

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНИ  
КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**


**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**


магістра

на тему: **«ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ  
МЕРЕЖІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ З УРАХУВАННЯМ  
СТРУКТУРИ ВОДО РОЗБОРУ»**

Виконав: магістрант(ка) 2 курсу, група 8.1922-вв-д  
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія  
освітньо-професійної програми «Водопостачання та  
водовідведення»

**ЧУДНОВСЬКИЙ ПАВЛО БОРИСОВИЧ**

Керівник: доцент кафедри міського будівництва і  
архітектури, канд. техн. наук  О. Г. Добровольська

Рецензент: професор кафедри промислового та цивільно-  
го будівництва, докт. техн. наук  В. А. Банах

Запоріжжя  
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні

Кафедра міського будівництва і архітектури

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія

Освітньо-професійна програма водопостачання та водовідведення

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри



« 03 » травня 2023 року

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ**

Чудновському Павлу Борисовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Дослідження гідравлічних режимів роботи мережі транспортування води з урахуванням структури водорозбору

2. Строк подання роботи: 05.12.2023

3. Вихідні дані до роботи: Генплан населеного пункту (див. додаток), мета роботи, об'єкт досліджень, предмет досліджень, очікувані методи виконання досліджень.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити): 1. Аналіз особливостей гідравлічних режимів мереж транспортування води. 1.1 Аналіз технічного стану систем централізованого водопостачання та водовідведення. 1.2 Вплив воєнного стану на функціонування системи водопостачання. 1.3 Особливості розрахунків мереж транспортування води. 1.4 Аналіз факторів, що впливають на розподіл тиску в мережах транспортування води. 1.5 Задачі кваліфікаційної роботи. 2. Методи та методика дослідження. 2.1 Характеристика об'єкта дослідження. 2.2 Методика дослідження. 3. Аналіз гідравлічних режимів роботи мережі транспортування води з урахуванням структури водорозбору. 3.1 Формування вихідних даних. 3.2 Гідравлічні розрахунки мережі транспортування води з урахуванням структури водорозбору. 3.4 Моделювання зміни структури водорозбору. Аналіз гідравлічних режимів роботи системи внутрішнього водопостачання житлових будівель. 4. Дослідження впливу структури водорозбору на техніко-економічні показники. 4.1 Аналіз динаміки вузлових напорів при зміні структури водорозбору. 4.2 Аналіз задоволення вимог споживачів в умовах зміни структури водорозбору. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Генплан міста. 2. Моделювання структури водорозбору. 3. П'єзометричні карти та п'єзометричні лінії (вихідний варіант). 4. П'єзометричні карти для модельованого водорозбору (10-12). 5. П'єзометричні лінії для модельованого водорозбору (10-12). 6. План типового поверху, план підвалу. 7. Аксонометрична схема. 8. Діаграми вільних напорів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Добровольська О.Г., к.т.н., доцент		
2	Добровольська О.Г., к.т.н., доцент		
3	Добровольська О.Г., к.т.н., доцент		
4	Добровольська О.Г., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Виконання	Примітка
<b>№</b>	<b>Вид роботи</b>		
1	1. Аналіз особливостей гідравлічних режимів мереж транспортування води..	15.10.23	
2	2 Методи та методика дослідження. Листи 1,2.	5.11.23	
3	3. Аналіз гідравлічних режимів роботи мережі транспортування води з урахуванням структури водорозбору. Лист 3.	10.11.23	
4	4. Дослідження впливу структури водорозбору на техніко-економічні показники. Листи 4,5.	15.11.23	
5	Листи 6, 7.	20.11.23	
6	Презентація. підготовка доповіді. Лист 8.	26.11.23	
7	Попередній захист	11.12.23	

Студент

(підпис)

П.Б. Чудновський

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

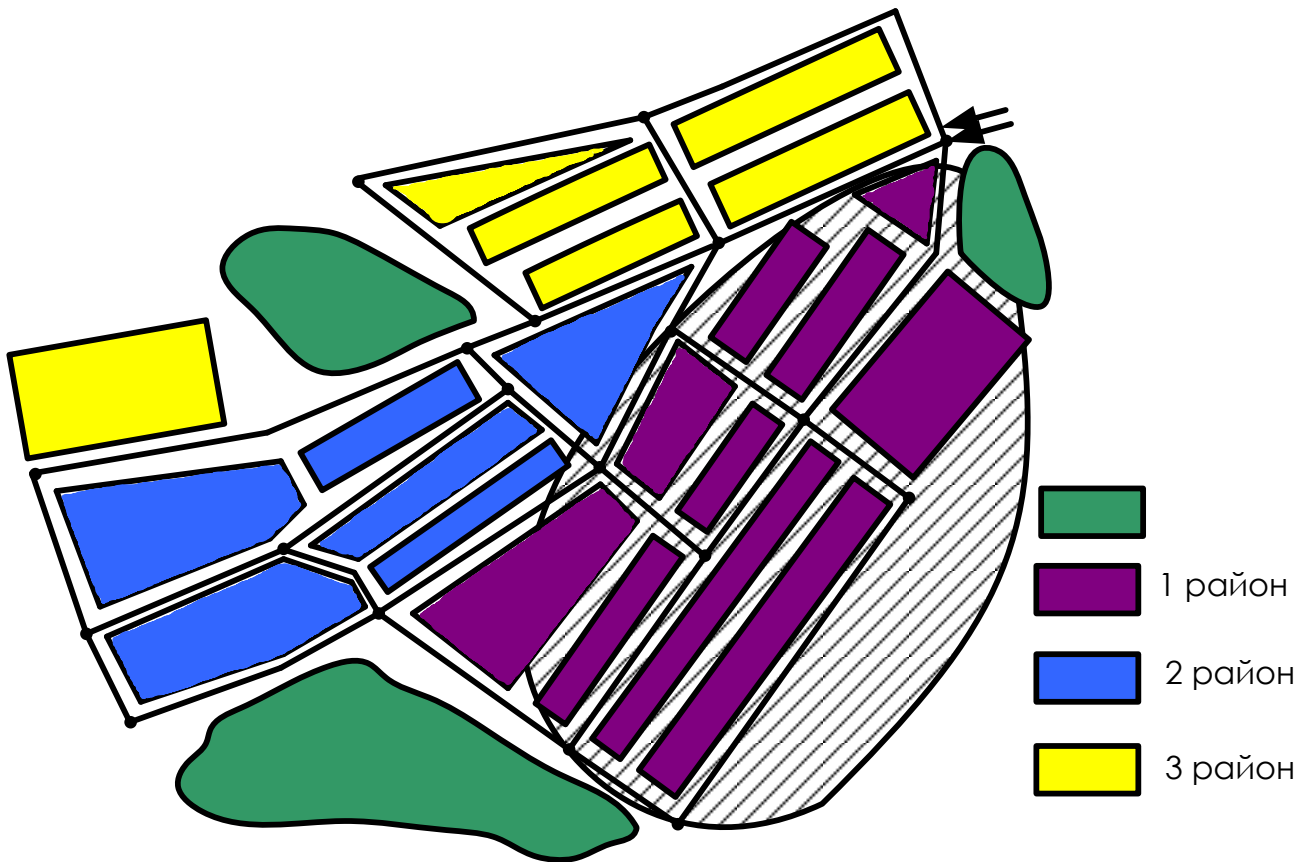
О.Г. Добровольська

(ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер

# ГЕНПЛАН МІСТА М1:10000



Характеристика району	Район		
	1	2	3
Кількість поверхів у будівлях	9	5	8
Чисельність мешканців	35000	30000	27000
Площа, га	146	105	72
Ступінь благоустрою	Внутрішній водопровід, каналізація, централізоване гаряче водопостачання		

## **АНОТАЦІЯ**

Чудновський П.Б. Дослідження гідравлічних режимів роботи мережі транспортування води з урахуванням структури водорозбору

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 – будівництво та цивільна інженерія. Науковий керівник – О. Г. Добровольська, Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут. Кафедра міського будівництва і архітектури, 2023 р.

Виконано аналіз гідравлічних режимів роботи мережі транспортування води з урахуванням зміни структури водорозбору. Розроблена методика та рекомендації по відновленню, реконструкції та забезпеченню оптимальних режимів експлуатації водопровідних мереж.

Ключові слова: СТРУКТУРА ВОДРОЗБОРУ; ГІДРАВЛІЧНІ РЕЖИМИ; СТРУКТУРА ВОДРОЗБОРУ; ВУЗЛОВІ ВИТРАТИ; П'ЄЗОМЕТРИЧНІ ПОЗНАЧКИ; ВУЗЛОВІ НАПОРИ; КОНТРОЛЬ ТИСКУ.

## **ABSTRACT**

Chudnovsky P.B. Research of hydraulic modes of operation of the water transportation network taking into account the structure of water distribution

Qualifying thesis for obtaining a master's degree in the specialty 192 - construction and civil engineering. Academic supervisor - O. G. Dobrovolska, Zaporizhzhia National University. Engineering educational and scientific institute. Department of Urban Construction and Architecture, 2023

An analysis of the hydraulic modes of operation of the water transportation network was performed, taking into account the change in nodal costs. The methodology and recommendations for restoration, reconstruction and provision of optimal modes of operation of water supply networks have been developed.

Keywords: STRUCTURE OF WATER DISTRIBUTION; HYDRAULIC MODES; NODAL COSTS; PIEZOMETRIC MARKS; NODAL PRESSURES; PRESSURE CONTROL.

## ЗМІСТ

Анотація.....	
Abstract.....	
Вступ.....	
<b>РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ГІДРАВЛІЧНИХ РЕЖИМІВ МЕРЕЖ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ</b>	
1.1 Аналіз технічного стану систем централізованого водопостачання та водовідведення.....	10
1.2 Вплив воєнного стану на функціонування системи водопостачання.....	14
1.3 Особливості розрахунків мереж транспортування води.....	18
1.4 Аналіз факторів, що впливають на розподіл тиску в мережах транспортування води.....	20
1.5 Задачі кваліфікаційної роботи.....	23
<b>РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ</b>	
2.1 Характеристика об'єкта дослідження.....	24
2.2 Методика дослідження.....	25
<b>РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ГІДРАВЛІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ МЕРЕЖІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ З УРАХУВАННЯМ СТРУКТУРИ ВОДОРОЗБОРУ</b>	
3.1 Формування вихідних даних.....	26
3.1.1 Визначення розрахункових витрат .....	26
3.1.2 Режим водоспоживання населеного пункту .....	27
3.2 Гідравлічні розрахунки мережі транспортування води з урахуванням структури водорозбору.....	33
3.2.1 Розрахунок питомих, шляхових та вузлових витрат .....	33
3.2.2 Гідравлічний розрахунок мережі транспортування води.....	36
3.3 Моделювання зміни структури водорозбору.....	41
3.3.1 Розрахункові схеми поточкорозподілу води при зміні водорозбору.....	41
3.3.2 Гідравлічні розрахунки мережі для різних варіантів структури водорозбору .....	43

3.4 Аналіз гідравлічних режимів роботи системи внутрішнього водопостачання житлових будівель.....	50
3.4.1 Характеристика житлових будівель.....	50
3.4.2 Визначення розрахункових витрат.....	50
3.4.3 Гідравлічний розрахунок системи холодного водопостачання у режимі централізованого гарячого водопостачання.....	54
3.4.5 Гідравлічний розрахунок системи холодного водопостачання у режимі застосування місцевих водонагрівачів.....	57
<b>РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТРУКТУРИ ВОДОРозБОРУ НА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ</b>	
4.1 Аналіз динаміки вузлових напорів при зміні структури водорозбору.....	60
4.2 Аналіз задоволення вимог споживачів в умовах зміні структури водорозбору.....	61
Висновки.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66
Додаток А .....	69
Додаток Б.....	82

## ВСТУП

**Актуальність теми кваліфікаційної роботи.** Актуальність проблеми зростає в умовах воєнного стану, коли воєнні дії впливають на зміну структури водоспоживання. Особливо гостро ця проблема постає для систем водопостачання населених пунктів з середньою та значною чисельністю населення. На сьогодні, враховуючи наслідки воєнних дій, житлово-комунальна структура багатьох міст, мережі транспортування води, система доброустрою потребують відбудови, модернізації та вдосконалення. Відбудова критичної інфраструктури, модернізація устаткування для водопровідно-каналізаційного господарства, є необхідною умовою застосування нових енергоощадних та екологічно адаптованих технологій. Забезпечення надійності водопостачання пов'язано з оптимальним управлінням роботою мереж транспортування води. Головною умовою якісного водопостачання є забезпечення необхідних тисків у водопровідній мережі. Тому результати дослідження впливу структури водорозбору на розподіл тисків необхідні для розв'язання завдань стосовно резервування та реконструкції ділянок водопровідних мереж, управління поточкорозподілом для забезпечення необхідних тисків в мережі.

**Об'єкт дослідження** — мережа транспортування води продуктивністю 47000 м<sup>3</sup>/добу яка складається із 10 контурів, 20 вузлів та 29 ділянок.

**Предмет дослідження** – гідравлічні режими транспортування води при зміні структури водорозбору.

**Мета дослідження** – впровадження енергоефективних режимів роботи систем водопостачання житлових будівель в умовах зміни структури водорозбору.

### **Задачі дослідження:**

- гідравлічний розрахунок водопровідної мережі для населеного пункту, будинки якого обладнані внутрішнім водопроводом, каналізацією і централізованим гарячим водопостачанням;



- моделювання зміни структури водорозбору шляхом зміни вузлових відборів води від 1 до 100% із кроком 25% спочатку для окремих, а потім для всіх районів одночасно;

- аналіз фактичних витрат води в ділянках водопровідної мережі;

- визначення та аналіз тисків у вузлах мережі;

- розробка рекомендації щодо дотримання енергоефективних режимів експлуатації водопровідної мережі з урахуванням змін у навантаженні на систему.

**Методи дослідження.** При плануванні, проведенні досліджень, обробці та аналізі отриманих результатів використані методи математичного моделювання поточкорозподілу у водопровідній мережі, методи гідравлічних розрахунків мереж транспортування води.

**Практичне значення отриманих результатів.** Розроблено методику визначення енергоефективних режимів експлуатації водопровідних мереж з урахуванням структури водорозбору, що дозволяє працівникам комунальних підприємств визначати пріоритетність відновлення ділянок мереж, оптимальну кількість та розташування контрольних вузлів.

**Апробація роботи.** Головні положення доповідались на: Міжнародній науково-практичній конференції «*Енергоефективне місто. XXI століття*», 10–11 листопада 2022 року. м. Одеса; VIII Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції молодих учених та студентів, 12 травня 2023 р., м. Луцьк; II Міжнародній науково-практичній конференції «*Green Construction*» «*Зелене будівництво*», травня 2023 р., м. Київ; III Всеукраїнській науково-практичній конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України», 17-20 жовтня 2023 р., м. Запоріжжя.

**Структура та обсяг роботи.** Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на сторінках, містить таблиці, рисунків, додатків, джерел.

# РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ГІДРАВЛІЧНИХ РЕЖИМІВ МЕРЕЖ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ

## 1.1 Аналіз технічного стану систем централізованого водопостачання та водовідведення

Експерти Інституту місцевого розвитку (USAID Агентство – США з Міжнародного розвитку) провели аналіз для виявлення проблем у галузі водопостачання та водовідведення в 20 пілотних містах України. Метою було удосконалити нормативно-правову діяльність комунальних підприємств, що забезпечують послуги з централізованого водопостачання, теплопостачання та водовідведення [1].

Від 47% загальної протяжності магістральних та розподільних ділянок мереж транспортування води у пілотних містах прокладено чавунними трубопроводами, 41% складають сталеві труби, на 5% від загальної довжини мереж використовуються азбестоцементні труби, 3% мереж виготовлені з поліетиленових, а 2% - із залізобетонних труб. Отже, більшість ділянок водопровідних мереж перебувають у стані аварії, оскільки, по-перше, до 30% всіх трубопроводів вже вийшли за межі терміну експлуатації, функціонуючи понад 30 років, і, по-друге, на поверхні чавунних та сталевих трубопроводів утворюються корозійні відкладання, що поступово обмежують їх пропускну здатність та викликають пошкодження стінок труби та витоки (до 367 аварійних витоків на 100 км на рік).

Аналіз ступеня аварійності водопровідних мереж з урахуванням матеріалу трубопроводів також був проведений у роботах іноземних фахівців [2-4], які вказують на погіршення експлуатаційних характеристик металевих та чавунних трубопроводів. Згідно з даними [5], ці показники в Україні перевищують аналогічні показники в Європі від 5 до 20 разів. За інформацією [6], система водопостачання України є складним інженерним комплексом із щорічною продуктивністю понад два мільярди кубометрів. Таким чином, елементи цієї системи вимагають реконструкції.

Кабінетом Міністрів України було схвалено напрямок розвитку забезпечення якості питного водопостачання на наступні чотири роки. Для

цього необхідно [7] реалізувати понад 1,7 тисяч будівельних проектів, включаючи будівництво 280 споруд для обробки водиочищення стоків, понад 300 будівель для забору води, сотні кілометрів мереж транспортування води, забезпечити функціонування установ для контролю надійності якісного водопостачання (хімічних лабораторій). Відповідно до цього документа [7] передбачено до кінця 2026 року ввести в дію споруди, які будуть обслуговувати понад сім мільйонів споживачів. Також в цій програмі зазначено незадовільний стан водопровідно-каналізаційних підприємств, що пов'язується з необхідністю реконструкції та відбудови водопровідних мереж та споруд: понад 36% мереж транспортування води, близько 32% помпового обладнання. Це призводить до високого рівня втрат питної води в межах країни, який може сягати до 36%. Застосування сталевих, чавунних, залізобетонних та азбестоцементних труб для будівництва мереж транспортування води призводить до поступового погіршення якості води. Цей фактор є причиною виникнення проблем з якістю водопостачання, руйнівних дій корозії на внутрішній поверхні трубопроводів. Особливо руйнівна дія проявляється для швидкісного режиму : $v=0,0001\div 0,5$  м/с. В результаті корозійних процесів на внутрішній поверхні труб з'являються біогенні утворення, які збільшують опір під час транспортування води. (рис. 3.1.).



Рис.1.1 – Модель утворення корозійних процесів

Після цього біологічна плівка проходить процес мінералізації, а окремі частинки відокремлюються від поверхні трубопроводу. Подібний процес

також спостерігається з частинками осаду, які під впливом несталої швидкості руху води рухаються хаотично. Ці частинки осаду, що відокремлюються внаслідок утворення біологічної плівки, а також частинки інших забруднюючих речовин та фрагменти окису металу, потрапляють у потік води, що знаходиться в трубопроводі, насичуючи його [8]. Накопичені утворення в трубах призводять до змін в гідравлічних режимах руху води, збільшують значення шорсткості внутрішньої поверхні труб, що призводить до збільшення гідравлічного опору. Це також створює умови для розмноження мікроорганізмів, що впливає на зміну якості води та процес водопостачання в цілому. Збільшення гідравлічного опору в трубопроводах призводить до великих витрат електроенергії на насосних станціях. Тиск насосів повинен зростати, щоб забезпечити необхідні тиски у всіх вузлах мережі транспортування води [8].

За даними комунального підприємства «Водоканал» (м. Запоріжжя) були проаналізовані об'єми витоків на трубопроводах із різних, деякі ділянки мереж транспортування води експлуатуються з середини минулого століття до сьогодні [9]. За результатами аналізу були побудовані діаграми (рис. 1.2).

Пластмасові водогони експлуатуються понад сорок років. Але максимальні втрати води внаслідок пошкодження труб відбуваються на чавунних мережах, які знаходяться в експлуатації понад 50 років. у 1,5÷2 рази перевищують об'єми витоків на ділянках із сталевих трубопроводів.

Протягом останніх п'ятнадцяти років спостерігається тенденція до зменшення обсягів водоспоживання (до 35%) і збільшення втрат води внаслідок пошкодження застарілих трубопроводів (від 16% до 45%).

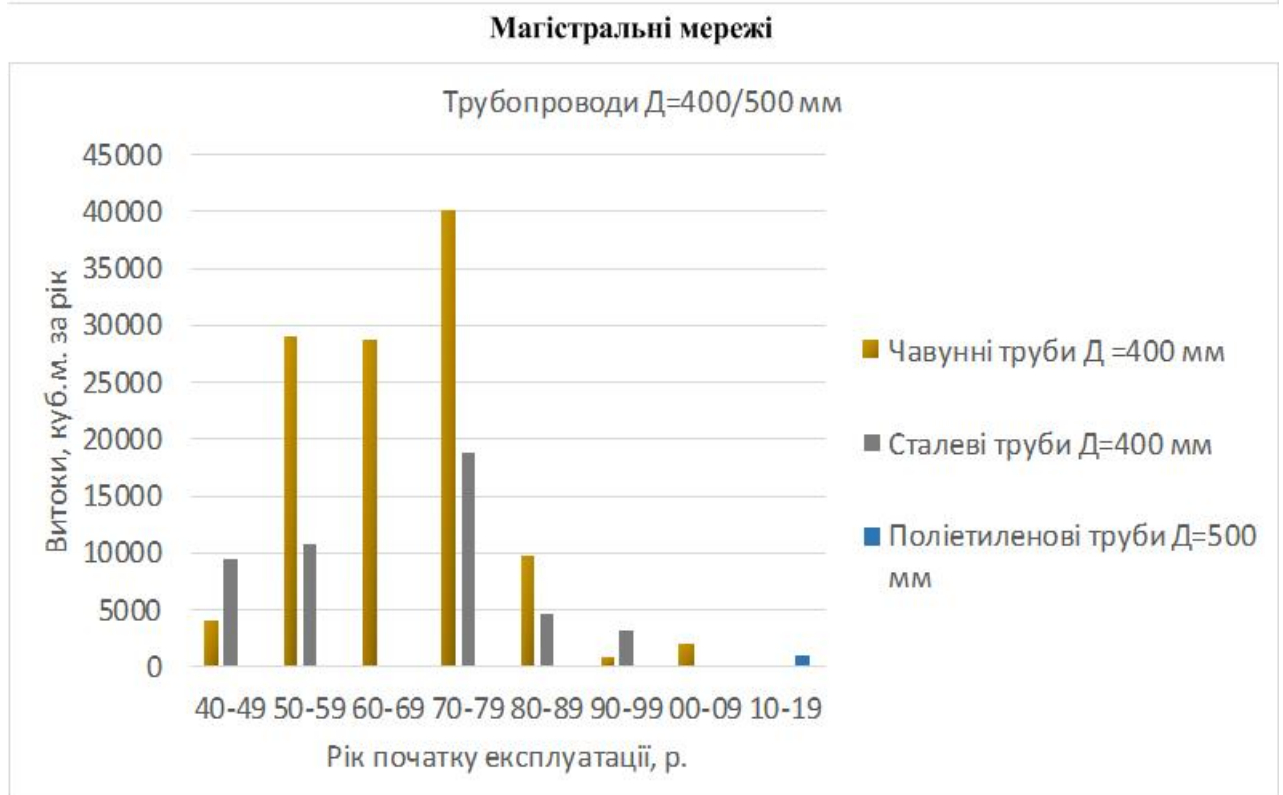
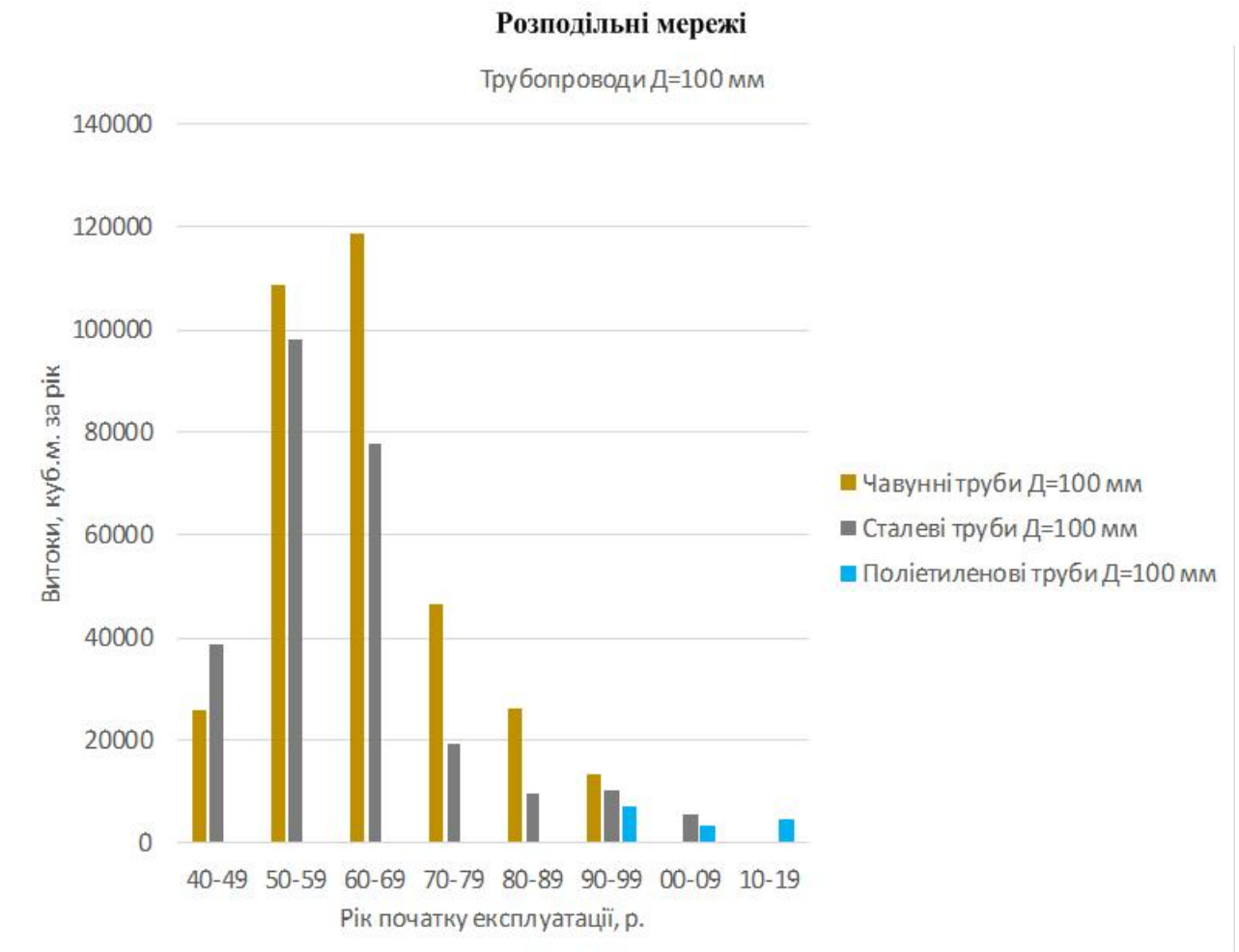


Рис. 1.2 – Результати експлуатації мереж транспортування води

Витрати води виникають у зв'язку із витоками на магістральних та розподільчих ділянках зовнішніх мереж транспортування води і внутрішніх ділянках систем водопостачання. Також наявні втрати води, що визначаються як залишок від всієї кількості води, що знаходиться в мережі. Кількість води, що фактично використовується, визначається шляхом сумування показників індивідуальних лічильників та обсягів, визначених згідно норм водоспоживання у випадках їх відсутності. Втрати води, визначені таким способом, розподілені від 4% до 57%.

Як зазначено у [1], втрати води за звітними даними становили від 30 до 57% для третини підприємств, що відповідало результатам натурних вимірювань. Але фактичні втрати води на у 2-3 рази перевищували звітні дані для інших підприємств. За результатами аналізу питомого водоспоживання населення цей показник у два рази перевищив середні значення реалізованих обсягів водопостачання.

## **1.2 Вплив воєнного стану на функціонування системи водопостачання**

Міська водопровідна система є найбільш енергоємним компонентом муніципальної інфраструктури. Кабінет Міністрів України затвердив стратегію розвитку якості питного водопостачання на наступні чотири роки [7]. Для реалізації цього плану необхідно здійснити понад 1,7 тисяч будівельних заходів, що включає будівництво 280 споруд для очищення води та обробки стоків, понад 300 будівель для забору води, прокладення сотень кілометрів водопровідних мереж, а також забезпечити ефективну роботу установ для контролю якості водопостачання, таких як хімічні лабораторії. У передвоєнний період вдосконалення муніципального господарства України передусім пов'язувалося зі старінням основних фондів систем життєзабезпечення міст. Зараз, урахувавши наслідки воєнних дій, промислові та цивільні будівлі, мережі транспортування води, внутрішнє інженерне обладнання, ландшафтні території потребують відбудови та удосконалення.

Впровадження проєктів цього типу передбачає використання технологій, які ефективно використовують енергію та є екологічно дружніми, а також застосування останніх досягнень у сфері водопостачання та каналізації. [10].

Основна мета роботи міської системи забезпечення життєдіяльності полягає у створенні висококомфортних умов для проживання та підтримці рівня населення.

У умовах війни важливе стає вдосконалення енергоефективності всіх інженерних систем. Для багатьох комунальних підприємств України це становить значний виклик через проведення бойових дій та масованих обстрілів, що має великий вплив на їх функціонування. Це приводить до переміщення населення: збільшення густини споживачів в окремих містах, та зменшення кількості мешканців в інших. Крім того, введення воєнного стану суттєво вплинуло на зміну пріоритетів споживачів у сфері надання послуг водопостачання. Втрати споживачів призвели до зменшення обсягів водопостачання при практично незмінних питомих витратах та значного зниження надходжень. Останнім часом спостерігається стрімке зниження обсягів водоспоживання на більшості території країни. Ця проблема стає особливо актуальною для систем водопостачання в населених пунктах з середньою та великою кількістю мешканців. Забезпечення якісного водопостачання вимагає збалансованих процесів подачі та використання води. Для комунальних підприємств важливим є запровадження економічно обґрунтованих тарифів, для споживачів – енергоефективних режимів експлуатації систем водопостачання. Зі зміною економічної системи господарювання, тенденції раціонального використання води в житлових будинках та на промислових підприємствах будуть тільки продовжуватися.

Головними причинами та проблемами, які на сьогоднішній день ускладнюють енергоефективне утримання житлово-комунального господарства, включають наступні[11]:

- низький рівень впровадження енергоефективних режимів експлуатації систем водопостачання;

-система обліку та регулювання використання води, газу, теплової енергії на всіх етапах виробництва, транспортування, постачання та використання житлово-комунальних послуг є неповною та некомплектованою;

- Недостатнє фінансування та відсутність своєчасного проведення капітального ремонту житлового фонду призводять до погіршення технічного стану інженерного обладнання;

- виникає дефіцит бюджетних коштів, які передбачаються для утримання міських інженерних мереж;

- відзначається нераціональне використання енергоносіїв..

Багато водопровідних систем в Україні вже до початку війни перебували у аварійному стані [12], а конфліктні події ще більше погіршили цю ситуацію: «в аварійному стані знаходиться 35% водопровідних мереж, 38% мереж водовідведення та майже 30% насосних агрегатів» [13].

Під час воєнних дій відбулися значущі зміни в системі водопостачання міст та населених пунктів. Це стало результатом руйнування мереж транспортування води, очисних споруд, а також зміни звичайних режимів подачі води. Особливо негативні наслідки для забезпечення водопостачання виникли внаслідок руйнування Каховської гідроелектростанції. Наслідки цієї техногенної катастрофи несуть загрозу для життя, здоров'я десятків тисяч людей та усіх сфер господарської діяльності.

Отже, у містах, що розташовані близько до лінії фронту, необхідно організувати альтернативні джерела водопостачання, такі як будівництво свердловин для видобутку підземних вод. Також важливо мати резервні джерела енергії, такі як дизель-генератори, для забезпечення подачі води під тиском. Для створення додаткових запасів питної води рекомендується будувати підземні резервуари та забезпечувати умови для очищення води з різних природних джерел у домашніх умовах. Несприятливі обставини, такі як евакуація населення та зменшення обсягів водопостачання, призвели до значного зменшення надходжень у бюджет. Однак, незважаючи на це, питомі витрати залишаються на попередньому рівні. Таким чином, більшість



території країни свідчить про різке зниження обсягів водоспоживання. Ця проблема особливо гостро постає для систем водопостачання міст з середньою та великою чисельністю населення.

