

# Дослідження втрат і розубожіння на кар'єрах облицювального каменю

Видобуток облицювального каменю є важливою галуззю гірничодобувної промисловості, що забезпечує будівельну індустрію цінним декоративним матеріалом. Одним із ключових питань при видобутку є мінімізація втрат і розубожіння корисної копалини, що безпосередньо впливає на економічну ефективність виробництва та раціональне використання природних ресурсів.

При розробці родовищ гранітів, лабрадоритів і мармурів втрати сягають 35-60% через необхідність отримання монолітних блоків правильної форми. Для габро характерні підвищені втрати через природну тріщинуватість і вимоги до декоративності. Розубожіння особливо критичне при видобутку вапняків і травертинів, де зміна забарвлення або текстури може суттєво знизити цінність блоків. Сучасні технології алмазно-канатного різання дозволяють знизити втрати на 15-20% порівняно з традиційними методами буровибухових робіт.



# Облицювальний камінь та його різновиди

## Граніти і мармури

Граніти - магматичні глибинні породи з міцністю 120-250 МПа, щільністю 2600-2700 кг/м<sup>3</sup> та водопоглинанням до 0,5%.

Використовуються для зовнішнього облицювання будівель, підлог у громадських приміщеннях та пам'ятників.

Мармури - метаморфічні породи з міцністю 50-150 МПа та високою полірувальністю (до 85-95 одиниць блиску). Застосовуються для внутрішнього оздоблення, скульптур та виготовлення декоративних елементів. При видобутку критичним є збереження цілісності блоків.

## Габро і лабрадорити

Габро - магматична глибинна порода чорного або темно-зеленого кольору з міцністю до 300 МПа та високою морозостійкістю (>100 циклів). Ідеальні для меморіальних комплексів, підлог громадських будівель та декоративних елементів фасадів.

Лабрадорити - магматичні породи з характерним іризуючим ефектом (переливом кольорів від синього до зеленого). Мають міцність 150-200 МПа та високу декоративність. При видобуванні важливо зберегти кристали лабрадору для максимального ефекту іризації.

## Осадкові породи

Пісковики - осадкові породи з міцністю 20-150 МПа та широкою кольоровою гамою (від сірого до червоно-коричневого). Мають підвищену шорсткість поверхні, що важливо для облицювання підлог та сходів. Легко обробляються, але мають значне водопоглинання (до 10%).

Вапняки і травертини - осадкові породи з міцністю 20-120 МПа та пористою структурою. Травертини часто використовуються для оздоблення внутрішніх приміщень через природну текстуру з порожнинами. При видобутку важливо враховувати напрямок "ложа" для запобігання руйнуванню блоків.



# Кар'єрний видобуток облицювального каменю



## Розкривні роботи

Видалення ґрунтового-рослинного шару товщиною 0,3-1,5 м та пустих порід потужністю 2-15 м за допомогою екскаваторів та бульдозерів. Розкривні породи транспортуються у відвали або використовуються для рекультивації.



## Підготовка до видобутку

Буріння технологічних свердловин діаметром 32-105 мм буровими установками з алмазними коронками. Розмітка сітки отворів з кроком 15-40 см залежно від типу породи (для граніту – більший крок, для мармуру – менший).



## Відокремлення монолітів

Відділення блоків об'ємом 30-150 м<sup>3</sup> від масиву гірських порід за допомогою канатних пил, гідроклинів або невибухових руйнуючих сумішей. Для твердих порід (граніт, габро) застосовують алмазно-канатне різання зі швидкістю 2-5 м<sup>2</sup>/год.



## Розділення моноліту на блоки

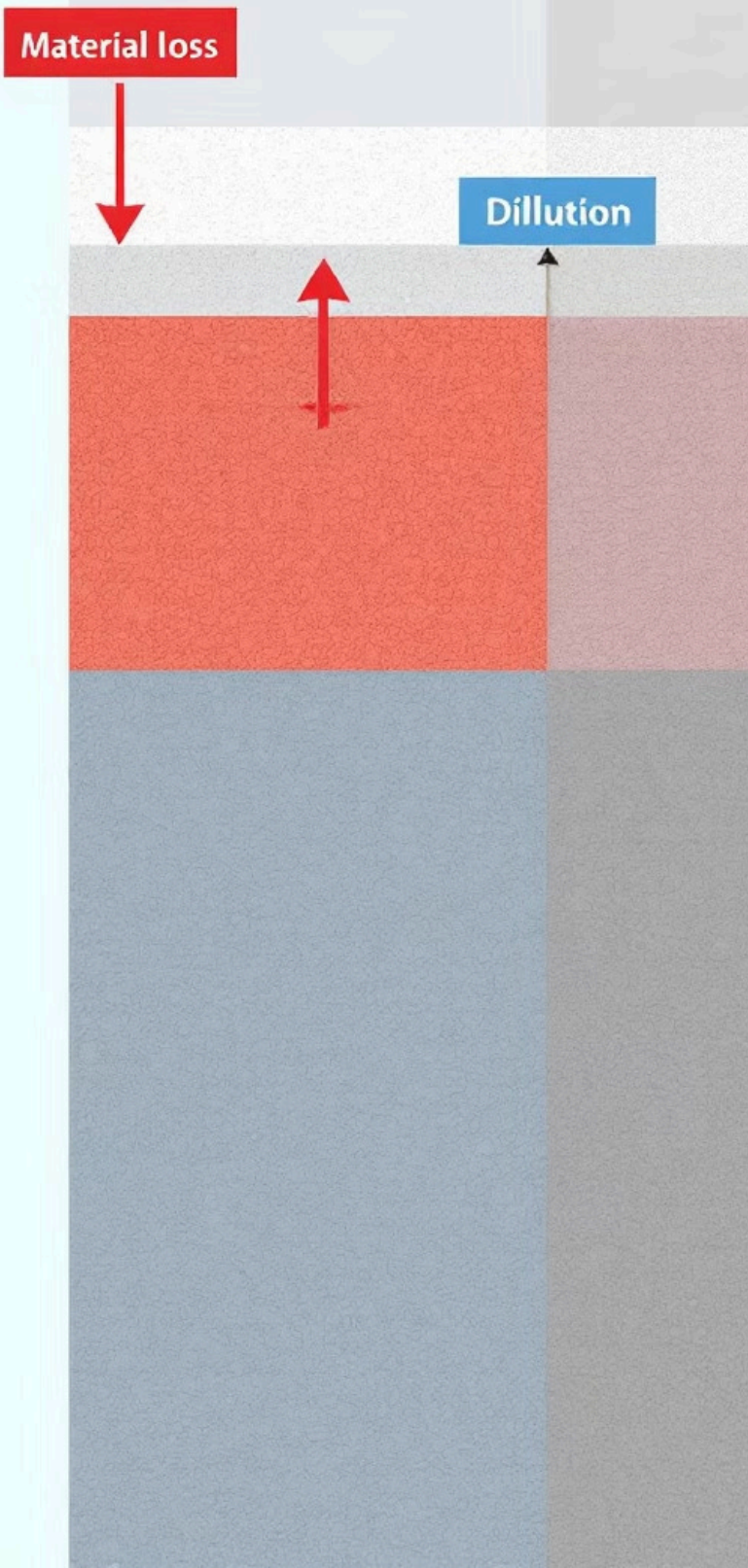
Розпилювання моноліту на блоки комерційних розмірів (переважно 2,8×1,5×1,8 м для граніту або 2,5×1,4×1,6 м для мармуру) за допомогою каменерізальних машин або гідравлічних клинів. Вихід товарних блоків для граніту становить 20-35%, для мармуру – 25-40%.



