SET HEAT

Програма у сфері довкілля та кліматичних дій

Підпрограма LIFE «Перехід до чистої енергії»

Проєкт SET_HEAT_SEWAGE

Рекуперація тепла із очищених стічних вод

Co-funded by the European Union

Номер проєкту
101119793

Акронім проєкту:
LIFE22-CET-SET_HEAT

Конкурс:
LIFE-2022-CET

Тема:
LIFE-2022-CET-DH

SET HEAT

Застереження

Співфінансовано Європейським Союзом. Висловлені погляди та думки належать лише автору (авторам) і не обов'язково відображають погляди Європейського Союзу або CINEA. Ні Європейський Союз, ні орган, що надає грант, не несуть за них відповідальності.

Co-funded by
the European Union

Зміст

— Вступ

— Концепція проєкту

— Основні дані

— Майданчик

— Варіанти проєкту

— Інтеграція

— Очікувані показники

— Економічна ефективність

— Ризики

— Висновки



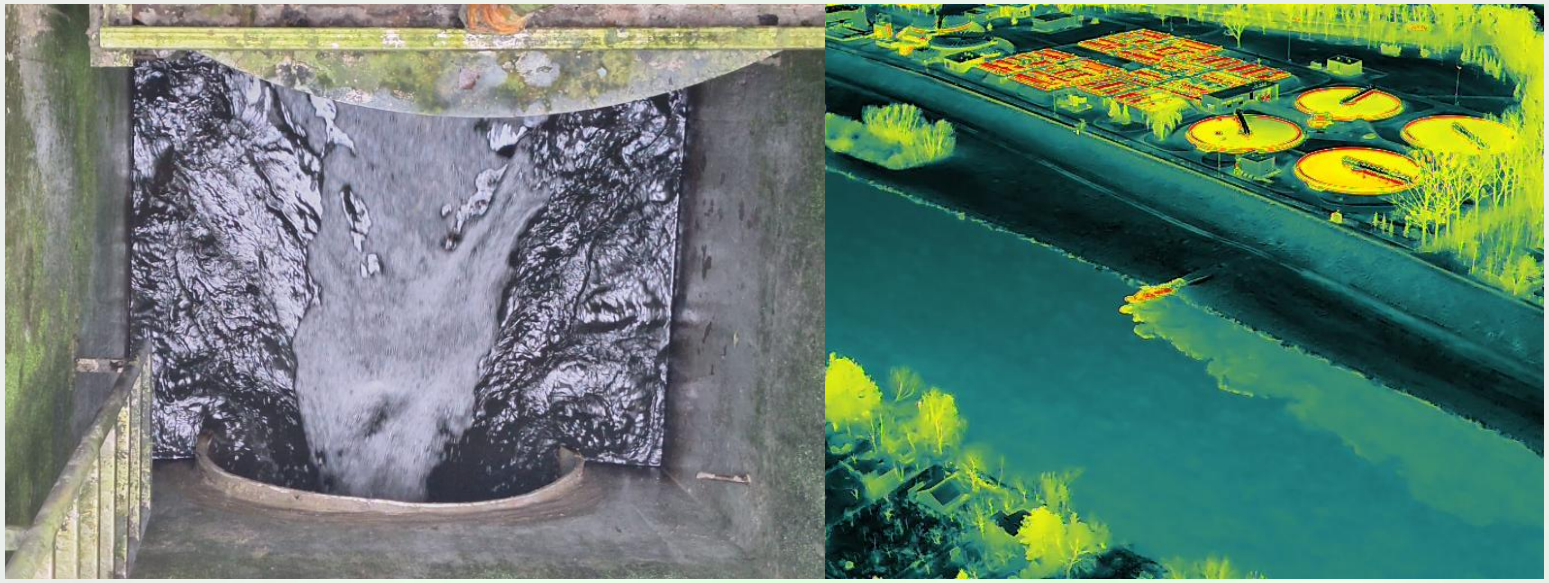
SET HEAT

Co-funded by
the European Union

Вступ

У дослідженні розглянуто інтеграцію системи рекуперації тепла із очищених стічних вод з мережею централізованого теплопостачання в Ополе.

Проєкт поєднує сектори очищення міських стічних вод і централізованого теплопостачання.

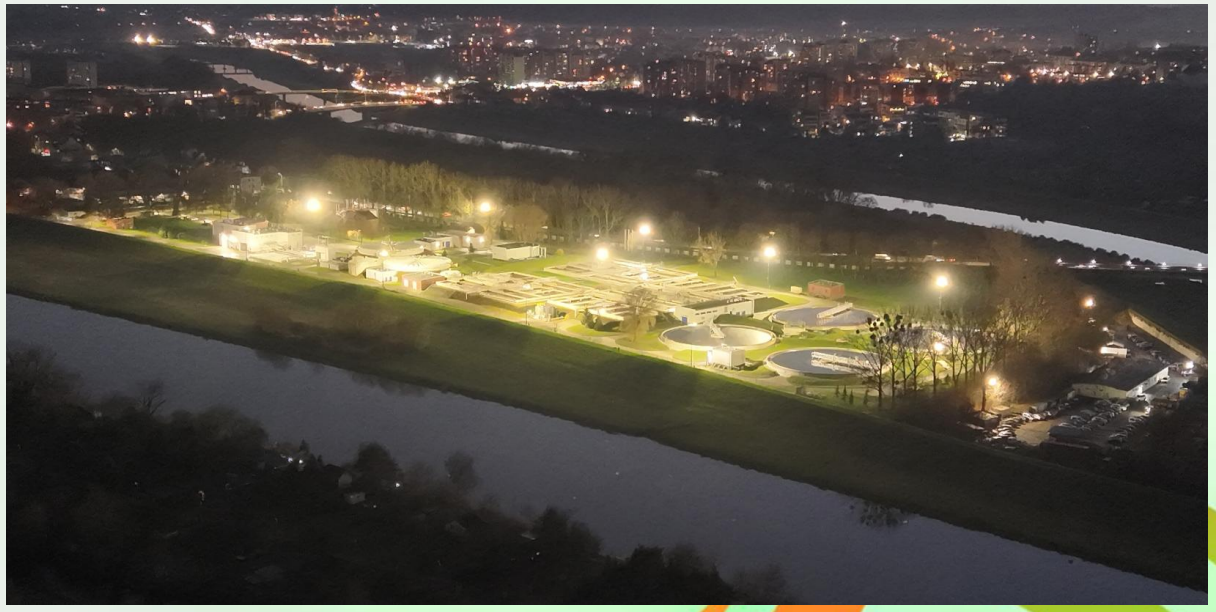


SET HEAT

Co-funded by
the European Union

Вступ

Центральна станція очищення стічних вод в Ополе розташована на території, захищеній від повеней, між річкою Одра та відвідним каналом. Після модернізації, завершеної у травні 2024 року, станція стала однією з найсучасніших у Польщі: вона обслуговує населення, еквівалентне 290 000 осіб, та очищає приблизно 35 000 м^3 стічних вод на добу. Ця ділянка добре підходить для інтеграції з системою теплових насосів завдяки наявності інженерних комунікацій, підключенню до електромережі та близькості до мережі централізованого теплопостачання ECO..

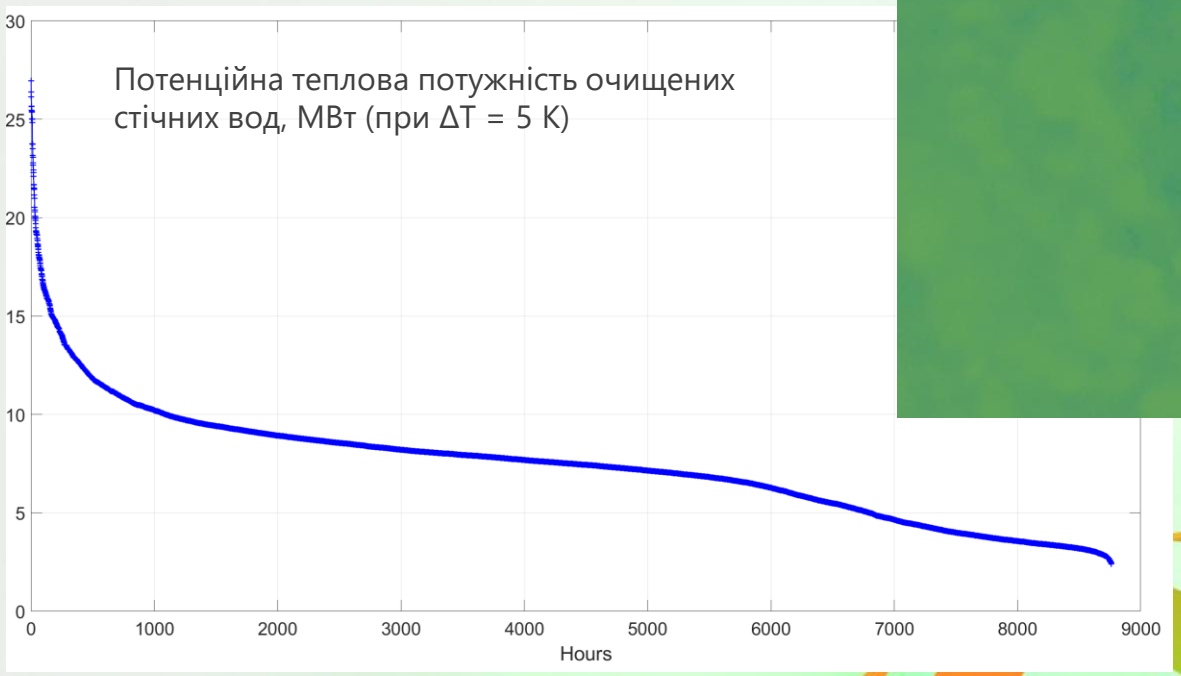


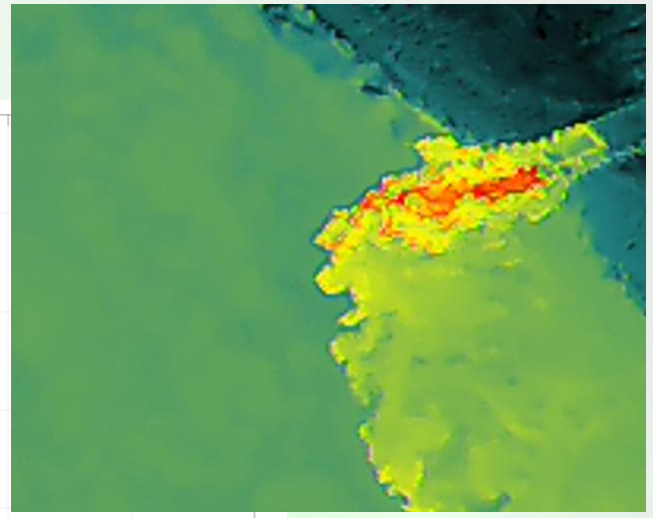
SET HEAT

Co-funded by
the European Union

Вступ

Очищені стічні води мають стабільний температурний профіль протягом року: від 13 °C до 27 °C. За допомогою системи теплових насосів «вода-вода» температуру тепла можна підвищити й подати його в мережу ЦТ компанії ECO. Проаналізовані технічні варіанти передбачають рекуперацію теплової енергії в обсязі від 8 до 15 МВт, залежно від конфігурації та стратегії інтеграції.





SET HEAT

Co-funded by the European Union

Концепція проєкту

Запропонована система теплового насоса (ТН) призначена для вилучення тепла з низькотемпературного джерела, такого як стічні води, та передачі його до системи централізованого теплопостачання при вищій температур.

Поєднуючи інфраструктуру очищення міських стічних вод і централізованого теплопостачання, проєкт SET_HEAT_SEWAGE:

- демонструє практичну декарбонізацію наявних високотемпературних мереж ЦТ;
- зменшує залежність від природного газу та вплив механізмів ціноутворення на викиди вуглецю;
- сприяє ефективному використанню недостатньо задіяних відновлюваних джерел тепла;
- забезпечує масштабований та відтворюваний технологічний пакет для інших муніципалітетів;
- відповідає цілям енергетичного переходу ЄС і Польщі щодо досягнення кліматичної нейтральності до 2050 р.

