

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

На правах рукопису

КОНДРАТЕНКО НАЗАР ВАЛЕРІЙОВИЧ

УДК 622.271

«АНАЛІЗ ГНУЧКИХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДКРИТИХ РОЗРОБОК»

184 «Гірництво»
(відкриті гірничі роботи)

Випускна робота
на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра

Виконав Кондратенко Н.В. / _____ /

Керівник Єременко Г.І. / _____ /

Завідувач кафедри Жуков С.О. / _____ /

Кривий Ріг
2025 р.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
ВСТУП	4
Розділ 1	
ГІРНИЧОДОБУВНА ПРОМИСЛОВІСТЬ: ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ СТАЛОГО РОЗВИТКУ	6
1.1. Інноваційний аспект конкуренції в гірництві.....	6
1.2. Виклики конкурентоспроможності гірничодобувному сектору.....	7
1.2.1 Загальний контекст світової гірничодобувної промисловості.....	8
1.2.2. Країни, що розвиваються: новий двигун світової гірничодобувної промисловості.....	15
1.2.3 Африка в новій динаміці світової гірничої промисловості.....	20
Висновки за розділом 1.....	26
Розділ 2	
ФАКТОР РЕЦИРКУЛЯЦІЇ НАЙВАЖЛИВІШИХ МЕТАЛІВ ТА ЇЇ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПІДТЕКСТ НА ПРИКЛАДІ КАНАДИ.....	28
2.1. Передумови актуалізації циркулярності стратегічних металів.....	28
2.2. Від видобутку руд до обробки металу.....	31
2.2.1. Чавун і сталь.....	32
2.2.2. Мідь.....	36
2.2.3. Літій.....	40
2.3. Внутрішній та міжнародний попит.....	42
Висновки за розділом 2.....	44
Розділ 3	
СТРАТЕГІЇ РЕЦИРКУЛЯРНОСТІ МЕТАЛІВ ЯК ЧИННИК РЕГУЛЮВАННЯ ГНУЧКОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ ГІРНИЧОДОБУВНИХ СИСТЕМ.....	47
3.1. Загальні визначення.....	47
3.2. Блокування стратегій циркулярності.....	48
3.3. Аналіз стратегій циркулярності.....	50
Висновки за розділом 3.....	79
Розділ 4	
ГНУЧКІ СИСТЕМИ ВІДКРИТИХ РОЗРОБОК ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЇЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИ ЗМІНАХ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	80
4.1. Загальні положення.....	80
4.2. Варіативність відкритих технологій при забезпеченні гнучкості параметрів розробки.....	83
4.2.1. Скельні породи, що підриваються.....	85
4.2.2. Схеми для порід крихких та схильних до зсуву.....	89
4.2.3. Короткий опис критеріїв вибору.....	94
4.3. Сучасні технічні засоби гнучких кар'єрних технологій.....	96
Висновки за розділом 4.....	101
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	102
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ.....	104

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи Кондратенка Назара Валерійовича на тему: «Аналіз гнучких систем технології відкритих розробок».

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

Актуальність теми. Наразі нестача ресурсів усе загострюється, тому стрімко зростає увага до альтернативних їх джерел. Не останню роль у цьому відіграють постійні зміни в позиціонуванні світових центрів видобутку мінеральних ресурсів і зумовлені цим коливання кон'юнктури сировинних ринків. І все це відбувається під потужним тиском, з одного боку, «зеленої» енергетики, з іншого – стрімкого зростання масштабів переробки вторинної сировини, що в гірництві позначається як конкуруючий тиск з боку рециклінгу як альтернативного джерела металів поруч з традиційним видобутком руд із надр. При чому: і перший, і другий напрямок спираються на вбивчий для гірництва аргумент – їх безумовну екологічну перевагу. Тому на сьогоднішній день уже неможливо не враховувати останнє в проектуванні кар'єрів та плануванні їхнього розвитку

Ідея роботи полягає у протидії конкуруючого тиску рециклінгу металів на видобуток руд шляхом підвищення гнучкості систем діючих кар'єрів – технологічної та організаційної.

Мета дослідження полягає у визначенні впливу зовнішніх факторів оточуючого кар'єри бізнес-середовища на їх функціонування й обґрунтуванні відповідних протидіючих важелів, придатних для умов рудників Кривбасу.

Основні завдання роботи, зумовлені її цілями:

- аналіз умов та факторів впливу на рудниках розвинутих країн світу;
- виділення проблем гірничодобувної та металургійної галузей Канади як світового лідера в області організації гірництва й особливостей еволюції ГМК у цій країні, з розширеним аналізом існуючих проблем та позитивних рішень щодо гірничодобувного сектора провінції Квебек;
- визначення масштабів та тенденцій в області рециклінгу металів і впливу їх на гірничодобувну галузь за умов стабільності гірничих підприємств;
- оцінка можливостей підвищення адаптивності відкритих розробок до зовнішніх змін за рахунок розвитку гнучкості систем останніх.

Предмет дослідження – фактори впливу на ефективність рудних кар'єрів.

Об'єкт дослідження – гнучкі системи адаптації кар'єрів до зовнішніх змін.

Методи досліджень: інформаційний аналіз методів і засобів підвищення гнучкості систем гірничих підприємств; каузальний аналіз факторів впливу та їх наслідків, а також компаративний аналіз ефективності застосованих змін.

Наукова складова полягає в авторському структуруванні проблеми і формулюванні концепції вирішення за рахунок гнучкості внутрішньої системи.

Структура й обсяг роботи. Робота представлена рефератом, вступом, чотирма розділами, загальними висновками і списком інформаційних джерел з 86 найменувань та містить 58 рисунків і 14 таблиць. Загальний обсяг – 108 стор.

Ключові слова:КАР'ЄР, РУДА, ВИДОБУТОК РУД, ПРОДУКЦІЯ РУДНИКА, РЕЦИКЛІНГ МЕТАЛІВ, ГНУЧКІ АДАПТИВНІ СТРАТЕГІЇ.

ВСТУП

Актуальність теми. На сьогоднішній день нестача ресурсів набуває усе більшої гостроти і це є найактуальнішою проблемою на планеті. Тому так стрімко зростає увага до альтернативних – поновлюваних – джерел енергії (зелена енергетика) та до гірничих технологій і науки [1,2].

Гірничодобувна промисловість України в Європі наразі продовжує залишатися найбільш продуктивною, а її гірничо-металургійний комплекс (ГМК) – основою промисловості економіки у цілому [3-5]. Разом з тим війна з 2022 р. позначилася на ній катастрофічним чином. До того ж продовжує загострюватися глобальна політична й економічна криза, до якої додаються локальні, але цілком закономірні природні та технологічні негаразди: стрімко зростають глибини гірничих робіт, невпинно погіршуються умови розробки родовищ, ускладнюються параметри залягання покладів, скорочуються якісні показники руд, зростають коефіцієнти розкриття й ін., що вимагає належної оптимізації [6-8].

Не останню роль в загостренні ситуації відіграють постійні зміни в позиціонуванні світових центрів видобутку мінеральних ресурсів і зумовлені цим значні коливання кон'юнктури сировинних ринків. І все це відбувається під потужним тиском, з одного боку, «зеленої» енергетики, з іншого – стрімкого зростання масштабів переробки вторинної сировини, що в гірництві позначається як конкуруючий тиск з боку рециклінгу (переробки металобрухту) як альтернативного джерела металів поруч з абсолютизованим раніше видобутком руд із надр. При чому: і перший, і другий напрямок спираються на вбивчий для гірництва аргумент – їх безумовну екологічну перевагу. Тому на сьогоднішній день уже неможливо не враховувати останнє в проектуванні кар'єрів та плануванні їхнього розвитку, а відтак – неабияк актуалізується проблема підтримки конкурентоздатності кар'єрів, що реально забезпечити наразі можна – за умов тотального браку коштів – лише шляхом підвищення гнучкості систем управління та видобувних технологій з радикальним переглядом принципів проектування кар'єрів [9, 10].

У даній роботі ми зробили спробу, принаймні концептуально, оцінити вплив нових потужних чинників на галузеві перспективи та компенсаторних можливостей регулювання рівня гнучкості геотехнологій як інструменту управління гірничодобувним виробництвом, а кінцевою метою представленого нижче дослідження означеної проблеми є трансфер сучасних її рішень на підприємства ГМК України та Кривбасу зокрема.

Ідея роботи полягає у протидії конкуруючого тиску рециклінгу металів на видобуток руд шляхом підвищення гнучкості систем діючих кар'єрів – технологічної та організаційної.

Мета дослідження полягає у визначенні впливу зовнішніх факторів оточуючого кар'єри бізнес-середовища на їх функціонування й обґрунтуванні відповідних протидіючих важелів, придатних для умов рудників Кривбасу.

Основні завдання роботи, зумовлені її цілями:

- аналіз умов та факторів впливу на рудниках розвинутих країн світу;
- виділення проблем гірничодобувної та металургійної галузей Канади як світового лідера в області організації гірництва й особливостей еволюції ГМК у цій країні, з розширеним аналізом існуючих проблем та позитивних рішень щодо гірничодобувного сектора провінції Квебек;
- визначення масштабів та тенденцій в області рециклінгу металів і впливу їх на гірничодобувну галузь за умов стабільності гірничих підприємств;
- оцінка можливостей підвищення адаптивності відкритих розробок до зовнішніх змін за рахунок розвитку гнучкості систем останніх.

Предмет дослідження – фактори впливу на ефективність рудних кар'єрів.

Об'єкт дослідження – гнучкі системи адаптації кар'єрів до зовнішніх змін.

Методи досліджень: інформаційний аналіз методів і засобів підвищення гнучкості систем гірничих підприємств; каузальний аналіз факторів впливу та їх наслідків, а також компаративний аналіз ефективності застосованих змін.

Наукова складова полягає в авторському структуруванні проблеми і формулюванні концепції вирішення за рахунок гнучкості внутрішньої системи.

Ключові слова: КАР'ЄР, РУДА, ЗБАГАЧЕННЯ РУД, ПРОДУКЦІЯ РУДНИКА, РЕЦИКЛІНГ МЕТАЛІВ, ГНУЧКІ АДАПТИВНІ СТРАТЕГІЇ.

Розділ 1

ГІРНИЧОДОБУВНА ПРОМИСЛОВІСТЬ: ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

1.1. Інноваційний аспект конкуренції в гірництві

В гірничодобувному секторі існує динамічна взаємодія між регіональною інтеграцією, інноваціями та конкурентоспроможністю. Об'єднуючи мережі установ, окремих осіб та ринків – важливі функції для сприяння інноваціям – будь-яка угода між двома або більше країнами, якими б малими вони не були, є рушійною силою інновацій та створення конструктивної діяльності. Взаємообмін ідеями та досвідом є значним внеском для новаторів, які можуть використовувати свої поглиблені знання для адаптації та застосування інновацій, розширення меж інновацій і тим самим сприяти підвищенню конкурентоспроможності в межах одного економічного блоку.

Інноваційні можливості є життєво важливими для диверсифікації та диференціації виробничих і торговельних портфелів, пропонуючи можливість для кроку вперед – справді, цілком можливо, що технологічний прогрес та ефективність факторів виробництва можуть становити половину зростання процвітаючих економік. Проте, факти представлені в звіті щодо 15 країн, які розвиваються [11], демонструють, що зростання в більшості цих країн протягом періоду 1995-2010 років було зумовлене накопиченням факторів, а не значними прибутками, що виникли в результаті комбінацій інноваційних ресурсів. Крім того, внесок, наприклад, африканської промисловості в експорт залишається мінімальним, а зростання експорту товарів все ще залежить від сировинних товарів.

У цьому контексті регіональна інтеграція розглядає взаємозв'язок між трьома стовпами регіональної інтеграції, інновацій та конкурентоспроможності. Він досліджує можливості використання цього взаємозв'язку в рамках нормативної моделі розвитку регіональної інтеграції з метою сприяння структурним змінам. Цей документ також має на меті пролити світло на питання інновацій та

конкурентоспроможності в ширшому контексті політики та стратегій регіонального розвитку. На додаток до традиційного огляду тенденцій регіональної інтеграції, це видання ARIA розглядає динамічну взаємодоповнюваність між трьома розглянутими елементами. Воно визначає роль регіональної інтеграції у збереженні умов, що сприяють інноваціям, та те, як розгортання інноваційного потенціалу може, у свою чергу, посилити конкурентоспроможність та структурні зміни.

Враховуючи важливість глобального режиму інтелектуальної власності (ІВ) щодо прийняття нормативно-правової бази для інновацій та творчості загалом, ARIA VII оцінює вплив глобальних систем захисту інтелектуальної власності та досліджує проблеми, з якими стикаються країни як «пізні розробники». Розвинені країни застосовували захист ІВ особливо вибірково для досягнення своїх промислових та політичних цілей. Таким чином, сьогодні розробка правил і політики у сфері інтелектуальної власності повинна враховувати мінливі потреби країн в розвитку, зокрема, шляхом використання «гнучкості», що пропонується міжнародним режимом промислових прав, з метою зміцнення політичного простору [11].

1.2. Виклики конкурентоспроможності гірничодобувному сектору

Гірничодобувна промисловість є одним із найбільш стратегічних економічних секторів світу завдяки своїй рушійній ролі у розбудові багатьох економік, мультиплікаційному ефекту, який вона справляє на інші сектори, а також своєму геополітичному та геостратегічному впливу на міжнародній арені [12].

Протягом багатьох десятиліть вона сприяла промисловому та технологічному розвитку деяких великих держав і сприяла економічному зростанню країн, які сильно залежать від видобутку та переробки мінеральної сировини. До початку 1980-х років цей сектор залучав значні інвестиції, що підживлювалося стрімким зростанням цін на мінеральні товари, що, до речі, спровокувало ажіотаж транснаціональних гірничодобувних компаній на ресурси країн, багатих на корисні копалини. Цей період покращення згодом зник протягом 1980-х і 1990-

х років, що призвело до структурного спаду інвестицій та уповільнення активності в цьому секторі на міжнародному рівні. Однак, з початку 2000-х років, відмічалось сильне зростання, зафіксоване в країнах, що розвиваються, зокрема в Китаї та Індії, що спонукало до відновлення активності в гірничодобувному секторі, про що свідчить швидке зростання цін на мінеральні сировинні товари, експоненціальне зростання проєктів розвідки та видобутку корисних копалин, а також вибухове зростання обсягів експорту корисних копалин. Ця нова динаміка в гірничодобувному секторі створює серйозні проблеми, як для розвинених країн, які довгий час були стрижнем сектору, так і для країн, що розвиваються, чия роль в цій новій динаміці світової гірничодобувної промисловості є незаперечною, а також для країн, для яких гірничодобувна промисловість є стратегічним стовпом політики соціально-економічного розвитку, що впроваджується для викорінення бідності та гарантування добробуту місцевих громад.

У зв'язку з цим, цей розділ має на меті надати огляд ситуації в гірничодобувному секторі, зосереджуючись, по-перше, на новій динаміці сектору, що розвивається, а по-друге, на впливі такої динаміки на інші країни з сильною спеціалізацією на гірничодобувній промисловості, і більш конкретно на Україну, та пов'язані з цим перспективи на майбутнє.

1.2.1. Загальний контекст світової гірничодобувної промисловості

Світова гірничодобувна промисловість переживає безпрецедентне зростання з початку 2000-х років, про що свідчить різке зростання цін на мінеральні товари на міжнародних ринках, що стало наслідком економічного розвитку країн БРІКС (Бразилія, РФ, Індія, Китай та Південна Африка). Ці країни, які переживають швидке промислове зростання, сприяли стимулюванню світового попиту на корисні копалини, що привело до експоненціального зростання світового виробництва сирової сталі приблизно з 1% на рік у період з 1990 по 2000 рр. до 6,8% на рік у період з 2000 по 2007 рр. Цей темп зростання в основному зумовлений Китаєм, промисловий розвиток якого та швидка урбанізація загострили потребу країни в мінеральних ресурсах. Таким чином, між 1995 і 2005 рр.

внесок Китаю у світове промислове виробництво подвоївся до 12%, одночасно подвоївши свою частку у світовому попиті на алюміній, мідь та цинк; потроївши – свинцю; почотверивши – нікелю; та потроївши імпорту залізної руди з 16% до 48%, що становить 32% світового попиту на сирі сталь. У табл. 1.1 показано вплив Китаю на світовий попит на рафіновані метали в 2000-2007 рр.

Таблиця 1.1

Вплив Китаю на світовий попит на рафіновані метали[13]

Показник	Використання рафінованих ме- талів	Частка Китаю, 2007 (%)	Частка Китаю, 2000 (%)
Алюміній(тис. т)	12.267	32.5	13.0
Мідь (тис. т)	4.800	26.2	11.8
Цинк (тис. т)	3.750	32.1	14.9
Свинець (тис. т)	2.548	30.6	10.1
Нікель (тис. т)	345	24.9	6.0
Олово (тис. т)	150	39.9	18.6
Сира сталь (млн т)	437	32.3	16.3
Імпорт залізної ру- ди морем (млн т)	379	48.2	15.6

Тим часом інші країни, що розвиваються, такі як Бразилія, Туреччина, Південна Африка, Індія та країни Південно-Східної Азії, сприяють зростанню світового попиту на метали. Африка на південь від Сахари також відіграє значну роль у цій ситуації, зафіксувавши помітне покращення своєї частки у світовому попиті на мінеральні ресурси, темпи зростання якого досягли 4,5% між 2000 і 2007 роками, порівняно з лише 3% у Латинській Америці. Прогнози на 2025 рік передбачають зростання попиту на метали в Африці приблизно на 4% на рік, порівняно з 2% у Латинській Америці та 6% у азійських країнах, за винятком Китаю, Японії та Південної Кореї. Багато фахівців пов'язують це зростання у світовому гірничодобувному секторі з появою суперциклу 40, який, імовірно, триватиме протягом наступних 10 або навіть 30 років, незважаючи на певні економічні кризи. НЕАР визначає суперцикл як «тривалу (кілька десятиліть) тенденцію до зростання реальних цін на сировинні товари, зумовлену урбанізацією та індустріалізацією великої економіки».

Протягом десятиліть експлуатація природних ресурсів, колись зарезервованих для колоніальних держав, становила найбільшу частку прямих іноземних інвестицій (ПІІ) порівняно з іншими секторами, зокрема завдяки інтернаціоналізації фірм, що походять з цих держав, які були переважно європейськими країнами. Однак незалежність багатьох колоній та створення ОПЕК після Другої світової війни призвели до занепаду в цьому секторі, зі значним зменшенням його частки ПІІ у світових інвестиціях. Ця ситуація зберігалася до 1970-х років зі все більш стабільним зниженням інвестицій у гірничодобувний сектор, який стикався з сильною конкуренцією з боку секторів з вищою доданою вартістю. 2000-ті роки радикально змінили цей ландшафт завдяки відродженню активності у світовому гірничодобувному секторі, на який тепер впливає попит на метали з країн, що розвиваються. Згідно з даними ЮНКТАД, ПІІ приватного сектору в розвідку кольорових металів зросли з \$2 млрд у 2002 році до \$7 млрд у 2006 році. У 2008 році світові витрати на комерційну розвідку зросли більш ніж у п'ять разів порівняно з 2000 роком, зросли з \$2,6 млрд до \$13,8 млрд; Частка Африки зросла з 12% (понад \$300 млн) до 15% (\$2,05 млрд (ЕСА, 2011)). Загальна вартість проектів у цьому секторі, включаючи всі відомі проекти, для яких було встановлено оцінки витрат та визначено принаймні одне джерело фінансування, на кінець 2009 року перевищила \$465 млрд, незважаючи на значний вплив фінансової кризи.

Світова гірничодобувна промисловість демонструє біполярну структуру. Основними країнами-виробниками й експортерами корисних копалин є, по суті, країни, що розвиваються, та країни з перехідною економікою. Країни-споживачі, зі свого боку, представлені переважно розвиненими країнами та так званими країнами, що розвиваються. Розвинені країни зосереджують основну частину прямих іноземних інвестицій у цьому секторі, але за останні роки їхня частка значно зменшилася, знизившись з 90% у 1990 році до 70% у 2005 році, тоді як частка країн, що розвиваються, та країн з перехідною економікою значно зросла за останні 20 років, подвоївшись між 1990 і 2000 роками та знову збільшившись вдвічі між 2000 і 2005 рр. Частка гірничодобувного сектору в прямих іноземних інвестиціях у деяких країнах залишається дуже значною. Це сто-

сується Норвегії, Австралії та Канади серед розвинених країн; а також Південної Африки, Ботсвани та Нігерії в Африці; Болівії, Чилі, Еквадору та Венесуели в Латинській Америці та Карибському басейні; Казахстану в Південно-Східній Європі та країнах СНД. На рис. 1.1 показано частку видобувних галузей у загальному обсязі прямих іноземних інвестицій (ПІІ) окремих країн у 2005 році.

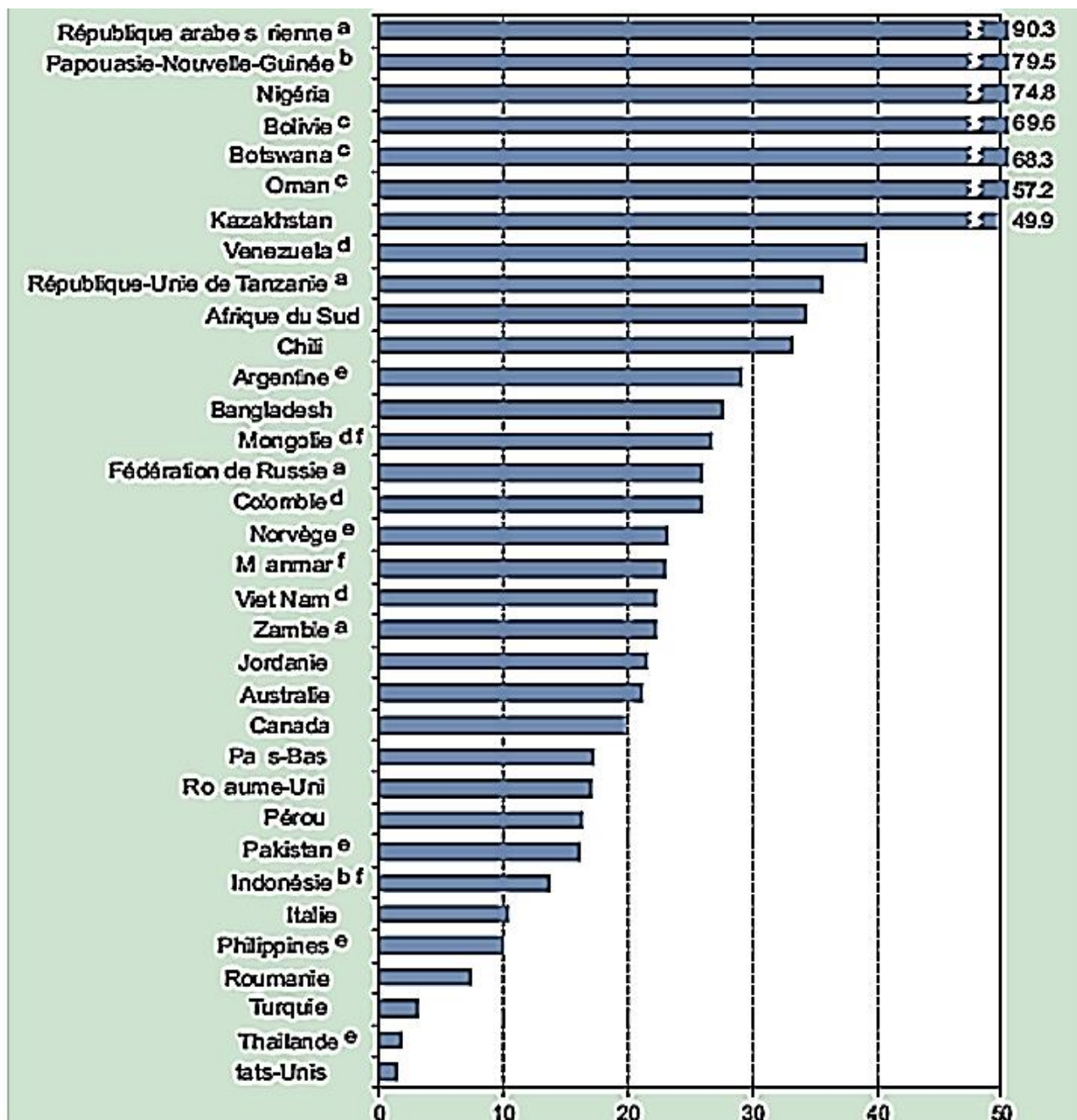


Рис. 1.1. Частка видобувних галузей у внутрішньому обсязі ПІІ окремих країн, 2005 рік (%) [Джерело: CNUCED, "Rapport sur l'investissement dans le monde 2007: Sociétés transnationales, industries extractives et développement", p. 26[14]]

У багатьох країнах, особливо в НРС, експлуатація та видобуток корисних копалин контролюються транснаціональними корпораціями, відомими як ТНК.

Це стосується Гвінеї, Малі, Танзанії, Замбії, Аргентини, Ботсвани, Габону, Гани, Монголії, Намібії та Папуа-Нової Гвінеї. На ці ТНК припадає від 50 до 90% видобутку корисних копалин у цих країнах. На рис. 1.2 відображено частку ТНК у виробництві в деяких країнах, багатих на корисні копалини, у 2006 році.

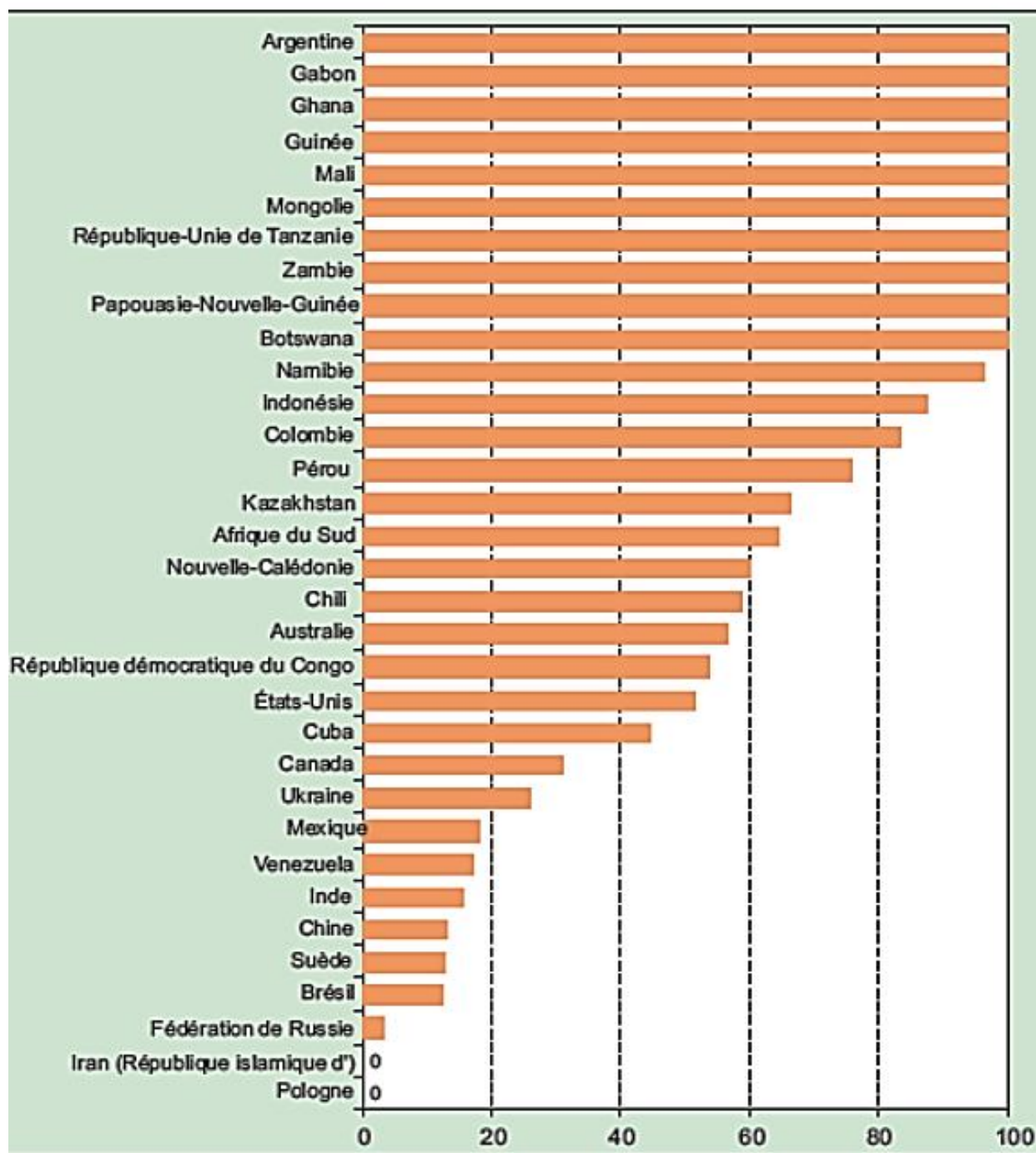


Рис. 1.2. Частка ТНК у видобутку корисних копалин в країнах зі значними родовищами, 2006 р (%) [Джерело: CNUCED, "Rapport sur l'investissement dans le monde 2007: Sociétés transnationales, industries extractives et développement", p. 27 [15]

Африка, яка довго була відсунута на узбіччя світового гірничодобувного сектору, зараз посідає лідируючі позиції завдяки якості та різноманітності металів, що є в наявності в деяких країнах регіону, а також їхній здатності приєднатися до лав основних країн-виробників металів. Ботсвана входить до числа провідних виробників алмазів, Південна Африка, чий досвід у видобутку корисних копалин є незаперечним, та Зімбабве володіють більшістю світових запасів платини, Демократична Республіка Конго визнана геологічним дивом завдяки розмірам та різноманітності своїх запасів, а Республіка Гвінея володіє найбільшими у світі запасами високоглиноземистих бокситів і є другим за величиною виробником після Австралії. У 2008 році світовий видобуток корисних копалин досяг піку в 100% порівняно з 2005 роком, склавши 463 мільярди доларів США. Після цього відбувається незначне уповільнення світового виробництва, спричинене економічною та фінансовою кризою 2008 року. З 2010 року світові бюджети на розвідку корисних копалин демонструють значне зростання, повернувшись до рекордного рівня 2005 року в 8 мільярдів доларів США. Відомий як беззаперечний лідер у виробництві 26 мінеральних речовин, Китай має намір інвестувати майже 4,2 мільярда доларів більше в розвідку корисних копалин до 2015 року. Після трьох десятиліть стагнації ціни на мінеральні товари різко зросли: ціни на мідь зросли з 2000 доларів за тонну у 2002 році до 5500 доларів за тонну після досягнення піку в 8000 доларів за тонну у 2007 році. Тим часом ціни на нікель підскочили з 7000 доларів за тонну у 2002 році до 30 000 доларів за тонну у 2008 році після досягнення піку в 50 000 доларів за тонну. Більш спекулятивно, ціни на золото впали з 300 доларів за унцію у 2002 році до 1000 доларів за унцію у 2008 році. Така ж тенденція спостерігається і для таких ресурсів, як алюміній, уран, залізна руда тощо [16].

Незважаючи на уповільнення, спричинене світовою фінансовою кризою, перспективи зростання світового гірничодобувного сектору залишаються позитивними. За оцінками Групи з питань сировини за 2010 рік, загальна вартість світового виробництва становила приблизно 430 мільярдів доларів США. 12 листопада 2010 року ціни на деякі корисні копалини досягли: 27 500 доларів США за тонну олова, 8 966 доларів США за тонну міді та 2 500 доларів США за

тонну алюмінію, що значно перевищує рівні, зафіксовані у 2008 році. Зростання у світовому гірничодобувному секторі значно виграло від гірничодобувних компаній, суттєво вплинувши на їхню фінансову прибутковість. Сукупний чистий дохід трьох найбільших гірничодобувних груп світу (Rio Tinto Alcan, BHP Billiton, AngloAmerican) зріс з 4,3 млрд доларів США у 2002 році до 26,9 млрд доларів США у 2006 році. Їхня ринкова капіталізація зросла з менш ніж 100 млрд доларів США у 2002 році до понад 400 млрд доларів США у 2008 році. Anglo American виплатила дивіденди на суму 10 млрд доларів США у 2006 році. У 2010 році загальний чистий дохід світової видобувної промисловості зріс на 156% до 110 млрд доларів США, з активами майже 1 трильйон доларів США та загальним доходом 400 млрд доларів США, що становить збільшення на 32% [17]. На рис.1.3 показано середній дохід, отриманий 10 провідними гірничодобувними компаніями світу між 2005 і 2010 роками.

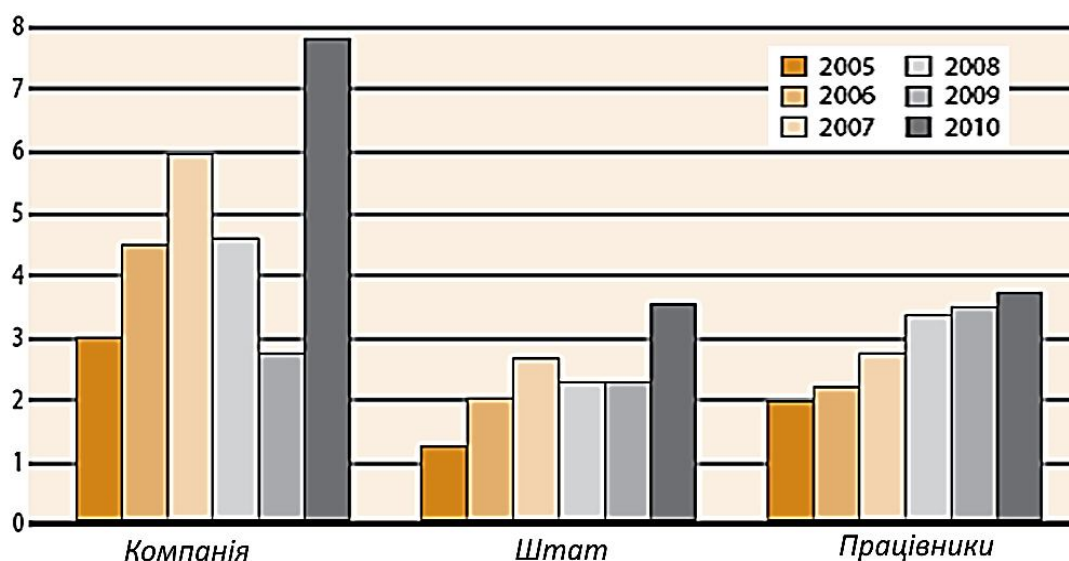


Рис.1.3: Середній дохід десяти провідних компаній, 2005-2010 рр. (\$млрд)
[Джерело: PricewaterhouseCoopers (2011) extrait de CEA-UA, "Rapport du Groupe d'études international sur les régimes miniers de l'Afrique", 2011, p. 37 [18]

Багато фахівців вважають, що ця динаміка в гірничодобувному секторі є стійкою, незважаючи на складний глобальний економічний контекст, враховуючи фактори, властиві еволюції та трансформації країн, що розвиваються:

- Експоненціальне зростання населення, зафіксоване в цих країнах, особливо в Китаї та Індії, населення яких подвоїлося за 30 років;
- Швидкий розвиток їхніх інфраструктурних потреб;

- Проблема виснаження невідновлюваних природних ресурсів, що спонукає шукати нові джерела постачання та збільшує проекти з геологорозвідки.

