

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

Факультет інженерії

Кафедра хімічної інженерії та екології

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до випускної кваліфікаційної роботи  
освітньо-кваліфікаційного рівня **магістр**

спеціальності 184 «Гірництво»

на тему:

**Вибір та обґрунтування параметрів вентиляційних систем  
тупикових виробок шахт**

**Виконав** студент групи ГІР-24дМ .....

(підпис)

Бондаренко Ю. М.

**Керівник** .....

(підпис)

Любимова-Зінченко О.В

**Завідувач кафедри** .....

(підпис)

Зубцов Є.І.

**Рецензент** .....

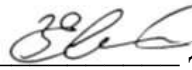
(підпис)

Київ, 2025

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

Факультет інженерії  
Кафедра хімічної інженерії та екології  
Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр  
Спеціальність: 184 «Гірництво»

**ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри**

 доц. Зубцов Є.І.

«\_13\_» \_\_\_\_\_10\_\_\_\_\_ 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ  
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

**Бондаренко Юрій Миколайович**

1. Тема роботи: Вибір та обґрунтування параметрів вентиляційних систем тупикових виробок шахт.  
Керівник роботи: Любимова-Зінченко О.В., к. т. н., доцент кафедри, затверджено наказом закладу вищої освіти від 13.10.2025 р. № 208/20.04
2. Строк подання студентом роботи: 15.12.25р.
3. Вихідні дані до роботи: матеріали переддипломної практики та гірничотехнічна література.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): згідно програми дипломного проектування та методичних вказівок по складанню дипломної роботи студентами напряму підготовки 184 «Гірництво».
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
  1. Геологічний розтин родовища.
  2. Схема розкриття, підготовки та система розробки.
  3. Паспорт виймання вугілля, кріплення та управління покрівлею у лаві.
  4. Паспорт проведення та кріплення підготовчої виробки.
  5. Основна частина проекту.
  6. Економічна частина проекту.

6. Консультанти розділів:

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|        |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |

7. Дата видачі завдання 13.10.25

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1     | Геологія родовища                                 | 15.10.25                       |          |
| 2     | Розробка основних напрямків проекту               | 31.10.25                       |          |
| 3     | Основна частина проекту                           | 05.12.25                       |          |
| 4     | Економічна частина проекту                        | 10.12.25                       |          |

Здобувач вищої освіти



Бондаренко Ю. М.

Керівник роботи



Любимова-Зінченко О.В.

## ЗМІСТ

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| РЕФЕРАТ .....                                   | 5  |
| ВСТУП .....                                     | 6  |
| 1. ГЕОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ПРОЕКТУ .....             | 12 |
| 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ..... | 27 |
| 3. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА .....                     | 37 |
| ВИСНОВКИ .....                                  | 65 |
| АНОТАЦІЯ.....                                   | 66 |
| ANNOTATION .....                                | 67 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....             | 68 |

## РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота: 77 стор., 21 рис., 11 табл., 42 джерела літератури, 8 аркушів графічної частини.

Вентиляція глибоких багатоярусних шахт стикається з проблемою значної втрати тиску через велику кількість пов'язаних повітроводів, що призводить до вкрай низької вентиляції на нижніх рівнях (С, D, E, F). У досліджуваній шахті більша частина чистого повітря не досягає робочого рівня F, а шкідливі гази та забруднення рециркулюють на нижніх горизонтах, створюючи загрозу здоров'ю шахтарів.

Об'єкт дослідження: Існуюча вентиляційна система багатоярусної підземної шахти.

Проведено дослідження вентиляційної мережі шахти та проаналізовано рух повітря від входу на кожному рівні. Враховано джерела забруднення (3 машини на рівні F, пікап та вантажівка). Змодельовано роботу допоміжного вентилятору потужністю 30 кВт. Оптимізовано параметри та рішення, що гарантують здоров'я шахтарів. Запропоновано оптимізовану систему, яка спрямовує чисте повітря на найнижчі рівні та витісняє шкідливе повітря на поверхню. Запропоновано, що для сприяння циркуляції шкідливого повітря пропонується побудувати нову похилу перемичку між рівнями E та F та встановити двері на вході одного з пандусів між E та F, використовуючи його лише для надзвичайних ситуацій (пожежа, вибух).

ВЕНТИЛЯЦІЯ, ІНЖЕНЕРІЯ, ОПІР, ПОВІТРЯ, МОДЕЛЮВАННЯ,  
ПІДГОТОВЧА ДІЛЬНИЦЯ

## ВСТУП

Вентиляцію можна визначити як керування потоком повітря, його напрямком та кількістю. Хоча вентиляція безпосередньо не впливає на виробничу частину діяльності, наслідками неправильної вентиляції часто є зниження робочої сили персоналу та зниження ефективності шахти, збільшення кількості потенційно небезпечних ситуацій, а також низька мотивація та ентузіазм працівників. Повітря необхідне для дихання, а також для поширення хімічних та фізичних забруднювачів, таких як газ, пилю, тепло та вологість.

Для забезпечення безпечного видобутку корисних копалин життєво важливо вентилувати підземні шахти. Будь-яка система вентиляції має чіткі та прості основи: забезпечення достатньої кількості кисню в результаті подачі достатньої кількості та якості повітряних потоків, а також досягнення безпечних концентрацій забруднюючих речовин та їх виведення з шахти. Ці фундаментальні елементи закріплені законодавством усіх країн; однак вимоги до кількості та якості можуть суттєво відрізнятися в різних країнах залежно від кількох факторів, а також від ситуації, що вентилується: металургійні породи, промислові корисні копалини, вугілля або газоподібність/безгазоподібність.

Загальна необхідність полягає в тому, щоб шахтарі могли працювати, жити та пересуватися в безпечному та здоровому середовищі з достатнім комфортом. Вентиляція також може використовуватися в ситуаціях, коли втручання людини не потрібне або неможливе. Тим не менш, належне та достатнє постачання кисню необхідне для роботи та охолодження машин або для забезпечення киснем процесів горіння.

Перше використання вентиляторів відбулося на кількох металевих шахтах Німеччини. У 1827 році на вугільній шахті поблизу Пейслі,

Шотландія, було запущено вентилятор для вентиляції шахти. На цьому вентиляторі, який був похилим і прикріплений до вертикального валу, що обертався в круглому корпусі, було встановлено кілька лопатей. Вентилятор був встановлений на шахті, що піднімалася вгору, і повітря надходило в нього та виштовхувалося на поверхню. Цей вентилятор був основним осьовим вентилятором. Численні шахти у Франції та Німеччині проводили низку експериментів з вентиляторам, що використовувалися одночасно на основі архімедового гвинта; однак вони були невдалими не лише через брак знань аеродинамічної концепції, але й через те, що металургія того часу не дозволяла цим вентиляторам обертатися зі швидкостями, необхідними для належної витрати та тиску. Отже, інтерес знову звернувся до відцентрового вентилятора.

Робоче колесо цього вентилятора було принципово потужнішим, а створюваний тиск збільшувався відцентровою енергією, що прикладалася до повітря, доданою до руху лопатей. Менші швидкості обертання, в межах розміру первинної парової машини, дозволяли ефективно виконувати зобов'язання. У 1849 році на вугільній шахті Геллі-Гер у Південному Уельсі було встановлено відкритий відцентровий вентилятор з радіальними лопатями діаметром 6 м та вертикальним валом. Вільям Брантон (1777-1851) створив його конструкцію, яку навчали Боултон і Джеймс Ватт на ливарному заводі Сохо в Бірмінгемі. Прототип був представлений на Всесвітній виставці 1851 року, що проходила в Гайд-парку, Лондон.

У 1851 році Джеймс Несміт (1808-1890), творець парового молота, виступив з доповіддю перед Британською асоціацією на її засіданні в Іпсвічі. Джеймс Несміт ще раз описав двосторонній радіальний відцентровий вентилятор з лопатями, що приводився в дію паровим двигуном. Його модель була побудована в 1854 році на шахті Аберкарн, Південний Уельс, з діаметром робочого колеса 4,12 м та швидкістю обертання 60 об/хв для подачі повітря 21,25 м<sup>3</sup>/с при тиску 125 Па.

Гігантський вентилятор діаметром 4,57 м, що обертався зі швидкістю 80 об/хв, був встановлений на шахті Скіар-Спрінг, Елсекар, Йоркшир, Велика Британія. Найуспішніший відцентровий вентилятор середини 19 століття був створений Теофілем Гібалем [34] Цей вентилятор, встановлений на вугільній шахті Жана Барта, вперше був показаний у загальній історії технологій шахти Університету Рейн-Вест-Університету в Австралії (L'histoire general des Techniques aux R UF) у 1859 році. На момент свого створення Гібаль був професором з розробки шахт в Університеті Монса, Бельгія [9].

Найважливішою метою вентиляції є підтримка атмосфери, яка сприяє безпечному та продуктивному робочому середовищу навколо шахти. Це включає управління вмістом кисню за об'ємом з різних причин, що буде обговорено пізніше, та рівнями забруднюючих речовин (включаючи продукти займання, забруднені випари та пил, а також підтримку температури навколишнього середовища шахти на рівнях, за яких шахтарі можуть досягти максимальної продуктивності та не досягти точки займання шкідливих реакцій у деяких шахтах, таких як вугільні шахти). Правові обмеження, що стосуються точних стандартів для робочого середовища, різняться залежно від мети вентиляції, а також від країни до країни та від штату до штату в деяких країнах.

За винятком випадків, рекомендованих законним вищим керівництвом, практична мінімальна концентрація кисню, яку слід враховувати при проектуванні будь-якої вентиляційної системи, становить 19% об'ємної частки кисню [35]. Забруднюючі речовини потрапляють у потік вентиляційного повітря з різних джерел. Метою будь-якої вентиляційної системи є розведення будь-яких забруднюючих речовин до нешкідливого рівня та їх усунення. Діапазон забруднюючих речовин, які можуть потрапляти у вентиляційну систему, залежить від ситуації, що розглядається.

Елементи, що відіграють певну роль у небезпеках, що виникають під час вентиляції шахт та обробки матеріалів, показані на наступному рисунку. Складові поділяються на ті, що встановлені природними умовами, та ті, що залежать від рішень проєктувальників та інженерів щодо розвитку шахти та видобутку руди. Природні компоненти включають клімат поверхні, гази, геологію, глибину залягання ґрунтових вод та інших рідин, гірську породу, характеристики породи (як фізичні, так і хімічні) та вік виробок.

Кожна шахта може мати різні стандарти та характеристики, тому забруднювачі та їх вплив відрізняються залежно від шахти, місця розташування та циклу виробок у шахті. Наприклад, бездонна шахта в Канаді може мати проблеми з холодним середовищем у мілководних частинах шахти, що вимагає опалення шахти протягом зимових місяців, тоді як повітря на глибших рівнях має охолоджуватися. Крім того, іншими небезпеками, пов'язаними з системою вентиляції, є пожежі та вибухи в підземних шахтах.

Потік повітря є основним методом контролю атмосферних умов у підземних шахтах. Як правило, вентилятори створюють повітряний потік у шахтах, хоча зміни щільності повітря за допомогою природної вентиляції можуть забезпечити певний потік повітря в сучасних кар'єрах. Головні вентилятори керують усім потоком повітря в шахті (окремо або в комбінації) і часто розташовуються на поверхні; однак на деяких шахтах вони розташовані під землею. Законодавство та законодавство в деяких регіонах можуть вимагати, щоб головні шахтні вентилятори розміщувалися лише на поверхні, а в деяких випадках можуть бути реверсивними. Хоча головні вентилятори зазвичай керують усім потоком повітря в шахті, ми можемо використовувати інші вентилятори в шахтах, щоб збільшити енергію повітряного потоку для циркуляції повітря в більш чудових приміщеннях. Їх називають бустерними вентиляторами, і вони зазвичай

обслуговують певні ділянки шахти. У виробках шахт наскрізна вентиляція може бути неможливою через один вхід.

Для цих випадків необхідно розробити маршрут впуску та повернення повітря. У сучасній гірничій справі це зазвичай здійснюється за допомогою допоміжних вентиляторів для проштовхування повітря через повітроводи для вентиляції глухих входів.

Альтернативи включають використання сітки, а в деяких випадках струменеві вентилятори, регулятори, запірні елементи, повітряні двері, ущільнення та повітряні переходи додатково контролюють розподіл повітряного потоку. Хоча потік повітря є вирішальним методом для досягнення цілей вентиляції шахти, у деяких випадках необхідний повітряний потік стає занадто дорогим для економічного видобутку. У таких випадках можна використовувати інші технології контролю, щоб зменшити навантаження на вентиляційну систему, щоб зменшити витрати на вентиляцію [36]. Ці методи включають дренаж метану, системи опалення та охолодження, системи придушення пилу та різні інші системи контролю та моніторингу [2] .

Механіка рідин та термодинаміка є двома фундаментальними принципами теорії вентиляції шахт, зокрема рівняння Бернуллі, закон Шезі-Дарсі для перепаду тиску тертя в трубах та рівняння енергії стаціонарного потоку. Основа теорії вентиляції шахт, розробленої Аткінсоном (1854), використовується й сьогодні. Використовуючи основи механіки рідин та враховуючи кілька спрощених передумов, він вивів кілька співвідношень, які наразі є основою теорії вентиляції та програмного забезпечення для проектування вентиляції в сучасних шахтах. Як обговорювалося, цей підхід базується на припущенні про нестисливість; однак у проектуванні Ventsim, яке ми використовуємо, ми також можемо мати припущення про стисливість рідини. У міру просування сучасних шахт все глибше та глибше це передумова зазвичай стає недійсною через

зміни щільності повітря. Там, де щільність змінюється більше ніж на 5% через зміни висоти та температури, припущення про нестисливість послаблюється і його слід враховувати [2]. Необхідно обережно підходити до проектування вентиляції заздалегідь, щоб підтримувати адекватну вентиляцію протягом усього терміну служби шахти. Попередня вентиляція включає врахування двох фундаментальних параметрів: тиску шахтного вентилятора(ів), загальної об'ємної витрати повітря та його адекватного та економічного розподілу [3].

## 1. ГЕОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ПРОЕКТУ

Гіпсовий кар'єр, що є об'єктом аналізу, розташований на горбистому рельєфі. Він є одним з провідних постачальників цементної промисловості.



Рис. 1.1: Географічні рамки кар'єру.

Завдяки п'яти рівням обробки обох та зміщенню лише 4 м між поверхами першого та другого поверхів, стало можливим створити підземне з'єднання між двома кар'єрами для збільшення загального постачання сировини.

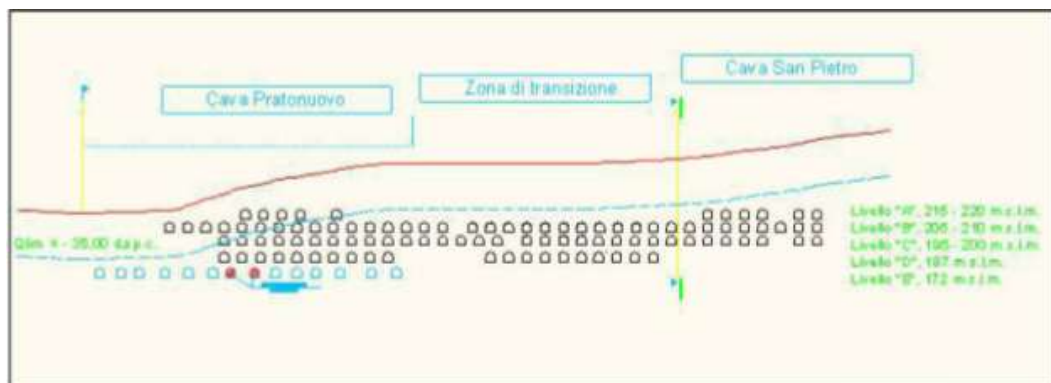


Рис. 1.2: Діаграма рівнів кар'єру.

Аналіз рівнів передбачає рівень "А", що характеризується найстарішою та найбільш геомеханічно нестабільною частиною. Родовище вичерпане і не може бути розширене через історичні артефакти на поверхні. Спускаючись вниз, ми знаходимо рівень "В", який включає з'єднувальний пандус між двома кар'єрами і є вичерпаним та нерозширюваним, а також рівень "С", який має кращі характеристики, але також оброблений та не розширюваний. Потім є рівень "D", що складається з крейдяної породи відмінної якості, яка вичерпана, але з можливістю розширення в районі найстарішого кар'єру, та рівень "Е", який має найкращу якість і все ще розробляється.

Після з'єднання двох кар'єрів прямим спуском (максимальний ухил 20%), розташованих у крайніх секторах кар'єру, стало можливим завершити планіметричну розробку рівнів В, С та D, яка ось-ось досягне максимального видобувного об'єму, в межах власності та безпеки. У аксонометричному вигляді кар'єр виглядає як 4-поверхова споруда, з'єднана між собою гіпсовими плитами та підтримувана систематичними присадкуватими колонами. З альтиметричної точки зору кожен рівень можна вважати горизонтальним, за винятком центральної зони, що з'єднує два кар'єри.

Що стосується даху, то вважається, що він може бути повністю складений з гіпсу через крейдяні мінерали на поверхні.

Метод обробки, унікальний для двох частин кар'єру, полягає в тому, що занедбані камери та колони розташовані у правильному шаховому порядку. З'єднувальний пандус між двома кар'єрами прямий, з максимальним ухилом 20%. На противагу цьому, з'єднувальні пандуси між різними рівнями є гвинтовими з колією шириною від 7 до 10 м, що дозволяє проїзд двох самоскидів у сучасному стилі.

Утворення крейдяно-сірчаної формації датується «Мессінською ерою» (5-7 мільйонів років тому), яка через рух грудок африканської земної кори

призвела до кількох фаз повного випаровування моря. Подальші тектонічні зрушення дозволили утворити всі райони видобутку, що переповнювався в цих районах, випаровувався, перетворюючись на розчин, багатий мінеральними солями, які, у свою чергу, кристалізувалися на дні, породжуючи евапоритові породи та, перш за все, гіпс.

У районі, що нас цікавить, формація складається з трьох шарів загальною товщиною 100 м. Глибший шар утворений мергелистими відкладеннями з масами селенітового гіпсу; проміжний - утворений під час створення кар'єрів. Навпаки, більш поверхневий шар характеризується глинистими відкладеннями, що перемежуються з шарами алювіальних пісків.

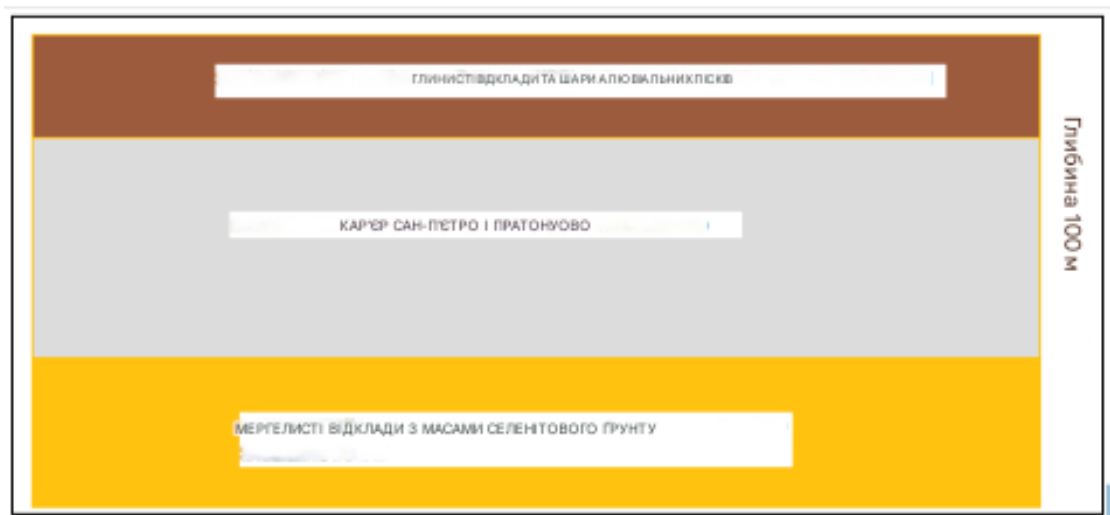


Рис. 1.3: Стратифікація досліджуваної території.

Гіпс, глини та мергелі, що складають оброблену масу, лежать та покривляють родовища відповідно, поведуться як повністю водонепроникні матеріали. Гіпс має помірну циркуляцію води, яка стає ненасиченою в зонах вторинного розриву. На відміну від цього, у глинах та мергелях циркуляція блокується щільно закритими тріщинами.

Освоєна крейдяна маса, таким чином, є єдиним і компактним гірським тілом з водонепроникними характеристиками, які збільшуються з глибиною.

Освоєний крейдяний відклад виглядає як більш-менш сплюснений і відносно лінзоподібний однорідний і правильний з розмірами кілька сотень метрів у плані та середньою товщиною 30-40 метрів, з помірним витягуванням у напрямку схід-захід.

Освоєний відклад поблизу виходів пород, що простягається від верхньої частини схилу пагорба, має правильну форму та відносно обмежену поверхню. Освоєний берег покритий товщиною близько 20 метрів незв'язного елювіально-колювіального ґрунту та спирається на шари мергелю та вапняних пісковиків. Усередині резервуару є дві поверхні стратифікації, представлені рівнями мергелю, положення яких також відображає положення гіпсової маси з паралельним зануренням та нахилом від  $45^\circ$  першого до  $55^\circ$  другого.



Рис. 1. 4 Кристали гіпсу (Gypsum crystals)

Крейдяна порода утворена одним мінералом і спочатку утворюється на солончаках уздовж узбережжя та в естуаріях. Він розчиняється в морській воді, де інтенсивне випаровування останньої призводить до осадження сульфату кальцію на дні. Кристали можуть бути неправильної та

фрагментованої форми або мати характерну форму, яка називається наконечником списа або ластівчиним хвостом.

Хімічна формула гіпсу —  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (сульфат кальцію дигідрат), і він має такий типовий склад:

CaO (оксид кальцію): 32.6%

SO<sub>3</sub> (триоксид сірки): 46.5%

H<sub>2</sub>O (вода): 20.9%

Його основні характеристики включають:

Розчинність: Гіпс може бути мобілізований шляхом розчинення з початкового формування внаслідок гідрологічних змін, щоб потім випасти в осад і перекристалізуватися в інших зонах седиментації.

Твердість: 1.5 – 2 за шкалою Мооса, що класифікує його як м'який мінерал.

Колір: Змінний залежно від наявності домішок.

Хімічна активність: Є хімічно інертним у чистому вигляді, але розчиняється в кислотах при нагріванні.

Основне застосування мінерального гіпсу — у будівельних матеріалах. Він є основою для великої кількості продуктів, які отримують шляхом змішування напівгідратованого гіпсу, нерозчинного ангідриту та розчинного ангідриту в різних пропорціях, з додаванням різних добавок, а також з використанням різних методів подрібнення та випалювання.

Муризенського гіпсу характеризується прозорими сочевицеподібними (лінзоподібними) кристалами коричневого кольору. Його хороші характеристики роблять його високо цінованим продуктом у цементній промисловості.

