

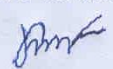
Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ «Інститут геології»


Кафедра гідрогеології та інженерної геології

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА
спеціальність 103 – Науки про Землю

Освітня програма «Геологія»

Тема: «ОЦІНКА ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ КОЕФІЦІЄНТА ФІЛЬТРАЦІЇ
КАМ'ЯНОВУГІЛЬНИХ ВІДКЛАДІВ БАСЕЙНУ ЛОТАРИНГІЇ»

Виконала студентка 4-го курсу
кафедри гідрогеології та інженерної геології
Елізабет КХАН 

Науковий керівник  асистент, кандидат геол. наук
Софія КОШАРНА

Робота рекомендується до захисту (протокол № 13
кафедри гідрогеології та інженерної геології від 13.06. 2023 р.)

Завідувач кафедри  професор, доктор геол. наук
Олексій КОШЛЯКОВ

Київ – 2023

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. Загальні природні умови території.....	5
1.1 Фізико-географічні умови району робіт.....	5
1.1.1 Положення ділянки.....	5
1.1.2 Кліматичні умови.....	6
1.1.3 Рельєф, геоморфологія, гідрографія.....	8
1.2 Геологічна будова.....	11
1.2.1 Стратиграфія	12
1.2.2 Структурно-тектонічні особливості	16
1.3 Гідрогеологічні умови.....	19
РОЗДІЛ 2. ОЦІНКА ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ КОЕФІЦІЄНТА ФІЛЬТРАЦІЇ	23
2.1 Особливості визначення параметрів фільтрації підземних вод.....	23
2.2 Статистичне моделювання. Модель випадкової величини та випадкової функції. Перевірка гіпотези про нормальність (логнормальність) розподілу випадкової величини.....	38
ВИСНОВКИ.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	50
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Робота присвячена дослідженню просторового розподілу фільтраційних характеристик території басейну Лотарингії, приурочений до французької комуни Фольшвіллер, департаменту Мозель. Розглянуто можливості використання статистичних моделей для отримання більш точного уявлення відносно не лише змін фільтраційних характеристик, але й першопричин цього. Представлені результати оцінки коефіцієнту фільтрації широкого спектру зразків і моделювання його просторового розподілу на глибині з 1120,46 м до 1200,78 м.

Актуальність роботи полягає у визначній ролі фільтраційних характеристик у визначенні умов наявності та структури потоку підземних вод в горизонті. А отже вони є невід'ємною частиною процедури оцінки перспектив видобутку вод для забезпечення водопостачання у подальшому.

Метою роботи є оцінка коефіцієнта фільтрації і статистичне моделювання його розподілу в межах досліджувальної території на глибинах 1120,46 м до 1200,78м.

Основними завданнями стало наступне:

1. Визначення коефіцієнта фільтрації на основі зібраних петрофізичних даних.
2. Впорядкування даних щодо фільтраційних показників для подальшої обробки та аналізу значень.
3. Компонування вибірок та побудова гістограм розподілу коефіцієнтів фільтрації.
4. Виконання статистичної обробки даних вибірок за використання моделі випадкової величини.

Об'єктом дослідження є породи різних літологічних груп, а саме: глини, конгломерати, пісковики та сланці кам'яновугільного періоду на глибинах 1120,46м – 1200,78м в межах басейну Лотарингії.

Предметом дослідження є фільтраційні характеристики порід карбонової серії кам'яновугільного періоду , а також закономірності їх розподілу в межах басейну Лотарингії.

Практичне значення: полягає у отриманні результатів, що дозволяють визначати загальний рівень фільтраційної спроможності порід, що виповнюють товщу на досліджуваних глибинах та встановити рівень їх перспективності для використання з метою водопостачання.

Апробація результатів роботи відбулася на науково-практичній конференції «Розвиток наукової думки: актуальні питання, досягнення та інновації» (м. Хмельницький, 28-29 квітня 2023 року.).

1. ЗАГАЛЬНІ ПРИРОДНІ УМОВИ ТЕРИТОРІЇ

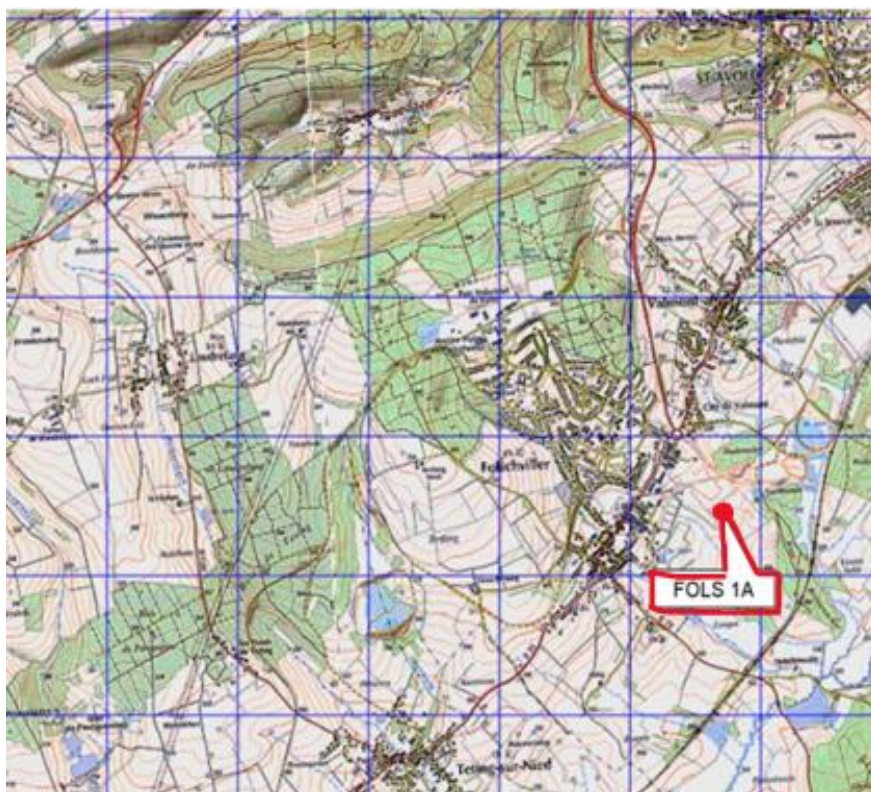
1.1 Фізико-географічні умови району робіт

1.1.1 Положення ділянки

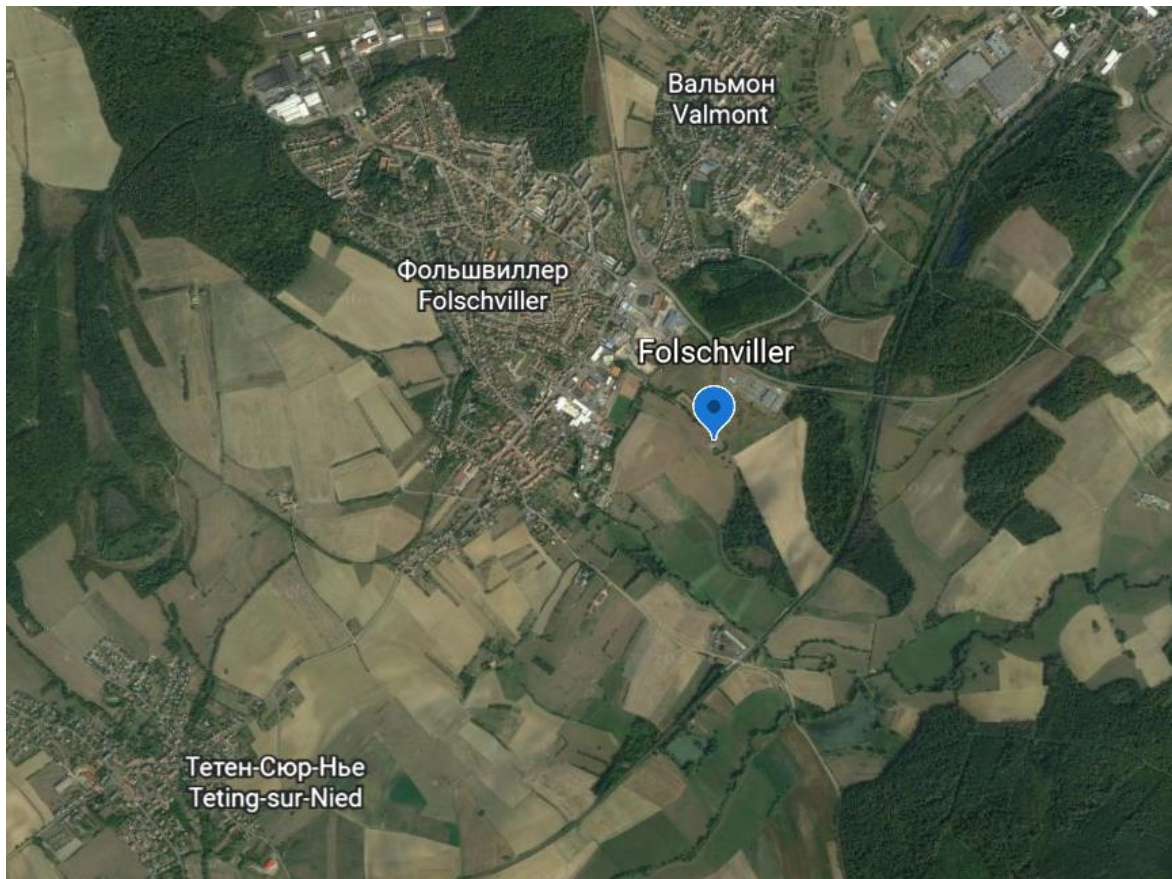
Досліджувана територія басейну Лотарингії приурочена до департаменту Мозель, в межах муніципалітету Фольшвіллер на північному сході Франції і розташована, зокрема, у житловому районі Мозель-Схід регіону Гранд Ест.

Ділянка вишукувань розташована в околицях м. Меца – префектури департаменту, з яким його з'єднує автомагістраль А4. З південного-заходу територія межує з містом Тетен-сюр-Ньє, на заході – з містечком Фольшвіллер, на півночі – з містом Вальмонт. На східному напрямку від досліджуваної місцевості простягається регіональний природний парк Лотарингії (*European Gas Limited, nd*).

На оглядових картах (мал. 1.1 та 1.2) вказано місцезнаходження території басейну Лотарингії на яких описується географія довкілля у безпосередній близькості від досліджуваної свердловини, координатна прив'язка якої вказана у таблиці 1.



Мал. 1.1 – Оглядова карта району робіт



Мал. 1.2 Аерознімок досліджуваної території (<https://earth.google.com/web/>)

Таблиця 1.1 – Географічні координати свердловин

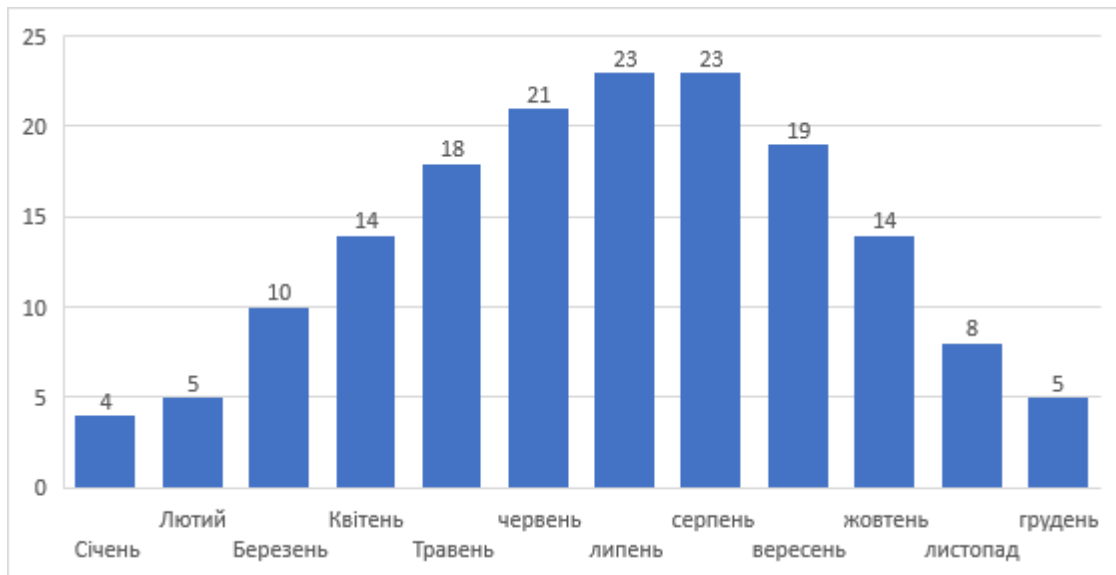
Св. №	Координати
Фольшвіллер 1А	ПнШ49° 4' 11.09652" СхД 6° 41' 50.83364"

1.1.2 Кліматичні умови

Території досліджуваного району характерний океанічний клімат. Залежно від переважаючих вітрів океанічний (опадів) та континентальний (температурний режим) впливи можуть змінюватися протягом ночі один за одним. Тим не менш пори року є доволі контрастними та чітко визначеними (*Rapport SAGEversion validée a*).

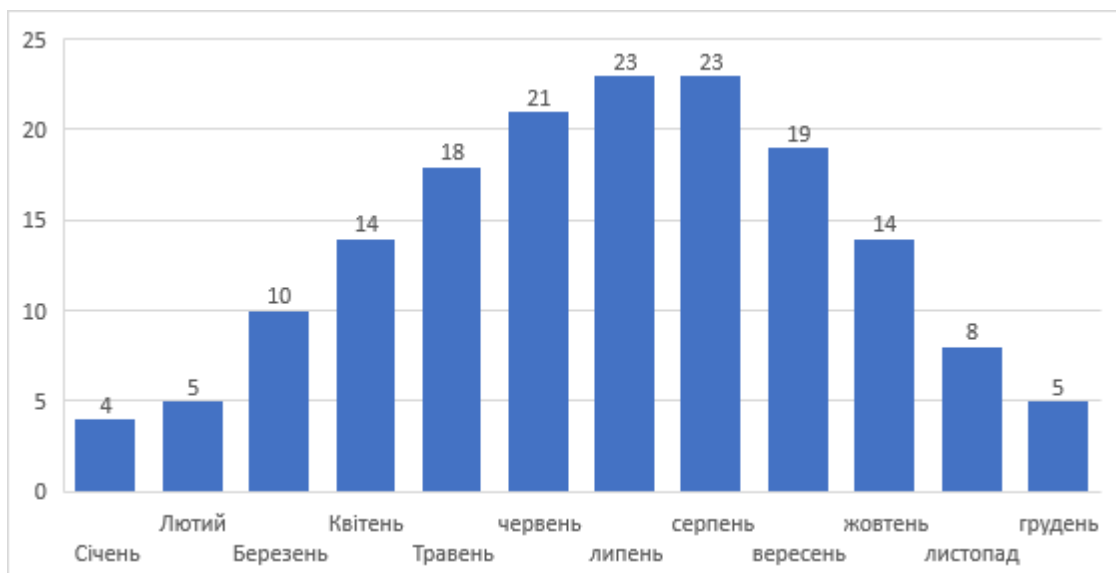
Згідно метеорологічним даним, регіон в межах якого розташовується досліджувана територія зазнає сильного впливу внаслідок ультрафіолетового випромінювання (*METZ-Frescaty database*). Середньорічна температура повітря в межах території (Мал. 1.3) становить 18 °С, найвища вона в серпні (+23°C),

найнижча у січні (-1°C). Абсолютний річний максимум температур $+30^{\circ}\text{C}$, абсолютний мінімум -8°C (WeatherSpark.com).



