

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут екології
Кафедра екологічної безпеки та екологічної освіти

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавра

на тему

ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ Р. ВАРТА (М. ПОЗНАНЬ, РЕСПУБЛІКА ПОЛЬЩА)

Виконав: студент 4 курсу, групи ДЕ - 42

спеціальності : 101 «Екологія»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Пі автора _____ /Анастасія ШИП

(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____ /проф. Олексій КРАЙНЮКОВ

(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____ /заст.дир. Михайло ШУКАШ

(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____ /проф. Алла НЕКОС

(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль _____ /Вікторія КОШЕЛЬКОВСЬКА

(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____ /доц. Світлана БУРЧЕНКО

(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків–2025 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В.Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут екології

Кафедра екологічної безпеки та екологічної освіти

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) бакалавр

Спеціальність 101 Екологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ /проф. Алла НЕКОС

підпис ім'я та прізвище

20 травня 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

Анастасії ШИП

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи Еколого-токсикологічна оцінка якості води р. Варта (м. Познань, республіка Польща)

Керівник роботи Олексій КРАЙНЮКОВ, д-р геогр.наук, професор

(ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від 16.04.2025 р. № 4301-5/967

2. Строк подання студентом роботи 01 травня 2025 р.

3. Перелік питань, які потрібно розробити:

1. провести аналіз літературних джерел з проблематики, що розглядається у роботі;
2. опрацювати методику біотестування для визначення хронічної токсичності води;
3. узагальнити результати лабораторних досліджень;
4. визначити динаміку змін властивостей та рівнів токсичності

води р. Варта.

4. План роботи:

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Загальні питання щодо забруднення водних екосистем специфічними хімічними речовинами
2	Принципи застосування екотоксикологічних тестів для оцінки забрудненості водних екосистем
3	Еколого-токсикологічна оцінка якості води річки Варта (в межах міста Познань, республіка Польща)

5. Дата видачі завдання 20 травня 2024 р.

Студент _____ Анастасія ШИП
підпис ім'я і прізвище

Керівник роботи _____ проф. Олексій КРАЙНЮКОВ
підпис посада, ім'я і прізвище

АНОТАЦІЯ
ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ Р. ВАРТА
(М. ПОЗНАНЬ, РЕСПУБЛІКА ПОЛЬЩА)

Анастасія ШИП

Кваліфікаційна робота «Еколого-токсикологічна оцінка якості води р. Варта (м. Познань, Республіка Польща)» містить 37 сторінок, 3 розділи, 4 таблиці, 6 рисунків та 24 використаних джерела.

Мета роботи: провести еколого-токсикологічну оцінку якості води річки Варта в межах міста Познань на основі сезонного аналізу та визначити основні фактори, що впливають на зміну її екологічного стану.

Актуальність дослідження обумовлена необхідністю моніторингу екологічного стану урбанізованих водних об'єктів у зв'язку з антропогенним навантаженням, сезонними паводками, зливом забруднень та впливом кліматичних умов на процеси самоочищення. Річка Варта є важливим елементом водної екосистеми Познані, а її якісний стан має вирішальне значення для міського середовища та населення.

Завдання дослідження включали визначення класу якості води в різні пори року, аналіз сезонних змін, ідентифікацію основних джерел забруднення та розробку рекомендацій щодо поліпшення екологічного стану річки.

Методи: моніторинг якості води за фізико-хімічними показниками та класифікація за загальноприйнятими стандартами оцінки якості поверхневих вод (згідно з європейськими критеріями). Аналіз проведено за 4 сезонами 2024 року на створах Staroleka Wielka, Piastowska, Panny Marii та Browe Parcele.

Результати:

Літній період показав найкращу якість води (1 клас) завдяки активним процесам самоочищення. У осінній період зафіксовано погіршення якості (2 клас) через паводки та урбанізаційний стік. Зимовий період виявив найгірші показники (4 клас) у всіх створах через пригнічення біологічної активності. Весняні дані демонстрували часткове покращення (2–3 класи), однак якість

залишалася нестабільною через танення снігу й змив забруднень. Основними джерелами негативного впливу стали поверхневий стік з міських територій, побутові відходи та сезонні гідрологічні явища.

**СЕЗОННІ ЗМІНИ, ЯКІСТЬ ВОДИ, РІЧКА ВАРТА, УРБАНІЗАЦІЯ,
ПОВЕРХНЕВІ ВОДИ, КЛАСИФІКАЦІЯ ЯКОСТІ ВОДИ, ПОЗНАНЬ**

ABSTRACT

**ECOLOGICAL AND TOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF WATER
QUALITY OF THE WARTA RIVER
(IN THE CITY OF POZNAŃ, REPUBLIC OF POLAND)**

The qualification thesis is “*Ecological and toxicological assessment of water quality of the Warta River in the city of Poznań (Republic of Poland)*” consists of 37 pages, 3 chapters, 4 tables, 6 figures, and 24 references.

Objective: to conduct an ecological and toxicological assessment of the water quality of the Warta River in the city of Poznań based on seasonal analysis and to identify the main factors influencing changes in its ecological condition.

Relevance of the research lies in the need to monitor the ecological status of urban water bodies under increasing anthropogenic pressure, seasonal floods, pollutant runoff, and the influence of climatic conditions on natural self-purification processes. The Warta River is a key water way within Poznań, and its quality is crucial for the city's ecosystem and population.

Research tasks included determining the water quality class in different seasons, analyzing seasonal changes, identifying main pollution sources, and developing recommendations for improving the river's ecological condition.

Methods: water quality monitoring based on physico-chemical indicators and classification according to recognized standards for surface water assessment (in accordance with European criteria). The analysis was conducted during all four seasons of 2024 at the observation points: Staroleka Wielka, Piastowska, Panny Marii, and Browe Parcele.

Results: The summer period showed the best water quality (class 1) due to active self-purification processes. In autumn, water quality deteriorated (class 2) due to floodwaters and urban runoff. The winter period revealed the lowest quality (class 4) at all sites, caused by reduced biological activity. Spring showed partial improvement (classes 2–3), though water quality remained unstable due to snowmelt and surface runoff. The main sources of negative impact were surface

runoff from urban areas, household waste, and seasonal hydrological phenomena.

**SEASONAL VARIATIONS, WATER QUALITY, WARTA RIVER,
URBANIZATION, SURFACE WATERS, WATER CLASSIFICATION,
POZNAŃ**

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНТРОПОГЕННИЙ ВПЛИВ НА ВОДНІ ОБ’ЄКТИ ТА СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД.....	10
1.1. Забруднення водних ресурсів у міських умовах.....	10
1.2. Особливості впливу урбанізації на річкові екосистеми.....	12
1.3. Основні типи забруднення поверхневих вод.....	14
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНИХ ПІДХОД.....	16
2.1. Системи біотестування у водних дослідженнях: міжнародна практика....	17
2.2. Оцінка токсичності за допомогою тест-об’єктів на прикладі <i>Ceriodaphnia affinis</i>	18
2.3. Тестові організми: <i>Ceriodaphnia affinis</i> , <i>Daphnia magna</i> , водорості та інші.....	19
2.4. Міжнародна практика застосування біотестів у моніторингу якості води.....	21
2.5. Методика біотестування для визначення хронічної токсичності води на ракоподібних <i>Ceriodaphnia affinis</i> Lilljeborg.....	22
РОЗДІЛ 3. СЕЗОННА ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ Р. ВАРТА В МЕЖАХ МІСТА ПОЗНАНЬ (РЕСПУБЛІКА ПОЛЬЩА).....	24
3.1. Загальна характеристика річки Варта та умов дослідження.....	24
3.2. Дослідження сезонних змін та еколого-токсикологічного стану р. Варта в межах м. Познань.....	26
ВИСНОВКИ.....	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	35

ВСТУП

У сучасних умовах активного розвитку міст, промисловості та сільського господарства різко зростає навантаження на природні водні об'єкти, зокрема річкові системи, які виступають важливими елементами екологічного балансу. Значна кількість хімічних сполук, що застосовуються в побуті, промисловості, аграрному секторі, потрапляє до водного середовища без достатнього контролю, спричиняючи деградацію екосистем. У міських умовах, таких як місто Познань, річка Варта перебуває під постійним впливом антропогенних факторів, включаючи скиди стічних вод, поверхневий стік, паводки та зміни кліматичних умов.

У процесі урбанізації водні об'єкти часто виконують функцію накопичувачів для шкідливих речовин, включаючи залишки мийних засобів, нафтопродуктів, мікропластиків та органічних забруднювачів. Такі речовини не тільки погіршують санітарний стан водойм, а й несуть потенційну загрозу здоров'ю населення та біорізноманіттю. Вони можуть змінювати фізико-хімічні властивості води — знижувати прозорість, змінювати рівень кисню, перешкоджати фотосинтезу та порушувати функціонування екосистем.