Зростання цін на мінеральну сировину зробило гірничодобувний сектор справжньою ареною конкуренції між західними та країнами, що розвиваються, всі мотивовані контролем та управлінням сировиною, яка вважається стратегічною для їхніх економік. Прихід гравців, що розвиваються, у сектор загострює конкуренцію з фірмами з Північної Америки, Європи та Австралії, які досі залишалися ключовими гравцями в розробці, виробництві та торгівлі мінеральною сировиною по всьому світу. Ця ситуація наражає країни, що розвиваються, у Латинській Америці і зокрема Африці, які стали новими Ельдорадо для великих гірничодобувних компаній завдяки якості та великій кількості своїх природних ресурсів, на ризики торговельної, територіальної та соціальної напруженості, що можуть поставити під загрозу політичну стабільність цих країн.

Таким чином, гірничодобувний сектор знову отримує вигоду від сприятливого бізнес-клімату та значної диверсифікації його гравців.

Це загострює конкуренцію між традиційними гравцями в секторі (канадськими, австралійськими, американськими) та гірничодобувними компаніями з Китаю, Індії, Бразилії, РФ та Південної Африки, чиї компанії зараз є одними з найактивніших та найуспішніших фірм у світовій гірничодобувній промисловості. Русійська роль цих нових держав зміцнює конкурентоспроможність гірничодобувного сектору та покращує його довгострокові перспективи зростання.

1.2.2. Країни, що розвиваються – новий двигун світової гірничодобувної промисловості

Згадане вище зростання цін на сировинні товари супроводжується новою структурою у світовому гірничодобувному секторі з появою нових гравців, які раніше залишалися в тіні розвинених країн-лідерів протягом десятиліть у розвідці, розробці та маркетингу мінеральних й енергетичних ресурсів.

Країни, які прийнято називати такі, що розвиваються, включаючи Китай, РФ, Індію, Південну Африку та Бразилію, зараз конкурують з традиційними

державами, такими як розвинені країни Північної Америки та Європи, не кажучи про Австралію, як у виробництві, так і в споживанні металів (рис. 1.4, 1.5).



Рис. 1.4. Глобальний розподіл виробництва корисних копалин, 2008: Вартість виробництва за країнами та за металами [Джерело: Raw Materials Data (2010) extrait de CEA-UA, "Rapport du Groupe d'études international sur les régimes miniers de l'Afrique", 2011, p. 30 [19]

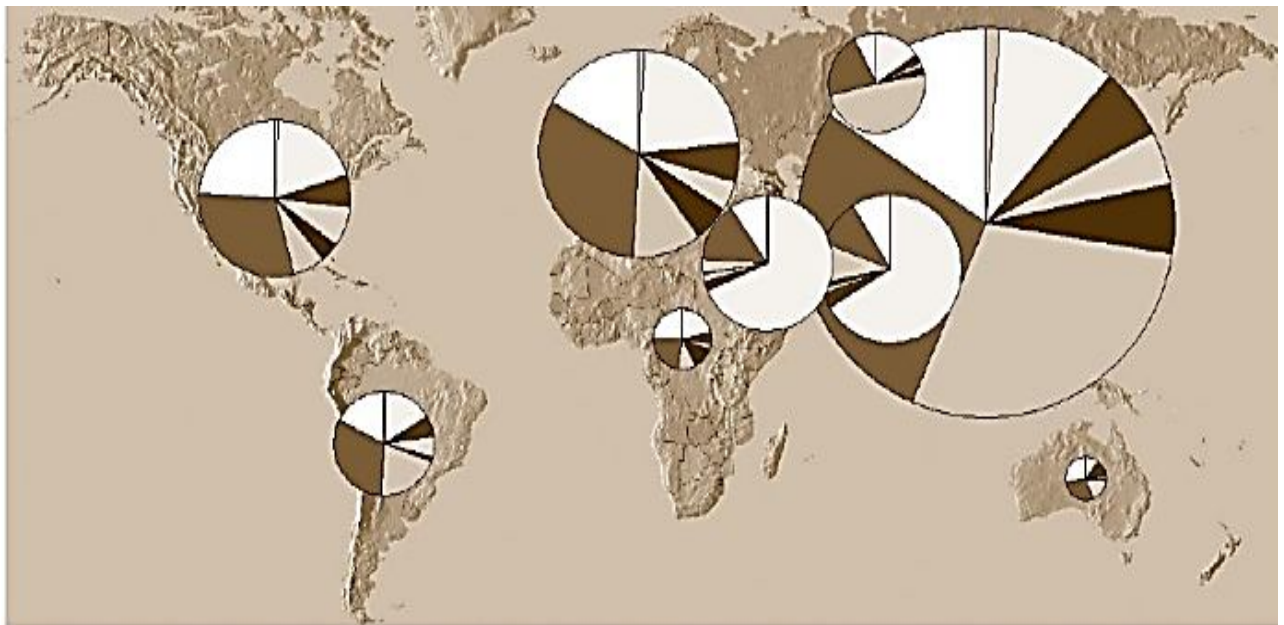


Рис. 1.5. Світове споживання металів [Джерело: Raw Materials Group (2011) extrait de CEA-UA, "Rapport du Groupe d'études international sur les régimes miniers de l'Afrique", 2011, p. 25 [20]

Нові країни Азії, Латинської Америки та Африки, що розвиваються, з початку 2000-х років були серед найбільших у світі виробників заліза (Бразилія),

міді (Чилі), срібла (Перу), золота (Китай), платини (Південна Африка) та алмазів (Ботсвана). Їхній внесок у світовий видобуток корисних копалин значно зріс і, згідно з даними Metals Economics Group (MEG) [21], становить 60% світових витрат на розвідку, порівняно з лише 40% у 1990-х роках. На наступному рисунку (рис. 1.6) показано витрати на розвідку за регіонами між 1991 і 2008 рр.

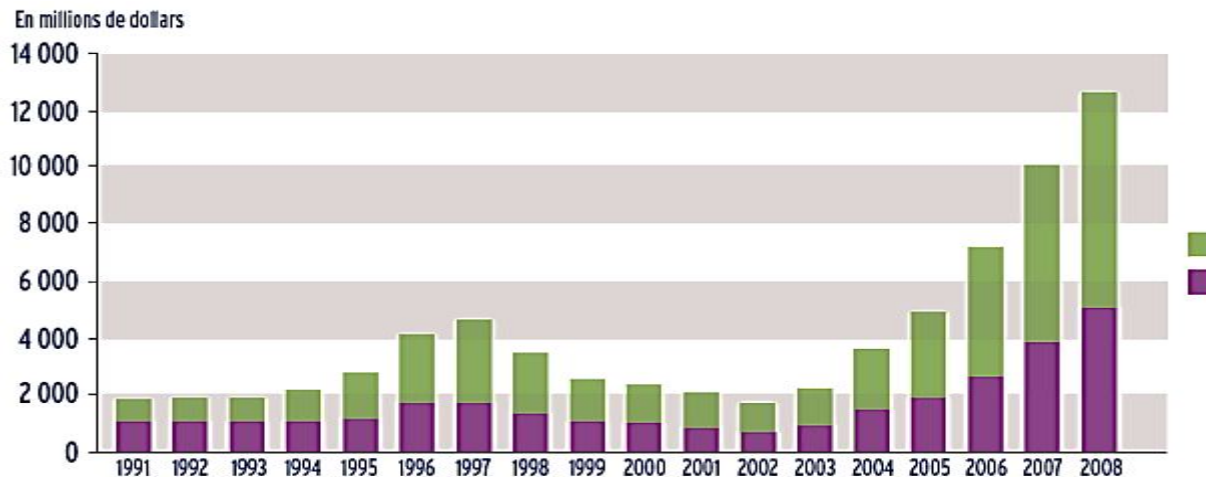


Рис. 1.6. Витрати на розвідку за регіонами між 1991 і 2008 рр. [Джерело: MEG (2010) extrait de Secteur Privé et Développement – la Revue de PROPARGO, Numéro 8, janvier 2011, p. 10 [22]

Роль цих країн у новій архітектурі світового ринку мінеральних ресурсів – незаперечна. Вони визначають світову пропозицію та попит на корисні копалини і відповідають за більшу частину зростання світового виробництва заліза, алюмінію, сталі та нікелю, а також за все зростання світового виробництва міді, як показано на рис. 1.7.

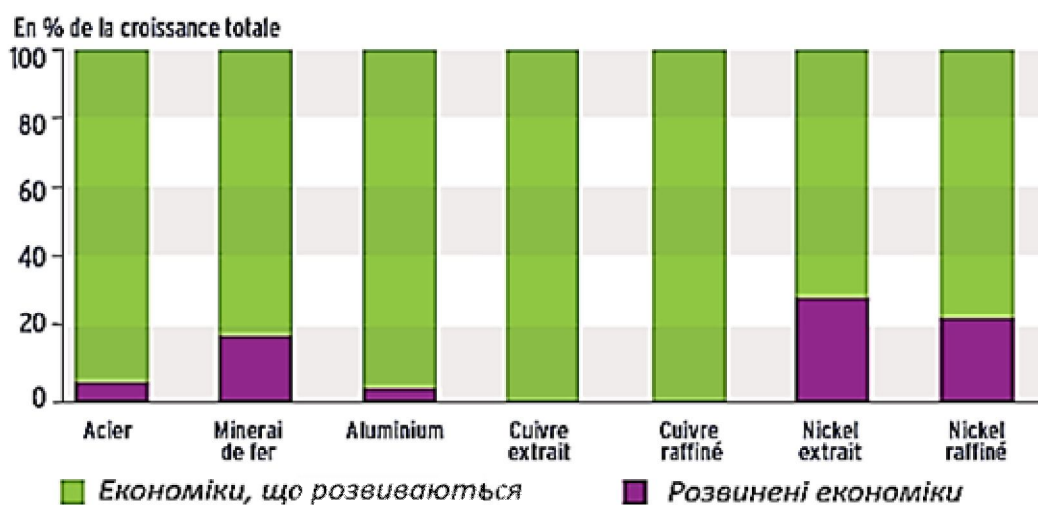


Рис. 1.7. Глобальне зростання виробництва металів та корисних копалин за типом економіки між 2000 та 2007 рр. [Джерело: CNUCED (2000-2007) extrait de Secteur Privé et Développement – la Revue de PROPARGO, Numéro 8, janvier 2011, p. 9 [23]

Ліберальні реформи, започатковані у 1980-х та 1990-х роках, дозволили цим країнам вирішити основні труднощі, що перешкоджали їхній конкурентоспроможності в цьому секторі (недостатні геологічні знання, неадекватна інфраструктура, непослідовна та неефективна державна політика, недостатній капітал тощо). Їхні компанії, які раніше працювали з бюрократичним та консервативним стилем управління, стали сучасними, амбітними капіталістичними компаніями, що інвестують у місцеві та міжнародні ринки. Згідно з даними Raw Materials Group (2009), чотири компанії з країн, що розвиваються, входять до десятки провідних світових гравців у гірничодобувному секторі, а одинадцять входять до тридцяти провідних, включаючи три південноафриканські компанії: AngloGold Ashanti, Impala Platinum та Gold Fields, як показано на рис. 1.8.

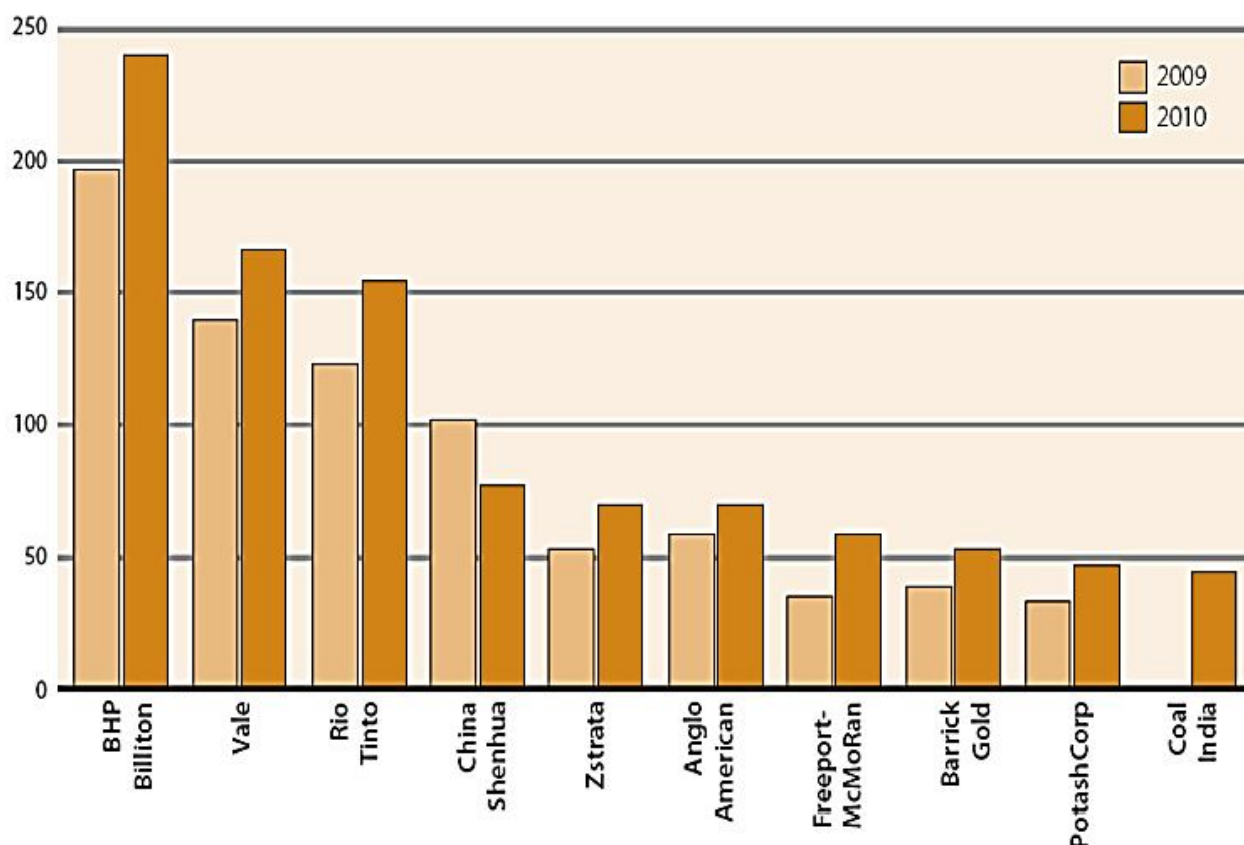


Рис. 1.8. Рейтинг 10 провідних компаній за ринковою капіталізацією (у мільярдах доларів станом на 31 грудня 2010 року) [Джерело: Pricewaterhouse Coopers (2011) extrait de CEA-UA, "Rapport du Groupe d'études international sur les régimes miniers de l'Afrique", 2011, P. 33 [24]

Рішучу роль країн, що розвиваються, у світовому гірничодобувному секторі можна пояснити кількома факторами:

По-перше, вихід держави з управління гірничодобувним сектором у більшості цих країн дозволив місцевим компаніям оптимізувати свій потенціал зростання та поширити свої комерційні амбіції за межі своїх кордонів;

По-друге, скасування протекціоністських заходів, що впливають на гірничодобувний сектор у цих країнах, дозволило їхнім фірмам отримати конкурентну перевагу над новими учасниками в епоху лібералізації. Ця перевага випливає з їхніх глибоких знань про свій гірничодобувний сектор (норми, можливості розвитку), привілейованого доступу до місцевих мінеральних ресурсів, яким вони користувалися до лібералізації, політичної підтримки тощо. Усі ці фактори дозволили місцевим фірмам стати більш конкурентоспроможними проти іноземної конкуренції та збільшити свою переговорну силу з іноземними інвесторами, які володіють технологіями та ноу-хау, необхідними для розвитку гірничодобувної діяльності;

По-третє, значний фінансовий капітал, що став можливим завдяки вражаючому зростанню цін на сировинні товари, який вони змогли використати для генерування значного грошового потоку. Помітні покращення в корпоративному управлінні також дозволили цим фірмам отримати вигоду від залучення коштів через банківські позики та випуск облігацій на міжнародних фінансових ринках;

Крім того, міжнародна видимість цих фірм, що демонструється їхнім бажанням виходити на міжнародний ринок та покращувати свій профіль ризику шляхом географічної та секторальної диверсифікації своєї діяльності; нарешті, існує потреба в забезпеченні поставок, особливо для китайських та індійських фірм, для яких мінеральна сировина є важливою для розвитку їхньої переробної діяльності та виробничого сектору, враховуючи зростаючий світовий попит на корисні копалини.

Сьогодні вага країн, що розвиваються, у світовому гірничодобувному секторі є незаперечною. Їхні компанії стали рушійною силою гірничодобувної промисловості в міжнародному масштабі, конкуруючи з традиційними гравцями в цьому секторі на різних ринках. Для багатьох країн, багатих на ресурси, країни, що розвиваються, пропонують нові можливості зростання для своїх

економік завдяки розробці нового підходу до співпраці, заснованого на логіці Південь-Південь. Наприклад, поява Китаю як джерела фінансування для розвідки та розвитку видобувної промисловості в Африці помножила можливості, доступні для регіону. Китайсько-африканський фонд розвитку, створений у 2007 році, пропонує широкі можливості фінансування для африканських проєктів. Китайський банк розвитку надав початкове фінансування в розмірі 1 мільярда доларів США, щоб допомогти китайським компаніям інвестувати в Африку, зокрема в розробку мінеральних ресурсів. Таким чином, зростаюча інтернаціоналізація компаній з країн, що розвиваються, зробила Африку та її природні ресурси пріоритетним місцем для їхніх прямих іноземних інвестицій. Однак, вплив прямих іноземних інвестицій у контексті Південь-Південь значною мірою невідомий і ризикує підірвати зусилля щодо створення та просування сталого гірничодобувного сектору в регіоні. Гірничодобувні компанії в країнах, що розвиваються, часто критикують за негативний вплив їхньої діяльності на навколишнє середовище та підозрюють у тому, що вони надають пріоритет безпеці своїх поставок та своїм комерційним інтересам, на шкоду імперативам сталого розвитку, пов'язаним з гірничодобувною промисловістю, зокрема в країнах, що розвиваються, в Африці. Зараз, перебуваючи в центрі геоекономічних та геостратегічних інтересів, Африка, яка довго залишалася на узбіччі динаміки світового гірничодобувного сектору, може використати свої мінеральні ресурси для закладання основ свого соціально-економічного розвитку та зміцнення потенціалу своєї гірничодобувної промисловості.

1.2.3. Африка в новій динаміці світової гірничодобувної промисловості

Африка має багатий та різноманітний гірничодобувний потенціал, який деякі описують як винятковий у багатьох відношеннях. У її надрах зосереджена більшість світових запасів корисних копалин, а саме: 30% бокситів, 60% марганцю, 75% фосфатів, 85% платини, 80% хрому, 60% кобальту, 30% титану, 75% алмазів, майже 40% золотих запасів тощо. Однак її частка у світовому вироб-

ництві та споживанні основних корисних копалин залишається відносно скромною, як показано в табл. 1.2 нижче.

Таблиця 1.2

***Виробництво та споживання металів в Африці
(у відсотках від загальносвітового показника)***

[Джерело: WBMS, Raw Materials Data (2010) extrait de CEA-UA, "Rapport du Groupe d'études international sur les régimes miniers de l'Afrique", 2011, p.32 [25]

Показники	Алюміній (боксити)	Золото	Мідь	Залізна руда	Нікель	Сви- нець	Олово	Цинк
Споживання	2,0	1,2	1,1	0,5	3,3	1,0	0,4	1,3
Виробництво	8,0	19,6	7,9	4,1	5,3	2,5	4,8	2,5

За винятком Південної Африки, решта континенту залишається відносно слаборозвиненою та значною мірою закритою для іноземних інвестицій. Гірничодобувна промисловість у регіоні має два виміри: перший, кустарний видобуток корисних копалин, становить основну частину гірничодобувної діяльності в кількох країнах, працевлаштовуючи від 5 до 6 мільйонів людей, і зосереджений на видобутку дорогоцінних металів, таких як золото та алмази. Щорічно видобувається 20 мільйонів каратів алмазів, вартістю 900 мільйонів доларів США, що становить 30% африканського виробництва, та 50 тон золота, вартістю 1 мільярд доларів США, що становить 10% африканського виробництва. У деяких країнах, таких як Гана, другий за величиною виробник золота в Африці, доходи від кустарного видобутку, як повідомляється, перевищують доходи від промислового видобутку. Другий вимір, промисловий видобуток, по суті є сферою діяльності іноземних гірничодобувних компаній, які домінують як у розвідувальній, так і в видобувній діяльності. Протягом десятиліть державні підприємства були основними гравцями в африканському гірничодобувному секторі. Ця тенденція, за деякими винятками, витісняється масовою приватизацією компаній у цьому секторі, яка зараз характеризується низькою участю держави в гірничодобувних проектах. Ця участь була скорочена до 10% або навіть 20%, і лише для видів діяльності, які вважаються стратегічними для країн.

Загалом, африканські країни не отримують великої вигоди від буму на ринку мінеральних товарів, фінансові прибутки якого в першу чергу приносять

користь гірничодобувним компаніям. Така ситуація пояснюється нездатністю країн запровадити галузеве управління, здатне суттєво вплинути на гірничодобувну діяльність на національну економіку, а також обмеженим простором для маневру, доступним урядам у процесі переговорів щодо контрактів з гірничодобувними операторами.

Видобуті ресурси, як правило, не переробляються на місці та часто експортуються як сира руда, що приносить мало доходу країнам, що приймають їх; Крім того, гірничодобувне законодавство часто має обмежений вплив на гірничодобувних операторів, а оподаткування гірничодобувної промисловості в більшості країн є, перш за все, системою стимулювання, спрямованою на підвищення привабливості сектору для прямих іноземних інвестицій. Залежність країн Африки на південь від Сахари від природних ресурсів сягає колоніального періоду та має тенденцію до посилення для багатьох країн регіону. Дійсно, гірничодобувна промисловість становить 57% від загального обсягу експорту продукції в регіоні порівняно з 3,2% у світі. Сьєрра-Леоне, з 50% експорту, та Гвінея з 84,7% є одними з країн, які найбільше залежать від видобутку та експорту природних корисних копалин у країнах Африки на південь від Сахари. Окрім цих двох країн, є Екваторіальна Гвінея (86%), Габон (73%), Нігерія (40%) та Камерун (4,9%), всі вони відомі своєю значною залежністю від видобутку та експорту нафти. Африка є важливою стратегічною можливістю та найкращим місцем розташування для багатонаціональних корпорацій з розвинених країн, а також країн, що розвиваються (Китай, Індія, Бразилія, РФ, Південна Африка).

Дефіцит природних ресурсів у світі, швидке зростання країн, що розвиваються, та величезний, значною мірою невикористаний мінеральний потенціал континенту роблять його конкурентною ареною для іноземних компаній, часто мотивованих пошуком та контролем металів, необхідних для економічного та геополітичного позиціонування їхніх країн.

Однак, незважаючи на явний ентузіазм гірничодобувних компаній щодо ресурсів регіону, частка Африки у світових інвестиціях у гірничодобувну промисловість залишається відносно невеликою порівняно з деякими іншими регіонами, як показано в табл. 1.3.

Інвестиції у видобувну промисловість за регіонами світу

[Джерело: ERICSSON et LARSSON, Raw Materials Group Data (2010) extrait de CEA-UA, "Rapport du Groupe d'études international sur les régimes miniers de l'Afrique", 2011, p. 32 [26]]

Показник	Інвестиції (\$ млрд)	Частка (%)
Африка	68	14,6
Азія	65	13,9
Європа	50	10,8
Латинська Америка	134	28,8
Північна Америка	77	16,6
Океанія	71	15,3
Всього	465	100

Загалом, надра Африки були раніше джерелом конфліктів та напруженості, ніж двигуном зростання економіки регіону.

Дійсно, стратегічне значення природних ресурсів (здебільшого – невідновлюваних) підживлює ризики конфліктів та криз на континенті в різних просторових масштабах:

- На місцевому рівні природні ресурси породжують заворушення та напруженість, що виникають через пошук кустарями ресурсів, що підлягають розробці, а також через конфлікти між місцевими громадами та гірничодобувними компаніями щодо місцевої зайнятості, задоволення їхніх соціальних потреб, екологічних проблем, властивих гірничодобувній діяльності, експропріації землі тощо;

- На національному рівні напруженість зумовлена питаннями розподілу ресурсів між центральним урядом та місцевими громадами та часто призводить до формування збройних повстань, які захоплюють контроль над ресурсами. Між сусідніми державами напруженість зумовлена питаннями, пов'язаними з контролем над прикордонними ресурсами, та часто підживлюється зовнішніми інтересами.

Поточна динаміка світової гірничодобувної промисловості пропонує нові можливості розвитку для континенту, який володіє 30% світових запасів корисних копалин та є ключовим виробником великої кількості ресурсів.

У 2005 році Африка виробляла 77% платини, 56% кобальту, 46% алмазів та 21% золота (за даними Performance Consulting) [27]. У табл. 1.4 показано позицію Африки у світовому видобутку корисних копалин.

Хоча привабливість африканського гірничодобувного сектору добре відома, країни регіону мало виграють від буму сировинних товарів останніх років, що підриває внесок сектору в зростання та розвиток економік, які значною мірою залежать від гірничодобувної промисловості.

Незважаючи на складний та невизначений світовий економічний контекст, бізнес-клімат рідко був таким сприятливим для інвестицій у гірничодобувний сектор країн Африки на південь від Сахари.

Таблиця 1.4

Частка Африки у світовому видобутку корисних копалин

[Джерело: Performance Consulting (2007) extrait de Secteur Privé et Développement – la Revue de PROPARCO, Numéro 8, janvier 2011, p.18 [28]

Показники		Виробництво, 2005 р.			Виробництво, 2015 р.		
Руди	Од. вим.	Африка	Світ	%	Африка	Світ	%
Платина	Тис. унцій	5 115	6 640	77	6 100	7 800	78
Кобальт	Тони	32 100	57 500	56	48 000	80 000	60
Марганець	Тис.т	4 010	10 400	39	8 000	14 000	57
Діаманти	Тис. каратів	90 400	196 000	46	120 000	210 000	57
Паладій	Тис. унцій	2 605	8 405	31	3 100	9 000	34
Золото	Тони	522	2 470	21	550	2 550	22
Уран	Тони	8 150	50 900	16	12 000	55 000	22
Боксити	1 000 т	15 900	172 000	9	30 000	200 000	15
Мідь	1 000 т	730	15 500	5	2 000	23 461	9
Цинк	1 000 т	410	9 560	4	800	11 165	7
Вугілля	1 млн т	249	5 886	4	425	8 857	5
Глинозем	1 000 т	675	66 733	1	780	94 673	1

Прогнози Світового банку передбачають темпи зростання в регіоні з коливанням від 5,3% у 2012 р. до 5,6% у 2013 р., головним чином завдяки мінеральним ресурсам, особливо високому попиту з боку таких країн, як Китай та Індія, які шукали стратегічні ресурси для своєї економіки (залізо, боксити, нікель, мідь).

Африка, яка довго перебувала в тіні таких регіонів, як Латинська Америка, поступово наздоганяє світові темпи розвитку гірничодобувного сектору, до якого активно прагнуть транснаціональні корпорації, керовані необхідністю

пошуку нових джерел постачання та зростанням цін на сировину, щоб задовольнити експоненціальне зростання світового попиту на корисні копалини та похідні продукти.

У табл. 1.5 представлено три основні регіони видобутку ряду металевих корисних копалин.

Таблиця 1.5

Три провідні регіони видобутку металевих корисних копалин
 [Джерело: Ericsson (2009) extrait de CEA-UA, "Rapport du Groupe d'études international sur les régimes miniers de l'Afrique", 2011, p. 31 [29]]

Метал	I	%	II	%	III	%	Разом, %
Конц. рідкоз. елем.	Китай	95	США	2	Індія	2	99
Ніобій-Колумбій	Бразилія	90	Канада	9	Австралія	1	100
Сурма	Китай	87	Болівія	3	ПАР	3	93
Вольфрам	Китай	84	Канада	4	ЄС	4	92
Галій	Китай	83	Японія	17	-	-	100
Германій	Китай	79	США	14	Росія	7	100
Родій	ПАР	79	Росія	11	США	6	96
Платина	ПАР	77	Росія	11	Канада	4	92
Літій	Чилі	60	Китай	15	Австралія	10	85
Індій	Китай	60	Корея	9	Японія	9	78
Тантал	Австралія	60	Бразилія	18	Мозамбік	5	83
Ртуть	Китай	57	Киргизстан	29	Чилі	4	90
Телур	Перу	52	Японія	31	Канада	17	100
Селен	Японія	48	Канада	20	ЄС	19	87
Паладій	Росія	45	ПАР	39	США	7	91
Ванадій	ПАР	45	Китай	38	Росія	12	95
Титан	Австралія	42	ПАР	18	Канада	12	72
Рений	Чилі	42	США	17	Казахстан	17	76
Хром	ПАР	41	Казахстан	27	Індія	8	76
Вісмут	Китай	41	Мексика	21	Перу	18	80
Олово	Китай	40	Індонезія	28	Перу	14	82
Кобальт	ДРК	36	Австралія	11	Канада	11	58
Мідь	Чилі	36	США	8	Перу	7	51
Свинець	Китай	35	Австралія	19	США	13	67
Молібден	США	34	Китай	23	Чилі	22	79
Боксити	Австралія	34	Бразилія	12	Китай	11	57
Цинк	Китай	28	Австралія	13	Перу	11	52
Залізна руда	Бразилія	22	Австралія	21	Китай	15	58
Кадмій	Китай	22	Корея	16	Японія	11	49
Марганець	Китай	21	Габон	20	Австралія	16	57
Нікель	Росія	19	Канада	16	Австралія	13	48
Срібло	Перу	17	Мексика	14	Китай	13	44
Золото	ПАР	12	Китай	11	Австралія	11	34

Висновки за розділом 1

У дедалі складнішому та глобальному економічному контексті конкурентоспроможність стає необхідністю для виживання бізнесу та головним пріоритетом для забезпечення кращих умов життя громад, особливо в країнах, що розвиваються, які залежать від гірничодобувної промисловості. Розглянута вбудь-якому зі своїх вимірів, конкурентоспроможність відображає здатність певного суб'єкта господарювання гнучко досягати вищих показників порівняно з конкурентами, і, отже, створювати цінність. Хоча неоднозначності залишаються при аналізі її з точки зору країни чи економіки, деякі автори все ж визнають її економічне значення, характеристичне для здатності держав відповідати очікуванням своїх громад та покращувати їх добробут. Крім того, два фундаментальні виміри конкурентоспроможності тісно пов'язані, причому конкурентоспроможність бізнесу справляє мультиплікативний ефект на конкурентоспроможність країни. Іншими словами, здатність компаній країни досягати вищих показників сприяє створенню багатства на національному рівні та забезпечує їй кращу позицію на світовому ринку.

Гірничодобувний сектор відіграє провідну роль у багатих на ресурси країнах, які намагаються пов'язати його з цілями соціально-економічного розвитку, як на національному, так і на регіональному рівнях. Однак, незважаючи на зусилля щодо покращення показників сектору, його внесок у розвиток країн із сильною спеціалізацією на гірничодобувній промисловості залишається під питанням. Дійсно, у ряді країн, гірничодобувний сектор намагається повною мірою виконувати свою роль рушійної сили розвитку, роль, відведену йому місцевими, регіональними та міжнародними установами. Це пов'язано, зокрема, зі слабкістю нормативно-правової бази, що регулює розвиток гірничодобувних проектів, а також зі структурою світової гірничодобувної промисловості, де переговорна сила багатонаціональних корпорацій значно перевищує силу держав чи урядів. Окрім обмежених економічних та соціальних вигод від гірничодобувної діяльності в цих країнах, розвиток гірничодобувних проектів породжує повторювані екологічні наслідки, які посилюють вразливість громад, особливо в

гірничодобувних районах. Умови для вирішення таких наслідків ігноруються недостатньо гнучкими регуляторними механізмами, властивими гірничодобувному сектору в різних країнах, і залишаються на розсуд операторів гірничодобувних підприємств, які інтегрують їх лише мінімально, якщо взагалі це роблять, у свої плани розвитку бізнесу. Однак покращення ефективності гірничодобувного сектору вимагає, окрім економічних та соціальних вигод, що генеруються великомасштабним видобувним бізнесом, покращення впливу на навколишнє середовище шляхом підвищення гнучкості управління його впливом на початку та в кінці виробничого процесу гірничодобувних компаній. Таким чином, сумніви щодо світової гірничодобувної промисловості з боку груп тиску, які усвідомлюють вплив гірничодобувної діяльності, особливо в країнах, що розвиваються, представляють нову можливість для інших країн, які могли б значною мірою розглянути перехід свого гірничодобувного сектору до сталого розвитку з метою покращення його ефективності в різних розглянутих вимірах, забезпечуючи водночас стійкість своїх ресурсів. Метою цієї роботи є пошук кращих умов для конкурентоспроможності гірничодобувного сектору країн, багатих на мінеральні ресурси, шляхом підвищення гнучкості його інтеграції до викликів сталого розвитку.

Враховуючи стрімке зростання в усіх без винятку країнах інтересу до рецикляжу (повторного використання) металів, що набуває все масштабнішої реалізації, ігнорувати цей фактор наразі – неприпустимо, тому наступний розділ даної роботи зосереджений на теоретичних та прикладних аспектах концепції сталого розвитку, зокрема, шляхом огляду різних ініціатив сталого розвитку, впроваджених у гірничодобувній промисловості різних високорозвинених країн, серед яких виділено Канаду, яка є лідером серед інших. При цьому головною мотивацією стало й те, що природні та геологічні умови цієї країни, особливо її провінції Квебек, надзвичайно схожі з такими в Україні.