Мал.1.3 Середня температура повітря по муніципалітету Фольшвіллер

Опади впродовж року розподіляються відносно рівномірно, в середньому 832 мм/рік, або 69 мм/місяць. Найбільша кількість опадів випадає в грудні (95 мм), найменша – у серпні та квітні (37 мм). Їх середньорічна кількість (Мал. 1.4.) зазвичай сягає 577 мм. Середньорічна величина відносної вологості коливається приблизно від 70% до 85% протягом року (*World Meteorological Organization*).



Мал. 1.4 Середня кількість опадів по муніципалітету Фольшвіллер

Сніговий покрив у Фольшвіллері змінюється з року в рік, але в середньому перший сніг випадає наприкінці листопада або на початку грудня, а останній – в

березні або на початку квітня. Висота снігового покриву також різна, але зазвичай не перевищує кількох сантиметрів. Максимальна зареєстрована глибина снігу за останні роки становила близько 20 сантиметрів у січні 2019 року. Кількість днів зі сніговим покривом у році також може змінюватися, але зазвичай це близько 20-30 днів на рік. Часті відлиги не є частим явищем, але періодично фіксуються у весняний період (*Météo France, Weather Underground, AccuWeather*).

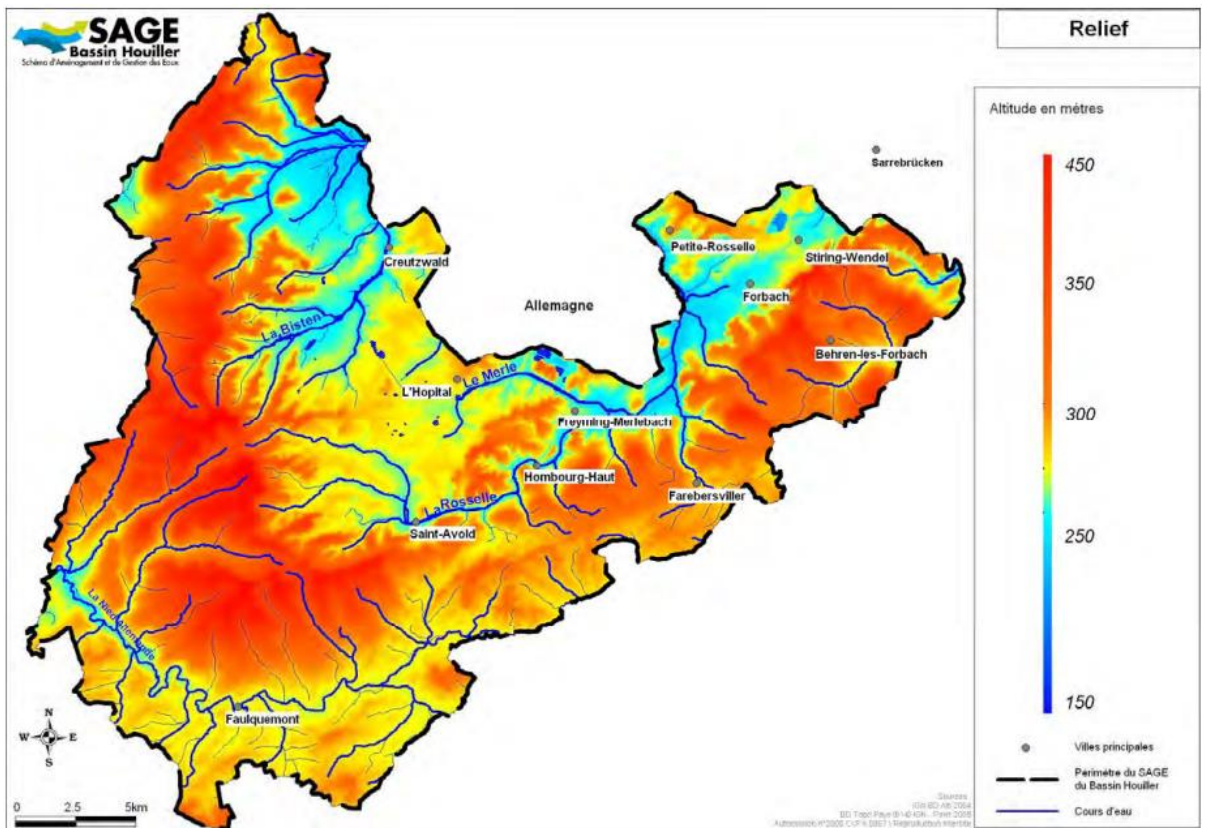
Характерною особливістю зимового періоду є також ожеледоутворення, що зазвичай починається в листопаді і триває по березень коли відбувається коливання температур із згаданими вище відлигами (infoclimat.fr).

Вітри мають сезонний характер. Влітку переважають південно-західні, взимку – північно-східні напрямки вітру. Середньорічна швидкість вітру в місті Фольшвіллер становить близько 2,8 м/с. Максимальна швидкість вітру зазвичай спостерігається взимку і пов'язана з проходженням циклонів через регіон. Останні часто приносять на територію дощі та снігопад (*worldclimate.com*).

1.1.3 Рельєф, геоморфологія, гідрографія

Досліджувана частина басейну Лотарингії знаходиться в межах западини Варндт на північному сході Мозеля і характеризується рівнинною місцевістю з невеликими долинами, вкритими лісами. Зокрема, лісовими масивами Варндт, Ла-Хув, Сентевольд, Занг і Штайнберг (*Rapport SAGEversion validée б*).

Місцевість відноситься до плоско виражених водороздільних просторів. Середня висота по регіону становить близько 262м (Мал. 1.4), а найвища точка – Моттенберг фіксується на висоті 413м над рівнем моря.



Мал. 1.4 Рельєф досліджуваного сектора (*Rapport SAGEversion validée v*)

Місцеву гідрографічну мережу складає близько 284 поверхневих водних об'єктів, серед яких фігурують різноманітні болота, струмки й річки, що активно зрошують та дрениують територію і беруть свій початок на гірських вододілах, у пригірських районах. Зокрема, до найкрупніших водних артерій округу відносяться річки Мозель, Ніє Альманд, Мерт, Саар, Орне, Оур, та ін. (*Moselle Aval SYNDICAT MIXTE a*).

Перша (р. Мозель) має напрямок течії з півдня на північ й перетинаючи Лотарингію впадає в Рейн. Серед її основних приток – річки Рувер, Ав'єра та Саар. Над місцем злиття останньої з річкою Мозель, водойма займає широку долину, орієнтовану на північний схід, де вона робить значний вигин. Загальний напрямок потоків здебільшого відповідає відслоненням геологічних шарів. Загальний вододіл річки складає 28286км². Середньорічна витрата в гирлі 328м³/с.

Річка *Ніє Альманд* (La Nied Allemande) протікає безпосередньо через регіон Лотарингія та є лівою притокою річки Саар. Річка має довжину близько 54 км та

протікає через кілька міст, включаючи міста Бух (Boulay-Moselle) та Крейсберг (Creutzwald). Виникає на висоті близько 310 метрів над рівнем моря та має середньорічну витрату води близько 11 м³/с в гирлі. Ніє Альманд пов'язана з каналами Вельдерсбах Фольшвіллер та Вальмонт, що мають особливе значення в безпосередніх межах території де проводилися дослідження, створюючи там відносно прості гідрографічні умови (*Rapport SAGEversion validée 2*).

Іншою крупною притокою річки Саар є річка Мерт, довжина якої становить близько 94 км, з площею водозбору близько 770 км². Річка протікає через територію з різним ландшафтом, включаючи північні схили Vogезьких гір і круті пагорби Мосельського виноградного регіону.

Річка Саар – бере свій початок на височині Лотарингії в південній частині Франції та впадає в Рейн на заході Німеччини. Вона має довжину близько 246 км, а її басейн охоплює площу близько 7 431 км². Важливість цього водного об'єкту полягає у значному економічному впливі, який він створює на сусідні області, як важливий промисловий осередок регіону.

Основними джерелами живлення гідрографічної мережі території, що забезпечують необхідні умови для функціонування гідрологічної системи є опади в формі дощу та снігу, а також талі води, які складають суттєвий відсоток по відношенню до безпосередньо річного стоку, а також підземне живлення. Не зважаючи на розгалужену водну мережу характерною особливістю місцевості є сезонне пересихання водотоків (*Moselle Aval SYNDICAT MIXTE б*).

Сучасний рельєф западини Варндт в цілому та численних долин зокрема, обумовлений дією геодинамічних екзогенних та льодовикових процесів, а також геологічною будовою району і літологією порід. Терасові утворення на місцевості слугують індикатором палеокліматичних змін в минулому. Вони вказують на зміну водорозподілу, яка може бути пов'язана з змінами клімату, наприклад, зі зменшенням або збільшенням опадів (*CordieretalQuaternaire-2004*)

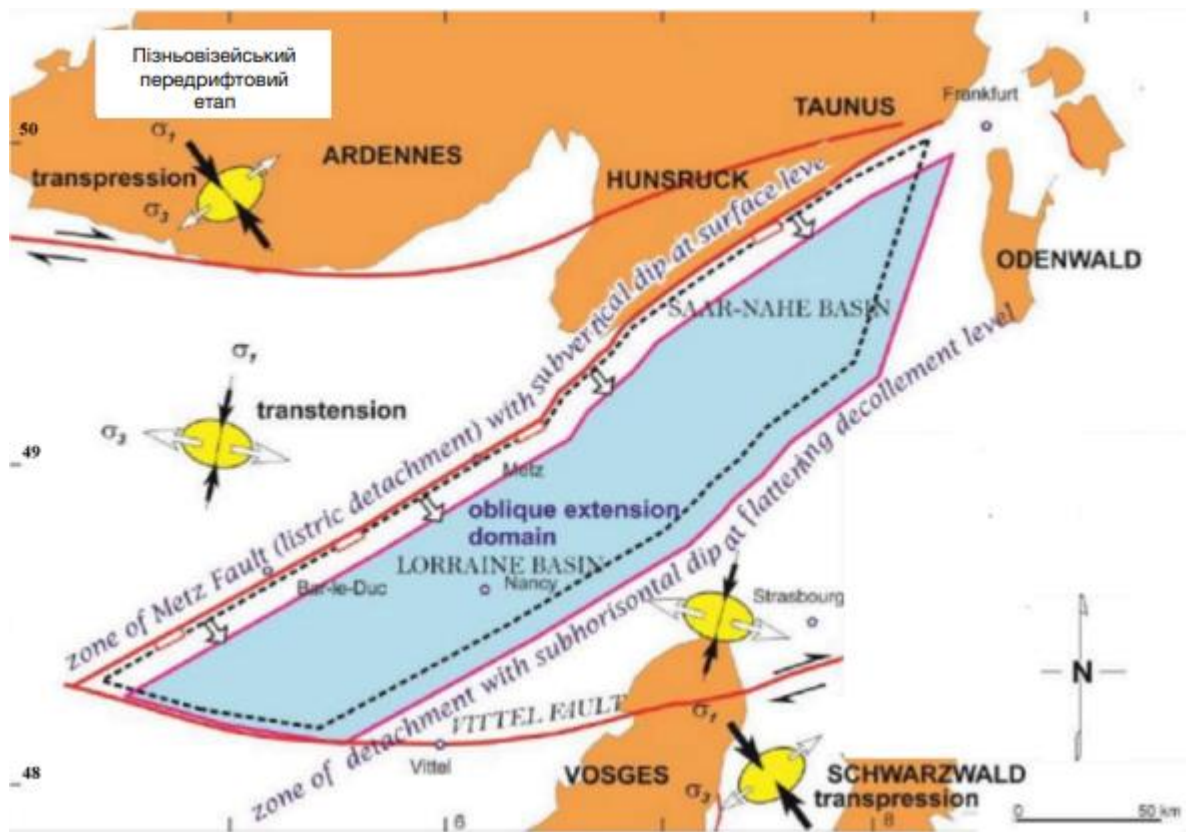
Протягом багатьох років досліджуваних місцевості були також характерні активні урбанізаційні процеси, пов'язані з розвитком гірничодобувної діяльності. Наслідком цього стала часткова зміна природного рельєфу на антропогенний на території від Карлінга до Петіт-Росселя (*Rapport SAGEversion validée d*).

1.2 Геологічна будова

Район досліджень розташований в межах структури Лотарингського вугільного басейну, що складений потужною кам'яновугільною та пермською товщами (*Schäfer, A., 1989*).

Територія басейну простягається на території довжиною приблизно 140 км і шириною від 70 до 80км. З півночі він обмежений розломом Меца та його підземним продовженням, що проходить поблизу Сен-Мієля. Його південна межа, відповідає напрямку лінії, що приблизно проходить через Жиронкур і Сарбур (Мал. 1.5). Її західна межа збігається з великою долиною Марни.

Басейн має унікальне положення в герцинському ланцюзі і перекриває «зовнішню кристалічну зону», яка на півночі межує з «внутрішньою зоною» герцинського періоду. Він відокремлений рено-герцинської зоною від північного герцинського переднього краю вугільного басейну (*Donsimoni, 1981*).



Мал. 1.5. Геологічний каркас басейну на початковому етапі формування басейну (Привалов, 2015)

1.2.1 Стратиграфія

В геологічній будові території беруть участь утворення палеозойського, мезозойського та кайнозойського віку. Основою ж слугують кристалічні докембрійські утворення, які характеризуються високою міцністю і є стійкими відносно ерозійних процесів, що забезпечує стабільність ландшафту в досліджуваному регіоні.

Палеозой (PZ)

Кам'яновугільний період – С

Кам'яновугільні відклади розповсюджені на всій території району робіт. Представлені двома серіями порід – Вестфальською та Стефанієн.

Потужність першої сягає 4000м й переважно складена моласовими відкладеннями, з-поміж яких виділяються сотні вугільних пластів різної товщини (від сантиметра до декількох метрів), пов'язаних із теригенними відкладеннями, що складаються з конгломератів, пісковиків та сланців, сірого кольору. Ці

відклади утворювалися впродовж у міссісіпської (пізній візей та серпухівський вік) та пенсильванської (башкирський та московський вік) епох.

В нижній частині Вестфальської серії залягають флювіальні конгломерати, за якими слідують перешарування флювіальних пісковиків, палео залишків, вугільних пластів та озерних аргілітів з потужностями до 10м. Потужність вугільного пласта коливається від 1м до 10м.