Co-funded by the European Union

Референтні проєкти

- Відень і Грац (Австрія),
- Копенгаген, Орхус, Оденсе (Данія),
- Гельсінкі, Еспоо (Фінляндія),
- Париж, Гренобль (Франція),
- Гамбург, Мюнхен, Штутгарт, Кельн (Німеччина),
- Гаага, Амстердам (Нідерланди),
- Осло, Тронгейм, Берген (Норвегія),
- Стокгольм, Мальме, Гетеборг (Швеція),
- Цюрих, Женева, Лозанна та Берн (Швейцарія).



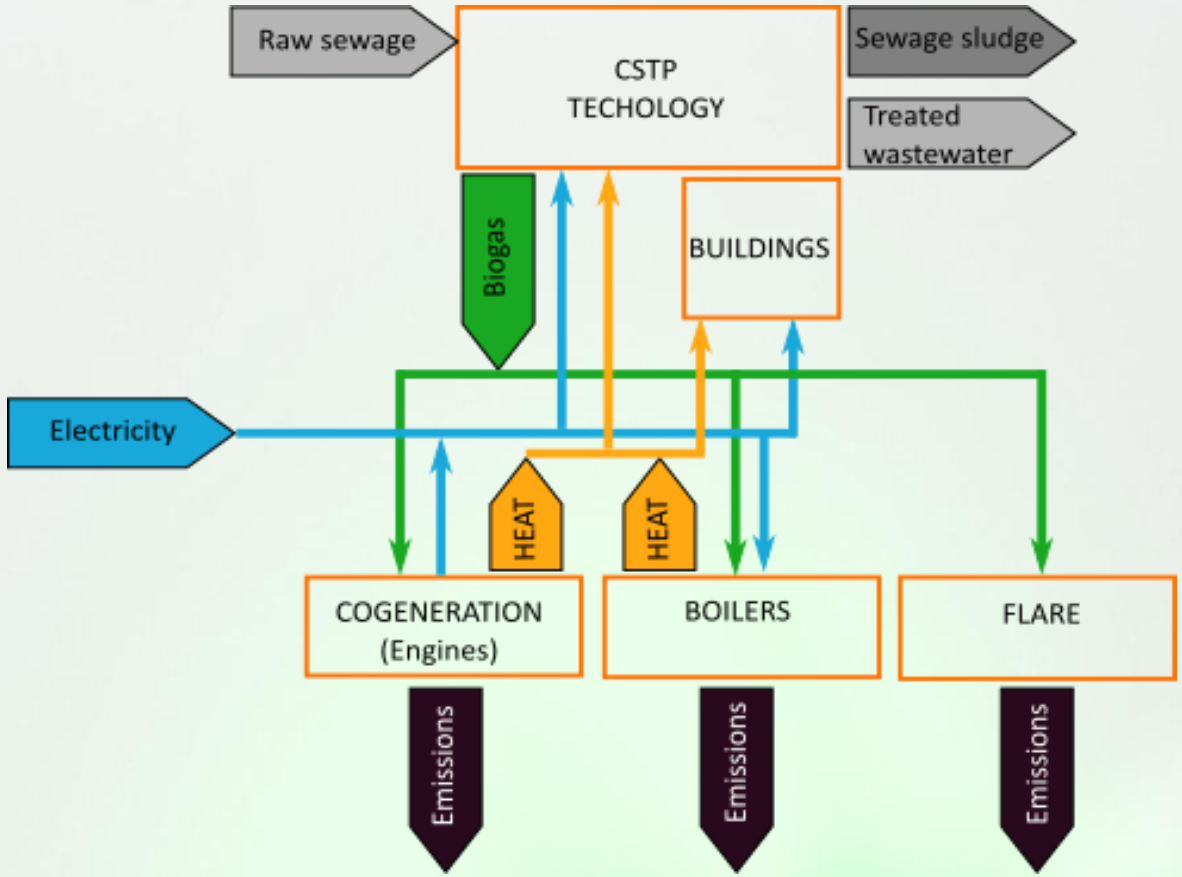
Джерело: https://techxplore.com/news/2024-03-vast-vienna-wastewater-showcase-eu.html

SET HEAT

Co-funded by the European Union

Основні дані

Спрощена схема матеріальних та енергетичних потоків системи рекуперації тепла стічних вод на центральних очисних спорудах



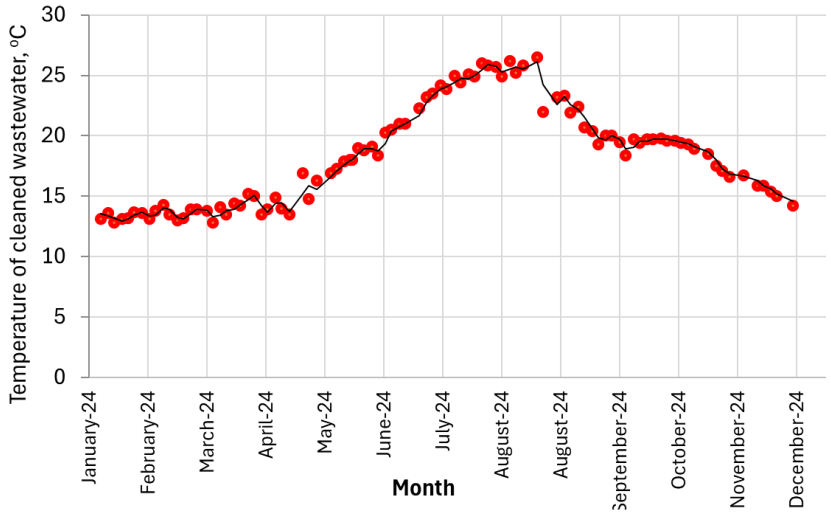
SET HEAT

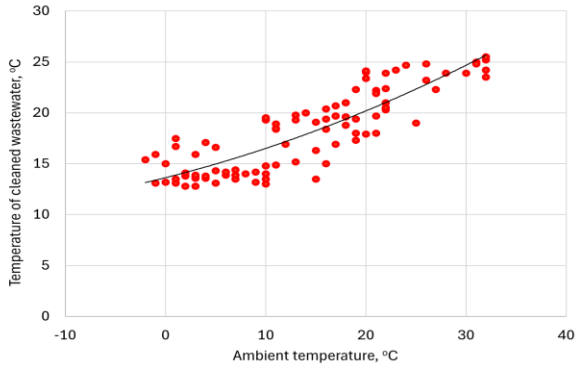
Co-funded by
the European Union

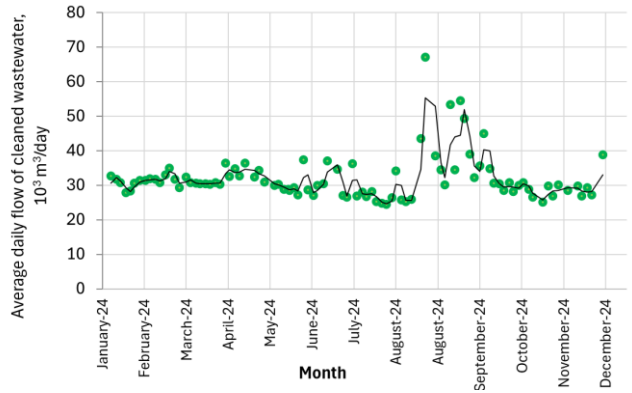
Основні дані

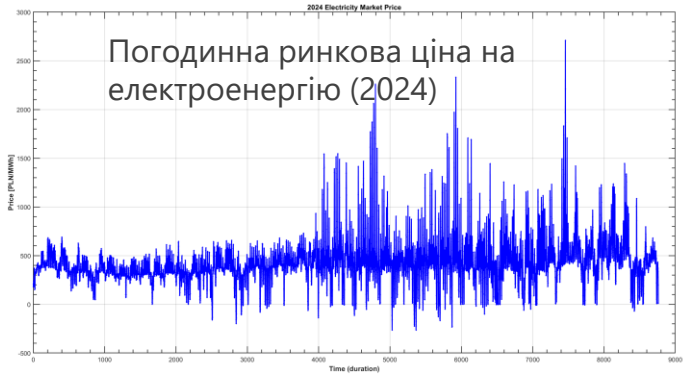
SET HEAT

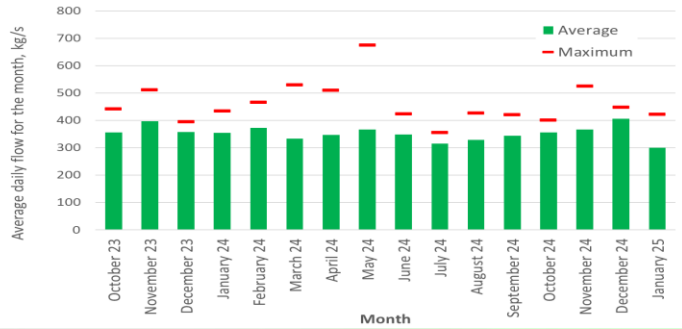
Co-funded by
the European Union





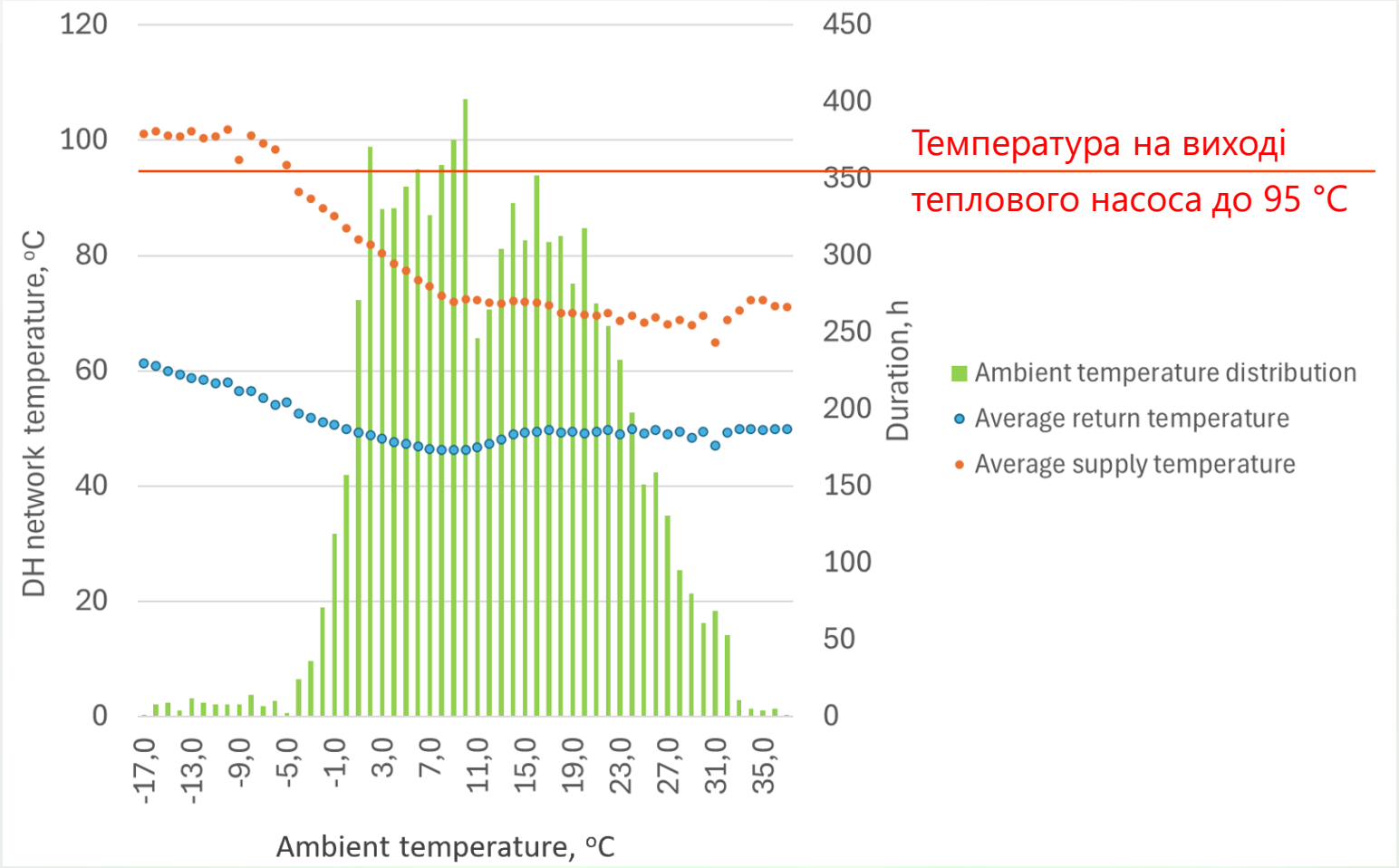








Основні дані



Температура на виході теплового насоса до 95 °C

SET HEAT

Co-funded by the European Union

Конфігурація системи

Розглянуто кілька варіантів конфігурації для досягнення цільової теплової потужності 8–15 МВт; як базовий проєкт для детальної оцінки прийнято 10–12 МВт. Основні розглянуті технології:

