

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ

На правах рукопису

ЗОБКІВ ОЛЕКСАНДР РОМАНОВИЧ

УДК 622.271

«АДАПТАЦІЙНИЙ АСПЕКТ СУЧАСНИХ ГІРНИЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ»

184 «Гірництво»
(відкриті гірничі роботи)

Випускна робота
на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра

Виконав Зобків О.Р. / _____ /

Керівник Жуков С.О. / _____ /

Завідувач кафедри Жуков С.О. / _____ /

Кривий Ріг
2025 р.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
ВСТУП	4

Розділ 1

ЕНЕРГЕТИЧНІ ДЕТЕРМІНАТИВИ ТА СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ В ЕВОЛЮЦІЇ ПРІОРИТЕТІВ ЩОДО КОРИСТУВАННЯ ПРИРОДНИМИ РЕСУРСАМИ.....	9
---	---

1.1. Стан та основні чинники в сучасному енергоспоживанні ЄС.....	10
1.2. Вплив стратегії декарбонізації енергетики на еволюцію гірничої промисловості.....	20
1.3. Загальні тенденції в адаптації гірничих галузей до динамічних змін.....	23
Висновки за розділом 1.....	26

Розділ 2

АНАЛІЗ ДОСВІДУ ФРАНЦІЇ ЯК ДЕРЖАВИ, НАЙБІЛЬШ ЕНЕРГОНЕЗАЛЕЖНОЇ ТА РЕФОРМАТОРА ГІРНИЧОЇ ГАЛУЗІ	28
---	----

2.1. Енергетичні концепції та мінливість відновлюваних джерел електроенергії.....	29
2.1.1. Відновлювані джерела у виробництві електроенергії Франції.....	29
2.1.2. Відновлювані джерела енергії: періодичність та мінливість.....	30
2.1.3. Виробництво гідроелектроенергетики.....	35
2.1.4. Виробництво вітрової та фотоелектричної енергії.....	37
2.1.5. Біоенергетичні ресурси.....	47
2.1.6. Узагальнення аналізу енергетики Франції.....	48
Висновки за розділом 2.....	50

Розділ 3

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ АДАПТАЦІЇ СУЧАСНИХ КАР'ЄРІВ.....	52
3.1. Світовий досвід біологічної рекультивації порушених кар'єрами земель.....	53
3.2. Під що придатні рекультивовані рудничні території та роль енергетичного чинника.....	58
3.3. Перспективи перетворення рудників на сонячні електростанції.....	62
3.4. Перспективи переобладнання покинутих рудників у комплекси гравітаційної енергії.....	66
3.5. Адаптація кар'єрів етапним переходом до електротранспорту.....	71
3.6. Багатофункціональні комплекси на землях відпрацьованих рудників.....	74
Висновки за розділом 3.....	84
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ.....	87

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка випускної магістерської роботи Зобківа Олександра Романовича на тему: «Адаптаційний аспект сучасних гірничих технологій».

«Випускна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра. Кривий Ріг. Криворізький національний університет, 2025 р.».

Актуальність теми. Гірничодобувна промисловість України, хоч і є стрижнем її індустрії та економіки, але переживає наразі далеко не найкращі часи: невпинно погіршуються умови розробки покладів корисних копалин, зростають глибини гірничих робіт, скорочуються обсяги видобутку, знижується якість сировини тощо. Деякі з власників рудників уже зараз не витримують жорстку конкуренцію і тому закривають, а то й навіть просто залишають свої підприємства напризволяще. Тому на сьогоднішній день неабияк актуалізується проблема ліквідації кар'єрів та пошуку самих різноманітних шляхів адаптації їх в перехідний період до закриття та можливої конверсії з якомога ширшим продуктивним використанням у «післявидобувний» період.

Ідея роботи полягає в максимально можливому продуктивному використанні географічних, топографічних, кліматичних та логістичних якостей територій земельних відводів колишніх рудників після їх закриття шляхом адаптації: топографічної (рельєфної), технологічної та організаційної.

Мета дослідження полягає в доборі максимально відповідних умовам Кривбасу варіантів вторинного використання земель колишніх рудників.

Поставлена мета визначає основні завдання:

- аналіз існуючих успішних стратегій можливої конверсії колишніх рудників в розвинутих країнах світу;
- з'ясування тенденцій в еволюції гірничодобувного сектора промисловості країн Центральної та Західної Європи;
- визначення регулюючої ролі держави та впливу на прийняття програмних рішень місцевих громад за умов ліквідації гірничих підприємств;
- виділення реальних щодо можливого застосування в Україні варіантів залучення до продуктивного використання залишених відкритих розробок та адаптації їх на основі порівняльного аналізу аналогічних характеристик.

Предмет дослідження – території залишених кар'єрів.

Об'єкт дослідження – методи адаптації територій закритих рудників до вторинного використання.

Методологія та методи досліджень: цільовий інформаційний пошук з аналізом і формуванням добірки прийнятних варіантів конверсії закритих гірничих підприємств з узагальненням результатів та визначенням їх пріоритетності за відповідністю вивіреному критерію.

Наукова складова роботи полягає в пропозиціях щодо розширення переліку потенційних можливостей вторинного використання земель рудників.

Структура й обсяг роботи. Робота представлена рефератом, вступом, трьома розділами, загальними висновками і списком інформаційних джерел з 82 найменування та містить 44 рисунків, 4 таблиці. Загальний обсяг – 90 сторінок.

Ключові слова: КАР'ЄР, ВІДВАЛ, ШЛАМОСХОВИЩЕ, ЛІКВІДАЦІЯ РУДНИКА, КОНВЕРСІЯ, ДЕКАРБОНІЗОВАНА ЕНЕРГЕТИКА.

ВСТУП

Актуальність теми. Гірничодобувна промисловість України, хоч і є стрижнем її індустрії [1-3] та економіки, але переживає наразі далеко не найкращі часи: невпинно погіршуються умови розробки покладів корисних копалин, зростають глибини гірничих робіт, скорочуються обсяги видобутку, знижується якість сировини тощо. Деякі з власників рудників уже зараз не витримують жорстку конкуренцію і тому закривають, а то й навіть просто залишають свої підприємства напризволяще. Тому на сьогоднішній день неабияк актуалізується проблема ліквідації кар'єрів та пошуку самих різноманітних шляхів адаптації їх в перехідний період до закриття та можливої конверсії з якомога ширшим продуктивним використанням у «післявидобувний» період.

Покинутий рудник — це рудник, який остаточно закритий або не працює. Він може належати державі, приватній власності або мати поданий план закриття. У випадках, коли власника немає, рудник вважається «осиротілим» або покинутим.

Для боротьби з глобальним потеплінням рекомендується більше переорієнтуватися на відновлювані джерела енергії. З січня 2019 року державне фінансування нерентабельних вугільних кар'єрів у ЄС було скорочено, що змусило ряд гірничодобувних об'єктів закритися.

Землекористування після закриття рудника: практична основа для оцінки варіантів з низьким рівнем викидів

Закриття рудника – неминуче після завершення його діяльності, але це не обов'язково означає кінець супутніх вигод, які може забезпечити рудник. Фахівці WSP із закриття гірничих розробок [4] представляють просту, але практичну основу для оцінки інноваційних та сталих варіантів з низьким рівнем викидів, доступних зацікавленим сторонам після закриття рудника.

Друге дихання для рудників на прикладі Австралії

Ніколи не зарано починати планувати відповідальне закриття шахт. CSIRO [5] прогнозує, що приблизно 240 рудників в Австралії припинять свою діяльність до 2040 року. Однак гірничодобувний сектор залишається важливим

для австралійської економіки, задовольняючи потреби в рудах, критично важливих металах та мінералах для енергетичного переходу. Врахування вартості шахти після закриття до її експлуатації гарантує, що вона отримає змістовне друге життя та генеруватиме позитивні довгострокові результати для навколишнього середовища, громад та економіки.

Інновації після закриття для нульового майбутнього

Було запропоновано кілька інноваційних підходів для покращення екологічних та соціально-економічних результатів закриття шахт, таких як перетворення частини або всієї землі для сільськогосподарських, туристичних чи рекреаційних цілей, або на науковий центр чи парк даних. Однак, враховуючи нові цілі щодо скорочення викидів вуглецю та виробництва відновлюваної енергії, ідея перепрофілювання рудничних ділянок для проектів відновлюваної енергетики набирає популярності як спосіб компенсації викидів, пов'язаних з переробкою, та забезпечення джерел енергії на вже порушених ділянках, тим самим сприяючи енергетичному переходу.

Наприклад, сонячні та вітрові електростанції можуть бути побудовані на закритих рудничних ділянках, які мають сприятливі сонячні та вітрові умови. Вироблену енергію можна повертати в мережу або використовувати локально для живлення нових низьковуглецевих галузей промисловості.

Водоакумуючі системи зберігання енергії є хорошим варіантом для добре розташованих шахтних ділянок з великими пустотами на різній висоті. Воду можна перекачувати з рудника або пустоти вниз до верхнього резервуара в періоди низького попиту на енергію та високого виробництва відновлюваної енергії (наприклад, сонячної та вітрової енергії). У періоди пікового попиту вода викидається та протікає через турбіну для вироблення електроенергії. Таким чином, система перекачування енергії функціонує як акумулятор. Вона вирівнює та стабілізує подачу електроенергії, а також забезпечує мережу послугами зберігання та підтримки, необхідними для інтеграції більшої кількості відновлюваної енергії.

Колишні рудники також можна використовувати для вирощування енергетичних культур, таких як просо або водорості для виробництва

біопалива. Виробництво та переробка біопалива можуть забезпечити нові економічні можливості для громад, які постраждали від закриття рудників, а також потенційно сприяти здоров'ю ґрунту та розвитку відновлюваної енергетики.

Переосмислення землекористування на основі потенціалу та придатності землі

Оцінка фізичних та екологічних характеристик, таких як топографія, геотехнічні аспекти, клімат та потік поверхневих вод, є важливою основою для визначення потенціалу землі після закриття рудника. Враховуючи розмір більшості рудників, малоймовірно, що земля матиме однорідні характеристики. Просторове зонування землі на основі цих характеристик та потенційного використання дозволяє враховувати численні додаткові використання, бажано узгоджені з навколишнім землекористуванням та пріоритетами громади та зацікавлених сторін.

Щоб отримати цілісне уявлення про доцільність використання землі після закриття, необхідно враховувати відповідні соціальні, культурні, комерційні та регуляторні або політичні фактори на момент закриття, а також оцінювати, чи можуть ці фактори підтримувати дане використання землі (тобто придатність землі). Без урахування всіх цих факторів успішний та сталий перехід буде малоймовірним або значно більш трудомістким та дорогим.

Ці фактори можна оцінити з точки зору поточного або майбутнього/потенційного стану. Наприклад, які потужності повинні бути наявності до закриття, щоб забезпечити максимальну гнучкість після закриття?

Закриті рудники можуть використовуватися для різних цілей, включаючи встановлення проектів відновлюваної енергії, таких як сонячні електростанції або вітрові турбіни, їх перетворення на рекреаційні або сільськогосподарські зони, а в деяких випадках використання їхньої інфраструктури для навчання або екологічних досліджень після видобутку корисних копалин. Процес закриття та реабілітації планується заздалегідь і має на меті перетворення ділянки безпечним та продуктивним способом.

Можливі способи використання закритого рудника:

Відновлювана енергія: Величезні простори колишніх гірничих ділянок ідеально підходять для встановлення сонячних панелей або вітрових турбін, перетворюючи гірничі ділянки на установки чистої енергії.

Перетворення на рекреаційні зони: Колишні вугільні розрізи, наприклад, були перетворені на гірськолижні схили (шлакові відвали) або озера, що забезпечує нові можливості для відпочинку.

Сільське господарство та біорізноманіття: Перетворення земель також може включати сільське господарство або проекти, спрямовані на відновлення та розвиток біорізноманіття в довгостроковій перспективі, залежно від характеру ділянки.

Дослідження та навчання: Управління після видобутку корисних копалин та вивчення відновлених екосистем також можуть бути використані для навчання нових спеціалістів та проведення екологічних досліджень.

Планування реабілітації:

Раннє планування: Процес закриття та реабілітації починається задовго до відкриття рудника, з розробки планів закриття.

Консультації із зацікавленими сторонами: Плани розробляються в активних консультаціях з місцевими громадами, колишніми працівниками та органами влади, щоб забезпечити соціальну прийнятність та сталість проектів.

Реконструкція екосистеми: Вироблені простори заповнюються, ґрунт вирівнюється, а землі заліснюються для відтворення функціонуючих екосистем.

Контроль та моніторинг: Повернення фінансових гарантій залежить від завершення робіт, запланованих у плані ліквідації, з довгостроковим моніторингом.

Важливо зазначити, що закритий рудник зазвичай вважається землею після видобутку корисних копалин і може становити ризики, якщо її не було належним чином реабілітовано. Мета полягає в переході від видобувної діяльності до сталого використання, корисного для громади та навколишнього середовища.

У даному випадку кінцевою метою аналізу проблеми та методів її вирішення в інших країнах є трансфер успішних інженерних й організаційних

рішень на вітчизняні підприємства зі схожими природними та виробничими умовами.

Ідея роботи полягає в максимально можливому продуктивному використанні географічних, топографічних, кліматичних та логістичних якостей територій земельних відводів колишніх рудників після їх закриття шляхом адаптації: топографічної (рельєфної), технологічної та організаційної.

Мета дослідження полягає в доборі максимально відповідних умовам Кривбасу варіантів вторинного використання земель колишніх рудників.

Основні завдання роботи, зумовлені її цілями:

- аналіз існуючих успішних стратегій можливої конверсії колишніх рудників в розвинутих країнах світу;
- з'ясування тенденцій в еволюції гірничодобувного сектора промисловості країн Центральної та Західної Європи;
- визначення регулюючої ролі держави та впливу на прийняття програмних рішень місцевих громад за умов ліквідації гірничих підприємств;
- виділення реальних щодо можливого застосування в Україні варіантів залучення до продуктивного використання залишених відкритих розробок та адаптації їх на основі порівняльного аналізу аналогічних характеристик.

Предмет дослідження – території залишених кар'єрів.

Об'єкт дослідження – методи адаптації територій закритих рудників до вторинного використання.

Методологія та методи досліджень: цільовий інформаційний пошук з аналізом і формуванням добірки прийнятних варіантів конверсії закритих гірничих підприємств з узагальненням результатів та визначенням їх пріоритетності за відповідністю вивіреному критерію.

Наукова складова роботи полягає в пропозиціях щодо розширення переліку потенційних можливостей вторинного використання земель рудників.

Ключові слова: КАР'ЄР, ВІДВАЛ, ШЛАМОСХОВИЩЕ, ЛІКВІДАЦІЯ РУДНИКА, КОНВЕРСІЯ, ДЕКАРБОНІЗОВАНА ЕНЕРГЕТИКА.

Розділ 1

ЕНЕРГЕТИЧНІ ДЕТЕРМІНАТИВИ ТА СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ В ЕВОЛЮЦІЇ ПРІОРИТЕТІВ ЩОДО КОРИСТУВАННЯ ПРИРОДНИМИ РЕСУРСАМИ

Земні ресурси – не безмежні, а родовища корисних копалин стрімко виснажуються. Особливо це є характерним для покладів енергетичної сировини: вугілля, газу, нафти й урану. Серед перелічених найбагатшими запасами людство забезпечене вугіллям, яке з давнини слугувало йому основним джерелом енергії: спочатку – теплової, потім – електричної. Воно й наразі залишається домінуючим, але людство, внаслідок експоненціального розвитку промисловості, спровокувало глобальну екологічну кризу, яка незабаром і неминуче переросте в катастрофу, в чому чи не провідну роль відіграє саме вугілля, яке розробляється більшою частиною відкритих розробок і яке продовжує бути головним джерелом добробуту більшості гірників.

Поряд з такою масовістю й усталеністю, ситуація стрімко наближається до зламу і гірники мимоволі змушені готуватися до того, що на зміну традиційним викопним енергоносіям приходять відновлювані джерела електричної (сонячні батареї, вітрогенератори й ін.) та теплової (геотермальні комплекси, теплові насоси) енергії.

На перший погляд ситуація складається однозначно не на користь гірників, але більш ретельний аналіз сучасних тенденцій в енергетиці, свідчить про те, що надмірний песимізм тут є дещо перебільшеним, оскільки наймасштабніші об'єкти відкритих розробок – кар'єри, відвали та шламосховища – можуть з успіхом слугувати основою для вторинної інсталяції на них об'єктів енергетики «зеленої».

Саме цьому напряму – нетрадиційному, але вже подекуди заявленому – перспективної адаптації рудників та вугільних розрізів присвячено дану випускню магістерську роботу, в якій головним чином аналіз базується на статистиці щодо частки енергії, виробленої з відновлюваних джерел, у

Європейському Союзу в цілому та у трьох сферах споживання (електроенергія, опалення й охолодження, транспорт) [6]

1.1. Стан та основні чинники в сучасному енергоспоживанні ЄС

У 2023 році відновлювана енергія становила 24,5% енергії, споживаної в ЄС, порівняно з 23,0% у 2022 році (рис. 1.1).

Частка енергії з відновлюваних джерел, що використовується на транспорті в ЄС, досягла 10,8% у 2023 році порівняно з 9,6% у 2022.

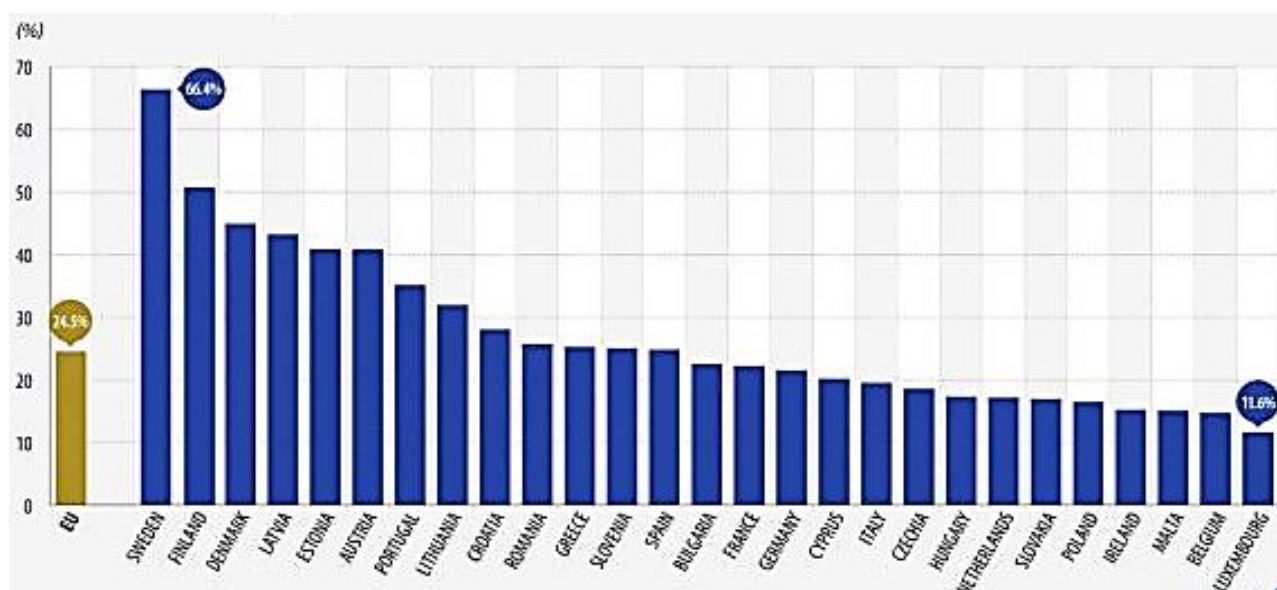


Рис. 1.1. Частка відновлюваної енергії (24,5%) в ЄС у 2023 році
(Джерело: Eurostat (nrg_ind_ren))

Щоб стати першим у світі кліматично нейтральним континентом до 2050 року, потрібні амбітні заходи, які дозволять європейським громадянам та підприємствам скористатися перевагами сталого екологічного переходу.

Використання відновлюваних джерел енергії пропонує численні потенційні переваги, включаючи скорочення викидів парникових газів CO₂, диверсифікацію енергопостачання та зменшення залежності від ринків викопного палива (зокрема вугілля). Зростання відновлюваних джерел енергії також може сприяти зайнятості в ЄС завдяки створенню робочих місць у нових «зелених» технологіях, які стануть одним із наріжних каменів майбутнього Пакту чистої промисловості.

У цьому розділі наведено останню статистику щодо частки енергії, виробленої з відновлюваних джерел, у Європейському Союзі в цілому та у трьох сферах споживання (електроенергія, опалення й охолодження, транспорт). До відновлюваних джерел енергії належать енергія вітру, сонячна енергія (теплова, фотоелектрична та концентрована), гідроенергія, енергія припливів, геотермальна енергія, тепло навколишнього середовища, що уловлюється тепловими насосами, біопаливо та відновлювана частина відходів. Частка відновлюваної енергії майже потроїлася між 2004 і 2023 роками

У 2023 році частка відновлюваних джерел у валовому кінцевому споживанні енергії ЄС досягла 24,5%, що приблизно на 1,5 процентних пункти вище, ніж у 2022 році, і майже втричі вище, ніж у 2004 році (9,6%). (ЄС) 2023/2413 про сприяння використанню енергії з відновлюваних джерел збільшила прагнення ЄС щодо відновлюваної енергії на 2030 рік з 32% до 42,5% (з метою збільшення до 45%). Тому країни ЄС повинні активізувати свої зусилля для колективного виконання нової цілі ЄС на 2030 рік, яка вимагає збільшення частки відновлюваних джерел енергії у валовому кінцевому споживанні енергії ЄС майже на 20 процентних пунктів. На рис. 1.2 наведено останні доступні дані щодо частки відновлюваної енергії у валовому кінцевому споживанні енергії.

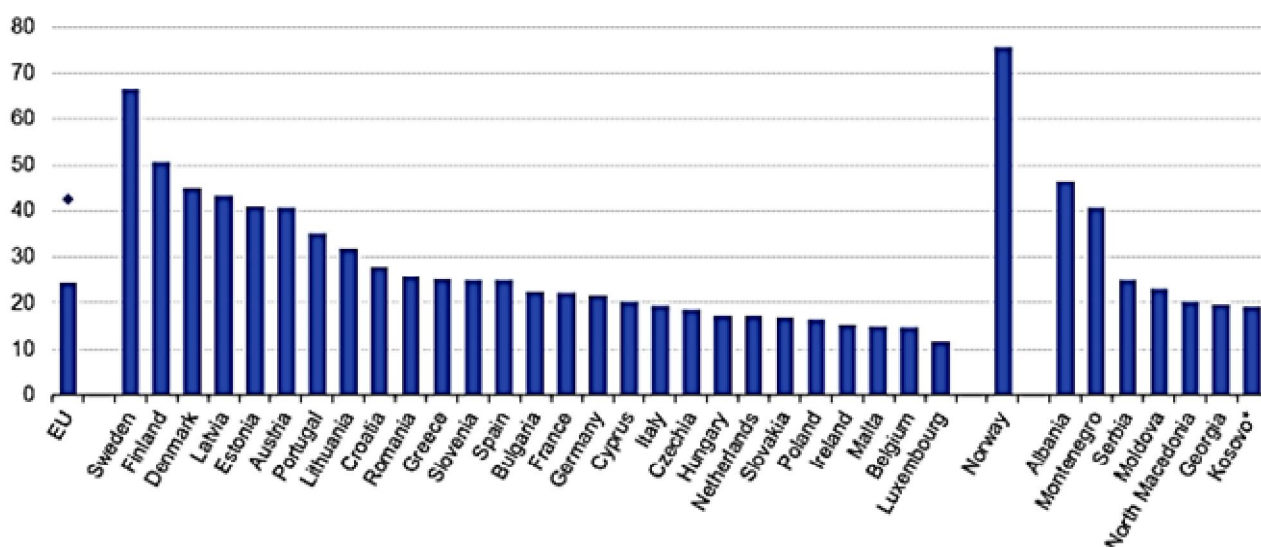


Рис. 1.2. Частка енергії з відновлюваних джерел, 2023 р. (% від валового кінцевого споживання енергії) (Джерело: Eurostat (nrg_ind_ren))

Швеція посіла перше місце серед країн ЄС, де дві третини (66,4%) її валового кінцевого споживання енергії у 2023 році походили з відновлюваних джерел. Швеція покладалася переважно на тверде біопаливо, гідроенергетику та вітрову енергетику. Фінляндія йшла далі з 50,8%, також покладаючись на тверде біопаливо, вітрову енергетику та гідроенергетику, тоді як Данія посіла третє місце з 44,9%, причому більшість її відновлюваної енергії походить з твердого біопалива та вітрової енергії. Найнижчі частки відновлюваної енергії були зафіксовані в Люксембурзі (11,6%), Бельгії (14,7%) та Мальті (15,1%).

У таблиці 1.1 представлено дані для всіх країн, що подали звіти.

Таблиця 1.1

Частка енергії з відновлюваних джерел, 2004-2023 рр.
(% від валового кінцевого споживання енергії)
(Джерело: Eurostat (nrg_ind_ren))

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
EU	9.605	10.182	10.778	11.749	12.552	13.850	14.405	14.547	16.002	16.659	17.416	17.820	17.978	18.411	19.096	19.887	22.038	21.886	23.087	24.531
Belgium	1.916	2.325	2.658	3.140	3.611	4.746	6.004	6.302	7.086	7.671	8.038	8.060	8.744	9.136	9.472	9.929	13.000	13.076	13.817	14.741
Bulgaria	9.231	9.173	9.415	9.098	10.345	12.005	13.927	14.152	15.837	18.898	18.050	18.261	18.760	18.695	20.581	21.545	23.319	19.445	19.044	22.583
Czechia	6.773	7.113	7.362	7.895	8.674	9.977	10.513	10.945	12.814	13.927	15.074	15.070	14.926	14.799	15.139	16.239	17.303	17.614	18.123	18.586
Denmark	14.839	15.955	16.332	17.747	18.543	19.948	21.888	23.389	25.465	27.173	29.310	30.469	31.715	34.387	35.159	37.020	31.681	41.813	42.383	44.923
Germany	6.207	7.167	8.466	10.039	10.072	10.851	11.667	12.470	13.549	13.757	14.381	14.901	14.885	15.472	16.660	17.266	19.090	19.281	20.912	21.547
Estonia	18.420	17.478	16.011	17.139	18.811	23.009	24.575	25.515	25.586	25.356	26.130	28.987	29.232	29.538	29.970	31.730	30.069	37.342	38.542	40.950
Ireland	2.378	2.822	3.073	3.497	3.979	5.243	5.755	6.605	7.029	7.521	8.516	9.083	9.189	10.520	10.942	11.979	16.160	12.996	13.068	15.253
Greece	7.161	7.277	7.458	8.249	8.183	8.731	10.077	11.153	13.741	15.326	15.683	15.690	15.390	17.300	18.001	19.633	21.749	22.001	22.671	25.269
Spain	8.345	8.444	9.156	9.667	10.744	12.958	13.782	13.176	14.239	15.081	15.879	16.221	17.015	17.118	17.023	17.852	21.220	20.550	21.896	24.852
France	9.319	9.272	8.936	9.426	11.188	12.215	12.671	10.813	13.239	13.880	14.362	14.803	15.451	15.847	16.384	17.174	19.109	19.316	20.445	22.283
Croatia	23.404	23.691	22.668	22.161	21.986	23.596	25.103	25.389	26.757	28.040	27.817	28.969	28.266	27.280	28.047	28.466	31.023	31.285	28.088	28.051
Italy	6.316	7.549	8.328	9.807	11.492	12.775	13.023	12.881	15.441	16.741	17.082	17.525	17.415	18.267	17.796	18.181	20.359	18.883	19.131	19.561
Cyprus	3.071	3.131	3.263	4.001	5.131	5.920	6.161	6.245	7.111	8.428	9.144	9.903	9.833	10.478	13.873	13.777	16.879	19.069	19.427	20.213
Latvia	32.794	32.264	31.141	29.615	29.811	34.317	30.375	33.478	35.709	37.037	38.629	37.538	37.138	39.008	40.019	40.929	42.132	42.096	43.720	43.223
Lithuania	17.221	16.768	16.887	16.482	17.824	19.798	19.639	19.943	21.437	22.689	23.592	25.748	25.612	26.038	24.695	25.474	26.773	28.166	29.599	31.926
Luxembourg	0.899	1.402	1.469	2.725	2.809	2.929	2.851	2.855	3.112	3.494	4.471	4.987	5.364	6.194	8.942	7.046	11.699	11.726	14.429	11.619
Hungary	4.364	6.931	7.433	8.575	8.564	11.673	12.742	13.972	15.530	16.205	14.618	14.495	14.377	13.556	12.548	12.634	13.850	14.134	15.193	17.361
Malta	0.102	0.123	0.149	0.177	0.195	0.221	0.979	1.850	2.862	3.760	4.744	5.119	6.208	7.219	7.914	8.230	10.714	12.631	13.969	15.077
Netherlands	2.030	2.478	2.778	3.298	3.596	4.266	3.917	4.524	4.659	4.691	5.415	5.714	5.846	6.507	7.394	8.886	13.999	12.955	14.902	17.154
Austria	22.553	24.353	26.276	28.144	28.788	31.039	31.205	31.552	32.734	32.665	33.550	33.497	33.370	33.136	33.784	33.755	36.545	34.792	34.074	40.844
Poland	6.882	6.867	6.859	6.903	7.686	8.676	9.281	10.337	10.955	11.452	11.605	11.881	11.396	11.059	14.936	15.377	16.102	15.620	16.847	16.496
Portugal	19.205	19.523	20.792	21.907	22.929	24.405	24.150	24.603	24.574	25.699	29.508	30.514	30.864	30.611	30.203	30.623	33.982	33.982	34.675	35.163
Romania	16.811	17.571	17.096	18.195	20.204	22.157	22.834	21.743	22.825	23.886	24.845	24.785	25.032	24.454	23.875	24.290	24.478	23.871	24.229	25.757
Slovenia	18.397	19.809	18.416	19.675	18.646	20.765	21.081	20.937	21.551	23.160	22.459	22.879	21.975	21.658	21.378	21.968	25.000	25.000	25.002	25.066
Slovakia	6.391	6.360	6.584	7.766	7.723	9.368	9.099	10.348	10.453	10.133	11.713	12.882	12.029	11.465	11.896	16.894	17.345	17.419	17.481	16.990
Finland	29.232	28.814	30.043	29.561	31.071	31.045	32.166	32.532	34.222	36.630	38.633	39.230	38.943	40.857	41.185	42.807	43.939	42.854	47.740	50.750
Sweden	38.427	39.982	41.734	43.224	43.922	47.024	46.099	47.632	49.403	50.153	51.151	52.220	52.597	53.390	53.916	55.785	60.124	62.527	66.287	66.393
Iceland	58.899	60.270	60.921	71.925	67.981	70.238	70.909	72.298	73.727	73.787	73.043	71.949	75.329	74.104	77.173	78.612	83.725	80.185	79.475	:
Norway	58.417	60.069	60.521	60.398	62.003	65.071	61.889	64.638	64.932	66.480	68.406	68.545	69.235	70.036	71.566	74.406	77.358	74.026	75.875	75.613
Montenegro	:	35.694	34.842	32.925	32.290	39.371	40.640	40.648	41.513	43.696	44.098	43.073	41.529	39.693	38.801	37.722	43.770	39.891	41.064	40.883
Serbia	12.724	14.257	14.542	14.327	15.888	21.024	19.763	19.118	20.790	21.095	22.864	21.989	21.147	20.287	20.320	21.443	26.297	25.340	24.764	24.904
Bosnia and Herzegovina	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	24.873	26.607	25.358	23.241	35.972	37.454	39.835	36.562	39.294	:
Albania	29.620	31.367	32.070	32.657	32.448	31.437	31.867	31.187	35.152	33.167	31.856	34.913	36.953	35.776	36.572	38.042	45.015	41.389	44.076	46.620
North Macedonia	15.702	16.466	16.527	14.976	15.555	17.238	16.451	16.407	18.128	18.509	19.559	19.526	18.044	19.636	18.179	17.485	19.222	17.800	19.213	20.214
Kosovo*	20.541	19.773	19.511	18.812	18.429	18.230	18.230	17.598	18.625	18.823	19.544	18.484	24.472	23.082	24.616	24.215	24.401	22.143	18.773	19.260
Moldova	7.450	6.402	6.960	6.443	6.994	7.924	21.369	22.081	24.328	24.419	26.169	26.173	26.888	27.836	27.476	23.843	25.057	22.202	21.538	22.995
Georgia	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	18.292	18.141	19.850

Деякі країни використовували статистичні перекази для підтримки рівнів, вищих за свої цілі на 2020 рік (що є обов'язковим на період 2021-2030 рр.). Статистичні передачі – це угоди між країнами ЄС про передачу певної кількості енергії, виробленої з відновлюваних джерел, з однієї держави-члена до іншої.