## Транспортування блоків

Доставка блоків масою 10-40 тонн на склад готової продукції або до цеху обробки за допомогою фронтальних навантажувачів, кранів вантажопідйомністю до 80 т та спеціалізованих платформ. Блоки маркуються за розміром, якістю та датою видобутку.

# Основні поняття: втрати і розубожіння



## Втрати корисної копалини

Частина запасів, що не вилучається з надр при розробці родовища або втрачається в процесі видобутку і переробки. У кар'єрах облицювального каменю втрати складають 40-60% від балансових запасів. Вони поділяються на проектні (15-20%), експлуатаційні (10-15%) та технологічні (15-25%). Вплив втрат на рентабельність видобутку оцінюється коефіцієнтом 0,8-1,2% на кожен відсоток втрат.

## Розубожіння

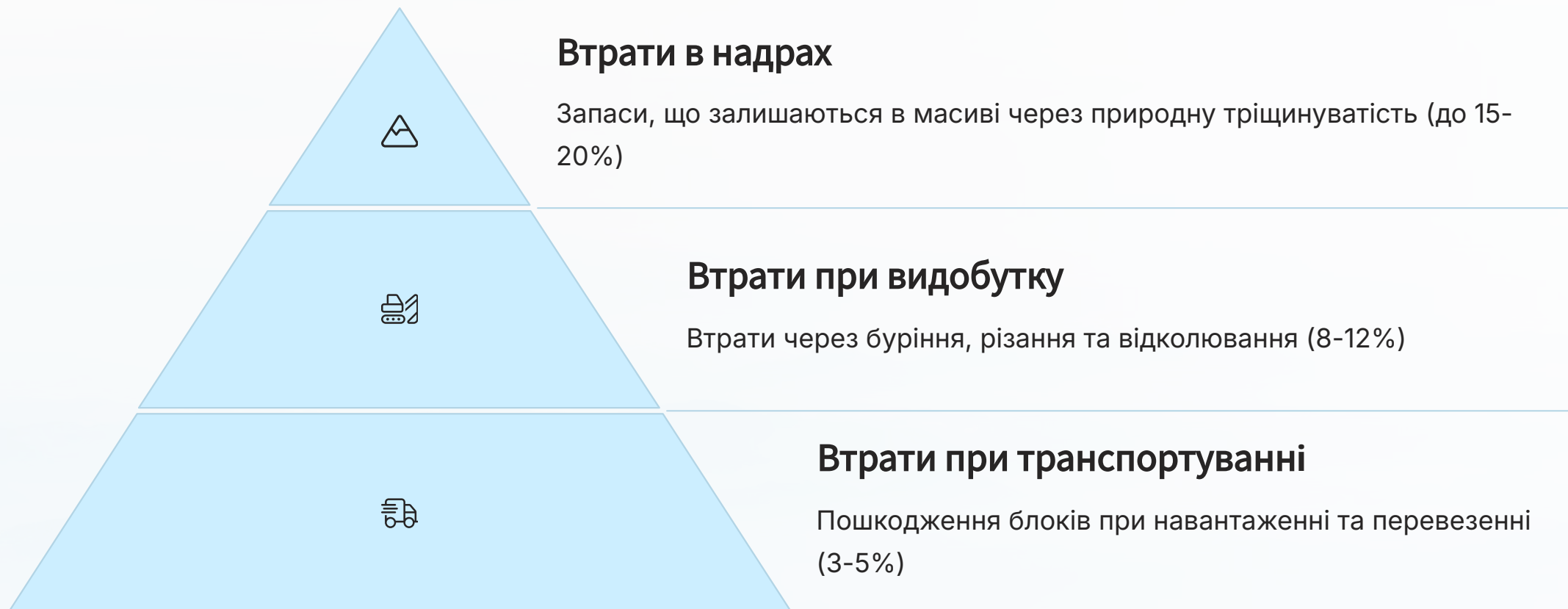
Зниження якості корисної копалини внаслідок змішування з пустими породами або некондиційними різновидами. При видобутку граніту розубожіння може сягати 5-15%, мармуру – 10-20%. Кожні 5% розубожіння знижують ціну блоків на 8-12%. Контроль розубожіння здійснюється шляхом селективного видобутку та сортування за допомогою лазерного сканування текстури каменю.

## Коефіцієнт виходу блоків

Відношення об'єму отриманих товарних блоків до загального об'єму видобутого гірничого масиву, виражене у відсотках. Для високоякісного граніту коефіцієнт становить 20-25%, для мармуру – 15-22%, для габро – 18-23%. На родовищах Житомирської області середній коефіцієнт виходу блоків складає 22,7%. Підвищення коефіцієнта на 1% збільшує прибуток підприємства в середньому на 3-5%.



# Класифікація втрат за місцем виникнення



Втрати в надрах є найбільш значними через геологічні особливості родовища: наявність тріщин, включень пустої породи та зон підвищеної тектонічної активності. Втрати при видобутку залежать від точності буріння, правильності встановлення бурового обладнання та якості різальних інструментів. Застосування алмазно-канатного різання може знизити ці втрати на 30-40%. Втрати при транспортуванні виникають через неправильне розміщення блоків на транспортних засобах, використання несправного вантажопідйомного обладнання та недостатнє закріплення вантажу. Впровадження спеціалізованих захватів та амортизаційних матеріалів зменшує такі втрати до мінімуму.



# Класифікація втрат за МОЖЛИВІСТЮ УНИКНЕННЯ



## Неминучі втрати

Обумовлені природними факторами, такими як геологічна будова родовища (розломи, включення), природна тріщинуватість масиву (до 15-20% обсягу при видобутку граніту), неоднорідність складу та структури породи. Ці втрати становлять 8-12% загального обсягу і практично неможливо усунути, але можна прогнозувати за допомогою геофізичних досліджень та враховувати при плануванні видобутку.



## Організаційні втрати

Виникають через недоліки в організації робіт (нераціональне планування, простої до 20% робочого часу), низьку кваліфікацію персоналу (помилки операторів спричиняють до 15% втрат), недостатній контроль якості. Ці втрати, що становлять 3-6% загального обсягу, найлегше усунути шляхом впровадження системи управління якістю ISO 9001, підвищення кваліфікації працівників та застосування цифрових систем контролю виробництва.



## Технологічні втрати

Залежать від обраної технології видобутку (буро-вибухова, канатно-алмазна, гідроклиновий метод), використовуваного обладнання (ефективність сучасних буропідливних комплексів становить на 12-18% вище) та методів відокремлення блоків. Ці втрати складають 5-7% при використанні сучасних технологій і можна зменшити на 30-40% шляхом впровадження комп'ютерного моделювання процесів та оптимізації параметрів буріння та різання.