Відклади серії Стефанієн, що сформувалися у касимівський вік представлені грубими уламковими породами, серед яких – конгломерати, сірі пісковики та аргіліти. Відклади серії, що продовжили своє нагромадження у гжельський вік представлені глинами, лімнічними чорними сланцями, червоними пісковиками та дрібнофаціальними відкладами у вигляді пелітів та псамітів (*Pryvalov, etc., 2015 a*).

Пермський період – Р

Відклади пермської системи на території району із стратиграфічним неузгодженням залягають на кам'яновугільних породах й представлені осадовими відкладами, що формують складну континентальну Саксонську серію (P₂). В межах останньої виділено наступні утворення:

- Формация Толей (l'Assise de Tholey) – складена червоними конгломератами з кварцовою галькою та кварцитами, з прошарками вишневих пісковиків та різнокольорових глин;
- Вулканічний шар Зьотрн (l'Assise volcanique de Sötern), який фіксується лише у північно-західному секторі ділянки і виповнений в основному андезитовими брекчіями та вулканічними туфами.
- Кройцнашський та Вадернський шари (Assises de Wadern et de Kreuznac). Перший представлений червоними польвошпатовими пісковиками, міцнозцементованим доломітом і різнокольоровими глинами. Другий – червоними конгломератами з переробленими андезитовими вулканічними елементами.

Саксонським пермським відкладам властива надзвичайна мінливість потужностей, яка коливається від 10 до 300 метрів (*Barchi , Cartannaz , Fourniquet , 2008 a*).

Мезозой (MZ)

Тріасова система – Т

Тріасовими відкладами на досліджуваній території є морські (як наслідок заповнення басейну морем Тетис) та ерозійні утворення. Переважаючими в розрізі є континентальні відклади пісковика, доломіти Леттенхолу (Lettenkhole) та мергелі середнього Койпера, які розповсюджуються через Буле (Boulay) на заході, Фолкмон (Faulquemont) на півдні та Вальмонт (Valmont) на південному сході (*Barchi , Cartannaz , Fourniquet , 2008 б*).

Юрська система – J

Внаслідок субсиденційних процесів (опускання поверхні земної кори) та трансгресії моря, розрізу юрського періоду є властиві значні потужності глин та вапняків (вапнякових платформ), що утворили велику аргіліто-карбонатну формацію.

Наприкінці нижньої юри (J_1), у межах відкладень Тоарського ярусу фіксуються зміни у фацієвій складовій відкладів, які стали грубішими та в які почали вмещувати більш важкі складові. У верхній частині потужностей з'явилася більша кількість вапняків та залізистих складових, які визначаються, як літоральні утворення та відклади континентальних зон (*Parisot, 1994*).

Крейдова система – К

В межах досліджуваної території у розрізі виділяються утворення нижньої крейди (K_1), що представлені Готерівським (K_{1g}) та Альбським (K_{1alb}) ярусами. Відклади першого в основному виповнені жовтим оолітовим вапняком, що часто містить органічні рештки, зокрема двостулкових молюсків і морських їжаків.

Літологічний склад порід Альбського ярусу характеризується зеленими пісками, чорними глинами (Argile du Gault) із значною кількістю органічних

решток – в основному молюсків (серед яких: амоніти, малі черевоногі молюски, іноцерами та ін.) (*Newsletters on Stratigraphy, 2002*).

Кайнозой (KZ)

Палеогенова система

Палеогенові відклади розповсюджені на всій території району робіт. Представлені відкладами палеоцену, еоцену та олігоцену.

На початку кайнозойської ери, протягом палеоцену широкого розповсюдження набули морські відклади, зокрема вапняки та мергелі, що містять численні органічні рештки. Еоценовий розріз всвою чергу виповнений паралельними нашаруваннями пісковиків з мергелями.

Після відступу моря, протягом олігоцену обстановка місцевості була сприятливою для активного накопичення потужних шарів вугілля, відкладів вапняків, пісків та глин, які нині виходять на денну поверхню в річкових долинах.

Неогенова система

Неогеновий період представлений утвореннями, накопичення яких відбувалося у міоценовий та пліоценовий час.

Міоцен позначився формуванням значних потужностей вугілля, що було обумовлено сприятливими кліматичними умовами (тропічними). Пліоценові відклади мають дещо ширше розповсюдження, оскільки пов'язуються із формуванням широкої гідрографічної мережі й мають алювіальне походження (*Pissart, et al., 1997*).

Четвертина система.

У четвертинний період на досліджуваній території басейну Лотарингії відбулися значні кліматичні зміни. Плейстоценове зледеніння, що супроводжувалося утворенням Рейнського льодовика сприяло накопиченню значних товщ льодовикових відкладів, морен та пісків (*Johnson, et al., 2023*). Окрім них фіксуються сучасні алювіальні відклади потужністю до кількох метрів, які нині виходять на денну поверхню.

1.2.1 Структурно-тектонічні особливості

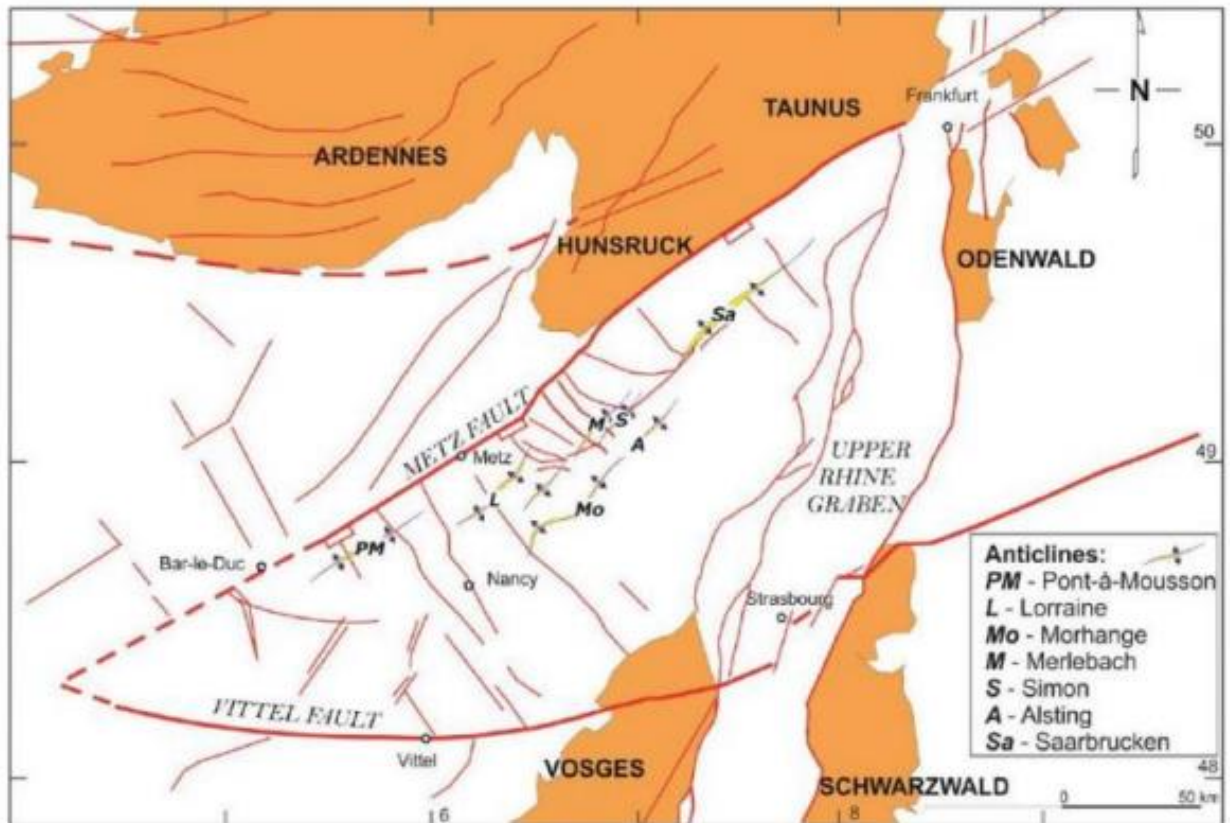
Утворення басейну відбувалося у період з нижнього карбону до верхньої пермі – початку тріасу. У пермський період під час Саальської фази (герцинська складчастість) в процесі тектонічної активності, басейн був підданий деформації та трансформувався у складну геологічну структуру. Зокрема, в межах території дослідження був утворений антиклінорій. Після цього фаза складчастості перейшла у дві ерозійні фази. Перша з яких мала місце наприкінці пермського періоду. Друга – протягом тріасу.

Формування басейну Лотарингії має складний характер й у зв'язку з цим є кілька підходів щодо опису його структурно-тектонічних особливостей.

На думку деяких дослідників (*Donsimoni et, 1981*) можливим є виділення шести основних фаз розвитку басейну, протягом яких відбувалися зміни у глибині моря Тетіс, що покривав на той час територію дослідження, а також в характері осадків та інших параметрах.

Модель Хенка, запропонована у 1993 році описує басейн, як типову напівграбенну структуру, проте більш сучасні дослідження (*Привалов та ін. 2015*) описують його як геодинамічну структуру, що постійно еволюціонує. Модель Привалова дуже чітко ґрунтується на тектонічному та осадовому аспектах і враховує історію розвитку басейну в контексті глобальної тектоніки та кліматичних змін.

Басейн Лотарингії розглядається, як асиметричний ромбоподібний мегаблок, обмежений двома розломами. (Мал.1.6). Східна межа мегаблоку проходить вздовж підземної частини лістричного розлому Мец.



Мал.1.6. Структурний каркас і тектонічні елементи басейну Лотарингія

(Привалов, 2015)

У досліджуваному регіоні пізньо-візейський період позначився перед-рифтовою стадією, протягом якої відбувалося активне накопичення мілководних морських карбонатних відкладень. У цей же час на ділянці мав місце правий зсув. Наприкінці візею відбувся процес стискання двох блоків земної кори один проти одного із одночасним розтягуванням, що спричинило рух по розлому та розширення в мегаблоці, де вісь стиснення стала вертикальною через обертання мегаблоку за годинниковою стрілкою (Pryvalov, et al., 2015 б).

Наступною активною фазою, що вплинула на формування басейну була стадія син-рифту. Вона позначилася реактивацією розлому Мец в транспресійному режимі (дві тектонічні плити рухалися одна відносно іншої горизонтально, що призвело до стискання та зсуву порід вздовж зон контакту плит) за межами басейну, що сталося завдяки обертанню осі стиснення у субширотному положенні проти годинникової стрілки. Це сприяло продовженню

обертання мегаблоку під усім басейном Лотарингії і призвело до формування локальних середовищ із осіданням базальтового конгломерату вище залягаючих пластів, а також активації процесів стиснення в частині Лотарингії та розширення в басейні Саар. Стискальні процеси та поступове збільшення кута повороту мегаблоку призвело до переміщення центральних відкладень на північний схід від розлому Мец (*Pironon, et al., 2015*).

Під час син-рифтової стадії ротація мегаблоку відбувалася щогодинно, що призвело до:

- деформації та зсуву порід;
- формування первинної системи напруженості в північно-західному – південно-східному напрямку, яка була ортогональною до осі згину та зсуву, аналогічної з північно-східним – південно-західним напрямком;
- підняття та ерозії, які стали причиною утворення Мерлебахських та гольцівських (стефанівських) конгломератів, що перекривають Вестфальський горизонт;
- утворення та розширення звичайних розломів, які утворилися у північно-східній частині басейну Саар (*Panova, et al, 2015*).

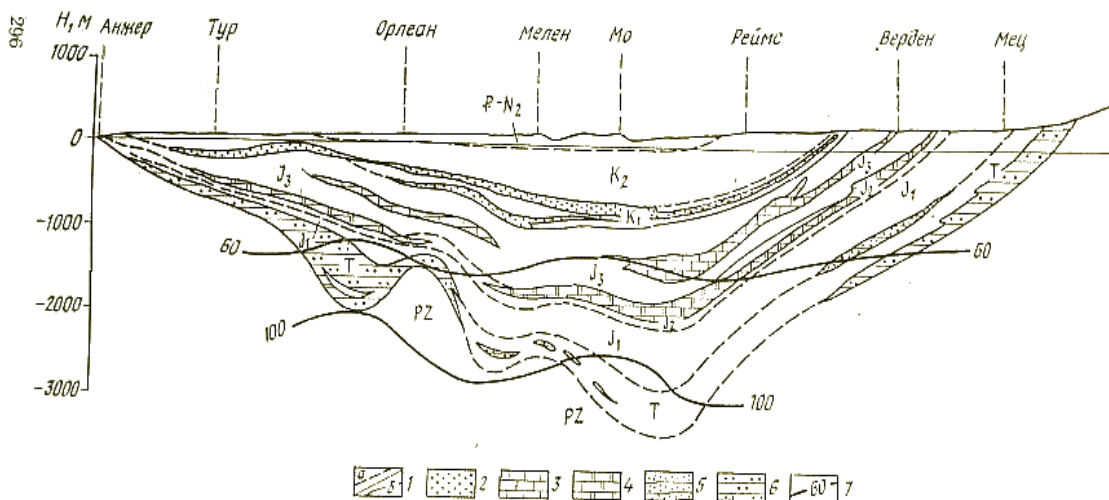
Розвиток син-рифтового етапу у ранньо пермський час мав вулканічний характер й був спричинений відновленням трансформних рухів уздовж основних широтних розломів, які викликали поворот мегаблоку проти годинникової стрілки та локальне стиснення в басейні Саар-Нахе. Розлом Мец став активним й призвів до утворення низки нових нормальних розломів, що занурювалися на північний-захід і проникали до відкладів, утворених в до-кам'яновугільний період.

Пермський період є також часом інверсійної стадії та масштабних ерозійних процесів, що активізувалися після завершення син-рифтового етапу. В цей період геологічної історії регіону мали місце лівосторонні горизонтальні рухи, що відбувалися паралельно до лінії розлому, вздовж основних широтних розломів. Наслідком таких рухів стало перетворення розриву мегаблоків у структуру з

домінуючим режимом рухів вгору по вертикалі. Також в цей період (що тривав до пізньопермського періоду), переважно в районах, які були пов'язані з вторинним зсувом системи паралельно до розлому Мец спостерігалось інтенсивне підняття та розкриття тріщин. Це призвело до руйнування численних незаповнених геологічних утворень (Pryvalov, et al, 2015 в).

1.3 Гідрогеологічні умови

Територія басейну Лотарингії знаходиться у північній частині артезіанського басейну Паризької западини, яка приурочена до однойменної депресії (мал.1.7).



Мал.1.7. Геологічний розріз Паризького артезіанського басейна (Марінова та Толстохіна, 1989 а)

На північному заході басейн омивають води протоки Ла-Манш Па-де-Кале, на заході та півдні він обмежений Армориканським і Центральним Французьким масивами, на сході півночі - Арденнами Vogезькими горами.

У тектонічному відношенні басейн розташовується у внутрішньо-платформенній западині – мульді, повністю сформованої як самостійна структура в неогені. Складчастий фундамент складений докембрійськими і палеозойськими утвореннями, представленими кристалічними сланцями, кварцитами, вапняками та пісковиками, з інтрузією різновіковими гранітоїдами. Глибина залягання його в

найбільш зануреній частині западини становить понад 3000 м (*Маринова та Толстохіна, 1989 б*).