Досліджувана ділянка родовища демонструє незначну мінералогічну неоднорідність, спричинену різними кристалізаціями. Чітко розрізняються крейдові обсяги з крупнозернистими кристалами та крейдові утворення з дрібнозернистою кристалізацією. Контакти між ними є явними і часто

маскуються мергельно-глинистими прошарками, які мають надто звивистий перебіг, що є наслідком минулих геологічних рухів. Ця неоднорідність фіксується на всіх рівнях розробки.



Рис. 1.5. Характеристика Муризензького кристала

На основі лабораторних випробувань, проведених раніше на зразках, взятих з рівня А кар'єру, були отримані фізико-механічні характеристики літотипів, задіяних у гірничих роботах. Досліджувалися крупнозернистий гіпс (*gypsum g.g.*), дрібнозернистий гіпс (*gypsum g.f.*) та глинистий мергель, що заповнює зони розривів (табл. 1.1).

Покривний ґрунт є матеріалом, що складається з продукту вивітрювання гіпсового масиву разом із більш поверхневим матеріалом колювіального типу. На основі експериментальних лабораторних даних були отримані середні характеристики субстрату (Таблиця 1.2):

Детальне обстеження підземної частини дозволило класифікувати якість масиву як "добру" зі зменшеною кількістю розривів. На основі даних старих кернів було отримано значення R.Q.D., що дорівнює 80%.

Таблиця 1.1. Фізико-механічні властивості задіяних літотипів

| Матеріал | $\gamma_n$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | Ed<br>[MPa] | Co<br>[MPa] | Et<br>[MPa] | Es<br>[MPa] | To<br>[MPa] | Cp<br>[MPa] | $\varphi_p$<br>[°] | $\varphi_r$<br>[°] |
|----------|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|--------------------|
| Гіпс     | 21,8                               | 22,8        | 10,0        | 4000        | 2600        | 0,8         | 4,2         | 44                 | 35                 |
| Мергель  | 21,8                               | -           | -           | -           | -           | -           | 1,5         | 35                 | 30                 |

Таблиця 1.2: Фізико-механічні характеристики субстрату

| Матеріал           | $\gamma_n$ [kN/m <sup>3</sup> ] | Cp [kPa] | $\varphi_p$ [°] | $\varphi_r$ [°] |
|--------------------|---------------------------------|----------|-----------------|-----------------|
| Алевроліт та глина | 19,0                            | 50       | 20°–25°         | 15°–18°         |

Застосування геомеханічної класифікації Bieniawski дає значення R.M.R., що дорівнює 72, яке відповідає масиву відмінної якості. Однак, в реальності, гіпс має ідеальні структурні умови, але низькі геомеханічні характеристики, з надзвичайно низькою одноосовою міцністю на стиск та модулем деформації. Класифікації, не відкалібровані для порід із такими характеристиками, призводять до нерепрезентативних та завищених результатів.

Розрахунок модуля пружності гірського масиву за геомеханічними класифікаціями призводить до кінцевого значення, яке є значно більшим (на порядок величини) порівняно з лабораторно оціненим. Це завищення пов'язане з тим, що метод Bieniawski не надає належної важливості масивності (цілісності), що є фундаментальним аспектом для гіпсу. З цих причин, для коректного застосування геомеханічних класифікацій, було б доцільно знизити R.M.R. приблизно на 20 пунктів.

Відповідно, було прийнято, що модуль пружності гірського масиву знаходиться в діапазоні 4000–5000 МПа, що є запобіжним вибором для дрібнозернистого гіпсу, який є об'єктом дослідження.

Лабораторні випробування на стиск, зі свого боку, призвели до визначення міцності, нижчої за раніше припущену, з інверсією поведінки між формами кристалізації. Крупнозернистий гіпс виявився більш стійким, ніж дрібнозернистий.

Проте, кількість досліджених зразків була невеликою, що спричинило суттєвий розкид даних і знизило репрезентативність. Незважаючи на це, припущення про одноосьову міцність на стиск, що дорівнює 7.65МПа, є безумовно запобіжним для даного дослідження.

Низькі геомеханічні властивості гіпсу (твердість 1.5 - 2, низька міцність на стиск) не дозволяють створювати великі підземні порожнини. Це вимагає ретельного балансу між обсягами виїмки та обсягами, залишеними в масиві для забезпечення довгострокової стійкості підтримувальної структури.

Таким чином, обраний метод обробки передбачає використання камер та стовпів, що полягає у створенні порожнин, які називаються «камерами», шляхом контрольованого видалення штукатурки, обмежуючи в камені відповідні опорні стовпи, які гарантуватимуть стабільність камер з часом; після поглибленого дослідження будуть встановлені плити з матеріалів для захисту приміщень.

Стовпи мають висоту, що дорівнює товщині резервуара, поперечний переріз, розрахований за формулами опору матеріалів, та відстань, необхідну для самонесучих вимог сховища ділянки, зазвичай менше 6 м.

Метою проекту є видобуток максимальної кількості корисних копалин, сумісної з безпечними умовами роботи.

Метод є недорогим, легко механізованим та дуже гнучким, оскільки залежно від геологічної конфігурації можна змінювати об'єм камер та стовпів, що дозволяє їм працювати на кількох фронтах. Він працює, починаючи з кришки, продовжуючи послідовними зниженнями, аж до товщини корисного мінерального банку.

Будівництво колон відбувається шляхом відкриття коротких фронтів, які після просування, рівного розміру колони, розгалужуються праворуч і ліворуч, утворюючи дві інші швидкі галереї, які обмежуватимуть з нової сторони колони праворуч і ліворуч від початкового просування.

Наступні рисунки ілюструють процедуру виконання робіт.



Рис. 1.6: Фаза А прогресу

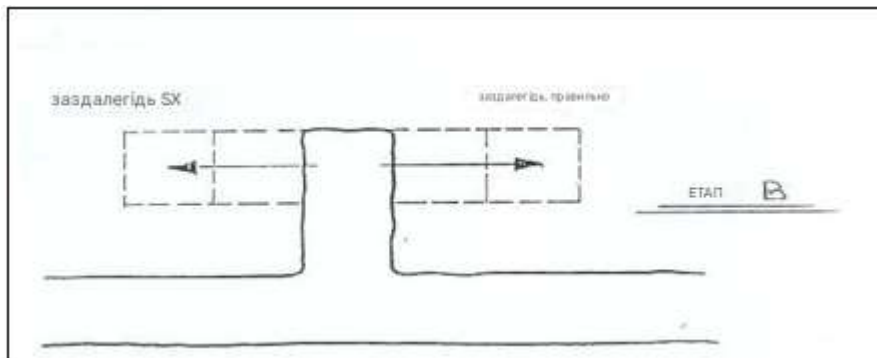


Рис. 1.7: Фаза В прогресу

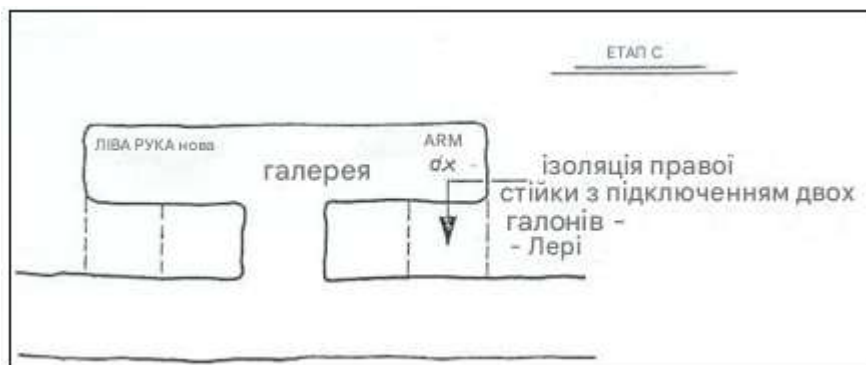


Рис. 1.8: Фаза С прогресу.

Залежно від типу резервуара та особливостей оброблюваної площі самого резервуара, необхідно визначити типи проблем, які можуть виникнути, такі як відшарування, обвалення блоків та обвалення стовпів з подальшим обмеженням часом самопідтримки камер.

Цей метод застосовується до субгоризонтальних резервуарів товщиною від 2 до 30 м та максимальним нахилом 8-10° та має такі переваги:

- простота експлуатації;
- можливість використання високопродуктивних машин;
- низькі виробничі витрати. А також недоліки:
- значні втрати корисних мінералів;
- змінні розведення до 20%, зазвичай містяться на рівні 6-7%.

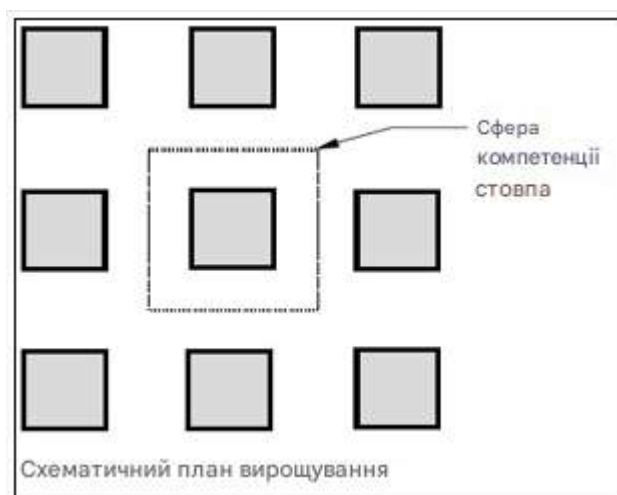


Рис. 1.9: Схема методу культивування «камери та стовпи», план.

У нашому випадку стовпи мають більш-менш однакові три виміри; це забезпечує більшу стійкість конструкції, хоча й знижує ефективність видобутку, і навіть якщо тонші стовпи типові для культивування менш м'яких матеріалів, ніж гіпс.

Як метод земляних робіт використовується буріння та вибухові роботи, що полягає у бурінні свердловин, подальшому зарядженні вибуховими речовинами та відповідному ґрунтуванні. Основні етапи:

- буріння вибухових свердловин;
- завантаження;
- вибухові роботи;
- дим;
- видалення окалини;

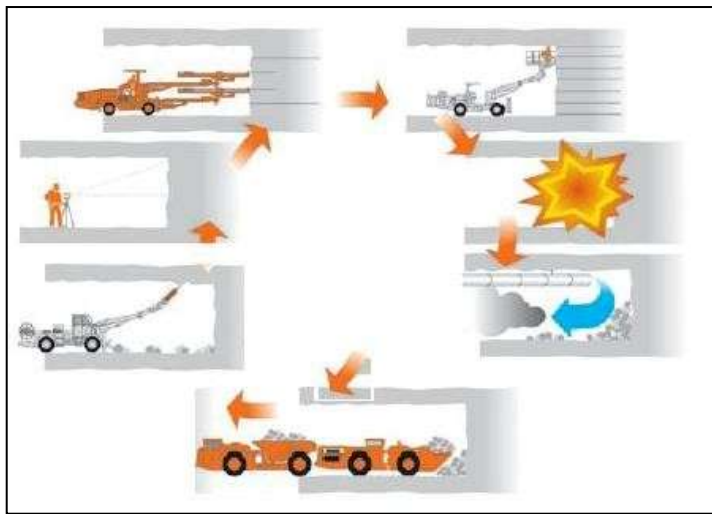


Рис. 1.10. Техніка буровибухового оброблення.

Цей метод успішно зарекомендував себе завдяки своїй простоті та універсальності: після початку робіт набагато легше змінити сітку для випалу, діаметр буріння або тип вибухової речовини, ніж замінити землерийну машину, яка виявилася непридатною.

Буріння здійснюється за допомогою електричних роторних бурових машин та самоочисних інструментів. Гіпс є відносно «глухою» породою до дії вибухових речовин, тому ми використовуємо вибухові речовини, які не є надмірно потужними і, отже, дешевшими.

У кар'єрі використовується вибухова речовина під назвою NITRAM TX1, що складається з:

- 90% концентрованого розчину аміачної селітри (водна окислювальна фаза);
- 10% масел, восків та парафіну (масляна горюча фаза).

Емульсії сьогодні є вибуховою речовиною відмінної якості з точки зору чутливості до удару.

Nitram з низьким виробництвом NO, CO та CO<sub>2</sub> гарантує відмінні екологічні умови праці.

Лінійний заряд спрацьовує на дні свердловини за допомогою мікротримки електричного детонатора. Враховуючи високу «глухість» гіпсу, використання лише емульсій часто в минулому спричиняло «гарматний ефект» зі стрільбою гільз з свердловини без подрібнення маси. Щоб уникнути цієї проблеми, було вирішено вставити два желатинові патрони в кожен міну, щоб посилити ефект самої емульсії з більшим руйнуванням. Таким чином, послідовність патронів у свердловині така:

- Заряд у свердловині: 1 желатин (32 мм х 200 мм по 0,25 кг) + електричний детонатор;
- Центральний заряд: 2 нітрами (35 мм х 350 мм по 0,50 кг кожен);
- Головний заряд: 1 желеподібний (32 мм х 200 мм по 0,25 кг).

Схеми просування називаються «віялом», з меншим змінним опором від точки до точки, що призводить до подальшого відкриття нових вільних поверхонь, на яких можна працювати з вибухівкою.

Наступні рисунки ілюструють прийняту дульну схему. Слід пам'ятати, що під час робіт тип намордника може зазнати суттєвих змін адаптації до умов, що виникають на окремому підвір'ї.

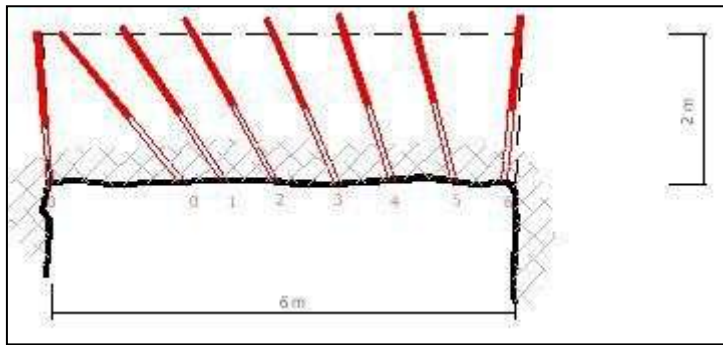


Рис 1.11: Схема вигляду дульної частини зброї

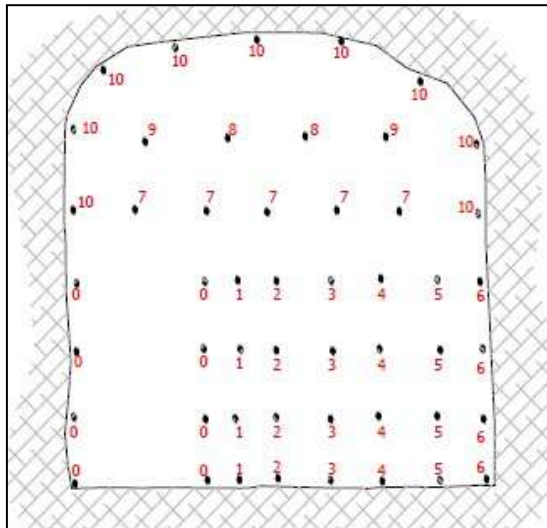


Рис. 1.12: Схема розрізу дульного отвору.

Вентилятори 1, 2,..., 6 складаються з 4 паралельних шахт, розташованих у вертикальних площинах (послідовність позначена звичайними номерами). Тобто, другий вентилятор має бути підірваний, коли перший вентилятор вже виконав свою роботу, щоб розвантажити частину покривної породи тощо. Для полегшення завдання вентиляторів, розкриття використовується для коротших "клинових" шахт, які починаються із затримкою 0. Завершення секції здійснюється контурними шахтами: профілювання та виявлення покрівлі; вони завжди виявляються останніми. Однак, враховуючи внутрішню мінливість конфігурації та структури породи, шахтар час від часу застосовує прості, вже перевірені схеми з кількох шахт кожна, доки не буде отримано бажаний результат.

Стандартний дульний отвор зазвичай має такі характеристики:

- Площа виїмки: 39 м<sup>2</sup>;
- Діаметр буріння: шахти 40 мм;
- Глибина шахти: близько 2 м;
- Кількість шахт: 50;
- Схема перфорації з віялоподібним стразом;
- Використана вибухівка: Nitram TX1 + желатин;
- Максимальне навантаження мін: 1,5 кг;
- Загальна витрата: 75 кг;
- Вибухова бомба з модульною затримкою 0,25 с та часом від 0 до 8 - 10;
- Максимальний заряд для затримки: 12 кг;

Завдяки прийнятій схемі просування можна працювати одночасно на двох фронтах (правий та лівий отвір), що дозволяє виконувати два щоденні спринти.

Розмір вибуху зазвичай хороший і не потребує вторинного глушіння.

Для забезпечення безпеки місць розкопок в кінці кожного прольоту проводиться точна перевірка нової стіни, а потім операція з масштабування, що дозволяє відокремити нестабільні блоки або плити.

Зрубаний матеріал очищається гусеничними навантажувачами та завантажується на самоскиди для транспортування на дробильну установку, розташовану поблизу офісів. Така установка складається з дробарки HAZEMAG та залізобетонного силосу місткістю 350 м<sup>3</sup>. Після подрібнення продукт вивантажується з завантажувальних патрубків силосів та завантажується на транспортні засоби компаній-закупівельників. На площі перед офісами є зона, яка використовується для зберігання запасів, де видобутий мінерал відкладається на випадок простою гірничодобувної діяльності. Дроблення відбувається за допомогою мобільної дробарки, встановленої на стрілі екскаватора-навантажувача, що

дозволяє одночасне завантаження на транспортні засоби компаній-закупівельників.

Геомеханічні дефекти, що перемежують крейдяний масив порід, можуть виникати внаслідок тріщин у щільному гіпсі, міжшарових осадових процесів або постседиментаційних процесів ін'єкції мергелю. Часто трапляється, що мергельний наповнювальний матеріал, через геотехнічне збіднення, падає під дією сили тяжіння на дно тунелів. З іншого боку, гіпсові клапти є здоровими при контакті, тобто вони не мають подальших тріщин і тому не потребують втручань, згаданих у попередньому абзаці. У цьому випадку необхідно проводити втручання для підтримки мергельних наповнень шляхом встановлення спеціальних сіток, здатних поглинати статичні навантаження, що визначаються об'ємом мергелю, що вивільняється з часом з початкового місця, після відповідного зшивання за межі здорових скельних країв. Мета полягає в тому, щоб забезпечити цілеспрямовану підтримку потенційно нестабільної смуги, перехоплюючи лусочки, які можуть падати, і водночас пропонуючи пасивну підтримку для подальших відшарувань. Цей тип втручання не є систематичним; тому ми переходимо до визначення репрезентативного критерію втручання.

## 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ

З точки зору геології, геометрії/планування, протяжності/розміру та забруднюючих речовин, кожна підземна шахта є унікальною. Таким чином, характер повітряних потоків та перепад тиску через повітряні шляхи, що складають шахтні виробки, також дуже мінливі. Однак, специфічні характеристики всіх вентиляційних систем мають певну спільність, і можна визнати класифікацію вентиляційних систем та підсистем. Метою цього та наступного розділів є обговорення необхідних критеріїв підземних вентиляційних систем, визначення критичних компонентів вентиляційної інфраструктури, а також представлення деяких технічних термінів інженерів з вентиляції. Добре розроблена вентиляційна система повинна бути адаптивною, економічною, адекватною та гнучкою [3]. Вентиляційні системи можна загалом об'єднати в такі комплекти:



Ілюстративна система вентиляції шахти (рис 2.1), що показує основну та просту схему системи, а також деякі пристрої керування вентиляцією, які можна використовувати. Однак, вентиляція є більш заплутаною, ніж цей схематичний опис. Повітря, як і більшість рідин, намагатиметься рухатися маршрутом з меншим опором від однієї точки до іншої, і маршрут до зон,

що потребують вентиляції, часто пролягає вздовж маршруту з високим опором.

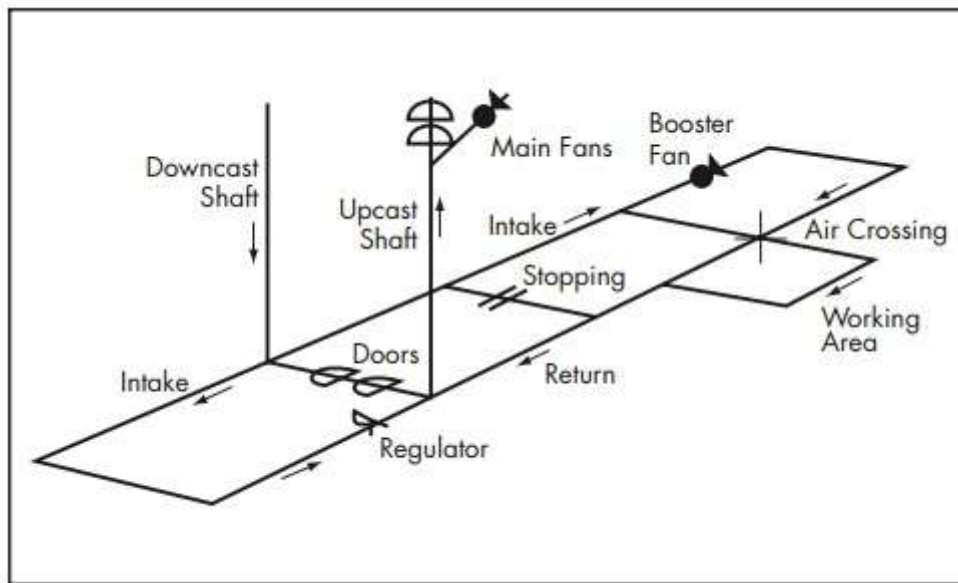


Рис. 2.1 Проста система вентиляції шахти [23].

На рисунку 2.1 показано наступне



Щоб доставити повітря до місць, де воно потрібно, необхідні пристрої керування повітряним потоком. Їх можна розділити на дві основні категорії: активні пристрої, які додають енергію повітрю, щоб спрямувати його туди, куди воно потрібно, або пасивні пристрої, які додають опір шляхам потоку, щоб спонукати повітря проходити іншими шляхами. Прикладами активних пристроїв є основні вентилятори та допоміжні вентилятори. Прикладами

пасивних пристроїв є повітряні перехрестя, засувки, повітряні двері, регулятори та ущільнення, які, додаючи опір, збільшують перепад тиску. Обидва типи обговорюються в наступних розділах [2].

Згідно з Положенням про кондиціонування повітря в шахтах (Klimabergverordnung) німецької вугільнодобувної промисловості, немає жодних обмежень щодо робочих годин на місці для підземних робіт при ефективних температурах до 25 °С. Робочі години скорочуються із середнього рівня восьми годин на зміну до шести або п'яти годин на зміну при вищих ефективних температурах. При температурі вище достатньої 30 °С роботи під землею дозволяються лише у виняткових ситуаціях. Крім того, вони повністю заборонені при ефективних температурах вище 32 °С. Огляд «Klimabergverordnung» наведено в таблиці 2.1. Кілька європейських країн взяли на себе принаймні частини цього закону для тунельних робіт [8].

