

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
Факультет інженерних систем і екології
Кафедра теплотехніки**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗДОБУВАЧА СТУПЕНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ МАГІСТР**

на тему:

**Дослідження впливу властивостей ґрунтового масиву на роботу
теплового насоса "ґрунт-вода" з вертикальним колектором**

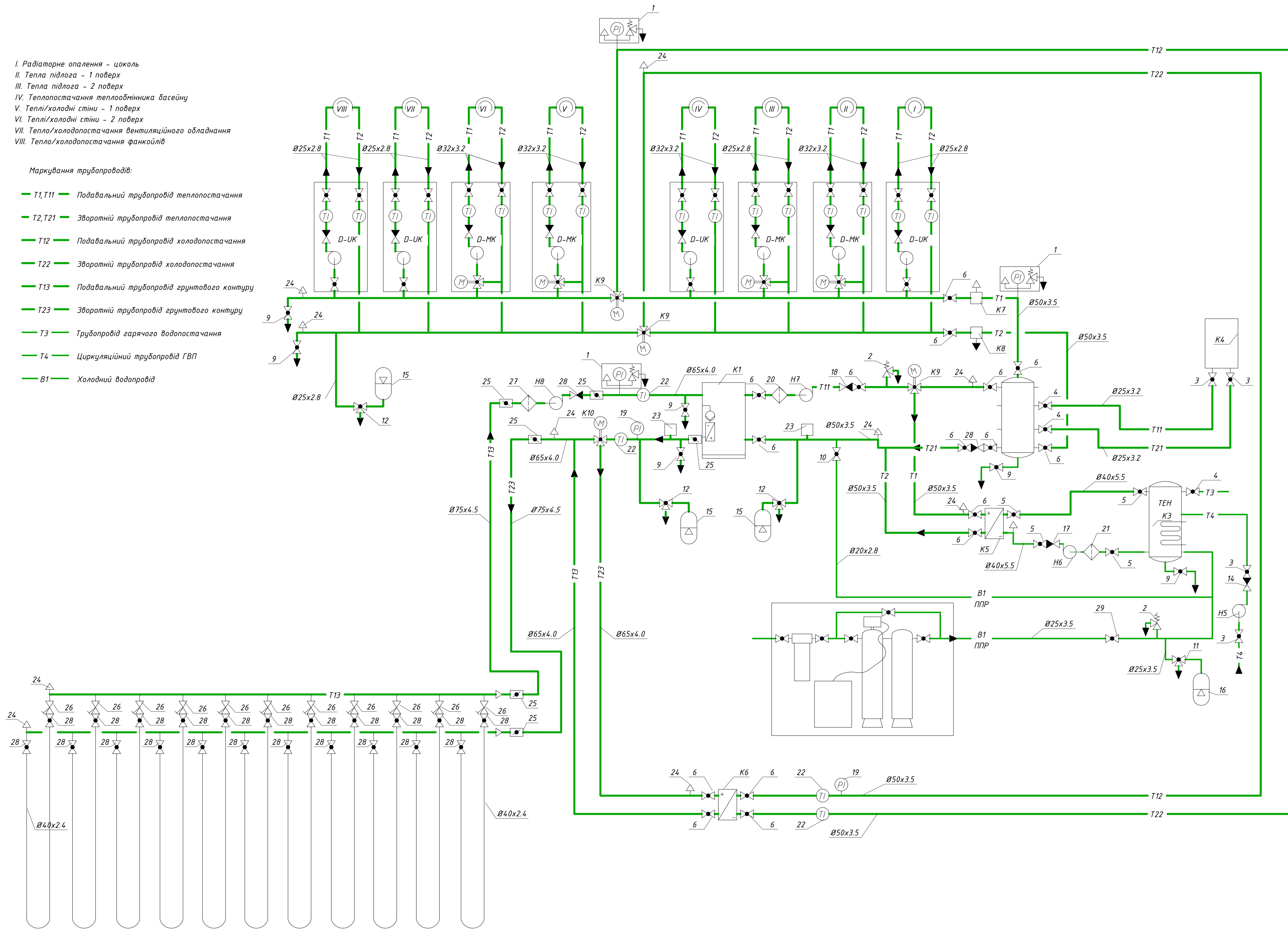
Пашенка Романа Олександровича

Київ 2025 р.

- I. Радіаторне опалення - цоколь
- II. Тепла підлога - 1 поверх
- III. Тепла підлога - 2 поверх
- IV. Теплопостачання теплообмінника басейну
- V. Теплі/холодні стіни - 1 поверх
- VI. Теплі/холодні стіни - 2 поверх
- VII. Тепло/холодопостачання вентиляційного обладнання
- VIII. Тепло/холодопостачання фанкойлів

Маркування трубопроводів:

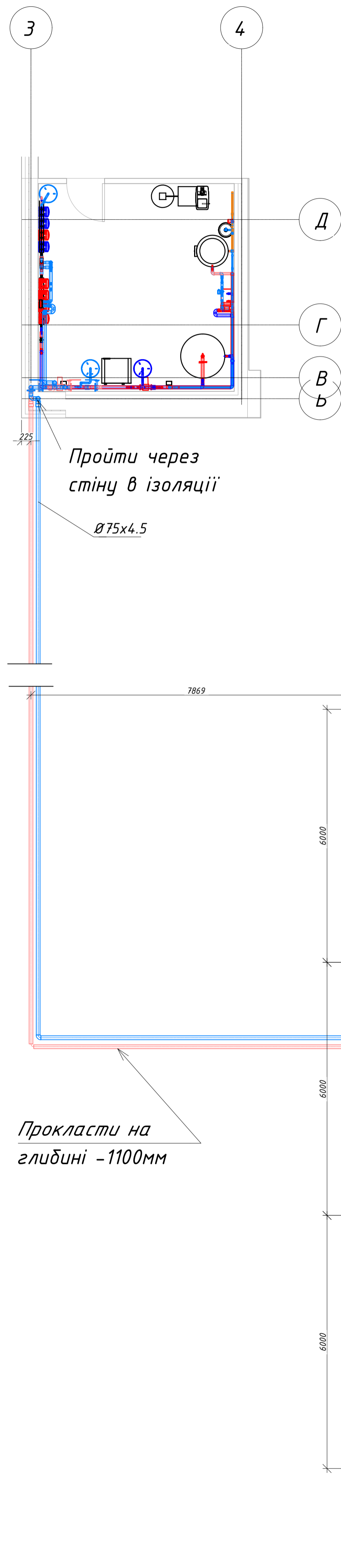
- T1, T11 — Подавальний трубопровід теплопостачання
- T2, T21 — Зворотній трубопровід теплопостачання
- T12 — Подавальний трубопровід холодопостачання
- T22 — Зворотній трубопровід холодопостачання
- T13 — Подавальний трубопровід ґрунтового контуру
- T23 — Зворотній трубопровід ґрунтового контуру
- T3 — Трубопровід гарячого водопостачання
- T4 — Циркуляційний трубопровід ГВП
- B1 — Холодний водопровід