Важливу роль у функціонуванні річкової екосистеми відіграють нижчі організми, зокрема ракоподібні, які реагують на найменші зміни у водному середовищі. *Ceriodaphnia affinis*, як і *Daphnia magna*, широко застосовуються для оцінки хронічної токсичності води, оскільки є чутливими біоіндикаторами, які дозволяють оперативно виявити наявність токсичних речовин у складі води навіть при незначних концентраціях.

Біотестування з використанням цих організмів є невіддільним елементом сучасної екологічної експертизи в країнах Європейського Союзу.

У зв'язку з цим дослідження якості води річки Варта у межах Познані є Надзвичайно актуальним, оскільки цей водний об'єкт виконує рекреаційну, екосистемну та санітарну функцію. Метою даної роботи є проведення еколого-токсикологічної оцінки вод річки Варта з урахуванням сезонних змін, визначення головних джерел забруднення та надання пропозицій щодо

поліпшення екологічного стану водойми. Біологічне здоров'я річки є запорукою її стабільного функціонування як частини природного середовища великого урбанізованого регіону.

РОЗДІЛ 1.

АНТРОПОГЕННИЙ ВПЛИВ НА ВОДНІ ОБ'ЄКТИ ТА СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД

1.1. Забруднення водних ресурсів у міських умовах

Забруднення водних ресурсів в міських умовах є серйозною екологічною проблемою, яка має значний вплив на здоров'я людей і стан навколишнього середовища. Одним із головних джерел забруднення є побутові стоки, що містять органічні речовини, миючі засоби, бактерії та віруси. Це забруднення може істотно погіршити якість води, що використовують для пиття та інших потреб. Промислові відходи також є важливим чинником забруднення води в містах. Викиди токсичних хімічних сполук, важких металів і нафтопродуктів, що виникають внаслідок виробничої діяльності, забруднюють водні ресурси і можуть мати серйозні наслідки для екосистем та здоров'я людей.

Дощові стоки є ще одним значним джерелом забруднення. Вони забирають бруд, нафтопродукти, важкі метали та інші забруднюючі речовини з поверхні доріг і тротуарів, і потрапляють у водні джерела. Вони можуть викликати погіршення якості води та руйнування водних екосистем. У містах, що розташовані поблизу сільськогосподарських районів, може спостерігатися забруднення води через застосування пестицидів і добрив, що потрапляють у водні ресурси через зливи.

Зміни в землекористуванні внаслідок урбанізації також призводять до збільшення обсягів стічних вод, які не мають можливості проникнути в ґрунт і не очищуються природним шляхом. Це створює додатковий тиск на водні ресурси і погіршує якість води.

Забруднення водних ресурсів в міських умовах має серйозні наслідки для здоров'я людей і водних екосистем. Це може призвести до зниження біорізноманіття, зменшення популяцій риб і інших водних організмів, а також до погіршення умов для життя водоростей і безхребетних. Для вирішення цієї проблеми необхідно застосовувати комплексний підхід, включаючи очищення

стічних вод, впровадження екологічно чистих технологій, покращення управління дощовими водами та розвиток екологічної освіти серед населення. У другій половині ХХ століття процеси урбанізації, індустріалізації та зростання населення значно посилили тиск на навколишнє середовище, зокрема на водні екосистеми. Поверхневі води, особливо в межах великих міст, стали резервуаром для надлишкових техногенних навантажень. До основних видів забруднення відносяться органічні речовини, нафтопродукти, важкі метали, фосфати, нітрати, мікропластики, фармацевтичні препарати та патогенні мікроорганізми. Усе це негативно впливає як на якість води, так і на біоту, яка її населяє.

Водні об'єкти є надзвичайно вразливими до антропогенного впливу. З одного боку, вони є джерелом питної води, водопостачання, рекреаційної діяльності та важливою частиною гідрологічного циклу. З іншого — приймачами різноманітних стоків, у тому числі недостатньо очищених або взагалі неочищених. Саме це призводить до зміни хімічного складу води, погіршення її прозорості, зниження рівня розчиненого кисню, порушення балансу між біологічними угрупованнями.

Окрему проблему становить поверхневий стік у містах, який формується під час дощів та танення снігу. Він змиває з поверхонь міст залишки мастил, палив, важких металів, пилу, солей, що використовуються для посипання доріг, залишків побутових відходів, мікропластику. Усе це потрапляє у річки та інші водойми, спричиняючи перевантаження екосистеми та ускладнюючи її здатність до самоочищення.

Сьогодні все більше міст стикаються з проблемою адаптації своїх водних об'єктів до змін клімату та зростання інтенсивності опадів. Часті паводки, пов'язані з нерегулярністю кліматичних процесів, призводять до того, що у водойми викидається велика кількість забруднень одночасно. Це створює не лише короткострокову загрозу екосистемі, а й довготривалі наслідки для здоров'я населення, що мешкає поблизу таких об'єктів.

Таким чином, питання якості водних ресурсів у міських умовах має

важливе екологічне, соціальне та економічне значення. Сучасні дослідження спрямовані на пошук ефективних методів моніторингу стану води, зокрема з використанням біотестування та еколого-токсикологічного аналізу, що дозволяє отримати комплексну оцінку впливу забруднюючих речовин на водні організми.

1.2. Особливості впливу урбанізації на річкові екосистеми (на прикладі річки Варта)

Річка Варта — одна з основних річкових артерій Польщі, друга за довжиною після Вісли. Її загальна довжина становить близько 808 км, а басейн охоплює значну частину західної Польщі. У межах міста Познань річка відіграє важливу екологічну та соціально-економічну роль: забезпечує ландшафтну структуру, слугує водним шляхом, бере участь у формуванні мікроклімату міста, а також є потенційним джерелом питної води та місцем рекреації для населення.

Однак через високу щільність забудови, наявність промислових об'єктів та транспортної інфраструктури Варта в межах Познані зазнає значного антропогенного навантаження. Основними джерелами забруднення є:

- неочищені або недостатньо очищені господарсько-побутові стічні води;
- стік з урбанізованих територій, особливо під час сильних дощів або танення снігу;
- промислові стоки та локальні витіки з територій складів, АЗС, автомийок тощо;
- використання хімічних реагентів для обробки міських доріг взимку, які потрапляють у водну систему через дренаж.

Урбанізація також супроводжується розвитком гідротехнічної інфраструктури, що змінює природну морфологію русла річки. В межах Познані частина берегів Варта укріплена бетонними спорудами, що обмежує природну фільтрацію та зменшує площу прибережних біотопів. Внаслідок

цього зникають або деградують природні середовища існування для багатьох водних та прибережних видів, особливо риб, земноводних, водоплавних птахів і макрозообентосу.

Якість води у Варці в межах урбанізованої території часто не відповідає екологічним нормам. Дослідження показують підвищені концентрації біогенних елементів (азоту та фосфору), що сприяє розвитку евтрофікації – надмірному зростанню водоростей, що в свою чергу призводить до зниження рівня розчиненого кисню у воді. Це створює несприятливі умови для чутливих до гіпоксії видів риб та безхребетних.

Вплив урбанізації на біоту річки Варта проявляється також у зниженні Видового різноманіття водних організмів. Зокрема, відбувається зміщення у бік домінування толерантних до забруднення видів, що є індикатором погіршення екологічного стану. Видовий склад фітопланктону та зоопланктону змінюється, зменшується кількість видів макролітів і зростає роль синьо-зелених водоростей, характерних для евтрофних водойм.

Результати польських і міжнародних досліджень показують, що в різні періоди року гідрохімічні характеристики річки змінюються. Наприклад, у літній період спостерігається покращення якості води через активну біологічну продуктивність та процеси самоочищення. Водночас у весняний період якість води погіршується через надходження талих вод, а в осінній – через паводки та високий обсяг стоку з поверхонь міста. Зимовий період характеризується накопиченням забруднень при зниженій швидкості течії та низькій температурі, що обмежує процеси розкладу органіки.

Значну загрозу становить також мікропластик, що дедалі частіше виявляється в річкових водах Європи, у тому числі й у Варті. Ці частинки практично не розкладаються, легко поглинаються водними організмами та здатні акумулювати токсичні речовини.

Таким чином, річка Варта в межах міста Познань є прикладом водного об'єкта, що функціонує в умовах сильного урбаністичного тиску. Системне дослідження її екологічного стану із застосуванням методів біотестування

дозволяє виявити хронічні ефекти забруднення та оцінити ризики для водної екосистеми та здоров'я населення.

1.3. Основні типи забруднення поверхневих вод

Забруднення поверхневих вод є серйозною проблемою, що вимагає комплексного підходу до вирішення. Згідно з природою забруднюючих речовин, джерелами їх надходження та характером впливу на водні екосистеми, основні типи забруднення можна класифікувати наступним чином:

1. Хімічне забруднення:

Це один з найпоширеніших видів забруднення, який характеризується потраплянням у водойми токсичних речовин як органічної, так і неорганічної природи. До них належать важкі метали (свинець, кадмій, ртуть, мідь, хром), нафтопродукти та поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ).