Таблиця 2.1. Зведений огляд німецьких шахтних норм щодо кліматичних умов у несолевих шахтах [8].

| Температура |       | Тривалість зміни<br>(год) | Тривалість<br>робочого часу<br>(год) | Додаткова<br>перерва в роботі<br>(хв) |
|-------------|-------|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| тд          | тефф  |                           |                                      |                                       |
| ≤28°C       | ≤25°C | 8                         | Без обмежень                         | -                                     |
| >28°C       | >25°C | 8                         | 6                                    | -                                     |
|             | >29°C | 8                         | 5                                    | 10                                    |
|             |       | Працюємо лише за винятком |                                      |                                       |
|             | >30°C | 8                         | 5                                    | 20                                    |
|             | >32°C | Не працюємо               |                                      |                                       |

Для забезпечення необхідної вентиляції шахти передбачаються відповідні маршрути (повітряні шляхи) для потоку повітря вниз по шахті до робочих зон та відповідні шляхи виходу з шахти, коли вона стає непридатною для подальшого використання. Шахтні вентилятори можуть

бути встановлені на зворотних повітряних шахтах, впускних повітряних шахтах або на обох поверхнях, як на поверхні, так і під землею (рис. 2.2) [3].

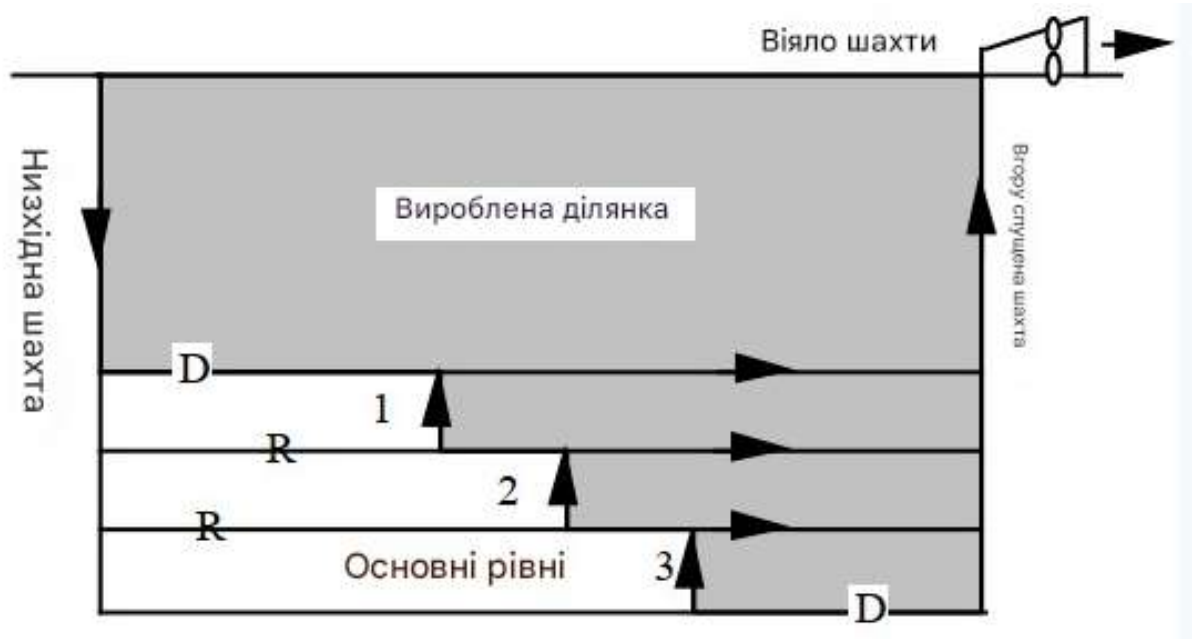


Рис. 2.2. Основна підземна вентиляційна система:

D – вентиляційні двері або шлюз, R – шахтний регулятор, а 1, 2, 3 – робочі зони з поверхневим витяжним вентилятором [3].

Добре спланована та належним чином виконана система вентиляції забезпечить сприятливі побічні ефекти (фізіологічні та психологічні), які підвищать захист, комфорт, здоров'я, моральний дух працівників та загалом їхній ентузіазм до більш ефективної роботи. Під час проектування системи вентиляції необхідно на початку визначити кількість повітря, необхідну для подачі, щоб відповідати всім стандартам охорони здоров'я та безпеки. Після розрахунку необхідної кількості можна визначити точні розміри шахт, кількість повітряних шляхів та їх конструкцію, а також вентилятори. Свіже повітря надходить через впускні повітряні шляхи до робочих зон, де значні частини забруднюючих речовин змішуються з повітрям. Забруднене повітря проходить через зворотні повітроводи.

Концентрації забруднюючих речовин не повинні перевищувати обов'язкові порогові значення, встановлені правилами та законами [3].

Метан є одним із найважливіших компонентів природного газу та основним джерелом чистої енергії. Він також є потужним парниковим газом (ПГ), другим за значенням після вуглекислого газу, на який припадає 16% усіх світових викидів ПГ внаслідок діяльності людини (рис. 2.3) [4].

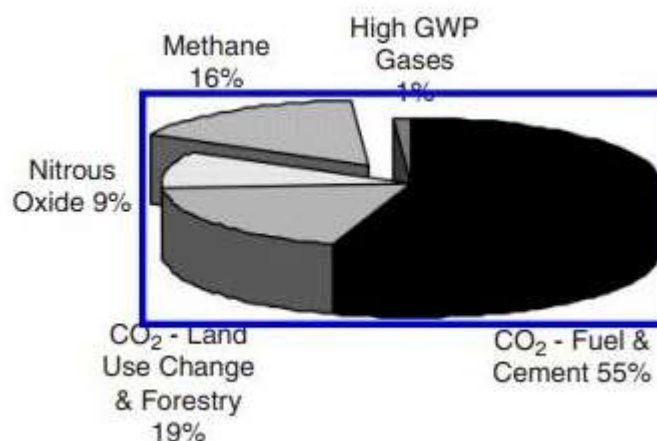


Рис. 2.3 Глобальні антропогенні викиди парникових газів [4].

Поширена підтримка та привабливість метану продовжується з кількох основних причин [4].

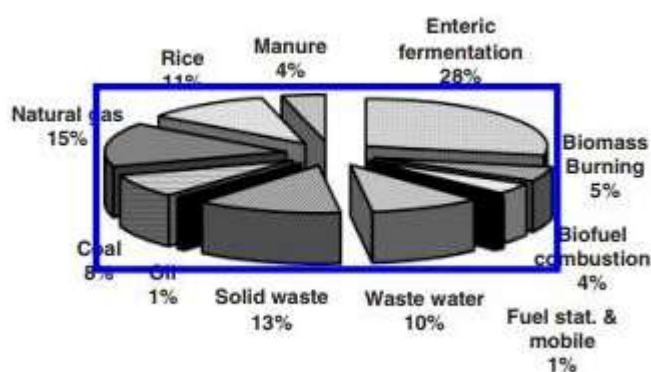


Рис. 2.4. Розподіл глобальних антропогенних викидів метану [4].

Джерела викидів метану різняться, особливо в різних країнах. Наприклад, видобуток вугілля та виробництво рису є двома основними джерелами викидів метану в Китаї. Натомість в Сполучених Штатах, звалища є найрідкіснішим джерелом викидів метану.

Деякі з цих альтернатив включають закачування природного газу трубопроводами, виробництво електроенергії, спільне спалювання в котлах, централізоване теплопостачання, сушіння вугілля та транспортне паливо. Існує кілька інтересів та вигод від вилучення та використання шахтного метану або інших видів шахтного метану: підвищення безпеки шахт, зменшення викидів парникових газів, покращення якості повітря на місцевому рівні, постачання місцевих енергетичних ресурсів та підвищення продуктивності шахт

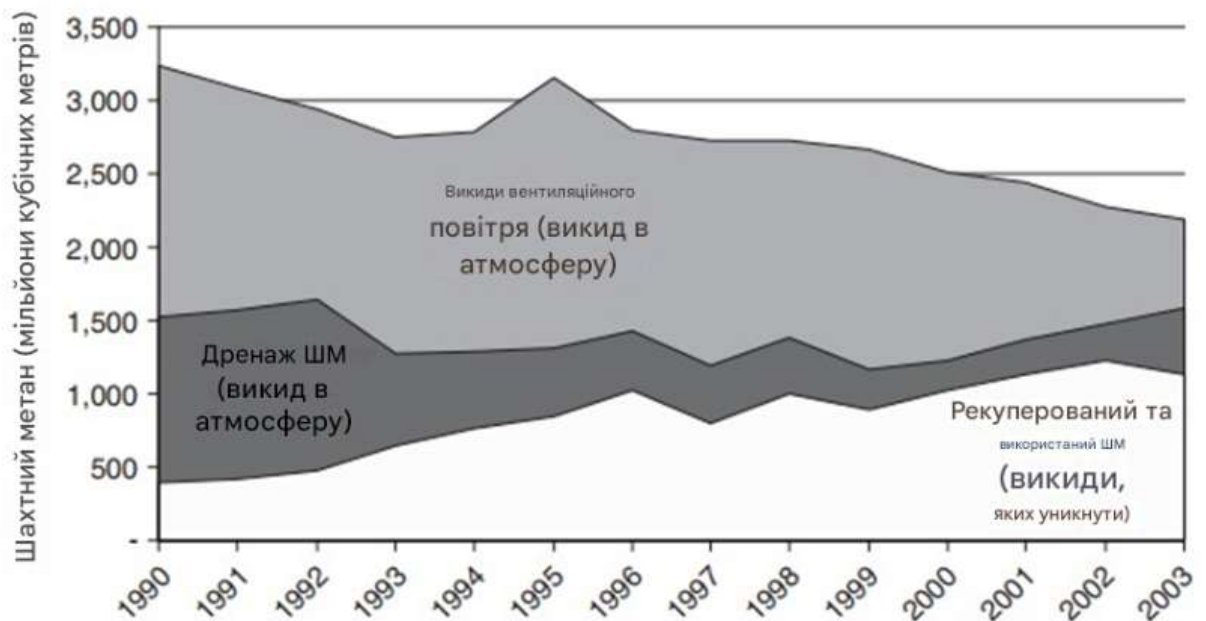


Рис. 2.5: Викиди метану з вугільних шахт США [4].

Хоча реально всі підприємства з видобутку шахтного метану в усьому світі використовували дефекаційний газ, найважливішим джерелом викидів шахтного метану є вентиляційні шахти. Хоча метан вентиляційного повітря (ВПА) охоплює дефіцитні концентрації метану (зазвичай нижче 1 відсотка),

сам об'єм вентиляційного повітря робить його найважливішим джерелом викидів шахтного метану [4].

Щодо забруднення атмосфери, групи пилу традиційно поділяються на внутрішні та зовнішні. Викиди зовнішніх груп пилу забруднюють повітря на рівні землі шахтних майданчиків. Смерть, як правило, настає після тривалого розвитку, що призводить до втрати в середньому одного року життя в цих випадках [18], [19]. Однією з основних причин професійних захворювань шахтарів є викиди пилу, забруднюючих речовин, тепла та водяної пари, що є властивими виробничим процесам у гірничодобувній промисловості [15]. Сила викидів пилу залежить від виду технологічних операцій та характеристик перероблюваного матеріалу (як фізичних, так і механічних), а також від наявності засобів пилоконтролю.

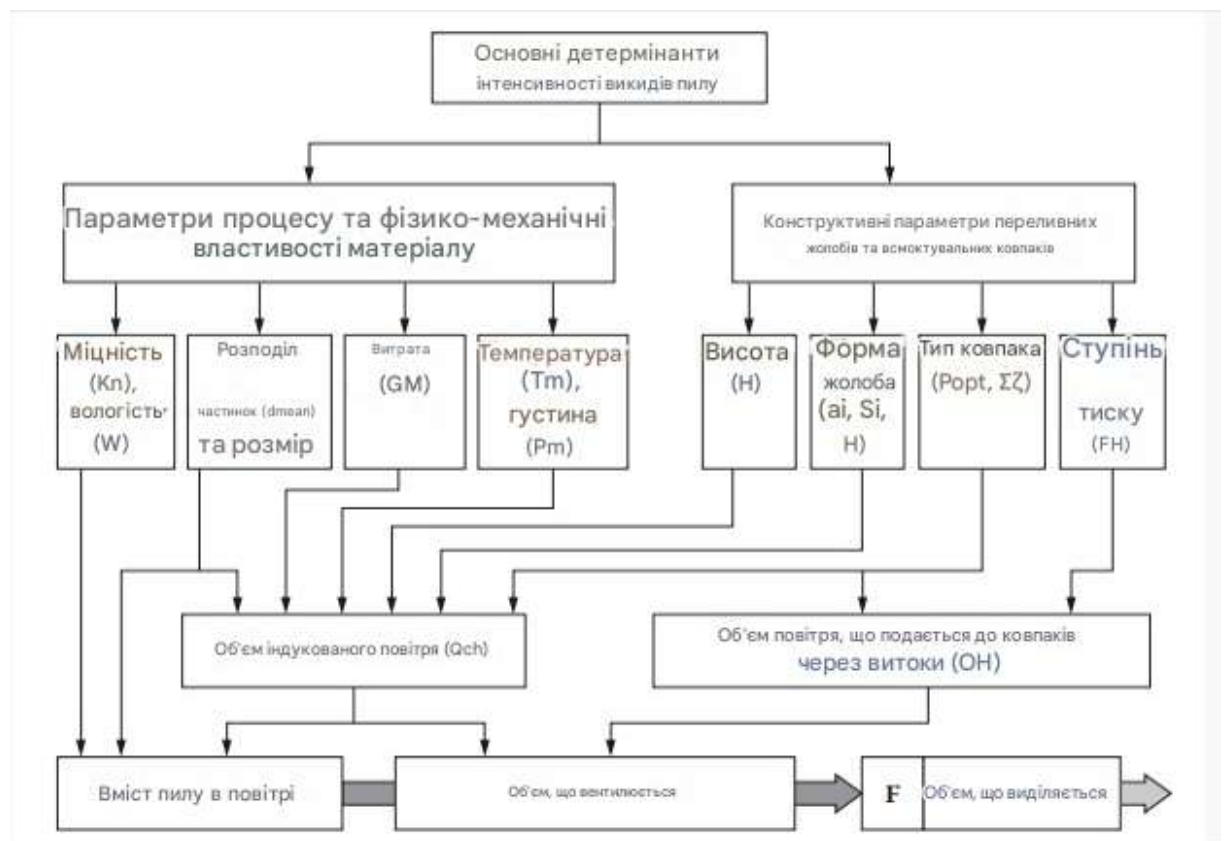


Рис. 2.6. Значні детермінанти валових викидів пилу під час переміщення сипучих матеріалів [13].

Найкращим універсальним та поширеним методом пилоочищення є аспірація, яка використовується для управління сипучими речовинами на установках попередньої обробки руди. Це забезпечує надійне утримання пилу за допомогою аспіраційних кожухів з послідовним відділенням пилу від повітря, що відкачується шляхом всмоктування [13].

У вугільних шахтах як оператори шахти збирають проби пилу за допомогою селективного за розміром пробовідбірника (циклону), який розділяє пил таким чином, що відображає ефективність осадження в газообмінній зоні легень. Ця так звана «фракція вдихуваного розміру» має ефективність осадження в легенях 100% при одному  $bm$  або менше, 50% при 5 BMS та нульову ефективність для частинок розміром 7  $\mu m$  і більше.

ГДК становить два  $mg/m^3$  для респірабельного пилу вугільної шахти, що вимірюється гравіметрично як 8-годинне середньозважена концентрація. Коли вміст респірабельного кремнезему перевищує 5%, цю межу знижують [21].

Для невугільних шахт не встановлено ПДК для пилу, що вдихається, але регулюється стандарт пилу, що шкодить,  $10 \text{ mg}/m^3$ . Зразок пилу, що вдихається, складається з «загального пилу», який являє собою частинки, що переносяться повітрям, які не збираються вибірково за розміром. Однак відбір проб пилу, що вдихається, проводиться на невугільних шахтах, якщо є підозра на потенційний вплив кремнеземного пилу. Якщо вміст кремнезему у зразку пилу, що вдихається, перевищує 1%, формула, яка використовується для визначення ПДК для пилу, дорівнює 10, поділеному на (відсоток кремнезему + 2). Таким чином, представник з вісьмома відсотками кремнезему матиме ПДК для пилу 1  $mg/m^3$  [21].

Вибухи можуть бути пов'язані з пожежею в шахті, а можуть і не бути. Іншими словами, вибух може бути просто подією в шахті, або він може статися в результаті триваючої пожежі, або навіть призвести до розвитку

пожежі. Відмінною рисою вибуху є дуже швидке перетворення хімічної енергії в тепло та механічну роботу. Навіть відносно невеликий вибух може зруйнувати обгородження, перегородки та конструкційну сталь, а також змістити важку техніку.

У типовому описі вибуху ударна хвиля поширюється від джерела займання. Суміш метану, вугільного пилу та повітря може створити ударну хвилю, швидкість якої в шість разів перевищує швидкість звуку через шахтні виробки. Обмеження простору – це фізичний фактор, який слід враховувати при розвитку вибуху. Ця ударна хвиля починає виникати, коли гази, що розширюються, прискорюються в навколишнє повітря. Це може посилюватися в гірничому середовищі, оскільки шляхи вивільнення обмежені (тобто розміри шахтного отвору обмежені) [21].

Інженер з вентиляції шахти повинен звертати увагу не лише на кількість повітря, яке може подавати система вентиляції шахти, але й на хімічний склад повітря. Та частина загального кондиціонування повітря, яка стосується чистоти повітря, називається контролем якості.

Контроль якості повітря часто є однією з найважливіших проблем під час планування або роботи з системою вентиляції шахт [22].

Контроль температури та вологості, одна з трьох функцій загального кондиціонування повітря в шахтах, є, по суті, контролем тепла. Він складається з тих процесів, які призначені для регулювання вмісту явної та прихованої теплоти в повітрі: нагрівання, охолодження, зволоження та осушення. Контроль температури та вологості схожий на контроль якості, оскільки він стосується фізичної якості повітря. Навпаки, контроль якості стосується хімічної якості повітря. Зазвичай причиною використання кондиціонування повітря в шахтах є комфорт, а не цілі виробництва чи експлуатації. Тепловість повітря в шахті підтримується в межах обмежень, встановлених для комфорту, безпеки та експлуатаційної ефективності

людей. Іноді використовується кондиціонування повітря, що залежить від продукту, як-от у вугільних шахтах, де опалення даху в теплому, вологому літньому повітрі призводить до охолодження, або в соляних шахтах, де надмірне поглинання вологи мінеральним продуктом може становити екологічну проблему.

Коли самої лише вентиляції недостатньо для підтримки стандартів атмосферного тепла на прийнятному рівні, кондиціонування повітря в шахті для контролю температури та вологості стає необхідним. Кількість шахт та гірничодобувних районів, які вважають необхідним кондиціонувати повітря, хоча й невелика, різко зросла за останні кілька десятиліть. Очікується, що кондиціонування повітря відіграватиме дедалі важливішу роль у гірничій справі за дедалі агресивніших умов навколишнього середовища, з якими зараз стикаються під землею[22].

.

### 3. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Повітря завжди проходить шляхом найменшого опору; однак воно може не потрапляти туди, де потрібно. Щоб подавати повітря туди, куди потрібно, необхідні вентиляційні пристрої; необхідними засобами забезпечення та управління повітряним потоком для всієї конструкції є вентилятори. Крім того, для успішного розсіювання повітря під землею також необхідний ряд інших планів керування, які будуть розглянуті пізніше.

Будь-яка система вентиляції має подвійне призначення. З одного боку, первинна вентиляція повинна направляти повітря через центральні повітряні шляхи до робочої зони біля вибоїв, таким чином забезпечуючи свіже повітря для вентиляції вибою, а потім повертати забруднене повітря через зворотні повітряні шляхи в атмосферу. З іншого боку, система вентиляції вибою повинна бути спроектована таким чином, щоб ефективно використовувати повітря, яке є в безпосередній робочій зоні, для очищення вибою, уловлювання та видалення пилу, а також для зменшення та відведення газу, якщо такий виділяється під час гірничих робіт. Залежно від типу шахти та місцевих геологічних особливостей, схеми вентиляції можна розділити на дві широкі групи: 1. U-подібна система або 2. система наскрізного потоку (Рис. 3.1, [12-15]). Рисунок 3.1а зображує первинну U-подібну систему, де повітря проходить через робочу зону, а потім повертається через сусідні повітряні шляхи. Зазвичай між ними встановлені довгі стійки та перегородки, щоб відокремити їх від впускних отворів. Доступні дверцята зупинок полегшують рух між шляхами споживання та повернення повітря. Варіацією цього розташування можуть бути методи видобутку за допомогою довгих забоїв, камер та стовпів. Інше розташування показано (рис. 3.1b), де впускні та повертаючі отвори часто географічно розділені від сусідніх повітряних шляхів, які є або повністю

впускними, або повертаючими отворами. Хоча через географічне розділення потрібно менше повітроводів та зупинок, що зазвичай призводить до меншої кількості прискорювачів, для управління повітряними потоками в операційних зонах можуть бути необхідні чинні правила щодо повітря та витоків повітря [3, 10-13].

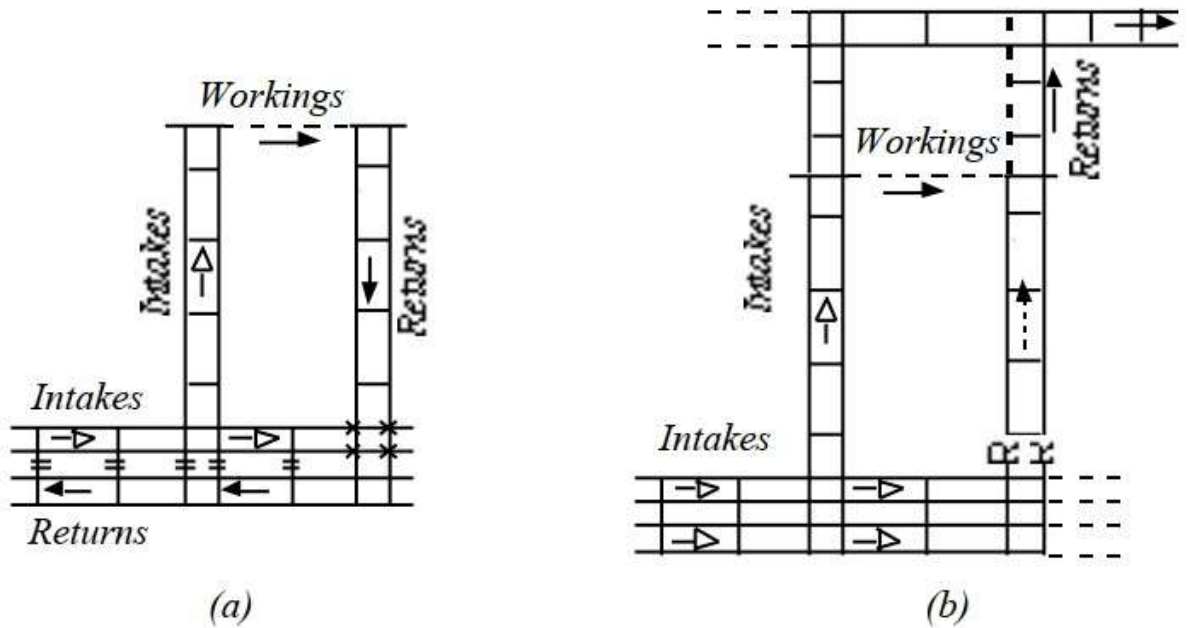


Рис. 3.1 Елементарні вентиляційні системи (a) U-подібна та (b) проточна[3].

