Міжнародна конференція з розумних енергетичних систем

Спеціальна сесія «Енергетичний перехід і декарбонізація в секторі централізованого теплопостачання»

Копенгаген

16-17.09.2025

SET HEAT

Co-funded by the European Union

SET HEAT

Програма у сфері довкілля та кліматичних дій

Підпрограма LIFE «Перехід до чистої енергії»

Що можна зробити в Бухаресті? Проблеми декарбонізації великих систем централізованого теплопостачання

Яцек Каліна, координатор проєкту SET-HEAT

(Сілезький технічний університет)

Номер проєкту
101119793

Акронім проєкту:
LIFE22-CET-SET_HEAT

Конкурс:
LIFE-2022-CET

Тема:
LIFE-2022-CET-DH

Co-funded by the European Union

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.

Порядок денний

- Система централізованого теплопостачання Бухареста
- Виклик енергетичного переходу та декарбонізації
- Виявлені локальні енергоресурси
- Виявлені критичні перешкоди.
- Як це роблять інші.
- Енергетичне моделювання системи.
- Потенційні інвестиційні проєкти
- Економічна ефективність програми переходу
- Ключові висновки

SET HEAT

Co-funded by
the European Union

Система ЦТ Бухареста

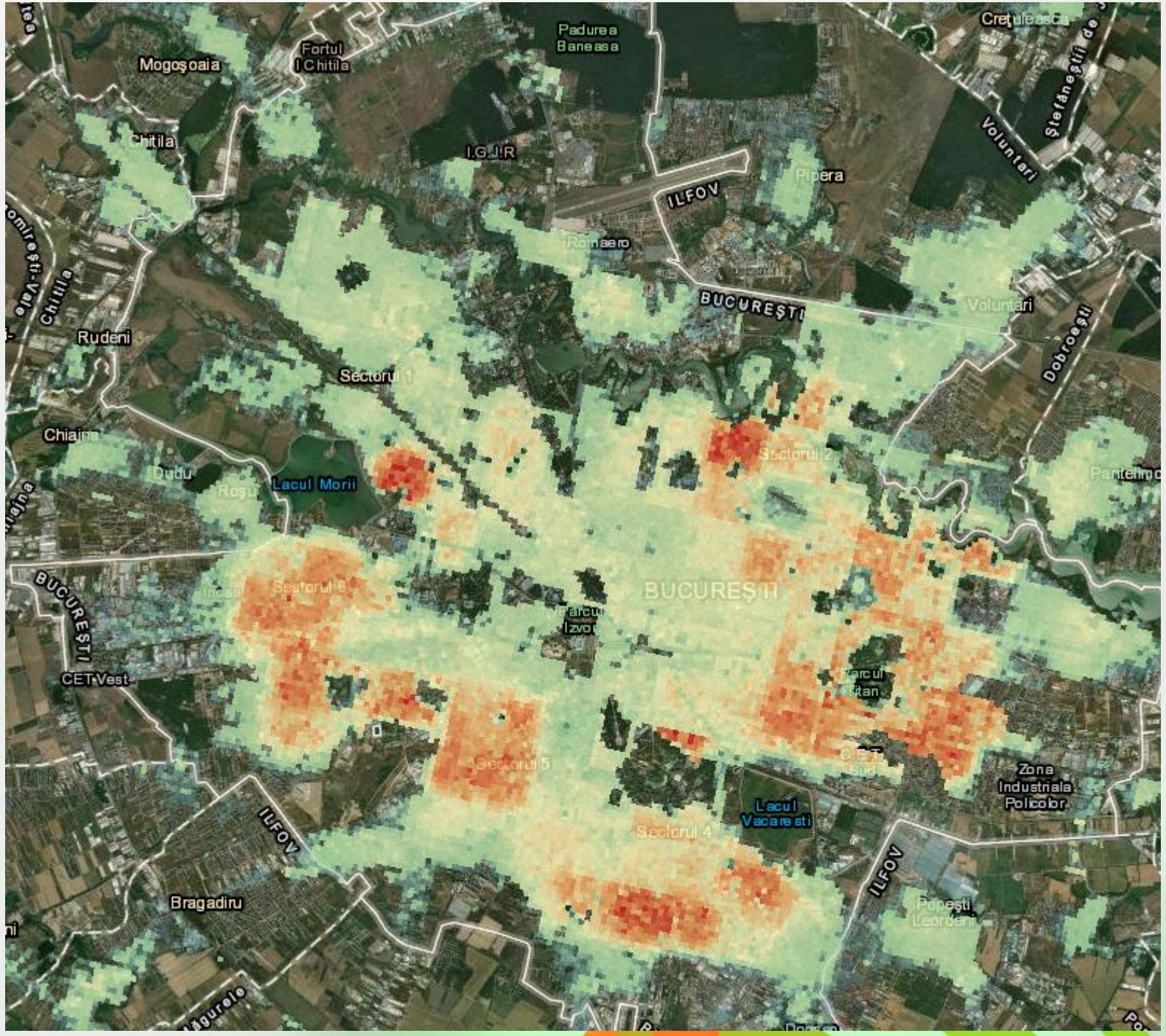
- Населення близько 1 700 000 мешканців.
- Кількість споживачів ЦТ близько 504 730.
- Загальна довжина теплової мережі близько 3847 км.
- Річна подача тепла в мережу близько 4500 ГВт·год/рік.
- Адміністративно система ЦТ поділена на 6 зон (секторів).
- Близько 92% тепла закуповується у зовнішніх постачальників.
- ***100% тепла виробляється спалюванням природного газу.***
- Близько 74% тепла виробляється когенерацією (застарілий паросиловий цикл).
- Робоча температура подачі в мережі від 80 °C до 110 °C.
- Доступність системи становить від 75 до 85% через численні аварії.
- Річні теплові втрати мережі становлять 30–40%.

SET HEAT

Co-funded by the European Union

Щільність теплового навантаження житлового фонду

(https://www.hotmaps.eu/map)