Інші статистичні результати досліджують динаміку частки енергії, виробленої з відновлюваних джерел, між 2004 і 2023 роками у трьох сферах: електроенергія, опалення й охолодження, а також транспорт.

Вітроенергетика та енергія води забезпечують більшу частину відновлюваної електроенергії; сонячна енергія є джерелом енергії, що найшвидше розвивається.

Правила обліку Директиви (ЄС) 2018/2001 передбачають, що електроенергія, вироблена гідроенергетикою та вітром, має бути нормалізована з урахуванням щорічних метеорологічних коливань (гідроенергетика

нормалізується за останні 15 років, а вітрова енергетика – за останні 5 років, розділяючи нормалізацію наземної та морської вітрової енергетики).

У цьому розділі представлено результати нормативного застосування цих правил обліку.

Зростання виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії за період 2013-2023 рр. значною мірою відображає розширення двох відновлюваних джерел енергії по всьому ЄС: вітру та сонця. У 2023 році відновлювані джерела енергії становили 45,3% валового споживання електроенергії в ЄС, що більш ніж на 4 відсоткові пункти вище, ніж у попередньому році (41,2% у 2022 році).

Вітрова та гідроенергетика становили понад дві третини від загального обсягу електроенергії, виробленої з відновлюваних джерел (38,5% та 28,2% відповідно).

Решта – третина виробленої електроенергії надійшла з сонячної енергії (20,5%), твердого біопалива (6,2%) та інших відновлюваних джерел (6,6%). Сонячна енергія є джерелом, що найшвидше зростає: у 2008 році на неї припадав 1%.

Це означає, що зростання виробництва електроенергії з сонячної енергії було вражаючим, зростаючи з лише 7,4 ТВт·год у 2008 році до 252,1 ТВт·год у 2023 році.

Частка енергії з відновлюваних джерел у виробництві електроенергії показана на рис. 1.3.

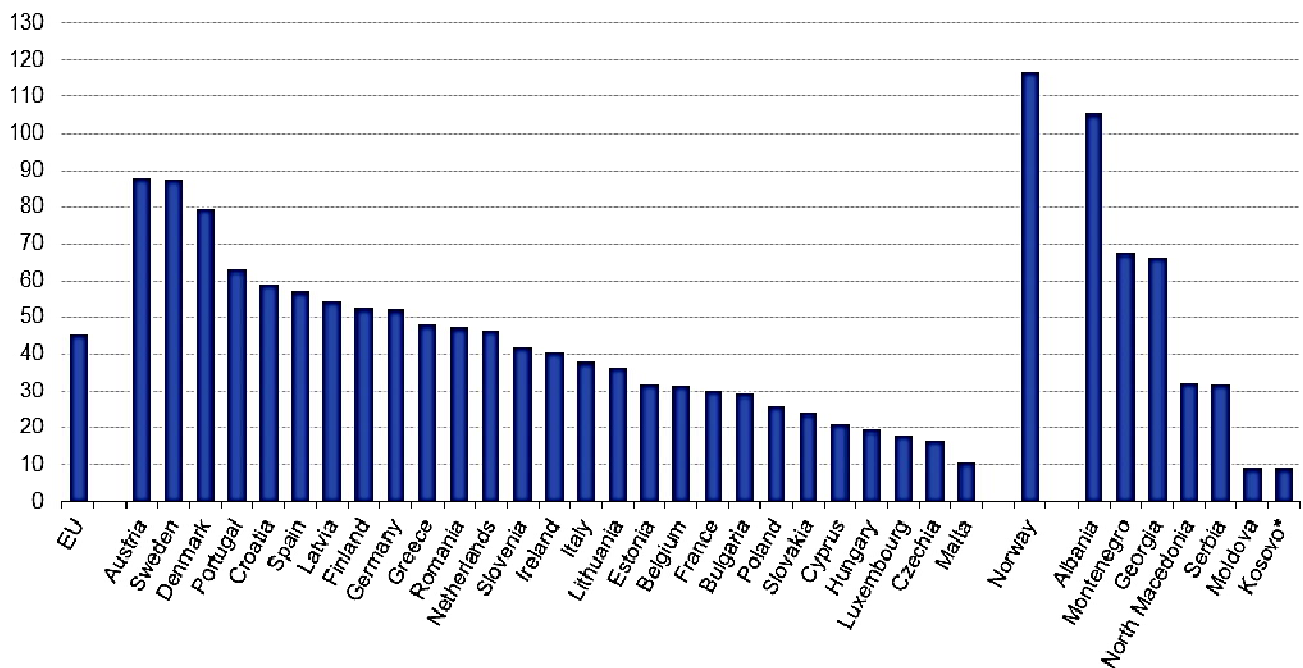


Рис. 1.3. Частка енергії з відновлюваних джерел у валовому споживанні електроенергії, 2023 рік (Джерело: Eurostat (nrg_ind_ren))

Серед країн ЄС понад 75% спожитої електроенергії у 2023 році надійшло з відновлюваних джерел в Австрії (87,8%), Швеції (87,5%) та Данії (79,4%).

Споживання електроенергії, отриманої з відновлюваних джерел, також було доволі високим у Португалії (63,0%), Хорватії (58,8%), Іспанії (56,9%), Латвії (54,3%) та Фінляндії (52,4%), що становить понад половину споживаної електроенергії.

З іншого боку, частка електроенергії, виробленої з відновлюваних джерел, була нижче 20% на Мальті (10,7%), у Чехії (16,4%), Люксембурзі (18,0%) та Угорщині (19,5%).

Країна ЄАВТ Норвегія та країна-кандидат Албанія виробили більше електроенергії з відновлюваних джерел, ніж загальний обсяг електроенергії, яку вони спожили у 2023 році, що призвело до частки понад 100%.

Для отримання більш розширеної додаткової інформації див. табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Частка енергії з відновлюваних джерел
у валовому споживанні електроенергії, 2004–2023
(% від валового кінцевого споживання електроенергії)
(Джерело: Eurostat (nrg_ind_ren))

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
EU	15.871	16.402	16.879	17.647	18.526	20.654	21.283	23.300	25.138	26.769	28.601	29.655	30.172	31.104	32.134	34.086	37.408	37.760	41.220	45.286
Belgium	1.714	2.386	3.130	3.662	4.625	6.176	7.332	8.989	11.338	12.547	13.414	15.573	15.834	17.214	18.886	20.817	25.122	26.018	29.098	31.370
Bulgaria	8.358	8.666	8.730	8.899	9.544	10.906	12.358	12.621	15.816	18.682	18.686	18.975	19.147	19.022	22.355	23.509	23.586	21.413	20.080	29.426
Czechia	3.693	3.782	4.096	4.621	5.182	6.378	7.516	10.610	11.667	12.781	13.890	14.072	13.615	13.654	13.711	14.046	14.810	14.468	15.499	16.448
Denmark	23.754	24.647	23.966	25.001	25.936	28.257	32.735	35.874	38.716	43.084	48.493	51.292	53.717	59.940	62.394	65.347	65.323	72.920	77.223	79.392
Germany	9.436	10.577	11.944	13.727	15.141	17.521	18.241	20.930	23.605	25.284	28.171	30.882	32.273	34.612	37.591	40.604	44.215	43.880	47.888	52.240
Estonia	0.546	1.127	1.428	1.432	1.972	5.966	10.294	12.199	15.670	12.948	14.017	16.152	16.194	17.583	19.679	21.998	28.293	29.197	29.114	31.845
Ireland	6.031	7.196	8.505	9.534	10.822	14.061	15.642	18.252	19.838	20.960	23.320	25.725	27.069	30.318	33.317	36.460	39.055	37.665	37.387	40.428
Greece	7.842	8.213	8.924	9.330	9.646	11.016	12.307	13.810	16.364	21.241	21.923	22.089	22.657	24.464	26.001	31.295	35.856	35.881	42.361	48.225
Spain	19.018	19.166	20.027	21.718	23.777	27.882	29.748	31.530	33.438	36.027	37.128	36.972	36.676	36.465	35.236	37.131	42.944	46.001	50.901	56.933
France	13.782	13.738	14.058	14.289	14.358	15.088	14.815	16.179	16.548	16.977	18.465	18.821	19.209	19.933	21.131	22.389	24.819	24.733	27.292	29.981
Croatia	35.027	35.184	34.818	33.976	33.865	35.877	37.520	37.592	38.764	42.077	45.241	45.409	46.667	46.437	48.139	49.783	53.816	53.471	56.245	58.826
Italy	16.086	16.293	15.925	15.954	16.645	18.807	20.091	23.546	27.420	31.302	33.420	33.459	34.012	34.104	33.930	34.969	38.081	35.995	37.102	38.100
Cyprus	0.019	0.024	0.034	0.074	0.285	0.589	1.390	3.445	4.927	6.654	7.399	8.445	8.587	8.911	9.357	9.756	12.041	14.840	16.963	20.939
Latvia	45.958	43.023	40.414	38.622	38.733	41.942	42.051	44.694	44.877	48.685	51.037	52.205	51.251	54.352	53.499	53.423	53.357	51.399	53.519	54.317
Lithuania	3.587	3.831	4.016	4.652	4.914	5.869	7.401	9.020	10.876	13.149	13.705	15.543	16.872	18.255	18.408	18.790	20.166	21.278	26.461	36.469
Luxembourg	2.765	3.179	3.172	3.305	3.581	4.105	3.786	4.075	4.660	5.329	5.958	6.197	6.674	8.055	9.115	10.863	13.887	14.216	16.187	18.044
Hungary	2.220	4.419	3.453	4.193	5.317	6.958	7.103	6.379	6.057	6.600	7.305	7.341	7.292	7.513	8.306	9.969	11.904	13.660	15.333	19.536
Malta	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.454	1.115	1.571	3.333	4.312	5.714	6.845	7.702	7.485	9.489	9.649	10.122	10.740
Netherlands	4.446	6.297	6.541	5.963	7.464	9.069	9.601	9.740	10.350	9.911	9.924	11.040	12.550	13.812	15.171	18.230	26.407	33.251	39.650	46.400
Austria	61.627	62.901	63.527	65.666	65.880	68.626	66.361	66.779	67.439	68.909	71.059	71.487	72.521	71.626	74.189	75.067	78.204	73.881	74.806	87.764
Poland	2.049	2.512	2.860	3.316	4.248	5.713	6.549	8.078	10.610	10.676	12.360	13.401	13.342	13.082	13.027	14.356	16.237	17.167	21.009	25.792
Portugal	27.390	27.703	29.308	32.285	34.063	37.562	40.608	45.780	47.505	49.101	52.054	52.616	53.990	54.168	52.186	53.774	58.032	58.433	60.991	63.010
Romania	28.427	28.775	28.054	28.108	28.075	30.894	30.378	31.131	33.567	37.516	41.679	43.161	42.712	41.965	41.793	42.616	43.374	42.676	43.725	47.391
Slovenia	29.271	28.654	28.231	27.697	29.962	33.756	32.200	31.045	31.637	33.081	33.935	32.722	32.056	32.425	32.307	32.632	35.095	34.976	37.005	41.887
Slovakia	15.403	15.735	16.566	16.467	17.013	17.765	17.774	19.305	20.054	20.800	22.870	22.656	22.513	21.343	21.499	22.103	23.066	22.402	22.901	24.201
Finland	26.711	26.918	26.420	25.468	26.745	26.821	27.216	28.964	29.110	30.543	31.114	32.207	32.716	35.044	36.539	37.969	39.564	39.583	47.966	52.375
Sweden	51.196	50.899	51.783	53.210	53.687	58.252	55.767	59.624	59.779	61.737	63.214	65.733	64.869	65.909	66.228	71.234	74.495	75.760	83.372	87.547
Iceland	93.148	94.928	93.497	113.700	90.847	92.861	92.419	93.915	95.422	96.719	97.063	93.110	95.310	93.376	98.497	100.640	102.709	99.536	99.193	:
Norway	97.973	97.423	100.843	99.052	100.154	105.191	98.252	105.887	104.599	106.917	110.135	106.830	105.638	104.850	106.829	110.445	113.802	113.642	120.010	116.538
Montenegro	:	39.102	37.679	37.622	38.258	46.615	45.740	41.583	42.765	49.067	51.444	49.613	50.961	50.111	52.419	53.647	61.490	60.462	68.513	67.529
Serbia	18.486	22.366	23.603	24.812	25.858	28.252	28.183	27.526	28.509	27.971	30.274	28.915	29.154	27.448	28.658	30.107	30.701	29.820	30.290	31.795
Bosnia and Herzegovina	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	38.394	38.726	40.829	39.564	41.498	45.482	49.308	46.318	39.294	:
Albania	69.979	76.112	74.208	79.631	73.299	70.714	74.618	66.131	72.427	62.665	70.985	79.222	82.104	91.025	92.450	92.994	99.975	94.421	102.968	105.381
North Macedonia	14.511	13.989	14.011	13.671	13.848	15.471	15.847	14.849	16.659	18.206	19.273	21.663	24.138	24.839	24.838	23.778	23.532	22.785	25.868	32.201
Kosovo*	0.472	0.611	0.907	0.971	0.971	1.136	1.361	1.368	1.496	1.628	1.867	1.842	3.973	3.622	4.234	5.155	5.259	5.172	6.685	8.975
Moldova	0.841	0.821	0.787	0.830	0.828	0.959	1.813	1.799	1.694	1.693	1.903	1.975	1.947	2.137	2.627	3.039	3.118	3.579	5.535	9.209
Georgia	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	51.314	55.492	66.257

Майже чверть усієї енергії, що використовується на зазначений в таблиці період для опалення та охолодження (кондиціонування), походить з відновлюваних джерел

У 2023 році відновлювана енергія становила 26,2% від загального споживання енергії для опалення та охолодження будівель в ЄС, порівняно з 11,7% у 2004 році.

Розвиток промисловості, послуг та побутового сектору загалом сприяв цьому зростанню.

Також враховується енергія навколишнього середовища – переважно з надр, яка уловлюється тепловими насосами для відновлюваного опалення та охолодження.

Частка енергії з відновлюваних джерел в опаленні та охолодженні показана на рис. 1.4.

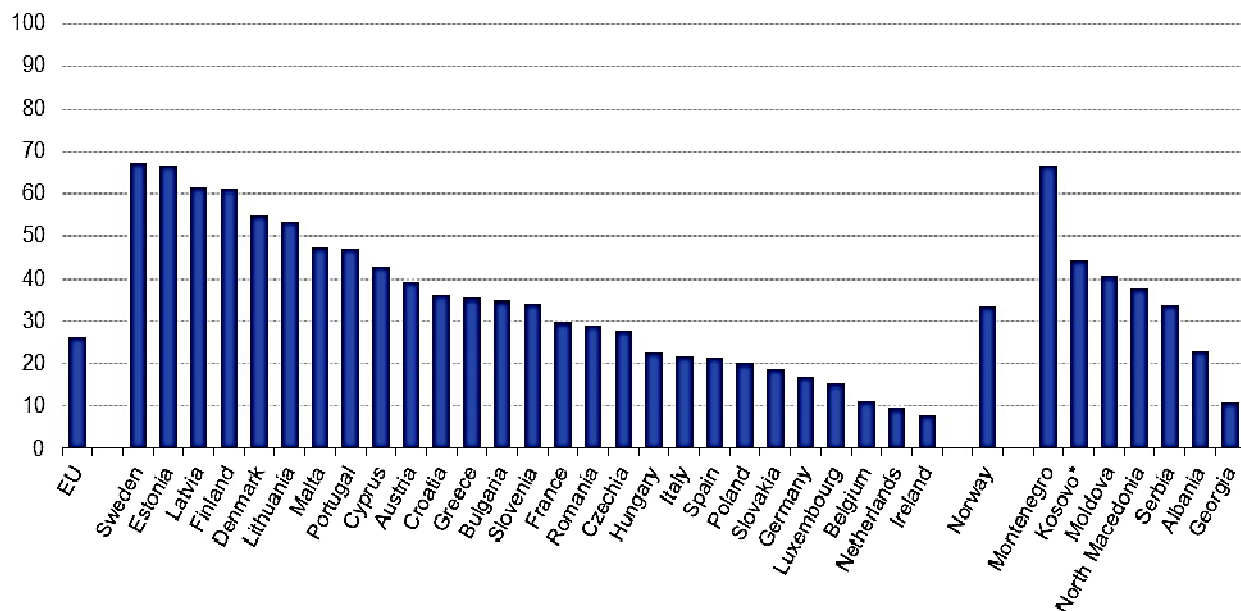


Рис. 1.4. Частка енергії з відновлюваних джерел для опалення та охолодження, 2023 рік (Джерело: Eurostat (nrg_ind_ren))

Серед усіх країн-членів ЄС частка енергії, отриманої з відновлюваних джерел в опаленні та охолодженні становила понад половину у Швеції (67,1%), Естонії (66,7%), Латвії (61,4%), Фінляндії (61,3%), Данії (54,9%) та Литві (53,6%).

На іншому кінці шкали, країни ЄС з часткою енергії з відновлюваних джерел в опаленні та охолодженні (кондиціонуванні) нижче 10% були Ірландією (7,9%) та Нідерландами (9,6%), див. табл. 1.3.

Частка енергії з відновлюваних джерел
в опаленні та охолодженні, 2004-2023 (%)
(Джерело: Eurostat (nrg_ind_ren))

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
EU	11.735	12.437	13.210	14.819	15.325	16.786	16.995	17.415	18.582	19.044	19.929	20.307	20.400	20.819	21.604	22.432	22.983	23.019	24.996	26.191
Belgium	2.927	3.418	3.812	4.713	5.121	6.087	6.710	6.718	7.108	7.639	7.751	7.942	8.247	8.200	8.290	8.319	8.447	9.279	10.556	11.304
Bulgaria	14.056	14.257	14.790	13.862	17.262	21.639	24.334	24.768	27.241	29.234	28.518	28.903	29.990	29.854	33.250	35.423	37.178	30.015	31.646	35.028
Czechia	9.918	10.835	11.234	12.370	12.918	14.260	14.096	15.388	16.249	17.706	19.528	19.787	19.879	19.728	20.642	22.632	23.535	24.349	25.821	27.769
Denmark	20.501	22.612	23.661	26.707	27.964	29.403	30.369	31.889	33.201	34.679	38.014	39.536	41.078	44.063	44.968	47.302	51.073	51.292	52.323	54.898
Germany	7.198	7.711	8.410	10.249	10.330	11.155	12.055	12.607	13.423	13.408	13.409	13.432	13.032	13.369	14.220	14.504	14.481	15.529	17.640	17.101
Estonia	33.361	32.369	30.838	33.037	35.997	42.028	43.162	44.550	43.218	43.112	44.934	50.031	51.765	52.217	53.671	52.193	58.834	61.347	65.442	66.668
Ireland	2.873	3.442	3.592	3.786	3.513	4.181	4.281	4.657	4.849	5.185	6.261	6.184	6.243	6.624	6.381	6.344	6.264	5.564	5.523	7.852
Greece	13.465	13.384	13.095	14.675	14.718	17.247	18.658	20.111	24.122	27.418	27.870	26.557	25.422	28.246	30.123	30.048	31.941	31.081	30.622	35.547
Spain	9.550	9.409	11.376	11.246	11.618	13.218	12.498	13.469	13.969	13.967	15.557	16.850	15.898	16.205	16.135	17.203	17.966	16.957	19.470	21.449
France	12.531	12.363	11.696	12.787	13.283	15.038	16.160	15.263	16.589	17.608	18.047	18.879	20.120	20.599	21.216	22.360	23.368	24.643	27.272	29.926
Croatia	29.406	30.002	29.069	29.301	28.818	31.298	32.881	33.820	36.554	37.308	36.219	38.619	37.636	36.627	36.650	36.791	36.928	38.006	37.213	36.173
Italy	5.713	8.223	10.094	13.334	15.311	16.431	15.642	13.818	16.984	18.092	18.914	19.255	18.887	20.083	19.279	19.699	19.949	19.335	20.566	21.626
Cyprus	9.264	9.970	10.434	13.064	14.469	17.313	18.813	19.977	21.764	22.537	22.186	24.066	24.690	26.420	37.164	35.051	37.117	42.595	41.560	42.750
Latvia	42.488	42.679	42.594	42.363	42.937	47.887	40.745	44.710	47.265	49.650	52.150	51.738	51.812	54.582	55.413	57.749	57.094	57.360	60.960	61.356
Lithuania	30.439	29.318	29.227	29.094	31.992	33.720	32.534	32.788	34.535	36.873	40.628	46.081	46.563	46.495	46.016	47.372	50.350	48.624	51.540	53.611
Luxembourg	1.822	3.612	3.630	4.354	4.571	4.629	4.704	4.736	4.932	5.330	7.070	6.858	7.058	7.450	8.362	8.687	12.614	12.888	15.541	15.479
Hungary	6.450	9.935	11.380	13.544	11.970	17.019	18.077	20.043	23.313	23.699	21.283	21.335	21.027	19.902	18.204	18.160	17.720	17.898	20.354	22.724
Malta	1.035	1.028	1.363	1.507	1.696	2.011	7.282	12.026	13.397	15.399	15.028	14.639	16.854	19.314	22.825	23.602	23.027	32.606	39.942	47.474
Netherlands	2.178	2.379	2.700	2.914	3.024	3.370	3.100	3.688	3.768	4.002	4.925	5.278	5.192	5.750	6.160	7.217	8.053	7.785	8.597	9.613
Austria	20.165	22.817	24.491	27.142	27.195	29.626	30.959	31.517	33.077	33.222	33.375	33.231	33.480	33.670	34.178	33.929	34.995	33.432	31.293	39.387
Poland	10.207	10.161	10.168	10.460	10.846	11.607	11.812	13.240	13.497	14.265	14.237	14.795	14.919	14.779	21.473	22.005	22.143	21.007	22.476	20.242
Portugal	32.490	32.075	34.234	34.951	37.451	37.931	33.814	35.184	33.153	34.628	40.454	40.100	41.614	41.022	40.924	41.657	41.546	42.681	45.545	47.098
Romania	17.337	17.928	17.582	19.465	23.167	26.433	27.227	24.306	25.745	26.195	26.739	25.886	26.865	26.581	25.434	25.739	25.327	24.573	26.251	29.126
Slovenia	22.824	26.404	24.354	29.311	27.527	28.874	29.537	31.785	33.146	35.116	34.641	36.150	35.563	34.639	32.337	32.132	32.141	35.215	33.989	34.302
Slovakia	5.062	5.031	4.451	6.232	6.097	8.178	7.898	9.258	8.803	7.875	8.865	10.791	9.879	9.837	10.599	19.696	19.427	19.521	19.882	18.794
Finland	39.504	39.116	41.409	41.434	43.078	42.888	43.973	45.732	48.230	50.772	51.955	52.618	53.704	54.593	54.905	56.884	57.622	52.084	58.292	61.264
Sweden	45.929	49.022	52.496	54.465	55.778	59.203	57.070	58.519	60.635	61.708	62.566	63.235	63.412	63.620	63.301	64.394	66.381	68.530	69.810	67.068
Iceland	52.343	53.725	57.194	60.910	64.080	64.412	66.188	68.100	68.750	65.893	67.025	69.196	78.245	78.253	79.949	80.896	80.504	79.621	83.555	-
Norway	25.549	28.837	28.435	29.326	30.918	31.814	33.727	34.671	33.968	32.758	30.907	32.674	32.346	32.464	33.099	35.384	36.126	32.305	34.271	33.637
Montenegro	-	52.907	51.358	49.126	46.008	62.078	76.478	81.291	79.793	68.492	67.618	68.543	69.085	65.679	64.497	62.648	64.782	63.498	64.895	66.594
Serbia	14.027	15.563	15.758	13.189	16.730	26.503	23.196	21.089	23.205	25.145	28.844	26.929	25.079	24.896	24.294	26.648	35.680	35.401	34.733	33.890
Bosnia and Herzegovina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28.626	32.768	32.329	28.739	52.685	55.873	56.623	53.310	57.648	-
Albania	33.138	37.757	30.964	33.150	37.056	34.730	31.257	31.427	39.100	37.766	30.977	34.609	32.495	23.969	21.993	24.754	25.125	21.200	22.087	22.917
North Macedonia	23.308	24.681	24.917	22.491	24.642	29.207	26.503	27.338	29.595	31.762	34.991	34.474	30.924	36.301	32.450	32.066	33.729	32.337	37.833	37.791
Kosovo*	51.857	49.490	48.926	49.214	47.794	47.761	45.549	44.683	49.341	49.720	51.816	46.725	51.785	50.531	56.739	54.793	55.888	52.599	46.069	44.529
Moldova	20.159	17.417	18.399	17.350	19.020	21.408	34.579	36.339	39.025	40.014	43.634	44.557	45.544	46.099	45.056	40.472	41.173	36.877	38.390	40.655
Georgia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.371	10.427	10.781

10,8% відновлюваної енергії використовувалося в транспортній діяльності у 2023 році. ЄС погодився встановити спільну ціль у 29% щодо частки відновлюваної енергії (включаючи рідке біопаливо, водень, біометан, «зелену» електроенергію тощо), що використовується в транспорті, до 2030 року.

Середня частка енергії з відновлюваних джерел у транспорті зросла з 1,6% у 2004 році до 10,8% у 2023 році. Серед країн ЄС частка відновлюваної енергії у споживанні транспортного палива коливалася від 33,6% у Швеції та 20,6% у Фінляндії до менше 5% у Хорватії (0,9%), Латвії. (1,4%) та Греція (3,9%).

Країна ЄАВТ Норвегія також повідомила про високу частку відновлюваної енергії у споживанні транспортного палива (27,7%), тоді як країни-кандидати та потенційні кандидати мають дуже низьку частку відновлюваної енергії у транспорті (від нуля до приблизно 1%).

Частка енергії, отриманої цілком з відновлюваних джерел у транспорті показана на рис. 1.5.

