



Green
Transition
Office

Декарбонізація цементної галузі України: виклики і МОЖЛИВОСТІ

Вячеслав Панов

Експерт з питань декарбонізації





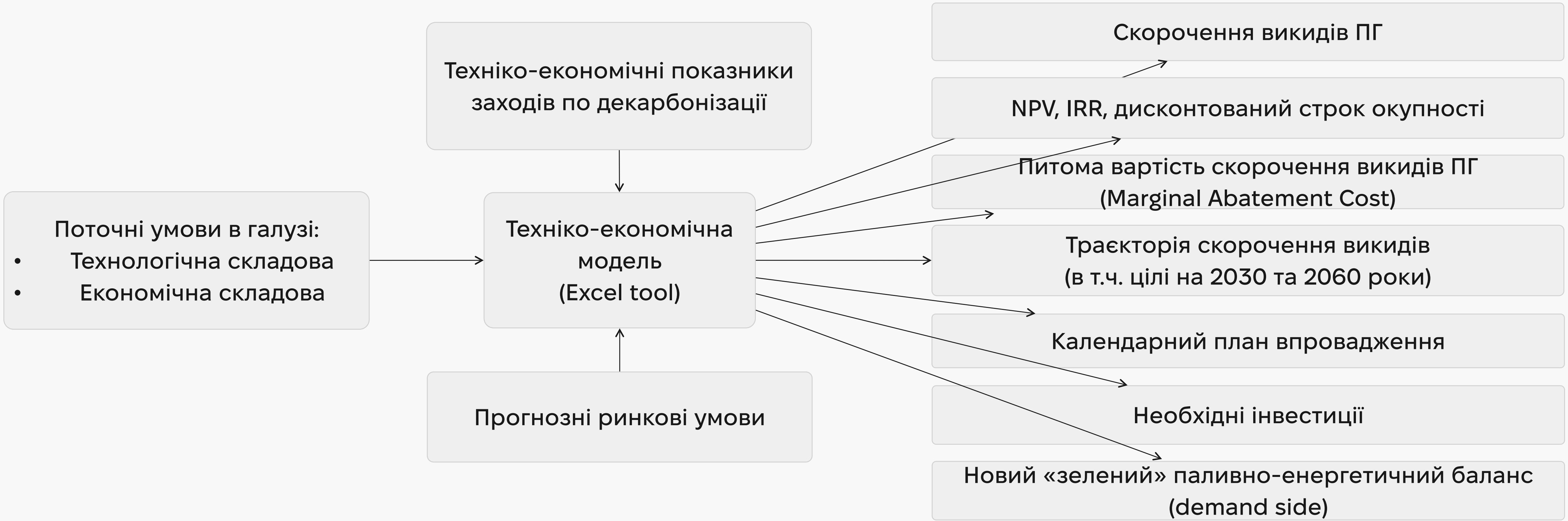
Green
Transition
Office

Внесок цементної галузі у вуглецевий бюджет

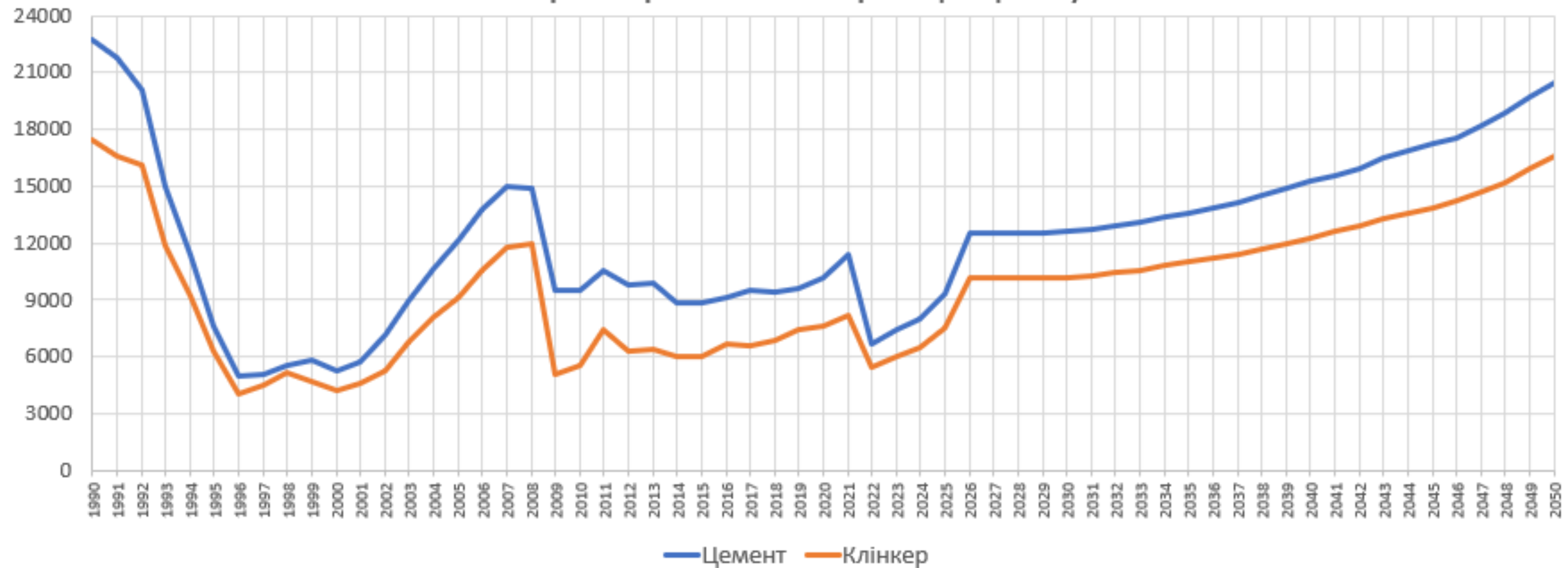
Підхід до моделювання шляхів декарбонізації цементної галузі

Особливості підходу:

- В основі моделі - детальна технологічна складова
- Висока деталізація вхідних і вихідних параметрів
- Можливість сценарного аналізу та оптимізації
- Можливість практичного використання для розробки стратегій декарбонізації державою та бізнесом