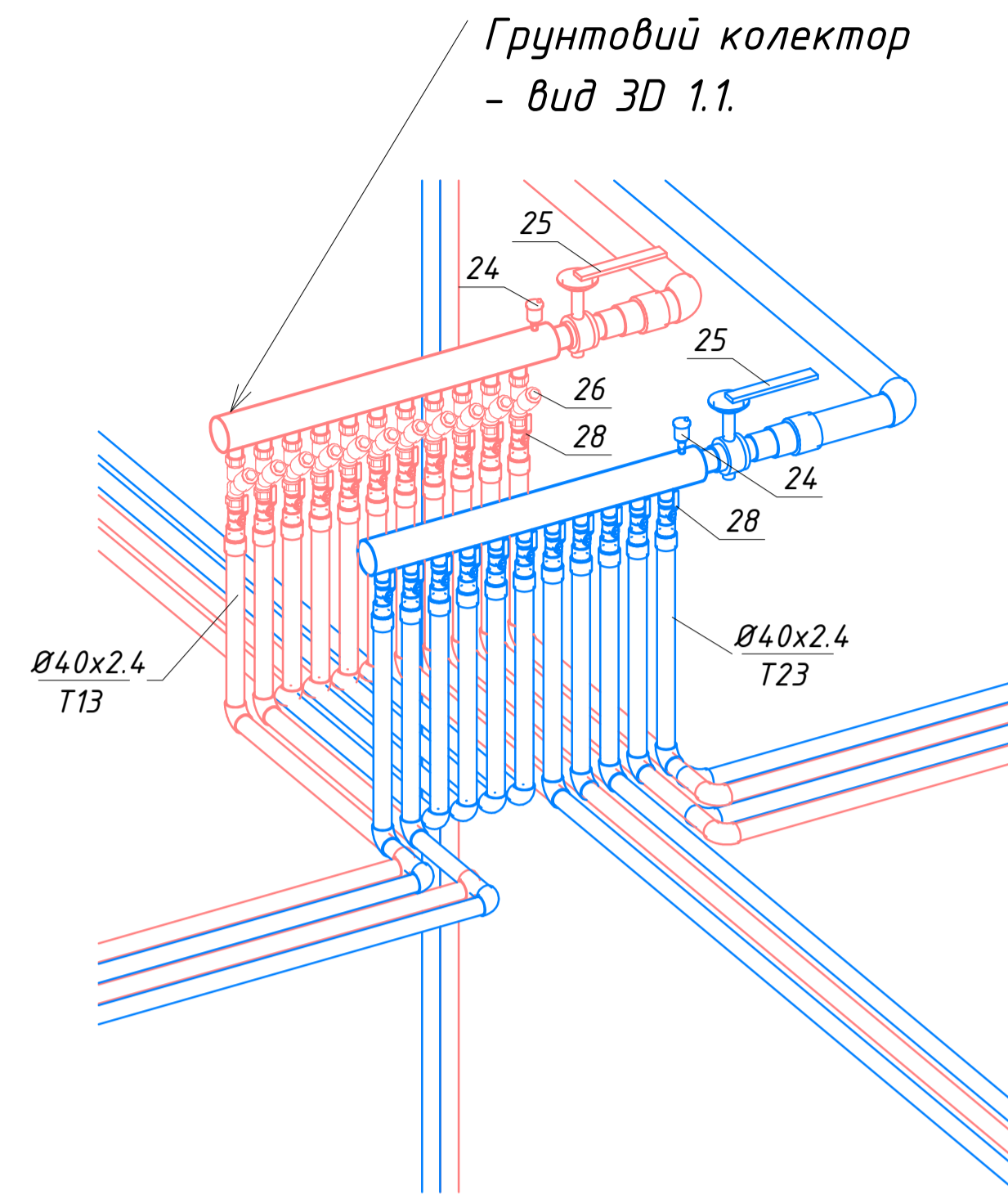
Поз.	Назва	К-ть
1	Група безпеки: Ду15	3
2	Клапан запобіжний, 6 бар: Ду 15	2
3	Кран кульовий муфтовий з американкою: Ду20	4
4	Кран кульовий муфтовий з американкою: Ду25	3
5	Кран кульовий муфтовий з американкою: Ду40	4
6	Кран кульовий муфтовий з американкою: Ду50	15
7	Кран кульовий муфтовий ВВ: Ду50	1
8	Кран манометричний Sewal: Ду8	2
9	Кран спускний прямиї Вапаті: Ду 15мм	6
10	Кран кульовий муфтовий ВВ: Ду20	1
11	Швидкокороз'ємне з'єднання МАБ: Ду 20	1
12	Швидкокороз'ємне з'єднання МАБ: Ду 25	3
14	Клапан зворотній муфтовий: Ду20	1
15	Мембранний розширювальний бак Makhivaget: LR CE LT.50	3
16	Мембранний розширювальний бак Vaget LC: 25	1
17	Клапан зворотній муфтовий: Ду40	1
18	Клапан зворотній муфтовий: Ду50	2
19	Манометр радіальний: М 63 RP	2
20	Фільтр сітчастий муфтовий: Ду50	1
21	Фільтр сітчастий муфтовий: Ду40	1
22	Термометр біметалевий радіальний: RD 63 VI 1/2x5cm (0...60°C)	4
23	Реле потоку Ochsner: Ду 25	2
24	Повітровипускник із зворотнім клапаном: Ду15	12
25	Затвор дисковий поворотний з позиційним важелем та гладкими вушками PN16: Ду 65	6
26	Балансувальний вентиль WattFlow OL з витратоміром: DN32	11
27	Фільтр сітчастий фланцевий: Ду65	1
28	Зворотній клапан міжфланцевий: Ду 65	1
28	Кран кульовий муфтовий з американкою: Ду32	22
29	Кран кульовий муфтовий ВВ: Ду25	1
30	Колектор для ґрунтового контуру: на 11 випусків	2
K1	Тепловий насос: Ochsner OSWP 40	1
K2	Бак акумулятор ВТА - 4: 1000л	1
K3	Водонагрівач емальований ВТЕ: 500 л	1
K4	Котел електричний Kospel EKCO L2: 24 кВт	1
K5	Пластинчатий теплообмінник Alfa Laval: CB30	1
K6	Пластинчатий теплообмінник Alfa Laval: CB110	1
K7	Сепаратор повітря Spigovent: Ду 50	1
K8	Сепаратор шламy SpigoTrar: Ду 50	1
K9	Трьохходовий регулюючий шаровий клапан ESBE: VRG131-40 з сервоприводом ARA 652	3
K10	Трьохходовий регулюючий шаровий клапан ESBE: VRG131-50 з сервоприводом ARA 652	1
K11	Колектор з нержавіючої сталі: система опалення	1
K12	Колектор системи холодопостачання з нержавіючої сталі: на 4 виходи	1
K13	Екософт: комплексна система х.в.о.	1
H1	Насосна група D-МК 1": з насосом Grundfos Alfa2L 25-60	1
H2	Насосна група D-МК 1 1/4": з насосом Grundfos Alfa2L 32-60	3
H3	Насосна група D-UK 1": з насосом Grundfos Alfa2L 25-60	1
H5	Насос циркуляційний Grundfos comfort: UP 15-14	1
H6	Насос циркуляційний Grundfos UPS 25-55N: N	1
H7	Насос циркуляційний Grundfos: UPS 50-120 F	1
H8	Насос циркуляційний Grundfos UPS 65-: 185 F	1
H9	Насосна група D-UK 1": з насосом Grundfos UPS 25-60	2
H10	Насосна група D-UK 1 1/4": з насосом Grundfos UPS 32-60	1

Кваліфікаційна робота магістра			
Дослідження впливу властивостей ґрунтового масиву на роботу теплового насоса "ґрунт-вода" з вертикальним колектором			
Зм.	Кільк.	Аркушів док.	Поліс
Розробив	Пашченко		
Керував	Пашченко		
Зав. кафедр.	Кириченко		
Тепловий насос "ґрунт-вода"		Стадія	Аркушів
Принципова теплова схема		KMP	1 6
		КНУБА	

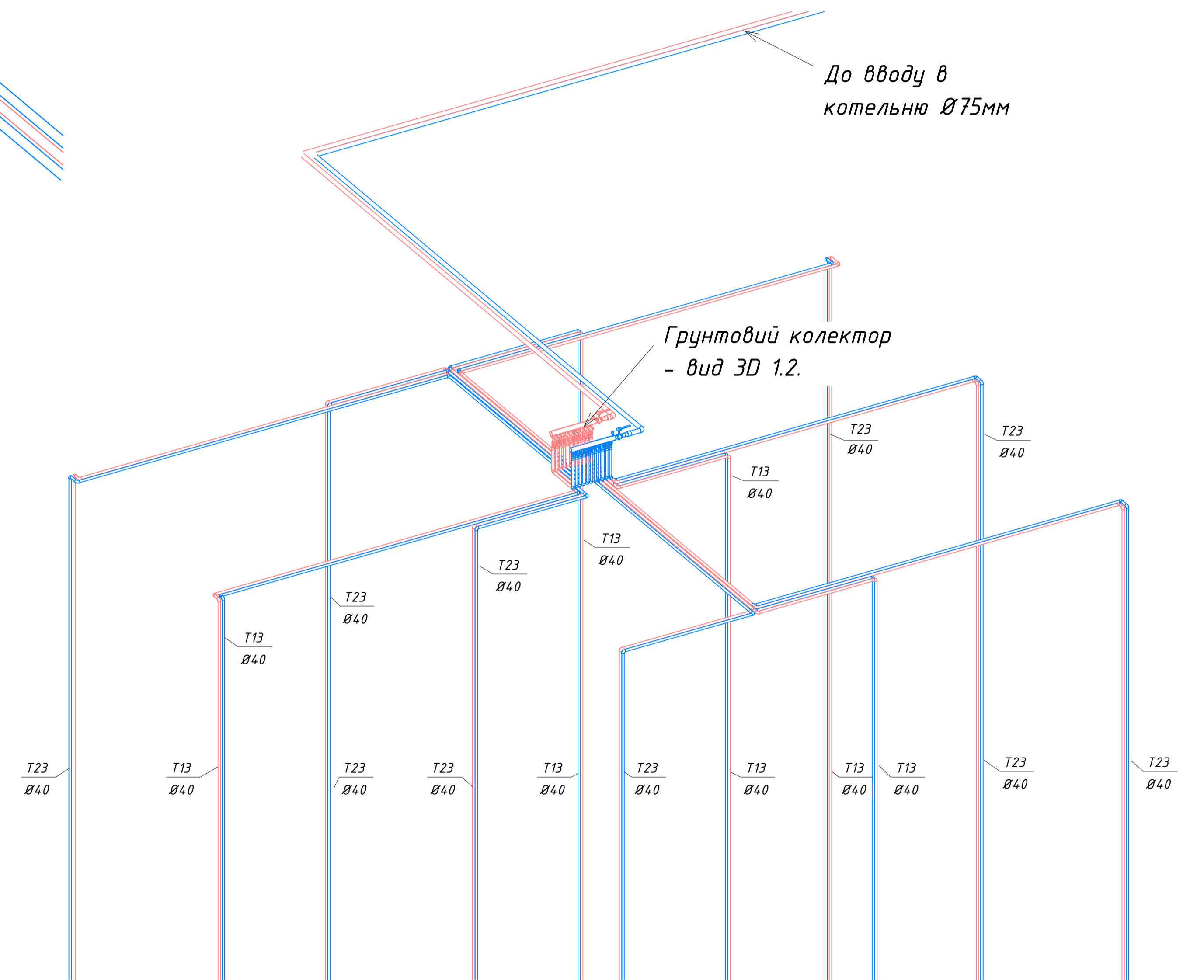
План розміщення свердловин



Розподільча гребінка ґрунтового контуру



АксонOMETрична схема ґрунтового контуру



Кваліфікаційна робота магістра					
Дослідження впливу властивостей ґрунтового масиву на роботу теплового насоса "ґрунт-вода" з вертикальним колектором					
Зм.	Кільк.	Аркушів	дод.	Підпис	Дата
Розробник	Пашченко				
Керівник	Пашченко				
Тепловий насос "ґрунт-вода"				Стадія	Аркуш
				КМР	2
Розміщення свердловин				КНУБА	
Зав. кафедр	Кіриченко				