Фактичні схеми підземних приміщень можуть бути варіантами будь-якої однієї системи або об'єднанням двох систем.

Більшість підземних шахт, що видобувають плитчасті форми рудних тіл (вугілля, поташ, вапняк, сіль тощо), зазвичай використовують одну з двох технік: камерну та стовпову або лавну видобуток. Хоча оригінальні схеми планування можуть суттєво відрізнятися від шахти до шахти та від зони до зони залежно від місцевих геологічних умов, оригінальний ескіз цих методів залишається незмінним. Наступні сектори окреслюють зазвичай використовувану систему розсіювання повітряного потоку.

На рис. 3.2 показано деякі з часто використовуваних схем вентиляції, що використовуються на ділянках лав [3].

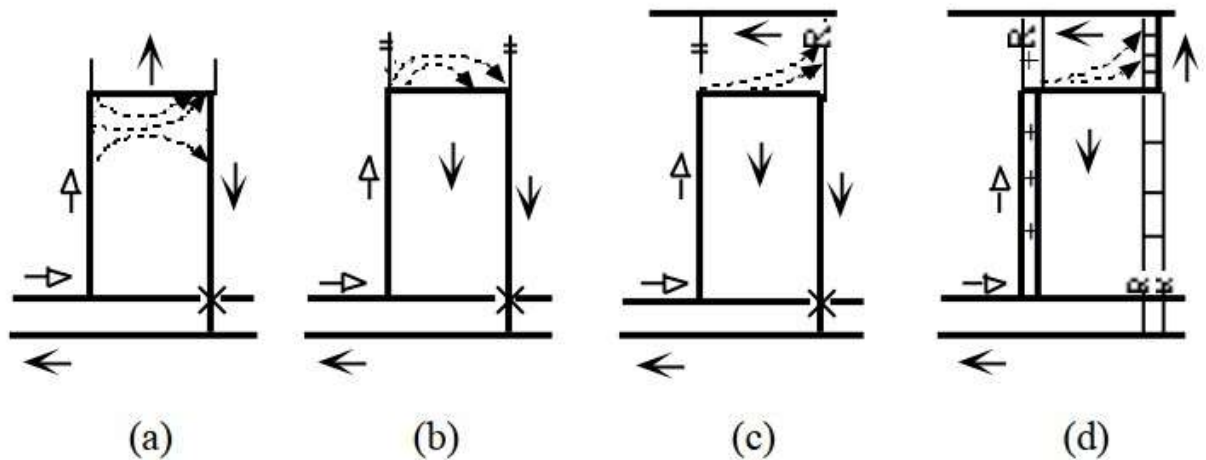


Рис. 3.2. Схема розташування систем вентиляції довгих забоїв: (a) одностороннє просування; (b) Односторонній відступ; (c) односторонній відступ зі зворотним продувом; (d) двосторонній відступ зі зворотним продувом [3, 9-13].

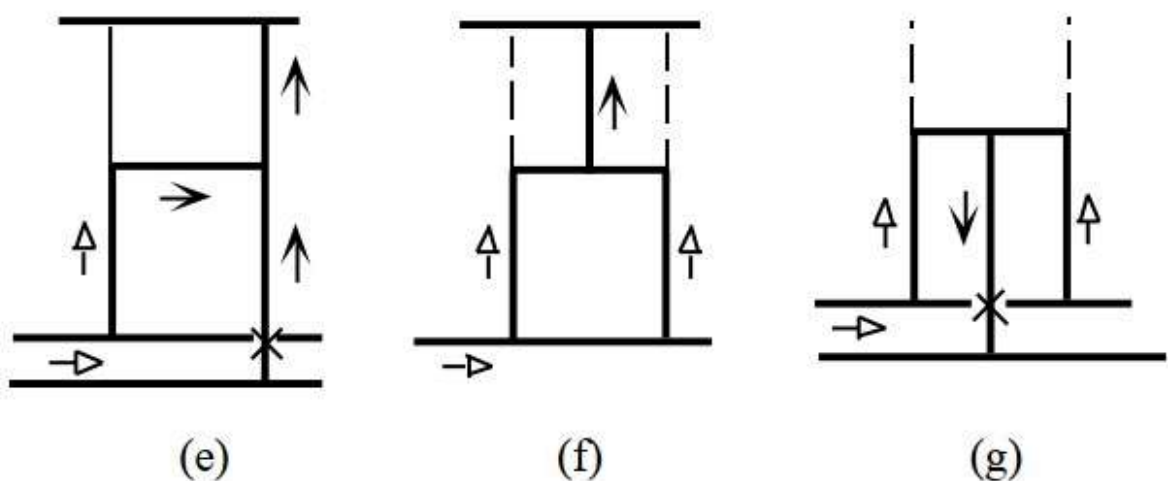


Рис. 3.3: Групування систем вентиляції довгих стін:  
(e) система Y; (f) система подвійної Z; (g) система W. [3, 9-13].

На рисунку 3.4 зображено два методи вентиляції приміщення та панелі просування колони у вугільній шахті, де експлуатується кілька входів. На рисунку 3.2 зображено спрямовану, або W-систему, в якій

впускні повітряні шляхи являють собою повітряні шляхи в центральному зрізі панелі, з зворотними повітряними шляхами з обох боків, зазвичай спрямованими за принципом «риб'ячий хвіст». Метод на рисунку 3.8b – це односпрямована система, в якій впускний та зворотний повітряні шляхи розташовані по обидва боки нейтрального повітряного шляху.

У вугільних шахтах США повітря в цих входах не вважається використаним для вентиляції робочих зон; тому його спрямовують у зворотний повітряний тракт через регулятор. Очевидним недоліком є те, що нам потрібні подвійні зупинки порівняно з однонаправленою системою. Також ми можемо спостерігати подвійний витік повітря порівняно з додатковими зупинками.

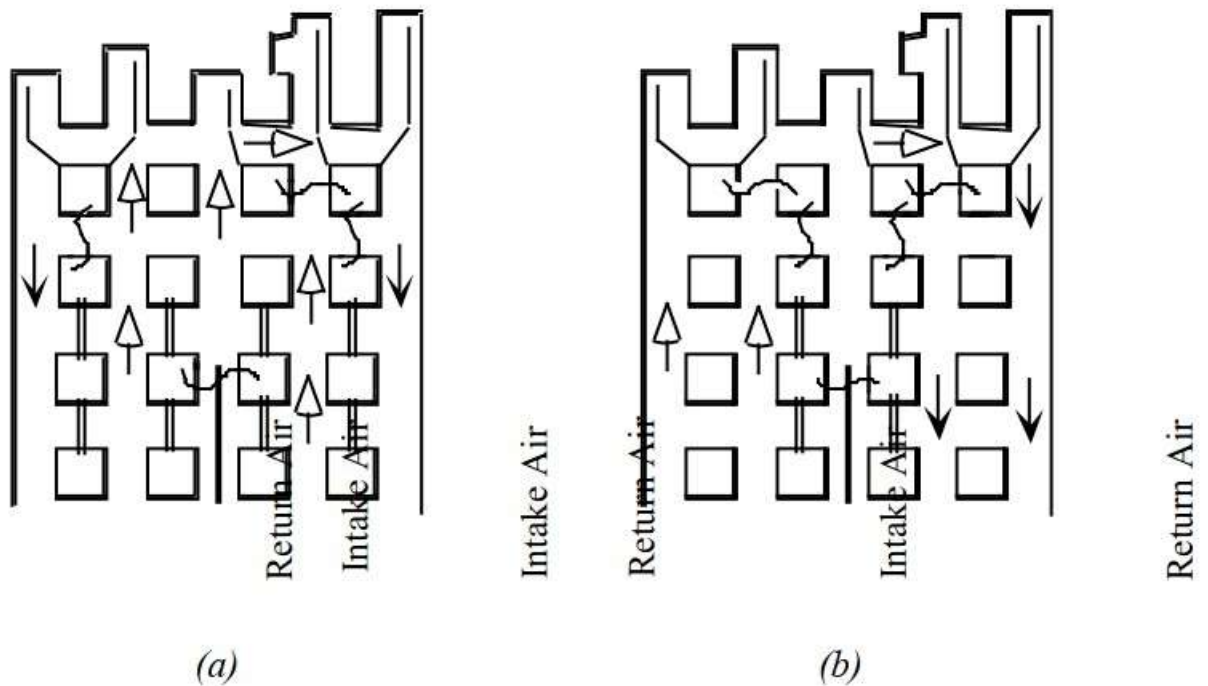


Рис. 3.4 Розробка приміщення та колон з лінійними ґратками для керування повітряним потоком на вході конвеєрної стрічки: (a) двонаправлена система; (b) однонаправлена система [3].

Звичайно, шахти з величезними входами потребують значного об'єму вентиляційного повітря для належної вентиляції підземних операцій. Намагаючись задовольнити цю необхідність, часто виникають дві важливі проблеми: локальна рециркуляція повітря та витік повітря через вигрібні споруди, обидві з яких пов'язані з неправильно побудованими (та обслуговуваними) вигрібними спорудами або, в багатьох випадках, відсутністю достатньої кількості вигрібних споруд, і обидві можуть негативно вплинути на підземну операційну зону. Часто керівництво шахти неохоче погоджується на відсутність вигрібних споруд, або через технічні проблеми, або через пов'язані з цим витрати. Необхідно враховувати всі логічні заходи, щоб гарантувати ефективну подачу свіжого повітря в операційні зони, де воно потрібне. Наслідком неналежної вентиляції є низька функціональність зони, що не тільки порушує федеральні та державні закони, але й може негативно вплинути на ефективність та продуктивність праці працівників. Для спрямування свіжого повітря в операційні зони на великі простори необхідні пристрої керування. Точні та достовірні витрати на будівництво звичайних металевих каркасних вигрібних споруд у вході розміром 35 м завширшки та 20 м заввишки важко оцінити через кілька врахованих параметрів. У багатьох випадках завіси з браттисового шламу є єдиними твердими речовинами для підземного використання; вартість цих завіс з браттисового шламу коливається від 1500 до 3000 доларів за один обробіток. Ціна включає витрати на робітників та речовини. Однак ці обробітки схильні до більш значних витоків між смугами браттисового шламу та навколо периферійних споруд. Витік залежить від кількох параметрів, таких як якість виготовлення, технічне обслуговування, методи видобутку корисних копалин (обробітки, розташовані занадто близько до робочого середовища, зазнають типових пошкоджень від вибухів) та, меншою мірою, від особливостей геології (

прогинання покрівлі та здійснення дна можуть пошкодити обробітки), які будуть розглянуті пізніше (рис. 3.5).

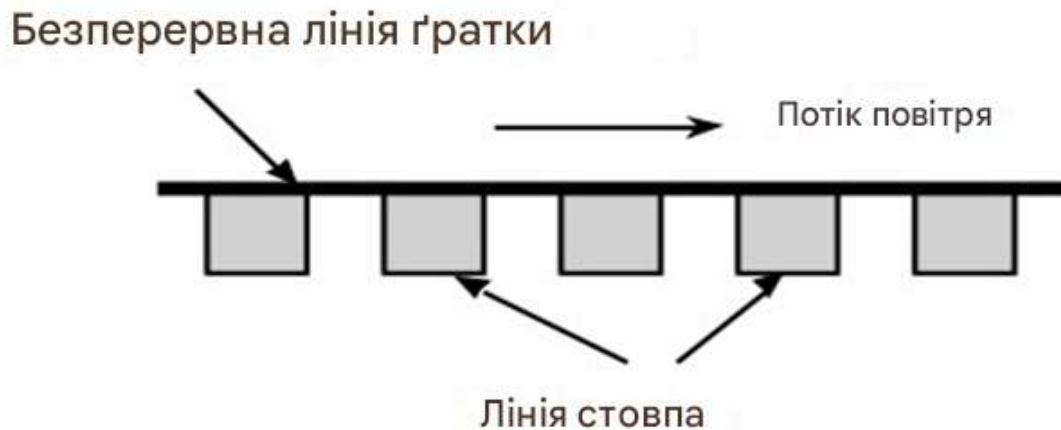


Рис. 3.5 Безперервна лінія ґратчастих завіс зменшить витік навколо периферійних пристроїв [23].

Хоча безперечний вплив на вартість енергії, спричиненої витоком, важко реалізувати, він визнаний суттєвим. Оскільки будь-який витік через зупинку має бути компенсований шляхом «закачування» додаткового повітря під землю для задоволення потреб безпеки, це значно збільшить потреби в енергії на вентиляторі через те, що потужність вентилятора та кількість повітря мають кубічну залежність. Модульна схема пропонує альтернативу. У цій схемі (рис. 3.6) навмисно залишаються масивні бар'єрні стовпи з чотирьох боків заздалегідь спланованого блоку видобутку; таким чином, повітря може бути ефективно спрямоване на більші простори.

Окрім неправильно побудованих та неналежно обслуговуваних зупинок, ще однією значною причиною рециркуляції повітря в підземних виробках є неправильна організація шахти [38]. Однією з поширених помилок проектування підземних вапнякових виробок є те, що центральні впускні та зворотні повітряні шляхи розташовані поруч один з одним, що

призводить до рециркуляції відпрацьованого повітря назад у впускний(і) повітряний(і) шлях(и). Цей стан погіршується, коли для входу в тунель використовується коробчастий канал, який зазвичай використовується у вапнякових та вугільних шахтах, де видобувається руда.

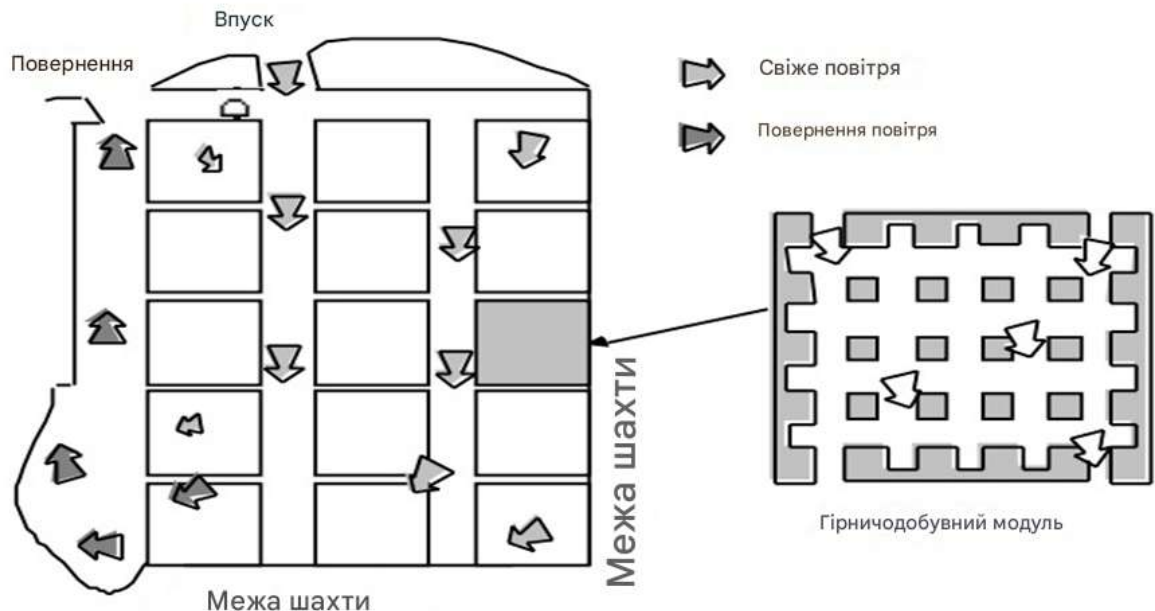


Рис. 3.6 Теоретичний підземний кар'єр з видобутку вапняку, де замість обмежувачів використовується модульна система для спрямування повітря в робочі зони [3].

Повітря не може бути виведене з впускного середовища. На ранній стадії розробки шахти центральні впускні та зворотні повітряні шляхи повинні бути розташовані близько один до одного, і знадобиться щонайменше кілька років, перш ніж можна буде пробурити повітряну шахту на деякій відстані від порталу та реалізувати весь вентиляційний контур. Допускається, що впускний та зворотний повітряні шляхи в порталному середовищі повинні бути фізично розділені на початку експлуатації шахти, щоб запобігти рециркуляції повітря (Рис. 3.7) [3]. Якщо це неможливо, і впускний та зворотний отвори необхідно розміщувати

поруч один з одним у нижній частині вирізу коробки, це комбінований метод (рис. 3.8) розділення впускного та зворотного повітря за допомогою вертикального вентиляторного каналу на випускному кінці витяжного вентилятора.

На рисунку 3.8 показано рекомендоване розташування, де відпрацьоване повітря відхиляється вгору за допомогою вертикального повітропроводу (evase`) довжиною щонайменше 80 футів. Evase` також служить ще одній корисній меті: він може покращити швидкість вентилятора, тиск, який в іншому випадку втрачався б. Щоб запобігти додатковим втратам від ударних навантажень, з'єднувальний вигин має бути круглим і гладким.

На рисунках 3.9 та 3.10 зображено сезонний вплив попереднього дослідження у вугільній шахті, де покрівля була зі сланцю.

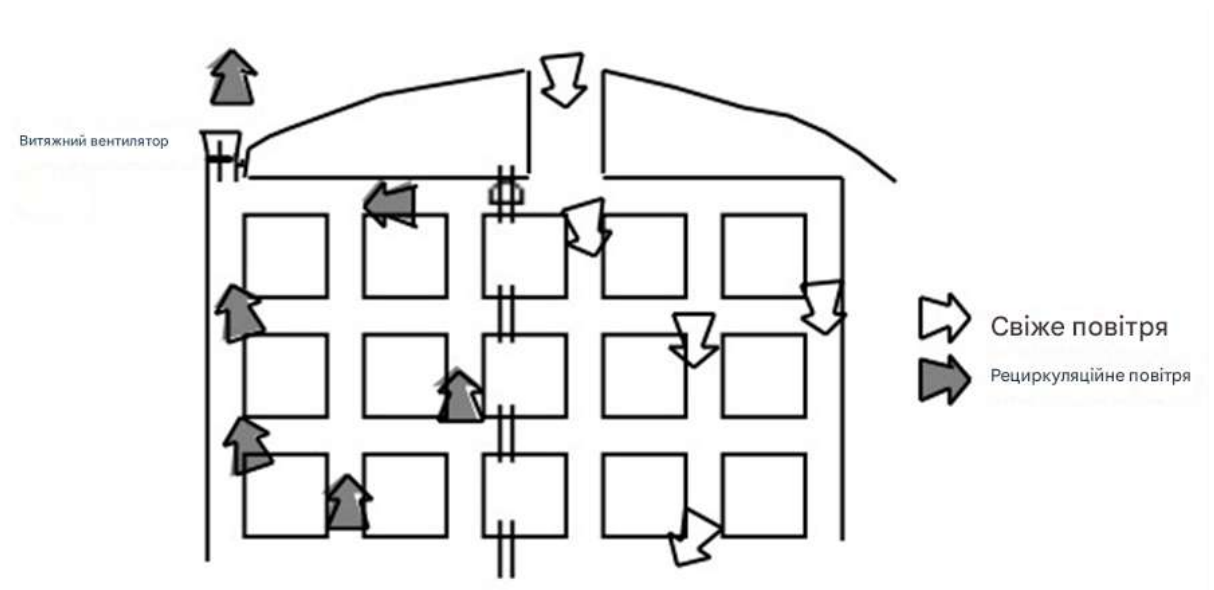


Рис. 3.7. Вентиляторний канал використовується для відведення відпрацьованого повітря та відновлення втраченого тиску швидкості [32-34].

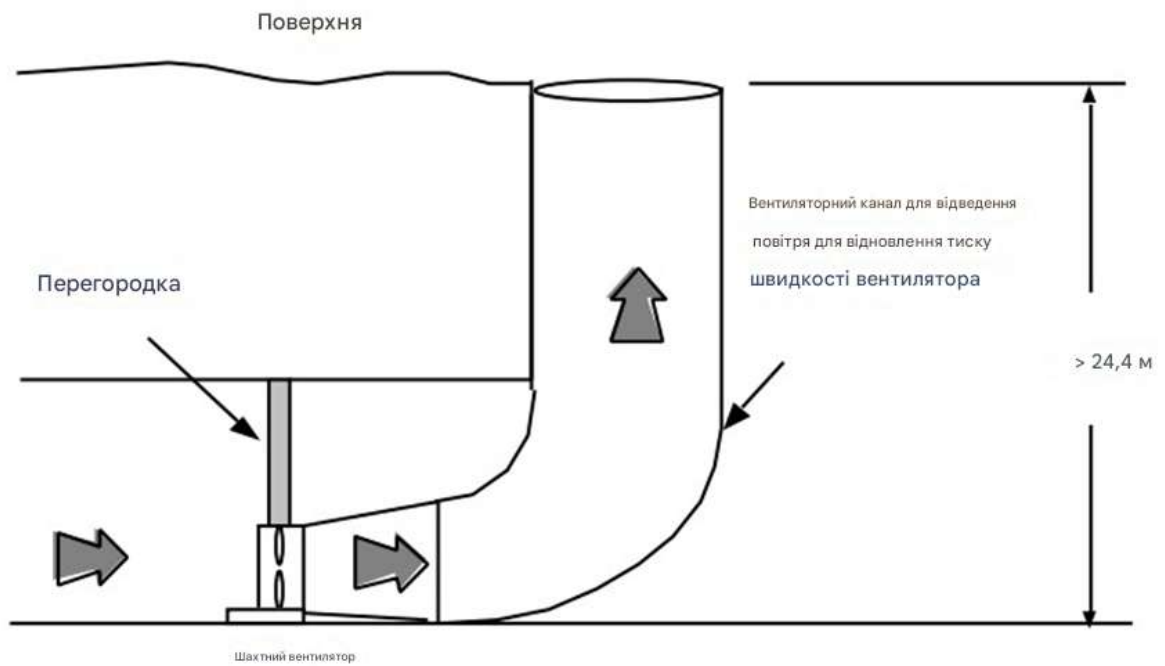


Рис. 3.8. Вентиляторний канал використовується для відведення відпрацьованого повітря та відновлення втраченого тиску швидкості [34].