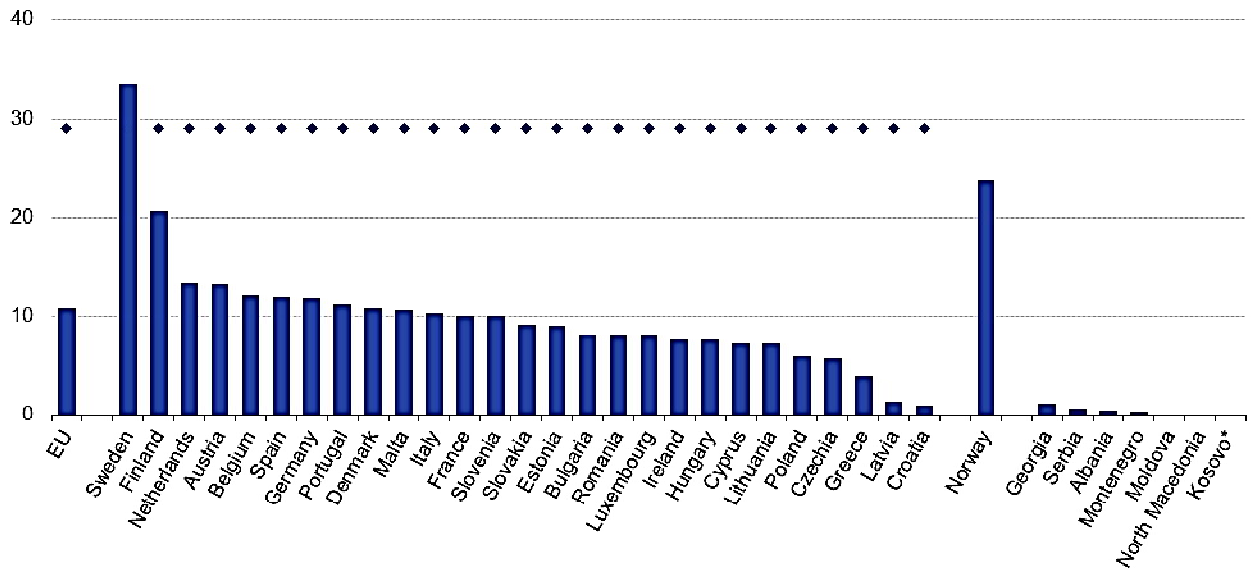


Рис. 1.5. Частка енергії, отриманої з відновлюваних джерел, у транспорті, 2023 (% від валового кінцевого споживання енергії) (Джерело: Eurostat (nrg_ind_ren))

Для отримання додаткової інформації про частку енергії, виробленої з відновлюваних джерел у транспорті, див. табл. 1.4.

Таблиця 1.4

Частка енергії з відновлюваних джерел у транспорті, 2004-2023 рр.
(% від кінцевого споживання енергії у транспорті)
(Джерело: Eurostat (nrg_ind_ren))

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
EU	1.432	1.819	2.472	2.887	4.133	4.891	5.500	4.115	5.767	6.070	6.552	6.753	7.165	7.471	8.265	8.804	10.253	9.059	9.634	10.824
Belgium	0.642	0.663	0.676	0.671	0.712	2.190	4.800	4.802	4.914	5.088	5.845	3.921	6.029	6.637	6.709	6.817	11.035	10.315	10.443	12.095
Bulgaria	0.971	0.884	1.049	0.956	0.938	1.092	1.498	0.898	0.650	5.886	5.742	6.492	7.203	7.273	8.076	7.893	9.101	7.612	7.662	8.088
Czechia	1.203	1.099	1.073	1.048	2.843	4.312	5.220	1.285	6.249	6.445	6.997	6.537	6.496	6.616	6.556	7.841	9.383	6.740	6.240	5.653
Denmark	0.445	0.443	0.521	0.535	0.540	0.693	1.150	3.609	6.278	6.456	6.556	6.432	6.732	6.935	6.920	7.110	9.701	10.510	10.354	10.803
Germany	2.136	3.953	6.701	7.532	6.316	5.877	6.413	6.461	7.322	7.299	6.900	6.569	7.013	7.028	7.941	7.630	10.008	8.102	10.072	11.858
Estonia	0.200	0.235	0.184	0.168	0.185	0.438	0.433	0.445	0.451	0.448	0.418	0.413	0.431	0.417	3.315	6.243	12.165	11.187	8.531	9.065
Ireland	0.044	0.075	0.102	0.503	1.305	1.962	2.491	3.844	4.044	4.898	5.204	5.942	5.159	7.442	7.186	8.917	10.187	4.645	5.823	7.578
Greece	0.087	0.059	0.735	1.269	1.062	1.102	1.915	0.600	0.903	0.980	1.326	1.100	1.624	4.001	4.108	4.049	5.341	4.414	4.083	3.942
Spain	1.035	1.267	0.837	1.375	2.165	3.710	5.018	0.767	0.869	0.950	1.024	1.088	5.167	5.798	6.938	7.610	9.528	9.207	9.683	11.960
France	0.783	0.784	0.792	0.828	6.245	6.649	6.577	0.987	7.414	7.600	8.249	8.366	8.405	8.765	8.963	9.248	9.207	8.115	8.866	10.028
Croatia	0.995	1.025	1.005	1.121	1.072	1.291	1.123	1.029	1.049	2.715	2.652	2.361	1.218	1.174	2.582	5.855	6.593	6.985	2.395	0.919
Italy	1.213	1.048	0.995	0.964	2.616	3.999	4.916	5.060	6.155	5.411	5.020	6.505	7.414	6.484	7.659	9.047	10.736	9.870	10.048	10.250
Cyprus	0.000	0.000	0.000	0.000	1.921	2.036	1.994	0.000	0.000	1.127	2.680	2.521	2.671	2.561	2.661	3.316	7.401	7.188	7.228	7.285
Latvia	2.139	2.389	2.165	1.666	1.688	1.888	3.978	4.090	3.995	4.029	4.075	3.639	2.449	2.270	4.729	4.554	6.733	6.436	3.123	1.358
Lithuania	0.446	0.657	1.905	3.821	4.318	4.481	3.794	3.828	4.973	4.835	4.355	4.582	3.649	4.300	4.333	4.049	5.511	6.467	6.682	7.231
Luxembourg	0.138	0.159	0.189	2.203	2.173	2.233	2.093	2.360	2.827	4.074	5.550	6.700	5.965	6.478	6.596	7.707	12.581	7.968	8.710	7.990
Hungary	1.016	1.006	1.217	1.633	5.183	5.887	6.163	6.174	5.998	6.341	7.001	7.169	7.768	7.731	7.746	8.057	11.571	6.165	7.770	7.575
Malta	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.016	3.216	3.484	4.667	4.679	5.269	6.826	8.019	8.902	10.586	10.516	10.473	10.748
Netherlands	0.515	0.499	0.850	3.182	2.981	4.570	3.397	5.068	5.217	5.343	6.562	5.597	4.761	5.842	9.483	12.326	12.631	9.222	11.080	13.435
Austria	4.532	5.070	7.532	8.241	9.560	11.175	10.705	10.077	10.031	9.695	10.983	11.409	10.583	9.703	9.931	10.051	10.283	9.568	10.744	13.207
Poland	1.581	1.746	1.817	1.746	4.143	5.408	6.640	6.918	6.533	6.666	6.319	5.686	3.974	4.232	5.720	6.200	6.575	5.677	5.803	5.986
Portugal	0.424	0.450	1.631	2.433	2.515	3.885	5.548	0.695	0.807	0.925	3.667	7.431	7.647	7.914	9.037	9.089	9.701	8.611	8.706	11.162
Romania	1.819	1.872	1.538	1.641	1.345	1.297	1.366	5.535	4.962	5.445	4.675	5.488	6.169	6.558	6.342	7.846	8.540	8.917	8.924	8.025
Slovenia	0.850	0.831	1.056	1.473	1.773	2.251	3.118	2.477	3.252	3.769	2.876	2.242	1.601	2.571	5.480	7.983	10.911	10.641	7.828	10.021
Slovakia	1.500	1.660	3.295	3.994	4.278	5.364	5.292	5.727	5.596	6.212	7.951	8.631	7.765	6.950	6.988	8.308	9.259	8.755	8.931	9.182
Finland	1.010	0.910	0.956	1.025	2.909	4.556	4.386	1.004	1.049	10.665	24.124	24.567	8.816	18.679	14.772	14.845	14.310	20.728	18.787	20.646
Sweden	6.288	6.596	7.509	8.421	8.693	9.356	9.627	11.938	13.777	15.315	18.831	21.490	26.560	26.842	29.696	30.309	31.854	28.677	28.841	33.645
Iceland	0.000	0.000	0.000	0.072	0.107	0.135	0.194	0.872	1.338	2.039	2.256	6.095	6.297	6.999	8.396	9.292	11.959	12.562	13.666	-
Norway	3.095	3.074	3.314	3.742	5.294	5.569	5.391	2.683	3.007	3.190	6.156	7.710	13.763	19.228	20.318	25.668	28.690	20.660	23.734	27.732
Montenegro	-	0.498	0.505	0.996	0.881	0.697	0.787	0.613	0.736	1.097	1.071	1.188	1.102	0.952	0.860	0.865	0.632	0.278	0.346	0.337
Serbia	0.452	0.445	0.429	0.665	0.677	1.465	0.672	1.879	2.001	1.682	1.166	1.178	1.232	1.208	1.185	1.137	1.174	0.618	0.601	0.598
Bosnia and Herzegovina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.456	0.530	0.525	0.533	0.439	0.396	0.464	0.244	39.294	-
Albania	0.099	0.095	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.203	0.344	0.402	0.456	-
North Macedonia	0.203	0.243	0.280	0.282	0.283	0.233	0.198	0.175	0.188	0.182	0.211	0.182	0.140	0.135	0.118	0.136	0.148	0.063	0.054	0.000
Kosovo*	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Moldova	15.870	15.870	15.870	16.400	16.890	17.660	0.131	0.148	0.189	0.214	0.177	0.184	0.000	0.000	0.000	0.174	0.179	0.016	0.017	0.022
Georgia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.901	1.112	1.076

Стати першим кліматично нейтральним континентом до 2050 року – це найбільший виклик і водночас можливість нашого часу. Для досягнення цієї мети 11 грудня 2019 року Європейська Комісія представила «Зелену угоду для Європи» (COM(2019) 640 final), найамбітніший пакет заходів, який має дозволити європейським громадянам та підприємствам скористатися перевагами сталого екологічного переходу. Заходи, що супроводжуються початковою дорожньою картою ключових політик, варіюються від амбітного скорочення викидів до інвестицій у передові дослідження та інновації, а також збереження природного середовища Європи. Перш за все, Європейська зелена угода прокладає шлях до справедливого та соціально обґрунтованого переходу. Вона розроблена таким чином, щоб жодна людина чи регіон не залишилися осторонь.

Деякі цілі «Зеленої угоди» будуть невід’ємною частиною Пакту чистої промисловості, який є частиною стратегії Комісії щодо реалізації Порядку денного ООН на період до 2030 року та Цілей сталого розвитку, стимулювання європейських інновацій та конкурентоспроможності, а також багатьох інших пріоритетів, оголошених у політичних настановах президента фон дер Ляєн. Європейська комісія визначила кілька енергетичних стратегій для більш безпечної, сталої та низьковуглецевої економіки. Окрім боротьби зі зміною клімату шляхом скорочення викидів парникових газів, використання відновлюваних джерел енергії може підвищити безпеку та різноманітність енергопостачання, зменшити забруднення повітря та створити робочі місця в екологічному секторі та секторі відновлюваної енергетики.

Спираючись на ціль у 20% на 2020 рік, ЄС 11 грудня 2018 року прийняв Директиву 2018/2001/ЄС про сприяння використанню енергії з відновлюваних джерел. Остання поправка, внесена Директивою (ЄС) 2023/2413, включає обов'язкову ціль у 42,5% відновлюваної енергії для ЄС до 2030 року з метою досягнення 45%. 18 травня 2022 р. Комісія опублікувала план REPowerEU, який визначає низку заходів для швидкого зменшення залежності ЄС від російського викопного палива задовго до 2030 року шляхом прискорення переходу на чисту енергію.

План REPowerEU базується на трьох стовпах: енергозбереження, виробництво чистої енергії та диверсифікація енергопостачання ЄС [7].

1.2. Вплив стратегії декарбонізації енергетики на еволюцію гірничої промисловості

Сучасні радикальні перетворення в розробці надр головним чином зумовлені тим, що нинішні генералізовані вже в усьому світі стратегії декарбонізації промисловості й особливо енергетики трансформують гірничодобувну промисловість, змушуючи переходити на чистіші джерела енергії, електрифікувати обладнання та впроваджувати нові технології, такі як уловлювання вуглецю. Це спрямовано на зменшення впливу на навколишнє середовище та довгострокових експлуатаційних витрат, але вимагає значних інвестицій і може вплинути на конкурентоспроможність та постачання певних корисних копалин.

Виклики декарбонізації для гірничодобувної промисловості

Енергоємність операцій: Видобуток та переробка корисних копалин – це високоенергоємні процеси, що потребують великої кількості енергії, переважно з викопного палива.

Екологічний та регуляторний тиск: Екологічні, соціальні й управлінські (ESG) стандарти спонукають гірничодобувні компанії до зменшення свого вуглецевого сліду, згідно з сучасними вимогами [8].

Капітальні витрати: Перехід до декарбонізації вимагає значних фінансових інвестицій у нову інфраструктуру та технології, згідно з [8].

Впроваджені рішення та стратегії

Енергоефективність: Підвищення ефективності сучасного обладнання та машин для мінімізації втрат енергії, повідомляє NetNada [9].

Електрифікація: Заміна дизельного обладнання на електромобілі та електричні системи опалення.

Відновлювана енергія: Інтегрування відновлюваних джерел енергії в енергетичний баланс гірничих об'єктів, як підкреслює The Project Company [10].

Інноваційні технології: Використання таких технологій, як уловлювання та зберігання вуглецю (CCS) та автоматизація, для оптимізації процесів, згідно з [11].

Циркулярна економіка: Впровадження практики переробки та повторного використання, щоб зменшити попит на первинне виробництво корисних копалин, таких як, наприклад, мідь, алюміній, рідкі метали й ін.

Вплив на гірничодобувну промисловість

Довгострокова стійкість: Декарбонізація сприяє дотриманню стандартів ESG та забезпечує довгострокову стійкість гірничодобувних операцій, згідно з [8].

Технологічні інновації: Тиск на навколишнє середовище стимулює розробку більш ефективних та автоматизованих процесів видобутку.

Ризик конкурентоспроможності: Високі інвестиції в декарбонізацію можуть збільшити виробничі витрати, загрожуючи конкурентоспроможності, якщо не будуть знайдені економічно ефективні рішення.

Трансформація ланцюга поставок: Галузі, можливо, доведеться адаптувати свої постачання корисних копалин, щоб задовольнити зростаючий попит на зелені технології, такі як метали, необхідні для енергетичного переходу.

Якщо поточна глобальна політика продовжиться, очікується, що температура зросте приблизно на 2,7°C порівняно з доіндустріальним рівнем. Це потепління пояснюється кількома факторами, включаючи збільшення викидів парникових газів від діяльності людини, зокрема важкої промисловості. У цей період безпрецедентних хвиль спеки, лісових пожеж та повеней світ дедалі більше усвідомлює реальність зміни клімату. Ця ситуація підкреслює важливість екологічних ініціатив та закликає нас робити стійкі інвестиції в більш екологічні джерела енергії [12].

В останні роки гірничодобувна промисловість розробила набір основних цінностей та культуру, зосереджену на захисті навколишнього середовища. Щоб створити більш відповідальний ланцюжок створення вартості, який гарантує вуглецево-нейтральне майбутнє, а також продемонструвати свою корпоративну громадянську позицію, гірничодобувні компанії дедалі більше стурбовані своїм впливом на навколишнє середовище та шляхом декарбонізації своєї діяльності.

Нещодавно було оголошено про все більш амбітні цілі щодо досягнення декарбонізації. Ці цілі можна класифікувати наступним чином:

Короткострокова перспектива: Скорочення викидів парникових газів приблизно на 30% порівняно з базовим роком протягом 5-15 років.

Встановлення короткострокових цілей – це гарна стратегія для демонстрації проактивності, оскільки вплив нещодавніх дій можна виміряти негайно. Наприклад, загальні викиди (в абсолютному вираженні) можуть показати чистий вплив реалізованих проєктів, тоді як інтенсивність викидів (на одиницю продукції) може продемонструвати ефективність змін, застосованих у всіх видах діяльності.

Довгострокова перспектива: 2050 рік, наприклад, є загальноприйнятим терміном для деяких амбітних цілей, спрямованих на ліквідацію всіх викидів вуглецю.

Ці цілі можуть мати різні форми. Ціль щодо нульового викиду вуглецю означає, що діяльність генеруватиме нульові викиди вуглецю (наприклад, будівля, що повністю працює на енергії вітру), тоді як ціль щодо вуглецевої нейтральності означає, що загальна кількість викидів, які виникають в результаті діяльності, буде щорічно компенсуватися.

Більшість великих корпорацій встановили цілі щодо скорочення викидів за напрямком 1 (прямі) та напрямком 2 (набута або придбана електроенергія, пара, тепло або охолодження), а також розробили стратегії щодо скорочення викидів за напрямком 3 (непрямі). З огляду на терміновість ситуації, розробка конкретних планів дій є головним пріоритетом.

Цитата Лаури Моттоли (Laura Mottola), Франція:

Природно, очевидне питання: чому важливо мати ефективний план дій? Це приносить ясність та бачення:

Організаційне бачення, місія та цінності слугують компасом для компанії;
План дій містить чіткі цілі.

Це забезпечує співпрацю та синергію:

Потрібен час для координації зобов'язань багатьох зацікавлених сторін;

Сторони, на яких впливають зміни, повинні взяти на себе відповідальність за процес надалі;

Колективне визначення стимулів мобілізує всі сфери організації (головний офіс, операції, керівні посади тощо);

Необхідні інвестиції узгоджуються;

Встановлюється бачення часових рамок та очікуваних результатів.

Цитата Джулії Гартлі (Julia Gartley), Франція:

Надійний план декарбонізації базується на таких елементах:

Гнучкість: Постійно мінливі зовнішні обмеження (життя шахти, зростання компанії, наявні ресурси та капітал тощо) вимагають адаптивних рішень.

Досяжні цілі: Досягнення результатів – це перший крок до завоювання довіри інвесторів та зацікавлених сторін. Динамічне управління: сприяння комунікації всередині організації та між активними членами на всіх рівнях сприяє інтеграції механізмів адаптації на основі рішень;

Співпраця між партнерами: формування команд на основі довіри дозволяє швидко та ефективно впровадження дій, необхідних для досягнення короткострокових та довгострокових цілей;

Амбіції щодо сталого розвитку: досягнення амбітних цілей декарбонізації вимагає постійної взаємодії всієї організації;

Інтегровані інновації: деякі рішення щодо декарбонізації спираються на продукти та технології, які все ще перебувають на стадії розробки. Співпраця з виробниками, дослідницькими групами та партнерами з гірничодобувної промисловості має вирішальне значення для прискорення комерціалізації та впровадження цих інновацій.

1.3. Загальні тенденції в адаптації гірничих галузей до динамічних змін

Загалом, гірничодобувні галузі адаптуються, інтегруючи такі технології, як автоматизація, штучний інтелект та Інтернет речей, для підвищення ефективності, безпеки та зниження витрат. Тенденції також включають посилену увагу до сталого розвитку та управління ризиками, пов'язаними з кліматом, а також реагування на економічний та соціальний тиск щодо більш відповідального видобутку корисних копалин, що спрямовано на задоволення зростаючого попиту на корисні копалини, необхідні для зелених технологій та сучасної інфраструктури.

Гірничодобувні компанії та їх еволюція: довгострокові перспективи [13].

Хоча Європейський Союз вже понад 30 років постійно закриває свої шахти, він вирішив відродити свою гірничодобувну діяльність. Європейські

країни справді оцінили свою енергетичну залежність, зокрема від Китаю та його «рідкісних металів», на які вони мають фактичну монополію (видобуток, переробка) і які є важливими, як для виробництва предметів повсякденного вжитку, так і для розробки низьковуглецевих технологій, необхідних для екологічного переходу. У 2023 році Закон про критично важливу сировину (CRMA), опублікований на підтримку Закону про чисту нульову промисловість та Зеленої угоди, визначає цілі щодо зміцнення ланцюгів постачання критично важливих матеріалів: до 2030 року європейський континент повинен мати можливість видобувати щонайменше 10% споживаних металів, переробляти щонайменше 40% своїх руд, а також має бути створений спеціалізований сектор переробки. Через давні екологічні та соціальні проблеми, пов'язані з гірничодобувною промисловістю, CRMA [14] приділяє більший акцент переробній діяльності, ніж видобувній, незважаючи на те, що надра Європи містять значні мінеральні ресурси [15].

За останні роки в Європі було оголошено про кілька гірничодобувних проєктів: запуск графітових та рідкоземельних шахт компанією LKAB у Кіруні; у Франції група Imerys пропонує відкрити літієву шахту в регіоні Альє [16]; а Eramet та EDF планують видобувати літій з геотермальних вод в Ельзасі. Таким чином, Франція переглядає свою енергетичну політику, щоб забезпечити постачання ресурсів, які зараз вважаються стратегічними, та відновити свій нині ослаблений суверенітет [17]. Водночас триває проєкт реформування Французького гірничого кодексу, метою якого є спрощення процедур отримання концесій на розробку надр [18]. Таким чином, остання реформа цього Кодексу у 2022 році була представлена як крок вперед у напрямку, визначеному європейськими директивами, що випливають з Білої книги про екологічну відповідальність 2000 року, і зокрема тими, що відповідають принципам «сталого видобутку корисних копалин» [19].

Відродження видобувної діяльності у Франції призведе до появи шахт, які будуть «безпечними, високо регульованими та зразковими з соціальної та екологічної точки зору» [20]. Ці політичні дискурси означають, що відповідальність слід розглядати на кількох рівнях: мікрорівні, тобто самої шахти та її оператора; мезо-, оскільки відкриття шахт зміцнить енергетичний суверенітет країни та економічний розвиток регіонів [21]; та макро-, через те,

що видобуток корисних копалин у західних країнах дозволить уникнути видобутку ресурсів у країнах, які не стурбовані негативними зовнішніми ефектами, що виникають внаслідок цієї діяльності. У більш широкому сенсі, відновлення роботи шахт також допоможе вирішити деякі проблеми, пов'язані зі зміною клімату. Таким чином, самі гірничодобувні компанії захоплюють дискусію про енергетичний перехід, підживлюючи техно-рішення, не ставлячи під сумнів ідею переходу. Таким чином, вони братимуть участь як у вирішенні екологічних, так і економічних проблем, з якими стикається суспільство, забезпечуючи при цьому відповідальну експлуатацію надр. Хоча в останні роки вони зміцнюються завдяки ролі, наданій шахтам в енергетичному переході, дискурси та практики соціальної та екологічної відповідальності, відомі як зелений видобуток корисних копалин або відповідальний видобуток корисних копалин [22], які деякі називають грінвошингом [23], насправді розвиваються з 2000-х років у відповідь на критику, спрямовану на видобуток корисних копалин [24].

Однак уявлення про відповідальні, безпечні та зразкові шахти може здатися парадоксальним, враховуючи масштаби екологічної та соціальної шкоди, завданої видобувною діяльністю. Довгострокове забруднення, ризики прориву хвостосховища (наприклад, катастрофа в Бая-Маре, Румунія, 2000 р.), гідрогеологічна дестабілізація (наприклад, просідання міста Кіруна, Швеція) тощо – усі ці збитки впливають на місцеве населення. Окрім цих екологічних небезпек, існують інші промислові небезпеки, такі як труднощі з управлінням та зберіганням токсичних відходів (наприклад, прорив дамби Брумадінью, Бразилія, 2019 р.). Нарешті, варто виділити соціальні проблеми, пов'язані з гірничою промисловістю, головним чином пов'язані з охороною здоров'я та безпекою праці. Дійсно, робота на рудниках визнана причиною численних професійних захворювань, які призводять до «колективних катастроф». Що стосується безпеки праці, то хоча гірничодобувна промисловість становить лише 1% світової робочої сили, вона відповідає приблизно за 8% смертельних нещасних випадків на виробництві щороку (наприклад, Беньсі, Китай, 1942 р.; Копіапо, Чилі, 2010 р.; Сома, Туреччина,

Висновки за розділом 1

На сьогоднішній день гірничо-промисловість практично усіх країн світу перебуває під потужним тиском доктрини декарбонізації. Особливо це стосується країн ЄС, в більшості з яких гірничі розробки занепадають під натиском «зеленої» енергетики, яка набирає особливо масового прояву в Німеччині. Разом з тим, Франція переглядає свою енергетичну політику, щоб забезпечити постачання ресурсів, які зараз вважаються стратегічними, та відновити свій нині ослаблений суверенітет.

Хоча Європейський Союз у цілому вже понад 30 років постійно закриває свої шахти, він вирішив відродити свою гірничодобувну діяльність. Європейські країни справді оцінили свою енергетичну залежність, зокрема від Китаю та його «рідкісних металів», на які вони мають фактичну монополію (видобуток, переробка) і які є важливими, як для виробництва предметів повсякденного вжитку, так і для розробки низьковуглецевих технологій, необхідних для екологічного переходу.

Добре спланована стратегія адаптації рудників до декарбонізації базується на трьох стовпах:

Забезпеченість висококваліфікованими консультантами, які можуть керувати обговореннями та збирати інформацію;

Залучення відповідних зацікавлених сторін в організації;

Розробка гнучкого плану, який можна переглядати з часом.

Розробка плану адаптації рудників до декарбонізації частіше може бути складним завданням. Існує надзвичайно багато аспектів, і всі ці кроки іноді змушують компанії почуватися перевантаженими.

Розділ 2

АНАЛІЗ ДОСВІДУ ФРАНЦІЇ ЯК ДЕРЖАВИ, НАЙБІЛЬШ ЕНЕРГОНЕЗАЛЕЖНОЇ ТА РЕФОРМАТОРА ГІРНИЧОЇ ГАЛУЗІ

Як свідчить виконаний нами попередній аналіз, головною домінантою усіх факторів, зумовлюючих прагнення гірників щодо конверсії їхніх підприємств є енергетика, але – здебільшого у поєднанні з проблемою закриття рудників: екологічним тиском широкомасштабних порушень територій колишніх гірничих відводів на довкілля. І це – на фоні прагнення гірників та місцевих общин до продуктивного використання залишкових об'єктів та трансформованих територій.

У даному аспекті найбільший досвід однозначно має Франція, яка після перших глобальних енергетичних криз радикально перебудувала усю свою енергетику на атомні джерела і з уведеннями в дію множини АЕС почалося масове закриття вугільних розробок, навіть таких якісних і потужних родовищ, як Ельзаські та Лоренські (колишні Ельзас і Лотарингія за приналежності їх територій Німеччині).

Саме з таких міркувань ми аж ніяк не могли обійти увагою дану обставину і не проаналізувати колосальний досвід, накопичений французьким гірництвом за період безпрецедентної трансформації свого вуглевидобутку та енергетики.

Найбільш показово й аргументовано ситуацію охарактеризовано рядом дослідників, серед яких: Delphine Chareyron (ENS Lyon / DGESCO), Hélène Horsin-Molinaro (ENS Paris-Saclay / DGESCO), Bernard Multon (ENS Rennes) та інших [25]. У своїх публікаціях вони надають цифри, графіки та карти, що відповідають мінливості відновлюваних джерел енергії та їх прогнозам. Кожен документ наведено таким чином, щоб дані можна було знайти і порівняти з іншими країнами, періодами, одиницями вимірювання тощо.

Наведені нижче дані взято з численних джерел (звіти дослідницьких груп, публікації у спеціалізованих журналах, звіти національних інститутів тощо).

Основною метою даного аналізу є оцінка перспективності трансферу французького досвіду на терени України, зокрема – Кривбасу.

2.1. Енергетичні концепції та мінливість відновлюваних джерел електроенергії

2.1.1. Відновлювані джерела у виробництві електроенергії Франції

У 2019 році загальне виробництво електроенергії у Франції становило фіксовано 537,7 ТВт·год.

Відновлювані джерела енергії забезпечили разом за усіма їх видами 21,5% від загального обсягу електроенергії, включаючи 11,2% від гідроенергетики, історично переважаючого протягом понад століття і розвиненого відновлюваного джерела енергії сьогодні.

Виробництво ж іншими її видами – вітрової, фотоелектричної та біоенергетики – становило 6,3%, 2,2% та 1,8% від загального обсягу виробництва відповідно.

Виробництво теплової енергії з викопного палива, яке до нинішніх глобальних реформ було базовим, становило 7,9%, включаючи 7,2% з газу [26], рисунки 2.1 та 2.2.