Експлікація обладнання

Поз.	Назва	К-ть
1	Група безпеки: Ду15	3
2	Клапан запобіжний, 6 дар: Ду 15	2
3	Кран кульовий муфтовий з американкою: Ду20	4
4	Кран кульовий муфтовий з американкою: Ду25	3
5	Кран кульовий муфтовий з американкою: Ду40	4
6	Кран кульовий муфтовий з американкою: Ду50	15
7	Кран кульовий муфтовий ВВ: Ду50	1
8	Кран манометричний Sewal: Ду8	2
9	Кран спускний прямиї Вопогі: Ду 15мм	6
10	Кран кульовий муфтовий ВВ: Ду20	1
11	Швидкокороз'ємне з'єднання МАГ: Ду 20	1
12	Швидкокороз'ємне з'єднання МАГ: Ду 25	3
14	Клапан зворотній муфтовий: Ду20	1
15	Мембранний розширювальний бак Maxivaget: LR CE LT.50	3
16	Мембранний розширювальний бак Varet LC: 25	1
17	Клапан зворотній муфтовий: Ду40	1
18	Клапан зворотній муфтовий: Ду50	2
19	Манометр радіальний: М 63 RP	2
20	Фільтр сітчастий муфтовий: Ду50	1
21	Фільтр сітчастий муфтовий: Ду40	1
22	Термометр біметалевий радіальний: RD 63 VI 1/2x5cm (0...60°C)	4
23	Реле потоку Ochsner: Ду 25	2
24	Повітровипускник із зворотнім клапаном: Ду15	12
25	Затвор дисковий поворотний з позиційним важелем та гладкими вушками PN16: Ду 65	6
26	Балансувальний вентиль WattFlow OL з витратоміром: DN32	11
27	Фільтр сітчастий фланцевий: Ду65	1
28	Зворотній клапан міжфланцевий: Ду 65	1
29	Кран кульовий муфтовий з американкою: Ду32	22
29	Кран кульовий муфтовий ВВ: Ду25	1
30	Колектор для ґрунтового контуру: на 11 випусків	2
K1	Тепловий насос: Ochsner OSWP 40	1
K2	Бак аккумулятор ВТА - 4: 1000л	1
K3	Водонагрівач емальований ВТЕ1: 500 л	1
K4	Котел електричний Kospel EKCO L2: 24 кВт	1
K5	Пластинчатий теплообмінник Alfa Laval: CB30	1
K6	Пластинчатий теплообмінник Alfa Laval: CB110	1
K7	Сепаратор повітря Spirivent: Ду 50	1
K8	Сепаратор шламч Spirigrab: Ду 50	1
K9	Трьохходовий регулюючий шаровий клапан ESBE: VRG131-40 з сервоприводом ARA 652	3
K10	Трьохходовий регулюючий шаровий клапан ESBE: VRG131-50 з сервоприводом ARA 652	1
K11	Колектор з нержавійчої сталі: система опалення	1
K12	Колектор системи холодопостачання з нержавійчої сталі: на 4 виходи	1
K13	Екософт: комплексна система х.в.о.	1
H1	Насосна група D-МК 1": з насосом Grundfos Alfa2L 25-60	1
H2	Насосна група D-МК 1 1/4": з насосом Grundfos Alfa2L 32-60	3
H3	Насосна група D-УК 1": з насосом Grundfos Alfa2L 25-60	1
H5	Насос циркуляційний Grundfos comfort: UP 15-14	1
H6	Насос циркуляційний Grundfos UPS 25-55N: N	1
H7	Насос циркуляційний Grundfos UPS 50-120 F	1
H8	Насос циркуляційний Grundfos UPS 65-: 185 F	1
H9	Насосна група D-УК 1": з насосом Grundfos UPS 25-60	2
H10	Насосна група D-УК 1 1/4": з насосом Grundfos UPS 32-60	1

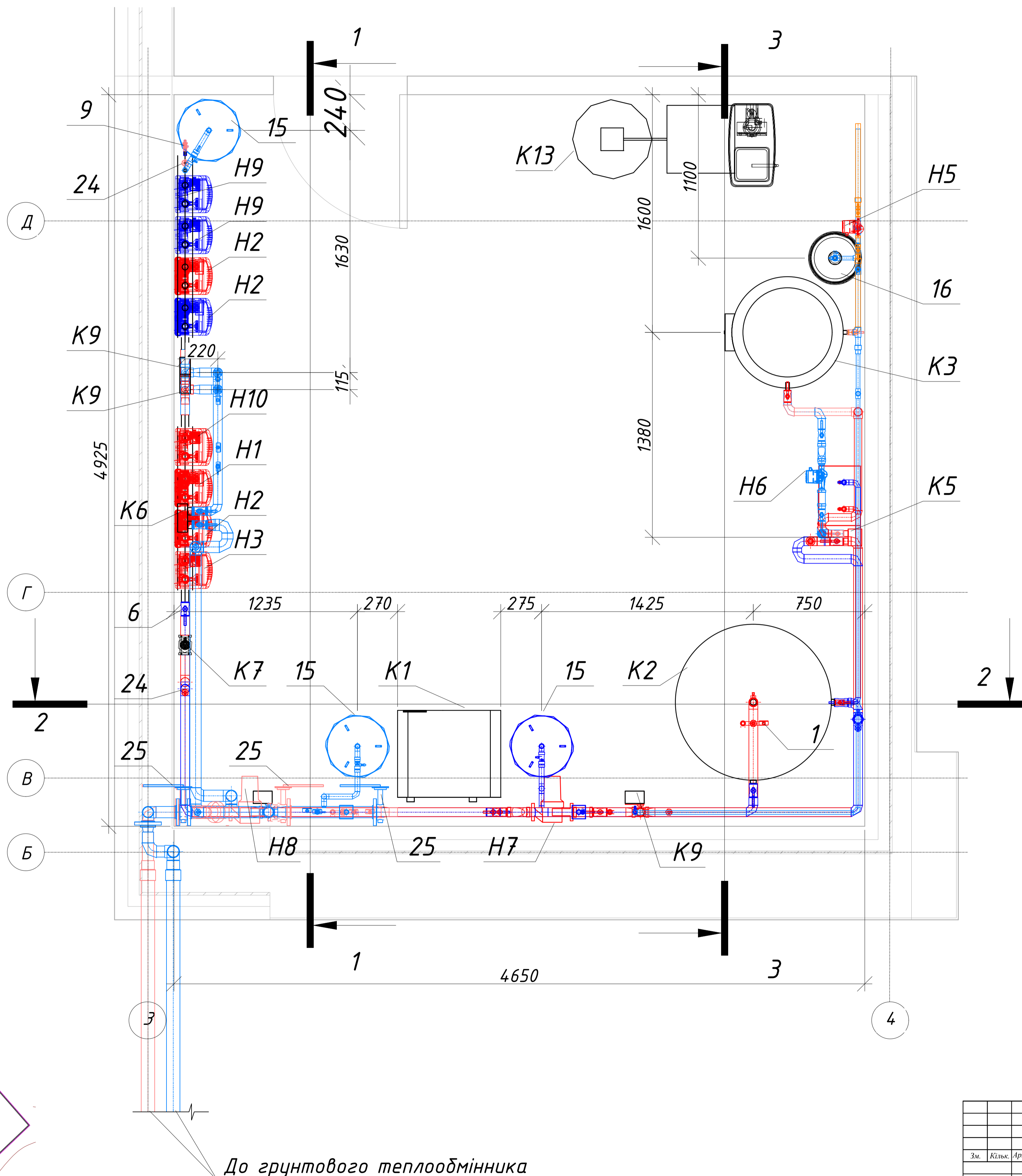
Таблиця ізоляції трубопроводів

Діаметр трубопроводу, мм	Тип ізоляції	Товщина, мм
15 mm	Climaflex	9
20 mm	Climaflex	9
25 mm	Climaflex	9
32 mm	Climaflex	9
40 mm	Climaflex	9
50 mm	Climaflex	9
65 mm	Climaflex	9