SET HEAT

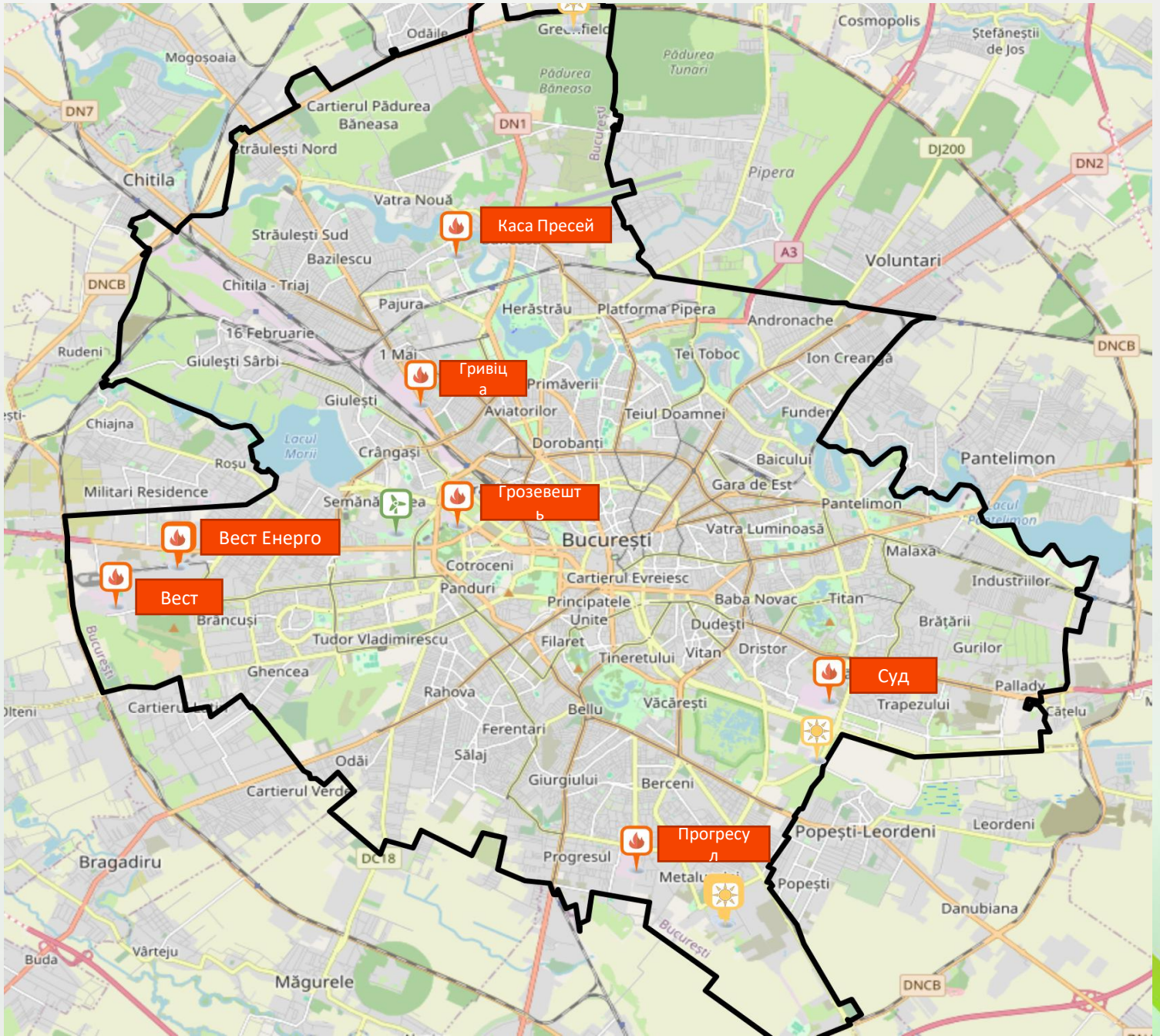
Co-funded by the European Union

Система ЦТ Бухареста

6

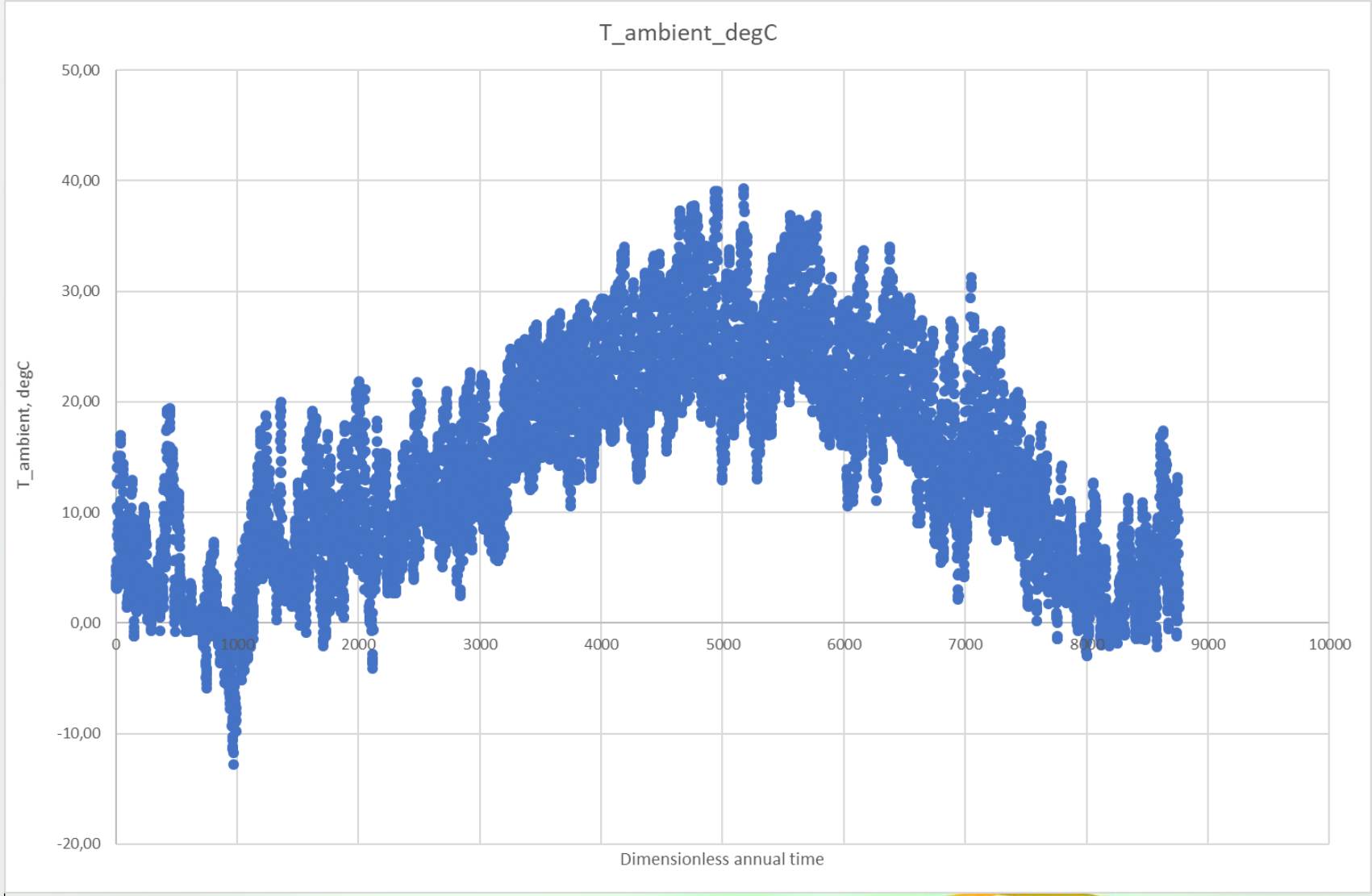
SET HEAT

Co-funded by the European Union



Температура навколишнього повітря (2023)

7

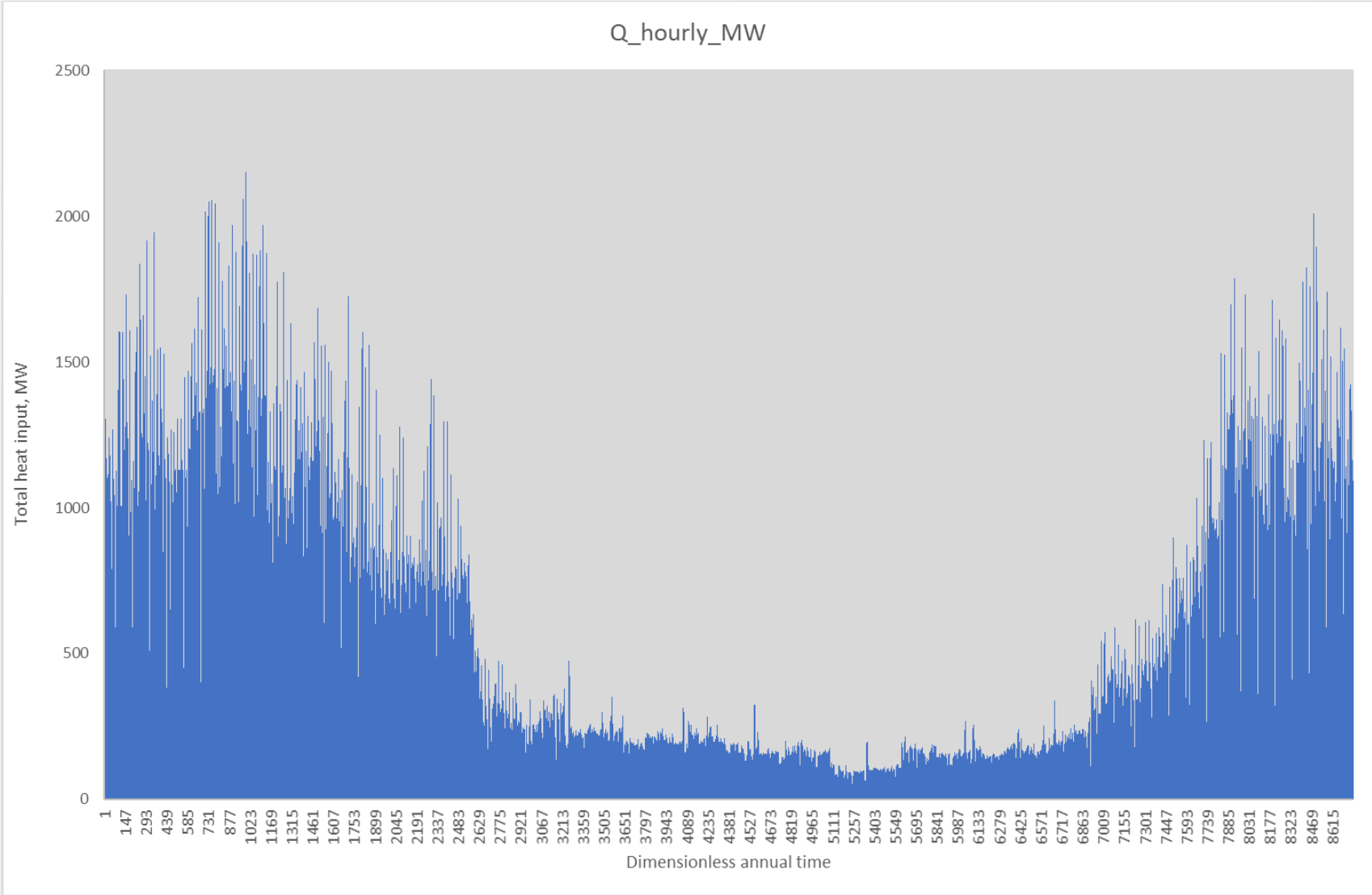


SET HEAT

Co-funded by the European Union

Орієнтовне погодинне постачання тепла в мережу ЦТ

8



SET HEAT

Co-funded by the European Union

Виклик енергетичного переходу та декарбонізації

Heat source:	RES	Wate heat	Highly efficient CHP	CHP	Coal boilers	Gas boilers
until 31st DEC 2027						
Option 1	50%			50%		
Option 2		50%		50%		
Option 3	any		75%		<25%	
from 1st JAN 2028 until 31st DEC 2034						
Option 1	50%			50%		
Option 2		50%		50%		
Option 3	50%			50%		
Option 4			80%	20%		
Option 5	5%	45%		50%		
from 1st JAN 2035 until 31st DEC 2039						
Option 1	50%			50%		
Option 2		50%		50%		
Option 3	50%			50%		
Option 4	35%	45%		20%		
Option 5	35%		45%	20%		
from 1st JAN 2040 until 31st DEC 2044						
Option 1	75%			25%		
Option 2		75%		25%		
Option 3	75%			25%		
Option 4	35%	55%		5%		
from 1st JAN 2045 until 31st DEC 2049						
Option 1	75%			25%		
Option 2		75%		25%		
Option 3	75%			25%		
from 1st JAN 2050						
Option 1	100%			0%		
Option 2		100%		0%		
Option 3	100%			0%		

Етап 1

Етап 2

SET HEAT

Co-funded by the European Union

Завдання

- Частка тепла з ВДЕ та скидного тепла має відповідати вимогам Директиви з Енергоефективності

$$u_{RES} = \frac{\sum_t \sum_i Q_{i(\mathrm{RES}),t}}{\sum_t \sum_i Q_{i,t}} = 0.05\ (0.35)$$

Це найвища чітко визначена частка ВДЕ

$$u_{RES+waste} = \frac{\sum_t \sum_i Q_{i(\mathrm{RES,waste}),t}}{\sum_t \sum_i Q_{i,t}} = 0.50$$

Або інший варіант залежно від частки когенерації

SET HEAT

Co-funded by the European Union

Завдання

SET HEAT

Co-funded by the European Union

- Витрати на постачання тепла кінцевим споживачам мають бути мінімальними

$$C_q = \sum_i C_{q\,i,fixed} + \sum_t \sum_i \left(C_{q,i,purchase} + C_{f,i} + C_{el,i} + C_{om,i} + C_{env,i} + C_{ETS,i} + C_{\text{pumping},i} - S_{el,chp,i} \right)_t$$

t – крок моделювання
i – компонент системи
(теплогенеруюча установка, насос, акумулятор тощо)

- Виробництво та закупівля мають покривати попит і втрати

$$\sum_i \dot{Q}_{i,t} = \dot{Q}_{d,t} \pm \dot{Q}_{storage,t} + \dot{Q}_{loss,t}$$