2. Бактеріальне забруднення:

Цей тип забруднення пов'язаний з потраплянням у воду патогенних мікроорганізмів - бактерій, вірусів та паразитів. Основними джерелами є неочищені або частково очищені господарсько-побутові стоки, каналізаційні витоки та стічні води з фермерських господарств.

Бактеріальне забруднення становить пряму загрозу для здоров'я людей та тварин, особливо при використанні води для пиття або рекреації.

3. Термічне забруднення:

Спричиняється скиданням у водойми підігрітих стічних вод з промислових підприємств (наприклад, електростанцій). Висока температура води призводить до зниження вмісту розчиненого кисню, що негативно впливає на водну біоту та сприяє зміні її видового складу.

4. Радіаційне забруднення:

Цей тип забруднення має довготривалий характер і може призводити до мутацій, ураження клітин та порушення відтворення водних організмів.

5. Механічне (фізичне) забруднення:

Пов'язане з потраплянням у воду твердих часток, побутового сміття, мікропластику, мулу, піску тощо. Ці речовини забивають зябра риб, погіршують прозорість води, осідають на дні та створюють несприятливе середовище для донних організмів.

6. Біологічне (інвазійне) забруднення:

Пов'язане з інтродукцією у водне середовище чужорідних абоінвазійних видів, які витісняють місцеву біоту, змінюють трофічні зв'язки та можуть сприяти втраті біорізноманіття.

На практиці часто спостерігається комплексний (комбінований) тип забруднення, коли різні типи впливів діють на водну екосистему одночасно, ускладнюючи її функціонування та знижуючи природну здатність до самоочищення.

РОЗДІЛ 2.

МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНИХ ПІДХОДІВ

Сучасні підходи до оцінки стану водних об'єктів базуються не лише на гідрохімічному аналізі, а й на біологічних методах, які дозволяють оцінити вплив забруднювальних речовин на живі організми. Такий інтегрований підхід є більш репрезентативним і комплексним, оскільки дозволяє враховувати не лише наявність конкретних речовин, а й їхній сумарний, синергічний або антагоністичний ефект на екосистему.

Одним із найбільш ефективних інструментів екологічного моніторингу є еколого-токсикологічне тестування (біотестування), яке передбачає використання модельних організмів для визначення токсичності води. Ці організми, що представляють різні трофічні рівні — від бактерій, мікродоростей до ракоподібних і риб, — дозволяють отримати широкую картину потенційної небезпеки водного середовища для біоти.

Такий підхід дозволяє не лише виявити наявність токсичних речовин у досліджуваному середовищі, але й оцінити їхній реальний біологічний ефект, навіть якщо концентрації окремих речовин є надто малими для фіксації за допомогою традиційної хімічної аналітики. Крім того, біотестування дозволяє виявити забруднення невідомого походження або нові забруднювачі, які ще не включені до стандартних переліків контролю.

У практиці екологічного контролю дедалі частіше використовуються так звані «батареї біотестів» — поєднання кількох тест-систем, які охоплюють різні механізми дії токсичних речовин і дають змогу отримати більш об'єктивну оцінку екологічного стану води. Застосування таких методів є особливо важливим при контролі поверхневих вод, які піддаються постійному антропогенному навантаженню, зокрема у межах великих міст та промислових зон.

Таким чином, біотестування виступає не лише діагностичним інструментом, а й важливою складовою системи раннього попередження про

погіршення стану водних екосистем, сприяючи прийняттю ефективних природоохоронних заходів та збереженню біорізноманіття.

2.1. Системи біотестування у водних дослідженнях: міжнародна практика

У міжнародній практиці системи біотестування є важливим інструментом для комплексної оцінки стану водних екосистем. Біотестування дозволяє не лише визначити наявність токсичних речовин у воді, а й оцінити її загальну біологічну небезпеку шляхом вивчення реакцій живих організмів на забруднення. Цей підхід є особливо цінним у випадках, коли хімічні аналізи не виявляють певні токсичні сполуки або не дозволяють оцінити синергетичний ефект сумішей забруднювачів.

У країнах Європейського Союзу, США, Канаді, Японії та Китаї біотестування широко інтегроване в системи моніторингу якості води. Основна концепція полягає у використанні тест-організмів різних трофічних рівнів і чутливості для комплексної оцінки впливу водного середовища на біоту.

Одним із найпоширеніших методів є застосування люмінесцентних бактерій (наприклад, *Vibrio fischeri*), які використовуються в тесті Microtox®. Цей метод базується на вимірюванні зменшення інтенсивності світіння бактерій при дії токсичних речовин. Він характеризується високою чутливістю, швидкістю отримання результатів та можливістю автоматизації процесу.

У США біотести рекомендовані Агентством з охорони навколишнього середовища (USEPA) як частина стандартних протоколів для оцінки екотоксичності води. Тут застосовуються тести з використанням водоростей (*Pseudokirchneriella subcapitata*), ракоподібних (*Daphnia magna*) та риб (наприклад, *Pimephales promelas*). Подібний підхід використовується також в Канаді у рамках Програми оцінки токсичності водного середовища (Environmental Effects Monitoring, EEM).

У країнах ЄС існують директиви, які регулюють застосування біотестів (зокрема, Водна рамкова директива 2000/60/ЕС), які вимагають екологічного моніторингу із включенням біологічних методів. У Німеччині, Франції, Нідерландах та скандинавських країнах такі біотести часто комбінуються з хімічним аналізом та індексами біотичного різноманіття.

У Китаї активно впроваджується біотестування з використанням люмінесцентних бактерій, водоростей і жаб'ячих ембріонів. Особлива увага приділяється розробці швидких і доступних тест-систем, адаптованих до місцевих умов.

Водночас міжнародна практика акцентує на необхідності використання тест-організмів з різних рівнів трофічної мережі – продуцентів, консументів і редуцентів – для створення цілісного уявлення про потенційну небезпеку водного середовища. Часто застосовується принцип батареї тестів (testbattery), який дозволяє врахувати різну чутливість організмів та підвищити надійність результатів.

Загалом, біотестування у міжнародній практиці розглядається не лише як метод визначення токсичності, а як ключовий елемент сучасного екологічного моніторингу, що забезпечує оперативну, надійну та біологічно релевантну інформацію для прийняття рішень щодо охорони водного середовища.

2.2. Оцінка токсичності за допомогою тест-об'єктів на прикладі *Ceriodaphnia affinis*

Одним із найбільш чутливих та поширених тест-організмів у біотестуванні є ***Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg** – представник малих ракоподібних, які належать до класу гіллястовусих. Цей організм широко використовується в еколого-токсикологічних дослідженнях завдяки таким особливостям:

- короткий життєвий цикл (близько 6–8 днів до статевої зрілості),
- висока чутливість до різних забруднюючих речовин,
- легкість у лабораторному культивуванні,

- можливість оцінки **хронічної токсичності**, зокрема шляхом аналізу впливу на репродуктивну функцію.

Методика хронічного тесту з використанням *Ceriodaphnia affinis* передбачає експозицію тест-організмів у пробах води з досліджуваного джерела протягом 7 діб. Протягом цього часу ведеться спостереження за життєздатністю, числом новонароджених особин, темпами росту та іншими показниками. В умовах лабораторного експерименту забезпечується постійна температура, освітлення, а також підбір контрольної води (еталону).

Результати тестування дозволяють визначити рівень **хронічної токсичності**, що класифікується за відповідними шкалами (наприклад, чотирирівневою шкалою токсичності: нетоксична, низько-, середньо- та високотоксична вода). Такий підхід є **надзвичайно важливим у ситуаціях**, коли водні об'єкти зазнають впливу численних мало концентрованих забруднень, що в сукупності можуть призводити до серйозних екологічних змін.

Особливо актуальним є використання *Ceriodaphnia affinis* для дослідження якості води **в урбанізованих районах**, таких як річка Варта в межах міста Познань. Цей тест-об'єкт дозволяє оцінити не лише гострий токсичний вплив, а й виявити **накопичувальний ефект забруднення**, пов'язаний з впливом органічних сполук, нафтопродуктів, важких металів тощо.

Біотестування за допомогою *Ceriodaphnia affinis* було використане у даному дослідженні для комплексної оцінки сезонної динаміки якості води річки Варта. Це дозволило виявити періоди найбільшого токсичного навантаження на водну екосистему та запропонувати потенційні шляхи оптимізації систем очищення стоків та моніторингу.

2.3. Тестові організми: *Ceriodaphnia affinis*, *Daphnia magna*, водорості та інші

В галузі біотестування широко застосовуються модельні організми, які демонструють підвищену чутливість до токсичних речовин, що дозволяє

ефективно оцінювати екологічний стан водних ресурсів. Для цього використовуються представники різних таксономічних груп та трофічних рівнів, забезпечуючи комплексний підхід до виявлення потенційно шкідливих речовин.