Багато водопровідно-каналізаційних господарств під час війни мають спільні проблеми[13]:

- забезпечення підприємства реагентами для дезінфекції питної води, зокрема рідким хлором, є важливим завданням. Українське підприємство "Дніпроазот" є постачальником цього реагента. В умовах війни виникли логістичні труднощі в його транспортуванні через те, що в умовах конфлікту перевезення цього засобу розглядаються як підвищена хімічна небезпека. У сучасній Україні відсутні виробники хлору, тому його імпорт з-за кордону призвів до стрімкого зростання цін. Незважаючи на це, поставки цього засобу для знезараження проводяться стабільно.;

- зросла вартість електроенергії підприємства також закупили генератори;

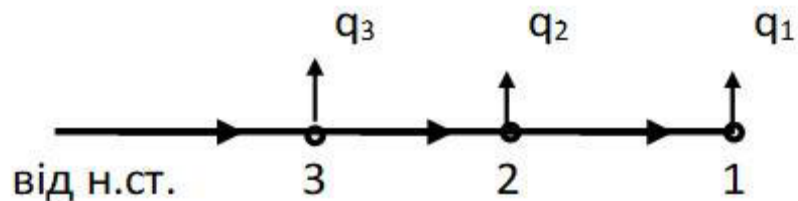
- труднощі, пов'язані із забезпеченням оплати за послуги, пояснюються не лише зменшенням використання води, але й зниженням фінансової здатності споживачів.;

- старі водопровідні мережі, тому необхідно проводити постійні ремонти, Держава фінансувала будівництво мереж за свій рахунок, передала їх у власність обласним радам, а вони в свою чергу передали їх муніципалітетам. Нині активно здійснюється постійна заміна вуличних та квартальних мереж.

Для забезпечення високоякісного водопостачання необхідно здійснити оптимальне вирівнювання процесів подачі та споживання води. Саме ця необхідність висвітлена в рамках національної програми «Відновлення та модернізація житла та інфраструктури регіонів» [14], де основний акцент робиться на відновленні систем водопостачання та будівництві водопровідних мереж.

### 1.3 Особливості розрахунків мереж транспортування води

Для розрахунку кільцевих водопровідних мереж застосовується загальний метод, що використовується професіоналами у галузі водопостачання. Наприклад, у виданні [15] цей метод описується так. Для визначення розрахункових витрат на конкретних ділянках мережі транспортування води необхідно з'ясувати фактичні витрати води в вузлах мережі. В розрахунковій схемі можна врахувати всі ці витрати за умови, що кількість водорозбірних вузлів є невеликою, і витрата в кожному вузлу визначена. Однак це неможливо виконати при розрахунку мереж з великою кількістю вузлів.



$q_1, q_2, q_3$  – вузлові витрати води; н.ст. – насосна станція

Рисунок 1.3 – Схема розбору води з тупикової мережі

В окремих вузлах визначаються спожиті витрати. Фактична схема відбору води з мережі має велику кількість зосереджених витрат. Підготовка мережі до розрахунку є складним процесом, оскільки потрібна інформація про реальні значення довжини ділянок, діаметр і гідравлічні характеристики, такі як витрата, швидкість течії та втрати напору.

Щоб зменшити кількість розрахунків для мереж, використовується спрощена схема водоспоживання. У цьому випадку припускається, що вода рівномірно використовується на одиницю довжини мережі. Витрата, яка береться з одиниці довжини, називається питомою витратою і визначається за допомогою формули:

$$q_{\text{пит.}} = Q_M / \sum l, \quad (1.1)$$

де  $Q_M$  – загальна витрата води в мережі для розрахункового режиму, л/с;

$\sum l$  – сумарна довжина ліній, м.

При визначенні питомої витрати слід враховувати окремих споживачів у вигляді концентрованих відборів. Таким чином, питома витрата буде розраховуватися за визначеною формулою.

$$q_{num} = (Q_m - Q_{zoc}) / \sum l, \quad (1.2)$$

де  $Q_{zoc}$  – сумарна зосереджена витрата міста, л/с.

У містах питомі витрати визначаються індивідуально для кожного району. Проводиться гідравлічний розрахунок лише для магістральної мережі, тому сума  $\sum l$  включає в себе лише довжину магістралей. Важливо враховувати, що в цю суму не включається довжина магістралей, які служать лише для транспортування води, а не для її розподілу (наприклад, ділянки, що пролягають через незабудовані території або використовуються для транзитного транспортування води) [15]. При відборі води лише з одного боку з ділянки магістральної мережі, половина довжини цієї ділянки враховується у сумі  $\sum l$ .

При проведенні розрахунків мережі, визначається питома витрата за окремі розрахункові години (годину максимального водоспоживання, годину максимального водоспоживання при пожежі, годину максимального транзиту води у вежу для мереж з контррезервуарами). Шляхова витрата дорівнює:

$$Q_{шл} = q_{num} \sum l_{dil}, \quad (1.3)$$

де  $l_{dil}$  – довжина ділянки.

Якщо вся мережа міста поділена на ділянки і для кожної ділянки визначені значення шляхових витрат  $Q_{шл}$ , то для всієї мережі сумарні шляхові витрати  $\sum Q_{шл}$  можна визначити за формулою

$$\sum Q_{шл} = Q_m - Q_{zoc}, \quad (1.4)$$

де  $\sum Q_{шл}$  – сума шляхових витрат;

$Q_m$  – загальна витрата води в мережі;

$Q_{zoc}$  – зосереджена витрата.

Якщо фактичну схему розбору води з мережі замінити рівномірним відбором, то її ділянками проходитимуть змінні витрати. Витрата  $Q_{шл}$  подається до вихідного вузла ділянки, де вона повністю розподіляється на

даній ділянці, як показано на рис. 3.3.2.5, А. Якщо цією ділянкою проходить ще й транзитна витрата, то вона залишиться в кінці ділянки (рис. 1.4, Б).

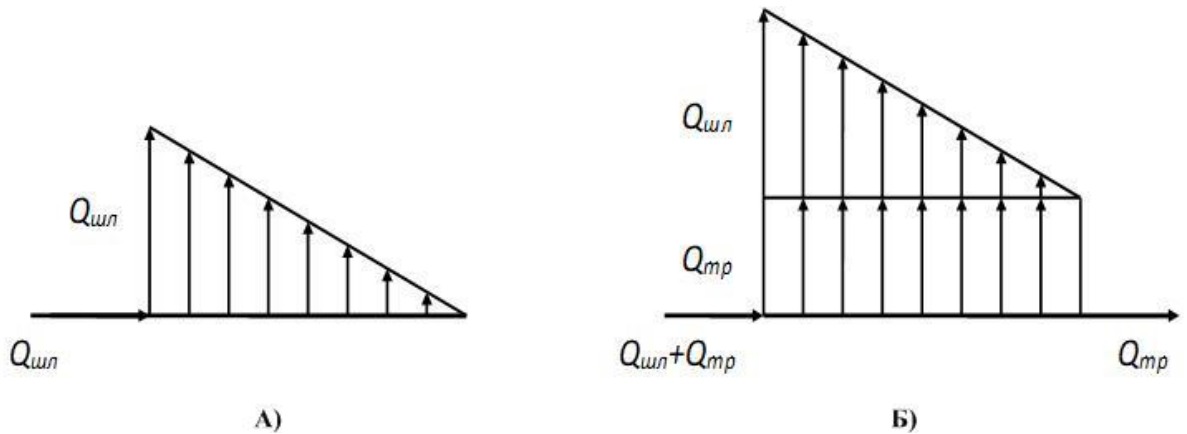


Рисунок 1.4 – Схема вузлових витрат води на ділянці мережі

Отже, необхідно враховувати втрати напору для змінних витрат води. Для проведення розрахунків водопровідних мереж застосовуються програмні модулі, такі як наксалт [16, 17, 18]. Проте для цього важлива інформація про фактичні витрати на різних ділянках мережі. Сучасні засоби вимірювання, такі як ультразвукові витратоміри, контролери та задавачі стану мережі, дозволяють проводити необхідні вимірювання для ідентифікації параметрів статистичних моделей, таких як витрати на різних ділянках мережі та напори в її вузлах. Оскільки не можливо обладнати всі ділянки мережі витратомірами, необхідно застосовувати оновлення інформаційних даних, що вимагає використання додаткових програмних модулів та врахування різних факторів, що впливають на гідравлічні характеристики мережі [18].

#### **1.4 Аналіз факторів, що впливають на розподіл тиску в мережах транспортування води**

Основою для проведення гідравлічних розрахунків є створення моделей, які відображають роботу мереж транспортування води. На сьогодні існують розроблені методики для побудови таких моделей [17,18]. Проте, навіть при наявності повної інформації щодо параметрів водопровідної мережі, важко створити її адекватну модель через її величезний розмір та складність отримання та обробки вихідних даних. Основними критеріями

функціонування мережі транспортування води є гідравлічні характеристики потоку, такі як витрата води на різних ділянках мережі та напір у вузлах. Діапазони змін цих показників зумовлені невизначеністю водоспоживання та залежать від змін опору трубопроводів та можливого руйнування окремих ділянок мережі протягом експлуатації.

Крім того, гідравлічні умови роботи піддаються змінам під впливом різних факторів, таких як стан окремих ділянок мереж транспортування води та структура водоспоживання. Зони підвищеного та зниженого тиску є основними кількісними показниками якості водопостачання. Для полегшення розрахунків водопровідних мереж замість фактичного відбору в мережі використовується схема вузлових відборів. Проте при зміні вузлових відборів відбувається зміна водовідбору у всіх точках ділянок мережі. Тому при визначенні меж зон недостатнього напору важливо враховувати не лише зміни напорів у вузлах, але й на ділянках мережі. Без врахування цих факторів тиск у вузлах мережі може виходити за нормативні значення. Згідно з [19], у вузлах водопровідної мережі має виконуватися певна умова.

$$H_{ei} < H_n, \quad (1.5)$$

де  $H_{ei}$  – значення вільного напору в  $i$ -му вузлу, м;

$H_n$  – значення необхідного напору [п. 6.3.1],

м.

Надмірний напір спричинює збільшення втрат води, що, в свою чергу, призводить до зростання загальної подачі води в систему водопостачання. Цю величину можна зменшити на 30-50% шляхом регулювання напорів води. В [19, п. 6.3.1] дослідженнях вказано, що непродумані витрати води, зниження напорів нижче необхідних та перевищення максимально допустимих значень (45 м. в.) не викликані лише непридатністю мереж, але й неідеальністю конструктивних схем. У рекомендаціях стосовно їх удосконалення, зокрема, вказано, що слід мінімізувати довжини магістральних ділянок, підключати районні мережі до магістральних через дроселі в вузлах регулювання, а також встановлювати регулятори тиску та підвищувальні насосні станції в вузлах регулювання для підтримки необхідних напорів в контрольних вузлах.

Вода, що подається в мережу водоживлювачами, проходить від окремих районів живлення різний по довжині шлях. Для найвіддаленіших районів (груп будинків) умови для живлення найнесприятливіші. Зі збільшенням відстані транспортування води збільшуються втрати напору, що призводить до зменшення п'єзометричних позначок в найвіддаленіших точках мережі. Внаслідок цього, в області низького тиску найчастіше потрапляють споживачі, розташовані на найвіддаленіших відділеннях, які в першу чергу відчувають недостаток води при інтенсифікації загального відбору із мережі. Зниження тиску в мережі спочатку призводить до зменшення інтенсивності відбору води, а згодом може призвести до повної припинення її подачі до найвіддаленіших і високо розташованих точок водозабезпечення. У верхні поверхи будинків вода може не подаватися взагалі. Найвіддаленіші споживачі опиняються у найбільш несприятливому положенні щодо надійності їх водопостачання. Для визначення компенсації недостачі води необхідно оцінити, як утворення зон низького тиску впливає на водозбір в мережі.

Імовірність виникнення зон низького та високого тиску існує при змінах гідравлічних параметрів мережі, що може бути обумовлено змінами пропускної спроможності ділянок з часом, розширенням забудови нових житлових районів, спорудженням високоповерхових будинків та змінами у структурі водоспоживання [20,21,22]. Розміри цих зон залежать не лише від схеми водопровідних мереж, але й від місцевого рельєфу, оскільки однією з компонентів п'єзометричного напору є висота рельєфу або фактичний вільний напір у вузлах мережі. Структура водоспоживання може змінюватися як внаслідок перерозподілу водозабору між окремими споживачами за постійної загальної витрати, так і при з'яві нових споживачів [18].

Умови проведення воєнних дій та руйнування міської інфраструктури можуть значно вплинути на надання послуг із водопостачання населенню. У кваліфікаційній роботі розглядається вплив структури водозабору на гідравлічні характеристики системи транспортування води.

## 1.5 Задачі кваліфікаційної роботи

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження впливу структури водоспоживання на гідравлічні характеристики мережі: значення тисків у вузлах мережі транспортування води.

Задачі кваліфікаційної роботи:

- гідравлічне ув'язування мережі транспортування води;
- моделювання зменшення водоспоживання споживачами із кроком 25% спочатку для окремих, а потім для всіх районів;
- аналіз фактичних витрат води в ділянках водопровідної мережі;
- визначення та аналіз напорів у вузлах мережі;
- розробка рекомендації щодо дотримання енергоефективних режимів експлуатації мережі транспортування води з урахуванням змін у навантаженні на систему.

## РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Характеристика об'єкта дослідження

Об'єкт дослідження – місцевість із населенням у кількості 114,6 тис. осіб. За характером забудови територія міста розділена на три округи. У першому й третьому округах переважають будинки із дев'ятьма поверхами, тоді як у другому окрузі розташовані п'ятиповерхові будівлі, обладнані внутрішнім водопроводом, каналізацією та ваннами із місцевими водонагрівачами. Кількість мешканців у кожному окрузі міста розрахована за формулою:

$$N_i = P_i \times F_i \quad (2.1)$$

де  $P_i$  – густина населення, чол/га;

$F_i$  – площа і-го району.

$N_1 = 57750$  мешканців;  $N_2 = 30000$  мешканців.;  $N_3 = 26900$  мешканців.

$N_1=34670$  мешканців,  $N_2=30000$  мешканців,  $N_3=26900$  мешканців.

У місті є два промислових підприємства, характеристики яких представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика підприємств

Назва підприємства	Витрата води на од. продукції	Продуктивність підприємства	Витрата води на виробництво	Кількість працюючих по змінах			Категорія пожежної безпеки
	м <sup>3</sup> /т	т/доб	м <sup>3</sup> /доб	1	2	3	
№1 (безалкогольні напої)	10	240	2400	3400	2000	1600	I,II Б,В
Підприємство №2 (хлібобулочні вироби)	90	200	1800	2100	1200	800	III Д



Кількість робітників за видами цехів холодних та гарячих розподіляються: для 1- го підприємства в гарячих цехах – 30%, для 2- го підприємства – 40%.

## 2.2 Методика дослідження

За вихідними даними розраховуються витрати води, виконується гідравлічний розрахунок мережі, за результатами якого визначаються п'єзометричні позначки та вільні напори вузлах. В дослідженнях розглянута зміна структури водорозбору внаслідок відмов споживачів від послуг централізованого гарячого водопостачання. Моделювання зміни водорозбору здійснено шляхом зміни вузлових відборів води у кількості 25%, 50%, 100% споживачів усіх округів послідовно, та 1/4, 1/2, та всіх споживачів у трьох районах одночасно. На рис. 2.1 показані території зі змінами у водорозборі.

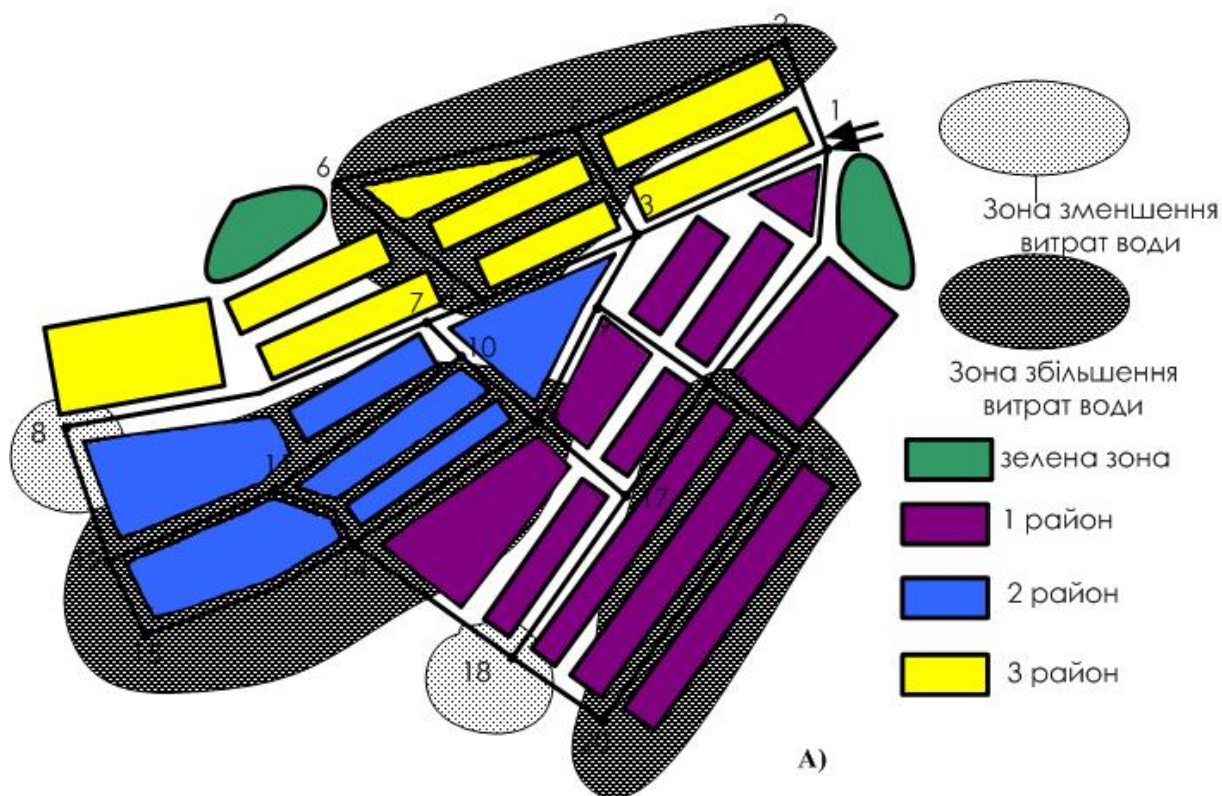


Рисунок 2.1 – Схема моделювання структури водорозбору

Для кожного варіанту зміни водорозбору складається розрахункова схема поточкорозподілу у водопровідній мережі та виконується гідравлічний розрахунок. За результатами гідравлічного розрахунку визначаються п'єзометричні позначки та вільні напори у всіх вузлах відносно вузла 1.

## РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ГІДРАВЛІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ МЕРЕЖІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ З УРАХУВАННЯМ СТРУКТУРИ ВОДОРОЗБОРУ

### 3.1 Формування вихідних даних

#### 3.1.1 Визначення розрахункових витрат

Середньодобова витрата води і-го району розраховується за формулою, м<sup>3</sup>/доб:

$$Q_{\text{доб}i} = N_i \times q_i / 1000, \quad (3.1)$$

де  $q_i$  – питоме господарсько-питне водоспоживання на одного мешканця, 260 л/доб [1, табл.1].

Розрахункові витрати води для окремих районів у добу найбільшого та найменшого водоспоживання, м<sup>3</sup>/доб, визначені за формулами:

$$Q_{\text{доб.макс}i} = K_{\text{доб.макс}i} \times Q_{\text{доб}i}, \quad (3.2)$$

$$Q_{\text{доб.мін}i} = K_{\text{доб.мін}i} \times Q_{\text{доб}i} \quad (3.3)$$

де  $K_{\text{доб.макс}i}$ ,  $K_{\text{доб.мін}i}$  – відповідно максимальний і мінімальний коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання і-го району [1, п. 6.2.1].

Результати розрахунку добової витрати води на господарсько-питні потреби приведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Добові витрати води на господарсько-питні потреби населення міста

Райони населеного пункту	Розрахункова чисельність мешканців, чол	Питоме середньодобове водоспоживання,	Коефіцієнти добової нерівномірності		Добові витрати води, м <sup>3</sup> /доб		
					$K_{\text{доб.макс}i}$	$K_{\text{доб.мін}i}$	$Q_{\text{доб}i}$
1	34670	260	1,2	0,6	9014,2	<b>10817</b>	5409
2	30000				7800	<b>9347</b>	4680
3	26900				6984	<b>8399</b>	4190
	<b>114650</b>				23798	<b>28563</b>	14279

Відповідно до [19, табл. А.2] добова витрата води на поливання вулиць та зелених насаджень визначена за витратою води на поливку вулиць в перерахунку на одного мешканця, яка становить для лісо-степної зони середнього за кількістю мешканців ( $N=114650$ ) міста – 50 л/ (доб×мешканця). Витрата на полив  $50 \times 114650 = 5806 \text{ м}^3/\text{доб}$ . Із загальної витрати води на полив 30% – двірниками –  $4064 \text{ м}^3/\text{доб}$ , а 70% машинами –  $1742 \text{ м}^3/\text{доб}$ . Для промислових підприємств визначені наступні розрахункові витрати: витрати на господарсько-питні потреби робітників, витрати на душ та виробничі витрати.

Відповідно до [19, п.6.1.5 ] витрати води на господарсько-питні потреби робітників визначені для кожної зміни з урахуванням питомого водоспоживання: для гарячих цехів – 45 л/зміну на 1 робітника, для холодних цехів – 25 л/зміну на 1 робітника, та загальної кількості працюючих, результати розрахунку представлені у таблиці 3.2.

Витрата води на використання душу на промисловому підприємстві визначені по формулі:

$$Q = 0,5 \times \sum \frac{N_i}{n_i}, \quad (3.3)$$

де 0,5 – витрата води за одну годину [14],  $\text{м}^3$

$N_i$  – загальна кількість працюючих, чол;

$n_i$  – кількість чоловік на одну душову точку для кожної санітарної групи виробничого процесу, чол. [15].

Витрати води на використання душу на промислових підприємствах зведені в табл. 3.3.

### 3.1.2 Режим водоспоживання населеного пункту

Режим водоспоживання води на господарсько-питні потреби кожного району визначений з урахуванням максимального коефіцієнта годинної нерівномірності:

$$K_{\text{макс}} = \alpha_{i_{\text{макс}}} \times \beta_{i_{\text{макс}}}, \quad (3.4)$$

Таблиця 3.2 – Витрата води на господарсько-питні потреби робітників промислових підприємств

Промислове підприємство	Зміни роботи	Кількість працюючих, $N_i$ , чол	Гарячий цех			Холодний цех			Загальна витрата, $Q_p$ , м <sup>3</sup>
			$N_g$ , чол	Питома витрата води на 1 прац., л/зм	Витрата води, $Q_g$ , м <sup>3</sup>	$N_x$ , чол	Питома витрата води на 1 прац., л/зм	Витрата води, $Q_x$ , м <sup>3</sup>	
№1	1	3400	1020	45	45,9	2380	25	59,5	105,4
	2	2000	600		27	1400		35	62
	3	1600	480		21,6	1120		28	49,6
	<i>Разом:</i>	<i>7000</i>	2100		94,5	4900		122,5	217
№2	1	2100	840	45	37,8	1260	25	31,5	69,3
	2	1200	480		21,6	720		18	39,6
	3	800	320		14,4	480		12	26,4
	<i>Разом:</i>	<i>4100</i>	1640		73,8	2460		61,5	135,3
<b>Разом:</b>		<b>11100</b>	<b>3740</b>		<b>168,3</b>	<b>7360</b>		<b>184,00</b>	<b>359,3</b>

Таблиця 3.3 – Витрати води на використання душі на промислових підприємствах

Промислове підприємство	Вид цеха	Кількість працюючих по змінам, чол			Група виробничого процесу та санітарна характеристика	Кількість людей на одну душеву сітку	Кількість працюючих душевих сіток в зміну			Витрати води по змінам		
		1	2	3			1	2	3	1	2	3
1	Холодні цеха	2380	1400	1120	не приводять до забруднення одягу та рук (Ia)	15						
	Гарячі цеха	1020	600	480	приводять к забрудненню одягу та рук (Iб)	7	159	93	75	79,33	46,67	37,33
<i>Разом</i>		<i>3400</i>	<i>2000</i>	<i>1600</i>			<i>304</i>	<i>179</i>	<i>143</i>	<b><i>152</i></b>	<b><i>90</i></b>	<b><i>72</i></b>
2	Холодні цеха	1260	720	480	не приводять до забруднення одягу та рук (Ia)	15	84	48	32	42	24	16
	Гарячі цеха	840	480	320	приводять к забрудненню одягу та рук (IIв)	5	168	96	64	84	48	32
<i>Разом</i>		<i>2100</i>	<i>1200</i>	<i>800</i>			<i>252</i>	<i>144</i>	<i>96</i>	<b><i>126</i></b>	<b><i>72</i></b>	<b><i>48</i></b>
Разом для двох підприємств		<b>5500</b>	<b>3200</b>	<b>2400</b>			<b>556</b>	<b>323</b>	<b>239</b>	<b>278</b>	<b>162</b>	<b>120</b>

де  $\alpha_{i_{\max}}$  – коефіцієнт, що враховує рівень комфорту будівель, режим функціонування підприємства та інші фактори;

$\beta_{i_{\max}}$  – коефіцієнт, що враховує кількість мешканців у даному регіоні. [19, табл.2]. Для 1 району:  $K_{1_{\max}} = 1,35$ ; для 2 району:  $K_{2_{\max}} = 1,5$ ; для 3 району:  $K_{3_{\max}} = 1,45$

Прийнято наступний режим витрати води на полив: силами двірників (3 години вранці та 4 години ввечері). Полив машинами здійснюється безперервно протягом двох робочих змін (16) годин.

Годинна витрата води на полив:

$$Q_{\text{пол}} = Q_{\text{сут.пол.}} / T_{\text{пол}}, \quad (3.53)$$

де  $Q_{\text{доб.пол.}}$  – витрата води на полив (двірниками та машинами),  $\text{м}^3/\text{доб}$

$T_{\text{пол.}}$  – тривалість поливу, год.

Прийнято рівномірний режим витрати води на виробничі потреби протягом доби. Витрата води на виробництві для господарсько-питних потреб розрахована із урахуванням коефіцієнтів годинної нерівномірності: У приміщеннях з високою температурою - 2,5, в прохолодних - 3,0. Використання води для душу відбувається після закінчення зміни. Розрахункові витрати для потреб міста наводяться в табл. 3.5.

В централізованій системі із мереж гарячого водопостачання від центральних теплових пунктів (ЦТП) за добу подається користувачам до 40% від загальної витрати. У всіх районах населеного пункту система гарячого водопостачання підживлюється від ЦТП, які розташовані в двох районах міста: ЦТП 1 (вузол №.18) обслуговує перший район міста, ЦТП 2 (вузол № 8) обслуговує 2 та 3 райони міста. Від загальної норми добового водоспоживання норма холодної води для районів буде складати 60%, а гарячої води – 40%.

Таблиця 3.4 – Загальне водоспоживання населеного пункту за годинами доби

Годин доби	Водоспоживання води населенням																	
	Господарсько-питні потреби												Витрати на полив вулиць та зелених насаджень					
	1 район				2 район				3 район				1 район, м <sup>3</sup>		2 район, м <sup>3</sup>		3 район, м <sup>3</sup>	
	%	х.в. м <sup>3</sup>	%	г.в. м <sup>3</sup>	%	х.в. м <sup>3</sup>	%	г.в. м <sup>3</sup>	%	х.в. м <sup>3</sup>	%	г.в. м <sup>3</sup>	двірн	машин	двірн	машин	двірн	машин
0-1	3	194,7	4,17	180,4	1,45	81,32	4,17	155,87	2	100,78	4,17	140,07						
1-2	3,1	201,19	4,17	180,4	1,45	81,32	4,17	155,87	2,1	105,82	4,17	140,07						
2-3	2,5	162,25	4,17	180,4	1,5	84,12	4,17	155,87	1,8	90,70	4,17	140,07						
3-4	2,6	168,74	4,17	180,4	1,5	84,12	4,17	155,87	1,9	95,74	4,17	140,07		54				
4-5	3,5	227,15	4,17	180,4	2,5	140,20	4,17	155,87	2,85	143,61	4,17	140,07	256	54		29		
5-6	4,1	266,09	4,17	180,4	3,5	196,28	4,17	155,87	3,7	186,44	4,17	140,07	256	54	133	29		25
6-7	4,5	292,05	4,17	180,4	4,5	252,36	4,17	155,87	4,5	226,76	4,17	140,07	256	55	133	29	119	25
7-8	4,9	318,01	4,17	180,4	5,5	308,44	4,17	155,87	5,3	267,07	4,17	140,07	255	55	133	29	119	25
8-9	4,9	318,01	4,16	180,0	6,25	350,50	4,16	155,50	5,8	292,26	4,16	139,73		55	133	29	119	25
9-10	5,7	369,93	4,17	180,4	6,25	350,50	4,17	155,87	5,96	300,32	4,17	140,07		55		28	119	25
10-11	4,9	318,01	4,16	180,0	6,4	358,91	4,16	155,50	5,8	292,26	4,16	139,73		55		28		25
11-12	4,7	305,03	4,17	180,4	6,25	350,50	4,17	155,87	5,7	287,22	4,17	140,07		55		28		25
12-13	4,4	285,56	4,16	180,0	5	280,40	4,16	155,50	4,8	241,87	4,16	139,73		55		28		26
13-14	4,1	266,09	4,17	180,4	5	280,40	4,17	155,87	4,7	236,83	4,17	140,07		55		28		26
14-15	4,1	266,09	4,16	180,0	5,5	308,44	4,16	155,50	5,05	254,47	4,16	139,73		55		28		26
15-16	4,4	285,56	4,17	180,4	6	336,48	4,17	155,87	5,3	267,07	4,17	140,07		55	132	28		26
16-17	4,3	279,07	4,16	180,0	6	336,48	4,16	155,50	5,45	274,63	4,16	139,73	256	55	132	28		26
17-18	4,1	266,09	4,17	180,4	5,5	308,44	4,17	155,87	5,05	254,47	4,17	140,07	256	55	133	28	119	26
18-19	4,5	292,05	4,16	180,0	5	280,40	4,16	155,50	4,85	244,39	4,16	139,73	256	55	133	29	119	26
19-20	4,5	292,05	4,17	180,4	4,5	252,36	4,17	155,87	4,5	226,76	4,17	140,07	256			29	120	26
20-21	4,5	292,05	4,16	180,0	4	224,32	4,16	155,50	4,2	211,64	4,16	139,73					120	26
21-22	4,8	311,52	4,17	180,4	3	168,24	4,17	155,87	3,6	181,40	4,17	140,07						
22-23	4,6	298,54	4,16	180,0	2	112,16	4,16	155,50	2,89	145,63	4,16	139,73						
23-24	3,3	214,17	4,17	180,4	1,45	81,32	4,17	155,87	2,2	110,86	4,17	140,07						
Σ	100	6490	100	4326	100	5608	100	3738	100	5039	100	3359	2047	877	1062	455	954	409

Продовження табл. 3.4

Витрата води на промислових підприємствах												Загальна витрата	
Підприємство 1						Підприємство 2							
Гарячий цех		Холодний цех		Витрата на душ	Виробн потреби	Гарячий цех		Холодний цех		Витрата на душ	Виробн потреб	м <sup>3</sup>	%
%	м <sup>3</sup>	%	м <sup>3</sup>			%	м <sup>3</sup>	%	м <sup>3</sup>				
15,65	4,2	18,75	6,6	90	100	15,65	3,4	18,75	3,4	48	75	1183,74	3,00
12,05	2,6	6,25	1,8		100	12,05	1,74	6,25	0,8		75	1046,60	2,65
12,05	2,6	12,5	3,5		100	12,05	1,74	12,5	1,5		75	997,75	2,53
12,05	2,6	12,5	3,5		100	12,05	1,74	12,5	1,5		75	1063,28	2,69
12,05	2,6	18,75	5,3		100	12,05	1,74	18,75	2,3		75	1513,24	3,83
12,05	2,6	6,25	1,8		100	12,05	1,74	6,25	0,8		75	1804,09	4,57
12,05	2,6	12,5	3,5		100	12,05	1,74	12,5	1,5		75	2048,84	5,19
12,05	2,6	12,5	3,5		100	12,05	1,74	12,5	1,5		75	2170,20	5,50
15,65	3,4	18,75	5,3	72	100	15,65	2,25	18,75	2,3	72	75	2129,22	5,39
12,05	5,5	6,25	3,7		100	12,05	4,6	6,25	2,0		75	1914,89	4,85
12,05	5,5	12,5	7,4		100	12,05	4,6	12,5	3,9		75	1748,78	4,43
12,05	5,5	12,5	7,4		100	12,05	4,6	12,5	3,9		75	1723,49	4,37
12,05	5,5	18,75	11,2		100	12,05	4,6	18,75	5,9		75	1594,23	4,04
12,05	5,5	6,25	3,7		100	12,05	4,6	6,25	2,0		75	1559,46	3,95
12,05	5,5	12,5	7,4		100	12,05	4,6	12,5	3,9		75	1609,60	4,08
12,05	5,5	12,5	7,4		100	12,05	4,6	12,5	3,9		75	1802,85	4,57
15,65	7,2	18,75	11,2	152	100	15,65	5,9	18,75	5,9	126	75	2345,57	5,94
12,05	3,3	6,25	2,2		100	12,05	2,6	6,25	1,1		75	2106,54	5,34
12,05	3,3	12,5	4,4		100	12,05	2,6	12,5	2,3		75	2097,64	5,31
12,05	3,3	12,5	4,4		100	12,05	2,6	12,5	2,3		75	1866,10	4,73
12,05	3,3	18,75	6,6		100	12,05	2,6	18,75	3,4		75	1540,10	3,90
12,05	3,3	6,25	2,2		100	12,05	2,6	6,25	1,1		75	1321,70	3,35
12,05	3,3	12,5	4,4		100	12,05	2,6	12,5	2,3		75	1219,12	3,09
12,05	3,3	12,5	4,4		100	12,05	2,6	12,5	2,3		75	1070,28	2,71
	<b>94,5</b>		<b>122,5</b>	<b>314</b>	<b>2400</b>		<b>73,8</b>		<b>61,5</b>	<b>246</b>	<b>1800</b>	<b>39476</b>	<b>100</b>



## 3.2 Гідравлічні розрахунки мережі транспортування води з урахуванням структури водорозбору

### 3.2.1 Розрахунок питомих, шляхових та вузлових витрат

Добові витрати води для кожного району складають:

Для 1 району:  $Q_1 = 10817 \text{ м}^3/\text{добу}$ , 2 району:  $Q_2 = 9347 \text{ м}^3/\text{добу}$  і 3 району:  $Q_3 = 8399 \text{ м}^3/\text{добу}$ . Витрати гарячої та холодної води в районах розподілені наступним чином:

- 1 район: гаряче водопостачання  $0,4 \times 10817 = 4326,8 \text{ м}^3/\text{добу}$ ; холодне водопостачання:  $0,6 \times 10817 = 6490,2 \text{ м}^3/\text{добу}$ ;
- район: гаряче водопостачання  $0,4 \times 9347 = 3738,8 \text{ м}^3/\text{добу}$ ; холодне водопостачання:  $0,6 \times 9347 = 5608,2 \text{ м}^3/\text{добу}$ ;
- 3 район: гаряче водопостачання  $0,4 \times 8399 = 3359,6 \text{ м}^3/\text{добу}$ ; холодне водопостачання:  $0,6 \times 8399 = 5039,4 \text{ м}^3/\text{добу}$ .