# Класифікація втрат за формою обліку

## Нормативні втрати

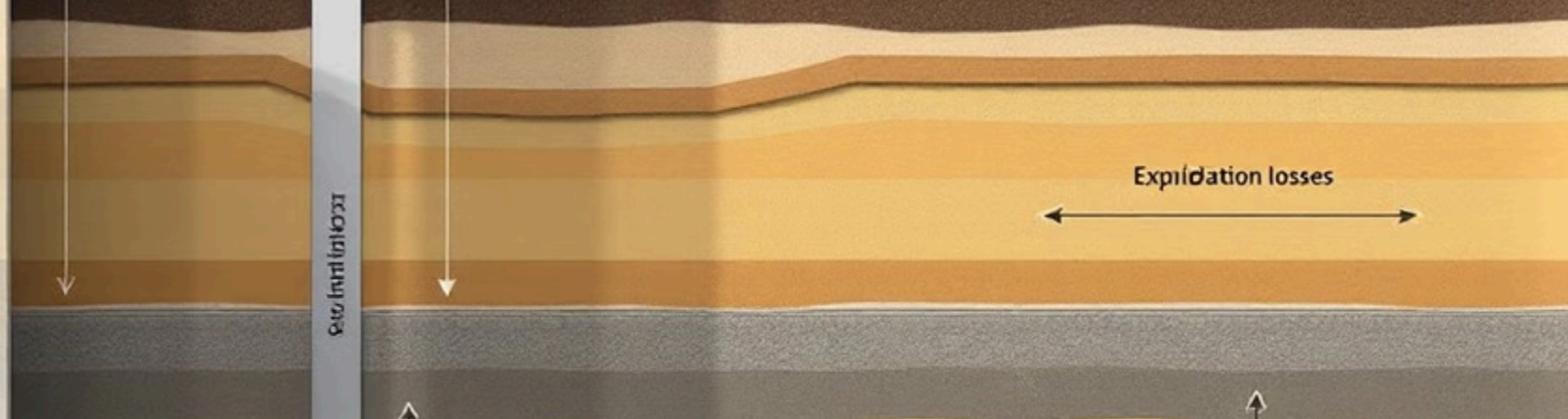
Передбачені проектом розробки родовища та технологічними регламентами. Ці втрати враховуються при плануванні видобутку та становлять зазвичай 20-30% від загального об'єму видобутої гірничої маси.

Нормативні втрати визначаються на основі геологічних особливостей родовища (тріщинуватість, блочність масиву), обраної технології видобутку (канатне пиляння, буріння, вибухові роботи) та статистичних даних по аналогічних об'єктах. Для родовищ граніту нормативні втрати складають 25-35%, для мармуру – 30-40%, для пісковика – 15-25%.

## Понаднормативні втрати

Перевищують проектні показники і свідчать про недоліки в організації видобутку або непередбачені геологічні умови. При правильній організації робіт не повинні перевищувати 5-10% від загального обсягу втрат.

Понаднормативні втрати потребують детального аналізу причин виникнення (несправність обладнання, помилки персоналу, відхилення від технологічного регламенту) та розробки заходів щодо їх зменшення. Вони негативно впливають на економічні показники підприємства, знижуючи рентабельність видобутку на 15-20% та збільшуючи собівартість продукції.



# Експлуатаційні втрати при видобутку



## Втрати в охоронних ціликах

Запаси, що залишаються в ціликах для забезпечення стійкості бортів кар'єру, охорони споруд та комунікацій (15-20% загальних втрат). Ці втрати є неминучими з точки зору безпеки ведення гірничих робіт і регламентуються Правилами охорони праці у каменеобробній промисловості (НПАОП 26.7-1.01-08).



## Втрати в тимчасових ціликах

Запаси, що тимчасово не видобуваються з технологічних причин (опорні цілики, берми безпеки, транспортні з'їзди). Складають близько 10-15% загальних втрат. Ці запаси можуть бути видобуті в майбутньому при застосуванні технології доопрацювання бортів кар'єру або після завершення основних етапів розробки (зазвичай на 5-7 році експлуатації).



## Втрати при розробці складних ділянок

Запаси в зонах тектонічних порушень, підвищеної тріщинуватості (коефіцієнт тріщинуватості  $>2,5$ ), неоднорідності структури каменю. Можуть сягати 25-30% на окремих ділянках родовища. Такі ділянки потребують застосування спеціальних технологій (наприклад, алмазно-канатне різання з посиленням охолодженням або низькоінтенсивні буровибухові роботи) та збільшують собівартість видобутку на 40-60%.



# Технологічні втрати при видобутку



## Втрати при відокремленні монолітів

Руйнування каменю при бурінні (5-8%), різанні алмазно-канатними пилами (3-5%), застосуванні буровибухових робіт (до 15%). Найбільші втрати виникають при використанні термогазоструминного різання граніту та при неправильному розташуванні шпурів.



## Втрати при розділенні монолітів на блоки

Руйнування при гідроклиновому розколюванні (7-10%), дисковому розпилюванні (4-6%) та канатному розпилюванні (2-3%). Клиноподібні відходи становлять до 20% об'єму моноліту при недосконалій схемі розкрою та анізотропних властивостях каменю.



## Втрати через невідповідність стандартам

До 25% видобутих блоків можуть не відповідати ДСТУ Б EN 1467:2007 за геометричними параметрами, наявністю тріщин або дефектів текстури. У мармуроподібному вапняку найчастіше зустрічаються карстові порожнини, у граніті – включення пегматиту та кварцові прожилки.




## Втрати при обробці

При розпилюванні блоків на сляби втрачається 10-12% (дискові пили) або 6-8% (канатні пили) матеріалу. Шлам становить 18-25% від початкового об'єму при обробці мармуру та 15-20% при обробці граніту. Ці відходи використовуються для виробництва штучного каменю та будівельних сумішей.







# Види розубожіння при видобутку облицювального каменю

## Якісне розубожіння

Зниження декоративних властивостей на 20-40% через змішування з іншими різновидами каменю. Особливо проявляється при розробці родовищ граніту та мрамору з нерівномірним забарвленням. Наприклад, при видобутку лабрадориту, домішки польового шпату можуть знизити його іризацію та зменшити ринкову вартість на 30-50%.

## Фізико-механічне розубожіння

Погіршення міцності на стискання (до 15-25%), зниження морозостійкості на 30-45 циклів та збільшення водопоглинання на 0,2-0,5%. Це відбувається через контакт з вивітряними зонами та дайками. Блоки з таким розубожінням переводяться з першого у другий сорт, що знижує їх вартість на 35-40%.

## Структурне розубожіння

Збільшення мікротріщинуватості на 25-60% та макродефектів глибиною до 5-15 см внаслідок використання буровибухових робіт замість канатного різання. При обробці таких блоків вихід плит зменшується з 28-32 м<sup>2</sup> до 18-22 м<sup>2</sup> з 1 м<sup>3</sup> сировини, що збільшує собівартість кінцевої продукції на 40-45%.