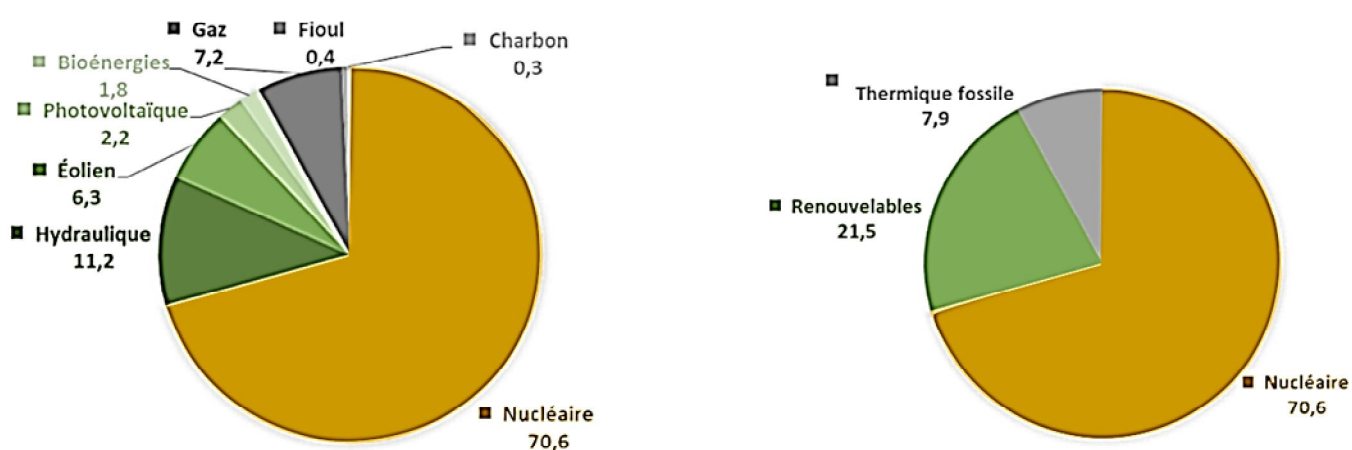


Рис. 2.1. Виробництво електроенергії у Франції у 2019 році (%)
Біоенергія: біогаз, біомаса та побутові відходи. (Джерело: Bilan électrique 2019, RTE, février 2020 [26])

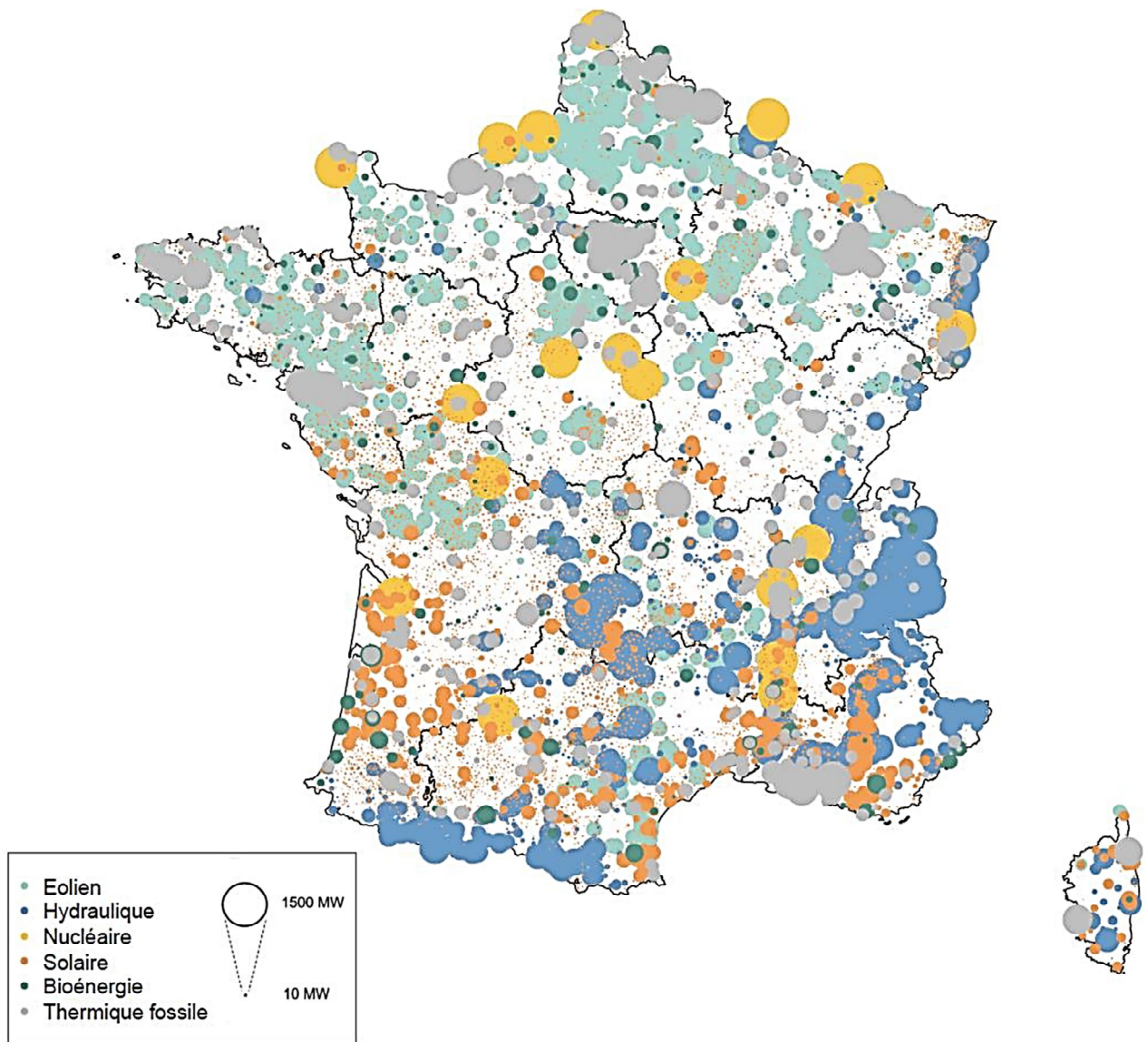


Рис. 2.2. Потужність та розташування об'єктів виробництва електроенергії у Франції у 2019 році (Джерело: Bilan électrique 2019, RTE, février 2020 [26])

2.1.2. Відновлювані джерела енергії: періодичність та мінливість

Деякі відновлювані джерела енергії виробляють змінну, переривчасту та непрограмовану електроенергію, оскільки вони залежать від погодних умов та циклу день/ніч. Це стосується вітрової та фотоелектричної енергетики, які, ймовірно, перебувають у центрі уваги через їх поточний розвиток, а також через їхній величезний потенціал, і для яких можливості прогнозування погоди, тим не менш, дозволяють передбачити коливання у виробництві.

Таким чином, термін «періодичність», як він зазвичай використовується, стосується лише цих двох відновлюваних джерел електроенергії [27]. Що стосується виробництва гідроелектричної та теплової енергії з біомаси, вони також є змінними, але набагато меншими, і, перш за все, їх легше контролювати (див. глосарій). Найбільш гнучкими з них є гідроелектростанції на основі гребель. Однак останніми необхідно керувати з урахуванням опадів та інших обмежень, пов'язаних з експлуатацією річок, але це зазвичай робиться в більш тривалому часовому масштабі.

Хоча виробництво вітрової та фотоелектричної енергії є дуже мінливим та коливається, ці коливання можна відносно згладити завдяки поширенню установок і передбачити з відносно хорошою точністю. Це дозволяє інтегрувати їх у планування, так само як і коливання споживання, які також можуть зазнавати швидких коливань, іноді у великих масштабах (як у випадку електричних водонагрівачів, що активуються одночасно в той час, коли тарифи перемикаються між піковими та позапіковими годинами).

Насправді, управління цією мінливістю виробництва не є проблемою в масштабі окремої вітрової турбіни або фотоелектричної дахової установки, а має спостерігатися по всій електромережі. Дійсно, розподіляючи установки по території, такій як Франція, локальні коливання виробництва згладжуються. Більше того, ці коливання значною мірою передбачувані та можуть бути передбачені по всій комірці електросистеми (розподільчій або передачі мережі, залежно від рівнів потужності установок).

У випадках, коли передача електроенергії досить велика, враховуючи масштаб Франції, локальні коливання виробництва згладжуються та передбачувані з набагато меншим рівнем похибки. Більше того, у випадку сценарію 100% відновлюваної енергії у Франції, в першу чергу, потрібно посилити розподільчу мережу. Така короткострокова (кілька годин) та середньострокова (від 1 до 3 днів) передбачуваність відповідає потребам планування стабільної та безпечної електромережі.

Крім того, часто кажуть, що вітрові та фотоелектричні установки не можуть брати участь у «системних послугах [26]». З цією метою виробників

можуть попросити змінити свою активну та реактивну потужність, що вводиться. Усі сучасні установки вже природно оснащені електронними перетворювачами потужності, які можуть легко контролювати реактивну потужність. Залишається контроль активної потужності, що, очевидно, є більш делікатним, оскільки виробництво генерується відповідно до вітру чи сонця. Зниження потужності легко реалізувати шляхом деоптимізації рекуперованої потужності; збільшення потужності є найбільш проблематичним. Вже було випробувано кілька методів, таких як постійна неоптимальна експлуатація або додавання накопичувальних установок. В обох випадках це являє собою додаткові витрати (втрата виробництва в першому випадку, амортизація інвестицій та витрати на втрати в другому). Ці додаткові витрати вже оцінені та не впливають на загальну конкурентоспроможність такої системи.

На рис. 2.3 показано динаміку щомісячного виробництва електроенергії фотоелектричними та вітровими енергетичними системами у Франції у 2019 р.

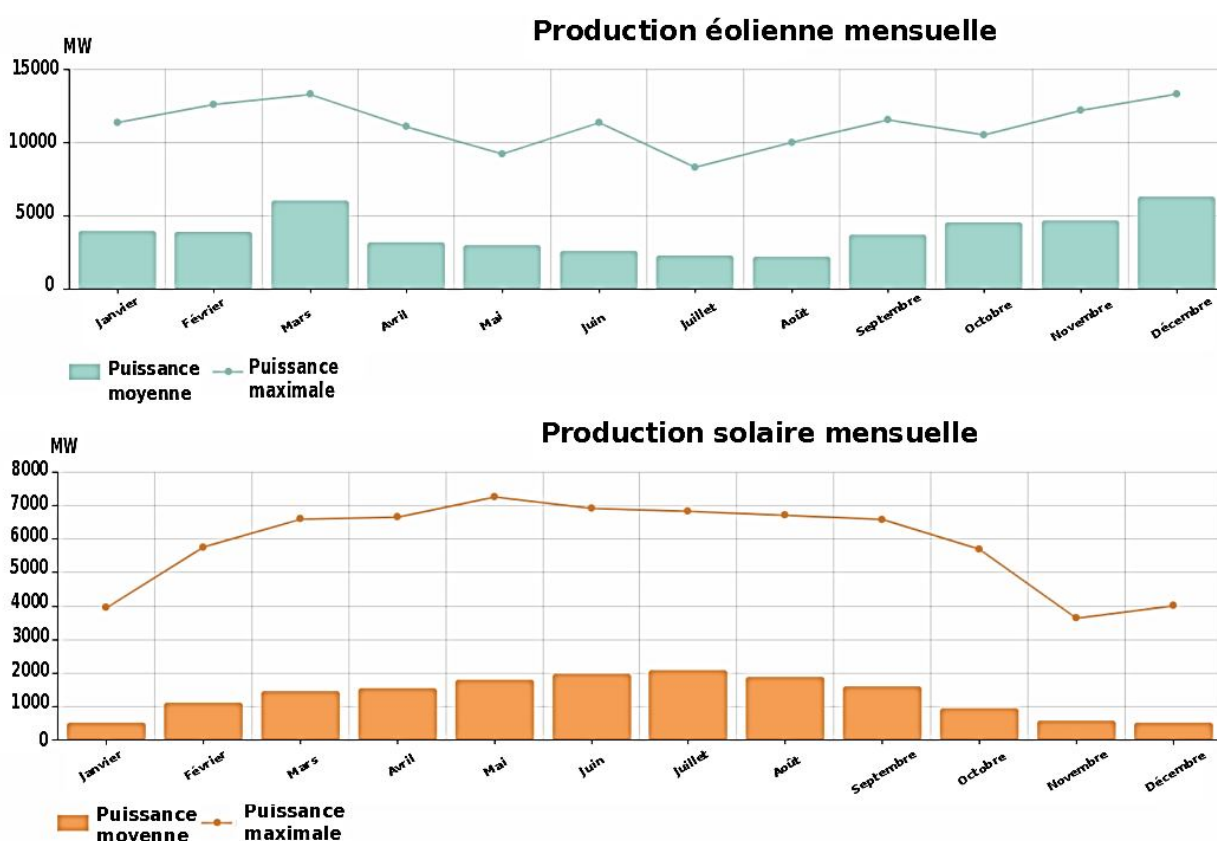


Рис. 2.3. Щомісячна мінливість максимального та середнього виробництва електроенергії з вітрової та фотоелектричної енергії у 2019 році
(Джерело: Bilan électrique 2019, RTE, février 2020 [26])

На рис. 2.3 дані про середню потужність згладжені протягом місяця. Також необхідно враховувати регулярні щоденні явища, максимальна потужність яких (зазвичай усереднена за 30 хвилин або 1 годину) дає уявлення про амплітуду. Для фотоелектричних систем виробництво енергії може відбуватися лише протягом дня. Що стосується вітру, щоденні коливання пов'язані з градієнтами температури, а отже, із сонячною радіацією, альбедо та іншими атмосферними явищами. Погодинні дані про виробництво у Франції доступні онлайн на веб-сайті ECO2mix компанії RTE [28].

На рис. 2.4 показано усереднене національне щоденне виробництво фотоелектричної енергії за 2018 та 2019 роки залежно від часу доби, а також амплітуду варіацій цих середніх значень між першим та останнім декадами кожного року.

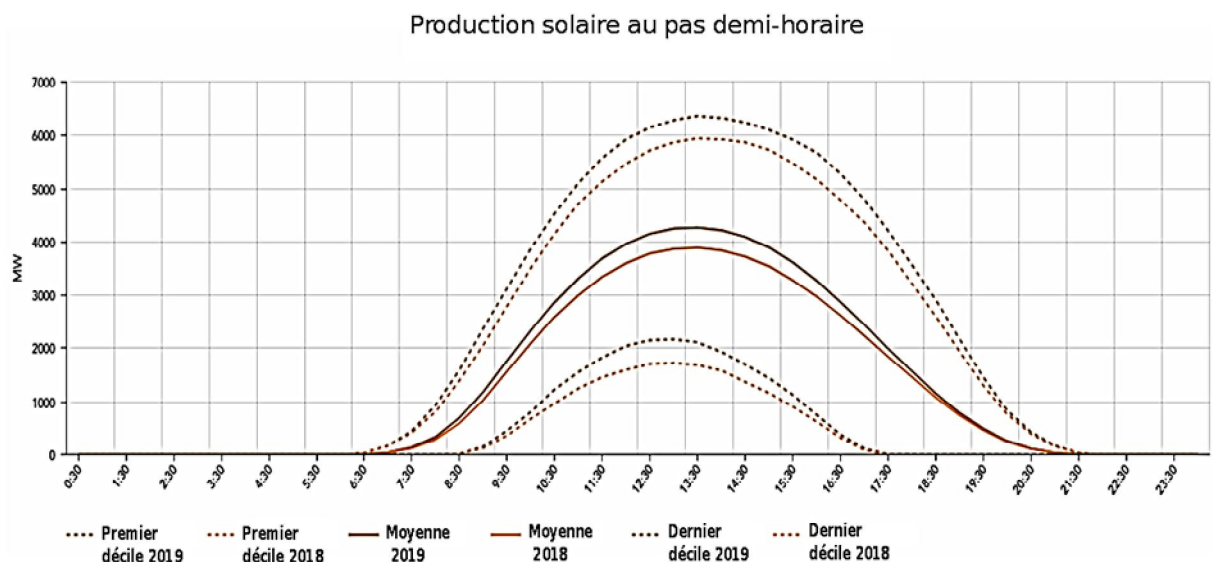


Рис. 2.4. Середнє національне щоденне виробництво фотоелектричної енергії у 2018 та 2019 рр. (Джерело: Bilan électrique 2019, RTE, février 2020 [26])

Ці амплітуди відображають різницю у виробництві між зимою та літом. Однак на середні значення впливає динаміка змін потужності підключених до мережі фотоелектричних систем протягом кожного року. Це пояснює, чому криві 2019 року (встановлена потужність 8,95 ГВт станом на 12 грудня 2019

року) вищі за криві 2018 року (встановлена потужність 8,08 ГВт станом на 12 грудня 2018 року), окрім можливої різниці в сонячному саяві між цими двома роками [29].

На рис. 2.5 представлено 7-денний прогноз вітру (у вузлах) у точці на Атлантичному узбережжі з сіткою 50 км та 3-годинним кроком за часом.

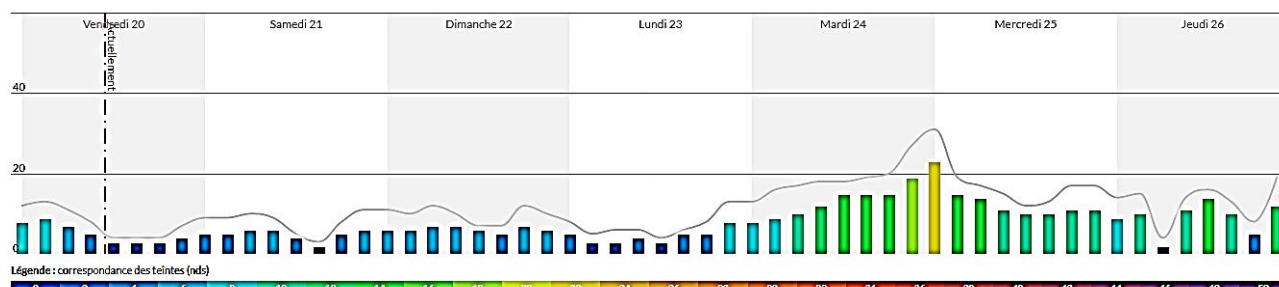


Рис. 2.5. Приклад 7-денного прогнозу вітру (у вузлах) на Атлантичному узбережжі (1 вузол = 1,852 км/год) (Джерело: www.infosvent.fr [30])

Інші відновлювані джерела, такі як гідроенергетика на греблях, легше програмувати, а обмеження відновлюваних джерел електроенергії вітровою та фотоелектричною енергією ігнорує взаємодоповнюючий характер різних джерел енергії. Аналіз змінних витрат можна проводити лише на системному рівні, і дуже складно, якщо не сказати делікатно, призначати окремі витрати кожній установці без урахування всієї системи. Слід пам'ятати, що розвиток історичної ядерної енергетичної системи вимагав будівництва масивної мережі передачі, а також гідроакумулюючих споруд, а отже, і накопичувачів енергії. Ці два елементи підтримують більш диверсифіковану систему виробництва.

Недоступність ядерної енергії

У ядерному секторі також є періоди недоступності виробництва. У 2019 році середня недоступність ядерної енергії становила 17,7 ГВт.

У Франції атомні електростанції були розроблені для роботи протягом 40 років, період, який наразі подовжено до 50 або навіть 60 років. Протягом цього періоду організовується технічне обслуговування з регулярними зупинками виробництва.

Існують планові зупинки: приблизно кожні 12 або 18 місяців, залежно від технічного стану, кожен реактор зупиняється приблизно на один місяць для

перезаправки частини активної зони реактора або на кілька місяців для перезавправки, доповненої більш інтенсивними роботами з технічного обслуговування. Крім того, кожні десять років проводиться детальна та комплексна десятирічна перевірка реактора, зокрема основних критичних компонентів (корпус, перший контур, парогенератори, захисна оболонка тощо). Початкова тривалість планової зупинки може коригуватися, часто в бік збільшення, залежно від ускладнень або подій, що відбуваються під час зупинки.

Також трапляються непередбачені зупинки: вони зазвичай виникають внаслідок технічного збою або нормативного обмеження, що вимагає зниження потужності або навіть зупинки відповідного реактора. У цьому контексті баланс попиту та пропозиції (головним чином взимку) може бути обмежений графіком технічного обслуговування атомної електростанції, визначеним оператором, але особливо незапланованими зупинками реакторів, пов'язаними з продовженням планових відключень, певними кліматичними або екологічними умовами (хвилі спеки та дотримання обмежень температури води в річках, в які скидається вода з турбін, землетруси тощо), страйками або рішеннями, прийнятими Управлінням з ядерної безпеки [26].

Тому також бувають періоди перебоїв у виробництві атомної енергії, хоча вони трапляються рідше, ніж у випадку вітрової та фотоелектричної енергетики.

2.1.3. Виробництво гідроелектроенергетики

Гідроелектроенергетика, найстаріший спосіб виробництва електроенергії з відновлюваного ресурсу, базується на використанні гравітаційної енергії води. Її найпершими способами використання були гідравлічні млини. Це найширше використовуваний відновлюваний ресурс у світі та у Франції. Виробництво гідроелектроенергетики можна загалом класифікувати на греблі та руслові установки. Ця технологія також має перевагу в тому, що вона дозволяє легко зберігати енергію за допомогою резервуарів, і може бути оборотною завдяки

гідроакумуючим електростанціям [31] за умови, що резервуар розташований на нижчому рівні. Виробництво електроенергії русловими електростанціями чутливе до річкового стоку, але вони можуть, меншою мірою, регулюючи рівень у водосховищі та приймаючи невеликий діапазон припливів та відпливів (коливання рівня води в річці), дозволити накопичувати енергію в річці, наприклад, вночі, для подальшого вивільнення, наприклад, вдень.

Станом на 31 грудня 2019 року було встановлено 25 557 МВт гідроелектростанцій, нерівномірно розподілених по всій Франції, для виробництва 55,5 ТВт·год. Регіон Овернь-Рона-Альпи (Auvergne-Rhône-Alpes) зосередив майже 46% національного парку, або 11 641 МВт, за ним іде регіон Окситанія (Occitanie), що представляє 21% національного парку, або 5 392 МВт, рис. 2.6.

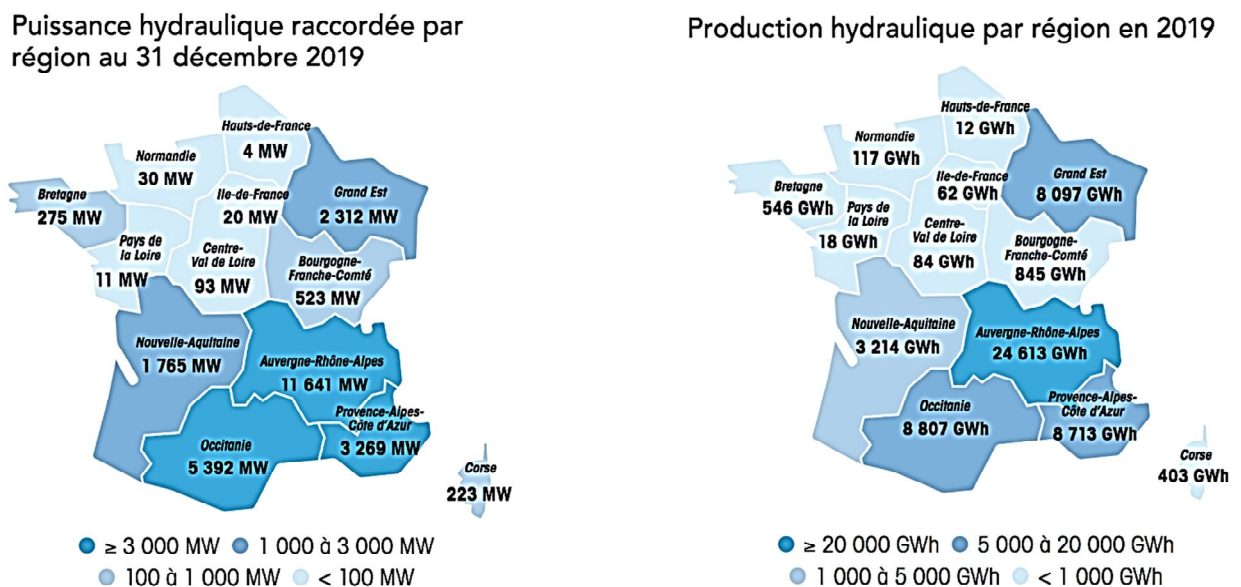


Рис. 2.6. Підключена гідроелектростанція за регіонами Франції станом на 31 грудня 2019 року та виробництво гідроелектростанцій за регіонами у 2019 році
(Джерело: Panorama de l'électricité renouvelable au 31 décembre 2019, RTE [32])

Деякі регіони мають характеристики, які не дуже підходять для використання гідравлічної енергії (відсутність гірських хребтів або водних шляхів, висока щільність міського населення), такі як регіони О-де-Франс (Hauts-de-France), Іль-де-Франс (Île-de-France) або Пеї-де-ла-Луар (Pays de la Loire), які на той момент становили 0,1% національного парку [30, 31]. У

Бретані (Bretagne), якщо потужність здається вищою, ніж у сусідніх регіонах, то це завдяки припливній електростанції Ранс (Rance) (240 МВт), яка входить до складу гідропарку. Зверніть увагу, що ця установка оснащена реверсивними турбінними групами, які можуть працювати як в обох напрямках, так і в режимі накачування для виконання операцій накопичення та вивільнення енергії.

Гідроенергетика забезпечила понад 11% спожитої електроенергії у 2019 році. Це друге за величиною джерело електроенергії у Франції та провідне джерело відновлюваної енергії. На рис. 2.7 показано швидкість, з якою це відновлюване джерело енергії покривало національне споживання протягом трьох років. Цей графік підкреслює значну річну мінливість, значною мірою пов'язану з коливаннями кількості опадів, коливаннями, які, як очікується, дедалі більше посилюватимуться зміною клімату.

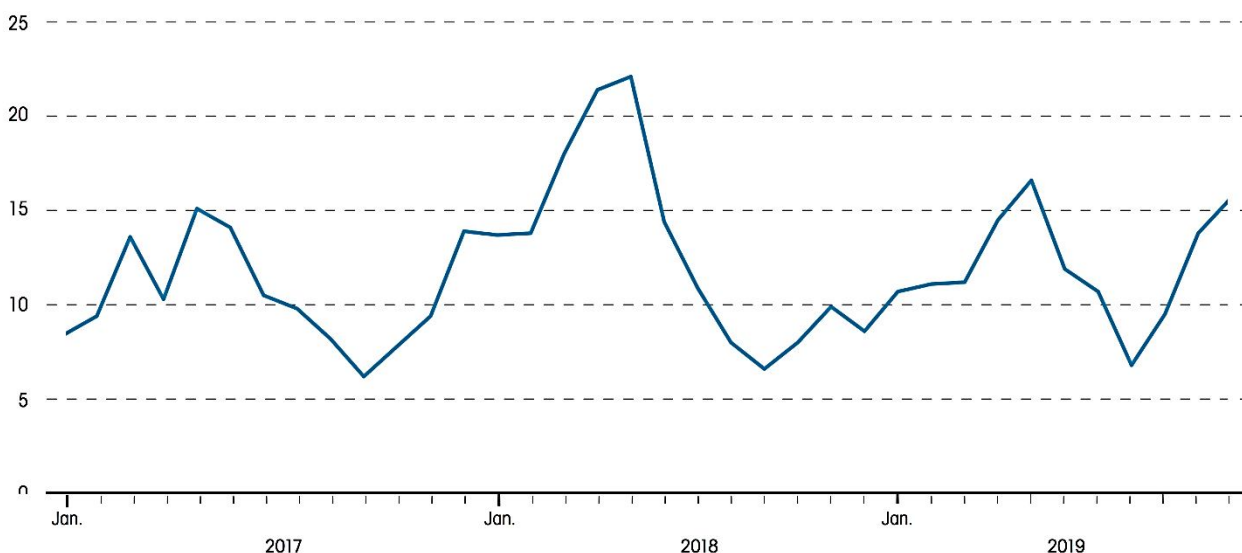


Рис. 2.7. Щомісячне покриття споживання гідроенергією (у % від загального споживання) з січня 2017 року по грудень 2019 року (Джерело: Panorama de l'électricité renouvelable au 31 décembre 2019, RTE [32])

2.1.4. Виробництво вітрової та фотоелектричної енергії

2.1.4.1. Згладжене та передбачуване виробництво

Як згадувалося вище, виробництво електроенергії з вітрової та сонячної енергії природно змінюється залежно від погодних умов. Крім того, як і у випадку з усіма іншими способами виробництва, навіть якщо їхня доступність (див. глосарій) дуже висока (понад 97%), можуть виникати збої та перерви в

обслуговуванні для технічного обслуговування (запланованого в періоди низького виробництва). Однак сам факт того, що ми маємо справу з безліччю невеликих, децентралізованих установок, значно пом'якшує їхній вплив. Що стосується мінливості, пов'язаної з погодними умовами, їх виробництво згладжується по всіх установках у певній місцевості.

У Франції існують три основні незалежні вітрові режими: середземноморський, атлантичний та континентальний. Ця географічна особливість дозволяє забезпечити більш стабільне виробництво вітру, ніж в інших європейських країнах: рідко ці три вітрові режими одночасно повністю спокійні. Тому виробництво вітрової енергії не змінюється рівномірно по всій території Франції [33].

Фотоелектричне виробництво працює за тим самим принципом: ймовірність того, що хмарні маси покривають всю територію протягом дня, надзвичайно низька, і навіть тоді виробництво не компенсується, оскільки деяка радіація все ще залишається. Ефект розтягування згладжує мінливість на національному рівні, демонструючи переваги об'єднання регіонального виробництва через мережу. Окрім специфічного розтягування кожного сектора, необхідно враховувати їхню взаємодоповнюваність. Сезонно вітрова енергетика виробляє більше взимку, тоді як фотоелектрична енергетика генерує більше влітку. Ця взаємодоповнюваність навіть спостерігається, хоча й у дещо меншій мірі, щодня. Таким чином, за умови, що встановлені потужності взаємодоповнюють одна одну, а територіальний розподіл відповідає пропускній здатності мережі, дефіцит виробництва одного сектора може бути частково компенсований більшим виробництвом з іншого (Рис. 2.8).