Розрахункові витрати по районах представлені у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Розрахункові витрати для години 16-17 (максимальне водоспоживання)

Споживачі	Розрахункові максимальні витрати			
	Рівномірний відбір		Зосереджений відбір	
	Годинна, м <sup>3</sup> /год	секундна, л/с	Годинна, м <sup>3</sup> /год	Секундна, л/с
<b>Населення</b>				
I район	279,07	77,52		
II район	336,48	93,46		
III район	274,63	76,28		
<b>Центральний тепловий пункт</b>				
I район			180,0	50,0
II район			154,8	43
III район			140,4	39
<b>Витрати на полив</b>				
I район	311	86,38		
II район	160	44,44		
III район	26	7,22		
<b>Виробництво</b>				
Підприємство 1			270	75
Підприємство 1			212,4	59
<b>Разом:</b>	<b>1387,18</b>	<b>386,36</b>	<b>957,6</b>	<b>266</b>
	<b>651,56 л/с = 2345,57 м<sup>3</sup>/год</b>			

При максимальному водоспоживанні визначається питома витрата для кожного району:

$$q_{инт} = Q_i / \sum l_i, \quad (3.6)$$

де  $Q_i$  – споживання води в  $i$ -му районі, ( табл. 2.4);

$\sum l_i$  – протяжність водопровідних ділянок магістральної лінії кожного району, м.

Довжина ділянок, які знаходяться на межі двох районів, а також ділянок, до яких споживачі приєднані тільки з однієї сторони, враховується у половинному розмірі.

$q_{\text{пит 1 району}} = 164/6453 = 0,0254$  л/с;  $q_{\text{пит 2 району}} = 138/5841 = 0,0236$  л/с;

$q_{\text{пит 3 району}} = 83,5/2977 = 0,028$  л/с.

Шляхові витрати визначаються:

$$Q_{\text{шлях}} = q_{\text{питі}} \times l_{\text{діл}}, \quad (3.7)$$

де  $l_{\text{діл}}$  – розрахункова довжина ділянки, м.

У табл.3.6 приведені результати розрахунку шляхових витрат на ділянках для години максимального водоспоживання.

Вузлові витрати визначені за формулою

$$Q_{\text{вуз. j}} = 0,5 \left( \sum Q_{\text{шлях}} \right)_{\text{вузл}}, \quad (3.8)$$

де  $\left( \sum Q_{\text{шлях}} \right)_{\text{вузл}}$  – сума шляхових витрат ділянок, які приєднуються до вузла.

У табл.2.7 приведені результати розрахунку вузлових витрат для режиму максимального водоспоживання. Витрати води на потреби підприємств здійснюються у вузлах №20 та № 6 (для підприємств №1 та №2 відповідно).

Для всіх вузлів виконується умова балансу вузлових та шляхових витрат:

$$\sum Q_{\text{шлях}} = \sum Q_{\text{вузл}} \quad (3.9)$$

Таблиця 3.6 – Шляхові витрати

Перший район															
Неділянки	16-1	19-16	20-19	18-20	17-18	17-16	3-1	9-3	13-9	14-13	18-14	17-13	19-9		
Довжина L, м	1130	433	1397	458	820	678	887	326	540	902	800	489	560		
Розрахункова довжина, L, м	197,5 720	433	698,5	229	820	578	443,5	163	270	451	400	489	560	$\sum$ 6453	
Q <sub>шт.</sub> , л/с	0,0254														
Шляхова витрата, л/с	5,06 18,43	11,08	17,88	5,86	20,99	14,8	11,35	4,17	6,91	11,55	10,24	12,52	14,34		
Другий район															
Неділянки	9-3	13-9	14-13	15-14	15-12	12-8	8-7	7-4	4-3	12-10	10-7	14-11	11-10	12-11	
Довжина L, м	326	540	902	940356	602	512	512 1048	294	665	404	215	410	961	758	
Розрахункова довжина, l, м	163	270	451	470	178	301	256 524	147	332,5	404	215	410	961	758 $\sum$ 5841	
Q <sub>шт.</sub> , л/с	0,0236														
Шляхова витрата, л/с	3,85	6,37	10,64	11,09	4,20	7,10	6,04	12,37	3,47	7,85	9,53	5,07	9,68	22,68	17,89
Третій район															
Неділянки	2-1	3-1	5-2	5-3	4-3	6-4	6-5	8-7		Сума шляхових витрат					
										$\sum$ 386,4					

Таблиця 3.7– Вузлові витрати

Нумер вузла	Ділянки, що приєднані до вузла	$(\sum Q_{\text{ділянок}})_{\text{вузл}}$ , л/с	Вузлова витрата $Q_{\text{вузл}}$
1	1-2; 1-3; 1-16	54	27
2	5-2; 1-2	20	10
3	1-3; 9-3; 3-4; 3-5;	58	29
4	4-3; 7-4; 4-6	26	13
5	5-2; 5-6 5-3	42	21
6	6-4; 5-6	25	12,5
7	8-7; 7-10; 4-7	34	17
8	12-8; 7-8	33	16,5
9	16-9;9-3; 13-9	36	18
10	13-10; 10-7;10-11	37	18,5
11	12-11; 10-11; 14-11	50	25
12	15-12; 11-12; 12-8	29	14,5
13	17-13;14-13; 13-9;13-10	58	29
14	18-14; 14-13; 15-14;14-11	53	26,5
15	14-15;15-12	15,4	7,2
16	17-16;16-1;16-19; 9-16	64	32
17	18-17; 17-13; 17-16	48	24
18	20-18; 18-17; 18-14	37	18,5
19	20-19; 19-16	30	15
20	20-19; 20-18	24	12
$\Sigma$		<b>772,4</b>	<b>386,2</b>

### 3.2.2 Гідравлічний розрахунок мережі транспортування води

Розрахункова схема початкового розподілу потоків води по ділянках мережі представлена на рис. 2.1

Попереднє визначення розрахункових витрат для кожної ділянки здійснено відносно вузлів, в яких «сходяться» потоки: №.8; №20. Розподіл води вузла сходу здійснюється між сегментами водопровідної мережі, які з'єднуються з цим вузлом, за певних умов:

$$\sum q_{i-k} - Q_{\text{вузл}} = 0, \quad (3.10)$$

де  $\sum q_{i-k}$  – сума витрат води по ділянкам, які приєднуються до у вузла.

$Q_{\text{вузл}}$  – відбір води із вузла.

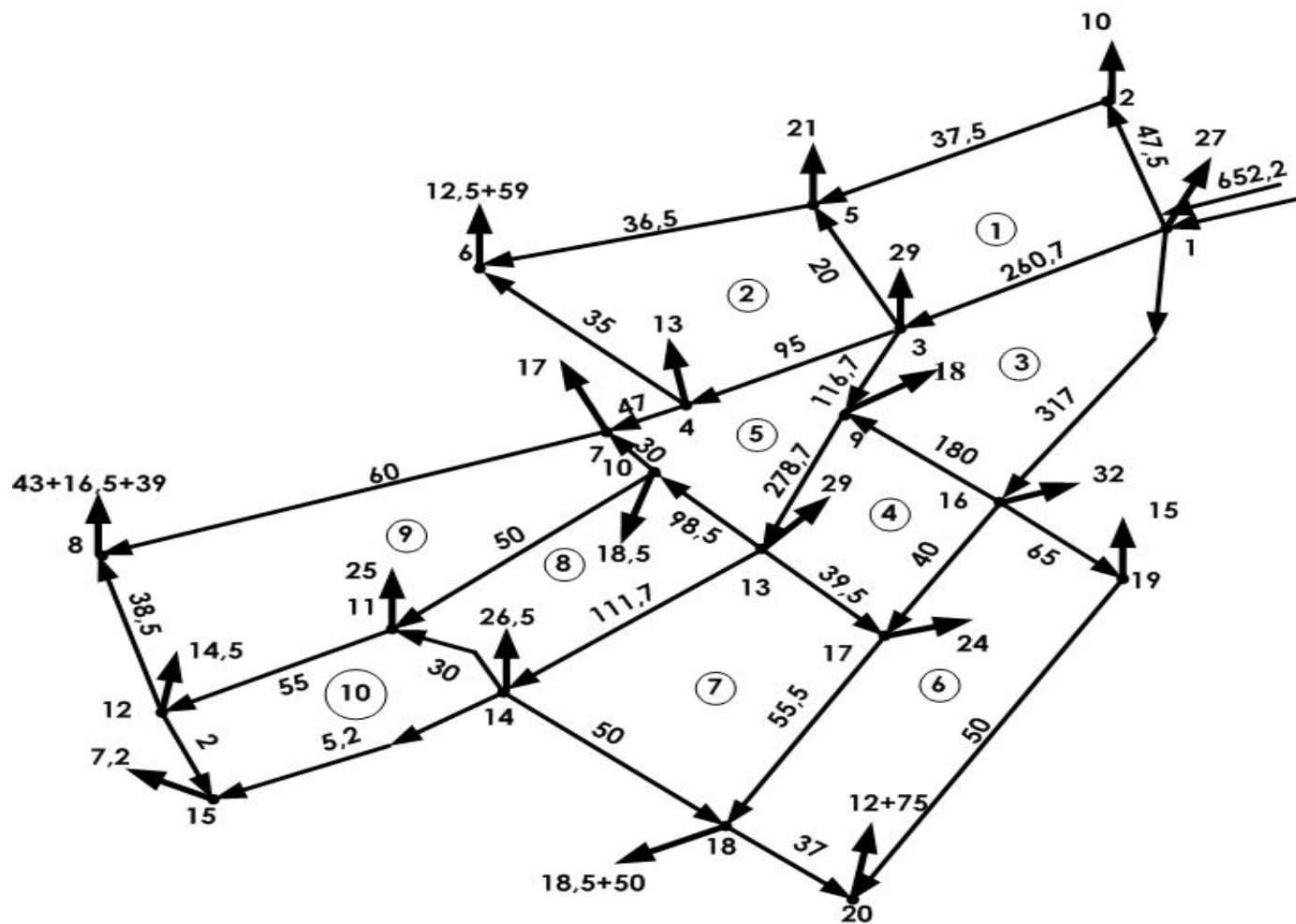


Рис. 3.1 Результати початкового розподілу витрат на ділянках водопровідної мережі для режиму максимального водоспоживання

За результатами гідравлічного розрахунку мережі транспортування води визначається фактичний поточкорозподіл для ділянок мережі при вже прийнятих діаметрах, результати розрахунку задовольняють умовам першого та другого закону Кірхгофа [23, 24].

Гідравлічний розрахунок мережі для режиму максимального водоспоживання виконано з використанням програми GIDRAST 1 [25]. Вихідними даними є: довжина, діаметр та кількість розрахункових ділянок, попередні витрати та код кожної ділянки, кількість контурів водопровідної мережі. Результати гідравлічного розрахунку водопровідної мережі представлені в табл. 3.8.

Фактичні витрати на ділянках мережі, визначені за результатами гідравлічного розрахунку, показані на рис. 3.2 та листі №2 графічної частини кваліфікаційної роботи.

Аналіз пезометричної карти (лист №2) дозволяє зробити висновок, що значення вільних напорів у вузлах мережі більші за мінімальні допустимі, що відповідає вимогам [19]. Для ділянок з напорами, які перевищують 45 м, передбачається установка регуляторів тиску (дискових діафрагм із центральним отвором) для захисту внутрішніх домових систем водопостачання від надлишкового тиску.

На окремих ділянках, наприклад 4, 21 та 28 спостерігаються незначні швидкості руху води, що може призвести до зміни у якості води, особливо влітку, коли ґрунт і труби значно нагріваються внаслідок впливу зовнішньої атмосфери. Передбачається періодична промивка цих ділянок.

Таблиця 3.8 – Вихідні дані та результати ув'язки для години максимального водоспоживання

e= .01000 nk= 10 ny= 29

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	475.00	142.99	500.00	e	2	970.00	132.87	500.00	e	3	887.00	300.62	600.00	e
4	520.00	20.00	150.00	e	5	1008.00	91.74	350.00	e	6	665.00	100.15	350.00	e
7	795.00	20.00	150.00	e	8	1560.00	62.01	300.00	e	9	294.00	107.61	350.00	e
10	961.00	50.31	300.00	e	11	758.00	35.19	200.00	e	12	602.00	36.34	200.00	e
13	215.00	30.00	150.00	e	14	404.00	38.95	150.00	e	15	902.00	70.50	350.00	e
16	940.00	23.40	200.00	e	17	356.00	15.75	150.00	e	18	326.00	191.51	600.00	e
19	540.00	148.36	500.00	e	20	1130.00	180.00	500.00	e	21	560.00	25.33	200.00	e
22	489.00	10.15	150.00	e	23	800.00	10.50	150.00	e	24	578.00	89.00	300.00	e
25	820.00	75.00	300.00	e	26	433.00	84.48	300.00	e	27	1397.00	70.00	300.00	e
28	458.00	16.95	150.00	e	29	425.00	10.01	150.00	e	30	.00	.00	.00	

Результати ув'язки

-----  
: номер : код : діаметр: довжина : витрата : швидкість : втрати  
: ділянки : ділянки : ділянки : ділянки : ділянки : руху води : напору  
-----

1	: 1- 0 :	500.00 :	475.00 :	114.40 :	.58 :	.48
2	: 2 : 1- 0 :	500.00 :	970.00 :	104.28 :	.53 :	.82
3	: 3 : 3- 1 :	600.00 :	887.00 :	307.44 :	1.09 :	2.22
4	: 4 : 1- 2 :	150.00 :	520.00 :	5.92 :	.33 :	.92
5	: 5 : 2- 0 :	350.00 :	1008.00 :	77.23 :	.80 :	2.89
6	: 6 : 5- 2 :	350.00 :	665.00 :	102.07 :	1.06 :	3.20
7	: 7 : 2- 0 :	150.00 :	795.00 :	5.49 :	.31 :	1.23
8	: 8 : 9- 0 :	300.00 :	1560.00 :	60.21 :	.85 :	6.10
9	: 9 : 5- 0 :	350.00 :	294.00 :	95.02 :	.99 :	1.24
10	: 10 : 8- 9 :	300.00 :	961.00 :	41.32 :	.58 :	1.88
11	: 11 : 10- 9 :	200.00 :	758.00 :	32.88 :	1.05 :	7.36
12	: 12 : 9- 0 :	200.00 :	602.00 :	34.54 :	1.10 :	6.41
13	: 13 : 5- 9 :	150.00 :	215.00 :	19.21 :	1.09 :	3.26
14	: 14 : 8- 5 :	150.00 :	404.00 :	40.75 :	1.30 :	5.90
15	: 15 : 7- 8 :	350.00 :	902.00 :	80.92 :	.84 :	2.82
16	: 16 : 0- 10 :	200.00 :	940.00 :	27.52 :	.88 :	6.56
17	: 17 : 0- 10 :	150.00 :	356.00 :	19.87 :	1.12 :	5.74
18	: 18 : 3- 5 :	600.00 :	326.00 :	182.34 :	.93 :	.77
19	: 19 : 4- 5 :	500.00 :	540.00 :	161.89 :	.82 :	1.02
20	: 20 : 0- 3 :	500.00 :	1130.00 :	201.77 :	1.03 :	3.22
21	: 21 : 3- 4 :	200.00 :	560.00 :	2.63 :	.15 :	.24
22	: 22 : 4- 7 :	150.00 :	489.00 :	11.45 :	.65 :	2.85
23	: 23 : 7- 0 :	150.00 :	800.00 :	10.13 :	.57 :	3.73
24	: 24 : 6- 4 :	300.00 :	578.00 :	77.69 :	1.10 :	3.63
25	: 25 : 6- 7 :	300.00 :	820.00 :	65.00 :	.92 :	3.70
26	: 26 : 0- 6 :	300.00 :	433.00 :	94.85 :	1.34 :	3.99
27	: 27 : 0- 6 :	300.00 :	1397.00 :	80.37 :	.84 :	4.31
28	: 28 : 6- 0 :	150.00 :	458.00 :	6.58 :	.37 :	.98
29	: 29 : 10- 8 :	150.00 :	425.00 :	16.68 :	.94 :	4.95

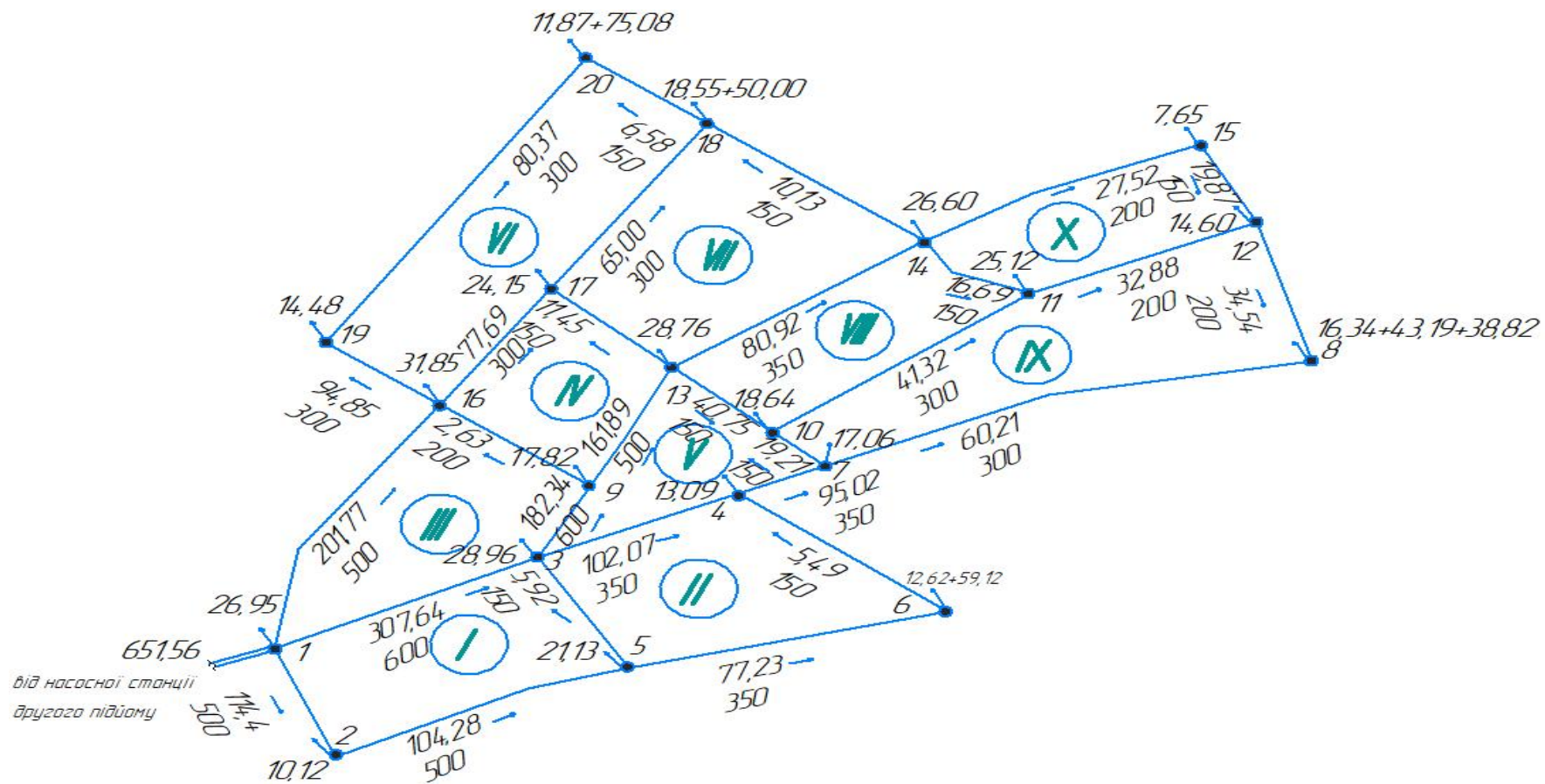


Рисунок 3.2 – Фактичний потікорозподіл в годину максимального водоспоживання



### 3.3 Моделювання зміни структури водорозбору

Структура водорозбору залежить від різних факторів, які включають технічні, гідравлічні та екологічні аспекти. Деякі з основних факторів, які впливають на структуру водорозбору включають зміни потреб споживачів, зміну їх кількості, зміни режимів водопостачання.

Фактором впливу у роботі розглядається зміна потреб споживачів як результат відмови від послуг централізованого гарячого водопостачання. Моделювання структури водорозбору виконується для випадків зміни витрат гарячого водоспоживання у 25%, 50%, 100% споживачів усіх округів міста послідовно, та 25%, 50%, 100% споживачів одночасно для всіх трьох округів. Споживачі цих міських округів забезпечуються гарячою водою шляхом використання місцевих електричних водонагрівачів.

Підготовка гарячого водопостачання здійснюється на центральних теплових пунктах ЦТП-1 та ЦТП-2.

#### **3.3.1 Розрахункові схеми поточкорозподілу води при зміні водорозбору**

В дослідженнях розглянуто 12 варіантів структури водорозбору з урахуванням зміни вузлових витрат води:

а) варіант №1: зниження подачі води ЦТП -1 на 25% в 1 районі міста. (рис. А.1 в додатку А).

Тоді, витрата води до ЦТП у вузлу №18 зменшується на 25% і становить:  $0,75 \times 50,00 \text{ л/с} = 37,5 \text{ л/с}$ . Відповідно у вузлах 19 та 20 збільшується витрата води в результаті надходження води для місцевого підігріву в квартирі споживачів, які користуються водонагрівачами.

Загальна витрата у вузлах №19 та №20 становить:  $50,00 - 37,5 = 12,5 \text{ л/с}$ ;

б) варіант №2: зниження подачі води ЦТП -1 на 50% в 1 районі міста. (рис. А.2 в додатку А). У вузлу №18 подача води зменшується на 50% і становить:

$0,5 \times 50,00 \text{ л/с} = 25,0 \text{ л/с}$ . Витрати води у вузлах №16, 17, 19 та 20 збільшуються: на 25,00 л/с;

в) варіант №3: зниження подачі води ЦТП -1 на 100 % в 1 районі міста. (рис. А.3 в додатку А). У вузлі №18 зменшується витрата води на 100%. Витрата води у вузлах №16, ÷19 та 20 збільшуються на 50,00 л/с;

г) варіант №4: зниження забору води ЦТП -2 на 25% у 2 районі міста. (рис. А.4 в додатку А). Тоді, витрата води до ЦТП у вузлу 8 зменшується на 25% і становить:  $0,75 \times 43,19 \text{ л/с} = 32,39 \text{ л/с}$ . Відповідно збільшується витрата води у вузлах №11 та №12 в результаті надходження води для місцевого підігріву в квартирі споживачів, які користуються водонагрівачами. Загальна витрата у вузлах №11 та 12 становить:  $43,19 - 32,39 = 10,8 \text{ л/с}$ ;

д) варіант №5: зниження забору води ЦТП -2 на 50% в 2 районі міста. (рис. А.5 в додатку А). У вузлу 8 витрата води зменшується на 50% і становить:  $0,5 \times 43,12 \text{ л/с} = 21,56 \text{ л/с}$ . Витрати води у вузлах №11,12, 14, 15 збільшуються на 21,56 л/с;

е) варіант № 6: зниження подачі води ЦТП -2 на 100 % в 2 районі міста. (рис. А.6 в додатку А). У вузлу №8 зменшується витрата води на 100%. Витрата води у вузлах №11÷15, 7 та 4 збільшуються: на 43,12 л/с.

ж) варіант №7: зниження подачі води ЦТП -2 на 25% в 3 районі міста. (рис. А.7 в додатку А). Тоді витрата води до ЦТП у вузлу № 8 зменшується на 25% і становить:  $0,75 \times 38,82 \text{ л/с} = 29,115 \text{ л/с}$ . Відповідно збільшується витрата води у вузлах №5 та №6 в результаті подачі води для місцевого підігріву в квартирі споживачів, які користуються водонагрівачами. Загальна витрата у вузлах 5 та 6 складає:  $38,82 - 29,115 = 9,7 \text{ л/с}$ ;

з) варіант №8: зниження забору води ЦТП -2 на 50% в 3 районі міста. (рис. А.8 в додатку А). У вузлу №8 зменшується витрата води на 50% і становить:  $0,5 \times 38,82 \text{ л/с} = 19,41 \text{ л/с}$ . Витрати води у вузлах №2, 5, 6 збільшуються на 19,41 л/с;

і) варіант №9: зниження подачі води ЦТП -2 на 100 % в 3 районі міста. (рис. А.9 в додатку А). У вузлу №8 зменшується на 100%. Витрата води у вузлах 2÷6 збільшуються: на 38,82 л/с;

к) варіант №10: зниження забору води ЦТП -1,2 на 25% одночасно у всіх районах міста. (рис. А.10 в додатку А). Тоді, витрати води до ЦТП-1 та ЦТП-2 знижуються одночасно:

1)у вузлу №18 = 37,5 л/с;

2)у вузлу №8 = 32,39+29,115 л/с;

л) варіант №11: зниження подачі води ЦТП -1,2 на 50% одночасно у всіх районах міста. (рис. А.11 в додатку А). Тоді, витрати води до ЦТП-1 та ЦТП-2 знижуються одночасно:

1)у вузлу 18 = 25,00 л/с;

2)у вузлу 8 = 21,56+19,41 л/с;

м) варіант №12: зниження забору води ЦТП -1,2 на 100 % одночасно у всіх районах міста. ( рис. А.12 в додатку А).

Для різних варіантів структури водорозбору з урахуванням зміни вузлових витрат складаються розрахункові схеми, які показані на рис.А.1÷А.12 в додатку А.

### **3.3.2 Гідравлічні розрахунки мережі для різних варіантів структури водорозбору**

При виконанні гідравлічних розрахунків мережі для різних варіантів структури водорозбору діаметри ділянок мережі прийняті постійними відповідно до вихідних даних для режиму максимального водопостачання..

Гідравлічні розрахунки виконані з використанням програми GIDRAST. [25]. Результати гідравлічних розрахунків мережі транспортування води представлені в таблицях Б.1÷Б.12 додатку Б.

Дійсний поточкорозподіл для варіантів 1, 2, 4, 5, 7 та 8 наводиться на рис. 3.3 – 3.8.