# Фактори впливу на розубожіння



## Природні фактори

Геологічна будова родовища - наявність прошарків порід різного складу та властивостей, що ускладнює селективний видобуток високоякісних блоків.

Тріщинуватість масиву - природні тріщини різної орієнтації та розкриття, що зменшують вихід кондиційних блоків та підвищують відсоток відходів.

Неоднорідність складу та структури породи - варіації кольору, текстури та фізико-механічних властивостей в межах одного масиву, що призводить до якісного розубожіння.



## Технологічні фактори

Обрана технологія видобутку - вплив методів відділення блоків (буровибуховий, канатний розпил, буріння, гідроклиновий) на структурну цілісність та якість каменю.

Якість виконання технологічних операцій - точність різання та бурових робіт, дотримання технологічних параметрів, що безпосередньо впливає на вихід блоків.

Параметри системи розробки - оптимальні розміри монолітів, напрямок розвитку гірничих робіт відносно систем тріщин, що визначає ефективність видобутку.



## Організаційні фактори

Кваліфікація персоналу - навички операторів каменерізних машин та інших робітників у визначенні оптимальних напрямків різання з урахуванням природної тріщинуватості.

Якість планування гірничих робіт - врахування геологічних особливостей при проектуванні кар'єру та вибір оптимальної послідовності видобувних робіт.

Система контролю якості - регулярний моніторинг властивостей породи, аналіз причин відходів та коригування технологічних процесів для мінімізації розубожіння.



# Геолого-маркшейдерський облік

## 1 Геологічна документація

Картування виходів корисної копалини на масштабах 1:500-1:1000, визначення 15+ якісних характеристик (міцність, морозостійкість, водопоглинання тощо). Створення тривимірної геологічної моделі родовища з використанням спеціалізованого програмного забезпечення дозволяє прогнозувати якість каменю з точністю до 85-90%.

## 2 Маркшейдерські зйомки

Щомісячне визначення об'ємів видобутку з точністю  $\pm 2\%$ , розкривних робіт (співвідношення 3-5 м<sup>3</sup> розкриву на 1 м<sup>3</sup> корисної копалини) та залишених запасів за категоріями А, В і С1. Використання лазерного сканування та GPS-технологій забезпечує створення цифрової моделі кар'єру з похибкою не більше 10 см.

## 3 Облік тріщинуватості

Картування 3-4 основних систем тріщин з вимірюванням азимутів простягання, кутів падіння та відстаней між тріщинами (середні показники 0,8-3,5 м). Розрахунок коефіцієнта блочності масиву за методикою проф. Бакки (показники від 0,3 до 0,7 для різних ділянок) дозволяє оптимізувати напрямок ведення гірничих робіт.

## 4 Розрахунок коефіцієнта виходу блоків

Щоквартальне визначення відношення об'єму отриманих блоків (категорії I-IV за розмірами) до загального об'єму видобутого каменю. Цей показник коливається від 10% до 35% залежно від ділянки родовища та технології видобутку і є ключовим для економічної оцінки ефективності при собівартості 1800-2500 грн/м<sup>3</sup>.



# Технологічний облік втрат і розубожіння

## Облік видобутку

Документування кількості блоків (10-15 од./зміну) та їх параметрів (довжина 2,0-3,2 м, ширина 1,2-1,5 м, висота 1,0-1,8 м). Класифікація за 4 категоріями якості (А, В, С, D) на основі кольору, текстури та дефектів. Фіксується у спеціальному журналі з фотофіксацією.

## Облік технологічних втрат

Щозмінний моніторинг відходів: при бурінні (5-8%), при різанні канатними пилами (12-18%), при відокремленні блоків (8-10%). Застосування лазерного сканування для точного вимірювання об'ємів. Складання карт розподілу втрат по кар'єру для виявлення проблемних зон.

## Облік використання обладнання

Моніторинг продуктивності бурових верстатів (8-12 м/год), канатних пил (3-5 м<sup>2</sup>/год), фронтальних навантажувачів (45-60 т/год). Контроль витрат дизельного палива (18-25 л/год), води (4-6 м<sup>3</sup>/год), алмазного інструменту (0,8-1,2 г/м<sup>2</sup>). Фіксація тривалості планових (4 год/тиждень) та аварійних простоїв.

## Нормування втрат

Встановлення диференційованих нормативів: для гранітів низької тріщинуватості (15-18%), середньої (20-25%) та високої (28-35%). Щоквартальний перегляд нормативів з урахуванням фактичних даних та геологічних умов. Застосування програмного забезпечення "QuarryControl" для моделювання оптимальних параметрів видобутку.



# Економічний облік втрат і розубожіння

## 15-30%

### Середні втрати

Втрати при видобутку граніту становлять 15-20%, мармуру – 20-25%, лабрадориту – 25-30%

## 10-20%

### Розубожіння

Знижує вартість блоків на 1500-2000 грн/м<sup>3</sup> через погіршення декоративності та міцності

## 25-40%

### Вихід блоків

Залежить від системи тріщин: для родовищ I категорії – 35-40%, II категорії – 30-35%, III категорії – 25-30%

## 5-15%

### Економічні втрати

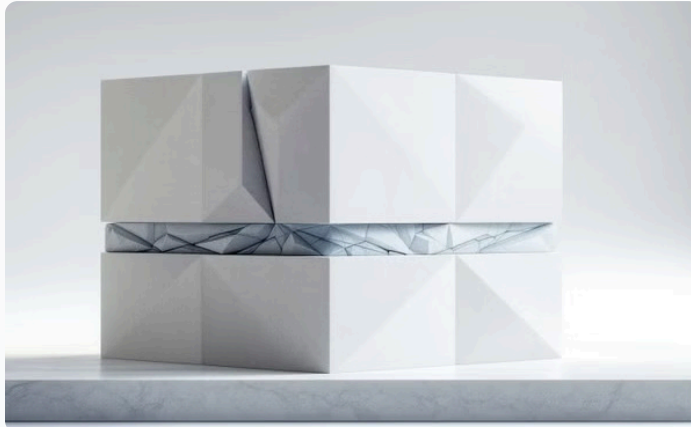
Перевищення нормативних втрат на 5% зменшує рентабельність підприємства на 12-15% щоквартально

Економічний облік охоплює калькуляцію собівартості видобутку (650-1200 грн/м<sup>3</sup>), аналіз впливу втрат на фінансові показники, розрахунок рентабельності за методом NPV та оптимізацію параметрів буропідричних робіт. Впровадження системи економічного обліку на підприємстві "Граніт-Інвест" дозволило скоротити операційні витрати на 17% за рахунок оптимізації технологічних процесів та зменшення непродуктивних втрат.