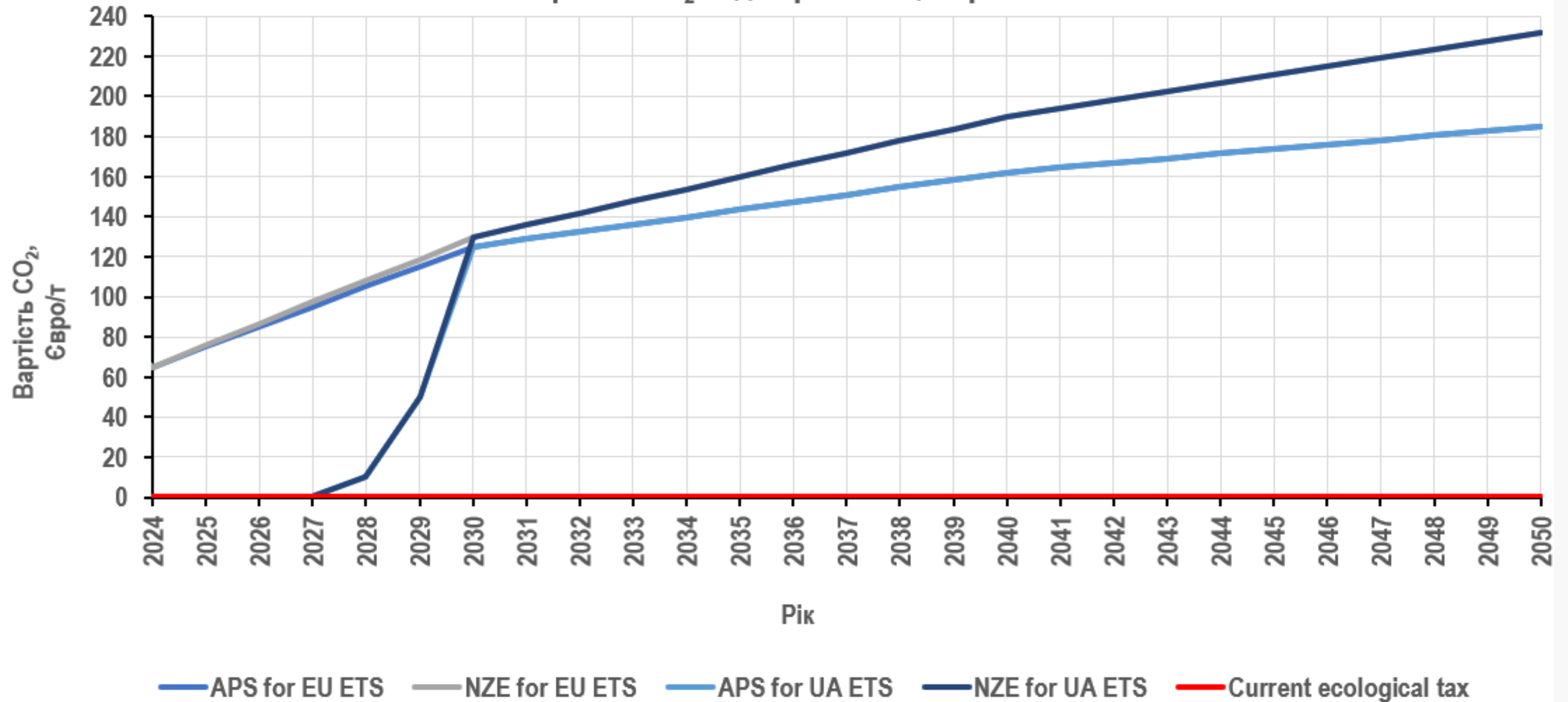
Історичні і прогнозовані обсяги виробництва цементу