Фрагмент генерального плану
М 1:100



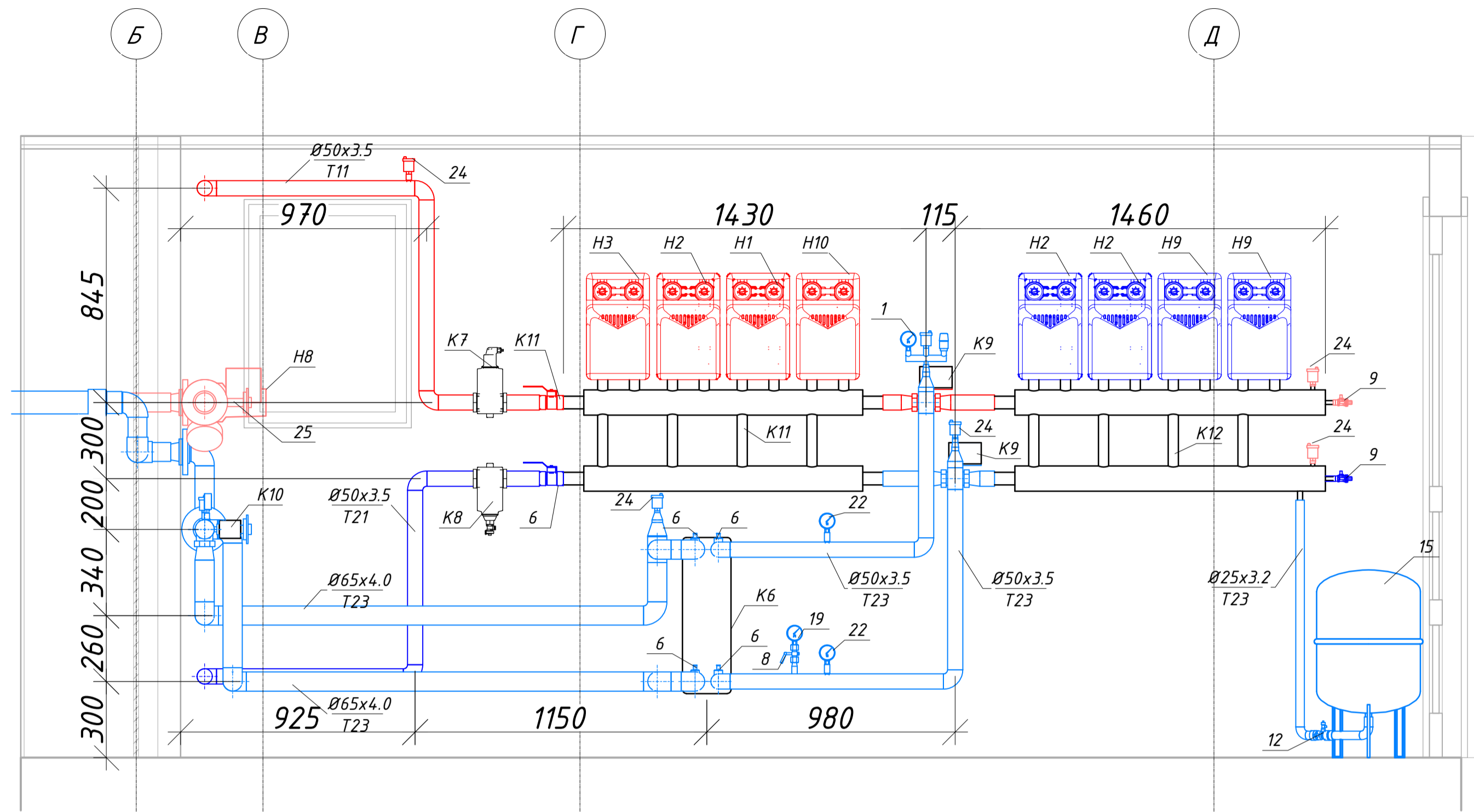
План на відм. 0.000



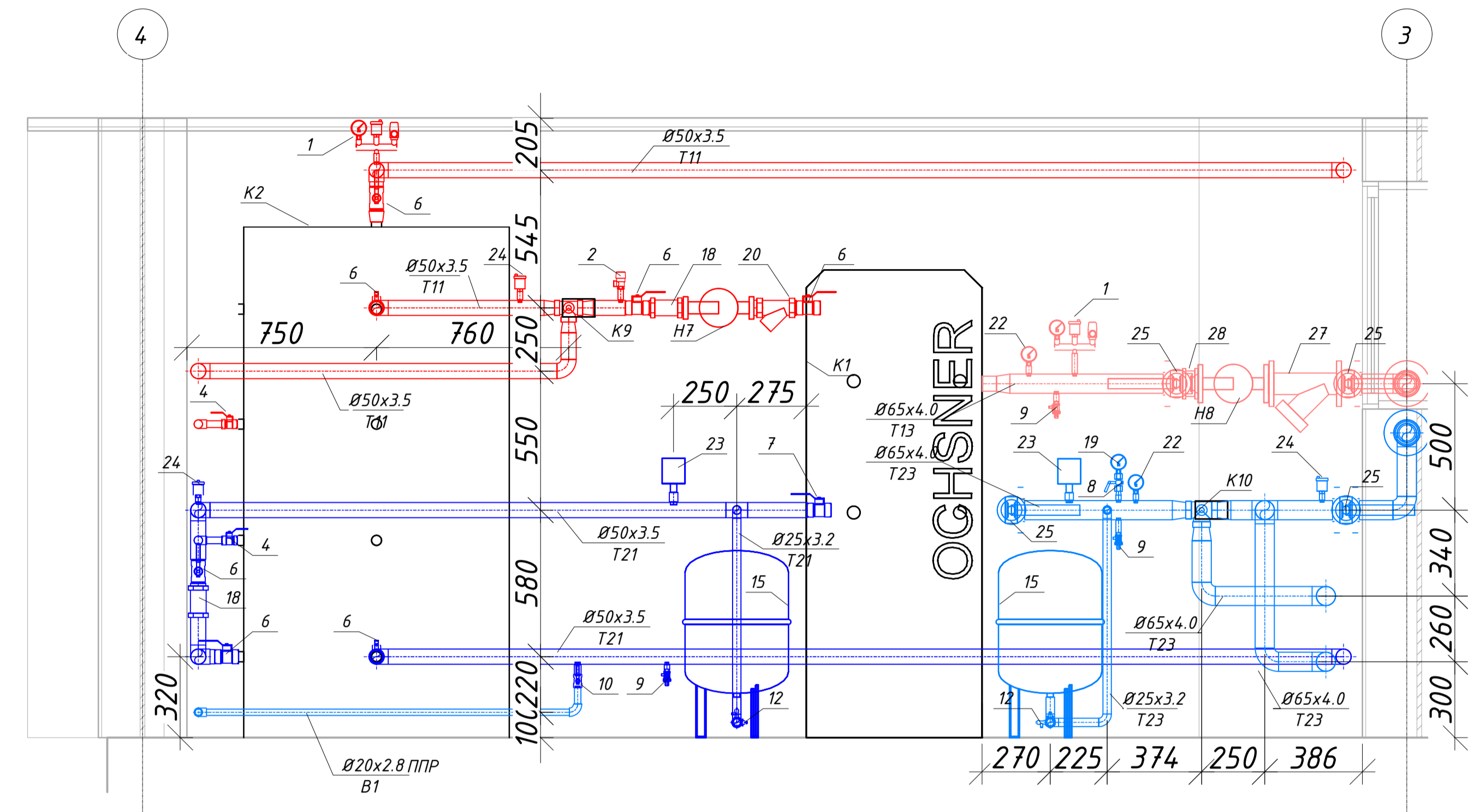
До ґрунтового теплообмінника

Кваліфікаційна робота магістра			
Дослідження впливу властивостей ґрунтового масиву на роботу теплового насоса "ґрунт-вода" з вертикальним колектором			
Зм.	Кільк.	Аркушів	Дата
Розробив	Пашченко	Стадія	Аркушів
Керував	Пашченко	КМР	3
Фрагмент ген. плану, план на відм. 0.000			КНУБА
Зав. кафедр.	Кіриченко		