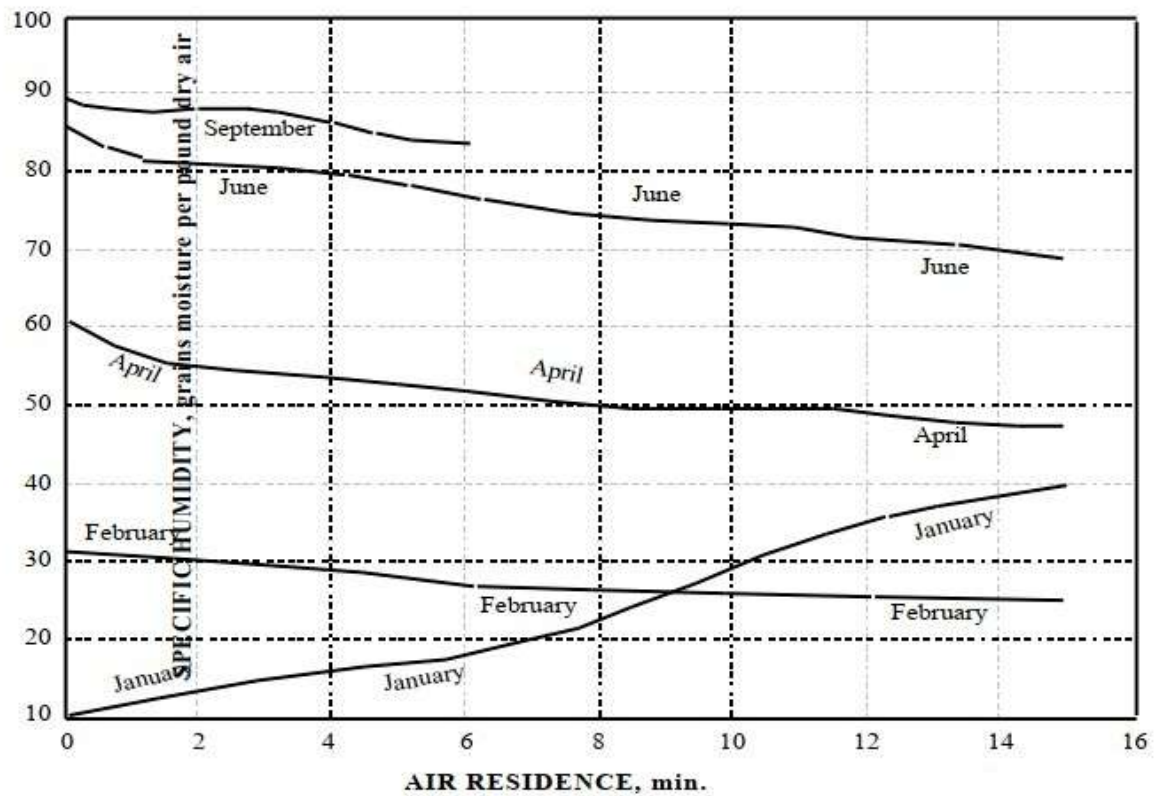


Рис. 3.9 Зміни питомої вологості повітря в шахті як функція часу перебування повітря [3].

Обмін вологи між повітрям, що надходить, та навколишніми породами є специфічним для кожної ділянки. Хоча точні характеристики вологопоглинання фундаменту не є чітко визначеними, дослідження сланцю в інших шахтах можна було б використовувати як орієнтир для логічної оцінки їхньої взаємодії [3-7].

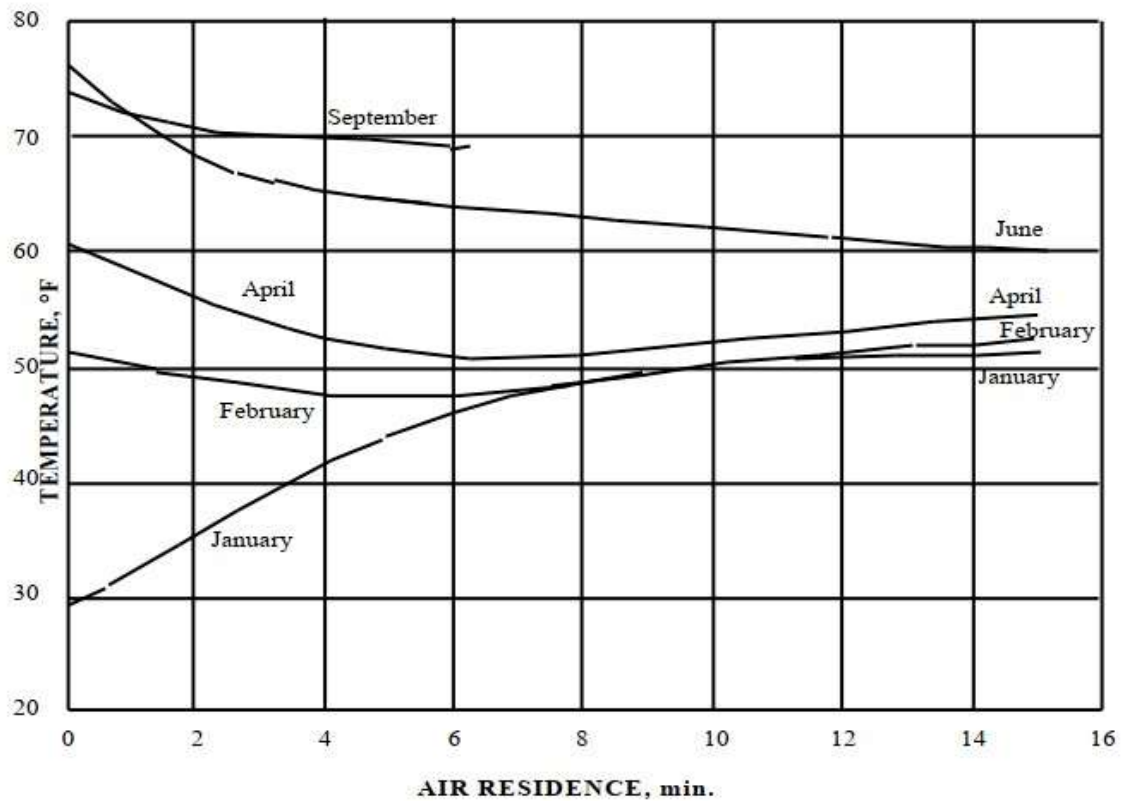


Рис. 3.10 Зміни температури повітря в шахті як функція часу перебування повітря в ній [3].

Різниця в якості руди в металевих шахтах та коливання ринку металів призводять до необхідності розробки більшої кількості вибоїв або робочих ділянок, ніж може скласти враження неминучості, при цьому, можливо, лише частина з них працює протягом однієї зміни [23].

Вентиляційні мережі для металевих шахт, як правило, складніші, ніж для стратифікованих родовищ, і часто також є тривимірними. На рисунку 3.11 показано конструкцію вентиляції багатьох металевих шахт, незважаючи на те, що реальна геометрія буде значно відрізнятися [3].

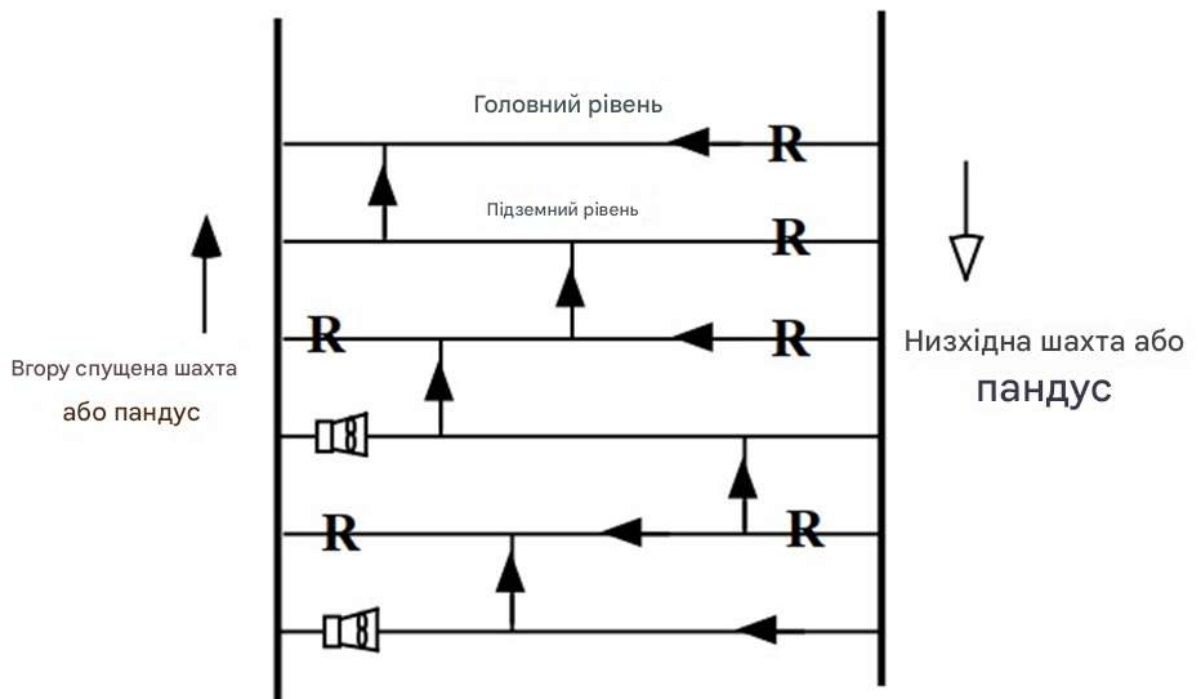


Рис. 3.11 Розріз, що показує вентиляційну систему для металевої шахти .

Системи розсіювання повітряного потоку для окремих вибоїв також залежать від величезної мінливості, залежно від розмірів, геометрії та різниці вмістів рудного тіла. Необхідно підтримувати послідовну вентиляцію між вибоями, щоб гази вибуху могли швидко та ефективно відводитися (Рис. 3.12).

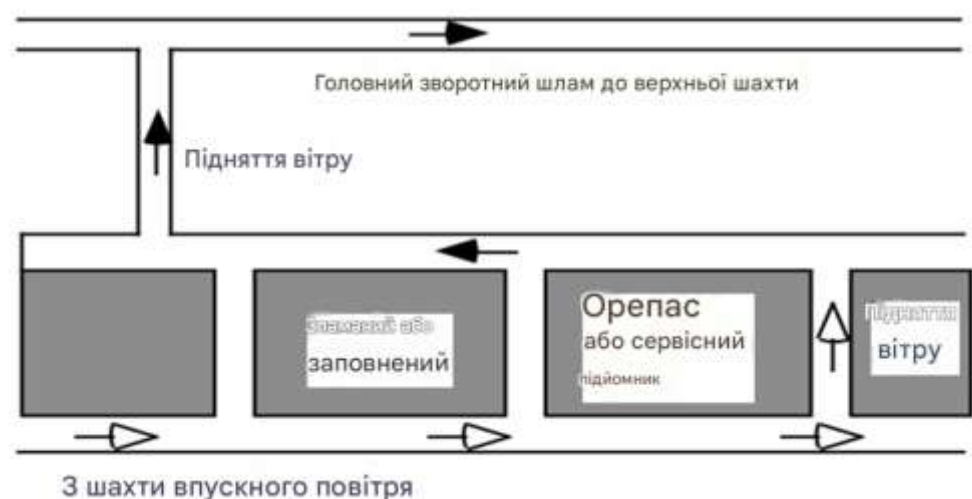


Рис. 3.12 Приклад простої вентиляційної системи для усадочних або виїмкових вибоїв [12-15].

Щодо розташування вентиляторів та маршруту повітряного потоку, існують три системи вентиляції:

витяжна система, де шахтний вентилятор розташований зверху зворотної повітряної шахти;

приточна система, де шахтний вентилятор розміщено на впускній повітряній шахті;

комбінована система з вентиляторами як на впускній, так і на зворотній повітряній шахтах.

Це стосується лише основних вентиляційних систем; наприклад, система вентиляції вибою для операційного середовища, яку використовують місцеві організації, може відрізнятися від центральної системи. Залежно від конкретного плану, тиск у шахті може бути як негативним (витяжна система, оскільки вентилятор створює всмоктування в конструкції, що зменшує тиск у шахті за атмосферний), так і позитивним (видувальний підхід). Причина цього полягає в тому, що тиск у шахті оцінюється відносно атмосферного тиску(рис. 3.13)

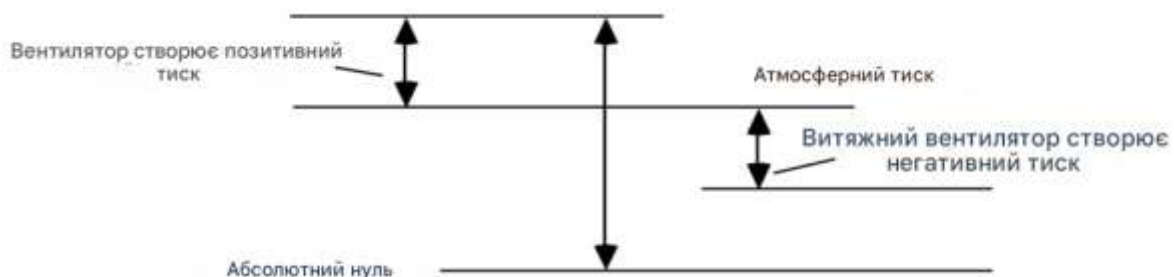


Рис. 3.13 Діаграма, що показує позитивний тиск у шахті для системи продувки та негативний тиск у шахті для витяжного підходу [33].

Напрямок повітряного потоку залежить від положення головного вентилятора, що, у свою чергу, суттєво впливає на інші сторони роботи або транспортування. З одного боку, антитропна система - це система, в якій повітряний потік і транспортована порода рухаються у зворотних напрямках, що натякає на те, що транспортування корисних копалин

здійснюється у впускних повітряних шляхах. Це свідчить про тенденцію до обмеження швидкості повітря у впускних повітряних шляхах, щоб пил та інші випари не були занадто надмірними. З іншого боку, гомотропна система - це система, в якій повітряний потік і видобута порода переміщуються в одному напрямку або транспортування здійснюється у зворотних повітряних шляхах. Ця система забезпечить безпосереднє виведення пилу, тепла та інших забруднюючих речовин з подрібненої породи назовні. Крім того, ця система також корисна у разі виникнення пожежі під час транспортування. Ще одним елементом напрямку повітряного потоку є нахил повітряного шляху. Коли повітряний потік проштовхується вгору по похилих виробках, це називається висхідною вентиляцією [34].

Кінцева мета проектування вентиляції полягає в плануванні системи, яка зможе належним чином вентилювати всі робочі вибої, повітряні шляхи та підземне середовище з мінімальними витратами. Відповідна система вентиляції шахти завжди починається з першої розробки проекту гірничої справи, який все ще повинен мати альтернативи. Рисунок 3.14 зображує первинну модель проектування нової підземної шахти. Незважаючи на багато факторів, що входять до остаточної схеми планування вентиляції, мінімізація втрат на тертя та ударні навантаження є двома найважливішими серед усіх розглянутих пунктів.

Моделювання системи провітрювання в залежності від умов експлуатації [23-50] повітроводи навколо пандусів на рівнях В, С та D, щоб повітря не могло проходити в інші повітроводи, а втрати тиску через велику кількість повітроводів значно зменшилися (рис 3.14-3.20). Також важливо зазначити, що я врахував у симуляції рішення точно такий самий вентилятор та інші характеристики шахти, такі як ударні втрати тощо, що відповідають поточній ситуації в шахті. Крім того, враховано

повітропровід, який з'єднує вихід шахти між рівнями E та F із серединою пандуса між рівнями D та E.

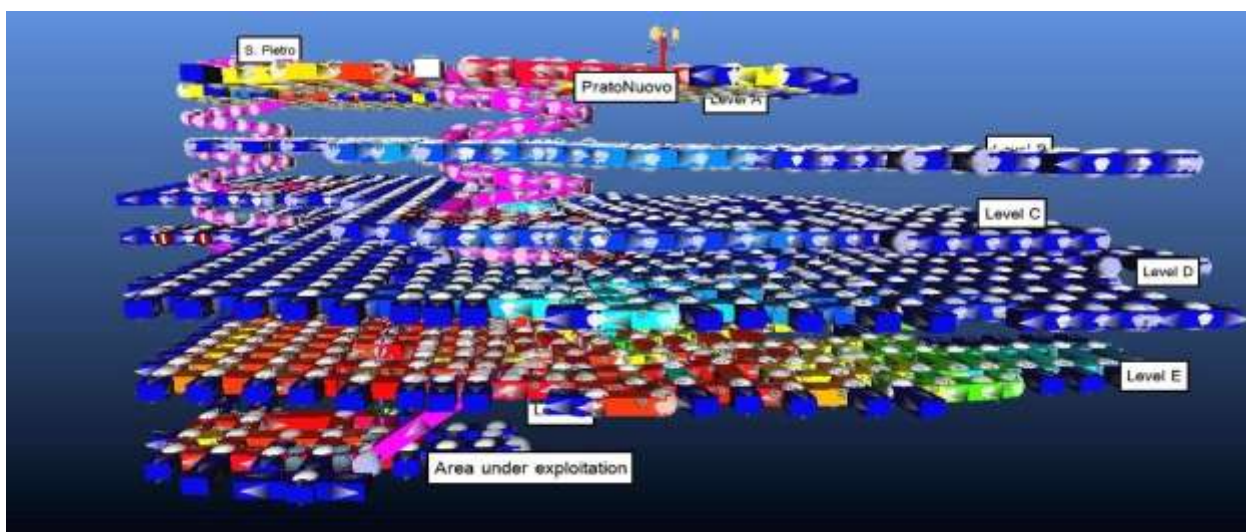


Рис. 3.14 Моделювання першого кута вигляду спереду поверхів А, В, С, Е, D та F першого рішення

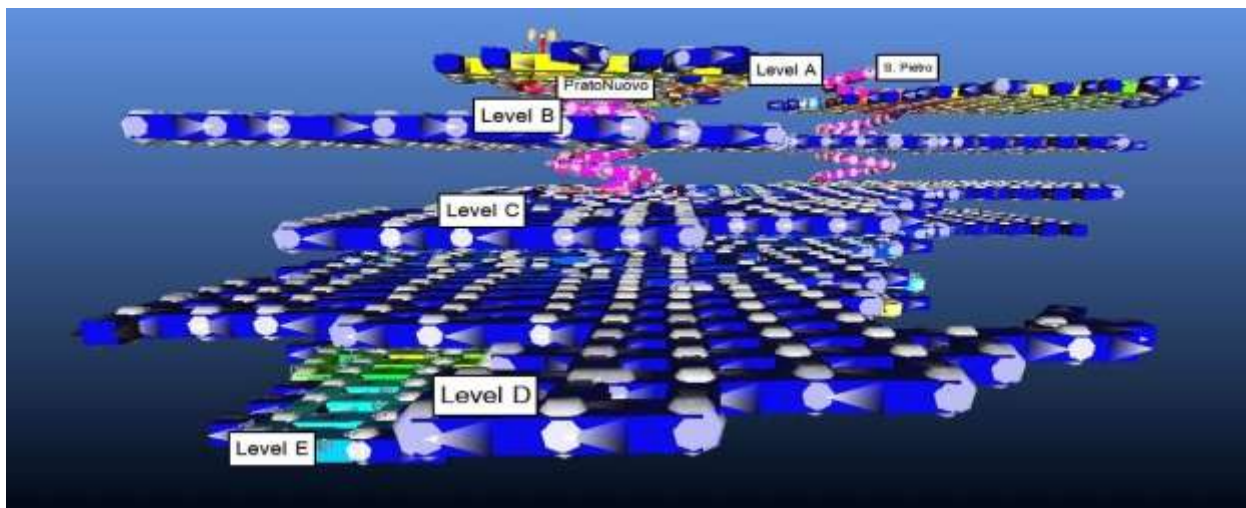


Рис. 3.15 Моделювання другого кута вигляду спереду поверхів А, В, С, Е, D та F першого рішення.

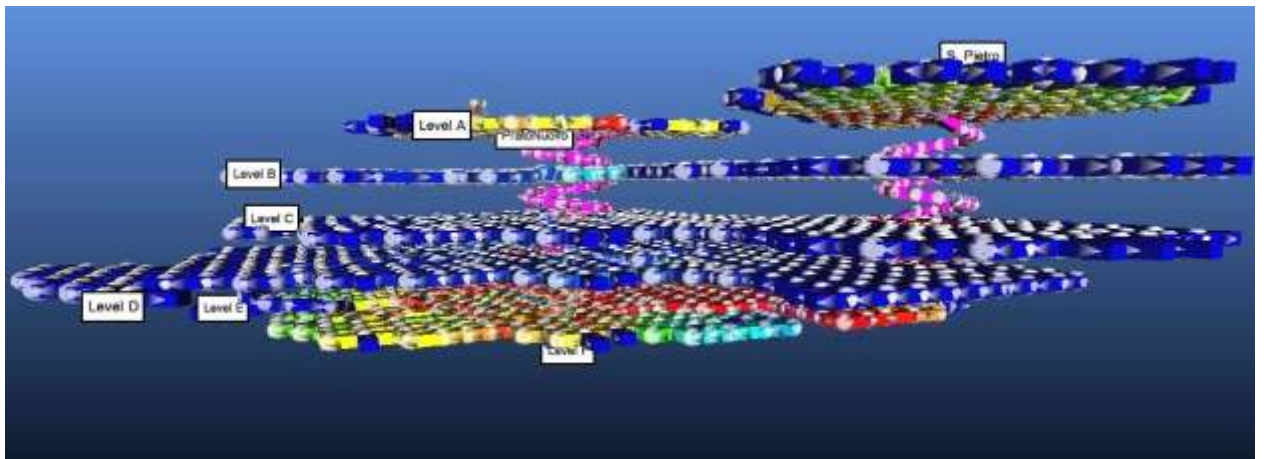


Рис. 3.16 Моделювання третього ракурсу вигляду спереду поверхів А, В, С, Е, D та F першого рішення.

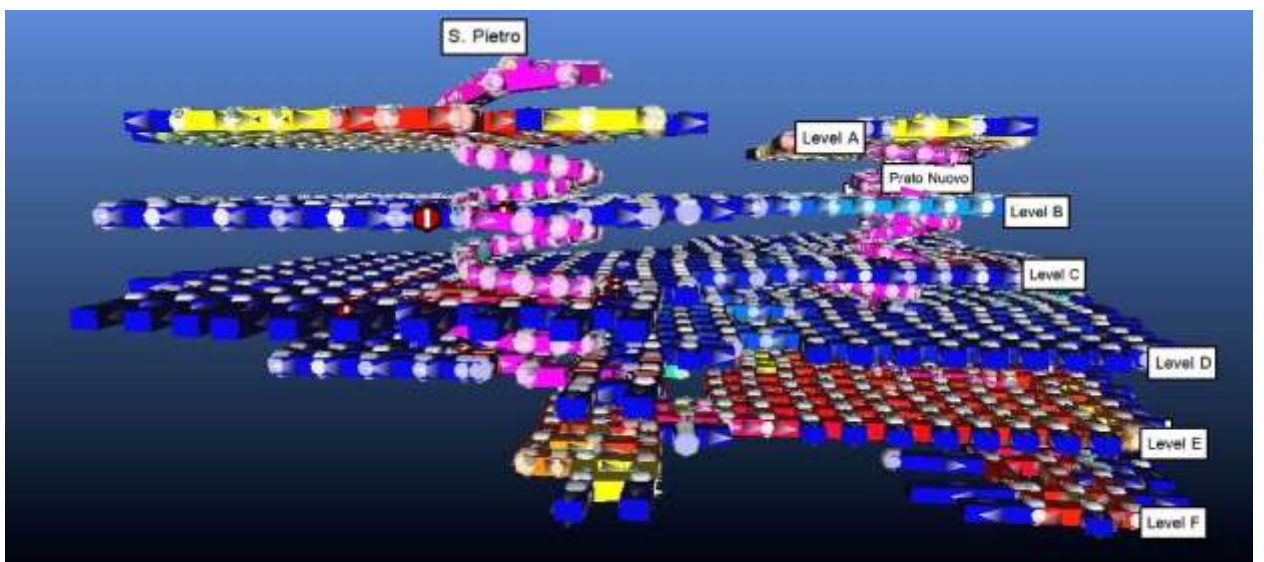


Рис. 3.17 Моделювання вигляду спереду під 4-м кутом поверхів А, В, С, Е, D та F першого рішення.