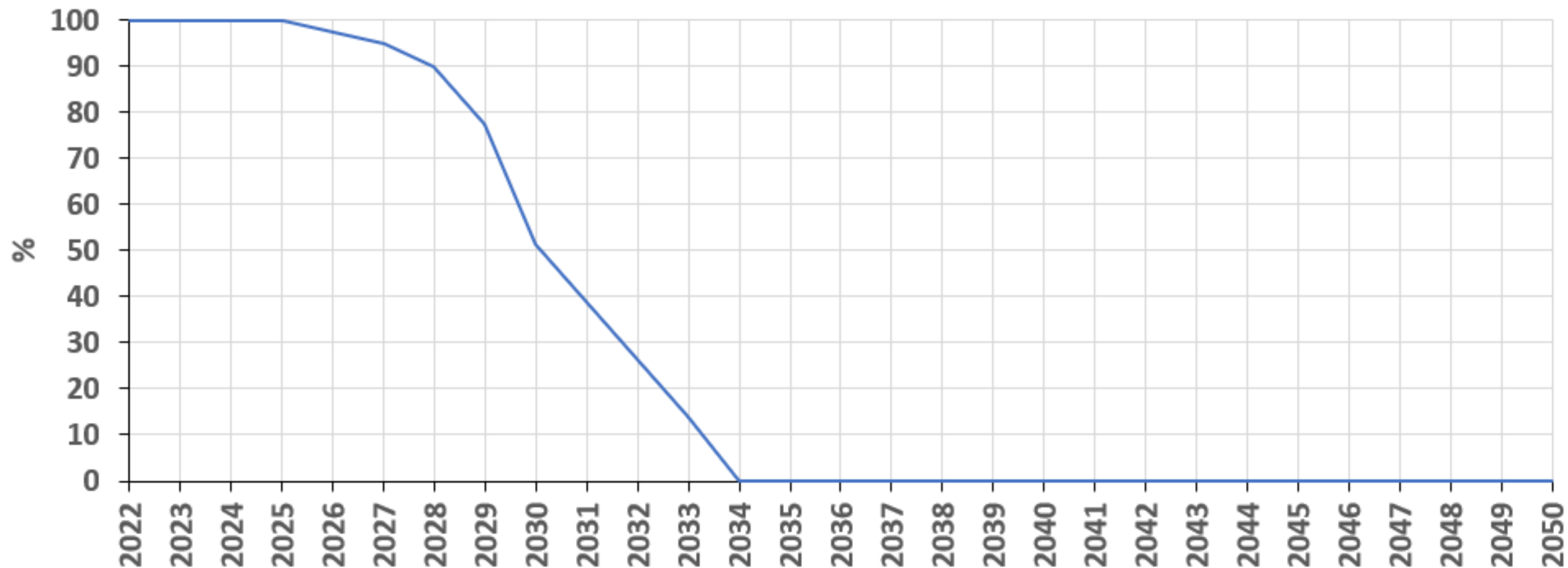
Паливні викиди і викиди від кальцинації



Вартість CO₂ згідно різних сценаріїв



Графік виведення безкоштовних квот з EU ETS



Види палив, які розглядались в техніко-економічному аналізі

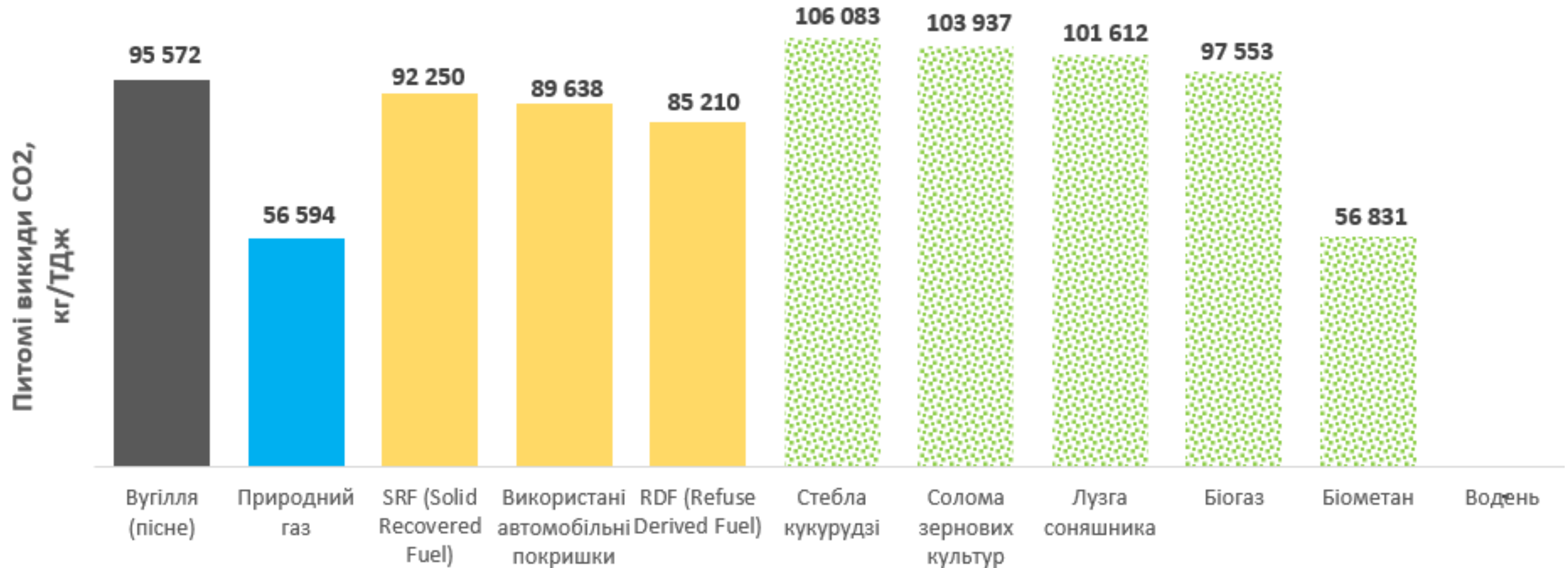
Ultimate composition of fuels								
Fuel category		Викопні	Відходи			Біомаса		
Вид палива		Вугілля	RDF (Refuse Derived Fuel)	SRF (Solid Recovered Fuel)	Автомобільні покришки	Лущпиння соняшника	Солома	Стебла кукурудзи
Джерела даних		coal characteristics handbook (for lean coal)	https://phyllis.nl/Browse/Standard/ECN-Phyllis	https://phyllis.nl/Browse/Standard/ECN-Phyllis	https://phyllis.nl/Browse/Standard/ECN-Phyllis	https://phyllis.nl/Browse/Standard/ECN-Phyllis	https://phyllis.nl/Browse/Standard/ECN-Phyllis	https://phyllis.nl/Browse/Standard/ECN-Phyllis
V^{daf}	%	15,0	90,5	90,3	69,3	78,4	78,0	83,0
LHV (as received)	kcal/kg	5780	4781	4186	7406	3685	3294	3631
Moisture W^{ar}	%	5,00	7,87	7,65	1,12	15,00	13,90	5,53
Ash A^{ar}	%	23,80	13,76	19,21	10,23	2,40	6,40	5,76
Sulfur S^{ar}	%	2,80	0,32	0,15	0,80	0,20	0,14	0,10
Carbon C^{ar}	%	62,70	46,24	43,83	75,35	42,50	38,86	43,72
Hydrogen H^{ar}	%	3,10	7,62	5,85	6,83	4,90	4,71	5,23
Nitrogen N^{ar}	%	0,90	1,03	0,64	0,59	0,40	0,46	0,66
Oxygen O^{ar}	%	1,70	23,16	22,67	5,07	34,60	35,53	38,95
Sum check	%	100,0	100,0	100,00	100,0	100,0	100,0	100,0