- Кожен агрегат працює в межах допустимого діапазону навантаження

$$\dot{Q}_{i,min} \leq \dot{Q}_{i,t} \leq \dot{Q}_{i,max}$$

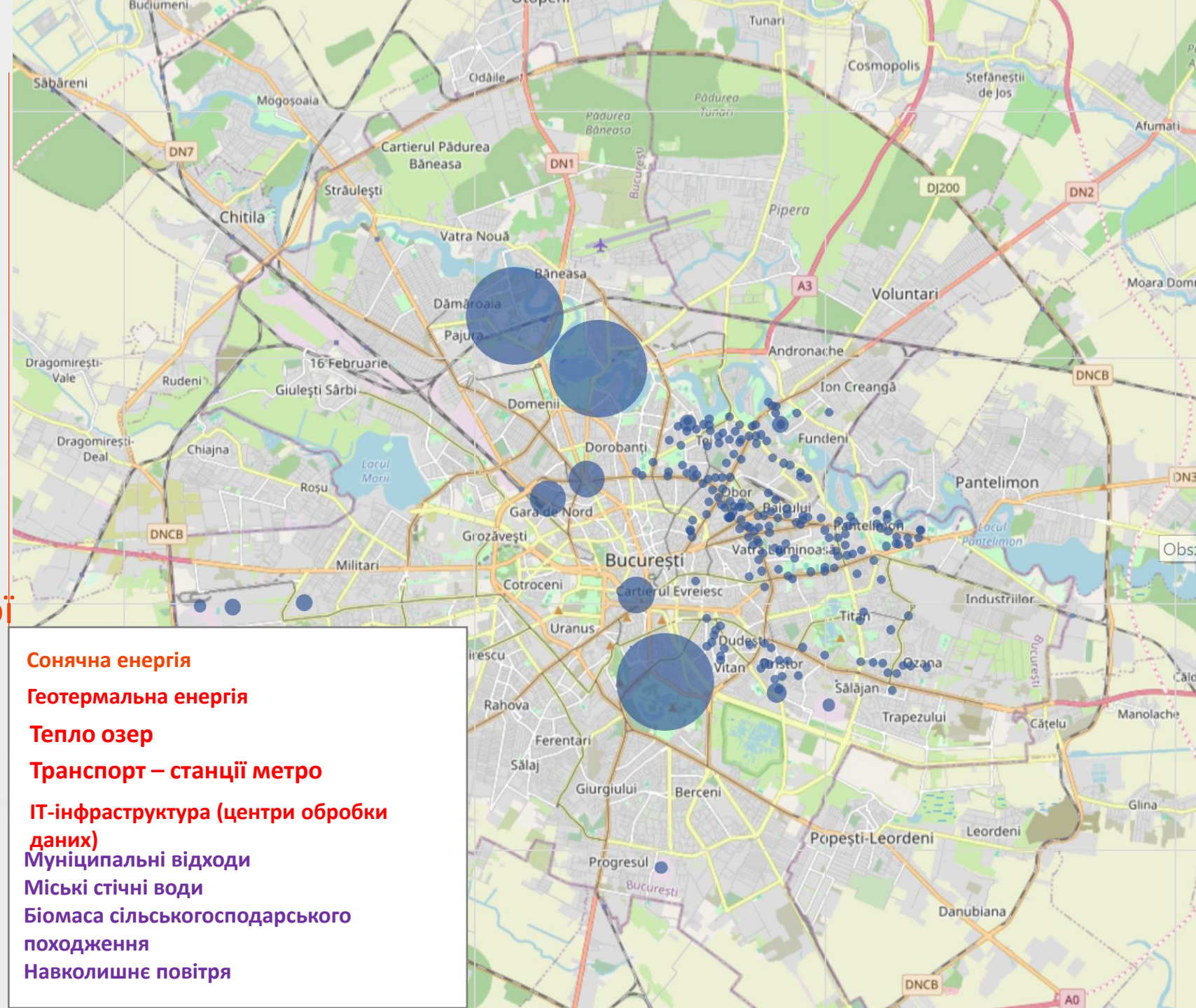
- Частка тепла з ВДЕ та скидного тепла має відповідати вимогам Директиви з Енергоефективності

$$\sum_i \dot{Q}_{i,t} = \dot{Q}_{d,t} \pm \dot{Q}_{storage,t} + \dot{Q}_{loss,t}$$

Виявлені локальні енергоресурси

12

Загальний орієнтовний потенціал нової встановленої потужності: 274 МВт



Sonică energie

Геотермальна енергія

Тепло озер

Транспорт – станції метро

IT-інфраструктура (центри обробки даних)

Муніципальні відходи

Міські стічні води

Біомаса сільськогосподарського походження

Навколишнє повітря

SET HEAT

Co-funded by the European Union

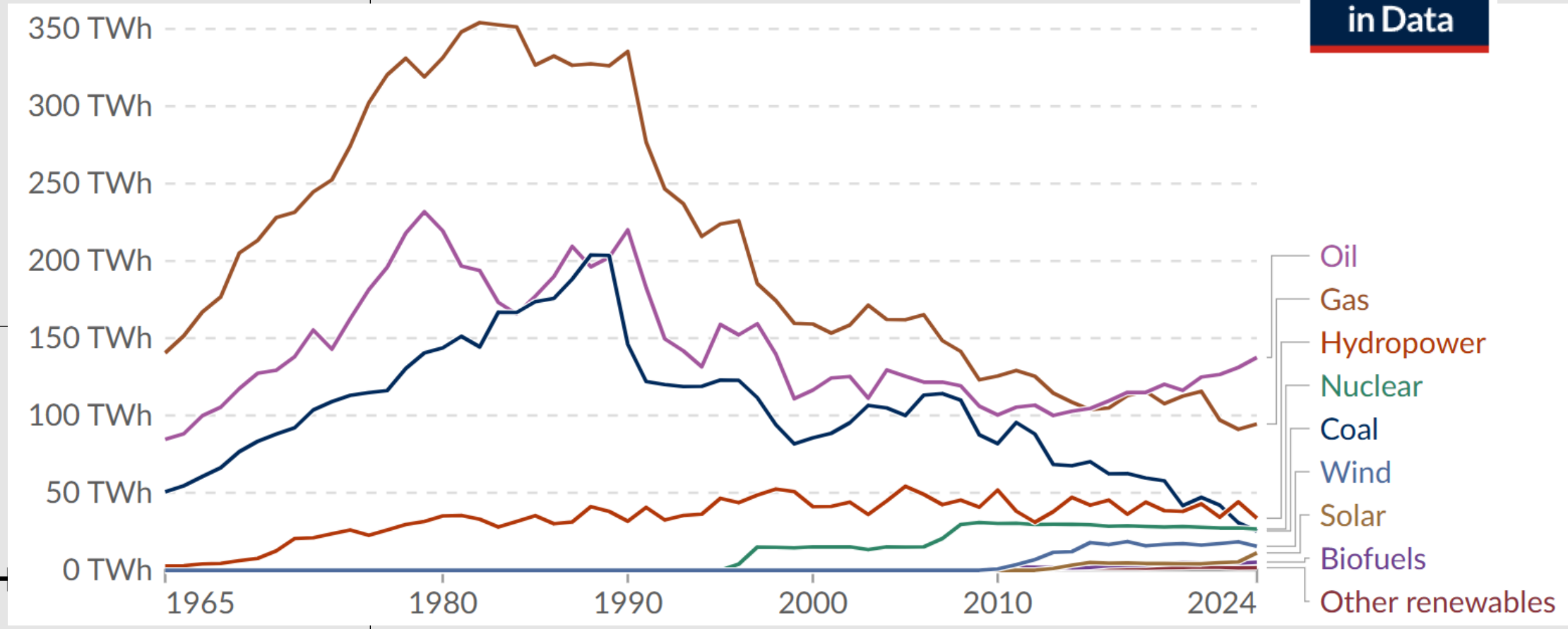
Виявлені критичні перешкоди

- Величезний масштаб необхідних змін.
- Відносно стислі терміни.
- Несприятливий поточний стан, зокрема технологічні та інфраструктурні обмеження.
- Потреба в невідкладному відновленні зношених виробничих і мережевих активів.
- Щільна міська забудова, сейсмічний ризик.
- Обмежена кількість альтернативних джерел тепла.
- Пріоритети модернізації: 1) надійність і безпека теплопостачання, 2) доступність тепла за ціною, 3) «озеленення» теплопостачання.
- Соціально-культурні чинники, субсидоване тепло для побутових споживачів.
- Обмежені капітальні ресурси.
- Рання стадія загального енергетичного переходу в Румунії.

SET HEAT

Co-funded by the European Union

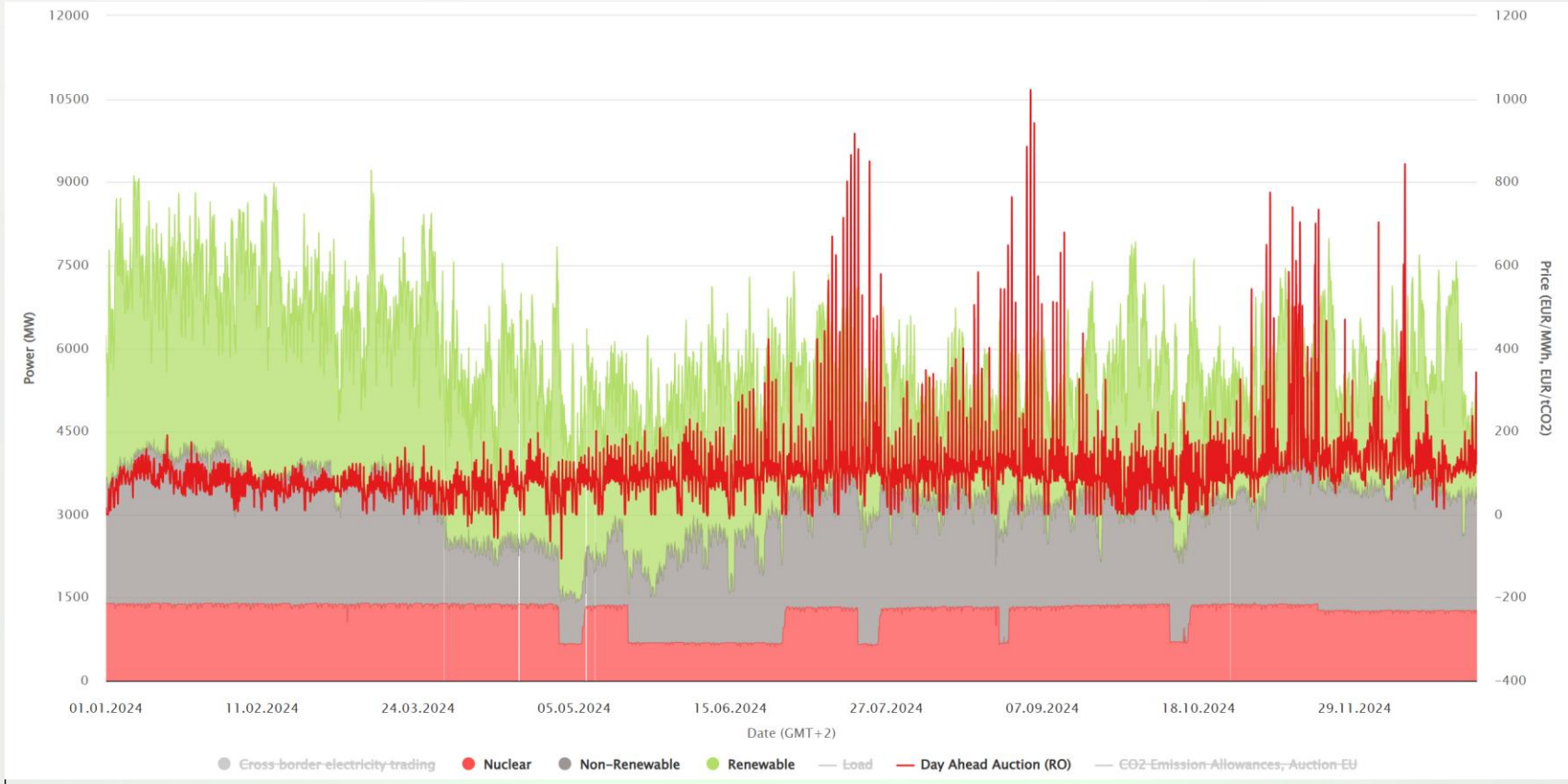
Тенденції енергетичного переходу в Румунії



