОГІЯ УЛОВАЮВАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ ВУГЛЕЦЮ (УЗВ)</b>      | <b>1</b>  |
| <b>УЗВ В ЄС</b>  | <b>3</b>  |
| <b>РОЛЬ УЗВ-ТЕХНОЛОГІЙ В УКРАЇНСЬКІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ ТА ПРОМИСЛОВОСТІ</b>   | <b>4</b>  |
| <b>УПРАВЛІННЯ УЗВ-ТЕХНОЛОГІЄЮ</b>                                      | <b>8</b>  |
| <b>ТЕХНОЛОГІЇ УЛОВАЮВАННЯ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ</b>                         | <b>8</b>  |
| КОМПРЕСІЯ ТА СУШПІННЯ CO2  | 9         |
| ВИКИДИ ВІД ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ, ОСНАЩЕНИХ ТЕХНОЛОГІЄЮ УЗВ                   | 11        |
| МОДИФІКОВАНА ТЕХНОЛОГІЯ УЛОВАЮВАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ CO2 (CCSR)           | 11        |
| <b>ТРАНСПОРТУВАННЯ</b>   | <b>13</b> |
| ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ЩОДО ТРАНСПОРТУВАННЯ                                   | 15        |
| ПОВТОРНЕ ВИКОРИСТАННЯ ІСНУЮЧИХ МЕРЕЖ ГАЗОПРОВОДУ                       | 15        |
| <b>ЗБЕРІГАННЯ CO2</b>  | <b>17</b> |
| ЗБІР ДАНИХ   | 20        |
| ПРОЦЕС ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ І “ПРИДАТНОГО ДО ОБЛІКУ” МІСЦЯ ЗБЕРІГАННЯ | 20        |
| МЕХАНІЗМИ ЗБЕРІГАННЯ ТА БЕЗПЕКИ  | 24        |
| УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ПРОТЯГОМ ПРОЕКТНОГО ЦИКЛУ                          | 25        |
| ПЕРЕДОВА ПРАКТИКА ГРОМАДСЬКОЇ УЧАСТІ У ПРОГРАМІ УЗВ                    | 27        |
| ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ   | 28        |
| <b>СКІЛЬКИ КОШТУЄ УЗВ?</b>   | <b>29</b> |
| ВАРТІСТЬ ТЕХНОЛОГІЙ З УЛОВАЮВАННЯ CO2                                  | 29        |
| ВАРТІСТЬ ТРАНСПОРТУВАННЯ   | 32        |
| ВАРТІСТЬ ЗБЕРІГАННЯ  | 33        |
| <b>УЛОВАЮВАННЯ, ВИКОРИСТАННЯ І ЗБЕРІГАННЯ CO2 (CCUS)</b>               | <b>37</b> |
| ПІДВИЩЕННЯ НАФТОВІДАЧІ ПЛАСТІВ (ПНП)                                   | 37        |
| КОМЕРЦІЙНІ ПРОЕКТИ ПНП В УКРАЇНІ                                       | 41        |
| ВПРОВАДЖЕННЯ CO2-ПНП   | 42        |
| <b>УЗВ І ВУГЛЕЦЬ-НЕГАТИВНИЙ</b>  | <b>42</b> |
| ВУГЛЕЦЬ-НЕГАТИВНИЙ НА ВУГІЛЬНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ                        | 42        |
| ВУГЛЕЦЬ-НЕГАТИВНИЙ НА ЗАВОДАХ З ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА                  | 43        |
| <b>УЗВ-ПРОМИСЛОВІСТЬ ТА ЕКСПОРТНІ МОЖЛИВОСТІ УКРАЇНИ</b>               | <b>44</b> |
| CO2 ТРУБОПРОВОДИ   | 45        |
| ВИРОБНИЦТВО СТАЛІ  | 46        |
| <b>РЕКОМЕНДАЦІЇ УКРАЇНІ</b>  | <b>47</b> |
| УЛОВАЮВАННЯ CO2  | 47        |
| ЗБЕРІГАННЯ CO2   | 48        |
| ТРАНСПОРТНА ІНФРАСТРУКТУРА CO2   | 49        |
| ПІДТРИМКА ГРОМАДСЬКОСТІ  | 49        |

## Що таке технологія уловлювання та зберігання вуглецю (УЗВ)

Технологія уловлювання та зберігання вуглецю (УЗВ) дозволяє зменшити викиди парникових газів шляхом запобігання виходу в атмосферу двоокису вуглецю (CO<sub>2</sub>), який утворюється на точкових джерелах у великій кількості, до виходу в атмосферу, а потім транспортування та закачування діоксиду вуглецю до підземного сховища для постійного безпечного зберігання. Діоксид вуглецю можна уловлювати та зберігати з багатьох точкових джерел, наприклад, таких як електростанції на вугільному паливі, нафтопереробні заводи, металургійні заводи, цементні цехи та заводи з виробництва біологічного палива. Технологія УЗВ може забезпечити виробництво низьковуглецевої електроенергії з вугільних видів палива і низьковуглецеву промислову продукцію. Потенційно, з використанням біомаси або біопалива за допомогою технології УЗВ можна видалити CO<sub>2</sub> з атмосфери, зменшуючи негативні наслідки зміни клімату.

Діоксид вуглецю спочатку необхідно уловити і відокремити від точкового джерела за допомогою використання різних хімічних або механічних процесів. Бездомішковий потік CO<sub>2</sub> потім стискається до стану рідини високого тиску, для зручності транспортування, як правило, в трубопроводах. Потім CO<sub>2</sub> доставляється до відповідного місця зберігання, де він, вловлений і іммобілізований (позбавлений рухливості), вводиться на відстань, більше ніж кілометр нижче поверхні землі, у шари гірських порід.

Технологія УЗВ пропонує можливості для радикального зниження викидів діоксиду вуглецю від великих точкових викидів, таких як вугільні та газові електростанції і промислові об'єкти з високою інтенсивністю викидів. У випадку енергоємного промислового використання технологія УЗВ пропонує тільки сучасні засоби для значного скорочення викидів. Технологія УЗВ буде необхідним компонентом декарбонізації для всіх структур важкої промисловості та високовуглецевих об'єктів. Жодна технологія не має відповіді щодо запобігання руйнівним змінам клімату. Тільки використання повною мірою усіх доступних технологій і заходів, таких як поновлювальні джерела енергії, підвищення енергоефективності, скорочення викидів у сільському і лісовому господарствах, а також застосування технології УЗВ допоможе успішно зменшити шкідливі викиди.

УЗВ-технологія є відомою технологією декарбонізації багатьох національних і глобальних програм з боротьби зі зміною клімату. Численні дослідження таких організацій, як Міжурядова група експертів зі зміни клімату, Форум провідних економік і Міжнародне енергетичне агентство вказали на необхідність істотного глобального впровадження УЗВ-технології в промисловій та енергетичній сектори для ефективної праці над змінами клімату. За прогнозами програми 2013 року Міжнародного енергетичного агентства "Перспективи розвитку технології уловлювання та зберігання вуглекислого газу" УЗВ-технологія принесе

сукупне скорочення викидів діоксиду вуглецю у 17% до 2050 року (рис. 2). До того ж терміну близько 8 мільярдів тонн CO<sub>2</sub> буде вловлено і збережено на рік від різних об'єктів у країнах, що не входять до ОЕСР (рис. 3). Незважаючи на те, що розвинені країни, як очікується в цих прогнозах, займуть провідну роль у створенні і розгортанні технології УЗВ, у 2050 році більше двох третин необхідних пристроїв буде знаходитися в Китаї, Індії та в країнах, що розвиваються. Ясно, що УЗВ також буде необхідною для будь-якого процесу декарбонізації в українській економіці.

Сукупні витрати у період між 2007 і 2012 роками на проекти з демонстрації УЗВ-технології або її компонентних технологій загалом досягли майже 10.2 млрд. доларів США, при цьому 7.7 млрд. доларів із цієї загальної суми надійшли з приватного фінансування. Подібним чином фінансування від уряду і промисловості дослідження та розробки технології викликало сукупний щорічний темп зростання з показником у 46% серед патентних заявок на УЗВ в період між 2006 і 2011 роками (IEA, 2013).<sup>1</sup>

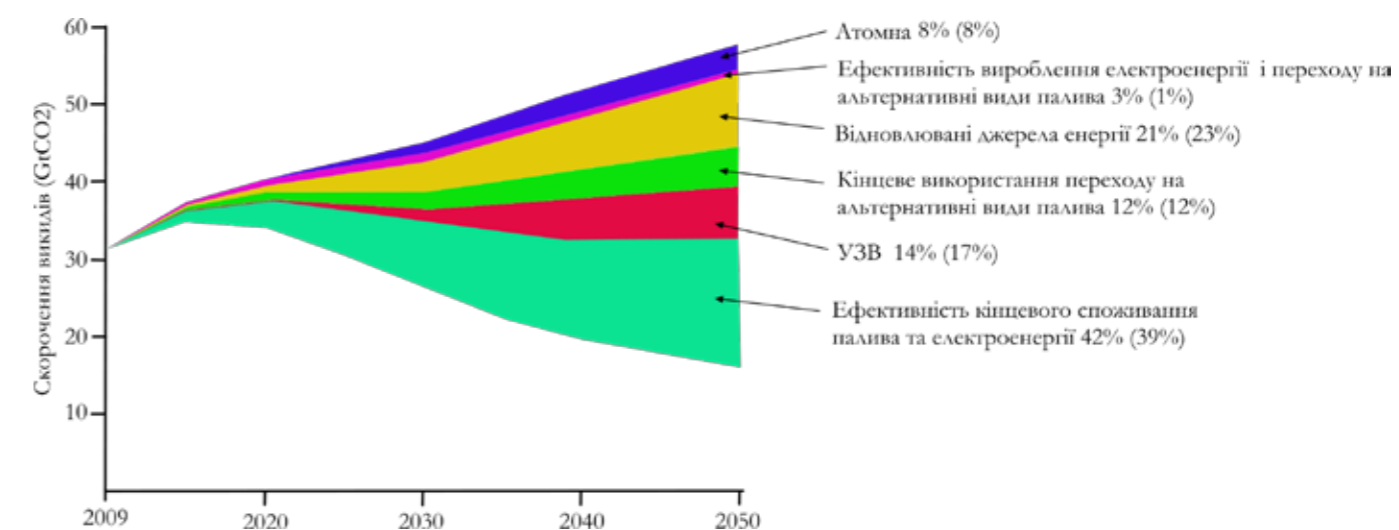


Рисунок 2 УЗВ-технологія сприяє 14% скороченню від загального скорочення викидів до 2050 року за сценарієм потепління на два градуси, у порівнянні зі сценарієм потепління на шість градусів (МЕА, 2013)



Рисунок 1 Приклад вугільної електростанції, оснащеної УЗВ

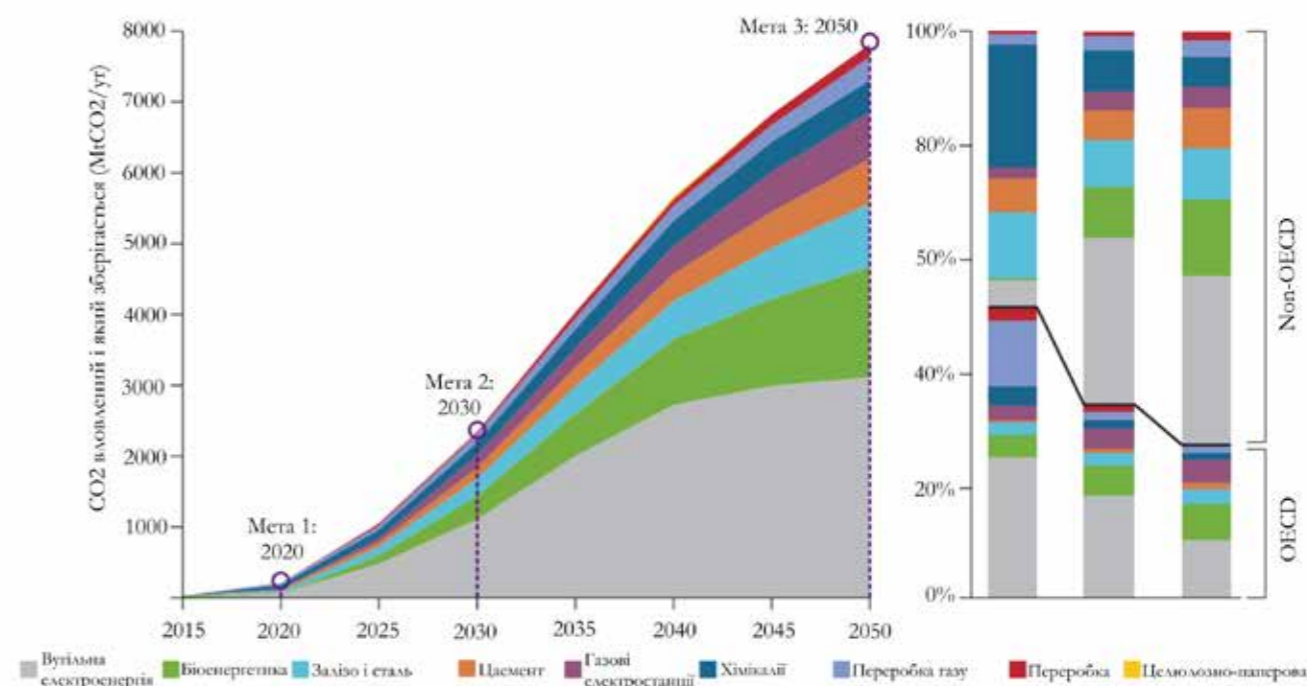


Рисунок 3 УЗВ-технологія в енергетичному і промисловому секторах (МЕА, 2013)

<sup>1</sup> Цифри в дужках показують внесок у 2050 році. Наприклад, 14% припадає на внесок CCS-технології у сукупні скорочення викидів до 2050 року, а 17% припадає на внесок CCS-технології у сукупні скорочення викидів у 2050 році, у порівнянні зі сценарієм потепління у шість градусів.

## УЗВ в ЄС

УЗВ розглядається як одна з ключових технологій в декарбонізації європейської енергетики та промисловості. Енергетична політика ЄС ставить амбітні цілі щодо енергії та кліматичних змін, в тому числі обов'язкове скорочення викидів парникових газів на 20% до 2020 року в порівнянні з 1990 роком (European Commission, 2007). Було зроблено зобов'язання, спрямоване на подальшу декарбонізацію європейської економіки до 2050 року, скорочення викидів парникових газів на 80-95% порівняно з рівнем 1990 року (European Commission, 2011).

Опублікована у 2011 році доповідь Перспектив енергетичного розвитку 2050 оцінює прогнозований внесок УЗВ-технологій та інших технологій за період до 2050 року. Частка вироблення енергії на електростанціях на ископному паливі, обладнаних УЗВ-технологією, коливається у межах 7-32% (рис. 4). У доповіді робиться висновок, що для того, щоб досягти мети декарбонізації, УЗВ-технології повинні використовуватися на всіх електростанціях на ископному паливі з 2030 року і надалі. УЗВ-технологія є також необхідною для декарбонізації інших секторів, окрім виробництва електроенергії, таких як галузі важкої промисловості. Доповідь ЄС щодо Перспектив енергетичного розвитку 2050 також підкреслює необхідність вирішення питань щодо негативного впливу вуглецю, підкреслюючи той факт, що технології, присвячені цій проблемі, можуть бути необхідними для досягнення загальних цілей.

ЄС стимулює розвиток УЗВ-технологій і сприяє їх використанню за допомогою проведення програм наукових досліджень і розвитку, законодавчої бази, демонстрації фінансування та Системи Торгівлі Викидами (СТВ), встановлюючи ціну на викиди CO<sub>2</sub>.

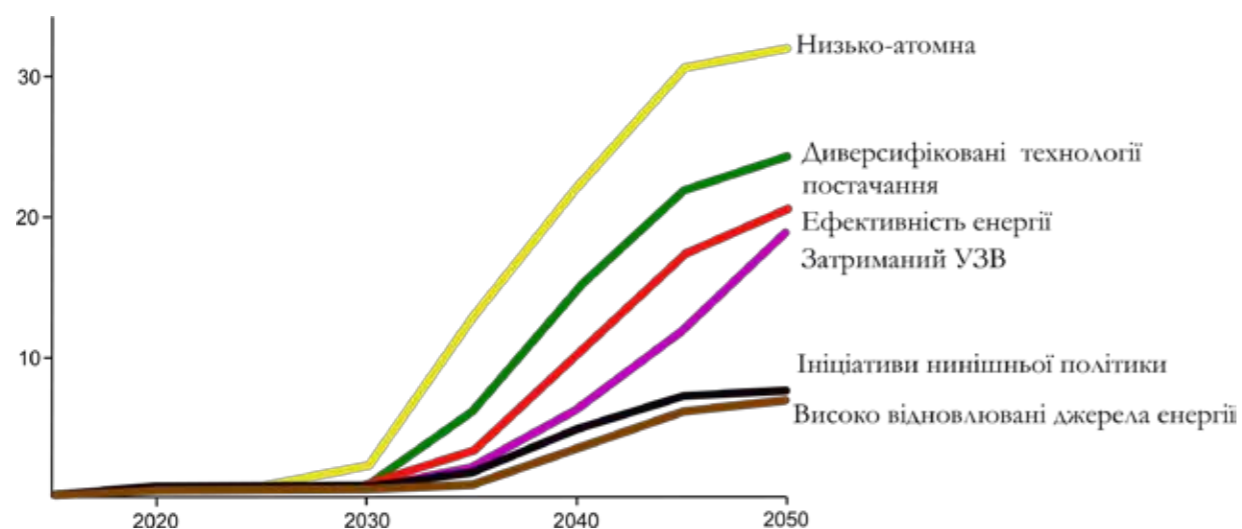


Рисунок 4 Прогнозована частка УЗВ у виробленні енергії ЄС (%) в моделі енергетичної системи для програми перспектив 2050.

- Євросоюз ввів Директиву 2009/31/ЄС з геологічного зберігання діоксиду вуглецю, відому як "CCS Директива" (European Commission, 2009). Ця Директива, що підлягає виконанню всіма Державами-членами, є правовою основою для управління ризиками екології та охорони здоров'я, пов'язаними з УЗВ-технологією, це стосується також вимог щодо складу потоків діоксиду вуглецю, зобов'язань на отримання дозволів, моніторинг, звітність, перевірки, коригувальні заходи, закриття та пост-закриття.
- Розвиток транскордонної мережі для транспортування діоксиду вуглецю був включений до пропозиції Європейської комісії у 2011 році щодо регулювання і підтримки кризової транс-Європейської енергетичної інфраструктури. Дана діяльність спрямована на впорядкування процедури видачі дозволів та надання необхідної ринкової і прямої фінансової підтримки ЄС задля здійснення проєктів, що становлять спільний інтерес.
- У 2010 році в рамках Європейської Енергетичної програми для відновлення економіки було призначено 1 млрд євро фінансової підтримки шістьом заводам з демонстрації УЗВ-технологій. Другим джерелом фінансування додаткових проєктів з демонстрації УЗВ є Програма фінансування "NER300". Це фінансування за рахунок виділення 300 млн квот ЄС, зарезервованих для нових учасників СТВ ЄС. Схема була призначена для підтримки програм з демонстрації УЗВ-технологій та поновлюваних джерел енергії. Наразі, вартість квот ЄС від СТВ була значно нижчою, ніж очікувалося, у зв'язку з падінням цін на квоти, що було викликано економічним спадом. У зв'язку з цим жодні УЗВ-проєкти не були профінансовані в першому турі, при цьому більшість УЗВ-проєктів не була підтверджена їх Державами-членами, і тому вони не мали права на фінансування.

- Спочатку Європейська комісія очікувала, що СТВ забезпечить належний економічний стимул для розвитку і впровадження УЗВ-технологій в Європі. Однак поточна слабка активність СТВ веде до переоцінки схем стимулювання. У 2013 році Комісія розпочала консультативне спілкування щодо майбутнього УЗВ-технологій в Європі, щоб забезпечити внесок зацікавлених сторін і стимулювати дискусію про реалізацію європейської ініціативи щодо УЗВ.

## Роль УЗВ-технологій в українській енергетиці та промисловості

Україна є однією з найбільш енергоємних економік у Європі. У питанні споживання енергії на одиницю продукції Україна має один з найвищих рівнів у світі, що дорівнює 2,369 тоннам еквіваленту CO<sub>2</sub> на мільйон доларів ВВП, це у п'ять разів перевищує середній показник ЄС (IBP, 2013). Вуглецева ємність є вкрай високою через наявність енергоємних галузей промисловості в поєднанні з неефективним використанням вугілля з високою ємністю вуглецю, газу і нафти, які є основними джерелами енергії (рис. 5). Україна входить у першу двадцятку країн з найвищим рівнем викидів діоксиду вуглецю в усьому світі (Martyniuk & Ogarenko, 2012). Оскільки кліматичні норми в глобальному масштабі стають все більш суворими, Україна матиме потребу у УЗВ-технологіях для вирішення проблем майбутніх викидів від електростанцій на ископному паливі і енергоємних галузей, таких як чорна металургія.



Рисунок 5 Первинні енергоресурси, 2010 (МЕА, 2012)



У 2011 році викиди CO<sub>2</sub> в Україні склали 305 млн. тонн, при цьому викиди від споживання енергії та промислових процесів припадали на 88% від загального числа (unfcs, 2012). У таблиці 1 наводиться розбивка поточних річних викидів від основних галузей в Україні, для яких застосовні УЗВ-технології, такі як виробництво електроенергії, виробництво чавуну і нержавіючої сталі і цементу. Процент викидів сектора електроенергетики в даний час дорівнює приблизно 33% викидів в Україні і вирішити проблему у даному секторі можливо за допомогою різних заходів, таких як використання інших видів палива, повторного використання і УЗВ-технології. Важка промисловість є домінуючою в Україні і на її долю припадає приблизно 33% викидів. Однак єдиною наявною технологією, здатною значно зменшити викиди з цих галузей є УЗВ-технологія. Це обумовлено тим фактом, що вуглець є неминучим продуктом технологічних викидів, а також обмеженими можливостями зміни палива, такими як коксівне вугілля в металургійній промисловості.

Українська електроенергетична галузь характеризується високою енергоємністю та низькою ефективністю (табл. 2). Теплоелектростанції, які працюють на вугіллі, застарілі і потребують модернізації. Станом на кінець 2010 року, 81% модулів теплоелектростанцій перевищили свій запланований термін служби у 200,000 годин роботи і потребують модернізації або заміни (Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine, 2012). Головним завданням для модернізації теплоелектростанцій є необхідність зменшення забруднення атмосферного повітря, таких сполук як SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> і суспендованих дрібних частинок, а також підвищення ефективності перетворення енергії. Енергетичний сектор України потребує великих і тривалих інвестицій для забезпечення його модернізації, безпеки і конкурентоспроможності. Масштаб необхідних інвестицій становить приблизно 170 мільярдів євро в період до 2030 року (IEA, 2012). Однак модернізація енергетичного виробництва України, передачі та сегментів кінцевого використання ледве розпочалася. На додаток до великих інвестицій, зазначених вище, значні суми будуть необхідні для виконання Директиви Європейського союзу про великі спалювальні установки, як це заплановано до 2018 року.

Таблиця 1 Розбивка УЗВ-застосовних енергетичних, галузевих і процесових викидів CO<sub>2</sub> в Україні (РКЗК 2012)

|                    | Енергетичні викиди (млн. тонн CO <sub>2</sub> ) | Процесові емісії (млн. тонн CO <sub>2</sub> ) | Загальні емісії (млн. тонн CO <sub>2</sub> ) | Викиди електроенергетичного сектора (% національних загальних викидів CO <sub>2</sub> ) | Викиди промислового сектора (% національних загальних викидів CO <sub>2</sub> ) |
|--------------------|---|---|--|---|---|
| Електроенергія     | 103   | -   | 103  | 33.7 %  | -   |
| Чорна Металургія   | 42.5  | 23.7  | 66.2   | -   | 21.6 %  |
| Аміачна Продукція  | 7.7   | 6.8   | 14.5   | -   | 4.7%  |
| Цементна Продукція | 9.6   | 10.9  | 20.5   | -   | 6.7 %   |
| Загалом            | 162.8   | 41.4  | 204.2  | 33.7 %  | 33.1 %  |

Таблиця 2 Встановлена потужність електростанцій 2010 (Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2012)

| Тип електростанції                | Встановлена потужність (МВт) |
|-----------------------------------|------------------------------|
| Теплоелектростанція               | 30,536                       |
| Атомна електростанція             | 13,835                       |
| Гідроелектростанція               | 4,596                        |
| Гідроаккумуляційна електростанція | 861                          |
| Поновлювана                       | 156                          |

В останні роки перспективи системи виробництва електроенергії в Україні є досить невизначеними. Затвердження урядом «оновленої Енергетичної стратегії України до 2030 року» може пройти певний шлях до розуміння того факту, що джерела енергії, як очікується, зроблять свій внесок в українське виробництво електроенергії. Місцеве використання вугілля для виробництва електроенергії є привабливим для українських інженерів-енергетиків завдяки підвищенню безпеки енергопостачання, створенню робочих місць, а також порівняно низькій вартості у порівнянні з імпортованим природним газом (підтвержені запаси вугілля в Україні оцінюються в 56.7 мільярдів тонн). Рисунок 6 описує три сценарії ролі видобутку вугілля з високим вмістом вуглецю до 2030 року (Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine, 2013) (UNDP, 2007). Песимістичний сценарій передбачає невеликий спад у виробітку вугілля, проте у зв'язку з установкою нових потужностей загальне вироблення вугільної електроенергії залишається незмінним. Разом з тим, і за основним і за оптимістичним сценарієм встановлений виробіток вугілля збільшується разом із загальним виробленням вугільної електроенергії. За всіма трьома сценаріями видобуток вугілля з високим вмістом вуглецю залишається ключовим джерелом енергії на Україні (або тим джерелом, що отримує поширення). Це неминуче призведе до збільшення викидів діоксиду вуглецю і розвитку системи виробництва енергії з високим вмістом вуглецю після 2030 року у зв'язку з очікуваним терміном

експлуатації нових вугільних електростанцій. Українська промисловість є основним споживачем електроенергії, на її частку припадає 48% від загального споживання в Україні (рис. 7). По суті, тривала залежність України від видобутку електроенергії з вугілля призведе до високого вмісту вуглецю у всіх економічних галузях. Майбутнє використання УЗВ-технологій буде єдиним засобом значного зменшення викидів діоксиду вуглецю при одночасному забезпеченні використання ресурсів вітчизняного вугілля.

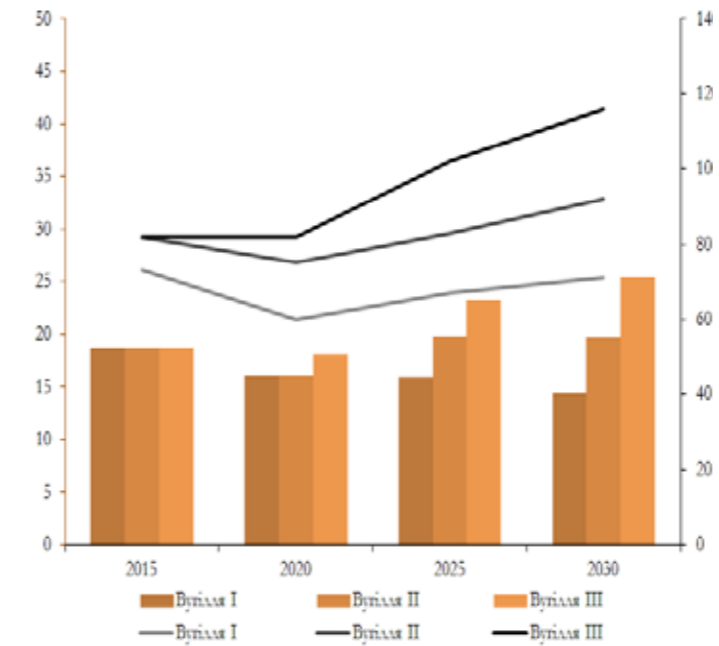


Рисунок 6 Очікуваний встановлений виробіток вугілля (GW) і сценарії виробітку вугілля (TWh) (I - песимістичний, II - основний, III - оптимістичний) (Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine, 2013)

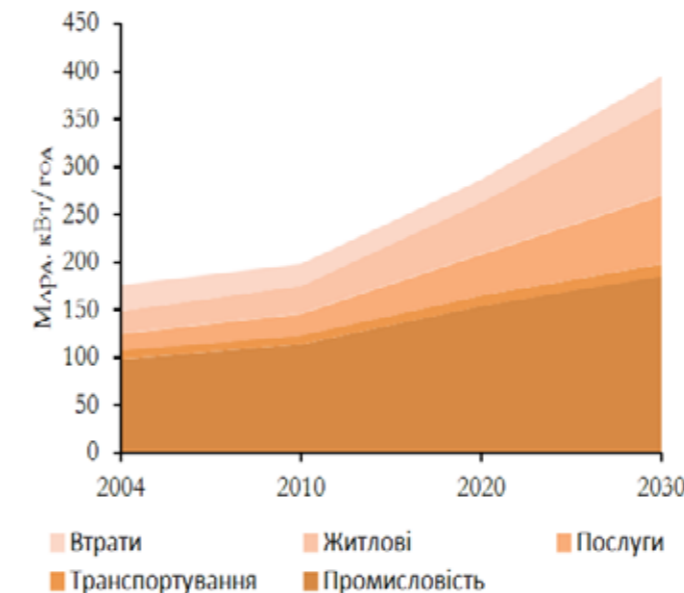


Рисунок 7 Оцінки майбутнього попиту на українську електроенергію за секторами (UNDP, 2007)

Галузі промисловості з високою інтенсивністю викидів мають вирішальне значення для української економіки, частка промисловості у ВВП складає 26%, забезпечуючи при цьому 32% робочих місць. У 2010 році обсяг металопродукції дорівнював 34,5% від усього експорту, у той час як обсяг добрива дорівнював близько 2% (МІТ, 2013). Металургійна промисловість має особливе значення, в 2007 році виробництво нерафінованої сталі досягло максимуму в 42,8 млн. тонн (USGS, 2007). Технологія уловлювання та зберігання CO<sub>2</sub> є єдиною технологією, яка може забезпечити значне скорочення викидів, що є необхідним для низької української енергоємності галузей (ZEP, 2013). Майбутні вимоги до України істотно скоротити викиди діоксиду вуглецю таким чином вимагатимуть застосування УЗВ-технологій поряд з добривом, цементом та рафінуванням металів в металургійній промисловості.