- **Варіант 1: Одноступенева конфігурація: каскад із 11 теплових насосів (11 × OILON 1000B, R1234ze)**
- **Варіант 2: Двоступенева конфігурація: каскад із 8 + 10 теплових насосів (8 × OILON ST 1500 для першого ступеня та 10 × OILON 1000B, R1234ze)**
- **Варіант 3: Інтегрована двоступенева конфігурація: 3 промислові теплові насоси (GEA GSHP, аміак)**
- **Варіант 4: Великомасштабний високотемпературний промисловий тепловий насос SHP-C600 (Siemens Energy).**

ПРИМІТКА: Усі теплові насоси, які розглядалися в рамках дослідження, вже застосовувалися в проектах з рекуперації тепла зі стічних вод у Європі.

SET HEAT

Co-funded by the European Union

Технологія теплового насоса Варіанти 1 і 2



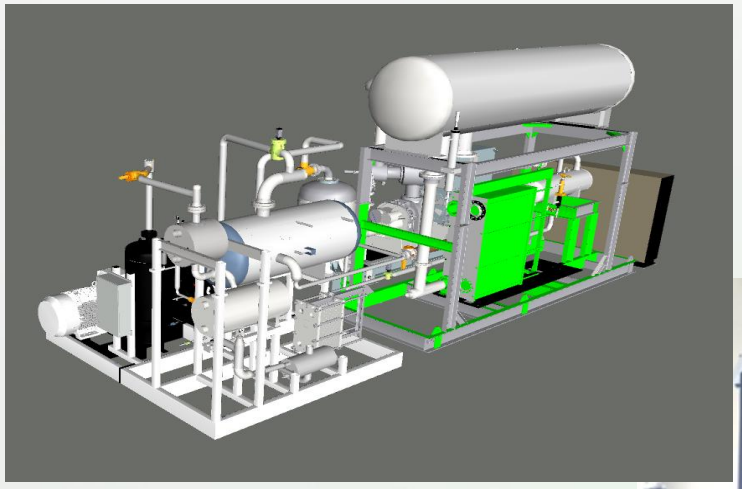


ПРИМІТКА: З огляду на хімічний та біологічний склад стічних вод пряма робота з випарником теплового насоса заборонена. Тому необхідний спеціальний проміжний теплообмінник для гідравлічного відокремлення контуру стічних вод від контуру води випарника..

SET HEAT

Co-funded by the European Union

Технологія теплового насоса Варіант 3





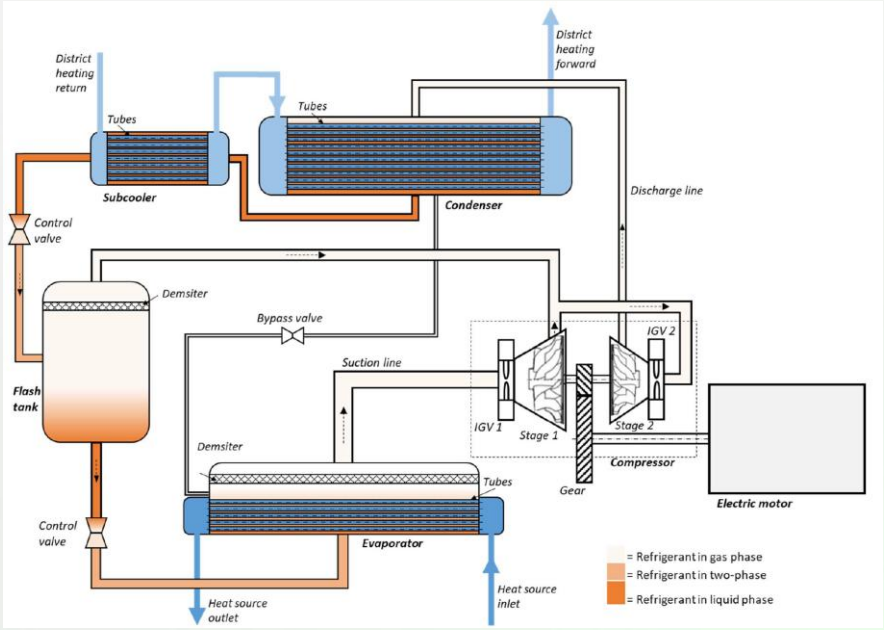


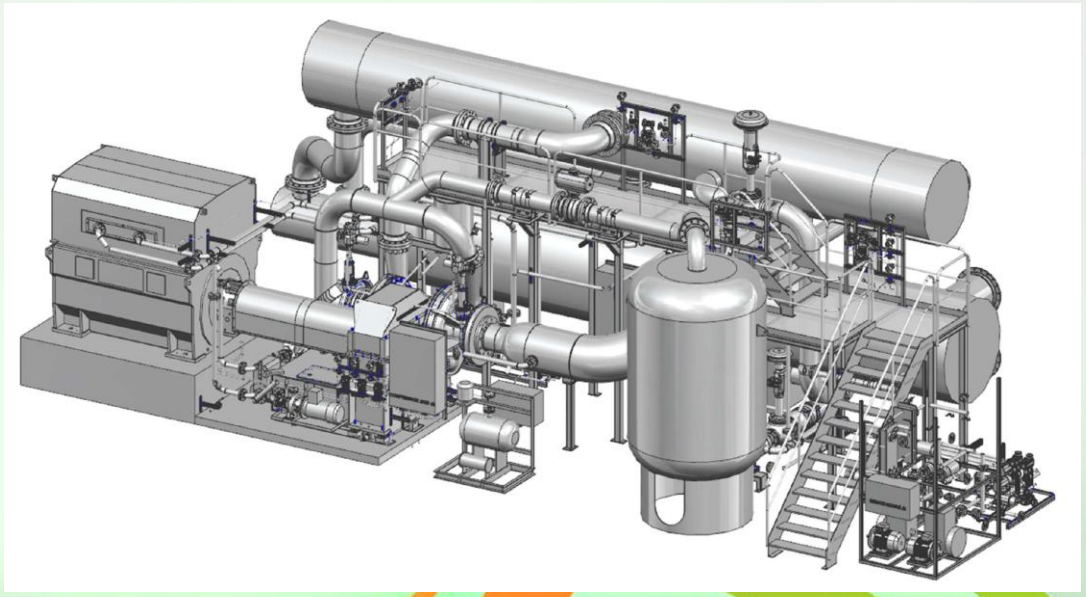
14

SET HEAT

Co-funded by
the European Union

Технологія теплового насоса Варіант 4





SET HEAT

Co-funded by the European Union

Компоненти системи

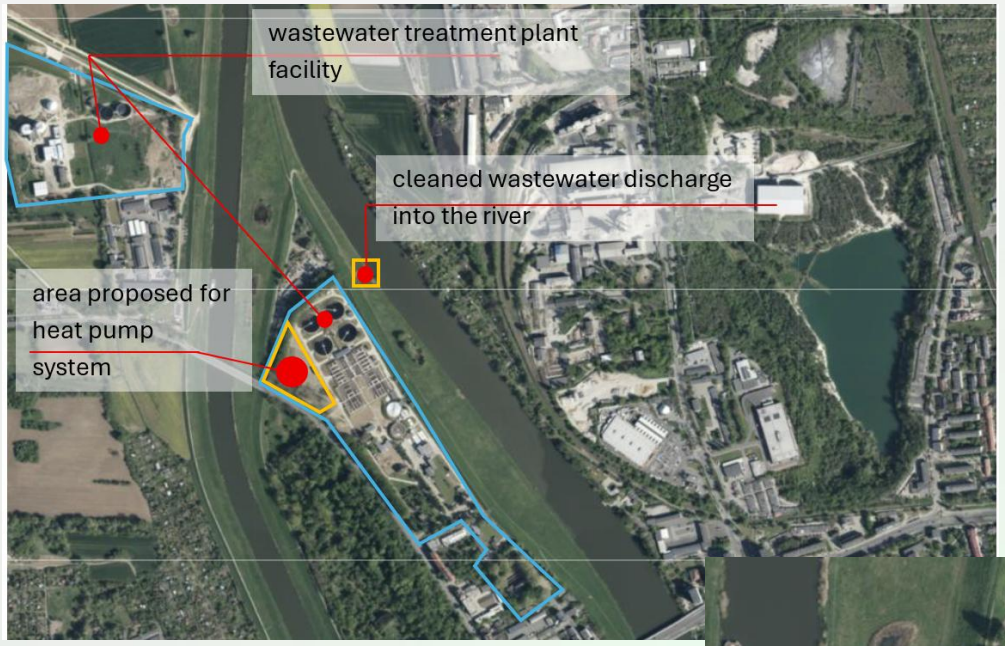
Запропонована інтегрована система включає:

- систему перекачування та механічної очистки стічних вод,
- гідравлічний буферний/переливний бак, що забезпечує вирівнювання потоку та стійкість системи,
- будівлю теплонасосної станції (площею близько 400 м², висотою 9 м), в якій розміщені компресори, теплообмінники та допоміжне обладнання,
- підключення до електромережі напругою 10–20 кВ із трансформатором та захисним розподільчим пристроєм,
- попередньо ізольовані трубопроводи централізованого теплопостачання, що з'єднують станцію з головною мережею,
- та системи диспетчерського контролю (SCADA) та захисту, інтегровані з центральним диспетчерським центром компанії ECO.