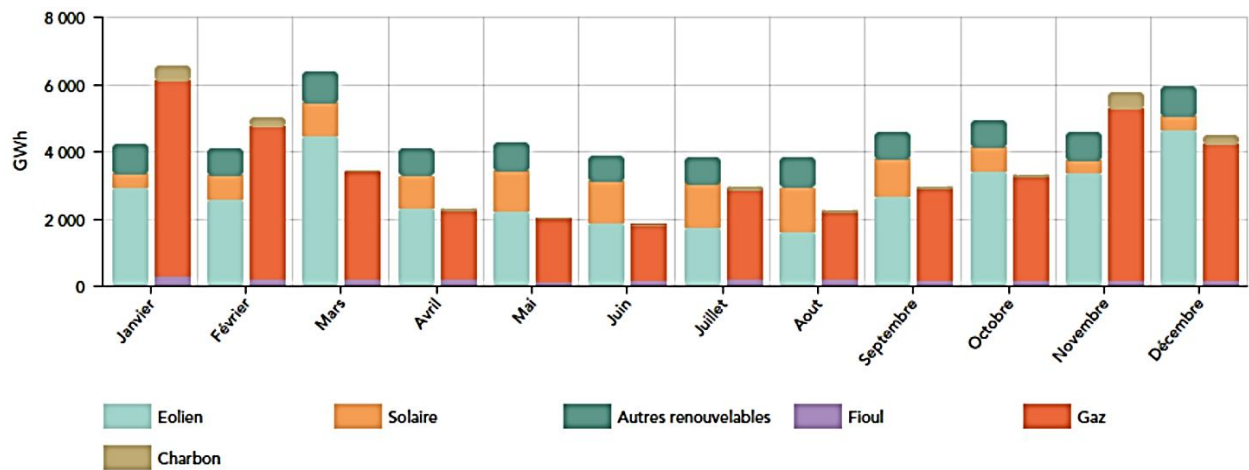


Рис. 2.8. Щомісячне виробництво енергії з викопного палива (вугілля та газ) та відновлюваних джерел енергії (за винятком гідроенергетики) за 2019 рік у Франції (Джерело: Bilan électrique 2019, RTE, février 2020 [26])

Одна з головних проблем у системі з дуже високим рівнем змінних відновлюваних джерел полягає у використанні дуже великих надлишків енергії, які неминуче виникатимуть залежно від погодних умов. По-перше, щоб пом'якшити цей сезонний надлишок, важливо збалансувати виробництво енергії вітру (вище взимку в наших широтах) та виробництво фотоелектричної енергії (вище влітку). Це вже було предметом досліджень, заснованих на приблизно десятирічних метеорологічних даних. Враховуючи, що великомасштабне оборотне накопичення електроенергії не передбачається, після того, як система буде опрацьована та піддана миттєвим метеорологічним умовам, можливі три основні шляхи: скорочення потужності (отже, втрачається «продуктивна» потужність), виробництво відновлюваного палива (водень, синтетичний метан шляхом метанування) та, меншою мірою, дії на гнучкий попит (водонагрівачі, зарядка електромобілів тощо).

2.1.4.2 Виробництво енергії вітроустановками

У 2019 році виробництво енергії вітром зросло на 9%, що становить 16 494 МВт встановленої потужності у Франції, нерівномірно розподіленої по всій країні, для виробництва 34,1 ТВт·год (Рис. 2.9). Два регіони разом виробили трохи більше 50%: Hauts-de-France та Grand-Est (Рис. 2.10).

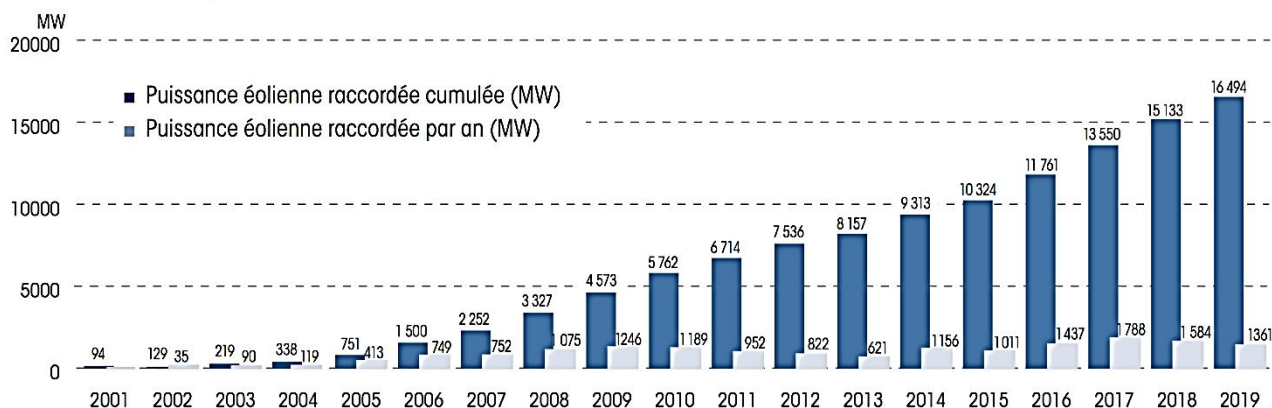
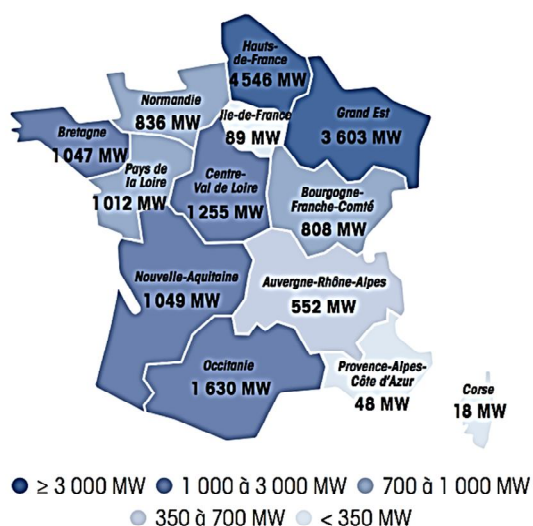


Рис. 2.9. Зміни в потужності підключених вітрових електростанцій у Франції з 2001 по 2019 рік (Джерело: Panorama de l'électricité renouvelable au 31 décembre 2019, RTE, [32])

Puissance éolienne installée par région au 31 décembre 2019



Production éolienne par région en 2019

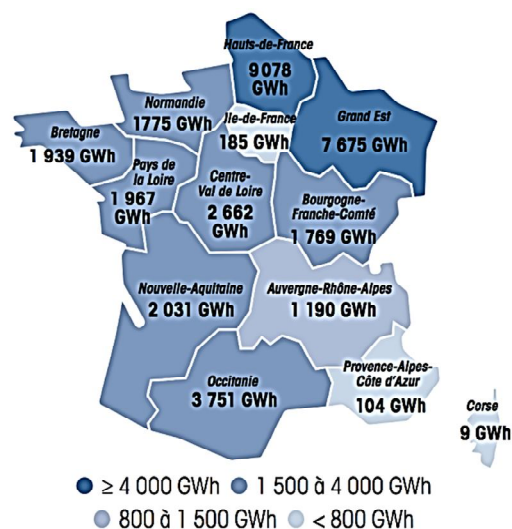


Рис. 2.10. Встановлена потужність вітроенергетики за регіонами станом на 31 грудня 2019 року та виробництво вітроенергетики за регіонами Франції у 2019 р. (Джерело: Panorama de l'électricité renouvelable au 31 décembre 2019, RTE [32])

Вітрова енергетика забезпечила понад 6% споживаної електроенергії у 2019 році, що робить її другим за величиною джерелом відновлюваної електроенергії у Франції після гідроенергетики.

На рис. 2.11 показано зміну щомісячного рівня покриття національного споживання електроенергії вітровою енергетикою з січня 2017 року по грудень 2019 року. Цей графік підкреслює сезонну мінливість та зростання вітрової енергетики.



Рис. 2.11. Щомісячне покриття споживання вітровою енергією (у % від загального споживання) з січня 2017 року по грудень 2019 року (Джерело: Panorama de l'électricité renouvelable au 31 décembre 2019, RTE [32])

Насамкінець, зазначимо, що мінливість енергії вітру можна пом'якшити збільшенням коефіцієнта навантаження (див. глосарій) завдяки адекватному підбору розмірів турбін. Дійсно, при заданій номінальній потужності можна збільшити діаметр турбіни та обмежити потужність при нижчому значенні швидкості вітру.

Таким чином, у наземних районах легко досягти коефіцієнтів навантаження понад 40%. Це стосується США, де цей параметр краще враховується при виборі будівництва вітрових електростанцій, а також у стимулюванні. Так, у 2018 році середній коефіцієнт навантаження (наземних) парків, побудованих між 2014 і 2017 роками, дорівнював 41,9% порівняно з 30,8% для тих, що були побудовані між 2004 і 2011 рр. [34]. Для порівняння, коефіцієнт навантаження французьких вітрових електростанцій у 2018 році становив 21%. А на шельфі, оскільки вітри інтенсивніші, значення ще вищі та зрештою можуть досягти понад 60%.

2.1.4.3 Виробництво фотоелектричної енергії

У 2019 році парк фотоелектричних установок зріс на 7,8%, що становить 9 284 МВт встановленої потужності у Франції, нерівномірно розподіленої по всій країні, що забезпечує виробництво 11,6 ТВт·год (Рис. 2.12).

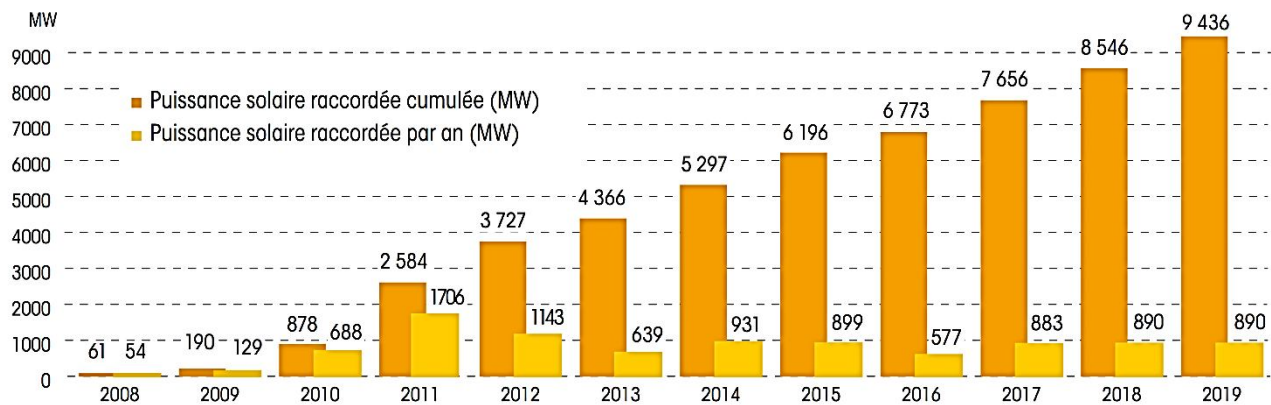
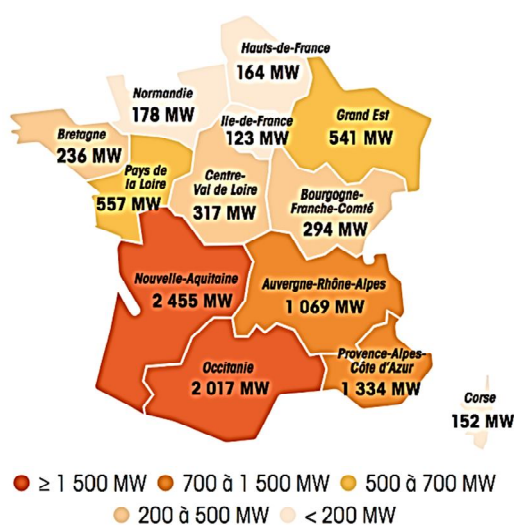


Рис. 2.12. Зміни в підключеній фотоелектричній потужності у Франції з 2008 по 2019 рік (Джерело: Panorama de l'électricité renouvelable au 31 décembre 2019, RTE [32])

Регіон Нувель-Аквітанія (Nouvelle-Aquitaine) виробив 3,21 ТВт-год, Окситанія (l'Occitanie) – 2,6 ТВт-год, а регіон Прованс-Альпи-Лазурний берег (Provence-Alpes-Côte d'Azur) – 1,9 ТВт-год (рис. 2.13) [32].

Puissance solaire installée par région au 31 décembre 2019



Production solaire par région en 2019

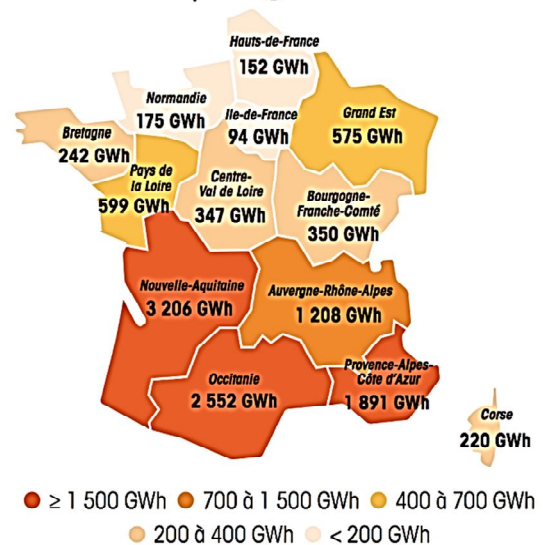


Рис. 2.13. Встановлена потужність фотоелектричних систем за регіонами станом на 31.12.2019 р. та виробництво фотоелектричних систем за регіонами Франції у 2019 р. (Джерело: Panorama de l'électricité renouvelable au 31 décembre 2019, RTE [32])

У 2019 році фотоелектрична енергія покривала понад 2% споживання електроенергії, що робить її третім за величиною джерелом відновлюваної електроенергії у Франції після гідроенергетики та вітрової енергії. На рис. 2.14 показано щомісячний рівень покриття національного споживання

електроенергії фотоелектричними станціями з січня 2017 року по грудень 2019 року. Він підкреслює значне збільшення кількості фотоелектричних станцій, пікове значення яких досягло приблизно 4,5% влітку 2019 року.

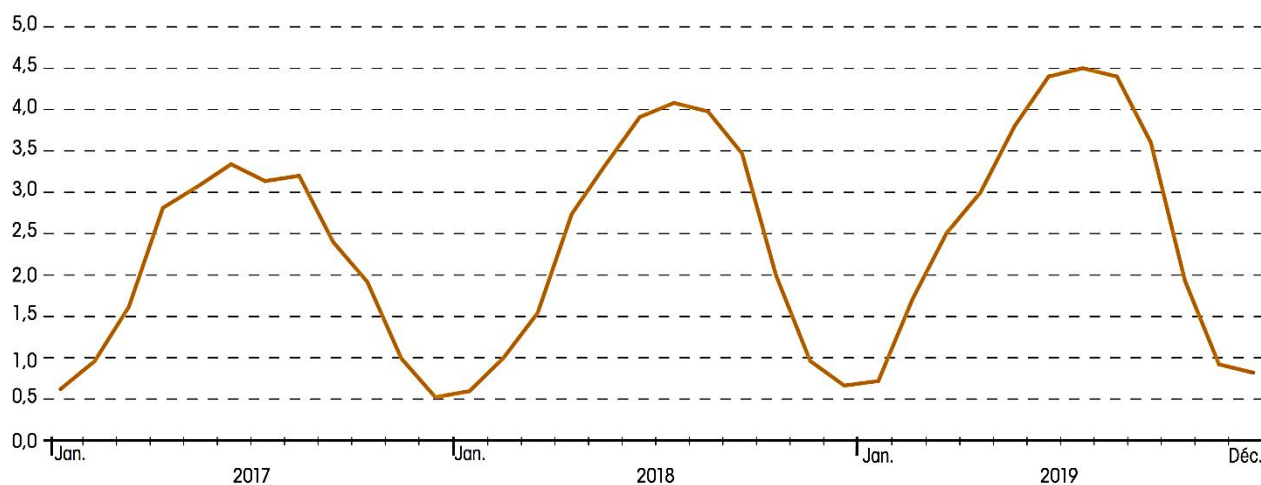


Рис. 2.14. Щомісячне покриття споживання фотоелектричною генерацією (у % від загального споживання) з січня 2017 року по грудень 2019 року (Джерело: Panorama de l'électricité renouvelable au 31 décembre 2019, RTE [32])

2.1.4.4. Важливість синоптичного прогнозування

Оскільки електроенергію важко зберігати, доцільніше розподіляти та споживати її в момент її виробництва. Підключення сонячної та вітрової енергії до системи розподілу вимагає реактивного управління мережею та прогнозування виробництва. Крім того, баланс між виробництвом та споживанням контролювався численними зацікавленими сторонами з моменту лібералізації внутрішнього ринку електроенергії (фондовий ринок Erex Spot для Франції). Тому прогнозування погоди відіграє важливу роль у поточному переході енергії до більш відновлюваних джерел енергії [35].

Для надання метеорологічних прогнозів сонячної радіації використовуються численні прилади та моделі спостереження: супутникові знімки, методи моделювання хмарності, камери напівсферичного зору, інфрачервоне бачення (Рис. 2.15).

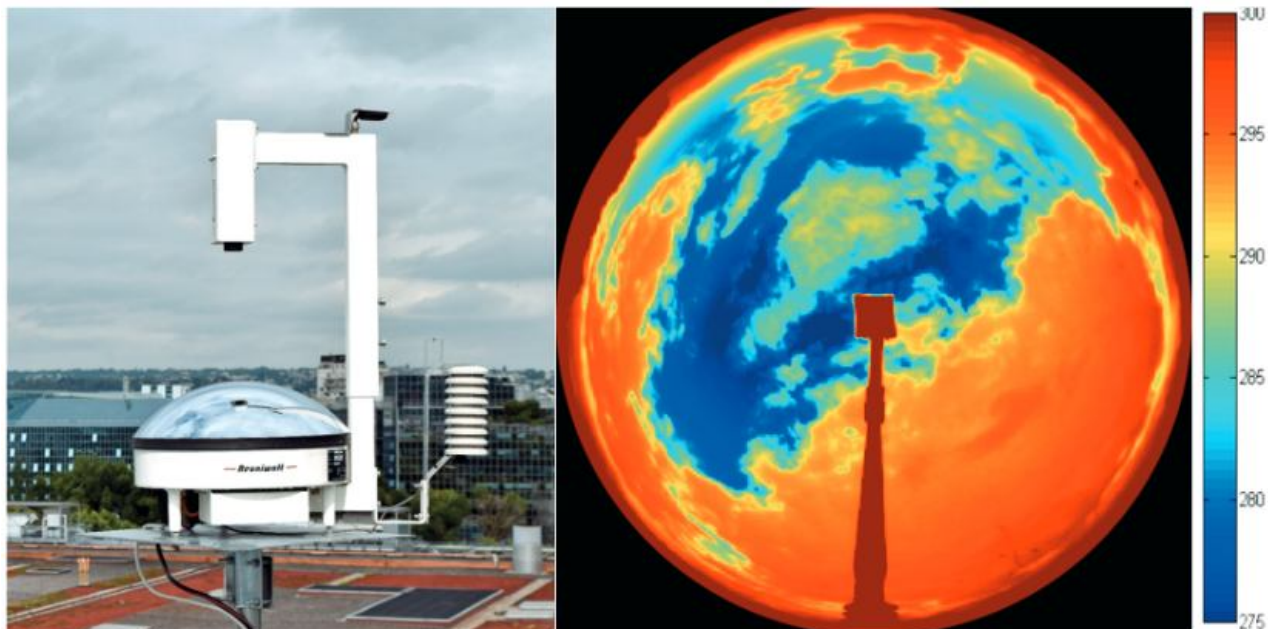


Рис. 2.15. Прилад Sky InSight [36], що використовується демонстратором інтелектуальної мережі «IssyGrid» [37], розташованим в Issy-Les-Moulineaux. Праворуч – напівсферичне зображення температури неба (у кельвінах) в тепловому інфрачервоному діапазоні, де найнижчі хмари є найгарячішими, тоді як безхмарні ділянки виглядають найхолоднішими.

Прогнозування вітру та виробництва вітрової енергії вимагає доступу до векторного поля вітру. Найбільш широко використовуваним приладом є доплерівський лідар, який у поєднанні з двома іншими приладами для сканування простору забезпечує тривимірну реконструкцію поля вітру, показуючи напрямок, напрямок та швидкість вітру в кожній точці. Радарні моделі та зображення надають інформацію про вертикальні профілі вітру, умови конвекції та динамічні зміни (Рис. 2.16).

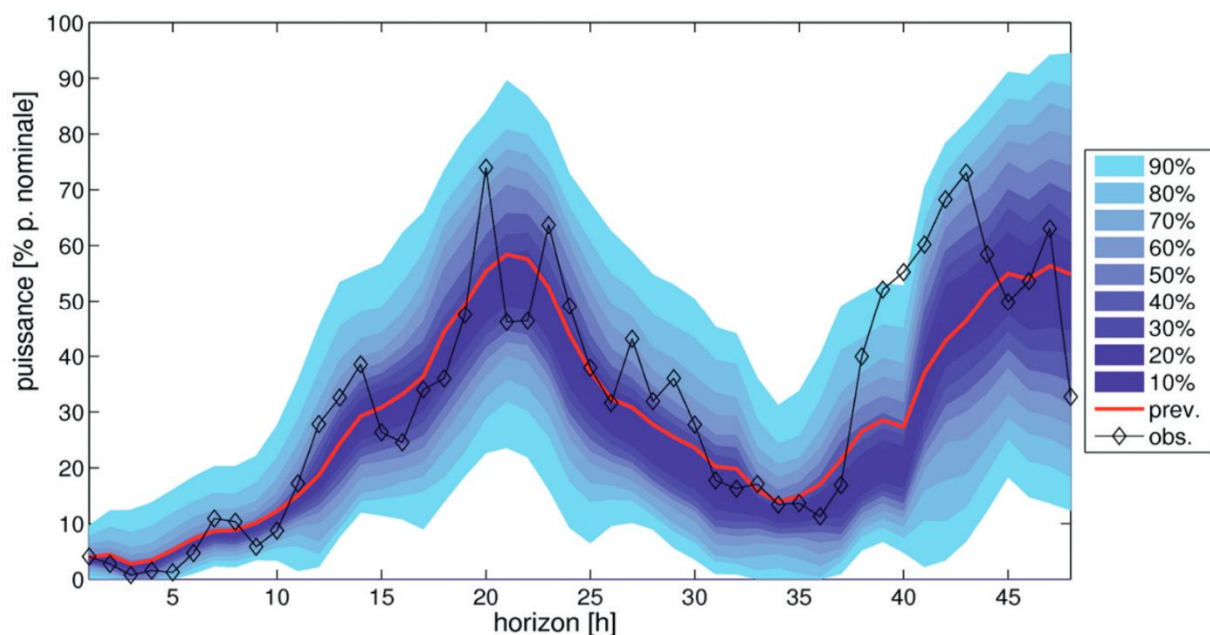


Рис. 2.16. Приклад ймовірнісних прогнозів виробництва енергії вітру з горизонтами від 0 до 48 годин для вітрової електростанції в Данії. Кожна кольорова смуга відповідає ймовірності врахування спостереження, зосередженої на медіані (Джерело: *Prévision météorologique pour les énergies renouvelables* [35])

Щоб відновлювані джерела енергії стали більшою частиною енергетичного балансу, прогнозування погоди є стратегічним та важливим. Цю інформацію необхідно обробляти від кількох хвилин до кількох днів наперед в інтелектуальних мережах, щоб підтримувати баланс між виробництвом та споживанням електроенергії в розподільчій мережі.

2.1.4.5. За відсутності вітру та сонця

Періоди без вітру чи сонця трапляються рідко, але якщо виробництво вітру та фотоелектричної енергії менш значуще, інші джерела енергії можуть взяти на себе ініціативу. Це стосується так званої шлюзової гідроелектростанції, зокрема гідроакумуючих станцій (ГАС). ГАС – це гідроелектростанції, що складаються з водосховищ, розташованих на різній висоті, та реверсивної насосної системи, яка забирає воду з нижнього басейну в години поза піковими навантаженнями для заповнення верхнього басейну. Потім вода приводиться в

рух турбінами в години пікових навантажень. Електроенергія з цих станцій використовується переважно в періоди пікових навантажень [38].

Це також стосується атомної енергетики, яка вже відстежує коливання споживання електроенергії у Франції. Таке резервування також має бути можливим завдяки розвитку теплових електростанцій, що працюють на відновлюваних джерелах енергії. Акумулятори електроенергії можуть компенсувати дефіцит у виробництві вітрової або фотоелектричної енергії. Зі збільшенням встановленої потужності вітру та фотоелектричної енергії використання викопного палива при збільшенні потужності, таким чином, не буде необхідним.

Доречним тут буде нагадати й про гравітаційні енергоустановки.

2.1.4.6. Проблеми зберігання електроенергії

Також можливим стає рекуперувати енергію, що постачається системами змінної генерації (фотоелектричними та вітровими) у періоди, коли попит не є нагальним. Електрична енергія рідко зберігається безпосередньо, але легко перетворюється в інші форми (гравітаційний потенціал, кінетичну, хімічну тощо), які самі по собі чудово зберігаються.

Найбільш надійні технології масового накопичення енергії (понад МВт·год):

Гідравлічне накопичення на основі гравітації: Гідравлічні станції перекачування енергії – це установки, що складаються з водосховищ, розташованих на різних висотах, та реверсивної насосної системи, яка дозволяє перекачувати водні маси між цими резервуарами, таким чином реверсивно використовуючи їхню потенційну енергію. Наразі це найпоширеніша технологія у світі для виробництва потужності до кількох ГВт, з енергетичною потужністю, що відповідає до двох днів на повній потужності. Щоб зменшити обмеження, пов'язані з будівництвом великих резервуарів, були розроблені варіанти, такі як система кранів, що складають бетонні блоки (швейцарська компанія Energy Vault) для менших енергетичних потужностей та вихідної потужності.

Зберігання за допомогою електрохімічних батарей: Електрохімічне накопичення енергії, безсумнівно, є найбільш показовим, оскільки воно є найширше використовуваним рішенням у вбудованих та портативних системах завдяки своїй питомій енергетичній ефективності. У стаціонарному секторі електрохімічні батареї також використовуються в ізольованих фотоелектричних установках або навіть підключених установках, але з високим рівнем власного споживання. У більших масштабах (до кількох сотень МВт та МВт·год) використання «гігабатарей» зростає в кількох країнах. Наприклад, в Австралії, де вони можуть як підтримувати розвиток фотоелектричних або вітрових електростанцій, так і захищати вразливі мережі у разі виходу з ладу міжз'єднання [39].

Зберігання за допомогою водню: Зберігання електроенергії за допомогою водню передбачає поєднання електролізера для перетворення електроенергії у водень, пристрою для зберігання водню та паливного елемента для перетворення водню та кисню, отриманих під час електролізу або взятих з повітря, в електроенергію. Водень може зберігатися в газоподібній (до 700 бар), рідкій (20 K) або твердій (у металгідрідах) формі. Наразі дуже низька ефективність перетворення протягом циклу, у поєднанні з високою вартістю компонентів та все ще коротким терміном служби, означає, що ця технологія розглядається лише для надзвичайно високих показників змінних джерел. Перетворення електроенергії на метан (метанізація) у поєднанні з частковим використанням цього метану в газових турбінах для виробництва електроенергії видається більш економічно реалістичним рішенням у середньостроковій перспективі, особливо в контексті співпраці між електричними та газовими мережами.

Більше інформації про ці процеси зберігання, а також інші, що більше підходять для коротких термінів, можна знайти у статтях: Вступ до накопичення електроенергії та Технології систем зберігання на веб-сайті CultureSciences de l'ingénieur.

2.1.5. Біоенергетичні ресурси

У 2019 році сектор біоенергетики зріс на 3,7%, що становить 2122 МВт встановленої потужності у Франції, нерівномірно розподіленої по всій країні, для виробництва 7,7 ТВт·год (Рис. 2.17).