Серед тест-організмів найпоширенішими є дрібні ракоподібні *Ceriodaphnia affinis* та *Daphnia magna*, які активно використовуються в біотестуванні завдяки високій чутливості до змін у водному середовищі, швидкому циклу розвитку, простоті культивування та репрезентативності результатів. Вони дозволяють оцінити як гостру, так і хронічну токсичність, а також сублетальні ефекти, такі як порушення росту, репродукції або поведінки.

Також активно використовуються тест-водорості, наприклад *Pseudokirchneriella subcapitata* (*Selenastrum capricornutum*), *Scenedesmus quadricauda* та інші представники зелених водоростей. Ці мікроорганізми чутливі до широкого спектра забруднювачів, таких як важкі метали, пестициди, нафтопродукти і фармацевтичні залишки. Біотести з водоростями дозволяють виявити ефекти, пов'язані з пригніченням росту або фотосинтетичної активності.

Крім того, в біотестуванні застосовуються бактерії, наприклад *Vibrio fischeri*, які використовуються в тестах на інгібування біолюмінесценції, а також інші мікроорганізми, що реагують на токсичний вплив зміною ферментативної активності чи клітинної життєдіяльності. В окремих випадках застосовують яйця риб або зародки земноводних (*Daniorerio* та *Xenopus laevis*), що дозволяє оцінити тератогенні та ембріотоксичні ефекти.

Вибір конкретного тест-організму залежить від мети дослідження, типу потенційного забруднювача, умов середовища та необхідного рівня чутливості тестової системи. Завдяки універсальності, доступності та відтворюваності результатів, біотести займають важливе місце в системі екологічного моніторингу як у наукових дослідженнях, так і в практичній природоохоронній діяльності.

2.4. Міжнародна практика застосування біотестів у моніторингу якості води

В країнах Європейського Союзу біотестування регулюється комплексом директив та нормативних актів, причому ключовим документом є Рамкова водна директива (2000/60/EC), яка наголошує на важливості врахування біологічних показників під час оцінки екологічного стану водних об'єктів.

У Німеччині, Франції, Нідерландах та Скандинавських країнах активно застосовуються стандартизовані біотест-системи з використанням модельних організмів, таких як *Daphnia magna*, *Pseudokirchneriella subcapitata* та *Vibrio fischeri*.

У США Агентство з охорони навколишнього середовища (U.S. EPA) розробило детальні керівництва та методичні вказівки щодо проведення токсикологічних тестів для поверхневих та стічних вод. Широко використовуються хронічні та гострі тести з рибами, ракоподібними та водоростями, що дозволяє виявляти навіть незначні екологічно небезпечні впливи.

Канада має власну програму токсикологічного моніторингу, де біотести відіграють важливу роль у рамках Національної програми моніторингу водного середовища (NWRI). У Канаді активно використовуються біотести з рибами (*On corhynchus my kiss*), безхребетними та мікрководоростями.

В Японії біотестування є обов'язковим елементом екологічної оцінки при викиді стічних вод промисловими підприємствами. Високий рівень технологічногорозвиткудозволяєпроводитивисокоточніавтоматизовані тести з використанням біосенсорів та люмінесцентних бактерій.

У Китаї, де останнім часом зросла увага до комплексного контролю водних ресурсів, біотестування також активно застосовується.

Міжнародний досвід свідчить про високу ефективність біотестування у виявленні токсичних забруднень та оцінці впливу забруднювачів на водні екосистеми.

2.5. Методика біотестування для визначення хронічної токсичності води на ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg

У дослідженні якості води річки Варта в межах міста Познань було застосовано методику біотестування із визначення хронічної токсичності водного середовища на ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. Цей підхід ґрунтується на порівнянні показників виживаності та плодючості тест-організмів у досліджуваній (експериментальній) воді та у контрольному середовищі, в якому культивуються церіодафнії. Зниження цих показників в експерименті порівняно з контролем вважається ознакою хронічної токсичності, якщо воно є статистично значимим.

Перед початком досліджень усі метрологічні характеристики методики були перевірені. Вік тест-організмів на момент початку експерименту не перевищував 24 годин. Біотестування тривало 8 діб, або до появи трьох послідовних пометів у 80–90 % вихідних самок у контрольному середовищі. Проба експериментальної води та її розбавлення розливали у 10 пробірок, а контрольну воду – ще у 10, після чого у кожен пробірочку поміщали по 2 особини *Ceriodaphnia affinis*.

Щодня здійснювали заміну води на свіжу та додавали корм—суспензію хлібопекарських дріжджів. Молодь, що народилася, підраховувалася та видалялася. Протягом експонування підтримували постійну температуру (25 ± 1)°C, освітлення 400–600 люкс та світловий режим 16/8 (світло/темрява) у термолюміністатах типу Cinarra.

Контроль якості досліджень здійснювався відповідно до затверджених процедур:

- перевірка похибки одиночного визначення ефективної концентрації (ЕК₇діб) еталонної речовини — дихромату калію (K₂Cr₂O₇), допустимі межі якого становили 0,15–0,61 мг/дм³;
- перевірка відтворюваності результатів (різниця між повторними визначеннями ЕК₇діб не перевищувала 0,34 мг/дм³);
- визначення чутливості тест-культури до K₂Cr₂O₇ (діапазон ЛК₅₀ за 24 години — 0,9–3,3 мг/дм³).

Після завершення тесту визначали кількість вижилих самок та народженої ними молоді у розрахунку на одну особину в кожному варіанті досліду.

Статистичну обробку отриманих даних проводили за двовибірковим критерієм Ст'юдента з метою встановлення достовірності виявлених відмінностей між експериментом і контролем. Якщо значення розрахованого критерію перевищувало табличне, робився висновок про наявність хронічної токсичності.

Для кількісної оцінки хронічної токсичності обчислювали мінімальну кратність розбавлення води, при якій не виявлялася токсична дія.

Визначали також умовні одиниці хронічної токсичності (ОТх), на підставі яких оцінювали якість води згідно з класифікаційною шкалою:

Клас якості	Ступінь забруднення	Рівень хронічної токсичності (ОТх)
I	Чиста	1,0
II	Слабо забруднена	1,1–2,0
III	Помірно забруднена	2,1–4,0
IV	Брудна	4,1–8,0
V	Дуже брудна	>8,0

Усі біотестування проводилися в лабораторії еколого-токсикологічних досліджень Навчально-наукового інституту екології Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

РОЗДІЛ 3.

СЕЗОННА ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ РІЧКИ ВАРТА В МЕЖАХ МІСТА ПОЗНАНЬ (РЕСПУБЛІКА ПОЛЬЩА)

3.1. Загальна характеристика річки Варта та умов дослідження

Річка Варта є другою за довжиною річкою Польщі, що має велике екологічне, економічне та соціальне значення. Вона бере свій початок у південній частині країни, а її загальна довжина становить понад 800 км.

Варта проходить через низку великих міст, зокрема й Познань — один із ключових індустріальних, наукових і культурних центрів Польщі. У межах міста річка піддається впливу інтенсивної урбанізації, промислового навантаження, комунальних скидів та транспортної інфраструктури. Ці чинники обумовлюють актуальність дослідження еколого-токсикологічного стану річки саме в межах міста Познань.

Для аналізу якості води в місті Познань було обрано **чотири створи моніторингу**, розміщені в різних частинах міської території:

1. **Staroleka Wielka** — верхній створ, розташований у передмісті, де переважають природні або напівприродні ландшафти.
2. **Piastowska** — урбанізований створ, розташований поблизу житлових і транспортних зон.
3. **Panny Marii** — центральна частина міста, де в річку можуть потрапляти побутові стоки та міський змив.
4. **Browe Parcele** — нижній створ, що розташований біля виходу річки з міста, де фіксується сукупний вплив усіх попередніх джерел забруднення.