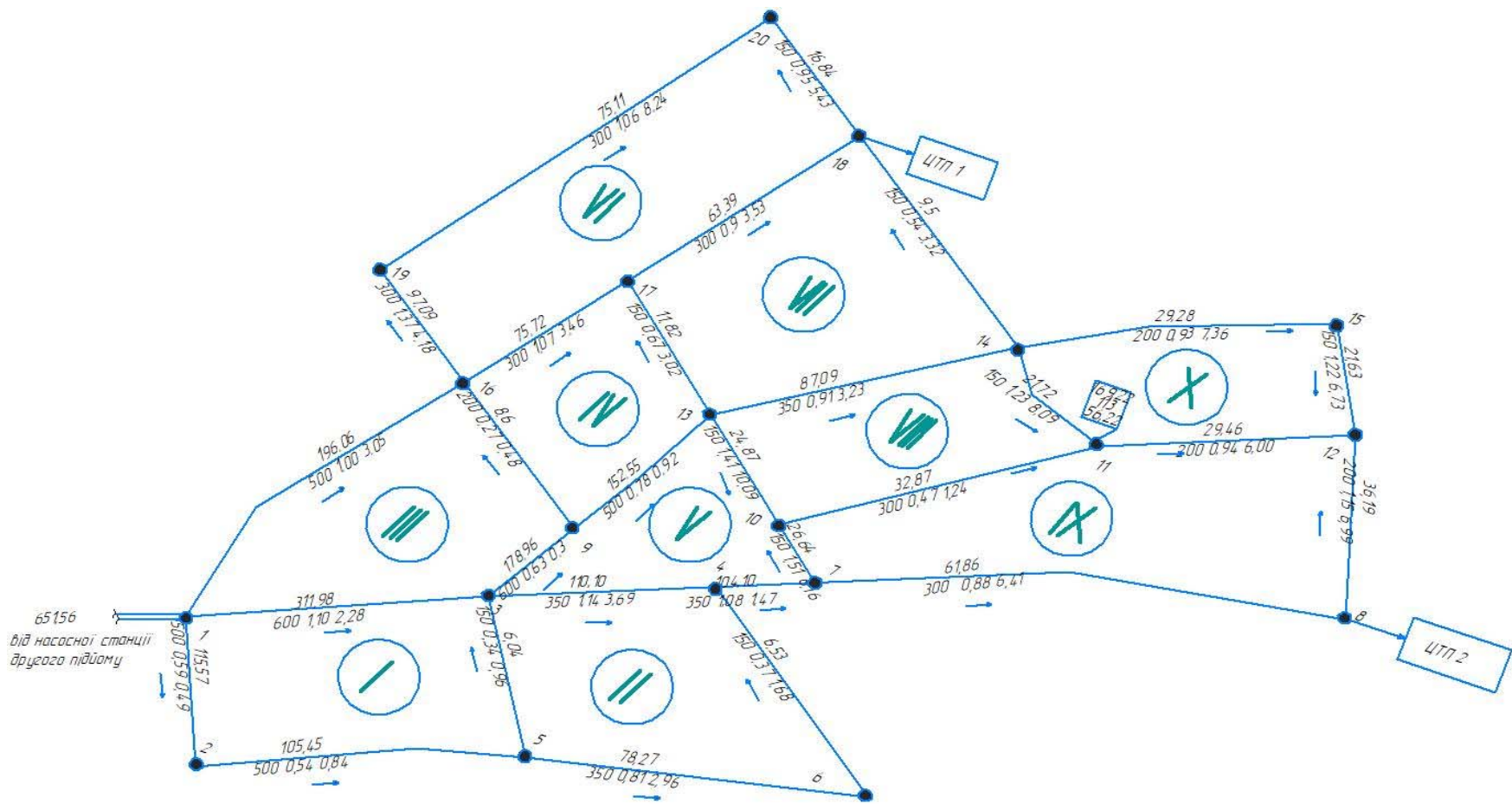


Рис. 3.3 – Фактичний потікорозподіл при зниженні забору води ЦТП-1 на 25% в 1 районі міста

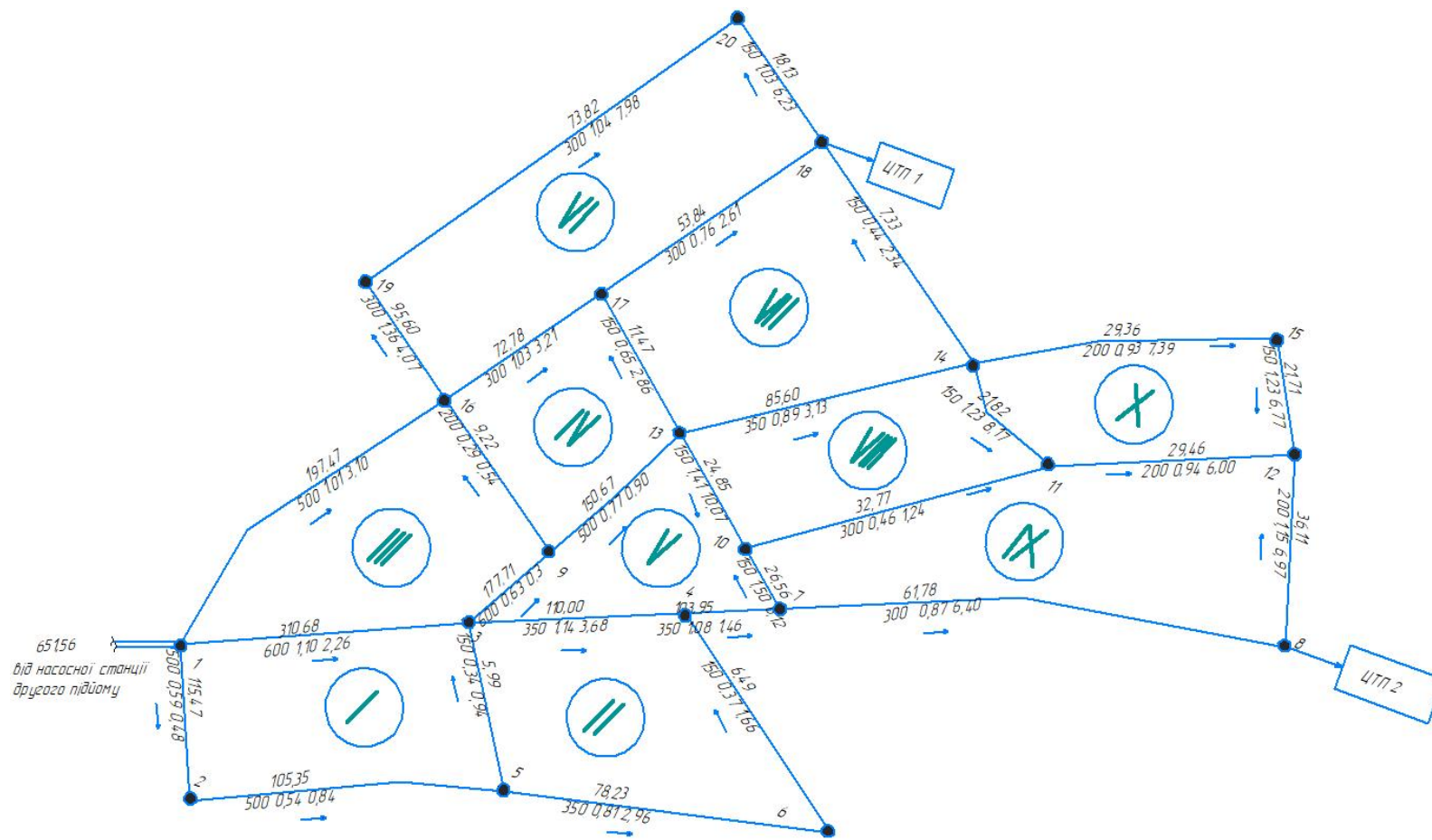


Рис. 3.4 – Фактичний потікорозподіл при зниженні забору води ЦТП-1 на 50 % в 1 районі міста

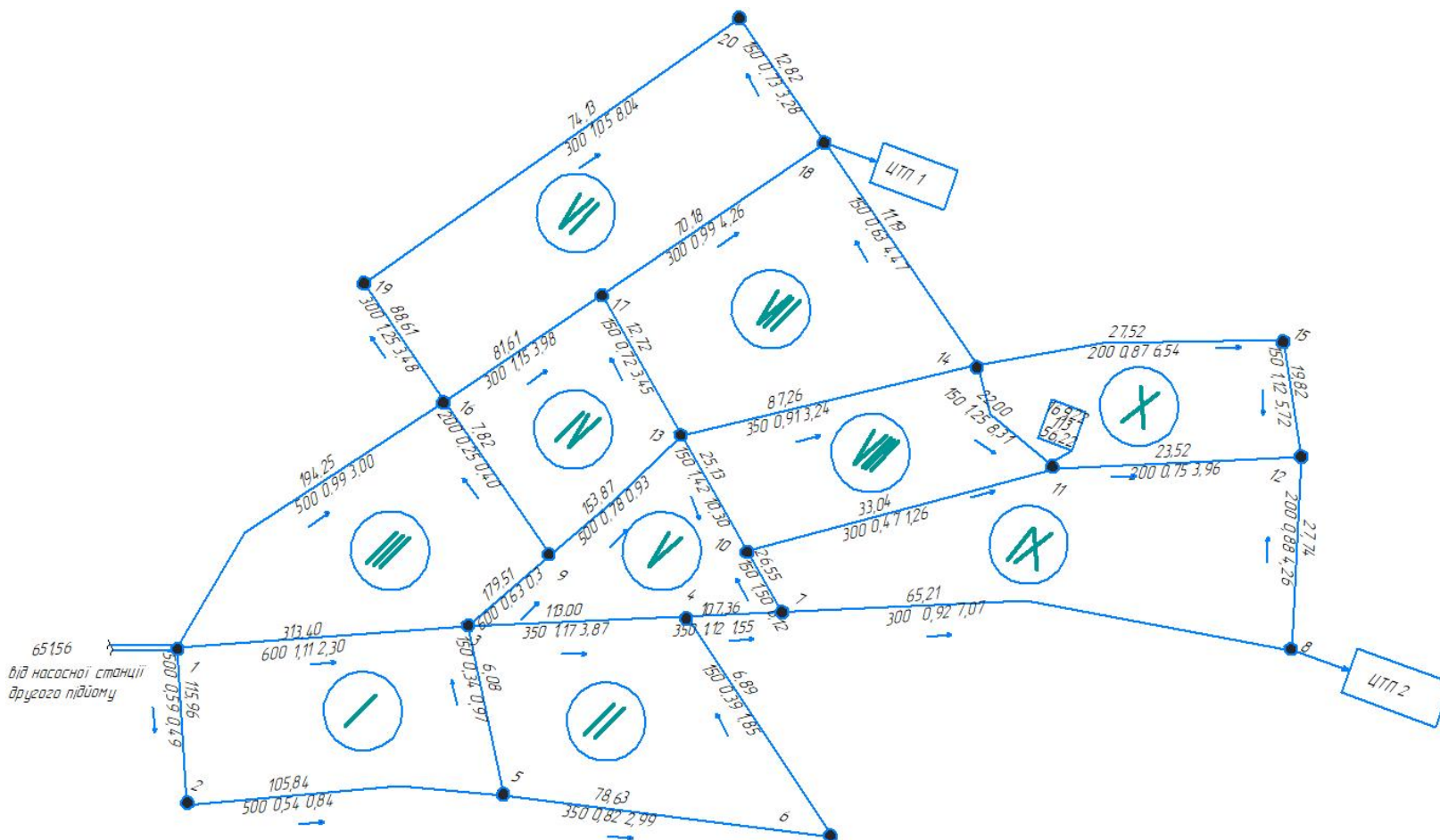


Рис. 3.5 – Фактичний потікорозподіл при зниженні забору води ЦТП-2 на 25 % в 2-му районі міста

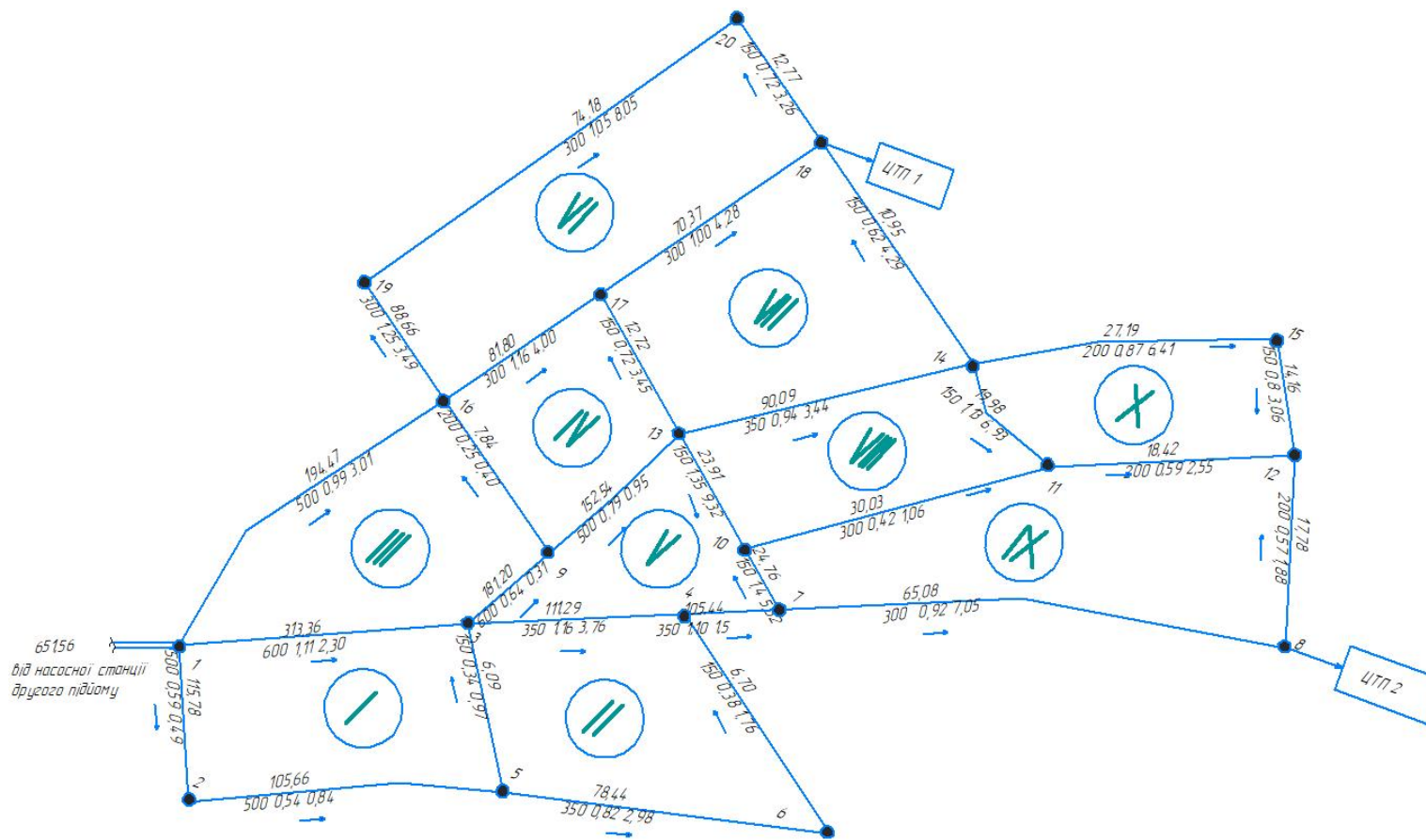


Рис. 3.6 – Фактичний потікорозподіл при зниженні забору води ЦТП-2 на 50 % в 2-му районі міста

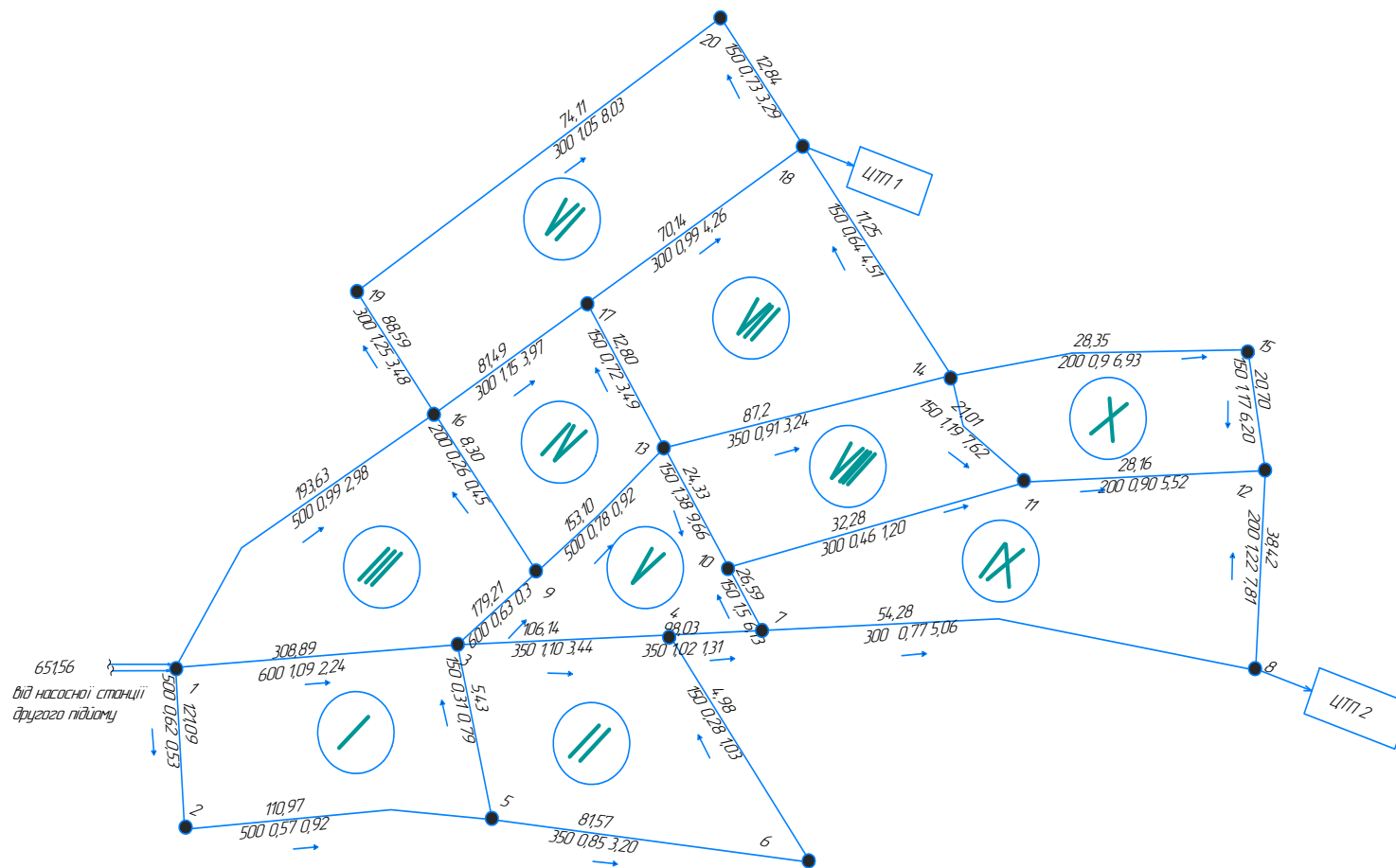


Рис. 3.7 – Фактичний потікорозподіл при зниженні забору води ЦТП-2 на 25 % в 3-му районі міста



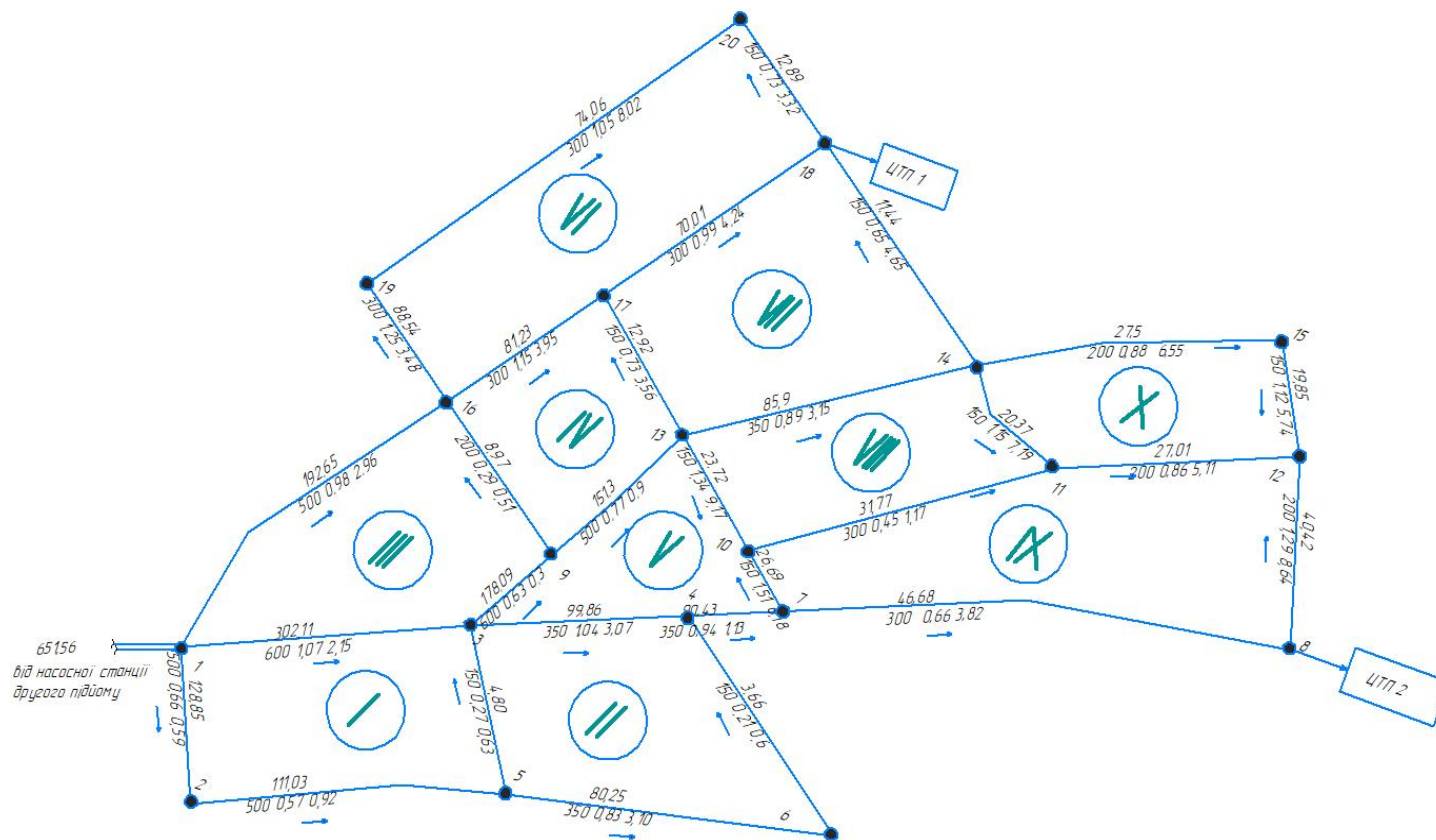


Рис. 3.8 – Фактичний потікорозподіл при зниженні забору води ЦТП-2 на 50 % в 3-му районі міста

### **3.4 Аналіз гідравлічних режимів роботи системи внутрішнього водопостачання житлових будівель**

Аналіз гідравлічних режимів роботи системи холодного водопостачання житлових будівель виконується за наступних умов

а) споживачі використовують систему централізованого гарячого водопостачання;

б) споживачі не користуються послугами системи централізованого гарячого водопостачання, застосовуючи місцевий підігрів води електричними водонагрівачами.

Гідравлічні режими холодного водопостачання аналізуються для житлових будівель першого району.

#### **3.4.1 Характеристика житлових будівель**

Перший район має переважно дев'яти поверхову забудову: житлові будинки складаються з трьох секцій однакового типу. На кожному поверсі розташовується 6 квартир: дві двокімнатні та чотири однокімнатні. У квартирах використовується наступне санітарно-технічне обладнання: мийки зі змішувачами на кухнях, унітази зі змивними бачками в санвузлах, ванни, які обладнані змішувачами з душем та умивальниками зі змішувачами у ванних кімнатах.

Підготовка гарячої води в централізованій системі здійснюється водонагрівачами в ЦТП (центральному тепловому пункті). Зовнішні мережі теплопостачання є джерелом тепла, вода надходить з міської системи холодного водопостачання.

#### **3.4.2 Визначення розрахункових витрат**

На санітарно-технічних приладах (п.3.4.1) встановлюється наступна водорозбірна арматура: змішувач для умивальника, змішувач для мийки, змішувач для ванної, змивний бачок з поплавковим клапаном для змиву унітазу.

Визначення розрахункових витрат здійснено відповідно до [26, табл. А1], у табл. 3.9 приведені середньодобові витрати.

Таблиця 3.9 – Значення середньодобових витрат води

Вихідні дані	Перший район
Середня загальна добова витрата води на 1 людину, л/доб (з централізованим гарячим водопостачанням та сидячими ваннами довжиною більше 1500 мм)	250
Середня добова витрата гарячої води на 1 людину, л/доб	100
Середня добова витрата холодної води на 1 людину, л/доб	150

Результати розрахунків середньодобових витрати води приведені в табл.3.10.

Таблиця 3.10 – Результати розрахунків середньодобових витрат води

Показник	
Формули для розрахунку	Результати розрахунку, м <sup>3</sup> /доб
Середньодобова витрата води на будинок загальна $Q_{Tj}^{tot}$	
$Q_{Tj}^{tot} = \sum_i Q_{Ti}^{tot}$	$\frac{250 \cdot 378}{1000} = 94.5$
Середньодобова витрата гарячої води на будинок $Q_{Tj}^h$	
$Q_{Tj}^h = \sum_i Q_{Ti}^h$	$\frac{100 \cdot 378}{1000} = 37.8$
Середньодобова витрата холодної води на будинок $Q_{Tj}^c$	
$Q_{Tj}^c = \sum_i Q_{Ti}^c$	$\frac{150 \cdot 378}{1000} = 56.7$

Результати розрахунків середньогодинних витрат приведені у табл 3.11.

Таблиця 3.11 – Розрахункові середньогодинні витрати

Показник	
Середньогодинна витрата води на будинок, $q_{Tj}^{tot}$	
Формули для розрахунку	Результат розрахунку, м <sup>3</sup> /год
$q_{Tj}^{tot} = \frac{Q_{Tj}^{tot}}{24}$	$\frac{94.5}{24} = 3.94$
Середньогодинна витрата гарячої води на будинок, $q_{Tj}^h$	
$q_{Tj}^h = \frac{Q_{Tj}^h}{24}$	$\frac{37.8}{24} = 1.57$
Середньогодинна витрата холодної води на будинок, $q_{Tj}^c$	
$q_{Tj}^c = \frac{Q_{Tj}^c}{24}$	$\frac{56.7}{24} = 2.36$

Максимальні годинні витрати визначено з урахуванням середніх розрахункових годинних витрат.

Для девяти-поверхового будинку загальна середня розрахункова питома годинна витрата дорівнює:

$$q_{hr,ud}^{tot} = \frac{q_{Tj}^{tot} \cdot 1000}{U} = \frac{3.94 \cdot 1000}{378} = 10,41 \text{ л/год} \cdot \text{чол}, \quad (3.11)$$

U – кількість мешканців для розглянутого об'єкту.

Відповідно до [26, табл. А5] розрахункова максимальна годинна витрата води на будинок дорівнює  $q_{hr}^{tot} = 16$  л/с для кількості санітарно-технічних приладів N=648;

Середня розрахункова питома годинна витрата гарячої води становить:

$$q_{hr,ud}^h = \frac{q_{Tj}^h \cdot 1000}{U} = \frac{1.57 \cdot 1000}{378} = 4,115 \text{ л/год} \cdot \text{чол},$$

Відповідно до [26, табл. А5] розрахункова максимальна годинна витрата води дорівнює  $q_{hr}^h = 9.16$  м<sup>3</sup>/год для кількості санітарно-технічних приладів N=486:

Середня розрахункова питома годинна витрата холодної води дорівнює:

$$q_{hr,ud}^c = \frac{q_{Tj}^c \cdot 1000}{U} = \frac{2.36 \cdot 1000}{378} = 6,25 \text{ л/год} \cdot \text{чол}.$$

Розрахункова максимальна годинна витрата води дорівнює  $q_{hr}^c = 10.46$  м<sup>3</sup>/год при кількості санітарно-технічних приладів N=648.

Відповідно до [26, табл. А6] визначені максимальні секундні витрати води для дев'яти поверхового будинку для N=378 споживачів:

- загальна витрата –  $q^{tot} = 3,4$  л/с;
- витрата гарячої води –  $q^h = 2,39$  л/с;
- витрата холодної води –  $q^c = 2,25$  л/с.

Розрахункова мінімальна годинна витрата холодної води визначається:

$$q_{hr \min} = q_T \times K_{\min}.$$

Відповідно до [15, табл.1] коефіцієнт  $K_{\min}$  визначається з урахуванням значення  $K_{\max}$

Коефіцієнт  $K_{\max}$  розраховується за формулою:

$$K_{\max} = \frac{q_{hr}}{q_T}. \quad (3.12)$$

Максимальна розрахункова витрата за годину  $q_{hr}$  приймається  $q_{hr} = q_{hr}^c = 10,46$  м<sup>3</sup>/год

Середня розрахункова витрата за годину  $Q_T$  приймається  $q_T = q_T^c = 2,36$  м<sup>3</sup>/год.

$$K_{\max} = 10,46 / 2,36 = 4,43$$

Відповідно приймається  $K_{\min} = 0,02$ ,  $q_{hr} = 2,36 * 0,02 = 0,047$  м<sup>3</sup>/год.

З урахуванням середньої добової витрати води та коефіцієнта максимальної добової нерівномірності визначається загальна максимальна добова витрата.

Для всього будинку загальна максимальна добова витрата води дорівнює:

$$Q_{Tj}^{tot} \cdot K_d = 94,5 \times 1,36 = 128,52 \text{ м}^3/\text{доб},$$

$$q_{hr}^c = 4.03 \text{ м}^3/\text{год},$$

$$Q_{Tj}^{tot} \cdot K_d = 0.75 \times 1,53 = 1,14 \text{ м}^3/\text{доб}$$

### **3.4.3 Гідравлічний розрахунок системи холодного водопостачання у режимі централізованого гарячого водопостачання**

Будівлі забезпечуються централізовано холодною водою від міської водопровідної мережі. В житлових будинках прийнято тупикову розгалужену схему холодного водопроводу, посередині будинку розташовується один загальний увід В-1 для забезпечення рівномірного розподілу води по водопровідним стоякам, запроєктована схема з нижньою розводкою магістралей (лист № 5 графічної частини). Для поливу у нішах зовнішніх стін підвалу встановлені крани, які приєднуються до центральної водопровідної магістралі будівлі, прокладені труби діаметром 25 мм.

Витрати води контролюються за допомогою вузла для виміру води, до складу якого входять наступні елементи: крильчастий лічильник, запірна арматура, випускний кран, фільтр, манометр. Влаштована обвідна лінія для забезпечення безперервного надходження води. Водомірний вузол встановлений у зовнішньої стіни будівлі в приміщенні з штучним освітленням.

До складу внутрішньої водопровідної мережі входить магістральна лінія, вона прокладена у підвальному приміщенні (нижня розводка магістралей) і закріплена за допомогою кронштейнів та стінах, стояки, які подають воду у квартири на всіх поверхах будинку. В межах квартир до санітарно-технічних приладів вода транспортується по трубах діаметром 15 мм, застосовується відкритий тип прокладання трубопроводів. На трубах біля стояка встановлений вентиль запірний 15 мм та квартирний лічильник. Металопластикові трубопроводи холодної води прокладені на висоті 200 мм від підлоги. трубопроводи внутрішньої системи в підвалі та квартирах прокладені відкрито, без замурування в стінах.

Глибина прокладання трубопроводів внутрішньої квартальної мережі, якою вода транспортується до будинків, становить 1,5 м, що забезпечує цілісність трубопроводу, захищає від динамічних пошкоджень від руху транспорту.

За результатами гідравлічного розрахунку відповідно до вимог [26] визначено діаметри трубопроводів та необхідний тиск внутрішньої водопровідної мережі. Відповідно до [26, табл. А8] з урахуванням кількості споживачів води  $U$  визначено розрахункову максимальну секундну витрату холодної води  $q^c$ . Відповідно до визначених витрат води з урахуванням рекомендованих економічних швидкостей ( $0,8 \div 1,5$  м/с) прийняті діаметри труб на ділянках внутрішньої мережі водопостачання.

АксонOMETрична схема системи внутрішнього водопостачання показана на листі №6 графічної частини.

Результати гідравлічного розрахунку показані у табл. 3.12.

Таблиця 3.12 – Розрахунок системи холодного водопостачання

№ ділянки	$U$ , чол	$q^c$ , л/с	$L$ , м	$D$ , мм	$V$ , м/с	$1000i$	$K$	$h$ , м
1-2	2,0	0,19	1,0	15	1,1	180,5	1,3	0,23
2-3	2,0	0,19	2,7	20	0,60	42,5	1,3	0,15
3-4	4,0	0,2	2,7	20	0,64	46,9	1,3	0,16
4-5	6,0	0,22	2,7	20	0,7	56,1	1,3	0,20
5-6	8,0	0,25	2,7	20	0,8	71,4	1,3	0,25
6-7	10,0	0,27	2,7	20	0,9	82,66	1,3	0,29
7-8	12,0	0,28	2,7	20	0,9	88,67	1,3	0,30
8-9	14,0	0,30	2,7	20	0,96	101,01	1,3	0,34
9-10	16,0	0,32	2,7	20	1,02	114,24	1,3	0,40
10-11	18,0	0,34	3,2	20	1,08	128,3	1,3	0,5
11-12	18,0	0,34	0,3	20	1,08	128,3	1,3	0,05
12-13	36,0	0,47	0,3	25	0,96	77,2	1,3	0,03
13-14	63,0	0,65	7,4	32	0,8	41,34	1,3	0,40
14-15	63,0	0,65	0,3	32	0,8	41,34	1,3	0,016
15-16	81,0	0,75	0,3	32	0,9	54,36	1,3	0,017
16-17	99,0	0,85	7,1	32	1,05	68,9	1,3	0,64
17-18	126,0	1,0	0,3	32	1,2	94,05	1,3	0,04
18-19	153,0	1,15	6,9	40	0,92	39,82	1,3	0,36
19-20	171,0	1,24	0,3	40	0,99	45,9	1,3	0,018
20-21	189,0	1,34	0,3	40	1,06	53,3	1,3	0,021
21-22	189,0	1,34	4,6	40	1,06	53,3	1,3	0,32
22-23	378,0	2,25	9,8	50	1,14	46,53	1,3	0,6
Ст В1-22	18,0	0,4		20				
Ст В1-21	18,0	0,4		20				
Ст В1-1	27,0	0,48		25				
Ст В1-20	18,0	0,4		20				

Ст В1-19	27,0	0,48		25			
Ст В1-18	27,0	0,48		25			
Ст В1-17	18,0	0,4		20			
Ст В1-16	18,0	0,4		20			
Разом по будинку:							5,34

Примітка. Для дев'яти поверхового будинку диктуючим вузлом являється душ. Довжина розрахункових ділянок визначено за планами підвалу та типового поверху.

Втрати тиску по довжині кожної ділянки визначені за формулою

$$h = I \times K \times L, \quad (3.13)$$

де  $i$  – гідравлічний ухил, м

$L$  – довжина розрахункової ділянки, м

$K$  – коефіцієнт, який враховує місцеві опори,  $K=0,3$  – для мереж господарсько-питного призначення в житлових та громадських будинках.

Необхідний тиск в системі внутрішнього водопостачання визначено за формулою:

$$H_{нотр.} = H_{геом.} + H_L + H_M + H_{вв} + H_F, \quad (3.14)$$

де  $H_{геом.}$  – геометрична висота підйому води, яка визначається як різниця позначки диктуючого приладу і точки приєднання до зовнішньої мережі.

Геодезична позначка біля будинку приймається 120,00 м. Позначка Диктуючий прилад за аксонометричною схемою холодного водопроводу розташований на позначці:  $141,80 + 0,2 + 2,2 = 144,20$  м

Позначка труби вводу приймається із розрахунку 1,5 м закладання вуличної мережі:  $120,00 - 1,5 = 118,5$  м.

$$H_{геом} = 144,2 - 118,5 = 25,7 \text{ м,}$$

де  $H_L + H_M$  – сумарні втрати напору по довжині та на місцеві опори, приймаються за розрахунками табл. 3,5

$$H_L + H_M = 5,34 \text{ м}$$

$H_{вв}$  – втрати тиску в водомірному вузлі.

$H_F$  – вільний напір біля душу -  $H_F = 3,0$  м

Для вимірювання витрати води лічильники встановлюються в підвалі кожного будинку, та на ввіді кожної квартири.



Тоді,

$$h = S \times q^2, \quad (3.15)$$

де  $q$  – максимальна розрахункова секундна витрата води, л/с;

$S$  – гідравлічний опір в лічильнику м/(л·с)<sup>2</sup> [27].