Джерело: https://ourworldindata.org

Co-funded by the European Union

Ціни на електроенергію, 2024

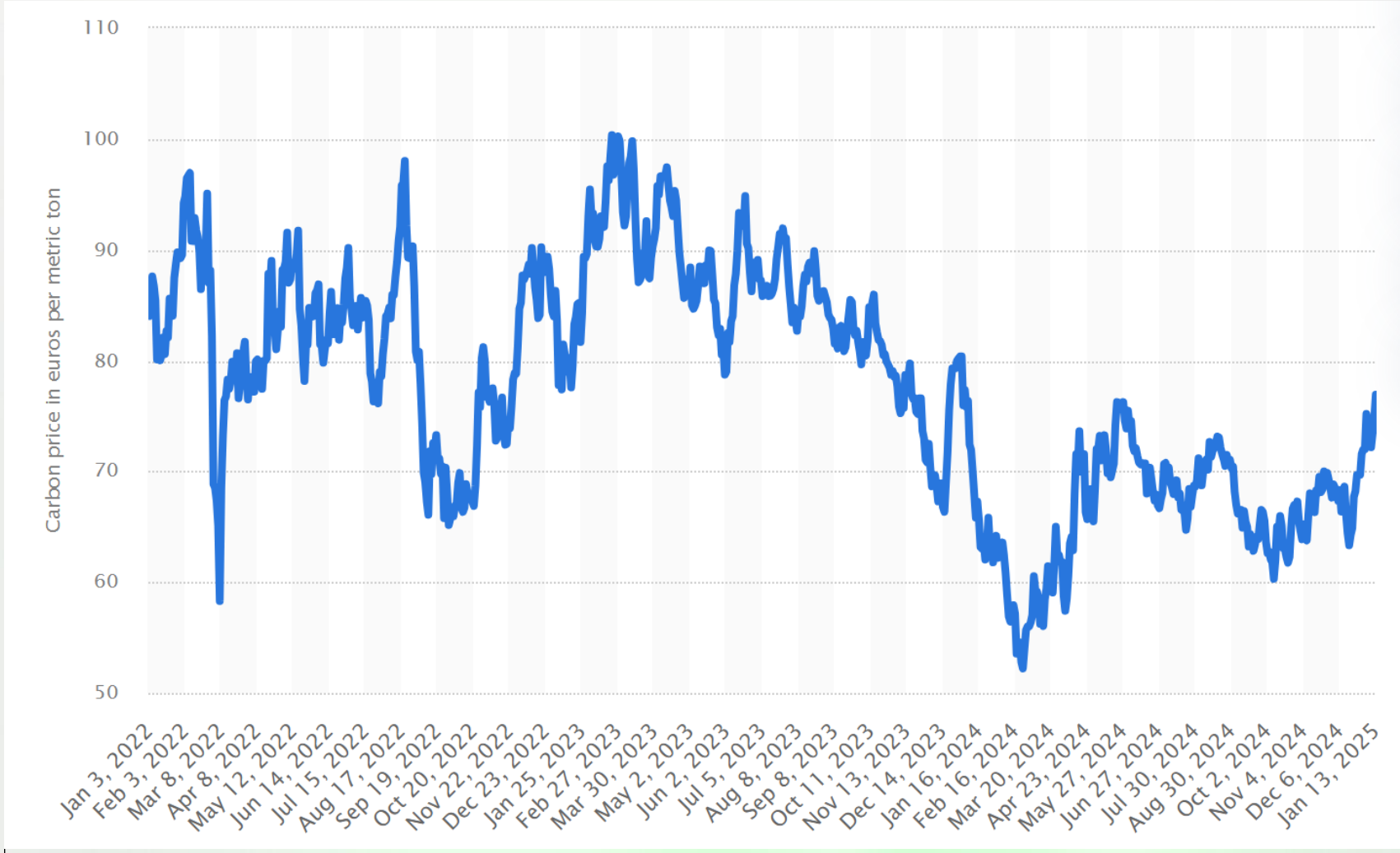


SET HEAT

Co-funded by
the European Union

Ціни на EUA (європейська квота на викиди парникових газів), 2022-2025

16



Помітна залежність від загальних показників економіки ЄС

SET HEAT

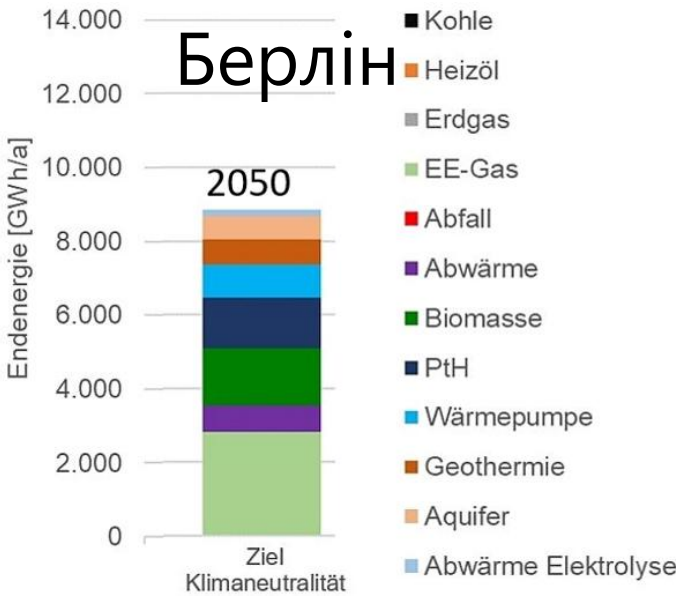
Co-funded by the European Union

Як це роблять інші

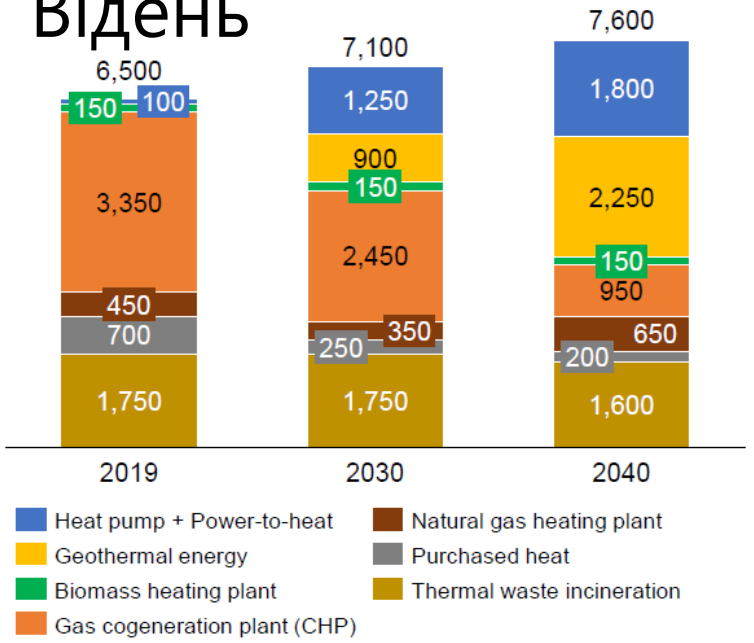
SET HEAT

Co-funded by the European Union

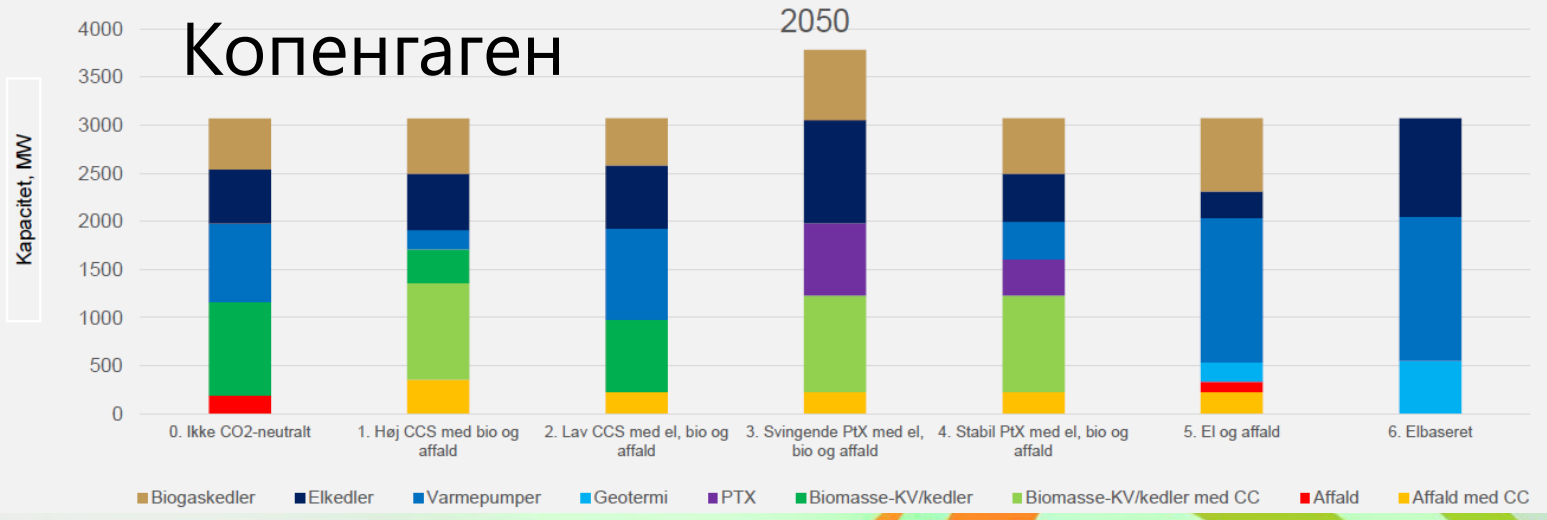
Берлін



Відень



Копенгаген

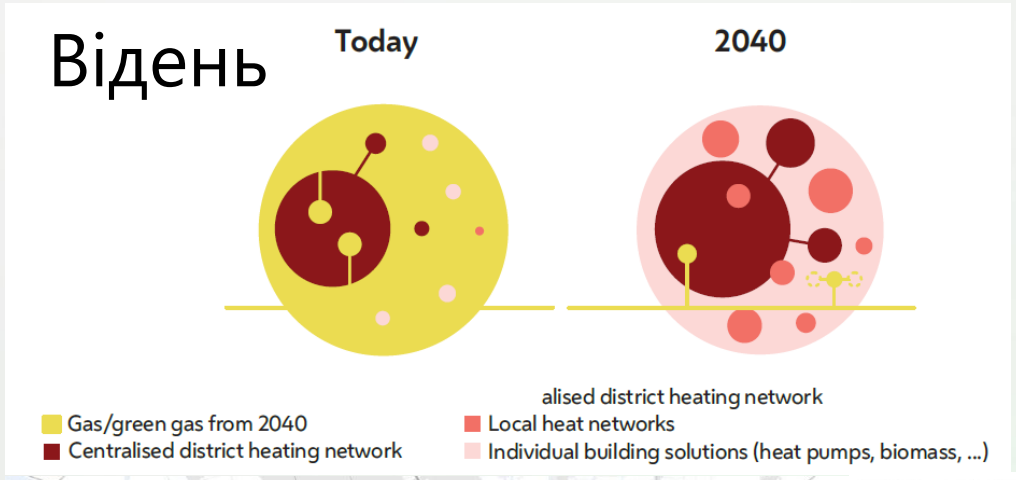


Як це роблять інші

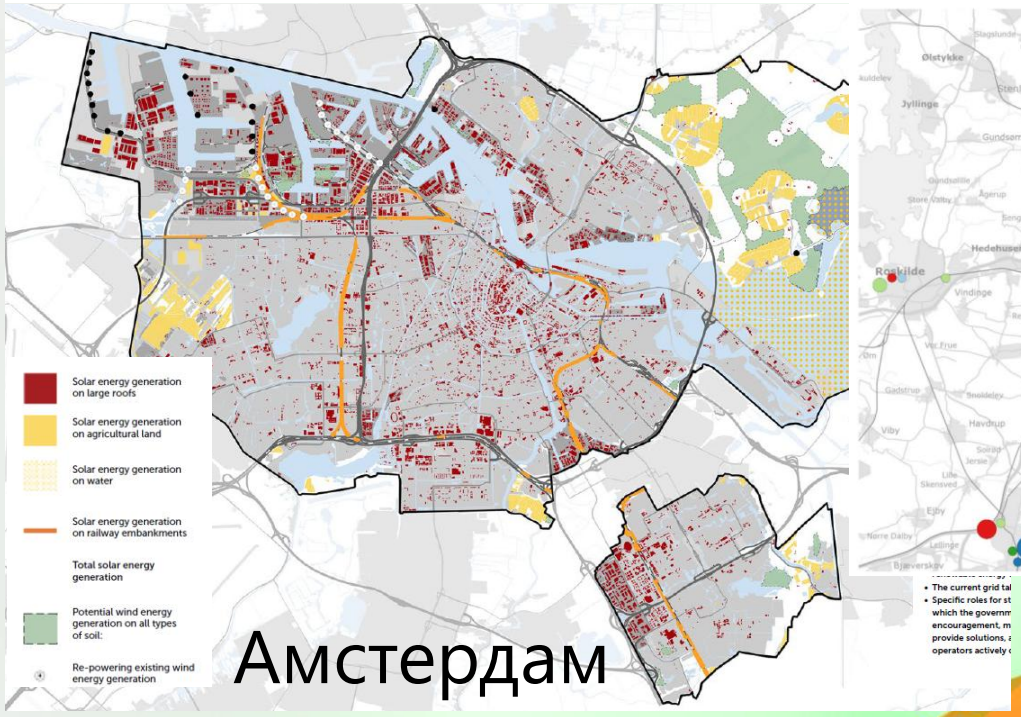
SET HEAT

Co-funded by
the European Union

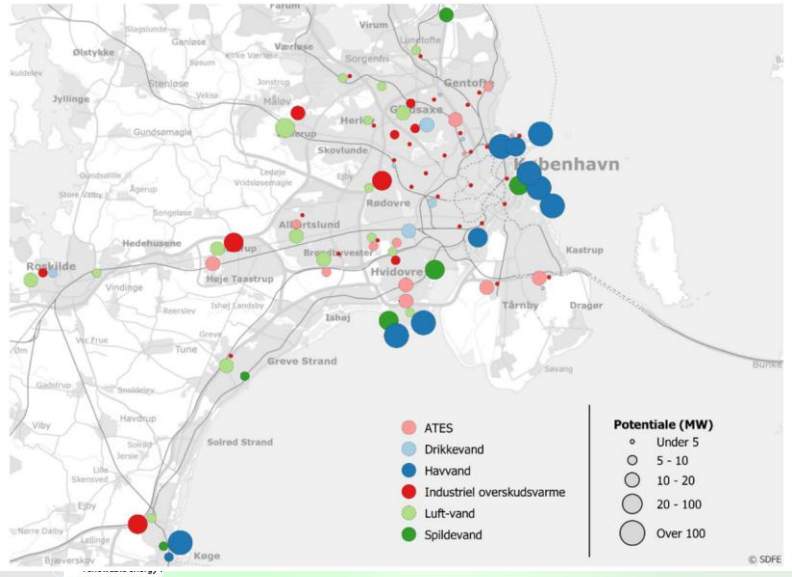
Відень



Амстердам



Копенгаген



Як це роблять інші

Декомпозиція

Реконфігурація

Розподілені джерела тепла

Джерела з нульовими викидами

Кілька джерел

Нестабільні джерела

Акумулювання тепла

Коригування теплових стоків

Територіальне розширення

Цифровізація