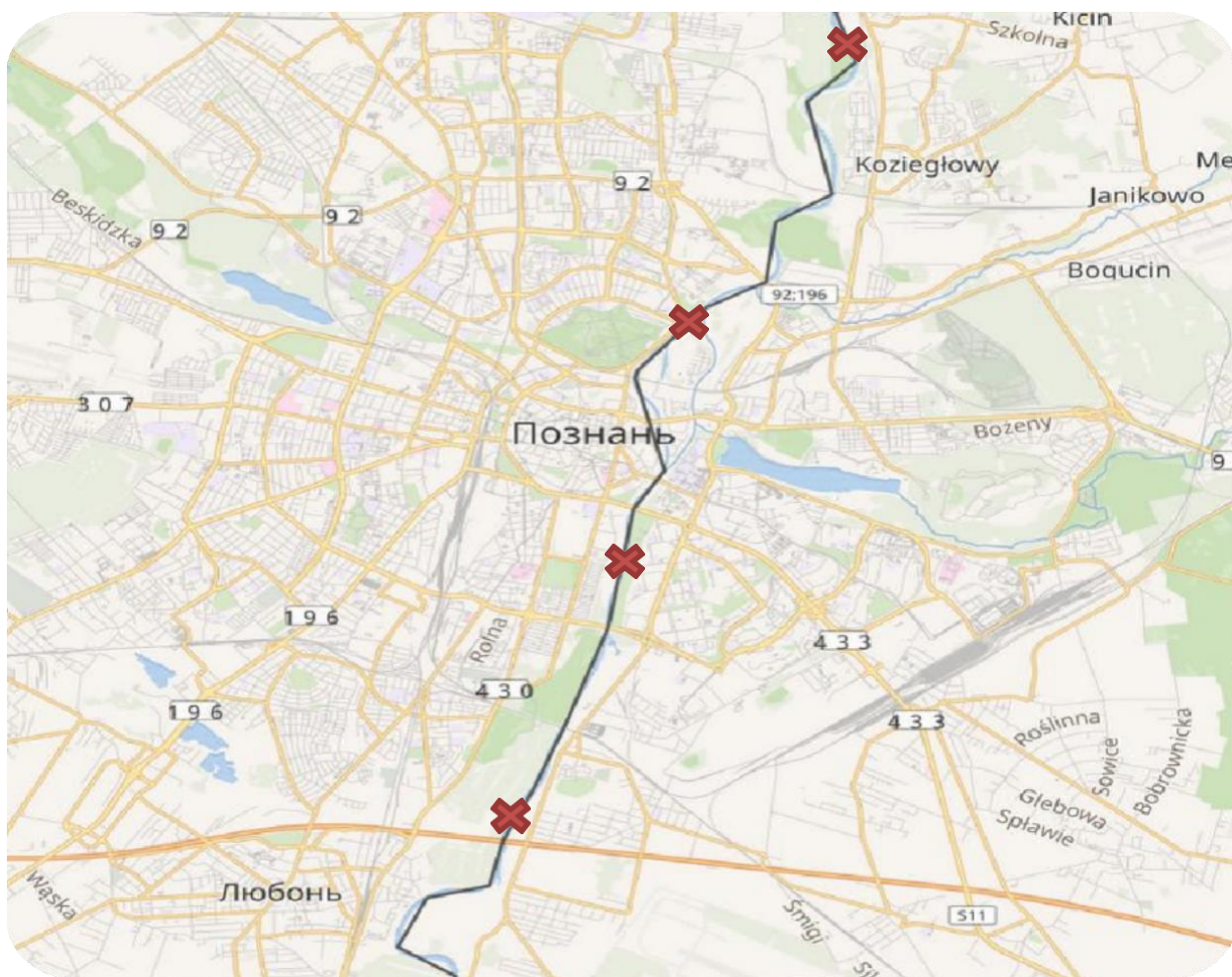
Вибір цих створів дав змогу простежити просторову та сезонну динаміку зміни якості води в межах урбанізованого середовища. Усі створи підлягали спостереженню в чотири різні періоди року — зимовий (січень), весняний (березень), літній (липень) та осінній (жовтень), що дало змогу оцінити сезонну мінливість показників.

У дослідженні використовувались дані лабораторних аналізів, біотестування, результати хімічного моніторингу та інші індикатори, зокрема рівень хронічної токсичності, що виявлявся за допомогою тест-організмів. Отримані результати дозволили не лише визначити фактичний стан річки, але й ідентифікувати джерела забруднення, оцінити їхній вплив на екосистему, а також виявити часові тенденції у зміні екологічного стану Варта в межах Познані.

3.2. Дослідження еколого-токсикологічного стану р. Варта в межах м. Познань

Основними джерелами забруднення річки Варта в межах міста Познань є поверхневий стік з урбанізованих територій, а також можливі скидні води з очисних споруд комунального господарства. До чинників, що сприяють забрудненню водного об'єкта, також належить інтенсивне рекреаційне навантаження, порушення режиму землекористування прибережних захисних смуг та наявність побутових відходів у водоохоронній зоні.

Відбір зразків поверхневих вод з річки Варта було здійснено влітку та восени 2024 року, взимку та навесні 2025 року (рис. 3.1). Метою досліджень було визначення токсичних властивостей у зразках води з річки Варта у межах м. Познань.



✘ - створи з відбору зразків води

Рис.3.1 Місця відбору зразків води з р. Варта

Відбір зразків води з річки Варта проводився у чотирьох створах у межах міста Познань:

1. Staroleka Wielka – верхів'я річки в межах міста, район моста Мальта;
2. Piastowska – центральна частина міста, район моста Св. Роха;
3. Panny Marii – нижче за течією, район біля моста Крулевської;
4. Browe Parcele – південна частина Познані, район скиду після очисних споруд.

За результатами проведених влітку 2024 року еколого-токсикологічних досліджень зразків води з р. Варта були отримані наступні результати (рис. 3.2):

Результати визначення класу якості води річки Варта, липень

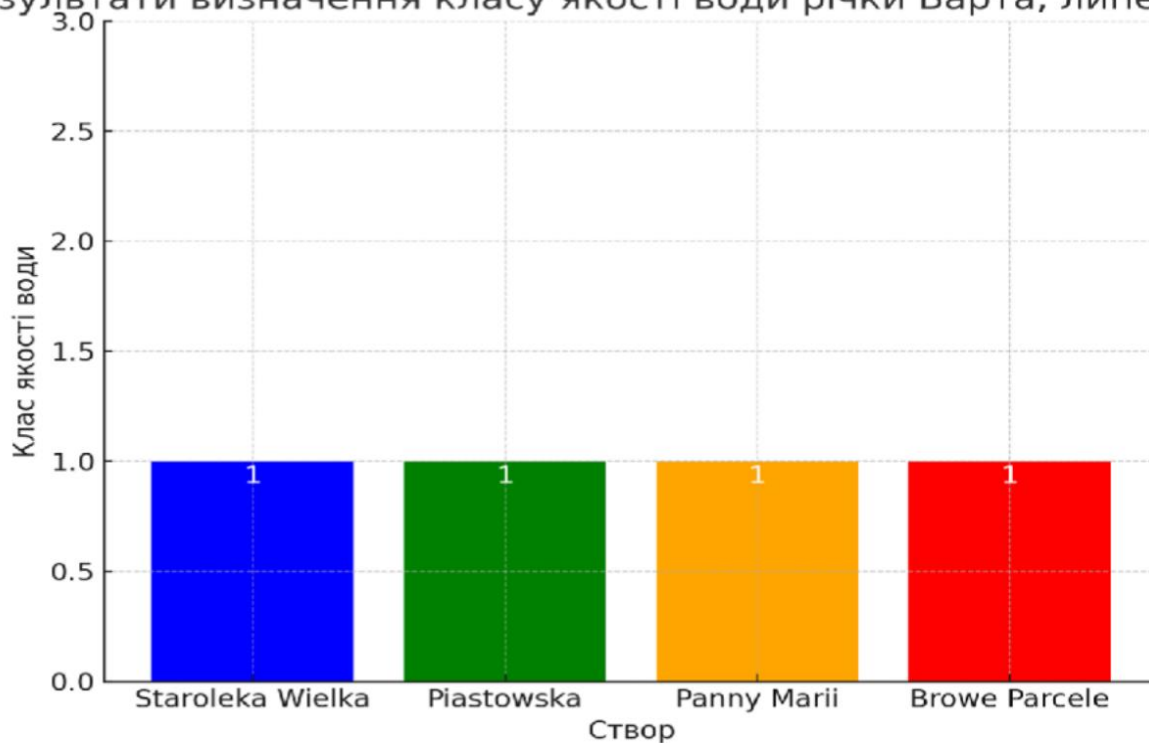


Рис. 3.2 Результати визначення токсичних властивостей зразків поверхневих вод, які було відібрано з р. Варта влітку 2024 року

У літній період 2024 року якість води у всіх досліджуваних створах — Staroleka Wielka, Piastowska, Panny Marii та Browe Parcele — відповідала 1 класу якості, тобто вода залишалась чистою. Це свідчить про сприятливі гідрохімічні умови та активні процеси самоочищення водної екосистеми в літній період.