У квартирах встановлені крильчасті лічильники ВК-15,  $S=14,5$

$$H_1 = 14,5 \times 0,19^2 = 0,52 \text{ м}$$

Водомір на вводі водопроводу в будинок обирається за середньою годинною витратою 2,36 м<sup>3</sup>/год та перевіряється за максимальною секундною витратою холодної води 2,25 л/с. Приймається крильчастий лічильник з імпульсним виходом діаметром 40 мм: ВК-40,  $S=0,5$

$$H_2 = 0,5 \times 2,25^2 = 2,5 \text{ м}$$

Для крильчастих лічильників втрати напору не перевищують 2,5 м, що відповідає нормативним вимогам [16].

$$H_{\text{потр1}} = 25,7 + 5,34 + 0,52 + 2,5 + 3,0 = 37,41 \text{ м}$$

Потрібний напір холодної води для будинку першого району забезпечується тиском міської мережі при централізованій системі гарячого водопостачання.

### **3.4.4 Гідравлічний розрахунок системи холодного водопостачання у режимі застосування місцевих водонагрівачів**

Для варіанту моделювання зміни структури водорозбору за умови переходу 100% споживачів на систему місцевого приготування гарячої води електричними водонагрівачами Round VMR 100 виконано гідравлічний розрахунок мережі холодного водопостачання.

Основою для розрахунків є аксонометрична схема холодного водопроводу показана на листі № графічної частини проекту. При виконанні гідравлічного розрахунку врахована загальна витрата для визначених діаметрах стояків та магістралей (табл.3.5), результати розрахунку показані у

табл. 3.13.

Таблиця 3.13 – Розрахунок системи холодного водопостачання

№ ділянки	$U$ , чол	$q^c$ , л/с	$L$ , м	$D$ , мм	$V$ , м/с	1000i	$K$	$H$ , м
1-2	2,0	0,36	1,0	15	2,0	1041	1,3	1,35
2-3	2,0	0,36	2,7	20	1,15	230	1,3	0,80
3-4	4,0	0,37	2,7	20	1,2	240	1,3	0,84
4-5	6,0	0,4	2,7	20	1,3	280	1,3	0,98
5-6	8,0	0,44	2,7	20	1,4	340	1,3	1,19
6-7	10,0	0,47	2,7	20	1,5	386	1,3	1,35
7-8	12,0	0,5	2,7	20	1,6	437	1,3	1,53
8-9	14,0	0,52	2,7	20	1,7	474	1,3	1,66
9-10	16,0	0,55	2,7	20	1,8	530	1,3	1,86
10-11	18,0	0,57	3,2	20	1,8	570	1,3	2,4
11-12	18,0	0,57	0,3	20	1,8	570	1,3	0,22
12-13	36,0	0,78	0,3	25	1,6	326	1,3	0,12
13-14	63,0	1,04	7,4	32	1,3	157	1,3	1,51
14-15	63,0	1,04	0,3	32	1,3	157	1,3	0,06
15-16	81,0	1,2	0,3	32	1,5	209	1,3	0,08
16-17	99,0	1,36	7,1	32	1,7	270	1,3	2,50
17-18	126,0	1,57	0,3	32	1,95	357	1,3	0,14
18-19	153,0	1,79	6,9	40	1,4	142	1,3	1,27
19-20	171,0	1,96	0,3	40	1,6	170	1,3	0,07
20-21	189,0	2,07	0,3	40	1,6	190	1,3	0,09
21-22	189,0	2,07	4,6	40	1,6	190	1,3	1,14
22-23	378,0	3,79	9,6	50	1,9	195	1,3	2,43
Разом по будинку:								23,6

$$H_1 = 14,5 \times 0,36^2 = 1,87 \text{ м}$$

$$H_2 = 0,5 \times 3,79^2 = 7,18 \text{ м}$$

$$H_{\text{потр } 2} = 25,7 + 23,6 + 1,87 + 7,18 + 3,0 = 60,93 \text{ м}$$

Необхідний напір в мережі внутрішнього водопостачання при зміні структури водорозбору з урахуванням переходу всіх споживачів на режим застосування місцевих водонагрівачів збільшується у 1.6 рази.

Згідно отриманих значень зміни тиску в мережі при від'єднанні споживачів від централізованого гарячого водопостачання та переході на місцевий підігрів води призводить до:

- збільшення розрахункової максимальної секундної витрати води в квартирі;

- до зростання швидкостей руху води в трубопроводах;
- до збільшення втрат тиску в системі внутрішнього холодного водопостачання – на  $23,17 - 5,69 = 17,48$  м;
- до зростання потрібного тиску для 9-поверхового будинку до 60,93м.  
Різниця між потрібними напорами складає  $60,93 - 37,41 = 23,52$  м;

## РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТРУКТУРИ ВОДОРОЗБОРУ НА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

### 4.1 Аналіз динаміки вузлових напорів при зміні структури водорозбору

В таблиці 4.1 показані результати розрахунків вузлових напорів для варіантів моделювання структури водорозбору №3, 6, 9 (за умови повної відмови від послуг централізованого водопостачання поступово в 1, 2 та 3 районах міста).

Таблиця 4.1 – Вільні напори для вихідного та розрахункових варіантів.

Розрахунковий вузол	Вільний напір, м				Потрібний напір
	Вихідний варіант	В3	В6	В9	
1	43,5	42,00	42,00	42,00	42
2	42	40,52	40,52	40,52	42
3	45,3	44,2	44	43,8	42
4	47,1	45,1	44,85	46,12	42
5	46,2	44,68	44,68	44,53	42
6	49,3	47,72	47,68	47,49	26
7	47,8	46,67	45,26	47,34	26
8	59,7	57,29	57,75	57,29	26
9	49,3	47,4	46	46,6	26
10	47,3	42,2	40,4	41,2	26
11	57,7	55,2	54,4	56,2	26
12	58,3	55,36	60,31	58,48	26
13	52,4	51,8	51,4	51,7	42
14	62,6	61,61	61,08	61,67	42
15	69,1	67,18	68,04	68,66	42

16	50,3	48,85	48,99	49,04	42
17	53,6	52,0	51,9	52	42
18	58,9	60,27	56,7	56,9	42
19	47,3	45,38	46,5	46,6	42
20	57	50,99	52,5	52,6	42

За даними таблиці 4.1 зон недостатніх тисків при зміні структури водопостачання за варіантами 3, 6, 9 не спостерігається але є вузли з надмірними тисками № 8, 12, 14, 15 , необхідний напір в яких перевищено у 1,2 ÷ 1.8 рази, що збільшує вірогідність утворення аварійних ситуацій на ділянках 8–12–15–14.

За результатами аналізу швидкостей руху води (таблиці Б3, Б6, Б9 додатку Б) на ділянках 1–2; 2–5, 3–5, 6–4, 3–9, 9–13, 9–16 спостерігаються швидкості руху води в межах  $0,3 \div 0,92$  м/с, що є нижче допустимих значень. Тому на вказаних ділянках наслідком може бути замулювання та погіршення якості води, особливо в літній період, коли ґрунтова поверхня та труби суттєво нагріваються від зовнішнього повітря. При експлуатації слід здійснювати періодичну промивку цих ділянок. В інших вузлах розрахункові значення п'єзометрів та вільних напорів свідчать, що такий перерозподіл витрат води суттєво не впливає на вільні напори в мережі та їх значення відповідають необхідним напорам [19].

Результати гідравлічних розрахунків для варіантів 10-12 представлені у вигляді п'єзометричних карт в графічній частині. Проблемними ділянками із малими швидкостями руху залишаються ділянки: 1–2, 3–5, 3–4.

У вузлах № 2, 10, 20 спостерігається тиск води, нижчий за допустимі значення

Також з'являються зони з надмірним тиском, які створюються навколо вузлів №8, 11, 12, 14, 15 та ділянки з підвищеною вірогідністю аварійних ситуацій: 8–12, 12–15, 14–15, 11–12.

## **4.2 Аналіз задоволення вимог споживачів в умовах зміни структури водорозбору**

При зміні напору  $H$  можна отримати наступне співвідношення:

$$\frac{Q_i}{Q_{pj}} = \sqrt{\frac{H_i'}{H_{pj}}} = K_j, \quad (4.1)$$

де  $Q_i$  – витрата води, що відбирається з вузла після  $i$ -го зниження напору  $H_i$ , м<sup>3</sup>/с;

$Q_{pj}$  – розрахункова витрата при розрахунковому напорі  $H_{pj}$ , м<sup>3</sup>/с.

Тоді витрата, що відбирається у  $n$ -му вузлі при  $i$ -му зниженні напору, дорівнює:

$$Q_{n,i} = Q_{pj} \times K_j. \quad (4.2)$$

Витрата у вузлах, що знаходяться в зоні недостатнього напору, складається із постійних та змінних складових. Розрахункову витрату води на поверхах будинків, де напір відповідає нормативному, можна вважати постійною та рівною

$$Q_{\text{ннò}} = \frac{n_j'}{n_j} Q_{pj}, \quad (4.3)$$

де  $n_j$  – кількість поверхів у будинках для  $j$ -го вузла;

$Q_{pj}$  – розрахункова витрата для  $j$ -го вузла до зниження напору, л/с;

$n_j'$  – розрахункова кількість поверхів у будинках для  $j$ -го вузла при  $i$ -му зниженні напору, на яких напір не знижується нижче за необхідний, визначається за формулою

$$n_j' = \frac{H_{ji} - 6}{4}, \quad (4.4)$$

де  $H_{ji}$  – вільний напір у  $j$ -му вузлі після  $i$ -го зниження напору, м:

$$H_{ji} = H_j - \Delta H_i = 6 + 4 \times n_j - \Delta H_i, \quad (4.5)$$

де  $H_j$  – вільний напір у  $j$ -му вузлі до зниження напору на величину  $\Delta H_i$ , м.

На поверхах житлових будинків з недостатнім напором більше 4 м, витрату води можна прийняти рівною 0, тому що вільного напору буде недостатньо для забезпечення водою цих поверхів. На поверхах з недостатнім напором меншим за 4 м відбір води буде відбуватись, але у кількості меншій за розрахункову та рівною:

$$Q_{ji} = \sqrt{\frac{H'_{ji}}{H_{nj}}} Q_{ij}, \quad (4.6)$$

де  $H'_{ji}$  – напір води на поверхах із зниженим напором на величину  $\Delta H_i$ . В будинках, що умовно знаходяться біля  $j$ -го вузла, цей напір визначається за формулою:

$$H'_{ji} = 6 + 4 \times n_j^* - \Delta H_i, \quad (4.7)$$

де  $n_j^*$  – поверх, на якому спостерігається зниження напору;

$H_{nj}$  – необхідний розрахунковий напір на одному поверсі будинку,  $H_{nj} = 4\text{м}$ ;

$Q_{nj}$  – витрата води на одному поверсі будинку в  $j$ -му вузлі до зниження напору,  $\text{м}^3/\text{с}$ :

Для введення різниці в облік якості водопостачання при формуванні зон з недостатнім тиском використовується функція збитків внаслідок незабезпечення споживачів:

$$C_{kt} = \sum_1^k q_k \cdot \Delta t_k, \quad (4.8)$$

де  $q_k$  – обсяг невикористаної води, вимірюваний у літрах на секунду, за певний період часу визначається як різниця між витратами при стандартному та зміненому режимах водоспоживання в вузлах, які зазнають недостатнього напору (за допомогою формули 4.6);

$\Delta t_k$  – для розрахунків прийнято, що тривалість втрати тиску води у споживача з номером  $k$  становить 30 діб.

З урахуванням зниження тисків у вузлах № 2, 10, 20 за формулами (4.6, 4.8) визначені об'єми води, які не зможуть отримати споживачі:

вузол №2

$$Q_2 = \sqrt{\frac{41,9}{42}} 20 = 19,9 \text{ л/с};$$

зниження споживання:  $0,1 \text{ л/с} \times 3,6 \times 24 \text{ год} \times 30 \text{ діб} = 26 \text{ м}^3$

вузол №10

$$Q_{II} = \sqrt{\frac{41,3}{42}} \times 18,64 = 18,44 \text{ л/с};$$

зниження споживання  $0,2 \text{ л/с} \times 3,6 \times 24 \text{ год} \times 30 \text{ діб} = 51,8 \text{ м}^3$

вузол №20

$$Q_{23} = \sqrt{\frac{40,4}{42}} \times 97 = 95 \text{ л/с}$$

зниження споживання  $2 \text{ л/с} \times 3,6 \times 24 \text{ год} \times 30 \text{ діб} = 5184 \text{ м}^3$

Заощадження, досягнуте шляхом оперативного виявлення пошкоджених ділянок та усунення витоків води, обчислюється за даною формулою

$$\Delta E_{з.в.} = Q_{в.} \cdot (\alpha_{вит} + \alpha_{вл.сп.} + \alpha_{ав}) \cdot T, \quad (4.9)$$

де  $Q_{в.}$  – об'єм витоків, які не сталися за рахунок оперативності розподілу потоків на ділянках водопровідної мережі,  $\text{м}^3$ ;

$\alpha_{вит}, \alpha_{вл.сп.}, \alpha_{ав}$  – коефіцієнти впливу системи управління розподілом потоків відповідно на зменшення використання води через витoki, особисті потреби та аварійні втрати;

$T$  – середня вартість водопостачання,  $\text{грн./м}^3$ ,  $17 \text{ грн/м}^3$ .

Значення  $Q_{в.}$  розраховані, виходячи із умови попередження втрат води при 30 аварійних витоках протягом року тривалістю в 1 добу для ділянок діаметром 150 та 200 мм при швидкості течії 2,0 м/с:

Для ділянок діаметром  $D = 150 \text{ мм}$ :

$$Q_{в.} = 2,0 \times (3,14 \times 0,15^2) / 4 = 0,0353 \text{ м}^3/\text{с} \text{ або } 3052,1 \text{ м}^3/\text{доб};$$

для ділянок діаметром  $D = 200 \text{ мм}$ :

$$Q_{в.} = 2,0 \times (3,14 \times 0,20^2) / 4 = 0,0628 \text{ м}^3/\text{с} \text{ або } 5426 \text{ м}^3/\text{доб};$$

Економія за рахунок попередження значних втрат води:

$$E_{з.в.} = (5426 + 3052,1) \times 30 \text{ ав/рік} \times (0,015 + 0,015 + 0,01) \times 17 \text{ грн/м}^3 = 172953 \text{ грн/рік}.$$



## ВИСНОВКИ

1. При зміні структури водорозбору у водопровідній мережі (наприклад, при застосуванні споживачами індивідуальних місцевих приладів для підігріву води) необхідний напір холодної води значно перевищить тиск, який система водопостачання міста може забезпечити: у години максимального водоспоживання в системі холодного водопостачання верхні поверхи будинків у першому районі міста стануть у зоні недостатнього тиску, що призведе до погіршення якості водопостачання. Недолік водопостачання буде спостерігатись для мешканців житлових будинків у вузлах №2, 10, 20: зниження водозабезпечення до 125659 м<sup>3</sup> за рік.

2. Для розв'язання проблеми стосовно недостатнього тиску необхідно розробити та впровадити наступні заходи:

- обладнання центральних теплових пунктів підвищувальними насосами;
- реконструкція внутрішньої мережі транспортування холодної води: замінити трубопроводи із забезпеченням оптимальних швидкостей транспортування води в межах 0,8÷1,5м/с, облаштування нових приладів для контролю витрати води,
- застосування зонованої системи внутрішнього водопостачання.

3. Підвищення необхідного тиску для 9-поверхового будинку до 61 м та утворення надмірного тиску у зоні, що обмежується вузлами №8, 11, 12, 14, 15 та утворення підвищеної вірогідністю аварійних ситуацій на ділянках 8–12, 12–15, 14–15, 11–12 вимагає впровадження заходів по забезпеченню надійності системи водопостачання: облаштування контрольних вузлів вимірювання тисків, реконструкції або резервування відповідних ділянок транспортування води.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Технічний стан систем централізованого водопостачання та водовідведення  
<https://cleanwater.org.ua/tehnichnyj-stan-system-tsentralizovanoho-vodopostachannya-ta-vodovidvedennya/>
- 2 Tchorzewska-Cieslak, B. Failure risk analysis in the collective water supply systems in crisis situations. Journal of Polish Safety and Reliability Association, 2013. Vol.1(4). P. 129-136.
- 3 Tchorzewska-Cieslak, B. Water supply of urban agglomeration in crisis situation. Journal of Polish Safety and Reliability Association. 2014. Vol.5. P. 143-155.
- 4 Tchorzewska-Cieslak, B. Crisis situation management issues in urban areas water supply. Journal of Polish Safety and Reliability Association Summer Safety and Reliability Seminars, 2015, Vol.2. P.135 – 145.
- 5 Водопостачання, водопровідно-каналізаційне господарство, водопровідні мережі, втрати води, тарифи на водопостачання, заходи зменшення непродуктивних втрат, джерела фінансування, інвестиції.  
URL: <https://naub.ua.edu.ua/2010/vodopostachannya-vodoprovidno-kanalizatsijne-hospodarstvo-vodoprovidni-merezhi-vtraty-vody-taryfy-na-vodopostachannya-zahody-zmshennya-neproduktyvnyh-vtrat-dzherela-finansuvannya-investytsiji>.
- 6 Кліментьєв І.М. Сучасний стан водопостачання населення та основні проблеми заходів щодо його оптимізації. Водопостачання та водовідведення, Буча, 2011. Вип.3. С. 57 – 58.
- 7 Закон "Про Загальнодержавну цільову соціальну програму «Питна вода України» на 2022 – 2026 роки.  
URL: <https://www.rada.gov.ua/news/Novyny/219438.html>.
- 8 Гіроль М. М. Стан водопровідних мереж України та шляхи запобігання погіршенню якості питної води // Полімерные трубы – Украина:

електрон. версія жур. URL: <http://polypipe.info/news/238-stanvodoprovidnuhmerzhuksraini>

- 9 Добровольська О., Чудновський П. Б. Застосування ефективних технологій відновлення мереж транспортування води у післявоєнний період. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. 2023. № 19. С. 58–67.
- 10 Закон України «Про Загальнодержавну цільову соціальну програму «Питна вода України» на 2022 – 2026 роки».  
URL: <https://ips.ligazakon.net/document/II05633A>.
- 11 Добровольська О.Г., Чудновський П.Б. Про стратегії відновлення мереж транспортування води. *Green Construction* («Зелене будівництво»: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції. Київ : Київський національний університет будівництва і архітектури. 2023, С. 454–458.
- 12 Добровольська О.Г., Чудновський П.Б. Енергоефективна експлуатація водопровідних мереж в умовах воєнного стану. *Енергоефективне місто. XXI століття*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, м. Одеса, 10–11 листопада 2022 року. С 68–70.
- 13 Крилова І. І. Аналіз сучасного стану сфери водопостачання та водовідведення в Україні. *Інвестиції: практика та досвід*. 2018. № 23. С. 118–125. DOI: [10.32702/2306-6814.2018.23.118](https://doi.org/10.32702/2306-6814.2018.23.118).
- 14 Центральне водопостачання України: скільки мереж перебуває в аварійному стані.  
URL: <https://www.slovoidilo.ua/2021/06/11/infografika/suspilstvo/centralne-vodopostachannya-ukrayiny-skilky-merezh-perebuvaye-avarijnomu-stani>
- 15 Проекти нацпрограми «Відновлення та модернізація житла та інфраструктури регіонів»  
URL: <https://recovery.gov.ua/project/program/recovery-and-upgrade-of-housing-and-regions-infrastructure>
- 16 Шагала Р. Як функціонує водоканал в умовах війни?  
URL: <https://drohobych-rada.gov.ua/>

- 17 Добровольська О.Г., Водопровідні мережі : навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньо-професійної програми «Міські інженерні мережі». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2022. 221 с.
- 18 Liu G. Potential impacts of changing supply-water quality on drinking water distribution. A review *Water Research*. 2017. Vol. 116. P. 135–148. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28329709/>.
- 19 Water Distribution Modeling And Analysis Software  
[URL:https://www.bentley.com/software/openflows-watercad/](https://www.bentley.com/software/openflows-watercad/)
- 20 Добровольська О. Development of procedure to control flow distribution in water supply networks in real time. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 6/8(96). С. 17–24. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/147656>
- 21 Матяш О.В. Удосконалення методів оцінювання надійності та розрахунків розгалужених водопровідних мереж: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.04 «Водопостачання, каналізація». Рівне, 2012. 21 с.
- 22 ДБН В.2.5 – 74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013. 172 с.
- 23 Ткачук О. А. Удосконалення систем подачі і розподілення води населених пунктів / О. А. Ткачук. Рівне: НУВГП, 2008. 301с.
- 24 Кліментьєв І. М. Сучасний стан водопостачання населення та основні проблеми заходів щодо його оптимізації / І. М. Кліментьєв, І. В. Бабич, Г. І. Співакова // Водопостачання та водовідведення. 2011. № 3. С. 57 – 58.
- 25 Новохатній В. Г. Надійність функціонування подавально-розподільного комплексу систем водопостачання: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.23.04 «Водопостачання, каналізація». Київ, 2012. 32 с.

## **Додаток А**

**Схеми попереднього розподілу потоків води на ділянках мережі  
для різних варіантів моделювання структури водорозбору**

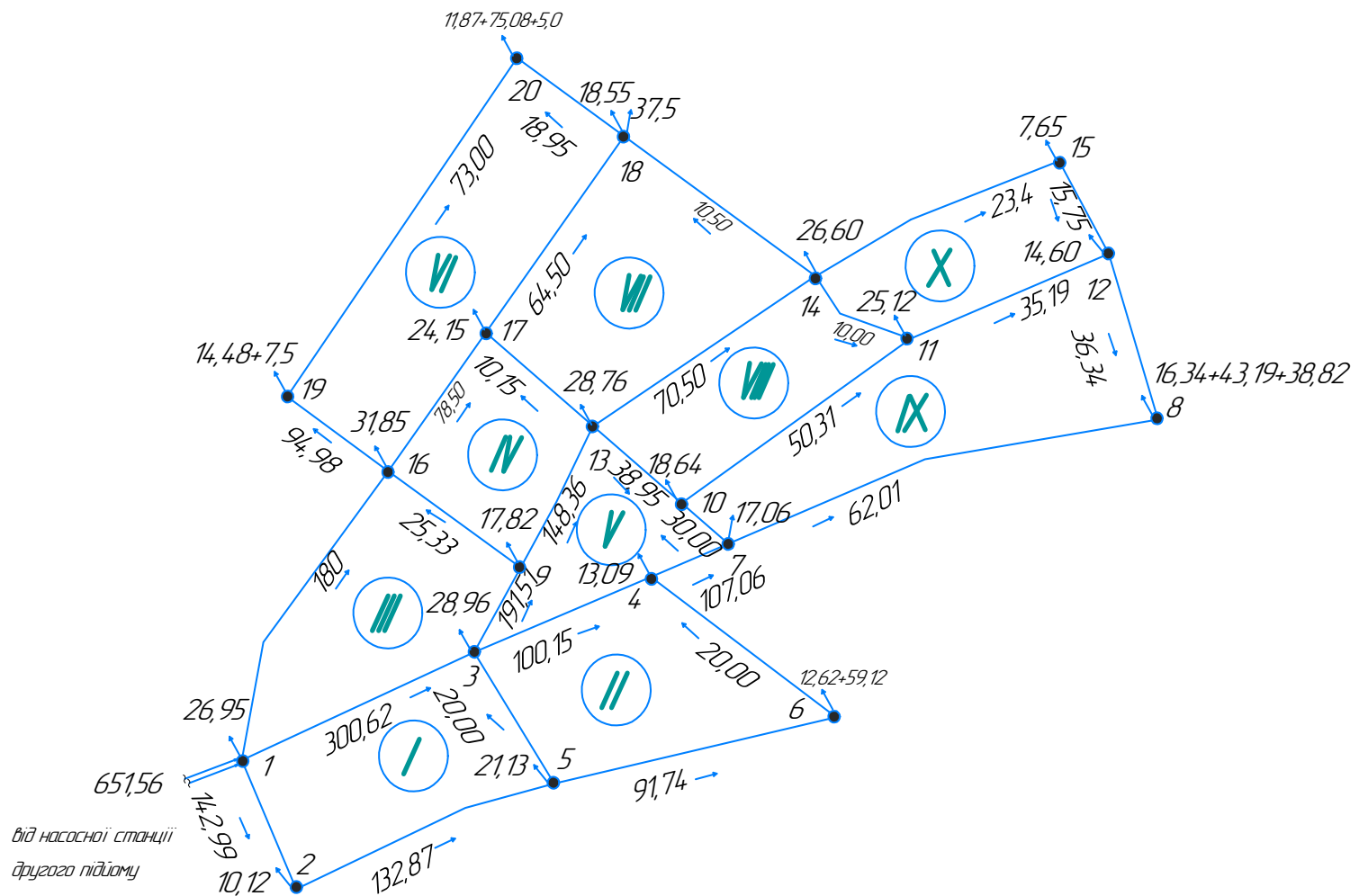


Рисунок А.1 – Попередній розподіл потоків води по ділянках мережі при зниженні забору води ЦТП-1 на 25% в 1 районі міста (варіант моделювання структури водорозбору №1)

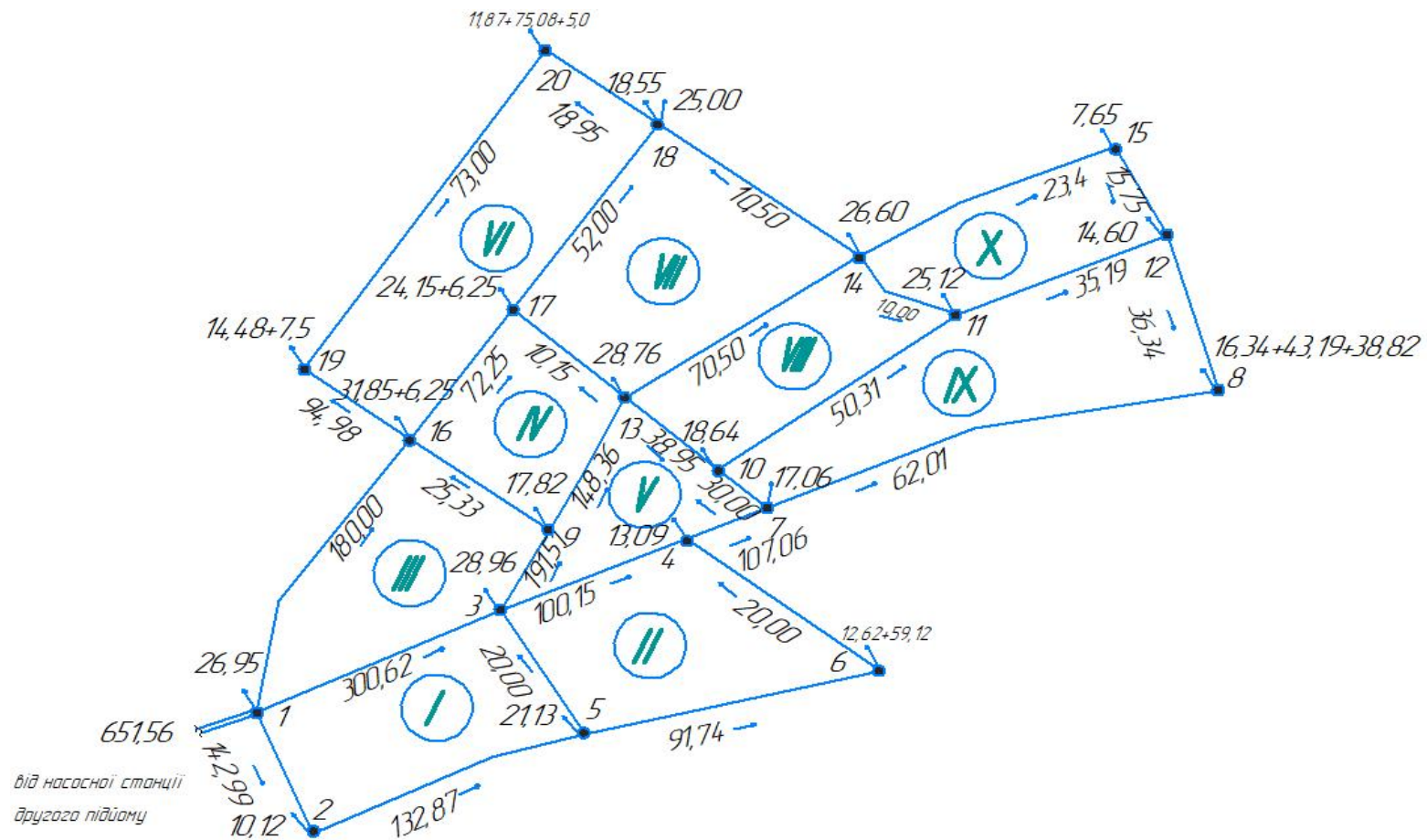


Рисунок А.2 – Попередній розподіл потоків води по ділянках мережі при зниженні забору води ЦТП-1 на 50 % в 1 районі міста (варіант моделювання структури водозбору №2)

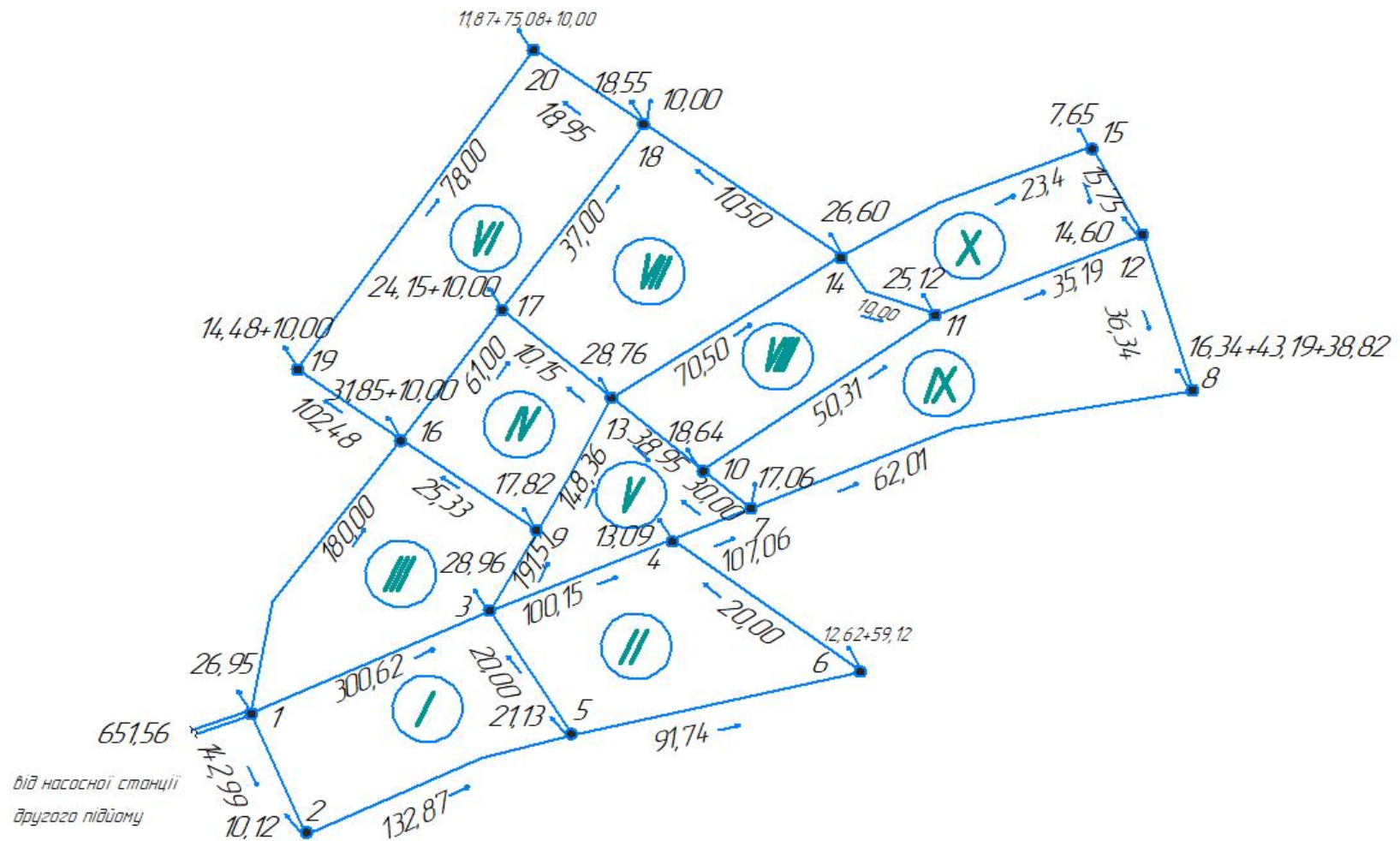


Рисунок А.3 – Попередній розподіл потоків води по ділянках мережі при зниженні забору води ЦТП-1 на 100 % в 1 районі міста (варіант моделювання структури водорозбору №3)