# Термінологічний словник: основні поняття



Анізотропність – різні фізико-механічні властивості каменю в різних напрямках, що впливає на міцність (на 15-30%), стійкість до руйнування та технологію обробки. Блок облицювального каменю – видобутий моноліт правильної геометричної форми (довжина 1,0-3,0 м, ширина 0,5-1,5 м, висота 0,5-2,0 м), що відповідає стандартам ДСТУ Б EN 1467. Блочність масиву – характеристика, що визначає можливість отримання блоків певних розмірів, залежить від системи природної тріщинуватості та впливає на коефіцієнт виходу блоків (25-40%). Декоративність – сукупність художньо-естетичних властивостей каменю (колір, текстура, малюнок), оцінюється за 4-бальною шкалою згідно з ДСТУ Б В.2.7-59.

# Термінологічний словник: технологічні терміни

## Моноліт

Відокремлена від масиву частина породи значних розмірів, призначена для подальшого розділення на блоки. Моноліти зазвичай досягають об'єму 15-80 м<sup>3</sup> і видобуваються за допомогою алмазно-канатного різання або буроклинового методу. Вибір методу залежить від фізико-механічних властивостей породи та ступеня анізотропності.

## Кондиційний блок

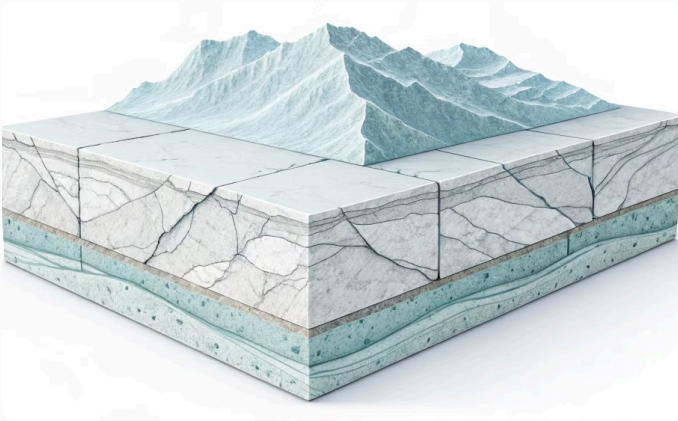
Блок, що відповідає вимогам стандартів ДСТУ Б EN 1467:2007 за розмірами, формою та якістю. Розміри кондиційних блоків повинні бути не менше ніж 0,8×0,5×0,5 м для першого сорту. Такі блоки мають правильну прямокутну форму з відхиленням не більше 5 см, без видимих дефектів і характеризуються високою декоративністю.

## Некондиційний блок

Блок, що не відповідає вимогам стандартів через недостатні розміри (менше 0,8×0,5×0,5 м), неправильну геометричну форму або наявність дефектів (тріщин, включень). Використовується для виготовлення бруківки, бордюрів, дрібних архітектурних форм. Раціональне використання некондиційних блоків підвищує загальний коефіцієнт виходу продукції з 35-40% до 75-80%.



# Термінологічний словник: тріщинуватість



## Природна тріщинуватість

Наявність у масиві природних тріщин різного походження, що впливають на можливість видобутку блоків.

Тектонічні тріщини мають значну протяжність (до сотень метрів) і глибину, літогенетичні формуються в процесі утворення породи та мають регулярний характер, а вивітрювальні розвиваються на глибину до 15-20 м від поверхні. Щільність тріщин вимірюється як кількість на  $1 \text{ м}^2$  і варіює від 0,1 до 10 тріщин.



## Технологічні тріщини

Тріщини, що виникають у процесі видобутку внаслідок механічних впливів. Включають мікротріщини від буріння (глибиною до 15 см), тріщини від вибухових робіт (проникають на 0,3-0,5 м), та тріщини від механічного різання (до 2-3 см). Технологічні тріщини знижують міцність блоків на 15-30% і зменшують вихід готової продукції на 5-12%, особливо при виготовленні тонких плит.



## Системи тріщин

Сукупність тріщин, що мають подібну орієнтацію та генезис. На родовищах облицювального каменю виділяють до 3-5 основних систем тріщин з відстанню між ними від 0,4 до 8 м. Кожна система характеризується азимутом, кутом падіння та відстанню між тріщинами. Оптимальний напрямок відпрацювання кар'єру обирають перпендикулярно до головної системи субвертикальних тріщин, що підвищує вихід блоків на 20-25%.

# Класифікація облицювального каменю за декоративністю



## I клас - особливо декоративні

Унікальні за кольором і малюнком: мармур Portoro, лабрадорит, онікс із яскравими прожилками, рідкісний граніт з включеннями кристалів



## II клас - декоративні

Привабливі за кольором і малюнком: габро, червоний і сірий граніт, травертин, мармур із стабільним візерунком, пісковик однорідного забарвлення