Використання коксівного вугілля може бути індикатором майбутніх викидів діоксиду вуглецю від металургійної промисловості. На рисунку 8 показано обсяги викидів парникових газів при збільшенні видобутку вугілля, його спалювання та виробництва чавуну і сталі до 2030 року. Очікувалося, що використання вугілля коксохімічною галуззю збільшиться майже в два рази з 2005 по 2010 рік, і очікується таке поступове збільшення до 2030 року. Очевидно, що обсяг викидів парникових газів відповідно до чинних прогнозів зростатиме як з боку виробництва енергії так і металургійної промисловості.

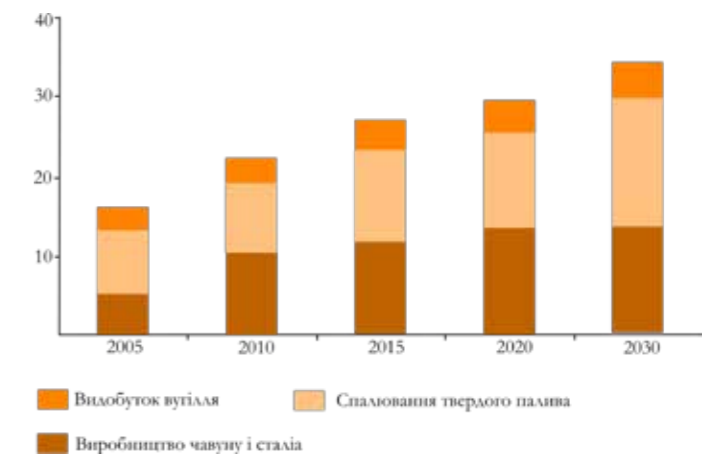


Рисунок 8 Прогнозовані викиди парникових газів з вироблення та споживання вугілля в основному сценарії (еквівалентно тисячам тон діоксиду вуглецю) (Ministry of Fuel and Energy of Ukraine, 2006)

## Управління УЗВ-технологією

Економічна структура України, у якій переважають енергоємні галузі промисловості і зростаюча залежність від видобутку вугілля з високим вмістом вуглецю вимагатиме уловлювання та зберігання вуглецю, щоб значно скоротити викиди. Терміни впровадження УЗВ-технологій в Україні залежатимуть від міжнародних дій в області клімату, таких як угоди щодо викидів, коригування податкових зобов'язань, які стосуються основних торгових партнерів або всебічна угода про зміну клімату. Вплив ЄС у вигляді різних вимог для адаптації національного законодавства до європейської моделі буде також відігравати роль у необхідності технології скорочення викидів.

Ефективне використання УЗВ-технологій в Україні після 2030 року вимагає створення ресурсів в даний час, як людських, так і технічних. Мета цієї доповіді - забезпечити впровадження систем УЗВ, надання часткової інформації, включаючи технічний, економічний, правовий, експлуатаційний підходи до проблеми, а також аспекти впровадження та зв'язків з громадськістю.

Наступні розділи містять докладний опис процесу, необхідного для уловлювання і кондиціонування діоксиду вуглецю з точкових джерел викидів, транспортування CO<sub>2</sub> і розвитку і функціонування постійних місць зберігання CO<sub>2</sub> (рис. 9).

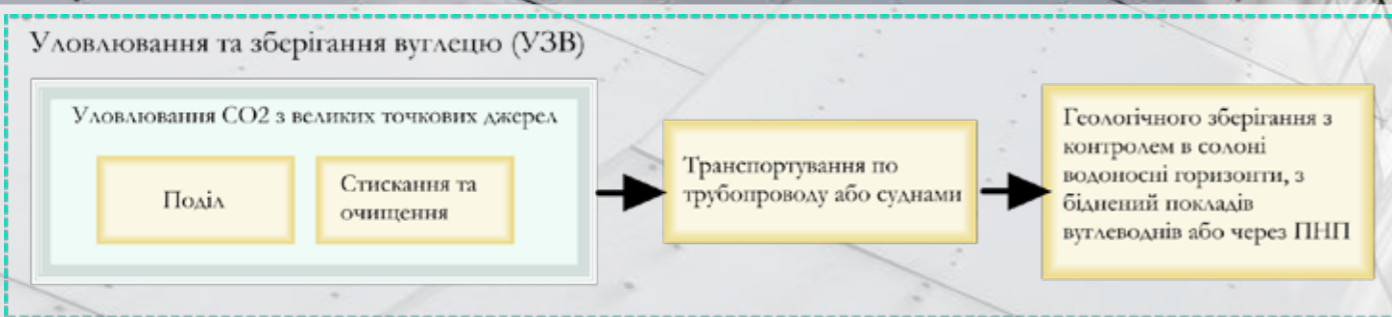


Рисунок 9. Послідовність спрощеного уловлювання і зберігання

## Спалювання збагаченого киснем палива

Чистий (або майже чистий) кисень використовують замість повітря в процесі спалювання для отримання димового газу з високою концентрацією CO<sub>2</sub>. У той час як у процесі спалювання збагаченого киснем палива конкретний етап відокремлення вуглекислого газу не є необхідним, існує початковий етап відокремлення, під час якого кисень відокремлюється від інших компонентів повітря, це в значній мірі визначає зниження виробництва енергії. Даний процес є універсальним і має застосування в енергетиці і промисловості, включаючи виробництво заліза, сталі і цементу.

## Уловлювання синтез газу/водню

За допомогою процесу газифікації можна отримати суміш водню, окису вуглецю і CO<sub>2</sub> з вихідного палива або біомаси. CO<sub>2</sub> може бути видалений, залишаючи паливо. У деяких випадках, де необхідно скоротити об'єм чистого водню або додаткових викидів, синтез газ можна замінити воднем під час конвертації оксиду вуглецю у вуглекислий газ, що виділяється. Цей шлях називають уловлювання до спалювання у процесах вироблення електроенергії. Така технологія є інтегрованою газифікацією комбінованого циклу вугільної електростанції. Тут вугілля газифікується і перетворюється на водень і CO<sub>2</sub>, при цьому водень спалюється в газовій турбіні.

## Технології уловлювання діоксиду вуглецю

Доступні та розробляються різні технології для уловлювання CO<sub>2</sub> у промислових процесах. У таблиці 3 наводиться короткий виклад використання основних технологій уловлювання CO<sub>2</sub> в галузях з високим вмістом вуглецю. Вибір технології уловлювання буде залежати від різних критеріїв, таких як рівень розвитку технології, її застосування, якщо об'єкт є новим або модернізованим, капітальні та експлуатаційні витрати.

## Процес уловлювання після спалювання

CO<sub>2</sub> відділяється від суміші газів в кінці виробничого процесу, наприклад, від димових газів після процесу спалювання. Уловлювання після спалювання може використовуватися в найрізноманітніших джерелах діоксиду вуглецю, таких як електростанції, нафтопереробні заводи, цементні заводи, металургійні заводи. Цей процес називають уловлювання після спалювання у процесах вироблення електроенергії, наприклад, у електростанції, що працює на вугільному пилу або газотурбінній електростанції комбінованого циклу. Уловлювання після спалювання, як правило, підходить для модернізації існуючих об'єктів. Найбільші енергетичні затрати, пов'язані із уловлюванням після спалювання, стосуються необхідності регенерації за допомогою тепла хімічних речовин, що використовуються для уловлювання CO<sub>2</sub>. Приблизно від 80% до 90% вуглекислого газу може бути уловлено за допомогою використання технологій після спалювання.

## Внутрішнє відокремлення

Генерація концентрованого вуглекислого газу є невід'ємною частиною процесу виробництва. Такі об'єкти, як азотно-тукові заводи, газопереробні заводи і заводи з виробництва біопалива на основі бродиння генерують потоки вуглекислого газу високої чистоти. В даний час вуглекислий газ, що згенеровано на таких об'єктах, зазвичай викидається в атмосферу.

## Компресія та сушіння CO2

Великі багатоступеневі компресори CO2 на даній момент є комерційно доступними. Вибір типу компресора значною мірою залежить від початкового тиску, що становить 1 бар для уловлювання після спалювання і киснево-паливного згоряння, в той час як тиск на вході під час уловлювання синтезу газу/водню може становити від 1.3 бар до 34.5 бар (Wolk, 2009). Для отримання низького вмісту води, необхідного для транспортних багатоступеневих компресорів CO2, між етапами використовуються дегідратійні блоки (Aboudheir & McIntyre, 2008). Компресія, необхідна для транспортування вуглецю в надкритичному стані в діапазоні між 80 до 200 бар, вимагає

значної кількості енергії. Це призводить до втрати енергії у 5% на електростанції, обладнаній УЗВ. Потужність CO2-компресора, необхідна для електростанції, що використовує пілоподібне вугілля (ПВ), становить від 8 до 12 % потужності заводу. Для об'єкта Boundary Dam coal CCS project в Саскачевані (Канада), встановленого на заводі потужністю у 110 МВт, необхідна компресійна установка CO2 потужністю 14 МВт (Couturier & Mello, 2013). CO2-компресори в даній час поставляються такими компаніями, як Dresser-Rand & Ramgen, MAN Diesel & Turbo і GE (Kuzdzal, 2012).

Таблиця 3 Запропоноване використання технологій уловлювання вуглекислого газу у різних секторах з високою ємністю CO2 (IEA, 2011)

|   |                | Процес після спалювання           | Збагачене киснем паливо                                | Синтез газ-Водень                           | Невід'ємне відокремлення                       |
|---|----------------|-----------------------------------|--|---|--|
| Вироблення енергії                          | Вугілля        | Вугільний пил                     | Спалювання збагаченого киснем палива                   | Інтегрована газифікація комбінованого циклу | -  |
|   | Газ            | Комбінований цикл природного газу | Киснево-паливна турбіна                                | Перетворення газу                           | -  |
| УЗВ-галузь                                  | Металургія     | Уловлювання доменних печей        | Спалювання збагаченого киснем палива                   | Відновлення водню                           | -  |
|   | Рафінування    | Промислові нагрівачі              | Киснево-паливні промислові нагрівачі                   | -   | Вироблення водню                               |
|   | Цемент         | Піч барабанна                     | Піч барабанна для спалювання збагаченого киснем палива | -   | Лупінг кальцію                                 |
|   | Хімікати       | Промисловий нагрівач і ТЕЦ        | Киснево-паливні промислові нагрівачі і ТЕЦ             | -   | Виробництво добрив                             |
|   | Переробка газу | -                                 | -  | -   | Підсолодження                                  |
| З негативним показником вивільнення вуглецю | Біомаса        | Паливо на біомасі                 | Спалювання   | КЦКГ  | -  |
|   | Біопаливо      | -                                 | -  | Біомаса до ріднини                          | Ферментація етанолу і сучасних видів біопалива |

### Дослідження попереднього проектування (FEED):

Нижче наведений список відповідних досліджень FEED для застосування УЗВ до різних вугільних електростанцій.

Scottish Power, проект Longannet, UK completion, Департамент енергетики та зміни клімату

- Запропонована модернізація методу уловлювання CO2 на основі амінів після спалювання на існуючій електростанції, що використовує пілоподібне вугілля

E.ON, проект Кінгсорт, UK completion, Департамент енергетики та зміни клімату

- Уловлювання на основі амінів після спалювання на запропонованій новій електростанції, що використовує пілоподібне вугілля

ROAD CCS, не конфіденційний звіт про дослідження FEED, Спеціальний звіт для Інституту глобального уловлювання та зберігання вуглецю (2011), і проект Rotterdam Capture and Storage Demo project

- Уловлювання на основі амінів після спалювання на запропонованій новій електростанції, що використовує пілоподібне вугілля

Уроки, винесені з проекту Jämschwalde, доповідь про мережу європейського проекту з демонстрації УЗВ

Захід з обміну знаннями Котбус, (2012)

- Запропоноване киснево-паливне спалювання на новому вугільному блоці

## Викиди від електростанцій, оснащених технологією УЗВ

Уловлювання CO<sub>2</sub> на електростанції дозволить знизити викиди CO<sub>2</sub> в атмосферу на 85-98%. Застосування УЗВ-технологій також призведе до зняття інших шкідливих речовин, в тому числі SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> і суспендованих твердих частинок. Таблиця 4 показує відносну зміну коефіцієнта викидів речовини за рахунок застосування певної технології уловлювання CO<sub>2</sub> (Koornneef, et al., 2011). Значення 1.0 означає відсутність змін у коефіцієнті викидів у порівнянні з інформацією із заводу, не оснащеного технологією уловлювання CO<sub>2</sub>. Об'єм NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> і суспендованих твердих частинок, як правило, зменшується або залишається незмінним порівняно з викидами на об'єктах без технологій уловлювання CO<sub>2</sub>. Наприклад, на вугільних електростанціях, оснащених технологією уловлювання CO<sub>2</sub> після спалювання, рівень викидів SO<sub>2</sub> значно нижче в порівнянні з електростанціями без таких технологій. Це є необхідною умовою для удосконалення десульфуризації димових газів (ДДГ) об'єктів до процесу після спалювання.

## Модифікована технологія уловлювання та зберігання CO<sub>2</sub> (CCSR)

Легкі і не витратні заходи можуть бути прийняті раз для забезпечення своєчасного та економічно ефективного впровадження УЗВ-технологій в майбутньому. CCSR є методом зменшення викидів CO<sub>2</sub> в майбутньому. CCSR у своїй основній формі вимагає застосування технологій УЗВ на великих точкових джерелах CO<sub>2</sub>. Часто також вимагається оцінка можливих місць зберігання, трубопровідних маршрутів CO<sub>2</sub> і зарезервованих місць для відділення CO<sub>2</sub> та уловлювання одиниць. CCSR - це варіант політики, що може забезпечити розробку, затвердження і спорудження нових об'єктів за допомогою методу, що дозволяє модифікувати УЗВ-технології у відповідний час у майбутньому. Це може допомогти як операторам, так і економіці в цілому уникнути блокування потенційно дорогих і недоречних технологій боротьби з випромінюванням. CCSR також дозволяє інвесторам отримувати інформацію про можливу перспективу використання УЗВ, повідомляючи про їх інвестиційні рішення сьогодні, допомагаючи зменшити можливість економічних збитків у майбутньому. У Європейському Союзі CCSR вже є вимогою, відповідно до статті 9а Директиви про великі спалювальні установки та статті 33 Директиви CCS.

Таблиця 4 Середнє, мінімальне і максимальне значення для визначення коефіцієнту уловлювання вуглецю, визначене для CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> і суспендованих твердих частинок (Курнесев і співавт., 2010)

| Технологія уловлювання |         | CO <sub>2</sub> | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | ТЧ   |
|------------------------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|------|
| Після спалювання       | Вугілля | 0.1             | 0.15            | 0.94            | 0.71 |
|                        | Газ     | 0.13            | -               | 1.00            | -    |
| Кисень                 | Вугілля | 0.05            | 0.06            | 0.42            | 0.06 |
| Синтез газ             | Вугілля | 0.11            | 0.45            | 0.85            | 1.00 |

## Стаття 9а

1. Держави-члени повинні забезпечити, щоб оператори всіх спалювальних установок з номінальною електричною потужністю у 300 мегават або більше, яким надається ліцензія на початкове будівництво або, при відсутності такої процедури, ліцензія на початкову експлуатацію після набуття чинності Директиви 2009/31/ЄС Європейського парламенту і Ради від 23 квітня 2009 року про геологічне зберігання вуглекислого газу, оцінили чи дотримуються наступні умови:

- доступні відповідні місця зберігання,
- транспортні можливості є технічно і економічно доцільними,
- модифікація в цілях уловлювання діоксиду вуглецю є технічно і економічно доцільною.

2. Якщо умови в пункті 1 дотримані, то компетентний орган повинен гарантувати, що зарезерована відповідна ділянка на місці встановлення обладнання, яке необхідне для уловлювання і стиснення діоксиду вуглецю. Компетентний орган повинен визначити, чи дотримані умови на основі оцінювання, зазначеного в пункті 1, та іншої наявної інформації, зокрема, що стосується захисту навколишнього середовища і здоров'я людини.

На практиці, за вимогами статті, усі нові теплоелектростанції потужністю більше 330 МВт мають провести оцінку того факту, чи є придатним місце для зберігання, а також оцінювання технічної та економічної доцільності транспортування CO<sub>2</sub> і модернізації технологій уловлювання діоксиду вуглецю. Технологія CCSR особливо необхідна в таких країнах, як Україна, де в даний час і в середньотерміновій перспективі шанси на проведення УЗВ з-за невідповідності вартості CO<sub>2</sub> відсутні. Таким чином CCSR може забезпечити нормативну опору, готуючи промисловість та енергетичний сектор для використання УЗВ-технологій. CCSR є критично першим необхідним кроком у розгортанні УЗВ-технологій.

## Рекомендована література:

Global CCS Institute 2012, CCS READY POLICY AND REGULATIONS –THE STATE OF PLAY, Progress towards the implementation of CCS Ready policy and regulatory frameworks

(Глобальний Інститут УЗВ 2012, ПОЛІТИКА І РЕГУЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ CCS READY - СТАН СПРАВ, Прогрес у справі впровадження політики CCS та нормативно-правова база)

Article 33 of the CCS Directive (the 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 (OJ L 140, 5.6.2009, p. 114))

(Стаття 33 Директиви УЗВ (Директива 2009/31/ЄС Європейського парламенту і Ради від 23 квітня 2009 року про геологічне зберігання вуглекислого газу і Директива Ради з поправками 85/337/ЄЕС, Директиви Європейського парламенту і Ради 2000/60/ЄС, 2001/80/ЄС, 2004/35/ЄС, 2006/12/ЄС, 2008/1/ЄС та Регламент (ЄС) № 1013/2006 (OJ L 140, 5.6.2009, с. 114))

Bellona (2011) CCS readiness at Šoštanj: Ticking boxes or preparing for the future?

(Беллона (2011) готовність УЗВ у Šoštanj: галочки для опитування або підготовка до майбутнього?)





## ПРИКЛАД:

Типова сучасна надкритична електростанція у 380 МВт на пілоподібному вугіллі з показником уловлювання CO<sub>2</sub> – 90% дозволить запобігти виходу в атмосферу 2650000 тонн CO<sub>2</sub> в рік. Типова технологія уловлювання для такого об'єкта буде представляти собою систему очищення газу аміном з можливістю запобігти виходу в атмосферу 10 000 тонн CO<sub>2</sub> в/день після спалювання палива.

В той же час, використання додаткового обладнання після спалювання потребує споживання додаткової електроенергії, що призводить до перевитрат енергії. В результаті впровадження технології будуть додаткові витрати пари для регенерації розчинників, витрати енергії, необхідної для стиснення, а також витрати енергії пов'язані з роботою допоміжного обладнання виробничого процесу уловлення. (Singh, 2013). Використання пари для регенерації розчинників призводить до перевитрат приблизно 55-70% енергії від загальної кількості, з розширеним результатом компресії, використанням циркуляційних насосів розчинника й вентиляторів (Zahra, 2009). Перевитрати електричної енергії призводять до чистого зниження ефективності в обмін на електроенергію низького вуглецю. Доповідь MEA "вартість і ефективність уловлювання діоксиду вуглецю при виробленні електроенергії 2011" оцінює уловлювання після спалювання на вугільній електростанції для зменшення загального коефіцієнту корисної дії на 25%, що призводить до збільшення витрати палива для отримання еквівалентної потужності.

$EOP = 1000 \times [Втрата\ потужності\ генератора + Енергія\ стиснення + Додаткова\ потужність / Масова\ витрата\ CO_2]$

Перевитрати електричної енергії (EOP) (kWhе/т CO<sub>2</sub>)

Втрата потужності генератора парової турбіни (МВт)

Потужність компресії (МВт)

Допоміжний коефіцієнт (МВт)

Масова витрата CO<sub>2</sub> (т/год)

Однак при заміні або модернізації існуючих заводів, оснащених УЗВ-технологіями, загальний коефіцієнт корисної дії може стати вище показників початкових застарілих генеруючих потужностей. Це пов'язано з установкою модернізованих котлів і турбін, а також обладнання для уловлювання, за чим слідує накази про використання палива та виробництво енергії з низьким вмістом вуглецю. У Саскачевані (Канада), комплексна модернізація енергоблоку № 3 та установка обладнання для уловлювання після спалювання на граничній вугільній електростанції призвели до підвищення коефіцієнту ефективності від початкового показника у 31% до 34%. Таким же чином вивчення проектної документації (FEED) для запропонованого у Йеншвальде (Німеччина) проекту УЗВ показало, що новий блок, обладнаний УЗВ, матиме коефіцієнт корисної дії (36%) існуючих не послаблених блоків, що функціонують на заводі. Це фактично означає, що перевитрата енергії не відбувалась би між новим блоком видобутку вуглецю, включаючи компресію, і старшим не послабленим функціонуючим заводом (Vattenfall, 2012).

## Транспортування

Транспортування CO<sub>2</sub> трубопроводами є перевіреною технологією. Насправді, CO<sub>2</sub> транспортували за допомогою трубопроводів у США з 1970 року. Розвинена мережа трубопроводів для транспортування CO<sub>2</sub> існує в США, Канаді та Угорщині для підвищення нафтовиддачі пластів (ПНП). У результаті був накопичений великий досвід роботи з робочими трубопроводами високої надійності. У даному випадку CO<sub>2</sub> традиційно отримують з природних резервуарів і транспортують до нафтових родовищ, куди він вводиться для збільшення видобутку нафти. У зв'язку з підвищенням попиту на CO<sub>2</sub>, завдяки комерційному успіху ПНП, CO<sub>2</sub> все частіше надходить з антропогенних (штучних) джерел, наприклад, з об'єктів з видобутку добрива та установок з газифікацією вугілля (GCCSI, 2012).

CO<sub>2</sub> транспортується в трубопроводах з вуглецевої сталі того ж загального типу і специфікації, що використовується для транспортування природного газу високого тиску. Зазвичай прийнято використовувати сталь для трубопроводів класу API 5L X65 або X70 через її високий робочий тиск (Seiersten & Kongshaug, 2005). Існують і додаткові незручності, в першу чергу це - корозії, закупорювання та структура потоку, що є здебільшого результатом домішок, присутніх в потоці CO<sub>2</sub>, таких як H<sub>2</sub>O. Корозія є результатом потоку надмірно вологого вуглецю. CO<sub>2</sub> і вода утворюють м'яку вугільну кислоту, що з часом може призвести до пошкодження сталевих трубопроводів. Тим не менш, корозії можна уникнути за допомогою простих оперативних заходів і достатнього просушування потоку CO<sub>2</sub> (Det Norske Veritas, 2010). Аналогічним чином закупорювання трубопроводів, викликане утворенням гідрооксидів в потоках вологого CO<sub>2</sub>, може бути зменшено за допомогою просушки.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Гідрати CO<sub>2</sub>, що мають льодоподібний стан, стійкі при конкретних температурах і тиску.

Таблиця 5 Огляд основних виявлених проблем, пов'язаних з різними компонентами

| Компонент        | Особливості        |                             |                    |                 |           |       |      |         |          | Коментар  |
|------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------|-----------|-------|------|---------|----------|---|
|                  | Здоров'я і безпека | Продуктивність трубопроводу | Розчинність у воді | Утворення водню | Матеріали | Втома | Злам | Корозія | Операції |   |
| CO <sub>2</sub>  | *                  | *                           | *                  | *               | *         | *     | *    | *       | *        | Негорючий, без кольору, запаху за низьких концентрацій, низько токсичний, випаровування важчі повітря |
| H <sub>2</sub> O |                    |                             |                    | *               | *         | *     | *    | *       | *        | Нетоксичний   |
| N <sub>2</sub>   |                    | *                           | *                  |                 |           |       |      |         |          | Нетоксичний   |
| O <sub>2</sub>   |                    |                             | *                  |                 |           |       |      | *       |          | Нетоксичний   |
| H <sub>2</sub> S | *                  | (*)                         |                    |                 | *         | *     | (*)  | *       |          | Горючий, сильний запах, дуже токсичний за низьких концентрацій  |
| H <sub>2</sub>   |                    | *                           | *                  |                 |           |       | *    |         |          | Горючий, не конденсується у робочих умовах трубопроводу   |
| SO <sub>2</sub>  | *                  |                             | *                  |                 |           |       |      | *       |          | Негорючий, сильний запах  |
| CO               | *                  |                             | *                  |                 |           |       |      |         |          | Негорючий, токсичний  |
| CH <sub>4</sub>  |                    | *                           | *                  |                 |           |       |      |         | *        | Без запаху, горючий   |
| Аміни            | *                  |                             |                    |                 |           |       |      |         |          | Потенційний професійний ризик   |
| Гліколь          | (*)                |                             |                    |                 |           |       |      | (*)     |          | Потенційний професійний ризик   |
| Розділ           | 3.3.3              | 4.5.3                       | 2.3.5              | 4.5.11          | 5         | 5.6   | 5.5  | 5.1     | 7        |   |

Таблиця 6 Специфікація трубопроводу, запропонована проектом Dynamis and Ecofys

|                  | DYNAMIS                 |             | ECOFYS                   |
|------------------|-------------------------|-------------|--------------------------|
|                  | Зберігання              | ЗНО         |                          |
| CO <sub>2</sub>  | >95.5%                  |             | >95%                     |
| H <sub>2</sub> O | 500 частиць на мільйон  |             | <500 ppm                 |
| SO <sub>x</sub>  | 100 частиць на мільйон  |             | Не критичний             |
| NO <sub>x</sub>  | 100 частиць на мільйон  |             | Не критичний             |
| H <sub>2</sub> S | 200 частиць на мільйон  |             | <200 частиць на мільйон  |
| CO               | 2000 частиць на мільйон |             | <2000 частиць на мільйон |
| H <sub>2</sub>   | <4 % об'єму             | <4 % об'єму | <4 % об'єму              |
| Ar               |                         |             |                          |
| N <sub>2</sub>   |                         |             |                          |
| O <sub>2</sub>   |                         |             |                          |
| CH <sub>4</sub>  |                         |             |                          |

## Технічні вимоги щодо транспортування

CO<sub>2</sub> завжди стискається під дією високого тиску перед транспортуванням у трубопроводі. Це робиться для зменшення обсягу, необхідного для транспортування, а також для того, щоб упевнитися, що CO<sub>2</sub> знаходиться у стані, в якому його можна легко транспортувати трубопроводом. Найбільш економічний варіант для трубопроводів CO<sub>2</sub> - це транспортування CO<sub>2</sub> в надкритичній фазі над його "критичною точкою". Сучасні CO<sub>2</sub>-трубопроводи працюють з показником тиску від 86 бар до приблизно 200 бар при температурі повітря в межах від 4°C до 38°C (Seevam, et al., 2008). Крім того, тиск для стиснення CO<sub>2</sub>, при надходженні до трубопроводу буде варіюватися від місця до місця, в залежності від необхідного тиску низхідної інжекції для зберігання CO<sub>2</sub>, зводячи до мінімуму або уникаючи потребу у повторній компресії (API 5L, 2007).

## Повторне використання існуючих мереж газопроводу

Через Україну пролягає велика мережа газопроводу. Якщо нинішні тенденції збережуться, великі ділянки цієї мережі стануть недостатньо використовуваними і непотрібними для нової економічної системи. У деяких випадках такі трубопроводи можуть бути перепризначені для транспортування CO<sub>2</sub> з метою зберігання чи використання. Це приваблива перспектива, тому що утилізація старих трубопроводів може знизити вартість УЗВ-проектів, особливо ранніх комерційних проектів з одночасним використанням національної інфраструктури.

Повторне використання газопроводів для транспортування CO<sub>2</sub> може бути обмежено, тому що транспортування CO<sub>2</sub> вимагає функціонування трубопроводів при більш високих тисках, ніж більшість існуючих газопроводів. Якщо цілісність трубопроводу належним чином доведена, то існуючі

газопроводи можна використовувати для транспортування CO<sub>2</sub>, за умови, що таке використання відповідає належним кодам конструкції. Повторне використання трубопроводу в Україні, ймовірно, буде обмежено транспортуванням CO<sub>2</sub> в газовій фазі. Дві основні технічні умови, які необхідно дотриматись - це робочий тиск (у відповідності з існуючими матеріалами, права проходу), а також ретельне обстеження незначних компонентів, таких як клапани та ущільнювальні кільця, щоб переконатися у їх повній сумісності з процесом транспортування CO<sub>2</sub>. Два запропоновані проекти з демонстрації УЗВ в Шотландії (Longannet і Captain Clean energy) мали за мету використання існуючих газопроводів високого тиску для транспортування CO<sub>2</sub> (National Grid plc, 2012). У багатьох випадках повторне використання трубопроводів може виявитися неможливим через невідповідні потужності, обмежений термін служби, обмежену гарантію на альтернативне використання, виведення з експлуатації або неналежне розташування.

Оцінювання повторного використання трубопроводу потребуватиме наступне:

- Підхід управління цілісністю для оцінки придатності трубопроводу з метою розробки основного плану дій. (Rabindran, et al., 2011)
- Збір даних та оцінка ризиків є ключовими для розробки плану і будуть розглянуті будь-які можливі проблеми, які потребують розгляду, для повторного використання трубопроводу.

## Міжнародні стандарти трубопроводу CO<sub>2</sub>

Рекомендований передовий досвід швидко формується і глобально стандартизується.

ISO/TC 265 – Уловлювання діоксиду вуглецю, транспортування і геологічне зберігання. Стандартизація проектування, будівництво, експлуатація, екологічне планування і управління, управління ризиками, квантифікація, моніторинг та верифікація, а також пов'язана діяльність в області уловлювання діоксиду вуглецю, транспортування і геологічного зберігання (УЗВ).