За результатами дослідження, проведеного восени 2024 року, було зафіксовано погіршення якості води у всіх створах — вода відповідала 2 класу якості, тобто вважалась слабо забрудненою. Це можна пояснити зменшенням температури води, зниженням біологічної активності гідро біонтів та накопиченням забруднювальних речовин. Результати цього дослідження наведено на рисунку 3.3:

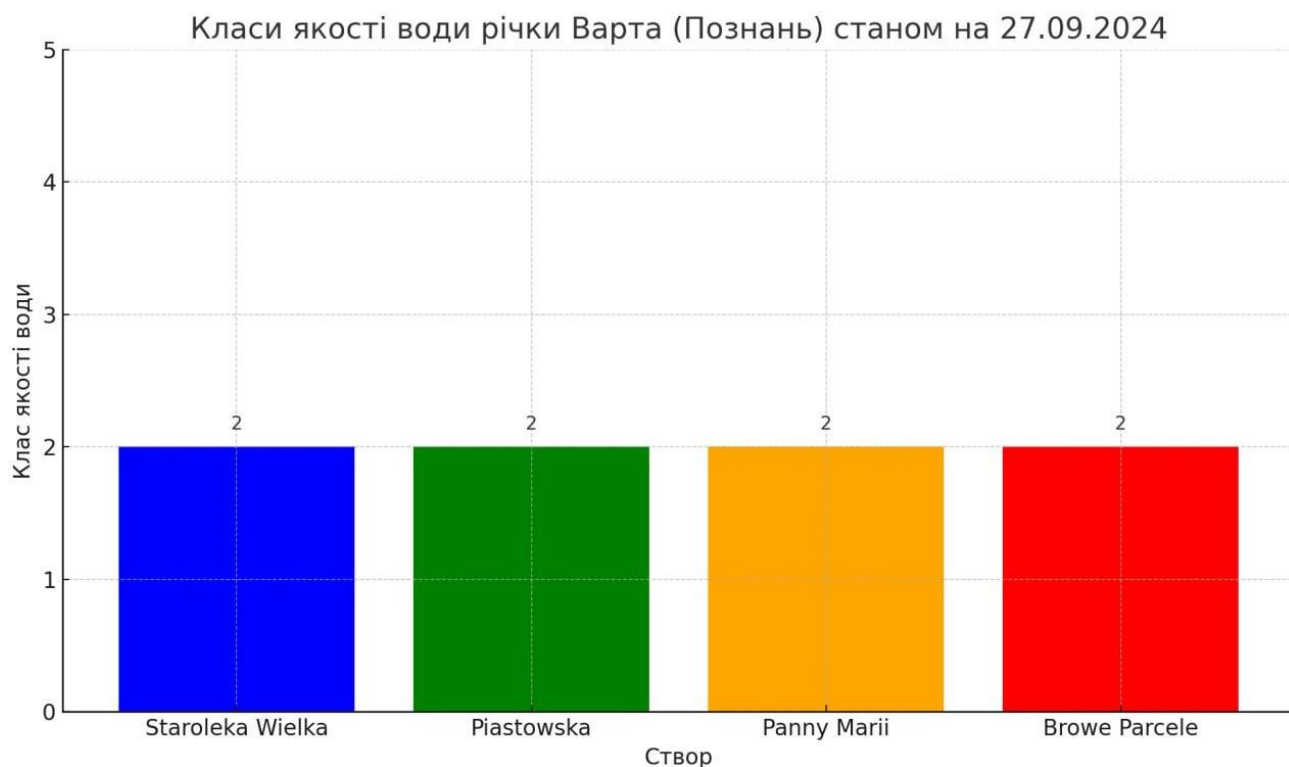


Рис. 3.3 Результати визначення токсичних властивостей зразків поверхневих вод, які було відібрано з р. Варта восени 2024 року

У зимовий період 2024 року спостерігалось загальне погіршення якості води річки Варта у межах міста Познань. За результатами біотестування, у всіх досліджуваних створах було визначено **4 клас якості води**, що відповідає

"брудній воді" за п'ятибальною шкалою. Такий результат є свідченням вираженої токсичності водного середовища у зимовий час. Результати цього дослідження наведено на рисунку 3.4:

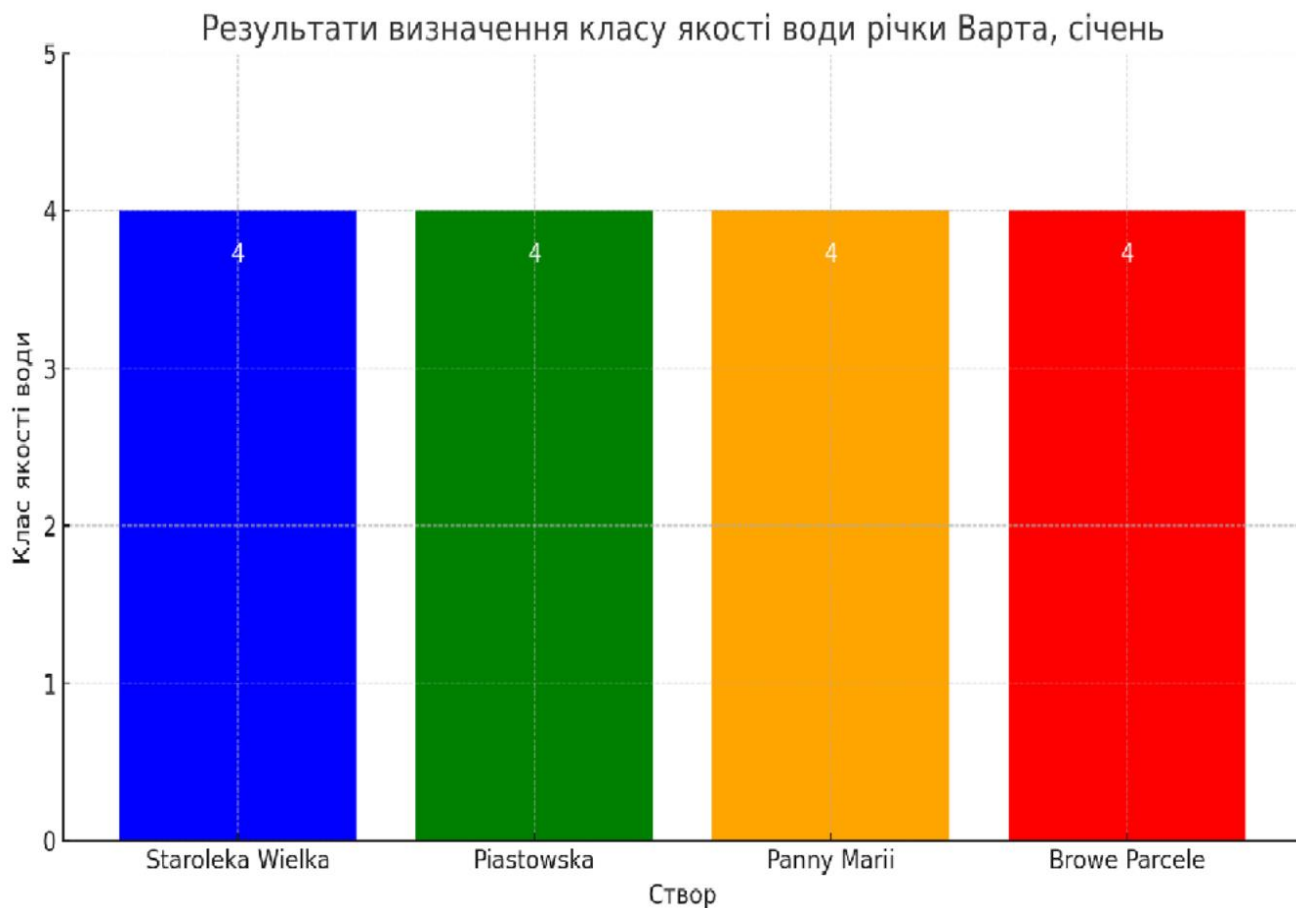


Рис.3.4 Результати визначення токсичних властивостей зразків поверхневих вод, які було відібрано з р. Варта взимку 2025 року

Взимку 2025 року якість води у річці Варта в Познані помітно погіршилася. Аналіз води показав, що у всіх місцях дослідження вона відповідає 4 класу, тобто є "брудною" за п'ятибальною шкалою. Це означає, що взимку вода стала значно більш токсичною.

Таке погіршення пов'язане з кількома причинами. По-перше, через холод температура води знижується, і всі природні процеси в ній відбуваються повільніше, включаючи самоочищення. Холод уповільнює життя водних організмів і мікроорганізмів, які розкладають забруднення, тому шкідливі речовини накопичуються у воді.

По-друге, взимку в річці менше води, тому забруднення не розбавляються. Випаровування невелике, дощів і танення снігу мало, і забруднюючі речовини, які надходять з різних джерел (наприклад, зі стічних вод або змиваються з міста), стають більш концентрованими.

Навесні 2025 року стан води у річці дещо покращився. У створах Staroleka Wielka та Browe Parcele визначено 2 клас якості води (слабо забруднена), тоді як у створах Piastowska та Panny Marii — 3 клас якості (помірно забруднена вода). Це покращення може бути зумовлене збільшенням водності внаслідок весняного водопілля, що сприяє природному розведенню та зменшенню концентрацій забруднюючих речовин.