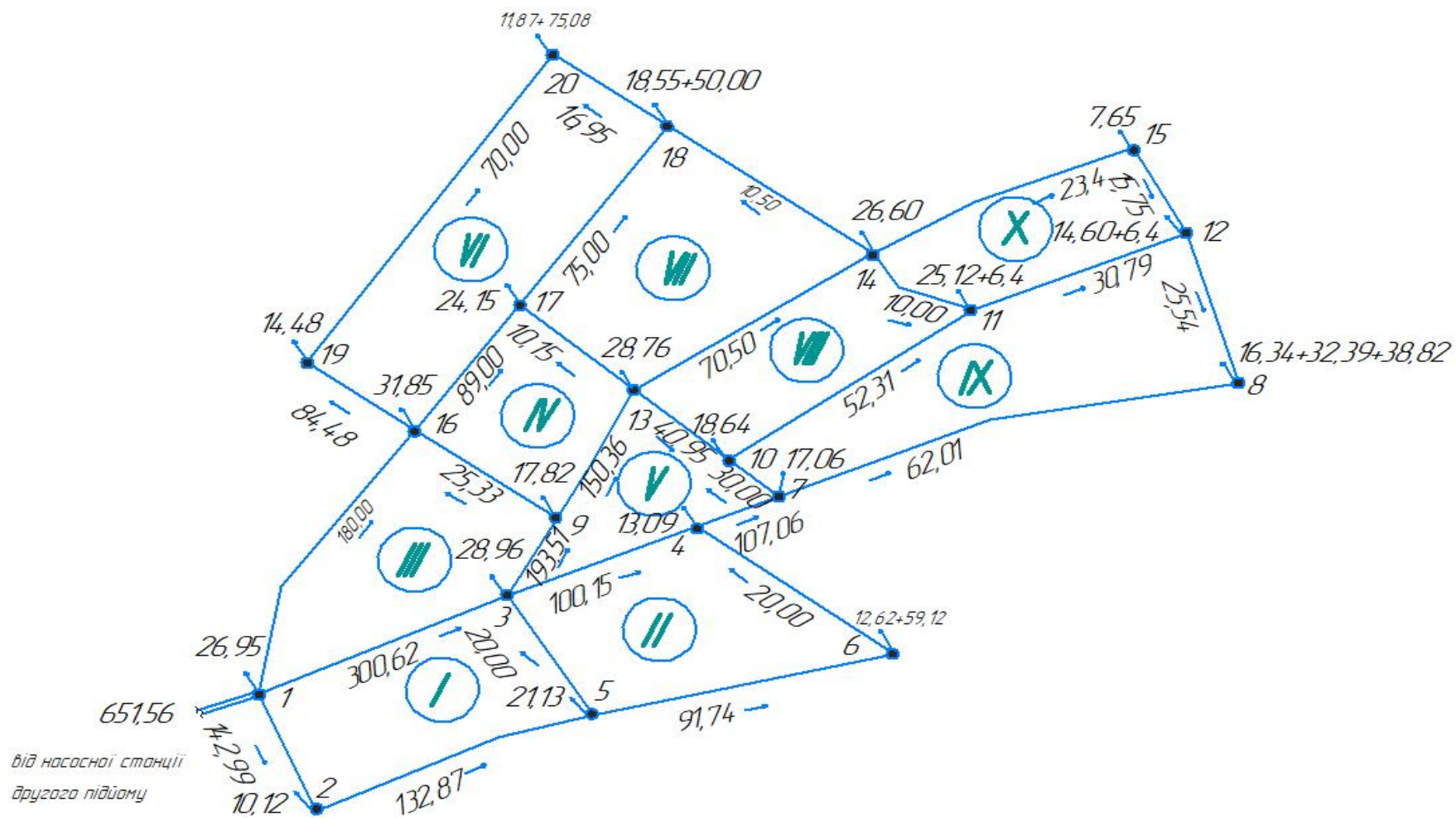


Рисунок А.4 – Попередній розподіл потоків води по ділянках мережі при зниженні забору води ЦТП -2 на 25 % в 2 районі міста (варіант моделювання структури водозбору №4)

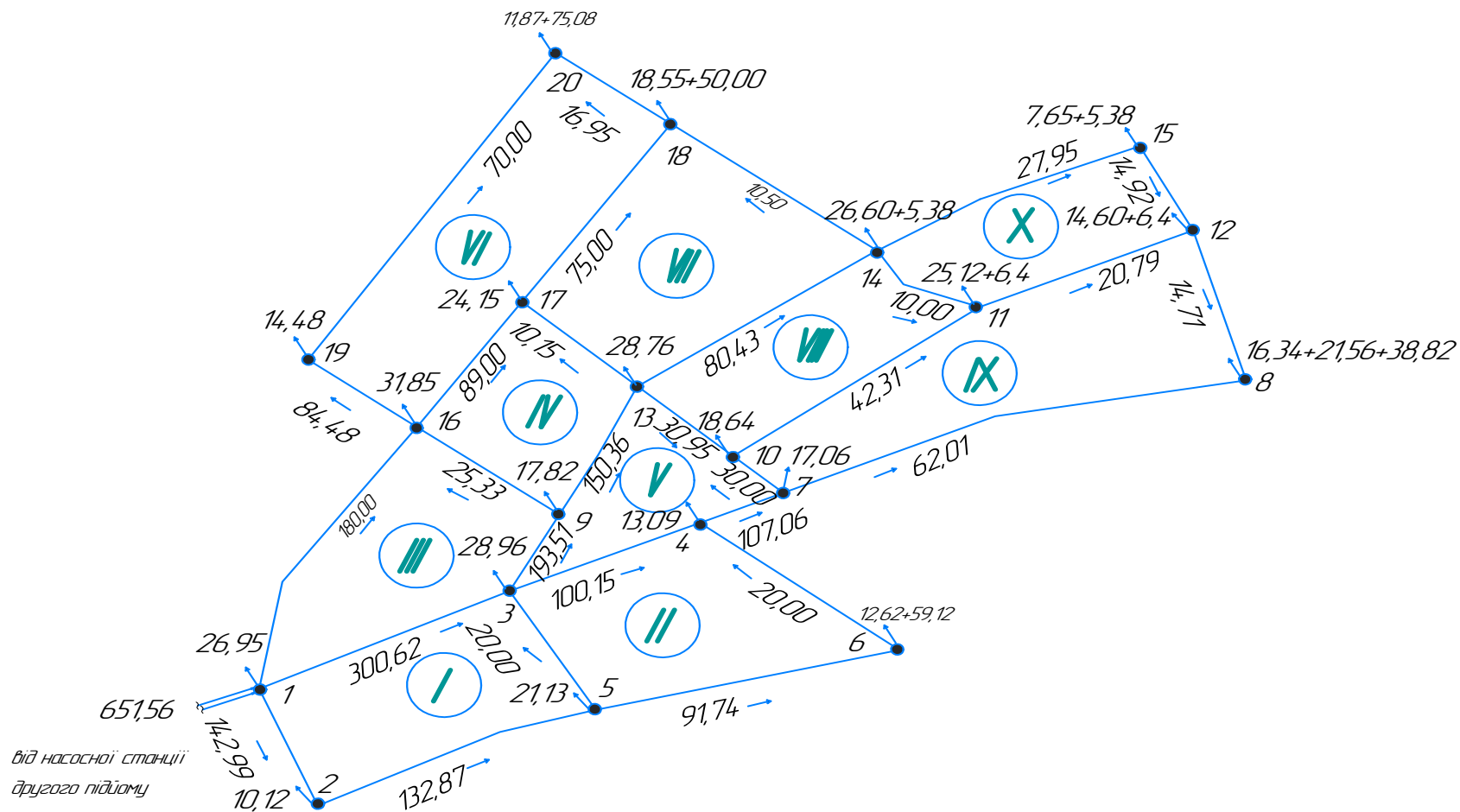


Рисунок А.5 – Попередній розподіл потоків води по ділянках мережі при зниженні забору води ЦТП -2 на 50 % в 2 районі міста (варіант моделювання структури водорозбору №5)

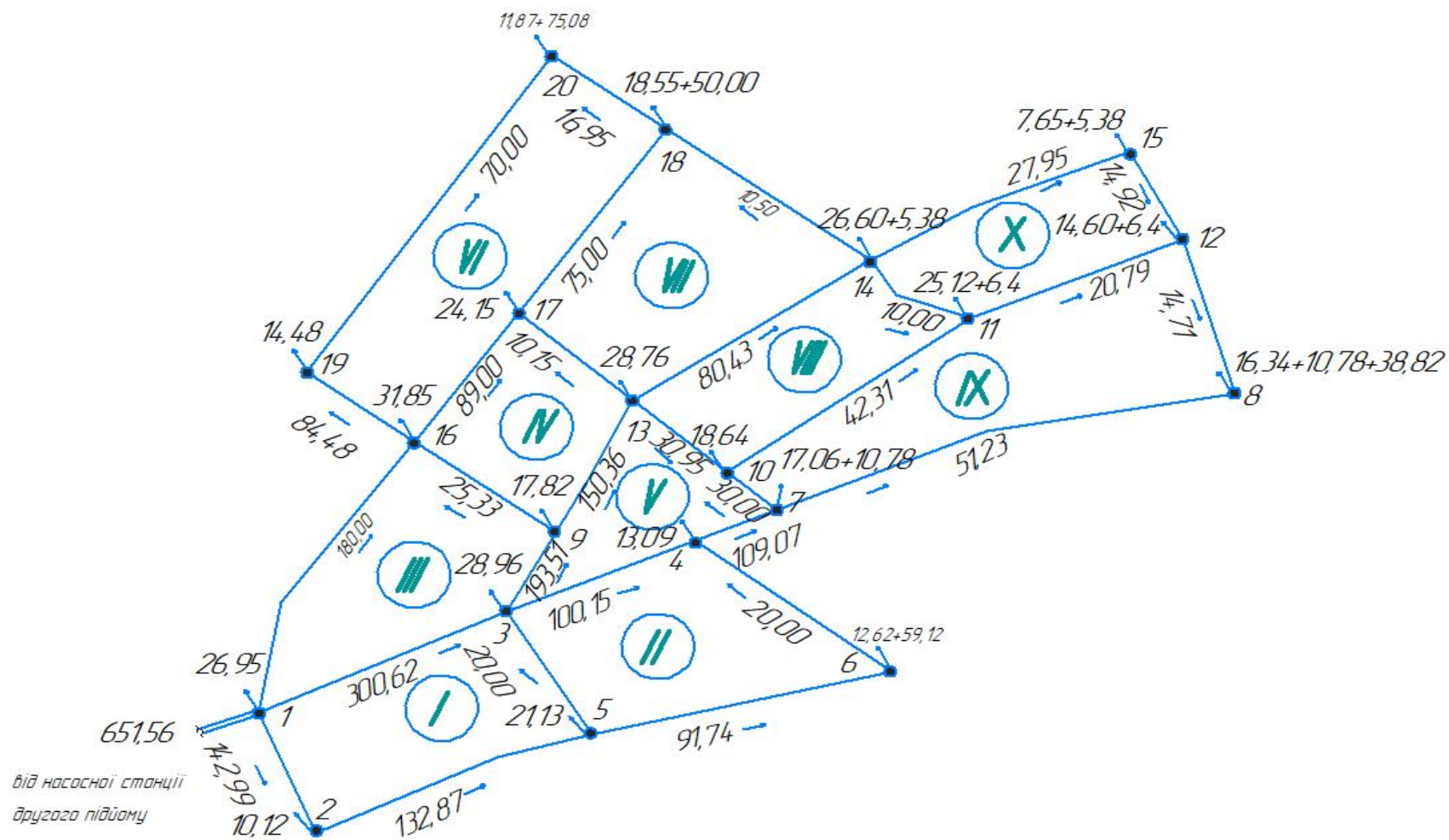


Рисунок А.6 – Попередній розподіл потоків води по ділянках мережі при зниженні забору води ЦТП -2 на 100 % в 2 районі міста (варіант моделювання структури водорозбору №6)

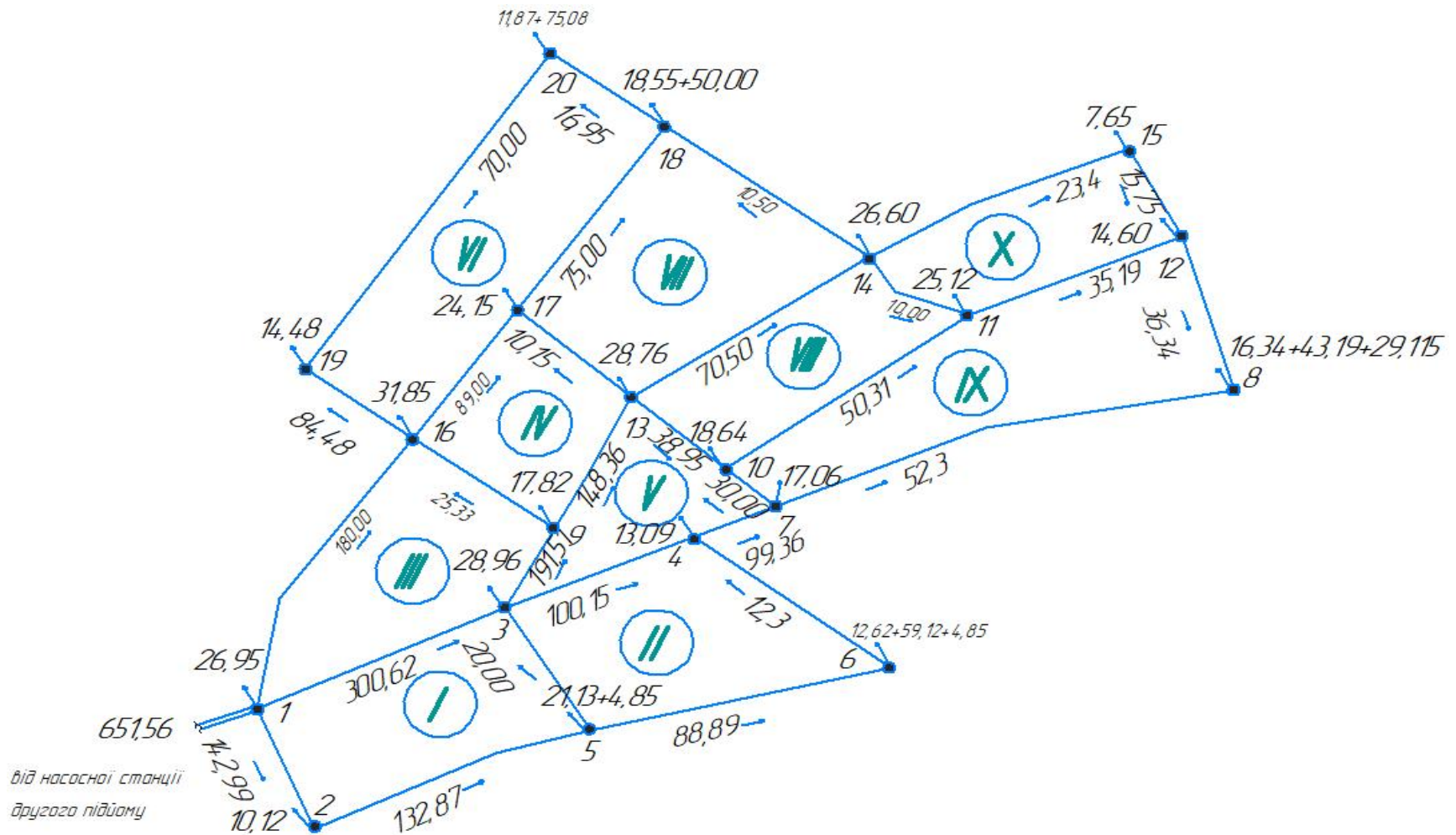


Рисунок А.7 – Попередній розподіл потоків води по ділянках мережі при зниженні забору води ЦТП -2 на 25 % в 3 районі міста (варіант моделювання структури водозбору №7)

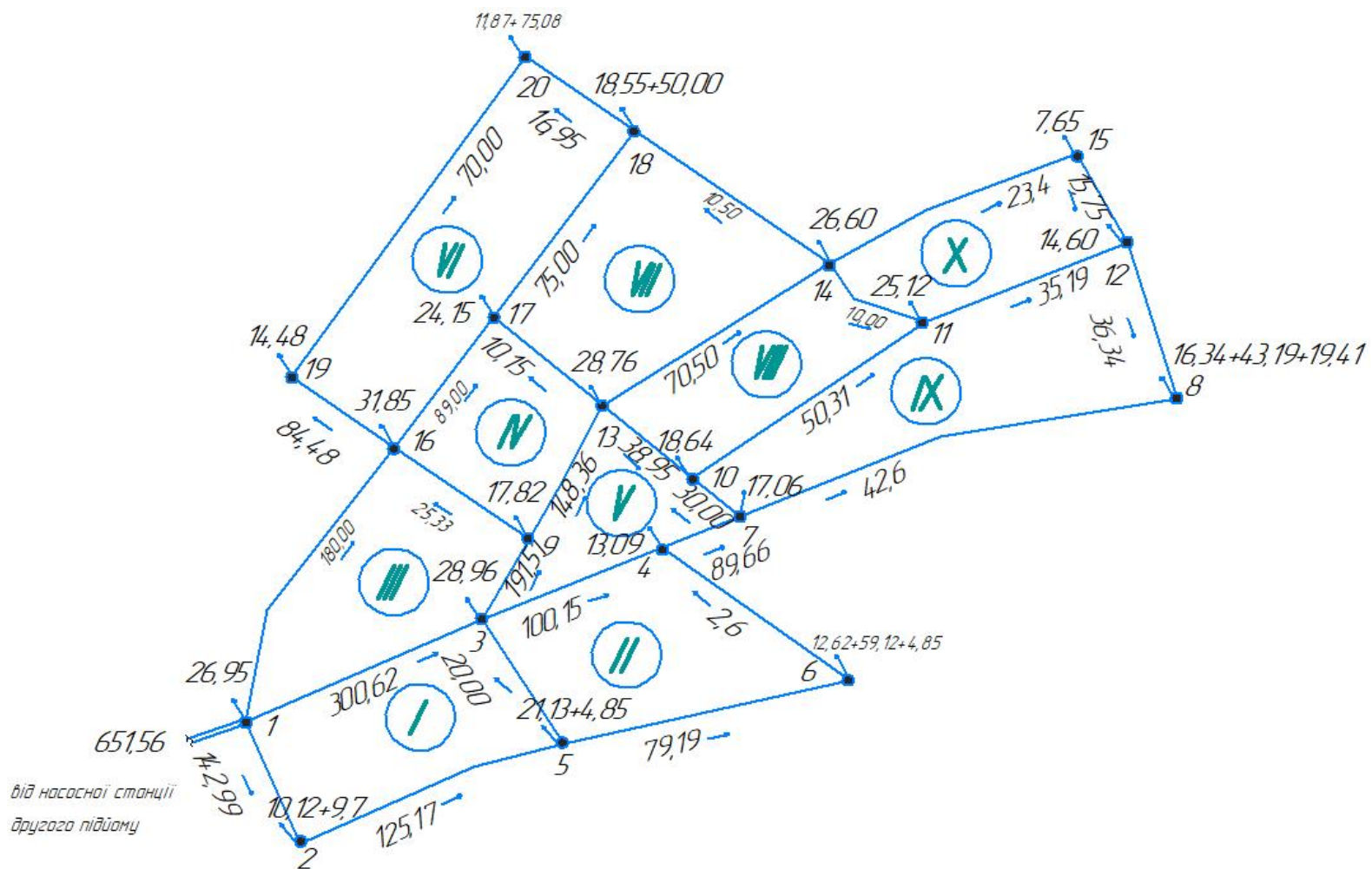


Рисунок А.8 – Попередній розподіл потоків води по ділянках мережі при зниженні забору води ЦТП -2 на 50 % в 3 районі міста (варіант моделювання структури водозбору №8)

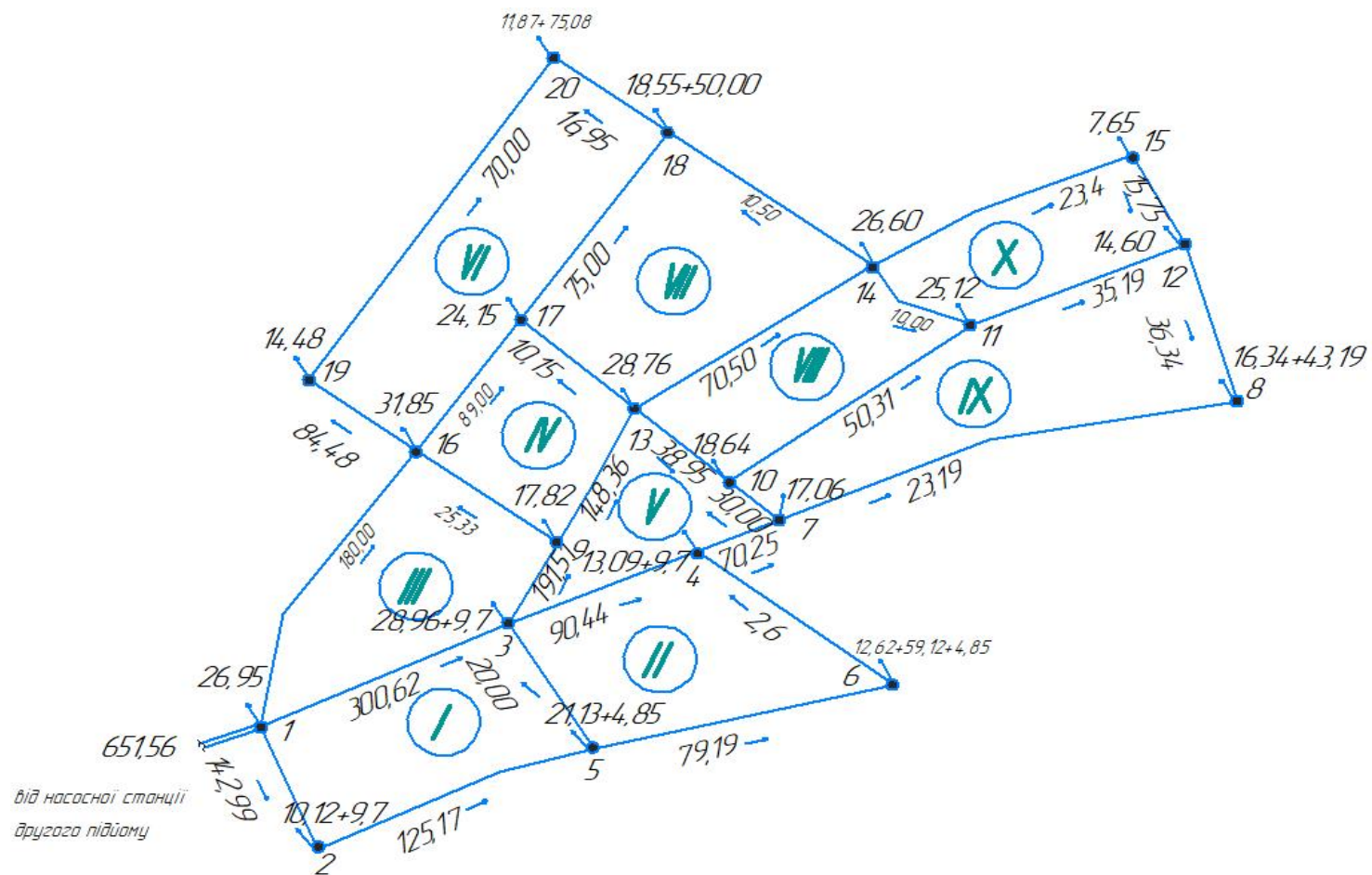


Рисунок А.9 – Попередній розподіл потоків води по ділянках мережі при зниженні забору води ЦТП - 2 на 100 % в 3 районі міста (варіант моделювання структури водорозбору №9)

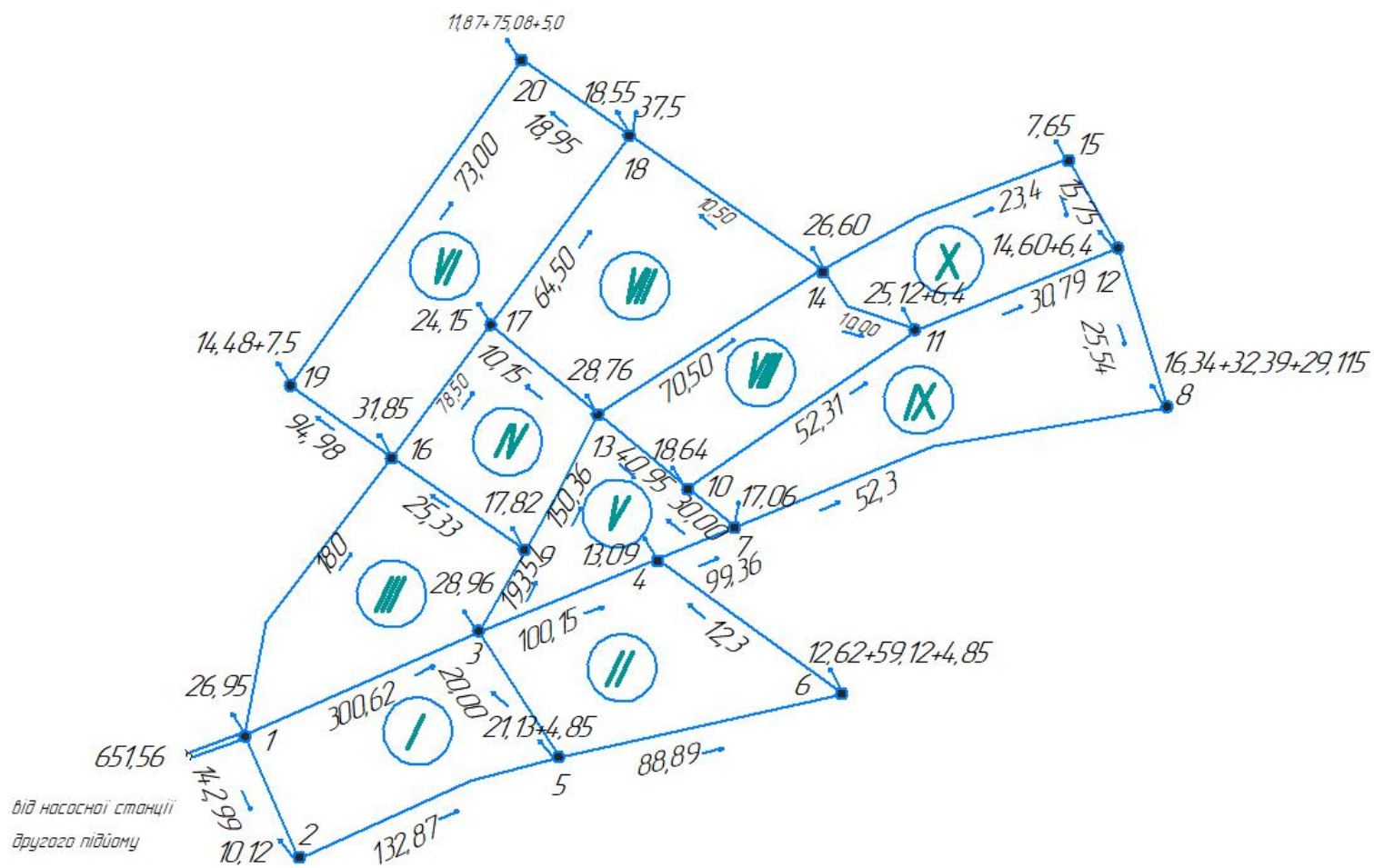


Рисунок А.10 – Попередній розподіл потоків води по ділянках мережі при зниженні забору води ЦТП -1, 2 на 25 % в 3-х районах міста одночасно (варіант моделювання структури водорозбору №10)

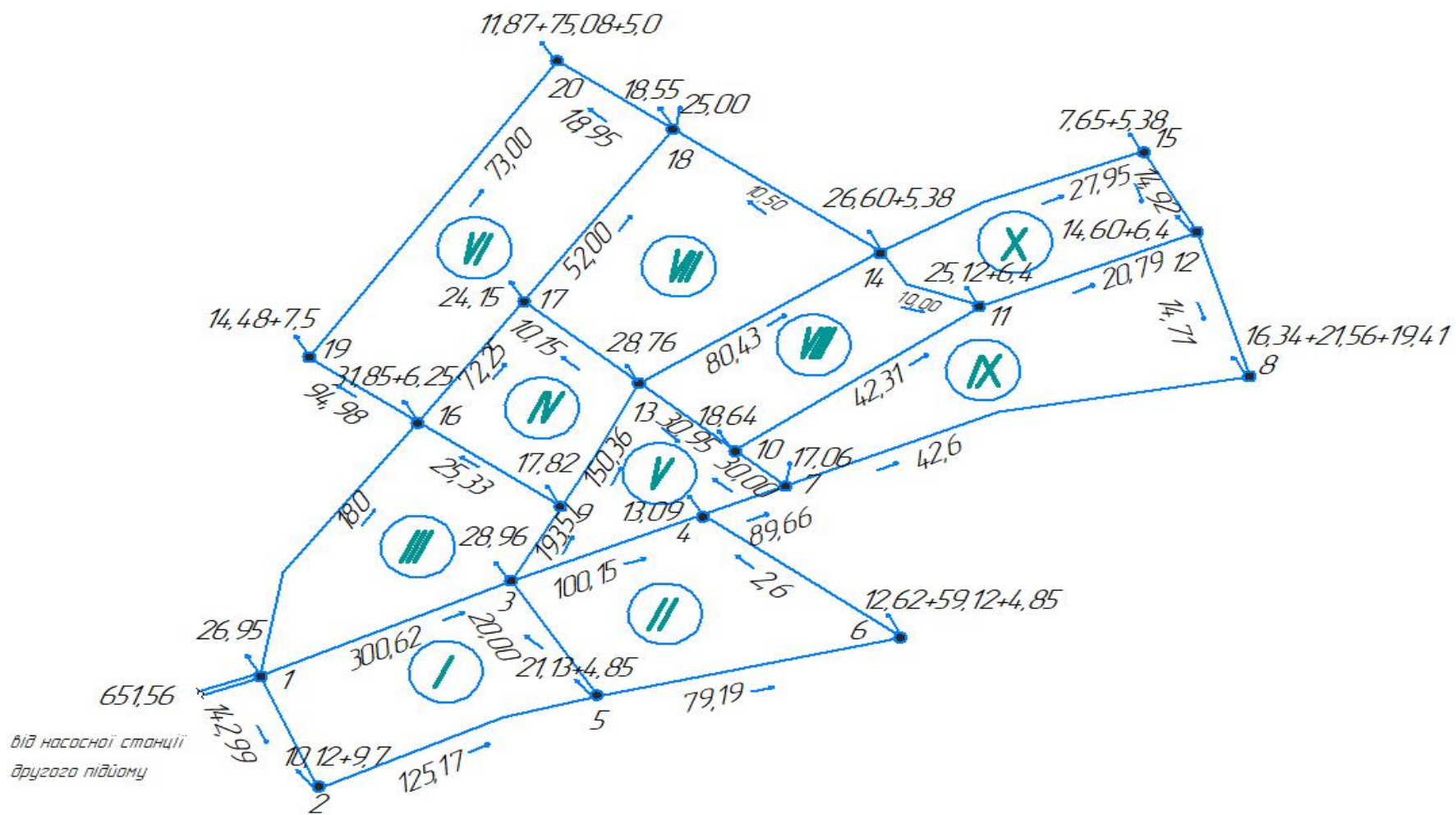


Рисунок А.11 – Попередній розподіл потоків води по ділянках мережі при зниженні забору води ЦТП -1, 2 на 50 % в 3-х районах міста одночасно (варіант моделювання структури водорозбору №11)