### Рекомендована література:

Det Norske Veritas (2010) *Recommended Practice Dnv-Rp-J202 Design And Operation Of CO<sub>2</sub> Pipelines 2010* (Det Norske Veritas (2010), *Рекомендована практика Dnv-RP-J202 Проектування та експлуатація трубопроводів CO<sub>2</sub> 2010*)

US Federal Requirements under the Underground Injection Control (UIC) Program for Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) Geologic Sequestration (GS) Wells & Class VI Rule (Федеральні вимоги США з Контролю Глибинної Інкєкції (UIC) Програма для діоксиду вуглецю (CO<sub>2</sub>) Геологічна ізоляція (GS) Wells & Class VI Правило)

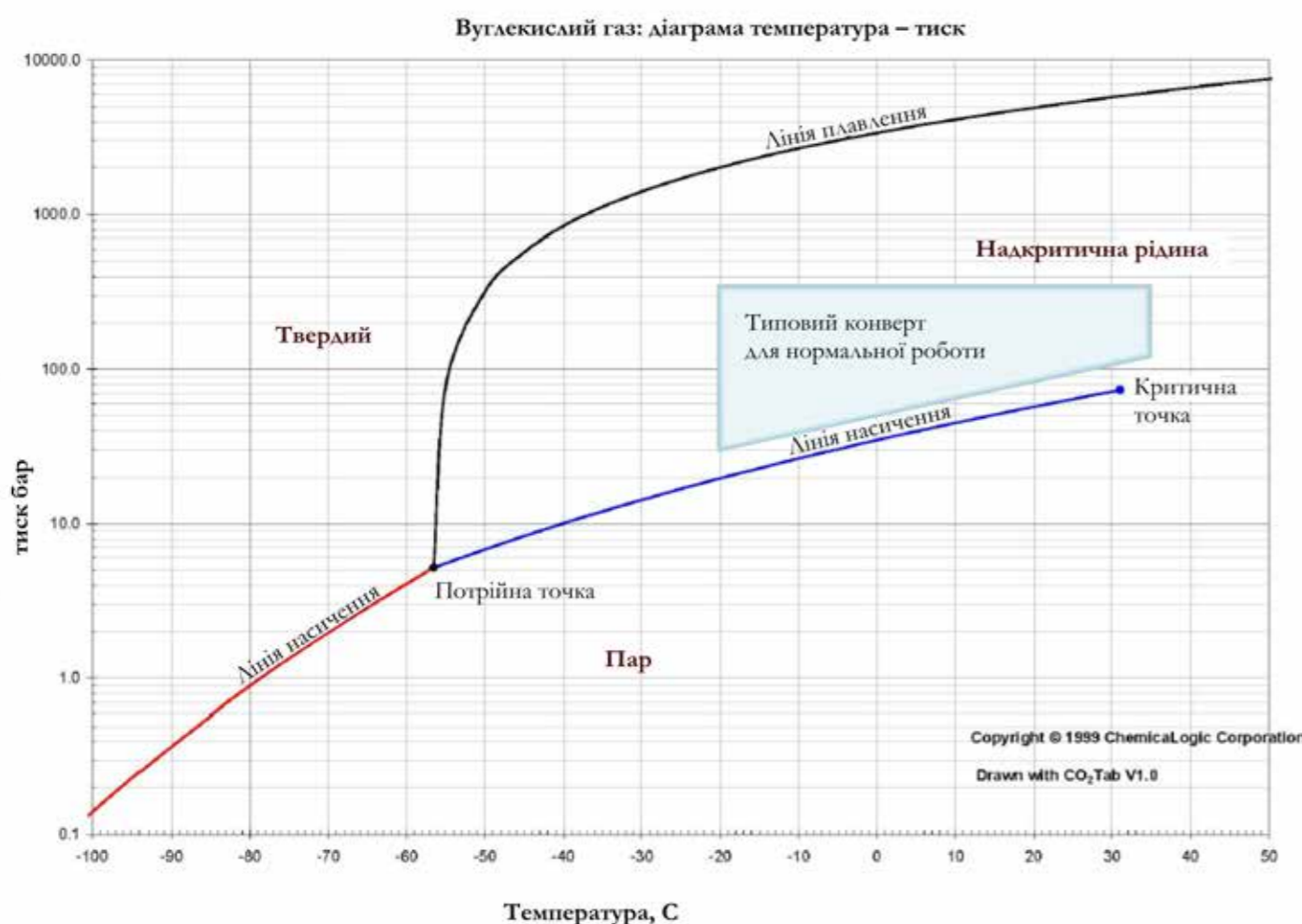


Рисунок 10 Типова компресія і діапазон стискання для транспортування і зберігання CO<sub>2</sub>.

### Досвід регулювання США

У США, трубопроводи для транспортування CO<sub>2</sub> у щільній фазі були класифіковані як трубопроводи для транспортування небезпечної рідини, і, отже, регулюються Департаментом транспорту США відповідно до Кодексу федеральних правил 49CFR195. Виявляється, що більшість операторів розробили свої трубопроводи консервативно з використанням коду ASME B31.8 для газопроводів, оскільки цей код є більш рестриктивним, ніж код конструкції небезпечної рідини, і також враховує щільність населення у визначенні максимально допустимої напруги в трубопроводі (CCSa, 2010).

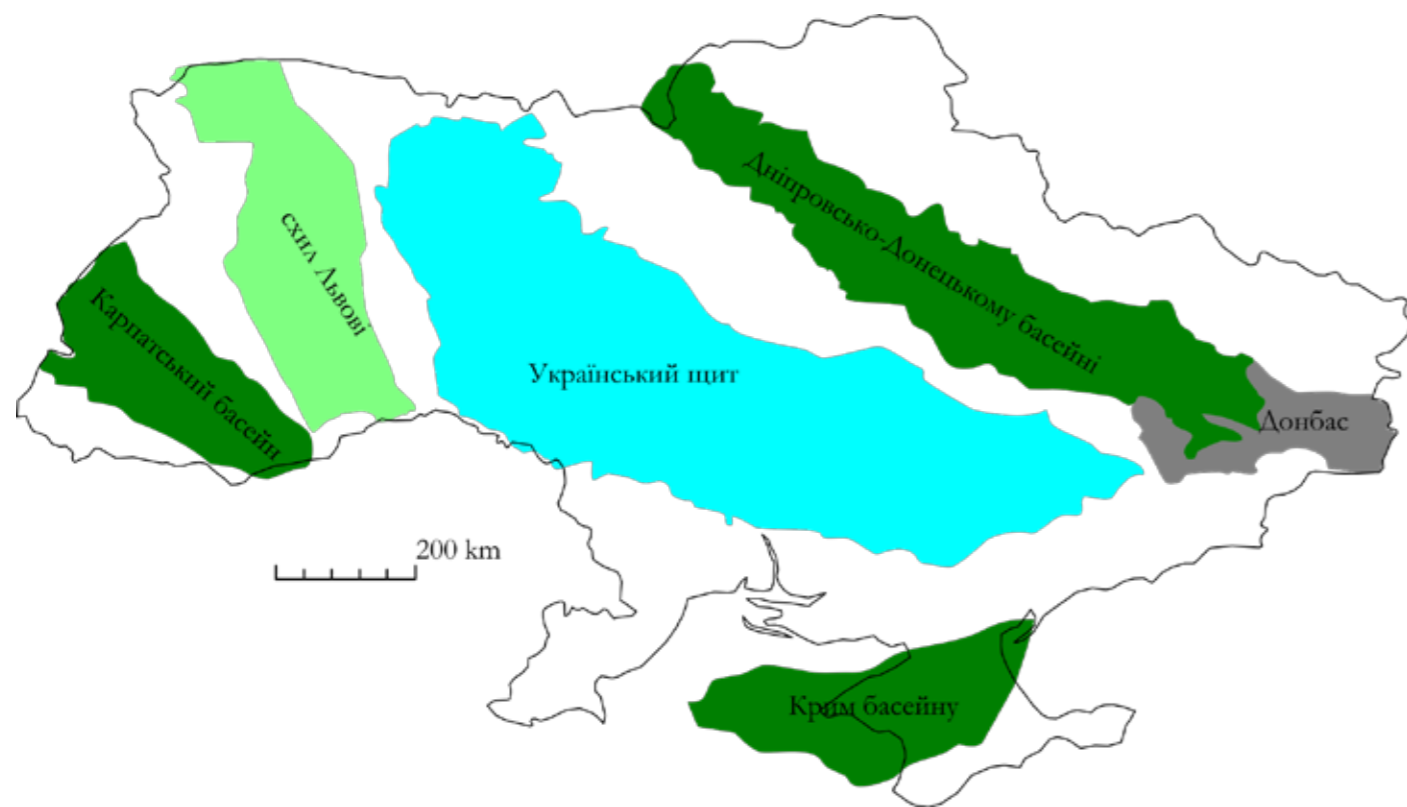


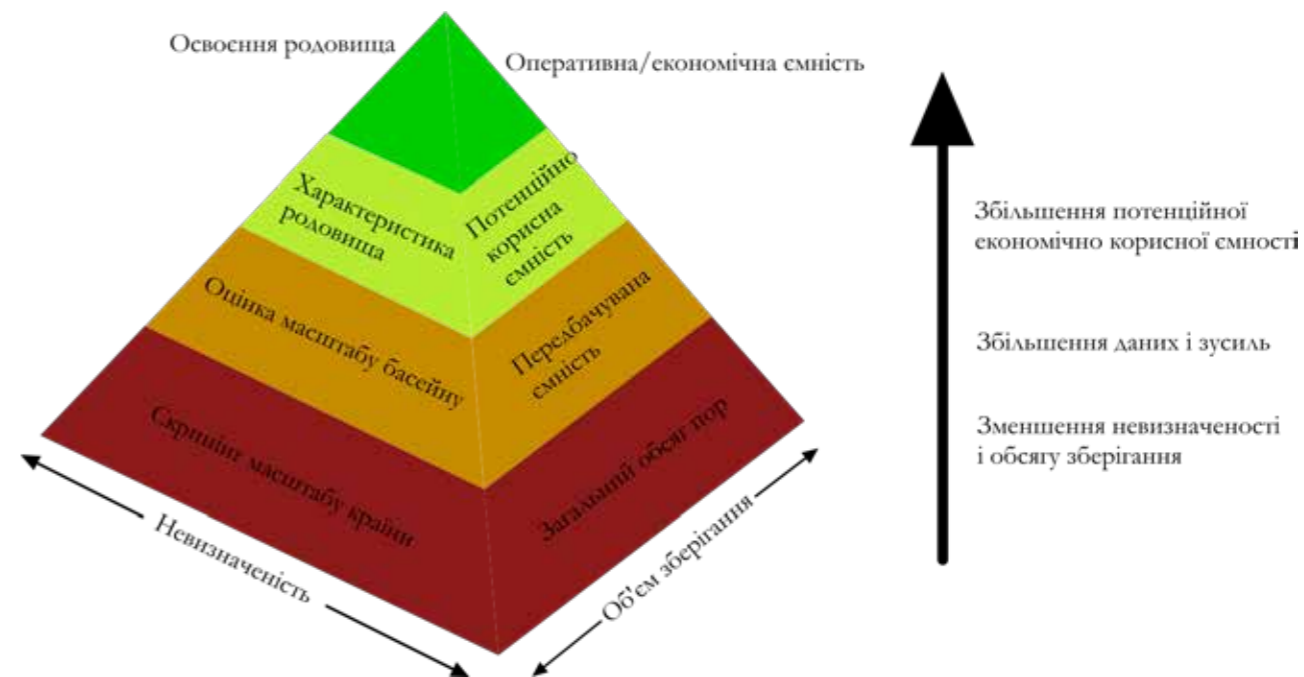
Рисунок 11 Басейни добування корисних копалин в Україні

## Зберігання CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> постійно зберігається глибоко під землею у придатній гірській породі. Відповідні геологічні формації знаходяться в шарах пористої породи, які мають простір, куди можна помістити CO<sub>2</sub>, подібно до того, як губка має вільний простір для води. Щоб упевнитись, що CO<sub>2</sub> міститься в шарі пористої гірської породи, поверх пористого шару має лежати твердий, непористий шар породи, створюючи "межу", що не дозволяє CO<sub>2</sub> проникати вгору. Підземне зберігання CO<sub>2</sub> потребує практично тих же методів і принципів, які використовуються в нафтовій і газовій промисловості. Процес дуже схожий до підземного зберігання газу. Геологічне зберігання CO<sub>2</sub> може здійснюватися в різних геологічних умовах в басейнах добування корисних копалин. Формації можливого зберігання в межах цих басейнів є нафтовими родовищами, вичерпаними родовищами газу, глибокими шарами залягання кам'яного вугілля і шарами залягання солончаків. Існують умови для сховищ CO<sub>2</sub> на суші в Україні в Дніпро-Донецькому басейні на сході та на схилі Львова та Молдови на Заході (Рисунок 11).

Взагалі CO<sub>2</sub> можна зберігати у вичерпаних покладах нафти і газу. Їх перевага у тому, що вони мають досить інформації з виробничих операцій. Однак ємність зберігання CO<sub>2</sub> на вичерпаних покладах вуглеводню в Україні часто обмежена. Подібні утворення, знані, як шари залягання солончаків, пропонують набагато більший потенціал для зберігання CO<sub>2</sub> в Україні. Шари залягання солончаків представляють собою глибокі осадові породи, насичені пластовими водами або водами із високою концентрацією розчинених солей, ці утворення, як правило, ідентичні покладам вуглеводню, але без вуглеводню. Сольові утворення розповсюджені на Україні, і мають потенціал для постійного зберігання великих обсягів CO<sub>2</sub>.

Проект «Слейпнер» в Північному морі є одним із прикладів зберігання CO<sub>2</sub> в сольовій формації. Родовище з видобутку газу на шельфі Слейпнер у Північному морі, з вересня 1996 року закачує 1 млн т CO<sub>2</sub> на рік без жодної ознаки на протікання.



### Вимоги до зберігання: Як ми оцінюємо сховища CO<sub>2</sub>?

Загалом, геологічні сховища повинні мати:

- достатню ємність і прийомність
- належний покривний пласт або обмежувачий блок
- досить стабільне геологічне середовище, щоб уникнути порушення цілісності місця зберігання

Визначення безпечних місць зберігання CO<sub>2</sub>, які відповідають всім цим вимогам є важливим процесом. Лише невелика частина від загального потенціалу зберігання в українських басейнах добування корисних копалин буде придатним місцем зберігання CO<sub>2</sub>. Процес визначення параметрів може бути розділений на три етапи:

- Оцінювання структури басейну і обстеження місця
- Детальна характеристика місця
- Обладнання місця або "придатного до обліку" зберігання

Основні питання, що викликають занепокоєність стосовно зберігання CO<sub>2</sub>, це – пористість<sup>3</sup> і товщина (для ємності зберігання) і проникність<sup>4</sup> (для впорскування). Будова резервуара для зберігання має бути вкрита великими обмежувальними блоками, такими як сланці, солі або пласти ангідриту для того, щоб CO<sub>2</sub> не мігрував в розміщені вище, але пусті товщі. Подібні блоки уловлюють і зберігають нафту і газ протягом мільйонів років. На практиці, CO<sub>2</sub> стискується перед закачуванням до стану цільної рідини, що відома як "надкритична фаза" CO<sub>2</sub>. Залежно від рівня зростання температури із збільшенням глибини в земній корі, щільність CO<sub>2</sub> буде збільшуватися з глибиною, приблизно до 800 м або більше, де введений вуглець буде в цільному надкритичному стані. Використовуючи ці дані разом з оцінкою ефективності зберігання CO<sub>2</sub><sup>5</sup> і очікуваним збільшенням тиску, допустимим у формації, можна отримати початкову оцінку ємності зберігання формації CO<sub>2</sub> (Рівняння 1). У таблиці 7 надається опис рекомендованих мінімальних критеріїв для місць зберігання CO<sub>2</sub>.

### Рівняння 1 Потенціал зберігання CO<sub>2</sub>

$$Q = A \cdot D \cdot \varphi \cdot \rho_{CO_2} \cdot hst^6$$

<sup>3</sup> Простір між зернами гірської породи, заповнений водою  
<sup>4</sup> Фактична взаємопов'язаність простору між зернами гірської породи, заповненого водою  
<sup>5</sup> Очікуваний обсяг пір, використовуваних при зберіганні CO<sub>2</sub>  
<sup>6</sup> Q – це ємність зберігання в кг, A – це майданне поширення водоносного горизонту (м<sup>2</sup>), D – це кумулятивна товщина гірських порід придатного резервуара (м), φ – це ефективна пористість (<1), hst – це ефективність зберігання (<1), і ρCO<sub>2</sub> – щільність (кгм-3) чистого вуглецю в пластових умовах.

Таблиця 7 Рекомендовані критерії для передбачуваного місця зберігання CO<sub>2</sub>

| Властивості резервуара             |  |
|------------------------------------|--|
| Глибина                            | >1000 м <2500м   |
| Товщина формації                   | >50 м  |
| Пористість                         | >20%   |
| Проникність                        | >50 mD   |
| Солоність                          | >100gl <sup>-1</sup>   |
| Стратиграфія                       | Постійна   |
| Покривний пласт                    |  |
| Бічна цілісність                   | Стратиграфічно постійна, незначна або без недоліків  |
| Товщина                            | >100 м   |
| Капілярний тиск входу              | Набагато більший ніж максимальне передбачуване підвищення тиску, викликане закачуванням  |
| Ефективність резервуара            |  |
| Ємність для статичного зберігання  | Оцінена ефективна ємність зберігання набагато більша ніж загальна кількість CO <sub>2</sub> , що має бути введена                                |
| Ємність для динамічного зберігання | Передбачуване підвищення тиску, викликане закачуванням нижче рівнів, ймовірно, викличе геомеханічне пошкодження резервуара або покривного пласта |

### Збір даних

Місце зберігання і навколишнє середовище має бути охарактеризовано з наданням геологічних, гідрогеологічних, геохімічних і геомеханічних характеристик (структурна геологія та деформація у відповідь на стресові зміни). Найбільший акцент необхідно зробити на резервуар і його межу ізоляції. Тим не менш, шари над формацією для зберігання і покривним пластом також мають бути охарактеризовані. Басейни добування корисних копалин або їх частини, що мають багато недоліків і переломів, зокрема, в сейсмічно активних зонах, вимагають ретельного складання специфікації, щоб підходити для зберігання CO<sub>2</sub>.

Документація характеристик того чи іншого місця зберігання буде спиратися на дані, які були отримані як безпосередньо з резервуара, так і на відстані. Безпосередні вимірювання включають в себе зразки ядра і рідини зі свердловин на території або поблизу передбачуваного місця зберігання, а також виміри тиску і перевірки на прийомистість для перевірки ефективності ущільнення. Непрямі вимірювання, такі як дані 2D і 3D комп'ютерного відображення сейсмічної ситуації і градієнти регіонального гідродинамічного тиску також грають важливу роль.

Своєчасний збір та інтеграція усіх різноманітних типів даних необхідні для отримання надійної і чіткої картини поверхневого шару ґрунту.

### Моделювання у поверхневому шарі ґрунту

Комп'ютерне моделювання також відіграє ключову роль у проектуванні та експлуатації проектів для підземного закачування CO<sub>2</sub>. Прогнози стосовно місткості резервуара і еволюції плейфу CO<sub>2</sub> з планом часу мають дуже важливе значення в первісному оцінюванні безпеки та доцільності зберігання. Моделювання може використовуватися в поєднанні з економічними оцінками для оптимізації розташування, кількості, конструкції і глибини нагнітальних свердловин. Ці моделі дають нам очікувану поведінку CO<sub>2</sub> під землею під час тривалості проекту зберігання. Дана змодельована поведінка пізніше порівнюється з реальними спостереженнями, зробленими в ході операцій з закачування CO<sub>2</sub> (Smith, et al., 2012).

Чисельні програми моделювання, що використовуються в даний час в нафтовій, газовій галузях та галузі геотермальної енергії, забезпечують важливі підгрупи необхідних можливостей. Вони є вдалим початком моделювання геологічного зберігання CO<sub>2</sub>.

Існуючі моделі для закачування та зберігання CO<sub>2</sub> мають багато невизначених аспектів через складну геологію. Вимірювання, що проводяться на свердловинах, надають інформацію щодо властивостей порід і флюїдів в цьому місці, але необхідно використовувати статистичні методи для оцінки характеристик середовища на відстані від свердловин. При моделюванні місця, в якому вже відбувається закачування або виробництво, стандартний підхід в нафтовій і газовій промисловості має скоригувати деякі параметри геологічної моделі, щоб ті відповідали спостереженням, що стосуються обраного місця. Це доводить, що модель є неточною, але вона надає додаткові обмеження на параметри моделі. Тим не менш, потрібні кращі моделі та інструменти моделювання.

### Процес визначення параметрів і "придатного до обліку" місця зберігання

Нижче наводиться спрощений опис того, як типова організація вивчає, характеризує і затверджує місце зберігання CO<sub>2</sub> в сольовому водоносному горизонті. Після того, як місце зберігання отримує дозвіл на зберігання і затверджується як придатне для тривалого зберігання CO<sub>2</sub>, воно отримує статус "придатного до обліку".

#### Попередній відбір місця:

До початкової фази відноситься етап попереднього відбору, в ході якого складається перелік потенційно придатних місць. Сюди належать аналіз табличних даних та польовий аналіз наявних даних, у тому числі, і основні дані, 2D і 3D сейсмічні, де це можливо, дані щодо лінії виходу пласта, виявлення потенційних літологій зберігання і покривних пластів і, нарешті, попередня ідентифікація структур геологічного уловлювання. У зв'язку з ризиком невідповідності будь-якого місця для зберігання CO<sub>2</sub>, два або більше місць з початкового переліку буде оцінено в подальшому (Smith, et al., 2012).



### Характеристика місця:

Цей етап включає більш детальний набір геологічних і петрофізичних досліджень, необхідних для оцінки і подальшого моделювання проектів для підземного закачування CO<sub>2</sub> в запропонованому місці зберігання (eaghg, 2011).<sup>7</sup>

- 2D та подальша 3D сейсмозвідка: необхідна для подальшого визначення геологічної структури поверхневого шару ґрунту і виявлення недоліків або переломів, які можуть призвести до появи шляхів витікання.
- Перший аналіз ризиків: включає в себе детальний аналіз структур (и) уловлювання, виявлених у ході сейсмозвідки. У тому числі попередні оцінки смності зберігання, визначення точок розливу і великих розломів, а також цілісності пломб. Попереднє моделювання проектів для підземного закачування CO<sub>2</sub> в потенційному резервуарі.
- Буріння першої свердловини: використовуватиметься для перевірки сейсмічних даних, характеристик резервуара і цілісності покривного пласта. Забезпечить геохімічні дані на скелі резервуара і зразки якості формування води, щоб продемонструвати ізоляцію між глибокими і поверхневими підземними водами.
- Другий аналіз ризиків: Детальне моделювання проектів для підземного закачування CO<sub>2</sub> в резервуар.
- Ліцензування тесту закачування: Дозвіл на закачування обмеженої кількості CO<sub>2</sub>/води в резервуар
- Тест на закачування: Оцінювання процесу закачування у резервуарі, контроль чутливості до тиску у резервуарі.
- Дозвіл: Влада вважає придатним місце зберігання, місце набуває статус "придатного до обліку".



Рисунок 12 Аналіз рішення щодо характеристики місця зберігання CO<sub>2</sub> (РКЗК, 2011)

### Скільки часу потребує зняття характеристик?

Своєчасний доступ до наявної смності зберігання CO<sub>2</sub> буде головною турботою будь-якого майбутнього передбачуваного проекту УЗВ в Україні. Забезпечення належним чином охарактеризованого місця зберігання потребує часу, і тому робота повинна починатися задовго до початку будівництва будь-якого заводу з уловлювання. На Рисунок 13 зазначені очікувані терміни, необхідні, щоб забезпечити придатне до обліку місце зберігання у можливих районах зберігання CO<sub>2</sub> і тих, що відмінно підходять для зберігання.

Терміни для розробки найбільш підходящих районів становлять від 4 до 12 років, подібно до термінів розробки сховищ газу, які в усьому світі становлять від 4 до 10 років, із середнім значенням у 8 років для проектів для зберігання природного газу в водоносних горизонтах. Для того щоб уникнути дорогих затримок розгортання УЗВ-технологій в майбутньому, процес зняття характеристик необхідно буде розпочати зараз. Такі прості кроки, як визначення найбільш перспективних районів, були б прекрасним стартом. Згодом експертиза в цих районах на зіставлення наявних даних про пористість, проникність, можливі покривні пласти і діючі свердловини забезпечить необхідну основу для подальших більш поглиблених досліджень. Європейські країни вже встановили цей шлях із Норвегії, складаючи атлас зберігання CO<sub>2</sub> в Північному морі, у той час, як Інститут енергетичних технологій у Великій Британії розробив онлайн базу даних для оцінки зберігання CO<sub>2</sub> (NPD, 2011) (ETI, 2012). Подібним чином проекти, що фінансуються Європейським Союзом, такі як GeoCapacity призвели до попередніх оцінок потенціалу зберігання у багатьох Європейських країнах (Vangkilde-Pedersen, 2011). Така робота вже розпочалася в Україні, з проекту, фінансованого ЄС, під назвою "Низьковуглецеві

можливості промислових регіонів України" (LCOIR-UA). У Донецькому басейні цей проект визначив певні девонські солоні водоносні горизонти в поєднанні з непроникними відкладеннями солей, що більш за все підходять для зберігання CO<sub>2</sub> безпосередньо поблизу великих промислових і енергетичних джерел викидів CO<sub>2</sub> (Рисунок 14) (Shestavin, et al., 2012) (lcoir-ua, n.d.). Далі потребується більш детальне кількісне оцінювання для отримання статусу придатного до обліку зберігання CO<sub>2</sub>, наприклад, структурний аналіз, сейсмозвідка, тестування на закачування і моделювання. Необхідні дослідження зусилля для того, щоб продовжити створення бази знань таким чином, щоб зберігання було економічно доступним і своєчасним.

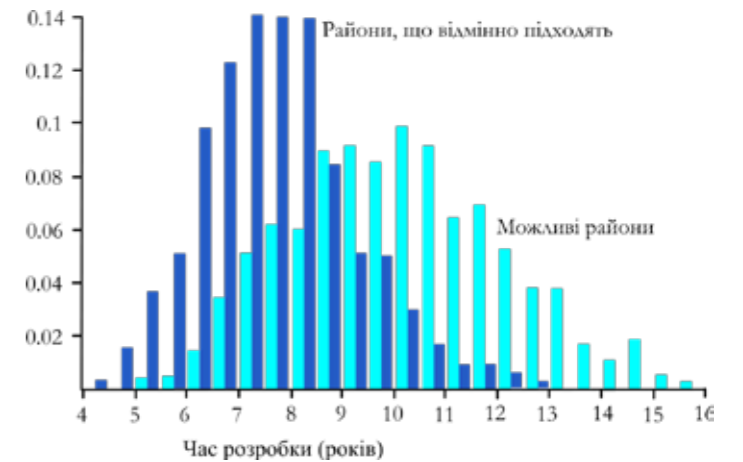


Рисунок 13 Глибокі солоні берегові формації – Розподіл часу для розвитку для можливих районів і тих, що відмінно підходять (РКЗК, 2011)



Рисунок 14 LCOIR-UA

<sup>7</sup> У випадку вичерпаних нафтових і газових родовищ попередні знання з дослідження вуглеводно, буріння і функціонування здатні забезпечити більшу частину даних.

## Зберігання природного газу в Україні.

Підземні сховища газу (ПСГ) та зберігання вуглецю мають багато правових, планувальних, технічних і оперативних подібностей. Україна має найбільшу ємність ПСГ в Європі, що дорівнює майже 33,000 мкм, приблизно 160% від загальної ємності сховища газу Німеччини (Gas Infrastructure Europe, 2012).<sup>8</sup> Індустрія ПСГ працює вже десятиліття на Україні, з технічними і професійними вимогами дуже схожими на вимоги для зберігання CO<sub>2</sub>. Однак, на відміну від ПСГ, УЗВ спрямована на постійне зберігання негорючого газу, а для ПСГ структурна пастка, як правило, є вимогою (ieaghg, 2011)).

Такий же досвід України стосовно поточних можливостей зберігання буде безпосередньо застосовний для зберігання CO<sub>2</sub> (EurActiv, 2013). Регіони, які підходять для ПСГ, також будуть придатними місцями зберігання CO<sub>2</sub>. Оскільки геологічні властивості і структури, необхідні для ПСГ і УЗВ дуже схожі, виконана робота з розширення ПСГ, можливо, безпосередньо поліпшить складання специфікації для місця зберігання CO<sub>2</sub>. Однак для цього зібрана інформація має бути доступною потенційним операторам зберігання CO<sub>2</sub>.

Таблиця 8 Сховища природного газу в Україні

| Сховище         | Компанія      | Тип                 | Ємність зберігання (мкм) | Ємність видалення (мкм/день) | Ємність закачування (мкм/день) |
|-----------------|---------------|---------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Богородчани     | Укртрансгаз   | Вичерпане родовище  | 2300                     | 50.04                        | 13.44                          |
| Більче-Волиця   | Укртрансгаз   | Вичерпане родовище  | 18150                    | 122.4                        | 100.8                          |
| Мрин            | Укртрансгаз   | Водоносний горизонт | 1500                     | 12.96                        | 8.4                            |
| Дашава          | Укртрансгаз   | Вичерпане родовище  | 2150                     | 24.96                        | 18                             |
| Глебівка        | Черноморнегаз | Вичерпане родовище  | 620                      | 6.24                         | 4.8                            |
| Кегичівка       | Укртрансгаз   | Вичерпане родовище  | 700                      | 7.68                         | 5.04                           |
| Червоно-Попівка | Укртрансгаз   | Вичерпане родовище  | 435                      | 4.68                         | 3                              |
| Олишівка        | Укртрансгаз   | Водоносний горизонт | 310                      | 3                            | 2.592                          |
| Опари           | Укртрансгаз   | Вичерпане родовище  | 2400                     | 20.04                        | 13.2                           |
| Пролетарка      | Укртрансгаз   | Вичерпане родовище  | 1000                     | 12.24                        | 6                              |
| Солоха          | Укртрансгаз   | Вичерпане родовище  | 1200                     | 9.48                         | 6.6                            |
| Угерське        | Укртрансгаз   | Вичерпане родовище  | 1800                     | 23.04                        | 12                             |
| Вергунка        | Укртрансгаз   | Вичерпане родовище  | 400                      | 4.08                         | 2.76                           |
| <b>Україна</b>  |               |                     | <b>32965</b>             | <b>300.84</b>                | <b>196.632</b>                 |

## Механізми зберігання та безпеки

Природні поклади відносно чистого CO<sub>2</sub> знаходяться по всьому світу в різних геологічних умовах. CO<sub>2</sub> уловлюється в такі природні резервуари протягом багатьох мільйонів років, що є явною ознакою того, що введений CO<sub>2</sub> можна зберігати протягом мільйонів років (Wilkinson, et al., 2009).

Механізм зберігання фізично вловленого CO<sub>2</sub> в пористій породі під покривними пластами і залишкове поглинання вуглецю, що рухається по формації для зберігання, одразу набирають чинності. У довготерміновій перспективі значна кількість CO<sub>2</sub> розчиняється в пластовій воді, все глибше занурюючись у формацію для зберігання. З часом CO<sub>2</sub> може пройти ряд геохімічних взаємодій з породою і пластовою водою (рис. 15).