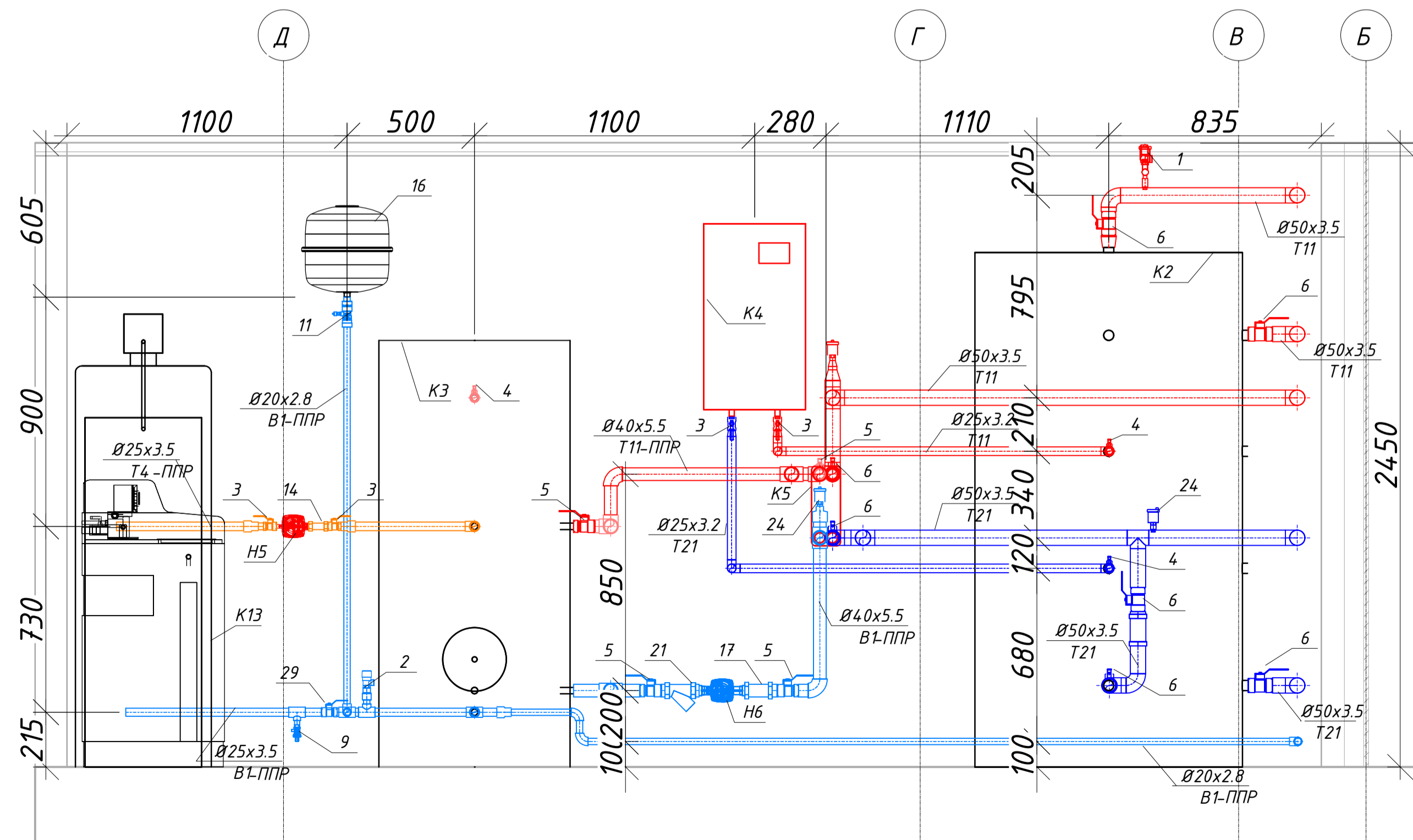
Р03РІ3 1-1



Р03РІ3 2-2

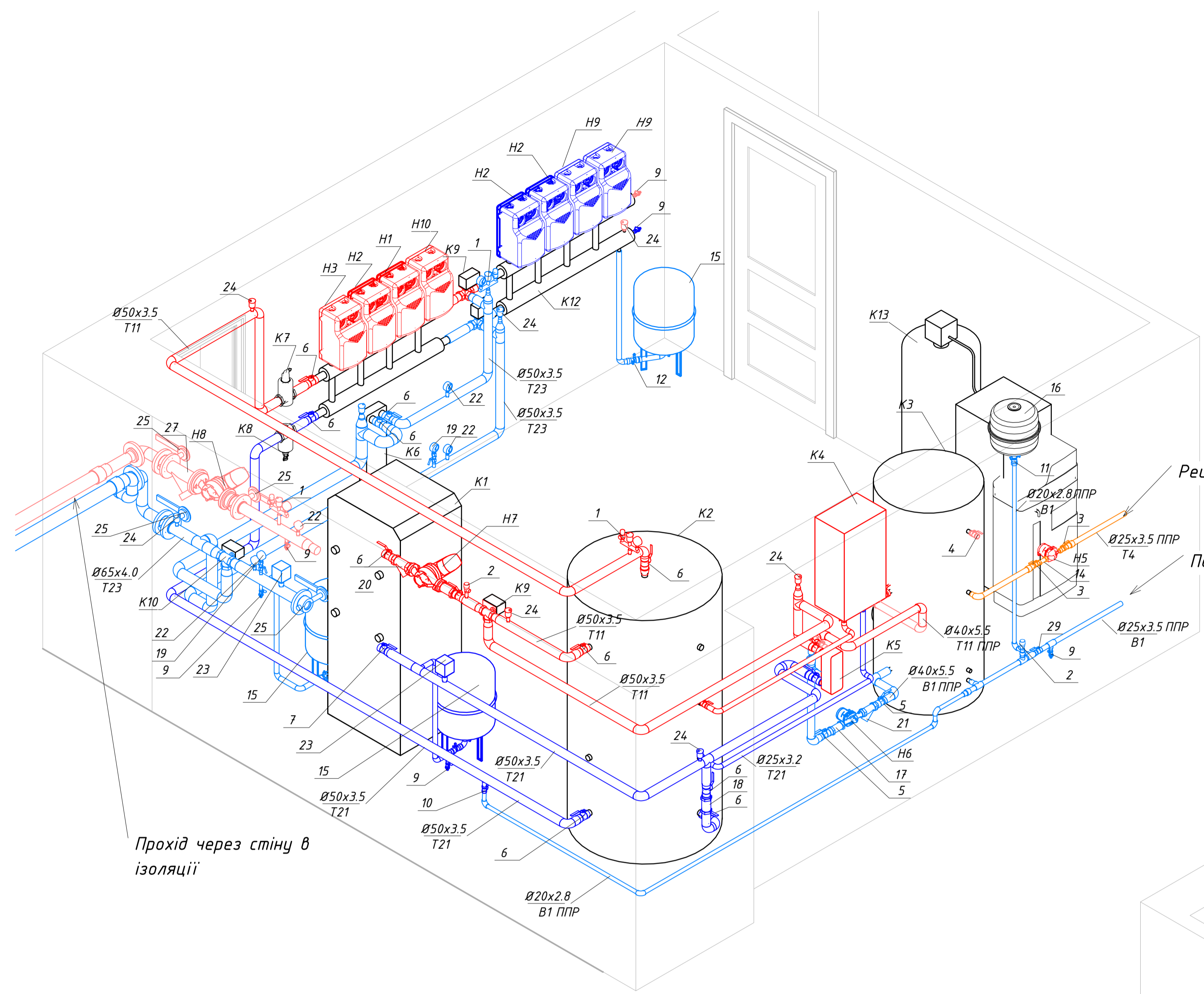


Р03РІ3 3-3



Топкова, запроектвана на базі теплового насосу типу ґрунт-вода Тегга 40 виробництва компанії "Ochsner" (Австрія), номінальна теплова продуктивність теплового насосу 40 кВт. Резервне джерело теплопостачання - електрокотел Kospel EKCO L2 потужністю 24 кВт. Допоміжним обладнанням являється буферна ємність системи опалення ВТА-4 об'ємом 1000л виробництва компанії "Теплобак" (Україна), ємнісний водонагрівач для системи гарячого водопостачання ВТЕ-1 об'ємом 500л виробництва "Теплобак" (Україна) з теплообмінником для сонячного колектора, теплообмінник для системи ГВП СВ30 виробництва "Alfa laval" (Швеція) потужністю 40 кВт, теплообмінник для системи пасивного холодопостачання СВ110 виробництва "Alfa laval" (Швеція) потужністю 25 кВт, циркуляційні насоси виробництва "Grundfos" (Данія), мембранні розширювальні баки виробництва "Vaget", трьохходові клапани з сервоприводами "ESBE" (Швеція), насосні групи "Meibes" (Німеччина). Топкова забезпечує теплопостачання контурів систем радіаторного, підлогового та стінового опалення, гарячого водопостачання, систем вентиляції та басейну, а також системи пасивного холоду.

Кваліфікаційна робота магістра			
Дослідження впливу властивостей ґрунтового масиву на роботу теплового насоса "ґрунт-вода" з вертикальним колектором			
Зм.	Кільк.	Аркушів док.	Потис
Розробка	Пашченко		
Керівник	Пашченко		
Тепловий насос "ґрунт-вода"			Стадія
Розріз 1-1; розріз 2-2; розріз 3-3.			Аркуш
			Аркушів
Зав. кафедр			КМР
Кіриченко			4
			КНУБА

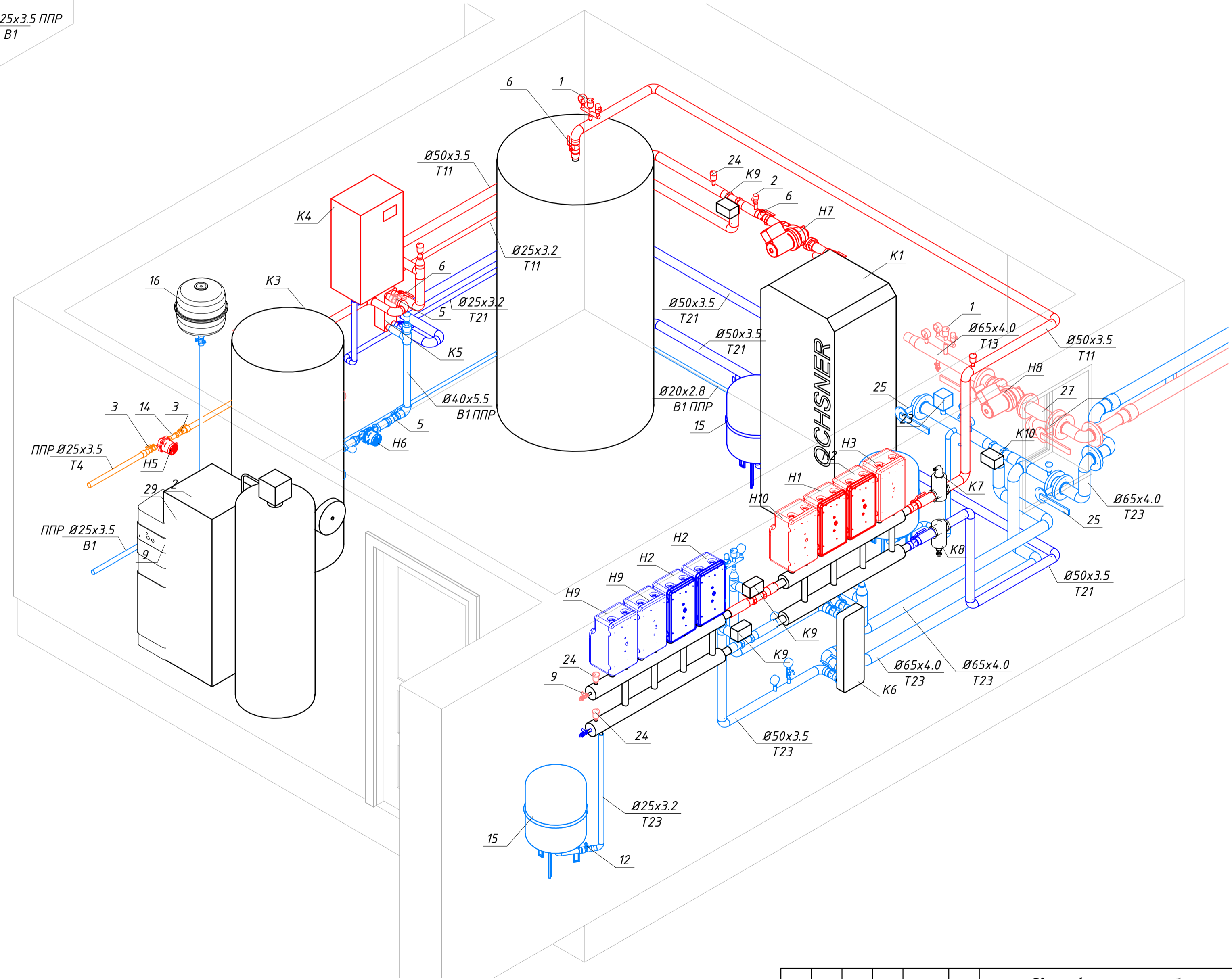


Основні енергетичні показники проекту

Найменування будинку (споруди), приміщення	Об'єм, м ³	Період року при tзовн, °С	Витрати тепла, кВт				Витрати холоду, кВт	Встановлена потужність електро ТЕНів, кВт
			на опалення	на вентиляцію	на гаряче водопостачання	всього		
Індивідуальний житловий будинок		-22	39	7	6,0**	52*	-	30***
		35	-	-	6,0**	4,0*	25	6***

Рециркуляція ГВП
Подача з системи Х.В.О.

Прохід через стіну в ізоляції



Примітка:

- Теплоносії - вода з параметрами теплоносія 55/45°C для опалення в номінальному режимі.
- Холодоносії - вода з параметрами холодоносія 14/18°C в номінальному режимі.
- Трубопроводи топкової - труби сталіні водогазопровідні ГОСТ 3262-75.
- Трубопроводи контуру "теплообмінник - бак ГВП" - труби ППР PN16.
- Трубопроводи ґрунтового контуру - труби ПЕ80 SDR17.
- Трубопроводи топкової ізолюються теплоізоляцією з вспіненого поліетилену товщиною 9мм.

Кваліфікаційна робота магістра			
Дослідження впливу властивостей ґрунтового масиву на роботу теплового насоса "ґрунт-вода" з вертикальним колектором			
Зм.	Кільк.	Аркушів док.	Потис
Розробив	Пашченко		
Керував	Пашченко		
Тепловий насос "ґрунт-вода"			Стадія
			Аркуш
			Аркушів
Аксонометричні схеми трубопроводів			КМУ
			5
Зав. кафедр			КНУБА
Курченко			