Загалом, в межах Паризького артезіанського басейну розвинені водоносні комплекси різного віку, але гідрогеологічні характеристики районів, що знаходяться в його межах в більшій мірі визначаються саме геологічними та структурно-тектонічними особливостями басейну. В межах всієї структури, залежно від зазначених умов вирізняють:

- Нижньотріасові відклади, які мають низьку водопроникність та слабку водоносність.
- Середньотріасово-нижньоюрські відклади, що складаються з пісковиків, глин та вапняків. Їх водоносність визначається, як середня.
- Юрсько-крейдові відклади – складені з крем'яних та вапнякових порід і мають дуже різну водопроникність та водоносність.
- Крейдові відклади, яким характерна висока водонепроникність й, відповідно обмежена водоносність.
- Нижньо- та середньопалеогенові відклади, представлені пісковиками, глинами та вапняками. Їх водоносні характеристики визначаються високими.
- Верхньопалеогенові відклади, що містять глини, піски та вапняки з середніми водоносними властивостями.
- Неогенові та четвертинні відклади мають високу водопроникність та водоносність.

Територія басейну Лотарингії розташована на північний захід від великого розлому Сен-Аволд Гомбург, що розділяє структуру на дві великі геологічні одиниці: на півночі - Паризький басейн, на півдні - ряд платформених масивів, включаючи Ренський масив та Шварцвальд (*Fourniguet, et al., 2010*).

В межах басейну виділяються водоносні горизонти та комплекси, які в значній мірі приурочені до карбонатних доломітових геологічних утворень (зокрема, Леттенкохле та Верхнього Мушелкалка), що простягаються в західному

напрямку й зникають на довготі Сен-Дізьє і Стене, змінюючись на на доломітову глину із поступовим перетворенням у більш менш глинистий пісковик.

Утворення Леттенкохле представлені трьома горизонтами:

- Верхній – граничні доломіти – складені жовтим доломітовим вапняком в діаклазових плитах потужністю від 0,5 до 1 метра.
- Середній – представлений сланцями та різнокольоровими мергелями, які містять, понад 2-3 метри невеликих шарів доломітового пісковика або сланцевого пеліту.
- Нижній – нижні доломіти, які важко розрізнити за відсутності чітко вираженої межі із доломітовим масивом Мушелкалка (*BDLISA Base de Données des Limites de Systèmes Aquifères*).

З гідрогеологічної точки зору, з перерахованих формацій лише *граничні доломіти Леттенкохле є водоносним горизонтом*, якому характерний дуже низький і переривчастий рівень води і який залягає на водонепроникному шарі глинистих порід зазначеного середнього горизонту Леттенкохле.

Нижче по розрізу залягають породи Верхнього Мушелкалка, що являють собою *вапняковий водоносний горизонт*. Його води є бікарбонатно-магнієвими, з низьким або дуже низьким вмістом сульфатів і хлору, характеризуються середньою мінералізацією, яка вважається прийнятною для громадського водопостачання. На відслоненні цей водоносний горизонт, завдяки значній тріщинуватості та карстуванню, характеризується загалом високою проникністю (особливо на рівні шарів Ceratites та Entroques).

Велике значення має нижчезалягаючий *водоносний горизонт пісковиків нижнього триасу*. Дане утворення є важливим резервуаром підземних вод в межах досліджуваної території. Характеризується високою проникністю (середня проникність по всьому басейну коливається від 2 до 4,10-5 м/с на відслоненні, обмежуючись 0,4,10-5 м/с під поверхнею) та тріщинною пористістю (загальна пористість пісковиків коливається від 10 до 15%). Живлення горизонту

відбувається завдяки водам, що проникають на рівні зон відслонення цієї формації за рахунок атмосферних опадів (*Rapport SAGEversion validée e*).

Потужність формації зростає на південний схід (під перекриваючими утвореннями) і спадає на північний схід у долині Carr, де наближається до поверхні. Потужність водоносних пісковиків коливається від 0 до 300 м.

Під тріасовим водоносним горизонтом також виділяється *водоносний горизонт Ретійського пісковика*. Останній характеризується відносною суцільністю. Його відслонення розташовані вздовж узбережжя океану Тетіс, який існував в той час або на крайових частинах еолових утворень. Ретійський пісковик має пористість у діапазоні від 10% до 25%, з середнім значенням пористості близько 15%. Проникність варіюється від 10^{-4} до 10^{-1} м/с, з середнім значенням близько 10^{-3} м/с. Конкретна потужність може варіюватись від кількох метрів до кількох десятків метрів. (*Moselle Aval SYNDICAT MIXTE v*).

2. ОЦІНКА ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ КОЕФІЦІЄНТА ФІЛЬТРАЦІЇ

2.1 Особливості визначення параметрів фільтрації підземних вод

Однією з основних цілей випробування горизонтів є визначення їх гідрогеологічних параметрів.

Узагальнено, під параметром розуміється величина, що характеризує певну властивість деякого явища. Основними фізичними властивостями фільтраційного середовища, що визначають умови руху в ньому рідини, є пористість і проникність. Тому основні гідрогеологічні параметри горизонту мають відображати дві базові властивості водовмісної породи, а саме: її ємнісні та фільтраційні властивості (*Кошляков та Мокієнко, 2006 а*).

Ємнісні властивості порід визначаються коефіцієнтами гравітаційної та пружної ємності. *Коефіцієнт гравітаційної водовіддачі породи* – є показником, за яким можливе визначення здатності ґрунту або породи пропускати воду під дією гравітаційної сили. Визначення водовіддачі порід має важливе практичне значення, зокрема при розрахунках осушення гірничих виробок, будівництва дренажних споруд та ін. Величина коефіцієнту водовіддачі залежить від таких факторів, як: тип порід та її гранулометричний склад, що визначає розміри пор, їх форму, взаємне розташування та ступінь заповнення рідиною. Окрім цього, значну роль відіграють властивості самої рідини, такі як: її в'язкість та поверхневий натяг. Найбільшою водовіддачею характеризуються крупноуламкові породи, яким властиві пори великих розмірів. Найменша водовіддача фіксується для тонкозернистих пилуватих пісків та глин (*Шестаков, Невечеря, Авила, 2011*).

Формування гравітаційної водовіддачі в природних умовах відбувається при русі води з капілярної зони на вільну поверхню ґрунтових вод. При зниженні останніх капілярна зона спершу розтягується і тільки при досить тривалому рівномірному зниженні рівня в капілярній зоні настає динамічна рівновага, коли епюра вологості (кількість води, яка міститься в ґрунті при різних глибинах) по

висоті не змінюється і опускається синхронно опусканню вільної поверхні. Тому коефіцієнт гравітаційної водовіддачі в початковий період зниження рівня не досягає граничної величини і поступово, іноді протягом тривалого часу, зростає (Зінченко, 2005 а).

Є різні підходи до розрахунку водовіддачі. Серед найбільш поширених – визначення, що передбачають застосування рівнянь 2.1 та 2.2:

$$\mu_g = n - \theta_{з.п.} - \theta_{с.в.} \quad (2.1)$$

де n - пористість (повна вологоємність) породи; $\theta_{з.п.}$ - відносний об'ємний вміст повітря у пласті; $\theta_{с.в.}$ - відносний об'ємний вміст стикової вологи (води в кутах пор і зв'язаної води).

Також хороші результати для піщаних ґрунтів ($\mu_v > 0,15$) отримуються при застосуванні емпіричної формули ІІ А. Бецинського:

$$\mu_g = 0,117\sqrt[7]{K} \quad (2.1)$$

Де K – коефіцієнт фільтрації, м/добу.

Необхідно підкреслити, що ці методи дозволяють визначити постійну (і при тому максимальну) величину аналізованого параметра і не передбачають оцінки його змін у часі (Жернов, 1982).

Фільтраційні властивості порід визначаються, як властивостями водовміщуючих порід, так рідини, що фільтрується. Характерними показниками є коефіцієнти проникності, фільтрації, провідності та ін.

Проникністю описується властивість гірської породи пропускати через своє пористе та тріщинувате середовище рідину. Даний параметр знаходиться в прямій залежності від ступеню пористості та тріщинуватості породи. Зокрема, пористість визначають, як загальний об'єм всіх пустот у породі. Кількісно вона визначається відношенням об'єму пор породи у зразку до всього об'єму зразка. Пори можуть бути різного розміру та форми й саме ці їх параметри визначають безпосередню здатність води проникати через них. Щільні породи з меншими порами здатні утримувати воду та повільно її пропускати, тоді як менш щільні

породи з більшими порами можуть бути більш проникними для води (Шинкаренко, 2018).

Розрізняють абсолютну (фізичну) та ефективну (фазову) проникність. Під *абсолютною* (фізичною) розуміють проникність гірської породи для газу або однорідної рідини при повному заповненні пор породи цими субстанціями та відсутності фізико-хімічної взаємодії між рідиною та породою.

Під *ефективною*, чи фазовою, проникністю розуміють проникність гірської породи лише для газу чи рідини за умови руху в них іншого флюїду - рідини чи газу. Ефективні проникності характеризуються відповідними коефіцієнтами, зокрема й для води ($k_{пр.в}$) (2.3). останній визначається за співвідношенням:

$$k_{пр.в} = \frac{Q_v \times \mu_v \times L}{F \times \Delta p} \quad (2.3)$$

де Q_v – витрата компоненти при фільтрації неоднорідної рідини; μ_v – в'язкість води.

Відношення ефективної проникності до абсолютної називається *відносною проникністю*. Вона залежить від об'ємного співвідношення відповідних компонентів у сумішах, що фільтруються, і виражається безрозмірним числом, яке завжди менше одиниці. Співставлення коефіцієнтів відносної проникності дозволяє виділити головні та підлеглі фази багатофазового руху флюїдів у пласті (Зінченко, 2005 б).

У гідрогеології та інженерної геології для характеристики водопроникності найчастіше використовується параметр *коефіцієнту фільтрації* k_f . Він є показником здатності гірських порід пропускати через себе воду у більшій чи меншій кількості за одиницю часу з більшою чи меншою швидкістю.

Коефіцієнт проникності та коефіцієнт фільтрації пов'язані між собою співвідношенням:

$$k_f = k_{пр} \times \frac{\delta_v}{\mu_v} \quad (2.4)$$

де δ_v – щільність води, μ_v – в'язкість води.

Коефіцієнт проникності, характеризує лише структурні особливості гірської породи, тоді як коефіцієнт фільтрації залежить від структурних властивостей середовища та від властивостей рідини.

Важливо зазначити, що фільтраційна здатність водоносного пласта також сильно залежить від рідини, яка фільтрується. Різні рідини мають різну в'язкість та щільність, що впливає на їх здатність проникати через пори водовміщуючих порід. Наприклад, рідина з більшою в'язкістю буде рухатися повільніше через пори порівняно з менш в'язкою рідиною (Кошляков та Мокієнко., 2006 б).

Беручи до уваги, обґрунтовану вище важливість фільтраційних властивостей, метою роботи є простеження та встановлення закономірностей зміни коефіцієнтів фільтрації (як найбільш часто застосовуваного параметру в гідрогеології та інженерній геології) порід із глибиною.

В рамках дослідження, роботи проводилися по свердловині FOLSCHVILLER 1(A) (Фольшвіллер 1А) в басейні Лотарингії. Свердловина пробурена на глибину 1306м. Під час обробки фактичного матеріалу, що був отриманий зі свердловини були встановлені коефіцієнти проникності, повна вибірка яких становить 164 значення.

Математично, зв'язок коефіцієнту фільтрації із коефіцієнтом проникності описується наведеним вище рівнянням 2.4. Проте, в умовах, коли прісна вода має мінералізацію 1 г/дм³ а температура 20°C – коефіцієнт фільтрації та коефіцієнт проникності можуть визначатися як рівні ($k_f = k_{пр}$). Даний факт обґрунтовує подальше переведення усіх значень вибірки, які отримані в мДарсі у відповідні одиниці виміру коефіцієнту фільтрації – м/добу (табл. 2.1 – 2.4).

Отримані дані розглядалися як у контексті всієї розкритої потужності, так і відносно результатів проведеної диференціації зразків за літологічними ознаками із виділенням п'яти груп порід, а саме: глини, сланців, пісковиків, конгломератів та вугілля (останнє не враховувалося).

Простеження змін коефіцієнту фільтрації супроводжувалося використанням функціональних можливостей електронних таблиць програмного забезпечення Excel. Побудова графіків виконана в межах двох координат: x - глибина (в метрах); y - коефіцієнт фільтрації для глин (в метрах на добу).

Перша літологічна група зразків, що була проаналізована представлена глинами (мал. 2.1). Встановлені значення коефіцієнту фільтрації зразків цієї групи порід представлені у таблиці 2.1:

Таблиця 2.1

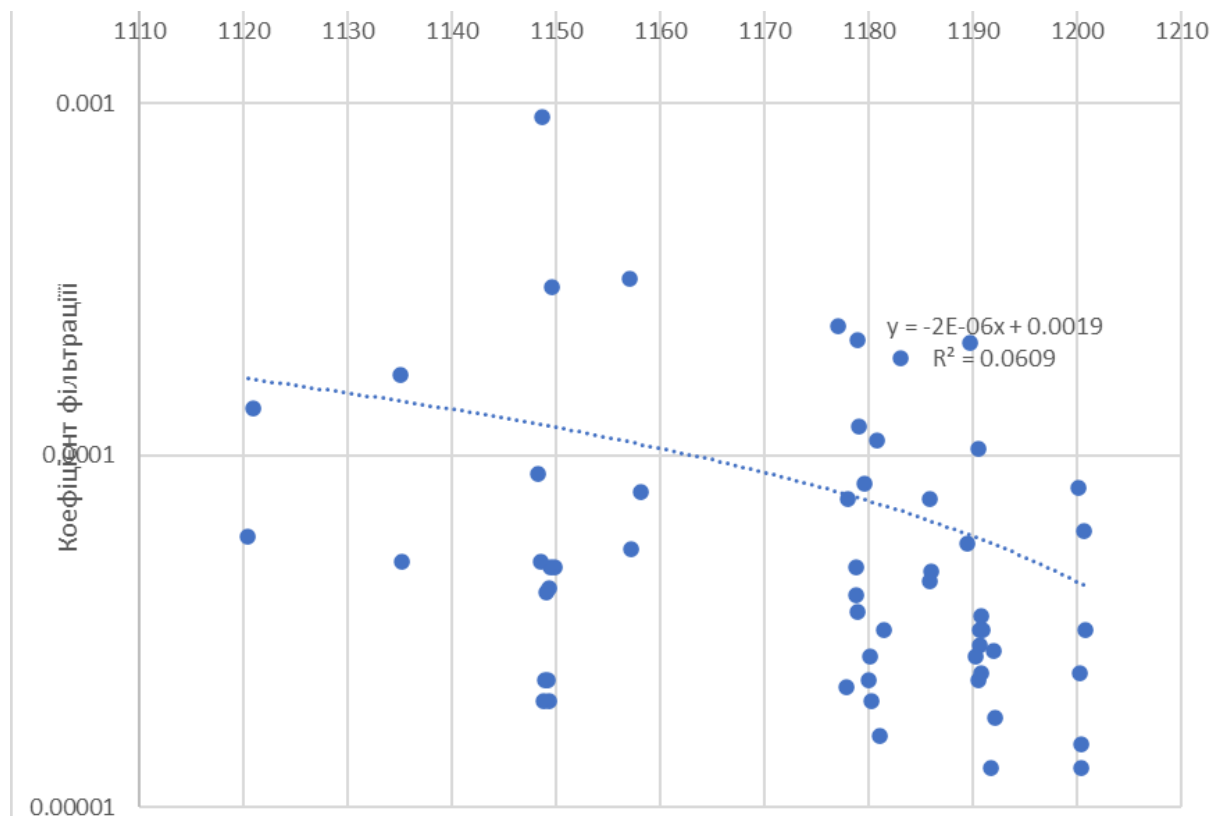
Значення коефіцієнту фільтрації глинистих зразків порід досліджуваної товщі