SET HEAT

Co-funded by the European Union

Розглянуте розташування





SET HEAT

Co-funded by the European Union

Орієнтовна потреба в площі

- **Варіант 1: ~1600 м²**
- **Варіант 2: ~1800 м²**
- **Варіант 3: ~1800-1900 м²**
- **Варіант 4: ~1000-1200 м²**

Включно з буфером стічних вод ~500 м² / 5000 м³

Машинний зал: 700-750 м²

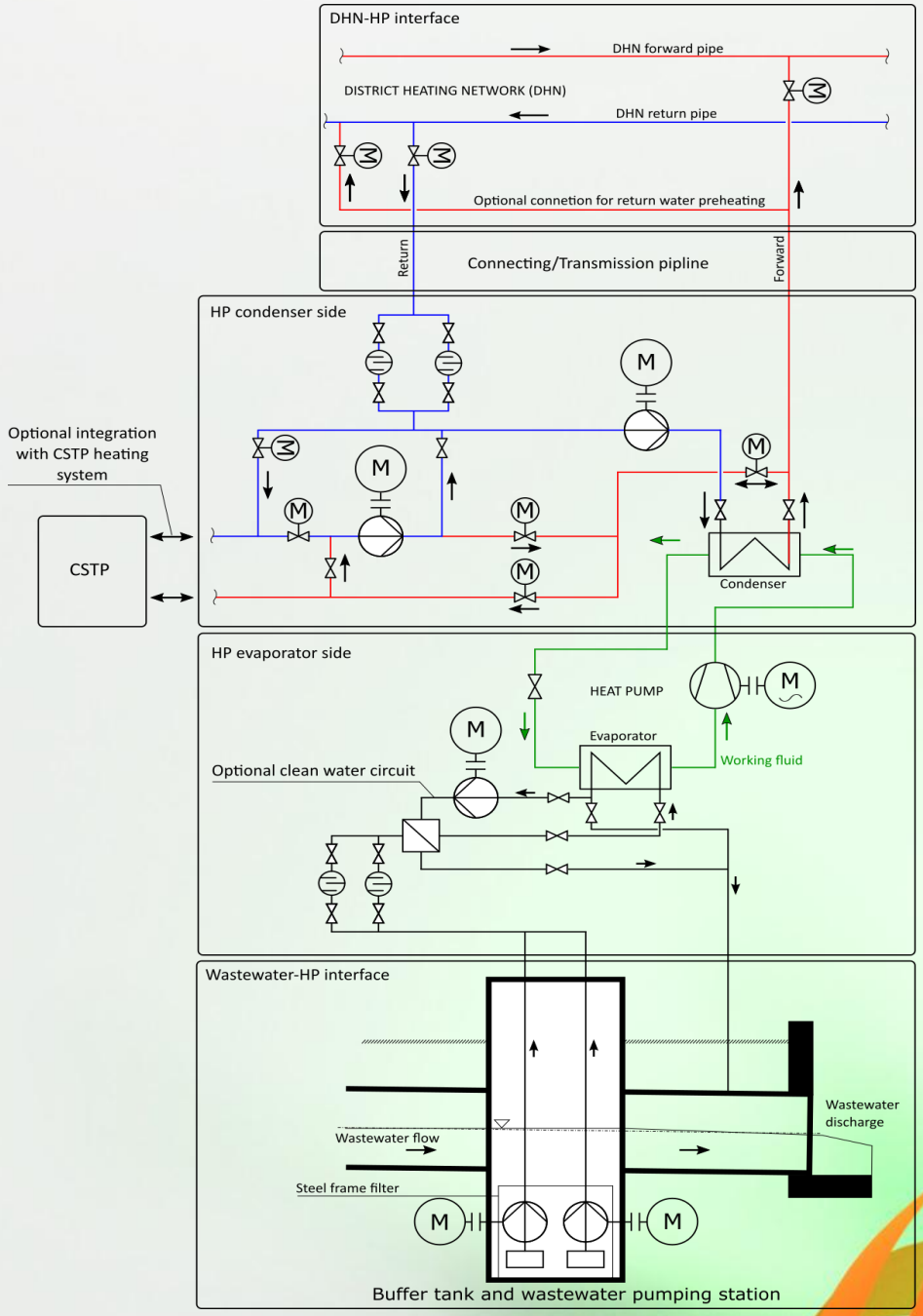
SET HEAT

Co-funded by the European Union

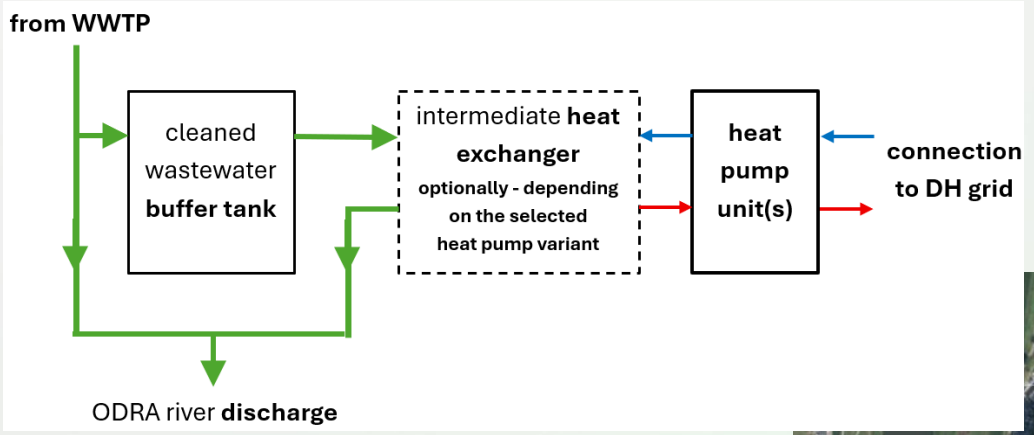
Вступ

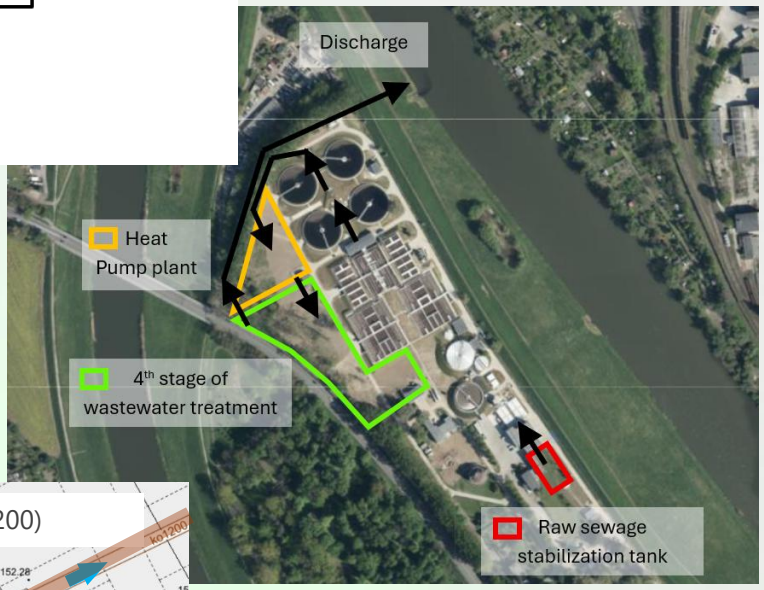
SET HEAT

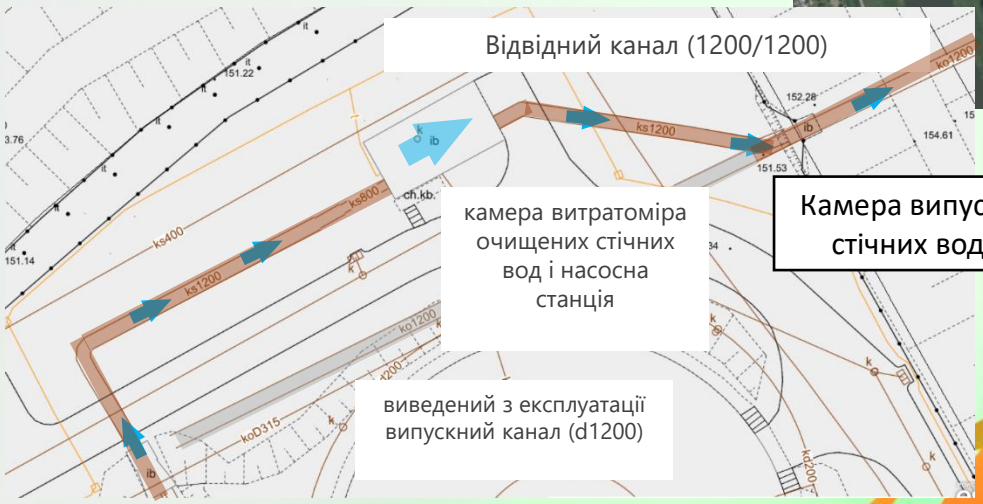
Co-funded by
the European Union



Інтеграція з очисними спорудами







SET HEAT

Co-funded by the European Union

Технологія теплового насоса

Очищені стічні води містять невеликі кількості органічних речовин, мікроорганізмів та зважених речовин. Ці речовини можуть накопичуватися на поверхнях теплообміну, утворюючи біоплівки та мінеральні відкладення, що знижують теплові характеристики..