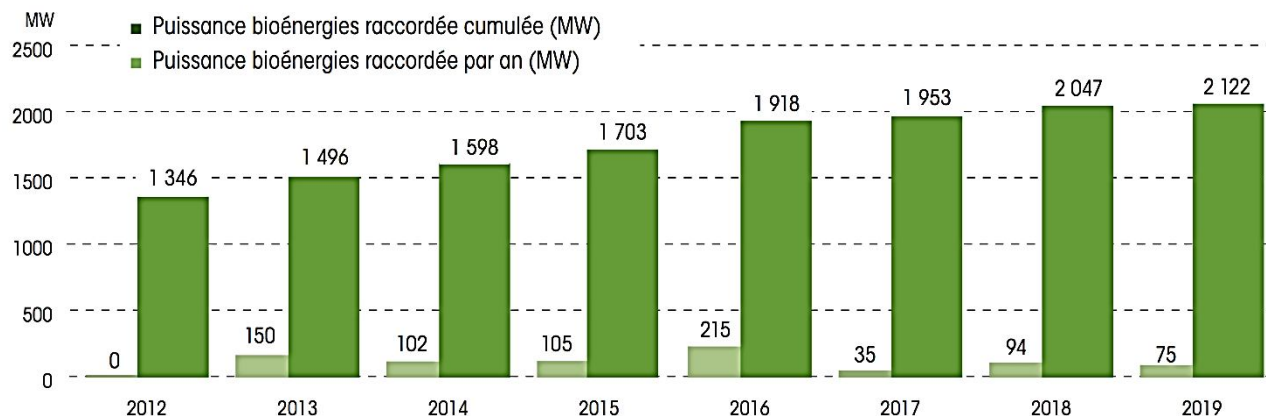
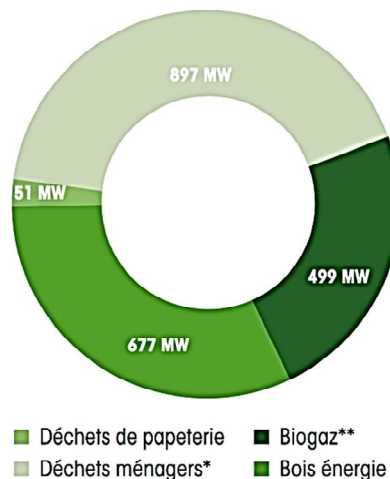
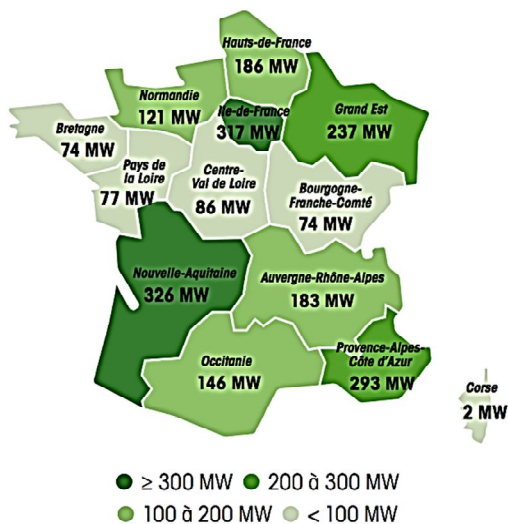


Рис. 2.17. Зміни в підключеній потужності біоенергетичних установок у Франції з 2012 по 2019 рік (Джерело: Panorama de l'électricité renouvelable au 31 décembre 2019, RTE [32])

Два регіони мають понад 300 МВт: Нова Аквітанія (Nouvelle-Aquitaine) (326 МВт) та Іль-де-Франс (l'Île-de-France) (317 МВт) (Рис. 2.18).

Puissance bioénergies installée
par région au 31 décembre 2019



* La catégorie déchets ménagers correspond à la production électrique des unités d'incinération d'ordures ménagères.

** La catégorie biogaz correspond à la production électrique des installations de méthanisation, des stations d'épuration et des installations de stockage de déchets non dangereux

Рис. 2.18. (Ліворуч) Встановлені потужності біоенергетики за регіонами Франції станом на 31 грудня 2019 року; (Праворуч) Розподіл біоенергетичних установок на основі спалювання палива у 2019 році (Джерело: Panorama de l'électricité renouvelable au 31 décembre 2019, RTE [32])

Розподіл джерел біоенергії в основному полягає у спалюванні побутових відходів (виробництво електроенергії з установок спалювання побутових відходів) з 42%, далі йде деревина з 32%, біогаз (див. глосарій) з 24% та невелика частина (2%) з відходів паперової фабрики (Рис. 2.18). Що стосується спалювання, і особливо побутових відходів, це джерело викидає CO₂.

Ці установки часто працюють з використанням когенерації, тобто, крім виробництва електроенергії, значна частина тепла, яке зазвичай виділяється в навколишнє середовище, рекуперується для використання в якості енергії (впорскування в теплові мережі або місцеве використання). Наведені тут цифри відповідають лише виробництву електроенергії.

У 2019 році біоенергетика становила менше 2% споживаної електроенергії, що робить її четвертим за величиною джерелом відновлюваної електроенергії у Франції після гідроенергетики, вітрової енергії та фотоелектричної енергії.

На рис. 2.19 показано зміну щомісячного рівня покриття національного споживання електроенергії біоенергією з січня 2017 року по грудень 2019 року.

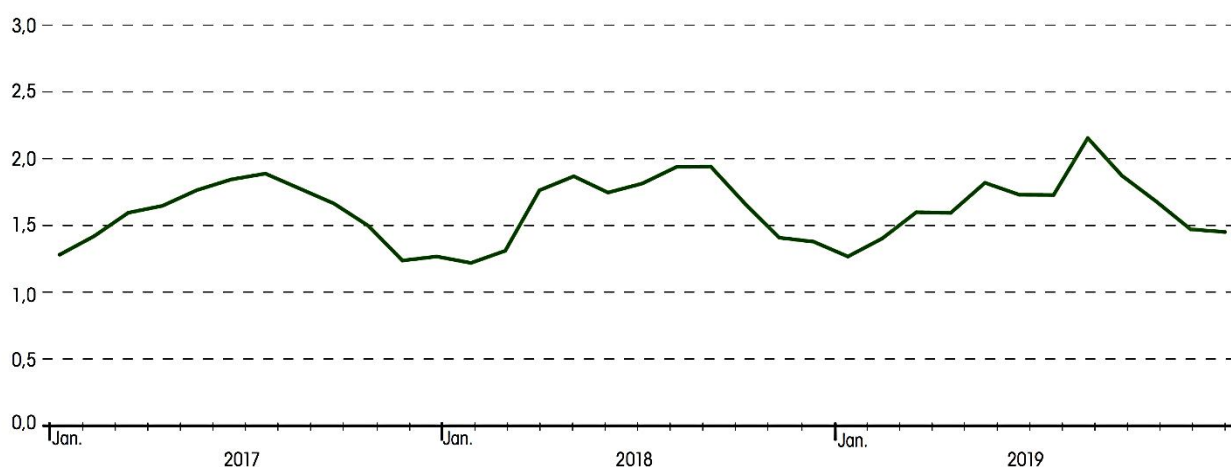


Рис. 2.19. Щомісячне покриття споживання біоенергією (у % від загального споживання) з січня 2017 року по грудень 2019 року (Джерело: Panorama de l'électricité renouvelable au 31 décembre 2019, RTE [32])

2.1.6. Узагальнення аналізу енергетики Франції

Частка виробництва з відновлюваних джерел енергії у Франції стабільно зростає, але залишається низькою порівняно з ядерною енергетикою (Рис. 2.20).

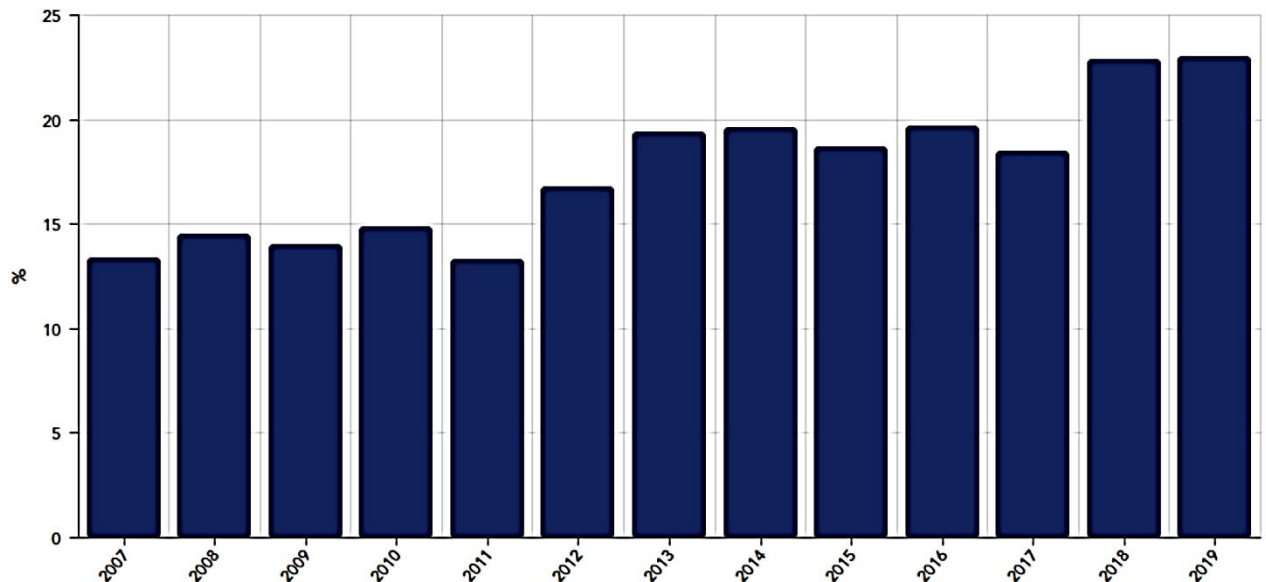


Рис. 2.20. Річна частка виробництва відновлюваної енергії порівняно зі споживанням електроенергії з 2007 по 2019 рік (Джерело: Bilan électrique 2019, RTE, février 2020 [26])

Це зростання значною мірою зумовлене вітровою та сонячною фотоелектричною енергетикою, які мають надзвичайно високий потенціал, тоді як гідроенергетика близька до насичення, і її продуктивність може навіть знизитися через зміну клімату. Що стосується біоенергетики, то потенціал є відносно значним, але її зв'язок з живими організмами все ще викликає питання: вплив на біорізноманіття та конкуренція з продовольчими культурами, що може обмежити її потенціал у певних регіонах світу. Для Франції, де щільність населення низька, внесок біомаси (особливо з відходів) у виробництво енергії представляє незначний потенціал [40, 41].

Оскільки питомі (життєвий цикл) викиди відновлюваних джерел енергії знаходяться на найвищому рівні (за деякими винятками, зокрема гідроелектроенергетики в тропічних лісах), їх використання для виробництва електроенергії допомагає зменшити викиди парникових газів, зокрема, зменшуючи потребу у викопному паливі. Викиди CO₂ від виробництва електроенергії у Франції скоротилися на 6% у 2019 році через різке скорочення виробництва електроенергії з вугілля [26] (Рис. 2.21.

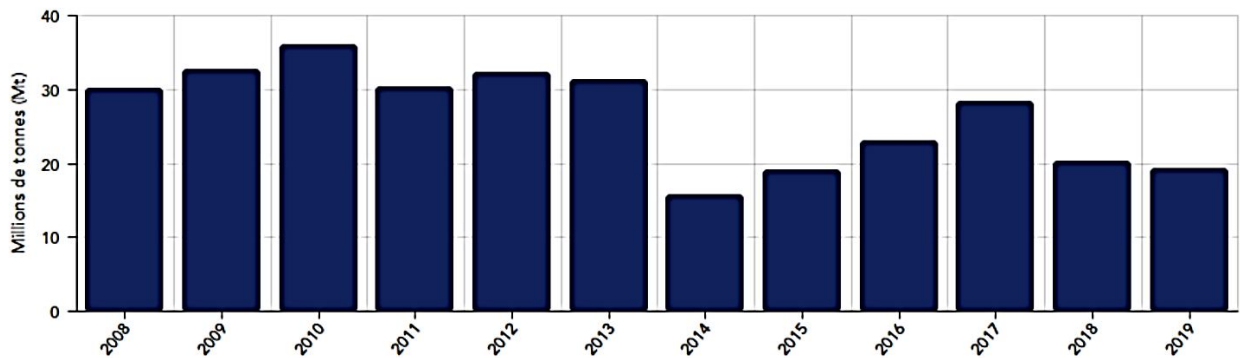


Рис. 2.21. Зміни викидів CO₂ від виробництва електроенергії з 2008 по 2019 рік (Джерело: Bilan électrique 2019, RTE, février 2020 [26])

Загалом, вміст CO₂ в електроенергії (виражений у грамах CO₂/кВт·год) неухильно знижується у всьому світі завдяки швидкому зростанню виробництва електроенергії з відновлюваних джерел (в середньому 5,9% на рік протягом десятиліття 2008-2018 років, порівняно з 1,9% на рік для невідновлюваних джерел). Це зростання головним чином зумовлене збільшенням кількості вітрових та фотоелектричних установок. У випадку Європи (ЄС-28), яка є дуже динамічною в цій галузі, спостерігалось зменшення з 444 до 331 гCO₂/кВт·год між 2000 і 2016 роками [42]. У світовому масштабі за той самий період цей показник знизився з 540 до 475 гCO₂/кВт·год. Це тим більше важливо, враховуючи, що виробництво електроенергії залишається найбільшим джерелом викидів парникових газів у світі, складаючи приблизно 40%.

Висновки за розділом 2

Не всі відновлювані види електроенергії є неконтрольованими або змінними незалежно від попиту. Це особливо стосується гідроенергетики та біоенергетики, які можуть бути легко гнучкими. Що стосується тих, що змінюються залежно від вітру (вітру) або сонця (фотоелектричних), їх не можна класифікувати як переривчасті джерела енергії. Дійсно, коливання їх виробництва відносно повільні та згладжуються завдяки поширенню установок

по всій країні, і, перш за все, вони передбачувані в короткостроковій (щогодинній) та середньостроковій (кілька днів) перспективах. Ці прогнози щодня використовуються менеджерами мережі, так само як і прогнози споживання, які самі залежать від погодних умов.

Два джерела з найбільшим потенціалом – вітер та фотоелектричні, мають сильну взаємодоповнюваність, що значно полегшує їх управління. У поєднанні з програмованими виробничими ресурсами та дещо більшими ресурсами зберігання, ніж сьогодні, вони можуть зазнавати сталого розвитку, не ставлячи під загрозу електромережу, досягаючи дуже високого рівня проникнення, що дозволить забезпечити більш екологічно чисте виробництво. Однак, щоб ця модель була транспонована в усьому світі, вона обов'язково повинна поєднуватися зі значним підвищенням ефективності використання та загальною поміркованістю локальних громад і суспільства у цілому, особливо в багатих країнах, де відходи – величезні.

Існує кілька сценаріїв енергетичного переходу, які враховують індустріальні, екологічні, соціальні та кліматичні обмеження (Négawatt [41], Afterres [40] тощо), але головні ознаки та відповідні параметри щодо інсталяційної бази розміщення об'єктів декарбонізованої «зеленої» енергетики найбільшою мірою відповідають основним вимогам, як за масштабами, так і за просторовими характеристиками.

Розділ 3

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ АДАПТАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ ВІДПРАЦЬОВАНИХ КАР'ЄРІВ

Враховуючи стан та тенденції в гірничій промисловості під тиском енергетичних факторів та відповідних трансформаційних процесів, а також основні потенційні переваги та певну привабливість для інвесторів територій закритих рудників, із залишеними будівлями, інженерними мережами та комунікаціями, розвиненою логістичною базою, робочими містечками з високопрофесійними мешканцями, яких легко перекваліфікувати, а головне – без перебільшення – унікальним рельєфом, можна і варто розглянути як перспективні наступні напрямки адаптації таких територій до вторинного використання:

1. Рекультивація гірничо-технічна – у разі перетворення площі гірничого відводу колишнього рудника на комплекс промислового туризму та відпочинку, спортивні бази та траси автоперегонів, військові та випробувальні полігони і багато іншого.

2. Рекультивація гірничо-технічна та біологічна – коли створюють рекреаційну або паркову зону, заказники та заповідники, ботанічні сади та зоопарки; мисливські угіддя, звіроферми, птахокомбінати та зариблені озера; пляжі, бальнеолікарні та санаторії, а також інші об'єкти соціального спрямування після належної біологічної рекультивації ландшафтів та реабілітації територій: з одної точки зору – знівечених гірничою діяльністю, а з іншої – набувших завдяки їй унікальних особливостей, які є просто безцінними для таких розважальних комплексів, як, наприклад, Дісней-ленд чи щось подібне, для чого витрачаються великі кошти та те, що саме по собі вже мимоволі створено гірничими процесами.

3. Спеціалізована виключно гірничо-технічна рекультивація – для створення ландшафту, максимально відповідного вимогам щодо розміщення об'єктів відновлювальної енергетики: вітряних, сонячних та гравітаційних електростанцій.

Нижче ми стисло розглянемо головні особливості рекультивації порушених гірничими роботами територій для вторинного їх використання в означених вище цілях.

3.1. Світовий досвід біологічної рекультивації порушених кар'єрами земель

Даний вид рекультивації застосовують у разі прагнення перетворити залишену рудничну територію на ландшафт «альпійського» типу, або з метою повернення її до сільськогосподарського використання.

Перші масштабні роботи з рекультивації промислових ландшафтів було виконано Німеччиною [43]. У 1766 р.: у провінції Рейланд проведено посадку деревних порід на відвалах гірничорудних підприємств. До нашого часу збереглися культури дуба червоного, створені 1907 р. [44]. У 1923 р. було заліснено вільхою чорною, сосною звичайною та акацією білою 242 га відвалів Рейнський буровугільний басейн. До 1943 р. загальна площа лісонасаджень становила 1700 га [45].

У Великій Британії рекультиваційні роботи проводять з кінця XIX ст. Однією з перших екологічних організацій у Великій Британії, яка займається рекультивацією була The Midland Reafforesting Association (MRA) [46].

MRA була створена в Чорній країні (кам'яновугільний і залізообробний район Стаффордшир і Уорікшир). Асоціація була офіційно заснована на зустрічі з громадськістю міста Бірмінгема 12 лютого 1903 р. Щороку цією організацією проводилися Arbor Day – весняні свята деревонасадження [47]. За першу чверть XX ст. у Великобританії заліснено 33 га порушених територій [46]. Але, незважаючи на очевидні успіхи, MRA була розпущена в 1925 році.

У Міністерстві внутрішніх справ США у 1902 р. було засновано Службу рекультивації (Бюро рекультивації). Під керівництвом Служби рекультивації розроблено та здійснено безліч федеральних проектів.

У 1918 р. у штаті Огайо відвали вугільних розробок засіяні конюшиною. У штаті Індіана висаджено лісові культури та створено фруктовий сад [48].

Швидкий розвиток гірничодобувної промисловості на початку ХХ ст. призвів до значної деградації компонентів природного довкілля. Зі зростанням інтенсивності перетворюючого впливу промисловості виникла необхідність відновлення природних комплексів та повернення до господарського обігу порушених земель.

Починаючи з середини минулого сторіччя, відбувається інтенсивне зростання масштабів видобутку корисних копалин. На даний час у США площа земель, порушених відкритими гірничими роботами, що перевищує 2 млн. га, щорічно зростає на 80 тис. га.

У Великій Британії внаслідок видобутку корисних копалин щорічно порушується 20 тис. га родючих земель. Загальна площа територій, порушених розробками кам'яного вугілля, становить понад 80 тис. га.

Найбільш сильний антропогенний вплив у Німеччині відбувається в районі Нижньорейнського буровугільного басейну. Площа порушених земель становить щонайменше 20 тис. га. Видобуванням вугілля в Німеччині щорічно порушується 7-10 тис. га.

У Китаї, де вугілля є енергетичною основою і має велике значення в енергетичній стратегії, у провінції Шаньсі порушено 1060 тис. га лісових земель та 263 тис. га орних угідь [49].

Значне збільшення збитків, завданих промисловістю природним і господарським ландшафтам, вимагало більш ґрунтовного вирішення цього питання. У цей період у розвинених країнах розроблено та прийнято законопроекти та постанови, що містять юридичні основи, порядок проектування, організації та практичного здійснення рекультиваційних робіт; джерела фінансування рекультивації та відшкодування збитків, завданих виробничою діяльністю; заходи щодо оздоровлення техногенних ландшафтів.

З 60-х років. у зв'язку із загальним скороченням у більшості країн сільськогосподарських угідь найбільшого значення набуває сільськогосподарський напрямок рекультивації. Удосконалення методів рекультивації дозволило отримувати на відновлених землях не менш високі

врожаї сільськогосподарських культур, ніж на зональних ґрунтах, а іноді й вищі.

Найбільшого розвитку сільськогосподарський напрямок набув у країнах Центральної та Східної Європи.

У Чехії та Словаччині на початку 60-х років для відновлення природних ландшафтів та покращення санітарної обстановки у промислових районах створювалися лісонасадження.

У Болгарії, Угорщині, Румунії розроблено методи сільськогосподарської рекультивації із застосуванням потенційно родючих розкривних порід. Нині в цих країнах на сотнях гектарів відновлених земель одержують високі врожаї просапних та зернових культур.

У Швейцарії, Італії, Австрії, Швеції та Фінляндії на місцях відкритого видобутку будівельних матеріалів створюються зони відпочинку, водоймища для спорту та рибальства.

У Китаї згідно з Адміністративними законами, порушені землі рекультивуються переважно для сільського господарства [49].

При відновленні територій в Австралії перевага надається поверненню до природних екосистем або пасовищ [50].

У США для сільськогосподарських цілей використовуються переважно відвали зі сприятливими за властивостями породами. Освоєння ведеться переважно під сіножаті та пасовища з використанням відвалів як кормової бази для тваринницьких ферм [51].

У Великій Британії уряд закликає уникати відновлювати порушені землі на орні угіддя, та заохочує лісонасадження [52].

В Україні переважного поширення набув лісогосподарський напрям рекультивації з широким використанням механізації лісопосадкових та лісокультурних робіт. Заліснення поверхні техногенних ландшафтів на родовищах нашої країни є найперспективнішим способом біологічної рекультивації, з погляду витрат на її проведення та рекреаційного значення.

В даний час найбільш значні роботи ведуться за традиційним способом рекультивації з нанесенням родючого та потенційно родючого ґрунтового шару

і внесенням добрив, вапна, золи та різних відходів промисловості, з наступним посівом багаторічних трав.

В Англії при рекультивації шахтних відвалів на їхню поверхню наноситься ґрунтовий шар потужністю 1,5-2 м. У Чехії для сільськогосподарського використання створюється ґрунтовий шар потужністю до 50 см. Проте у зв'язку з дефіцитом ґрунтового шару та великими витратами на транспортування вивчається можливість застосування для сільськогосподарських цілей відвальних ґрунтів без нанесення ґрунту, з одночасним внесенням мінеральних добрив для активізації мікрофлори та покращення агрохімічних властивостей.

У Німеччині для створення ландшафту, максимально наближеного до природного, на рекультиваційний горизонт вносять добрива із посівом багаторічних трав для наступного заорювання їх сидератами [53].

Особлива увага відновленню порушених земель приділяється з 70-х років. минулого століття. Для досягнення складу ґрунтів, близького до природного, роблять селективне укладання породи у відвал із нанесенням натуральних ґрунтів або створення композиції з додаванням ґрунтів для землевання.

За даними американських учених, встановлено провідну роль ґрунтових мікроорганізмів при біологічній рекультивації територій, порушених відкритими гірничими роботами. У практиці відновлення земель використовуються підбір певних бактеріальних культур та обробка ними порушених земель, що дозволяє різко покращити умови для зростання рослинності.

З метою стимулювання розвитку мікроорганізмів застосовують органічні добавки. Практикується внесення азотфіксуючих мікроорганізмів, що сприяють стабілізації структури ґрунтів, що відновлюються.

Для прискорення рекультивації порушених земель при вирощуванні деревини практикується використання грибної мікрофлори.

Нині в рекультивації порушених земель широке застосування знаходить технологія гідропосіву багаторічних трав. У практиці рекультивації метод гідропосіву, розроблений спочатку для закріплення укосів транспортних магістралей, почав впроваджуватися з 1970 р. як хіміко-біологічний метод

біологічної рекультивації укосів, був випробуваний і дав позитивні результати, як на зарубіжних, так і на вітчизняних кар'єрах.

Від звичайного посіву гідропосів відрізняється способом розподілу посівного матеріалу, при якому рівномірний розподіл насіння по поверхні, що зміцнюється, проводиться струменем спеціальної емульсійної суміші. Розподілена емульсія утворює захисний шар, що створює сприятливі умови для проростання насіння, сприяє збереженню в ґрунті тепла та вологи, що покращують водно-тепловий режим для рослин. Мульчуючі матеріали, згниваючи, дають додаткове живильне середовище, а плівка, що утворюється, запобігає ерозії.

До складу емульсійної суміші входять: мульчуючий матеріал, бітумна емульсія, насіння трав та мінеральні добрива. Для активації процесів ґрунтоутворення до складу гідросуміші вводять бактеріальні препарати, що містять комплекси мікроорганізмів, які беруть участь у перетвореннях фосфору і азоту та у накопиченні органічних речовин.

Широкого застосування у світовій практиці набули біологічні препарати Biobert та Agrobiol. Препарат Biobert розроблений у Франції та готується на основі торфу, стабілізаторів, добрив, бактерій та насіння. Препарат Agrobiol розроблений у Німеччині, застосовується в Австрії та Іспанії. Основною характеристикою цього методу є застосування міцелію (*Penicillium*), який дає велика кількість органічної речовини.

У сучасній практиці розвитку вугледобувних країн особлива увага приділяється пошукам нових рішень. Перспективним є застосування сучасних рекультиваційних технологій, заснованих на використанні нетрадиційних меліорантів, що дозволяє підвищити продуктивність рекультиваційних робіт і помітно знизити витрати на створення живильного шару [54].

Вперше роботи з використанням компонентів осаду стічних вод виконано у Польщі. Використання нетрадиційних меліорантів дозволяє підвищити ефективність рекультивації та значно знизити витрати на створення родючого шару. Дослідження підтвердили позитивний вплив ОСВ на біомасу рослин та накопичення у ґрунті органічної речовини [55].

В Угорщині методом біологічного ін'єктування із застосуванням ОСВ рекультивовано 2000 га. На рекультивованих ділянках успішно вирощують овочі, зернові та чагарниково-деревні культури.

Перспективним способом рекультивації є застосування органо-мінеральних добрив. Використання органо-мінеральних добрив на основі торфу низинного типу запускає активізацію біологічних процесів, забезпечує коренеживильний шар доступними для рослин та мікроорганізмів органічною речовиною та елементами мінерального харчування, стимулює розвиток і зростання рослин.

Таким чином, більше ніж за сторічний період промислових робіт накопичено значний досвід та наукові знання щодо відновлення та реконструкції порушених ландшафтів. Для відновлення екологічної цілісності порушених територій широкого застосування набули традиційні методи рекультивації зі створенням рекультиваційного шару. В даний час розроблені та успішно впроваджуються прогресивні методи рекультивації. Застосування сучасних рекультиваційних технологій, заснованих на використанні осаду стічних вод та активної ґрунтової мікрофлори, дозволяють за мінімальних витрат прискорити відновлення порушених земель у декілька разів.

3.2. Під що придатні рекультивовані рудничні території та роль енергетичного чинника

Відзначимо зразу, що, на переконання більшості вчених, найбільш придатними землі залишених рудників є для розміщення на них енергетичних комплексів, переважно – відновлюваної енергетики, що генералізовано актуалізується з початку нового тисячоліття.

Безумовно, означені території цілком підходять для розміщення на них й інших об'єктів самого різноманітного призначення, а відтак – представляють собою доволі цінний ресурс, а зовсім не чисто постпромислову проблему, але, звичайно, – за належного ставлення до даного природно-техногенного ресурсу.

Нагадаємо, що відновлювані джерела енергії покривають понад половину потреб восьми європейських країн в опаленні й охолодженні. Мережі централізованого теплопостачання допомагають країнам Північної та Балтійської Європи бути лідерами, тоді як багато великих економік відстають.

На тлі масового вторгнення Росії в Україну та поступового відходу Європи від російської вуглеводневої сировини, важливість енергетичної безпеки залишається першочерговою. І саме відновлювані джерела енергії відіграють ключову роль у зміцненні цієї безпеки та диверсифікації джерел енергії.

Частка відновлюваних джерел енергії в Європі зросла, але кілька країн, особливо найбільші економіки, навряд чи досягнуть цілей ЄС на 2030 рік.

Особливо важливо збільшити кількість відновлюваних джерел енергії, що використовуються для опалення й охолодження будівель, оскільки, за даними Євростату (Eurostat), на ці види використання припадає майже половина загального споживання енергії в ЄС.

Отже, яка частка відновлюваних джерел енергії в опаленні й охолодженні в Європі? І які країни є лідерами?

У 2023 році частка відновлюваних джерел енергії в опаленні й охолодженні досягла 26,2% в ЄС, що відображає частку відновлюваних джерел енергії в загальному споживанні енергії. Але ця частка значно варіюється від країни до країни, коливаючись від 8% в Ірландії до 84% в Ісландії. Серед держав-членів ЄС Швеція й Естонія мають найвищі частки – по 67% кожна.

Чому деякі країни використовують більше відновлюваної енергії для опалення, ніж інші?

Відновлювані джерела, що відображаються в наборі даних, включають сонячну та геотермальну енергію, біопаливо, частку відновлюваних відходів та тепло навколишнього середовища, що збирається тепловими насосами для опалення. Професор Павел Оцлон (Pawel-Oclon) [56] з Краківського політехнічного університету в Польщі пояснює Euronews Green кілька факторів, які пояснюють відмінності у використанні відновлюваної енергії для опалення й охолодження.

До них належать кліматичні умови, доступність ресурсів та стан енергетичної інфраструктури. Країни з існуючими системами викопного палива стикаються з більш складними перехідними періодами. Політична підтримка, інвестиційні витрати та міський простір також впливають на прогрес.

Експерти Інституту європейської енергетичної та кліматичної політики (ІЕЕСР) [57] – Івана Рогул, Жан-Себастьян Брок, Філіппос Анагностопулос, Томіслав Новосел, Індіані Ліонго та Ставрос Спірідакос — стверджують, що масштаби централізованого теплопостачання є ще одним ключовим фактором.

Країни з поширеним централізованим теплопостачанням, як правило, йдуть більш плавним шляхом до декарбонізації своїх систем опалення. «Легше замінити великий газовий котел тепловим насосом, котлом на біомасі або системою рекуперації тепла, ніж замінити тисячі окремих котлів тепловими насосами», — пояснюють вони.

Країни Північної та Балтійської Європи домінують у рейтингу

Країни Північної Європи, за винятком Норвегії, та країни Балтії лідирують у Європі за використанням відновлюваної енергії для опалення й охолодження. Усі вони повідомили про частку 54% або більше, що удвічі перевищує середній показник по ЄС у 26%.