Номер зразка	Глибина залягання зразка, м	Проникність, мілідарсі		Коефіцієнт фільтрації, м/добу
F122_1	1200,78	0,0032		0,000032
F122_1_2	1200,62	0,0061		0,000061
F122_1_3	1200,46	0,0013		0,000013
F122_2	1200,41	0,0151		0,0000151
F122_2_2	1200,32	0,024	→	0,000024
F122_3	1200,16	0,081		0,000081
F120_8	1192,09	0,018		0,000018
F120_8_2	1192,01	0,028		0,000028
F120_9	1191,8	0,013		0,000013
F120_12	1190,95	0,032		0,000032
F120_13	1190,81	0,024		0,000024
F120_13_2	1190,78	0,035		0,000035
F120_14	1190,68	0,029	→	0,000029
F120_14_2	1190,64	0,032		0,000032
F120_15	1190,58	0,023		0,000023
F120_16	1190,5	0,105		0,000105
F120_17	1190,26	0,027		0,000027
F120_22	1189,8	0,209		0,000209
F119_8	1189,41	0,056		0,000056
F118_3	1186,05	0,047		0,000047
F118_4	1185,89	0,075		0,000075
F118_5	1185,86	0,044	→	0,000044
F118_23	1183,04	0,189		0,000189
F117_10	1181,47	0,032		0,000032
F117_13	1181,04	0,016		0,000016

F117_15	1180,77	0,11		0,00011
F117_17	1180,27	0,02		0,00002
F117_17_2	1180,15	0,027		0,000027
F117_17_3	1180,04	0,023		0,000023
F117_17_4	1179,59	0,083	➔	0,000083
F117_23	1179,1	0,121		0,000121
F117_25	1178,92	0,212		0,000212
F117_25_2	1178,89	0,036		0,000036
F117_26	1178,86	0,04		0,00004
F117_27	1178,79	0,048		0,000048
F116_6	1178	0,075		0,000075
F116_8	1177,82	0,022		0,000022
F116_12	1177,05	0,233		0,000233
F111_3	1158,19	0,079		0,000079
F111_7	1157,15	0,054	➔	0,000054
F111_7_2	1157,09	0,318		0,000318
F108_1	1149,93	0,048		0,000048
F108_1_2	1149,68	0,302		0,000302
F108_1_3	1149,53	0,048		0,000048
F108_2	1149,4	0,042		0,000042
F108_3	1149,33	0,02		0,00002
F108_3_1	1149,27	0,023		0,000023
F108_4	1149,06	0,041		0,000041
F108_4_2	1148,99	0,023		0,000023
F108_4_3	1148,8	0,02		0,00002
F108_5	1148,68	0,92		0,00092
F108_6	1148,59	0,05	➔	0,00005
F108_6_2	1148,31	0,089		0,000089
F105_17	1135,28	0,05		0,00005
F105_18	1135,1	0,17		0,00017
F101_11	1120,96	0,1358		0,0001358
F101_13	1120,46	0,059		0,000059

Значення коефіцієнта фільтрації глин варіюються від 0,000013 м/добу до 0,000318 м/добу на глибинах, що охоплюють інтервал від 1120,46 м до 1200,78 м. Зі зростанням глибини відмічається неухильна тенденція до зменшення коефіцієнту фільтрації. Це може бути обумовлено збільшенням тиску та

наявністю більш щільних порід у глибших шарах, що зменшує проникність та пропускну здатність.






Мал. 2.1 Залежності змін коефіцієнта фільтрації з глибиною відносно глинистої вибірки порід

Коефіцієнт детермінації (R^2), що є статистичним показником і характеризує значення досліджуваного коефіцієнта зі змінною глибиною (на розглянутих глибинах) становить 0,0609. Отримане значення свідчить про недостатню точність апроксимації. Такі результати можуть бути пояснені відносно невеликим інтервалом глибин, з яких були відібрані зразки, що аналізуються і вимагають подальших досліджень задля уточнення моделі.

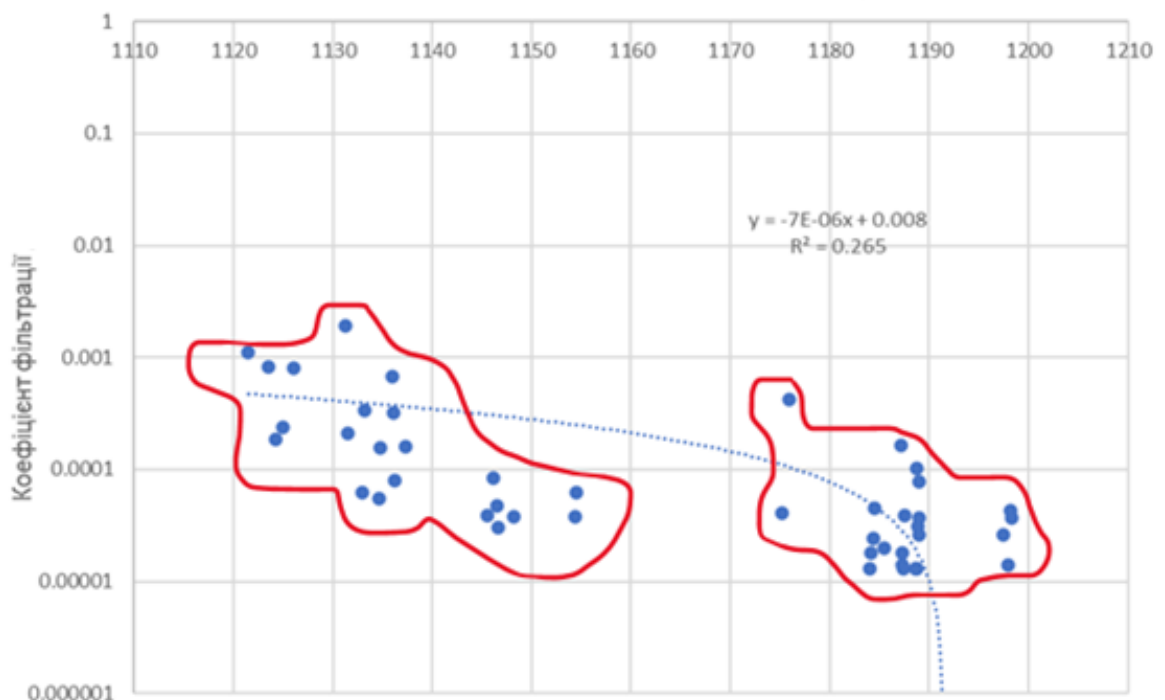
Друга літологічна група представлена зразками сланцю (табл. 2.2). Глибини відбору зразків знаходяться в межах від 1198,23 до 1121,47м. Значна частина зразків цієї групи характеризується найменшими значеннями коефіцієнту фільтрації серед всієї вибірки даних – близько 0,000013 м/добу. Максимальні значення коефіцієнту, що фіксуються для зразків цієї групи можуть сягати – 0,0019 м/добу (спостерігається на глибині 1131,24 м).

Значення коефіцієнту фільтрації сланцевих зразків порід досліджуваної товщі

Номер зразка	Глибина залягання зразка, м	Проникність, мілідарсі		Коефіцієнт фільтрації, м/добу
F122_10	1198,23	0,037		0,000037
F122_11	1198,13	0,043		0,000043
F122_13	1197,91	0,014		0,000014
F122_17	1197,5	0,026		0,000026
F119_10	1189,03	0,026		0,000026
F119_11	1188,97	0,078		0,000078
F119_11_2	1188,95	0,037		0,000037
F119_12	1188,87	0,031		0,000031
F119_13	1188,75	0,013		0,000013
F119_13_2	1188,71	0,102		0,000102
F119_14	1188,56	0,013		0,000013
F119_24	1187,47	0,039		0,000039
F119_25	1187,41	0,013		0,000013
F119_26	1187,33	0,014		0,000014
F119_26_2	1187,23	0,018		0,000018
F119_27	1187,17	0,162		0,000162
F118_7	1185,47	0,02		0,00002
F118_7_2	1184,52	0,045		0,000045
F118_14	1184,38	0,024		0,000024
F118_15	1184,18	0,018		0,000018
F118_15_2	1184,01	0,013		0,000013
F116_17	1175,89	0,423		0,000423
F116_19	1175,16	0,041		0,000041
F110_4	1154,51	0,062		0,000062
F110_4_2	1154,36	0,038		0,000038
F108_7	1148,17	0,038		0,000038
F108_7_2	1146,48	0,047		0,000047
F107_1	1146,58	0,03		0,00003
F107_1_4	1146,1	0,083		0,000083
F107_3	1145,56	0,039		0,000039
F105_7	1137,27	0,16		0,00016
F105_11	1136,21	0,08		0,00008
F105_12	1136,06	0,32		0,00032
F105_13	1135,95	0,67		0,00067
F104_1	1134,83	0,155		0,000155

F104_2	1134,68	0,055	➔	0,000055
F104_10	1133,16	0,34		0,00034
F104_11	1133	0,062		0,000062
F104_19	1131,51	0,21		0,00021
F104_22	1131,24	1,9		0,0019
F102_3	1126,02	0,797		0,000797
F102_8	1124,96	0,235		0,000235
F102_11	1124,23	0,187		0,000187
F102_13	1123,5	0,824		0,000824
F101_9	1121,47	1,1		0,0011

Візуалізація залежності висвітлює планомірне зменшення з глибиною коефіцієнта фільтрації, що може бути пояснено зменшенням пористості через ущільнення порід. Для підтвердження цієї гіпотези, вибірка була розділена на дві представницькі групи, які в подальшому розглядалися окремо (мал. 2.2). Встановлений коефіцієнт детермінації (R^2), становить 0,265.






Мал. 2.2 Залежності змін коефіцієнта фільтрації з глибиною відносно сланцевої вибірки порід

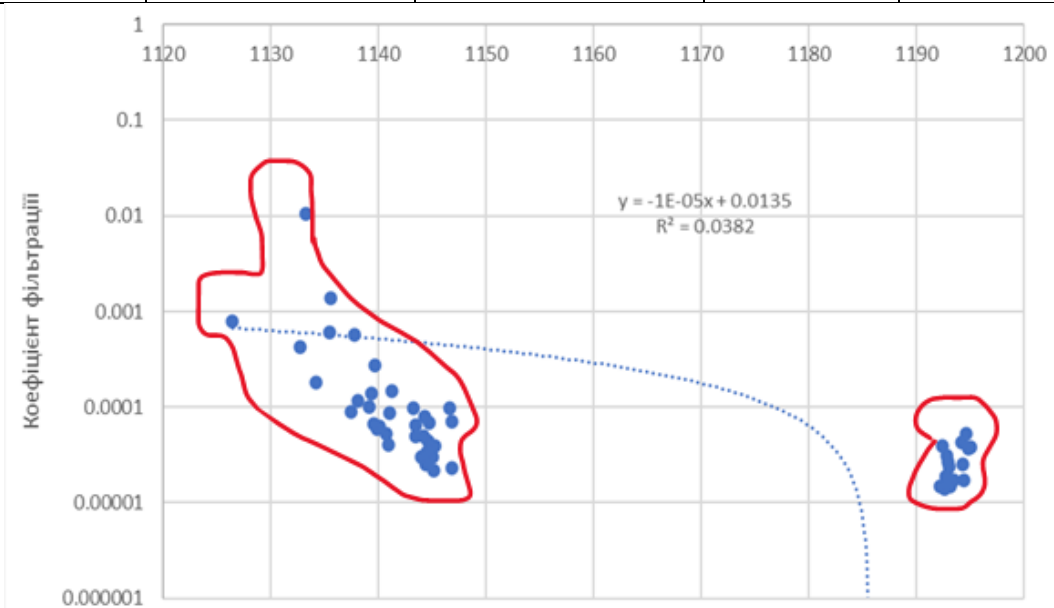
Зразки пісковуку (мал.. 2.3), що складають третю літологічну групу були відібрані на різних глибинах (табл.2.3) в загальному інтервалі від 1195,08 м до 1126,46м.