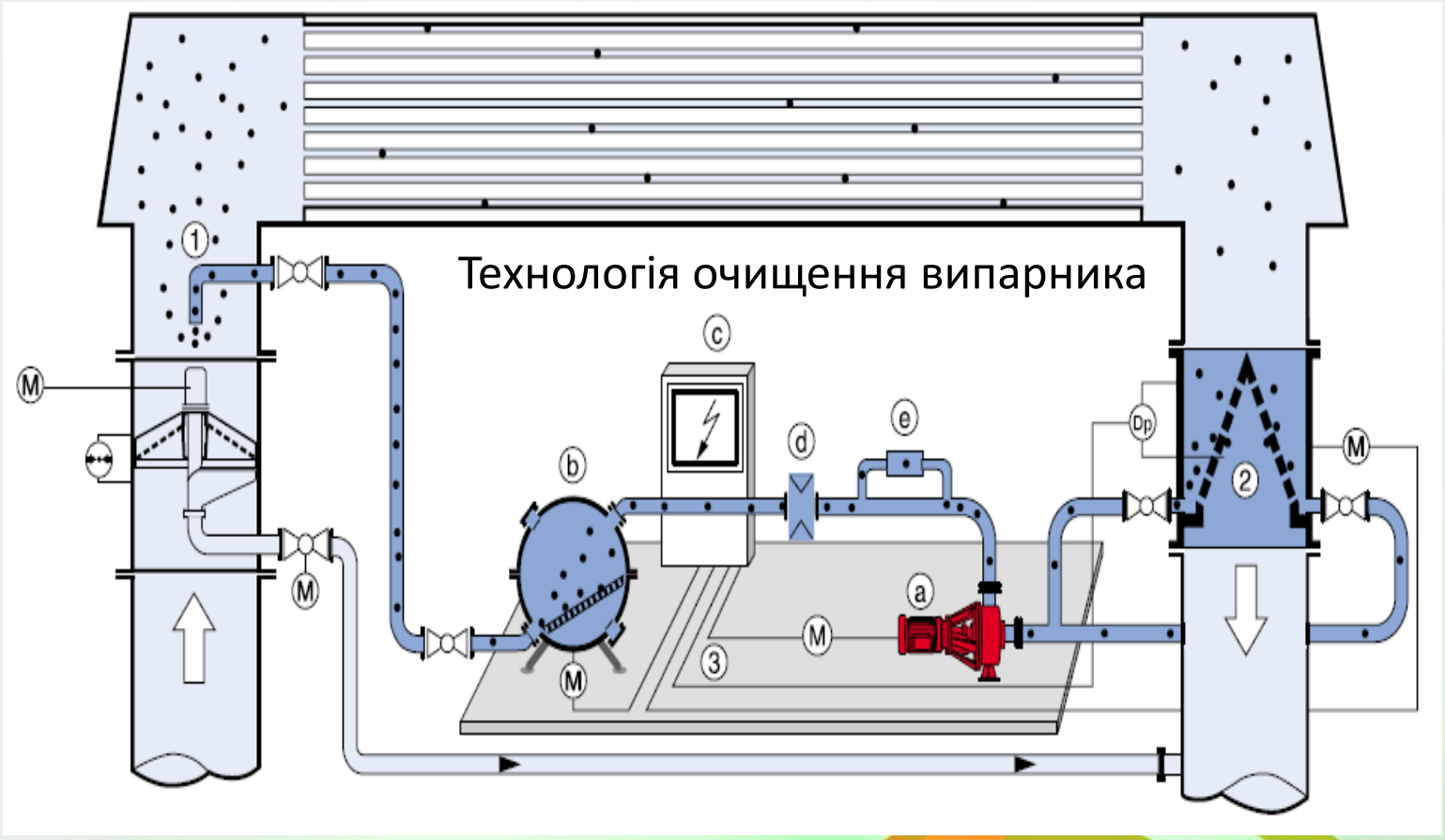
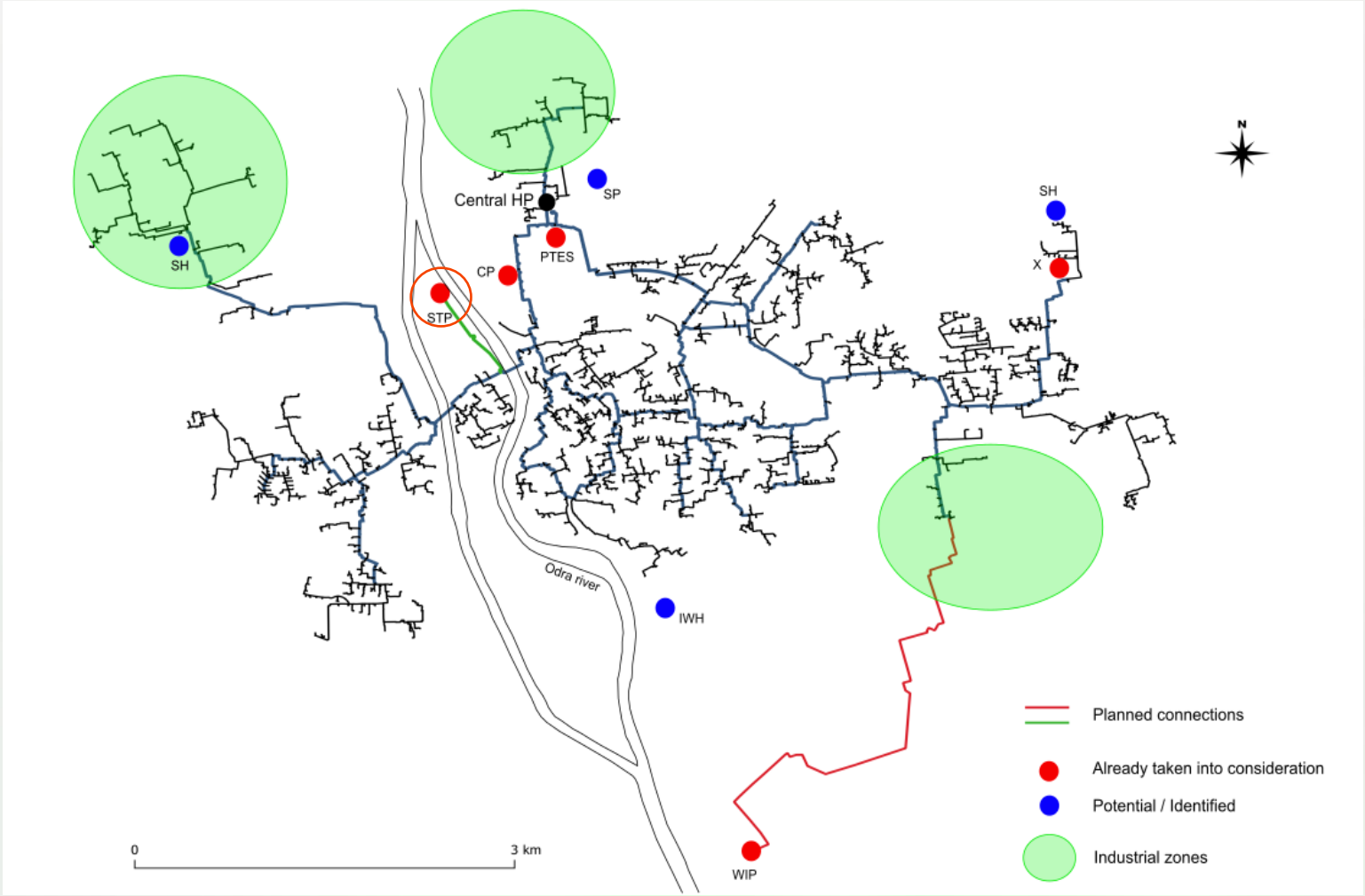


Рисунок надано компанією GEA.

SET HEAT

Co-funded by the European Union

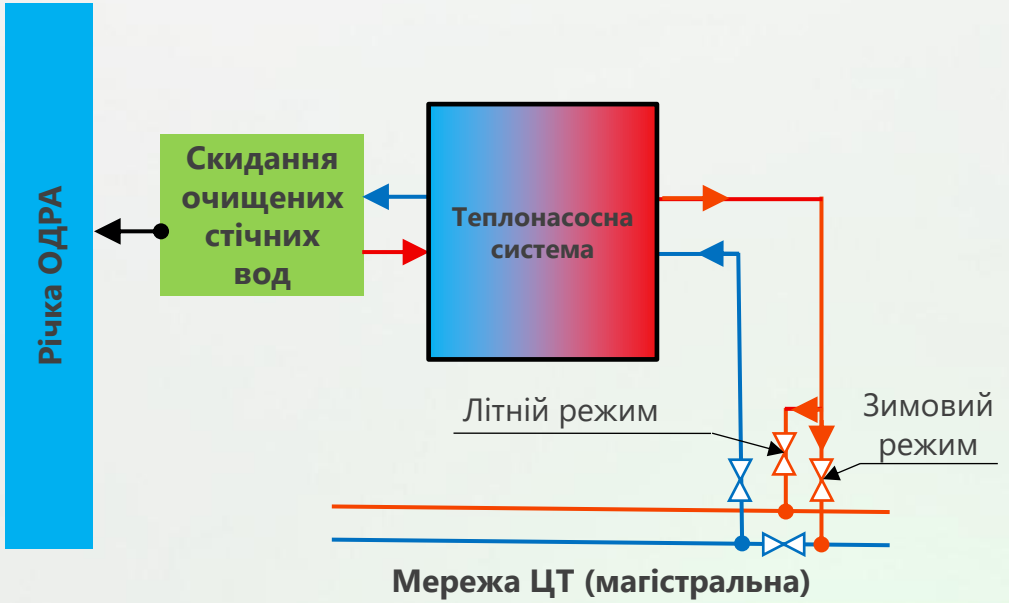
Інтеграція з мережею централізованого теплопостачання