Розділ 2

ФАКТОР РЕЦИРКУЛЯЦІЇ НАЙВАЖЛИВІШИХ МЕТАЛІВ ТА ЇЇ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПІДТЕКСТНА ПРИКЛАДІ КАНАДИ

2.1. Передумови актуалізації циркулярності стратегічних металів

Міністерство енергетики та природних ресурсів Квебеку (MERN) доручило Інституту EDDEC провести дослідницький проект з циркулярної економіки, спрямований на оцінку потенціалу циркулярності трьох стратегічних металів для Квебеку: заліза, міді та літію, а також на документування впливу гірничодобувної промисловості Квебеку на навколишнє середовище [30].

Після огляду передового світового досвіду та процесу відбору на основі кількох критеріїв було обрано 13 стратегій циркулярності для аналізу бар'єрів та рушійних сил, техніко-економічного аналізу та подальшої оцінки життєвого циклу, все в рамках конкретного контексту Квебеку. У цьому звіті про хід робіт представлена оцінка потенціалу циркулярності цих 13 стратегій з техніко-економічної точки зору та в довгостроковій перспективі.

Робота по суті виконувалася у два етапи. Перший етап включав документування й інтеграцію ланцюжка створення вартості трьох металів у техніко-економічну модель NATEM (Північноамериканська енергетична модель TIMES). Ланцюжок створення вартості трьох металів представлено нижче. Завершена модель дозволяє вимірювати й оптимізувати потоки металів та інших матеріалів, а також споживання енергії та викиди парникових газів (ПГ), пов'язані з цими галузями промисловості.

Моделювання існуючої діяльності з видобутку корисних копалин, первинної переробки й обробки металу в Квебеку, а також їх прогнози з часом, таким чином, являє собою попередню роботу для фактичного аналізу стратегій циркулярності.

Другий етап служив для документування й аналізу стратегій шляхом: а) огляду літератури, спрямованого на кількісну оцінку техніко-економічних параметрів кожної стратегії в контексті Квебеку у формі інформаційного листа, та

b) моделювання найкраще задокументованих стратегій та їх варіантів за допомогою техніко-економічної моделі NATeM.

Нарешті, наведено короткий виклад потенціалу циркулярності кожної стратегії з точки зору кількості: скільки металу повертається в обіг і скільки тон руди можна уникнути, впроваджуючи стратегію? Після цього викладу кожній стратегії було призначено потенційний індекс (високий, середній, низький).

Далі наведено короткий виклад техніко-економічної доцільності кожної стратегії циркулярного розвитку: чи є стратегія економічно оптимальною і наскільки сприяє гнучкості функціонування кар'єр-системи?

Дискусія щодо техніко-економічної доцільності циркулярного розвитку тут стосується прибутковості (для компанії) або економічної оптимальності (для підмножини економіки Квебеку) впровадження стратегії на основі існуючих знань про доступні технології або варіанти. Економічна оптимальність визначається як мінімальна вартість задоволення попиту на товари та послуги в підмножині економіки Квебеку, відповідно до економічної раціональності моделей оптимізації TIMES. Однак модель не вимірює макроекономічні наслідки, такі як валовий внутрішній продукт та зайнятість. На основі цього синтезу кожній стратегії призначено потенціал доцільності (високий, середній, низький).

Аналіз має кілька обмежень; низку даних не вдалося отримати під час проекту, і були зроблені численні припущення.

В кінці звіту було запропоновано відповідні напрямки дослідження, які дозволяють краще оцінити потенціал циркулярності кожної стратегії. Незважаючи на ці невизначеності, отримана порівняльна та якісна оцінка зрештою є відповідним внеском у визначення найперспективніших стратегій для Квебеку.

Нарешті, після покращення інформації, необхідної для оцінки стратегій, було б доцільно проаналізувати сценарії, використовуючи модель NATeM, спрямовані на мінімізацію кількості видобутих корисних копалин та включаючи всі стратегії. Таким чином, ці сценарії дозволяють краще визначати пріоритети стратегій, ніж під час їх окремого аналізу. Крім того, такий підхід дозволяє визначати загальний потенціал циркулярності для Квебеку, що виникає в результаті повного впровадження всіх стратегій для трьох досліджуваних металів,

і, що ще важливіше, визначати, чи дозволить цей потенціал протидіяти необхідності збільшення первинного видобутку руд металів для задоволення зростання попиту.

Запаси та ресурси

У табл.2.1 представлено запаси та ресурси Квебеку для кожного металу. Різниця між доведеними та ймовірними запасами, а також між виміряними, визначеними та передбачуваними ресурсами визначається відповідно до канадського стандарту 43-101 (СІМ)[31]. Запаси представляють собою економічно придатну для експлуатації частину руди на даний момент і змінюються з часом, тоді як ресурси представляють собою більш невизначену частину.

Частина ресурсів може з часом бути перетворена на економічно придатні для експлуатації запаси [32]. Усі типи запасів та ресурсів включені до бази даних моделі, незалежно від економічного потенціалу, який буде визначено самою моделлю на основі попиту.

Таблиця 2.1

**Запаси та ресурси,
доступні в Квебеку для кожного металу (млн т)**
[Джерело: MERN [33]]

Метал	Залізна руда (30-35% Fe)	Ільменіт (83- 85% TiO ₂)	Ільменіт (7- 8% TiO ₂)	Мідь(руда з 0,25-2,0% Cu)	Літій(руда з 0,90-1,54% Li)
Доведені запаси	7 937,5		356,5	80,8	21,6
Імовірні запаси	4 692,9	135,0	48,7	26,3	22,8
Загальні запаси	12 630,3	135,0	405,2	107,1	44,4
Виміряні ресурси	18 291,0	11,1	380,7	10,6	22,3
Визначені ресурси	9 944,3		84,9	25,6	72,9
Прогнозні ресурси	13 494,5		84,5	28,4	29,4
Загальні ресурси	41 729,7	11,1	550,1	64,6	124,7

Оцінки були отримані шляхом агрегування даних для діючих, розроблюваних та рудничних ділянок, де деякі дані відсутні або є конфіденційними [33]. Тому оцінки, що використовуються в моделі, є консервативними. Кожна кате-

горія запасів і ресурсів є взаємовиключною та не включає вищі категорії (дані про ресурси не включають дані про запаси). Оцінки наведено в млн тон (Мт).

Запаси та ресурси заліза є значними в Квебеку. Оцінки включають, зокрема, такі рудники: Mont Wright, Fire Lake, а також такі гірничодобувні проекти: Bloom Lake, Blackrock, Fire Lake North, Full Moon-Sunny Lake, Hopes Advance, Oteluk Lake, Lamêlée, Taconite-Kémag та DSO. Запаси Канади становлять 1,2% світових запасів; вони зосереджені в Квебеку та Лабрадорі. Запаси та ресурси ільменіту включають такі рудники: Лас Тіо (найвища концентрація) та BlackRock (найнижча концентрація).

У Квебеку колись було кілька мідних рудників, які зараз вичерпані. Цей метал зараз є побічним продуктом видобутку золота, срібла, нікелю, кобальту та/або цинку: Raglan, LaRonde, Bracemac-McLeod, Langlois та Akasaba West. Цей тип рудника присутній у кількох канадських провінціях. Отримані оцінки узгоджуються з оцінками Drake [32] та ICSG. Запаси Квебеку становлять 2,5% запасів Канади, а запаси Канади – 1,6% світових запасів.

Що стосується літєвих рудників, то це проекти: Quebec Lithium, Rose Tantale-Lithium та Whabouchi.

2.2. Від видобутку руд до обробки металу

Моделювання ланцюжка створення вартості трьох металів вимагає глибокого розуміння фаз видобутку та збагачення руди, а також первинної металургії та обробки металу. У цьому розділі представлено три сектори, змодельовані в NATEM[34]. По-перше, необхідно зрозуміти поточну ситуацію в Квебеку, включаючи: інвентаризацію процесів, що використовуються в Квебеку, знання про кількість матеріалів, що надходять та виходять на кожному етапі для внутрішнього споживання, а також потоки імпорту та експорту. По-друге, також необхідно задокументувати різні технічні та економічні характеристики існуючих процесів, а також процесів, які ймовірно будуть використовуватися в майбутньому для задоволення зростаючого попиту на метали та/або для заміни існуючих процесів, термін служби яких закінчується.

У будь-якому моделюванні необхідно зробити вибір щодо відповідного рівня деталізації для досягнення мети дослідження. Рівень деталізації змодельованих ланцюгів створення вартості також залежить від наявності даних. Таким чином, групи процесів та матеріальні потоки, крім енергії, розглядаються, коли відповідні продукти мають значну економічну цінність, яка може вплинути на оптимальне рішення, або коли вони залучені до однієї зі стратегій циркулярності, що підлягають оцінці. У цьому розділі коротко пояснюється, як моделюється кожен із трьох ланцюгів створення вартості, а також рівень деталізації та відповідні значення.

2.2.1. Чавун і сталь

Залізо використовується переважно для виробництва сталі, а решта призначена для неметалургійних цілей, включаючи електроніку. З цієї причини моделювання охоплює виробництво, як сталі, так і заліза.

Огляд ситуації у Квебеку

Видобуток заліза в Квебеку залишається зосередженим серед кількох основних гравців, зокрема ArcelorMittal та Rio Tinto Iron and Titanium. Однак ці дві компанії не видобувають і не продають один і той самий тип продукції. ArcelorMittal володіє двома рудниками в Квебеку: Mount Wright та Fire Lake на Північному березі поблизу Лабрадора.

Виробництво залізного концентрату у 2015 році становило приблизно 26,0 млн тон, що становить майже 60% загального канадського виробництва.

Починаючи з вмісту руди близько 30%, руда збагачується до 65%. Більшість концентрату потім транспортується залізницею на їхній завод у Порт-Картьє для виробництва окатишів.

Інший завод групи, Arcelor Contrecœur, має лінію виробництва сталі, що використовує процес прямого відновлення та електродугові печі (ArcelorMittal). Цей процес також дозволяє обробляти металобрухт. Потім сталеливарні заводи здійснюють перетворення металу (виробництво прутків, дроту тощо).

Промислова діяльність, що здійснюється Rio Tinto Iron and Titanium, включає видобуток корисних копалин на руднику Lac Tio, родовищі ільменіту, розташованому на північ від Гавр-Сен-П'єр, а також його переробку на шести незалежних заводах, розташованих на металургійному промисловому комплексі Сорель-Трасі.

Ільменіт складається переважно з FeOTiO_2 ; тому це мінеральний вид, що утворюється із заліза та оксиду титану.

Руда ільменіту в Квебеку складається на 30% з TiO_2 (за масою). Основними продуктами, що продаються, є діоксид титану, чавун у формі сплаву, сталеві заготовки та металеві порошки (Rio Tinto).

Процес Rio Tinto є складним та унікальним. Інформація щодо цього процесу залишається конфіденційною.

Виробництво заліза за процесом Rio Tinto моделюється дуже простим способом, тоді як виробництво чавуну та сталі за допомогою традиційних методів обговорюється більш детально.

Квебек має значні запаси та ресурси заліза, і там реалізується безліч геологорозвідувальних проектів.

Процеси

На рис.2.1 представлено короткий огляд основних традиційних варіантів виробництва сталі із залізної руди.

Кожен квадратик представляє процес, а кожна лінія – матеріальний потік одного або кількох продуктів.

Існує три основні шляхи: пряме відновлення, відновлення плавкою та доменні печі. Помаранчеві лінії представляють процес, який зараз використовується в Квебеку (окатишування, пряме відновлення та електродугова піч). Сині лінії представляють технології, які можуть використовувати металобрухт або перероблені матеріали (спікання, кисневий конвертер (OCF) та електродугова піч). Що стосується виробництва чавуну та сталі за процесом Rio Tinto, то воно моделюється дуже просто за допомогою одного загального процесу, враховуючи брак доступної інформації.

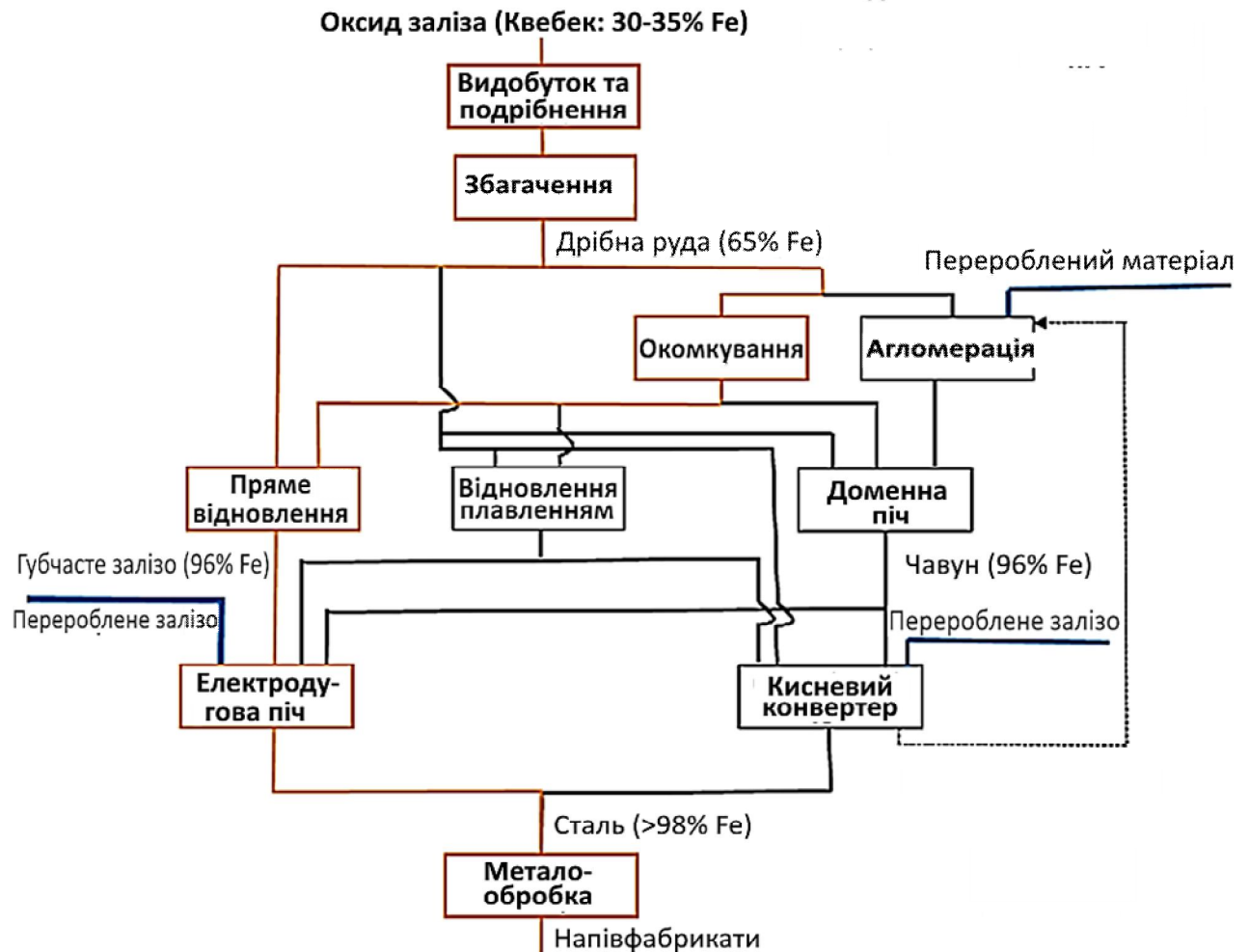


Рис. 2.1. Схематичне зображення виробництва чавуну та сталі [Джерело: https://www.bibliotheque.assnat.qc.ca/DepotNumerique_v2/AffichageFichier.aspx?idf=293702 [35]

Опис процесу наступний:

- *Видобуток та дроблення:* З кар'єру видобувають породу, а потім її дроблять. Руда вважається багатогою, якщо вміст заліза в ній перевищує 50%, і бідною, якщо менше 30%. У Квебеку середній вміст заліза становить 30%.
- *Збагачення:* У руді зерна заліза зв'язані з іншими мінералами, такими, як кремнезем. Це вимагає етапів вивільнення та розділення, або шляхом гравітаційного розділення (за допомогою спірального сепаратора), або за допомогою магнетизму. У Квебеку руду збагачують до вмісту приблизно 65%.
- *Окатиші:* Необхідно підготувати окатиші (або спікати руду), щоб зв'язати шматки руди разом та полегшити обробку, коли вони вводяться у процеси виробництва заліза. Окатиші варять нижче точки плавлення та мають приблизний діаметр від 9 мм до 16 мм. Кокс часто використовується у виробництві ока-

тишів, оскільки він робить металеву кульку пористою і таким чином полегшує реакцію. Кокс виробляється з вугілля на коксохімічному заводі та імпортується.

- *Спінання*: Цей процес включає нагрівання зерен руди без їх плавлення. Під впливом тепла зерна сплавляються разом. Також можна додавати до процесу перероблені матеріали. Спінання часто проводиться поруч із доменною піччю (наразі не використовується в Квебеку).

- *Пряме відновлення*: Процес прямого відновлення використовується з 1970-х років. Він використовує всі види руди (окатиші, спечену або подрібнену руду). Суміш нагрівається нижче точки плавлення заліза. Мета нагрівання — видалити кисень з руди. Пряме відновлення вимагає менше вугілля, ніж доменні печі. Отримується така ж кількість заліза (90-94% заліза). Існує чотири основні технології прямого відновлення: шахтні печі, обертові печі, обертові подові печі та реактори з псевдозрідженим шаром.

- *Плавлення та відновлення*: Процес плавлення та відновлення є одним із найновіших процесів отримання чавуну, еквівалентного тому, що виробляється доменними печами. Його перевага полягає в тому, що для роботи процесу не потрібен кокс, а безпосередньо вугілля, оскільки енергоємність — нижча, ніж у доменних печей. Цей процес складається з двох блоків: стадії попереднього відновлення та стадії плавлення. Існує близько десяти різних процесів плавлення та відновлення. Такі процеси наразі не використовуються в Квебеку.

- *Доменна піч*: Технологія доменної печі є найпоширенішою у світі для виробництва сталі. Спалювання видаляє кисень, що міститься в руді. Залізо плавиться при 1600°C.

Усередині доменної печі температура становить близько 2200°C. Для збору чавуну в одній стороні печі просвердлюється отвір. Отриманий розплавлений чавун заливають у залізничні вагони, які доставляють його безпосередньо до кисневого конвертера.

Шлак є побічним продуктом виробництва чавуну (від 180 до 350 кг на тону чавуну). Менш щільний, ніж чавун, він плаває на поверхні. Наразі в Квебеку немає доменних печей.

- *Електродугова піч*: Цей тип печі широко використовується в усьому світі. Вони мають унікальну здатність використовувати до 100% переробленого заліза. Існує кілька типів електродугових печей: деякі виробляють сталь зі 100% металобрухту, тоді як інші можуть виробляти сталь зі 100% прямого відновлення.

- *Кисневий конвертер*: Кисневий конвертер виконує кілька функцій. Він зменшує вміст вуглецю, видаляє домішки та регулює пропорції присутніх елементів.

Також додається металобрухт, приблизно 10% маси чавуну; однак його єдина мета — контролювати температуру суміші. Процес включає горіння протягом 15 хвилин при 1600°C. Конвертер є обертовим (30 обертів за секунду) для полегшення обміну.

- *Обробка металу*: Цей етап включає виробництво сталевих виробів з купної сталі, таких як труби, прокатки, дріт тощо. У моделі для вимірювання споживання енергії, пов'язаного з цим етапом, використовується лише один процес, останній у цьому промисловому підгалузі (Статистика Канади, 2012b).

2.2.2. Мідь

Мідь є третім за вживанням металом у світі після заліза й алюмінію.

Коли говорять про рафіновану мідь, то зазвичай мають на увазі катод з міді чистоти 99,99%.

На відміну від заліза, вона зазвичай використовується в чистому вигляді, хоча також зустрічається в сплавах, таких як бронза, латунь та деякі інші.

Огляд бази Квебеку

Для видобутку міді використовуються два типи руди: руди оксиду міді та руди сульфіту міді.

У Квебеку існує лише сульфідна руда, і промисловість спирається на пірометалургійне рафінування та електрометалургійне рафінування для збагачення руди міддю, що зрештою приводить до виробництва мідних катодів з чистотою більше 99,99%.

У Квебеку є п'ять мідних рудників, які є побічним продуктом видобутку різних металів, таких як золото та нікель (MERN, 2016b):

- Шахта Raglan - Glencore (нікель, мідь, кобальт)
- LaRonde - Agnico Eagle (нікель, мідь, цинк та золото)
- Bracemac-McLeod Matagami - Glencore (цинк та мідь)
- Langlois - Nyrstar (цинк та мідь)
- Nunavik Nickel - Canadian Royalties (нікель та мідь)

Незважаючи на скорочення запасів та ресурсів, у Квебеку існує значний сектор переробки міді.

У Квебеку також знаходиться єдиний у Канаді мідноплавильний завод Horne Smelter у Руен-Норанда, що належить Glencore.

Він виробляє мідні аноди з концентрату, що постачається з Квебеку, решти Канади та з-за кордону.

Аноди постачаються на нафтопереробний завод CCR у східному Монреалі, що також належить Glencore, де виробляються мідні катоди.

Деякі з цих катодів залишаються в Квебеку, а решта експортується (табл. 2.3).

Інші компанії потім здійснюють обробку металу (виробництво дротів, електричних кабелів тощо).

Існують деякі геологорозвідувальні проекти, пов'язані з розробкою інших корисних копалин, таких як нікель, цинк та золото.

Процеси

На рис.2.2 представлено короткий огляд різних етапів виробництва мідних катодів з чистотою понад 99,99%.

Кожна клітинка представляє процес, а кожна лінія представляє потік матеріалу, продукт.

Область, виділена помаранчевим кольором, об'єднує процеси плавки перед стадією рафінування.

Сині лінії представляють технології, які можуть використовувати перероблені матеріали.

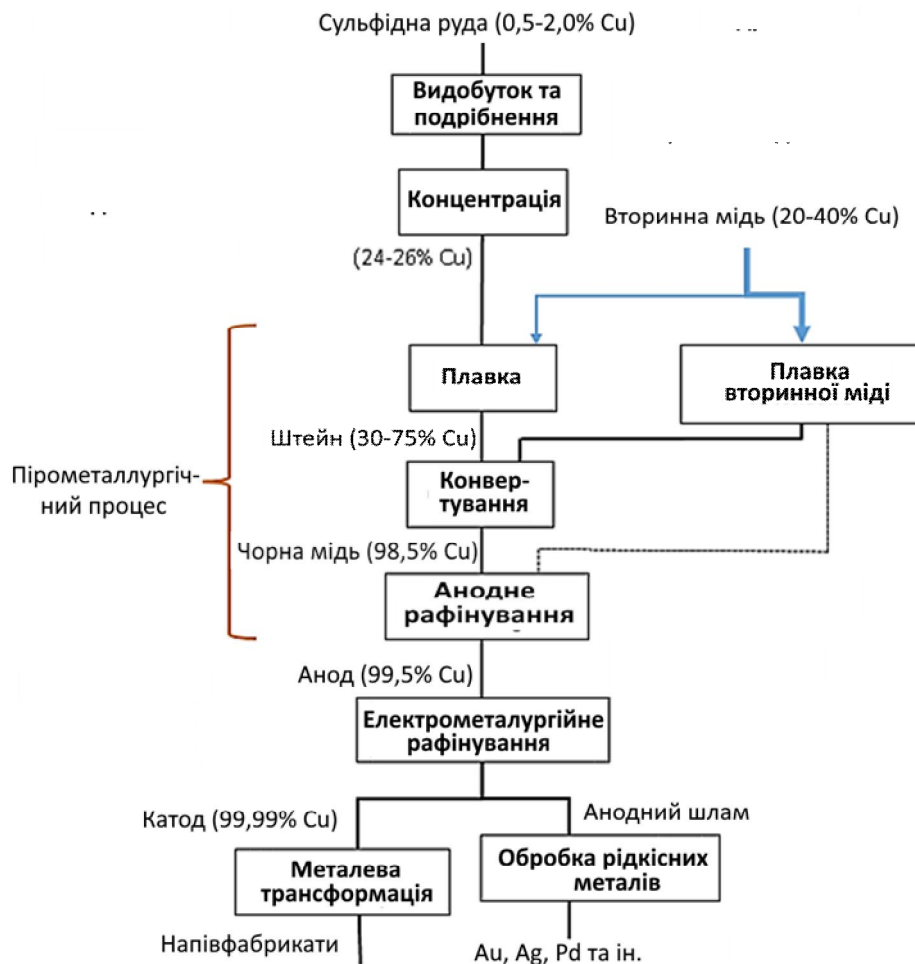


Рис.2.2. Схематичне зображення шляхів виробництва міді [Джерело: https://www.bibliotheque.assnat.qc.ca/DepotNumerique_v2/AffichageFichier.aspx?idf=293702 [35]]

Перероблену мідь можна безпосередньо включити в початковий процес на стадії плавки, або ж використовувати спеціалізовану альтернативну технологію для перероблених матеріалів (або вторинну плавку міді). Ця альтернативна технологія може мати форму різних існуючих процесів, таких як електродугова піч або доменна піч.

Під час останнього процесу, електрометалургійного рафінування, яке перетворює мідний анод на катод, на дні резервуара осідає анодна суспензія. Ця суспензія містить дорогоцінні метали (золото, платину, срібло тощо), цінні для рекуперації.

Опис процесу:

- *Видобуток та дроблення:* У Квебеку немає рудників, що спеціалізуються виключно на видобутку міді. Цей метал є радше побічним продуктом золотих,

срібних, нікелевих, кобальтових та/або цинкових шахт. Наприклад, цинковий рудник Bracemas-McLeod у гірничодобувному таборі Матагамі виробляє мідь під час переробки цинкової руди, як і цинковий рудник Langlois (MERN). Після видобутку руди її подрібнюють, а потім збагачують флотацією. Як правило, вміст міді у вихідній руді становить від 0,5% до 2,0%.

- *Збагачення флотацією*: Процес включає хімічну атаку руди в обертовому циліндрі; мідь піднімається на поверхню рідини, а домішки осідають на дно. Отримані мідні концентрати зазвичай містять близько 30% міді, але вміст може коливатися від 20% до 40% (ICSG); для Квебеку використовується оцінка 26%.

- *Плавлення*: Етап випалу іноді передує етапу плавлення, але в сучасних процесах ці дві операції виконуються одночасно (JRC). Під час процесу плавлення мідь перетворюється на штейн, що містить 30-75% міді (ICSG).

- *Конверсія*: Штейн обробляється в конвертері, в результаті чого утворюється блістер, що містить від 98% до 98,5% міді.

Існує три можливі типи конверсії: безперервна конверсія штейна, конверсія сплаву та пакетна конверсія штейна. Перший процес включає вдування кисню у вставлену суміш [36].

- *Анодне рафінування*: Блістер переноситься в печі для процесу пірорафінування для видалення залишкових домішок шляхом окислення й утворення шлаку [37]. Цей процес дозволяє отримати мідну пластину з чистотою 99%–99,5%, яка є анодною пластиною.

- *Електрометалургійне рафінування*: цей процес передбачає пропускання електричного струму між двома пластинами (анодами), зануреними в електролітичний розчин, ванну, що складається з провідних елементів [37]. Шляхом електроосадження мідь осаджується на катод, утворюючи нову пластину з рівнем чистоти 99,99%. Домішки осідають на дні басейну, створюючи анодний шлам, що містить дорогоцінні метали.

- *Обробка рідкісних металів*: анодний шлам обробляється за допомогою роторного конвертера для вилучення дорогоцінних металів [37].

- *Вторинна плавка міді*: вторинна мідь відноситься до промислових втрат та споживчих відходів. Вторинна мідь (металобрухт) становила 35% світового

виробництва міді у 2010 році. Склад деяких матеріалів, отриманих з вторинної міді, перешкоджає їх обробці, як первинної.

Процеси повинні бути здатними адаптуватися до типу міді, що переробляється, і, отже, бути гнучкими. Зокрема, електродугові печі можуть використовуватися для широкого спектру переробленої міді.

- *Обробка металу*: Цей етап включає виробництво мідних виробів, таких як пластини, листи, стрічки, прутки, дроти, трубки тощо.

У моделі для вимірювання споживання енергії, пов'язаного з цим етапом, використовується лише один процес, останній у цьому промисловому підсекторі, оскільки виробництво та складання готової продукції належать до інших виробничих секторів, ніж чорна металургія та сталь.

2.2.3. Літій

Літій можна отримати з різних типів родовищ [38]:

- Континентальні розсоли становлять 58% світових джерел літію, де літій концентрується шляхом випаровування.

- Родовища пегматиту становлять 26% світових джерел літію, де літій знаходиться у формі сподумену ($\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$).

- Інші типи родовищ становлять 16% світових джерел літію, включаючи багаті на літій глини, вуглеводневі розсоли, геотермальні розсоли та збагачені цеоліти.

Ситуація в Квебеку

У Квебеку розсолів не знайдено; можливий лише видобуток сподумену. Хоча деякі компанії вже переробляють карбонат літію на компоненти для виробництва акумуляторів, наразі в Квебеку немає діючих рудників. Однак було визначено один гірничодобувний проект та три проекти розвитку, переважно в регіонах Абітібі та затоки Джеймса:

- Whabouchi (Nemaska Lithium Inc.) у затоці Джеймса: виробництво 4000 тонн на день.

Крім того, компанія Nemaska Lithium розглядає можливість будівництва заводу з виробництва гідроксиду літію та карбонату літію, для якого було розроблене техніко-економічне обґрунтування.

- Lithium Amérique du Nord у Ла-Корн, Абітібі: виробництво 2950 тон на день.
- Authier (Glen Eagle Resources) в Абітібі: виробництво 2200 тон на день.
- Rose Tantal-Lithium (Corporation Éléments Critiques) у регіоні затоки Джеймса: виробництво 4600 тон на день.

Розвиток літієвої галузі виглядає перспективним у зв'язку зі зростаючим попитом на електронні вироби, електромобілі та акумулятори у Квебеку та в усьому світі.

Процеси

Процес виробництва літію зі сподумену вимагає видобутку та збагачення руди.

- *Видобуток*: Літій спочатку видобувається з відкритих кар'єрів з економічних причин, але також може бути видобуто з підземних шахт.
- *Концентрування*: Концентрування досягається за допомогою різних процесів розділення, включаючи гравітацію та магнетизм, перед сушінням. Це дає концентровану сподуменову сполуку.

Основні шляхи, якими цей продукт може слідувати [38], проілюстровано на рис. 2.3:

- Карбонат літію можна отримати за допомогою гідрометалургійного процесу (який потім можна перетворити на гідроксид літію за допомогою гідроксиду кальцію).
- Гідроксид літію можна отримати за допомогою процесу кальцинації з подальшою гідрометалургією. Нарешті, цей продукт можна перетворити на карбонат літію шляхом карбонізації.
- Процес Nemaska Lithium Inc. (шлях позначено помаранчевим кольором) перетворює концентрат сподумену на сульфат літію (Li_2SO_4), а потім виробляє гідроксид літію електролізом.

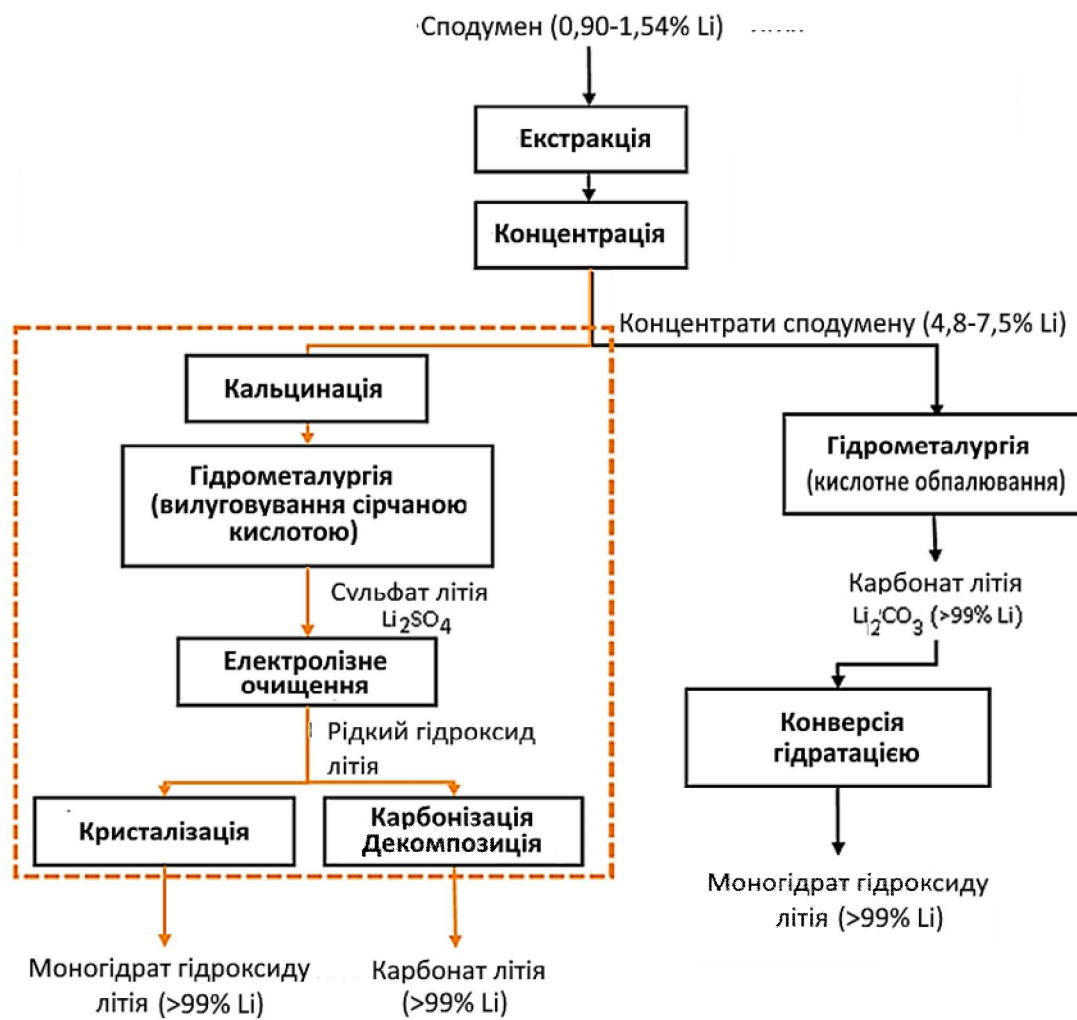


Рис. 2.3. Схематичне зображення шляхів виробництва літію [Джерело: https://www.bibliotheque.assnat.qc.ca/DepotNumerique_v2/AffichageFichier.aspx?idf=293702 [39]]

2.3. Внутрішній та міжнародний попит

Моделі TIMES працюють на основі обмежень попиту на енергетичні послуги, які необхідно задовольнити, що екзогенно визначаються на майбутній горизонт.