Аналогічно до даних про забруднення 5 машин, додано забруднювачі в симуляції першого та другого рішень, щоб побачити, що станеться після поширення забруднювачів та після буровибухових робіт.

Найбільший потік повітря: рожевий колір. Найменший потік повітря: синій колір. Кольори від найбільшого до найменшого потоку повітря: рожевий, червоний, жовтий, зелений, синій.

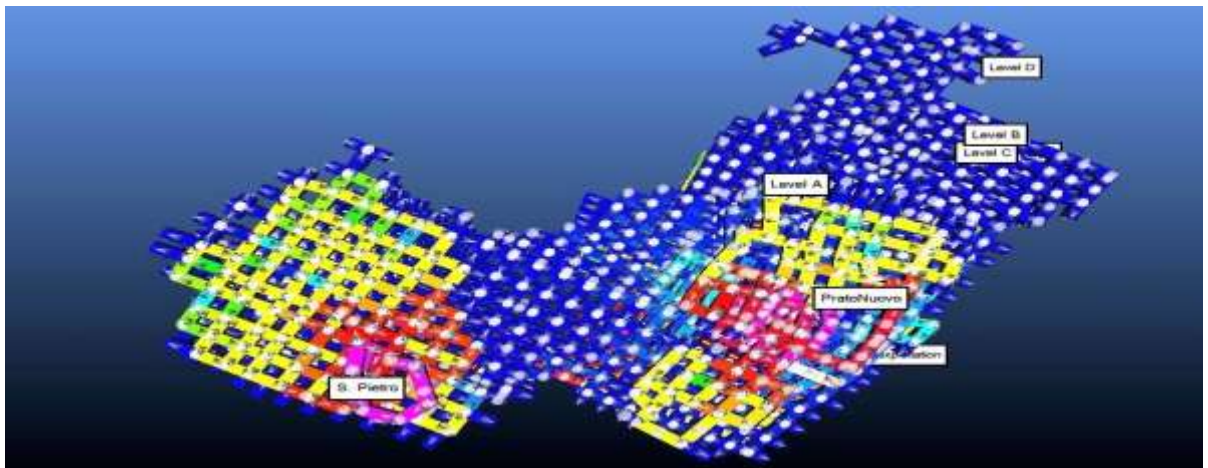


Рис. 3.18 Моделювання вигляду зверху поверхів A, B, C, E, D та F.

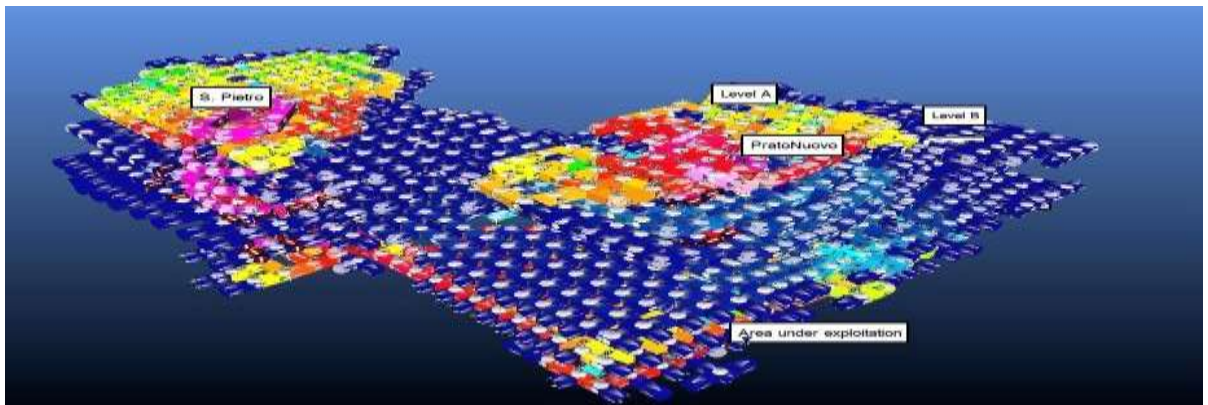


Рис. 3.19 Моделювання вигляду зверху поверхів A, B, C, E, D та F.

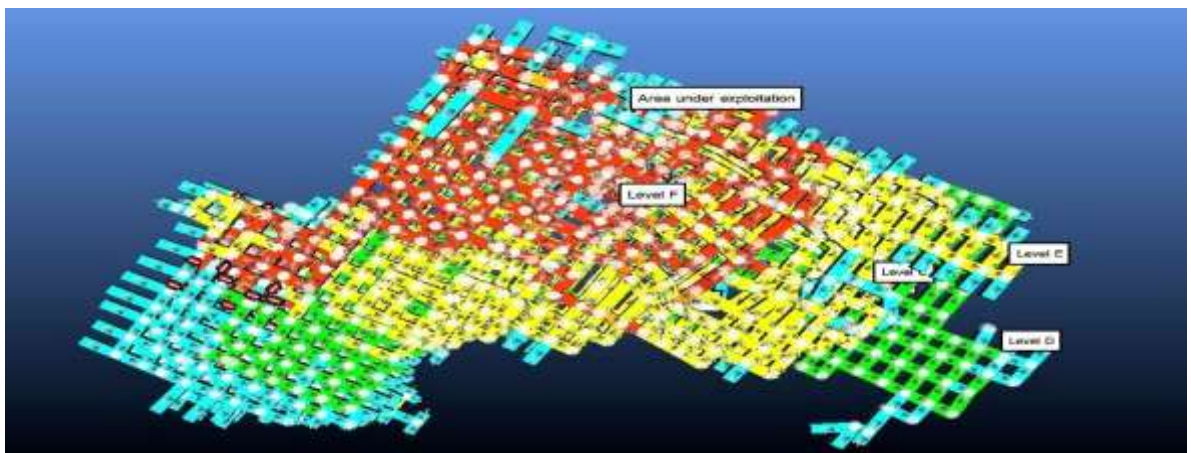


Рис. 3.20 Моделювання вигляду знизу поверхів A, B, C, D, E та F.

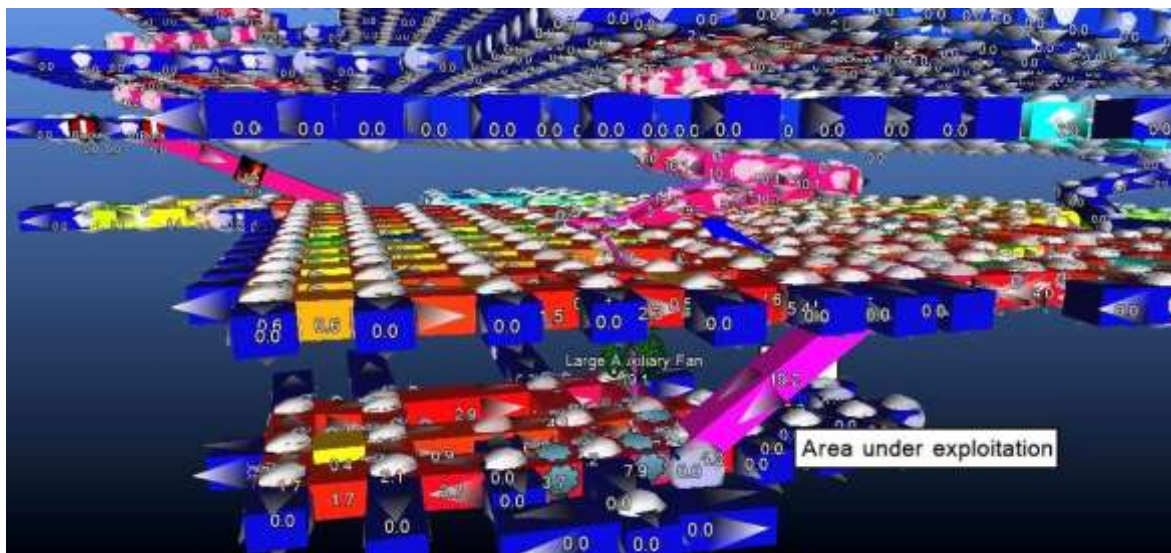


Рис. 3.21 На вході пандуса між рівнями DE відбувається рециркуляція повітряного потоку.

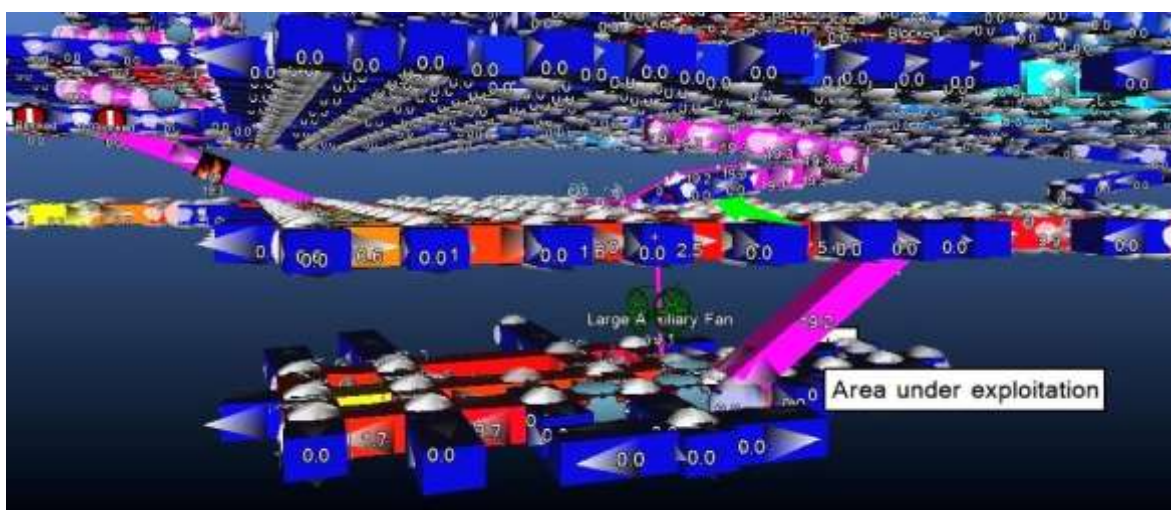


Рис. 3.22 Блок (двері) на в'їзді на пандус між рівнями DE.

Після того, як ми спроектували повітропровід між виходом шахти та входом, про який йшлося раніше, ми виявили, що на вході пандуса між рівнями D та E відбувається рециркуляція повітря (рис. 3.19); відповідно закрито вхід цього пандуса дверима, щоб заблокувати рециркуляцію, і результат був прийнятним (рис. 3.20).

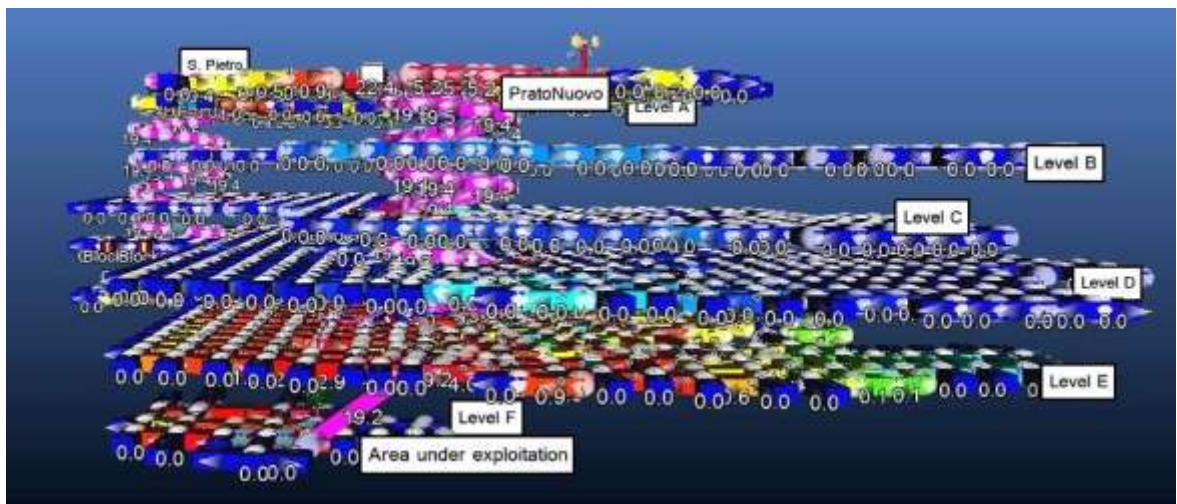


Рис. 3.23 Моделювання повітряного потоку в усіх повітроводах шахти.

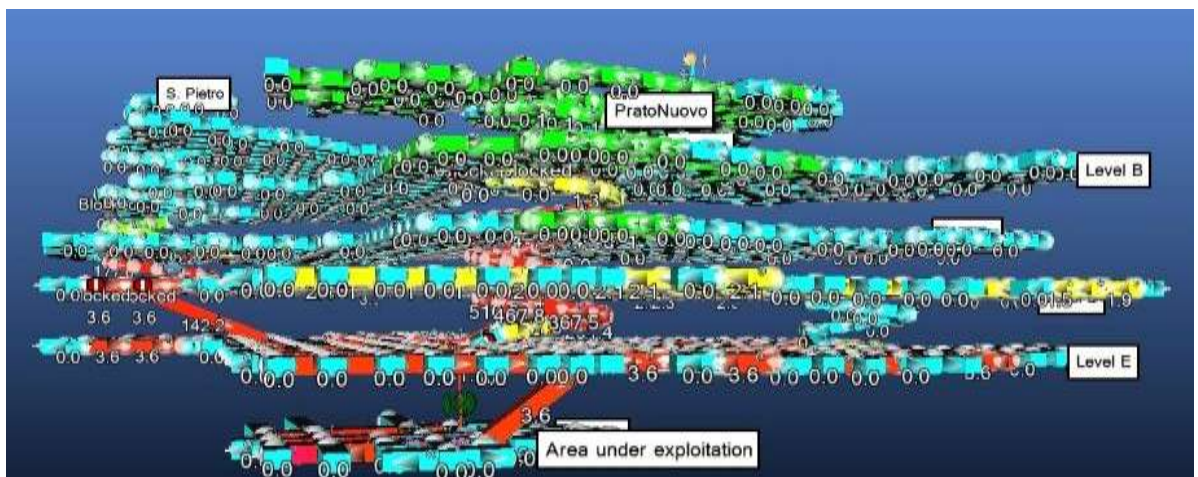


Рис. 3.24 Розподіл CO (ppm) через 15 хвилин після запуску машин.

Потім результати поширення забруднень ( $CO$  (ppm),  $CO_2$  (%)) проілюстровано на рисунках 3.20-3.26. Згідно з цими результатами, ця нова система вентиляції набагато ефективніше видаляє забруднене повітря з шахти швидше, використовуючи набагато менший вентилятор та нижчі капітальні та експлуатаційні витрати. Спостерігається значення тиску та температури (рис. 3.27-3.29) всередині різних рівнів та контурів шахти. Виходячи з цих показників, ми не маємо жодного неприйнятного тиску та температури в жодному з повітроводів шахти в цьому рішенні.

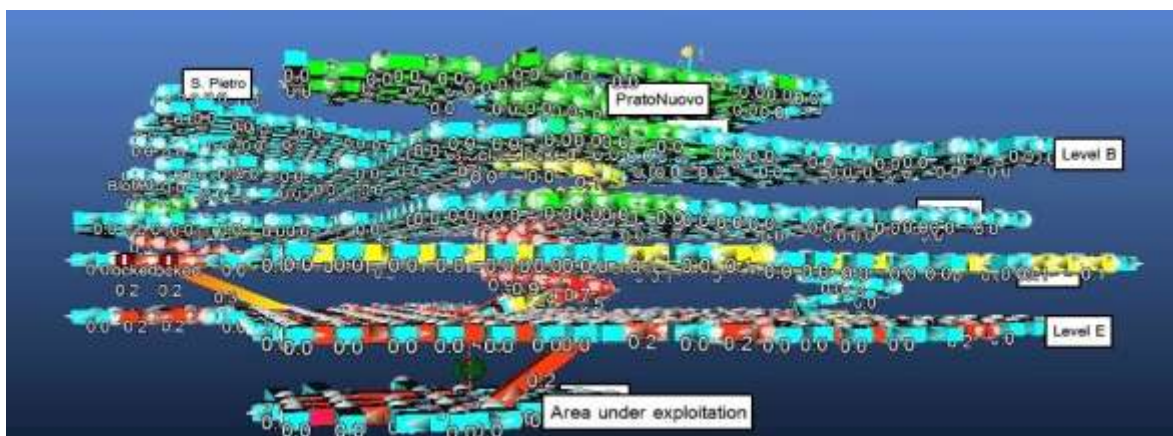


Рис. 3.25 Розподіл  $CO_2$  (%) після 15 хвилин запуску машин.

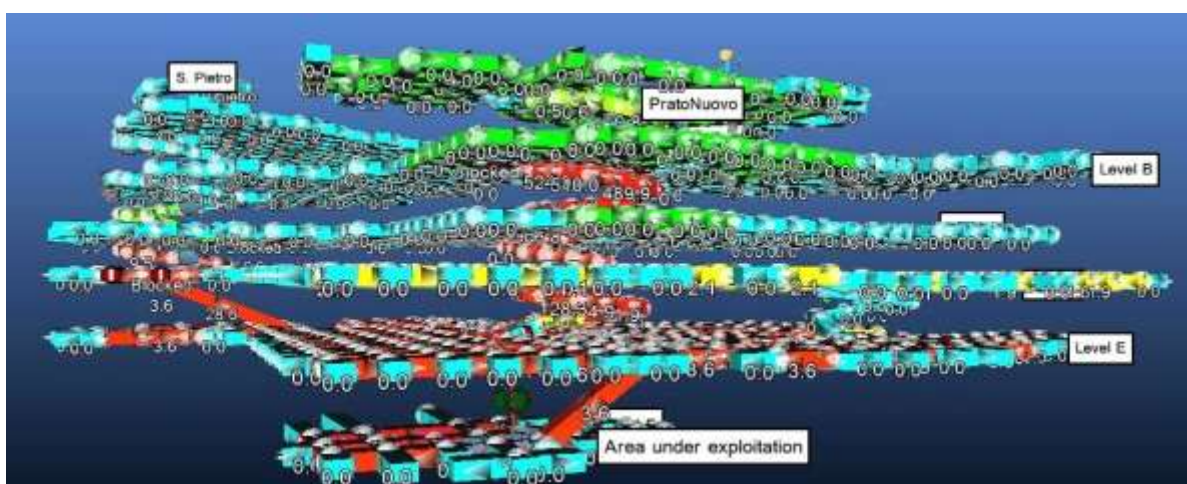


Рис. 3.26 Розподіл CO (ppm) через 30 хвилин після запуску машин.

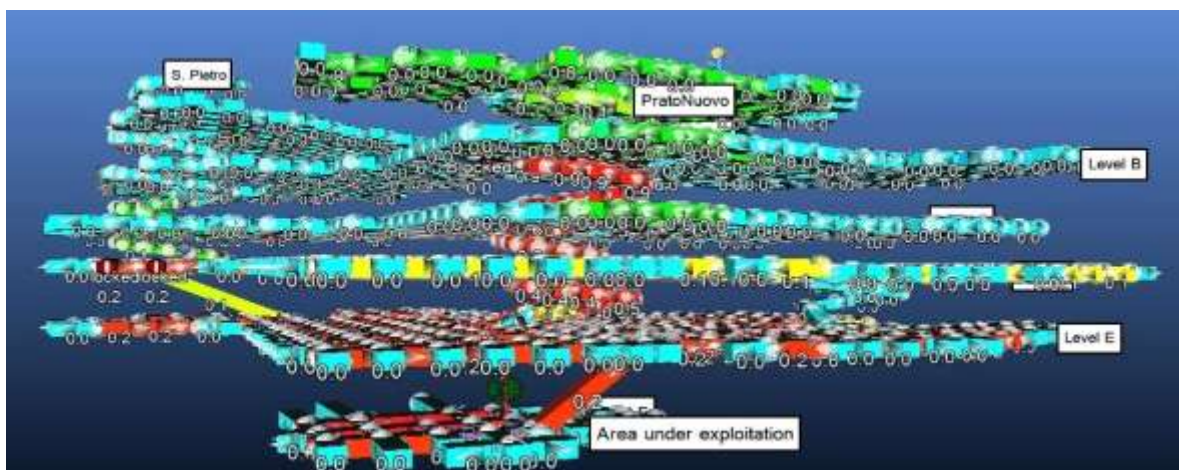


Рис. 3.27 Розподіл  $CO_2$  (%) після 30 хвилин запуску машин.

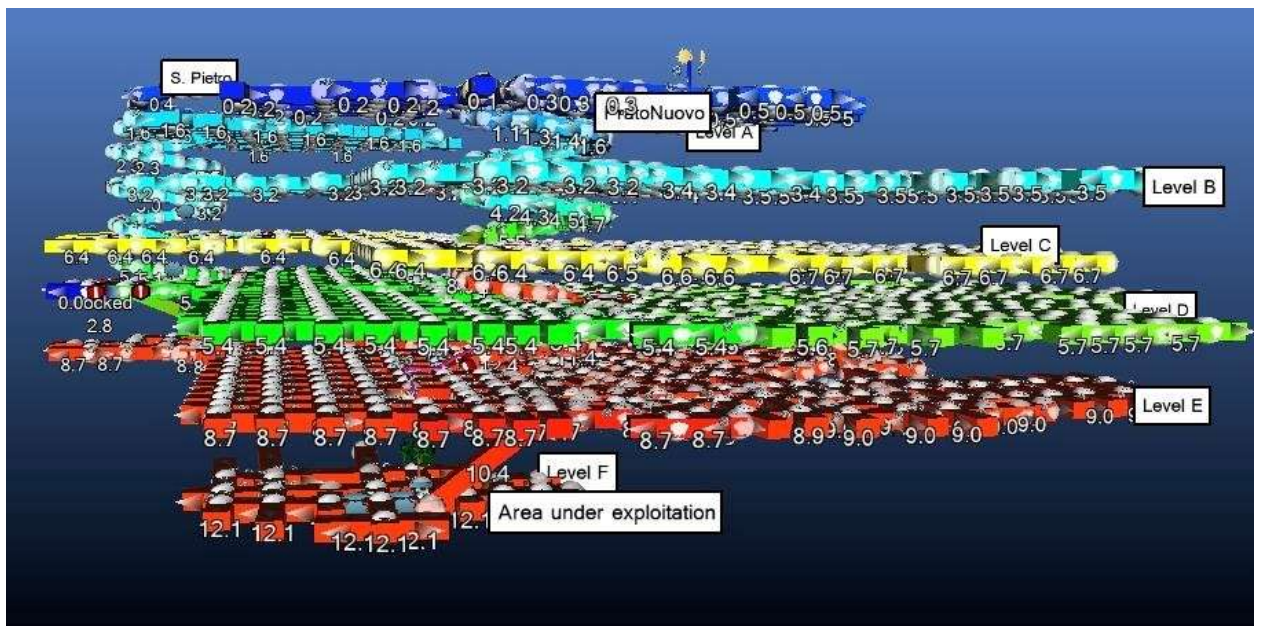


Рис. 3.28 Величини тиску всередині різних рівнів шахти.

На рисунку 3.30 очевидно, що після впровадження цього рішення в шахті немає рециркуляції забрудненого повітря, тому це може бути остаточним рішенням для шахти, проте я хочу порівняти його з іншими рішеннями та вдосконалити, щоб досягти найвищої ефективності та найкращої продуктивності вентиляційної системи.