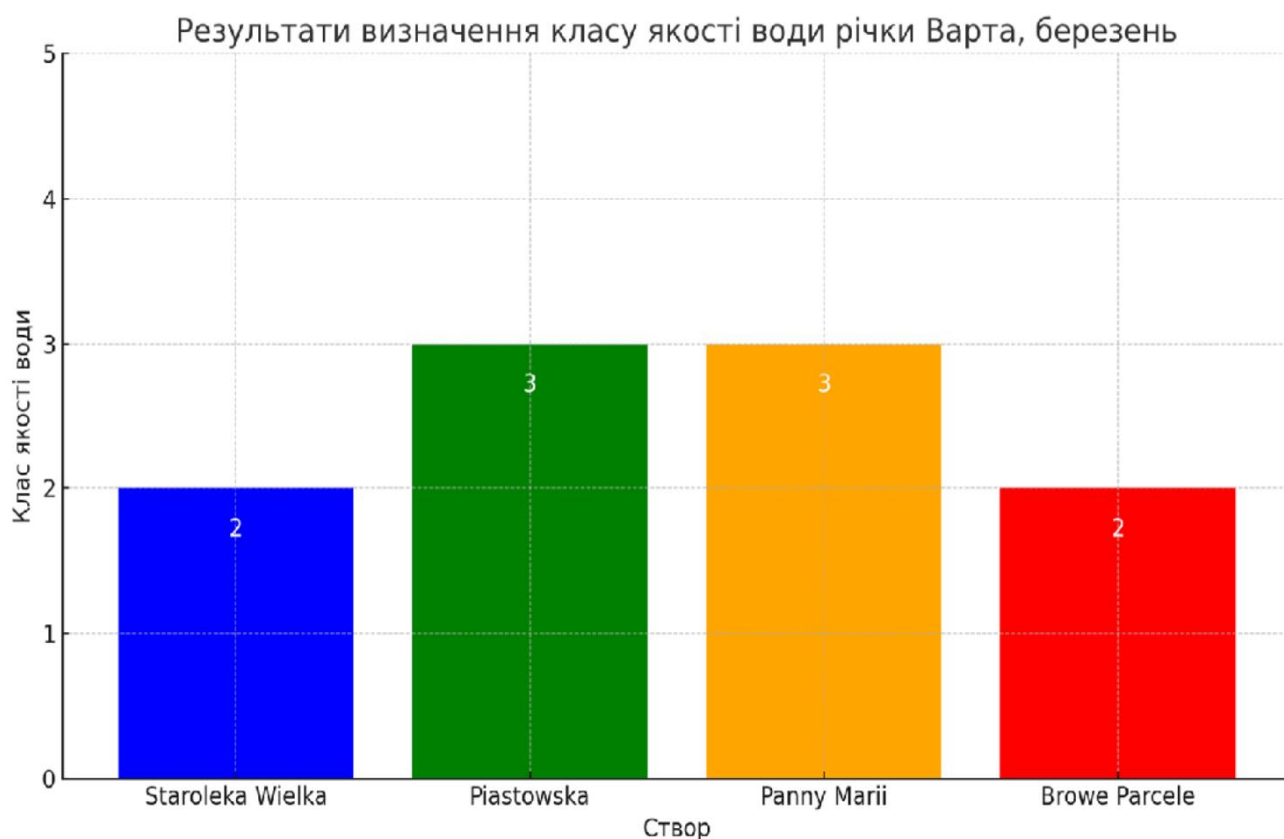


Рис. 3.5 Результати визначення токсичних властивостей зразків поверхневих вод, які було відібрано з р. Варта навесні 2025 року

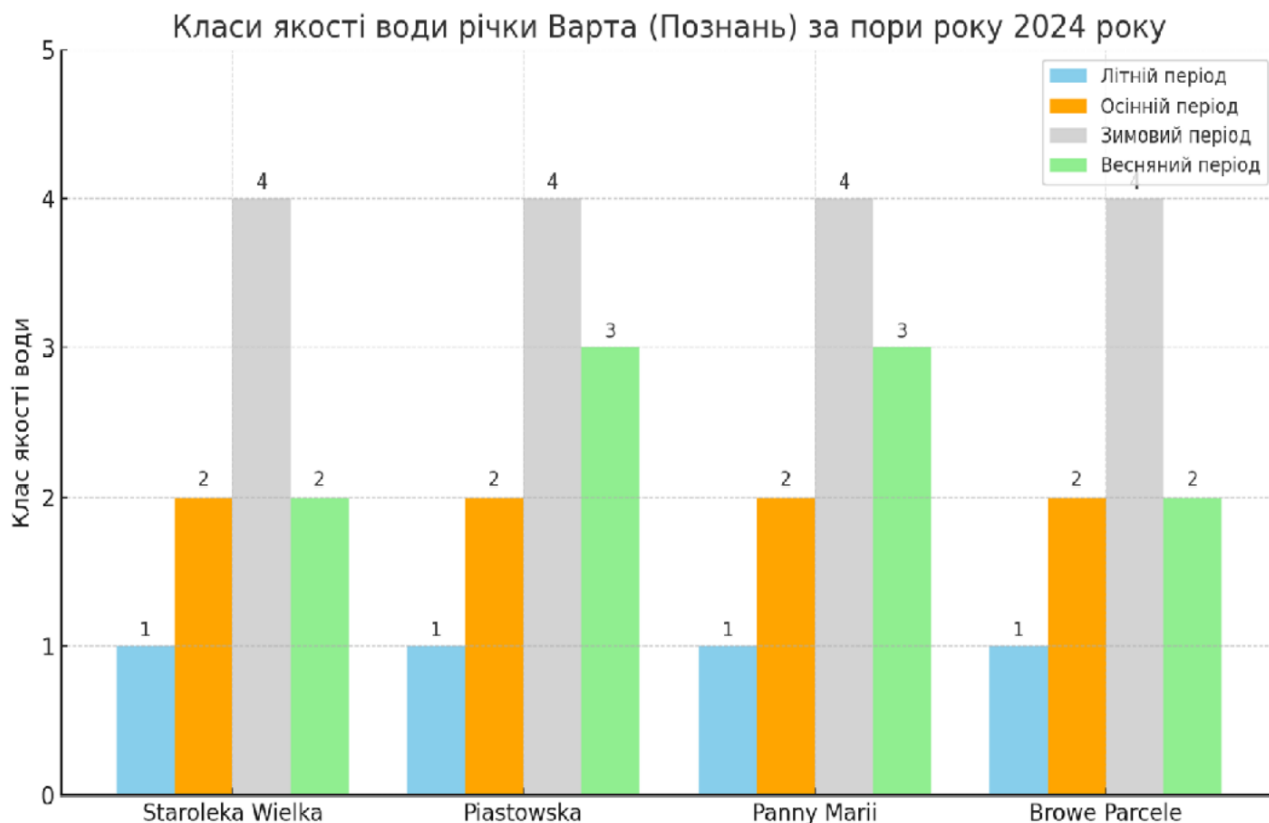


Рис. 3.6 Узагальнення результати визначення токсичних властивостей зразків поверхневих вод, які було відібрано з р. Варта у різні пори року

Узагальнюючи результати, можна зробити висновок, що головним чинником, який впливає на токсичність води у річці Варта в межах міста Познань, є урбанізоване навантаження та діяльність очисних споруд. Виявлені сезонні коливання якості води вказують на необхідність постійного екологічного моніторингу та впровадження природоохоронних заходів, зокрема щодо вдосконалення роботи очисних споруд і управління прибережною зоною.

ВИСНОВКИ

1. Річка Варта є однією з найважливіших водних артерій Республіки Польща та другою за довжиною річкою країни після Вісли. У межах міста Познань вона відіграє значну екологічну, соціальну та рекреаційну роль. Проте висока щільність міської забудови, наявність промислових підприємств, транспортної інфраструктури та комунального господарства зумовлює інтенсивний антропогенний тиск на річкову екосистему.

2. Основними джерелами забруднення річки Варта в межах міста Познань є:

- ❖ Поверхневий стік з урбанізованих територій, що змиває забруднювачі з дорожнього покриття, дахів та інших імпермеабельних поверхонь;

- ❖ Недостатньо очищені стоки з комунальних очисних споруд;

- ❖ Побутові відходи в зоні водоохоронної смуги;

- ❖ Скиди з підприємств інфраструктурного та побутового призначення (АЗС, автомийки, склади, тощо);

- ❖ Сезонні гідрометеорологічні явища, зокрема паводки, танення снігу та зміни клімату, які посилюють транспорт і концентрацію забруднюючих речовин у водному середовищі.

3. Моніторингові дослідження проводились у 2024–2025 роках у чотири сезони: літній, осінній, зимовий та весняний. Відбір зразків здійснювався в чотирьох створах, розміщених уздовж течії річки Варта в межах міста Познань:

- ❖ **Staroleka Wielka** - передмістя, де переважає напівприродне середовище;

- ❖ **Piastowska** — урбанізована центральна частина;

- ❖ **Panny Marii** — район із значним транспортним навантаженням;

- ❖ **Browe Parcele** — нижній створ, де фіксується кумулятивний вплив усіх джерел забруднення.

4. Для еколого-токсикологічної оцінки водного середовища було застосовано методика біотестування із визначенням хронічної токсичності води за допомогою тест-організмів *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. Методика ґрунтується на порівнянні виживаності та плодючості особин у контрольному та досліджуваному середовищах. Таке тестування дозволяє оцінити сумарну токсичність, включаючи вплив малокоцентрованих, але стійких забруднювальних речовин.