Ефективність геологічного зберігання залежить від комбінації механізмів фізичного і геохімічного уловлювання. Основними механізмами безпечного зберігання є фізичне та залишкове уловлювання CO<sub>2</sub>, де розчинність і мінеральне уловлювання звичайно відіграють все більш важливу роль в довготерміновій перспективі.

### Фізичне поглинання

Найбільш ефективними сховищами є ті, де CO<sub>2</sub> в нерухомості, оскільки постійно утримується під товстим, ізолюючим шаром з низькою проникністю. Басейни добування корисних копалин мають такі закриті, фізично замкнені пастки або структури, в яких знаходяться переважно солоні води, нафта і газ. До структурних пасток належать ті пастки, що утворені складеними або тріснутими породами, і такі пастки формуються шляхом зміни типу породи, викликаної зміною в умовах, де залягали породи. При введенні CO<sub>2</sub>, необхідно дотримуватися обережності, аби не перевищувати допустимого тиску, щоб уникнути надлому покривного пласта або повторних дефектів. Коли вуглець вводиться в пласт, він зміщує флюїд соляної

формації, а потім активно переміщується вгору, тому що він є менш щільним, ніж вода. Коли він досягає верхньої частини пласта, він продовжує мігрувати як окрема фаза, поки не опиниться в якості залишкового поглинання CO<sub>2</sub> або в локальній структурній пастці всередині ущільнювальної формації. Поглинання може також відбутися в соляних формаціях, які не мають замкненої пастки, але де газ дуже повільно переміщується на великі відстані.

### Залишкове поглинання

Коли вуглець в надкритичному стані вводиться у формацію, він витісняє газ, оскільки рухається через пористу глибоку породу. У ході міграції CO<sub>2</sub> його заміняє газ, захоплюючи CO<sub>2</sub> в якості залишків рідини в пори, це робить його нерухомим. Подібним чином протягом мільйонів років зберігалася нафта.

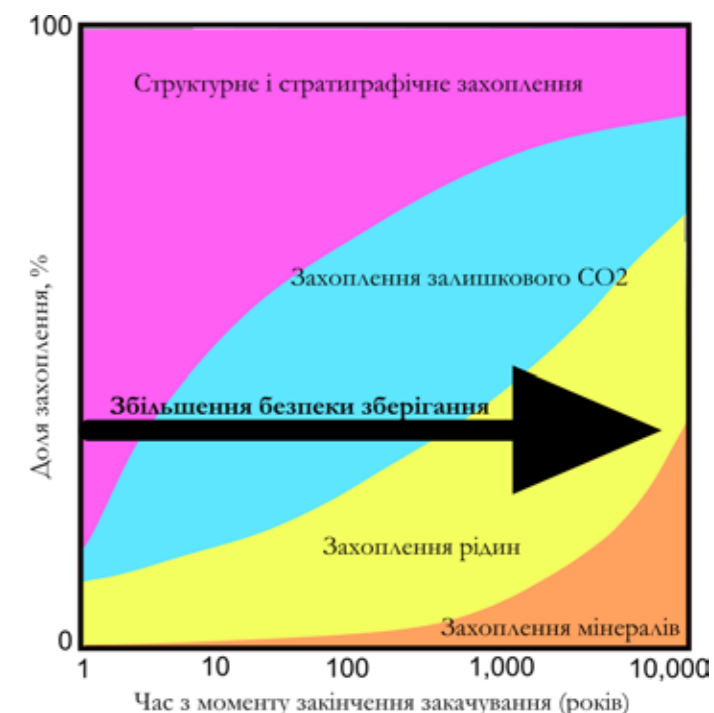


Рисунок 15 Механізми зберігання CO<sub>2</sub>



<sup>8</sup> WNU (2013) "Україна володіє найбільшими сховищами газу в Європі – Комісар ЄС з енергетики" Worldwide News Ukraine

### Розчинне поглинання

У довготерміновій перспективі значна кількість CO<sub>2</sub> розчиняється в пластовій воді, а потім мігрує з підземними водами. Якщо відстань від місця глибокого введення до кінця непроникної формації, розміщеної вище, складає сотні кілометрів, для газу, щоб досягти поверхні з глибокого басейну можуть знадобитися мільйони років. Основна перевага розчинного поглинання полягає у тому, що як тільки CO<sub>2</sub> розчиняється, він більше не існує як окрема структура, тим самим усуваючи підйомні сили, які змушують його підійматися вгору.

### Мінералізація

CO<sub>2</sub> у поверхневому шарі ґрунту може пройти ряд геохімічних взаємодій з породою і пластовою водою, що призведе до подальшого збільшення ємності зберігання і ефективності, цей механізм відомий як геохімічне захоплення або мінералізація. Розчинений у воді вуглець утворює іонні частинки, які вступають в реакцію з породою і утворюють стійкі карбонати. Цей процес можна назвати мінеральним уловлюванням, що є найбільш постійною формою геологічного зберігання. Мінеральне уловлювання йде порівняно повільно, потенційно процес займає тисячі років або більше. Тим не менш, стабільність мінерального зберігання, у поєднанні з потенційно великою ємністю зберігання в деяких геологічних умовах робить це бажаною властивістю тривалого зберігання.

### Управління ризиками протягом проектного циклу

Основними проблемами при виборі і експлуатації місця зберігання CO<sub>2</sub> є:

- Ризик витоку
- Вплив підвищення тиску в формації для зберігання

У правильно вибраному місці зберігання з чітко визначеними і безпечними покривними пластами ризик будь-яких великих витоків дуже незначний. У будь-якому випадку обсяги малих витоків можуть не досягати поверхні, оскільки CO<sub>2</sub> може мігрувати горизонтально через пористі шари або може бути зупинений додатковими непроникними шарами. Свердловини, що вийшли з ужитку, покинуті або неправильно укомплектовані є основними кандидатами на цілеспрямований витік, де CO<sub>2</sub> може перейти через обсадну трубу або бетон. З цієї причини дуже важливо, щоб всі легальні свердловини в районі передбачуваного зберігання були зареєстровані і задокументовані.

Під час введення CO<sub>2</sub> у резервуар, підвищення тиску може збільшити напругу в резервуарі і ізолюючій парі, а також в пластах вище, в кінцевому рахунку, це призводить до зломів у породі резервуара і покривного пласта. Тому важливо мати достатній обсяг інформації про властивості породи резервуара, і, особливо, про тиск розлому і властивості дефектів. Слід уникати надмірного підвищення тиску, щоб запобігти можливому пошкодженню цілісності покривного пласта. Аномальне підвищення тиску в нагнітальних свердловинах повинно перебувати під ретельним наглядом, а введення необхідно зупинити, якщо проблема залишиться. Проект зберігання CO<sub>2</sub> Snøhvit в Північній Норвегії мав подібні проблеми з введенням. Там було вирішено перенести закачування до альтернативного резервуара, що вирішило проблему. Це підкреслює необхідність гнучкого підходу до планування та експлуатації об'єктів зберігання, використовуючи всі доступні дані, щоб прийняти розумно обґрунтовані рішення (Aagaard, 2013).

### Моніторинг, вимірювання та верифікація (MMV)

Моніторинг, вимірювання та верифікація є найважливішим компонентом усіх кампаній зі зберігання CO<sub>2</sub>. Ідентифікація та відстеження CO<sub>2</sub> у поверхневому шарі ґрунту є необхідними операціями, проведення яких гарантує, що CO<sub>2</sub> залишається в межах прогнозів продуктивності і демонструє довготермінову безпеку зберігання. Моніторинг відіграє важливу роль у передачі місця зберігання державі після достатньої демонстрації безпеки зберігання. Може бути використаний широкий спектр методів моніторингу, з технологіями, обраними на основі властивостей кожного місця, залежно від законодавчих, географічних і геологічних характеристик. Моніторинг починається до процедури введення і триває протягом процедури введення і після її завершення до моменту демонстрації достатнього рівня безпеки зберігання і закриття майданчика. Перед початком моніторингу поверхневого шару ґрунту, зберігання може відбуватися ефективно, необхідне проведення базового обстеження. Це обстеження дозволить отримати точку порівняння для подальших обстежень. В огляд включено визначення базових природних потоків CO<sub>2</sub>, щоб пізніше, відрізнити природні потоки від потенційних виходів, пов'язаних зі зберіганням. Це може бути зроблено через тестування підземних вод з існуючих свердловин (TransAlta, 2013).

Стандартні процедури моніторингу в ході оперативної фази включають: рутинні вимірювання швидкості і тиску введення, моніторинг розподілу та міграції CO<sub>2</sub> у поверхневому шарі ґрунту з сейсмічними дослідженнями, контроль цілісності нагнітальних свердловин та моніторинг місцевих екологічних наслідків (Smith, et al., 2012).

Під час операцій з введення та моніторингу, можуть бути відкалібровані імітаційні моделі з метою відповідності польовим спостереженням. Потім вони можуть бути використані для оцінки впливу можливих оперативних змін, таких, як буріння нових свердловин або зміна швидкості введення, збільшуючи потенціал сховища CO<sub>2</sub> або резервуар, уникаючи при цьому міграції CO<sub>2</sub> крізь ймовірну точку розливу.

Нижче наводиться короткий приклад програми запланованого моніторингу проекту Quest Carbon Capture and Storage Project в Альберті (Канада). Оскільки цей проект сховища спрямований на оцінку ефективності різних технологій моніторингу, буде використано вичерпний масив інформації. Ціком ймовірно, що майбутні операції зі зберігання CO<sub>2</sub> будуть проводитися з використанням більш спеціалізованого та цільового плану MMV.

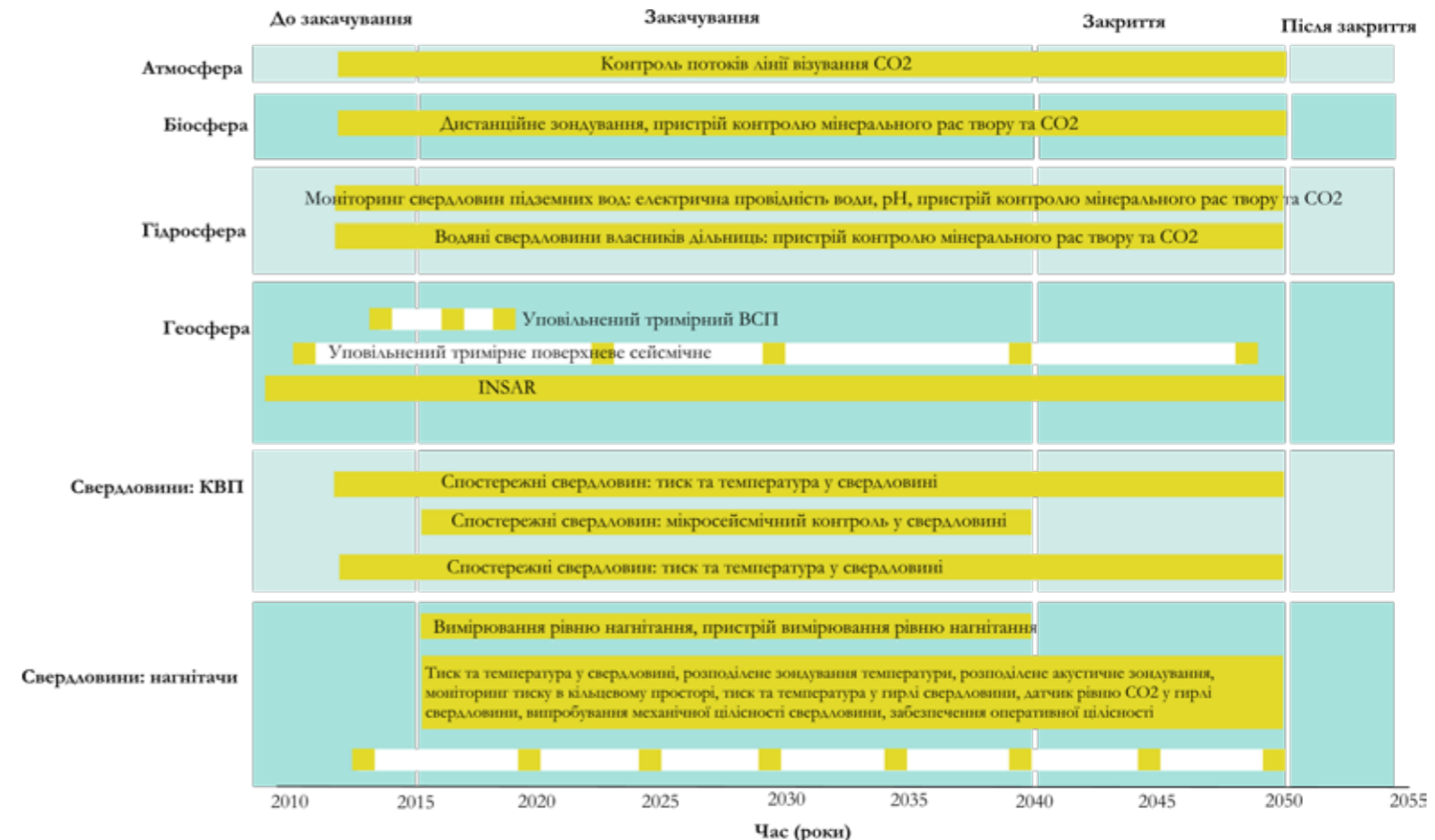


Рисунок 16 Компанія Shell Canada (2010), Проект Quest Carbon Capture and Storage Project, Том 1: Опис Проекту Додаток А: План моніторингу, вимірювання і перевірки (Shell, 2010)

## Передова практика громадської участі у програмі УЗВ

Громадська підтримка технологій УЗВ і відповідні заходи будуть необхідні для ефективного розгортання даних технологій.

Оскільки Україна тільки починає шлях до розгортання УЗВ-технологій, існує можливість формування позитивного старту УЗВ через діячів та зацікавлені сторони. Для досягнення подібного результату важливо, щоб початкові національні дискусії щодо УЗВ-технологій в Україні заклали основу для подальшого місцевого суспільного визнання (Киїрер, 2011). Ця стаття, серед іншого має на меті породження такої дискусії, яка б інформувала про роль УЗВ в економічно ефективній і сумісній декарбонізації української економіки. Раннє включення УЗВ в національні дебати щодо зміни клімату, утворення прийняття технології поряд з іншими низьковуглецевими технологіями, такі як енергія вітру, сонця і біомаси істотно полегшать шлях до розгортання.

Важливо відзначити, що за відсутності таких дискусій навколо сутності різних низьковуглецевих технологій, можуть виникнути негативні настрої громадськості та опозиції, викликані спекуляцією і перекручуванням фактів. Такий результат, який може серйозно обмежити потенційний внесок УЗВ-технологій, незалежно від їх технічних і економічних переваг призведе до збільшення вартості пом'якшення наслідків зміни клімату для всіх секторів української економіки і населення в довготерміновій перспективі.

Пробний запуск або демонстрація технології буде виступати в якості катализатора для такої дискусії, щоб представити поняття і можливості УЗВ-технологій Україні. Така демонстрація з плінном часу ознайомила б населення з УЗВ-технологіями, зменшила б рівень їх новизни, і призвела б до реального обговорювання. Подібним чином така демонстрація повідомлятиме українські центральні стратегії для підходів громадської участі на місцевому рівні. Ефективними методами синтезу і поширення інформації є культурні, національні особливості та особливості конкретної ділянки. Проект The Shell Quest project в Альберті (Канада) в даний час займається цим питанням, використовуючи різні форми взаємодії з зацікавленими сторонами, наприклад, дні відкритих дверей і виділену телефонну лінію для консультацій з громадськістю в районах запланованих трубопроводів і складських робіт (Heckel, 2012).

Була проведена велика робота з підготовки ефективних принципів і методичних наборів стосовно державної освіти щодо УЗВ-технологій в цілому і при плануванні індивідуальних проектів. Основні ресурси включають в себе керівництво з належної практики взаємодії із зацікавленими сторонами:

- Інститут світових ресурсів, (2010). Керівництво з залучення суспільства до проектів з уловлювання, транспортування і зберігання діоксиду вуглецю.
- NETL (2009). Поради і рекомендації для: зв'язків з громадськістю і освіти для проектів зі зберігання вуглецю. Міністерство енергетики (США), Доновідь DOE/NETL-2009/1391, сс. 62.
- ІЕЕР (2010) Огляд практики участі громадськості для проектів, пов'язаних і не пов'язаних з технологіями УЗВ у Європі

Постійні ключові повідомлення присутні у всіх стратегіях взаємодії із зацікавленими сторонами для планування окремих проектів УЗВ.

- Постійне повідомлення полягає в тому, що процес залучення не можна прискорити, і програма проекту потребує достатнього часу (Ashworth, et al., 2011).
- Громадськість очікує, що на її занепокоєння звернуть увагу і сприйматимуть їх серйозно (Desbarats, et al., 2010).
- Експерти з комунікацій та роботи з громадськістю мають бути невід'ємними членами команди проекту.
- Роз'яснювальна робота повинна стати невід'ємним компонентом управління проектом, що дозволяє адаптувати проект до його соціального контексту.
- Довіра суспільства до тих, хто надає інформацію, має вирішальне значення. Потенційно за участю експертів з академічних кіл або незалежних організацій, які будуть вважатися незалежними (Hammond & Shackley, 2010).
- Участь повинна мати реальний зміст, приймаючи форму активного і конструктивного двостороннього діалогу.



## Відповідальність

Захист належної відповідальності за зберігання CO2 операторами може в деяких законодавствах становити основні витрати або перешкоду на шляху до розгортання УЗВ. Для України важливо розробити закон, який вимагав би від операторів зберігання CO2 виконання вищезазначеного згідно з найвищими стандартами, але цей процес дуже обтяжливий, що заважає інвестиціям. Захист відповідальності відображає той факт, що якщо пошкодження заподіяні введенням і довготерміновим зберіганням CO2, сторона, що закачує, може нести фінансову відповідальність. Кілька типів схем захисту відповідальності були запропоновані для зберігання CO2, у тому числі гарантії зв'язку, страхування і державні гарантії.

Зобов'язання докладно описані у двох Статтях Директиви ЄС про зберігання 2009/31/ЄС. Тим не менш, багато експертів зараз вважають положення про відповідальність у Директиві про зберігання надмірно обтяжливими, потенційно уповільнюючими розвиток УЗВ.

- Стаття 19 містить керівні принципи для пунктів фінансової безпеки: до початку робіт необхідно встановити і періодично коригувати доказ адекватного забезпечення, щоб урахувати оцінений ризик витоків і передбачуваних витрат на всі зобов'язання згідно з дозволом. Відповідальність базується на ризику.
- Стаття 20 Директиви передбачає, що фінансові внески будуть доступними Компетентним органам до передачі зобов'язань, щоб покрити витрати на моніторинг протягом 30 років. Ці внески також призначені для покриття витрат, пов'язаних з постійним утриманням CO2 та відповідними коригувальними діями, такими як повторне підключення свердловин і т.д.

Уряд США ввів закон, що надає відповідальність тій стороні, що займається закачуванням вуглецю (NETL, 2013).

- У Північній Дакоті та Луїзіані відповідальність передається державі через десять років після припинення операцій з закачування, до отримання сертифікату цілісності резервуара.
- У випадку Луїзіани, цільовий фонд розміром у п'ять мільйонів доларів встановлюється для кожного інжектора протягом перших десяти років операцій з закачування. Цей фонд потім використовується державою для моніторингу CO2 і, у випадку помилки, виплат збитку.



## Скільки коштує УЗВ?

УЗВ є різноманітною технологією, із можливим застосуванням широкого спектру джерел CO<sub>2</sub>. Таким чином, додаткові витрати з встановлення УЗВ на виробництві або електростанції значним чином залежать від вибору технології як CO<sub>2</sub>-випромінювання так і процесу уловлювання, якщо проект новий або модернізований, типу палива, місця розташування, а також фінансових граничних умов, таких як термін амортизації, процентні ставки, а також ціни на паливо і сировинні товари. Довжина трубопроводу і характеристики резервуара для зберігання CO<sub>2</sub> також грають роль у загальних витратах проекту.

Рисунок 17 описує розбивку витрат Австралійського УЗВ-проекту на основі долара на тону обробленого CO<sub>2</sub> (GCCSI, 2012). Рисунок 18 описує і наводить приклад термінів проектування, будівництва, експлуатації та розміщення трьох основних розділів простого проекту УЗВ. Без УЗВ-технологій витрати ЄС на досягнення мети зі скорочення парникових газів на 30% до 2030 року можуть бути на 40% вище, ніж з УЗВ-технологіями (European Commission, 2008).

### Вартість технологій з уловлювання CO<sub>2</sub>

Вартість уловлювання CO<sub>2</sub> з електростанції або промислового об'єкта в цілому сприяє лівій частці капітальних і експлуатаційних витрат проекту УЗВ.

Витратами на впливи уловлювання CO<sub>2</sub> є:

- Концентрація CO<sub>2</sub> у джерелі
- Технологія уловлювання, що найбільш підходить до точкового джерела
- Нове будівництво або модернізація існуючого об'єкта
- Рівень застосування
- Наявність пари для активізації процесу

### УЗВ і вироблення енергії

У випадку вироблення електроенергії нормована вартість електроенергії (LCOE) часто використовується в якості основи для порівняння різних технологій. LCOE намагається взяти до уваги загальну вартість оперативного циклу, в тому числі первісну вартість капіталу заводу і експлуатаційні витрати протягом очікуваного терміну служби заводу. Таблиця 9 описує сьогоденну і очікувану еволюцію LCOE в євро за мегават-годину для УЗВ-технологій, застосовуваних до різних теплоелектростанцій (ZEP, 2011) (GCCSI, 2011) (IEA, 2011) (IEA, 2011). Передбачається, що очікувані поліпшення в технології та досвіді проектування призведуть до зниження капітальних і експлуатаційних витрат.

Іншим популярним методом порівняння вартості технологій уловлювання CO<sub>2</sub> є «вартість вловленого вуглецю» або витрати, необхідні для уловлювання однієї тонни CO<sub>2</sub> (рис. 19). Однак цей метод, не зважаючи на свою простоту, може ввести в оману, оскільки він не відображає капітальних витрат або кількості CO<sub>2</sub> необхідної для уловлювання, щоб виробити еквівалентний обсяг електроенергії. Наприклад, обсяг уловленого CO<sub>2</sub> після спалювання на електростанції на природному газі приблизно вдвічі перебільшує обсяг уловлювання з вугільного газового об'єкта, проте, вугільна газифікація призведе до вироблення приблизно в два рази більшої кількості CO<sub>2</sub>.

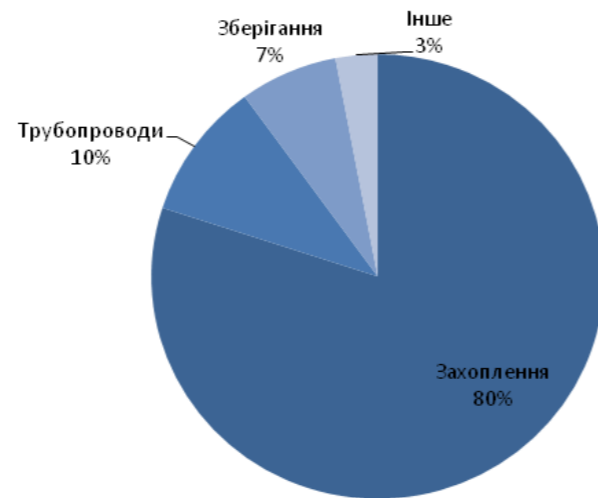


Рисунок 17 Розбивка витрат проекту УЗВ (Австралія) (GCCSI, 2012)

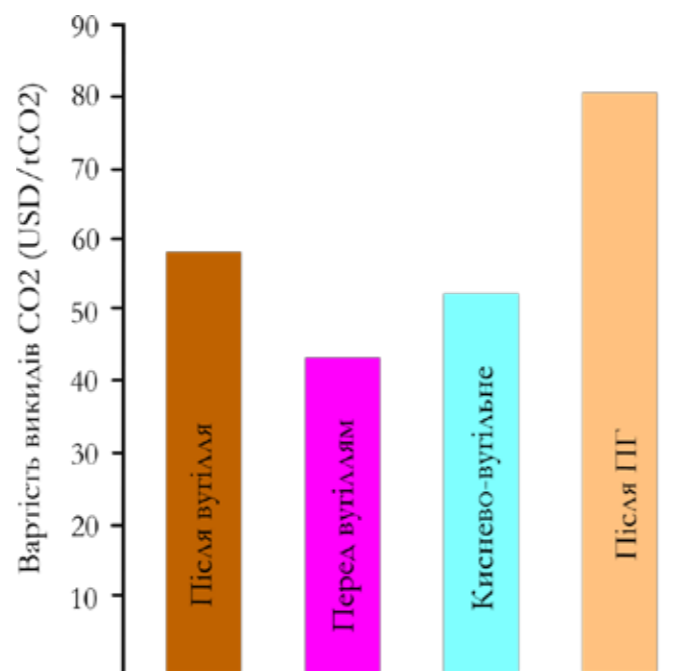


Рисунок 19 Обмінна вартість CO<sub>2</sub> з різних технологій уловлювання CO<sub>2</sub> (MEA, 2011)

| Завод                    | 3-річний період капітальних витрати |                         |   |   | 30-річний період експлуатації            |   |   |   |  |    |    |    |    |   |    |    |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------|---|---|--|---|---|---|--|----|----|----|----|---|----|----|
|                          | 5-річний період капітальних витрати |                         |   |   |  |   |   |   |  |    |    |    |    |   |    |    |
| Транспортування          | 3-річний період капітальних витрати |                         |   |   | 30-річний період експлуатації            |   |   |   |  |    |    |    |    |   |    |    |
| Зберігання та моніторинг | Регіональні оцінки                  | Характеристика родовища |   |   | Дозвіл (буріння нагнітальних свердловин) |   | 30-річний період експлуатації (моніторинг буріння свердловин) |   | 50-річний догляд за родовищем після нагнітання та закриття |    |    |    |    |   |    |    |
|                          | 1                                   | 2                       | 3 | 4 | 5  | 6 | 7   | 8 | /  | 35 | 36 | 37 | 38 | / | 86 | 87 |
| роки                     |                                     |                         |   |   |  |   |   |   |  |    |    |    |    |   |    |    |

Рисунок 18 Терміни для будівництва і експлуатації заводу з уловлювання, транспортування та зберігання (NETL, 2013 (Національна лабораторія енергетичних технологій))

Таблиця 9 Нормована вартість електроенергії (LCOE) (за винятком транспорту і зберігання) в євро за мегават-годину (€/МВтг) 1<sup>й</sup> з типу<sup>9</sup>, N<sup>й</sup> з типу<sup>10</sup>, Вугілля (основа)<sup>11</sup>, Вугілля PCC<sup>12</sup>, Киснева<sup>13</sup> IGCC<sup>14</sup>, Природний газ (основа)<sup>15</sup>, Газ PCC<sup>16</sup>

|                        | MEA                   | GCCSI                 | ZEP                   |                       |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                        | 1 <sup>й</sup> з типу | 1 <sup>й</sup> з типу | N <sup>й</sup> з типу | 1 <sup>й</sup> з типу |
| Вугілля (основа)       | 50                    | 53-55                 | -                     | 48                    |
| Вугілля PCC            | 81                    | 82-90                 | 79-88                 | 73                    |
| Киснева                | 77                    | 77-82                 | 75-81                 | 76-87                 |
| IGCC                   | 79                    | 84                    | 82                    | 80                    |
| Природний газ (основа) | 58                    | 64                    | 64                    | 72                    |
| Газ PCC                | 77                    | 83                    | 82                    | 104                   |

Таблиця 10 Порівняння технологій виробництва низьковуглецевої електроенергії (GCCSI, 2011)

| Технологія              | Рівнева вартість (€/МВтг) | Рівнева вартість (€/т CO <sub>2</sub> ) |
|-------------------------|---------------------------|---|
| Геотермальна            | 32-46                     | -29-0                                   |
| Гідроелектроенергетична | 39-45                     | -20-0                                   |
| Береговий вітер         | 51-65                     | -6-15                                   |
| Ядерна                  | 51-71                     | -5-19                                   |
| Біомаса                 | 61-85                     | 7-37                                    |
| <b>УЗВ (вугілля)</b>    | <b>67-105</b>             | <b>22-69</b>                            |
| <b>УЗВ (газ)</b>        | <b>81-90</b>              | <b>51-80</b>                            |
| Прибережний вітер       | 110-162                   | 68-133                                  |
| Сонячна теплова         | 140-200                   | 138-153                                 |
| Сонячна фотоелектрична  | 166-200                   | 137-180                                 |

9 1<sup>й</sup> з типу відноситься до ранньої комерційної CCS електростанції  
 10 N<sup>й</sup> з типу відноситься до сформованої і оптимізованої CCS електростанції  
 11 Вугілля (основа) = типова вугільна електростанція  
 12 Вугілля PCC = Уловлювання CO<sub>2</sub> після спалювання з електростанції на вугільному пилу  
 13 Киснева = електростанція, що використовує кисневе спалювання вугілля  
 14 IGCC = Вугільна електростанція комбінованого циклу комплексної газифікації  
 15 Природний газ (основа) = Типова сучасна електростанція комбінованого циклу, що використовує природний газ  
 16 Газ PCC = Захоплення CO<sub>2</sub> після спалювання з електростанції комбінованого циклу, що використовує природний газ

### УЗВ у промисловості

Застосування УЗВ у виробництві електроенергії збільшує вартість електроенергії, зазвичай з коефіцієнтом 30-45%. Вартість низьковуглецевої УЗВ-електроенергії має оцінюватися по відношенню до вартості інших стратегій декарбонізації, зокрема вартості електричної системи. Таблиця 10 перераховує оцінену рівневу вартість різних низьковуглецевих технологій. УЗВ-технологія у виробництві електроенергії має унікальні властивості і переваги, які мають бути взяті до уваги при порівнянні з іншими формами низьковуглецевої енергії:

- Безперервне використання природного палива, що у інших обставинах могло б бути "незгораючим" (Carbon Tracker, 2013)
- Низьковуглецева електроенергія за вимогою
- Висока кредитоспроможність і надійність енергопостачання
- Скорочення викидів CO2 національного масштабу з окремого місця, разові проекти
- Використання досвіду, властивого Україні
- Повторне використання існуючої національної інфраструктури (електромережі, видобутку корисних копалин)
- Вартість може бути компенсовано, особливо у ранніх проектах з використанням ПНП

Калькуляція УЗВ в металургійній, цементній або хімічній промисловості є більш складною. Це пов'язано з істотною мінливістю місцевості, різними базами для проектування і вартості, і технологічною невизначеністю (Pershad, et al., 2013) (IEA, 2011). Ємність, конфігурація установок, підготовка процесу і вік об'єкта також матиме значний вплив на вибір і вартість технології уловлювання. В даний час немає достатніх досліджень щодо вартості промислової УЗВ-технології, тому кошторис витрат характеризується високим ступенем невизначеності. Рисунок 20 Ілюстрація уникнення витрат на CO2 і розміри джерел CO2 для уловлювання в архетипових промислових об'єктах (IEA, 2013) намагається забезпечити оцінку вартості УЗВ на різних промислових об'єктах. Тим не менш, очевидно, що вартість уловлювання CO2 від деяких промислових процесів, можливо, буде нижче вартості уловлювання CO2 від електростанцій (ZEP, 2013).