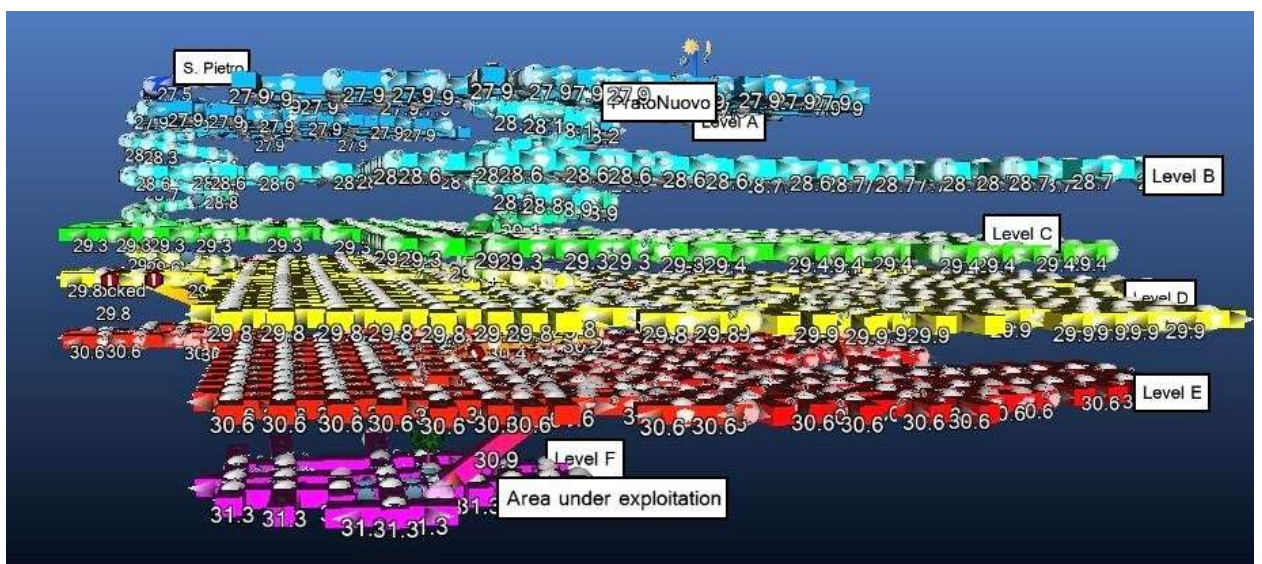


Рис. 3.29 Значення температур всередині порід кожного рівня шахти після укладання блоків.

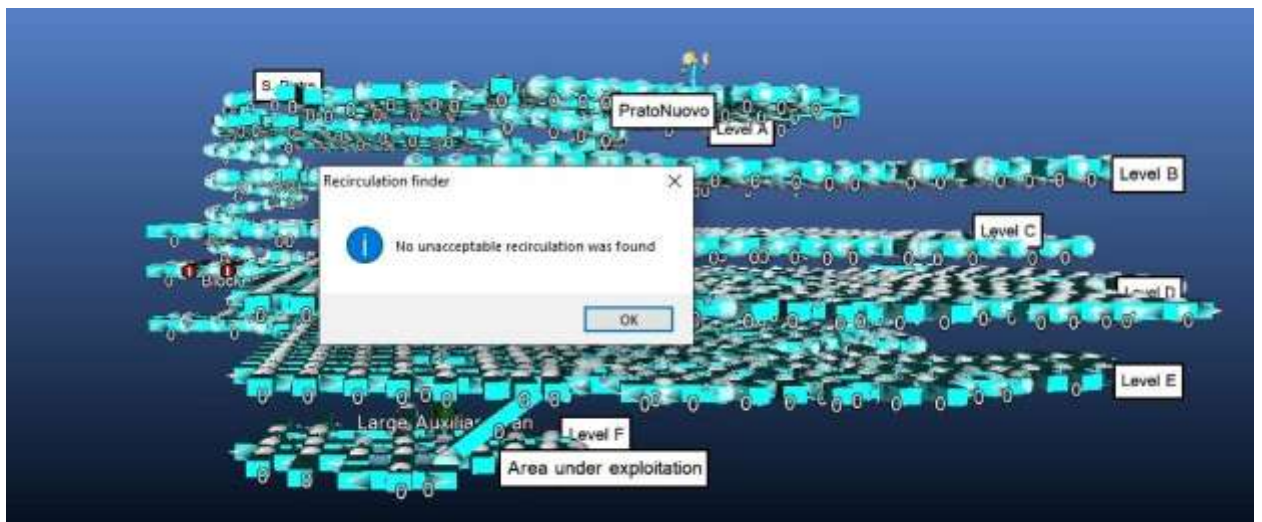


Рис. 3.30 У простому рішенні вентиляційної системи шахти немає рециркуляції повітря всередині дихальних шляхів.

Також зрозуміло, що розсіювання забруднюючих речовин після пожежі в шахті є прийнятним (рис. 3.31 та 3.32), проте я хочу написати деякі інструкції для персоналу після виникнення пожежі та запропонувати деякі ідеї.

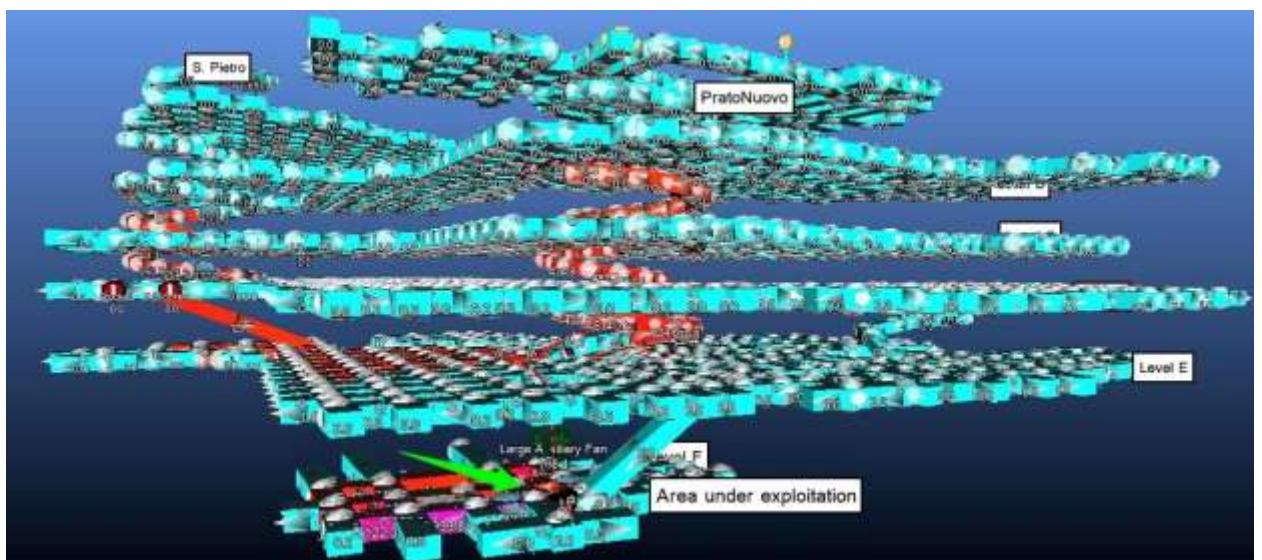


Рис. 3.31 Розсіювання CO по всій шахті після 15 хвилин пожежі навантажувача на рівні F та 5 машин, що виробляють забруднення, також присутні.

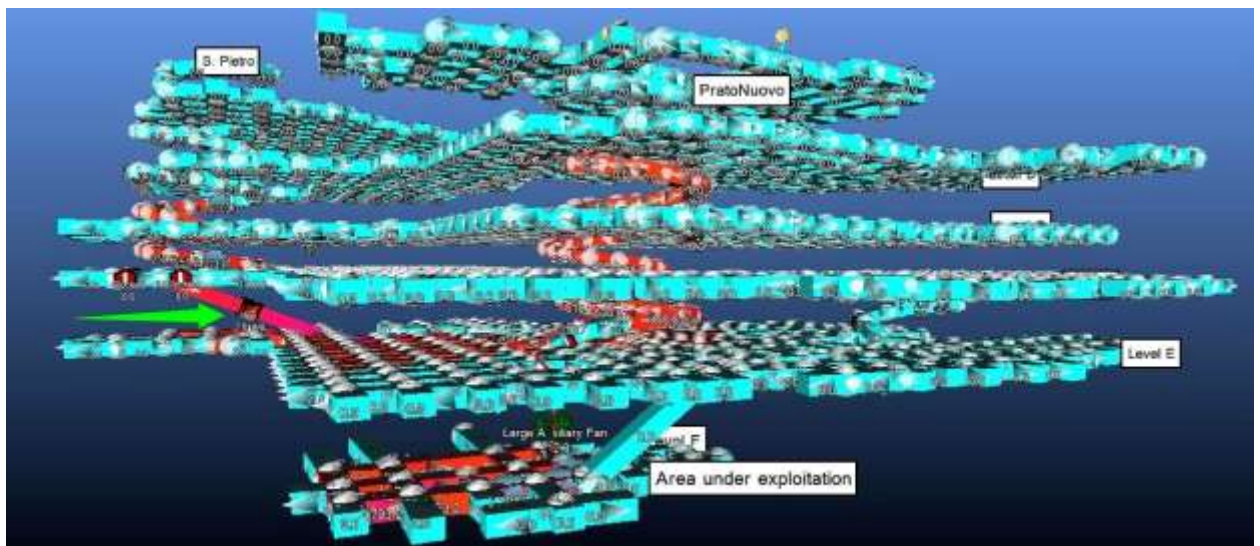


Рис. 3.32 Розсіювання СО по всій шахті після 15 хвилин пожежі вантажівки на пандусі між рівнями DE та 5, також присутні забруднення, що виробляються машинами.

Це рішення має нижчу вартість з меншою ефективністю, але все ж таки є розумним, і його можна використовувати в шахті, якщо хочеться витратити менше та досягти меншого результату. Заблоковано повітроводи посередині рівнів В, С та D, таким чином повітря не могло надходити до пандуса на рівнях В, С та D. [40-50]

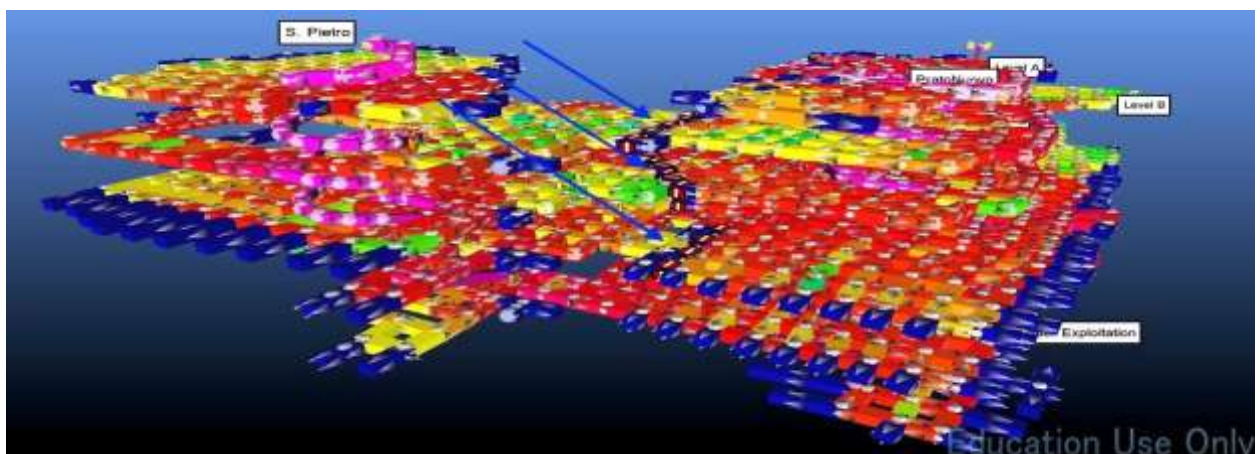


Рис. 3.33 Блоки посередині рівнів В, С та D.

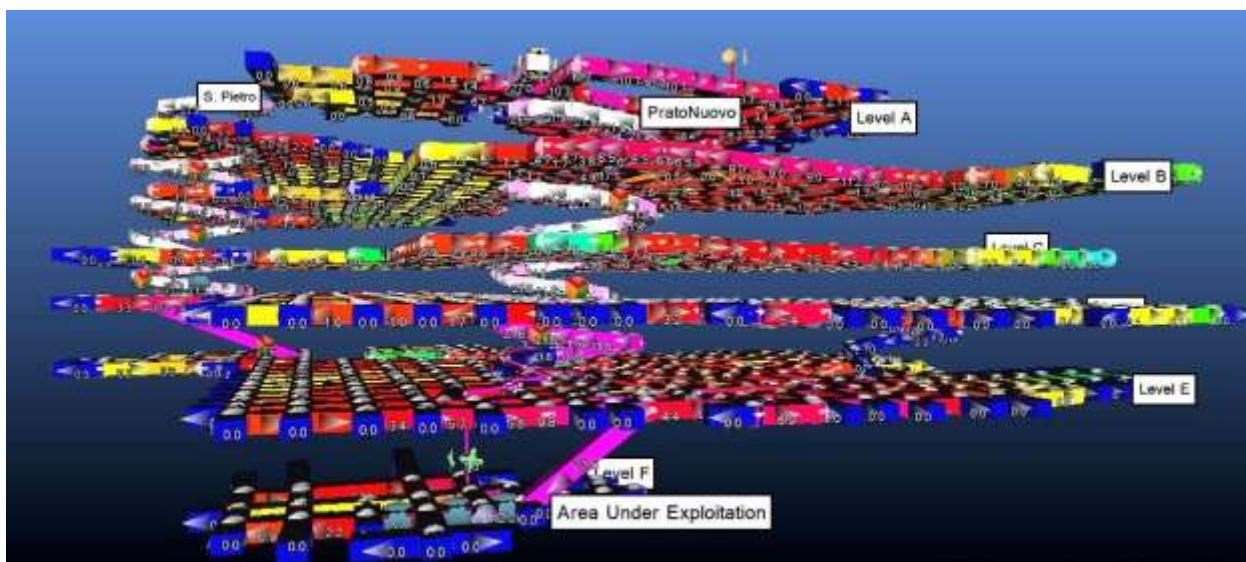


Рис. 3.33 Кількість повітряних потоків усередині різних повітроводів у другому розв'язку.

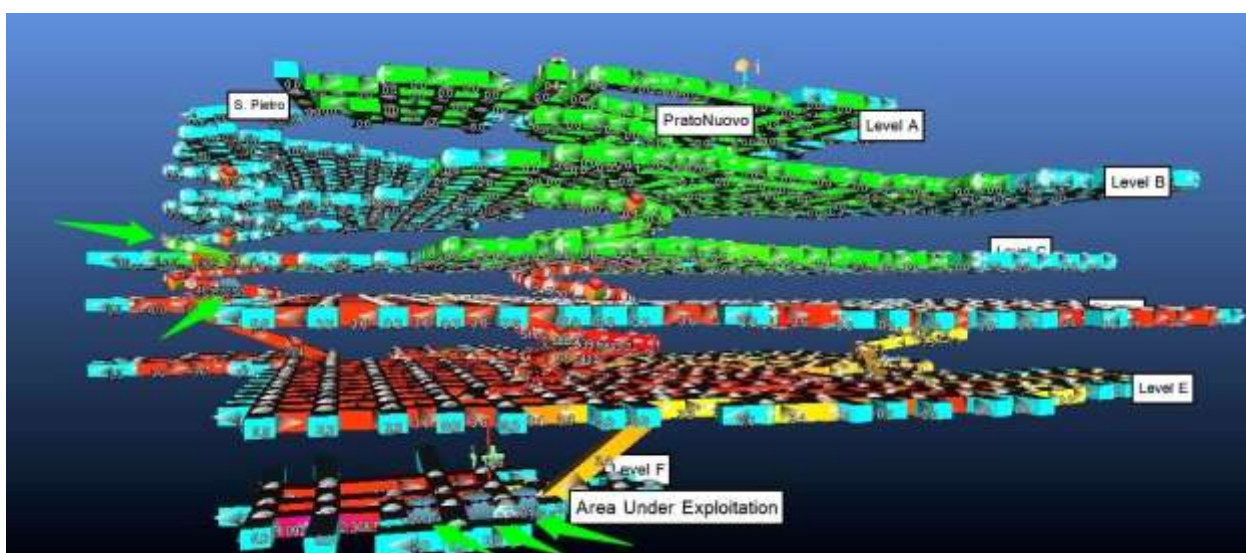


Рис. 3.33 Розсіювання забруднень (co (ppm)) через 15 хвилин після запуску 5 машин у другому розчині. Червона зона позначена найвищим рівнем забруднення (CO), потім жовта зона, а зелена та синя зони позначені найнижчими кількостями забруднень.

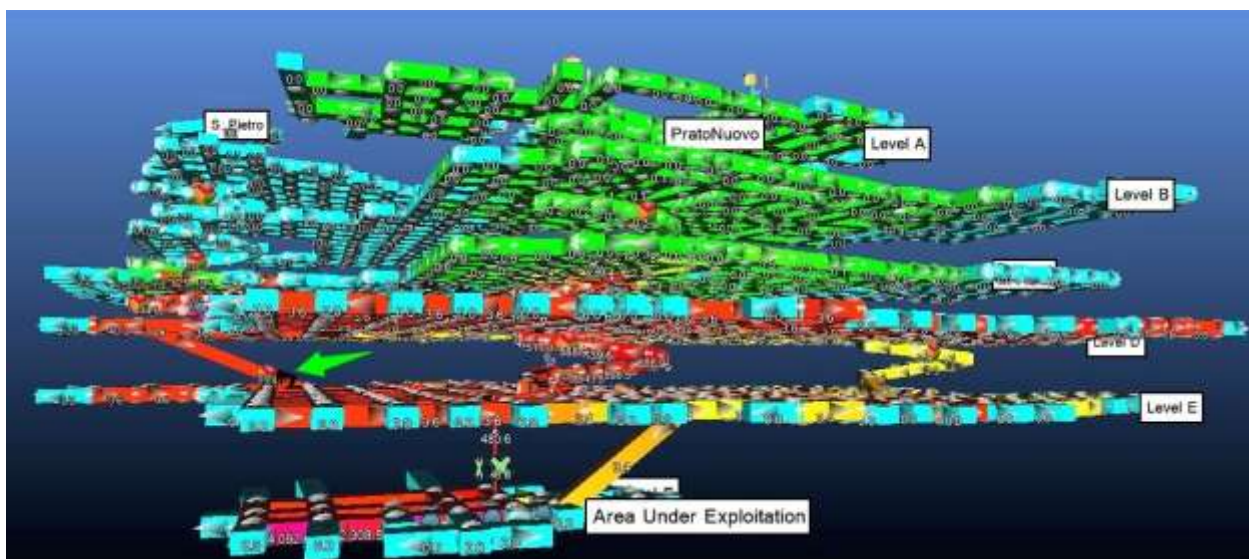


Рис. 3.34 Розподіл СО у другому розчині шахти через 15 хвилин від початку пожежі вантажівки на похилій рампі між рівнем DE. Червона зона позначена найвищим рівнем забруднення (СО), потім жовта зона, а зелена та синя зони – найнижчими кількостями забруднення.

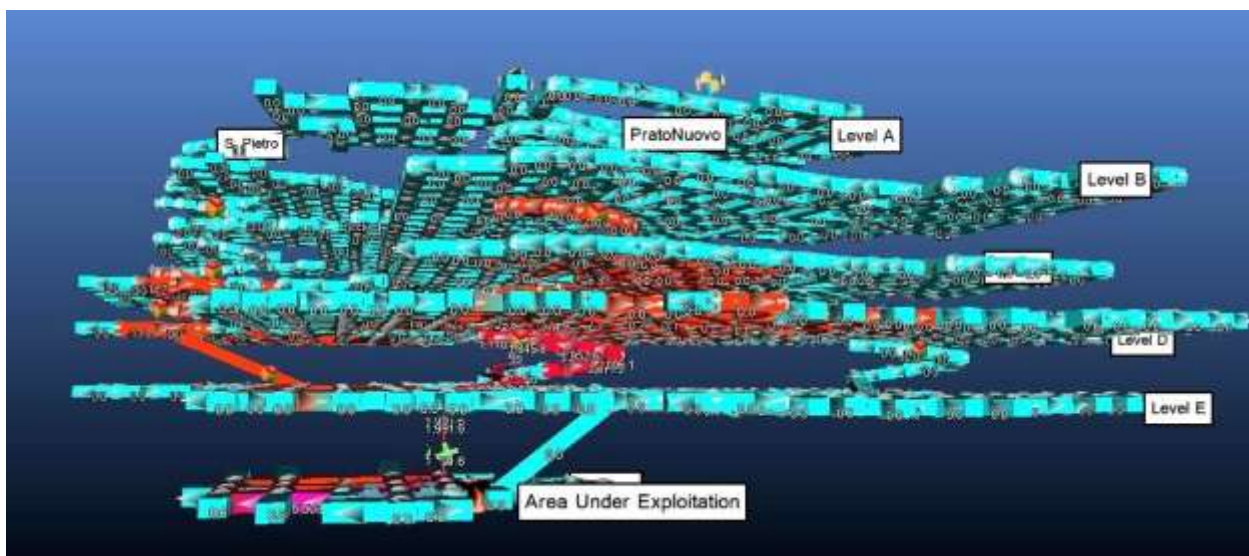


Рис. 3.35 Розсіювання СО у другому розчині міни через 15 хвилин від початку пожежі навантажувача на рівні F. Червона зона позначена найвищим рівнем забруднення (СО), потім жовта зона, а зелена та синя зони – найнижчими кількостями забруднення.