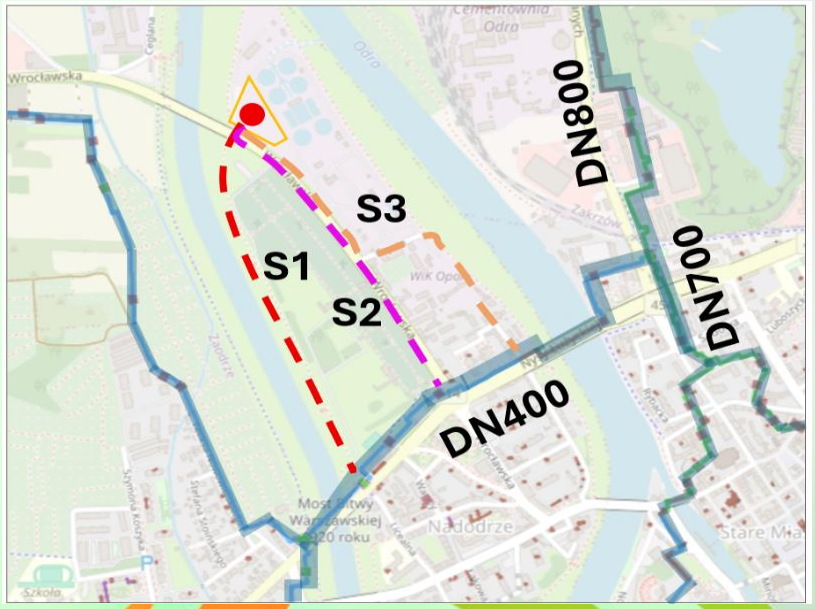


SET HEAT

Co-funded by
the European Union

Інтеграція з мережею централізованого теплопостачання





SET HEAT

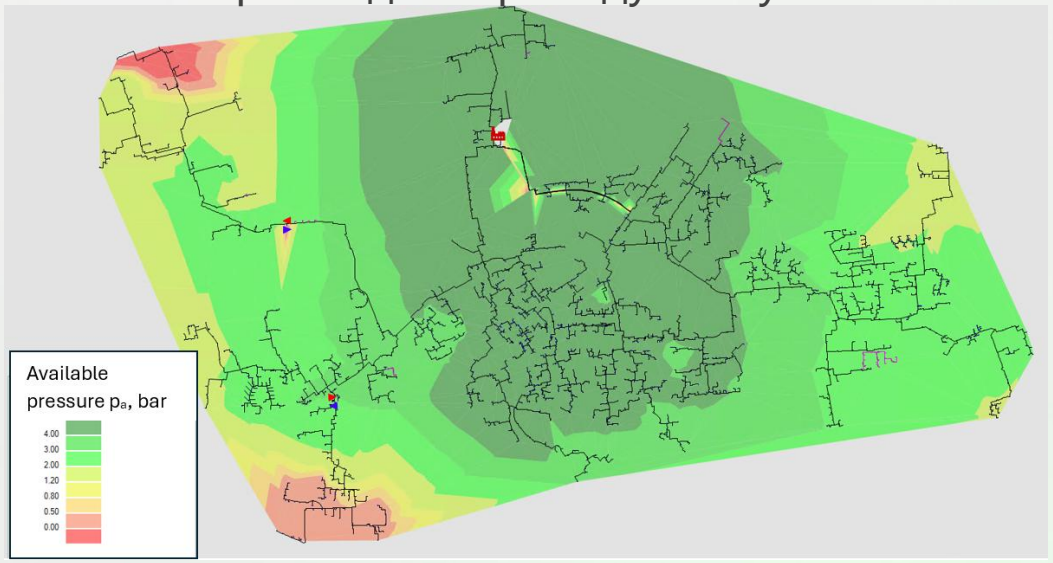
Co-funded by the European Union

Інтеграція з мережею централізованого теплопостачання

SET HEAT

Co-funded by the European Union

Поточний розподіл перепаду тиску

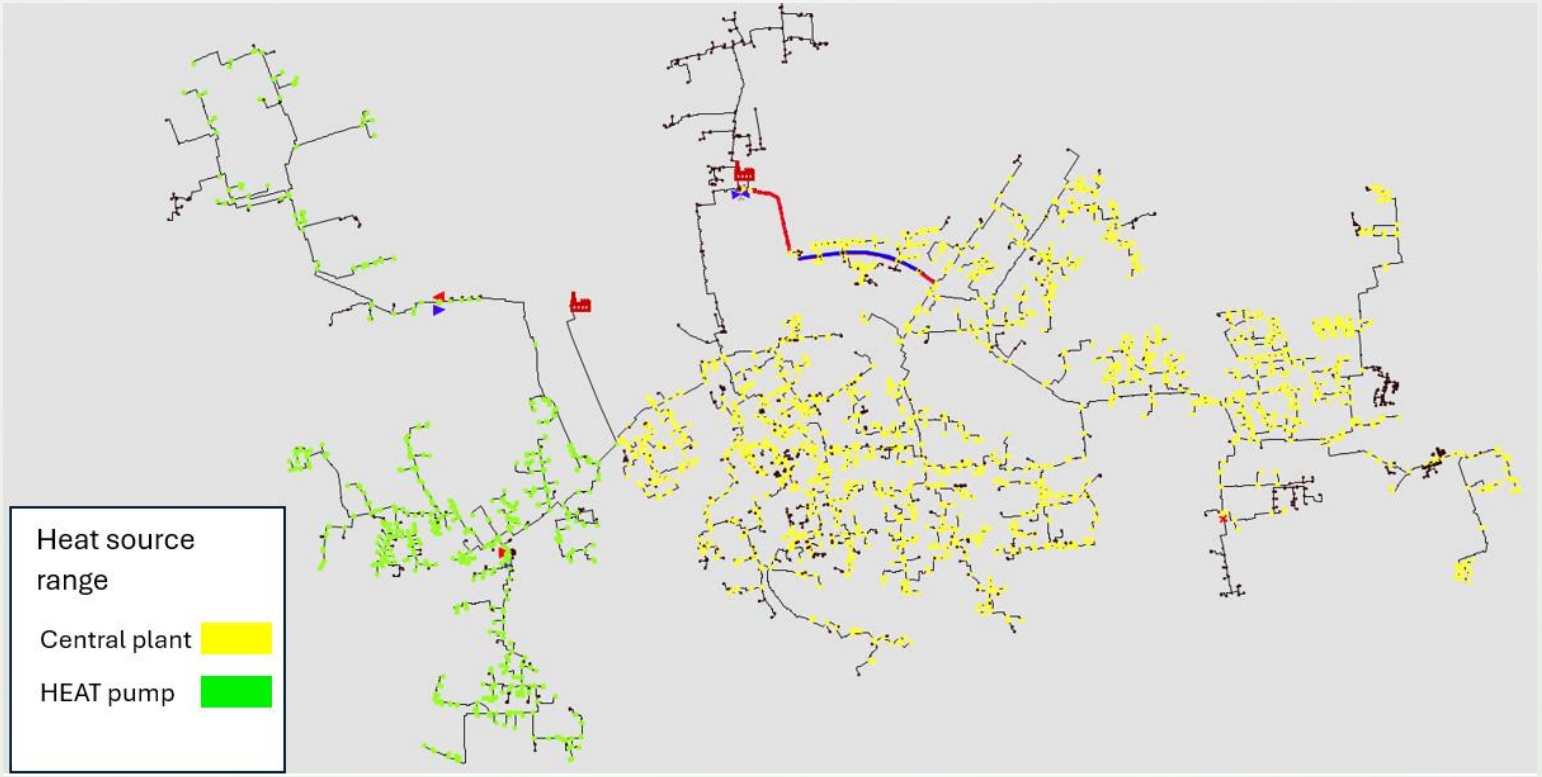


Вплив ТН на розподіл перепаду тиску



Інтеграція з мережею централізованого теплопостачання

Зони теплопостачання

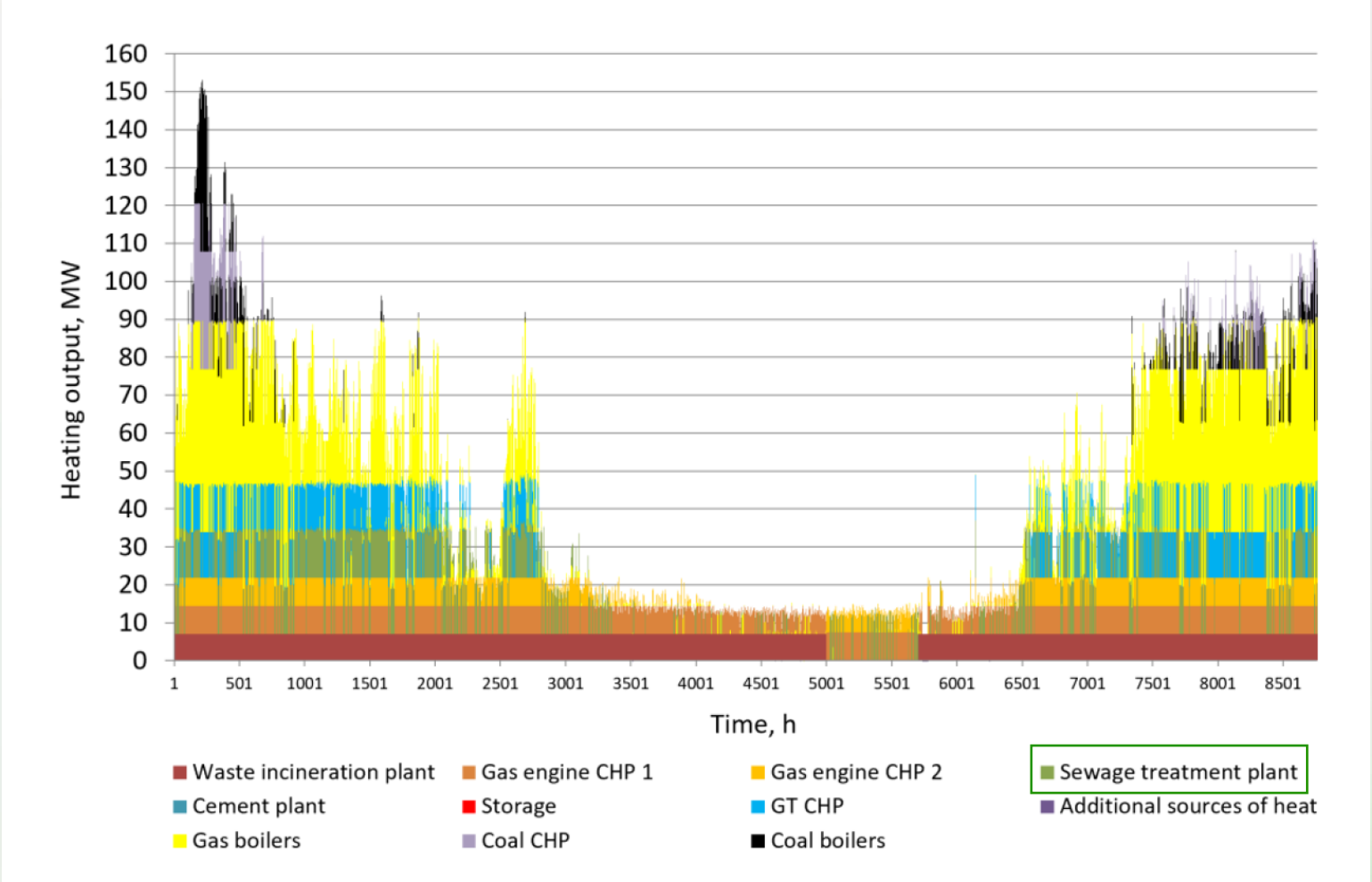


SET HEAT

Co-funded by the European Union

Результати моделювання

Утилізація тепла центральних очисних споруд відіграє важливу роль у майбутній системі централізованого теплопостачання Ополе.



SET HEAT

Co-funded by the European Union

Оцінка характеристик теплового насоса

SET HEAT

Co-funded by the European Union

Очікувані характеристики теплового насоса: варіант 1

Ambient temperature	No. of working hours	Lower source (cleaned waste-water)		Upper source (DH network)		Thermal output	COP	Power Demand	DH integration
		Forward	Return	Forward	Return				
°C	-	°C	°C	°C	°C	kW	-	kW	-
-16	8	10,4	5,4	70,0	62,0	9 385	2,33	4 021	to DH return line
-14	4	10,6	5,6	76,0	61,0	9 491	2,38	3 991	
-12	9	10,7	5,7	76,0	60,0	9 596	2,45	3 920	
-10	8	10,8	5,9	76,0	59,0	9 735	2,53	3 850	
-8	14	11,1	5,6	74,2	66,2	9 871	2,59	3 813	
-6	10	11,4	5,9	71,4	63,4	10 008	2,62	3 813	
-4	24	11,8	6,2	68,6	60,6	10 186	2,79	3 654	
-2	71	12,4	6,5	65,8	57,8	10 406	2,86	3 637	
0	157	13,0	7,2	61,0	53,0	10 626	2,94	3 619	
2	371	14,1	7,6	60,2	52,2	11 128	3,09	3 601	
4	331	15,2	8,5	57,4	49,4	11 629	3,24	3 584	
6	356	16,2	9,3	75,0	50,0	12 010	2,69	4 461	
8	359	17,1	10,0	73,0	50,0	12 269	2,87	4 274	
10	402	18,0	10,7	73,0	50,0	12 529	3,05	4 400	to DH supply line: paraller connection
12	265	18,4	11,1	73,0	50,0	12 595	2,98	4 225	
14	334	18,8	11,4	73,0	50,0	12 661	2,91	4 348	
16	352	19,4	12,0	73,0	50,0	12 000	2,91	4 131	
18	313	20,2	12,7	73,0	50,0	12 000	2,96	4 054	to DH supply line: paraller connection (total power output limited to 12MW)
20	318	21,0	13,4	73,0	50,0	12 000	3,01	3 980	
22	254	21,1	14,1	73,0	50,0	12 000	3,03	3 957	
24	198	21,2	14,8	73,0	50,0	12 000	3,05	3 933	
26	159	23,0	15,5	73,0	50,0	12 000	3,08	3 901	
28	95	23,0	16,2	73,0	50,0	12 000	3,11	3 861	
30	61	23,0	16,9	73,0	50,0	12 000	3,14	3 822	
32	53	23,5	17,6	73,0	50,0	12 000	3,17	3 782	
34	5	24,0	18,3	73,0	50,0	12 000	3,21	3 742	

Оцінка характеристик теплового насоса

Очікувані характеристики теплового насоса: варіант 2

Ambient temperature	No. of working hours	Lower source (cleaned waste-water)		Upper source (DH network)		Thermal Output	COP	Power Demand	DH integration
		Forward	Return	Forward	Return				
°C	-	°C	°C	°C	°C	kW	-	kW	-
-16	8	10,4	5,4	90,0	70,0	11 002	2,20	5 013	to DH return line (forward temp. limited to 90°C)
-14	4	10,6	5,6	90,0	70,0	11 019	2,20	5 008	
-12	9	10,7	5,7	90,0	70,0	11 054	2,21	4 997	
-10	8	10,8	5,7	90,0	69,0	11 088	2,21	5 006	
-8	14	11,1	5,6	90,0	66,2	11 314	2,27	5 007	
-6	10	11,4	5,9	90,0	63,4	11 541	2,30	5 011	
-4	24	11,8	6,2	90,0	60,6	11 788	2,36	4 994	
-2	71	12,4	6,5	86,0	57,8	12 055	2,46	4 903	to DH supply line: paraller connection
0	157	13,0	6,8	82,0	55,0	12 322	2,55	4 829	
2	371	14,1	7,6	79,6	52,2	12 500	2,66	4 701	
4	331	15,2	8,5	77,2	49,4	12 679	2,76	4 589	
6	356	16,2	9,3	75,0	47,5	12 848	2,86	4 492	
8	359	17,1	10,0	72,0	46,0	13 008	2,95	4 414	
10	402	18,0	10,7	70,0	46,0	13 168	3,03	4 342	
12	265	18,4	11,1	70,0	46,0	13 276	3,05	4 284	
14	334	18,8	11,4	70,0	46,0	13 384	3,07	4 231	
16	352	19,4	12,0	70,0	46,0	12 000	3,10	4 316	to DH supply line: paraller connection (total power output limited to 12MW)
18	313	20,2	12,7	70,0	46,0	12 000	3,15	4 209	
20	318	21,0	13,4	70,0	46,0	12 000	3,20	4 110	
22	254	21,1	14,1	70,0	46,0	12 000	3,25	4 018	
24	198	21,2	14,8	70,0	46,0	12 000	3,30	3 941	
26	159	23,0	15,5	70,0	46,0	12 000	3,34	3 876	
28	95	23,0	16,2	70,0	46,0	12 000	3,39	3 814	
30	61	23,0	16,9	70,0	46,0	12 000	3,44	3 754	
32	53	23,5	17,6	70,0	46,0	12 000	3,49	3 697	
34	5	24,0	18,3	70,0	46,0	12 000	3,54	3 643	