У промисловому секторі попит визначається з точки зору напівфабрикатів на горизонті 2050 року (табл. 2.2). Цей попит охоплює як внутрішні, так і міжнародні потреби.

Слід зазначити, що значне зростання попиту на літій у 2020 році відповідає початку запланованого виробництва на літєвому проєкті Namaska. На цьому етапі важко передбачити, який вплив матиме світовий попит на виробництво

самого літію та напівфабрикатів у Квебеку. Прогнози попиту є поєднанням кількох факторів, включаючи імпорт та експорт на кожному етапі ланцюжка створення вартості, а не виключно збільшення споживання.

Таблиця 2.2

Річний корисний попит на напівфабрикати до 2050 року

[Джерело: https://www.bibliotheque.assnat.qc.ca/DepotNumerique_v2/AffichageFichier.aspx?idf=293702 [39]]

Млн т/рік	2011	2013	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Чавун і сталь	6,270	5,417	6,076	7,721	9,367	11,012	13,121	15,230	19,449
Мідь	0,080	0,085	0,097	0,110	0,128	0,152	0,176	0,204	0,236
Літій	0,0010	0,0006	0,0004	0,0313	0,0318	0,0323	0,0328	0,0333	0,0344

Для базового року моделі (2011) у табл. 2.3 наведено детальну інформацію про виробництво в Квебеку та чистий експорт на кожному етапі ланцюжка створення вартості, що привело до розрахунку корисного попиту.

Таблиця 2.3

Чисте виробництво та експорт

продукції ланцюга створення вартості у 2011 році

[Джерело: https://www.bibliotheque.assnat.qc.ca/DepotNumerique_v2/AffichageFichier.aspx?idf=293702 [39]]

Млн т	Виробництво	Чистий експорт	Втрати	Корисний попит
Чавун і сталь				
Руда	95,366			
Концентрат	28,610	18,540	0,009	
Окатиші	9,891	8,049	0,001	
Чавун	1,775	0,965	0,375	
Сталь	1,329	0,049	-	
Напівфабрикати	1,267	-5,003	0,004	6,270
Мідь				
Руда	0,416			
Концентрат	0,080	-0,508	0,0003	
Аноди	0,187	-0,078	0,0003	
Катоди	0,263	0,126	0,0001	
Напівфабрикати	0,137	0,057		0,080
Літій				
Напівфабрикати	-	-0,001		0,001

Ці дані були зібрані з кількох документів [40-42], результатів аналізу матеріальних потоків та адаптовані до вимог моделювання. Слід зазначити, однак,

що дані можуть дещо відрізнятися (але того ж порядку величини) від даних, отриманих за допомогою аналізу матеріальних потоків, і що значення з двох підходів не завжди можна безпосередньо порівняти, враховуючи відмінності в тому, як моделюються етапи та представлені результати (рівень агрегації).

Починаючи з 2011 року, що є базовим, та на основі спостережуваних даних за наступні роки попит на енергетичні послуги визначається на горизонті 2050 року, використовуючи прогнози з імітаційної моделі CanESS [43] та у спосіб, що узгоджується з різними макроекономічними показниками (ВВП, населення тощо). Потім модель NATEM[44] оптимізує ланцюжок створення вартості для задоволення цього попиту на готову продукцію до 2050 року.

Хоча внутрішнє виробництво є достатньо гнучким, щоб задовольнити надлишковий попит після базового року, еволюція потоків імпорту та експорту металургійних продуктів ланцюга створення вартості, тим не менш, доволі обмежена мінімальними та максимальними межами, що еквівалентно приблизно $\pm 25\%$ від значення 2011 року на 2050 рік. Це припущення є обмежувальним, але необхідним для цілей калібрування, враховуючи невизначеності, пов'язані з еволюцією світової торгівлі.

Через брак даних немає відмінностей щодо походження та призначення торговельних потоків (навіть для тих, що знаходяться в межах Канади); враховується лише загальний імпорт або експорт. Що стосується матеріальних втрат на кожному етапі, то це приблизні значення, отримані з обсягів виробництва та чистого експорту, та/або з аналізу матеріальних потоків [45]. Найбільш значні втрати відбуваються на етапі первинної металургії.

Висновки за розділом 2

Проблема виснаження ресурсів надр наразі набуває глобального масштабу. Тому гірники усіх країн усе активніше шукають шляхи підвищення життєздатності своїх підприємств та гнучкості їх функціонування. За цих умов головним чинником проблеми стають мінеральні ресурси, тому надзвичайно актуалізується концепція альтернативних джерел поповнення металів, серед яких реаль-

но перспективною є рециркуляція, яка дійсно здатна суттєво скоротити обсяги видобутку руд різних металів, запаси яких стрімко скорочуються.

Різниця між доведеними та ймовірними запасами, а також між вимірними, визначеними та передбачуваними ресурсами визначається частіше відповідно до канадського стандарту 43-101 (CIM).

Запаси представляють собою економічно придатну для експлуатації частину руди на даний момент і змінюються з часом, тоді як ресурси представляють собою більш невизначену частину. Частина ресурсів може з часом бути перетворена на економічно придатні для експлуатації запаси

Переробка металу – це процес збору, обробки та переплавлення металобрухту для створення нових продуктів, який включає такі етапи, як збір, сортування, подрібнення, плавлення, очищення та затвердіння. Цей процес повертає метал як сировину у виробничий цикл, причому метали можна переробляти не обмежений час без втрати якості. Це – ефективний спосіб зменшити потребу в первинних матеріалах та зменшити вплив на навколишнє середовище.

Збір: Металобрухт збирають з різних джерел, включаючи відпрацьовані транспортні засоби, місця знесення будівель, виробничі процеси та різні відходи.

Сортування: Метали розділяють за типом та сплавом, що можна зробити за допомогою потужних магнітів для чорних металів та аналітичних методів, таких як рентгенівська флуоресценція (XRF) для ідентифікації.

Обробка: Металобрухт часто подрібнюють або розрізають на менші, більш керовані шматки для підготовки до плавлення.

Плавлення: Кожен тип металу плавиться у спеціалізованій печі.

Очищення: Домішки видаляються з розплавленого металу, часто за допомогою електролізу або хімічної обробки, щоб забезпечити високу якість кінцевого продукту.

Затвердіння: Очищений розплавлений метал потім охолоджують і розливають у форми для формування прутів, злитків або листів для використання в нових продуктах.

Чому метал ідеально підходить для переробки:

Безстрокова переробка: На відміну від багатьох інших матеріалів, метали можна розплавляти і переробляти в нові продукти нескінченно без втрати якості.

Економічні переваги: Переробка металу економить гроші та ресурси порівняно з видобутком та обробкою нового металу з руди.

Екологічні переваги: Переробка металів значно зменшує вплив на навколишнє середовище, пов'язаний з виробництвом первинного металу, такий як споживання енергії та викиди парникових газів.

Звичайні метали, що переробляються: Залізо та сталь; Алюміній; Мідь; Цинк; Свинець.

Дорогоцінні метали, такі як золото та срібло, також переробляються, але переважно – з електронного брухту.

Розділ 3

СТРАТЕГІЇ РЕЦИРКУЛЯРНОСТІ МЕТАЛІВ ЯК ЧИННИК РЕГУЛЮВАННЯ ГНУЧКОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ ГІРНИЧОДОБУВНИХ СИСТЕМ

3.1. Загальні визначення

Перед тим, як перейти до гнучких гірничодобувних систем, необхідно розглянути взаємозв'язок останніх з паралельним джерелом металів – циркулярним, тобто – вторинного їх використання.

Даний зв'язок є безпосереднім, оскільки саме ці два чинники складають структуру формування загального обсягу того чи іншого металу.

Мало того, цей зв'язок переважно доволі динамічно змінюється, що змушує, як гірників, так і металургів безперервно шукати методи регулювання – компенсаторно-адаптивного – змін в технологіях, відповідно до змін у пропорціях, співвідношенні в загальній структурі рудної та вторинно-металевої сировини в металургії.

Як уже відмічалось вище, тенденції співвідношення джерел забезпечення металургії сировиною стало трансформуються на користь рециклінгової. А це значить, що видобуток руд різних металів все більше переходить до чинника компенсаторного, тобто – доповнюючого брак в загальній структурі необхідної сировини.

При чому, дана тенденція має доволі інертний характер, що дозволяє гірникам своєчасно підлаштовуватися під такі латентні зміни.

І це має принципово важливе значення, оскільки вимагає планувати зміни в обсягах видобутку руд не оперативно, а – на більш тривалі періоди, що на практиці реалізується коригуванням *стратегії*.

Саме з цих міркувань ми включили в завдання даного дослідження аналіз тенденцій в *стратегії* рециклінгової металургії та впливу їх на видобуток руд, який цілком визначається і задається геотехнологіями.

Тобто, тільки знаючи відмічені тенденції, гірники здатні завчасно переналаштовувати власні технології.

3.2.Блокування стратегій циркулярності

У табл. 3.1 представлено список з 13 стратегій циркулярності, відібраних із 41 стратегії, спочатку проаналізованих для визначення бар'єрів та рушійних сил, відповідно до етапів життєвого циклу (Gervais et al., 2017) [46].

Таблиця 3.1

**Стратегії циркулярності,
відібрані для техніко-економічного аналізу** [Джерело:
https://www.bibliotheque.assnat.qc.ca/DepotNumerique_v2/AffichageFichier.aspx?idf=293702 [39]]

Етапи життє- вого циклу	№	Стратегія	Fe	Cu	Li
Видобуток	1	Технологічний розвиток ефективного видобутку. - Автономні вантажівки	×		
	2	Належне зберігання шламів для подальшого видобутку		×	
	3	Міські рудники			
Первинна металургія	4a	Переробка та промисловий симбіоз - Видобуток дорогоцінних металів з анодних шламів		×	
	4b	- Рекуперація теплової енергії зі шлаку	×		
	4c	- Секвестрація CO ₂ з побічними продуктами металургійної промисловості	×		
Металургія переробки	5	Додаткове виробництво - Застосування в аерокосмічному секторі	×		
Кінець терміну служби	6a	Переробка заліза (та інших металів) - Розбирання та переробка літаків	×		
	6b	- Розбирання та переробка поїздів	×		
	6c	- Переробка автомобілів	×		
	6d	- Переробка металобрухту	×		
	7a	Переробка міді (та інших металів) - Переробка комп'ютерів		×	
	7b	- Переробка мобільних телефонів		×	
	7c	- Переробка кабелів та проводів		×	
	7d	- Переробка друкованих плат		×	
	8a	Переробка літію - Переробка літій-іонних акумуляторів			×
	8b	- Переробка скла			×
Обладнання	9	Модульність промислового обладнання	×	×	
Будівлі, інфра-структура	10	Екодизайн сталевих конструкцій	×		
	11	Вибірковий демонтаж	×	×	
Транспортні засоби	12a	Екодизайн транспортних засобів - Карсінг	×	×	×
	12b	- Використання легших матеріалів			
Літій-іонні акумулятори	13	Зберігання енергії за допомогою використаних літій-іонних акумуляторів - Застосування для децентралізованої сонячної енергетики			×

Деякі стратегії додатково поділяються на підстратегії через їх дуже широке визначення. Тому не всі стратегії придатні до всіх металів.

Деякі стратегії можна застосовувати до інших металів за умови наявності необхідних даних, таких як, наприклад, селективна деконструкція для міді.

Оцінка техніко-економічного потенціалу стратегій циркулярності проводилася у два етапи. Метою першого етапу було задокументувати кожну стратегію та кількісно визначити її техніко-економічні параметри в конкретному контексті Квебеку, використовуючи літературу та прості розрахунки. На другому етапі найкраще задокументовані стратегії були інтегровані в модель NATEM, щоб визначити, наскільки кожна стратегія є оптимальною з техніко-економічної точки зору. Кожна стратегія є предметом розділу, що включає:

- Огляд раніше виявлених перешкод та можливостей [46];
- Техніко-економічний інформаційний бюлетень, що містить опис досліджуваного сценарію, визначення технологій, що задіяні або на які спрямована стратегія, презентацію технічних та економічних параметрів (деякі є постійними, тоді як інші змінюються з часом і потребують прогнозування) та пояснення основних припущень;
- Результати техніко-економічного моделювання (де це застосовується), де кожна з змодельованих стратегій порівнюється з базовим сценарієм;
- Короткий аналіз та обговорення їхнього потенціалу циркулярності (зазвичай оцінюється кількістю корисних копалин, не видобутих із землі) та техніко-економічної доцільності (тобто, чи є стратегія економічно оптимальною для певної частини суспільства чи прибутковою для бізнесу).

Хоча тематичні дослідження, виявлені в літературі, дозволяють оцінити потенційну прибутковість стратегії для конкретної компанії, техніко-економічне моделювання дає змогу визначити, чи є стратегія економічно оптимальною для певної частини економіки Квебеку. Економічна оптимальність визначається як мінімальні витрати на задоволення попиту на продукти та послуги в певній частині економіки Квебеку, відповідно до економічної раціональності моделей оптимізації TIMES [47, 48]. Використана модель мінімізує витрати на енергетичну систему, включаючи інші продукти (матеріали, метали), з тех-

ніко-економічної точки зору, але не вимірює макроекономічні наслідки, такі як валовий внутрішній продукт та зайнятість. Слід зазначити, що витрати та ціни завжди виражаються в канадських доларах 2011 року (CAD 2011), і що загальна ставка дисконтування була встановлена на стандартному рівні 5% для цього типу дослідження (значення, яке відображає як очікувану інфляцію, так і між-часові уподобання економічних агентів). Хоча вибір ставки може впливати на результати та є предметом багатьох дискусій, цей тип аналізу чутливості виходить за рамки цього проекту.

3.3. Аналіз стратегій циркулярності

Стратегія 1 - Технологічний розвиток для ефективнішого видобутку

Технологічний розвиток, по суті, стосується розробки інструментів або систем, які дозволяють автоматизувати й оптимізувати гірничодобувні операції.

Огляд перешкод та можливостей

Аналіз бар'єрів та важелів, проведений Gervais et al. [46], наведено нижче та в табл.3.2.

Актуальність. Актуальність є безперечною, оскільки впровадження таких технологій знижує експлуатаційні витрати та, як наслідок, підвищує прибутковість гірничодобувних компаній.

Розробка подібних технологій також подовжить термін служби існуючих рудників і навіть дозволить відновити гірничі роботи на старих.

Доцільність. Цілком ймовірно, що ці технології спочатку будуть впроваджені на відкритих кар'єрах, а потім на підземних шахтах, де доцільність є складнішою. Вже існує кілька технологій [46]:

- *Автоматизовані вантажівки:* вантажівки без водія, дистанційно керовані працівником на екрані та оснащені датчиками на кожному колесі для вимірювання вібрацій та визначення потреб у профілактичному обслуговуванні.
- *Напіваавтоматизовані вантажівки:* звичайні вантажівки, оснащені системами дистанційного керування; водій залишається необхідним.

Перешкоди та можливості – Технологічний розвиток для більш ефективного видобутку [Джерело: Gervais et al., 2017 [46]]

Перешкоди	Можливості
• Офшоринг та втрата робочих місць, обмежена доступність кваліфікованої робочої сили • Зміни в організаційній культурі та опір змінам • Безпека працівників під загрозою за наявності автоматизованого обладнання • Відсутність сумісності систем обробки даних • Необхідно підвищити доступність даних • Проблеми кібербезпеки • Автоматизація є складнішою та дорожчою на існуючих рудниках	• Економія енергії та часу, зменшення викидів парникових газів, зниження ризику нещасних випадків та підвищення прибутковості • Подовження служби рудників • Повторне відкриття старих рудників • Екологічні стандарти та норми • Навчання майбутніх поколінь та поточного персоналу • Збереження та посилення знижок на тарифи на електроенергію та державних програм енергоефективності та конверсії • Дослідження та розробки • Прийняття кодексу управління ризиками (наприклад, Австралія) • Загальна перспектива вдосконалення технологічних процесів та промислової інженерії

• *Бурильні установки*: бурильні установки, оснащені системою, яка дозволяє проводити аналіз складу руди на відкритих кар'єрах у режимі реального часу, що дозволяє негайно класифікувати руду для дроблення або зберігання. Існують також автоматизовані, дистанційно керовані бурильні установки, які забезпечують підвищену точність.

• *Датчики*: датчики, встановлені на обладнанні, для виявлення несправностей, температури, рівня оливи або електричних сигналів, що сприяє профілактичному обслуговуванню та, таким чином, приводить до підвищення продуктивності та зниження споживання енергії.

• *Симулятори*: Симулятори, що використовуються для навчання працівників буровим роботам або роботі з важким обладнанням, підвищення кваліфікації працівників та покращення застосування польових операцій.

• *Системи вентиляції*: Інструментальні вентиляційні системи, підключені через мережу обробки даних, для адаптації вентиляції відповідно до гірничих робіт, таким чином забезпечуючи економію енергії (дизельне паливо).

Поточний стан: Технологічний розвиток відбувається швидкими темпами, хоча впровадження технологій у галузі відбувається повільніше. За оцінками, у Квебеку гірничодобувна промисловість знаходиться приблизно на 30–40% свого повного потенціалу автоматизації [49].

Золотий рудник Éléonore, що належить Goldcorp, вважається найсучаснішим в цьому відношенні, маючи: дистанційно кероване автоматизоване буріння, автоматизовану вентиляцію, системи геолокації на всьому обладнанні та працівниках для відстеження їхнього місцезнаходження в режимі реального часу та мінімізації часу простою тощо [50].

Загалом, технології використовуються для конкретних випадків, але інтегрована та повна автоматизація залишається менш поширеною в Квебеку. Крім того, темпи та швидкість автоматизації – нижчі, ніж у Канаді в цілому, відстаючи приблизно на 15 років [51]. В Австралії деякі шахти вже повністю автоматизовані [49]. Крім того, Rio Tinto оснастила себе приблизно 70 автоматизованими вантажівками з 3000, які вона експлуатує на руднику в Австралії. Також спостерігаються певні досягнення в Південній Африці.

Техніко-економічний аналіз

Визначення досліджуваного сценарію. Техніко-економічний аналіз стратегії порівнює автономну транспортну систему зі звичайною транспортною системою, що працює на відкритому кар'єрі, розташованому в Британській Колумбії [52]. Більш конкретно, аналіз базується на звичайній транспортній системі, що працює з 9 ручними вантажівками, порівняно з автономною транспортною системою, що працює з 7 автоматизованими вантажівками, для того ж річного виробництва 13,8 млн тон залізної руди за той самий період, тобто 7 років [52].

Автоматизовані парки вантажівок доцільні на рудниках з великими обсягами видобутку; стратегія тому застосовується лише до залізної руди. Інші технологічні досягнення є актуальними для менших обсягів, такі як напіваавтоматизовані вантажівки, але вони не були аналізовані через брак часу та даних.

Задіяні технології. Стратегія застосовується до використання автоматизованих вантажівок. Основними виробниками автоматизованих вантажівок, що використовуються в гірничодобувних роботах, є Komatsu та Caterpillar [53].

Наприклад, вантажівки Komatsu 930E мають бортові комп'ютери, які надають інформацію про місцезнаходження інших транспортних засобів та передають її до операційного центру. Ці вантажівки оснащені радаром виявлення перешкод, лазерами, антенами зв'язку та високоточними системами геолокації, що дозволяє ефективно керувати ними дистанційно за допомогою систем зв'язку, моніторингу, наведення та уникнення [53]. Ці системи дозволяють вантажівкам використовувати заздалегідь визначені маршрути та автоматизувати навігацію дорогами та перехрестями, переміщення між зонами завантаження, розвантаження та заправки, а також взаємодію з іншим обладнанням. Вперше запроваджена в Чилі у 2005 році, загалом відомо, що 5 рудників у світі використовували, використовують або планують використовувати цю технологію [52]: рудники Radomiro Tomic та Gabriela Mistral у Чилі (CODELCO), рудник West Angelas в Австралії (Rio Tinto), рудник Salomon в Австралії (Fortescue Metals) та рудник Navajo в Нью-Мексико, США (BHP).

Технічні параметри. У досліджуваному сценарії система з 7 автоматизованими вантажівками дозволяє видобувати таку ж кількість руди протягом 7 років, як і система з 9 звичайними вантажівками [52]. Автономна система дозволяє вантажівкам працювати стабільніше, що зменшує витрату палива: їм потрібно 0,76 літра/т, а не 0,83 літра/т для звичайних вантажівок (табл. 3.3). Однак, у цьому випадку, збільшення відсотка використання автоматизованих самоскидів (78% часупорівняно з 65%) зводить нанівець економію палива протягом року при видобутку тієї ж кількості руди.

Економічні параметри. У цьому випадку інвестиційні витрати на автономну систему (\$0,42/т) вищі, ніж на традиційну систему (\$0,36/т): вартість придбання автоматизованих самоскидів (\$4,83 млн) трохи вища, ніж у традиційних самоскидів (\$3,86 млн).

З іншого боку, додавання автоматизованих самоскидів до рудника, перш за все, призводить до значного виграшу з точки зору робочої сили. Таким чином, фіксовані експлуатаційні витрати зменшуються з \$2,65/т у традиційній системі до \$2,25/т в автономній системі. Шини, гальма та інші компоненти, чутливі до поломки та зносу, використовуються ефективніше та мають довший термін

служби навіть за постійної експлуатації [52]. Тому змінні експлуатаційні витрати – також нижчі.

Таблиця 3.3

Параметри – Технологічний розвиток для більш ефективного видобутку

[Джерело:

https://www.bibliotheque.assnat.qc.ca/DepotNumerique_v2/AffichageFichier.aspx?idf=293702 [39]

Технічний параметр	Одиниця	Константа	Посилання
Звичайні самоскиди (9)			
Середня річна потужність залізного рудника	т/рік	13 821 605	Parreira (2013)
Річна потужність одиниці	т/рік	1 535 734	
Термін служби	рік	7	
Витрата палива	літр/т	0,83	
Відсоток використання	%	65%	
Автоматизовані самоскиди (7)			
Середня річна потужність залізного рудника	т/рік	13 821 605	Parreira (2013)
Річна потужність одиниці	т/рік	1 974 515	
Термін служби	рік	7	
Витрата палива	літр/т	0,76	
Відсоток використання	%	78%	
Економічний параметр	Одиниця	Постійна вартість	Посилання
Звичайні самоскиди (9)			
Ціна за одиницю звичайного самоскиду	\$ Млн	\$3,86	Parreira (2013)
Вартість Інвестиційні витрати на 9 звичайних самоскидів	\$/т	\$0,36	
Інвестиції Вартість автоматизованої системи	\$/т \$	-	
Загальна інвестиційна вартість	\$/т	\$0.36	
Фіксовані експлуатаційні витрати	\$/т	\$2.65	
Змінні експлуатаційні витрати (без урахування енергії)	\$/т	\$0.16	
Вартість енергії	\$/т	\$0.70	
Автоматизовані вантажівки (7)			
Ціна за одиницю автоматизованої вантажівки	\$ Млн	\$4.83	Parreira (2013)
Інвестиційна вартість 7 автоматизованих вантажівок	\$/т	\$0.35	
Інвестиційна вартість автоматизованої системи	\$/т	\$0.07	
Загальна інвестиційна вартість	\$/т	\$0.42	
Фіксовані експлуатаційні витрати	\$/т	\$2.25	
Змінні експлуатаційні витрати (без урахування енергії)	\$/т	\$0.15	
Вартість енергії	\$/т	\$0.7	

Техніко-економічне моделювання

Цю стратегію також було протестовано в моделі NATEM, де сценарій, що включає можливість інвестування в автономну систему, а не в традиційну сис-

тому, на етапі видобутку залізної руди в Квебеку, порівнювався з еталонним сценарієм. Таким чином, незважаючи на вищі інвестиційні витрати, автономна система є частиною оптимального рішення, де автоматизовані вантажівки поступово замінюють ручні вантажівки, оскільки вони досягають кінця свого терміну корисного використання (рис. 3.1). Таким чином, модель підтверджує, що ця стратегія є оптимальною з суто економічної точки зору (без урахування будь-яких потенційних обмежень впровадження в польових умовах).

Вплив на енергетичну систему та викиди парникових газів є незначним.

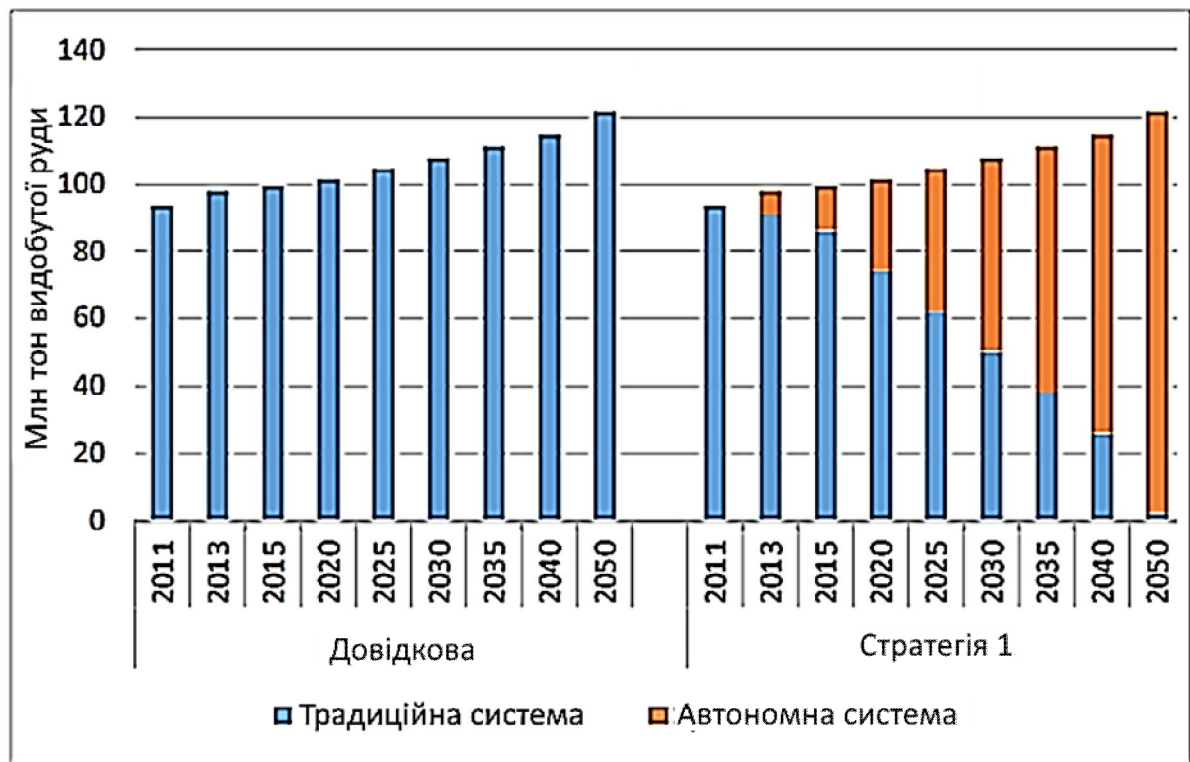


Рис.3.1. Технології, що використовуються для видобутку залізної руди
[Джерело:
https://www.bibliotheque.assnat.qc.ca/DepotNumerique_v2/AffichageFichier.aspx?idf=293702]

Потенціал циклічності. Ця стратегія безпосередньо не спрямована на циклічність металу, а радше на оптимізацію видобувних операцій. Впровадження нових технологій може навіть призвести до збільшення видобутку на певних рудниках.

Техніко-економічна доцільність. Основною метою впровадження цих технологій є зниження експлуатаційних витрат. Дійсно, результати моделювання

показують, що, незважаючи на вищі інвестиційні витрати, ця стратегія є економічно оптимальною. Однак ці додаткові початкові інвестиції можуть виявитися непомірними для менших стартапів або тих, чиї звичайні вантажівки все ще працюють у належному робочому стані (також може бути вплив на навколишнє середовище, пов'язаний з передчасною заміною обладнання).

Загалом кажучи, кожен захід з автоматизації операцій може знизити експлуатаційні витрати в середньому на 15%, залежно від технологій та гірничодобувної діяльності [49]. Цей виграш дійсно спостерігається у досліджуваному тут сценарії, де експлуатаційні витрати знижуються на 15% завдяки впровадженню гнучкої автономної системи. Ця оцінка також узгоджується з оцінкою Rio Tinto [54], яка у своєму річному звіті зазначає, що її парк із 71 автоматизованої вантажівки, включаючи 52 Komatsu 930E та 19 Komatsu 830E, знизив витрати на 13% та збільшив ефективне використання вантажівок на 14%.

Однак не згадується, чи зменшиться загальна кількість вантажівок. Тому з економічної точки зору стратегія є перспективною.

Крім того, автономні вантажівки представляють лише частину автоматизації гірничих робіт. Наприклад, у своєму проекті «Рудник майбутнього» Rio Tinto інвестувала понад 500 мільйонів доларів у свою повністю автоматизовану систему залізничного транспорту, яка охоплює майже 700 км між рудником West Angelas в Австралії та портом [55]. «Ця автоматизація усуне потребу в операторі приблизно в ста поїздах, які курсують щодня. Крім того, автоматична робота поїздів дозволить вносити корективи в графік завантаження на судна в режимі реального часу, адаптуючи його до темпів роботи рудника» [55, с. 2].

Покращена вентиляція також зменшує споживання енергії, а системи геолокації мінімізують час простою, оскільки місцезнаходження працівників та обладнання відоме в режимі реального часу. Завдяки повній автоматизації можливий додатковий виграш, який вимірюється 15% зниженням експлуатаційних витрат.

Інші фактори. Ще один фактор, який не враховувався в аналізі, стосується покращення безпеки і, отже, зниження витрат, пов'язаних з аваріями. Завдяки автоматизованій транспортній системі, бездротовому зв'язку, детекторам об'єк-

тів, бортовим комп'ютерам, системам геолокації та програмному забезпеченню зі штучним інтелектом оператор може дистанційно керувати вантажівками, захищаючи їх від небезпек, яким зазвичай піддається водій вантажівки.

Таким чином, ця стратегія, безсумнівно, є прибутковою, але здатність компаній мобілізувати персонал і перейти до автоматизації обмежується необхідним культурним зрушенням. Крім того, існують проблеми, пов'язані з втратою робочих місць і зменшенням економічного впливу на регіони.

Стратегія 2– Правильне зберігання рудничних відходів для подальшого видобутку

Рудничні відходи можуть містити метали, видобуток яких може виявитися життєздатним у майбутньому, якщо зберігання здійснювалося належним чином з самого початку. Ця стратегія повинна бути підкріплена довгостроковим баченням.

Аналіз перешкод і важелів, проведений[49], наведено нижче та в табл.3.4.

Актуальність. Актуальність зберігання хвостів ГЗК для подальшого видобутку залежить від вмісту руди в хвостах, а також від технологічних та економічних зусиль, необхідних для їх вилучення відносно ринкової вартості відповідної руди.

Доцільність. Видобуток руди з хвостосховищ вже існує. Однак проблеми фінансової доцільності обмежили кількість проектів в останні роки. Крім того, експлуатація хвостів у вже відновлених відвалах створює додаткову проблему, враховуючи зобов'язання повернути ділянку до задовільного стану після завершення операцій та необхідні фінансові гарантії.

Оскільки технології переробки розвиваються недостатньо швидко, одним з варіантів, який можна рекомендувати для діючих рудників, був би видобуток з хвостів іншої руди, ніж та, що використовується в діяльності гірничодобувної компанії (наприклад, цинку з хвостів мідних рудників). На старих рудниках хвости можна було б переробляти за умови їх транспортування на існуючий завод(РЗФ) або використання мобільної збагачувальної фабрики. Нарешті, одним із методів, який слід розглянути для полегшення майбутнього видобутку руди з хвостів, була б характеристика матеріалу, що зберігається, для встановлення

ланцюга зберігання та картографування зони зберігання. Вже існують електронні чіпи, які можуть забезпечити відстеження на основі видобутої площі та часу захоронення хвостів.

Таблиця 3.4

***Перешкоди та можливості – Технологічний розвиток
для більш ефективного видобутку*** [Джерело: Gervais et al., 2017[49]]

Перешкоди	Можливості
• Фінансова перешкода: Значні інвестиції у відновлення, витрати на переробку хвостовиків порівняно з вартістю руди • Геотехнічна та хімічна стабільність зон накопичення хвостів, що суперечить зберіганню для майбутньої переробки • Технічні проблеми з вилученням руди, а також з класифікацією та переміщенням хвостів • Сприйняття хвостів рудників як відходів • Екологічні проблеми: Оскільки повторне відкриття рудника є невизначеним, існує бажання забезпечити відновлення ділянки.	• Кредити за валоризацію оброблених хвостів рудників • Міжвідомча координація для узгодження нормативних актів щодо управління хвостами рудників • Угоди про партнерство щодо обробки хвостів рудників на покинутих майданчиках рудників • Додавання розділу про валоризацію хвостів рудників до посібника з відновлення [56] • Інформація, підвищення обізнаності та освіта для гірничодобувних компаній • Економічні стимули (наприклад, податки, кредити, субсидії, знижені транспортні тарифи) • Суворіші стандарти для рудничних стічних вод • Технологічний розвиток для відстеження, переміщення й обробки хвостів рудників; програми підтримки інновацій • Соціальний тиск та корпоративний імідж

Поточна ситуація. У Квебеку гірничодобувна діяльність в останні роки призвела до утворення значної кількості хвостів, з якими потрібно поводитися раціонально, і розглядається питання про відновлення для кількох покинутих рудничних ділянок. Однак наявність кислотогенних хвостів обмежує потенціал і вимагає короткострокових відновлювальних робіт для пом'якшення впливу на навколишнє середовище. Крім того, після відновлення зони зберігання хвостів стає економічно важко видобувати цінні руди.

У Південній Америці компанії експлуатували хвости колишніх рудників. А на своїй шахті Kittila у Фінляндії компанія Agnico Eagle зберігає свої золотовмісні хвости окремо.

Rio Tinto Iron and Titanium розглядає свою порожню породу як своє друге техногенне родовище на руднику Тіо, розташованому в Havre-Saint-Pierre. На руднику Éléonore компанії Goldcorp матеріал, багатий на сульфіди, був відокремлений від матеріалу, бідного на сульфіди, у двох окремих камерах.

Техніко-економічний паспорт

Хвости гірничодобувних підприємств класифікуються на чотири групи відповідно до етапів розробки металорудного родовища [57, 58]:

- *Розкриті породи* – це шар матеріалу, що покриває руду. Вони накопичуються в певному місці. Здебільшого вони інертні та не становлять небезпеки для навколишнього середовища, але можуть спричиняти проблеми з простором. Вони не мають економічної цінності.