Низька температура подачі (<90 °C)

Інтеграція секторів

Декарбонізоване паливо

Підвищення енергоефективності у споживачів

Активні споживачі

Електрифікація

Масштабні інвестиції в муніципальну інфраструктуру

Оптимізація

Багатовимірність

Нові та інтегровані види бізнесу: поєднання кількох джерел доходу

SET HEAT

Co-funded by
the European Union

Енергетичне моделювання системи

Сценарій 1

SET HEAT

Co-funded by the European Union

Фаза 1: досягти частки ВДЕ 5% у 2028 р.

— Реконструкція теплових мереж

— Термомодернізація житлового фонду

— Модернізація ТЕЦ (3 нові блоки ПГУ)

— Сміттєспалювальний завод (~135 МВт підведеної енергії)

— Розподілені сонячні станції (дахи, вільні ділянки; ~13,2 МВт)

Фаза 2: досягти частки ВДЕ 35% у 2035 р.

— Тепловий насос на озерній воді (30 МВт)

— Геотермальні установки (2 МВт)

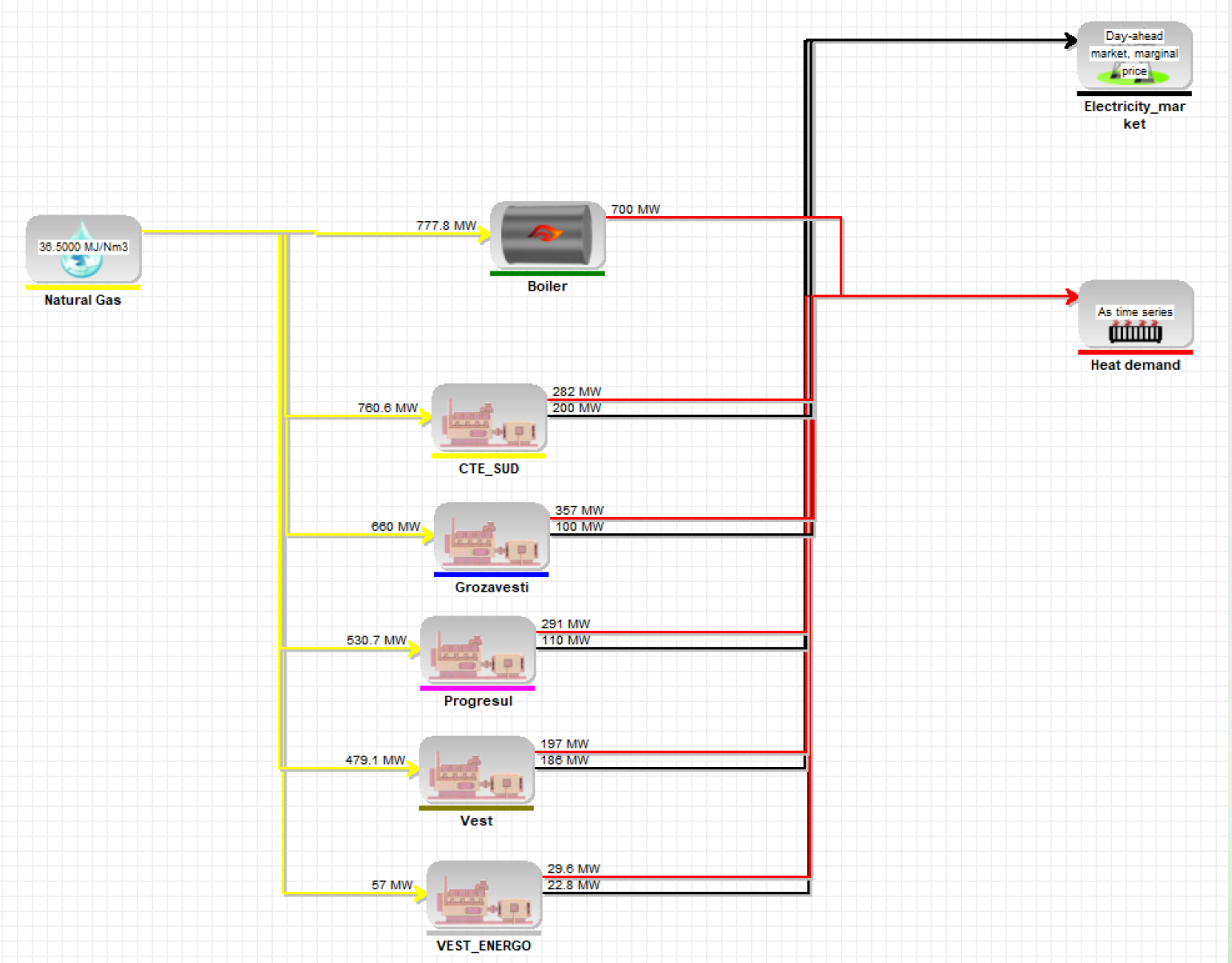
— Повітряні теплові насоси (10 МВт)

— Біогазова когенераційна установка (10 МВт теплової потужності)

— Додаткові сонячні станції (33 МВт)

— Термоакумуляторний резервуар (~1 000 000 м^3)