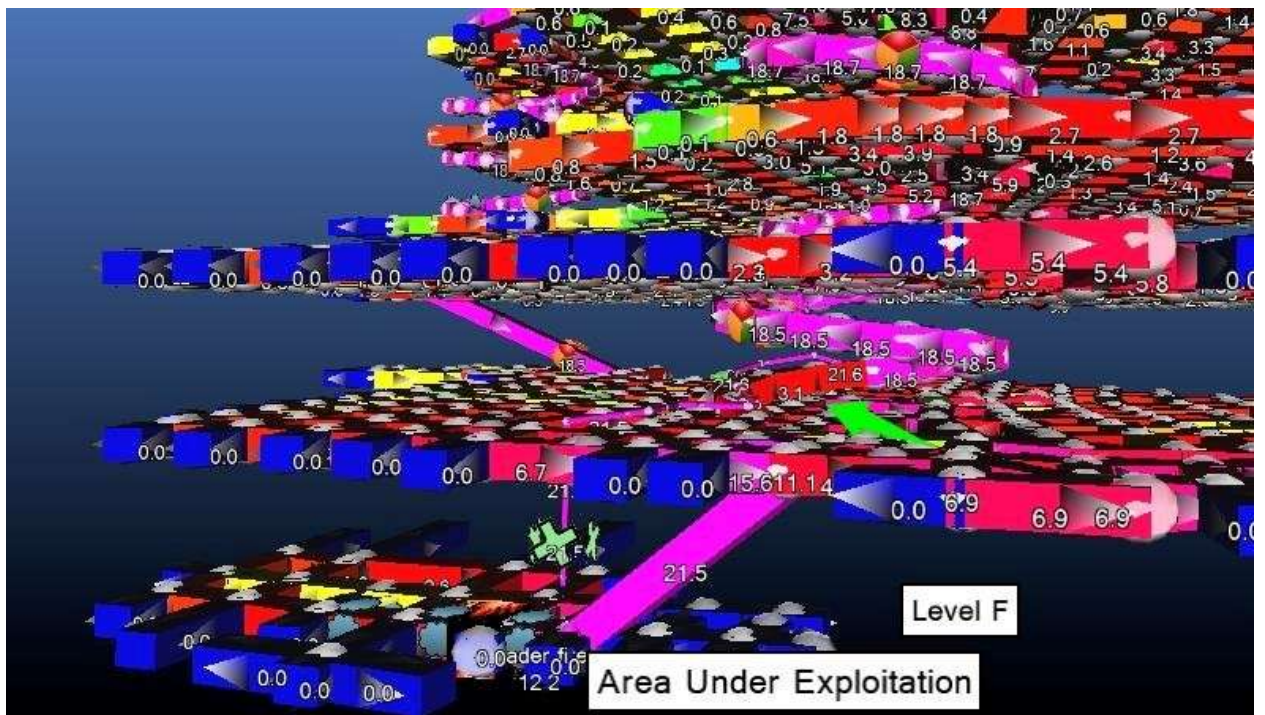


Рис. 3.36 Невелика рециркуляція повітряного потоку на вході пандуса між рівнем DE у другому рішенні. Вона нижча за рециркуляцію повітряного потоку в цьому сегменті в поточній ситуації, але, додавши двері на вході пандуса між рівнем DE, я зменшив її до нуля.

Згідно з результатами, наведеними на рисунках 3.30–3.36, це нове рішення для вентиляційної системи шахти може працювати, але воно не таке ефективне, як перше рішення (рис 3.5–3.16), а друге рішення буде менш дорогим. Також важливо зазначити, що в цьому випадку ми маємо 12 рециркуляцій забрудненого повітря всередині шахти, тому перше рішення є найкращим сценарієм.

Аналіз показав необхідність додати два підсилювальні вентилятори, щоб досягти найбільшого потоку повітря через існуючі контури шахти, як показано нижче:



Рис. 3.37 Кількість повітряних потоків усередині різних повітроводів у кінцевому розв'язку.

Зрештою (рис. 3.33–3.37), що додавання двох підсилювальних вентиляторів всередині двох пандусів шахти працюватиме добре, і існує лише ризик того, що вентилятор у шахті між рівнями Е та F не працюватиме. Якщо це станеться, тоді нам потрібно замінити цей вентилятор, оскільки ми не хочемо знижувати ефективність усієї вентиляційної системи шахти лише через вентилятор.

Для моделювання підземних шахтних тунелів показано, наразі виймається лише рівень F (рис. 3.3), проте враховано усі 6 поверхів (А, В, С, D, Е, F), щоб дізнатися, що відбувається з повітрям при вході в шахту до досягнення рівня F. Через велику кількість пов'язаних повітроводів спостерігалася величезна втрата тиску, тому на нижніх рівнях (С, D, Е та F) вентиляція була дуже низькою, і в шахті між рівнями Е та F існував лише один вентилятор, який переміщував шкідливе повітря з одних повітроводів до інших на рівнях Е та F, і це було схоже на рециркуляцію забрудненого повітря між рівнем Е та рівнем F, і більша частина здорового повітря потрапляє в шахту з рівня А, потім спрямовується на рівень В і витікає через інший пандус рівня В. Важливо зазначити, що більша частина

здорового повітря навіть не досягає рівня С, тому потрібна система вентиляції, щоб спрямувати повітря з поверхні на рівень F, а потім знову виштовхнути його на поверхню.

Розміщення у моделі забруднювачів з 3 джерел забруднення 3 машин на рівні F, пікапа на пандусі Сан-П'єтро між рівнями CD та забруднення вантажівки на пандусі Сан-П'єтро між рівнями BC, після чого ми можемо порівняти результати з даними вимірювань на місці у попередніх таблицях вище. Важливо, щоб кількість забруднень, що утворюються кожною машиною, враховувалася на основі реальних забруднень, що утворюються дизельним двигуном на кВт, а також складу повітря вихлопних газів дизельного двигуна.

Усередині шахти між рівнями E та F є вентилятор потужністю 30 кВт, і для цього я змодельовав великий допоміжний вентилятор з ККД 86% та ККД 68,7%. Припущення, що існують автоматичні низькі втрати від ударів через з'єднання повітроводів та нерівності стін тунелів у кожному повітроводі та тунелі, щоб змодельувати максимально схожі характеристики струму шахти.

У системі вентиляції шахти є дві важливі проблеми (рис3.1-3.10). В шахті розподіл забруднюючих речовин дуже повільне і переважно через повітроводи рівнів F, E та D. Так через 15 хвилин роботи машин більшість забруднюючих речовин, що утворюються на рівні F, досягають лише рівня E, потім забруднюючі речовини летять через пандус на рівень D, а через 30 хвилин вони поширюються в невеликій частині повітроводів рівня D, а через 8 годин вони досягають рівня C. Важливо зазначити, що протягом тривалого часу рециркуляції багато забруднюючих речовин, таких як пил та деякі шкідливі гази, осідають на землі та поширюються повітрям у разі руху вантажівки. Таким чином, для гарантування здоров'я шахтарів була б необхідна оптимізована система вентиляції, яка могла б спрямовувати

здорове повітря на найнижчі рівні шахти та витіснити шкідливе повітря з шахти на поверхню.

Для пожежі ми змодельовано найгірший сценарій, який міг статися в цій шахті: 500 літрів дизельного палива та 500 кг гуми з шин вантажівки або навантажувача. За умов, що густина дизельного палива приблизно  $8,0 \text{ мкм/кг}^3$ , тому кількість дизельного палива становитиме 400 кг. Принято, що відбудеться за 30 хвилин пожежа з 5 хвилинами розгоряння вогню, 20 хвилин підтримки та 5 хвилин згасання вогню.

Згідно з результатами (рис 3.25-3.35), це нове рішення для вентиляційної системи шахти може працювати, але воно не таке ефективне, як перше рішення (рис 3. 5-3.15), а друге рішення буде менш дорогим. Пропонується для сприяння рециркуляції шкідливого повітря через зону читання рівнів Е та F побудувати нову похилу перемичку між рівнями Е та F, та встановити двері на вході одного з пандусів між рівнями Е та F та використовувати їх лише для надзвичайних ситуацій (пожежа, вибух тощо).

Показано, що додавання двох підсилювальних вентиляторів всередині двох пандусів шахти працюватиме добре, і існує лише ризик того, що вентилятор у шахті між рівнями Е та F не працюватиме. Якщо це станеться, тоді необхідно замінити цей вентилятор, оскільки це не відповідає нормативам та знижує ефективність усієї вентиляційної системи шахти лише через вентилятор.

## ВИСНОВКИ

У випускній кваліфікаційній роботі магістра проведено аналіз та оптимізацію параметрів вентиляційних систем тупикових виробок шахт. Було проведено необхідні розрахунки геологічної будови, запасів корисних копалин, а також визначено виробничу потужність і режим роботи.

Проведений аналіз та моделювання вентиляційної системи багатоярусної шахти виявив критичні проблеми, пов'язані з неефективною подачею чистого повітря на робочий рівень F та ризиком рециркуляції забруднень. Хоча було змодельовано роботу допоміжного вентилятора потужністю 30 кВт та враховано забруднення від трьох джерел (машин на рівні F, пікапа та вантажівки), система виявилася недостатньо стійкою, що підтверджено повільним поширенням забруднюючих речовин.

Для гарантування здоров'я шахтарів та оптимізації параметрів системи було запропоновано комплекс рішень, що спрямовує чисте повітря на найнижчі рівні та витісняє шкідливе повітря на поверхню. Ці рішення включають будівництво нової похилої перемички між рівнями E та F для сприяння циркуляції шкідливого повітря та встановлення дверей на вході одного з пандусів, який використовуватиметься лише для надзвичайних ситуацій (пожежа, вибух). Успішне впровадження цих параметрів та конструктивних змін дозволить підвищити безпеку та ефективність роботи, що є ключовим завданням вентиляційної інженерії.

ВЕНТИЛЯЦІЯ, ІНЖЕНЕРІЯ, ОПІР, ПОВІТРЯ, МОДЕЛЮВАННЯ,  
ПІДГОТОВЧА ДІЛЬНИЦЯ

## АНОТАЦІЯ

У даній випускній кваліфікаційній роботі магістра проведено аналіз та оптимізацію параметрів вентиляційних систем тупикових виробок шахт.

Проведено дослідження вентиляційної мережі шахти та проаналізовано рух повітря від входу на кожному рівні. Враховано джерела забруднення (3 машини на рівні F, пікап та вантажівка). Змодельовано роботу допоміжного вентилятору потужністю 30 кВт. Оптимізовано параметри та рішення, що гарантують здоров'я шахтарів. Запропоновано оптимізовану систему, яка спрямовує чисте повітря на найнижчі рівні та витісняє шкідливе повітря на поверхню. Запропоновано, що для сприяння циркуляції шкідливого повітря пропонується побудувати нову похилу перемичку між рівнями E та F та встановити двері на вході одного з пандусів між E та F, використовуючи його лише для надзвичайних ситуацій (пожежа, вибух).

Таким чином вирішено поставлене завдання, в ході виконання випускної кваліфікаційної роботи магістра закріплено знання та навички, отримані за час навчання за освітньо-професійною програмою 184 Гірництво на другому (магістерському) рівні вищої освіти, та підготовлений до роботи в галузі знань 18 Виробництво та технології.

ВЕНТИЛЯЦІЯ, ІНЖЕНЕРІЯ, ОПІР, ПОВІТРЯ, МОДЕЛЮВАННЯ,  
ПІДГОТОВЧА ДІЛЬНИЦЯ

## **ANNOTATION**

This Master's Thesis provides an analysis and optimization of the parameters of ventilation systems for dead-end workings (mine headings).

A study of the mine ventilation network was conducted, and the airflow dynamics from the entrance at each level were analyzed. Pollution sources (3 machines at Level F, a pickup truck, and a haul truck) were accounted for. The performance of a 30 kW auxiliary fan was modeled.

The parameters and solutions were optimized to guarantee the health of the miners. An optimized system was proposed to direct fresh air to the deepest levels and exhaust contaminated air to the surface. It was proposed that, to facilitate the circulation of contaminated air, a new inclined stopping be constructed between Levels E and F, and doors be installed at the entrance of one of the ramps between E and F, reserving it only for emergencies (fire, explosion).

Thus, the stated objective was achieved. In completing this Master's final qualification work, the knowledge and skills acquired during the study in the educational and professional program 184 Mining at the second (Master's) level of higher education were consolidated, and the graduate is prepared for work in the field of knowledge 18 Production and Technologies.

**VENTILATION, ENGINEERING, RESISTANCE, AIR, MODELLING,  
DEVELOPMENT SECTION**

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Herrán-González, J.M. De La Cruz, B. De Andrés-Toro, J.L. Risco-Martín, Modeling and simulation of a gas distribution pipeline network, *Applied Mathematical Modelling*, Volume 33, Issue 3, 2009, Pages 1584-1600, ISSN 0307-904X, <https://doi.org/10.1016/j.apm.2008.02.012>.
2. Acuña, Enrique & Alvarez, Roberto. (2017). Ventilation and fire door coverage solution at the Chuquicamata underground mine project. 10.36487/ACG\_rep/1710\_13\_Alvarez.
3. Air Contaminants, Ventilation, and Industrial Hygiene Economics, The Practitioner's Toolbox and Desktop Handbook, ROGER LEE WABEKE, © 2013 by Taylor & Francis Group, LLC.
4. Air Quality and Ventilation, Controlling Dust Emissions, Ivan Nikolayevich Logachev Konstantin, Ivanovich Logachev, © 2014 by Taylor & Francis Group, LLC, ISBN: 978-14822-2217-3.
5. Analysis of the effect of ducted fan system variables on ventilation in an empty heading using CFD, by T. Feroze and B. Genc, *The Journal of Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, February 2017, <http://dx.doi.org/10.17159/24119717/2017/v117n2a7>.
6. Babu, V.R., Maity, T. & Prasad, H. Energy saving techniques for ventilation fans used in underground coal mines—A survey. *J Min Sci* 51, 1001–1008 (2015). <https://doi.org/10.1134/S1062739115050198>.
7. Bise, C.J. „Mining Engineering Analysis”, Littleton, Colorado, Society of Mining Engineers, 1986.
8. Brake, Rick & Nixon, T. (2006). Design and operational aspects in the use of booster, circuit and auxiliary fan systems.
9. Bulat, A. F., Bunko, T. V., Kokoulin, I. Y., Krukovsky, O. P., Yashchenko, I. A., Sofiyskiy, K. K., & Sheyko, A. V. (2018). Ризик-

орієнтований підхід до охорони праці і промислової безпеки у вугільних шахтах: концепція, нормативна база, оцінка і управління ризиками. Construction, materials science, mechanical engineering, (105), 313-321.

10. BUOYANCY EFFECTS ON NATURAL VENTILATION, Torwong Chenvidyakarn, Cambridge University Press, © Torwong Chenvidyakarn 2013.

11. Clearing the Air Author(s): Christopher Tavener Source: APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology , Vol. 50, No. 4, Special Issue: Preservation Engineering (2019), pp. 42-50 Published by: Association for Preservation Technology International (APT), <https://www.jstor.org/stable/10.2307/26893537>.

12. COAL MINE SAFETY, TERRANCE V. NEWHOUSE EDITOR, © 2009 by Nova Science Publishers, Inc.

13. Dean Millar, Michelle Levesque & Stephen Hardcastle (2017) Leakage and air flow resistance in mine auxiliary ventilation ducts: effects on system performance and cost, Mining Technology, 126:1, 10-21, DOI: 10.1080/14749009.2016.1199182.

14. deep mining, WANG Peng, ZHU Kunlei, ZHOU Yu, LIU Jingxian, SHI Changyan, Procedia Engineering 84 ( 2014 ) 758 – 763, doi: 10.1016/j.proeng.2014.10.493.

15. Demirović, Safer & Marković, Jelena. (2020). A Real Application of Air Recirculation in Underground Coal Mine.

16. E.M. Ivanus, S.S. Zhukovsky, and Yu.S. Yurkevich. The Study of Local Ventilation from Brazing Joints of Radio Equipment Units. Lvov, Ukraine: Lvov Polytechnic Institute, 1985. 5pp. Ukraine NIINTI Department, December 22, 1986. No. 2797.

17. Eighth International Mine Ventilation Congress, July 2005, Brisbane, Australia, Published by THE AUSTRALASIAN INSTITUTE OF MINING AND METALLURGY, © The Australasian Institute of Mining and Metallurgy 2005.

18. F. B. HINSLEY (1969) The Development of Coal mine Ventilation in Great Britain up to the End of the Nineteenth Century, Transactions of the Newcomen Society, 42:1, 2539, DOI: 10.1179/tns.1969.002.
19. Fans & Ventilation, A Practical Guide, W T W (Bill) Cory, published 2005, © Roles & Associates Ltd, ISBN 0-08044626-4.
20. Feroze, T., & Genc, B.. (2016). Estimating the effects of line brattice ventilation system variables in an empty heading in room and pillar mining using CFD. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 116(12), 11431152. <https://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/2016/v116n12a8>.
21. G.A. Maksimov and V.V. Deryugin. Air Motion in Operation of Ventilation Systems. Leningrad, Russia: Construction Literature Publishing, 1972. 97pp.
22. Hall, C.J., “Mine Ventilation Engineering”, New York, Society of Mining Engineers, 1981.
23. Handbook of Domestic Ventilation, Rodger Edwards, © 2005, Elsevier Ltd.
24. Handbook of Heating, Ventilation and Air Conditioning for Design and Implementation, ALI VEDAVARZ, SUNIL KUMAR, MUHAMMED IQBAL HUSSAIN, © 2007 by Industrial Press Inc., New York, NY.
25. Hartman, H.L., “Mine Ventilation and Air Conditioning, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1982.
26. Heating and Ventilation Air Conditioning, Richard Nicholls, 2001, ISBN 0-9539409-1-8.
27. <https://www.911metallurgist.com/dust-scrubbers/>
28. <https://www.abc-industries.net/products/brattice-curtains-flypads>.
29. [https://www.researchgate.net/publication/2829845\\_Automatic\\_3D\\_underground\\_mine\\_mapping](https://www.researchgate.net/publication/2829845_Automatic_3D_underground_mine_mapping).
30. <https://www.slideshare.net/AlekseyKashnikov/automatic-mine-ventilation-controlsystem>.

31. <https://www.systemair.com/>.
32. Johnny Qin, Qu Qingdong, Hua Guo, CFD simulations for longwall gas drainage design optimisation, *International Journal of Mining Science and Technology*, Volume 27, Issue 5, 2017, Pages 777-782, ISSN 2095-2686, <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.07.012>.
33. Kayode M. Ajayi, Khosro Shahbazi, Purushotham Tukkaraja, Kurt Katzenstein, Prediction of airway resistance in panel cave mines using a discrete and continuum model, *International Journal of Mining Science and Technology*, Volume 29, Issue 5, 2019, Pages 781-784, ISSN 2095-2686, <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2019.02.004>.
34. Kingery, D.S., 1960, "Introduction to Mine Ventilating Principles and Practices," USBM Bulletin 589, USBM.
35. Lilic, Nikola & Cokorilo, Vojin & Cvjetic, Aleksandar & Milisavljevic, Vladimir. (2012). Ventilation planning and design of the Omerler B mine. *Underground Mining Engineering*. 33-42.
36. Local Exhaust Ventilation, Aerodynamic Processes, and Calculations of Dust Emissions, Ivan Logachev, Konstantin Logachev, Olga Averkova, © 2016 by Taylor & Francis Group, LLC, ISBN: 978-1-4987-2064-9.
37. M.F. Bromley. Flow pattern in the effective area of suction inlets. *Heating and Ventilation*. 1934. No. 3 pp. 2–8.
38. Mancha, R. "Survey of Underground Mine Pressure", *Transactions of A.I.M.E.*, vol. 168, 1946, pp. 106-18.
39. McElroy, G.E. and Kingery, D.S., 1957, "Making Ventilation-Pressure Surveys with Altimeters," USBM, I.C., No. 7809.
40. McPherson 1993; with permission from Springer Science and Business Media.
41. Mine Health and Safety Management, Edited by Michael Karmis, © 2001 Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. ISBN: 0-87335-200-9.

42. Mine Planning and Equipment Selection, Hardygóra, Paszkowska & Sikora, Wrocław University of Technology, Poland, © 2004 Taylor & Francis Group, London, ISBN 04-1535937-6, p.791.

43. Mine ventilation and air conditioning, third edition, Howard L. Hartman, The University of Alabama, Jan M. Mutmanský, The Pennsylvania State University, Raja V. Ramani, The Pennsylvania State University, Y. J. Wang, West Virginia University, © 1997 by John Wiley & Sons, Inc. ISBN 0-471-11635-1. With permission from John Wiley & Sons, Inc.

44. Mine Ventilation Systems Practical Mine Ventilation Engineering, Chapter 9. 11th U.S./North American Mine Ventilation Symposium, Mutmanský & Ramani (eds), © 2006 Taylor & Francis Group, London, ISBN 0-415-40148-8.

45. Mine Ventilation, Euler De Souza, © 2002 Swets & Zeitlinger B.V., Lisse, The Netherlands, ISBN: 90-5809-387-5.

46. Nyaaba, Wedam & Frimpong, Samuel & Professor, K & Chair,. (2015). Optimization of Mine Ventilation Networks Using the Weighted Augmented Lagrange Method.

47. Patton, S., Best Practices in Effective Ventilation of Underground Coal Mines, U.S. Practices and Regulations, Workshop on Best Practices in Coal Mine Methane Capture and Utilization, Bogotá, Colombia, July 2018.

48. Process technology adoption in European coal, 1850-1900, Mechanical ventilation in coal mines, John E. Murray, and Javier Silvestre, August 2016, Yale University.

49. Research and application of controlled circulating ventilation in

50. Saxe, J.A. "Modern Mine Ventilation and the Use of the Altimeter", Mining Congress Journal, vol. 15, 1929, pp. 552-54.

51. SME Mining Engineering Handbook, Michael A. Tuck, Associate Professor of Mining Engineering, University of Ballarat, Victoria, Australia.

52. Souza, Euler. (2017). Application of ventilation management programs for improved mine safety. *International Journal of Mining Science and Technology*. 10.1016/j.ijmst.2017.05.018.

53. Stefanko, R. “Coal Mining Technology Theory and Practice”, New York, Society of Mining Engineers, 1983.

54. The 4th International Conference on Field and Service Robotics, Automatic 3D underground mine mapping, Daniel F. Huber, Nicolas Vandapel, The Robotics Institute, Carnegie Mellon University July 14–16, 2003.

55. THE CONTROL OF ATMOSPHERIC CONDITIONS IN MINES  
Author(s): F. B. HINSLEY Source: *Journal of the Royal Society of Arts*, JANUARY 1967, Vol. 115, No. 5126 (JANUARY 1967), pp. 73-89 Published by: Royal Society for the Encouragement of Arts, Manufactures and Commerce, <http://www.jstor.com/stable/41369837>.

56. Tong, R.; Yang, Y.; Ma, X.; Zhang, Y.; Li, S.; Yang, H. Risk Assessment of Miners’ Unsafe Behaviors: A Case Study of Gas Explosion Accidents in Coal Mine, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2019, 16, 1765.

57. Ugwu, Gabriel. (2015). Journal of Geology and Mining Research An overview of pore pressure prediction using seismically–derived velocities. *Journal of Geology and Mining Research*. 7. 31-40. 10.5897/JGMR15.0218.

58. V.V. Baturin. The Fundamentals of Industrial Ventilation. Moscow, Russia: Profizdat, 1990. 448pp.

59. Wang, Qingdong & Shang, Deyong & Yang, Zhiyong & Zhu, Changjun. (2009). Design of coal mine main fan performance optimization. 58 - 60. 10.1109/PACIIA.2009.5406536.

60. Williamson, J.N., “How to Make Air Survey and Calculate Results”, *Coal Age*, vol. 37, 1932, pp. 331-3.

61. Williamson, J.N., “How to Measure Pressure Losses in Ventilation”, *Coal Age*, vol. 37, 1932, pp. 297-8.

62. Williamson, J.N., Ritson, J.A.S., Cooke, W.E., “Air Pressure Surveying in Mines”, Trans. Inst. Mining Engineer, vol. 81,1931, pp. 313-39.

63. Голінько В.І, Яворська Є.А., Лебедєв Я.Я. До питання обґрунтування раціональних параметрів елементів вентиляційних мереж марганцевих шахт // Збірник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ: – 2009. – № 32. – С. 254–262.

64. Дегазація вугільних шахт. Вимоги до способів та схеми дегазації / Стандарт - К.: Мінпаливенерго України, 2004. - 162 с.

65. Ігнатенко К.П. та ін. Вентиляція, підземні пожежі та гірничорятувальна справа. Вид. 3-тє.- М. - Надра, 1975, 245 с.