- *Пуста порода*, виробництво якої є прямим наслідком видобутку руди, вміст металу в якій занадто низький, щоб її видобуток був економічно вигідним. Тому їх зберігають у відвалах – шламосховищах, які можуть стати дуже великими, особливо для відкритих кар'єрів.

- *Хвости збагачувальних фабрик*, які викидаються на етапі збагачення. Вони проблематичні з екологічної точки зору, оскільки складаються з дрібних частинок невиділеної руди, які часто реагують з киснем і водою. Іноді вони потребують обробки перед зберіганням. Ці хвости депонуються у хвостосховищах.

- *Технологічний шлам*, що утворюється в результаті переробки хвостів, зберігається у спеціально розроблених ємностях на місці.

- *Плавильний шлак* – це специфічний тип окислених гірничодобувних відходів плавильних заводів, які іноді накопичуються на руднику під час випалу на місці або поблизу плавильного заводу. Ці відходи можуть бути дуже токсичними.

Застосовані технології. Існує декілька діючих та майбутніх підходів до зберігання [59]:

- *Звичайні хвостосховища* є найпоширенішою формою управління ними. Оснащені дамбами, вони ізолюють хвостові відходи від навколишньої екосистеми шляхом стримування. Руйнування дамби становить значний екологічний ризик, який необхідно враховувати. Геохімічна стабільність хвостових відходів також може бути проблемою.

- *Методи згущення* хвостових відходів стають все більш поширеними завдяки ширшому спектру низьковитратних технологій. Згущені хвостові відходи мають високу концентрацію твердих речовин та покращені еластичні властивості. У довгостроковій перспективі техніка згущення зменшує витрати на управління, будівництво дамб та відновлення завдяки меншому використанню води. Ця техніка також зменшує площу землі та зменшує кількість води, якою потрібно керувати.

- *Кучне вилуговування* – це метод вилучення металів (таких як мідь) з руди. Він передбачає розміщення подрібненої руди на непроникній мембрані та зрошення її реагентом, який сприяє розкладанню мінералів та захопленню потрібного металу. Хвости можна відновити, але іноді ні. Ці відвали стикаються з проблемами фізичної та хімічної стабільності.

- *Вилуговування на місці* – це менш поширена техніка, яка передбачає закачування реагентів на місці в руду, що цікавить, для розчинення потрібних мінералів у розчині для подальшого видобутку та переробки. Ця техніка підходить, наприклад, для родовищ міді. Стимування потенційних забруднювачів, мобілізованих у ґрунтових водах, може становити довгостроковий ризик.

- *Сухе засипання вироблених порожнин* пухкими відкладеннями та хвостами – це техніка відновлення, що застосовується до відкритих кар'єрів.

Цей тип об'єкта необхідно швидко відновлювати та покривати, щоб мінімізувати проникнення води та вплив на навколишнє середовище. Слід зазначити, що сухе засипання підвищує фізичну стабільність цих конструкцій, а також хімічну стабільність матеріалу, що зберігається. Однак збільшення об'єму видобутої породи збільшує займаний об'єм і, таким чином, може збільшити витрати на обробку, транспортування та зберігання.

Виснаження руди та зростання попиту на метали стимулюють розробку нових гідрометалургійних технологій для вилучення певних металів з низькосортних руд, неконсолідованих родовищ та хвостів рудників[60].

Економічне вилучення міді з низькосортної руди вимагає недорогих методів обробки, таких як вилуговування на місці та купчасте вилуговування. Однак дослідження демонструють 40% вилучення міді з борніту (Cu_5FeS_4) та халькозину (Cu_2S) за 18 днів. Коефіцієнт вилучення може досягати 80% за 150–210 днів.

Що стосується вилучення міді з халькопіриту (CuFeS_2) за допомогою цих методів, то для низькосортної мідної руди (0,1–0,5% Cu) це може зайняти роки [60].

Визначення досліджуваного сценарію. Таким чином, сценарій стосується вилучення міді з хвостів рудника шляхом *біовилуговування*. У 2015 році дослідження, проведене на залізній шахті в Ірані, встановило можливість вилучення дорогоцінних металів (міді, нікелю, кобальту, заліза) шляхом біовилуговування [61].

На цьому руднику шкідливими елементами в руді є сульфіди металів (пірит і халькопірит). Ці сульфіди відокремлюються від оксидів заліза за допомогою процесу зворотної флотації, в результаті чого утворюються хвости з низьким вмістом міді, нікелю та кобальту.

Попередні дослідження показали, що вилучення цих металів з хвостів неможливо здійснити традиційними методами. Біовилуговування має великий потенціал для вилучення цих металів з низькосортних, складних поліметалічних сульфідних руд [61]. Метод є технічно здійсненним, відносно простим, екологічно чистим і приводить до низьких експлуатаційних витрат [61].

Технічні параметри. Експерименти показують вилучення/відновлення 72% міді, 61% нікелю, 36% кобальту та 49% заліза з хвостів рудника (протягом 30 днів, з пульпою, що містить 5% твердих речовин, у присутності мікроорганізмів та при контрольованому pH) (табл. 3.5).

Мінералогічний склад хвостів вказує на початковий вміст міді 0,16% у формі халькопіриту [61].

**Параметри – Правильне зберігання рудничних хвостів
для подальшого видобутку (Джерела: [61-63])**

Металевий склад хвостів	Вміст металу в хвостах	Вилучення металу методом біовилуговування	Вилучення металу з хвостів методом вилуговування	Ціна металу за тону	Всього за тону оброблених хвостів	Всього за тону вилученої міді	Орієнтовна вартість біовилуговування	Чистий прибуток на тону вилученої міді
	(%)	(%)	(%)	(\$/т)	(\$/т)	(\$/т Cu)	(\$/т Cu)	(\$/т Cu)
Cu	0,160	72	0,115	5 825	7	6,090	1,395	4,695
Ni	0,078	61	0,048	-	-			
Co	0,044	36	0,016	-	-			
Fe	56,820	49	27,842	87	24			

Економічні параметри. Враховуючи лише відновлення міді за допомогою процесу біовилуговування, без урахування прибутків, пов'язаних з відновленням заліза, нікелю та кобальту, кожна тонна оброблених хвостів дає 7 доларів США, виходячи з ринкової ціни на мідь (травень 2017 року). Вилучення однієї тонни міді за допомогою цього методу дає прибуток у розмірі 6090 доларів США. Враховуючи:

- що цей процес необхідно додати перед зберіганням відходів;
- що поточні ціни на біовилуговування коливаються від 400 до 1400 доларів США за тону відновленої міді;
- технологічний прогрес дозволяє застосовувати цей метод для руд із вмістом міді менше 0,4%;
- вилучення міді з хвостів становить 0,115%; та
- експлуатаційні витрати оцінюються в \$1395 на тону міді [62, 63].

Чистий прибуток від цієї нової технології становить \$4695 на тону видобутої міді. До цього слід додати зниження витрат на відновлення рудника (менше хвостів для зберігання та менша небезпека) та вигоди, пов'язані з вилученням інших металів (нікелю, кобальту та заліза). Крім того, дослідники зазнача-

ють, що тверді речовини, отримані після біовилуговування, були проварені для отримання сполуки з вмістом заліза понад 56% та менше 2% сірки, яку можна було б продавати як джерело заліза (що може покращити економічний аспект процесу).

Техніко-економічне моделювання

Ця стратегія не моделювалася, головним чином через недостатній рівень деталізації моделі та відповідні висновки, вже отримані під час огляду літератури (розрахунків прибутковості).

Потенціал циклічності. Важко кількісно оцінити фактичний потенціал циклічності цієї стратегії. Це вимагало б знання, серед іншого, кількості існуючих хвостосховищ, їхнього складу та потенціалу їх видобутку. Тим не менш, можна стверджувати, що такий потенціал існує, зокрема, враховуючи видобуток руд, відмінних від тих, що були основою початкової гірничої діяльності.

Технологічна та економічна доцільність. Згідно з випадком, описаним у літературі [61], низькі експлуатаційні витрати методу видобутку металів з хвостосховищ після початкових інвестицій можуть зробити ці підходи економічно оптимальними, особливо для металів зі значною ринковою вартістю. Однак важко зробити загальне твердження.

Стратегія 3 – Міський видобуток корисних копалин

Концепція міського видобутку корисних копалин стосується металу, який можна видобувати з міст [64].

Дійсно, значна частина металів знаходиться в міських районах, чи то у виробках, чи то у спорудах (наприклад, залізниці, будівлі, мости). Міський видобуток корисної сировини може стати альтернативою традиційному рудничному видобутку корисних копалин.

Аналіз перешкод та можливостей, проведений Gervais et al. [49], підсумовано нижче та в табл.3.6.

Релевантність. Щоб бути релевантною, ця стратегія повинна бути конкурентоспроможною з традиційним видобутком корисних копалин. Якщо метали, що підлягають видобутку, широко розкидані по території, вартість збору та переробки може швидко зрости [49].

Переешкоди та можливості – Міський видобуток корисних копалин
[Джерело: Gervais et al. [49]]

Переешкоди	Можливості
• Складна характеристика родовищ: кількість, виведена на ринок, склад та термін служби • Сталь, мідь та літій, що переважно використовуються • Власність та юридичні аспекти • Витрати • Еволюція продукту проти рентабельності інвестицій для переробників	• Дослідницька підтримка для документування родовищ та економічних моделей • Інтернет речей для покращення відстеження продуктів та їхніх металів • Близькість переробних компаній до джерел вторинних матеріалів • Внесення змін до законів та нормативних актів, що дозволяють відновлення покинутих продуктів або інфраструктури • Субсидії для переробних компаній • Перспективне дослідження потреб у металі

Найперспективнішими міськими родовищами у Франції є: велике промислове обладнання, що містить сплави, системи освітлення, електричне та електронне обладнання, автомобілі та обладнання для виробництва електричної, вітрової або сонячної енергії [64]. Для інфраструктури та будівель термін служби довший, але кількість матеріалів більша.

Доцільність. Міський видобуток корисних копалин має три основні характеристики, які відрізняють його від традиційного геологічного видобутку [64]: 1) він розосереджений по всій території, 2) його фізико-хімічний склад може бути складнішим, особливо для продуктів, що містять електронні компоненти, та 3) кількість та якість родовищ змінюються відповідно до комерційного циклу продуктів, старіння яких іноді може бути дуже швидким. Тому міський видобуток корисних копалин повинен адаптуватися до цих змін. Інформація, необхідна для прийняття рішень щодо міського видобутку корисних копалин, повинна враховувати всі потоки та запаси певної речовини протягом усього ланцюжка створення вартості.

Поточний стан. Концепція міського видобутку корисних копалин як джерела стратегічних металів є відносно новою [64]. Дослідження проводяться Ін-

новаційним центром міського видобутку корисних копалин, нещодавно створеним в Університеті Британської Колумбії, Ванкувер.

У Франції основна увага приділяється потокам металів (переробка), ніж запасам металів (міський видобуток корисних копалин), оскільки інформація про потоки є більш доступною.

Слід розглянути дослідження для кращого документування поточних та потенційних міських родовищ, динаміки їхньої доступності з часом та їхньої економічної доцільності, залежно від видів та цінності металів (рис. 3.2, 3.3).

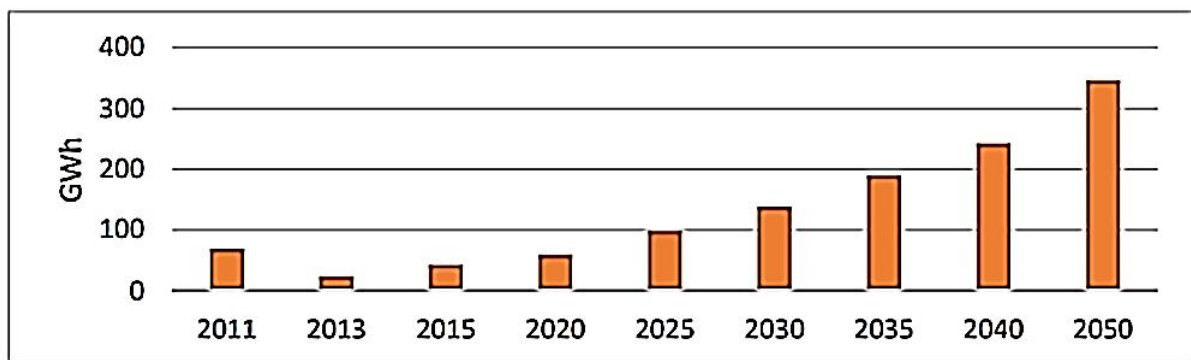


Рис. 3.2. Електроенергія, вироблена зі шлаку та споживана в промисловому секторі як альтернативна гірничодобувній [35]

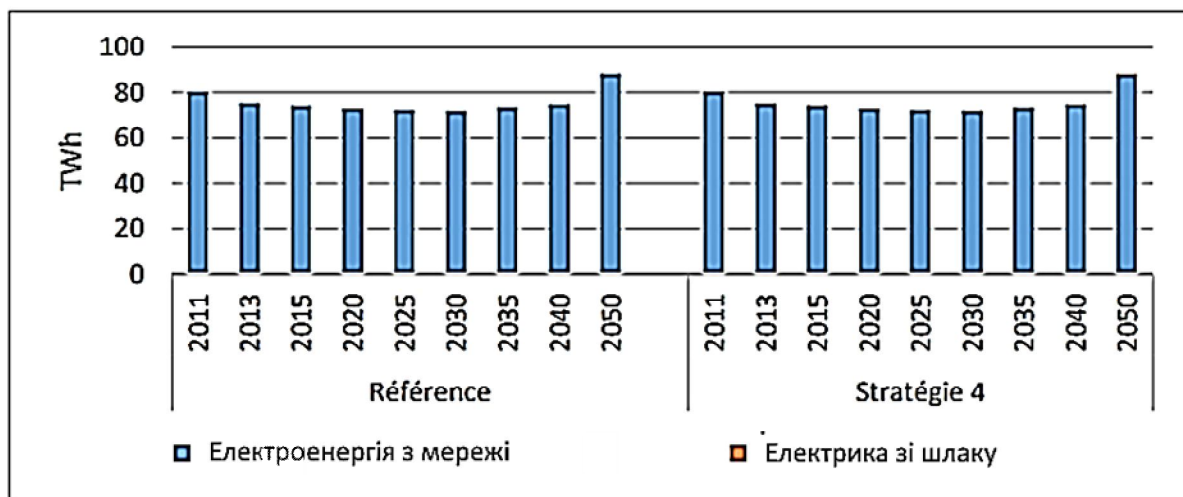


Рис. 3.3. Джерела електроенергії, споживані в промисловому секторі [35]

Інші з відмічених на початку розділу стратегії визначаються стереотипно. Тому ми наведемо з них найбільш показові дані.

Стратегія 4. Переробка та промисловий симбіоз

Первинна металургія заліза та сталі виробляє шлак, який також називають дроссом, який можна повторно використовувати для інших цілей, тоді як первинна металургія міді виробляє анодний шлам, що містить дорогоцінні метали. Переробка та промисловий симбіоз цих двох побічних продуктів вже існують у Квебеку.

Стратегія 5 – Адитивне виробництво

Адитивне виробництво, також відоме як 3D-друк, дозволяє використовувати лише необхідні матеріали, друкувати складні деталі без необхідності використання всього обладнання, характерного для традиційних виробничих процесів, а також полегшує ремонт металевих деталей за допомогою лазерного плавлення або використання металевих порошків (рис. 3.4).

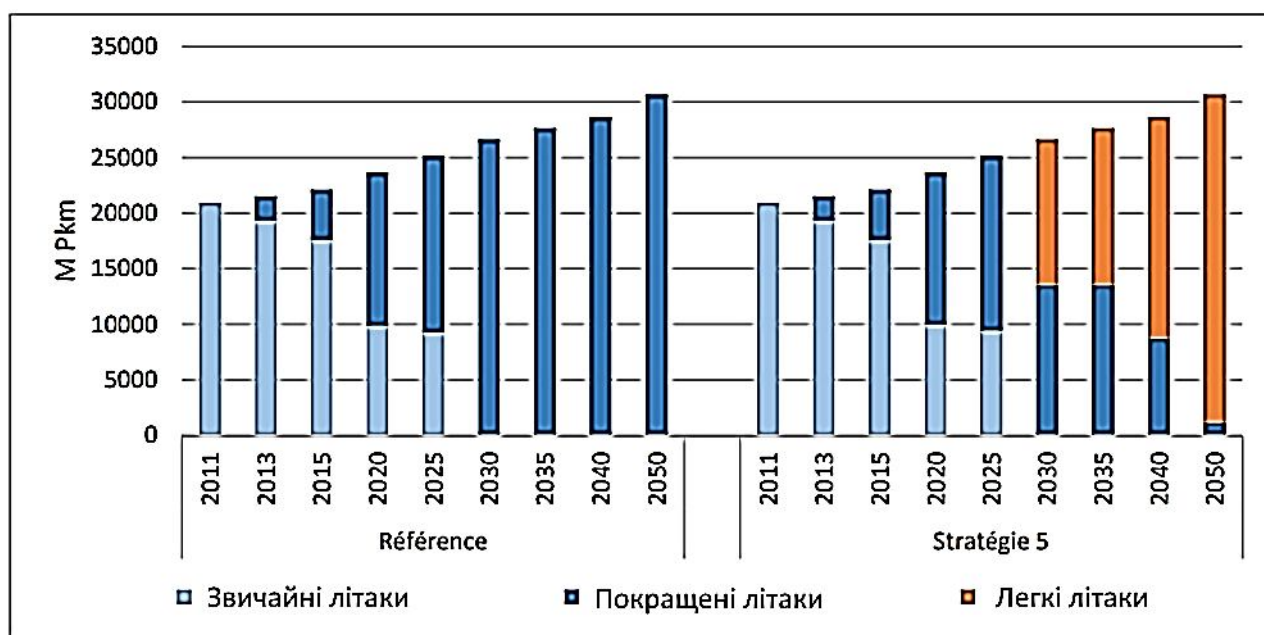


Рис. 3.4. Технології, що використовуються для задоволення попиту на пасажирські авіаперевезення за стратегії 5 [35]

Стратегія 6 – Переробка заліза

У Квебеку компанії вже збирають, сортують та обробляють продукцію із заліза, а потім відправляють її на сталеливарні заводи для плавлення. Автомобілі становлять значну частину переробленої сталі; тому цей сектор зазвичай розглядається окремо (рис. 3.5).

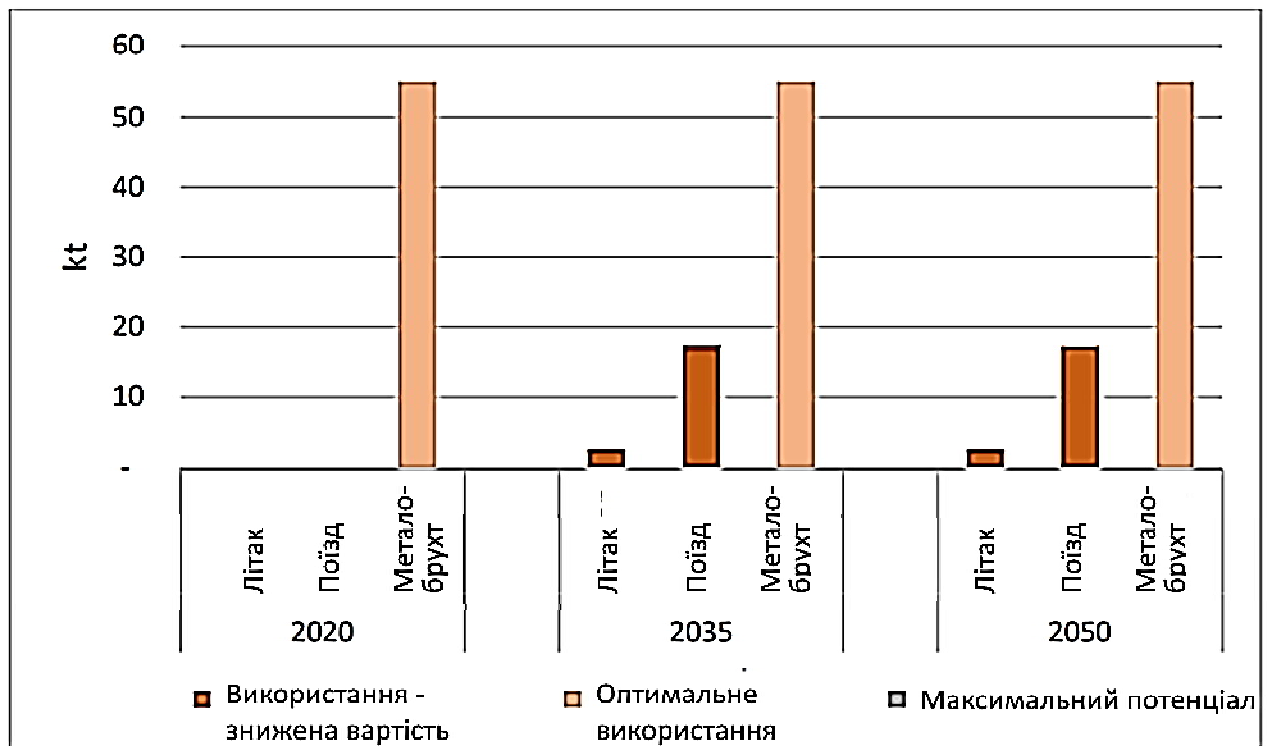


Рис. 3.5. Використання сировини для виробництва переробленої сталі [35]

На рис. 3.6 порівнюється загальна кількість використаної сировини (літаки, поїзди, металобрухт) з кількістю сталі та інших металів, перероблених за сценарієм зі зниженими витратами.

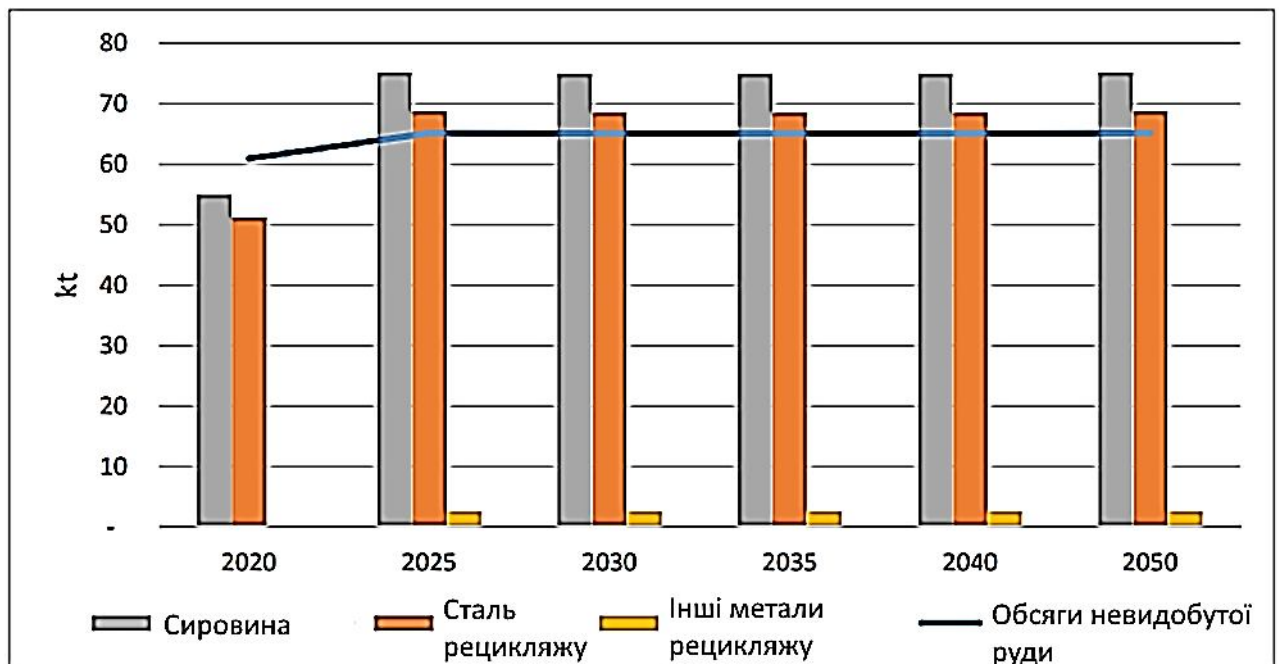


Рис. 3.6. Використання сировини, виробництво сталі та інших перероблених металів і невидобуті руди [35]

Різниця між сумою вхідних даних та сумою вихідних даних впливає з ефективності методу переробки металобрухту, який містить лише 89,8% сталі, придатної для переробки. Для двох інших процесів втрати розраховуються ап-ріорі. Вироблені метали – це перероблена сталь (96,3%) та інші метали (3,7%), переважно алюміній з літаків. Ці стратегії дозволяють уникнути видобутку 65 тис. тон залізної руди (що містить 30% залізного концентрату) щорічно між 2025-2050 рр.

На рис. 3.7 показано типи сировини, що використовується для виробництва сталі за сценарієм зі зниженими витратами. Навіть враховуючи максимальний потенціал, кількість переробленої сталі, яку можна отримати з різних джерел сировини, є мінімальною порівняно із загальним попитом на сталь та сталю, яка вже виробляється в існуючих процесах із заліза, виробленого в Квебеку, та вже переробленого брухту.

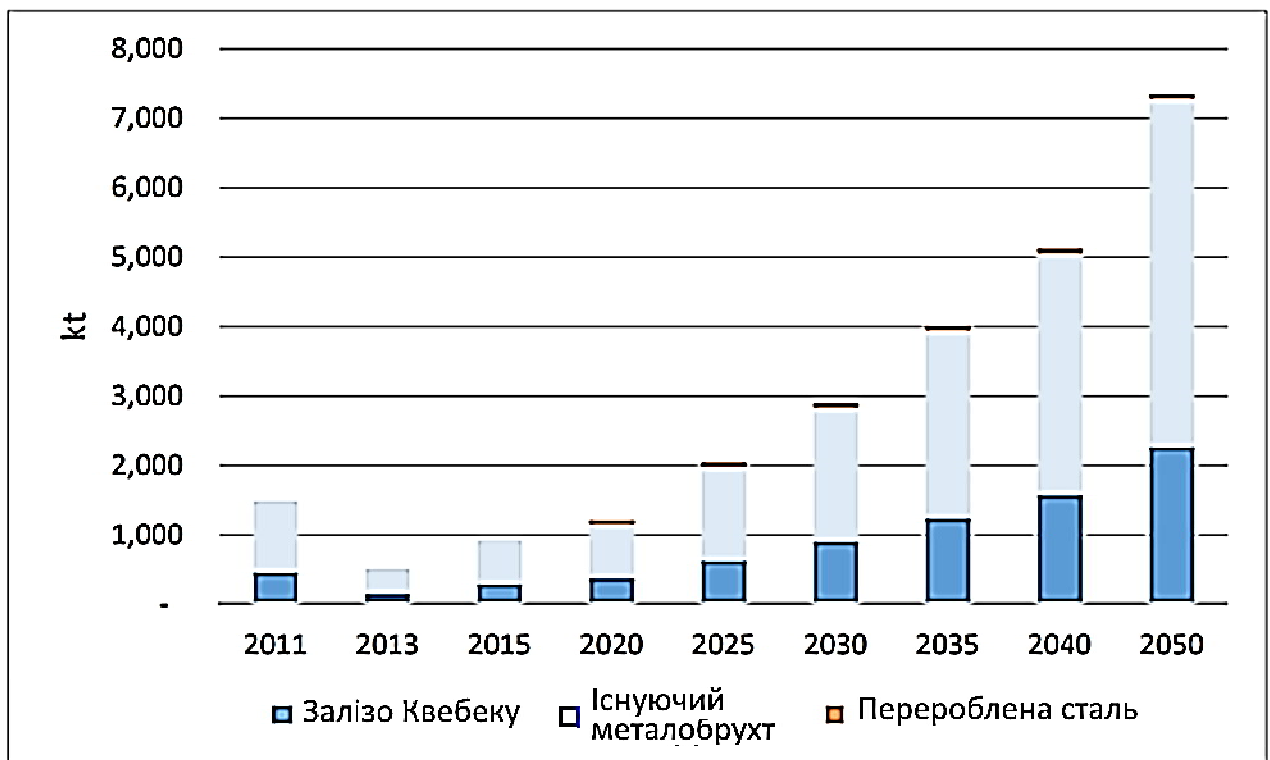


Рис. 3.7. Джерела сировини для виробництва сталі [35]

Стратегія 7 – Переробка міді

Аналіз перешкод та можливостей для цієї стратегії не проводився через відмову ключових зацікавлених сторін від участі.

Переробка міді є дуже актуальною стратегією, враховуючи її значну економічну цінність на ринку.

Сектор відновлення, сортування та переробки вже добре налагоджений у Квебеку, особливо для міді, отриманої із залишків подрібнення транспортних засобів [49] (рис. 3.8).

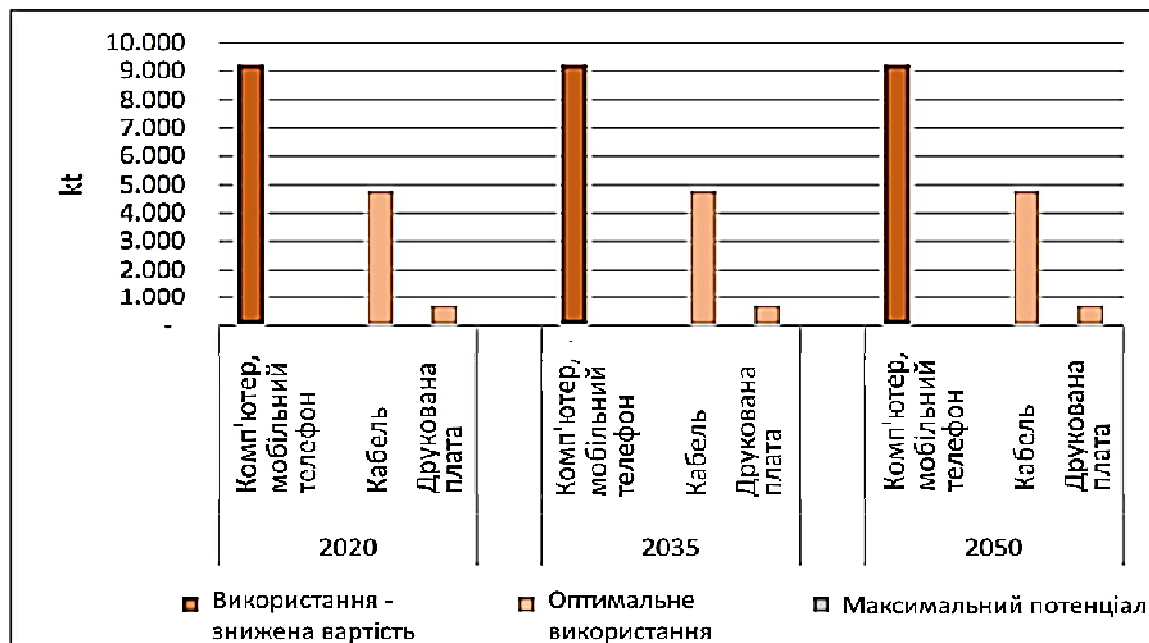


Рис. 3.8. Використання сировини для виробництва переробленої міді [35]

На рис. 3.9 порівнюється загальна кількість використаної сировини (комп'ютери, мобільні телефони, кабелі, друковані плати) з кількістю міді та інших металів, що переробляються за сценарієм зі зниженими витратами.

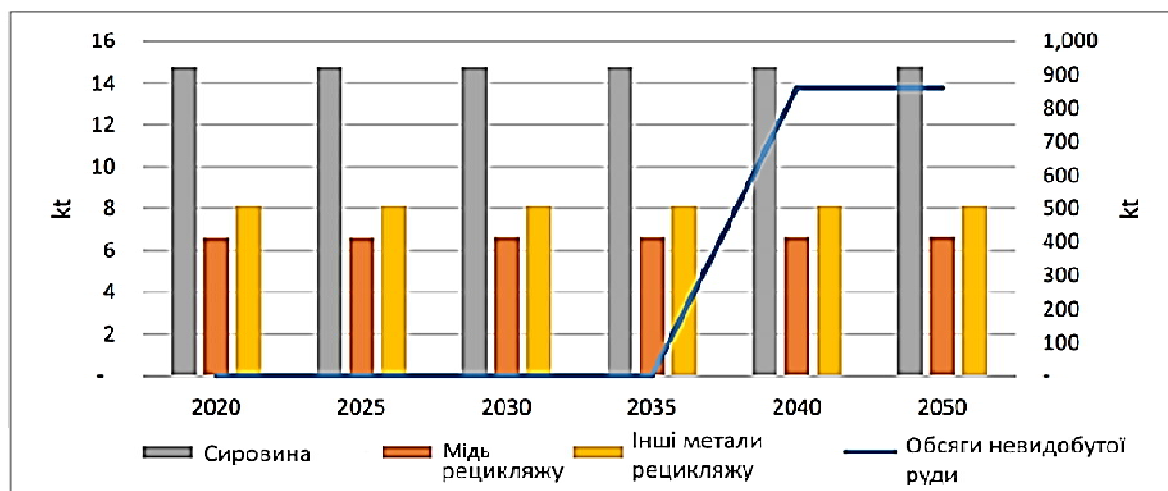


Рис. 3.9. Використання сировини, виробництво переробленої міді та інших металів і невидобуті руди [35]

Вироблені метали – це перероблена мідь (44,9%), сталь з комп'ютерів (55,1%) та дорогоцінні метали (0,02%).

і стратегії дозволяють уникнути видобутку 859 тис. тон руди (що містить від 0,5% до 2,0% міді) щорічно між 2040 та 2050 роками. Дійсно, перероблена мідь дозволяє замінити видобуток міді з ймовірних запасів, де витрати вищі, але не з розвіданих запасів.

У короткостроковій перспективі вигоди, пов'язані з цією стратегією, в першу чергу пов'язані зі скороченням імпорту мідного концентрату (до 26%) на 21 тис. тонн між 2020 та 2040 роками.

На рис. 3.10 показано типи сировини, що використовується для виробництва мідних катодів у сценарії зі зниженими витратами.

Навіть враховуючи максимальний потенціал, кількість переробленої міді, яку можна отримати з різних джерел сировини, є мінімальною порівняно із загальним попитом на мідні катоди та катоди, що вже виробляються в існуючих процесах з анодів, вироблених у Квебеку, та імпортованих анодів.