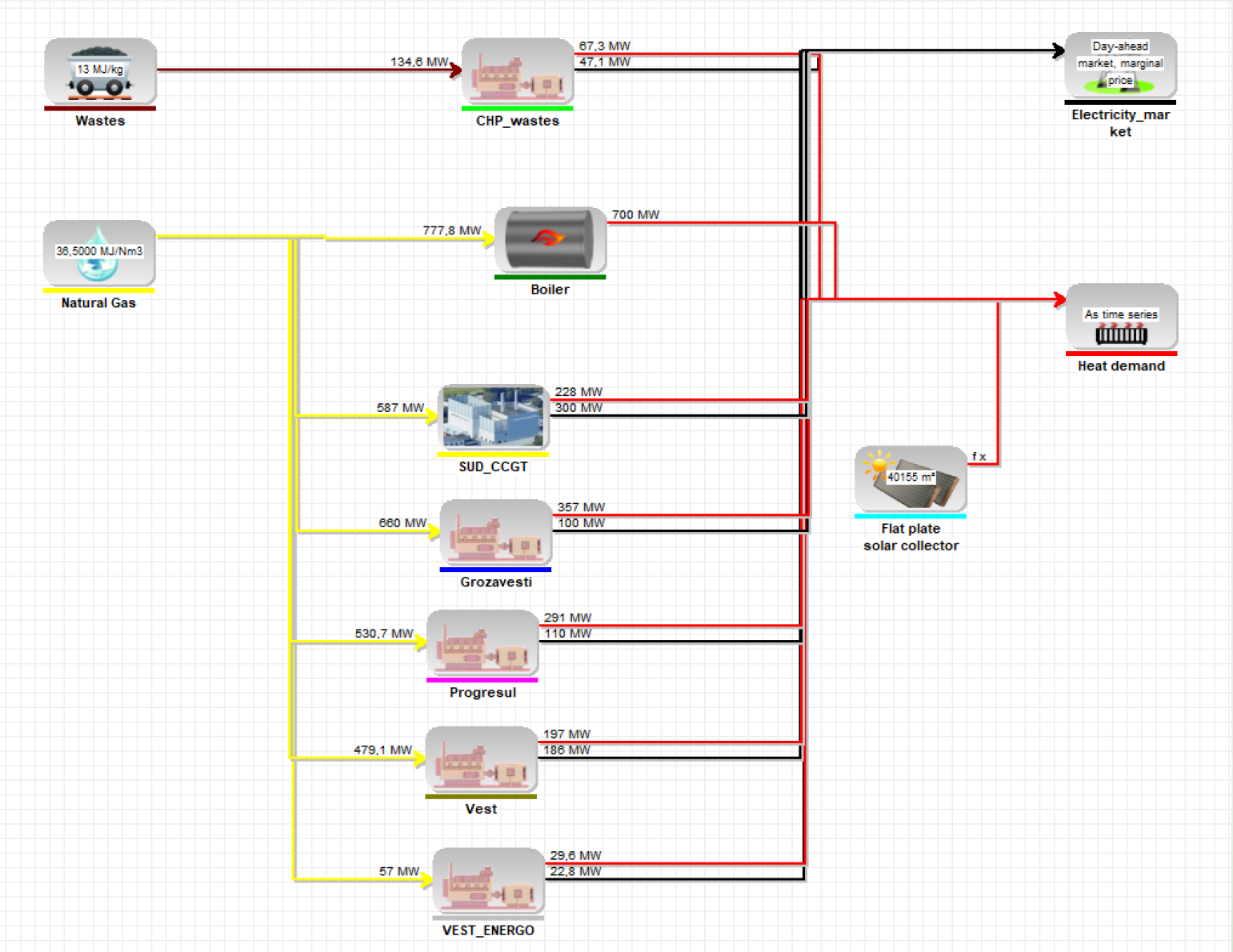
Базовий стан



SET HEAT

Co-funded by the European Union

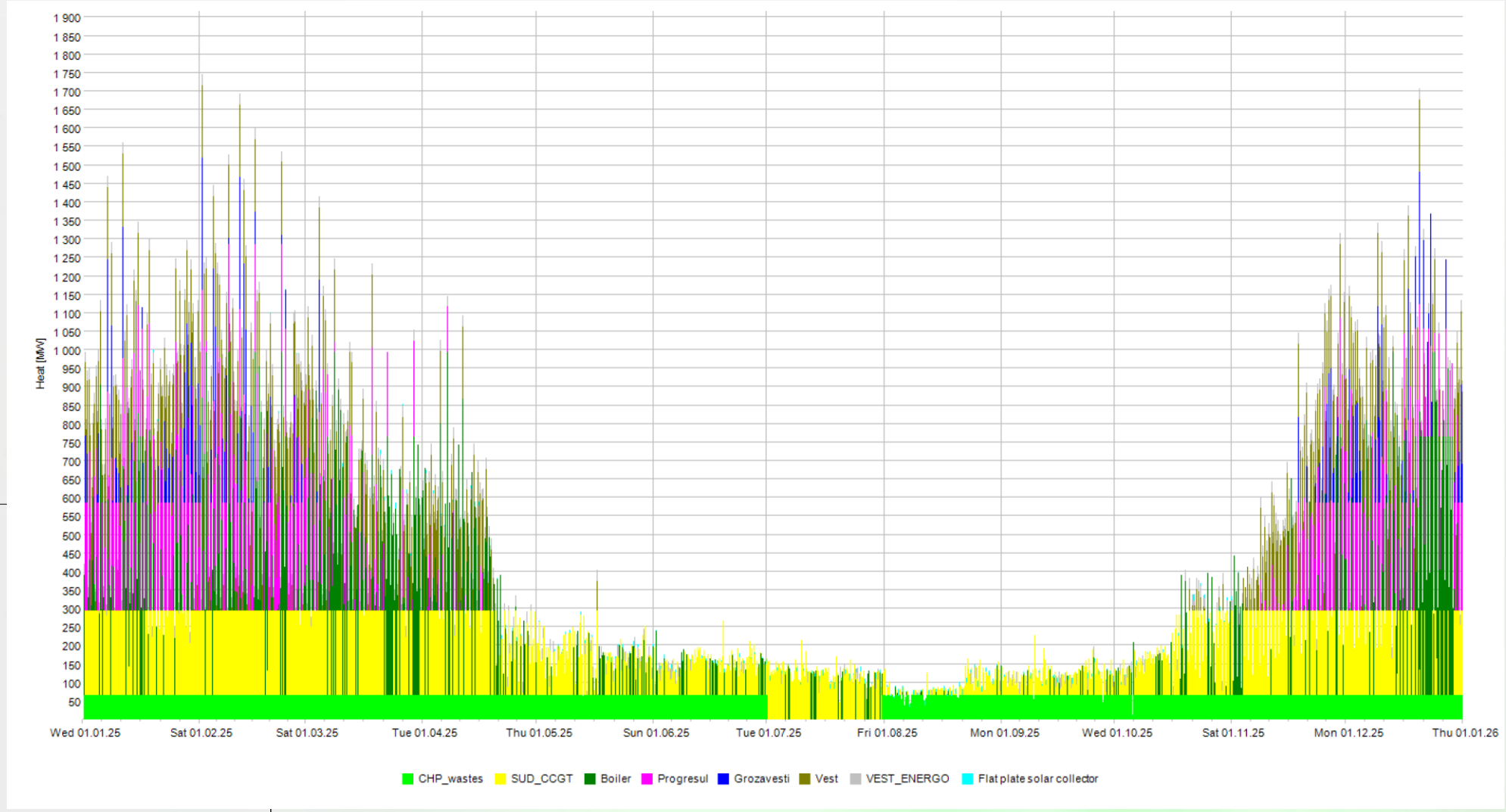
2028



SET HEAT

Co-funded by the European Union

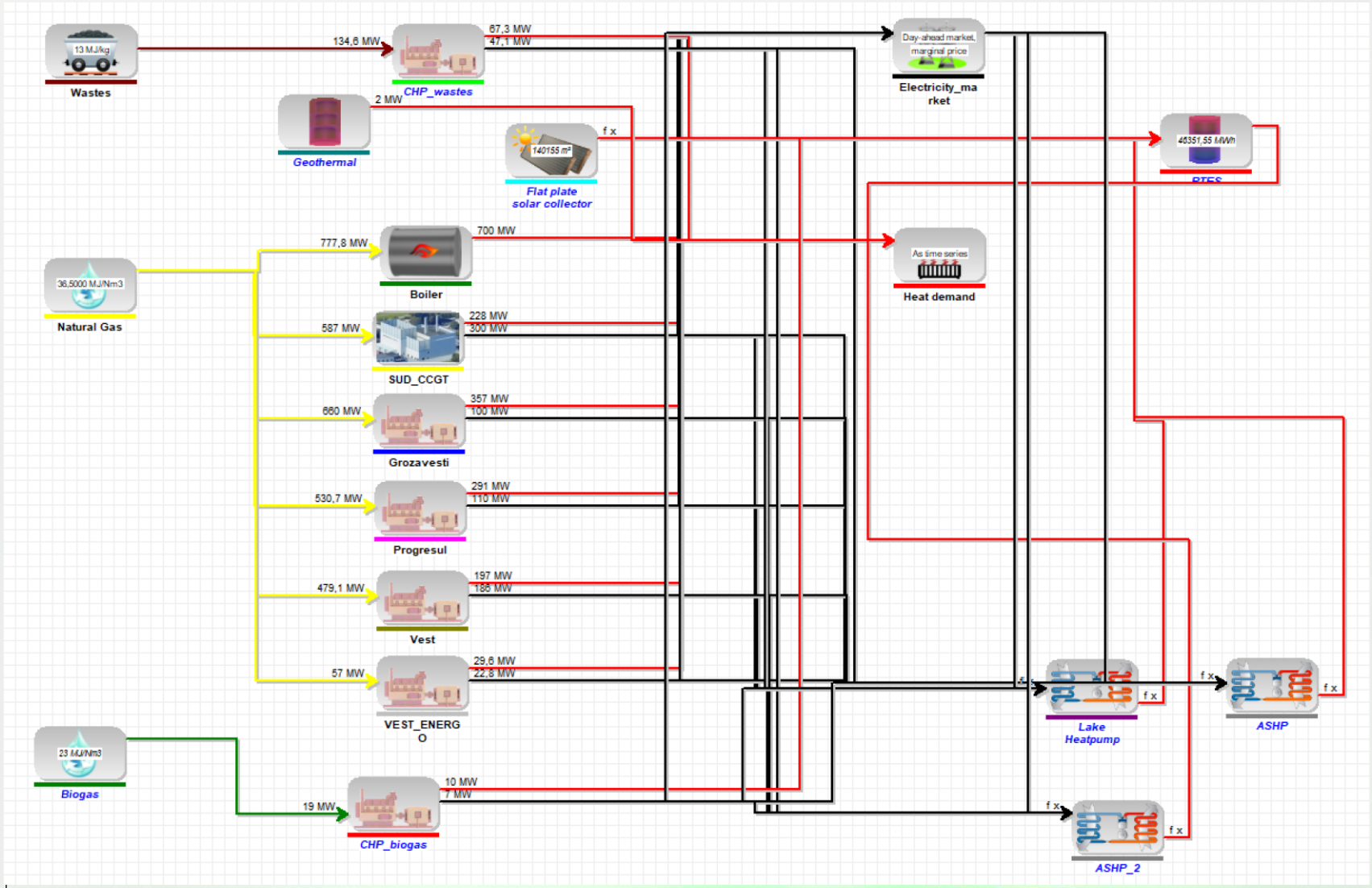
2028



SET HEAT

Co-funded by the European Union

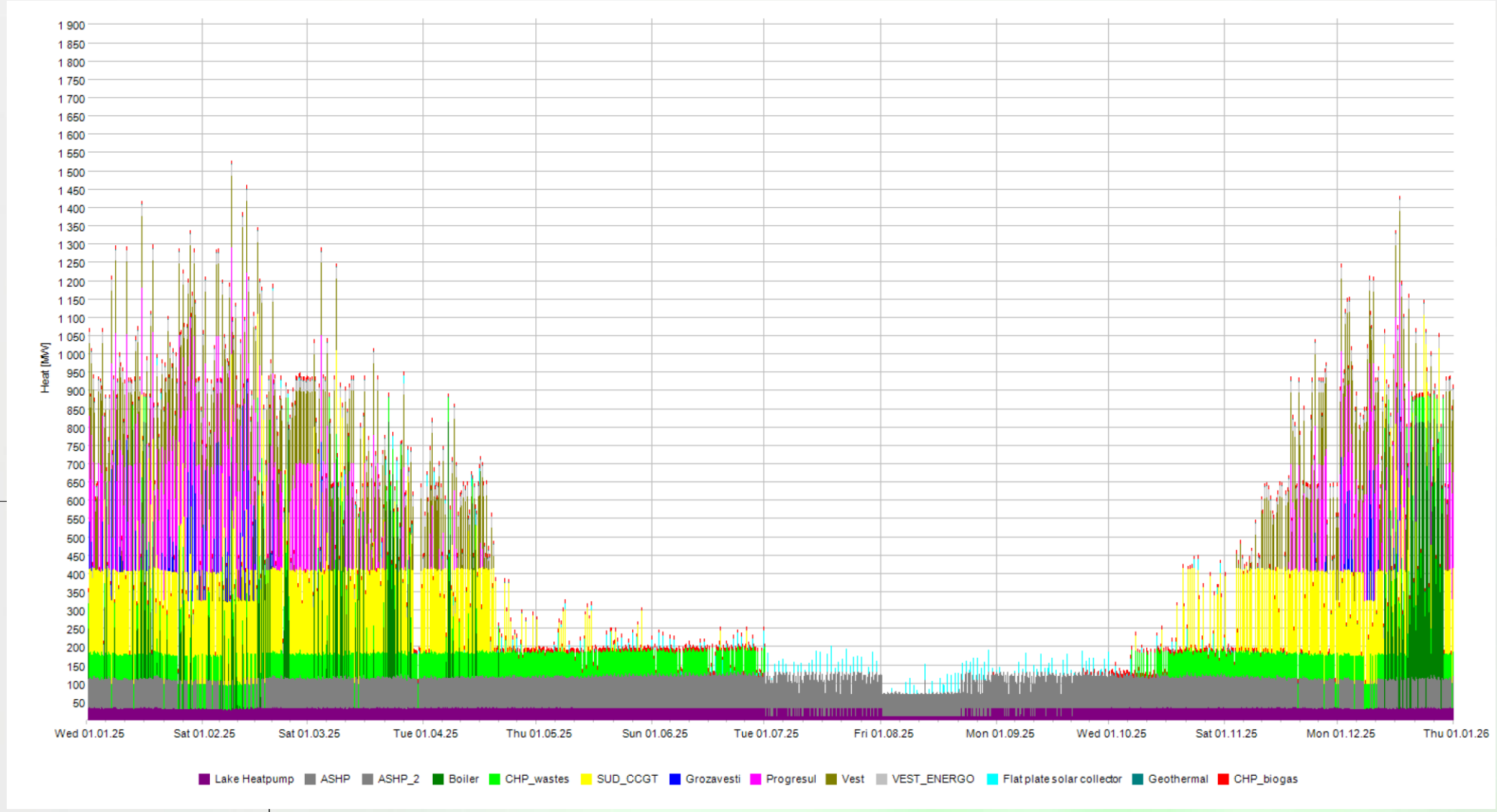
2035



SET HEAT

Co-funded by the European Union

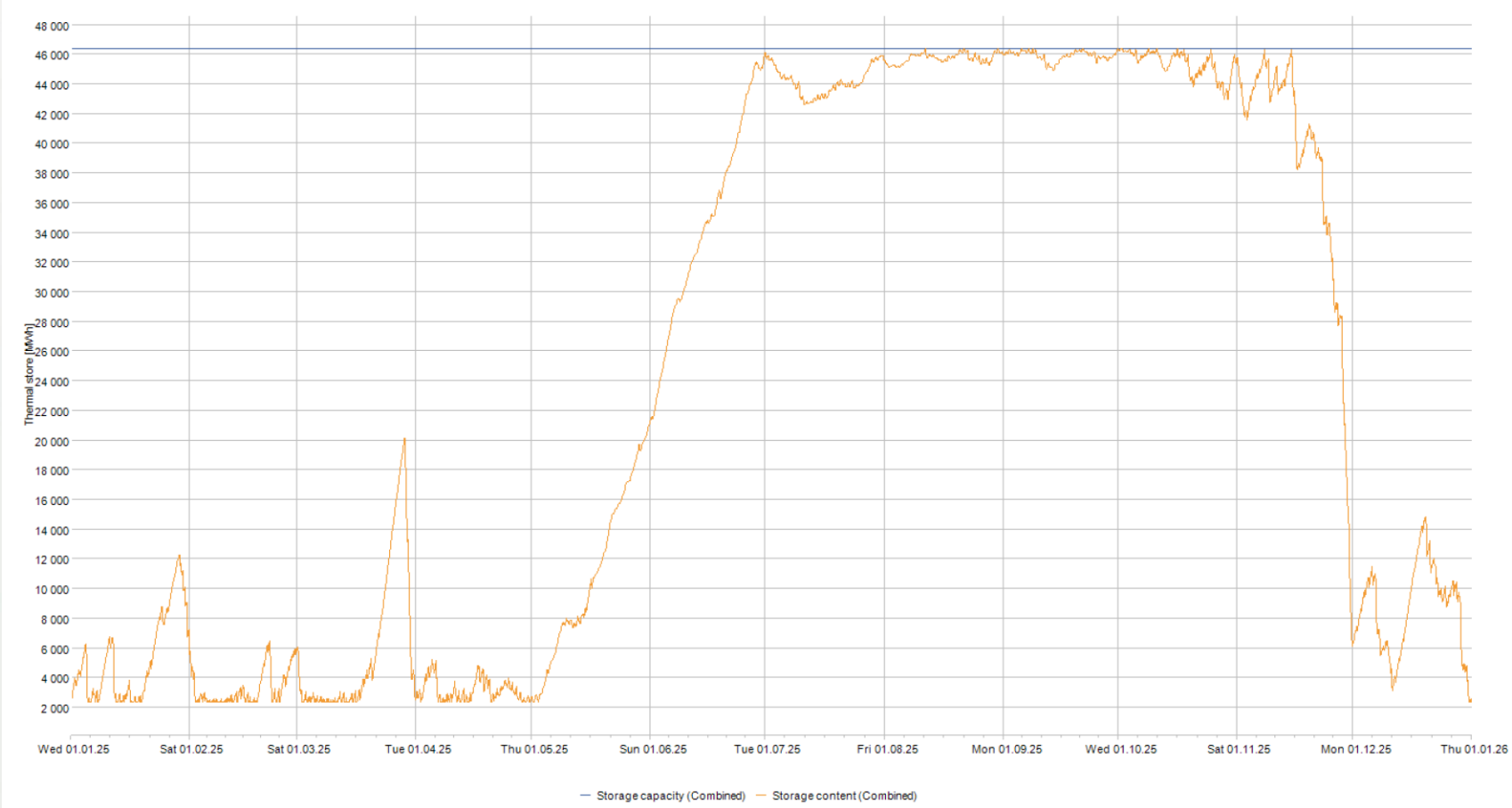
2035



SET HEAT

Co-funded by
the European Union

2035
Потреба в сезонному акумулюванні



SET HEAT

Co-funded by
the European Union

Сценарій 1
Зміна змінних витрат на тепло

2028

—EUR -35 176 781,77

2035

—EUR -37 496 452,04

SET HEAT

Co-funded by
the European Union

Оцінка CAPEX для сценарію 1, фаза 1

2028 (нереалістичні терміни)

— Реконструкція теплових мереж, перша черга (500 км): 1 000 млн EUR

— 3 блоки ПГУ: 450–600 млн EUR