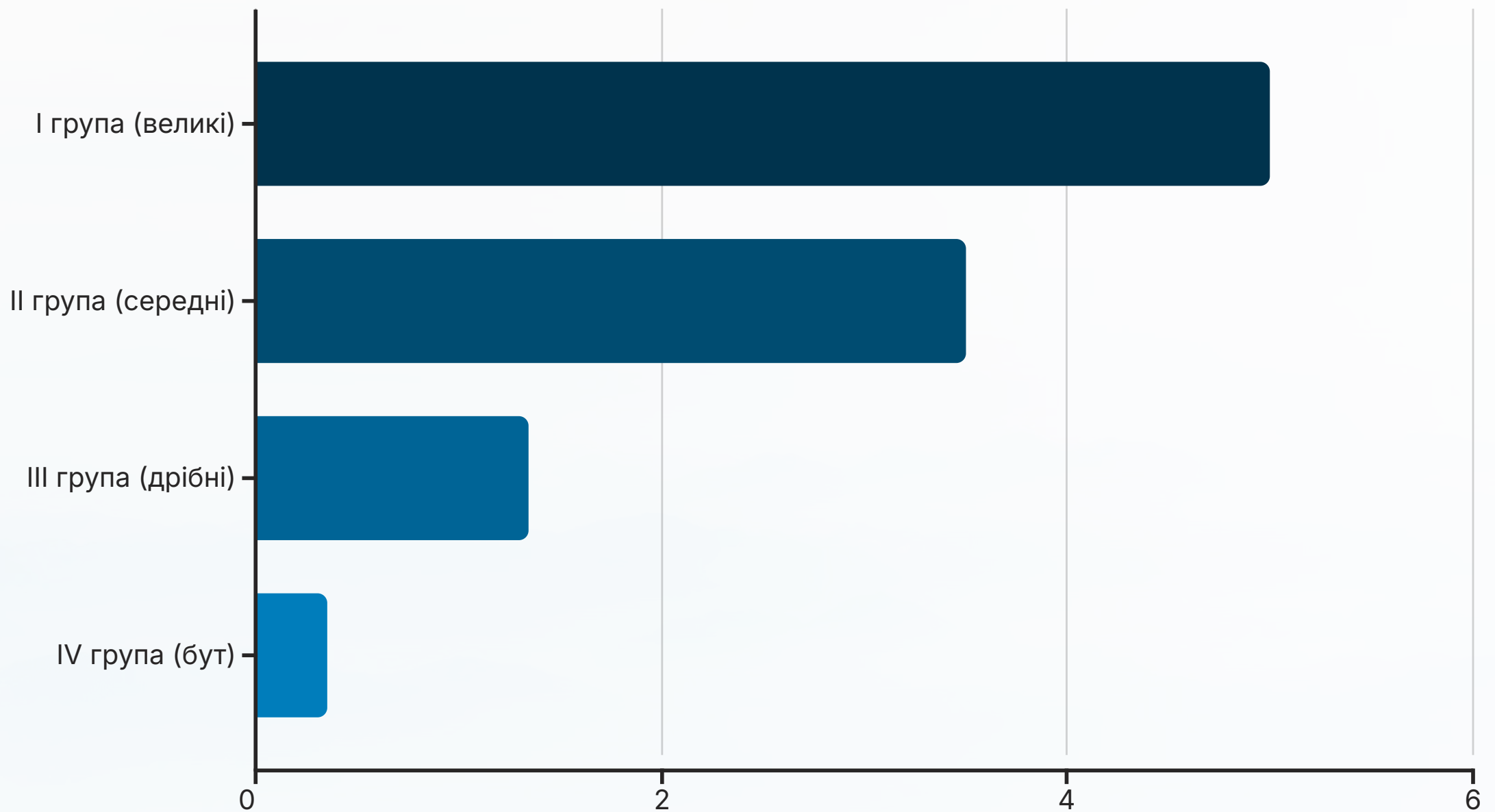
## III клас - малодекоративні

Прості за кольором і малюнком: вапняк, доломіт, сірий пісковик, кварцит з одноманітною текстурою, технічний мармур низьких сортів

Декоративність є ключовою характеристикою облицювального каменю, що визначає його ринкову вартість. Камені I класу (коефіцієнт декоративності  $K > 32$ ) використовуються для престижних об'єктів, унікальних архітектурних рішень, елітних інтер'єрів урядових будівель та залів урочистих подій. Камені II класу (коефіцієнт декоративності  $K = 25-32$ ) застосовуються для стандартного облицювання громадських будівель, банків, торгових центрів та виготовлення виробів масового попиту. Камені III класу (коефіцієнт декоративності  $K < 25$ ) використовуються для технічних цілей, промислових об'єктів, цокольних поверхів, тротуарного покриття та в місцях з підвищеним механічним навантаженням, де естетичні властивості не є визначальними.



# Класифікація блоків за розмірами



Розмір блоків є критичним фактором у визначенні їх комерційної цінності та технічного застосування. Великі блоки (I група, об'єм  $>5 \text{ м}^3$ ) мають найвищу ціну 5000-7000 грн/м<sup>3</sup> і використовуються для створення монументальних скульптур, колон та масивних архітектурних елементів. Середні блоки (II група, 2-5 м<sup>3</sup>) коштують 3500-4500 грн/м<sup>3</sup> та є оптимальними для виготовлення сходів, підвіконь та облицювальних плит для престижних об'єктів. Дрібні блоки (III група, 0,7-2 м<sup>3</sup>) вартістю 2000-3000 грн/м<sup>3</sup> застосовуються для виробництва тротуарної плитки, бордюрів та дрібних декоративних елементів. Бут (IV група,  $<0,7 \text{ м}^3$ ) має найнижчу вартість 800-1200 грн/м<sup>3</sup> і використовується для виробництва щебеню, крихти та заповнювачів для бетону.

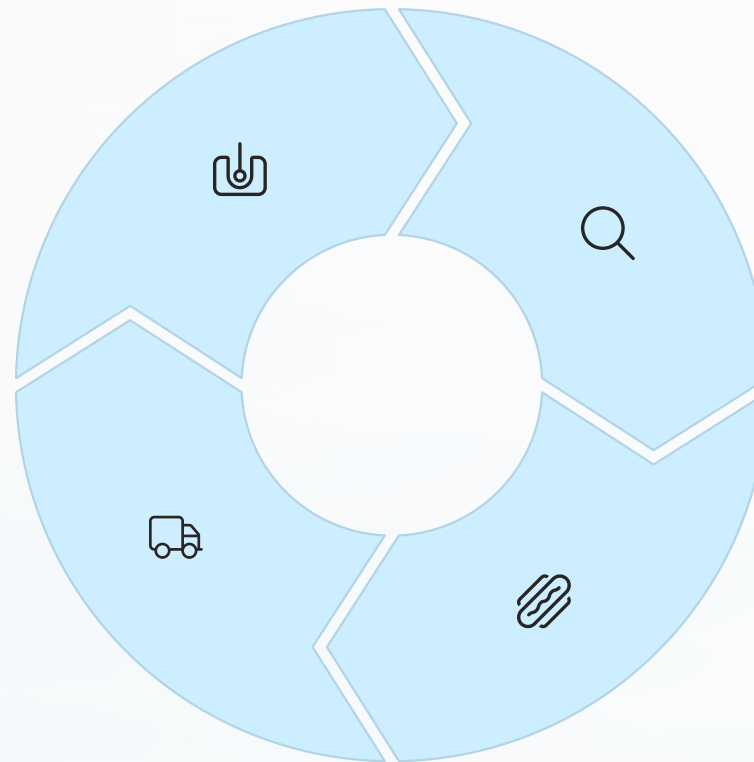
# Класифікація втрат за стадіями видобутку

## Втрати при відокремленні монолітів

15-25% загальних втрат. Виникають через природні тріщини, неправильне розташування шпурів та використання вибухових речовин замість канатних пил

## Втрати при транспортуванні

3-8% загальних втрат. Виникають через механічні пошкодження при навантаженні кранами вантажопідйомністю 10-20т, транспортуванні автосамоскидами та неналежне складування на проміжних складах