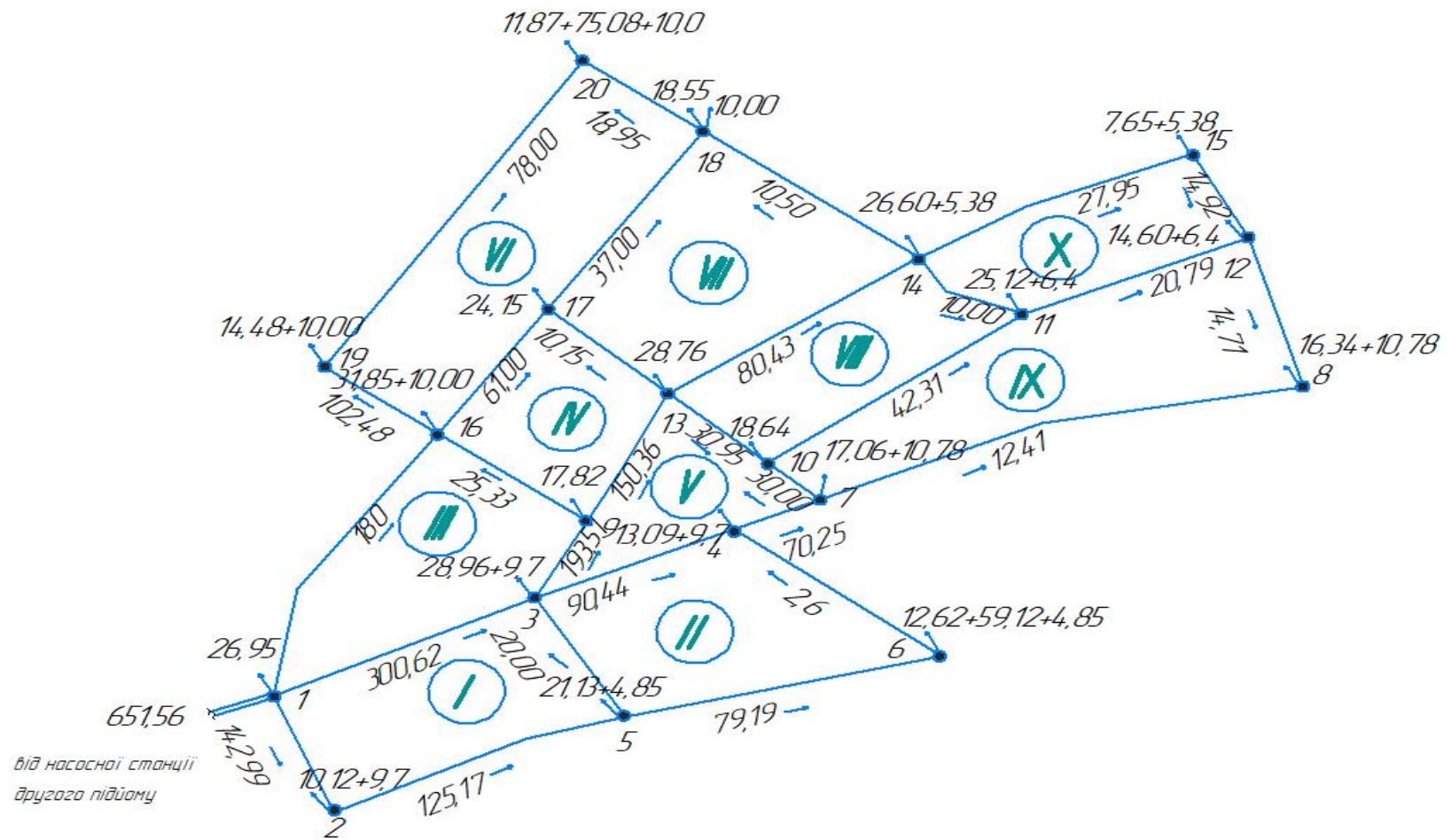


Рисунок А.12 – Попередній розподіл потоків води по ділянках мережі при зниженні забору води ЦТП -1, 2 на 100 % в 3-х районах міста одночасно (варіант моделювання структури водорозбору №12)

**Додаток Б**  
**Результати гідравлічного розрахунку для різних варіантів**  
**моделювання структури водорозбору**

Вихідні дані та результати ув'язки варіант 1  
 Вихідні дані  $\epsilon = .01000$   $nk = 10$   $ny = 29$

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	475.00	142.99	500.00	c	2	970.00	132.87	500.00	c	3	887.00	300.62	600.00	c
4	520.00	20.00	150.00	c	5	1008.00	91.74	350.00	c	6	665.00	100.15	350.00	c
7	795.00	20.00	150.00	c	8	1560.00	62.01	300.00	c	9	294.00	107.61	350.00	c
10	961.00	50.31	300.00	c	11	758.00	35.19	200.00	c	12	602.00	36.34	200.00	c
13	215.00	30.00	150.00	c	14	404.00	38.95	150.00	c	15	902.00	70.50	350.00	c
16	940.00	23.40	200.00	c	17	356.00	15.75	150.00	c	18	326.00	191.51	600.00	c
19	540.00	148.36	500.00	c	20	1130.00	180.00	500.00	c	21	560.00	25.33	200.00	c
22	489.00	10.15	150.00	c	23	800.00	10.50	150.00	c	24	578.00	78.50	300.00	c
25	820.00	64.50	300.00	c	26	433.00	94.98	300.00	c	27	1397.00	73.00	300.00	c
28	458.00	18.95	150.00	c	29	425.00	10.01	150.00	c	30	.00	.00	.00	

Результати гідравлічного розрахунку для варіанту №1

: номер :	код :	діаметр:	довжина :	витрата :	швидкість :	втрати
: ділянки:	ділянки:	ділянки	ділянки :	ділянки :	руху води :	напору
: 1 :	1- 0 :	500.00 :	475.00 :	115.57 :	.59 :	.49 :
: 2 :	1- 0 :	500.00 :	970.00 :	105.45 :	.54 :	.84 :
: 3 :	3- 1 :	600.00 :	887.00 :	311.98 :	1.10 :	2.28 :
: 4 :	1- 2 :	150.00 :	520.00 :	6.04 :	.34 :	.96 :
: 5 :	2- 0 :	350.00 :	1008.00 :	78.27 :	.81 :	2.96 :
: 6 :	5- 2 :	350.00 :	665.00 :	110.10 :	1.14 :	3.69 :
: 7 :	2- 0 :	150.00 :	795.00 :	6.53 :	.37 :	1.68 :
: 8 :	9- 0 :	300.00 :	1560.00 :	61.86 :	.88 :	6.41 :
: 9 :	5- 0 :	350.00 :	294.00 :	104.10 :	1.08 :	1.47 :
: 10 :	8- 9 :	300.00 :	961.00 :	32.87 :	.47 :	1.24 :
: 11 :	10- 9 :	200.00 :	758.00 :	29.46 :	.94 :	6.00 :
: 12 :	9- 0 :	200.00 :	602.00 :	36.19 :	1.15 :	6.99 :
: 13 :	5- 9 :	150.00 :	215.00 :	26.64 :	1.51 :	6.16 :
: 14 :	8- 5 :	150.00 :	404.00 :	24.87 :	1.41 :	10.09 :
: 15 :	7- 8 :	350.00 :	902.00 :	87.09 :	.91 :	3.23 :
: 16 :	0-10 :	200.00 :	940.00 :	29.28 :	.93 :	7.36 :
: 17 :	0-10 :	150.00 :	356.00 :	21.63 :	1.22 :	6.73 :
: 18 :	3- 5 :	600.00 :	326.00 :	178.96 :	.63 :	.30 :
: 19 :	4- 5 :	500.00 :	540.00 :	152.55 :	.78 :	.92 :
: 20 :	0- 3 :	500.00 :	1130.00 :	196.06 :	1.00 :	3.05 :
: 21 :	3- 4 :	200.00 :	560.00 :	8.60 :	.27 :	.48 :
: 22 :	4- 7 :	150.00 :	489.00 :	11.82 :	.67 :	3.02 :
: 23 :	7- 0 :	150.00 :	800.00 :	9.50 :	.54 :	3.32 :
: 24 :	6- 4 :	300.00 :	578.00 :	75.72 :	1.07 :	3.46 :
: 25 :	6- 7 :	300.00 :	820.00 :	63.39 :	.90 :	3.53 :
: 26 :	0- 6 :	300.00 :	433.00 :	97.09 :	1.37 :	4.18 :
: 27 :	0- 6 :	300.00 :	1397.00 :	75.11 :	1.06 :	8.24 :
: 28 :	6- 0 :	150.00 :	458.00 :	16.84 :	.95 :	5.43 :
: 29 :	10- 8 :	150.00 :	425.00 :	21.72 :	1.23 :	8.09 :

Вихідні дані та результати ув'язки варіант 2  
 Вихідні дані e= .01000 nk= 10 ny= 29

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	475.00	142.99	500.00	c	2	970.00	132.87	500.00	c	3	887.00	300.62	600.00	c
4	520.00	20.00	150.00	c	5	1008.00	91.74	350.00	c	6	665.00	100.15	350.00	c
7	795.00	20.00	150.00	c	8	1560.00	62.01	300.00	c	9	294.00	107.61	350.00	c
10	961.00	50.31	300.00	c	11	758.00	35.19	200.00	c	12	602.00	36.34	200.00	c
13	215.00	30.00	150.00	c	14	404.00	38.95	150.00	c	15	902.00	70.50	350.00	c
16	940.00	23.40	200.00	c	17	356.00	15.75	150.00	c	18	326.00	191.51	600.00	c
19	540.00	148.36	500.00	c	20	1130.00	180.00	500.00	c	21	560.00	25.33	200.00	c
22	489.00	10.15	150.00	c	23	800.00	10.50	150.00	c	24	578.00	72.25	300.00	c
25	820.00	52.00	300.00	c	26	433.00	94.98	300.00	c	27	1397.00	73.00	300.00	c
28	458.00	18.95	150.00	c	29	425.00	10.01	150.00	c	30	.00	.00	.00	

Результати гідравлічного розрахунку для варіанту №2

: номер :	код :	діаметр:	довжина :	витрата :	швидкість :	втрати
: ділянки:	ділянки:	ділянки	ділянки :	ділянки :	руху води :	напору
: 1 :	1- 0 :	500.00 :	475.00 :	115.47 :	.59 :	.48 :
: 2 :	1- 0 :	500.00 :	970.00 :	105.35 :	.54 :	.84 :
: 3 :	3- 1 :	600.00 :	887.00 :	310.68 :	1.10 :	2.26 :
: 4 :	1- 2 :	150.00 :	520.00 :	5.99 :	.34 :	.94 :
: 5 :	2- 0 :	350.00 :	1008.00 :	78.23 :	.81 :	2.96 :
: 6 :	5- 2 :	350.00 :	665.00 :	110.00 :	1.14 :	3.68 :
: 7 :	2- 0 :	150.00 :	795.00 :	6.49 :	.37 :	1.66 :
: 8 :	9- 0 :	300.00 :	1560.00 :	61.78 :	.87 :	6.40 :
: 9 :	5- 0 :	350.00 :	294.00 :	103.95 :	1.08 :	1.46 :
: 10 :	8- 9 :	300.00 :	961.00 :	32.77 :	.46 :	1.24 :
: 11 :	10- 9 :	200.00 :	758.00 :	29.46 :	.94 :	6.00 :
: 12 :	9- 0 :	200.00 :	602.00 :	36.11 :	1.15 :	6.97 :
: 13 :	5- 9 :	150.00 :	215.00 :	26.56 :	1.50 :	6.12 :
: 14 :	8- 5 :	150.00 :	404.00 :	24.85 :	1.41 :	10.07 :
: 15 :	7- 8 :	350.00 :	902.00 :	85.60 :	.89 :	3.13 :
: 16 :	0-10 :	200.00 :	940.00 :	29.36 :	.93 :	7.39 :
: 17 :	0-10 :	150.00 :	356.00 :	21.71 :	1.23 :	6.77 :
: 18 :	3- 5 :	600.00 :	326.00 :	177.71 :	.63 :	.30 :
: 19 :	4- 5 :	500.00 :	540.00 :	150.67 :	.77 :	.90 :
: 20 :	0- 3 :	500.00 :	1130.00 :	197.47 :	1.01 :	3.10 :
: 21 :	3- 4 :	200.00 :	560.00 :	9.22 :	.29 :	.54 :
: 22 :	4- 7 :	150.00 :	489.00 :	11.47 :	.65 :	2.86 :
: 23 :	7- 0 :	150.00 :	800.00 :	7.83 :	.44 :	2.34 :
: 24 :	6- 4 :	300.00 :	578.00 :	72.78 :	1.03 :	3.21 :
: 25 :	6- 7 :	300.00 :	820.00 :	53.84 :	.76 :	2.61 :
: 26 :	0- 6 :	300.00 :	433.00 :	95.80 :	1.36 :	4.07 :
: 27 :	0- 6 :	300.00 :	1397.00 :	73.82 :	1.04 :	7.98 :
: 28 :	6- 0 :	150.00 :	458.00 :	18.13 :	1.03 :	6.23 :
: 29 :	10- 8 :	150.00 :	425.00 :	21.82 :	1.23 :	8.17 :

Вихідні дані та результати ув'язки варіант 3  
 Вихідні дані  $\epsilon = .01000$   $n_k = 10$   $n_y = 29$

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	475.00	142.99	500.00	с	2	970.00	132.87	500.00	с	3	887.00	300.62	600.00	с
4	520.00	20.00	150.00	с	5	1008.00	91.74	350.00	с	6	665.00	100.15	350.00	с
7	795.00	20.00	150.00	с	8	1560.00	62.01	300.00	с	9	294.00	107.61	350.00	с
10	961.00	50.31	300.00	с	11	758.00	35.19	200.00	с	12	602.00	36.34	200.00	с
13	215.00	30.00	150.00	с	14	404.00	38.95	150.00	с	15	902.00	70.50	350.00	с
16	940.00	23.40	200.00	с	17	356.00	15.75	150.00	с	18	326.00	191.51	600.00	с
19	540.00	148.36	500.00	с	20	1130.00	180.00	500.00	с	21	560.00	25.33	200.00	с
22	489.00	10.15	150.00	с	23	800.00	10.50	150.00	с	24	578.00	61.00	300.00	с
25	820.00	37.00	300.00	с	26	433.00	102.48	300.00	с	27	1397.00	78.00	300.00	с
28	458.00	18.95	150.00	с	29	425.00	10.01	150.00	с	30	.00	.00	.00	

Результати гідравлічного розрахунку для варіанту №3

: номер :	код :	діаметр:	довжина :	витрата :	швидкість :	втрати
: ділянки:	ділянки:	ділянки	ділянки :	ділянки :	руху води :	напору
: 1 :	1- 0 :	500.00 :	475.00 :	115.33 :	.59 :	.48 :
: 2 :	1- 0 :	500.00 :	970.00 :	105.21 :	.54 :	.84 :
: 3 :	3- 1 :	600.00 :	887.00 :	308.83 :	1.09 :	2.24 :
: 4 :	1- 2 :	150.00 :	520.00 :	5.91 :	.33 :	.92 :
: 5 :	2- 0 :	350.00 :	1008.00 :	78.17 :	.81 :	2.96 :
: 6 :	5- 2 :	350.00 :	665.00 :	109.87 :	1.14 :	3.67 :
: 7 :	2- 0 :	150.00 :	795.00 :	6.43 :	.36 :	1.63 :
: 8 :	9- 0 :	300.00 :	1560.00 :	61.69 :	.87 :	6.38 :
: 9 :	5- 0 :	350.00 :	294.00 :	103.76 :	1.08 :	1.46 :
: 10 :	8- 9 :	300.00 :	961.00 :	32.65 :	.46 :	1.23 :
: 11 :	10- 9 :	200.00 :	758.00 :	29.46 :	.94 :	6.00 :
: 12 :	9- 0 :	200.00 :	602.00 :	36.02 :	1.15 :	6.93 :
: 13 :	5- 9 :	150.00 :	215.00 :	26.47 :	1.50 :	6.08 :
: 14 :	8- 5 :	150.00 :	404.00 :	24.82 :	1.40 :	10.04 :
: 15 :	7- 8 :	350.00 :	902.00 :	83.71 :	.87 :	3.00 :
: 16 :	0-10 :	200.00 :	940.00 :	29.44 :	.94 :	7.43 :
: 17 :	0-10 :	150.00 :	356.00 :	21.79 :	1.23 :	6.82 :
: 18 :	3- 5 :	600.00 :	326.00 :	175.91 :	.62 :	.29 :
: 19 :	4- 5 :	500.00 :	540.00 :	148.04 :	.75 :	.87 :
: 20 :	0- 3 :	500.00 :	1130.00 :	199.45 :	1.02 :	3.15 :
: 21 :	3- 4 :	200.00 :	560.00 :	10.04 :	.32 :	.63 :
: 22 :	4- 7 :	150.00 :	489.00 :	10.76 :	.61 :	2.54 :
: 23 :	7- 0 :	150.00 :	800.00 :	5.73 :	.32 :	1.34 :
: 24 :	6- 4 :	300.00 :	578.00 :	67.32 :	.95 :	2.78 :
: 25 :	6- 7 :	300.00 :	820.00 :	43.93 :	.62 :	1.80 :
: 26 :	0- 6 :	300.00 :	433.00 :	100.32 :	1.42 :	4.47 :
: 27 :	0- 6 :	300.00 :	1397.00 :	75.84 :	1.07 :	8.39 :
: 28 :	6- 0 :	150.00 :	458.00 :	21.11 :	1.19 :	8.28 :
: 29 :	10- 8 :	150.00 :	425.00 :	21.95 :	1.24 :	8.26 :

## Вихідні дані та результати ув'язки варіант 4

Вихідні дані  $\epsilon = .01000$   $nk = 10$   $ny = 29$ 

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	475.00	142.99	500.00	c	2	970.00	132.87	500.00	c	3	887.00	300.62	600.00	c
4	520.00	20.00	150.00	c	5	1008.00	91.74	350.00	c	6	665.00	100.15	350.00	c
7	795.00	20.00	150.00	c	8	1560.00	62.01	300.00	c	9	294.00	107.61	350.00	c
10	961.00	52.31	300.00	c	11	758.00	30.79	200.00	c	12	602.00	24.54	200.00	c
13	215.00	30.00	150.00	c	14	404.00	40.95	150.00	c	15	902.00	70.50	350.00	c
16	940.00	23.40	200.00	c	17	356.00	15.75	150.00	c	18	326.00	193.51	600.00	c
19	540.00	150.36	500.00	c	20	1130.00	180.00	500.00	c	21	560.00	25.33	200.00	c
22	489.00	10.15	150.00	c	23	800.00	10.50	150.00	c	24	578.00	89.00	300.00	c
25	820.00	75.00	300.00	c	26	433.00	84.48	300.00	c	27	1397.00	70.00	300.00	c
28	458.00	16.95	150.00	c	29	425.00	10.01	150.00	c	30	.00	.00	.00	

Результати гідравлічного розрахунку для варіанту №4

: номер :	код :	діаметр:	довжина :	витрата :	швидкість :	втрати
: ділянки:	ділянки:	ділянки	ділянки :	ділянки :	руху води :	напору
: 1 :	1- 0 :	500.00 :	475.00 :	115.96 :	.59 :	.49 :
: 2 :	1- 0 :	500.00 :	970.00 :	105.84 :	.54 :	.84 :
: 3 :	3- 1 :	600.00 :	887.00 :	313.40 :	1.11 :	2.30 :
: 4 :	1- 2 :	150.00 :	520.00 :	6.08 :	.34 :	.97 :
: 5 :	2- 0 :	350.00 :	1008.00 :	78.63 :	.82 :	2.99 :
: 6 :	5- 2 :	350.00 :	665.00 :	113.00 :	1.17 :	3.87 :
: 7 :	2- 0 :	150.00 :	795.00 :	6.89 :	.39 :	1.85 :
: 8 :	9- 0 :	300.00 :	1560.00 :	65.21 :	.92 :	7.07 :
: 9 :	5- 0 :	350.00 :	294.00 :	107.36 :	1.12 :	1.55 :
: 10 :	8- 9 :	300.00 :	961.00 :	33.04 :	.47 :	1.26 :
: 11 :	10- 9 :	200.00 :	758.00 :	23.52 :	.75 :	3.96 :
: 12 :	9- 0 :	200.00 :	602.00 :	27.74 :	.88 :	4.26 :
: 13 :	5- 9 :	150.00 :	215.00 :	26.55 :	1.50 :	6.12 :
: 14 :	8- 5 :	150.00 :	404.00 :	25.13 :	1.42 :	10.30 :
: 15 :	7- 8 :	350.00 :	902.00 :	87.26 :	.91 :	3.24 :
: 16 :	0-10 :	200.00 :	940.00 :	27.47 :	.87 :	6.54 :
: 17 :	0-10 :	150.00 :	356.00 :	19.82 :	1.12 :	5.72 :
: 18 :	3- 5 :	600.00 :	326.00 :	179.51 :	.63 :	.30 :
: 19 :	4- 5 :	500.00 :	540.00 :	153.87 :	.78 :	.93 :
: 20 :	0- 3 :	500.00 :	1130.00 :	194.25 :	.99 :	3.00 :
: 21 :	3- 4 :	200.00 :	560.00 :	7.82 :	.25 :	.40 :
: 22 :	4- 7 :	150.00 :	489.00 :	12.72 :	.72 :	3.45 :
: 23 :	7- 0 :	150.00 :	800.00 :	11.19 :	.63 :	4.47 :
: 24 :	6- 4 :	300.00 :	578.00 :	81.61 :	1.15 :	3.98 :
: 25 :	6- 7 :	300.00 :	820.00 :	70.18 :	.99 :	4.26 :
: 26 :	0- 6 :	300.00 :	433.00 :	88.61 :	1.25 :	3.48 :
: 27 :	0- 6 :	300.00 :	1397.00 :	74.13 :	1.05 :	8.04 :
: 28 :	6- 0 :	150.00 :	458.00 :	12.82 :	.73 :	3.28 :
: 29 :	10- 8 :	150.00 :	425.00 :	22.00 :	1.25 :	8.31 :

## Вихідні дані та результати ув'язки варіант 5

Вихідні дані e= .01000 nk= 10 ny= 29

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	475.00	142.99	500.00	c	2	970.00	132.87	500.00	c	3	887.00	300.62	600.00	c
4	520.00	20.00	150.00	c	5	1008.00	91.74	350.00	c	6	665.00	100.15	350.00	c
7	795.00	20.00	150.00	c	8	1560.00	62.01	300.00	c	9	294.00	107.61	350.00	c
10	961.00	42.31	300.00	c	11	758.00	20.79	200.00	c	12	602.00	14.71	200.00	c
13	215.00	30.00	150.00	c	14	404.00	30.95	150.00	c	15	902.00	80.43	350.00	c
16	940.00	27.95	200.00	c	17	356.00	14.92	150.00	c	18	326.00	193.51	600.00	c
19	540.00	150.36	500.00	c	20	1130.00	180.00	500.00	c	21	560.00	25.33	200.00	c
22	489.00	10.15	150.00	c	23	800.00	10.50	150.00	c	24	578.00	89.00	300.00	c
25	820.00	75.00	300.00	c	26	433.00	84.48	300.00	c	27	1397.00	70.00	300.00	c
28	458.00	16.95	150.00	c	29	425.00	10.01	150.00	c	30	.00	.00	.00	

## Результати гідравлічного розрахунку для варіанту №5

: номер :	код :	діаметр:	довжина :	витрата :	швидкість :	втрати
: ділянки:	ділянки:	ділянки	ділянки	ділянки	: руху води :	напору
: 1 :	1- 0 :	500.00 :	475.00 :	115.78 :	.59 :	.49 :
: 2 :	1- 0 :	500.00 :	970.00 :	105.66 :	.54 :	.84 :
: 3 :	3- 1 :	600.00 :	887.00 :	313.36 :	1.11 :	2.30 :
: 4 :	1- 2 :	150.00 :	520.00 :	6.09 :	.34 :	.97 :
: 5 :	2- 0 :	350.00 :	1008.00 :	78.44 :	.82 :	2.98 :
: 6 :	5- 2 :	350.00 :	665.00 :	111.29 :	1.16 :	3.76 :
: 7 :	2- 0 :	150.00 :	795.00 :	6.70 :	.38 :	1.76 :
: 8 :	9- 0 :	300.00 :	1560.00 :	65.08 :	.92 :	7.05 :
: 9 :	5- 0 :	350.00 :	294.00 :	105.44 :	1.10 :	1.50 :
: 10 :	8- 9 :	300.00 :	961.00 :	30.03 :	.42 :	1.06 :
: 11 :	10- 9 :	200.00 :	758.00 :	18.49 :	.59 :	2.55 :
: 12 :	9- 0 :	200.00 :	602.00 :	17.78 :	.57 :	1.88 :
: 13 :	5- 9 :	150.00 :	215.00 :	24.76 :	1.40 :	5.32 :
: 14 :	8- 5 :	150.00 :	404.00 :	23.91 :	1.35 :	9.32 :
: 15 :	7- 8 :	350.00 :	902.00 :	90.09 :	.94 :	3.44 :
: 16 :	0-10 :	200.00 :	940.00 :	27.19 :	.87 :	6.41 :
: 17 :	0-10 :	150.00 :	356.00 :	14.16 :	.80 :	3.06 :
: 18 :	3- 5 :	600.00 :	326.00 :	181.20 :	.64 :	.31 :
: 19 :	4- 5 :	500.00 :	540.00 :	155.54 :	.79 :	.95 :
: 20 :	0- 3 :	500.00 :	1130.00 :	194.47 :	.99 :	3.01 :
: 21 :	3- 4 :	200.00 :	560.00 :	7.84 :	.25 :	.40 :
: 22 :	4- 7 :	150.00 :	489.00 :	12.72 :	.72 :	3.45 :
: 23 :	7- 0 :	150.00 :	800.00 :	10.95 :	.62 :	4.29 :
: 24 :	6- 4 :	300.00 :	578.00 :	81.80 :	1.16 :	4.00 :
: 25 :	6- 7 :	300.00 :	820.00 :	70.37 :	1.00 :	4.28 :
: 26 :	0- 6 :	300.00 :	433.00 :	88.66 :	1.25 :	3.49 :
: 27 :	0- 6 :	300.00 :	1397.00 :	74.18 :	1.05 :	8.05 :
: 28 :	6- 0 :	150.00 :	458.00 :	12.77 :	.72 :	3.26 :
: 29 :	10- 8 :	150.00 :	425.00 :	19.98 :	1.13 :	6.93 :

## Вихідні дані та результати ув'язки варіант 6

Вихідні дані e= .01000 nk= 10 ny= 29

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	475.00	142.99	500.00	c	2	970.00	132.87	500.00	c	3	887.00	300.62	600.00	c
4	520.00	20.00	150.00	c	5	1008.00	91.74	350.00	c	6	665.00	100.15	350.00	c
7	795.00	20.00	150.00	c	8	1560.00	51.23	300.00	c	9	294.00	109.07	350.00	c
10	961.00	42.31	300.00	c	11	758.00	20.79	200.00	c	12	602.00	14.71	200.00	c
13	215.00	30.00	150.00	c	14	404.00	30.95	150.00	c	15	902.00	80.43	350.00	c
16	940.00	27.95	200.00	c	17	356.00	14.92	150.00	c	18	326.00	193.51	600.00	c
19	540.00	150.36	500.00	c	20	1130.00	180.00	500.00	c	21	560.00	25.33	200.00	c
22	489.00	10.15	150.00	c	23	800.00	10.50	150.00	c	24	578.00	89.00	300.00	c
25	820.00	75.00	300.00	c	26	433.00	84.48	300.00	c	27	1397.00	70.00	300.00	c
28	458.00	16.95	150.00	c	29	425.00	10.01	150.00	c	30	.00	.00	.00	

## Результати гідравлічного розрахунку для варіанту №6

: номер :	код :	діаметр:	довжина :	витрата :	швидкість :	втрати
: ділянки:	ділянки:	ділянки	ділянки :	ділянки :	руху води :	напору
: 1 :	1- 0 :	500.00 :	475.00 :	115.93 :	.59 :	.49 :
: 2 :	1- 0 :	500.00 :	970.00 :	105.81 :	.54 :	.84 :
: 3 :	3- 1 :	600.00 :	887.00 :	313.34 :	1.11 :	2.30 :
: 4 :	1- 2 :	150.00 :	520.00 :	6.08 :	.34 :	.97 :
: 5 :	2- 0 :	350.00 :	1008.00 :	78.60 :	.82 :	2.99 :
: 6 :	5- 2 :	350.00 :	665.00 :	112.73 :	1.17 :	3.85 :
: 7 :	2- 0 :	150.00 :	795.00 :	6.86 :	.39 :	1.83 :
: 8 :	9- 0 :	300.00 :	1560.00 :	56.99 :	.81 :	5.51 :
: 9 :	5- 0 :	350.00 :	294.00 :	108.51 :	1.13 :	1.59 :
: 10 :	8- 9 :	300.00 :	961.00 :	28.62 :	.40 :	.97 :
: 11 :	10- 9 :	200.00 :	758.00 :	16.66 :	.53 :	2.11 :
: 12 :	9- 0 :	200.00 :	602.00 :	20.47 :	.65 :	2.44 :
: 13 :	5- 9 :	150.00 :	215.00 :	23.68 :	1.34 :	4.87 :
: 14 :	8- 5 :	150.00 :	404.00 :	23.57 :	1.33 :	9.06 :
: 15 :	7- 8 :	350.00 :	902.00 :	88.93 :	.92 :	3.36 :
: 16 :	0-10 :	200.00 :	940.00 :	26.33 :	.84 :	6.04 :
: 17 :	0-10 :	150.00 :	356.00 :	13.30 :	.75 :	2.73 :
: 18 :	3- 5 :	600.00 :	326.00 :	179.73 :	.64 :	.30 :
: 19 :	4- 5 :	500.00 :	540.00 :	154.07 :	.78 :	.93 :
: 20 :	0- 3 :	500.00 :	1130.00 :	194.34 :	.99 :	3.01 :
: 21 :	3- 4 :	200.00 :	560.00 :	7.85 :	.25 :	.41 :
: 22 :	4- 7 :	150.00 :	489.00 :	12.73 :	.72 :	3.46 :
: 23 :	7- 0 :	150.00 :	800.00 :	11.06 :	.63 :	4.38 :
: 24 :	6- 4 :	300.00 :	578.00 :	81.70 :	1.16 :	3.99 :
: 25 :	6- 7 :	300.00 :	820.00 :	70.28 :	.99 :	4.27 :
: 26 :	0- 6 :	300.00 :	433.00 :	88.64 :	1.25 :	3.49 :
: 27 :	0- 6 :	300.00 :	1397.00 :	74.16 :	1.05 :	8.04 :
: 28 :	6- 0 :	150.00 :	458.00 :	12.79 :	.72 :	3.27 :
: 29 :	10- 8 :	150.00 :	425.00 :	19.57 :	1.11 :	6.67 :



Вихідні дані та результати ув'язки варіант 7  
 Вихідні дані e= .01000 nk= 10 ny= 29

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	475.00	142.99	500.00	c	2	970.00	132.87	500.00	c	3	887.00	300.62	600.00	c
4	520.00	20.00	150.00	c	5	1008.00	88.89	350.00	c	6	665.00	100.15	350.00	c
7	795.00	12.30	150.00	c	8	1560.00	52.30	300.00	c	9	294.00	99.36	350.00	c
10	961.00	50.31	300.00	c	11	758.00	35.19	200.00	c	12	602.00	36.34	200.00	c
13	215.00	30.00	150.00	c	14	404.00	38.95	150.00	c	15	902.00	70.50	350.00	c
16	940.00	23.40	200.00	c	17	356.00	15.75	150.00	c	18	326.00	191.51	600.00	c
19	540.00	148.36	500.00	c	20	1130.00	180.00	500.00	c	21	560.00	25.33	200.00	c
22	489.00	10.15	150.00	c	23	800.00	10.50	150.00	c	24	578.00	89.00	300.00	c
25	820.00	75.00	300.00	c	26	433.00	84.48	300.00	c	27	1397.00	70.00	300.00	c
28	458.00	16.95	150.00	c	29	425.00	10.01	150.00	c	30	.00	.00	.00	

Результати гідравлічного розрахунку для варіанту №7

номер : ділянки:	код : ділянки:	діаметр : ділянки	довжина : ділянки	витрата : ділянки	швидкість : руху води	втрати : напору
: 1	: 1- 0	: 500.00	: 475.00	: 121.09	: .62	: .53
: 2	: 1- 0	: 500.00	: 970.00	: 110.97	: .57	: .92
: 3	: 3- 1	: 600.00	: 887.00	: 308.89	: 1.09	: 2.24
: 4	: 1- 2	: 150.00	: 520.00	: 5.43	: .31	: .79
: 5	: 2- 0	: 350.00	: 1008.00	: 81.57	: .85	: 3.20
: 6	: 5- 2	: 350.00	: 665.00	: 106.14	: 1.10	: 3.44
: 7	: 2- 0	: 150.00	: 795.00	: 4.98	: .28	: 1.03
: 8	: 9- 0	: 300.00	: 1560.00	: 54.38	: .77	: 5.06
: 9	: 5- 0	: 350.00	: 294.00	: 98.03	: 1.02	: 1.31
: 10	: 8- 9	: 300.00	: 961.00	: 32.28	: .46	: 1.20
: 11	: 10- 9	: 200.00	: 758.00	: 28.16	: .90	: 5.52
: 12	: 9- 0	: 200.00	: 602.00	: 38.42	: 1.22	: 7.81
: 13	: 5- 9	: 150.00	: 215.00	: 26.59	: 1.50	: 6.13
: 14	: 8- 5	: 150.00	: 404.00	: 24.33	: 1.38	: 9.66
: 15	: 7- 8	: 350.00	: 902.00	: 87.20	: .91	: 3.24
: 16	: 0-10	: 200.00	: 940.00	: 28.35	: .90	: 6.93
: 17	: 0-10	: 150.00	: 356.00	: 20.70	: 1.17	: 6.20
: 18	: 3- 5	: 600.00	: 326.00	: 179.21	: .63	: .30
: 19	: 4- 5	: 500.00	: 540.00	: 153.10	: .78	: .92
: 20	: 0- 3	: 500.00	: 1130.00	: 193.63	: .99	: 2.98
: 21	: 3- 4	: 200.00	: 560.00	: 8.30	: .26	: .45
: 22	: 4- 7	: 150.00	: 489.00	: 12.80	: .72	: 3.49
: 23	: 7- 0	: 150.00	: 800.00	: 11.25	: .64	: 4.51
: 24	: 6- 4	: 300.00	: 578.00	: 81.49	: 1.15	: 3.97
: 25	: 6- 7	: 300.00	: 820.00	: 70.14	: .99	: 4.26
: 26	: 0- 6	: 300.00	: 433.00	: 88.59	: 1.25	: 3.48
: 27	: 0- 6	: 300.00	: 1397.00	: 74.11	: 1.05	: 8.03
: 28	: 6- 0	: 150.00	: 458.00	: 12.84	: .73	: 3.29
: 29	: 10- 8	: 150.00	: 425.00	: 21.01	: 1.19	: 7.62