SET HEAT

Co-funded by the European Union

Оцінка характеристик теплового насоса

Очікувані характеристики теплового насоса: варіант 3

Ambient temperature	No. of working hours	Lower source (cleaned waste-water)		Upper source (DH network)		Thermal Output	COP	Power Demand	DH integration
		Forward	Return	Forward	Return				
°C	-	°C	°C	°C	°C	kW	-	kW	-
-16	8	13,4	8,4	90,0	70,0	9 828	2,75	3 574	to DH return line
-14	4	13,6	8,6	90,0	70,0	9 888	2,76	3 582	
-12	9	13,7	8,7	90,0	70,0	9 947	2,76	3 604	
-10	8	13,8	8,9	90,0	69,0	10 007	2,76	3 626	
-8	14	14,1	8,6	90,0	66,2	10 067	2,77	3 634	
-6	10	14,4	8,9	90,0	63,4	10 128	2,77	3 656	
-4	24	14,8	9,2	90,0	60,6	10 189	2,79	3 655	to DH supply line: paraller connection
-2	71	15,4	9,5	86,0	57,8	10 251	2,82	3 631	
0	157	16,0	10,2	82,0	55,0	10 312	2,86	3 607	
2	371	17,1	10,6	79,6	52,2	10 375	2,89	3 584	
4	331	18,2	11,5	77,2	49,4	10 437	2,93	3 562	
6	356	19,2	12,3	75,0	47,5	10 500	2,97	3 540	
8	359	20,1	13,0	72,0	46,0	10 605	3,00	3 533	
10	402	21,0	13,7	70,0	46,0	10 712	3,04	3 527	
12	265	21,4	14,1	70,0	46,0	10 819	3,07	3 521	
14	334	21,8	14,4	70,0	46,0	10 927	3,11	3 516	
16	352	22,4	15,0	70,0	46,0	11 037	3,14	3 511	
18	313	23,2	15,7	70,0	46,0	11 148	3,18	3 506	
20	318	24,0	16,4	70,0	46,0	11 259	3,22	3 502	
22	254	24,1	17,1	70,0	46,0	11 372	3,25	3 498	
24	198	24,2	17,8	70,0	46,0	11 486	3,29	3 495	
26	159	26,0	18,5	70,0	46,0	11 601	3,32	3 492	
28	95	26,0	19,2	70,0	46,0	11 718	3,36	3 490	
30	61	26,0	19,9	70,0	46,0	11 835	3,39	3 488	
32	53	26,5	20,6	70,0	46,0	11 954	3,43	3 486	
34	5	27,0	21,3	70,0	46,0	12 074	3,46	3 485	

SET HEAT

Co-funded by the European Union

Технологія теплового насоса

Референтні вимірювання для агрегату ТН, розглянутого у варіанті 3

Робоча точка	Мережа ЦТ		Стічні води		Характеристики	
Навантаження	Твих	Твх	Тв х	Витрата	COP[1)]	Теплова потужність
	°C	°C	°C	m³/h	-	kW
100%	90,0	73,0	12,0	733,0	3,04	7 135
100%	83,0	54,0	17,0	733,0	3,56	7 834
100%	83,0	53,0	20,0	733,0	3,47	8 149
75%	83,0	53,0	20,0	733,0	3,68	6 242
50%	83,0	53,0	20,0	733,0	**3,86**	**4 056**
100%	83,0	53,0	25,0	733,0	3,76	7 871

1) Номінальне значення коефіцієнту продуктивності

ПРИМІТКА: показники для поршневого компресора

SET HEAT

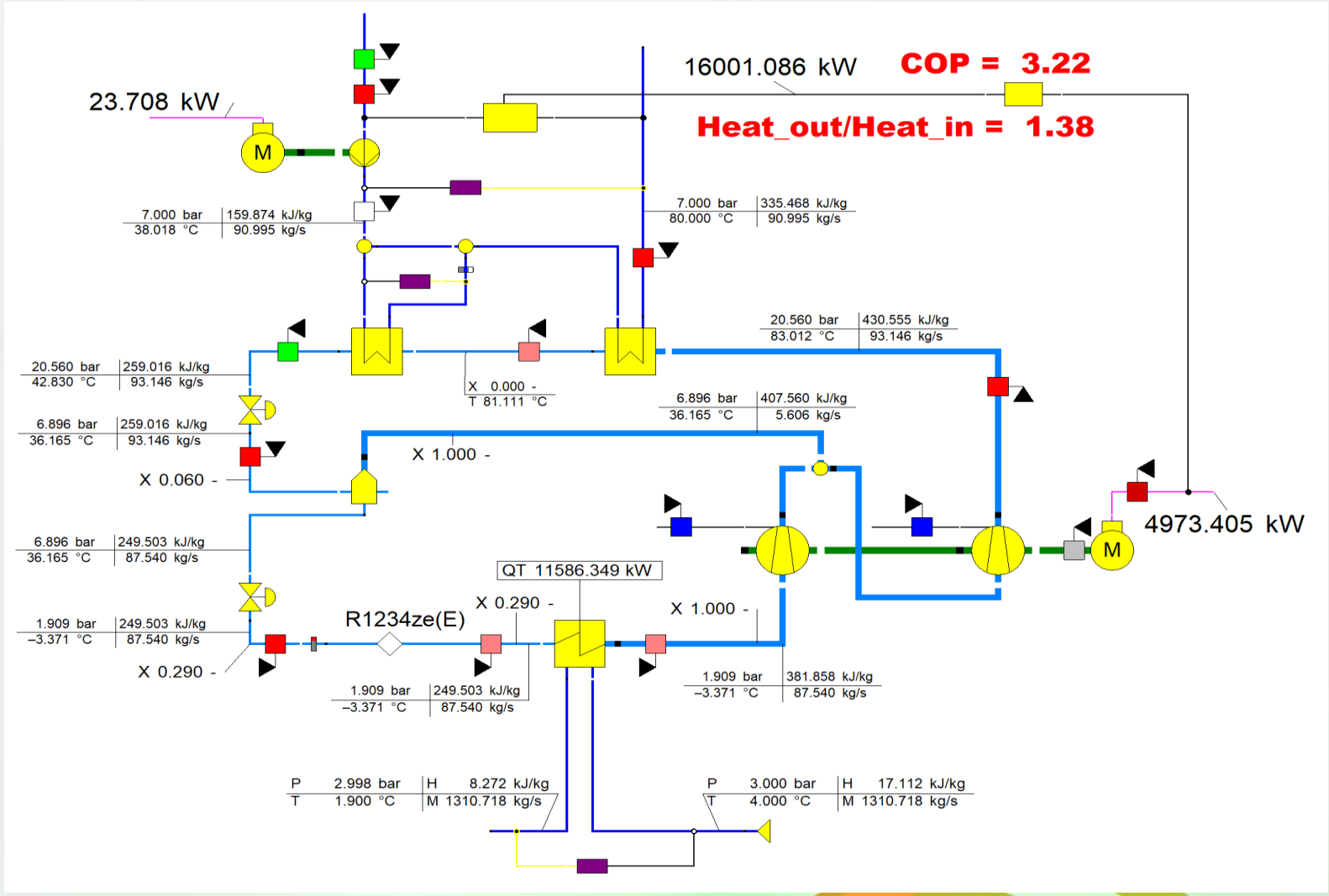
Co-funded by the European Union

Оцінка характеристик теплового насоса

SET HEAT

Co-funded by
the European Union

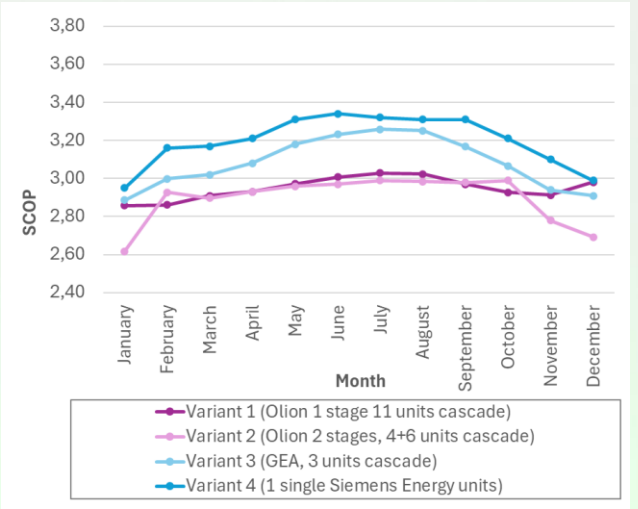
Очікувані характеристики теплового насоса: варіант 4



Підсумки результатів моделювання

Орієнтовний місячний сезонний коефіцієнт ефективності (SCOP) проаналізованих варіантів теплових насосів

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SCOP варіант 1	2.86	2.86	2.91	2.93	2.97	3.01	3.03	3.02	2.97	2.93	2.91	2.98
SCOP варіант 2	2.62	2.93	2.90	2.93	2.96	2.97	2.99	2.98	2.98	2.99	2.78	2.69
SCOP варіант 3	2.89	3.00	3.02	3.08	3.18	3.23	3.26	3.25	3.17	3.07	2.94	2.91
SCOP варіант 4	2.95	3.16	3.17	3.21	3.31	3.34	3.32	3.31	3.31	3.21	3.10	2.99



Орієнтовний річний сезонний коефіцієнт ефективності SCOP проаналізованих варіантів теплових насосів

Варіант	1	2	3	4
Виробництво тепла, ГВт·год	105.0	109.7	95.6	86.97
Споживання електроенергії, ГВт·год	35.6	38	31	26.95
SCOP	2.95	2.89	3.08	3.22

SET HEAT

Co-funded by the European Union

Попередня оцінка CAPEX

CAPEX ~2028 р.:

- Варіант 1: 69,6 млн PLN нетто
- Варіант 2: 84,0 млн PLN нетто
- Варіант 3: 81,6 млн PLN нетто
- Варіант 4: 80,0 млн PLN нетто

SET HEAT

Co-funded by the European Union

Попередня оцінка прибутковості

Фінансові показники для варіанта 4 (цінb 2024 р.)

Загальні річні змінні витрати на тепло: базовий варіант [PLN]	59,807,926
Загальні річні змінні витрати на тепло: варіант з тепловим насосом [PLN]	56,133,629
Різниця річних змінних витрат [PLN]	3,674,297
Загальна кількість годин роботи теплового насоса* [год/рік]	4,546
Кількість тепла, виробленого тепловим насосом [ГДж]	202,668
Частка теплового насоса в річному виробництві тепла [%]	15

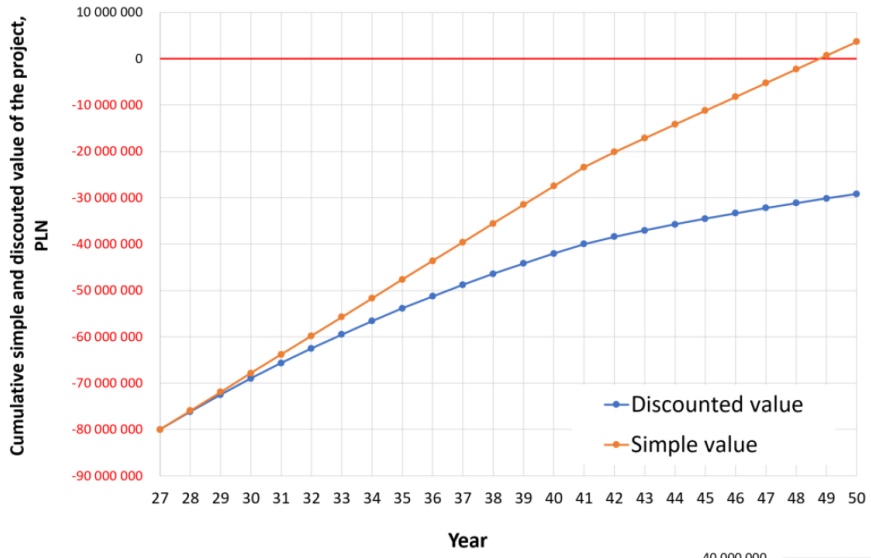
* обмежена економічними факторами: тепловий насос працює, коли ціна на електроенергію достатньо низька

SET HEAT

Co-funded by the European Union

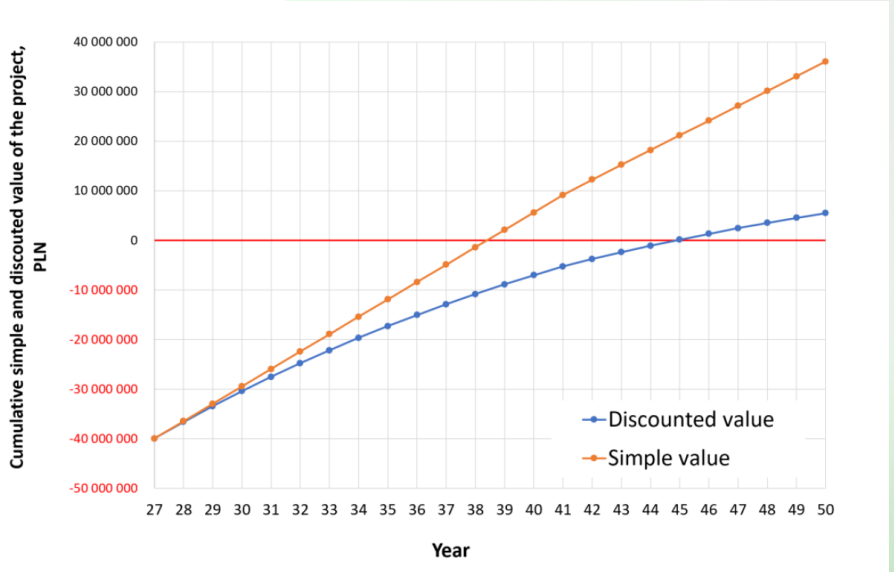
Попередня оцінка прибутковості

Результати попередньої оцінки прибутковості проєкту ТН (варіант 4; ціни 2024 р.)