## Втрати при розділенні монолітів на блоки

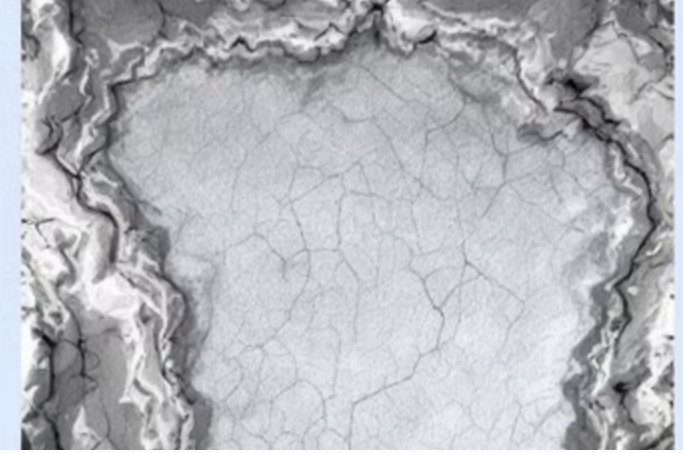
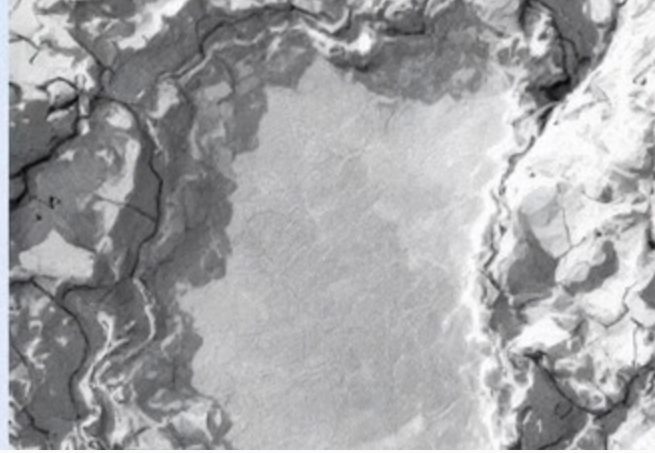
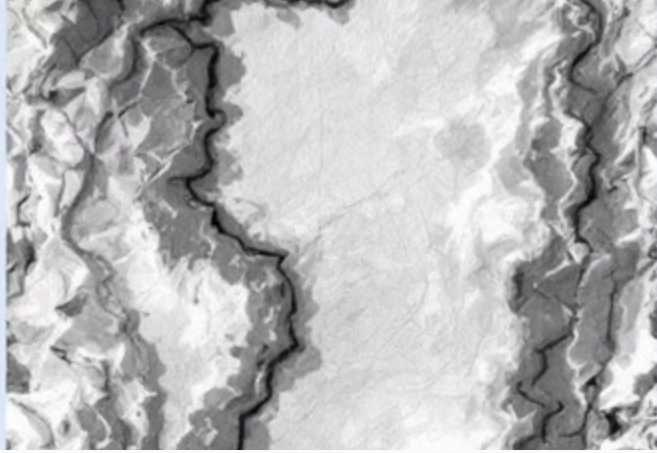
10-20% загальних втрат. Виникають через неточність різання алмазно-канатними пилами, невідповідні параметри різання та приховані дефекти каменю

## Втрати при обробці та сортуванні

5-15% загальних втрат. Виникають при шліфуванні, поліруванні, виявленні прихованих дефектів і необхідності відбракування блоків, що не відповідають ДСТУ Б В.2.7-59-97

Кожна стадія видобутку має свої специфічні види втрат, які потребують різних підходів до їх зменшення. Найбільші втрати (до 45%) виникають на початкових стадіях. При відокремленні монолітів втрати зменшують впровадженням алмазно-канатних технологій та попередніми дослідженнями структури масиву. На стадії розділення монолітів ефективним є використання сучасних стрічкових пил з комп'ютерним керуванням. Втрати при обробці знижують завдяки вдосконаленим методам шліфування, а при транспортуванні – впровадженням спеціалізованих транспортних засобів та покращеним методам закріплення вантажів.





# Класифікація родовищ за складністю розробки

## I категорія - прості

- Однорідна монолітна будова без включень
- Низька тріщинуватість (до 1 тріщини на 5-10 м<sup>2</sup>)
- Стабільні фізико-механічні властивості (міцність на стиск 120-180 МПа)
- Високий вихід блоків (40-60%) при об'ємі 4-8 м<sup>3</sup>
- Підходить для алмазно-канатного різання

## II категорія - середньої складності

- Неоднорідна будова з окремими зонами включень
- Середня тріщинуватість (1-3 тріщини на 5 м<sup>2</sup>)
- Варіативні фізико-механічні властивості (міцність на стиск 80-120 МПа)
- Середній вихід блоків (25-40%) при об'ємі 2-4 м<sup>3</sup>
- Ефективне застосування гідравлічних клинів

## III категорія - складні

- Дуже неоднорідна будова з численними включеннями
- Висока тріщинуватість (більше 3 тріщин на 3 м<sup>2</sup>)
- Нестабільні фізико-механічні властивості (міцність на стиск 50-80 МПа)
- Низький вихід блоків (10-25%) при об'ємі до 2 м<sup>3</sup>
- Вимагає комбінованих методів видобутку

# Вдосконалення технологій відокремлення монолітів



## Алмазно-канатне різання

Технологія забезпечує швидкість різання 4-8 м<sup>2</sup>/год при товщині моноліту до 6 м. Діаметр канату 10-12 мм зі структурою 32-40 алмазних намистин на метр. Особливо ефективна для родовищ I категорії, де забезпечує вихід блоків до 75% та зниження втрат на 15-20% порівняно з буро-клиновим методом.



## Гідравлічні клини та подушки

Робочий тиск 30-50 МПа дозволяє створювати зусилля розколювання до 2000 кН. Оптимальний крок встановлення клинів 30-40 см для гранітів та 20-25 см для мармурів. Підвищує вихід блоків на 12-15% для родовищ II категорії з природною тріщинуватістю. Витрати води становлять 3-5 л на м<sup>2</sup> площі відокремлення.



## Невибухові руйнуючі суміші

Розширювальне зусилля сумішей досягає 80-100 МПа через 24 години після заливки. Діаметр шпурів 32-42 мм з кроком 20-30 см. Ефективність зростає на 25-30% для родовищ III категорії, де мінімізація динамічних навантажень критична. Дозволяє зберегти цілісність блоків при глибині буріння до 3 м.



# Оптимізація процесу розділення монолітів



## Стационарні каменерізальні машини

Забезпечують точність різання до  $\pm 2$  мм та знижують втрати матеріалу на 15-20% порівняно з мобільними установками. Сучасні машини з діамантовими дисками діаметром 3000-3500 мм дозволяють обробляти моноліти висотою до 2,8 м.



## Технологія контрольованого розколювання

Використовує гідравлічні клини з тиском до 350 бар та георадарне сканування для виявлення природних площин ослаблення. Метод дозволяє зменшити енерговитрати на 30-40% при роботі з гранітами та мармуром з вираженою тріщинуватістю.