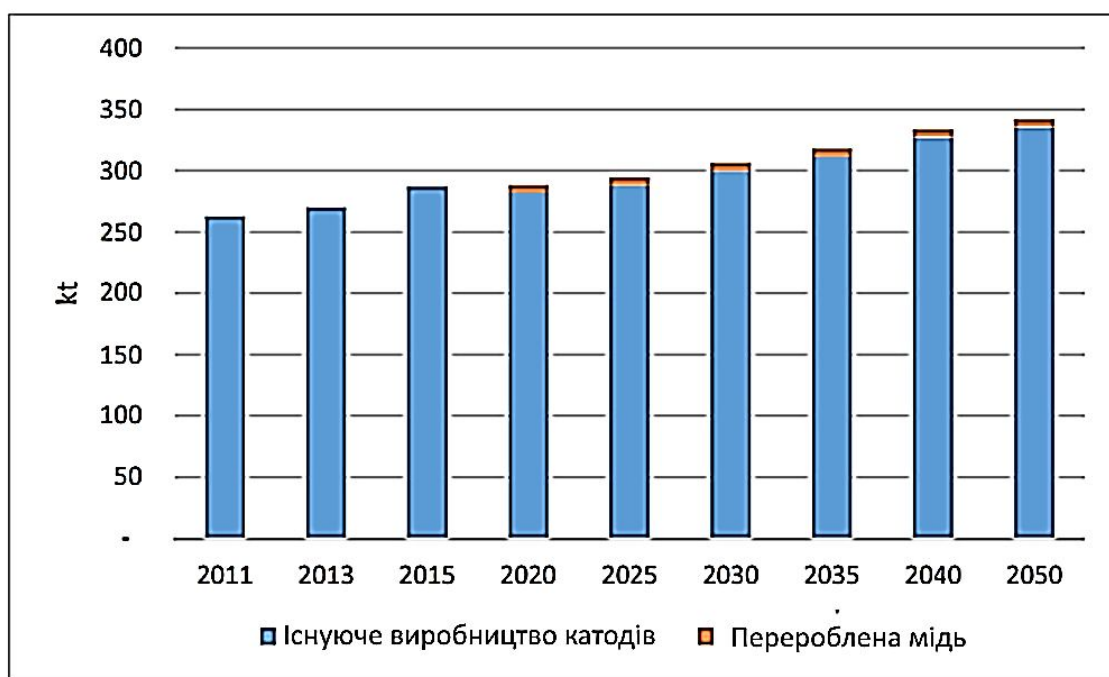


Рис. 3.10. Джерела сировини для виробництва мідних катодів [35]

Стратегія 8 – Переробка літію

Переробка літію в основному стосується того, що міститься в літій-іонних аккумуляторах, але він також присутній у склі та кераміці.

Актуальність. Завдяки проектам видобутку літію в Квебеку та виробництву катодів або акумуляторів (Johnson Matthey Battery Materials, Blue Solutions Canada), Квебек має хороший потенціал позиціонувати себе в літієвій галузі, особливо в контексті електрифікації транспорту.

Сценарій, що включає можливість переробки літію з літій-іонних акумуляторів у транспортних засобах та електронних пристроях, а також зі скляної тари, порівнювався з еталонним сценарієм (рис. 3.11).

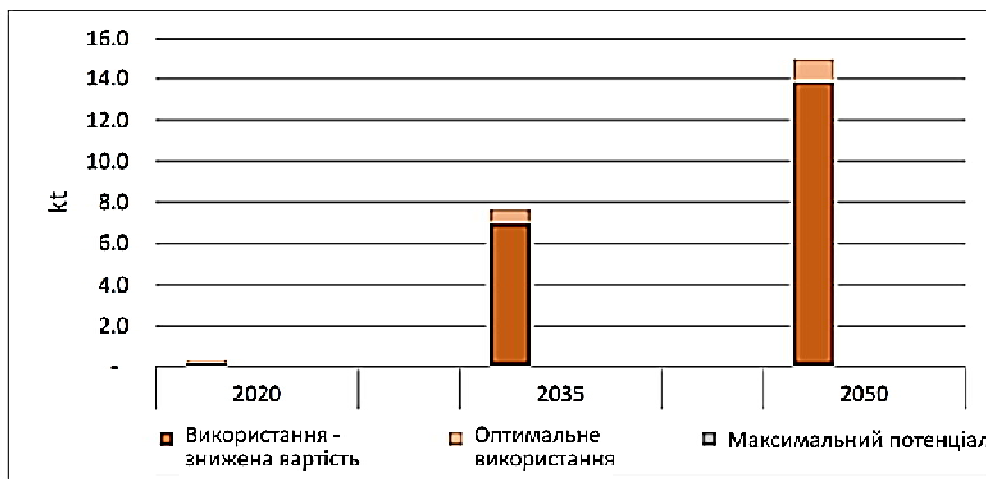


Рис. 4.11. Використання сировини для виробів з переробленого літію [35]

Моделльне рішення показує, що переробка літій-іонних акумуляторів з транспортних засобів та електронних пристроїв є економічно оптимальною стратегією, але без досягнення її максимального потенціалу та без урахування транспортних витрат. Однак, зниження експлуатаційних витрат лише на 10% дозволяє досягти максимального потенціалу (до 0,15 тис. тон у 2050 році).

З іншого боку, переробка скляної тари не є оптимальним варіантом. Для того, щоб цю стратегію вважали частиною оптимального рішення, необхідне значне зниження витрат, а кількість літію, який можна переробити, є мінімальною.

На рис. 3.12 порівнюється загальна кількість використаної сировини (літій-іонних акумуляторів та скла) з кількістю літію й інших металів, перероблених за сценарієм зі зниженими витратами. Вироблені метали – це перероблений літій (6,8%) та інші метали (93,2%), такі як алюміній, кобальт, нікель та мідь. Ці

стратегії дозволяють уникнути видобутку 16,3 тис. тон руди (що містить приблизно 1,5% літію) у 2050 році.

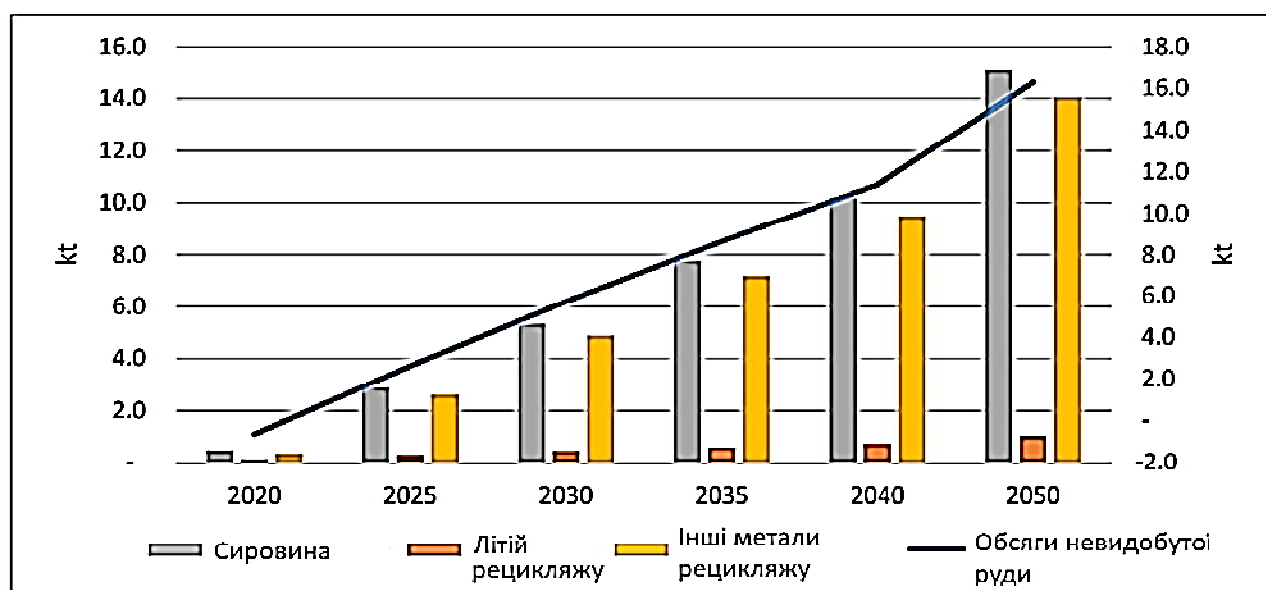


Рис.3.12. Використання сировини, виробництво переробленого літію та інших металів, а також невидобута руда [35]

На рис. 3.13. показано типи сировини, що використовується для виробництва літію за сценарієм зі зниженими витратами. Кількість переробленого літію, яку можна отримати з різних джерел сировини, все ще є значною відносно загального попиту.

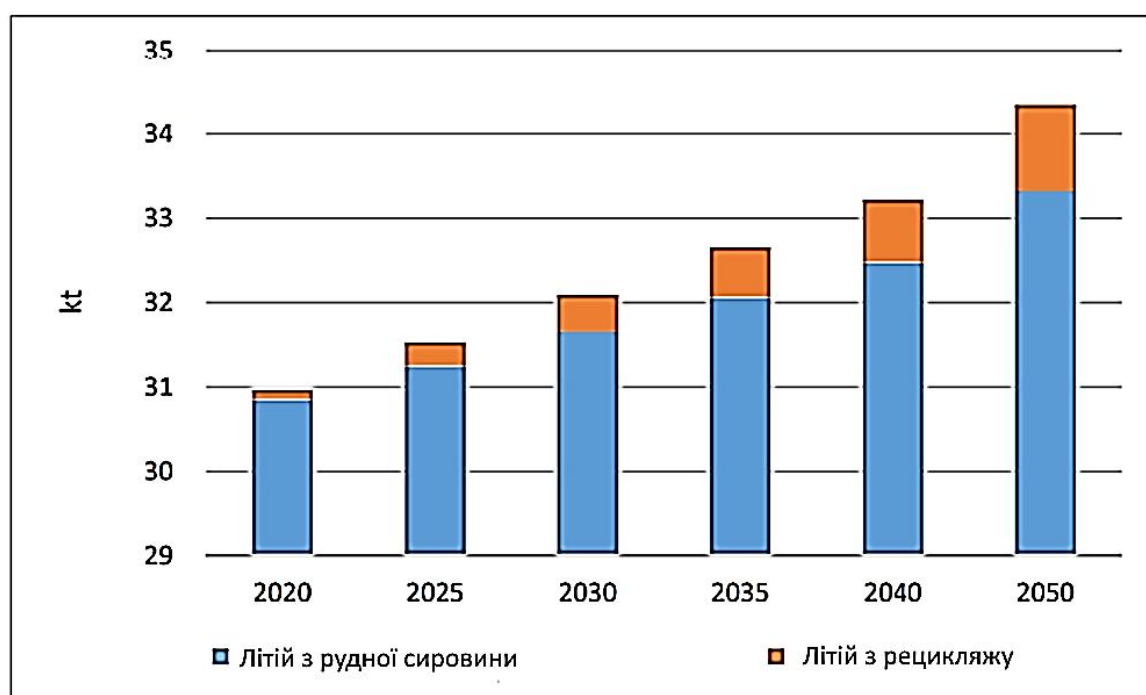


Рис. 3.13. Джерела сировини для виробництва літію [35]

Стратегія 9 – Модульність механічного та промислового обладнання

Механічне та промислове обладнання, яке здебільшого містить залізо та мідь, становить значну кількість готової продукції, що імпортується до Квебеку. Прикладами є машини та пристрої для охолодження, пакування, підйому, завантаження/розвантаження й обробки, а також несамохідні снігоприбиральні машини. Модульність цих машин та пристроїв, призначених для виконання кількох функцій або продовження терміну їх служби, оптимізує використання металів, які вони містять.

Стратегія 10 – Екодизайн сталевих конструкцій

У Канаді 45% заліза (сталі) використовується в будівництві споруд та інфраструктури [65]. Враховуючи тривалий термін служби будівель та інфраструктури, однією з передових стратегій є екодизайн сталевих конструкцій з метою повторного використання.

Це включає використання болтових, а не зварних з'єднань для можливості демонтажу, використання стандартних з'єднань, уникнення покриттів та, де це можливо, використання балок великого прольоту для можливості подальшого різання.

Стратегія 11 – Вибіркове демонтування будівель та інфраструктури

Вибіркове демонтування будівель та інфраструктури передбачає послідовне видалення компонентів з будівлі або інфраструктури з метою отримання якомога більшої кількості елементів, придатних для повторного використання та переробки, для інших будівельних майданчиків [66]. У секторі будівництва, реконструкції та знесення метали, як правило, відновлюються досить ефективно. Найбільш проблемними матеріалами є гіпс та асфальтова черепиця, ринки збуту яких обмежені.

Стратегія 12 – Екодизайн транспортних засобів

Дорожні транспортні засоби, а також поїзди, човни та літаки здебільшого містять залізо (сталевий корпус), мідь (двигун, проводка) та, у випадку електромобілів, літій (акумулятор). Екодизайн стосується таких елементів: легкість і міцність, розбирання, модульність, можливість переробки та низьке енергоспоживання. У ширшій сфері сталої мобільності поточні дискусії зосереджені пе-

реважно на електрифікації транспорту, а також на формах спільного використання транспортних засобів, включаючи карпулінг та каршерінг. Саме ці останні аспекти були найбільше розглянуті в техніко-економічному аналізі.

На рис. 3.14 показано кількість транспортних засобів (малих та великих автомобілів) для всіх сценаріїв.

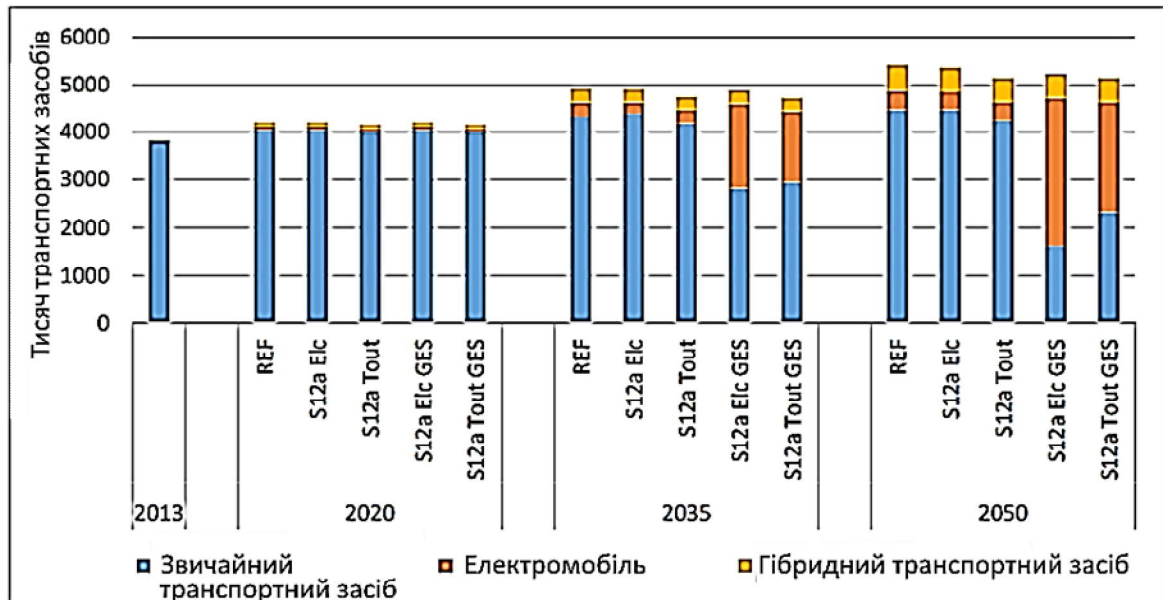


Рис. 3.14. Кількість транспортних засобів у стратегії каршерінгу [35]

Спільні електричні та підзаряджувальні гібридні транспортні засоби є частиною оптимального рішення, щойно вони стають доступними. Однак наявність будь-якого типу спільного транспортного засобу має більший вплив на загальну кількість транспорту на дорогах, а отже, і на кількість придбаних автомобілів. У 2050 році загальна кількість транспортних засобів на дорогах зменшиться порівняно з базовим сценарієм на 0,9%, коли спільні транспортні засоби будуть лише електричними та підзаряджувальними гібридними, але на 5,0%, коли можна буде спільно використовувати також звичайні транспортні засоби. Тому вплив на споживання палива є незначним, оскільки збільшення кількості спільних електричних та підзаряджувальних гібридних транспортних засобів відбувається за рахунок індивідуальних електричних та підзаряджувальних гібридних, а не звичайних з бензиновим двигуном. Без будь-яких особливих стимулів для купівлі електромобілів, початкова вартість яких завжди трохи вища,

ніж у звичайних транспортних засобів, їх присутність на дорогах не обов'язково сприяє існуванню клубів каршерінгу.

На рис. 3.15 показано кількість транспортних засобів (малих та великих автомобілів) для всіх сценаріїв. Спільне використання транспортних засобів завжди є частиною оптимального рішення з максимальною місткістю, коли це можливо (за сценарієм S13a), і сприяє зменшенню загальної кількості транспортних засобів на дорогах на 5,0% порівняно з базовим рівнем 2050 року.

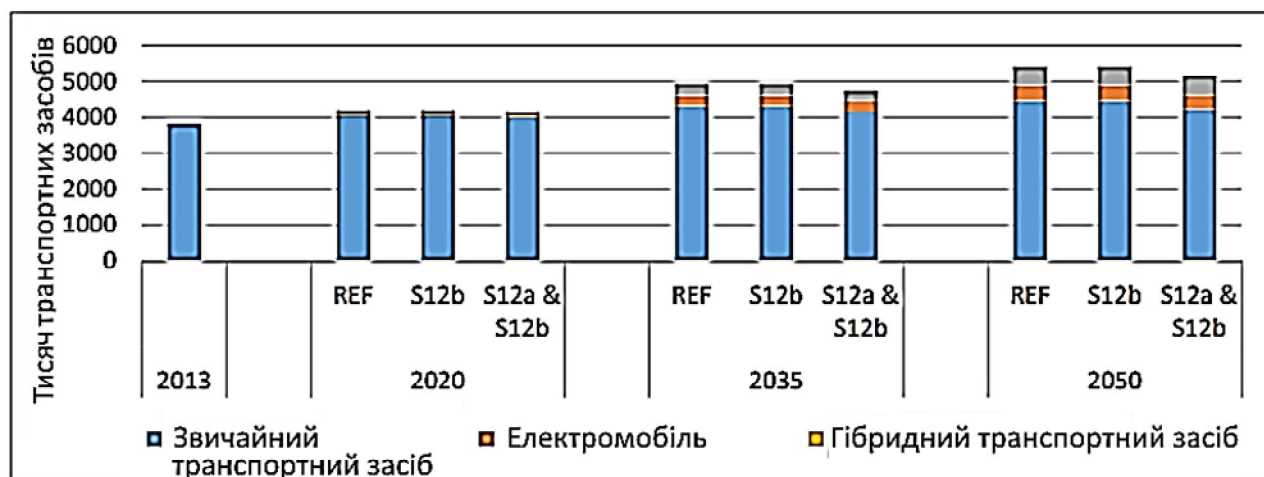


Рис.3.15. Кількість транспортних засобів у стратегії з використанням легших матеріалів та спільного використання автомобілів [35]

Вплив на споживання пального є більш значним зі збільшенням використання легших, більш паливоефективних транспортних засобів (рис.3.16).

Загальне споживання зменшується на 2,7% порівняно з базовим рівнем у 2050 році.

Обидві підстратегії відіграють певну роль в оптимальному рішенні. Однак слід зазначити, що оптимальне рішення моделі для базового сценарію вже передбачає інвестиції в більш ефективні транспортні засоби, зокрема ті, що відповідають стандартам CAFE.

Це пояснює невелике збільшення споживання енергії (19,2%) між 2013 і 2050 роками за базовим сценарієм, незважаючи на збільшення попиту на транспортні засоби (малі та великі автомобілі) на 41,2% за той самий період (на основі прогнозів попиту на енергетичні послуги, встановлених для базового сценарію).

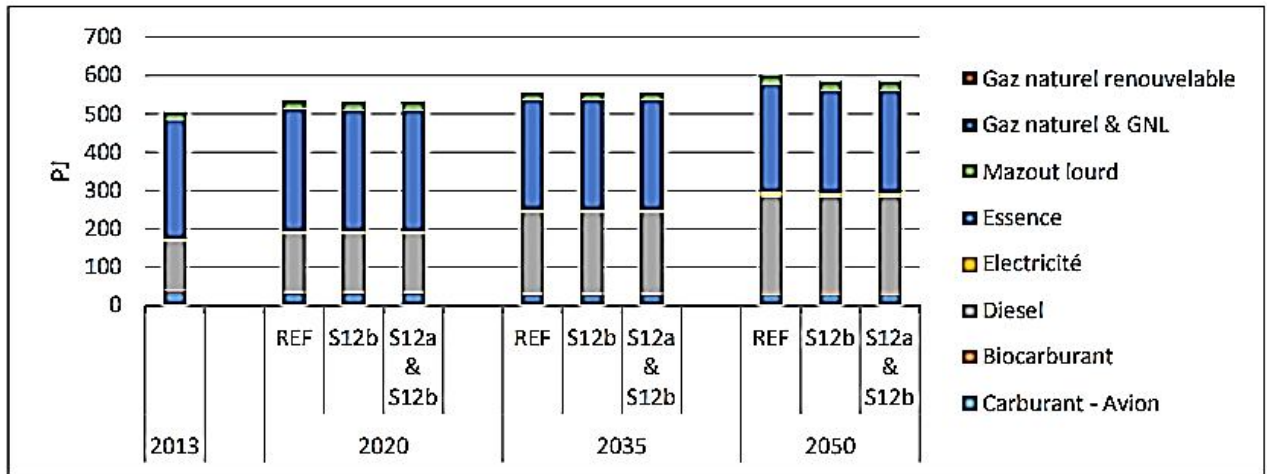


Рис.3.16. Споживання енергії в стратегії використання легших матеріалів та спільного використання автомобілів [35]

Стратегія 13 – Зберігання енергії за допомогою використаних літій-іонних акумуляторів

Ця стратегія стосується повторного використання літій-іонних акумуляторів після закінчення терміну їхньої служби в гібридних та електричних транспортних засобах (мобільне застосування) для накопичення енергії (стаціонарне застосування). За конкурентних цін системи, що використовують зношені батареї, очевидно, замінять всю (100%) частку ринку систем, що використовують нові батареї (рис. 3.17).

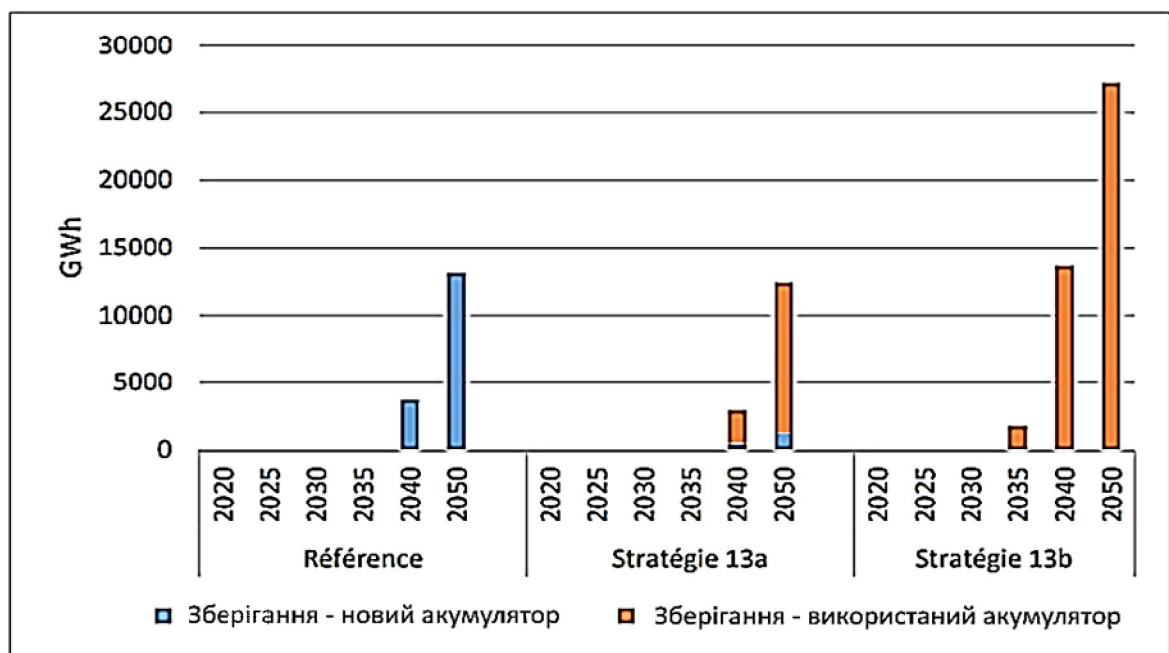


Рис. 3.17. Децентралізоване зберігання сонячної електроенергії на рік залежно від типу системи [35]

Використання систем зберігання енергії загалом потім зростає відповідно до зниження вартості виробництва децентралізованої сонячної електроенергії. Обсяги зберігання відповідають загальному обсягу електроенергії, що зберігається (до втрат) протягом року. На рис.3.18 показано сезонні та добові коливання на 2050 рік за сценарієм S13a.

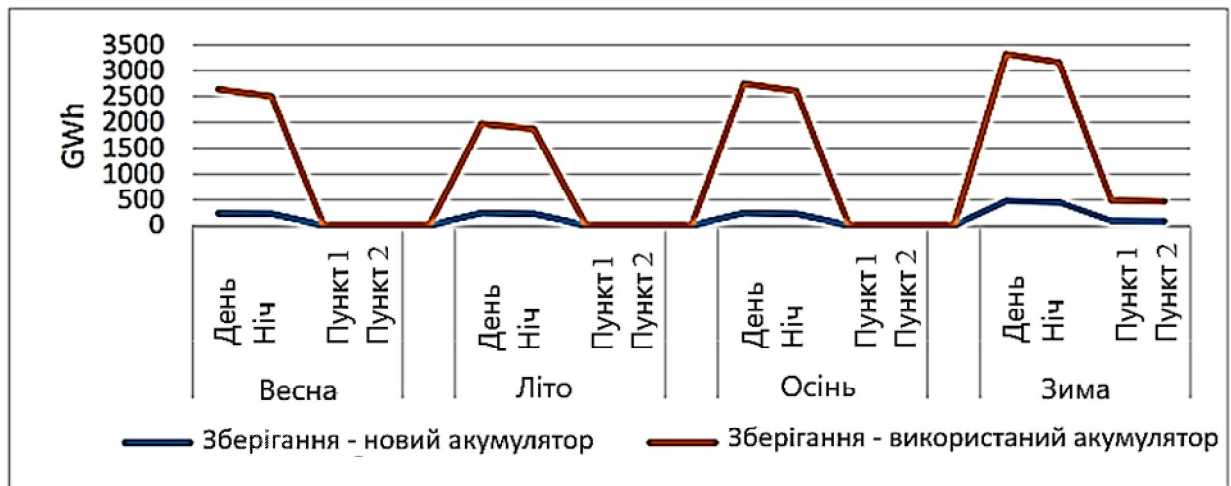


Рис. 3.18. Децентралізоване накопичення сонячної електроенергії за періодами 2050 року, залежно від типу системи [35]

Хоча поширенню децентралізованої сонячної енергії вже сприяє очікуване зниження довгострокових витрат у базовому сценарії, подальше зниження допомагає посилити цю тенденцію (рис.3.19). Однак це зниження витрат не матиме ефекту до 2035 року.

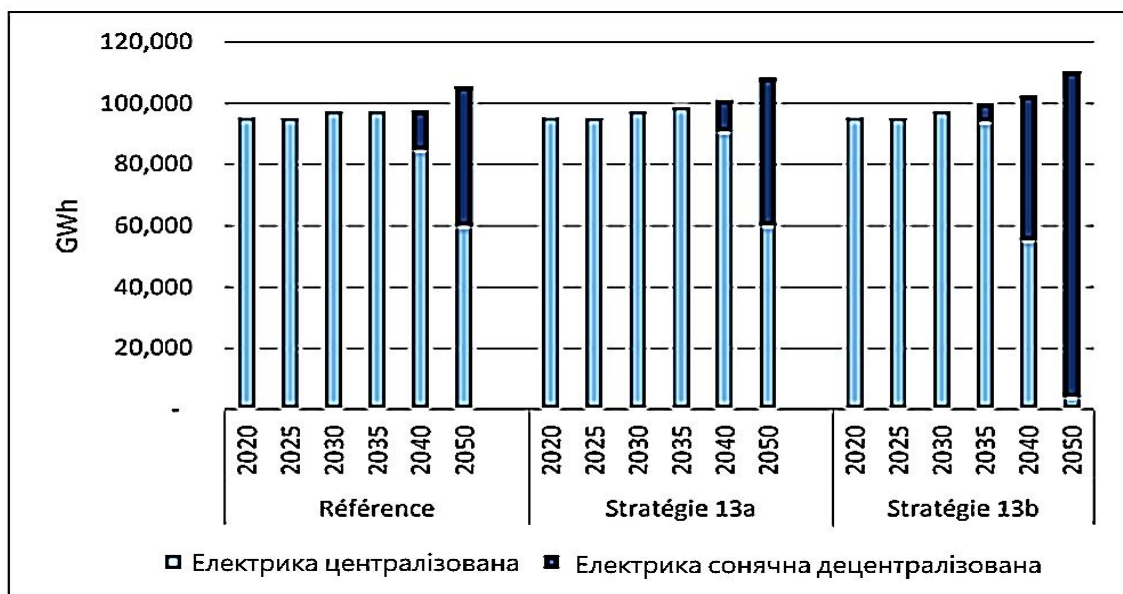


Рис.3.19. Проникнення децентралізованої сонячної електроенергії в житловому та комерційному секторах [35]

Висновки за розділом 3

У цілому розглянутий підхід є досить ефективним, але потребує адаптації.

Зрештою, було б доцільно проаналізувати сценарії, використовуючи модель NATeM, спрямовані на мінімізацію кількості видобутої руди та враховуючи всі стратегії. Ці сценарії дозволять краще визначити пріоритети стратегій, ніж під час їх аналізу окремо. Крім того, такий підхід дозволить визначити загальний потенціал циклічності для гірничодобувного регіону, що виникне в результаті повного впровадження всіх стратегій для трьох досліджуваних металів, і, що ще важливіше, визначити, чи компенсує цей потенціал необхідність збільшення первинного видобутку руд для задоволення зростаючого попиту.

Перший етап включав документування та інтеграцію ланцюжка створення вартості трьох металів у техніко-економічну модель NATeM для встановлення базового сценарію. Ця завершена модель дозволяє вимірювати й оптимізувати потоки металів та інших матеріалів, а також споживання енергії та викиди парникових газів, пов'язані з цими галузями промисловості. Моделювання існуючої діяльності з видобутку корисних копалин, первинної переробки й обробки металу в Квебеку, а також їх прогнози з часом, є важливим завданням, що передує фактичному аналізу стратегії. Другий етап зосереджувався на документуванні самих стратегій циркулярності шляхом: а) огляду літератури, спрямованого на кількісну оцінку техніко-економічних параметрів кожної стратегії в контексті Квебеку, представленого у вигляді інформаційного листа, та б) моделювання найкраще задокументованих стратегій та їх варіантів за допомогою техніко-економічної моделі NATeM.

Зрештою, аналіз містить короткий виклад потенціалу циркулярності кожної стратегії з точки зору кількості: скільки металу повертається в обіг і скільки тон руди можна уникнути з видобутку, впроваджуючи стратегію. Обговорення потенціалу циркулярності, таким чином, стосується, як кількості металу, що повторно використовується, так і кількості металу, який потенційно не видобувається після впровадження стратегії. На основі цього підсумку кожній стратегії призначено потенційний індекс.

Розділ 4

ГНУЧКІ СИСТЕМИ ВІДКРИТИХ РОЗРОБОК ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИ ЗМІНАХ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1. Загальні положення

Гнучкі технології для відкритих гірничих робіт включають системи дистанційного керування, такі, наприклад, як MineStar Command від Toromont Cat, яка дозволяє керувати окремими машинами або цілими парками обладнання, а також універсальні рішення для обробки матеріалів, такі як Manitou, що адаптуються до різних завдань завдяки змінному навісному обладнанню.

Інші ключові технології включають моніторинг у режимі реального часу, управління парком обладнання та автоматизацію, зокрема систему MineStar Health, яка контролює обладнання, та MineStar Fleet, яка відстежує технологічні операції. Аналіз даних та оптимізоване планування за допомогою передового програмного забезпечення також сприяють більшій гнучкості гірничих робіт.

Технології керування та автоматизації

Дистанційне керування та автоматизація: Такі системи, як MineStar Command від Toromont Cat, дозволяють керувати окремою машиною або автоматизувати весь парк обладнання, забезпечуючи велику гнучкість їхнього функціонування.

Управління парком обладнання: MineStar Fleet від Toromont Cat пропонує моніторинг у режимі реального часу, щоб допомогти досягти запланованих виробничих цілей. Моніторинг обладнання: MineStar Health від Toromont Cat збирає дані для оптимізації технічного обслуговування та підвищення надійності машин.

Технології оптимізації та моніторингу

Системи керування та моніторингу: MineStar Terrain від Toromont Cat надає інформацію в режимі реального часу для оптимізації буріння, вибухових робіт та завантаження.

Програмне забезпечення для гірничодобувної промисловості: Такі платформи, як Deswik, RPM MinePlanner, Datamine та Micromine на SafetyCulture[67], забезпечують підтримку планування й оптимізації операцій.

Геотехнічний моніторинг: Система GeoSAR від Chcnav [68] використовує радіолокатор із синтезованою апертурою для моніторингу деформації ґрунту на великих площах, незалежно від погодних умов.

Технології обладнання та технічного обслуговування

Універсальне обладнання: Універсальне вантажно-розвантажувальне обладнання, таке, наприклад, як Manitou [69], розроблене з різноманітними змінними насадками для виконання різноманітних завдань, від заміни шин до роботи з важкими домкратами.

Спеціалізоване обладнання: Такі машини, як роторні екскаватори, використовуються для великомасштабних родовищ, тоді як вибухові роботи з неглибокими свердловинами підходять для менших або спеціалізованих операцій (за даними Дасвелла).

У даному дослідженні використовуються традиційні та найбільш уживані для гірничої теорії та практики схеми, термінологія і позначення, наведені нижче (рис. 4.1-4.3) [70].