- Уловлювання та зберігання CO2 (УЗВ) є єдиною технологією, яка може забезпечити глибоке скорочення викидів у декількох енергосємних галузях України.

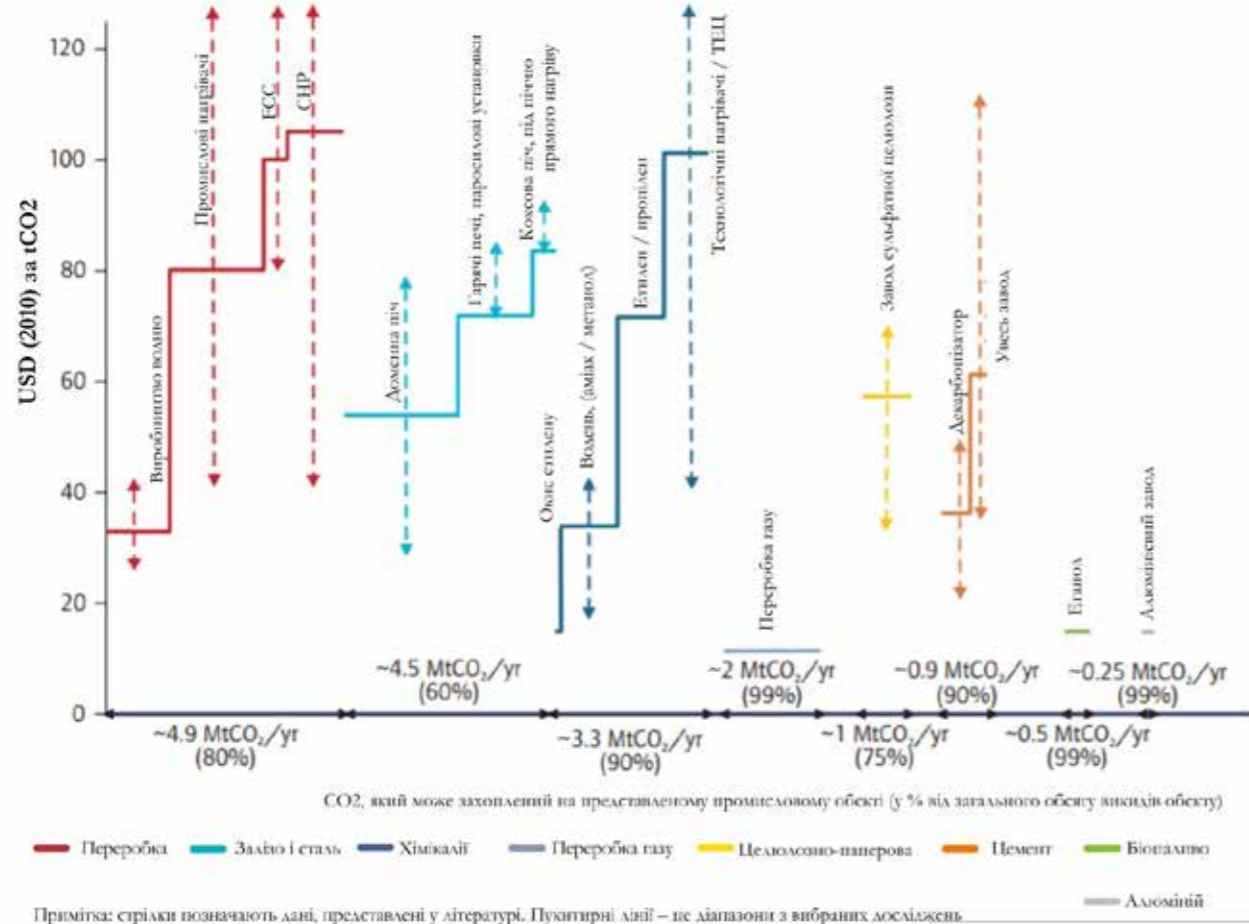


Рисунок 20 Ілюстрація уникнення витрат на CO2 і розміри джерел CO2 для уловлювання в архетипових промислових об'єктах (IEA, 2013)

### Вартість транспортування

Складові, що впливають на вартість транспортування CO2 є наступними:

- Проектування та матеріали, що використовуються
- Довжина і діаметр необхідного трубопроводу
- Дозволи та права проходу
- Конструкція системи (точка до точки, схема «tree and branch», зіркоподібна мережа (GCCSI, 2012)

Таблиця 11 Кошторис для великомасштабних мереж CO2-трубопроводу у 20 Мтра (євро/тонна CO2). Окрім відстані хребта, мережі також включають допоміжні транспортні лінії (2\*10 Мтра) і розподільчі трубопроводи (2\*10 Мтра) (ZEP, 2011)

| Відстань хребта | 180 | 500 | 750 |
|-----------------|-----|-----|-----|
| Наземний        | 1.5 | 3.7 | 5.3 |
| Морський        | 3.4 | 6.0 | 8.2 |

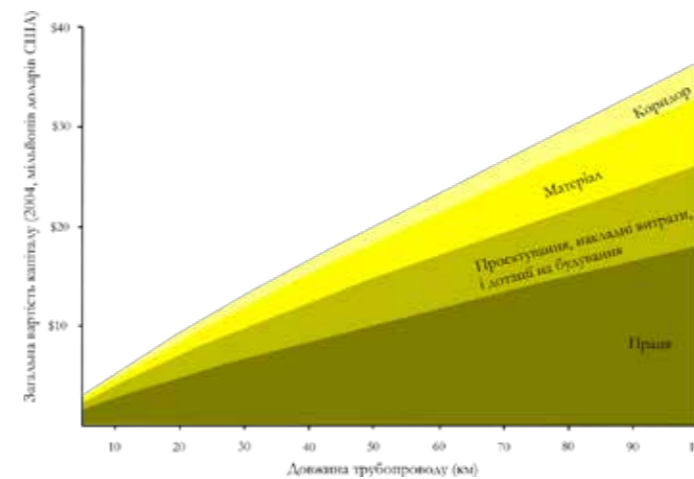


Рисунок 21 Ілюстрація орієнтовної загальної вартості шістнадцятидюймового трубопроводу CO2 різної довжини на Середньому Заході США (Маккой & Рубін, 2008)

Зазвичай вартість транспортування CO2 становить відносно невелику частину від загальної вартості уловлювання та зберігання CO2. Капітальні витрати становлять близько 90% CO2 вартості трубопроводу (ZEP, 2011). Таблиця 11 описує кошторис витрат сформованої трубопровідної мережі, яка обслуговує кластер двох великих випромінювачів точкових джерел, таких як вугільні електростанції і сталеплавильні заводи. Вартість транспортування CO2 (Євро/тонна) збільшується відповідно до відстані трубопроводу. Визначення ємності сховища CO2 поряд з основними центрами викидів CO2 є основним способом обмеження транспортних витрат. Подібним чином наземні трубопроводи мають істотну перевагу у вартості над морськими трубопроводами, тому використання наземного зберігання також знизить вартість і технічну складність. Отже розвиток наземного зберігання має бути ключовою метою української політики УЗВ. Для цього потрібен зв'язок з громадськістю і довіра з самого початку. Основна частина витрат, пов'язаних з транспортними витратами, це початкові капітальні витрати, в тому числі права проходу, матеріали, техніка і робоча сила. Рисунок 21 ілюструє орієнтовну загальну вартість 16-дюймового CO2-трубопроводу різної довжини на Середньому Заході США (McCoy & Rubin, 2008)(GCCSI, 2012).

### Діаметри трубопроводів

Діаметр необхідного CO2-трубопроводу залежатиме від обсягу CO2, який перевозитиметься, відстані транспортування і тиску, необхідного для зберігання CO2. Рисунок 22 зображує ефект збільшення швидкості потоку CO2 діаметра трубопроводу у 80 км, з показником тиску на вході у 150 бар з перепадом тиску у 50 бар по довжині трубопроводу, зберігаючи при цьому однофазний потік в трубопроводі, без рекомпресійних етапів. Більші трубопроводи, що використовуються повною мірою, є більш економічно ефективними при транспортуванні обсягів CO2, оскільки діаметр трубопроводу зростає нелінійно з обсягами транспортування CO2. Таким чином, спільне використання транспортної інфраструктури у вигляді транспортних вузлів може знизити вартість транспортування CO2.

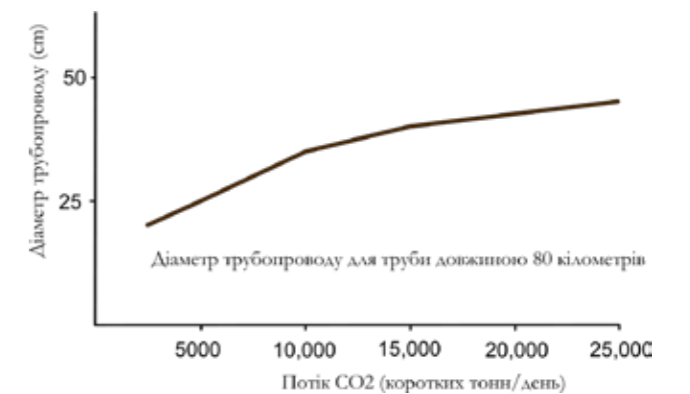


Рисунок 22 Діаметр трубопроводу як функція витрати CO2

## Вартість зберігання

Витратами на впливи уловлювання CO<sub>2</sub> є:

- Обстеження і оцінка місця
- Місткість резервуара CO<sub>2</sub>
- Дозволи на зберігання і придбання порового простору
- Нагнітальні свердловини
- Обладнання для впорскування
- Зобов'язання з відповідальності (залежно від нормативно-правової бази)
- Моніторинг

Витрати на зберігання можна розбити на п'ять категорій: обстеження і оцінка місця, нагнітальні свердловини, обладнання для впорскування, експлуатація та технічне обслуговування, моніторинг та закриття (рис. 24). Невизначеність витрат в першу чергу викликана природною нестійкістю між резервуарами для сховища, це стосується смності і прийомистості резервуара. Очікується, що вичерпані нафтові та газові родовища матимуть нижчу вартість за рахунок вже добре охарактеризованого становища, достатньої інформації та можливого повторного використання існуючих свердловин. Проте за прогнозами в Україні виснажені нафтові і газові родовища матимуть обмежені можливості зберігання, поряд з можливими додатковими успадкованими витратами з відновлення свердловини (ZEP, 2011). Солоні сховища водоносного горизонту, за очікуваннями, будуть більш дорогими, в першу чергу через додаткові витрати на зняття характеристик, однак більші смності зберігання можливі, що потенційно знижує вартість. Рисунок 23 описує передбачувані межі вартості наземного зберігання CO<sub>2</sub> в Європі (ZEP, 2011). Оцінки вартості сховищ у США подібні, з вартістю зберігання у 6 доларів в басейні Іллінойсу і 6,50 доларів за тону збереженого CO<sub>2</sub> (NETL, 2013).

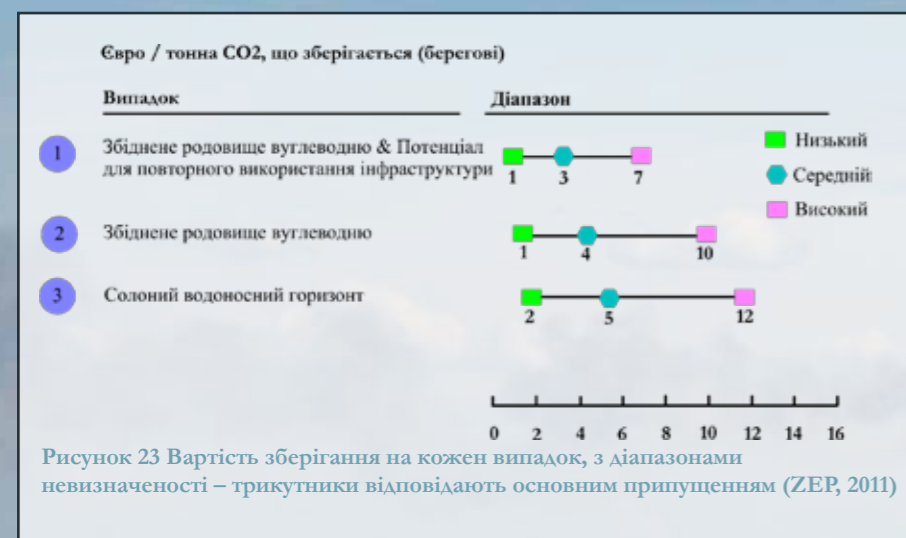


Рисунок 23 Вартість зберігання на кожен випадок, з діапазонами невизначеності – трикутники відповідають основним припущенням (ZEP, 2011)

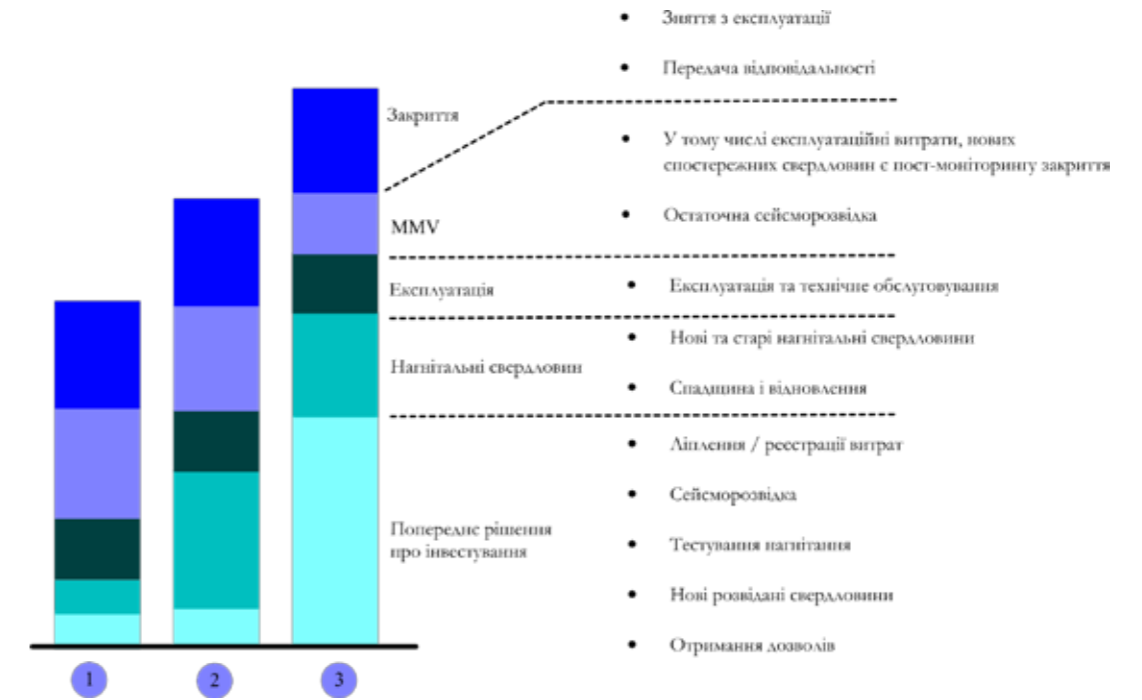


Рисунок 24 Розбивка компонентів – середній сценарій (ZEP, 2011)

## Кластер і концентратори УЗВ

Кластер УЗВ являє собою об'єднану транспортну інфраструктуру та/або інфраструктуру зберігання, яка використовується більш ніж одним проектом уловлювання CO<sub>2</sub>. Економія в першу чергу є результатом значного зменшення витрат на CO<sub>2</sub>-транспортування на тону транспортованого вуглецю по мірі збільшення потужності (рис. 25). Кластери УЗВ можуть також включати загальну інфраструктуру заводу уловлювання CO<sub>2</sub>, така електростанція і промислове підприємство використовують єдиний блок для поділу повітря (ASU) для кисневого спалювання (ZEP, 2013).

Переваги концентраторів для уловлювання та зберігання CO<sub>2</sub> були чітко задокументовані, забезпечуючи підвищення ефективності по всьому ланцюжку вартості УЗВ. Спільне використання ефективно розгорнутої трубопровідної транспортної інфраструктури та системи зберігання підвищує ефективність від зростання масштабів виробництва і знижує поріг входження для нових проектів УЗВ в безпосередній близькості від транспортної мережі (Cockerill, et al., 2012) (Lovseth & Wahl, 2011). Кластери УЗВ також полегшують планування процесу нормативного затвердження, водночас мінімізуючи вплив на навколишнє середовище, пов'язаний з розвитком інфраструктури. Кластери УЗВ також призведуть до покращення стабільності транспортної системи CO<sub>2</sub>, оскільки більше джерел залучається до загальної транспортної мережі, знижуючи коливання потоку (ZEP, 2013). У Європі була визначена економія у 25-40% для підходів кластеризації у порівнянні з двоточковим з'єднанням. Оптимізація загального розвитку транспортної мережі CO<sub>2</sub> для економічного розвитку кластерів має стати ключовим пріоритетом у плануванні УЗВ.

Багато найвідоміших пропозицій щодо розгортання УЗВ включають концепцію УЗВ-кластерів. У Великій Британії, у регіоні Йоркшира і Хамбера, розпочато планування його майбутнього як кластеру низьковуглецевої енергії і УЗВ промисловості (CO<sub>2</sub>sense, 2010). Цей регіон є ідеальним місцем для УЗВ через високу концентрацію електростанцій і великих промислових підприємств у безпосередній близькості від можливостей наземного зберігання під Північним морем. Поточні пропозиції повинні встановити CO<sub>2</sub>-трубопровід спільного використання і великомасштабне сховище.

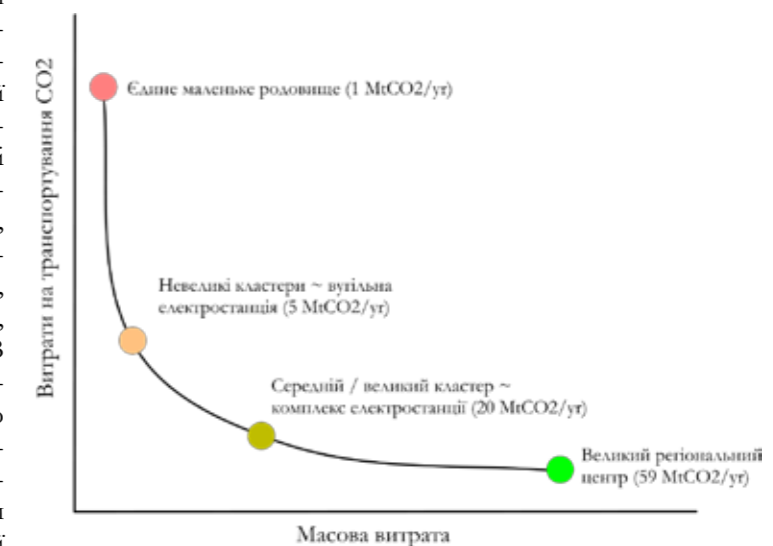
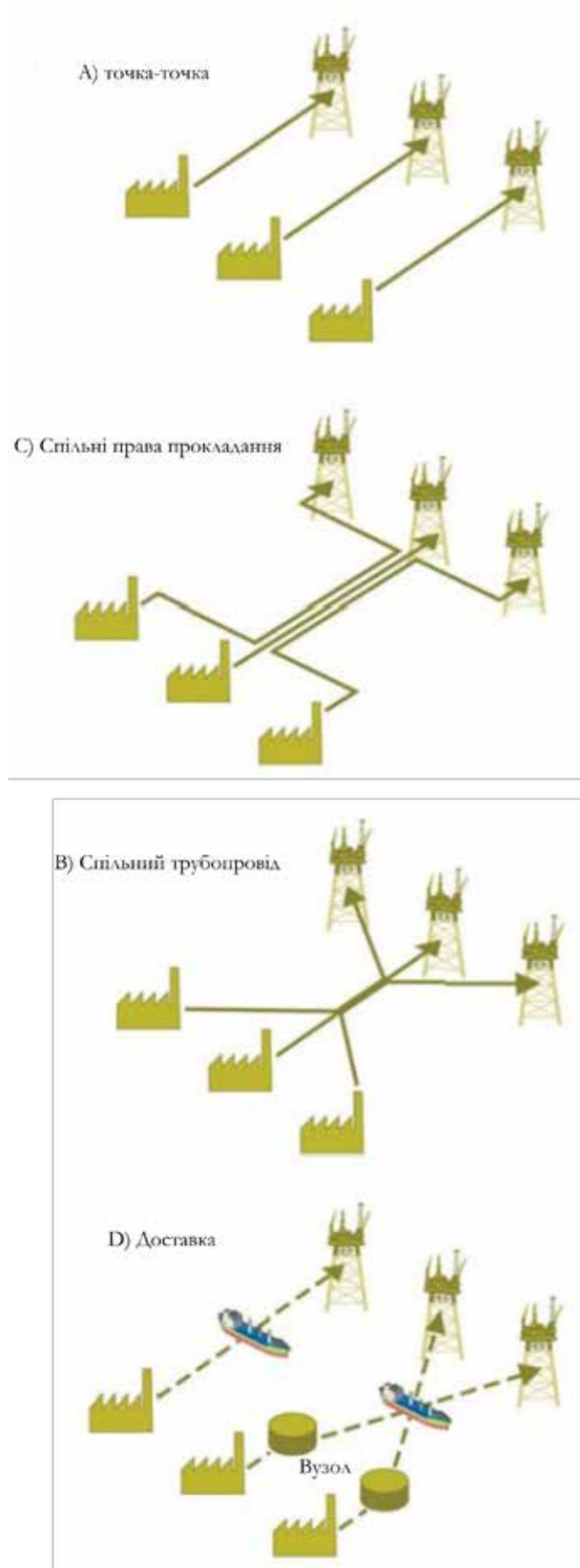


Рисунок 25 Економічна ефективність транспортних кластерів CO<sub>2</sub>



### Донецький CCS-кластер

Аналогічні переваги можна знайти в Донецькій області, з найвищою концентрацією виробництва електроенергії, енергетичних галузей промисловості і використання місцевого палива в Україні. Проект LCOIR-UA<sup>17</sup> визначив потенційні джерела і сховища CO<sub>2</sub> в регіоні. Аналіз включає існуючі вугільні і газові електростанції, металургійні, цементні заводи, хімічні та нафтопереробні заводи. Обмеження у плануванні таких УЗВ-кластерів у Донецькій області є невизначеністю щодо джерел CO<sub>2</sub> у майбутньому. Більш детальне планування потребує більшої визначеності стосовно майбутнього CO<sub>2</sub>-джерел, наприклад, реконструкції застарілих вугільних електростанцій. Зрозуміло, що Донецька область залишатиметься основним промисловим регіоном, з потребою в УЗВ для досягнення цілей декарбонізації. Планування розвитку УЗВ-кластерів, наприклад, дослідження щодо можливих транспортних шляхів CO<sub>2</sub> і права проходу, підвищать ефективність розгортання УЗВ-технологій у регіоні.

### Додаткова література

- Teaghs (2011) *Global Storage Resources Gap Analysis for Policy Makers*
- ECCO report FP7 (*Аналіз недоліків ресурсів глобального зберігання для вищих посадових осіб*)
- Zem ECCO FP7
- ZEP (2011) *The costs of CO<sub>2</sub> transport: post-demonstration CCS in the EU*
- (ZEP (Платформа з нульовим викидом) (2011) (*Вартість транспортування CO<sub>2</sub>: пост-демонстрація УЗВ в ЄС*))
- Lovseth "ECCO Tool: Analysis of CCS value chains" (2012)
- (Lovseth "ECCO Інструмент: Аналіз ланцюгів вартості УЗВ" (2012))
- CO2Europipe "Towards a transport infrastructure for large-scale CCS in Europe" (2009)
- (CO2Юропейп "У напрямку транспортної інфраструктури для великомасштабних УЗВ-технологій в Європі" (2009))
- GCCSI "Rotterdam CCS Network Project: Case Study methodology report" (2011)
- (GCCSI "Роттердамський проект мережі УЗВ: Звіт методології проекту" (2011))
- GCCSI "Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) distribution infrastructure (2011)
- (GCCSI "Інфраструктура розподілу двоокису вуглецю (CO<sub>2</sub>) (2011))

Рисунок 26 Приклад різноманітних CCS-кластерів і спільного використання інфраструктури

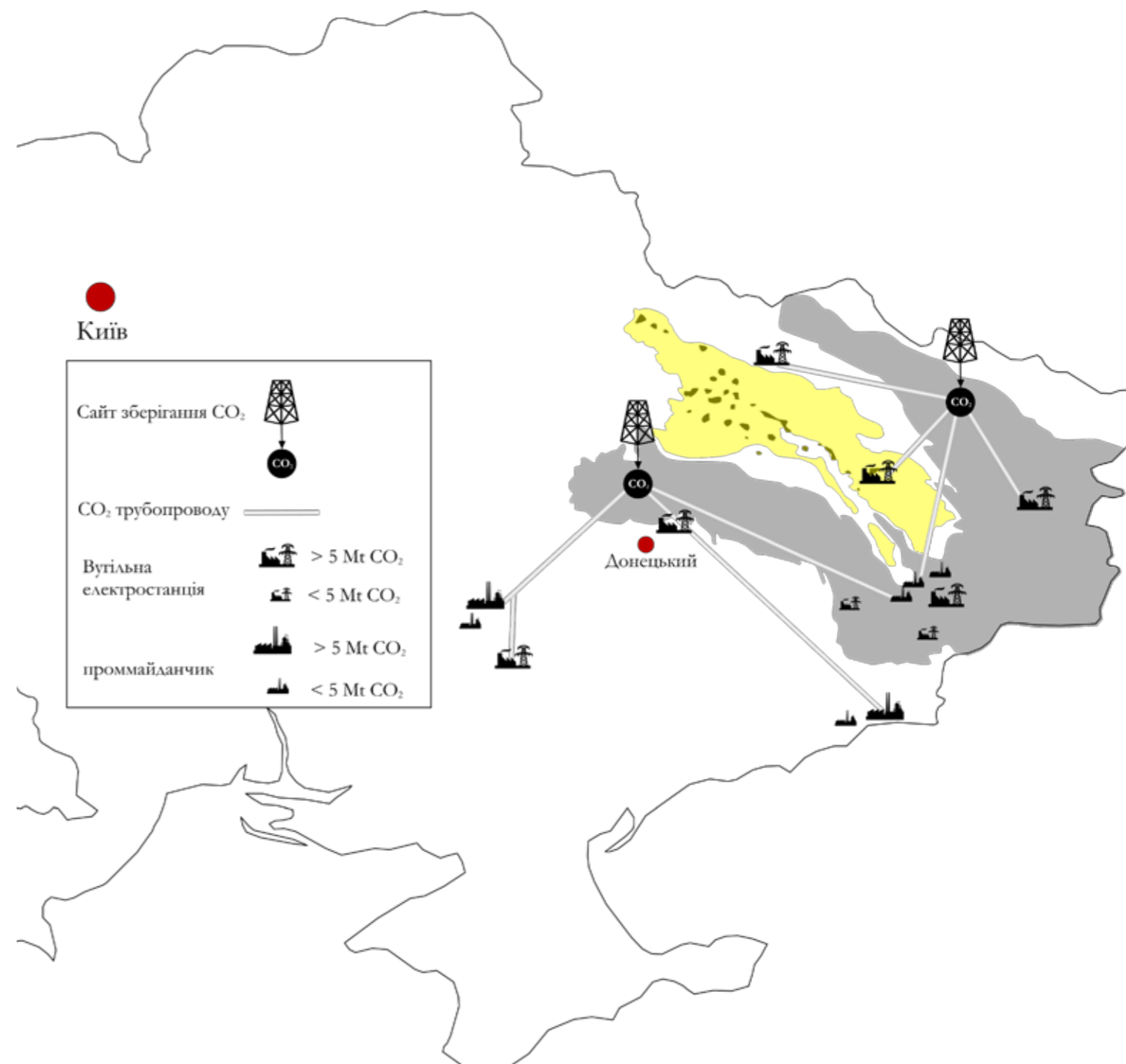


Рисунок 27 Визначені головні джерела CO<sub>2</sub> та запропонована інфраструктура транспортування і зберігання CO<sub>2</sub>

## Уловлювання, використання і зберігання CO<sub>2</sub> (CCUS)

Уловлювання, використання і зберігання CO<sub>2</sub> (CCUS) - це промислові процеси, де вуглець може бути використаний як цінна сировина з корисною метою, наприклад, для підвищення нафтовіддачі пластів (ПНП) у вуглеводневому секторі.

Інші можливості включають у себе використання CO<sub>2</sub> в хімічній промисловості та розширене відновлення вугільного метану. Однак у випадку хімічної промисловості обсяги CO<sub>2</sub> необхідні, як правило, незначні. Що стосується метану вугільних пластів, залишаються питання щодо здатності українських вугільних родовищ до підвищення нафтовіддачі метану з використанням CO<sub>2</sub>-закачування (Stevens, et al., 1998). CO<sub>2</sub>-ПНП має найбільшу здатність діяти в якості інкубатора для промисловості УЗВ, що знаходиться у стадії зародження, забезпечуючи реальний досвід, клієнтів для CO<sub>2</sub>-технологій, розвитку інфраструктури CO<sub>2</sub> і забезпечуючи великий вибір інженерів, техніків і операторів з навичками, необхідними для зберігання CO<sub>2</sub>.

## Підвищення нафтовіддачі пластів (ПНП)

CO<sub>2</sub> також може вводиться в нафтові і газові родовища для збільшення видобутку нафти або газу. CO<sub>2</sub> використовується в комерційних проектах з підвищення нафтовіддачі пластів (ПНП) з початку 1970-х років. Простіше кажучи, процес включає в себе впорскування CO<sub>2</sub> в зрілий нафтовий резервуар. Тут при належних умовах CO<sub>2</sub> зміщується з нафтою, збільшуючи рухливість нафти, що призводить до додаткового видобутку нафти і більшого кінцевого видобутку корисних копалин (Alvarado & Manrique, 2010). Деяка кількість вуглецю, введеного для підвищення нафтовіддачі пластів, буде зберігатися протягом тисяч років, але у поточних операціях CO<sub>2</sub> повертається назад у резервуар (рис. 28).