Візуалізація 1.1



Візуалізація 1.2



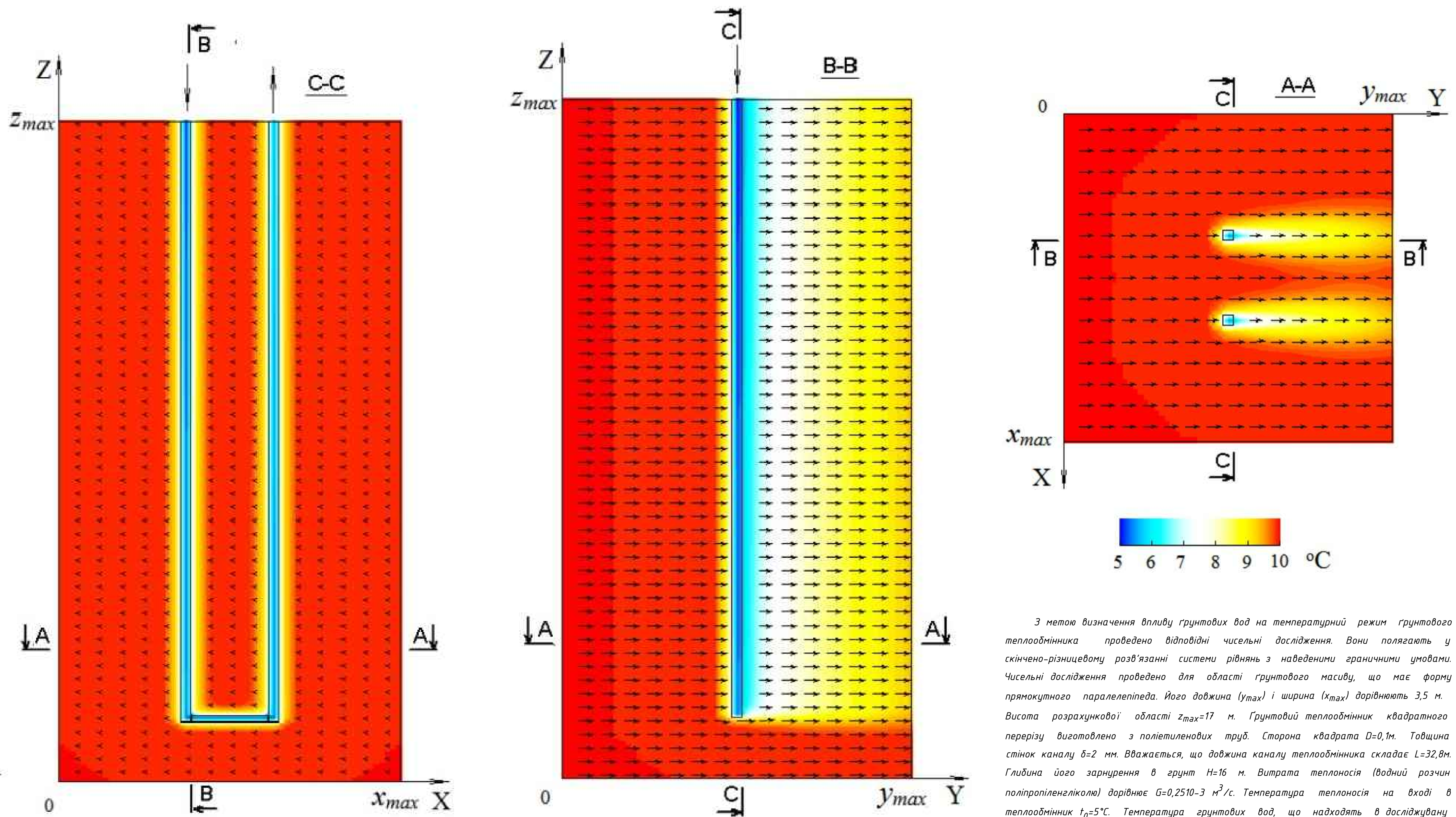
Візуалізація 1.3



Приміщення топкової відповідає вимогам будівельних норм. Для забезпечення процесів автономної роботи обладнання забезпечується необхідний повітрообмін. В конструкції вхідних дверей виконати отвір для приточної вентиляції на висоті 300 мм від рівня підлоги, площею 0,04 м². В приміщенні передбачити шахту витяжної вентиляції з природнім спонуканням, площею не менше 0,2 м², і отвір в данній шахті, переріз рівний перерізу витяжної шахти. Отвір розмістити під стелею. 2.2.3 Джерело енергії Згідно завдання на розробку проекту джерелом теплової енергії для автономної топкової являється електро енергія. До теплового насосу підводиться 3-х фазний електро кабель товщиною 5х4 мм. Резервне паливо не передбачено. 2.2.4 Приміщення топкової Приміщення топкової відповідає вимогам будівельних норм (мінімальний об'єм приміщення, наявність віконного отвору)

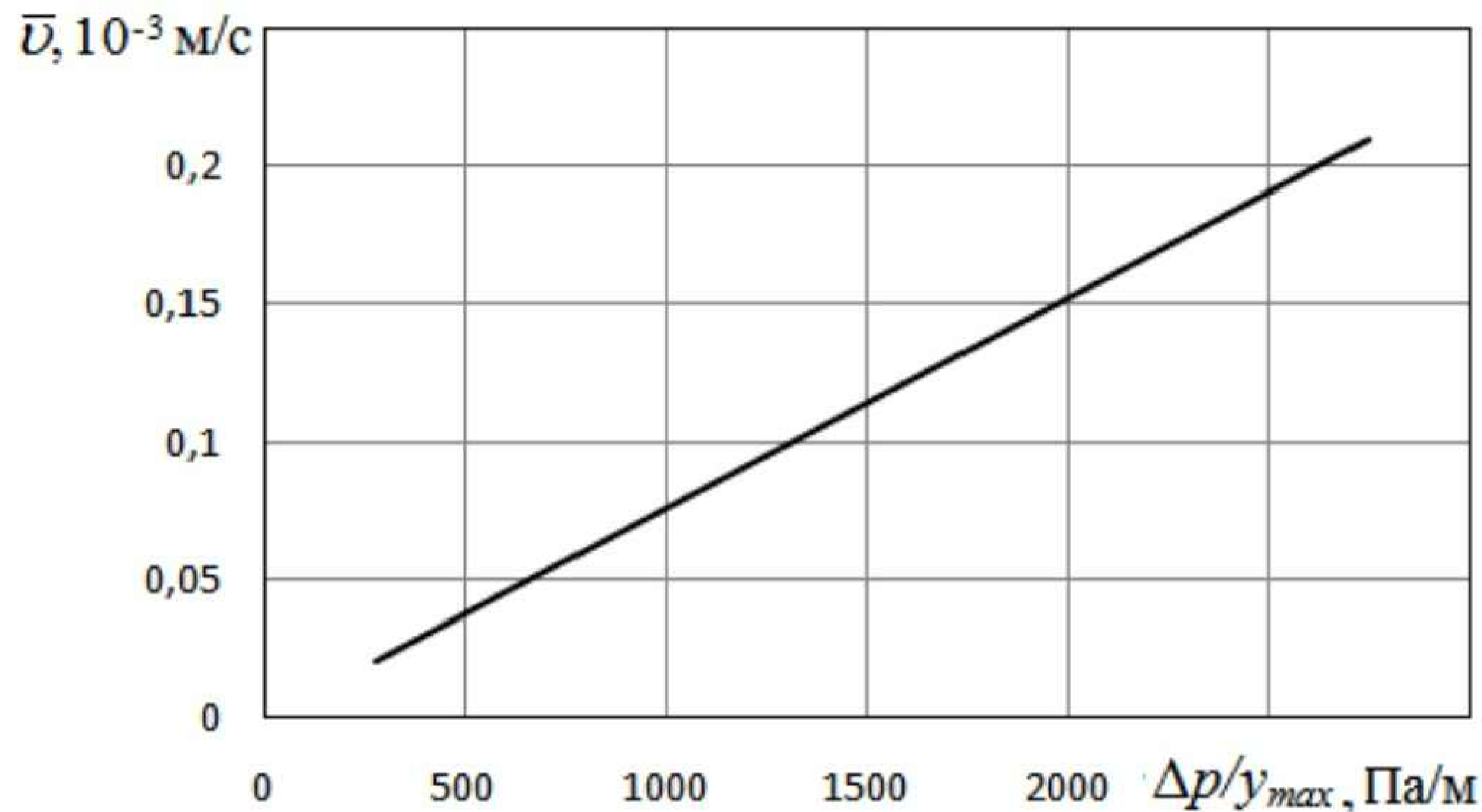
Кваліфікаційна робота магістра					
Дослідження впливу властивостей ґрунтового масиву на роботу теплового насоса "ґрунт-вода" з вертикальним колектором					
Зм.	Кільк.	Аркуш.	№ док.	Піліс	Дата
Розробка	Пашченко				
Керівник	Пашченко				
Зав. кафедр	Кіриченко				
Тепловий насос "ґрунт-вода"				Стадія	Аркуш
				КМР	6
Візуалізація теплового пункту				КНУБА	

1. Розподіли швидкості і температури в ґрунтовому масиві: $\Delta p=10000$ Па; $\phi=0,4$; $d_p=0,1$ мм