Рана Адіб, виконавчий директор REN21 [58], глобальної мережі урядів, галузевих експертів, неурядових організацій та науковців, пояснює, що ці країни, як правило, мають передові системи централізованого теплопостачання, багато з яких працюють переважно на відновлюваних джерелах, таких як геотермальна енергія, відпрацьоване тепло або, що більш суперечливо, біомаса. Норвегія, з іншого боку, має значно меншу частку (34%). Однак експерти ІЕЕСР вважають, що дані Євростату для Норвегії можуть вводити в оману.

«Відновлювана електроенергія, що використовується для живлення теплових насосів, не враховується в частці опалення й охолодження, щоб уникнути подвійного врахування», – повідомляє Євростат.

Експерти зазначають, що понад 90% норвезької електроенергії надходить з гідроенергетики та вітру. «Електроенергія є основним джерелом опалення в Норвегії», – стверджують вони.

Великі західноєвропейські економіки відстають

Кілька західноєвропейських країн, включаючи чотири найбільші економіки ЄС, мають значно нижчий рівень включення відновлюваної енергії в опалення й охолодження.

Серед них лише Франція (30%) трохи перевищує середній показник по Європі в 26%, тоді як інші країни – нижче. Це: Італія (22%), Іспанія (21%), Німеччина (17%), Бельгія (11%), Нідерланди (10%) та Ірландія (8%).

За даними Statista [59], відновлювана енергія становила лише 7,5% опалення та охолодження у Великій Британії у 2018 році.

Р. Адіб зазначає, що нафта залишається поширеним явищем для опалення сільської місцевості в Ірландії через слабку політику та мінімальне централізоване теплопостачання. «Дослідження показали, що 54-57% загального попиту Ірландії на теплову енергію можна задовольнити мережами централізованого теплопостачання, але впровадження залишається обмеженим».

Нідерланди давно покладаються на природний газ і лише нещодавно почали докладати значних зусиль для поступової відмови від газових котлів, додає вона. «Бельгія також сильно залежить від газу та страждає від повільних темпів реконструкції будівель та фрагментованої регіональної політики, що перешкоджає координації енергетичних дій». Вона пояснює низьку частку відновлюваної енергії в Німеччині, Франції, Італії та Іспанії широкою залежністю від індивідуальних газових котлів. Експерти ІЕЕСР також зазначають, що електричне опалення заохочується у Франції завдяки широкій доступності ядерної енергетики.

Австрія (39,4%) є провідним прикладом серед країн Центральної Європи у впровадженні відновлюваної енергії для опалення та охолодження. «Ці високі показники є результатом усталеної традиції використання біомаси – як в індивідуальних системах опалення, так і у великих мережах централізованого теплопостачання», — кажуть експерти ІЕЕСР.

Більшість країн-кандидатів на вступ до ЄС повідомили про вищу частку використання відновлюваної енергії для опалення й охолодження, ніж середній

показник по ЄС, за винятком Албанії (23%), яка трохи нижче. Чорногорія, наприклад, досягла вражаючих 67%.

Чи достатній прогрес Європи в опаленні за допомогою відновлюваних джерел енергії?

За останні два десятиліття Європа досягла помітного прогресу у збільшенні частки відновлюваної енергії в опаленні та охолодженні з приблизно 11,7% у 2004 році до приблизно 26,2% до 2023 року, що є найвищим рівнем на сьогодні. Але чи достатній цей прогрес? Експерти вважають, що ні. «Хоча це зростання є значним, воно залишається недостатнім», — каже пан Оклон. Посилаючись на незобов'язувальну мету ЄС щодо досягнення 49% частки відновлюваної енергії в будівлях до 2030 року, пані Адіб додає: «Цей темп — в середньому один відсотковий пункт кожні два роки — занадто повільний для досягнення цілей ЄС у сфері клімату та енергетики».

Експерти ІЕЕСР підкреслюють значні відмінності в прогресі між країнами. «Багато країн наразі не в змозі виконати ці зобов'язання», — заявляють вони.

3.3. Перспективи перетворення рудників на сонячні електростанції

Як відзначалося вище, північні схили кар'єрів та південні — відвалів майже ідеально підходять для розташування на них сонячних батарей (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Сонячні батареї на схилах відвалів та бортах кар'єру (Джерело: AP Photo/ Sam McNeill)

«Ті ж землі, які слугували паливом для індустріальної епохи, можуть сприяти пошуку рішень щодо боротьби зі зміною клімату, яких ми гостро потребуємо сьогодні», – стверджують аналітики, автори нового звіту.

Згідно з новаторським аналізом, переобладнання занедбаних рудників та вугільних розрізів на сонячні електростанції може забезпечити достатньо енергії для задоволення потреб країни, розміром із Німеччину.

Дослідники Global Energy Monitor (GEM) [60] виявили 312 вугільних розрізів, закритих з 2020 року, які розташовані на площі 2089 квадратних кілометрів (км²).

За даними Global Coal Mine Tracker (GCMT) [61], до кінця 2030 року оператори, як очікується, закриють ще 3731 км² земель, зайнятих гірничодобувними підприємствами через виснаження запасів.

За оцінками експертів, загалом 446 вугільних розробок та 5820 км² занедбаних земель можна було б повторно використати для сонячних проектів та генерувати майже 300 ГВт відновлюваної енергії. Це величезний обсяг, еквівалентний приблизно 15% загальної потужності сонячних електростанцій, встановлених сьогодні у світі, тому:

- сонячна енергетика обігнала вугілля в електроенергетичному балансі ЄС;
- світовий показник чистої електроенергії перевищив 40%, Європа стає «сонячною наддержавою».

«Спадщина вугілля відбита в землі, але вона не повинна визначати майбутнє», — каже Чен Чен У (Cheng Cheng Wu), керівник проекту з моніторингу енергетичного переходу до GEM. "Перехід від видобутку вугілля до сонячної енергетики вже йде, і цей потенціал готовий до використання у великих країнах-виробниках вугілля, таких як Австралія, США, Індонезія та Індія", – додає вона [62].

В даний час Китай займає лідируючі позиції в галузі проектів перетворення джерел енергії вугілля на сонячну. У країні реалізується 90

проектів загальною потужністю 14 ГВт, а ще 46 проектів знаходяться на стадії розробки.

В Європі виділяється Греція, яка «виключно добре підходить» для перетворення старих вугільних розрізів на сонячні електростанції.

Середній потенціал сонячної енергії 4,45 кіловат на квадратний метр (кВт/м²), мета поступової відмови від вугілля до 2026 року та сприятливе фінансове середовище як держави-члена ЄС — все це робить Грецію ідеальним кандидатом для такого переходу.

У Західній Македонії, на півночі Греції, компанії вже розпочали будівництво сонячних парків на місці колишнього кар'єру з видобутку бурого вугілля Аміндео.

Фінансований ЄС національний план відновлення Греції 2.0 також включає 175 млн. євро на підтримку інших сонячних проектів у Центральній Македонії.



Рис. 3.2. Новий сонячний парк неподалік міста Kozáni на півночі Греції, (Джерело: AP Photo/Thanassis Stavrakis)

Які переваги перетворення вугільних розрізів на сонячні електростанції

Враховуючи глобальну мету потроїти потужності відновлюваної енергетики до 2030 року, покинуті вугільні виробки є значною нагодою для

переходу до чистої енергетики. Але, на думку авторів дослідження, переваги не обмежуються.

«Придбання земель для досягнення глобальних цілей у галузі відновлюваної енергії стало джерелом конфлікту між зацікавленими сторонами та особами, які ухвалюють рішення», — визнає Хейлі Дерес (Hailey Deres), дослідник із GEM [63].

Забудовники шукають покинуті місця для встановлення сонячних панелей – від узбіччя доріг до водосховищ та залізничних колій – і колишні кар’єри та вугільні розрізи є особливо сприятливим місцем.

"Перепрофілювання копалень для розвитку сонячної енергетики дає рідкісну можливість об’єднати відновлення земель, створення місцевих робочих місць та впровадження чистої енергії в єдину стратегію", – додає Cheng Cheng Wu [64]. «Зробивши правильний вибір, земля, яка мала індустріальну епоху, може сприяти прийняттю таких необхідних рішень щодо боротьби зі зміною клімату».

Як забезпечити стимул для повторного використання занедбаних рудників

За оцінками аналітиків, на об’єктах, що переходять з вугілля на сонячну енергію, може бути створено 259 700 постійних робочих місць, а також 317 500 тимчасових і будівельних робочих місць. Це перевищує очікувану кількість робочих місць, які вугільна промисловість скоротить у всьому світі до 2035 року.

Хоча старі вугільні кар’єри часто залишаються занедбаними, такий підхід створив би економічний стимул для рекультивації та ліквідації збитків, завданих гірничодобувною промисловістю (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Найбільший в Греції розріз з видобутку бурого вугілля, неподалік північного міста Kozáni, 2 червня 2022 р. (Джерело: AP Photo/Thanassis Stavrakis)

"Ми бачили, що відбувається у вугільних районах, коли компанії банкрутують, звільняють робітників і залишають після себе слід руйнувань", – сказав Райан Дріскелл Тейт (Ryan Driskell Tate), заступник директора GEM [65].

«Але виснажені вугільні родовища мають величезний потенціал для забезпечення екологічно чистої енергетики майбутнього. Вони вже є. Нам просто потрібне правильне поєднання стимулів, щоб змусити людей працювати над створенням наступного покоління сонячних електростанцій у вугільних країнах» [66]. "Також збільшується швидкість потенційної швидкості. Використовуються екологічно чисті джерела енергії. Вони вже є. Важливо стимулювати організм, стимулювати його. людей працюють над створенням наступного покоління сонячних електростанцій у вугільних країнах” – можна стверджувати, узагальнюючи [67].

3.4. Перспективи переобладнання покинутих рудників на комплекси гравітаційної енергії

Шотландська компанія наразі перепрофілює шахту Пюхярві (Pyhäjärvi) [68] для будівництва першого прототипу великомасштабного гравітаційного сховища енергії. У місті діє шахта завглибшки 1444 метри, де видобувається цинк і мідь (рис. 3.4, 3.5) [69].

Одна з найглибших шахт Європи, розташована у невеликому фінському містечку, перетворюється на підземний резервуар енергії. Він використовуватиме силу гравітації для зберігання надлишкової енергії, яка використовуватиметься за потреби.

Віддалене фінське містечко Пюхярві розташоване за 450 кілометрів на північ від Гельсінкі. Цинково-мідні горизонти рудника Пюхясалмі [70], розташовані на глибині понад 1400 метрів під землею, зараз виведено з експлуатації, але шотландська компанія GRAVITRICITY [71] дає йому нове життя. Компанія розробила систему генерування енергії, яка піднімає й опускає вантажі та, за її словами, пропонує «деякі з найкращих характеристик літій-іонних акумуляторів та гідронасосів».



Рис. 3.4. Рудник Пюхярві (глибина 1444 м), де видобувалися руди цинку і міді (Джерело: <https://www.mining.com/first-commercial-gravity-storage-for-energy-planned-in-finnish-mine/>)



Рис. 3.5. Рудовидаючий ствол рудника Пюхьярві (Джерело: <https://www.mining.com/first-commercial-gravity-storage-for-energy-planned-in-finnish-mine/>)

Як працює гравітаційна батарея?

У разі надмірної потужності, наприклад, від вітряних турбін у вітряний день, до 530-метрової допоміжної шахти на руднику Пюхьясалмі підніматимуться вантажі. Для вироблення електроенергії ці вантажі можуть бути спущені, що дозволить лебідкам працювати як генератори, виробляючи або короткочасний імпульс електроенергії, або повільніший потік, залежно від потреби.

Розглянута покинута копальня у Фінляндії першою використовуватиме гравітацію для зберігання енергії (рис. 3.6).



Рис. 3.6. Головний ствол мідно-цинкової шахти Пюхярві у Фінляндії є місцем розміщення першої комерційної системи зберігання енергії під дією сили тяжіння. (Фото: Gravitricity)

Місцева спільнота Пюхярві створила компанію з розвитку для сприяння відновленню колишнього рудника. Компанія підписала угоду з GRAVITRICITY про перетворення колишнього ствола шахти на перший великомасштабний прототип технології компанії.

За даними компанії, цей проект може стати першим розгортанням GRAVISTORE у Європі [72].

Таким чином, шотландська компанія Gravitricity планує перетворити закриту фінську шахту на гігантську батарею для зберігання відновлюваної енергії. Система гравітаційного зберігання енергії GraviStore (GESS) – це перше комерційне впровадження такої технології в підземній шахті.

Система GraviStore піднімає та опускає масивні вантажі в шахтах. Коли система відновлюваної енергії виробляє надлишок енергії, цей надлишок використовується для підняття ваги. А коли потрібно більше енергії, ніж можна виробити, вага опускається – завдяки гравітації – для виробництва додаткової енергії, яка подається в систему розподілу.

"Цей проект наочно продемонструє, як наша технологія може забезпечити надійне та довготривале зберігання енергії, здатне вловлювати та зберігати енергію в періоди низького попиту та швидко вивільняти її за необхідності", – сказав Мартін Райт, виконавчий голова GRAVITRICITY [73]. "Цей великомасштабний проект прокладе шлях для інших комерційних проектів і дозволить інтегрувати наше рішення в діяльність з виведення рудників з експлуатації, відкриваючи потенційне майбутнє для тих, що наближаються до кінця свого проектного терміну служби".

Мартін Райт додає, що проект дозволить створити "низьковуглецеві робочі місця" у регіоні, який сильно постраждав від припинення видобутку корисних копалин, що саме й очікує рудники Кривбасу вже в близькому майбутньому.

Розглянутий рудник відкрився в 1962 році і за час експлуатації видобував понад 60 мільйонів тонн руди. Колись був великим роботодавцем регіону, він закrywся в серпні 2022 року, залишивши багатьох працівників без роботи.

Гравітаційна батарея – один із декількох громадських проектів, що реалізуються на руднику з метою відродження регіону, включаючи сонячну електростанцію, технологічні стартапи та підземну мережу 5G [74].

З доказовою аргументацією доцільності розглянутого проекту виступає і Шарлотта Елтон (Charlotte Elton) [75], переконливо роз'яснюючи, чому дослідники хочуть перетворити старі рудники на «гравітаційні батареї» — механічну систему для зберігання енергії, що виробляється зовні.

Група дослідників підрахувала, що лише перепрофільовані підземні шахти можуть зберігати достатньо енергії, щоб забезпечити електроенергією всю Землю протягом доби, а це – понад 70 тераватт. Якщо ж брати до уваги ще й кар'єри з їхніми необмеженими в даному аспекті можливостями щодо перетворення на «гравітаційні батареї», то дещо легковажна на перший погляд ідея набуває цілком повноцінного, навіть – безперечного сенсу.

Як їх можна використати?

У хорошу погоду або за сильного вітру вітряні та сонячні електростанції часто генерують більше енергії, ніж споживає мережа. Тому завдання полягає в тому, щоб знайти спосіб зберігати цей надлишок енергії.

Якщо говорити конкретно, то на думку вчених із Міжнародного інституту прикладного системного аналізу (IIASA), самим реальним рішенням розглянутої проблеми можуть стати занедбані шахти. Але ми опонуємо такому звуженню бачення перспектив та стверджуємо, що придатними для реалізації означених завдань цілком придатні, як підземні, так і відкриті рудники, адже у даному випадку вертикальність траєкторії руху робочого тіла не має абсолютно ніякого значення, головним чинником є різниця висотних відміток кінців траєкторії (перепад висот).

«Щоб декарбонізувати економіку, нам необхідно переосмислити енергетичну систему, що ґрунтується на інноваційних рішеннях, які використовують існуючі ресурси», – пояснює Бехнам Закері (Behnam Zakeri) [76], співавтор дослідження та науковий співробітник програми IIASA «Енергія, клімат та навколишнє середовище». «Перетворення занедбаних рудників на сховища енергії — одне з багатьох існуючих рішень».

Більшість батарей, які ми використовуємо щодня, накопичують енергію за допомогою електрохімічних процесів. Гравітаційні ж батареї, навпаки, є механічними пристроями. Вони використовують енергію, що виробляється відновлюваними джерелами енергії, для підйому вантажу. Коли в мережі закінчується електрика, вантаж відпускається і його спуск приводить в дію генератор.

Існує багато різних варіантів акумуляторів цього типу. Найбільш поширеною сьогодні є гідроакумулююча електростанція: вода закачується і зберігається на великих висотах, а потім скидається через турбіни, опускаючись донизу, для вироблення електроенергії.

Дослідники IIASA у статті, опублікованій у журналі *Energies*, вказують, що пропонована гравітаційна система у шахтах має потенційну загальну енергетичну потужність від 7 до 70 ТВт·год. А це цілком відповідає енергетичній стратегії Євросоюзу, адже в ЄС існує Угода про збільшення частки відновлюваної енергії в 42,5% до 2030 року.

Модель, запропонована дослідниками IIASA, використовує існуючі підйомники для підйому та опускання контейнерів, заповнених піском.

Завдяки своїй глибині кар'єри добре підходять для батарей, яким для нормальної роботи потрібна висота не менше 300 метрів.

На думку дослідників, реалізація цих проектів також може сприяти отриманню доходу у бідних шахтарських громадах.

«Коли рудник закривається, звільняються тисячі робітників. Це руйнує спільноти, економіка яких залежить лише від рудників. Наша система створить робочі місця, оскільки рудник надаватиме послуги зі зберігання енергії після припинення своєї діяльності», — пояснює Джуліан Хант (Julian Hunt), дослідник та провідний автор дослідження, – «На шахтах вже є базова інфраструктура і вони підключені до електромережі, що значно знижує витрати та полегшує впровадження гравітаційної системи» [77]

3.5. Адаптація кар'єрів етапним переходом до електротранспорту

Як один з потенційних напрямів, технологічної адаптації українських рудників (у складі ГЗК) за умов стратегії енергетичної незалежності держави, варто розглянути і проаналізувати можливості переведення самого вразливого в цьому відношенні компоненту відкритих розробок – кар'єрного транспорту, який потребує неприйнятно великих уже наразі, та ще більш неприйнятних для майбутнього об'ємів дизельного пального, на електроаккумуляторний привід.

Дана ідея такого переобладнання не є новою і багато науковців вбачають перехід кар'єрів до електричних вантажівок майбутнім гірничодобувної промисловості (Зі статті «Чому переобладнання електричних вантажівок – це майбутнє гірничодобувної промисловості?» [78]). Мало того, на сьогоднішній день уже існують експериментальні натурні самоскиди фірми «CATERPILLAR», які проходять тестування за реальних виробничих умов [79]. Як повідомляє компанія Caterpillar успішно протестувала електричний кар'єрний самоскид Cat-793 (рис. 3.7) [80].



Рис. 3.7. Електричний кар'єрний самоскид Cat-793 (вантажопідйомність – 265 т., максимальна швидкість – 60 км/год, рекуперативне гальмування)
(Джерело: SpecMachinery.com.ua,)

Переобладнання електричних вантажівок стає невід'ємною частиною сучасного гірничодобувного виробництва. Воно допомагає компаніям покращити сталий розвиток, підвищити операційну ефективність та знизити витрати. Нижче ми окреслюємо чотири ключові причини, чому ця трансформація є критично важливою.

1. Необхідність дотримуватися суворіших екологічних норм стимулює перехід на електричні вантажівки. Уряди та регуляторні органи тиснуть на галузі промисловості, щоб вони зменшили свій вуглецевий слід, і електричні вантажівки відіграють центральну роль у цих зусиллях.

Зменшення шумового забруднення: Ці вантажівки набагато тихіші, ніж традиційні моделі. Це не тільки покращує умови праці, але й мінімізує шумове забруднення на гірничих майданчиках та навколо них.

2. Більша ефективність та нижчі експлуатаційні витрати

Переобладнання електричних вантажівок пропонує значну економію коштів, одночасно підвищуючи операційну ефективність. Ці переваги змінюють економіку гірничодобувної промисловості.

Економія палива: Заміна дизельного палива на електроенергію може заощадити компаніям до 80% на витратах на пальне. Це також стабілізує бюджети, усуваючи невизначеність коливань цін на нього.

Зниження витрат на технічне обслуговування: Електровантажівки потребують менше ремонтів завдяки своїй простішій конструкції. Компанії повідомляють про зниження витрат на технічне обслуговування до 90%. Ця зміна значно покращує надійність автопарку та мінімізує час простою.

3. Адаптація до рециркуляторної економіки. Цей підхід зосереджений на мінімізації відходів та повторному використанні ресурсів, а переобладнання електричних вантажівок підтримує ці цілі.

Повторне використання вантажівок: Замість заміни цілих автопарків, компанії можуть модернізувати існуючі вантажівки з двигунами внутрішнього згоряння. Цей процес подовжує термін служби їхніх транспортних засобів та зменшує потребу в новому виробництві.

Перепрофілювання компонентів: Багато деталей старих вантажівок можна повторно використовувати під час переобладнання. Це зменшує кількість відходів та узгоджує операції з цілями сталого розвитку. Ці практики мають вирішальне значення для створення більш ресурсоефективних гірничодобувних підприємств.

4. Готовність до майбутнього: зниження операційних ризиків

Переобладнання електровантажівок готує гірничодобувні компанії до майбутнього. Це дає їм змогу долати зростаючі виклики та адаптуватися до нових галузевих стандартів.

Менша волатильність цін на енергоносії: Електроенергія є більш стабільнішим джерелом енергії, ніж дизельне пальне. Завдяки їй компанії можуть краще керувати витратами та планувати довгострокову діяльність.

Удосконалена технологія заряджання: Електричні вантажівки NewSteel заряджаються всього за одну годину. Ця функція швидкої зарядки забезпечує

до семи годин безперервної роботи, гарантуючи мінімальні перерви в продуктивності.

Фірма NewSteel є провідною у переобладнанні електровантажівок [81]

Маючи великий досвід у гірничодобувному секторі, NewSteel стала надійним лідером у сфері електричних рішень. Її передова технологія допомагає компаніям будь-якого розміру перейти до більш ефективної та сталої діяльності. Зосереджуючись на інноваціях, вона опікується, щоб кожен автопарк був оснащений для вирішення майбутніх викликів.

Усі ці аргументи свідчать про те, що в більш віддаленій перспективі кар'єрні самоскиди рудників Кривбасу можливо буде перевести на електроаккумуляторний привід.

3.6. Багатофункціональні комплекси на землях відпрацьованих рудників

Вище ми розглянули вузькоспеціалізовані комплекси вторинного використання територій бувших відкритих гірничих розробок. Але таке бачення вирішення проблеми є далеко не вичерпним, оскільки не враховує повністю потенційні можливості комплексного використання надзвичайного різноманіття створеного гірничими роботами рельєфу та загальної інфраструктури.

Наочним і вартим уваги яскравим прикладом-підтвердженням можливостей комплексного використання даних територій може слугувати комплекс кар'єру Oasis дизайну від Cooréen Architects біля міста Матера (Matera) в Італії, площею забудови: 15 000 м² [82] (рис. 3.8).



Рис. 3.8. Комплекс «Oasis» Матери (Рендеринг ©Blue Sky Group, Візуалізація © Cooréen, Дизайн: Cooréen Architects)

Матера, розташована на півдні Італії, в унікальному регіоні Базиліката та відома своїми житлами-"гротами". Регіон історично символізували його кальцитові кар'єри: матеріал, з якого були створені гроти Матери. Дослідницький проект був зосереджений на відродженні та ревіталізації цих кар'єрів.

Кар'єр, розташований за 2 кілометри від Матери, давно припинив свою діяльність і планується перетворити його на новий громадський простір. Спираючись на багату історію Матери, команда дизайнерів прагне переосмислити кар'єр у новий багатофункціональний комплекс.

Науковий центр Oasis у кар'єрі Матера – це центр природних та екологічно чистих інновацій у дизайні для Національного парку Альта Мурджія в Італії. Він слугуватиме воротами до регіону, відкритими для зовнішнього світу. Крім того, Науковий центр Oasis слугуватиме символом сталого сучасного дизайну для регіону та моделлю для майбутнього наукового розвитку, спрямованого на забезпечення нових стратегій вирішення екологічних проблем.



Рис. 3.9. Комплекс «Oasis» Матери (Рендеринг ©Blue Sky Group, Візуалізація ©Coopers Bruxelles)

Проект інтегруватиме традиційні та нові технології місцевої науки з загальними концепціями дизайну «збереження природи», «енергетичної самодостатності» та «сталого туризму». Проект має на меті не лише слугувати традиційною пам'яткою, але й інтегрувати природні та екологічно чисті елементи в існуючу архітектуру.



Рис. 3.10. Комплекс «Oasis» Матери (Рендеринг ©Blue Sky Group, Візуалізація ©Coopers Bruxelles)

Дизайн «Наукового центру Oasis» зміцнить зв'язок між Національним парком Альта Мурджія та містом Матера, інтегруючи три окремі програми в плавний ландшафт.

Найбільша будівля в рамках проекту, «Кар'єрні тераси», – це дослідницький та житловий комплекс, що містить лабораторії, спільні простори та гуртожитки, розташовані серед зелених терас кар'єру. Друга за величиною будівля, «Кар'єрне плато», містить конференц-центр, оздоровчий центр та вежу з сонячним годинником. Третя будівля, «Кам'яний ресторан», розташована біля входу до кар'єру, пропонує унікальний досвід харчування для мешканців та відвідувачів. Крім того, в ландшафт кар'єру вбудовані такі споруди, як театр просто неба та сонячна електростанція.



Рис. 3.11. Кар'єрні тераси (уступи) Комплексу «Oasis» Матери (Візуалізація ©Coopers)

Терасний ландшафт кар'єру був сформований в результаті видобутку каменю. Архітектори навмисно оживили землю місцевими рослинами, щоб відновити її природну красу. Це дозволяє кар'єру, «природній рані», загоїтися та відновити землю до природи завдяки посадці рослин, унікальних для регіону Матера.

Науковий центр «Оазис»

На південний захід від кар'єру, навпроти старого міста Матера, розташований «Науковий центр «Оазис». Він охоплює 7700 м² простору для

студентів, дослідників та викладачів, поєднуючи проживання та робочі місця з додатковими послугами, такими як конференц-центр, лекційні зали, обідні зони, комерційні приміщення, а також адміністративно-технічні допоміжні зони.



Рис. 3.12. Озеленені тераси Комплексу «Oasis» Матери (Візуалізація ©Coopers Brühl)

Розташований паралельно печерам Матери, проект має на меті відповідати нормам, стандартам та вимогам сучасної архітектури, одночасно враховуючи багату історію печер, досягаючи гармонійної просторової мови, матеріальності та будівельної логіки з навколишнім середовищем.

Поділена на три частини двома скульптурними скляними вертикальними атриями, циркуляція будівлі визначається мережею горизонтальних проходів, вбудованих у природний рельєф кар'єру та з'єднаних з атриями.

Відкриті коридори між томами повторюють звивисті вулички печер Матери (рис. 3.13).

Лабораторії та простори для співпраці мають гнучке планування, що об'єднує робочі зони зі спільними зручностями. Робочі простори також мають непряме природне освітлення та розширюють краєвиди за межі кар'єру.

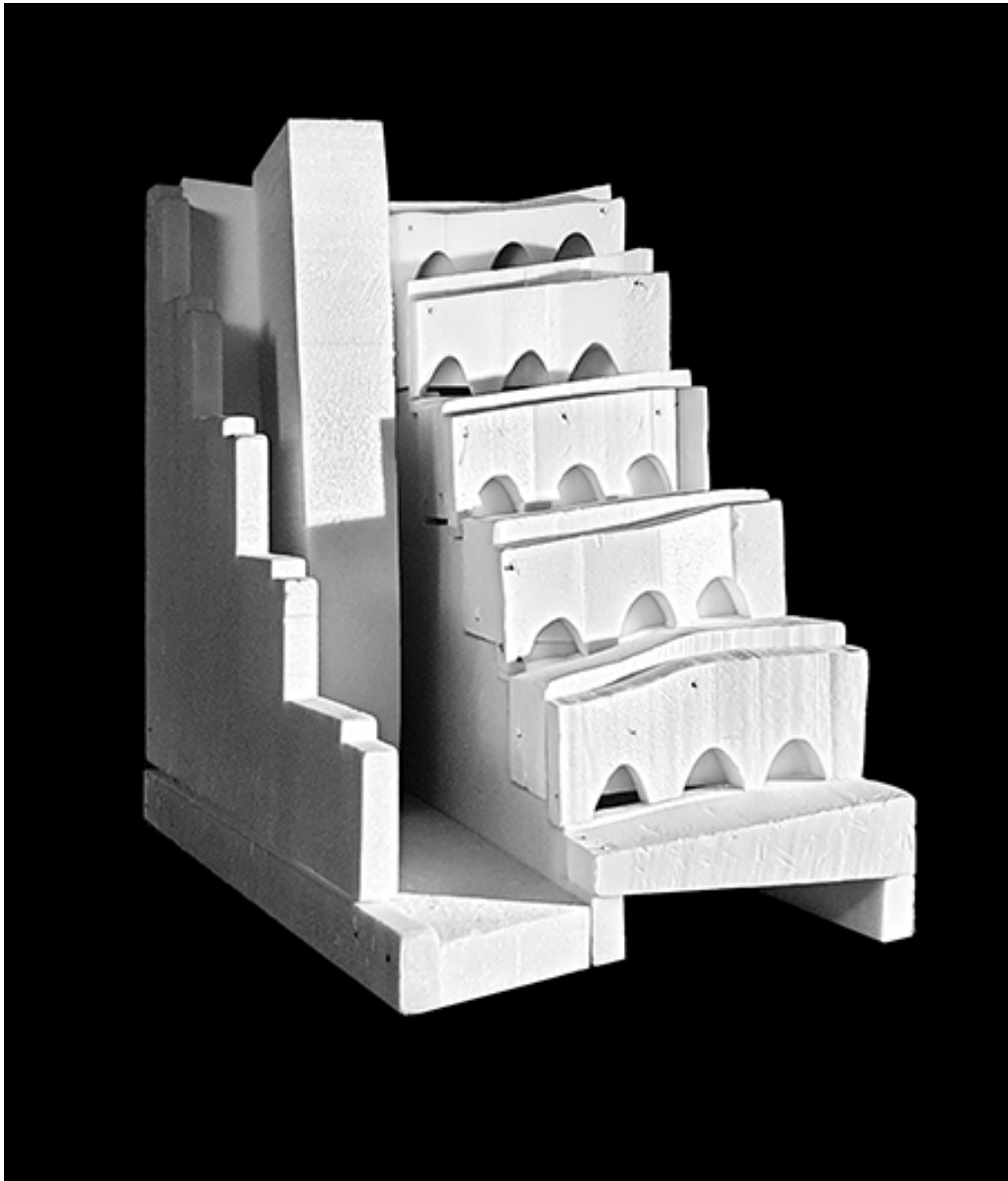


Рис. 3.13. Модель проекту ©Blue Sky Group (Модель ©Coopers Brühl)

Система збору води

Життя Matera Cave Residence побудовано з використанням традиційних технологій та поєднує різні принципи збору, інфільтрації та конденсації води. Натхненні традиційними системами збору дощової води на даху, архітектори використали площу поверхні садів Наукового центру Oasis для збору дощової води. Похилі тераси спрямовують цю воду у два підземні резервуари, які зрештою використовуються для зрошення садів кар'єру (рис. 3.14).