CO<sub>2</sub>-ПНП найбільш інтенсивно використовується в США, тут було розроблено більш 2414 км CO<sub>2</sub>-трубопроводів для транспортування CO<sub>2</sub> з природних джерел до нафтових родовищ (рис. 29) (GCCSI, 2012). Все частіше використовуються антропогенні джерела CO<sub>2</sub>, щоб задовольнити швидко зростаючий попит на CO<sub>2</sub>, наприклад, CO<sub>2</sub> із заводів по виробництву етанолу та амонійних добрив (NEORI, 2012). У Канаді проект the Weyburn EOR використовує вуглець з установки для газифікації вугілля, а незабаром має завершитися проект Boundary Dam CCS project CO<sub>2</sub>, де для підвищення нафтовіддачі пластів буде використовуватися вугільна електростанція (GCCSI, 2012). Проекти CO<sub>2</sub>-ПНП також існують в Угорщині та Туреччині, планується запуск подібних проектів в Об'єднаних Арабських Еміратах (арабська нафта і газ (Arabian Oil & Gas, 2012)).

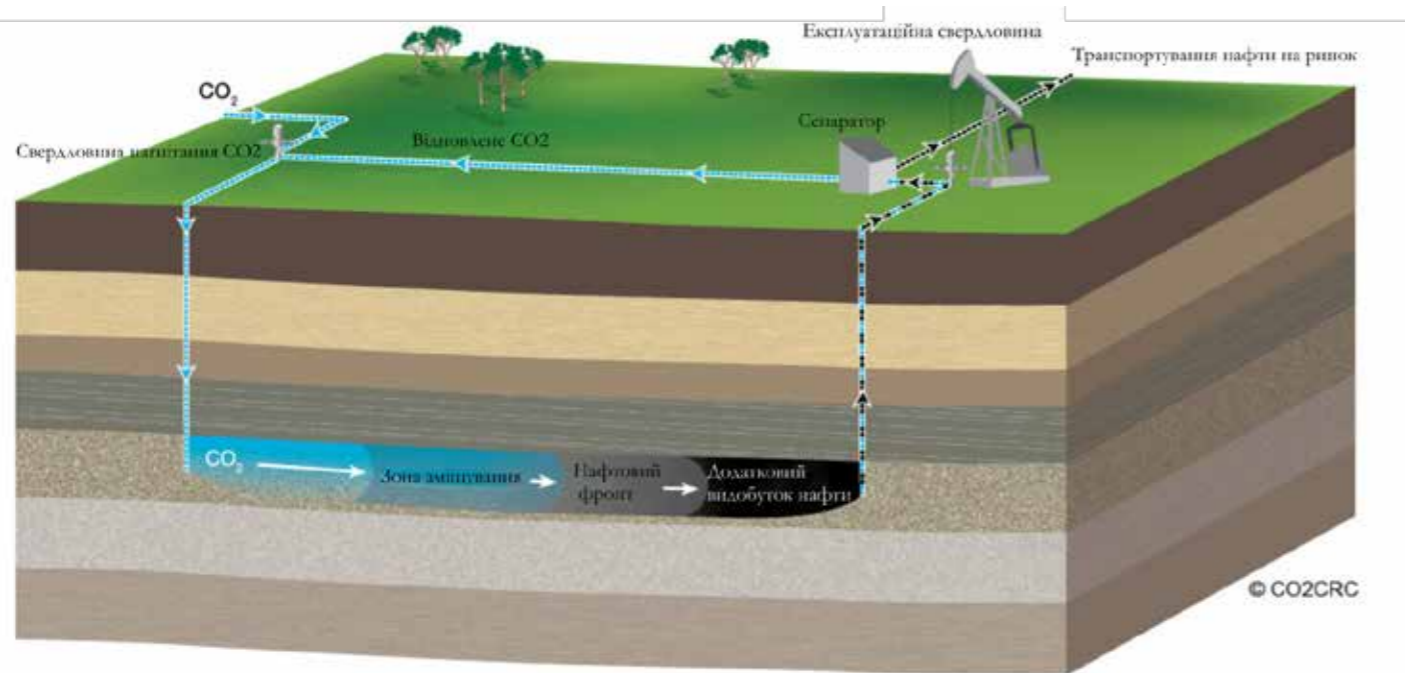


Рисунок 28 Візуалізація закачування CO<sub>2</sub> та підвищення нафтовіддачі пластів



Джерело: ARI, 2010 (Примітка: Проект CO<sub>2</sub> відноситься до проекту CO<sub>2</sub>-EOR, не джерела CO<sub>2</sub>)

Рисунок 29 Транспортна мережа CO<sub>2</sub> для ПНП у США

## CO<sub>2</sub> ПНП США та УЗВ

Використання уловленого CO<sub>2</sub> для підвищення нафтовіддачі пластів визнається основним і найбільш синергетичним методом монетизації великих обсягів CO<sub>2</sub>, що надає відповідні вміння, інфраструктуру та інвестиції, які забезпечують довготермінові і стійкі переваги для розгортання УЗВ. Дохід, отриманий через видобуток нафти, допоможе забезпечити більш стабільну фінансову підтримку проектів УЗВ, полегшуючи фінансування та підвищуючи ймовірність позитивного остаточного інвестиційного рішення.

CO<sub>2</sub>-ПНП при масштабному використанні також забезпечить основу для виділених місць зберігання CO<sub>2</sub>. По мірі зросту масштабу проекту CO<sub>2</sub>-ПНП, будуть необхідні відповідні операції зі зберігання CO<sub>2</sub> для управління змінним попитом CO<sub>2</sub>, властивим кампаніям CO<sub>2</sub>-ПНП. Тому CO<sub>2</sub>-ПНП і зберігання CO<sub>2</sub> є взаємозалежними операціями (ARI, 2010) (Gozalpour, et al., 2005).

CO<sub>2</sub>-ПНП може зіграти важливу роль для ефективного розгортання УЗВ-технологій в Європі. Однак тільки CO<sub>2</sub>-ПНП не призведе до великомасштабного розгортання УЗВ, і має розглядатися як частина більш широкої системи стимулів для впровадження перших комерційних проектів УЗВ.

## Життєвий цикл викидів

Життєвий цикл викидів CO<sub>2</sub> CO<sub>2</sub>-ПНП - важливий фактор для даної технології. Було продемонстровано, що багато проектів CO<sub>2</sub>-ПНП будуть мати позитивний CO<sub>2</sub> наслідок через спалювання витягнутих вуглеводнів (Jarmillo, et al., 2009). Ступінь викидів парникових газів в значній мірі залежатиме від джерела CO<sub>2</sub>, використовуваної технології уловлювання, темпу видобутку нафти з резервуару і швидкості рециркуляції CO<sub>2</sub>. Якщо доступно достатньо CO<sub>2</sub>, кампанія CO<sub>2</sub>-ПНП може бути оптимізована для зберігання CO<sub>2</sub>, з нижчим темпом рециркуляції CO<sub>2</sub> і, можливо, прямоочинними операціями зі зберігання (ARI, 2010) (Gozalpour, et al., 2005). Ясно, що будь-яке збільшення викидів в результаті додаткового видобутку нафти за рахунок CO<sub>2</sub>-ПНП стане незначним у порівнянні з загальним внеском уникнення CO<sub>2</sub> технології УЗВ.

## Виробництво нафти в Україні

Україна має довгу історію видобутку нафти і газу, пов'язану з газовим родовищем Долина, що було виявлено в 1860 році. У період між 1972 і 1975 роками видобуток нафти досяг максимуму в 14,5 млн. тонн, до того моменту видобуток України склав лише 14% від максимальних видобутих резервів (Sorrell, et al., 2009). У той же період видобуток газу досяг 68.7 млрд. м<sup>3</sup> на той час найбільшим виробником у світі (Guoou, 2011).

Поточний видобуток нафти становить близько 3.3 млн. тонн від геологічного потенціалу, особливо в Дніпровсько-Донецькому басейні (рис. 30) (IHS, 2012). Розвиток існуючих родовищ, а також дослідження нових перспектив в Україні ускладнюється через низький рівень інвестування, а також обмеженість застосовуваних технологій, таких як 3D-сейсмічні дослідження, горизонтальне буріння та управління виробництвом через підтримуваний тиск під час впорскування CO<sub>2</sub>. Геологічна служба США, використовуючи оцінювання на основі геології, оцінила середній обсяг невиявлених видобувних запасів нафти обсягом у 84 млн барелів на території Дніпровсько-Донецького басейну (USGS, 2010).

Україна вже має певний досвід роботи з розширенням управління виробництва і ін'єкційними методиками, такими як установка компресора для збільшення видобутку на Шебелинському газовому родовищі. Подібним чином в минулому в невеликій мірі використовувалося закачування азоту, аналогічна, але менш розвинена технологія CO<sub>2</sub>-ПНП в Україні (IHS, 2012). Збільшення видобутку нафти за рахунок використання CO<sub>2</sub>-ПНП було б іншим цінним інструментом у досягненні мети зміцнення національного виробництва енергії, одночасно забезпечуючи основу для майбутньої низьковуглецевої економіки (Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine, 2012).

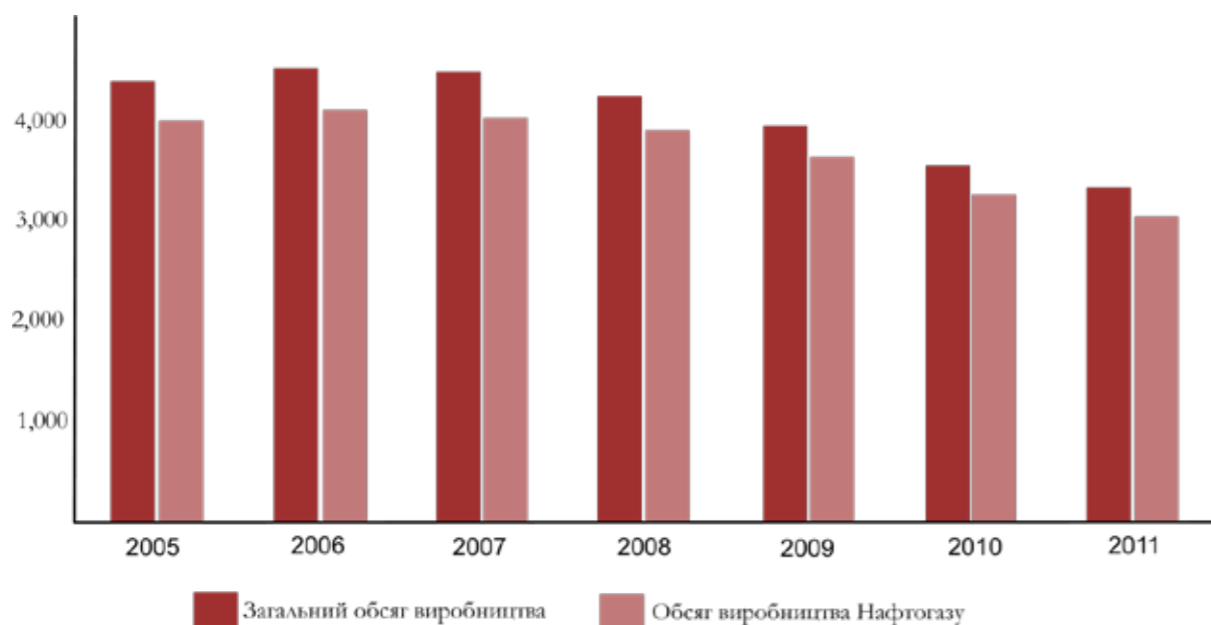


Рисунок 30 Стагнація видобутку нафти тисяч тон (Євтушенко і Вахт, 2012)

## CO<sub>2</sub>-ПНП в Дніпровсько-Донецькому басейні

CO<sub>2</sub>-ПНП може зіграти важливу роль в активізації сформованих і занепадаючих родовищ вуглеводнів в Україні, зокрема на сході країни, де джерела CO<sub>2</sub> є найбільш поширеними і багато потенційних родовищ має Дніпровсько-Донецький басейн. Найбільші родовища вуглеводнів знаходяться в районах Гнідинців, Лесяківки і Талалаївки. Вони складають основу нафтової і газової промисловості в регіоні, сприяючи видобутку більш ніж 50% національних запасів і 80% видобутку.

CO<sub>2</sub>-ПНП не застосовується для всіх вуглеводневих родовищ і там де темп видобутку нафти залежить, серед іншого, від геології, типу нафти, структури, історії виробництва, неоднорідності і глибини (Alvarado & Manrique, 2010). Рисунок 31 описує приблизну необхідну глибину і в'язкість нафти резервуару для CO<sub>2</sub>-ПНП. Крім того, мінімальний перелік критеріїв має бути дотримано до розглядання нафтового родовища на предмет придатності до застосування CO<sub>2</sub>-ПНП. У таблиці 12 і на рисунку 31 зазначені основні критерії обстеження, які можуть бути використані для попереднього відбору відповідних родовищ.

Цілком ймовірно, що не всі нафтові пласти у межах району будуть придатні для CO<sub>2</sub>-ПНП. Це пов'язано в першу чергу з тим, що нафтові резервуари є відносно глибокими. До інших факторів відносяться складні механізми уловлювання та характер акумуляції нафти, а також складна і погано відображена структурна геологія. Однак нафтові резервуари Дніпровсько-Донецького басейну є геологічно різноманітними і існує велика ймовірність, що для багатьох з них застосування методів CO<sub>2</sub>-ПНП буде прибутковим.

Відкрита інформація може представляти бар'єр для розгортання технологій CO<sub>2</sub>-ПНП в Україні. Якісна геологічна інформація уривчаста або не доступна. Наприклад, досі тільки 10%-20% від перспективних ділянок

Дніпровсько-Донецького басейну вважаються 3D сейсмічно покритими (IHS, 2012). Крім того, неналежне ведення історії виробництва у деяких випадках, оперативна інформація, покинуті свердловини і геологічні дані приводять до перешкод у використанні сучасних методів, таких як закачування CO<sub>2</sub>. Невеликі оператори і виробники нафти останньої системи можуть не мати ресурсів або досвіду для розгортання технологій CO<sub>2</sub>-ПНП, обмежуючи переваги цієї технології для великих операторів.

Таблиця 12 Критерії для початкової стадії відбору резервуару для CO<sub>2</sub>-ПНП з поправками (Матіасен, 2003) і (Куускраа і Коперна, 2006)

| Вимога                    | Опис   |
|---------------------------|--|
| Відповідний тиск          | Мінімальний тиск змішуваності має бути досягнуто для ефективних операцій CO <sub>2</sub> -ПНП                              |
| Густина нафти             | < 900 кг/м <sup>3</sup>  |
| Насиченість нафти         | >25%   |
| Пористість                | >15%   |
| Проникність               | >1 md  |
| Розмір                    | <28 геологічних запасів M <sup>3</sup> 10 <sup>6</sup>   |
| Сформоване родовище       | Закачування води<br>Закачування газу<br>WAG  |
| Відсутність газових шапок | Наявність великої газової шапки (при доступності експортного шляху) може знизити ймовірність проекту через газ із вуглецем |

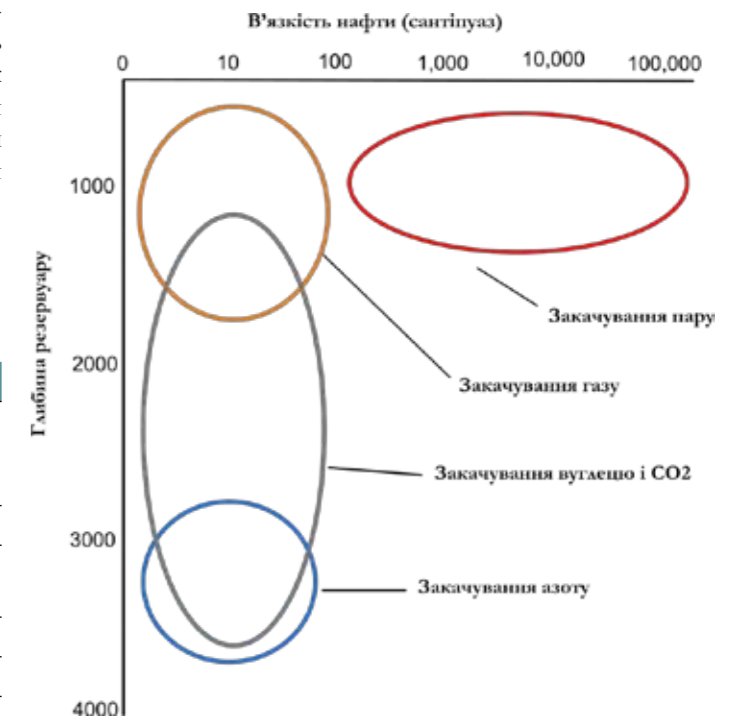


Рисунок 31 Приблизні умови для ефективності проекту CO<sub>2</sub>-ПНП

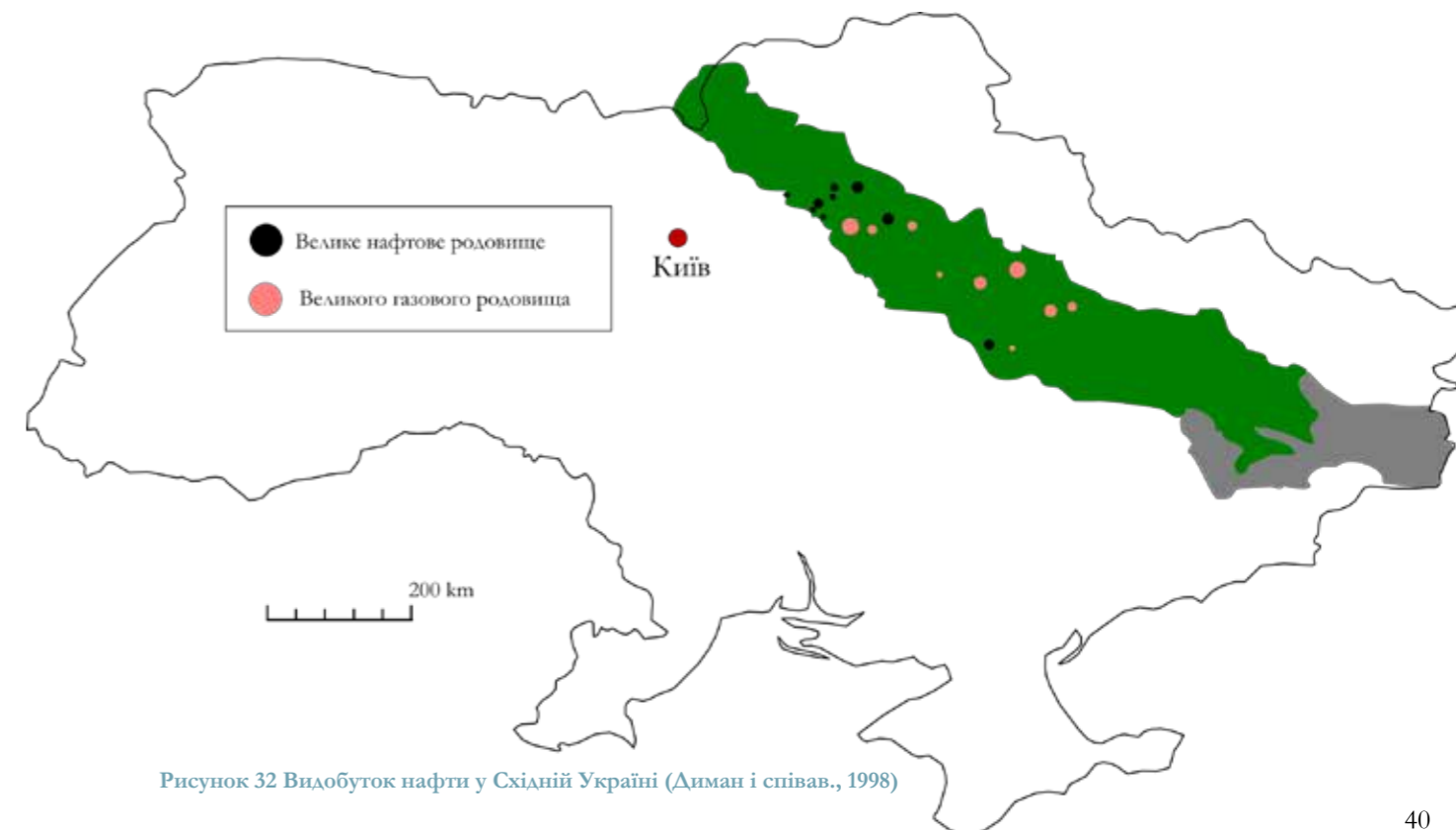


Рисунок 32 Видобуток нафти у Східній Україні (Диман і співав., 1998)

## Комерційні проекти ПНП в Україні

Джерела CO<sub>2</sub> з високим показником чистоти є привабливими для ранніх комерційних проектів УЗВ, таких як ПНП, оскільки нижча вартість доступного вуглецю знижує капітальні та експлуатаційні витрати на проект. CO<sub>2</sub> високої чистоти є промисловим побічним продуктом з численних процесів, таких як кондиціонування природного газу, виробництво аміаку та газифікація вугілля. Всі ці процеси властиві Україні і представляють значні можливості для збільшення виробництва нафти через закачування CO<sub>2</sub>.

## Аміак

Аміак (NH<sub>3</sub>) отримують шляхом відділення водню від атомів вуглецю в природному газі, це – процес видобутку чистого вуглецю в якості побічного продукту. Виробництво аміачного добрива в Україні в 2011 році складало 5,7 млн. тонн, генеруючи 1,6-3,8 тонн CO<sub>2</sub> на тону видобутого аміаку (International Fertilizer Industry association (IFA), 2009), з яких близько 70% надходить безпосередньо від виробництва водню на аміак (ICM, 2012). Виробництво аміаку є основним процесом української хімічної промисловості, з шістьма основними заводами з виробництва добрив, розташованими в основному в Східній Україні, Черкаський «Азот», Сєвєродонецький «Азот», Стирол, Одеський припортовий завод, Рівнеазот, і ДніпрАзот. На долю хімічного сектора припадає 7% ВВП і 8%-10% від загального доходу експорту України.

Оскільки вуглець високого ступеня чистоти є промисловим побічним продуктом процесу, УЗВ для виробництва аміаку тільки вимагає енергії для стиснення CO<sub>2</sub> та інфраструктуру для його транспортування і використання. Залежно від вартості транспортування і зберігання, це може означати вартість за ціною у 13 євро за тону CO<sub>2</sub>. У зв'язку з низькою вартістю CO<sub>2</sub> від виробництва аміаку має великий попит для використання в нафтовій промисловості з метою підвищення нафтовіддачі пластів. Україна все ще є глобально значущим виробником аміаку і має широкі можливості використання CO<sub>2</sub> в комерційних цілях, таких як ПНП. Світовий попит на добрива, як очікується, значно зростає в найближчі десятиліття, забезпечуючи нові можливості для цієї галузі в Україні.<sup>18</sup> Раннє застосування УЗВ в цій галузі дало б Україні сильну позицію сталого лідера на цьому ринку, поліпшуючи промисловий імідж країни і в той же час надаючи першу можливість для постачальників та промисловості України розробляти УЗВ-технології та практики. В Україні знаходяться основні заводи з виробництва добрива, і всі вони виробляють більше 1 млн. т CO<sub>2</sub> на рік.



Рисунок 33 Одеський припортовий завод з виробництва аміаку

## Переробка газу

Газопереробна промисловість пропонує вигідні умови для забезпечення низької вартості CO<sub>2</sub> для підвищення нафтовіддачі пластів.

Природний газ при вилученні з землі часто містить вуглець. Цей вуглець необхідно зменшити аби надійно спалити газ, дотриматись умов специфікації транспортування і продажу (Гаско, 2010). Газопереробні заводи вже оперують великими розділовальними установками для CO<sub>2</sub>, виробляючи великі обсяги чистого вуглецю, який в даний час випускається в атмосферу. Аналогічно стабілізація зрідженого природного газу і зрідження газу може також призвести до отримання CO<sub>2</sub>-потоків високого ступеня чистоти. Обсяги і якість отриманих потоків CO<sub>2</sub> залежить від початкового вмісту вуглецю в сировині природного газу та використовуваного процесу поділу. З цієї причини газопереробний завод має бути індивідуально встановлено з метою оцінки придатності на постачання CO<sub>2</sub>.

Придатні газопереробні заводи приваблюють партнерів до кампанії CO<sub>2</sub>-ПНП, оскільки обладнання має високий показник використання та цілорічної експлуатації. Оператори мають досвід обробки газу і управління проектами, а також глибоке знання вуглеводневого сектора. У багатьох випадках власник газопереробного заводу та місця CO<sub>2</sub>-ПНП може бути однаковим, що знижує комерційну складність. Така взаємодія може існувати між близько розташованими Гнідинцівським ГПЗ Укрнафта і Чернігівськими нафтовими родовищами (МЕА, 2006) (Нафтогаз, 2004).

## Потужності з виробництва біопалива

Вуглець високого ступеня чистоти доступний на багатьох виробничих потужностях з виробництва біопалива – це вказує на відсутність необхідності у технологічному обладнанні для уловлювання, що призводить до низької вартості інтеграції УЗВ, ймовірно, це одна з найменш дорогих з усіх програм УЗВ. План обладнання для уловлювання і компресії у розмірі 235 млн л/рік. Очікується, що завод з виробництва біоетанолу 1-го покоління матиме невеликий вплив на експлуатаційні витрати заводу, в той час як капітальні витрати будуть тільки незначно змінюватись із показником збільшення у 0,9% (Rhodes & Keith, 2003).

Повторне використання вловленого вуглецю з заводів, що працюють на біопаливі, для ПНП було б початковою прибутковою можливістю для просування знань щодо CO<sub>2</sub> та інфраструктури в Україні. Комерційні проекти Біо-УЗВ і ПНП вже діють, зокрема, у США. У 2009 році нафтова фірма Chaparral Energy почала купувати один мільйон тонн вуглецю на рік з установки виробництва біоетанолу в Лібералі, Канзас. Вловлений вуглець транспортується на 90 км до Техасу, де він вводиться в нафтове родовище для ПНП, що виходить з ужитку. Цей проект є повністю комерційно мотивованим, що діє в рамках системи з відсутністю ціни на CO<sub>2</sub> і нульовими стимулами для вуглець-негативного (Chaparral Energy, Inc, 2011).

## Впровадження CO<sub>2</sub>-ПНП

У європейському контексті, Україна з її зрілим вуглеводневим виробництвом і готовими поставками CO<sub>2</sub> низької вартості від промисловості має привабливі можливості для ранньої комерціалізації CO<sub>2</sub>-ПНП. Україна повинна наслідувати приклад інших європейських національних установ і розпочати оцінку можливого внеску в індустрію CO<sub>2</sub>-ПНП і розвиток УЗВ-технологій. Норвезький нафтовий директорат (ННД) визначає величезний потенціал CO<sub>2</sub>-ПНП на норвезькому континентальному шельфі, з можливим відновленням додаткових 300 млн см<sup>3</sup> нафти, що становить приблизно подвоєння всіх поточних і пропонованих вуглеводневих розробок в норвезьких водах (NPD, 2012). Подібним чином підприємство Scottish Enterprise вважає, що проекти CO<sub>2</sub>-ПНП могли б принести близько 15% видобутку нафти Великої Британії до 2030 року (Scottish Enterprise, 2012). Нарешті у рамках програми «Роттердамський проект з питань клімату» («Rotterdam climate initiative») розпочато перші кроки в розробці CO<sub>2</sub>-концентратора, з метою забезпечення вуглецю в Північному морі для ПНП (RCI, 2012).

Додаткові українські оператори нафтового родовища і потенційні постачальники CO<sub>2</sub> повинні бути інформовані про переваги CO<sub>2</sub>-ПНП-технологію. Ці комерційні діячі почнуть розуміти значення невикористаних ресурсів вуглецю високої чистоти, які вже працюють в безпосередній близькості від заводів з виробництва вуглеводню. Комерційні драйвери призведуть до більш високих параметрів CO<sub>2</sub> як вигідного товару, наближаючись до виробництв і об'єктів, які володіють потоками модифікованого вуглецю низької вартості, але в даний час не знайомі з ПНП як комерційною можливістю.

## УЗВ і Вуглець-негативний

УЗВ в поєднанні зі стійкою біомасою або біопаливом є єдиною доступною технологією для забезпечення істотних негативних викидів CO<sub>2</sub>. Викиди, що є наслідком спалювання стійко видобутої та переробленої біомаси, визнаються як нейтральні. Якщо виділений у таких процесах вуглець уловлюється і зберігається, утворюються вуглець-негативні ланцюги, які забирають більше вуглецю з атмосфери, ніж вони випромінюють. Використання стійкої біомаси на теплоелектростанціях з виробництва палива, обладнаних УЗВ, або використання УЗВ на установках з виробництва біопалива призведе до чистого поглинання CO<sub>2</sub> з атмосфери, як показано на рисунку 34 (IEA, 2011).

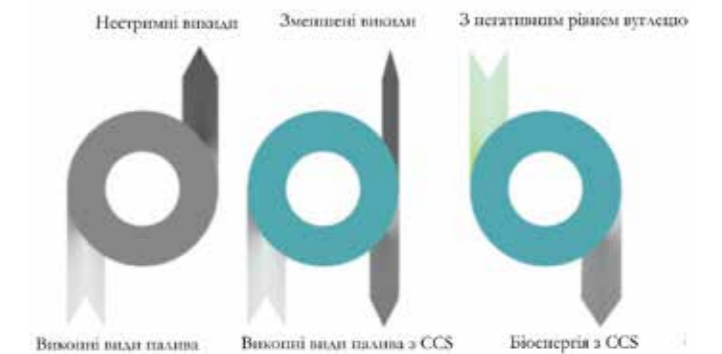


Рисунок 34 Вуглецевий баланс енергії з різних систем

## Вуглець-негативний на вугільних електростанціях

Спільне спалювання на вугільних електростанціях припускає використання двох або більше видів палива на заводі, таких як вугілля і деревна біомаса. Використання біомаси як джерела енергії знижує інтенсивність вуглецю у виробленні електроенергії і використовується в таких країнах, як Велика Британія, як ефективний спосіб скорочення викидів (Thornley, 2011). Спільне спалювання з біомасою на заводі, оснащеному УЗВ, може призвести до подвійної вигоди. У такому випадку не тільки викиди від спалювання вугілля, що не потрапили до атмосфери, але біогенний вуглець, який міститься в біомасі, також уловлюється і зберігається, що призводить до зниження рівня вуглецю в атмосфері, утворюючи вуглець-негативний ефект. Україна має великі ресурси стійкої біомаси, з потенціалом до постійних поставок значної кількості вуглець-негативної електроенергії (Geletukha, et al., 2010).