## Вихідні дані та результати ув'язки варіант 8

Вихідні дані  $e = .01000$   $nk = 10$   $ny = 29$ 

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	475.00	142.99	500.00	c	2	970.00	125.17	500.00	c	3	887.00	300.62	600.00	c
4	520.00	20.00	150.00	c	5	1008.00	79.19	350.00	c	6	665.00	100.15	350.00	c
7	795.00	2.60	150.00	c	8	1560.00	42.60	300.00	c	9	294.00	89.66	350.00	c
10	961.00	50.31	300.00	c	11	758.00	35.19	200.00	c	12	602.00	36.34	200.00	c
13	215.00	30.00	150.00	c	14	404.00	38.95	150.00	c	15	902.00	70.50	350.00	c
16	940.00	23.40	200.00	c	17	356.00	15.75	150.00	c	18	326.00	191.51	600.00	c
19	540.00	148.36	500.00	c	20	1130.00	180.00	500.00	c	21	560.00	25.33	200.00	c
22	489.00	10.15	150.00	c	23	800.00	10.50	150.00	c	24	578.00	89.00	300.00	c
25	820.00	75.00	300.00	c	26	433.00	84.48	300.00	c	27	1397.00	70.00	300.00	c
28	458.00	16.95	150.00	c	29	425.00	10.01	150.00	c	30	.00	.00	.00	

Результати гідравлічного розрахунку для варіанту №8

номер : ділянки:	код : ділянки:	діаметр : ділянки:	довжина : ділянки :	витрата : ділянки :	швидкість : руху води :	втрати : напору :
: 1 :	1- 0 :	500.00 :	475.00 :	128.85 :	.66 :	.59 :
: 2 :	1- 0 :	500.00 :	970.00 :	111.03 :	.57 :	.92 :
: 3 :	3- 1 :	600.00 :	887.00 :	302.11 :	1.07 :	2.15 :
: 4 :	1- 2 :	150.00 :	520.00 :	4.80 :	.27 :	.63 :
: 5 :	2- 0 :	350.00 :	1008.00 :	80.25 :	.83 :	3.10 :
: 6 :	5- 2 :	350.00 :	665.00 :	99.86 :	1.04 :	3.07 :
: 7 :	2- 0 :	150.00 :	795.00 :	3.66 :	.21 :	.60 :
: 8 :	9- 0 :	300.00 :	1560.00 :	46.68 :	.66 :	3.82 :
: 9 :	5- 0 :	350.00 :	294.00 :	90.43 :	.94 :	1.13 :
: 10 :	8- 9 :	300.00 :	961.00 :	31.77 :	.45 :	1.17 :
: 11 :	10- 9 :	200.00 :	758.00 :	27.01 :	.86 :	5.11 :
: 12 :	9- 0 :	200.00 :	602.00 :	40.42 :	1.29 :	8.64 :
: 13 :	5- 9 :	150.00 :	215.00 :	26.69 :	1.51 :	6.18 :
: 14 :	8- 5 :	150.00 :	404.00 :	23.72 :	1.34 :	9.17 :
: 15 :	7- 8 :	350.00 :	902.00 :	85.90 :	.89 :	3.15 :
: 16 :	0-10 :	200.00 :	940.00 :	27.50 :	.88 :	6.55 :
: 17 :	0-10 :	150.00 :	356.00 :	19.85 :	1.12 :	5.74 :
: 18 :	3- 5 :	600.00 :	326.00 :	178.09 :	.63 :	.30 :
: 19 :	4- 5 :	500.00 :	540.00 :	151.30 :	.77 :	.90 :
: 20 :	0- 3 :	500.00 :	1130.00 :	192.65 :	.98 :	2.96 :
: 21 :	3- 4 :	200.00 :	560.00 :	8.97 :	.29 :	.51 :
: 22 :	4- 7 :	150.00 :	489.00 :	12.92 :	.73 :	3.56 :
: 23 :	7- 0 :	150.00 :	800.00 :	11.44 :	.65 :	4.65 :
: 24 :	6- 4 :	300.00 :	578.00 :	81.23 :	1.15 :	3.95 :
: 25 :	6- 7 :	300.00 :	820.00 :	70.01 :	.99 :	4.24 :
: 26 :	0- 6 :	300.00 :	433.00 :	88.54 :	1.25 :	3.48 :
: 27 :	0- 6 :	300.00 :	1397.00 :	74.06 :	1.05 :	8.02 :
: 28 :	6- 0 :	150.00 :	458.00 :	12.89 :	.73 :	3.32 :
: 29 :	10- 8 :	150.00 :	425.00 :	20.37 :	1.15 :	7.19 :

Вихідні дані та результати ув'язки варіант 9  
 Вихідні дані e= .01000 nk= 10 ny= 29

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	475.00	142.99	500.00	c	2	970.00	125.17	500.00	c	3	887.00	300.62	600.00	c
4	520.00	20.00	150.00	c	5	1008.00	79.19	350.00	c	6	665.00	90.44	350.00	c
7	795.00	2.60	150.00	c	8	1560.00	23.19	300.00	c	9	294.00	70.25	350.00	c
10	961.00	50.31	300.00	c	11	758.00	35.19	200.00	c	12	602.00	36.34	200.00	c
13	215.00	30.00	150.00	c	14	404.00	38.95	150.00	c	15	902.00	70.50	350.00	c
16	940.00	23.40	200.00	c	17	356.00	15.75	150.00	c	18	326.00	191.51	600.00	c
19	540.00	148.36	500.00	c	20	1130.00	180.00	500.00	c	21	560.00	25.33	200.00	c
22	489.00	10.15	150.00	c	23	800.00	10.50	150.00	c	24	578.00	89.00	300.00	c
25	820.00	75.00	300.00	c	26	433.00	84.48	300.00	c	27	1397.00	70.00	300.00	c
28	458.00	16.95	150.00	c	29	425.00	10.01	150.00	c	30	.00	.00	.00	

Результати гідрравлічного розрахунку для варіанту №9

: номер :	код :	діаметр:	довжина :	витрата :	швидкість :	втрата :
: ділянки:	ділянки:	ділянки	ділянки :	ділянки :	руку води :	напору
: 1 :	1- 0 :	500.00 :	475.00 :	128.09 :	.65 :	.59 :
: 2 :	1- 0 :	500.00 :	970.00 :	110.27 :	.56 :	.91 :
: 3 :	3- 1 :	600.00 :	887.00 :	303.00 :	1.07 :	2.16 :
: 4 :	1- 2 :	150.00 :	520.00 :	4.92 :	.28 :	.66 :
: 5 :	2- 0 :	350.00 :	1008.00 :	79.37 :	.82 :	3.04 :
: 6 :	5- 2 :	350.00 :	665.00 :	94.05 :	.98 :	2.75 :
: 7 :	2- 0 :	150.00 :	795.00 :	2.78 :	.16 :	.37 :
: 8 :	9- 0 :	300.00 :	1560.00 :	30.35 :	.43 :	1.75 :
: 9 :	5- 0 :	350.00 :	294.00 :	74.04 :	.77 :	.78 :
: 10 :	8- 9 :	300.00 :	961.00 :	30.84 :	.44 :	1.11 :
: 11 :	10- 9 :	200.00 :	758.00 :	25.18 :	.80 :	4.49 :
: 12 :	9- 0 :	200.00 :	602.00 :	43.50 :	1.38 :	10.01 :
: 13 :	5- 9 :	150.00 :	215.00 :	26.63 :	1.51 :	6.16 :
: 14 :	8- 5 :	150.00 :	404.00 :	22.85 :	1.29 :	8.51 :
: 15 :	7- 8 :	350.00 :	902.00 :	83.92 :	.87 :	3.02 :
: 16 :	0-10 :	200.00 :	940.00 :	26.25 :	.84 :	6.01 :
: 17 :	0-10 :	150.00 :	356.00 :	18.60 :	1.05 :	5.08 :
: 18 :	3- 5 :	600.00 :	326.00 :	175.20 :	.62 :	.29 :
: 19 :	4- 5 :	500.00 :	540.00 :	148.47 :	.76 :	.87 :
: 20 :	0- 3 :	500.00 :	1130.00 :	192.52 :	.98 :	2.95 :
: 21 :	3- 4 :	200.00 :	560.00 :	8.90 :	.28 :	.51 :
: 22 :	4- 7 :	150.00 :	489.00 :	12.94 :	.73 :	3.57 :
: 23 :	7- 0 :	150.00 :	800.00 :	11.61 :	.66 :	4.78 :
: 24 :	6- 4 :	300.00 :	578.00 :	81.08 :	1.15 :	3.93 :
: 25 :	6- 7 :	300.00 :	820.00 :	69.87 :	.99 :	4.23 :
: 26 :	0- 6 :	300.00 :	433.00 :	88.50 :	1.25 :	3.47 :
: 27 :	0- 6 :	300.00 :	1397.00 :	74.02 :	1.05 :	8.02 :
: 28 :	6- 0 :	150.00 :	458.00 :	12.93 :	.73 :	3.33 :
: 29 :	10- 8 :	150.00 :	425.00 :	19.47 :	1.10 :	6.60 :

Вихідні дані та результати ув'язки варіант 10  
 Вихідні дані  $\epsilon = .01000$   $nk = 10$   $ny = 29$

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	475.00	144.99	500.00	c	2	970.00	134.87	500.00	c	3	887.00	302.62	600.00	c
4	520.00	20.00	150.00	c	5	1008.00	88.89	350.00	c	6	665.00	100.15	350.00	c
7	795.00	12.30	150.00	c	8	1560.00	52.30	300.00	c	9	294.00	99.36	350.00	c
10	961.00	52.31	300.00	c	11	758.00	30.79	200.00	c	12	602.00	25.54	200.00	c
13	215.00	30.00	150.00	c	14	404.00	40.95	150.00	c	15	902.00	70.50	350.00	c
16	940.00	23.40	200.00	c	17	356.00	15.75	150.00	c	18	326.00	193.51	600.00	c
19	540.00	150.36	500.00	c	20	1130.00	180.00	500.00	c	21	560.00	25.33	200.00	c
22	489.00	10.15	150.00	c	23	800.00	10.50	150.00	c	24	578.00	78.50	300.00	c
25	820.00	64.50	300.00	c	26	433.00	94.98	300.00	c	27	1397.00	73.00	300.00	c
28	458.00	18.95	150.00	c	29	425.00	10.00	150.00	c	30	.00	.00	.00	

Результати гідравлічного розрахунку для варіанту №10

номер : ділянки :	код : ділянки :	діаметр : ділянки :	довжина : ділянки :	витрата : ділянки :	швидкість : руку води :	втрати : напору :
: 1 :	1- 0 :	500.00 :	475.00 :	123.17 :	.63 :	.55 :
: 2 :	1- 0 :	500.00 :	970.00 :	113.05 :	.58 :	.95 :
: 3 :	3- 1 :	600.00 :	887.00 :	309.02 :	1.09 :	2.24 :
: 4 :	1- 2 :	150.00 :	520.00 :	5.24 :	.30 :	.74 :
: 5 :	2- 0 :	350.00 :	1008.00 :	81.82 :	.85 :	3.22 :
: 6 :	5- 2 :	350.00 :	665.00 :	108.80 :	1.13 :	3.61 :
: 7 :	2- 0 :	150.00 :	795.00 :	5.23 :	.30 :	1.13 :
: 8 :	9- 0 :	300.00 :	1560.00 :	57.56 :	.81 :	5.61 :
: 9 :	5- 0 :	350.00 :	294.00 :	100.94 :	1.05 :	1.39 :
: 10 :	8- 9 :	300.00 :	961.00 :	32.22 :	.46 :	1.20 :
: 11 :	10- 9 :	200.00 :	758.00 :	22.23 :	.71 :	3.57 :
: 12 :	9- 0 :	200.00 :	602.00 :	30.80 :	.98 :	5.18 :
: 13 :	5- 9 :	150.00 :	215.00 :	26.33 :	1.49 :	6.02 :
: 14 :	8- 5 :	150.00 :	404.00 :	24.54 :	1.39 :	9.82 :
: 15 :	7- 8 :	350.00 :	902.00 :	84.61 :	.88 :	3.06 :
: 16 :	0-10 :	200.00 :	940.00 :	26.70 :	.85 :	6.20 :
: 17 :	0-10 :	150.00 :	356.00 :	19.05 :	1.08 :	5.31 :
: 18 :	3- 5 :	600.00 :	326.00 :	176.51 :	.62 :	.29 :
: 19 :	4- 5 :	500.00 :	540.00 :	149.80 :	.76 :	.89 :
: 20 :	0- 3 :	500.00 :	1130.00 :	195.42 :	1.00 :	3.04 :
: 21 :	3- 4 :	200.00 :	560.00 :	8.89 :	.28 :	.50 :
: 22 :	4- 7 :	150.00 :	489.00 :	11.89 :	.67 :	3.05 :
: 23 :	7- 0 :	150.00 :	800.00 :	9.78 :	.55 :	3.50 :
: 24 :	6- 4 :	300.00 :	578.00 :	75.42 :	1.07 :	3.44 :
: 25 :	6- 7 :	300.00 :	820.00 :	63.17 :	.89 :	3.50 :
: 26 :	0- 6 :	300.00 :	433.00 :	97.03 :	1.37 :	4.18 :
: 27 :	0- 6 :	300.00 :	1397.00 :	75.05 :	1.06 :	8.23 :
: 28 :	6- 0 :	150.00 :	458.00 :	16.90 :	.96 :	5.46 :
: 29 :	10- 8 :	150.00 :	425.00 :	21.53 :	1.22 :	7.95 :

Вихідні дані та результати ув'язки варіант 11  
 Вихідні дані e= .01000 nk= 10 ny= 29

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	475.00	144.99	500.00	c	2	970.00	125.17	500.00	c	3	887.00	302.54	600.00	c
4	520.00	20.00	150.00	c	5	1008.00	79.19	350.00	c	6	665.00	100.15	350.00	c
7	795.00	2.60	150.00	c	8	1560.00	42.60	300.00	c	9	294.00	89.66	350.00	c
10	961.00	42.31	300.00	c	11	758.00	20.79	200.00	c	12	602.00	14.71	200.00	c
13	215.00	30.00	150.00	c	14	404.00	30.95	150.00	c	15	902.00	80.43	350.00	c
16	940.00	27.95	200.00	c	17	356.00	15.75	150.00	c	18	326.00	193.44	600.00	c
19	540.00	150.29	500.00	c	20	1130.00	180.00	500.00	c	21	560.00	25.33	200.00	c
22	489.00	10.15	150.00	c	23	800.00	10.50	150.00	c	24	578.00	66.00	300.00	c
25	820.00	52.00	300.00	c	26	433.00	94.98	300.00	c	27	1397.00	73.00	300.00	c
28	458.00	18.95	150.00	c	29	425.00	10.00	150.00	c	30	.00	.00	.00	

Результати гідравлічного розрахунку для варіанту №11

номер : ділянки:	код : ділянки:	діаметр : ділянки	довжина : ділянки	витрата : ділянки	швидкість : руку води	втрати : напору
: 1	: 1- 0	: 500.00	: 475.00	: 130.82	: .67	: .61
: 2	: 1- 0	: 500.00	: 970.00	: 111.00	: .57	: .92
: 3	: 3- 1	: 600.00	: 887.00	: 299.91	: 1.06	: 2.12
: 4	: 1- 2	: 150.00	: 520.00	: 4.60	: .26	: .59
: 5	: 2- 0	: 350.00	: 1008.00	: 80.42	: .84	: 3.12
: 6	: 5- 2	: 350.00	: 665.00	: 101.69	: 1.06	: 3.18
: 7	: 2- 0	: 150.00	: 795.00	: 3.83	: .22	: .65
: 8	: 9- 0	: 300.00	: 1560.00	: 51.37	: .73	: 4.55
: 9	: 5- 0	: 350.00	: 294.00	: 92.43	: .96	: 1.18
: 10	: 8- 9	: 300.00	: 961.00	: 27.83	: .39	: .92
: 11	: 10- 9	: 200.00	: 758.00	: 15.09	: .48	: 1.76
: 12	: 9- 0	: 200.00	: 602.00	: 23.48	: .75	: 3.13
: 13	: 5- 9	: 150.00	: 215.00	: 24.00	: 1.36	: 5.00
: 14	: 8- 5	: 150.00	: 404.00	: 22.47	: 1.27	: 8.24
: 15	: 7- 8	: 350.00	: 902.00	: 83.40	: .87	: 2.98
: 16	: 0-10	: 200.00	: 940.00	: 24.88	: .79	: 5.44
: 17	: 0-10	: 150.00	: 356.00	: 12.68	: .72	: 2.50
: 18	: 3- 5	: 600.00	: 326.00	: 173.87	: .61	: .28
: 19	: 4- 5	: 500.00	: 540.00	: 145.59	: .74	: .84
: 20	: 0- 3	: 500.00	: 1130.00	: 196.80	: 1.00	: 3.08
: 21	: 3- 4	: 200.00	: 560.00	: 10.46	: .33	: .67
: 22	: 4- 7	: 150.00	: 489.00	: 10.96	: .62	: 2.63
: 23	: 7- 0	: 150.00	: 800.00	: 7.76	: .44	: 2.30
: 24	: 6- 4	: 300.00	: 578.00	: 67.51	: .96	: 2.79
: 25	: 6- 7	: 300.00	: 820.00	: 54.32	: .77	: 2.65
: 26	: 0- 6	: 300.00	: 433.00	: 95.40	: 1.35	: 4.04
: 27	: 0- 6	: 300.00	: 1397.00	: 73.42	: 1.04	: 7.90
: 28	: 6- 0	: 150.00	: 458.00	: 18.53	: 1.05	: 6.49
: 29	: 10- 8	: 150.00	: 425.00	: 18.78	: 1.06	: 6.17

## Вихідні дані та результати ув'язки варіант 12

Вихідні дані e= .01000 nk= 10 ny= 29

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	475.00	144.99	500.00	c	2	970.00	125.17	500.00	c	3	887.00	302.54	600.00	c
4	520.00	20.00	150.00	c	5	1008.00	79.19	350.00	c	6	665.00	90.44	350.00	c
7	795.00	2.60	150.00	c	8	1560.00	12.41	300.00	c	9	294.00	70.25	350.00	c
10	961.00	42.31	300.00	c	11	758.00	20.79	200.00	c	12	602.00	14.71	200.00	c
13	215.00	30.00	150.00	c	14	404.00	30.95	150.00	c	15	902.00	80.43	350.00	c
16	940.00	27.95	200.00	c	17	356.00	15.75	150.00	c	18	326.00	193.44	600.00	c
19	540.00	150.29	500.00	c	20	1130.00	180.00	500.00	c	21	560.00	25.33	200.00	c
22	489.00	10.15	150.00	c	23	800.00	10.50	150.00	c	24	578.00	61.00	300.00	c
25	820.00	37.00	300.00	c	26	433.00	102.48	300.00	c	27	1397.00	78.00	300.00	c
28	458.00	18.95	150.00	c	29	425.00	10.00	150.00	c	30	.00	.00	.00	.00

## Результати гідравлічного розрахунку для варіанту №12

номер	код	діаметр	довжина	витрата	швидкість	втрати
ділянки	ділянки	ділянки	ділянки	ділянки	руху води	напору
:	1	: 1- 0	: 500.00	: 475.00	: 130.22	: .66 : .60
:	2	: 1- 0	: 500.00	: 970.00	: 110.40	: .56 : .91
:	3	: 3- 1	: 600.00	: 887.00	: 299.72	: 1.06 : 2.11
:	4	: 1- 2	: 150.00	: 520.00	: 4.65	: .26 : .60
:	5	: 2- 0	: 350.00	: 1008.00	: 79.77	: .83 : 3.07
:	6	: 5- 2	: 350.00	: 665.00	: 97.58	: 1.01 : 2.94
:	7	: 2- 0	: 150.00	: 795.00	: 3.18	: .18 : .47
:	8	: 9- 0	: 300.00	: 1560.00	: 27.36	: .39 : 1.45
:	9	: 5- 0	: 350.00	: 294.00	: 77.97	: .81 : .86
:	10	: 8- 9	: 300.00	: 961.00	: 25.18	: .36 : .77
:	11	: 10- 9	: 200.00	: 758.00	: 11.08	: .35 : 1.01
:	12	: 9- 0	: 200.00	: 602.00	: 29.66	: .94 : 4.83
:	13	: 5- 9	: 150.00	: 215.00	: 22.77	: 1.29 : 4.50
:	14	: 8- 5	: 150.00	: 404.00	: 21.05	: 1.19 : 7.26
:	15	: 7- 8	: 350.00	: 902.00	: 78.69	: .82 : 2.68
:	16	: 0-10	: 200.00	: 940.00	: 22.72	: .72 : 4.61
:	17	: 0-10	: 150.00	: 356.00	: 10.52	: .60 : 1.78
:	18	: 3- 5	: 600.00	: 326.00	: 168.14	: .59 : .27
:	19	: 4- 5	: 500.00	: 540.00	: 139.50	: .71 : .78
:	20	: 0- 3	: 500.00	: 1130.00	: 197.59	: 1.01 : 3.10
:	21	: 3- 4	: 200.00	: 560.00	: 10.82	: .34 : .72
:	22	: 4- 7	: 150.00	: 489.00	: 11.00	: .62 : 2.65
:	23	: 7- 0	: 150.00	: 800.00	: 6.58	: .37 : 1.71
:	24	: 6- 4	: 300.00	: 578.00	: 66.38	: .94 : 2.71
:	25	: 6- 7	: 300.00	: 820.00	: 43.23	: .61 : 1.75
:	26	: 0- 6	: 300.00	: 433.00	: 100.17	: 1.42 : 4.45
:	27	: 0- 6	: 300.00	: 1397.00	: 75.69	: 1.07 : 8.36
:	28	: 6- 0	: 150.00	: 458.00	: 21.26	: 1.20 : 8.36
:	29	: 10- 8	: 150.00	: 425.00	: 17.42	: .99 : 5.36

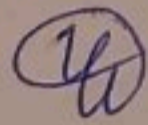
**Декларація  
академічної доброчесності  
здобувача ступеня вищої освіти ЗНУ**

Я, Чудновський Павло Борисович, магістрант 2 курсу, денної форми здобуття освіти, спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньої програми "Водопостачання та водовідведення", адреса електронної пошти pavelchudnovski1990@gmail.com,

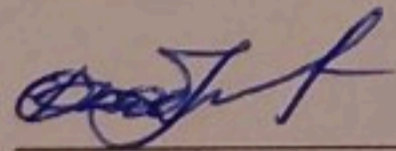
- підтверджую, що виконана мною кваліфікаційна робота на тему: ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ МЕРЕЖІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ З УРАХУВАННЯМ СТРУКТУРИ ВОДОРОЗБОРУ відповідає вимогам академічної доброчесності та не містить порушень, що визначені у ст. 42 Закону України «Про освіту», зі змістом яких ознайомлений(на);

- заявляю, що надана мною для перевірки електронна версія роботи є ідентичною її друкованій версії;

- згоден(на) на перевірку моєї роботи на відповідність критеріям академічної доброчесності у будь-який спосіб, у тому числі за допомогою інтернет-системи, а також на архівування моєї роботи в базі даних цієї системи.



підпис



підпис

Чудновський П.Б.  
П.І.П. здобувача

Добровольська О.Г.  
П.І.П. керівника

**ВІДГУК**  
керівника кваліфікаційної роботи  
другого (магістерського) рівня вищої освіти,  
виконаної на тему «ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ РЕЖИМІВ  
РОБОТИ МЕРЕЖІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ З УРАХУВАННЯМ  
СТРУКТУРИ ВОДОРОЗБОРУ» здобувачем групи 8.1922-ВВ-Д

**Чудновським Павлом Борисовичем**

Представлена кваліфікаційна робота магістра присвячена розробці методики визначення оптимальних режимів експлуатації водопровідної мережі в умовах зміни структури розбору води. Актуальність проблеми виходить на новий рівень в умовах воєнного конфлікту, коли бойові дії мають суттєвий вплив на структуру водоспоживання. Особливо гостро це стосується систем водопостачання населених пунктів з великою кількістю мешканців. З урахуванням наслідків війни багато міст стали свідками пошкоджень житлово-комунальної інфраструктури, мереж водопостачання і транспортування води, що вимагає негайної відбудови, модернізації та вдосконалення. Відновлення критичної інфраструктури та модернізація обладнання для водопостачання та водовідведення стають невіддільною умовою впровадження нових енергоощадних та екологічно адаптованих технологій. Отже, важливість визначення впливу структури системи водоспоживання на розподіл тисків стає ключовою для ефективного вирішення завдань, пов'язаних з резервуванням та реконструкцією ділянок водопровідних мереж, а також для управління потокорозподілом з метою забезпечення необхідних рівнів тиску в системі.

Кваліфікаційна робота повністю відповідає поставленому завданню.

Автором представлена застосована методика дослідження, ефективність якої показано при моделюванні можливих варіантів зміни структури водорозбору, виконанні гідравлічних розрахунків, розробці п'єзометричних карт та визначенні зон розподілу вузлових тисків.

Здатність проводити критичний аналіз сучасного стану питань з теми кваліфікаційної роботи, виконувати дослідження, презентувати результати науково-дослідної діяльності, брати участь у наукових конференціях та конкурсах, готувати наукові публікації та статті відобразили застосування



здобувачем отриманих знань у галузі наукових досліджень та вмінь і навичок самостійного виконання наукової роботи на всіх її етапах.

Інформація, представлена у головних розділах, систематично викладена з врахуванням належної аргументації. Усі структурні компоненти кваліфікаційної роботи гармонійно взаємопов'язані, а висновки відповідають поставленим завданням.

Під час виконання дослідження автор виявив здатність до самостійного вирішення поставлених завдань.

У даній роботі відсутні будь-які випадки використання ідей або матеріалів інших авторів без належного вказання джерел. Виконаний аналіз літературних ресурсів супроводжується відповідними посиланнями, що усуває можливість звинувачень у плагіаті та компіляції.

Якість підготовки здобувача вищої освіти Чудновського П.Б. відповідає вимогам освітньо-професійної програми «Водопостачання та водовідведення» другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія галузі знань 19 Архітектура та будівництво, що дає можливість присвоєння йому кваліфікації магістра з будівництва та цивільної інженерії.

Елементи плагіату (компіляції) у кваліфікаційній роботі не виявлені.

Кваліфікаційна робота другого (магістерського) рівня вищої освіти виконана у повному обсязі, відповідає встановленим вимогам і заслуговує позитивної оцінки, а її автору, **Чудновському Павлу Борисовичу** може бути присвоєна кваліфікація магістра з будівництва та цивільної інженерії.

**Кількість балів за шкалою ECTS 100**

(відмінно)

Керівник кваліфікаційної роботи

Кандидат технічних наук, доцент



О.Г. Добровольська

## РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу  
другого (магістерського) рівня вищої освіти,  
виконаної на тему «Дослідження гідравлічних режимів роботи мережі  
транспортування води з урахуванням структури водорозбору»  
здобувачем групи 8.1922-вв-д  
Чудновським Павлом Борисовичем

Актуальність дослідження. Актуальність дослідження оптимальних режимів експлуатації мереж транспортування води в контексті відбудови критичної інфраструктури міст очевидна в умовах сучасних викликів, пов'язаних з воєнними подіями та відбудовою держави. Це особливо актуально для систем водопостачання населених пунктів з великою та середньою кількістю мешканців. У зв'язку з наслідками війни багато міст стали свідками пошкодження житлово-комунальної інфраструктури, а також мереж водопостачання і транспортування води, що потребує негайного відновлення, модернізації та удосконалення. Відновлення критичної інфраструктури та модернізація обладнання для водопостачання та водовідведення стають невіддільною умовою впровадження нових енергоефективних та екологічно адаптованих технологій.

Обґрунтованості висновків та пропозицій. Кваліфікаційна робота представлена на високому науковому рівні, в ній детально досліджена поставлена проблема з урахуванням широкого спектра аспектів. Застосовані загальнонаукові методи досліджень, в роботі виявлені елементи наукової новизни. Висновки є обґрунтованими та логічно послідовними, відображають основні результати виконання кваліфікаційної роботи.

Використання наукових методів дослідження. Під час дослідження теми були використані наукові статті вітчизняних та закордонних фахівців, опубліковані в періодичних виданнях, монографії, дисертаційні рукописи, збірки тез доповідей науково-практичних конференцій та інтернет-ресурси наукових електронних бібліотек.

Вміння студента чітко, грамотно та аргументовано викладати матеріал, правильно оформлювати його. Кваліфікаційна робота виконана систематично, тема розглянута в повному обсязі, розділи взаємопов'язані, використані інформаційно-комп'ютерні технології, матеріал представлений чітко та має науковий стиль, а оформлення відповідає вимогам технічної грамотності.

Участі студента у проведених дослідженнях, теоретичній та аналітичній обробці отриманих результатів. Магістр Чудновський Павло Борисович брав активну участь у проведенні досліджень та виконанні теоретичного та аналітичного аналізу отриманих результатів. Запропоновані в його кваліфікаційній роботі науково-практичні рішення відзначаються глибоким обґрунтуванням, повнотою розкриття теми та наявністю різноманітних аргументів, що свідчить про ефективність використаних методик досліджень.

Якість виконання. Кваліфікаційна робота викладена у послідовному порядку, всі розділи логічно пов'язані між собою та підтверджені обґрунтованим матеріалом. Кожен розділ чітко формулює свої завдання та

Не виявлення (виявлення) в роботі елементів плагіату та компіляції.  
Елементи плагіату та компіляції у кваліфікаційній роботі не виявлені.

Можливості впровадження результатів роботи. Результати роботи мають практичне значення, запропоновані заходи можуть бути використані інженерами-будівельниками під час реконструкції та відбудови критичної інфраструктури. За темою роботи опубліковані тези доповіді на міжнародній науково-практичній конференції.

Недоліки роботи. Бажано було б детальніше розглянути розрахунки економічних показників за більш тривалий період. В цілому зауваження суттєво не впливає на загальну якість виконання кваліфікаційної роботи.

Оцінки кваліфікаційної роботи та можливості присвоєння здобувачу вищої освіти відповідної кваліфікації. Кваліфікаційна робота здобувача другого рівня вищої освіти Лисенко Єгору Івановичу на тему: «Оптимізація роботи насосної станції за критерієм енергоефективності» за актуальністю, обсягом виконаних теоретичних досліджень, змістом, рівнем новизни та практичним значенням відповідає спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія (галузь знань 19 Архітектура та будівництво) та вимогам ОПП «Водопостачання та водовідведення».

Кваліфікаційна робота виконана на високому рівні та заслуговує оцінки «відмінно».

Кваліфікаційна робота виконана у повному обсязі, відповідає встановленим вимогам і заслуговує позитивної оцінки, а її автору Лисенко Єгору Івановичу, може бути присвоєна кваліфікація магістра з будівництва та цивільної інженерії.

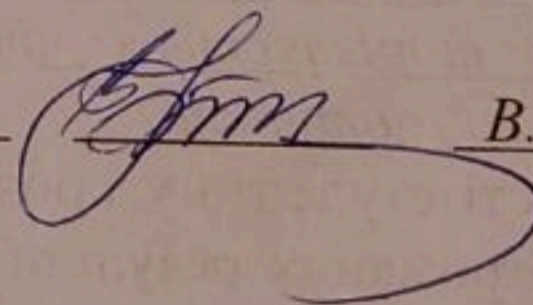
Елементи плагіату у кваліфікаційній роботі не виявлені.

Кількість балів за шкалою ECTS 97/4/ відмінно

Рецензент кваліфікаційної роботи

професор кафедри промислового

та цивільного будівництва, докт. техн. наук



В. А. Банах