5. За результатами літнього дослідження 2024 року у всіх створах було встановлено **1 клас якості води — вода чиста**. Це свідчить про активізацію процесів самоочищення, високу температуру води, достатній рівень біологічної продуктивності та ефективне функціонування екосистеми.

6. Восени 2024 року якість води у всіх створах знизилась до **2 класу — вода слабо забруднена**. Це пов'язано зі збільшенням обсягу урбаністичного стоку, зменшенням температури води, уповільненням гідробіологічних процесів та накопиченням органічних речовин.

7. У зимовий період 2025 року було виявлено найгірші показники якості води — **4 клас якості** у всіх створах — **вода брудна**. Причини цього полягають у значному зниженні температури води, зменшенні швидкості течії, уповільненні процесів самоочищення, зниженні активності гідробіонтів, відсутності водності для розведення забруднень та накопиченні токсичних речовин.

8. Навесні 2025 року спостерігалось часткове покращення стану води. У створах **Staroleka Wielka** та **Browe Parcele** було визначено **2 клас якості води** (слабо забруднена вода), а в створах **Piastowska** та **Panny Marii** — **3 клас** (помірно забруднена вода). Така динаміка обумовлена весняним водопіллям, яке сприяє природному розведенню забруднень, але при цьому змиває великі обсяги забруднювальних речовин з міської території.

9. Узагальнюючи результати, встановлено, що **сезонні коливання якості води у річці Варта** прямо пов'язані з рівнем урбанізованого навантаження, гідрологічними особливостями сезону, ефективністю роботи

очисних споруд та змінами температурного режиму.

10. Результати роботи дозволяють сформувавши низку **рекомендацій**, серед яких:

- ❖ удосконалення систем очищення міських стічних вод;
- ❖ впровадження заходів з очищення поверхневого стоку (влаштування фільтруючих ліній, зелених зон);
- ❖ посилення контролю за прибережними смугами;
- ❖ регулярне використання біотестування в рамках міського екологічного моніторингу;
- ❖ розвиток екологічної культури та свідомості місцевого населення.

Таким чином, річка Варта у межах міста Познань є прикладом водного об'єкта, що функціонує в умовах інтенсивного урбаністичного навантаження, і потребує постійного контролю, застосування біотехнологічних підходів у моніторингу, а також ефективної природоохоронної політики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Varjani S.J., Rana D.P., Jain A.K., Bateja S., Upasani V.N. Synergistic ex-situ biodegradation of crude oil by halotolerant bacterial consortium of indigenous strains isolated from on shore sites of Gujarat, India *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 103, 2015. pp. 116-124. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.03.030>
2. Fingas M., *The Basics of Oil Spill Cleanup* (2nd ed.), *CRC Press*. 2000. <https://doi.org/10.1201/9781420032598>
3. Varjani S. J., Microbial degradation of petroleum hydrocarbons. *Bioresource Technology*, Volume 223, 2017. pp 277-286. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.10.037>.
4. Xu X., Liu W., Tian S., Wang W., Qi Q., Jiang P., Gao X., Li F., Li H., Yu H. Petroleum hydrocarbon-degrading bacteria for the remediation of oil pollution under aerobic conditions: a perspective analysis. *Front. Microbiol.*, 9 (2885), 2018. pp. 1-11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02885>
5. Gao P., Li Z., Gibson M., Gao H. Ecological risk assessment of nonylphenol in coastal waters of China based on species sensitivity distribution model, *Chemosphere*. Volume 104, 2014. pp. 113-119. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.076>.
6. Cohen M. Water pollution from oil spills. *Encycl. Energy Nat. Resour. Environ. Econ.*, 2013. pp.121-126, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375067-9.00094-2>
7. Ukpaka C.P., Lezorghia S.B., Nwosu H. Crude oil degradation in loamy soil using Neem root extracts: an experimental study. *Chem. Int.*, 6(3). 2020. pp. 160-167. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3645478>
8. Martinez-Jeronimo F., Villasenor R., Rios G., Espinosa-Chavez F. Toxicity of the crude oil water-soluble fraction and kaolin-adsorbed crude oil on *Daphnia magna* (Crustacea: Anomopoda). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 48(4).2005. pp.444-449. <https://doi.org/10.1007/s00244-003-0220-4>
9. Raju M.N., Scalvenzi L. Petroleum degradation: promising biotechnological

tools for bioremediation. M. Zoveidavianpoor (Ed.). *Recent Insights in Petroleum Science and Engineering. Intech Open*, 2017. pp.351-369.

<https://doi.org/10.5772/intechopen.70109>

10. Fernández-Piñas F., Rodea-Palomares I., Leganés F., González-Pleiter M., Muñoz-Martín M. A. Evaluation of the ecotoxicity of pollutants with bioluminescent microorganisms. G. Thouand, R. Marks (Eds.), *Bioluminescence: Fundamentals and Applications in Biotechnology- Volume 2*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2014, pp. 65-135, <https://doi.org/10.1007/978-3-662-43619-63>

11. Ballance R., Bartram J. *Water Quality Monitoring: A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes. CRC Press. London*, 2002.

12. Li L., Zheng B., Liu L. Biomonitoring and bioindicators used for river ecosystems: definitions, approaches and trends. *Procedia Environ. Sci.*, 2, 2010. pp. 1510-1524. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.164>

13. Girotti S., Maiolini E., Bolelli L., Ghini S., Ferri E., Barile N., Medvedeva S. Analytical techniques and bioindicators in environmental control: honeybees, mussels, bioluminescent bacteria: rapid immunoassays for pesticide detection. *Soil Chemical Pollution, Risk Assessment, Remediation and Security*, Springer, 2008. pp. 327-347. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8257-3_29

14. Hassan S.H., Van Ginkel S.W., Hussein M.A., Abskharon R., Oh S.-E. Toxicity assessment using different bioassays and microbial biosensors. *Environ. Int.*, 92–93, 2016. pp. 106-118. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.03.003>

15. Parvez S., Venkataraman C., Mukherji S. A review on advantages of implementing luminescence inhibition test (*Vibrio fischeri*) for acute toxicity prediction of chemicals. *Environ. Int.*, 32(2), 2006, pp. 265-268. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.08.022>

16. Iqbal M., Abbas M., Nisar J., Nazir A., Qamar A. Bioassays based on higher plants as excellent dosimeters for ecotoxicity monitoring: a review. *Chem. Int*, 5 (1), 2019. pp. 1-80. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1475399>

17. Gu M.B., Mitchell R.J., Kim B.C. Whole-cell-based biosensors for

- environmental biomonitoring and application. *J.-J. Zhong (Ed.), Biomanufacturing, Springer.* 2004. pp. 269-305. <https://doi.org/10.1007/b13533>
18. Cho J.-C., Park K.-J., Ihm H.-S., Park J.-E., Kim S.-Y., Kang I., Lee K.-H., Jahng D., Lee D.-H., Kim S.-J. A novel continuous toxicity test system using a luminously modified freshwater bacterium. *Biosens. Bioelectron.*, 20 (2), 2004. pp. 338-344. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2004.02.001>
19. Girotti S., Bolelli L., Roda A., Gentilomi G., Musiani M. Improved detection of toxic chemicals using bioluminescent bacteria. *Anal. Chim. Acta*, 71 (1), (2002). pp. 113-120. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(02\)00870-X](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(02)00870-X)
20. Manoli D.E., Samara C., Konstantinou I., Albanis T., Polycyclic aromatic hydrocarbons in the bulk precipitation and surface waters of Northern Greece, *Chemosphere*, Volume 41. Issue 12. 2000. pp. 1845-1855. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(00\)00134-X](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(00)00134-X).
21. Burchard A., Gąbka M., Jurczak T. (2020). *Assessment of water quality in the Warta River using biological indicators*. Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Faculty of Biology. // *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(3), 165.
22. Reid A.J., Carlson A.K., Creed I.F., Eliason E.J., Gell P.A., Johnson P.T., Kidd K.A., MacCormack T.J., Olden J.D., Ormerod S.J. Виникаючі загрози та постійні проблеми збереження прісноводного біорізноманіття. *Biol. Rev.*, 94 (3), 2019. pp. 849-873.
23. Altenburger R., Brack W., Burgess R.M., Busch W., Escher B.I., Focks A., Hewitt L.M., Jacobsen B.N., de Alda M.L., Ait-Aissa S. Future water quality monitoring: improving the balance between exposure and toxicity assessments of real-world pollutant mixtures. *Environ. Sci. Eur.*, 31 (1), 2019. pp. 1-17
24. ДСТУ 4174:2003 Якість води. Визначення хронічної токсичності хімічних речовин та води на *Daphnia magna* Straus та *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 10706:2000, MOD). Київ: Держспоживстандарт України, 2004.