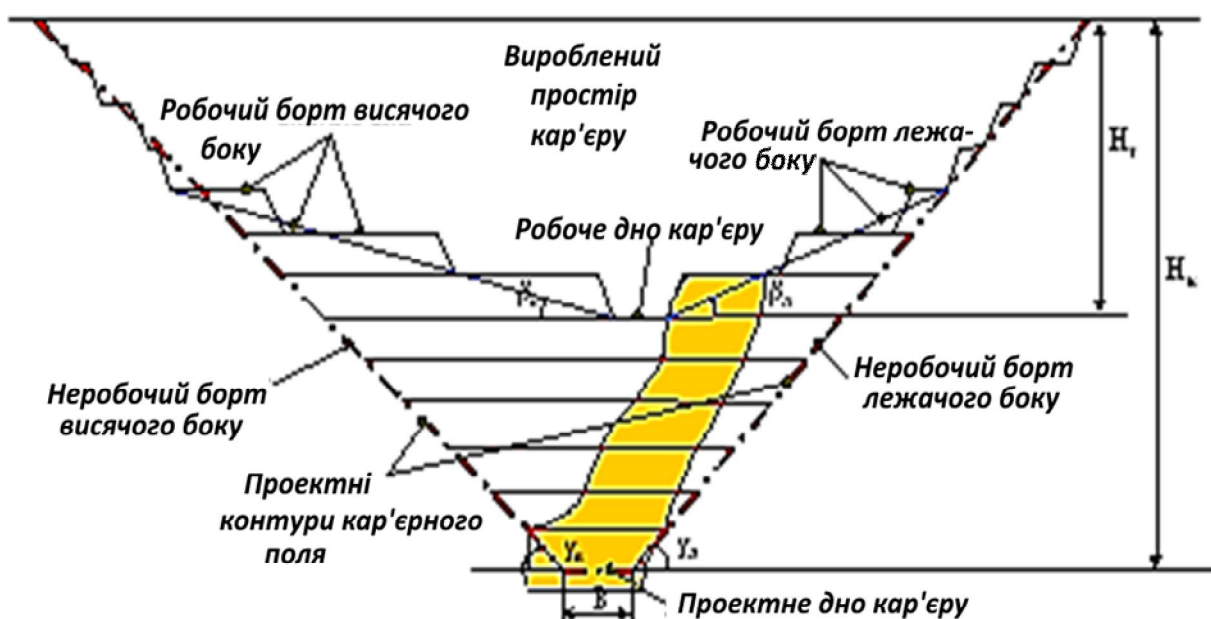


Рис. 4.1. Елементи кар'єру [Джерело: https://studfile.net/html/2706/1276/html_ggX_7ASJEN.I0BC/img-JOerVa.png [71]]

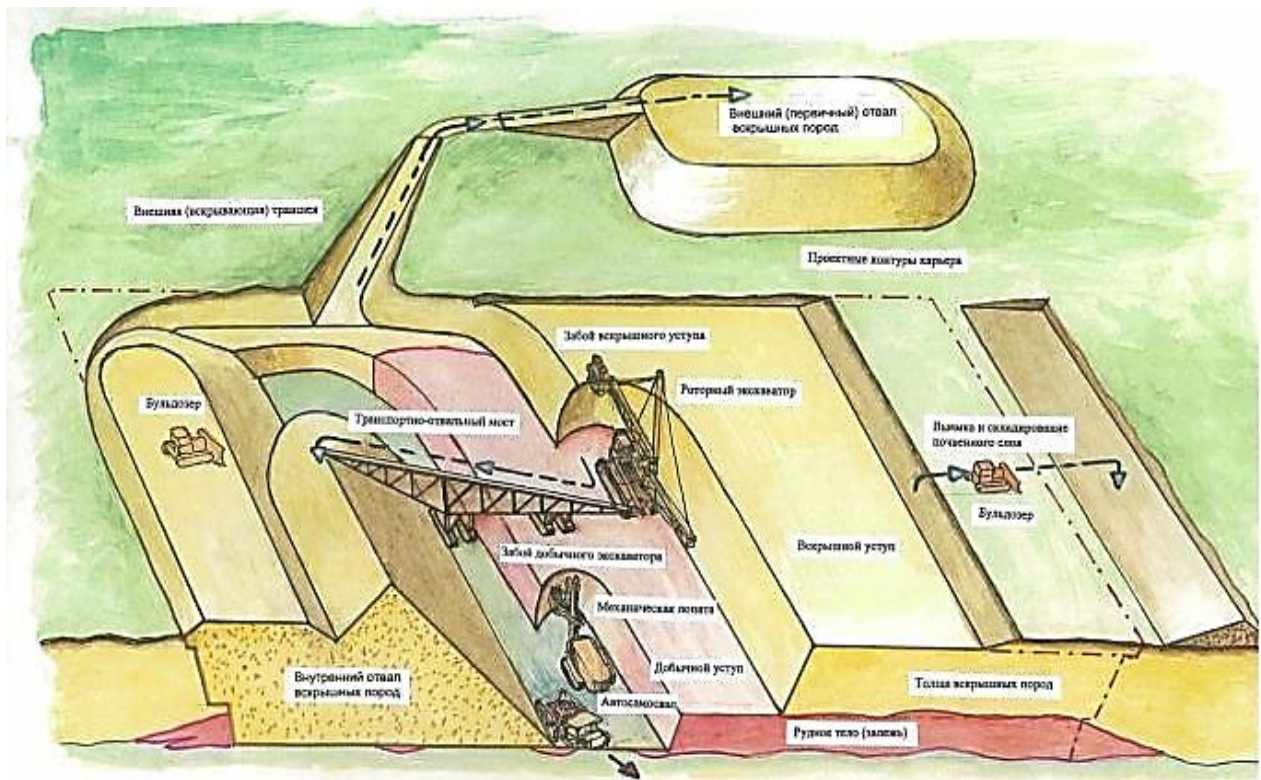


Рис. 4.2. Кар'єр для горизонтальних та крутоспадних родовищ [Джерело: https://studfile.net/html/2706/1276/html_ggX_7ASJEN.I0BC/img-Nt8IkN.jpg [72]]

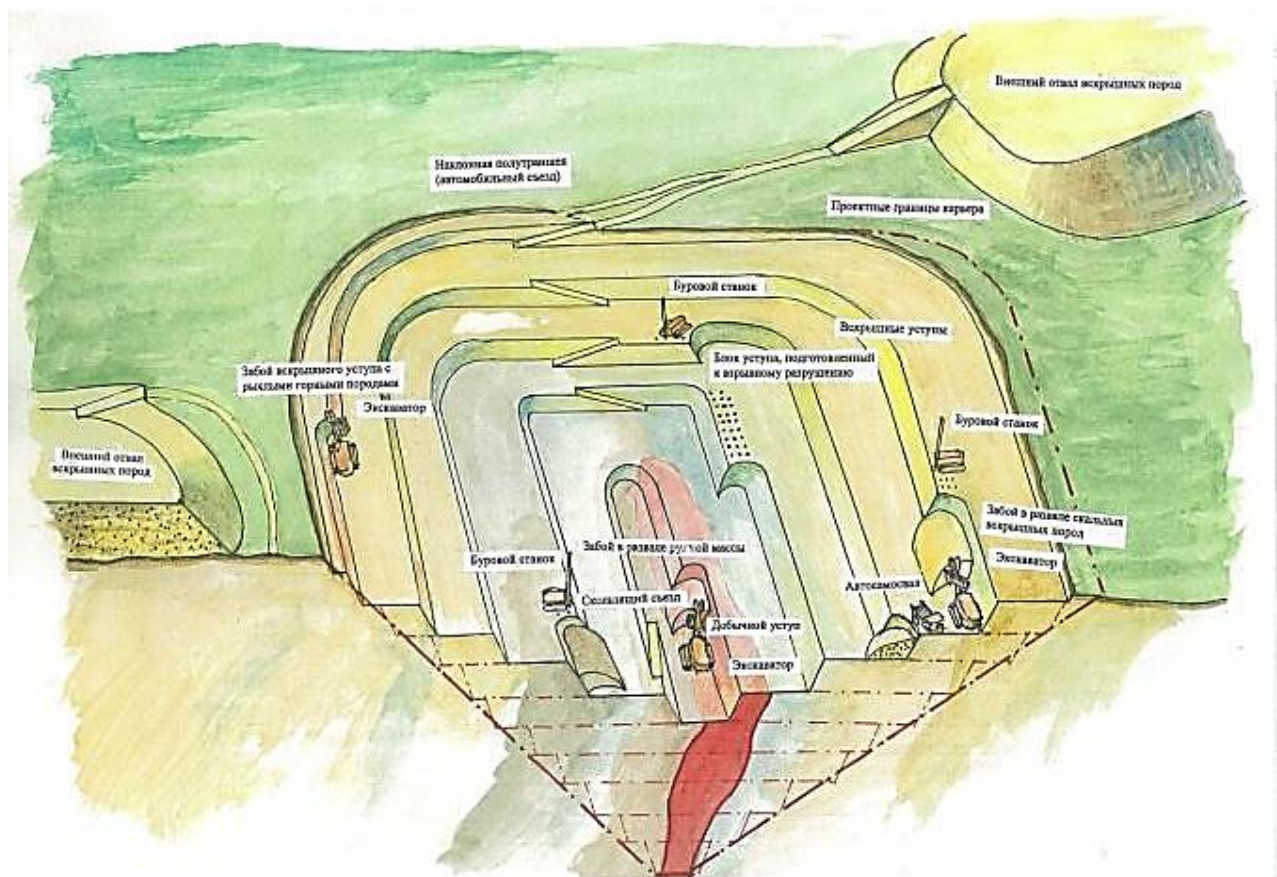


Рис. 4.3. Кар'єр для похилих та крутоспадних родовищ [Джерело: https://studfile.net/html/2706/1276/html_ggX_7ASJEN.I0BC/img-KA8dzS.jpg [73]]
Основні елементи та параметри кар'єру:

H_k – кінцева (проектна) глибина; H_m – поточна глибина; B – проектна ширина дна; γ_v і γ_n – кути нахилу неробочих бортів (висячого та лежачого боків); β_v і β_n – кути нахилу робочих бортів (відповідно, висячого та лежачого боків); розміри по верхньому та нижньому контурах.

Розробка корисних копалин та розкривних гірських порід у межах кар'єрного поля здійснюється шарами – зазвичай горизонтальними, рідше похилими або крутими.

Ці шари в товщі корисних копалин і розкривних порід утворюють ступінчасту форму поверхні кар'єру, кожна ступінь якого є уступом.

Виділяються елементи уступу – нижня та верхня площадки, укіс, торець, верхня та нижня брівки.

Основні параметри уступу – його висота, кут нахилу укосу, ширина нижньої та верхньої площадки.

4.2. Варіативність відкритих технологій при забезпеченні гнучкості параметрів розробки

Після попередніх досліджень, викладених у попередніх розділах, також необхідно поєднати різні методи завантаження так, щоб отримати систему, яка пропонує найкращий компроміс між ціною й експлуатаційними обмеженнями, зокрема екологічними [74].

Цей вибір визначається такими параметрами:

- характер та твердість матеріалів, що видобуваються;
- обсяг виробництва, який потрібно досягти;
- відстань транспортування;
- необхідність подрібнення матеріалів перед вилученням для подальшої обробки;
- можливість створення запасів (товарні матеріали, руди, родючий шар ґрунту) або засипання (порожня порода).

Наразі подібного роду завдання реалізуються комп'ютерними засобами проектування кар'єрів.

Ефективне проектування кар'єрних елементів (бортів, берм, уступів, внутрішніх відвалів, рудних складів, з'їздів та автотранспортних шляхів з означенням екскаваторних блоків і місць маневрування в забоях) виконується за допомогою динамічних Іт-інструментів.

Багатофункціональний інструмент, бажано – універсальний, завждимає бути в кожного з інженерів, які займаються розробкою гірничих проектів, розрахунком параметрів технології й обсягів робіт, вантажопотоків, технологічних комплексів тощо.

Такий модуль обслуговує гірничі проекти різного масштабу, спрямованості та рівня складності.

Цей гнучкий та легко налаштовуваний модуль представляє для проектувальника всі необхідні інструменти, від високомасштабних до детальних елементів: груп уступів, доріг, бортів кар'єрів, поперечних перерізів, з'їздів, ЛЕП, трубопроводів й усіх інших комунікацій та інженерних мереж, а також – погоризонтних планів, блоків, забоїв тощо (рис. 4.4).

З використанням таких або подібних їм модулів створюють 2D-технологічну документацію для розробки родовищ у вигляді алгоритмів та регламенту робіт, як і в САПР.

Гнучкі інструменти прив'язки та редагування проектних рішень у поєднанні з гарячими клавішами стають ідеальним інструментальним комплексом транспортування [75].

Хоча існує багато різноманітних комбінацій, які дозволяють оптимізувати функцію завантаження та транспортування, ми опишемо, як приклади, найпоширеніші, зокрема ті, що застосовують найчастіше використовуване обладнання.

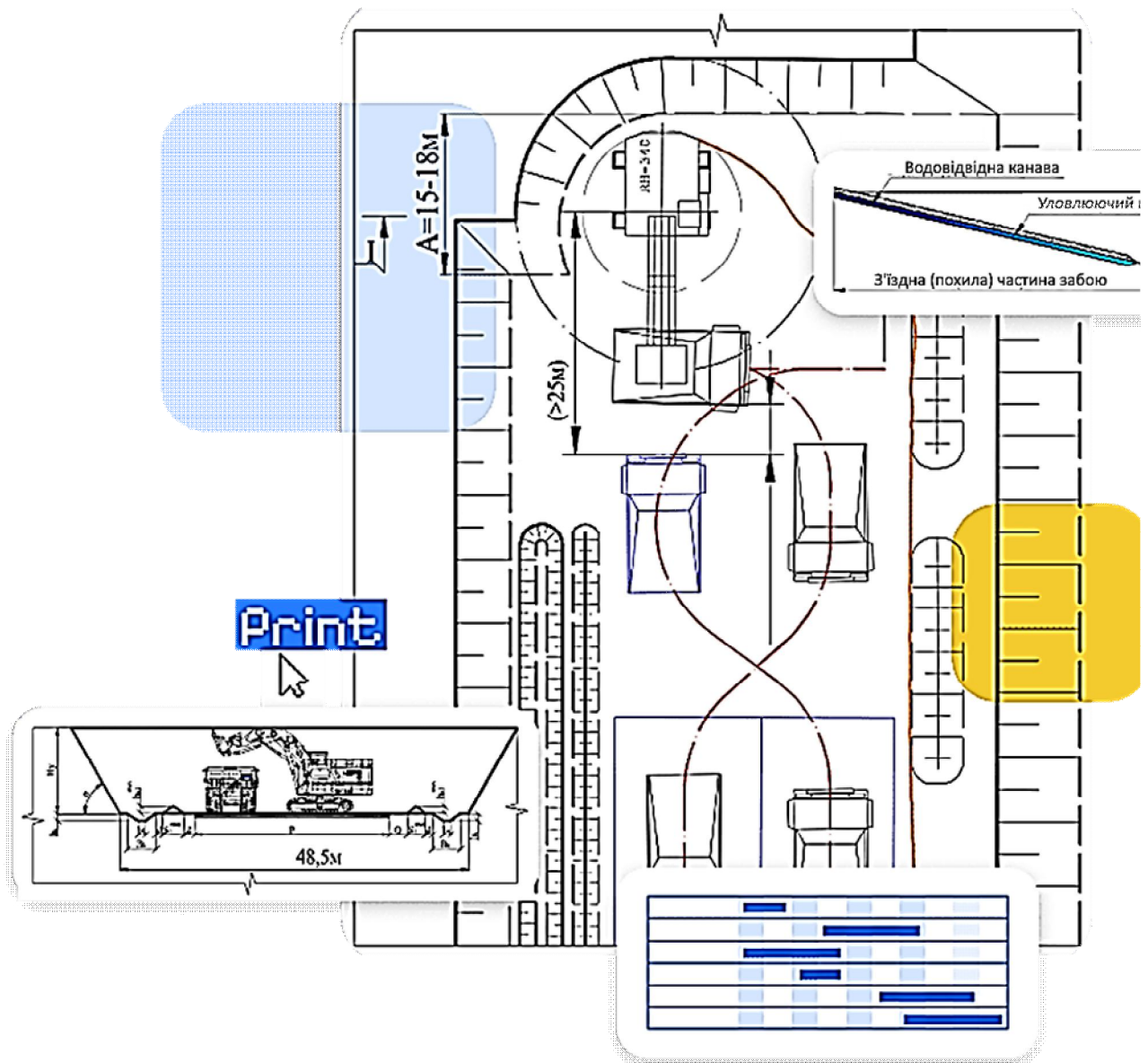


Рис. 4.4. Вибір системи завантаження та транспортування [Джерело: <https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/10/open-pit-06-1.png> [75]]

4.2.1. Скельні породи, що підриваються

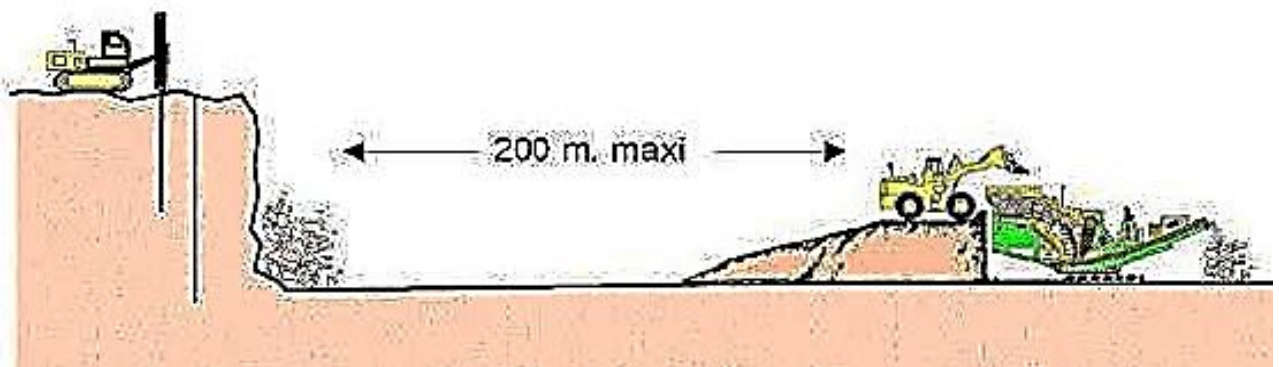


Рис. 4.5. Відстані, менше 200 м – Низька або середня пропускна здатність [74]

Вантажне обладнання також виконує транспортування. У цій конфігурації фронтальний навантажувач відповідного розміру виконує обидві функції.

Це рішення широко використовується в кар'єрах для видобутку щебеню, коли вони оснащені мобільною дробаркою або коли метою є створення запасів змішаних щебенів.

Фронтальний навантажувач пропонує перевагу мобільності та високої швидкості руху, яка може досягати 25 км/год при завантаженні. Він може адаптуватися практично до всіх дорожніх умов.

Економічно доцільне використання навантажувача для завантаження та транспортування зазвичай становить від 150 до 200 метрів, залежно від дорожніх умов.

Коли дорожнє покриття гостре, знос шин значний, і рентабельність такого транспортування швидко знижується. Те саме стосується і поганого стану дорожнього покриття, оскільки кількість рейсів на годину зменшується. Для покращення стійкості на поганих транспортних смугах більшість сучасних самоскидів оснащені системою контролю тангажу.

Однак варто пам'ятати, що досягнення хороших експлуатаційних витрат нерозривно пов'язане з належним обслуговуванням кар'єрних доріг.

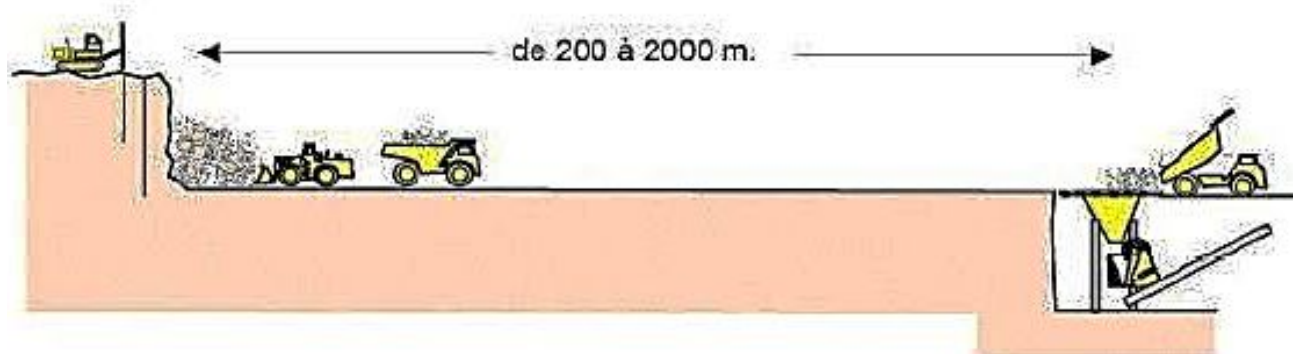


Рис. 4.6. Відстані більше 200 м, але менше 2000 м [74]

Ця діаграма представляє найпоширенішу конфігурацію для середньої та високої пропускної здатності. На відносно рівній місцевості зі схилами, що не перевищують 8-10%, перевагу надають жорстким самоскидам, оскільки вони економічніші у придбанні та менш дорогі в обслуговуванні, ніж шарнірні само-

скиди. Останні призначені для цивільних проектів на мулистому або нерівному ґрунті, або для робіт у гравійних кар'єрах на нестабільних поверхнях з низьким зчепленням.

Вибір вантажного обладнання, екскаватора чи навантажувача, залежить від розміру частинок, щільності та об'єму викопаного матеріалу, а також від якості вантажної зони, включаючи нахил та зчеплення. Ми детально обговоримо ці конкретні умови при вивченні продуктивності цих машин. Ця проста та гнучка система доставки має недолік: вона стає дорогою, як тільки тоннаж, що транспортується, стає значним, а відстань збільшується.

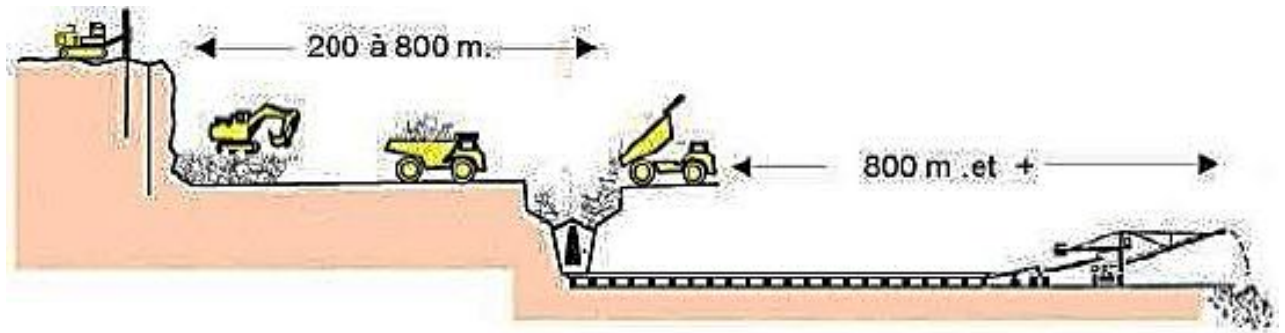


Рис. 4.7. Значні відстані: 1500 м і більше – Висока пропускна здатність [74]

Одна початкова конфігурація передбачає обмеження транспортування самоскидами до розумних відстаней, наприклад, 800 м. Для досягнення цього первинний дробарка регулярно переміщується ближче до вибухових поверхонь. Потім матеріали транспортуються конвеєрами до місць їх використання або обробки. Як правило, в кінці конвеєра створюється буферний запас з автоматичним вилученням через тунель. Ця система забезпечує високий ступінь стабільності поставок і підтримує таку ж гнучкість, як і пряма доставка самоскидами.

Така конфігурація дозволяє забезпечити високу пропускну здатність, що перевищує 1000 т/год, на дуже великі відстані. Як правило, прямі експлуатаційні витрати для кар'єру розподіляються таким чином:

- від 40 до 50% на бурові, вибухові та вантажні роботи
- від 50 до 60% на транспортні операції. Таким чином, транспортування становить значну частину загальних експлуатаційних витрат.

Однак часто спостерігається, що хоча бурові та вибухові роботи ідеально оптимізовані, подальші вантажно-транспортні операції значною мірою не враховуються. Ця аномалія є невиправданою, оскільки, як ми побачимо пізніше, тепер у нас є розрахункові інструменти, необхідні для такого аналізу. Якщо транспортування здійснюється самоскидами, витрачена енергія розподіляється в середньому так:

- 60% для самоскидів
- 40% для вантажного обладнання

Якщо транспортування здійснюється конвеєрними стрічками, енергетичний баланс стає:

- 20% для конвеєра
- 80% для завантаження

Для транспортування 1 тонни на відстань 1 км по рівній місцевості потрібно в середньому 8 літрів дизельного палива самоскидами або 12 кВт конвеєрними стрічками. Загалом, ефективний тонно-кілометр (ТКУ) у 2-4 рази дешевший з конвеєрними стрічками, ніж з самоскидами.

Однак слід пам'ятати, що конвеєрні стрічки будуть вигідними лише за певних умов відстані та пропускної здатності.

Ще один метод, похідний від попереднього, полягає в тому, щоб зробити первинну дробарку мобільною; завантаження потім здійснюється безпосередньо в бункер мобільної установки.

Деякі броньовані моделі можна розмістити в безпосередній близькості від фронту вирубки і таким чином завантажувати безпосередньо гідравлічним екскаватором.

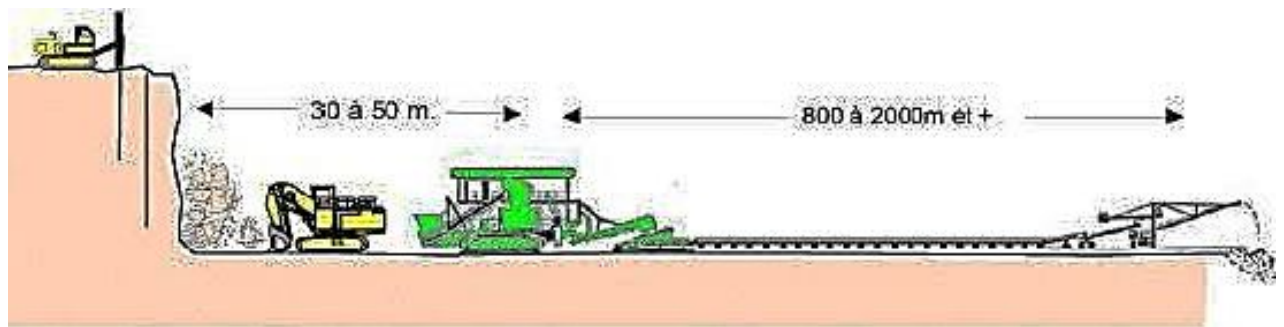


Рис. 4.8. Застосування мобільних дробарок і уступних конвеєрів[74]

Ця техніка розробляється у Франції близько двадцяти років, переважно виробниками цементу у своїх вапнякових кар'єрах. Ця техніка особливо добре підходить, коли:

- родовище має стабільну геометрію та якість, оскільки швидкі зміни точок завантаження ускладнюються
- матеріали все одно повинні бути подрібнені, що вимагає мало або взагалі не потребує пустої породи
- транспортні відстані та необхідна пропускна здатність дозволяють амортизувати високу вартість обладнання та споруд, необхідних для видобутку.

4.2.2. Схеми для порід крихких та схильних до зсуву

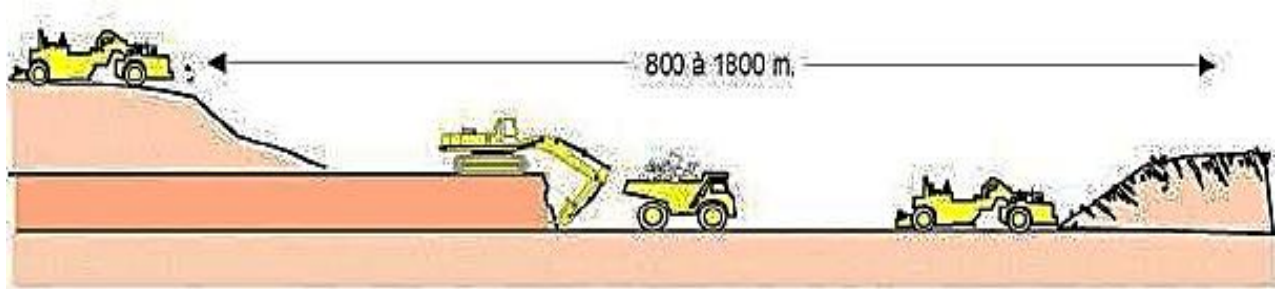


Рис. 4.9. Видалення розкривних порід [74]

Для відносно високої пропускної здатності та відстаней, що перевищують 200 м, механічне очищення (скребкування) є найекономічнішим рішенням. Скрепер працює проходами глибиною від 20 до 25 см, займаючись як вилученням, так і транспортуванням.

Придатність матеріалу для скребкування часто визначається проникненням шин, яке має бути від 2 до 12 см.

Скрепер може бути буксированим, з місткістю бункера від 5 до 20 м³, або самохідним, з місткістю бункера від 5 до 40 м³. Під час фази завантаження бульдозер або інший скрепер часто використовується як штовхач. Це дозволяє швидко заповнювати бункер на короткій відстані.

Швидкість машини на рівній місцевості може досягати 50 км/год, що дозволяє їй досягати високої пропускнуєї здатності на відстанях від 200 до 2000 м. Максимально допустимі градієнти:

Під навантаженням: 12% соло, 20% тандем

Під навантаженням: 6% соло, 12% тандем

Середні характеристики машин, що використовуються у Франції:

Під навантаженням: від 30 до 80 тон.

Корисне навантаження: від 20 до 50 тон.

Потужність: від 300 до 700 кВт

Найефективніші способи використання:

Видобуток верхнього шару ґрунту перед видобувними роботами

Планування доріг та платформ у проектах громадських робіт

Видобуток крихких розкритих порід

Примітка: Розкриття можна проводити після бульдозерування, але рентабельність низька, і цей метод використовується лише в крайньому випадку, коли з екологічних міркувань вибухові роботи неможливі.

Гірничодобувні роботи

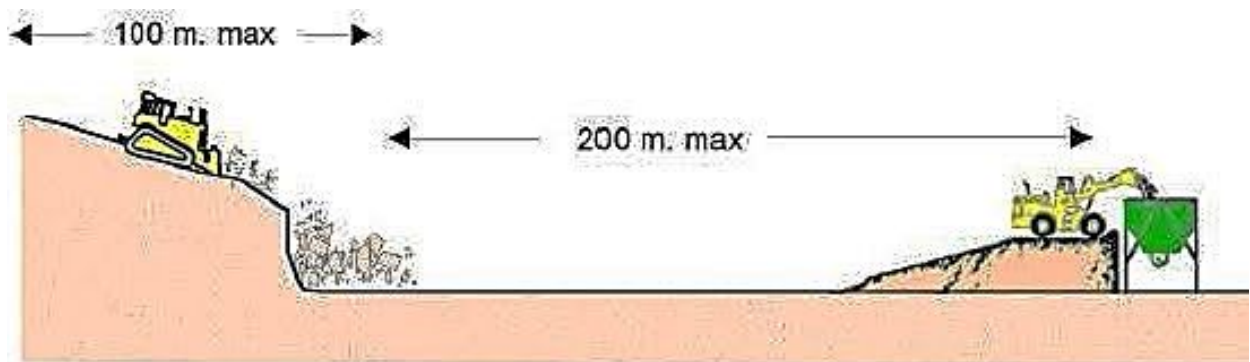


Рис. 4.10. Порода не потребує дроблення; відстань – коротка [74]

Бульдозер використовується для подачі матеріалу навантажувачу, який потім займається вилученням та транспортуванням.

Це створює дуже економічну систему вилучення. Таке рішення часто використовується під час розробки сухих алювіальних відкладень. Бункер періодично переміщується. Якщо відстань значна, необхідно організувати транспортування звичайними самоскидами.

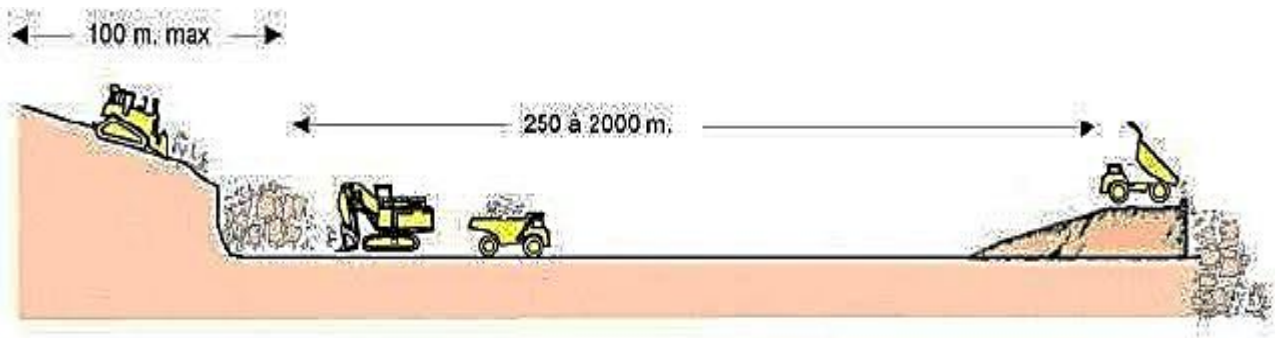


Рис. 4.11. Порода не потребує подрібнення, відстань – більше 200 м та менше 2000 м [74]

Бульдозер зазвичай подає матеріал на високопродуктивний екскаватор, який завантажує самоскиди. Розвантаження відбувається на відвал порожньої породи у випадку видалення розкривних порід або на відвал, якщо це передбачає вилучення повного заповнювача.

Завдяки цій конфігурації можлива висока пропускна здатність на великі відстані. Основним недоліком є те, що вартість дуже швидко зростає зі збільшенням відстані та тоннажу, що транспортується.

Слід зазначити, що в цій конфігурації екскаватор працює в режимі «піковому». Одночасне штовхання бульдозером не дозволяє створити вантажну платформу, в даному випадку необхідну для завантаження в конфігурації «екскаватор-екскаватор».

Крім того, з міркувань безпеки важливо, щоб оператор екскаватора завжди мав у полі зору положення бульдозера та його робочу фазу (штовхання або реверс).