Таблиця 2.3

Значення коефіцієнту фільтрації піщаних зразків порід досліджуваної товщі

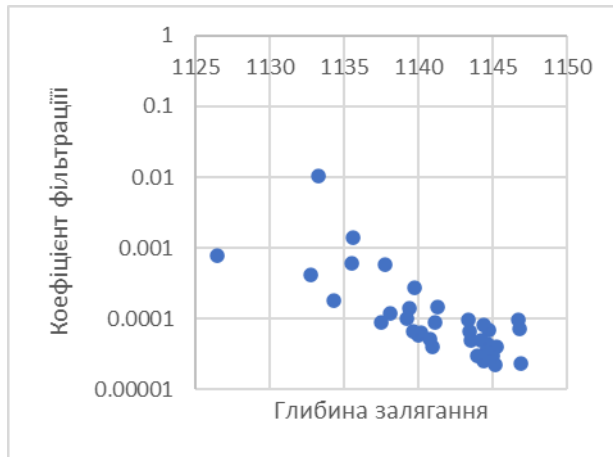
Номер зразка	Глибина залягання зразка, м	Проникність, мілідарсі		Коефіцієнт фільтрації, м/добу
F121_13	1195,08	0,038		0,000038
F121_13_2	1194,88	0,037		0,000037
F121_13_3	1194,68	0,053		0,000053
F121_15	1194,51	0,017		0,000017
F121_15_3	1194,39	0,025		0,000025
F121_16_2	1194,21	0,043		0,000043
F120_1	1193,52	0,017		0,000017
F120_2_2	1193,16	0,015		0,000015
F120_3	1193,14	0,024		0,000024
F120_3_2	1193,08	0,018		0,000018
F120_3_3	1193	0,027		0,000027
F120_3_4	1192,87	0,031		0,000031
F120_5	1192,77	0,019		
F120_5_2	1192,63	0,014	0,000014	
F120_6	1192,5	0,039	0,000039	
F120_6_2	1192,31	0,015	0,000015	
F108_8	1146,88	0,023	0,000023	
F108_8_2	1146,81	0,071	0,000071	
F108_9	1146,68	0,097	0,000097	
F107_3_2	1145,27	0,039	0,000039	
F107_3_3	1145,14	0,022	0,000022	
F107_4	1145,03	0,03	0,00003	
F107_4_2	1144,84	0,038	0,000038	
F107_5	1144,71	0,068	0,000068	
F107_6	1144,65	0,044	0,000044	
F107_7	1144,52	0,034		0,000034
F107_7_2	1144,4	0,025		0,000025
F107_7_3	1144,34	0,08		0,00008

F107_8	1144,18	0,05	0,00005
F107_8_2	1143,98	0,03	0,00003
F107_9	1143,54	0,05	0,00005
F107_9_2	1143,46	0,065	0,000065
F107_10	1143,33	0,097	0,000097
F106_1	1141,25	0,148	0,000148
F106_1_2	1141,07	0,088	0,000088
F106_2	1140,94	0,04	0,00004
F106_3	1140,79	0,052	0,000052
F106_4	1140,12	0,062	0,000062
F106_5	1139,94	0,059	0,000059
F106_6	1139,7	0,274	0,000274
F106_6_2	1139,63	0,066	0,000066
F106_7_2	1139,36	0,139	0,000139
F106_7_3	1139,19	0,102	0,000102
F105_3_2	1138,08	0,116	0,000116
F105_5	1137,76	0,57	0,00057
F105_7	1137,52	0,09	0,00009
F105_15	1135,6	1,4	0,0014
F105_15_2	1135,47	0,6	0,0006
F104_4	1134,27	0,179	0,000179
F104_9	1133,29	10,4	0,0104
F104_14	1132,74	0,42	0,00042
F104_15	1126,46	0,787	0,000787



Мал. 2.3 Залежності змін коефіцієнта фільтрації з глибиною відносно піщаної вибірки порід

Зважаючи на те, що 40м (1150 – 1190м) в цьому інтервалі займали інші породи й отримані результати також можна розділити на дві представницькі групи (мал. 2.4 та 2.5). Загальний принцип зміни досліджуваного параметру можна описати аналогічним чином до сланцевої групи.



Мал. 2.4 Залежності змін коефіцієнта фільтрації з глибиною відносно першої представницької групи піщаної вибірки порід



Мал. 2.5 Залежності змін коефіцієнта фільтрації з глибиною відносно другої представницької групи піщаної вибірки порід

Основним фактором впливу на пісковики так само лишається ущільнення та низька пористість. В таких умовах значення коефіцієнту фільтрації коливаються від 0,000014 м/добу до свого максимального значення в місці досліджень – 0,0104 м/добу, що також не є значним показником.

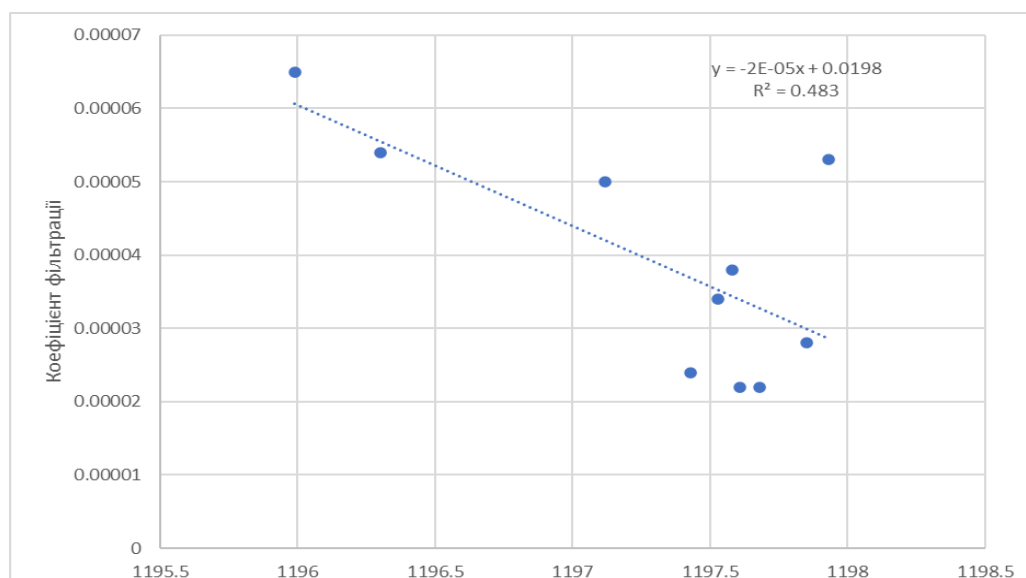
Проте, є очевидним, що окрім цього значний вплив на досліджувану літологічну групу справляє регулярне чергування пісковиків із прошарками глин. Фіксується кілька випадків, коли більш глибокий шар все ж має вищий коефіцієнт фільтрації, ніж поверхневий шар. Це може бути обумовлено тим, що деякі глибинні пісковики мають іншу структуру пор, що сприяє підвищенню коефіцієнта фільтрації.

Літологічна група, представлена конгломератами (табл.2.4) охоплює глибини від 1195,99 м до 1197,58 м й має дуже низькі фільтраційні показники, які коливаються в межах від 0,000022 до 0,000065 м/добу (мал. 2.6).

Значення коефіцієнту фільтрації конгломератових зразків порід досліджуваної товщі

Номер зразка	Глибина залягання зразка, м	Проникність, мілідарсі		Коефіцієнт фільтрації, м/добу
F121_1	1197,58	0,038	➔	0,000038
F121_4	1197,12	0,05		0,00005
F121_4_3	1197,93	0,053		0,000053
F121_4_3_4	1197,85	0,028		0,000028
F121_5	1197,68	0,022		0,000022
F121_5_2	1197,61	0,022		0,000022
F121_5_3	1197,53	0,034		0,000034
F121_5_4	1197,43	0,024		0,000024
F121_7	1196,3	0,054		0,000054
F121_8	1195,99	0,065		0,000065

Різниця в коефіцієнті фільтрації на майже одній і тій же глибині (мал. 2.6) може бути пов'язана з присутністю у зразках різні домішок таких як: прошарки вугілля, глини, органічної речовини та інше. Означена вище закономірність зміни коефіцієнта фільтрації з глибиною також зберігається.

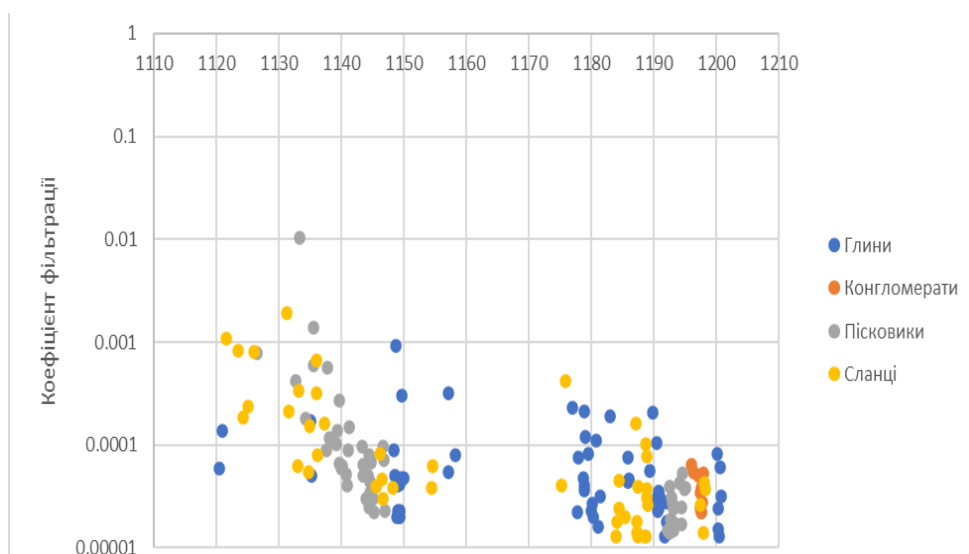


Мал. 2.6 Залежності змін коефіцієнта фільтрації з глибиною відносно конгломератової вибірки порід

З графіку можна спостерігати лінійну залежність між глибиною та коефіцієнтом фільтрації. Коефіцієнт детермінації (R^2) є значно вищим ніж в інших випадках і становить 0,483. Останнє свідчить про дещо вищу точність апроксимації, хоча для покращення моделі все ж доцільне введення нових незалежних змінних у майбутньому.

Враховуючи одну (хоч в ряді випадків із деякими незначними доповненнями) спільну закономірність зміни коефіцієнту фільтрації із глибиною, що характерна для різної літології, доцільним є побудова зведеної моделі, що описує увесь досліджуваний розріз (мал. 2.7). З неї є очевидним, що на досліджуваній території коефіцієнт фільтрації усіх літологічних формацій є дуже низьким, що свідчить про обмежені фільтраційні властивості середовища в цілому.

На малюнку 2.7 можливе виділення декількох ділянок, де поступове зменшення показника коефіцієнта фільтрації чергується з різким падінням. Для сланців ці ділянки знаходяться на глибинах 1188-1190 м, 1175 м, 1154 м, 1135-1136 м, 1124 м, для конгломератів - 1197 м та 1196 м, для глин - на глибинах 1200 м, 1190 м, 1185 м, 1178 м та 1157 м, а для пісковиків на глибинах близько 1193 м, 1144 м – збільшуються, а на глибинах понад 1140 м показник фільтрації знову починає зменшуватися.



Мал. 2.7 Зведений графік змін коефіцієнта фільтрації з глибиною відносно всіх літологічних груп

Це, а також значний розкид значень коефіцієнта фільтрації є свідченням значної неоднорідності розрізу, що не сприяє формуванню сприятливої гідрогеологічної обстановки.

2.2 Статистичне моделювання. Модель випадкової величини та випадкової функції. Перевірка гіпотези про нормальність (логнормальність) розподілу випадкової величини

Повноцінне простеження зміни просторового розподілу коефіцієнту фільтрації також передбачає виконання наступних завдань:

- впорядкування даних щодо значень встановлених коефіцієнтів фільтрації різних літологічних груп для подальшої обробки та аналізу значень;
- побудова гістограм розподілу досліджуваного параметру;
- виконання статистичної обробки даних вибірок;
- перевірка закону на нормальність та логнормальність розподілу, виконання описової статистики та опис даних;
- аналіз отриманих результатів.

В основу дослідження покладено роботу із статистичними моделями розподілу коефіцієнту фільтрації. Беззаперечна перевага даного виду моделі полягає у можливості представити інформацію про гідрогеологічну систему у вигляді декількох узагальнюючих статистик (*Еренберг, 1981*). Останні в свою чергу дають можливість робити висновки про стан та поведінку гідрогеологічної системи з певною імовірністю.

Даний вид моделі широко застосовується в процесі вирішення багатьох практичних гідрогеологічних задач, зокрема при встановленні тенденцій та закономірностей зміни режиму підземних вод, при оцінці забезпечення їх запасів та ресурсів, а також при типізації або класифікації підземних вод за їх хімічним складом.

На першому етапі моделювання відбувається робота з первісною інформацією – із вибірковою сукупністю, що становить неупорядковану вибірку, оскільки записана у послідовності, в якій була отримана.

Для визначення закономірностей, характерних для досліджуваного параметру, були використані вибірки даних згрупованих за літологічною ознакою

(таблиці 2.1 – 2.4). З метою підвищення рівня точності досліджень вибірки даних щодо сланців та пісковиків були розділені на дві групи. Це обумовлено значними перервами у їх заляганні по розрізу, зафіксованими при відборі зразків.

Обробка даних передбачала наступний алгоритм дій:

1. Впорядкування даних, шляхом їх розміщення у визначеній послідовності (по зростанню);
2. Об'єднання даних у групи, що обумовлено достатньо великими розмірами вибірок. Ці групи диференціюються за певним інтервалом (d), що розраховується за допомогою формули Стерджеса:

$$d = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{1 + \log_2 N} = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{1 + (3.32 \times \log N)}, \quad (2.5)$$

де x_{\max} та x_{\min} – це максимальні та мінімальні значення вибірки, N – кількість значень (об'єм вибірки).

3. Визначення частоти інтервалу, що є числом значень в виборці, яке включене в інтервал. А також кореговані та відносні частоти (2.6). Останнє є числом, яке вказує на долю частоти інтервалу в виборці.

$$v = \frac{n_i}{N} \quad (2.6)$$

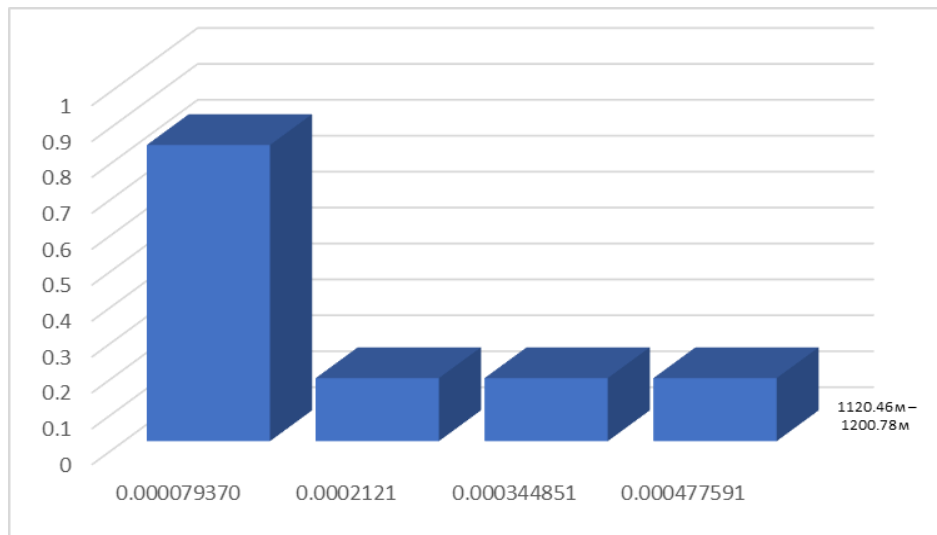
де v - число, яке вказує на долю частоти інтервалу в виборці, n - частота, N – кількість даних у вибірці (*Приседський, 1999*).

За необхідності в подальшому можливе визначення й *накопичених частот*, що вказують, скільки менших або рівних даному значенню X_i значень знаходиться у вибірці.