— Сміттєспалювальний завод з виробництвом енергії (~135 МВт підведеної енергії): 300–400 млн EUR

— Розподілені сонячні станції (~13,2 МВт): 10 млн EUR

Разом фаза 1: від 1 760 до 2 010 млн EUR

+ теплоізоляція будівель

Лише обладнання, фаза 1: від 760 до 1 010 млн EUR

SET HEAT

Co-funded by the European Union

Оцінка CAPEX для сценарію 1, фаза 2

SET HEAT

Co-funded by the European Union

2035

— Реконструкція теплових мереж, друга черга (1500 км): 3 000 млн EUR

— Тепловий насос на озерній воді (30 МВт): 30 млн EUR

— Геотермальні установки (2 МВт): 25 млн EUR

— Повітряні теплові насоси (10 МВт): 11 млн EUR

— Біогазова когенераційна установка (10 МВт теплової потужності): 40 млн EUR

— Додаткові сонячні станції (33 МВт): 30 млн EUR

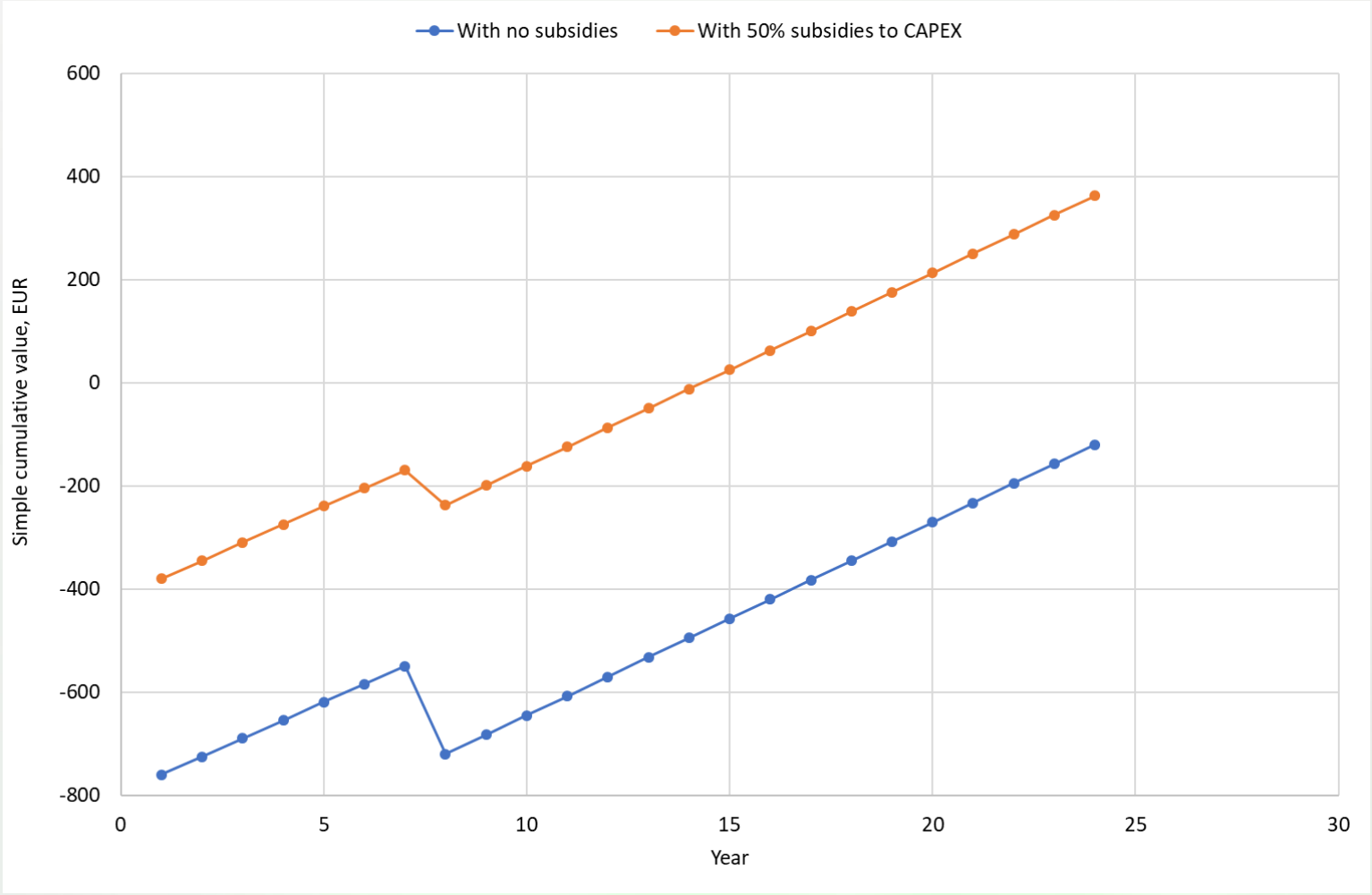
— Термоакумуляторний резервуар (~1 000 000 м³): 70 млн EUR