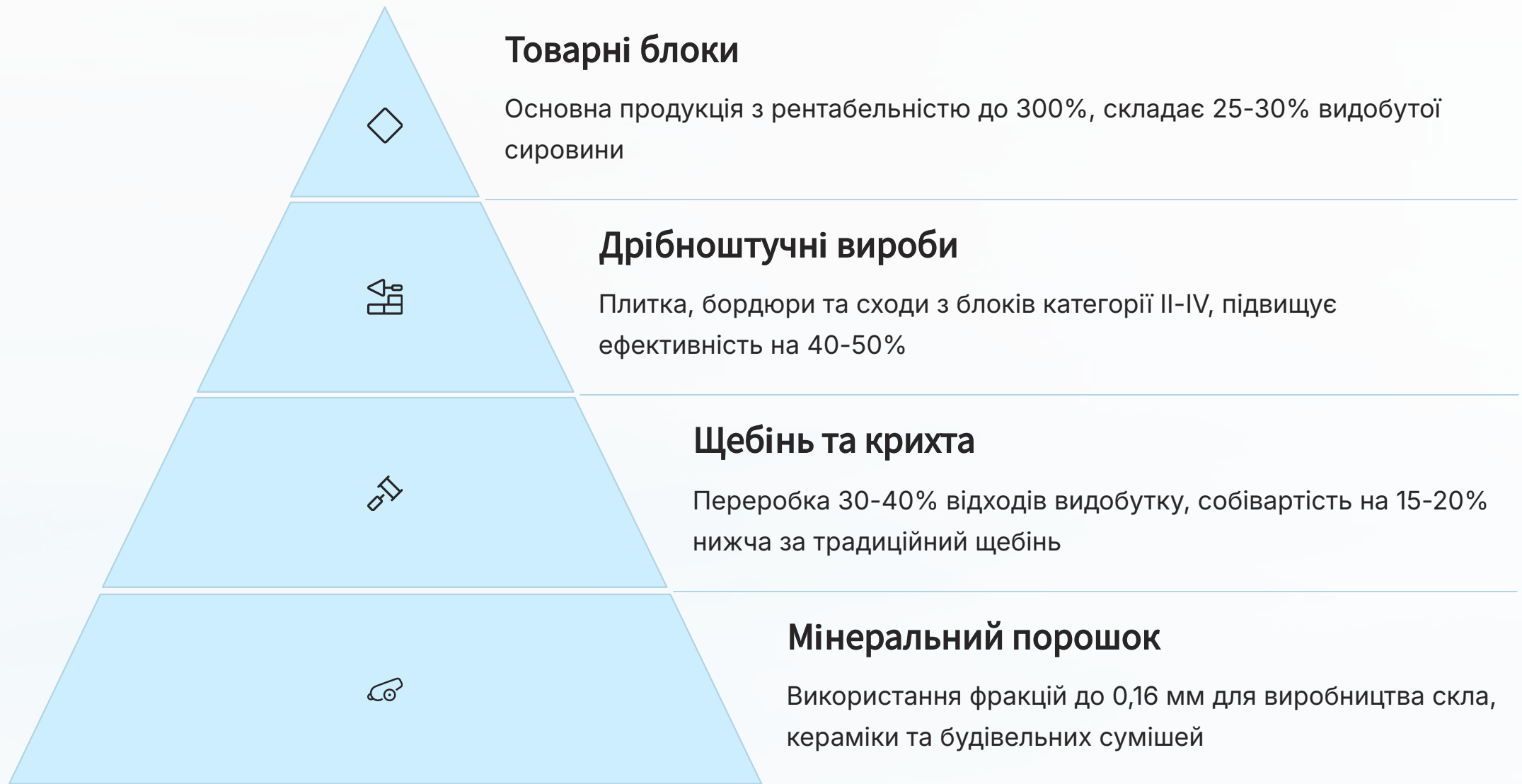
## Оптимізація схем розпилювання

Використання комп'ютерного моделювання з 3D-картуванням дефектів підвищує вихід блоків I категорії на 18-25%. Програмне забезпечення "BlockOptim" аналізує понад 200 можливих варіантів розкрою за лічені хвилини.

Оптимізація процесу розділення монолітів дозволяє підвищити вихід товарних блоків на 22-35% порівняно з традиційними методами. На кар'єрах ТОВ "Граніт-Інвест" впровадження комплексу заходів з оптимізації дозволило збільшити рентабельність виробництва на 40% протягом 2021-2022 років. Застосування стаціонарних каменерізальних машин Pellegrini TD-25 скоротило час обробки на 35% та знизило витрати алмазного інструменту на 28%. Технологія контрольованого розколювання особливо ефективна для Житомирських родовищ граніту, де природна блочність становить 0,7-0,9. Система комп'ютерного моделювання дозволяє враховувати вимоги конкретних замовників та оптимізувати виробництво під стандартні розміри італійських та китайських переробних підприємств.

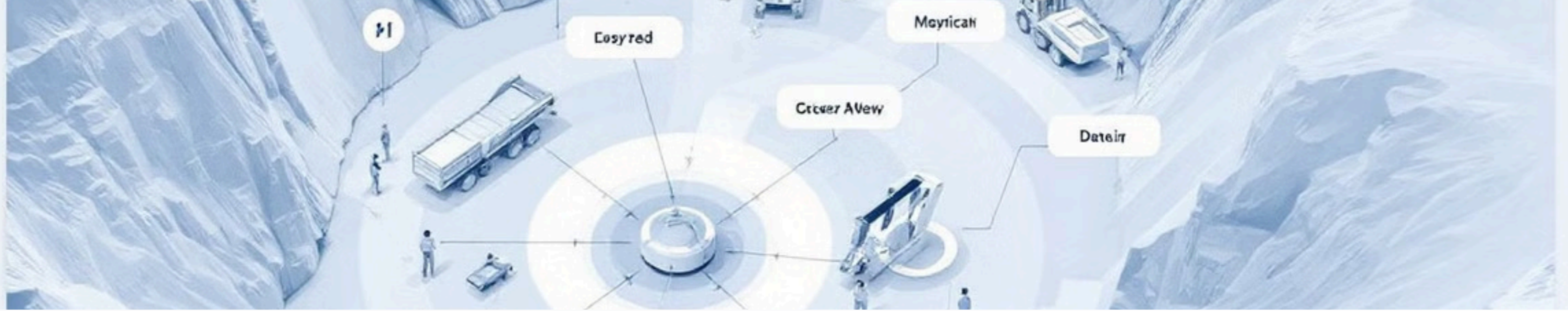


# Комплексне використання сировини



Комплексне використання сировини дозволяє підвищити економічну ефективність видобутку облицювального каменю з 45% до 87%. На Житомирському кар'єрі впровадження технології переробки некондиційних блоків на плитку збільшило прибуток на 3,2 млн грн/рік. Організація виробництва декоративного щебеню з відходів Капустинського родовища знизила собівартість товарних блоків на 18% та зменшила об'єм відвалів на 15000 м<sup>3</sup>. Застосування технології сухого помелу для виробництва мінерального порошку дозволило утилізувати до 95% найдрібніших відходів та створити 12 додаткових робочих місць.





# Висновки та рекомендації



## Вдосконалення нормативної бази

Необхідно розробити ДСТУ "Облицювальний камінь: облік втрат і розубожіння" до 2025 року, гармонізувати термінологію з міжнародним стандартом ISO 18758:2019 та впровадити єдину методику розрахунку втрат при видобутку різних типів облицювального каменю (граніту, мармуру, лабрадориту).



## Впровадження сучасних технологій

Рекомендуємо оснастити не менше 75% кар'єрів GPS-системами контролю переміщення блоків до 2026 року, застосувати програмне забезпечення GeoMining для 3D-моделювання родовищ і прогнозування природної блочності, та впровадити цифрові системи фіксації відходів на кожному етапі видобутку з точністю обліку до 95%.



## Вдосконалення методик обліку

Запровадити щозмінний облік втрат з використанням мобільних додатків та електронних журналів, розробити алгоритм економічної оцінки втрат з урахуванням потенційної вартості супутньої продукції (щебеню, крихти, мінерального порошку), та створити централізовану базу даних обліку втрат для всіх підприємств галузі.



## Оптимізація виробничих процесів

Впровадити селективне видобування блоків згідно з каталогізацією природної блочності, придбати сучасні канатні пили з низьким коефіцієнтом відходів (до 15%), та налагодити повний цикл комплексної переробки відходів з виробництвом дрібноштучних виробів і щебеню різних фракцій, що підвищить коефіцієнт використання сировини з 30% до 85-90%.