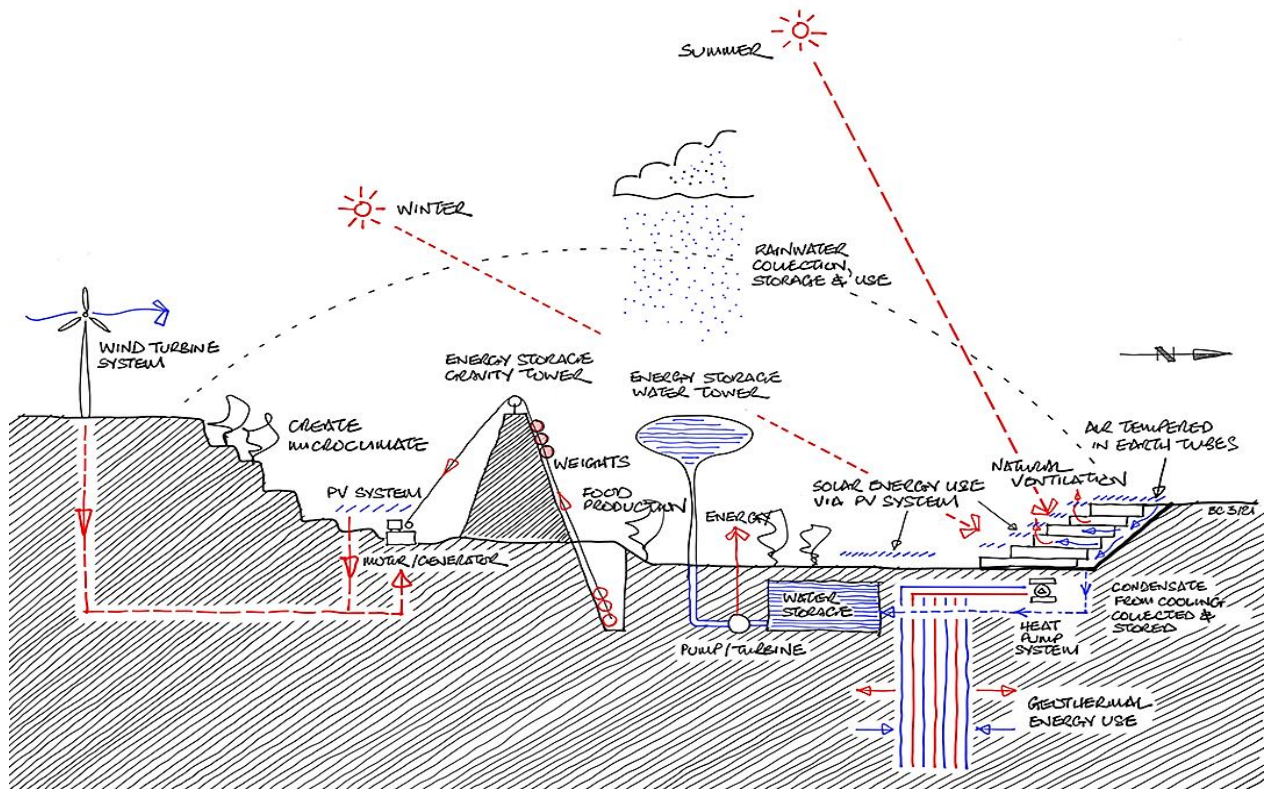


Рис. 3.14. Схема аналізу проекту ©Energy Design Cody (Аналіз дизайну ©Energy Design Cody)

Плато кар'єру

На території плато кар'єру розташовані конференц-центр, оздоровчий центр та вежа з сонячним годинником (рис. 3.15).

Конференц-центр охоплює 4000 м² відкритого простору, аудиторію, конференц-зали та додаткові сервісні приміщення. Не менш важливими є «негативні» простори між різними програмними зонами, які слугують місцями для неформальних дискусій, зустрічей та обміну ідеями. Ці зони відкриті до неба, але водночас затінені.

Оздоровчий центр, розташований глибоко в будівлі плато кар'єру, забезпечує прохолодний, спокійний відпочинок. М'яко освітлений, він пропонує унікальний, розслаблюючий досвід (рис. 3.15).

Вежа сонячного годинника, центральний елемент, що простягається від дна кар'єру до його вершини, демонструє просторові утворення, створені протягом понад 40 років розкопок та втручання людини. Вона слугує одночасно сонячним годинником та енергетичною вежею. Вежа сонячного годинника заввишки 65 метрів із прикріпленим вантажем знаходиться в похилій бетонній

ямі. Вдень енергія, що виробляється сонячними панелями в Енергетичному саду, піднімає вантаж нагору. Вночі вивільнена вага опускається вниз, генеруючи кінетичну енергію, яка живить центральну вежу.



Рис. 3.15. Вежа сонячного годинника (Рендеринг ©Blue Sky Group, Рендеринг © Coop Himmelb(l)au)

Вхідна зона та кам'яний ресторан

Кам'яний ресторан, розташований поруч із головною під'їзною дорогою до кар'єру, поєднує в собі унікальну архітектурну мову, характерну, як для міста, так і для цього нового проекту (рис. 3.16).



Рис. 3.16. Модель проекту ©Blue Sky Group (Модель проекту © Coop Himmelb(l)au)

Нижній сад кар'єру. Енергетичний сад

Розташований у самому серці проекту, у сонячному місці, Енергетичний сад – це самодостатня енергетична система, що охоплює 6452 м² сонячних панелей. Щоб ця зона не була відокремлена від зони для відвідувачів, деревоподібна конструкція також містить сонячні панелі та слугує тінзовим навісом для сонячного поля Енергетичного саду, звільняючи перший поверх для пішоходів.

Театр просто неба

Архітектори скористалися близькістю ділянки до міста, достатньою кількістю паркувальних місць та акустичним потенціалом кар'єру, щоб створити театр на 2000 місць. Розташований у південно-східному кутку проекту, театр просто неба захищений від прямих сонячних променів, що забезпечує безперебійний досвід для глядачів під час денних вистав.

Планування комплексу максимально враховує особливості рельєфу частин коришнього кар'єру (рис. 3.17, а, б).

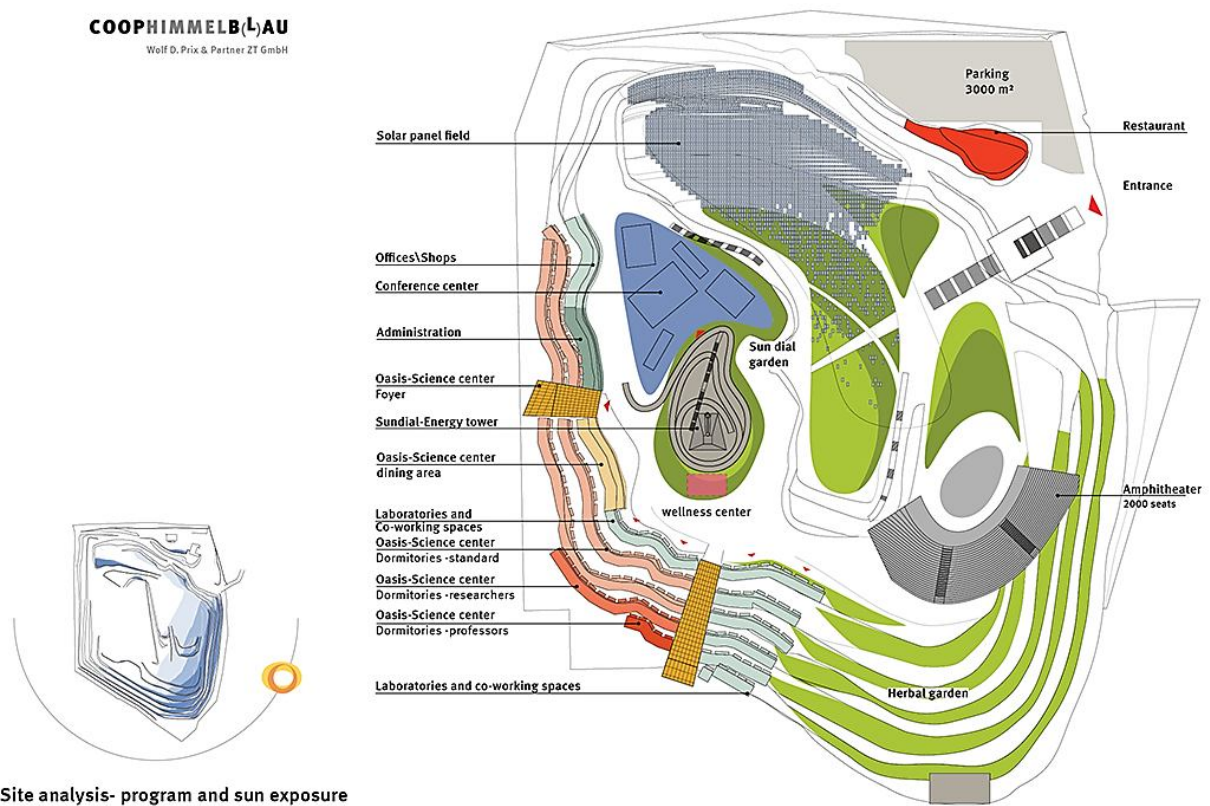


Рис. 3.17 а. Діаграма аналізу дизайну ©Blue Sky Group (Аналіз проекту ©Coopers)

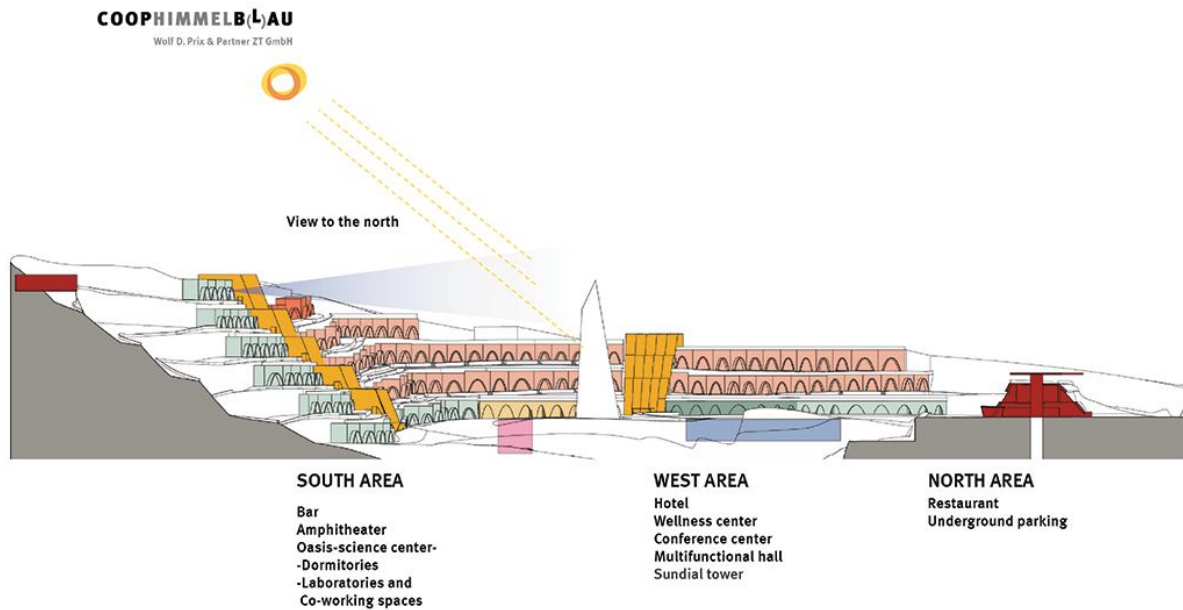


Рис. 3.17 б. Діаграма аналізу дизайну ©Blue Sky Group (Аналіз проекту ©Coopers)

Для вирішення кліматичних загроз та екологічних криз проект розробляє нову концепцію з точки зору сталого розвитку та стратегій сталого управління природою на всіх рівнях планування та впровадження. «Науковий центр «Оазис»» – це інклюзивний проект, який поєднує необхідну відповідальність за існуючі ресурси та природне середовище з багатим розмаїттям регіонального способу життя (рис. 3.18).



Рис. 3.18. Фотографії на місці (©Blue Sky Group)
(Фотографії об'єкта © Coop Himmelb(l)au)
Команда проекту:

Замовник: Inerti Quarry, Матера

Планування та дизайн: Coop Himmelb(l)au, Wolf D. Prix & Partner

Керівник з дизайну: Wolf D. Prix

Параметри проекту: Площа будівлі – 15 000 м²; Загальна площа паркування – 3 000 м²; Загальна розрахункова площа – 18 000 м²; Площа сонячних панелей Energy Garden – 6 452 м²; Науковий центр Oasis – 7 724 м²; Загальна площа розміщення – 2 895 м² (69 студентських гуртожитків, 13 дослідницьких гуртожитків, 4 професорські гуртожитки); Загальна зона/вестибюль – 1 440 м² (ресторан, адміністративні приміщення, комерційні приміщення/офіси); Спільний офісний простір/лабораторія – 2 205 м²; Загальна площа конференц-центру – 4 000 м²; Парковка – 1000 м²; Велнес-центр – 500 м²; Кам'яний ресторан – 500 м²; Театр під відкритим небом – 2000 місць; Бар/оглядова тераса – 350 м².

Розроблено командою Blue Sky [82].

Висновки за розділом 3

Більше ніж за сторічний період накопичено значний досвід та наукові знання щодо відновлення та реконструкції порушених ландшафтів. Для відновлення екологічної цілісності порушених територій широкого застосування набули традиційні та нові прогресивні методи рекультивації. Застосування сучасних рекультиваційних технологій, заснованих на використанні осаду стічних вод та активної ґрунтової мікрофлори, дозволяють за мінімальних витрат прискорити відновлення порушених земель у декілька разів.

Виконаний в розділі аналіз підтверджує, що рекультивовані рудничні території цілком придатні для перетворення рудників на сонячні електростанції та у комплекси гравітаційної енергії, а також – багатофункціональні комплекси на землях відпрацьованих рудників.

Існують певні передумови для адаптації кар'єрів в перехідний період до електротранспорту з метою підготовчого коригування інфраструктури рудника.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На підставі узагальнення виконаного в розділі аналізу можна стверджувати наступне:

1. Вироблений простір кар'єрів цілком придатний для розміщення на їхніх північних бортах, звернутих на південь, фотоелектричних елементів сонячних батарей або геліостатів дзеркально фокусуючих сонячних електростанцій; на південних – переважно затінених бортах – найкращим чином розмістяться спуски-підйоми гравітаційних електроустановок. Тобто, в кар'єрах стає можливим подвійне їх енергетичне використання, що є надзвичайно зручним з точки зору експлуатації (висока концентрація обладнання й інтенсивність його функціонування), логістики (використання готової дорожньої інфраструктури колишніх рудників та ЛЕП), а також – кадрового забезпечення та вирішення соціальних проблем (збереження робочих місць та колишніх гірничих містечок).

2. Великі висохлі площі шламосховищ майже ідеально підходять для розміщення на них сонячних електростанцій різних типів.

3. Поверхні відвалів також є придатними до розміщення на їх південних схилах фотоелектричних елементів сонячних батарей, а площа верхнього плато, повністю відкрита вітрам, – вітрогенераторів.

4. Щодо гравітаційної енергетики, то варто враховувати, що наразі в Україні кар'єри більшості ГЗКів досягли вже сумірних з шахтами глибин, тому, враховуючи вже не надто віддалені в часі перспективи наближення глибин кар'єрів до кінцевих проектних значень, після чого рудники мають бути закритими, розглянуті проекти конверсії останніх вбачаються доволі цікавими та вартими хоч орієнтовної оцінки щодо можливого їх подальшого продуктивного використання. Тим більше, що кар'єр, на відміну від шахти, можливості якої обмежуються виключно її стволами (зокрема – як простір для розміщення гравітаційного обладнання), має практично необмежені можливості для розташування по його бортам скількох завгодно гравітаційних електрогенераторів, до того ж – без щонайменших обмежень за потенційною потужністю, оскільки розміри та маса робочих тіл можуть бути як завгодно великими.

5. Щодо шотландського проекту, слід зазначити, що запропонована гравітаційна енергетична система зможе зберігати 2 МВт енергії та легко інтегруватися з місцевою електричною мережею. Самі по собі ці 2 МВт енергії є доволі значними, але – аж ніяк не грандіозними, враховуючи виключно обмежені можливості використаної для інсталяції гравітаційного електрогенератора шахти. Тому, навіть самі песимістичні орієнтовні розрахунки однозначно свідчать про те, що, у разі використання для даних задач кар'єру ГЗК, сумарна продуктивність енергокомплексу може бути перевершеною відзначену вище на декілька порядків. І що є надзвичайно важливим з екологічної точки зору, дані проекти – виключно безпечні для навколишнього середовища, оскільки не продукують абсолютно ніяких шкідливих викидів, як теплові (ТЕС), ризиків, як атомні (АЕС), та не потребують затоплення значних площ цінних земель, як ГЕС.

6. Враховуючи топографію та площі верхніх плато відвалів, вони є цілком придатними для розміщення на них вітрових генераторів.

7. Згідно з дослідженнями більшості міжнародних аналітичних центрів, гравітаційні батареї, встановлені на землях закритих рудників, можуть стати економічно ефективним та довгостроковим рішенням для зберігання енергії в умовах переходу на відновлювані джерела енергії.

8. На думку вчених Міжнародного інституту прикладного системного аналізу (IIASA), самим реальним рішенням розглянутої проблеми можуть стати занедбані шахти. Але ми опонуємо такому звуженню бачення перспектив та стверджуємо, що придатними для реалізації означених завдань цілком придатні, як підземні, так і відкриті рудники, адже у даному випадку вертикальність траєкторії руху робочого тіла не має абсолютно ніякого значення, головним чинником є різниця висотних відміток кінців траєкторії (перепад висот).

9. Наведені в роботі аргументи щодо можливостей адаптації діючих технологій свідчать про те, що в більш віддаленій перспективі кар'єрні самоскиди рудників Кривбасу можливо й доцільно буде перевести на електроакумуляторний привід.

Бібліографія.

1. Бизов В.Ф., Дриженко А.Ю. Відкриті гірничі роботи. Т. XIII «Виробничі процеси» : підручник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком «Гірництво». - Кривий Ріг: Мінерал. 2004. - 341 с.
2. Шапар А.Г. Методичні підходи до вибору та обґрунтування критеріїв і показників сталого розвитку різних ландшафтних регіонів України / А. Г. Шапар [й ін.] ; За науков. ред. А.Г. Шапара ; Нац. академія наук України, Ін.-т проблем природокористування та екології. - 2-е вид., перероб. і доп. - Дніпропетровськ : Поліграфіст, 2002. - 98 с. - ISBN 966-684-025-1.
3. Бакка М.Т., Гуменик І.Л., Редчиць В.С.. Екологія гірничого виробництва: Навчальний посібник. – Житомир: ЖДТУ, 2004. – 307 с.
4. <https://www.wsp.com/en-au/insights/the-value-of-generalists-in-mine-closure-success>
5. <https://www.csiro.au/en/>
6. Statistiques sur les énergies renouvelables. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics&action=statexpseat&lang=fr
7. https://commission.europa.eu/topics/energy/repowereu_en
8. www.bbaconsultants.com
9. <https://www.netnada.com/>
10. <https://www.theprojectcompany.gr/>
11. www.industrieminiere.fr.
12. <https://www.bbaconsultants.com/fr-ca/publications/planifier-pour-atteindre-la-decarbonation-mini%C3%A8re>
13. <https://calenda.org/1199723>
14. <https://en.wikipedia.org/wiki/CRMA>
15. Cartographie du Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 2021. URL : < <http://infoterre.brgm.fr/>> consulté le 07.10.2024.
16. « Le projet de mine de lithium dans l'Allier suscite des doutes », Le Monde, 02.10.2024.
17. Cf. Revue Française de Gestion, Les nouveaux enjeux de la souveraineté, vol. 48, n° 305, juillet-août 2022.
18. T. Schellenberger, « La réforme du Code minier à l'ère de la transition écologique », Revue juridique de l'environnement, vol. 48, n. 1, 2023, p. 139-155.
19. Livre blanc, sur la responsabilité environnementale du 9 février 2000, [COM(2000) 66], URL : Responsabilité environnementale - Livre blanc | EUR-Lex consulté le 06.10.2024.
20. Propos de B. Le Maire, à Villetaneuse, sur les enjeux de la géothermie et la simplification du droit minier dans le cadre de la transition écologique, le 12 avril 2024, URL : Prononcé le 12 avril 2024 - Bruno Le Maire 12042024 Géothermie | vie-publique.fr consulté le 06.10.2024.
21. Bien que les débats sur les liens entre exploitation minière et développement économique et sur l'effet de la ressource curse soient toujours ouverts. Cf. R. Auty, Sustaining development in the mineral economies : the resource curse thesis, London, Routledge, 1993.

22. Cf. H. Jenkins, « CSR and the mining industry. Conflicts and constructs », CSR and Environmental Management, vol. 11, n. 1, 2004, p. 23-34.
23. Cf. A. Whitmore, « The emperor's new clothes : Sustainable mining ? », Journal of Cleaner Production, n. 14, 2006, p. 309–314.
24. L. Rojas, J.-P. Passaqui et A.-F. Garçon, « Crises, résilience et temporalités dans le monde minier », e-Phaïstos, XI-2, 2023, URL : Crises, résilience et temporalités dans le monde minier consulté le 05.10.2024
25. Concepts et chiffres de l'énergie : variabilité des sources renouvelables électriques. Source: <https://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/chiffres-energie-variabilite-renouvelable.xml>
26. Bilan électrique 2019, RTE, février 2020
27. Les énergies renouvelables sont-elles intermittentes ? Décrypter l'énergie, novembre 2015
28. <https://www.rte-france.com/en/eco2mix>
29. Données et études statistiques : Pour le changement climatique, l'énergie, l'environnement, le logement, et les transports, Service des données et études statistiques (SDES)
30. www.infosvent.fr
31. Ressources énergétiques et énergie électrique, B. Multon, H. Horsin Molinaro, octobre 2018
32. Panorama de l'électricité renouvelable au 31 décembre 2019, RTE
33. L'éolien en 10 questions, ADEME
34. 2018 Wind Technologies Market Report
35. Prévision météorologique pour les énergies renouvelables La Météorologie n°100, Sylvain Cros et Pierre Pinçon, 2018
36. <https://reuniwatt.com/en/products-and-services/247-all-sky-observation-sky-insight/>
37. <https://www.construction21.org/espana/infrastructure/fr/issygrid-en.html>
38. Technologie des systèmes de stockage de l'énergie électrique, B. Multon, H. Horsin Molinaro, avril 2019
39. Neoen construira en Australie une nouvelle batterie géante conçue en collaboration avec Tesla
40. Afterres2050, le scénario 2016
41. Le scénario Negawatt 2017-2050
42. Datalab, Chiffres clés du climat, France, Europe et Monde, édition 2020, nov. 2019
43. Haigh M.J. Surface Mining and the Environment in Europe // International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment. 1993. № 7. P. 91-104.
44. Silburn D. M., Crow F. R. Soil properties of surface mined land // Trans. ASAE. 1984. V. 27. № 3. P. 827 – 832.
45. Bruning E., Sbornik J. Zur Frage der Rekultivierbarkeit Braunkohlentagebaus // Internatioales Symposium, Leipzig. 1962. S. 325 – 359.
46. Wise M. J. The Midland Reafforesting Association: 1903–1924 and the Reclamation of Derelict Land in the Black Country // Journal of the Institute of Landscape Architects. 1962. Issue 57. P. 13 – 18.

47. Webber J. Greening the Black Country: The Work of the Midland Reafforesting Association in the Early Twentieth Century // *Arboricultural Journal*. 2008. Vol. 31. P. 45 – 62.
48. Lowry G. L., Brokan F. S., Breeding G. H. Alder for reforesting coal spoils in Ohio // *Jornal of forestry*. 1962. № 3. S. 196 – 199.
49. Groninger J., Skousen J., Angel P., Barton C., Burger J., Zipper C. Mine Reclamation Practices to Enhance Forest Development through Natural Succession // *Forest Reclamation Advisory*. 2007. № 5.
50. Osbourne J. M., Brearley D. R. Completion criteria – Case studies considering bond relinquishment and mine decommissioning: Western Australia // *International Journal of Surface Mining, Reclamation, and Environment*, 2000. №14, P. 193 – 204.
51. Reiss I. H. Strip mine reclamation-challenges, planning and concepts // *Mining Congr. J.* 1973. V. 59. № 4. P. 41 – 45.
52. McMahon D. J. Habitat Creation in the Restoration and Aftercare of Mineral Workings and Landfill Sites – the Influence of Local Authorities Through the Planning Process. Dissertation, University of Manchester, UK, 1994.
53. 18. Engels H. Planung und Stand der Rekultivierung im Rheinischen Braunkohlengebiet // *Das internationale Symposium über Rekultivierungen der durch den Bergbau beschädigten Flächen. Referatensammlung: Praga, 1967. S. 213 – 220.*
54. Daniels W. L., Stuczynski T., Pantuck K., Pistelok F., Szymborski A. Restoration of mining wastes with sewage sludge in upper Silesia // *Poland, 1995. P. 115 – 124.*
55. Skousen J., Clinger C. Sewage sludge land application program in west Virginia // *Soil and Water Conserv.* 1993. 48. № 2. P. 145 – 151.
56. <https://www.researchgate.net/profile/Pawel-Oclon>
57. https://www.facebook.com/ieecp.org/photos/?_rdr
58. <https://www.ren21.net/>
59. https://www.statista.com/?srsltid=AfmBOoqrjMrfucWRyr7cPyZYPLqwxwT7dqrWqemkzwaIsmKVqUEOam_D
60. https://www.gem.wiki/Main_Page
61. <https://globalenergymonitor.org/projects/global-coal-mine-tracker/>
62. <https://tw.linkedin.com/in/%E6%BE%84%E6%BE%84-%E5%90%B3-969817180/en>
63. <https://www.linkedin.com/in/hailey-deres>
64. <https://tw.linkedin.com/in/%E6%BE%84%E6%BE%84-%E5%90%B3-969817180/en>
65. <https://globalenergymonitor.org/ru/about/people/ryan-driskell-tate-2/>
66. <https://fr.euronews.com/green/2025/06/19/la-conversion-des-mines-de-charbon-en-fermes-solaires-pourrait-alimenter-un-pays-de-la-tai>
67. <https://fr.euronews.com/green/2025/06/19/la-conversion-des-mines-de-charbon-en-fermes-solaires-pourrait-alimenter-un-pays-de-la-tai>
68. <https://web.archive.org/web/20071016043203/http://www.ais.fi/ais/vfr/aerodromes/EFPY.html>

69. <https://www.mining.com/first-commercial-gravity-storage-for-energy-planned-in-finnish-mine/>
70. <https://kegt.rshu.edu.ua/images/dustan/esgsl.pdf>
71. <https://gravitricity.com/>
72. <https://gravitricity.com/gravistore/>
73. Gravitricity chairman Martin Wright. <https://gravitricity.com/wp-content/uploads/2023/07/230725-Martin-Wright-executive-chair.pdf>
74. <https://fr.euronews.com/green/2024/02/07/une-mine-desaffectee-va-etre-reconvertie-en-prototype-de-stockage-denergie-par-gravite>
75. <https://independent.academia.edu/CharlotteElton>
76. <https://iiasa.ac.at/staff/behnam-zakeri>
77. <https://fr.euronews.com/green/2023/03/30/stocker-lenergie-grace-aux-anciennes-mines>
78. <https://newsteelgroup.com/why-electric-truck-conversion-is-the-future-of-mining/>
79. <https://autogeek.com.ua/elektrychnyj-samoskyd-cat-vantazhopidjornisty-240-ton-vpershe-prystupyv-do-roboty/>
80. SpecMachinery.com.ua
81. <https://newsteelgroup.com/why-electric-truck-conversion-is-the-future-of-mining/>
82. <https://coop-himmelblau.at/projects/oasis-of-matera/>