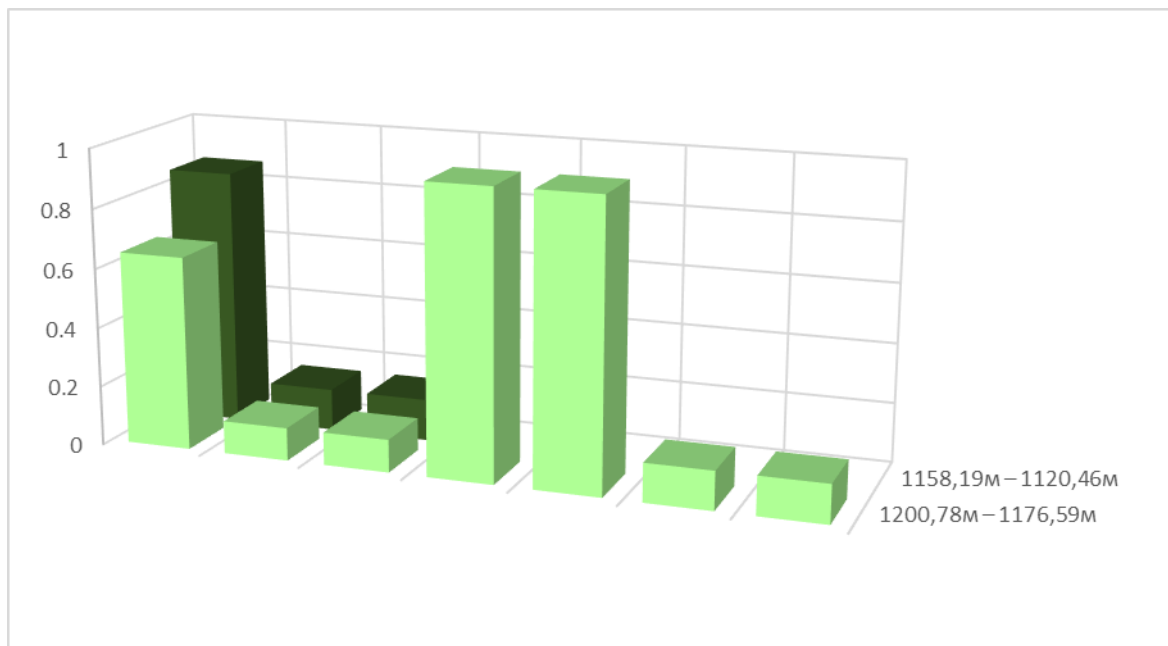
Аналіз впорядкованих й згрупованих вибірок слугує спрощенню визначення особливостей досліджуваного об'єкту. В першу чергу це обумовлено можливістю проведення статистичного аналізу даних, які складаються з багатьох спостережень. І в даному випадку фокус уваги сконцентрований саме на стані

коефіцієнту фільтрації із глибиною, що розглядається через призму вибіркового або відносного розподілу частот.

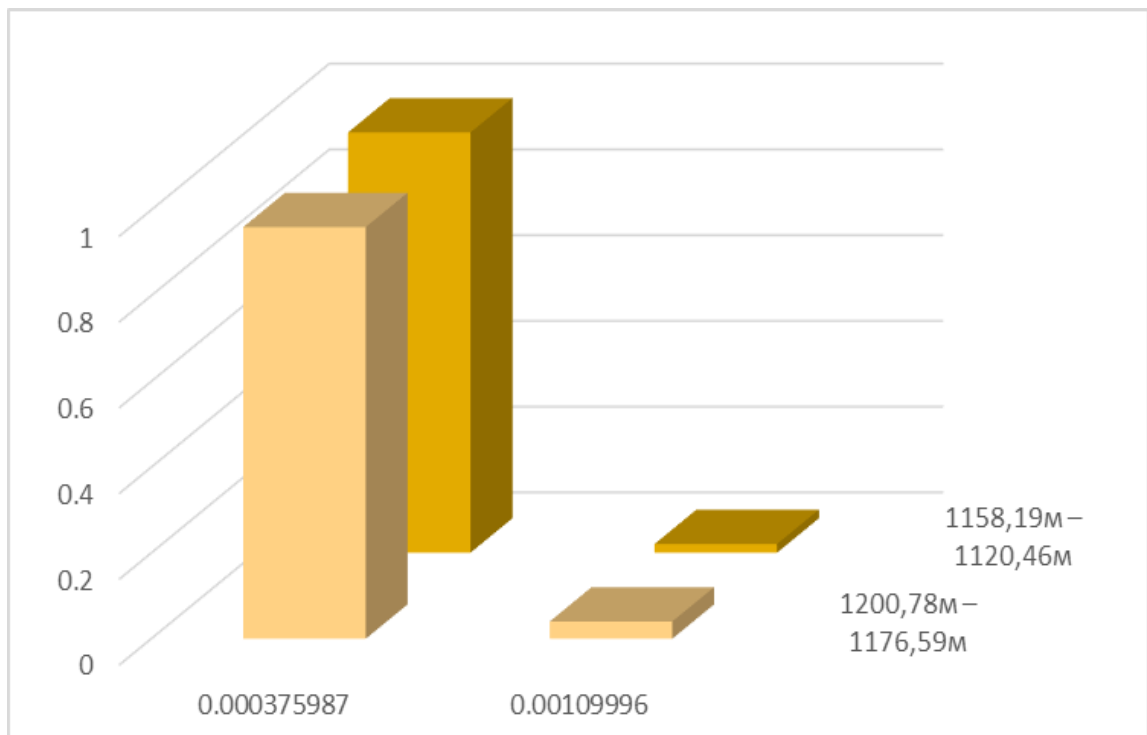
Існує ряд видів графічного зображення вибіркового розподілу: гістограма, полігон, кумулятивна крива та огіва. Найчастіше, при вирішенні практичних задач застосовується гістограма (Кошляков, 2021 а). Остання і була використана для відображення отриманих результатів (Мал. 2.8 – 2.12).



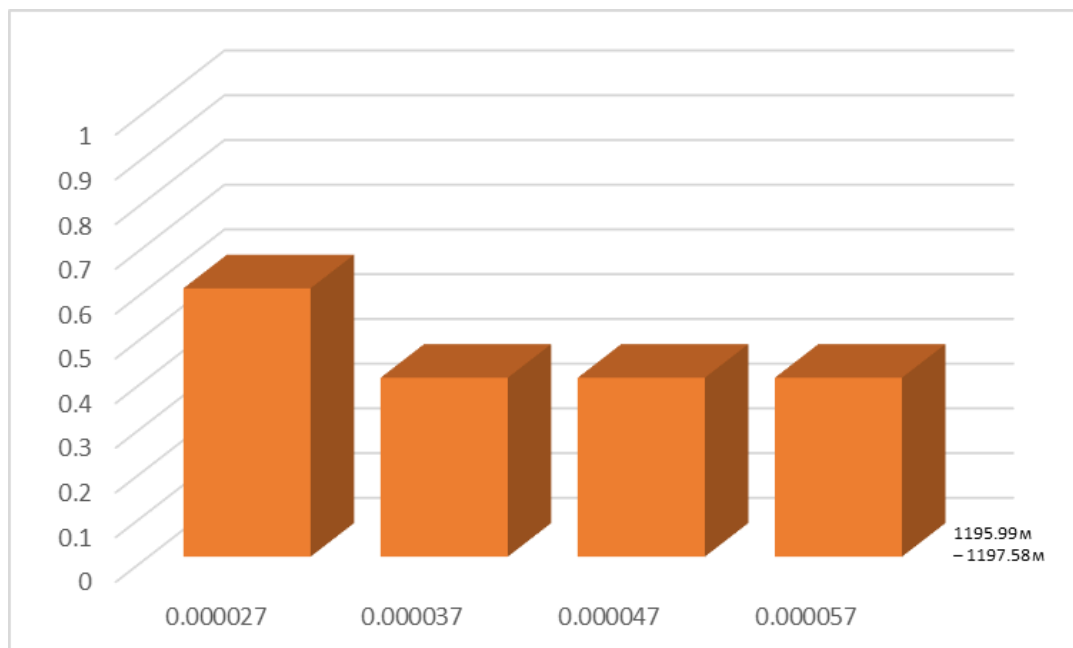
Мал. 2.8 Гістограма розподілу коефіцієнту фільтрації в глинистих породах на глибині 1120,46 м – 1200,78 м



Мал. 2.9 Гістограма розподілу коефіцієнту фільтрації в сланцевих породах на глибинах 1200,78м – 1176,59м та 1158,19м – 1120,46м

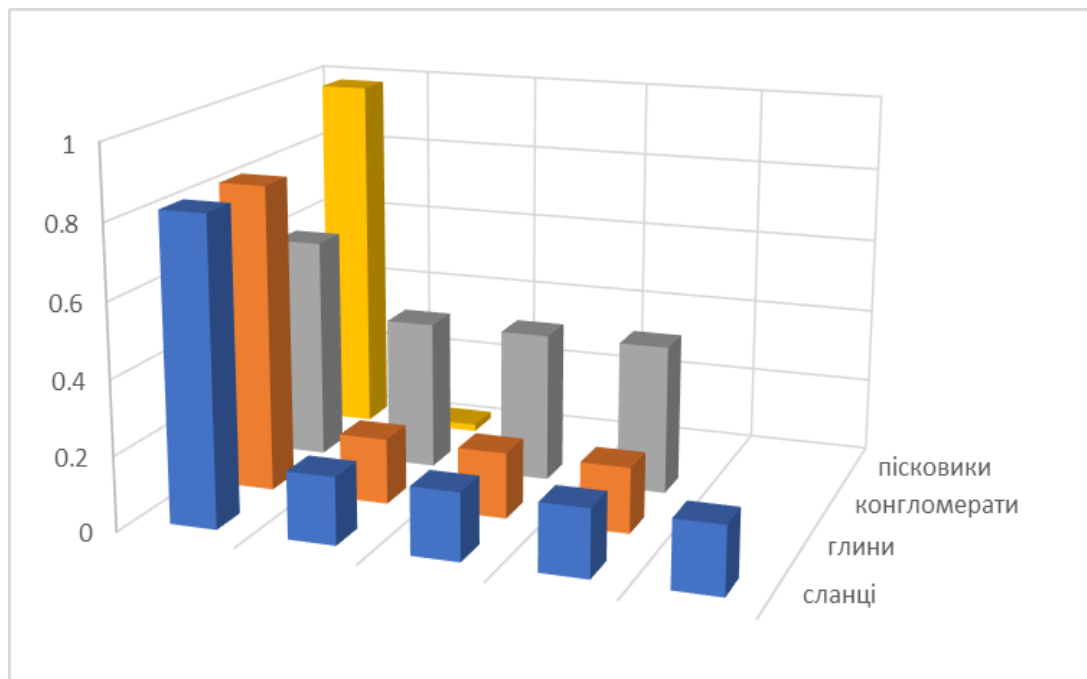


Мал. 2.10 Гістограма розподілу коефіцієнту фільтрації в піщаних породах на глибині 1195,85м – 1192,21м та 1146,88м – 1121,8м.



Мал. 2.11 Гістограма розподілу коефіцієнту фільтрації в конгломератах на глибині 1195,99 м– 1197,58 м

В узагальненому вигляді варіювання коефіцієнту фільтрації у розкритій свердловиною товщі (1120,46 м – 1200,78), має наступний вигляд (мал. 2.12).



Мал. 2.12 Гістограма розподілу коефіцієнту фільтрації в межах порід різних літологічних груп на глибинах 1120,46 м – 1200,78

На другому етапі моделювання виконується опис закономірностей розподілу досліджуваного параметру. З цією метою була використана модель випадкової величини.

Застосування моделі випадкової величини потребує виконання таких умов:

- Однорідність вихідних даних.
- Незалежність величин показників між собою.
- Незалежність величин показника, що досліджується, від координат простору

Єдині труднощі, що виникають при застосуванні цієї моделі полягають у забезпеченні однорідності вихідних даних. Але дана проблема була вирішена шляхом поділу досліджуваного об'єкту на умовно однорідні інтервали (частки). За такого підходу відхилення значень показника від середнього арифметичного в межах кожної такого інтервалу (частки) можна розглядати як випадкові значення, що можна розглядати за зазначеної моделі.

Окрім моделі випадкової величини, існує також модель випадкової функції. Остання є сукупністю випадкових величин, які залежать від певного параметру. Визначення параметру в гідрогеології майже завжди являє собою лише одну

реалізацію випадкової функції. За допомогою одиначної реалізації не можна визначити основні характеристики випадкової функції (математичне очікування, дисперсію та кореляційну функцію). Тому дана модель поки що не може знайти широке застосування в гідрогеології у зв'язку з обмеженістю даних для визначення випадкової функції та параметрів її розподілу. Таким чином, вимоги до використання зазначених моделей в гідрогеології не виконуються, що призводить до необхідності робити певні припущення та спрощення, щоб застосувати певну модель (Кошляков, 2003).

З цих причин модель випадкової величини вважається більш гнучкою й, відповідно, більш доцільною до застосування.

В рамках дослідження за допомогою аналізу даних була створена описова статистика та перевірений закон розподілу.

Основними законами розподілу є нормальний та логнормальний закони розподілу випадкової величини. *Нормальний розподіл* – є одним із найбільш важливих розподілів вірогідностей випадкової величини. Він має місце коли діють багато чинників і кожен вплив кожного чинника є приблизно однаковим. За *логнормального розподілу* – описується ситуація коли є багато чинників, які будуть справляти певний вплив, але є велика вірогідність того, що буде мати місце один чинник, який переважатиме над іншими (Сдвижкова та ін., 2015; Кошляков, 2021 б).

Існує декілька способів перевірки гіпотези про нормальність розподілу. Найбільшого поширення внаслідок своєї простоти отримало використання «правила трьох сигм». Застосування даного способу передбачає обчислення наступних параметрів:

- 1) Середнє арифметичне $X_{сер}$

$$X_{сер} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (2.7)$$

де X_i - i -те значення вибірки; N - кількість значень вибірки

2) Вибіркове стандартне відхилення σ

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - x_{\text{сеп}})^2} \quad (2.8)$$

3) Коефіцієнт асиметрії A – що є одною з числових характеристик розподілу ймовірностей дійсної випадкової величини.

$$A = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x_{\text{сеп}})^3}{N \times \sigma^3} \quad (2.9)$$

4) Коефіцієнт ексцесу E – що є другою числовою характеристикою розподілу ймовірностей дійсної випадкової величини та характеризує «крутість», стрімкість підвищення кривої розподілу у порівнянні із нормальною кривою (Єлейко та Пенцак, 2006).

$$E = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x_{\text{сеп}})^4}{N \times \sigma^4} - 3 \quad (2.10)$$

5) Стандартні відхилення коефіцієнтів асиметрії σ_A та ексцесу σ_E . Вони є показниками розсіювання (розкиду) значень випадкової величини відносно її математичного сподівання, тобто центру розподілу й мають ту саму розмірність, що і випадкова величина σ .

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{6}{N}} \quad (2.11)$$

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{24}{N}} \quad (2.12)$$

Ознакою нормальності розподілу випадкової величини теоретично є дотримання у генеральній сукупності умови: $\begin{cases} A = 0 \\ E = 0 \end{cases}$. Однак значення A і E , що

розраховані по даним вибірки, майже завжди відрізняються від цих значень за рахунок похибки вибірки. Тобто вибіркові значення A та E будуть являти собою деякі сукупності, що розподілятимуться майже нормально із стандартним відхиленням σ_A , σ_E , тобто $\sim 99,73\%$ вибіркових значень будуть знаходитися у інтервалах:

$$-3\sigma_A < A < 3\sigma_A \quad (2.13)$$

$$-3\sigma_E < E < 3\sigma_E \quad (2.14)$$

Дотримання зазначених умов може є аргументом, на основі якого можна стверджувати, що генеральна сукупність має нормальний розподіл.