Основні проблеми спільного спалювання пов'язані з властивостями різних видів спалюваного палива, зокрема, калорійністю, вмістом вологи, виробництвом золи і характеристиками горіння. Таким чином, різні технології працюють по-різному, в залежності від типу біомаси та кількості спільно спаленого.

### Вуглець-негативний на заводах з виробництва біопалива

Таким чином вибір технології отримання енергії з твердого палива необхідно ретельно проаналізувати, щоб максимізувати можливість використання декількох видів палива. Завод з газифікації у вигляді майбутніх вугільних можливостей буде ідеально підходити для спільного спалювання біомаси. Таке сумісне спалювання може бути реалізовано на заводі нового покоління, обладнаному УЗВ, з невеликим технологічним або комерційним ризиком. Технологія сумісного спалювання швидко розвивається, і має низькі ризики експлуатації, продуктивності або цілісності нового заводу (Livingston, 2011).

#### Спалювання пилоподібного вугілля (РСС)

Біомаса може бути змішана з вугіллям і спалена в існуючих пальниках для вугілля. Це викликає дуже низькі капітальні витрати, але обмежує обсяг використання біомаси до декількох відсотків теплового споживання. Окрема обробка біомаси на основі вугілля та встановлення призначених пальників для біомаси може допустити виділення 20% теплової потужності з біомаси, хоча цей процес включає більш високі капітальні витрати. Важливо також відзначити, що на сьогоднішній день сумісне спалювання біомаси не було продемонстровано при ультра-надкритичних температурах (Gough & Upham, 2010).

#### Газифікація (ВЦГ)

Використання біомаси в процесі газифікації є відносно простим, і не пропонує жодних великих технологічних або експлуатаційних проблем у порівнянні з газифікацією вугілля. Газифікація дає можливість гнучкого використання високого відсотку біомаси при достатній кількості палива (Rhodes & Keith, 2005).

Таблиця 13 Порівняння сумісного спалювання долі біомаси з різними технологіями спалювання (Клейн, 2011)

| Метод спалювання    | Доля біомаси |
|---------------------|--------------|
| Пилоподібне вугілля | 3% - 20%     |
| Газифікація         | 10% - 100%   |

Таблиця 14 Потенціал для вуглець-негативного з різного біопалива

| Процес    | Чистота CO <sub>2</sub> для захоплення | Вуглець-негативний (початковий вміст вуглецю в біомасі) |
|-----------|--|---|
| Етанол    | 99%                                    | 15-35%  |
| Біодизель | >95%                                   | 50%   |
| Водень    | >95%                                   | >95%  |

Виробдження УЗВ на заводах з виробництва біопалива призведе до виробництва біопалива з викидами негативного життєвого циклу (Carbo, 2011). Додаткові витрати на уловлювання CO<sub>2</sub> від виробництва біопалива, наприклад, етилове бродиння, як правило, дуже низькі, тому що потоки побічного продукту CO<sub>2</sub> часто мають високу чистоту. Чистий потік вуглецю виключає необхідність в додатковому обладнанні для поділу, потрібні тільки сушарні і обладнання для компресії для підготовки вуглецю для транспортування до місця зберігання.

#### Біоетанол

Бродіння солодового або крохмалистого рослинного матеріалу виробляє паливний етанол і вуглець в однаковій кількості. Ці сполуки легко відділяються, оскільки існують в різних фазах. В ідеальному випадку приблизно 67% вуглецю утримується всередині паливного етанолу, а решта 33% доступна для уловлювання і зберігання (табл. 14)

#### Біодизель

Біодизель виробляється з насіння олійних культур, таких як рапс або соняшник. У той час як поточне виробництво біодизелю має незначний потенціал для використання CCS низької вартості, біодизель другого покоління, отриманий шляхом газифікації біомаси, пропонує багатообіцяючі перспективи. Біомаса, джерела якої можуть бути різноманітними, газифікується при високій температурі, потім відділяється вуглець, а решта – синтез газ проходить процес Фішера-Тропша (ФТ), при якому він піддається розрідженню.

#### Водневе паливо

Водневе паливо також можна отримати з біомаси, забезпечуючи максимальний потенціал CO<sub>2</sub>-негативного біогенного палива. Водень потім генерується шляхом газифікації твердої біомаси, з відокремлення монооксиду вуглецю і діоксиду вуглецю. Водень є універсальним паливом, яке можна використовувати в паливних елементах у транспортних засобах, опалювальних установках та електроенергетичних пристроях. Виробництво водню може відбуватися на автономних пристроях з газифікації або на заводах сумісного спалювання, обладнаних комбінованим циклом комплексної газифікації.

### УЗВ-промисловість та експортні можливості України

Масштаби розгортання європейської УЗВ-технології до 2050 року, передбачені в Перспективах розвитку МЕА CCS, потребуватимуть значних промислових зусиль, щоб виготовити і встановити об'єкти захоплення, абсорбційні колони, відпарні колони, компресори, теплообмінники, повітродільні установки, трубопроводи та інше допоміжне обладнання. Українська важка промисловість, ливарні і фабрики ідеально підходять для поставки на європейський ринок компонентів, необхідних для розгортання УЗВ.

Машинне обладнання зараз становить 15,6% українського експорту, з компресорами, клапанами, спеціалізованими промисловими частинами і установками для опалення та охолодження. (МІТ, 2013).

У зв'язку з видатною історією промислової інженерії і близькістю до ринку, поставка УЗВ-обладнання може стати великою експортною можливістю для України. Тим не менш, для компаній та постачальників буде важливо знати про потенційні ринки УЗВ, щоб почати стратегічний розвиток можливостей і ноу-хау зараз.





## CO2 Трубопроводи

Потенційно привабливим ринком для українських виробників буде поставка CO2 трубопроводів. Українське виробництво сталевих труб складало 1.754 млн. тонн в 2010 році, при цьому експорт у 1.09 млн. тонн дорівнював 1.3 млрд. доларів США (Steelgu, 2012). Масштаб необхідних транспортних засобів CO2 був оцінений в проекті CO2 Юропейн, з магістральною лінією приблизно у 15 000 км, встановленою до 2030 року, утворюючи кістяк мережі, із збільшенням до 22 000 км до 2050 року (табл. 15).

Аналогічно, JRC з більш консервативною оцінкою розгортання CCS-технології у Європі передбачає майбутню транспортну мережу CO2 протяжністю у 8 800 км до 2030 року, з розширенням до 20 000 км до 2050 року, що вимагає загального обсягу інвестицій у 29 мільярдів євро (Morbée, et al., 2010) (рис. 35). Це еквівалентно створенню 30%-ї транзитної мережі європейського природного газу. Зрозуміло, що масштаби розгортання трубопровідного транспортування пропонують вигідні можливості для бізнесу. Для успішного виходу на цей ринок українських компаній їм буде необхідно виробляти трубопроводи відповідної специфікації, включаючи спеціально розроблені CO2-клапани, промбни і кільця ущільнювача.

Таблиця 15 Загальна довжина головної лінії (км) (Еуропіре)

| Рік  | Базовий сценарій | Морський сценарій | ПНП-сценарій |
|------|------------------|-------------------|--------------|
| 2020 | 2300             | 4200              | 5300         |
| 2030 | 15000            | 20000             | 21000        |
| 2050 | 22000            | 33000             | 33000        |

## Специфікація виробництва трубопроводів: приклад проекту U3B Janschwalde

У проекті U3B Janschwalde в Німеччині було вирішено використовувати сталеві трубопроводи для транспортування CO2, матеріал L485MB, номер матеріалу 1.8977 (API5L стандарт X70). Трубопроводи мали розрахунковий тиск у 140 бар, довжину 52,090 м і загальний об'єм у 4,453 м<sup>3</sup>.

Трубопровід не мав внутрішнього покриття, з внутрішнім діаметром: 330.6 мм, товщиною стінки: 12.5 мм і PUR-піною в якості ізоляційного матеріалу: 137 мм. Зовнішнє покриття поліетилену: 40,2 мм, із загальним діаметром 710 мм, пористістю 0,15 мм, щільністю сталі 7.850кг/м<sup>3</sup>, щільністю поліуретану 70 кг/м<sup>3</sup>, щільністю поліетилену 950кг/м<sup>3</sup> і теплопровідністю сталі 48,4Вт/мК. (Vattenfall, 2012).

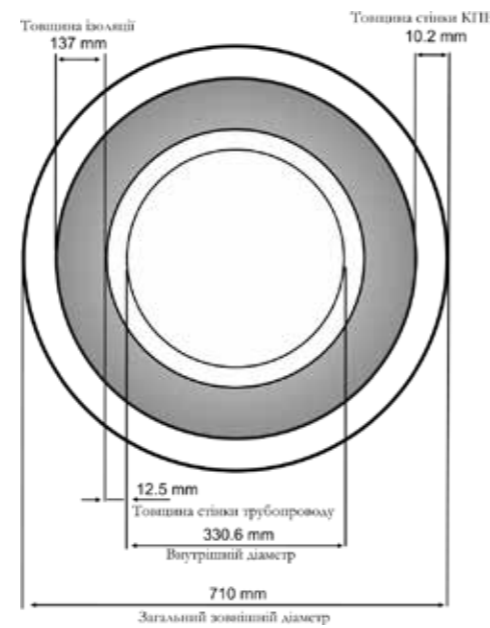
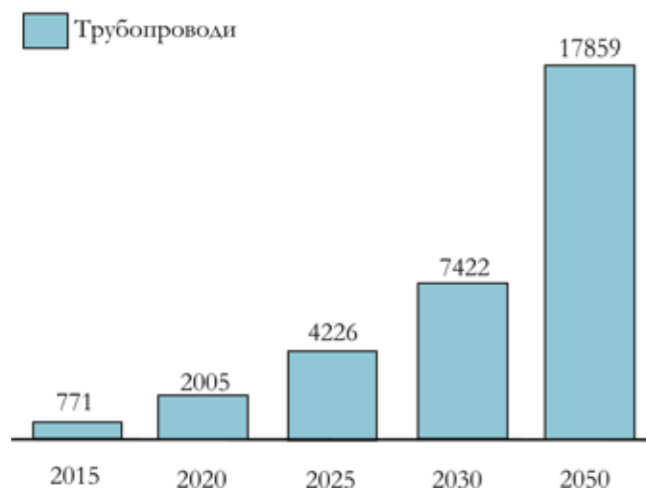


Рисунок 37 Схема конструкції труби (Ватенфолл, 2012)

### Загальна довжина мережі



### Сукупні інвестиції, млрд. євро

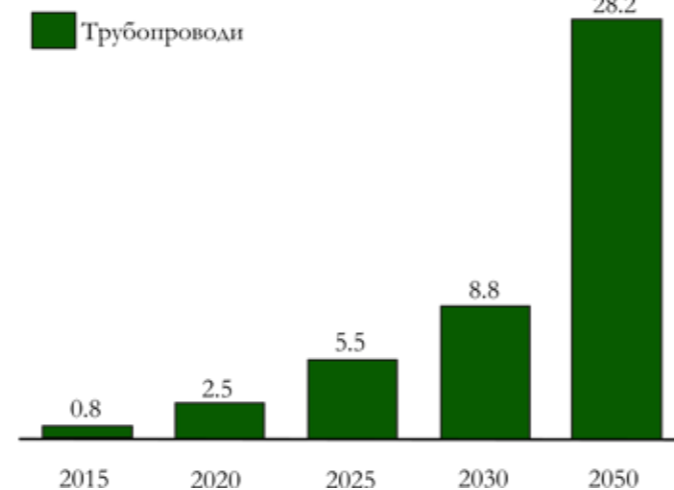


Рисунок 35 Загальна довжина транспортної мережі CO2 і сукупний обсяг інвестицій (Morbée, et al., 2010)

## Виробництво сталі

Виробництво сталі є одним із найважливіших компонентів української економіки, на який припадає 13% від загальної кількості іноземних інвестицій в 2010 році, що еквівалентно 5.6 млрд. доларів (Steelgu, 2010). Українські виробники сталі разом з постачальниками нафтопереробної та хімічної промисловості цілком можуть скористатися майбутніми комерційними можливостями при постачанні обладнання для уловлювання вуглецю і компонентів.

Відпарна колона CO2, встановлена на граничній греблі U3B об'єкта в Саскачевані, (Канада) важить 300 тонн, має 43 метри у висоту і 8 метрів в діаметрі. Вона була виготовлена в одній частині і перевезена на 920 км на бортовій вантажівці з 224 пінами від Тофілду (Альберта) на електростанцію (Morgan, 2012). Європа потребуватиме від сотень до тисяч таких об'єктів для досягнення цілей розгортання U3B-технологій.



Рисунок 38 Саск Пауер Відпарна колона CO2 (Sask 2013)

## Базовий сценарій 2050

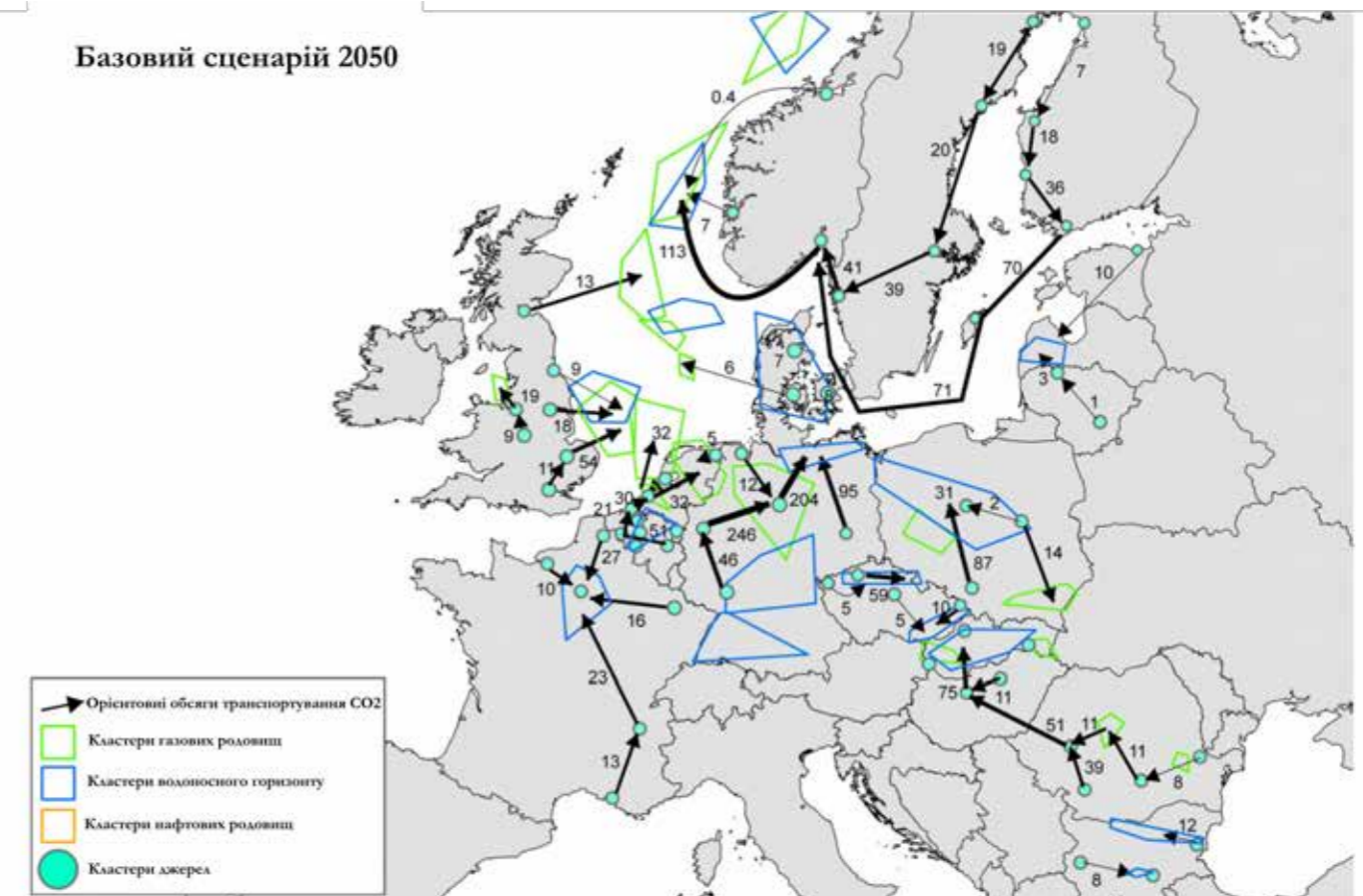


Рисунок 36 Базовий сценарій Юропейн 2050 (Еуропіре)

### Уловлювання CO<sub>2</sub>

- Уточнити роль УЗВ в Оновленій Енергетичній Стратегії України до 2030 року
  - Довготермінові цілі з контролю викидів, що супроводжуються положеннями національної політики, дозволили б енергетичним і промисловим фірмам стратегічно планувати свої інвестиції.
- Включити УЗВ до планування політики промисловості, особливо це відноситься до металургійної галузі.
- Встановити чіткий і реалістичний графік списання старих неефективних електростанцій та обладнання.
- Переконалися, що всі нові теплоелектростанції проєктуються і будуються УЗВ-готовими (технологія CCSR) до майбутнього, коли від України вимагатимуться більш агресивні скорочення викидів.
  - Переконалися, що всі нові збудовані вугільні та газові електростанції застосовують найефективніші доступні технології, такі, як надкритичні і ультра-надкритичні кам'яновугільні електростанції.
  - Вивчити положення для заохочення спільного спалювання біомаси та вугілля.
- Дослідити можливості УЗВ з виробництва біомаси та біогазу, де Україна має конкурентну перевагу
- Українські компанії, зокрема енергосмі галузі повинні грати активнішу роль в міжнародних органах УЗВ і науково-дослідних організаціях.
  - Отримувати інформацію з ініціатив в інших континентах через створення ефективного двостороннього обміну досвідом та інформацією.
- Створювати умови для стимулювання інновацій та розвитку внутрішніх технологій в технологіях УЗВ.
  - Вивчати можливості міжнародного партнерства задля розвитку, виготовлення або ліцензування УЗВ-технологій.
  - Повідомити національним технологічним компаніям і фірмам з контролю внутрішнього забруднення про комерційні можливості в галузі постачання УЗВ. Забезпечити зниження податків і субсидій для залучення національних та міжнародних УЗВ-досліджень і розробок.
  - Розглянути економічні інструменти на додаток до прямого фінансування з Державного екологічного фонду для сприяння дослідження та тестування УЗВ-технологій в експериментальних або демонстраційних масштабах. Наприклад, гарантії за кредитами, податкові пільги або субсидії.

### Зберігання CO<sub>2</sub>

- Більш надійні оцінки національного потенціалу зберігання CO<sub>2</sub> необхідні для більш масштабного кліматичного, енергетичного та промислового планування.
- Скрамні стратегічні інвестиції необхідні для оцінки потенціалу для зберігання CO<sub>2</sub> в Україні. Необхідний масштабний аналіз Дніпро-Донецького басейну на сході та Львівського Схилу на Заході для створення основи для майбутньої детальної характеристики місця.
- Дослідити і почати розробку правил зберігання CO<sub>2</sub>, спираючись на кращу міжнародну практику і уникаючи деяких помилок, допущених в інших юрисдикціях.
  - Будувати внутрішній досвід в рамках відповідних регулюючих органів шляхом участі в міжнародних формах УЗВ, наприклад, Програмі дослідження та розробки парникових газів МЕА.
- Розвиток нормативно-правової бази має бути включеним процесом за участю регулюючих органів у співпраці з потенційними розробниками та іншими зацікавленими сторонами. У рамках зберігання CO<sub>2</sub> повинні бути розглянуті наступні питання:
  - Яким чином мають бути встановлені терміни видачі дозволів на зберігання CO<sub>2</sub>. Це стосується і міграції шлейфу CO<sub>2</sub> на орендованій території.
  - Далекоглядні наслідки тиску великомасштабного закачування CO<sub>2</sub>
  - Правила, регулюючі потенційні суперечності між різним використанням поверхневого шару ґрунту, наприклад, видобуток вуглеводнів, включаючи гідравлічний розрив, геотермальну енергію, зберігання газу та постійне зберігання CO<sub>2</sub>
  - Правила, регулюючі використання CO<sub>2</sub>, для підвищення нафтовіддачі пластів (ПНП)
  - Передача відповідальності для прийняття різних заходів щодо зберігання
- Експериментальні або демонстраційні проєкти з закачування CO<sub>2</sub> знадобляться для забезпечення реальних даних щодо українського потенціалу зберігання CO<sub>2</sub>. Така схема пробного закачування може бути змодельована на основі подібних схем, таких як у Кетцин в Німеччині та Лаак у Франції.

## Транспортна інфраструктура CO2

- Комплексний і стратегічний підхід необхідний для розвитку транспортної інфраструктури CO2 в Європі, трубопроводи і судна, які повинні бути на одному рівні з вирішальними подіями.
- Широка газопровідна мережа в Україні пропонує багато переваг для розгортання УЗВ-технологій. Повторне використання невикористаних повною мірою трубопроводів може значно зменшити складність і вартість проєктів УЗВ. Це особливо стосується ранніх проєктів УЗВ, які вимагають простої транспортної інфраструктури і мають обмежені обсяги CO2.
- Якщо існуюча трубопровідна інфраструктура не задовільна через високий тиск і великі обсяги CO2, який необхідно транспортувати, має бути досліджене повторне використання прав проходу трубопроводу. Україна повинна заздалегідь намітити майбутню трубопровідну мережу CO2 та кластери, виявляючи існуючі права проходу трубопроводу і нові права проходу для необхідних додаткових трубопроводів. Таку майбутню трубопровідну інфраструктуру слід розглядати в процесі національного розвитку і планування.
- Визнаючи важливість комплексних мереж транспортування CO2, майбутня демонстрація УЗВ повинна включати в себе два джерела, що входять до єдиного сховища. Такий проєкт повинен бути розташований у регіоні з інтенсивними викидами, такому як Донецьк, потенційно формуючи основу для більш широкого кластера УЗВ.

## Підтримка громадськості

- УЗВ-технологія має бути введена і обговорювана, як інтегральна технологія в кінцевій декарбонізації української економіки. Раннє введення УЗВ як інструменту технології поряд з іншими технологіями, такими як поновлювана енергетика та біоенергетика дозволить підвищити рівень інформованості і надати рішення, щоб продовжувати впровадження УЗВ на міцнішій основі.
- Переваги технології УЗВ в українському середовищі мають бути відзначені з самого початку, в тому числі вигоди для українських підприємств важкої промисловості і тривале використання місцевих джерел енергії.
- Планування і управління будь-якою пробною або демонстраційною установкою мають бути прозорими, з активним пропагандистським і стійким зв'язком з місцевими групами та зацікавленими сторонами.

## БІБЛІОГРАФІЯ

- AAGAARD, 2013. SUMMARIZING THE SSC-RAMORE PROJECT - FINAL REPORT, S.L.: UNIVERSITY OF OSLO, DEPARTMENT OF GEOSCIENCES.
- ABOUDHEIR & MCINTYRE, 2008. INDUSTRIAL DESIGN AND OPTIMIZATION OF CO2 CAPTURE, DEHYDRATION, AND COMPRESSION FACILITIES, S.L.: ITC PUREENERGY, BRYAN RESEARCH & ENGINEERING.
- ALVARDO & MANRIQUE, 2010. ENHANCED OIL RECOVERY: FIELD PLANNING AND DEVELOPMENT STRATEGIES. S.L.: ELSEVIER.
- ARABIAN OIL & GAS, 2012. ADNOC AND MASDAR JOIN FORCES ON CCS PROJECT. [ONLINE] AVAILABLE AT: [HTTP://WWW.ARABIANOILANDGAS.COM/ARTICLE-9861-ADNOC-AND-MASDAR-JOIN-FORCES-ON-CCS-PROJECT/1/PRINT/](http://www.arabianoilandgas.com/article-9861-adnoc-and-masdar-join-forces-on-ccs-project/1/print/)
- ARI, 2010. OPTIMIZATION OF CO2 STORAGE IN CO2 ENHANCED RECOVERY PROJECTS, LONDON: DECC.
- CARBO, 2011. GLOBAL TECHNOLOGY ROADMAP FOR CCS IN INDUSTRY BIOMASS-BASED INDUSTRIAL CO2 SOURCES: BIOFUELS PRODUCTION WITH CCS, S.L.: ECN.
- CARBON TRACKER, 2013. UNBURNABLE CARBON 2013: WASTED CAPITAL AND STRANDED ASSETS, S.L.: CARBON TRACKER.
- CARVALHO, ET AL., 2009. ROBUSTNESS OF TRANS-EUROPEAN GAS NETWORKS. PHYSICAL REVIEW.
- CCSA, 2010. TRANSPORT OF CO2 FOR CARBON CAPTURE AND STORAGE. PIPELINES INTERNATIONAL, MARCH.
- CHAPARRAL ENERGY, INC, 2011. CHAPARRAL ENERGY: ANNUAL REPORT PURSUANT TO SECTION 13 OF THE SECURITIES EXCHANGE ACT. RETRIEVED NOVEMBER 2011, FROM. [ONLINE] AVAILABLE AT: [HTTP://WWW.FAQ.S.ORG/SEC-FILINGS/110329/CHAPARRAL-ENERGY-INC\\_10-K/#IXZZ1FRTZFQFM](http://www.faq.s.org/sec-filings/110329/CHAPARRAL-ENERGY-INC_10-K/#IXZZ1FRTZFQFM)
- CO2SENSE, 2010. THE NATIONAL, REGIONAL AND LOCAL ECONOMIC BENEFITS OF THE YORKSHIRE AND HUMBER CARBON CAPTURE AND STORAGE CLUSTER, S.L.: CO2SENSE.
- COCKERILL, MAKUCH, ORAEE-MIRZAMANI & GEORGIEVA, 2012. CCS NETWORKS FOR THE UK: BENEFITS, IMPACTS AND REGULATION. NEWCASTLE, INTERNATIONAL FORUM ON THE TRANSPORTATION OF CO2 BY PIPELINE.
- COUTURIER & MELLO, 2013. FROM ENGINEERING TO PROCUREMENT TO CONSTRUCTION OF THE BOUNDARY DAM CARBON CAPTURE SYSTEM. S.L., SNC LAVALIN SASKPOWER CCS CONSORTIUM 2013 INFORMATION & PLANNING SYMPOSIUM.
- DYMAN, LITINSKY & ULMISHEK, 1998. GEOLOGY AND NATURAL GAS POTENTIAL OF DEEP SEDIMENTARY BASINS IN THE FORMER SOVIET UNION, S.L.: U.S. GEOLOGICAL SURVEY.
- ENRO, 2009 (B). ACTOR ANALYSIS BIOMASS ROMANIA, BUCHAREST: S.N.
- EURACTIV, 2013. UKRAINE WANTS TO BECOME 'ENERGY HUB' FOR EUROPE". [ONLINE] [ACCESSED 06 MAY 2013].
- EUROPEAN COMMISSION, 2007. AN ENERGY POLICY FOR EUROPE COM 2007 1 FINAL, BRUSSELS: EUROPEAN COMMISSION.
- EUROPEAN COMMISSION, 2008. SUPPORTING EARLY DEMONSTRATION OF SUSTAINABLE POWER GENERATION FROM FOSSIL FUELS, BRUSSELS: EUROPEAN COMMISSION.
- EUROPEAN COMMISSION, 2009. DIRECTIVE 2009/31/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL OF 23 APRIL 2009 ON THE GEOLOGICAL STORAGE OF CARBON DIOXIDE, BRUSSELS: EUROPEAN COMMISSION.
- EUROPEAN COMMISSION, 2011. A ROADMAP FOR MOVING TO A COMPETITIVE LOW CARBON ECONOMY IN 2050., BRUSSELS: EUROPEAN COMMISSION.
- EUROPEAN COMMISSION, 2011. ENERGY ROADMAP 2050, BRUSSELS: EUROPEAN COMMISSION.
- GAS INFRASTRUCTURE EUROPE, 2012. GAS INFRASTRUCTURE EUROPE: GLE LNG MAP, S.L.: GAS INFRASTRUCTURE EUROPE.
- GASSCO, 2010. GAS & INFRASTRUCTURE ACTION GROUP, RECOMMENDATION 8 GAS QUALITY, S.L.: UK/NORWAY CO-OPERATION IMPLEMENTATION GROUP.
- GCCSI, 2011. ECONOMIC ASSESSMENT OF CARBON CAPTURE AND STORAGE TECHNOLOGIES: 2011 UPDATE, S.L.: GLOBAL CCS INSTITUTE.
- GCCSI, 2011. THE COSTS OF CCS AND OTHER LOW CARBON TECHNOLOGIES, CANBERRA: ISSUE BRIEF NO 2.
- GCCSI, 2012. CARBON DIOXIDE (CO2) DISTRIBUTION INFRASTRUCTURE, CANBERRA: GLOBAL CCS INSTITUTE.
- GCCSI, 2012. THE GLOBAL STATUS OF CCS, S.L.: GCCSI.
- GELETUKHA, ET AL., 2010. POTENTIAL OF BIOMASS FOR ENERGY IN UKRAINE, KYIV: BIOMASS ENERGY EUROPE, NATIONAL UNIVERSITY OF LIFE AND ENVIRONMENTAL SCIENCES OF UKRAINE, INSTITUTE OF FORESTRY AND LANDSCAPE-PARK MANAGEMENT.
- GOUGH & UPHAM, 2010. BIOMASS ENERGY WITH CARBON CAPTURE AND STORAGE (BECCS): A REVIEW, S.L.: MANCHESTER: TYNDALL CENTRE..
- GOZALPOUR, REN & TOHIDI, 2005. CO2 EOR AND STORAGE IN OIL RESERVOIRS. OIL & GAS

SCIENCE AND TECHNOLOGY, VOLUME 60, PP. 537-546.