Разом фаза 2: 3 206 млн EUR

+ теплоізоляція будівель

Лише обладнання, фаза 2: 206 млн EUR

Економічна ефективність програми переходу



SET HEAT

Co-funded by the European Union

Сценарій 2 (візіонерський)

- ВДЕ як у сценарії 1, до 35%
- Решта 65%: скидне тепло (наявна та нова промисловість)

SET HEAT

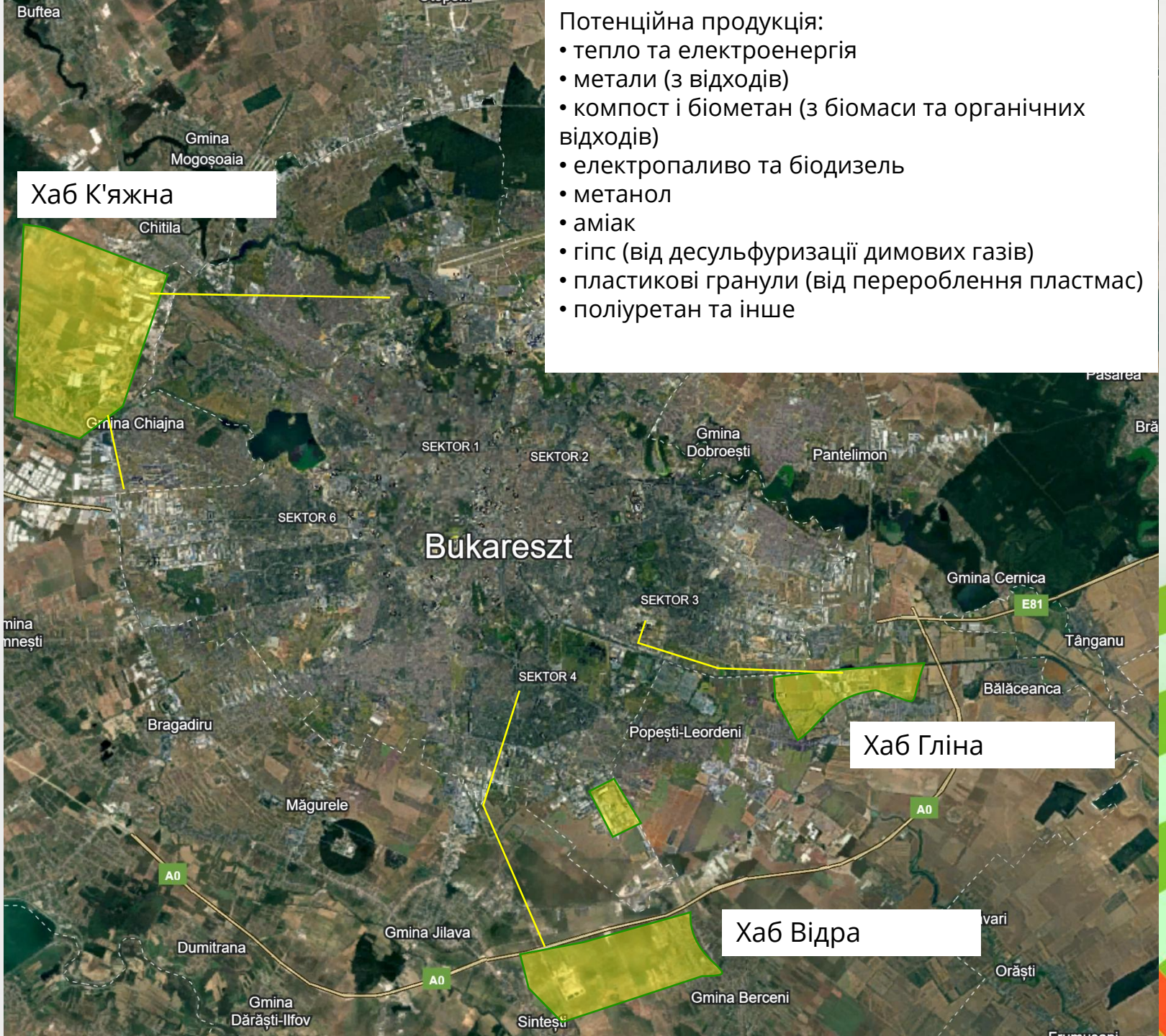
Co-funded by the European Union

Нова енергетична та хімічна інфраструктура (хаби)

SET HEAT

Co-funded by the European Union

Потенційна продукція:
- тепло та електроенергія
- метали (з відходів)
- компост і біометан (з біомаси та органічних відходів)
- електропаливо та біодизель
- метанол
- аміак
- гіпс (від десульфуризації димових газів)
- пластикові гранули (від перероблення пластмас)
- поліуретан та інше

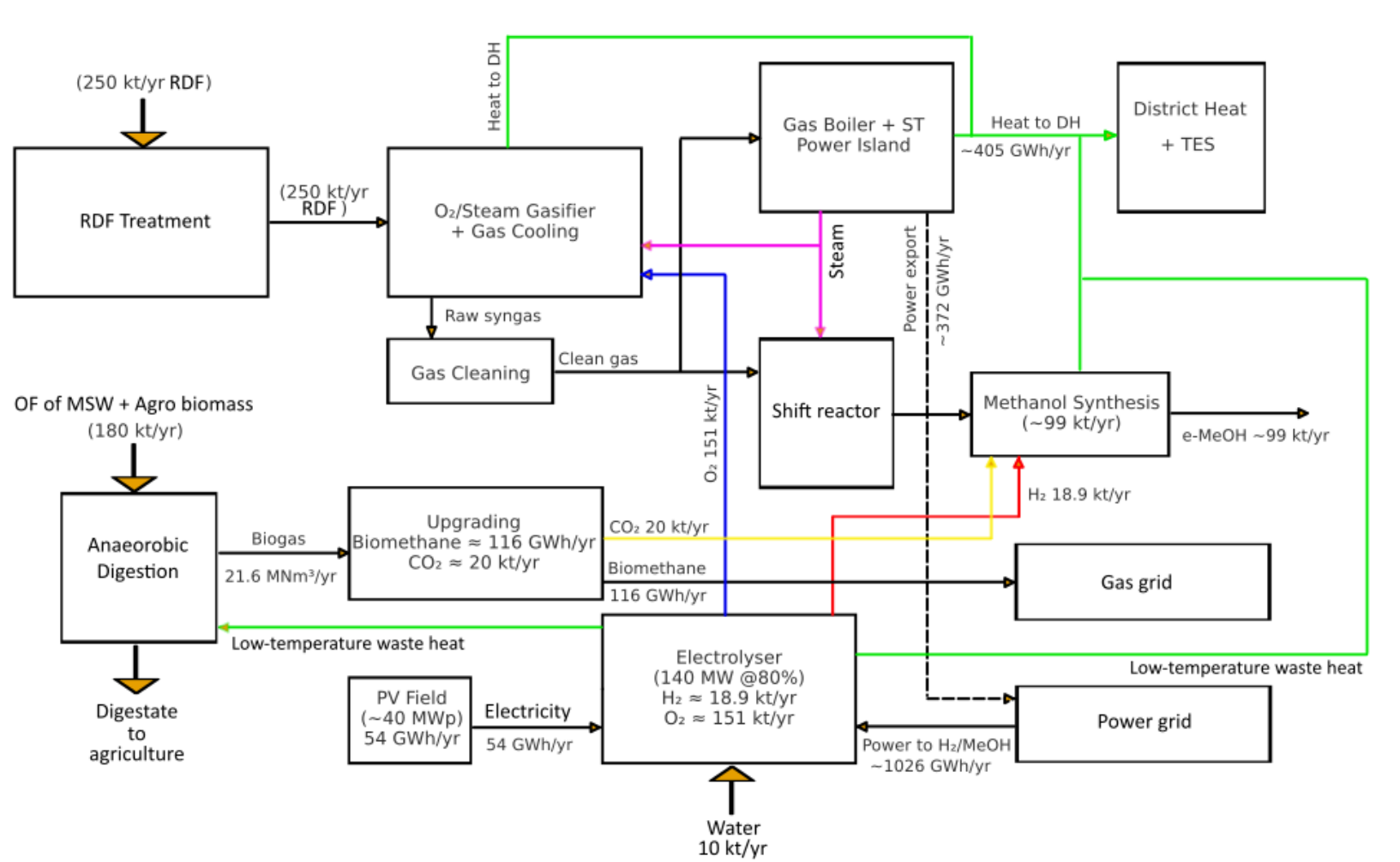


Нова енергетична та хімічна інфраструктура (хаби)

SET HEAT

Co-funded by the European Union

Хаб Гліна: орієнтовна технологічна схема



Орієнтовний CAPEX: 861–1 406 млн EUR

Висновки

- Директива З Енергоефективності ставить перед великими системами ЦТ серйозний виклик щодо декарбонізації.
- Потенціал відновлюваної енергії та скидного тепла обмежений з огляду на просторові та інфраструктурні обмеження.
- Виконати вимоги Директиви у 2035 р. відносно легко, але подальший перехід дуже складний.
- Необхідно створити нову енергетичну інфраструктуру та залучити в міста значні інвестиції.
- Комплексне стратегічне планування є обов'язковим.
- Використання локальних енергоресурсів є спільною рисою планів переходу.

SET HEAT

Co-funded by the European Union

Висновки

- Співпрацю оператора системи ЦТ із зовнішніми стейкхолдерами необхідно суттєво посилити та скоординувати.



Усі до спільної справи!

SET HEAT

Co-funded by
the European Union

Контактна інформація

Сілезький технічний університет
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/

SET HEAT

Co-funded by the European Union