Проте, усе наведене вище є справедливим коли об'єм вибіркової сукупності досить великий і перевищує 50 значень. Якщо кількість даних менша, для отримання максимально достовірного результату рекомендоване застосування незміщених оцінок асиметрії, ексцесу та стандартних відхилень цих коефіцієнтів (Кошляков, 2021 в).

- Незміщена оцінка асиметрії визначається за формулою:

$$A_H = \sqrt{\frac{N \times (N - 1)}{N - 2}} \times A \quad (2.15)$$

- Незміщена оцінка ексцесу

$$E_H = \frac{N^2 - 1}{(N - 2) \times (N - 3)} \times \left[E + \frac{6}{N + 1} \right] \quad (2.16)$$

- Незміщені оцінки стандартних відхилень коефіцієнтів асиметрії та ексцесу:

$$\sigma_{AH} = \sqrt{\frac{6}{N + 3}} \quad (2.17)$$

$$\sigma_{EH} = \sqrt{\frac{24}{N + 5}} \quad (2.18)$$

В рамках даного дослідження було перевірено 6 вибірок по чотирьом літологічним групам зразків (для сланців та пісковиків перевірка виконувалася

відповідно до виконаної диференціації їх вибірок на представницькі групи). Кількість значень у них коливається від 10 до 57. Для отримання результатів найбільшої достовірності було застосоване правило трьох сигм із застосуванням, в окремих випадках, розширеного підходу оцінки (з використанням незміщеної оцінки).

При перевірці гіпотези на нормальність розподілу було встановлено 1 випадок нормального розподілу (табл. 2.6) та 5 випадків логнормального (табл. 2.5, 2.)

Таблиця 2.5 – Описова статистика та перевірка закону на нормальність розподілу коефіцієнту фільтрації у глинистих породах на глибині 1120,46 м – 1200,78 м

Среднее	8.42439E-05
Стандартная ошибка	1.7584E-05
Медиана	0.000044
Мода	0.000023
Стандартное отклонение	0.000132756
Дисперсия выборки	1.76242E-08
Эксцесс	28.48843023
Асимметричность	4.824386681
Интервал	0.000907
Минимум	0.000013
Максимум	0.00092
Сумма	0.0048019
Счет	57
Уровень надежности(95.0%)	3.5225E-05
Перевірка нормального закону розподілу	
A	4.824386681
E	28.48843023
$\sigma A \cdot 3$	0.973328527
$\sigma E \cdot 3$	1.946657054
Розподіл	
<u>логнормальний</u>	

Таблиця 2.6 – Описова статистика та перевірка закону на нормальність розподілу коефіцієнту фільтрації у конгломератах на глибині 1195,99м – 1197,58 м

Среднее	0.000039
Стандартная ошибка	4.90804E-06
Медиана	0.000036
Мода	0.000022
Стандартное отклонение	1.55206E-05
Дисперсия выборки	2.40889E-10
Эксцесс	-1.354412471
Асимметричность	0.385156596
Интервал	0.000043
Минимум	0.000022
Максимум	0.000065
Сумма	0.00039
Счет	10
Уровень надежности(95.0%)	1.11028E-05
Перевірка нормального закону розподілу	
σA	1.291854495
σE	0.958899218
$\sigma A \cdot 3$	2.038098661
$\sigma E \cdot 3$	3.794733192
Розподіл нормальний	

Таблиця 2.7 – Описова статистика та перевірка закону на нормальність розподілу коефіцієнту фільтрації у сланцевих породах на глибині 1175,16 –1198,23 м

Среднее	5.43478E-05
Стандартная ошибка	1.82508E-05
Медиана	0.000026
Мода	0.000013
Стандартное отклонение	8.7528E-05
Дисперсия выборки	7.66115E-09
Эксцесс	15.50968943
Асимметричность	3.772556394
Интервал	0.00041
Минимум	0.000013
Максимум	0.000423
Сумма	0.00125
Счет	23
Уровень надежности(95.0%)	3.78499E-05
Перевірка нормального закону розподілу	
σA	18.51831007
σE	17.01683229
σA^3	1.441153384
σE^3	2.777460299
Розподіл логнормальний	

Таблиця 2.8 – Описова статистика та перевірка закону на нормальність розподілу коефіцієнту фільтрації у сланцевих породах на глибині 1121,47-1154,51 м.

Среднее	0.000337836
Стандартная ошибка	9.87561E-05
Медиана	0.0001575
Мода	0.000038
Стандартное отклонение	0.000463207
Дисперсия выборки	2.14561E-07
Эксцесс	5.437032571
Асимметричность	2.241170976
Интервал	0.00187
Минимум	0.00003
Максимум	0.0019
Сумма	0.0074324
Счет	22
Уровень надежности(95.0%)	0.000205375
Перевірка нормального закону розподілу	
σA	10.7716189
σE	6.968954768
σA^3	1.469693846
σE^3	2.828427125
Розподіл логнормальний	

Таблиця 2.9 – Описова статистика та перевірка закону на нормальність розподілу коефіцієнту фільтрації у піщаних породах на глибині 1192,31– 1195,08 м

Среднее	0.000027
Стандартная ошибка	2.98E-06
Медиана	0.0000245
Мода	0.000015
Стандартное отклонение	1.19108E-05
Дисперсия выборки	1.41867E-10
Эксцесс	-0.397270313
Асимметричность	0.760487775
Интервал	0.000039
Минимум	0.000014
Максимум	0.000053
Сумма	0.000432
Счет	16
Уровень надежности(95.0%)	6.34681E-06
Перевірка нормального закону розподілу	
σA	3.148718531
σE	1.356769765
σA^3	1.685854461
σE^3	3.207134903
Розподіл невизначений	

Таблиця 2.10 – Описова статистика та перевірка закону на нормальність розподілу коефіцієнту фільтрації у піщаних породах на глибині 1126,46– 1146,88 м

Среднее	0.000457083
Стандартная ошибка	0.000287762
Медиана	0.0000695
Мода	0.00003
Стандартное отклонение	0.001726574
Дисперсия выборки	2.98106E-06
Эксцесс	34.03453666
Асимметричность	5.772402747
Интервал	0.010378
Минимум	0.000022
Максимум	0.0104
Сумма	0.016455
Счет	36
Уровень надежности(95.0%)	0.000584189
Перевірка нормального закону розподілу	
σA	35.14005515
σE	35.35088777
σA^3	1.685854461
σE^3	3.207134903
Розподіл логнормальний	

Результати першої вибірки *піщаних* порід на глибинах 1192,31– 1195,08 м показали невизначений розподіл, що є підставою для проведення *перевірки гіпотези про логнормальність розподілу* використовуючи логарифми значень вибірки, залишаючи власне процедуру перевірки без змін. Результати такої перевірки встановив логнормальний розподіл. Отже, у переважаючої більшості, а саме у 5 з 6 вибірок розподіл є *логнормальний*.

З огляду на отримані результати можна стверджувати, що переважаючим чинником (на який вказує логнормальний розподіл), що буде створювати найвагоміший вплив на досліджуваний параметр (коефіцієнт фільтрації) більшої частини зразків є фактор ущільнення порід із глибиною.

Щодо *нормального* розподілу, який був встановлений відносно конгломератової вибірки – він є індикатором наявності й інших чинників впливу окрім зазначеного ущільнення з глибиною. Зокрема на фільтраційні характеристики може справляти вплив і нерівномірність залягання порід та ін. Проте, конкретизація даного питання потребує додаткових досліджень.

ВИСНОВКИ

Необхідність регулярного проведення досліджень фільтраційних характеристик пов'язана з їхньою невід'ємністю у встановленні перспектив видобутку води для потреб водопостачання.

В ході здійснення оцінки коефіцієнта фільтрації, а також встановлення наявності зв'язку між ним та просторовими характеристиками, було виявлено, що природні геологічні умови в межах дослідженої території є досить ущільненими, що в свою чергу суттєво відображається на значеннях коефіцієнта фільтрації, встановлені значення яких є достатньо низькими.

Статистичною обробкою даних вибірок різних літологічних груп (що включали глини, пісковики, сланці), а також за використанням моделей випадкової величини для більшості випадків був встановлений логнормальний розподіл, що вказує на існування з-поміж усіх чинників, одного, який має переважаюче значення..

Графічне простеження змін коефіцієнту фільтрації в свою чергу дає підстави вважати цим чинником саме фактор ущільнення з глибиною. Незмінне і планомірне зменшення коефіцієнта фільтрації з глибиною дає підстави вважати, що зроблений висновок є життєздатним.

У випадку конгломератів, де фіксується нормальний розподіл, крім зазначеного фактору, може мати місце вплив й інших, наприклад, нерівномірності залягання порід. Для отримання більш точних конкретизованих результатів і кращого розуміння перспективності горизонтів виповнених цією породою, для використання у системах водопостачання, необхідні додаткові дослідження, оскільки дане питання потребує більш глибокого аналізу.

Проте, з огляду на сукупні результати, що були отримані в ході дослідження є підстави вважати, що потенціал водопостачання території є достатньо невеликим.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Еренберг А. (1981). Аналіз та інтерпретація статистичних даних: Пер. з англ. Фінанси та статистика. 1981, 406с

Єлейко В., Пенцак Є. (2006). Використання коефіцієнтів асиметрії та ексцесу у параметричних статистичних моделях. Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. Вип. 4. 114-122. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Fmmit_2006_4_14)

Жернов, І. Є. (1982). Динаміка підземних вод. Київ: Вища школа. Головне вид-во.

Зінченко, В.С. (2005). Петрофізичні основи гідрогеологічної та інженерно-геологічної інтерпретації геофізичних даних: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. М. Твер: Вид. АІС.

Кошляков, О. Є. (2003). Гідрогеологічне моделювання: Підручник. Київ: ВПЦ "Київський університет".

Кошляков, О. Є. (2021). Імовірнісні гідрогеологічні моделі. Гідрогеологічне моделювання. Лекція 1. Тема 2.

Кошляков, О.Є., Мокієнко, В.І. (2006). Практикум з динаміки підземних вод. Київ: Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Міністерство геол. СРСР, Всесоюз. наук.-дослідж. геології зарубіжних країн. (1989). Гідрогеологія Європи: Загальна характеристика підземних вод. Ред. Марінов, Н. А., & Толстихін, Н. І. М.: Недра.

Приседський Ю. Г. (1999). Статистична обробка результатів біологічних експериментів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://r.donnu.edu.ua/handle/123456789/51>

Сдвижкова О.О., Бугрим О.В., Бабець Д.В., Іванов О.С. (2015). Елементи теорії ймовірностей та математичної статистики в гірництві. Національний гірничий університет. Дніпропетровськ. НГУ

Шестаков В.М., Невечеря И.К., Авила И.В. (2011). Методы расчетов опытных откачек в водоносных пластах с перетеканием. М.: Научный мир, 2011, 144 с.

Шинкаренко, А. (2018). Сучасні підходи до визначення проникності порід-колекторів за даними геофізичних досліджень, 3(82)

Barchi, P., Cartannaz, C., Fourniguet, G. (2008). PROJET MINEWATER Géologie du bassin houiller lorrain et potentialité géothermique. BRGM/RP-56096-FR, 53 p., 25 fig., 2 annexes. © BRGM, 2008.

Donsimoni, M. (1981). Lorraine coal basin: Geological synthesis. Orléans, France: Bureau of Geological and Mining Research.

EUROPEAN GAS LIMITED End-of-well report: FOLSCHVILLER 1(A) drilling Geological and petroleum part.

Fourniguet G., Boucher J., Nguyen.The D., Warin J., Xu D. (2010). Référentiel Hydrologique français BDLISA - Bassins Rhin-Meuse et Seine-Normandie. Année 3. Délimitation des entités hydrogéologiques de niveaux 1, 2 et 3 en Lorraine et dans les secteurs du bassin Rhin-Meuse en Champagne-Ardenne. Rapport BRGM/RP-57519-FR. Juin 2010.

IAEA. (2015). INIS Thesaurus. Доступно на: <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/53/066/53066627.pdf>.
Johnson, W. H. (n.d.). Glyptodon. In Encyclopaedia Britannica. Retrieved September 15, 2023, from <https://www.britannica.com/animal/Glyptodon>.

MOSL. (2019). Programme d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI) de la Moselle Aval - Dossier d'intention. Retrieved from <https://www.moselleaval.fr/UserFiles/File/papi/20190430-dossier-papi-intention-ma-vf.pdf>

Naton, H.-G., Cordier, S., Brou, L., Damblon, F., Frechen, M., Hauzeur, A., Le Brun-Ricalens, F., Valotteau, F., Baes, R., Dövenner, F., & Krier, J. (2004). Fluvial evolution of the Moselle valley in Luxembourg during late Pleistocene and Holocene:

palaeoenvironment and human occupation [L'évolution de la vallée de la Moselle luxembourgeoise durant le Pléistocène final et L'Holocène: paléoenvironnement et occupation humaine]. Quaternaire, сторінки 81-92.

<https://doi.org/10.4000/quaternaire.5038>

Parisot, C., & Schmit, J.-F. (1994). Le Fer: Mémoire et reconversion [Memories and reconversion]. Y Livret guide d'excursion du Congrès Lorraine de l'APBG

Pissart, A., Harmand, D., & Krook, L. (1997). L'évolution de la Meuse de Toul à Maastricht depuis le Miocène: corrélations chronologiques et traces des captures de la Meuse lorraine d'après les minéraux denses [The Evolution of the Meuse from Toul to Maastricht from the Miocene to the Present. Chronological Correlations and Age Determinations of the Captures of the Lotharingian Meuse as Reflected by the Heavy Minerals Studies]. Géographie physique et Quaternaire, 51(3), 267–284.

<https://doi.org/10.7202/033127ar>

Pryvalov, V., Pironon, J., Izart, A., Michels, R., & Panova, O. (2015). A new tectonic model for the late Paleozoic evolution of the Lorraine-Saar coal-bearing basin (France/Germany): Tectonics and Stratigraphy

Schäfer, A. (1989). Variscan molasse in the Saar-Nahe Basin (W-Germany), Upper Carboniferous and Lower Permian. Geologische Rundschau, 78, 499–524. doi:10.1007/BF01776188.

Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux du Bassin Houiller lorrain. (2009). ETAT DES LIEUX. Phase 1 : État initial. RAPPORT GENERAL. A54855/A. Version validée par les membres de la Commission Locale de l'Eau le 23 octobre 2009.

Scimago Journal & Country Rank. (n.d.). Newsletters on Stratigraphy. Retrieved May 28, 2023, from <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=25164&tip=sid>

IKSMS-CIPMS. (2019). État des lieux MS [PDF файл]. Retrieved from: <http://www.iksms->

cipms.org/servlet/is/20228/Etat%20des%20lieux%20MS_partie_texte.pdf?command=downloadContent&filename=Etat%20des%20lieux%20MS_partie_texte.pdf