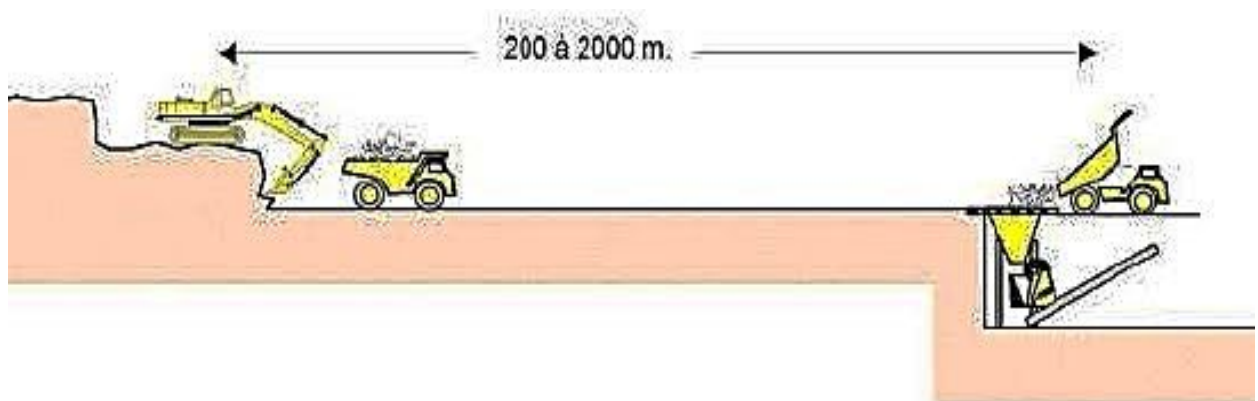


Рис. 4.12. Порода потребує первинного дроблення [74]

Якщо матеріал достатньо крихкий для безпосереднього вилучення гідравлічним екскаватором, що часто трапляється в сухих алювіальних відкладеннях, транспортування можна організувати самоскидами на відстані від 200 до 1800 м.

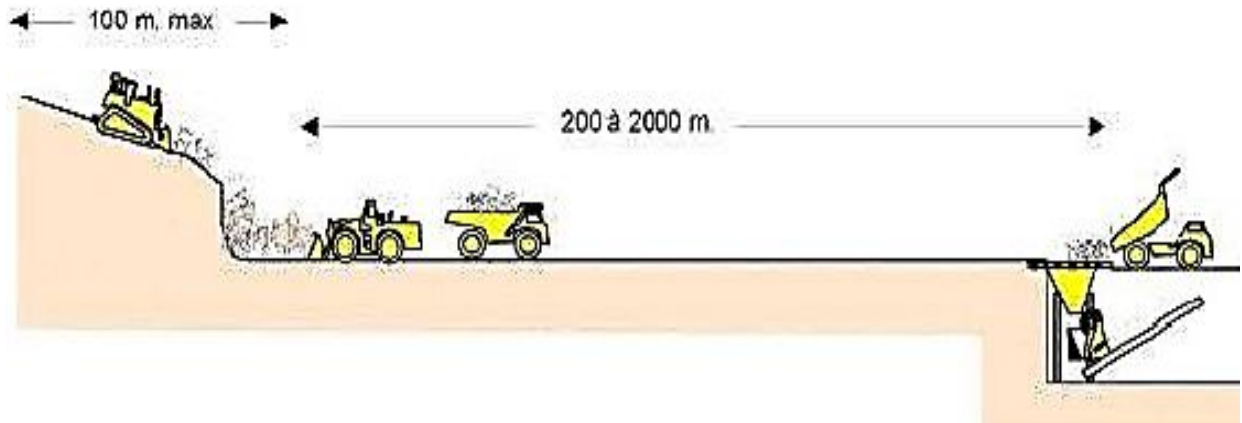


Рис. 4.13. Схема виймально-навантажувальних робіт з пневмоколісним навантажувачем [74]

Однак, вигідно періодично переміщувати установку первинного дроблення, щоб зменшити транспортні витрати, які в цьому випадку можуть перевищувати 60% від загальних витрат на видобуток/транспортування.

У перевантажених або нерівномірних родовищах перевага надається проштовхуванню бульдозером з подальшим завантаженням матеріалу. Це рішення менш економічне, ніж попереднє, оскільки вимагає додаткового обладнання, але воно пропонує більшу експлуатаційну гнучкість та селективність.

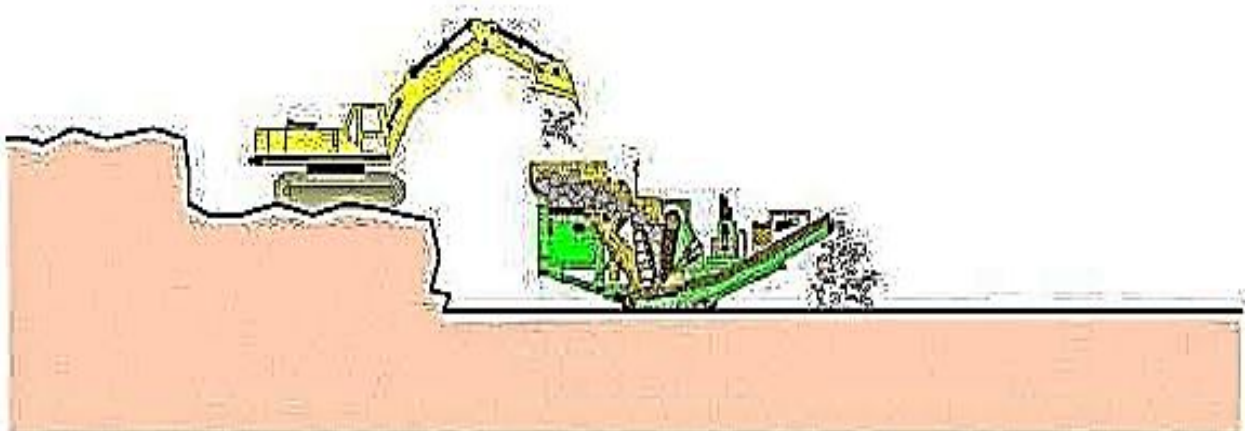


Рис. 4.14. Схема з використанням оберненої гідравлічної лопати та мобільної дробарки [74]

Така конфігурація рекомендується для роботи з відкладеннями різної якості та твердості.

Більш економічним рішенням для мобільних операцій та низького та середнього виробництва є використання мобільної дробильної установки, такої як "LOCOTRACK". Екскаватор займається вилученням та подачею. Готова продукція, кількість якої обмежена, складається в міру її виробництва.



Рис. 4.15. Екскаваторно-дробильний комплекс у кар'єрі [74]

Особливий випадок алювіального родовища під водним покривом(рис. 4.16)

Як тільки водний покрив стає значним, перевищує 5 метрів, а родовище має певну товщину, що перевищує кілька метрів, необхідно використовувати або ковшовий драглайн, або грейферний драглайн, встановлений на баржі. Наведена нижче діаграма представляє типову конфігурацію.

Видобуток води вимагає відкладання матеріалів для дренажу. Подальше перевантаження, як правило, навантажувачем, необхідне для постачання рухомого складу або бункера для подачі конвеєрної стрічки.

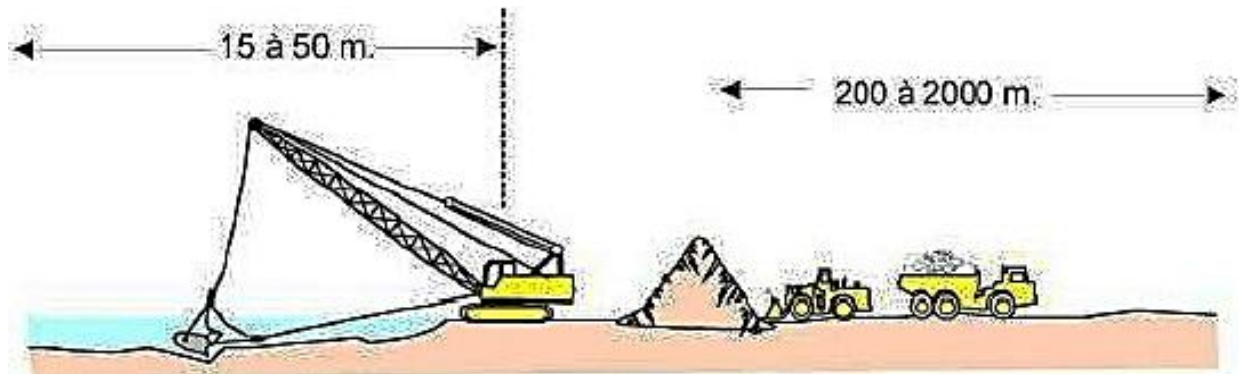


Рис. 4.16. Розробка затопленого родовища: використовуються ковшовий драглайн та пневмоколісний навантажувач [74]

Будь-яка спроба усунути цю переробку зазвичай призводить до невдачі.

Загалом спостерігається, наступне:

1. Під час транспортування конвеєрами, насичені водою дрібні матеріали засмічують конвеєрні стрічки, незважаючи на наявність скребків.
2. Вода, що капає з самоскидів, просочує колії, роблячи їх непридатними для використання.
3. Неможливо використовувати національну дорожню мережу.
4. Надлишок води порушує подальшу обробку: дроблення та просіювання.
5. Ефективність драглайнів швидко знижується.

Крім того, наявність буферного запасу між видобутком та переробкою забезпечує гнучкість операцій, одночасно підвищуючи загальну надійність виробничого ланцюга.

4.2.3. Короткий опис критеріїв вибору

Представлений нижче алгоритм (рис. 4.17) допомагає вибрати конвеєрну систему на основі первинного фрагментування та умов відкладення.

Припускаючи, що породи – достатньо фрагментовані або природно крихкі, щоб дозволити їх видобуток механічним способом, дві операції повинні бути виконані якомога економічніше:

1. Завантажити руду або матеріал та транспортувати його до місця використання.
2. Завантажити, транспортувати та зберігати порожню породу або розкривні породи, придатні для майбутньої рекультивації, як визначено в оцінці впливу.



Рис. 4.17. Алгоритм вибору конвеєрної системи на основі первинного фрагментування [74]

Як ми бачили, доступні технології пов'язані з доступним обладнанням, а діаграма надає спрощений огляд різних комбінацій.

Варто зазначити, що вантажно-транспортне обладнання можна класифікувати на дві групи:

- Машини, які працюють під час руху: бульдозери, скрепери, навантажувачі, самоскиди.
- Машини, які працюють у фіксованому положенні або на низьких швидкостях: екскаватори, драглайни, гусеничні навантажувачі, мобільні дробарки, конвеєрні стрічки.

Умови експлуатації, розрахунки продуктивності й ефективність вантажно-транспортного обладнання, за винятком конвеєрних стрічок, перелічених на цій діаграмі, розглядаються окремо і виходять за рамки спрямованості даної магістерської роботи.

4.3. Сучасні технічні засоби гнучких кар'єрних технологій

Гнучкість гірничої технології передбачає оперативну зміну продуктивності, режиму гірничих робіт або складу технологічного комплексу.

Наразі до послуг гірників машинобудівниками пропонується практично необмежений спектр гірничих машин і обладнання (рис. 4.18-4.28) для забезпечення розробки покладів з різною інтенсивністю, продуктивністю й організаційною варіативністю, які залежать головним чином від екскавації гірничої маси та транспортування її на склади або відвали. Тому ми й обмежимося цими двома процесами.



Рис. 4.18, Найбільший у світі пневмоколісний навантажувач LeTourneau L2350 (ківш – 70,2 т); знизу – його перевезення до рудника [Джерело: <https://www.youtube.com/watch?v=17qddbrMfbU> [76]]



Рис. 4.19. Самий більший в світі серійний бульдозер Komatsu D575A-3SD: маса – 153 т, довжина – 12,7 м, потужність – 1000 к.с.[Джерело: https://i.ytimg.com/vi/XvwbWZDhMNc/hq720.jpg?sqp=-oaymwEhCK4FEIIDSFryq4qpAxMIARUAAAAAGAEIAADIQj0AgKJD&rs=AOOn4CLCi56ZriObGVeLm5IMy_0bf-Hun_A [77]



Рис. 4.20. Самий більший в світі бульдозер одиничного виготовлення ACCOSUPERDOZER (Італія): маса – 183 т, довжина – 12 м, потужність – 1350 к.с.[Джерело: <https://www.sibo.eu/en/acco-super-dozer/> [78]

Побудований італійською компанією Umberto ACCO спільно з Caterpillar зі спеціально адаптованих деталей, ACCO Superdozer спочатку призначався для програми освоєння земель Лівії, однак світове торговельне ембарго проти неї зробило неможливим ведення бізнесу з цією країною. Тому бульдозер так і не

був відправлений, а залишився на складі. Він ніколи не покидав свого рідного міста в Італії та ніколи не використовувався за призначенням.

Сьогодні він зберігається як навчальний експонат у тому ж місті.



Рис. 4.21. Екскаватор TEREX RH-400 і кар'єрний самоскид [Джерело: <https://www.constructionequipmentguide.com/charts/mini-excavators/terex/rh400/30750329> [79]



Рис. 4.22. ЕкскаваторCaterpillarCat-6090 [Джерело: <https://h-cpc.cat.com/cmms/v2?&f=product&it=product&cid=406&lid=ru&sc=X355&gid=18312767&pid=18490663&nc=1> [80]



Рис. 4.23. БелАЗ-75710 – найбільший у світі кар'єрний самоскид вантажо-підйомністю 450 тон [Джерело: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQgmpt6nZEeoM9_GdOz34L0fNv4kJ0H_fsDl&as [81]

БелАЗ-75710, представлений в 2013 р., встановив рекорд Гіннесса в 2014 р.: перевіз 503,5 тони вантажу. Він оснащений двома дизельними двигунами сумарною потужністю 4600 кінських сил та електромеханічною трансмісією, що забезпечує йому високу прохідність та надійність у важких умовах.

Основні характеристики:

Вантажопідйомність: 450 тон.

Максимальна вага: 810 тон.

Потужність двигунів: 4600 к.с. (2 двигуни по 2300 к.с.).

Максимальна швидкість: 64 км/год.

Довжина: 20,6м.

Ширина: 9,75м.

Висота: 9,17м.

Радіус розвороту: 20м.

Колеса: 8 коліс діаметром 4 метри (44.00-63/50). Шини: 59/80R63.

Особливості конструкції

Електромеханічна трансмісія: Два дизельні двигуни оберяють генератори, які виробляють струм для електродвигунів на кожному мосту.

Шини: Використовуються індивідуально виготовлені, що дозволяє рівномірно розподіляти навантаження та підвищує прохідність.

Безпека: Має чотириразову систему резервного керування для безпеки.

Кабіна: Двомісна кабіна відповідає міжнародним стандартам безпеки, рівень шуму не перевищує 80 дБ.

Кар'єрні мобільні дробарки



Рис. 4.24. Мобільна щокова дробарка PowerscreenPremiertrak 600E (PT600E): 12 400 м/год; потужність 275 к.с. (202 кВт); паливе – дизель; мобільна; гусеничний хід; об'єм бункера 10 м³; продуктивність – 300 т/год. [Джерело: <https://www.agg-net.com/news/powerscreen-premiertrak-600e-for-collen-bros> [82]



Зрис. 4.25. Мобільна щокова дробарка TerexPegsonXR400: 5 000 м/год; потужність 230 к.с. (169 кВт); паливе – дизель; мобільна; гусеничний хід; продуктивність 290 т/год. [Джерело: <https://www.veritread.com/specs/asphalt-paving-compaction-crushing/crushers/powerscreen/xr400> [83]



Рис. 4.26. Мобільна щоква дробарка Terex Finlay J-1175: 4 700 м/год; потужність 350 к.с. (257 кВт); паливе – дизель; мобільна; гусеничний хід; об'єм бункера 9 м³; продуктивність 275 т/год. [Джерело: <https://dptrans.com.ua/arenda-drobilki/tereh-finlay-j-1175/> [84]



Рис. 4.27. Мобільна щоква дробарка Sandvik QJ-341: 9 800 м/год; потужність 230 к.с. (169 кВт); паливе – дизель; мобільна; гусеничний хід; об'єм бункера 10 м³; продуктивність 300 т/год. [Джерело: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQMVnpedrsd1C5jKcZ17Btq-zhDJnhoHCbWPQ&s> [85]



Рис. 4.28. Мобільна щоква дробарка MetsoLokotrack LT-120: 14 000 м/год; потужність 350 к.с. (257 кВт); паливе – дизель; мобільна; гусеничний хід; об'єм бункер 12 м³; продуктивність 400 т/год. [Джерело: <https://www.tradeearthmovers.com.au/detail/metso-lokotrack%C2%AE-lt120-mobile-jaw-crusher-870518> [86]

Висновки за розділом 4

Гнучкі технології для відкритих гірничих робіт включають системи дистанційного керування, такі, наприклад, як MineStar Command від Toromont Cat, яка дозволяє керувати окремими машинами або цілими парками обладнання, а також універсальні рішення для обробки матеріалів, такі як Manitou, що адаптуються до різних завдань завдяки змінному навісному обладнанню. Інші ключові технології включають моніторинг у режимі реального часу, управління парком обладнання та автоматизацію, зокрема систему MineStar Health, яка контролює обладнання, та MineStar Fleet, яка відстежує операції. Аналіз даних та оптимізоване планування за допомогою передового програмного забезпечення також сприяють більшій гнучкості гірничих робіт.

Гнучкість гірничої технології передбачає оперативну зміну продуктивності, режиму гірничих робіт або складу технологічного комплексу.

Наразі до послуг гірників машинобудівниками пропонується практично необмежений спектр гірничих машин й обладнання для забезпечення розробки покладів з різною інтенсивністю, продуктивністю та організаційною варіативністю, які залежать головним чином від екскавації гірничої маси та транспортування її на склади або відвали.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Гірничі підприємства наразі перебувають на роздоріжжі. Вони стикаються з величезними викликами, які мають подолати, щоб забезпечити своє виживання. Надвиробництво, надмірне споживання й експлуатація ресурсів продовжують негативно впливати на довкілля, що призводить до його забруднення, виснаження ресурсів та зміни клімату. Дефіцит ресурсів, у свою чергу, призводить до зростання матеріальних витрат і – як наслідок – витрат виробничих.

Глобалізація ринків ставить підприємства у пряму конкуренцію. Окрім потреб суспільства, які постійно змінюються, зростає попит на інший вид управління, який є відповідальним, справедливим та рівноправним. Іншими словами, очікується корпоративна соціальна відповідальність та методи сталого споживання і виробництва. Ці зміни були підтверджені висновками великих світових конференцій (Ріо-конференція в січні 1992 р., Йоганнесбурзька в 2002 р. та Марракешська в 2009 р.).

До того ж нестача ресурсів наразі усе загострюється, тому стрімко зростає увага до альтернативних їх джерел. Не останню роль у цьому відіграють постійні зміни в позиціонуванні світових центрів видобутку мінеральних ресурсів і зумовлені цим коливання кон'юнктури сировинних ринків. І все це відбувається під потужним тиском, з одного боку, «зеленої» енергетики, з іншого – стрімкого зростання масштабів переробки вторинної сировини, що в гірництві позначається як конкуруючий тиск з боку рециклінгу як альтернативного джерела металів поруч з традиційним видобутком руд із надр. При чому: і перший, і другий напрямок спираються на вбивчий для гірництва аргумент – їх безумовну екологічну перевагу. Тому на сьогоднішній день уже неможливо не враховувати останнє в проектуванні кар'єрів та плануванні їхнього розвитку.

Гірники постійно адаптуються до динамічного екологічного контексту. Партнерство UNEP-SET AC в рамках «Ініціативи життєвого циклу» привело до розробки та поширення різних інструментів для його просування в усьому світі за допомогою еталонних стандартів: стандартизовані інструменти, починаючи від програм і технічних засобів, і закінчуючи стратегіями та концепціями. Ці

інструменти дозволяють компаніям оцінювати себе, вимірювати свою ефективність та використовувати свої конкурентні переваги. Звідси виникає необхідність інтеграції стандартизованих інструментів управління, до чого компанія має адаптувати свою організаційну систему.

Проаналізовані дослідження зробили внесок у наукові знання щодо операціоналізації управління життєвим циклом, що враховує аспект, який рідко розглядається публічно. Цей підхід базується на міждисциплінарності інженерних й управлінських наук. Основним внеском є інтеграція організаційної культури й управління змінами в усіх процесах для забезпечення шансів на успіх, що не розглядалося в методологіях упровадження мислення життєвого циклу.

Такий партисипативний підхід поєднує інструменти та дії, які фахівці можуть використовувати для операціоналізації управління, що сприяє розумінню та полегшує зміни.

Враховуючи стрімке зростання в усіх без винятку країнах інтересу до рецикляжу (повторного використання) металів, що набуває все масштабнішої реалізації, ігнорувати цей фактор наразі – неприпустимо, тому частина даної роботи зосереджена на теоретичних і прикладних аспектах концепції сталого розвитку, зокрема, шляхом огляду різних ініціатив, упроваджених в гірничодобувній промисловості різних високорозвинених країн, серед яких виділено Канаду, яка є лідером серед інших. При цьому головною мотивацією стало й те, що природні та геологічні умови цієї країни, особливо її провінції Квебек, надзвичайно схожі з такими в Україні.

Таким чином, кожна видобувна компанія має значну можливість зробити рішучий крок і відіграти провідну роль у просуванні сталого розвитку за нових умов. Крім того, вона має прийняти доктрину корпоративної соціальної відповідальності. Це включає оптимізацію ресурсів (скорочення відходів), захист навколишнього середовища, збереження ресурсів, інвестування в освіту та навчання, а також дослідження альтернативних джерел енергії, і все це із залученням зацікавлених сторін. Адже сталий розвиток без їх підтримки та участі є неможливим.

Бібліографія.

1. Part de l'énergie provenant de sources renouvelables dans l'UE en 2023. <https://www.touteleurope.eu/environnement/les-energies-renouvelables-dans-l-ue/>
2. Le retour des mines en Europe, une réalité ? <https://etopia.be/blog/2017/07/10/le-retour-des-mines-en-europe-une-realite/>.
3. Білецький В.С., Гайко Г.І. Хронологія гірництва в країнах світу. – Донецьк: Донецьке відділення НТШ: Редакція гірничої енциклопедії: УКЦентр, 2006. – 224 с.
4. Близнюков В.Г. Гірничо-геологічні фактори рентабельності гірничовидобувних підприємств / В.Г. Близнюков, В.О. Півень, О.В. Плотніков // Проблемы научного обеспечения горнопромышленного комплекса Украины на пороге XXI века: Сб. науч. трудов ГНИГРИ. – Кривой Рог, 2001. – С. 116-119.
5. Рудько Г.І. Економічна геологія родовищ залізистих кварцитів / Г.І. Рудько, О.В. Плотніков, М.М. Курило, С.В. Радованов. – К.: Вид-во «Академ-прес», 2010. – 272 с.
6. Бизов В.Ф. Критерії та методи оптимізації планування гірничих робіт на кар'єрах по сортам руд / В.Ф. Бизов, В.М. Коробко // Відомості АГН України. – Кривий Ріг: Мінерал, 1998. – №1. – С. 12–17.
7. Коробко В.М. Технологічні основи оптимізації розвитку гірничих робіт на рудних кар'єрах. Дисертація докт. техн. наук / В.М. Коробко. – Кривий Ріг, 2002. – 330с.
8. Ковальчук В.А. Оптимізація параметрів концентрації гірничих робіт у залізородних кар'єрах / В.А. Ковальчук // Дисертація докт. техн. наук. – Кривий Ріг, 2000. – 323 с.
9. Ракишев Б.Р. Проектирование карьеров / Б.Р. Ракишев. – Алматы, 2013. – 298 с.
10. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. – Міністерство промислової політики України. – Київ, 2007. – 279 с.
11. Innovation, compétitivité et intégration régionale. https://archive.uneca.org/sites/default/files/PublicationFiles/aria7_french_rev3_0march.pdf
12. Industrie miniere: enjeux et perspectives de developpement durable en Afrique subsaharienne. cas de la Republique de Guinee. https://toubkal.imist.ma/xmlui77/bitstream/handle/123456789/9855/THESE_DIALLO%20.pdf?sequence=1
13. Ericsson (2009) extrait de CEA-UA, "Rapport du Groupe d'études international sur les régimes miniers de l'Afrique", 2011, p. 24.
14. CNUCED, "Rapport sur l'investissement dans le monde 2007: Sociétés transnationales, industries extractives et développement", p. 26.
15. CNUCED, "Rapport sur l'investissement dans le monde 2007: Sociétés transnationales, industries extractives et développement", p. 27

- 16.CESMAT (Centre d'études supérieures des matières premières), «Ressources minérales et développement en Afrique», Document d'orientation stratégique, Mai 2008.
- 17.CEA, 2011 <https://inis.iaea.org/records/xmpwc-y0n54>
- 18.PricewaterhouseCoopers (2011) extrait de CEA-UA, "Rapport du Groupe d'études international sur les régimes miniers de l'Afrique", 2011, p. 37.
- 19.Raw Materials Data (2010) extrait de CEA-UA, "Rapport du Groupe d'études international sur les régimes miniers de l'Afrique", 2011, p. 30.
- 20.Raw Materials Group (2011) extrait de CEA-UA, "Rapport du Groupe d'études international sur les régimes miniers de l'Afrique", 2011, p. 25
- 21.Le secteur minier, un levier de croissance pour l'Afrique ?" in Secteur Privé et Développement R la Revue de PROPARCO, Numéro 8, janvier 2011, p. 9.
- 22.MEG (2010) extrait de Secteur Privé et Développement – la Revue de PROPARCO, Numéro 8, janvier 2011, p. 10.
- 23.CNUCED (2000-2007) extrait de Secteur Privé et Développement – la Revue de PROPARCO, Numéro 8, janvier 2011, p. 9.
- 24.Pricewaterhouse Coopers (2011) extrait de CEA-UA, "Rapport du Groupe d'études international sur les régimes miniers de l'Afrique", 2011, P. 33.
- 25.WBMS, Raw Materials Data (2010) extrait de CEA-UA, "Rapport du Groupe d'études international sur les régimes miniers de l'Afrique", 2011, p. 32
- 26.ERICSSON et LARSSON, Raw Materials Group Data (2010) extrait de CEA-UA, "Rapport du Groupe d'études international sur les régimes miniers de l'Afrique", 2011, p. 32.
- 27.Le secteur minier, un levier de croissance pour l'Afrique ? in Secteur Privé et Développement R la Revue de PROPARCO, Numéro 8, janvier 2011.
- 28.Performance Consulting (2007) extrait de Secteur Privé et Développement – la Revue de PROPARCO, Numéro 8, janvier 2011, p.18.
- 29.Ericsson (2009) extrait de CEA-UA, "Rapport du Groupe d'études international sur les régimes miniers de l'Afrique", 2011, p. 31
- 30.Métaux et économie circulaire au Québec.
https://www.bibliotheque.assnat.qc.ca/DepotNumerique_v2/AffichageFichier.aspx?idf=293702
- 31.https://mrmr.cim.org/media/1128/cim-definition-standards_2014.pdf
- 32.Drake A. (2017). Canadian Reserves of Selected Major Metals and Recent Production Decisions. Natural Resources Canada, Minerals and Metals Sector. Information available online (retrieved in February 2017): <http://www.nrcan.gc.ca/mining-materials/exploration/8294>
- 33.MERN <https://fieldcropnews.com/2022/04/understanding-mern-most-economic-rate-of-nitrogen-for-corn/>
- 34.North American Times Energy Model <https://esmia.ca/en/solutions/natem>
- 35.https://www.bibliotheque.assnat.qc.ca/DepotNumerique_v2/AffichageFichier.aspx?idf=293702
- 36.Classen et al. (2009). Copper mine operation and beneficiation, sulfide ore. <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.9.1/cutoff/dataset/23264/documentation>

37. GLENCORE (2017). Annual report. <https://www.glencore.com/rest/api/v1/documents/94c45f6e64e01219136c6965f953a058/glen-2017-annual-report.pdf>
38. RCGT, (2015). Wietelmann &. Steinbild (2013). Métaux et économie circulaire au Québec. https://www.bibliotheque.assnat.qc.ca/DepotNumerique_v2/AffichageFichier.aspx?idf=293702
39. https://www.bibliotheque.assnat.qc.ca/DepotNumerique_v2/AffichageFichier.aspx?idf=293702
40. USGS Scientific Research Results. <https://www.usgs.gov/>
41. Mining Association of Canada (MAC) <https://ru.linkedin.com/company/mining-association-of-canada>
42. Paiement, Anne-Marie, et al. (2016). L'anxiété de performance au travail : une étude exploratoire. Revue québécoise de psychologie, volume 42, numéro 3, 2021, p .
43. The CanESS model (Canadian Energy System Simulator). <https://www.cesarnet.ca/caness-model>
44. NATEM. <https://paris-reinforce.eu/i2am-paris/models/natem>
45. Tirado, M.C., 2017: Sustainable Diets for Healthy People and a Healthy Planet. United Nations System Standing Committee on Nutrition, Italy, Rome. Discussion paper. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_Chapter07.pdf
46. Gervais, M. et Herriau, C. (2011). Stratégie de l'entreprise. Paris, France : Editions Economica. <https://archipel.uqam.ca/7968/1/M13961.pdf>
47. Loulou R, Goldstein G, Kanudia A, Lettila A, Remme U. Documentation for the TIMES Model Part I: TIMES Concepts and Theory 2016:1-151.
48. Loulou R, Lehtila A, Kanudia A, Remme U, Goldstein G. Documentation for the TIMES Model Part II: Reference Manual 2016:1-384.
49. Gervais H. Bahn O. Margni M. Mousseau N. Normandin D. Savadogo O. (2017). Métaux et économie circulaire au Québec - Analyse des freins et leviers liés aux stratégies de circularité pour le cuivre, le fer et le lithium. Rapport de l'étape 3.1. Projet réalisé par l'Institut EDDEC pour le Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, 81 p.
50. St-Arnaud L. (2016). Éléonore : Automatisation appliquée et nature du travail. Présentation. Colloque Québec Mines, 20-22 novembre 2016, 27 p.
51. Gagnon N. Poirier R. (2016). Institut national des mines : Colloque sur l'automatisation et la robotisation. Novembre 2016. CPA Automatisation, 36 p.
52. Parreira J. (2013). An Interactive Simulation Model to Compare an Autonomous Haulage Truck with a Manually-Operated System. PhD Thesis, Mining engineering, The University of British Columbia, 228 p.
53. Fisher B.S. Schnittger S. (2012). Autonomous and Remote Operation Technologies in the Mining Industry: Benefits and costs. BEAconomics Pty Ltd, BEA Research Report 12.1.
54. Rio Tinto (2015). Annual report 2015. http://www.riotinto.com/documents/RT_Annual_Report_2015.pdf

55. Dansereau S. (2014). Rio Tinto expérimente la mine sans mineur. Les Affaires, 19 avril 2014.
56. MERN – Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (2016c). Guide de préparation du plan de réaménagement et de restauration des sites miniers au Québec. Direction de la restauration des sites miniers, 82 p. Document disponible en ligne: <https://www.mern.gouv.qc.ca/mines/restauration/restauration-guide.jsp>
57. Charbonneau P. (2014). Analyse des pratiques de valorisation des rejets miniers. Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable. Maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke, 112 p.
58. Bihouix P. de Guillebon B. (2015). Quel futur pour les métaux? Raréfaction des métaux: un nouveau défi pour la société. EDP Sciences, France, 300 p.
59. Franks D.M. Boger D.V. Côte C.M. Mulligan D.R. (2011). Sustainable development principles for the disposal of mining and mineral processing wastes. Resources policy 36 (2): 114-122.
60. Watling H. R. (2004). The bioleaching of sulphide minerals with emphasis on copper sulphides – A review. Hydrometallurgy 84 (1-2): 81-108.
61. Ahmadi A. Khezri M. Abdollahzadeh A. A. Askari M. (2015). Bioleaching of copper, nickel and cobalt from the low grade sulfidic tailing of Golgohar Iron Mine, Iran. Hydrometallurgy 154: 1-8.
62. SERI - Sustainable Europe Research Institute (2015). Bioleaching: Making mining sustainable. <http://web.mit.edu/12.000/www/m2015/2015/bioleaching.html>
63. OECD - Organisation for economic co-operation and development (2001). The application of biotechnology to industrial sustainability. p. 129.
64. Gervais H. Bahn O. Baptiste P. Margni M. Mousseau N. Savadogo O. Simon R. (2016). Métaux et économie circulaire au Québec - Synthèse des meilleures pratiques de circularité pour le cuivre, le fer et le lithium. Rapport de l'étape 2. Projet réalisé par l'Institut EDDEC pour le Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, 65 p.
65. Geldron A. (2016). Métaux stratégiques: la mine urbaine française. Annales des Mines - Responsabilité et environnement 82 (2) : 67-73.
66. Müller D. B. Wang T. Duval B. (2010). Patterns of Iron Use in Societal Evolution – Supporting Information. Environmental science & technology 45(1): 182-188.
67. Recyc-Quebec (2016). Plan d'action 2016-2017 – Comité mixte sur la réduction à la source. Disponible: <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/planaction-comite-mixte-2016-2017.pdf>
68. SafetyCulture. <https://safetyculture.com/>
69. Система GeoSAR от CHCNAV. <https://www.eoportal.org/other-space-activities/geosar>
70. Manitou Group. https://uk.wikipedia.org/wiki/Manitou_Group
71. <https://studfile.net/preview/5674986/page:9/>

72. BГP. https://studfile.net/html/2706/1276/html_ggX_7ASJEN.I0BC/img-JOerVa.png
73. BГP. https://studfile.net/html/2706/1276/html_ggX_7ASJEN.I0BC/img-Nt8IkN.jpg
74. BГP. https://studfile.net/html/2706/1276/html_ggX_7ASJEN.I0BC/img-KA8dzS.jpg
75. BГP. <https://mine-de-surface.blogspot.com/2013/03/choix-dun-systeme-chargement-transport.html>
76. <https://k-mine.com/mining-software/open-pit-design/>
77. <https://www.youtube.com/watch?v=17qddbrMfbU>
78. Komatsu D575. https://i.ytimg.com/vi/XvwbWZDhMnc/hq720.jpg?sqp=-oaymwEhCK4FEIIDSFryq4qpAxMIARUAAAAAGAEIAADIQj0AgKJD&rs=AOn4CLCi56ZriObGVeLm5IMy_0bf-Hun_A
79. Superdozer. <https://www.sibo.eu/en/acco-super-dozer/>
80. RH-400. <https://www.constructionequipmentguide.com/charts/mini-excavators/terex/rh400/30750329>
81. <https://h-cpc.cat.com/cmms/v2?&f=product&it=product&cid=406&lid=ru&sc=X355&gid=18312767&pid=18490663&nc=1>
82. https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQgmpt6nZEeoM9_GdOz34L0fNv4kJ0H_fsDlq&s
83. <https://www.agg-net.com/news/powerscreen-premiertrak-600e-for-collen-bros>
84. 83. Terex Pegson XR400. <https://www.veritread.com/specs/asphalt-paving-compaction-crushing/crushers/powerscreen/xr400>
85. <https://dptrans.com.ua/wp-content/uploads/2021/05/tereh-finlay-j-1175-2.jpg.webp>
86. Мобільна щокочова дробарка Sandvik QJ-341. <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQMvnpedrsd1C5jKcZ17Btq-zhDJnhoHCbWPQ&s>
87. <https://www.tradeearthmovers.com.au/detail/metso-lokotrack%C2%AE-lt120-mobile-jaw-crusher-870518>