- GUOYU, 2011. WORLD ATLAS OF OIL AND GAS BASINS. LONDON: JOHN WILEY & SONS.
- IBP, 2013. UKRAINE MINING LAWS AND REGULATIONS HANDBOOK. WASHINGTON DC: INTERNATIONAL BUSINESS PUBLICATIONS, USA.
- ICM, 2012. THE DECLINE IN PRODUCTION IN THE UKRAINIAN MARKET OF FERTILIZERS. INTERNATIONAL CHEMICAL MAGAZINE, 31 7.
- IEA, 2006. UKRAINE ENERGY POLICY REVIEW, S.L.: IEA.
- IEA, 2011. COMBINING BIOENERGY WITH CCS, S.L.: IEA WORKING PAPER.
- IEA, 2011. COST AND PERFORMANCE OF CARBON DIOXIDE CAPTURE FROM POWER GENERATION, PARIS: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY.
- IEA, 2011. TECHNOLOGY ROADMAP, CARBON CAPTURE AND STORAGE IN INDUSTRIAL APPLICATIONS, PARIS: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY.
- IEA, 2012. UKRAINE 2012 ENERGY POLICIES BEYOND IEA COUNTRIES, S.L.: IEA.
- IEA, 2013. CARBON CAPTURE AND STORAGE TECHNOLOGY ROADMAP, S.L.: IEA.
- IEAGHG, 2010. DEVELOPMENT OF A GLOBAL CO2 PIPELINE INFRASTRUCTURE, S.L.: IEA GREENHOUSE GAS R&D PROGRAMME (IEAGHG).
- IEAGHG, 2011. GLOBAL STORAGE RESOURCES GAP ANALYSIS FOR POLICY MAKERS, S.L.: IEAGHG.
- IHS, 2012. NATURAL GAS AND UKRAINE'S ENERGY FUTURE, S.L.: MINISTRY OF ENERGY AND COAL INDUSTRY OF UKRAINE.
- JARMILLO, GRIFFIN & MCCOY, 2009. LIFE CYCLE INVENTORY OF CO2 IN AN ENHANCED OIL RECOVERY SYSTEM. ENVIRONMENTAL SCIENCE, VOLUME 43, PP. 8027-8032.
- KLEIN, B. B. D. P., 2011. BIO-IGCC WITH CCS AS A LONG-TERM MITIGATION OPTION IN A COUPLED ENERGY-SYSTEM AND LAND-USE MODEL. ENERGY PROCEDIA, VOLUME 4, PP. 2933-2940.
- KOORNNEEF, ET AL., 2010. THE IMPACT OF CO2 CAPTURE IN THE POWER AND HEAT SECTOR ON THE EMISSION OF SO2, NOX, PARTICULATE MATTER, VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS AND NH3 IN THE EUROPEAN UNION. ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, 44(1), PP. 1369-1385.
- KOORNNEEF, HARMELLEN, HORSSEN, V. & RAMIREZ, 2011. CARBON DIOXIDE CAPTURE AND AIR QUALITY, UTRECHT: ECOFYS, TNO, COPERNICUS INSTITUTE, UTRECHT UNIVERSITY.
- KUUSKRAA & KOPERNA, 2006. EVALUATING THE POTENTIAL FOR "GAME CHANGER" IMPROVEMENTS IN OIL RECOVERY EFFICIENCY FROM CO2 ENHANCED OIL RECOVERY, S.L.: U.S. DOE.
- KUZDZAL, 2012. THE PAST, PRESENT AND FUTURE OF CO2 COMPRESSION. CARBON CAPTURE JOURNAL, SEPTEMBER.
- LIVINGSTON, 2011. BIOMASS ASH AND THE MIXED ASHES FROM CO-FIRING BIOMASS WITH COAL. 1ST INTERNATIONAL WORKSHOP ON CO-FIRING BIOMASS WITH COAL, S.N.
- LOVSETH & WAHL, 2011. ECCO TOOL FOR CO2 VALUE CHAIN CASE STUDY ANALYSIS. ENERGY PROCEDIA, VOLUME 4, PP. 2502-2509.
- MARTYNIUK & OGARENKO, 2012. RESOURCE EFFICIENCY GAINS AND GREEN GROWTH PERSPECTIVES IN UKRAINE, S.L.: FRIDRICH EBERT STIFTUNG.
- MATHIASSEN, 2003. CO2 AS INJECTION GAS FOR ENHANCED OIL RECOVERY AND ESTIMATION OF THE POTENTIAL ON THE NORWEGIAN CONTINENTAL SHELF, TRONDHEIM: NTNU.
- MCCOY & RUBIN, 2008. AN ENGINEERING-ECONOMIC MODEL OF PIPELINE TRANSPORT OF CO2 WITH APPLICATION TO CARBON CAPTURE AND STORAGE. INTERNATIONAL JOURNAL OF GREENHOUSE GAS CONTROL, VOLUME 2(2), PP. 219-229.
- MINISTRY OF ENERGY AND COAL INDUSTRY OF UKRAINE, 2012. STATEMENT ON SECURITY OF ENERGY SUPPLY OF UKRAINE, KYIV: MINISTRY OF ENERGY AND COAL INDUSTRY OF UKRAINE.
- MINISTRY OF ENERGY AND COAL INDUSTRY OF UKRAINE, 2013. UPDATED ENERGY STRATEGY OF UKRAINE UNTIL 2030, S.L.: MINISTRY OF ENERGY AND COAL INDUSTRY OF UKRAINE.
- MINISTRY OF FUEL AND ENERGY OF UKRAINE, 2006. UKRAINE'S ENERGY STRATEGY, S.L.: MINISTRY OF FUEL AND ENERGY OF UKRAINE.
- MIT, 2013. THE OBSERVATORY OF ECONOMIC COMPLEXITY. [ONLINE] AVAILABLE AT: [HTTP://ATLAS.MEDIA.MIT.EDU/](http://atlas.media.mit.edu/)
- MORBEE, SERPA & TZIMAS, 2010. THE EVOLUTION OF THE EXTENT AND THE INVESTMENT REQUIREMENTS OF A TRANS-EUROPEAN CO2 TRANSPORT NETWORK, BRUSSELS: JRC.
- MORGAN, 2012. SNC-LAVALIN - SASKPOWER BOUNDARY DAM INTEGRATED CARBON CAPTURE AND SEQUESTRATION PROJECT, S.L.: B&C CANADA.
- NAFTOGAZ, 2004. OFFERING CIRCULAR, LOAN PARTICIPATION NOTES DUE 2009. KIEV: S.N.
- NATIONAL GRID PLC, 2012. NATIONAL DEVELOPMENT PROPOSAL: CO2 TRANSPORTATION BY PIPELINE (CENTRAL SCOTLAND TO ST. FERGUS). S.L.: NATIONAL

PLANNING FRAMEWORK 3 – CALL FOR CANDIDATE NATIONAL DEVELOPMENTS.

NEORI, 2012. CARBON DIOXIDE ENHANCED OIL RECOVERY: A CRITICAL DOMESTIC ENERGY ECONOMIC, AND ENVIROMENTAL OPPORTUNITY, S.L.: NATIONAL ENHANCED OIL RECOVERY INITIATIVE (NEORI).

NETL, 2013. CARBON DIOXIDE TRANSPORT AND STROAGE COSTS IN NETL STUDIES, S.L.: NATIONAL ENERGY TECHNOLOGY LABORATORY .

NPD, 2010. LARGE QUANTTTIES OF OIL FROM GAS INJECTION. [ONLINE] AVAILABLE AT: HTTP://WWW.NPD.NO/EN/TOPICS/IMPROVED-RECOVERY/TEMAARTIKLER/LARGE-QUANTTTIES-OF-OIL-FROM-GAS-INJECTION/ NPD, 2012. CO2 AND IOR ON THE AGENDA AT ONS. [ONLINE] AVAILABLE AT: HTTP://WWW.NPD.NO/TEMPLATES/OD/ARTICLE.ASPX?ID=4530&EPLSLANGUAGE=EN

OSMUNDESN & EMHJELLEN, 2010. CCS FROM THE GAS-FIRED POWER STATION AT KÅRSTØ? A COMMERCIAL ANALYSIS. ENERGY POLICY, 38(12), PP. 7818-7826.

PERSHAD, STANDEN, DURUSUT & SLATER, 2013. COSTS OF CARBON CAPTURE AND STORAGE (CCS) FOR UK INDUSTRY: A HIGH LEVEL REVIEW, LONDON: UK DEPARTMENT OF BUSSINESS, INNOVATION & SKILLS AND DEPARTMENT OF ENERGY & CLIMATE CHANGE.

RABINDRAN, COTE & WINNING, 2011. INTEGRITY MANAGEMENT APPROACH TO REUSE OF OIL AND GAS PIPELINES FOR CO2 TRANSPORTATION. S.L., 6TH PIPELINE TECHNOLOGY CONFERENCE 2011.

RADA, 2010. HNIDYNTSI GAS PROCESSING PLANT OF UKRNAFTA, OJSC. [ONLINE] AVAILABLE AT: HTTP://RADA.COM.UA/ENG/CATALOG/16489/

RCI, 2012. STRATEGIC POSITION PAPER - DEVELOPMENT CO2 HUB IN ROTTERDAM , S.L.: ROTTERDAM CLIMATE INITIATIVE.

RHODES & KEITH, 2003. BIOMASS ENERGY WITH GEOLOGICAL SEQUESTRATION OF CO2. TWO FOR THE PRICE OF ONE?. KYOTO: PRESENTED AT THE SIXTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON GREENHOUSE GAS CONTROL TECHNOLOGIES, S.N.

RHODES & KEITH, 2005. ENGINEERING ECONOMIC ANALYSIS OF BIOMASS IGCC WITH CARBON CAPTURE AND STORAGE.. BIONASS & BIOENERGY, VOLUME 29, PP. 440-450.

SCOTTISH ENTERPRISE, 2012. ECONOMIC IMPACTS OF CO2-ENHANCED OIL RECOVERY FOR SCOTLAND, S.L.: SCOTTISH ENTERPRISE.

SEEVAM, RACE & DOWNIE, 2008. TRANSPORTING THE NEXT GENERATION OF CO2 FOR CARBON, CAPTURE AND STORAGE: THE IMPACT OF IMPURITIES ON SUPERCRITICAL CO2 PIPELINES. CALGARY: PROCEEDINGS OF IPC2008, 7TH INTERNATIONAL PIPELINE CONFERENCE .

SEIERSTEN & KONGSHAUG, 2005. VOL 2 CHAPTER 16: MATERIALS SELECTION FOR CAPTURE, COMPRESSION, TRANSPORT AND INJECTION OF CO2. IN: CARBON DIOXIDE CAPTURE FOR STORAGE IN DEEP GEOLOGIC FORMATIONS – RESULTS FROM THE CO2 CAPTURE PROJECT GEOLOGIC STORAGE OF CARBON DIOXIDE WITH MONITORING AND VERIFICATION - VOLUME 2. S.L.:S.N.

SHELL, 2010. QUEST CARBON CAPTURE AND STORAGE PROJECT, VOLUME 1: PROJECT DESCRIPTION APPENDIX A: MEASUREMENT, MONITORING AND VERIFICATION PLAN, S.L.: SHELL.

SINGH, 2013. INCORPORATING FUTURE TECHNOLOGICAL IMPROVEMENTS IN EXISTING CO2 POST COMBUSTION CAPTURE PLANTS: TECHNICAL REVIEW, S.L.: IEAGHG.

SMITH, CAMPBELL, MACKAY & POLSON, 2012. CO2 AQUIFER STORAGE SITE EVALUATIO AND MONITORING, S.L.: SCOTTISH CARBON CAPTURE & STORAGE.

SORRELL, ET AL., 2009. GLOBAL OIL DEPLETION, AN ASSESSMENT OF THE EVIDENCE FOR A NEAR-TERM PEAK IN GLOBAL OIL PRODUCTION, LONDON: UK ERC.

STEELGURU, 2010. FOREIGN DIRECT INVESTMENT IN UKRAINIAN METALLURGY. [ONLINE].

STEELGURU, 2012. UKRAINE STEEL PIPE EXPORTS UP 30PCT IN AUGUST FROM JULY. [ONLINE].

STEVENS, SCO

YEVTUSHENKO & VAKHT, 2012. OIL & GAS INDUSTRY, S.L.: DELOITTE.

ZAHRA, 2009. PH.D THESIS, CARBON DIOXIDE CAPTURE FROM FLUE GAS, DEVELOPMENT AND EVALUATION OF EXISTING AND NOVEL PROCESS CONCEPTS. S.L.:DELFT UNIVERSITY .

ZEP , 2011. THE COSTS OF CO2 CAPTURE, TRANSPORT AND STORAGE: POST-DEMONSTRATION CCS IN THE EU, S.L.: S.N.

ZEP, 2011. THE COSTS OF CO2 STORAGE, BRUSSELS: ZERO EMISSIONS PLATFORM.

ZEP, 2011. THE COSTS OF CO2 TRANSPORT, S.L.: ZERO EMISSIONS PLATFORM.

ZEP, 2013. BUILDING A CO2 TRANSPORT INFRASTRUCTURE FOR EUROPE, BRUSSELS: ZERO EMISSIONS PLATFORM.

ZEP, 2013. CO2 CAPTURE AND STORAGE (CCS) IN ENERGY-INTENSIVE INDUSTRIES, BRUSSELS: ZERO EMISSIONS PLATFORM.

## ГЛОСАРІЙ

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| CARBON CAPTURE AND STORAGE CCS       | МЕТОД УАОВАЮВАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ (УЗВ) |
| AIR POLLUTION                        | ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ                        |
| ALLOWANCE                            | ВСТАНОВАЕНА КІЛЬКІСТЬ (НОРМА, КВОТА)                    |
| AMINE UNIT                           | АМІАЧНА УСТАНОВКА (КОЛОНА)                              |
| AMINES                               | АМІНИ   |
| ANCILLARY POWER                      | ДОДАТКОВА ПОТУЖНІСТЬ                                    |
| ANTHROPOGENIC                        | АНТРОПОГЕННИЙ   |
| APPRAISAL                            | ОШІНКА, ЕКСПЕРТИЗА                                      |
| AQUIFER                              | ВОДОНОСНИЙ ГОРИЗОНТ                                     |
| BANKABLE                             | ПРИДАТНИЙ ДО ОБЛІКУ (ОБЛІКОВИЙ)                         |
| BIOFUEL PLANT                        | ЗАВОД, ЩО ПРАЦЮЄ НА БІОПАЛИВІ                           |
| BLOWER                               | ВЕНТИЛЯТОР  |
| BUOYANTLY                            | ПЛАВУЧИЙ  |
| CALORIFIC VALUE                      | КАЛОРІЙНІСТЬ  |
| CAPACITY                             | ПОТУЖНІСТЬ  |
| CAPILLARY PRESSURE                   | КАПАЛЯРНИЙ ТИСК   |
| CARBON DIOXIDE                       | ВУГЛЕКИСЛИЙ ГАЗ (ДІОКСИД ВУГЛЕЦЮ)                       |
| CARBONIC ACID                        | ВУГЛЯНА КИСЛОТА   |
| CIRCULATION PUMP                     | ЦИРКУЛЯЦІЙНИЙ НАСОС                                     |
| CLUSTER                              | КЛАСТЕР, ОБ'ЄДНАННЯ                                     |
| COAL                                 | ВУГЛЯ   |
| COAL SEAM                            | ШАР ЗАЛЯГАННЯ КАМ'ЯНОГО ВУГЛЯ                           |
| COALBED METHANE RECOVERY             | ВІДНОВАЕННЯ ВУГЛЯНОГО МЕТАНУ                            |
| CO-FIRING                            | СУМІШНЕ СПАЛЮВАННЯ                                      |
| COMBUSTION                           | СПАЛЮВАННЯ  |
| COMPRESSION POWER                    | ЕНЕРГІЯ СТИСНЕННЯ                                       |
| CONDENSABLE                          | КОНДЕНСОВАНИЙ   |
| CORROSION                            | КОРОЗІЯ   |
| CURBING EMISSIONS, REDUCE EMISSIONS  | СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ                                      |
| DENSE PHASE                          | НАДКРИТИЧНА ФАЗА  |
| DEplete                              | ВИСНАЖУВАТИ   |
| DOWNSTREAM INJECTION                 | НИЗХІДНА ІНЖЕКЦІЯ                                       |
| ELECTRICITY GRID                     | ЕЛЕКТРОМЕРЕЖА   |
| ELECTRICITY OUTPUT PENALTY           | ПЕРЕВИТРАТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ                         |
| EMISSIONS TRADING SYSTEM             | СИСТЕМА ТОРГІВЛІ ВИКИДАМИ                               |
| ENERGY CONVERSION EFFICIENCY         | ЕФЕКТИВНІСТЬ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ                       |
| ENERGY EFFICIENCY                    | ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ                                      |
| ENERGY INTENSIVE INDUSTRY            | ЕНЕРГОЄМНЕ (ЕНЕРГОВИТРАТНЕ) ВИРОБНИЦТВО                 |
| ENERGY SOURCE                        | ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ   |
| ENHANCED OIL RECOVERY                | ВТОРИННИЙ ВИДОБУТОК НАФТИ                               |
| ENVIRONMENT                          | НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ                                   |
| ETHANOL AND AMMONIA FERTILISER PLANT | ЗАВОД ПО ВИРОБНИЦТВУ ЕТАНОЛОВИХ ТА АМОНІЙНИХ ДОБРИВ     |
| FERTILISER PRODUCTION                | ВИРОБНИЦТВО ДОБРИВ                                      |
| FLOW ASSURANCE                       | ПРОПУСКНА СПРОМОЖНІСТЬ                                  |
| FLUE GAS                             | ДИМОВІ ГАЗИ (ВІДПРАЦЬОВАНІ ГАЗИ)                        |
| FLUE GAS DESULPHURIZATION            | ДЕСУЛЬФУРИЗАЦІЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ                           |
| FRACTURE                             | ПЕРЕЛОМ   |
| FRONT END ENGINEERING AND DESIGN     | ПЕРЕДПРОЕКТНІ РІШЕННЯ                                   |
| FUEL CONSUMPTION                     | ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВА                                     |
| GAS LIQUEFACTION                     | ЗРІДЖЕННЯ ГАЗУ  |
| GAS TURBINE                          | ГАЗОВА ТУРБИНА  |
| GASIFICATION                         | ГАЗИФІКАЦІЯ   |
| GEOLOGIC SEQUESTRATION               | ГЕОЛОГІЧНА ІЗОЛЯЦІЯ                                     |
| GLYCOL                               | ГЛІКОЛЬ   |
| GRAVITY                              | ГУСТИНА   |

|  |  |
|--|--|
| GREENHOUSE GAS EMISSIONS               | ВИКИДИ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ                        |
| GROUNDWATER                            | ПІДЗЕМНІ ВОДИ                                  |
| HYDRATE                                | ГІДРООКСИД                                     |
| IMMOBILISE                             | ПОЗБАВЛЯТИ РУХЛИВОСТІ                          |
| IMPERMEABLE                            | НЕПРОНИКНИЙ                                    |
| INDUSTRIAL APPLICATION                 | ПРОМИСЛОВЕ ВИКОРИСТАННЯ                        |
| INDUSTRIAL FACILITY                    | ПРОМИСЛОВЕ ПІДПРИЄМСТВО                        |
| INJECTION WELL                         | СВЕРДЛОВИНА ДЛЯ ВІПОРСКУВАННЯ (ЗАКАЧУВАННЯ)    |
| INSTALLATION                           | ВСТАНОВАЕННЯ, МОНТАЖ                           |
| INTEGRATED GASIFICATION COMBINED CYCLE | ІНТЕГРОВАНА ГАЗИФІКАЦІЯ КОМБІНОВАНОГО ЦИКЛУ    |
| IRON AND STEEL PRODUCTION              | ЧОРНА МЕТАЛУРГІЯ                               |
| LATERAL CONTINUITY                     | БІЧНА ЦІЛІСНІСТЬ                               |
| LEAKAGE PATHWAY                        | ШЛЯХИ ВИПІКАННЯ                                |
| LEVELISED COST OF ELECTRICITY          | НОРМОВАНА ВАРТІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ              |
| LIFECYCLE                              | ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ                                  |
| LOSS OF GENERATOR OUTPUT               | ВТРАТА ПОТУЖНОСТІ ГЕНЕРАТОРА                   |
| MASS FLOW                              | МАСОВА ВИТРАТА                                 |
| MINERALISATION                         | МІНЕРАЛІЗАЦІЯ                                  |
| MINING OPERATIONS                      | ВИДОБУТОК КОРИСНИХ КОПАЛИН                     |
| MIXTURE OF GASES                       | ГАЗОВА СУМІШ                                   |
| MOISTURE CONTENT                       | ВМІСТ ВОЛОГИ                                   |
| MONITORING AND VERIFICATION            | МОНІТОРИНГ ТА ВЕРИФІКАЦІЯ                      |
| NET EFFICIENCY                         | ЗАГАЛЬНИЙ КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ              |
| NON-FLAMMABLE                          | НЕГОРЮЧИЙ                                      |
| ODOUR                                  | ЗАПАХ  |
| OFFSHORE GAS                           | ВИДОБУТОК ГАЗУ НА ШЕЛЬФІ                       |
| OIL FIELD                              | НАФТОВЕ РОДОВИЩЕ                               |
| ONSHORE PIPELINE                       | НАЗЕМНИЙ ТРУБОПРОВІД                           |
| PARTICULATE MATTER                     | СУСПЕНДОВАНІ ДРІБНІ ЧАСТИНКИ                   |
| PERMEABILITY                           | ПРОНИКНІСТЬ                                    |
| PERMEABILITY                           | ПРОНИКНІСТЬ                                    |
| PERMISSION                             | ДОЗВІЛ   |
| PIPELINE                               | ТРУБОПРОВІД                                    |
| PLUGGING                               | ЗАКУПОРЮВАННЯ                                  |
| POINT SOURCE                           | ТОЧКОВЕ ДЖЕРЕЛО ВИКИДІВ                        |
| POLLUTANT                              | ЗАБРУДНЮЮЧА РЕЧОВИНА                           |
| POROUS                                 | ПОРИСТИЙ                                       |
| POST COMBUSTION                        | ПІСЛЯ СПАЛЮВАННЯ                               |
| POTENTIAL OCCUPATIONAL HAZARD          | ПОТЕНЦІЙНИЙ ПРОФЕСІЙНИЙ РИЗИК                  |
| POWER GENERATION                       | ВИРОБНИЦТВО ЕНЕРГІЇ                            |
| PULVERISED COAL                        | ВУГЛЯНИЙ ПИЛ                                   |
| RECYCLE RATE                           | ШВИДКІСТЬ РЕЦИРКУЛЯЦІЇ                         |
| RECYCLING                              | РЕЦИКАЛІНГ (УТИЛІЗАЦІЯ, ПОВТОРНЕ ВИКОРИСТАННЯ) |
| REFINERY                               | НАФТОПЕРЕРОБНИЙ ЗАВОД                          |
| REMEDIATION                            | ВІДНОВАЕННЯ                                    |
| RENEWABLE ENERGY                       | ПОНОВАЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ                  |
| RESIDUAL TRAPPING                      | ЗАЛИШКОВЕ ПОГЛИНАННЯ                           |
| RESOURCE EXTRACTPON                    | ВИДОБУТОК КОРИСНИХ КОПАЛИН                     |
| ROCK LAYER                             | ШАР ГРІСЬКИХ ПОРІД                             |
| SALINE FORMATIONS                      | ШАРИ ЗАЛЯГАННЯ СОЛОНЧАКІВ                      |
| SATURATION                             | ПОГЛИНАННЯ, НАСИЧЕНІСТЬ                        |
| SCREENING                              | ОБСТЕЖЕННЯ, СКРИНІНГ                           |
| SEALING HORIZON                        | МЕЖА ІЗОЛЯЦІЇ                                  |
| SEDIMENTARY BASIN                      | БАСЕЙН ДОБУВАННЯ КОРИСНИХ КОПАЛИН              |
| SEISMIC REFLECTION                     | КОМП'ЮТЕРНЕ ВІДОБРАЖЕННЯ СЕЙСМІЧНОЇ СИТУАЦІЇ   |
| SEISMIC SURVEY                         | СЕЙСМОРОЗВІДКА                                 |
| SEISMICALLY ACTIVE AREA                | СЕЙСМІЧНО АКТИВНА ЗОНА                         |
| SET ASIDE                              | ВІДКЛАДАТИ В ЧАСІ, ЗАРЕЗЕРВУВАТИ               |

|                           |                              |
|---------------------------|------------------------------|
| SHARED PIPELINE           | ЗАГАЛЬНИЙ ТРУБОПРОВІД        |
| SHARED RIGHTS-OF-WAY      | РОЗПОДАЛЕНИЙ ТРУБОПРОВІД     |
| SOLUBILITY                | РОЗЧИННІСТЬ                  |
| SOLUBILITY TRAPPING       | РОЗЧИННЕ ПОГЛИНАННЯ          |
| SOLVENT                   | РОЗЧИННИК                    |
| SPILL POINT               | ТОЧКА РОЗЛИВУ                |
| STABLE CARBONATE MINERALS | СТІЙКІ КАРБОНАТИ             |
| STATE                     | АГРЕГАТНИЙ СТАН РЕЧОВИНИ     |
| STORAGE CAPACITY          | ЄМНІСТЬ                      |
| STORAGE SITE              | МІСЦЕ ЗБЕРІГАННЯ             |
| STRATA                    | ШАР, ПЛАСТ                   |
| STRATIGRAPHY              | СТРАТИГРАФІЯ                 |
| STREAM                    | ПОТІК                        |
| STRUCTURAL TRAP           | СТРУКТУРНА ПАСТКА            |
| SUBSURFACE                | ПОВЕРХНЕВИЙ ШАР ҐРУНТУ       |
| SYNGAS                    | СИНТЕЗ ГАЗ                   |
| THERMAL ELECTRICTY PLANT  | ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ          |
| THICKNESS                 | ЩІЛЬНІСТЬ                    |
| TRANSPORT HUBS            | ТРАНСПОРТНІ ВУЗЛИ            |
| TRAP                      | ПАСТКА, УЛОВАЮВАТИ           |
| UNDERUTILISED             | НЕДОСТАТНЬО ВИКОРИСТОВУВАНИЙ |
| VALUABLE FEEDSTOCK        | ЦІННА СІРОВИНА               |
| VAPOUR                    | ВИПАРИ                       |
| WOODY BIOMASS             | ДЕРЕВНА БІОМАСА              |
| EARTH'S CRUST             | ЗЕМНА КОРА                   |

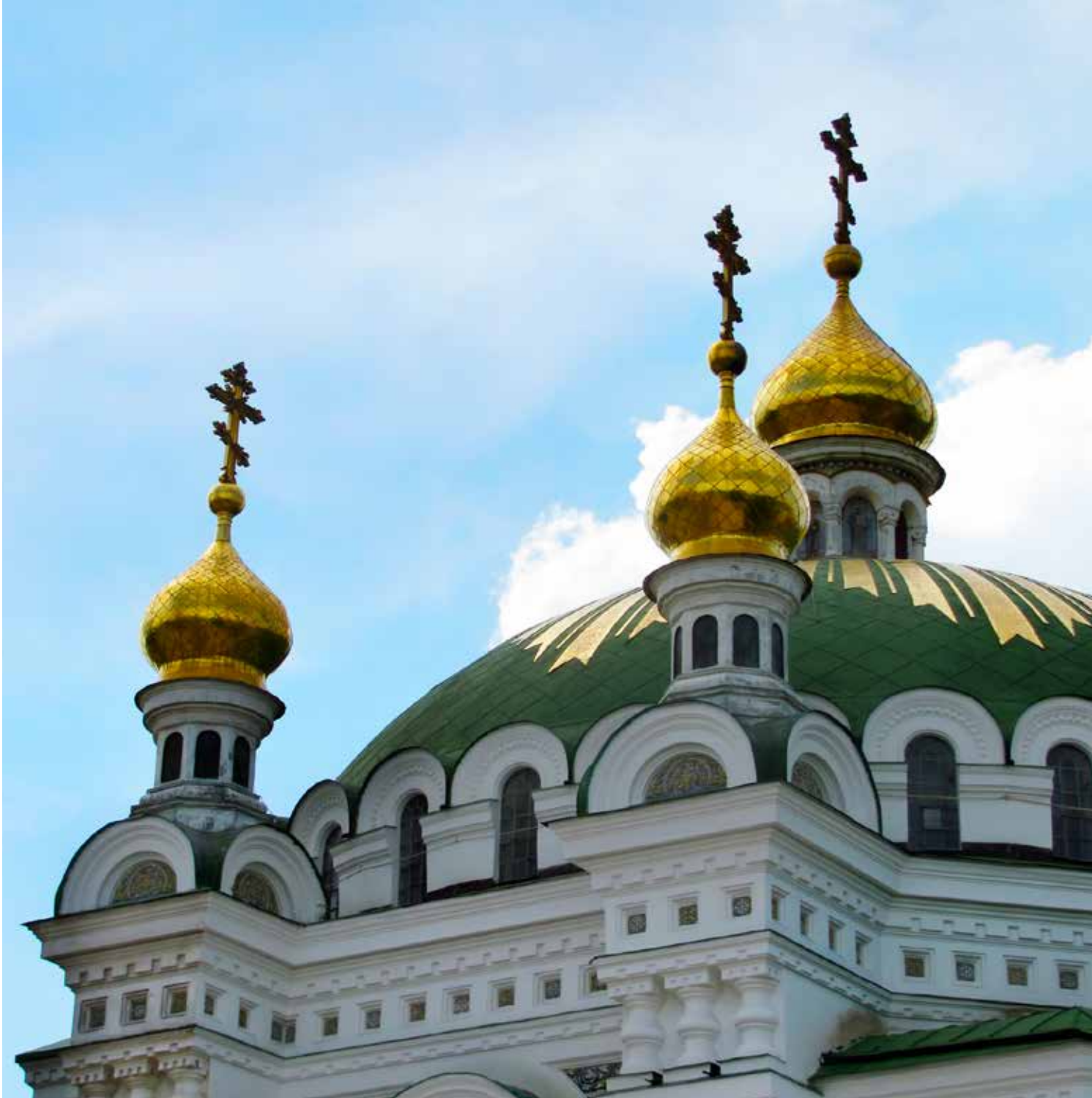
**BEST**

BELLONA ENVIRONMENTAL CCS TEAM

Bellona Europa  
Rue du Trône 61  
1050 Brussels  
Tel: +32 (0)2 540 89 35

**BELLONA**

Bellona Oslo  
Grünerløkka 2141  
0505 Oslo  
Tel: +47 2323 4600



Do you want to know more about Carbon Capture and Storage?

Visit [www.bellona.org/ccs](http://www.bellona.org/ccs)