Вартість проєкту за роками

Вартість проєкту за роки — модельовані інвестиційні субсидії у розмірі 50 % від капітальних витрат (CAPEX)



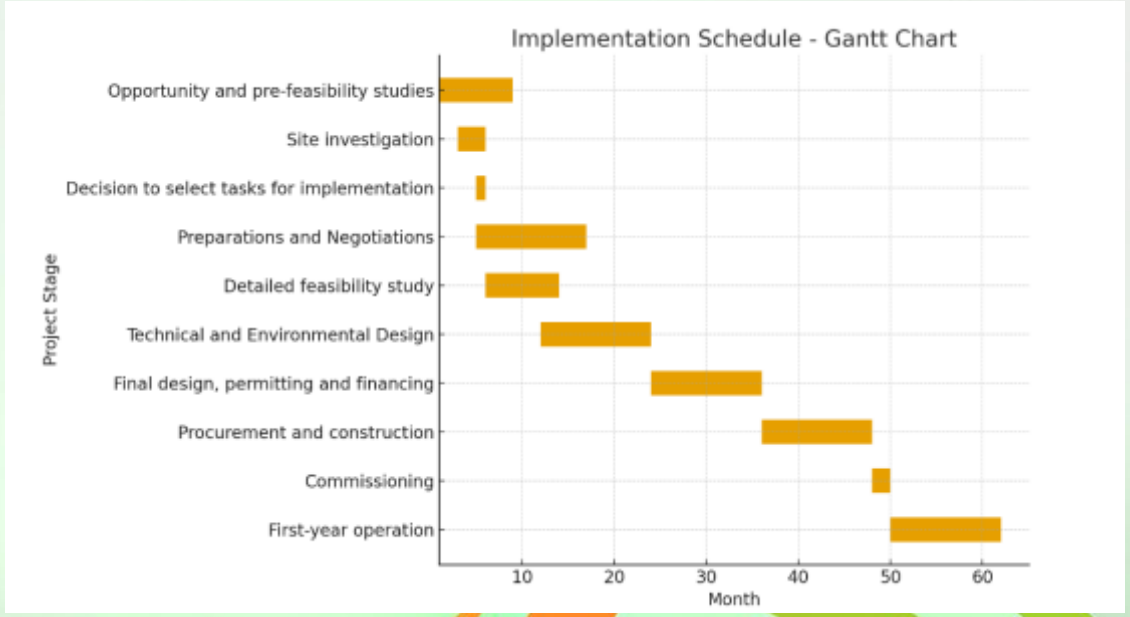
SET HEAT

Co-funded by the European Union

Попередня діаграма Ганта

Основні етапи реалізації проєкту (загалом близько 5 років):

- Затвердження концепції, подання заявки на грант.
- Екологічне рішення та завершення базового проєкту.
- Отримання всіх дозволів і забезпечення фінансування.
- Проєктування.
- Досягнення технічної готовності (завершення монтажних робіт).
- Введення в експлуатацію, передача для експлуатації та технічного обслуговування.



Co-funded by the European Union

Ризики та їх пом'якшення

За результатами ретельної екологічної оцінки та аналізу дозвільних процедур суттєвих перешкод не виявлено. Сучасні дамби знижують ризик затоплення, а можливі впливи, такі як шум, витік холодоагенту та утворення відходів, можна ефективно контролювати в межах чинних нормативних обмежень.

SET HEAT

Co-funded by the European Union



Імовірність затоплення 10%
(раз на 10 років;
джерело: https://wody.isok.gov.pl/

Ризики та їх пом'якшення

Ключові ризики:

- Волатильність цін на електроенергію
- Невизначеність CAPEX
- Регуляторні погодження

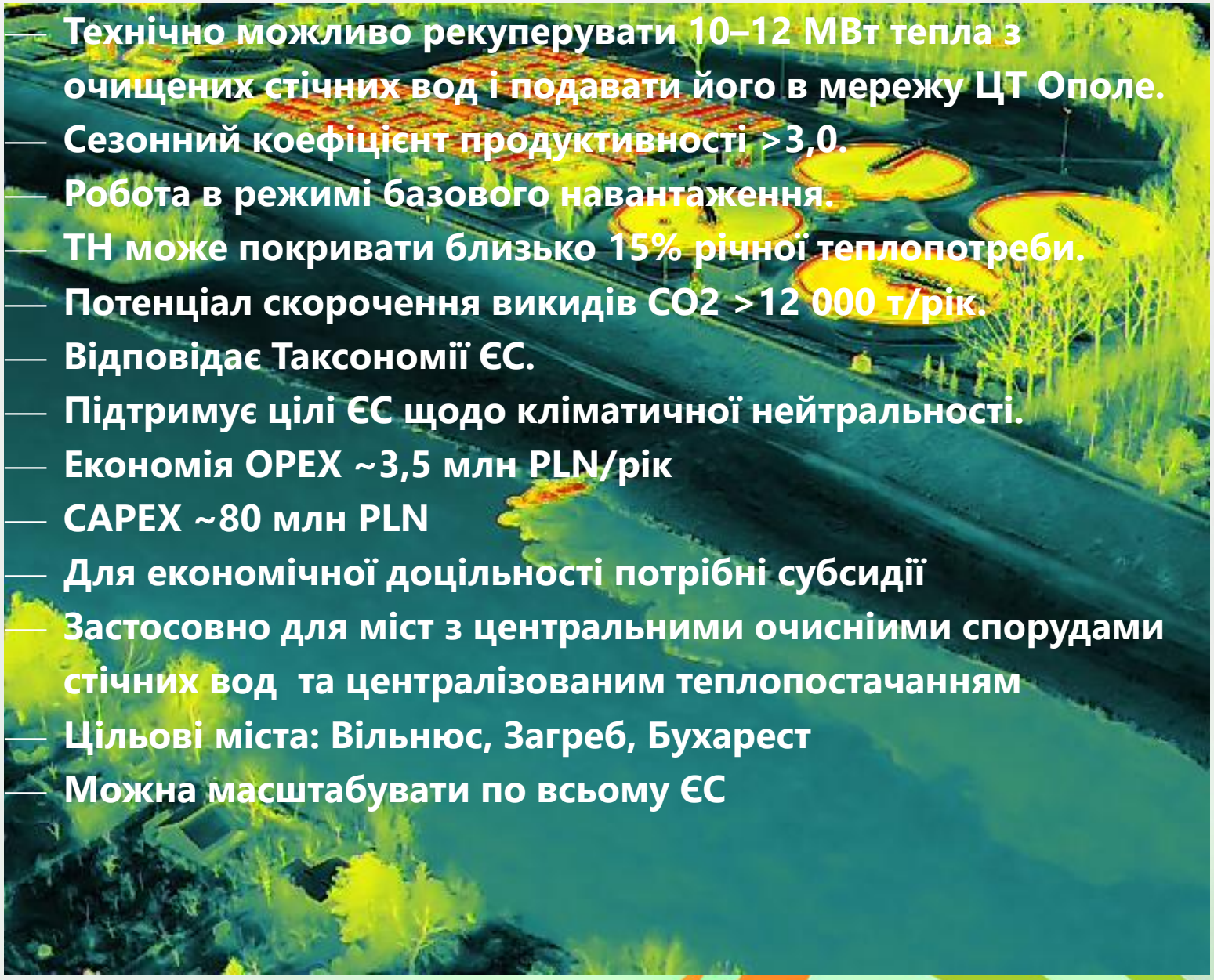
		Імовірність				
		Незначна	Низька	Середня	Висока	Дуже висока
Вплив	Дуже висока		16	2, 15	13, 14	
	Висока		10	6, 9		
	Середня		8, 19	1, 4, 5, 12, 17, 18, 22		
	Малий		3, 7,	20, 21		
	Несуттєвий				11	

Розроблена матриця ризиків показує, що ризики проєкту зосереджені переважно в зоні низької та середньої ймовірності. Однак ключові ризики з високим впливом (13, 14) нині перебувають у зоні високого ризику, що пов'язано з нестабільною ситуацією на ринках палива та енергії. Особливо значущим є ризик 13, пов'язаний з доступністю електроенергії.

SET HEAT

Co-funded by the European Union

Висновки



- Технічно можливо рекуперувати 10–12 МВт тепла з очищених стічних вод і подавати його в мережу ЦТ Ополе.
- Сезонний коефіцієнт продуктивності >3,0.
- Робота в режимі базового навантаження.
- ТН може покривати близько 15% річної теплопотреби.
- Потенціал скорочення викидів CO2 >12 000 т/рік.
- Відповідає Таксономії ЄС.
- Підтримує цілі ЄС щодо кліматичної нейтральності.
- Економія OPEX ~3,5 млн PLN/рік
- CAPEX ~80 млн PLN
- Для економічної доцільності потрібні субсидії
- Застосовно для міст з центральними очисніими спорудами стічних вод та централізованим теплопостачанням
- Цільові міста: Вільнюс, Загреб, Бухарест
- Можна масштабувати по всьому ЄС

SET HEAT

Co-funded by
the European Union

Заключні рекомендації

- Аналіз SWOT свідчить про явну перевагу сильних сторін та можливостей над слабкими сторонами та загрозами. Загалом рекомендується розпочати реалізацію проєкту та продовжувати його розвиток.
- Провести повне техніко-економічне обґрунтування та концептуальне технічне проєктування.
- Забезпечити залучення зацікавлених сторін для стратегічної та інституційної співпраці.
- Підтвердити технічну конфігурацію та інтеграцію в енергосистему.
- Оптимізувати енергетичний баланс та інтеграцію циркулярної економіки.
- Залучити фінансову та інституційну підтримку.
- Запровадити надійні механізми управління ризиками та безпекою.
- Позиціонувати проєкт як зразок «зеленого» переходу.

SET HEAT

Co-funded by the European Union

Контактна інформація

SET HEAT

Co-funded by the European Union

Сілезька політехніка
Факультет інженерії довкілля та енергетики
Кафедра теплотехніки
вул. Конарського, 22
44-100 Глівіце.

set_heat@polsl.pl

+48 32 237 24 27; +48 32 237 16 61

https://setheat.polsl.pl/

Стежте за нами:

facebook.com/Life.SetHeat
twitter.com/SetHeat
linkedin.com/company/setheat/
instagram.com/life.setheat/