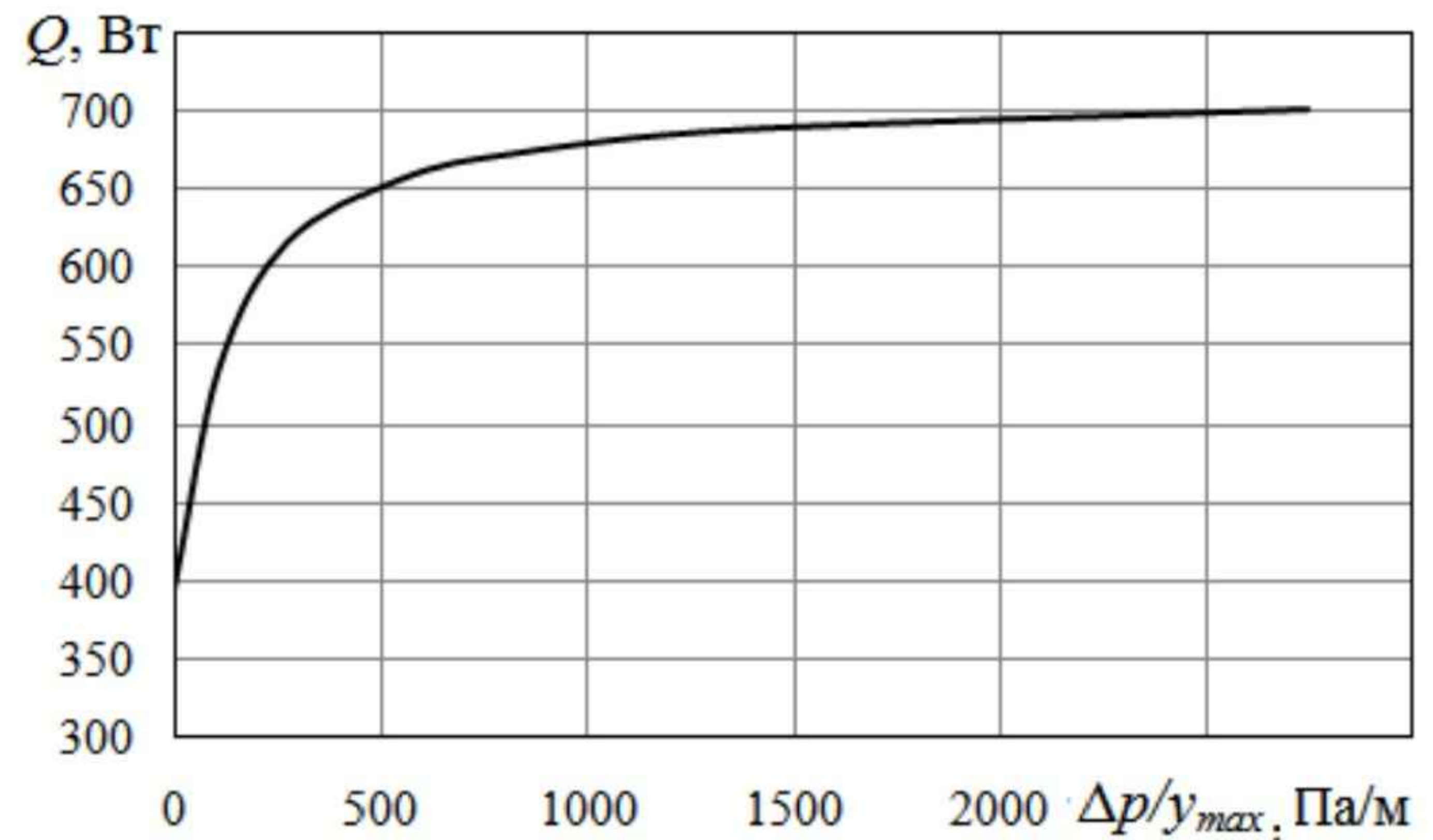


З метою визначення впливу ґрунтових вод на температурний режим ґрунтового теплообмінника проведено відповідні чисельні дослідження. Вони полягають у скінчено-різницевому розв'язанні системи рівнянь з наведеними граничними умовами. Чисельні дослідження проведено для області ґрунтового масиву, що має форму прямокутного паралелепіпеда. Його довжина (y_{max}) і ширина (x_{max}) дорівнюють 3,5 м. Висота розрахункової області $z_{max}=17$ м. Ґрунтовий теплообмінник квадратного перерізу виготовлено з поліетиленових труб. Сторона квадрата $D=0,1$ м. Товщина стінок каналу $\delta=2$ мм. Вважається, що довжина каналу теплообмінника складає $L=32,8$ м. Глибина його зарушення в ґрунт $H=16$ м. Витрата теплоносія (водний розчин поліпропіленгліколю) дорівнює $G=0,2510-3$ м³/с. Температура теплоносія на вході в теплообмінник $t_0=5^\circ\text{C}$. Температура ґрунтових вод, що надходять в досліджувану область, дорівнює $t_\infty=10^\circ\text{C}$. Рухаючись по каналу теплообмінника, теплоносії нагрівається, відбираючи теплоту від ґрунтового масиву. Розподіли швидкості і температури в ґрунтовому масиві: $\Delta p=10000$ Па; $\phi=0,4$; $d_p=0,1$ мм.

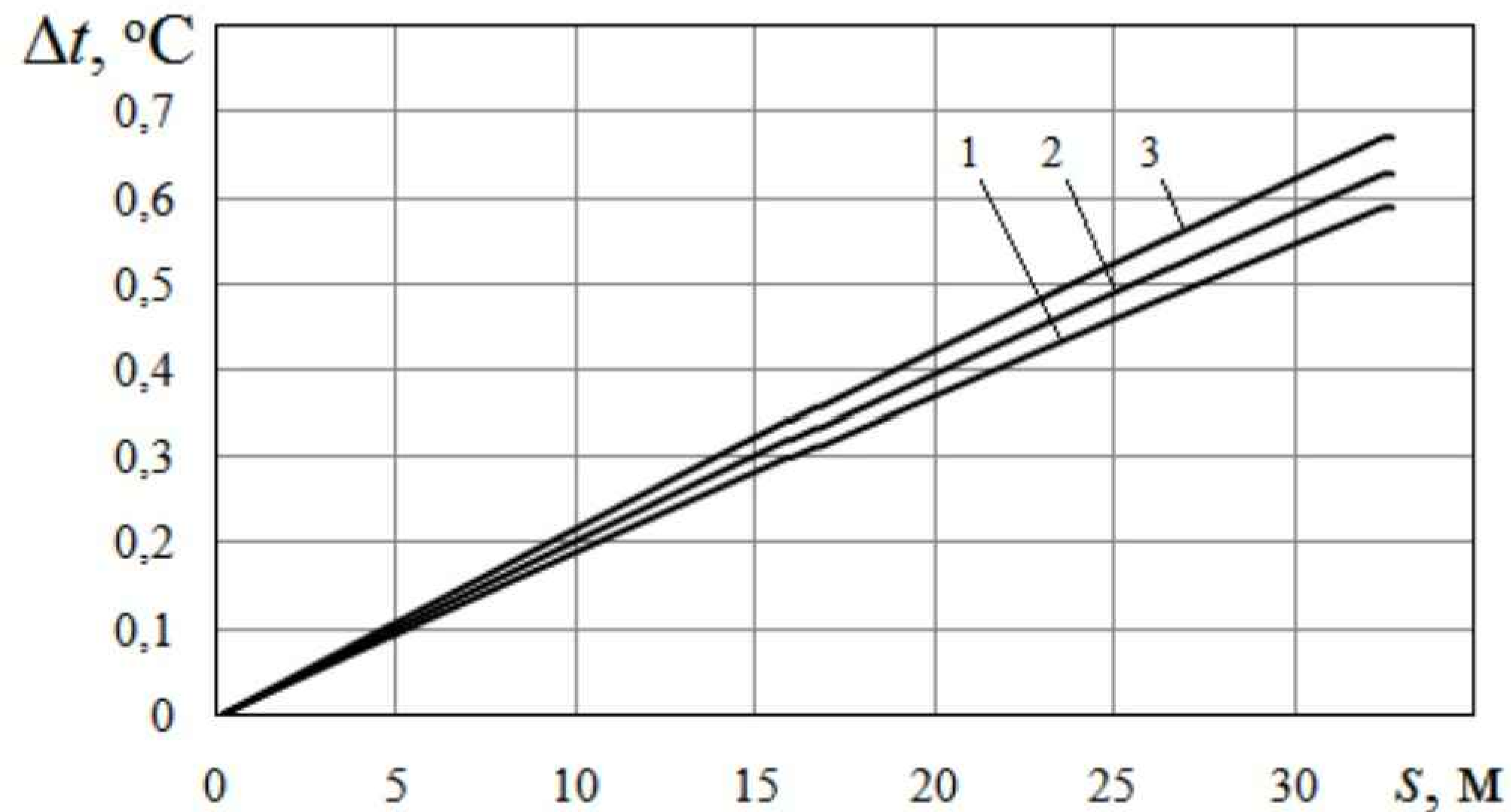
2. Дослідження параметрів теплообміну в ґрунтовому теплообміннику



Залежність швидкості течії рідини від градієнта тиску в ґрунтовому масиві при $\phi=0,4$; $d_p=0,25 \text{ мм}$



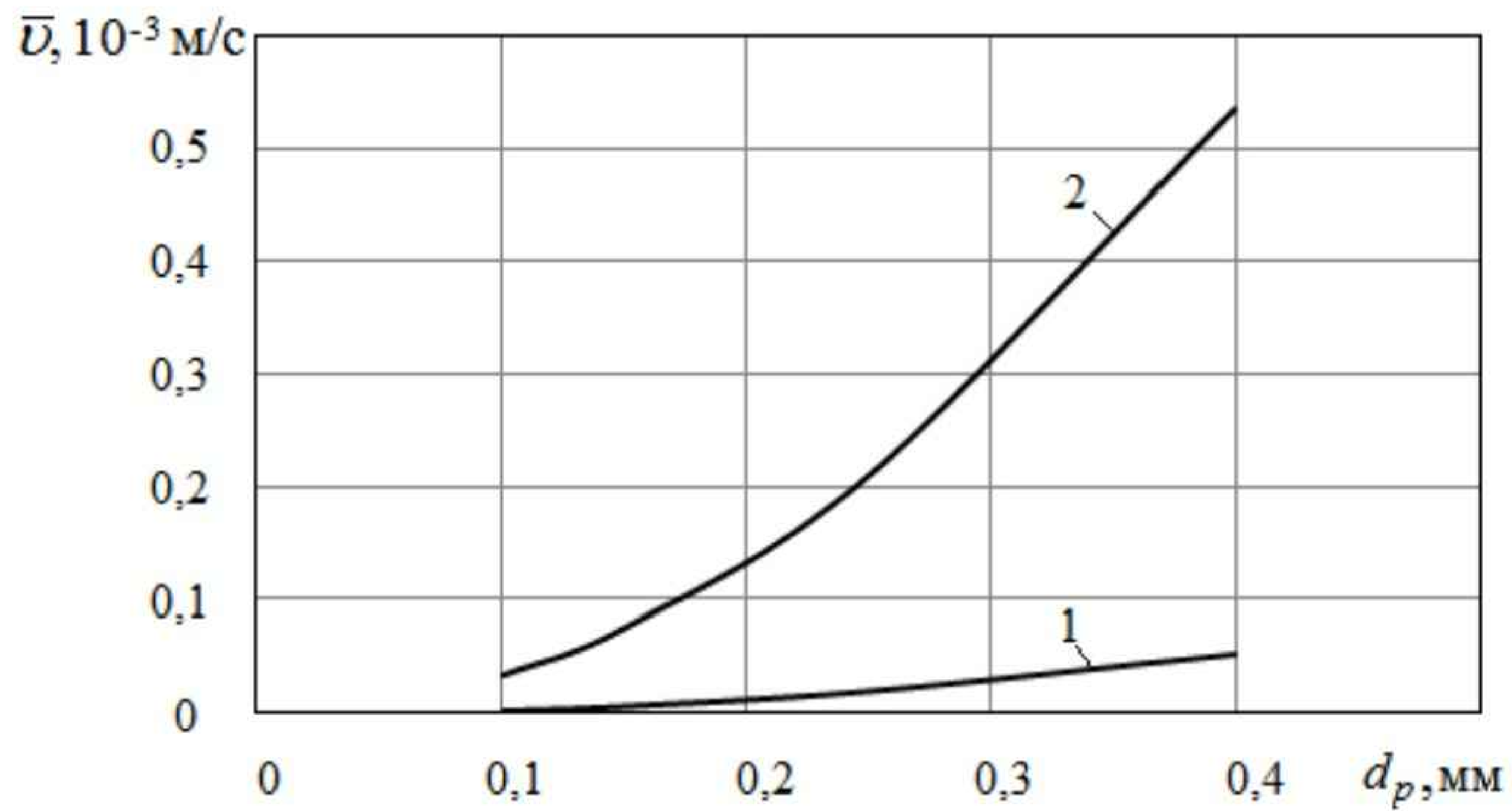
Зміна температури по довжині каналу ґрунтового теплообмінника: $\phi=0,4$; $d_p=0,25 \text{ мм}$; 1 - $\Delta p / y_{\text{max}}=274,72 \text{ Па/м}$; 2 - $549,45 \text{ Па/м}$; 3 - $2747,2 \text{ Па/м}$



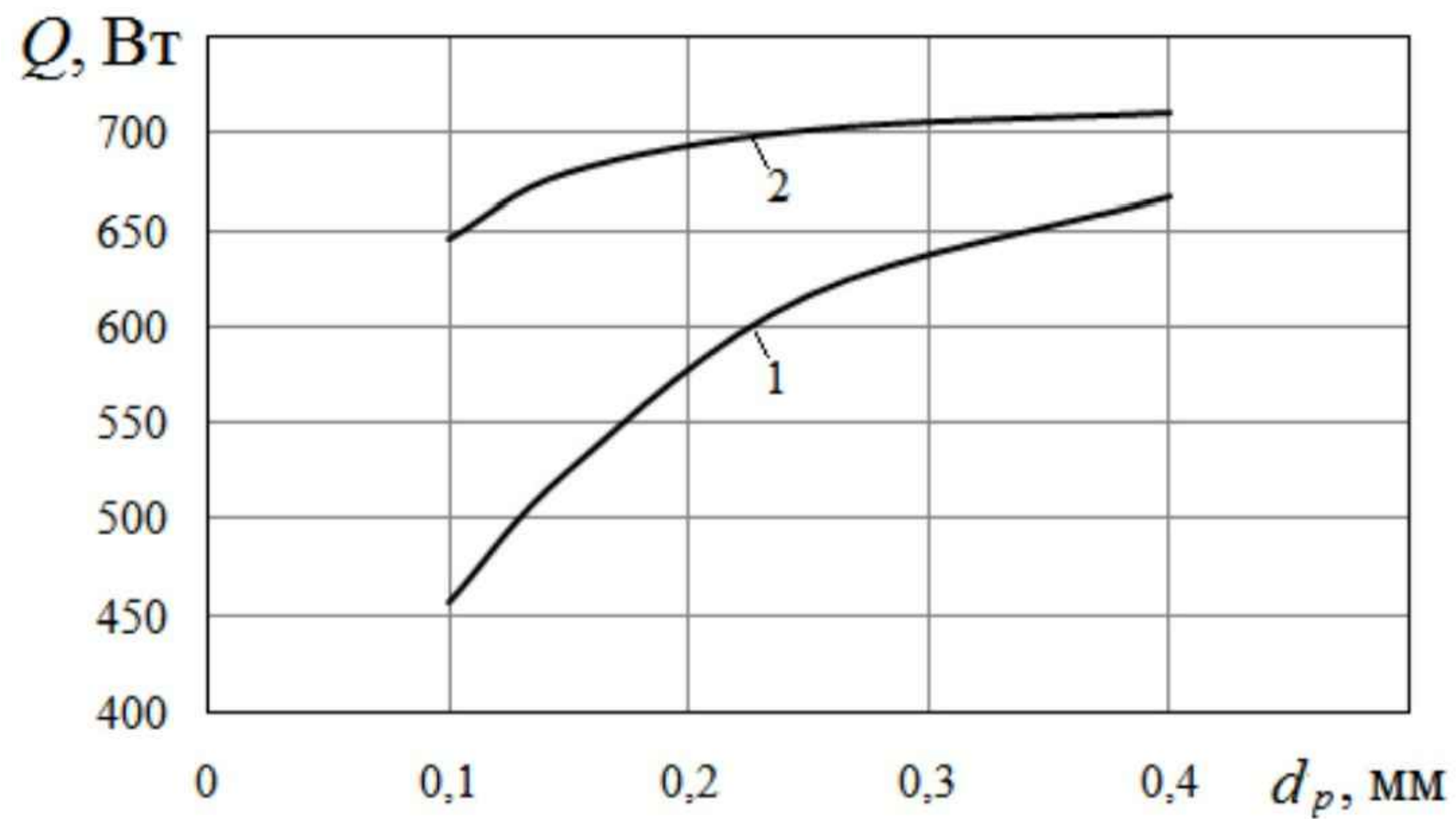
Залежність кількості теплоти, що вилучається з ґрунту, від градієнта тиску в ґрунтовому масиві: $\phi=0,4$; $d_p=0,25 \text{ м}$

Інтенсивність теплообміну між поверхнею теплообмінника та пористим ґрунтом залежить від середньої швидкості руху ґрунтових вод, яка, в свою чергу, залежить від градієнта тиску в ґрунтовому масиві $\Delta p / y_{\text{max}}$. Ця залежність, що одержана для $\phi=0,4$; $d_p=0,25 \text{ мм}$ представлена на рисунку з якого видно, що при збільшенні градієнта тиску від 270 Па/м до 2700 Па/м середня швидкість ґрунтових вод збільшується від $0,02110^{-3} \text{ м/с}$ до $0,2110^{-3} \text{ м/с}$. Зміну по довжині каналу температури теплоносія при різних значеннях градієнта тиску $\Delta p / y_{\text{max}}$ для $d_p=0,25 \text{ мм}$; $\phi=0,4$ представлено на рисунку з якого видно, що зростання температури Δt в каналі теплообмінника збільшується зі збільшенням градієнта тиску $\Delta p / y_{\text{max}}$, що пояснюється підвищенням інтенсивності конвекційного теплообміну на зовнішній поверхні каналу. Залежність кількості теплоти Q , що вилучається з ґрунту, від градієнта тиску $\Delta p / y_{\text{max}}$ в пористому масиві наведено на рисунку. Розглядається випадок пористості ґрунту $\phi=0,4$ та середнього діаметра його частинок $d_p=0,25 \text{ мм}$. видно, що найменший тепловий потік $Q=393,6 \text{ Вт}$ відповідає випадку $\Delta p / y_{\text{max}}=0$, що означає відсутність вимушеної течії ґрунтових вод. з механізмів теплопередачі залишається природна термогравітаційна конвекція і теплопровідність. На інтервалі $0 < \Delta p / y_{\text{max}} < 500 \text{ Па/с}$ тепловий потік інтенсивно зростає зі збільшенням градієнта тиску (з $393,6 \text{ Вт}$ до 650 Вт). При подальшому збільшенні $\Delta p / y_{\text{max}}$ тепловий потік Q продовжує збільшуватися, але менш інтенсивно. При збільшенні $\Delta p / y_{\text{max}}$ від 500 Па/м до 2750 Па/м тепловий потік Q збільшується від 650 Вт до $702,4 \text{ Вт}$. з цього випливає, що градієнт тиску та, відповідно, швидкість ґрунтових вод, найсуттєвіше впливає на теплообмін при відносно невеликих градієнтах тиску. При їх збільшенні, цей вплив стає менш суттєвим.

3. Залежність роботи ґрунтового теплообмінника від характеристик ґрунта



Залежність швидкості течії рідини від середнього діаметра частинок ґрунту при $\phi=0,4$: 1 - $\Delta p/\text{утах} = 274,72$ Па/м; 2 - $2747,2$ Па/м



Залежність кількості теплоти, що вилучається з ґрунту, від діаметра частинок ґрунту: 1 - $\Delta p/\text{утах} = 274,72$ Па/м; 2 - $2747,2$ Па/м

Висновки

1. Результати чисельних досліджень показали, що наявність градієнта тиску вздовж ґрунтового масиву викликає рух ґрунтових вод, який сприяє збільшенню тепловіддачі від ґрунтового масиву до теплообмінника. При зростанні градієнта тиску збільшується швидкість руху ґрунтових вод, а також сумарний тепловий потік до теплоносія в теплообміннику.
2. Мінімальний рівень теплообміну спостерігається при відсутності повздовжнього руху ґрунтових вод. Найбільш суттєвим вплив повздовжнього градієнта тиску на теплообмін виявляється при збільшенні градієнта тиску від 0 до 500 Па/м. Тепловий потік при цьому збільшується на 65%. При подальшому зростанні градієнта тиску тепловий потік продовжує збільшуватися, але менш інтенсивно. При збільшенні градієнта тиску від 500 Па/м до 2750 Па/м тепловий потік Q збільшується тільки на 8 %.
3. На осереднену швидкість фільтраційного руху ґрунтових вод впливає середній діаметр його частинок. з результатів чисельних досліджень впливає, середня швидкість фільтраційної течії рідини крізь пористий ґрунтовий масив збільшується зі збільшенням діаметра його частинок. зі збільшенням діаметра частинок та-кож збільшується кількість теплоти, що надходить від ґрунтового масиву до теплоносія. Це пов'язано зі зростанням швидкості течії ґрунтових вод зі збільшенням діаметра частинок.
4. Вплив діаметра частинок на тепловий потік більш суттєвий при менших значеннях по-вздовжнього градієнта тиску. При зростанні діаметра частинок від 0,1 мм до 0,4 мм тепловий потік у випадку $\Delta p / \gamma_{\max} = 274,72$ Па/м зростає на 46%. У випадку ж $\Delta p / \gamma_{\max} = 2747,2$ Па/м тепловий потік при такому ж збільшенні діаметра частинок зростає на 10%.
5. Таким чином, якщо оцінювати теплову ефективність U-подібного вертикального ґрунтового теплообмінника по кількості теплоти, що теплообмінник вилучає з ґрунтового масиву, то вона збільшується при збільшенні повздовжнього градієнта тиску в ґрунтовому масиві, який викликає збільшення швидкості ґрунтових вод. збільшення діаметра частинок ґрунту при сталій пористості також сприяє збільшенню ефективності теплообмінника.