Види палив, які розглядались в техніко-економічному аналізі

Fuel category		Викопні	Відновлювальні		
Вид палива		Природний газ	Біогаз	Біометан	Водень
Джерела даних		fuels characteristics handbook	https://pdf.sciencedirectassets.com/271431/1-s2.0-S09601		https://ec.europa.eu/eur-ostat/documents/38154/16135593/Hydrogen+-+Reporting+instructions.pdf/
LHV (as received)	kcal/nm ³	8910	4777	8200	2577
	kcal/kg	11408	3981	11233	28662
Density of fuel	kg/nm ³	0,781	1,20	0,73	0,0899
Moisture content	g/m ³ of dry gas	10,1	5,0	1,0	0,0
Methane CH ₄	%	92,8	57,2	96,2	0,0
Ethane C ₂ H ₆	%	3,9	0,0	0,0	0,0
Propane C ₃ H ₈	%	1,0	0,0	0,0	0,0
Butane C ₄ H ₁₀	%	0,4	0,0	0,0	0,0
Pentane C ₅ H ₁₂	%	0,3	0,0	0,0	0,0
Ethylene C ₂ H ₄	%	0,0	0,0	0,0	0,0
N ₂	%	1,5	1,1	1,1	0,0
CO ₂	%	0,1	41,5	2,5	0,0
Hydrogen sulphide H ₂ S	%	0,0	0,0	0,0	0,0
O ₂	%	0,0	0,2	0,2	0,0
CO	%	0,0	0,0	0,0	0,0
H ₂	%	0,0	0,0	0,0	100,0
Sum check	%	100,0	100,0	100,0	100,0

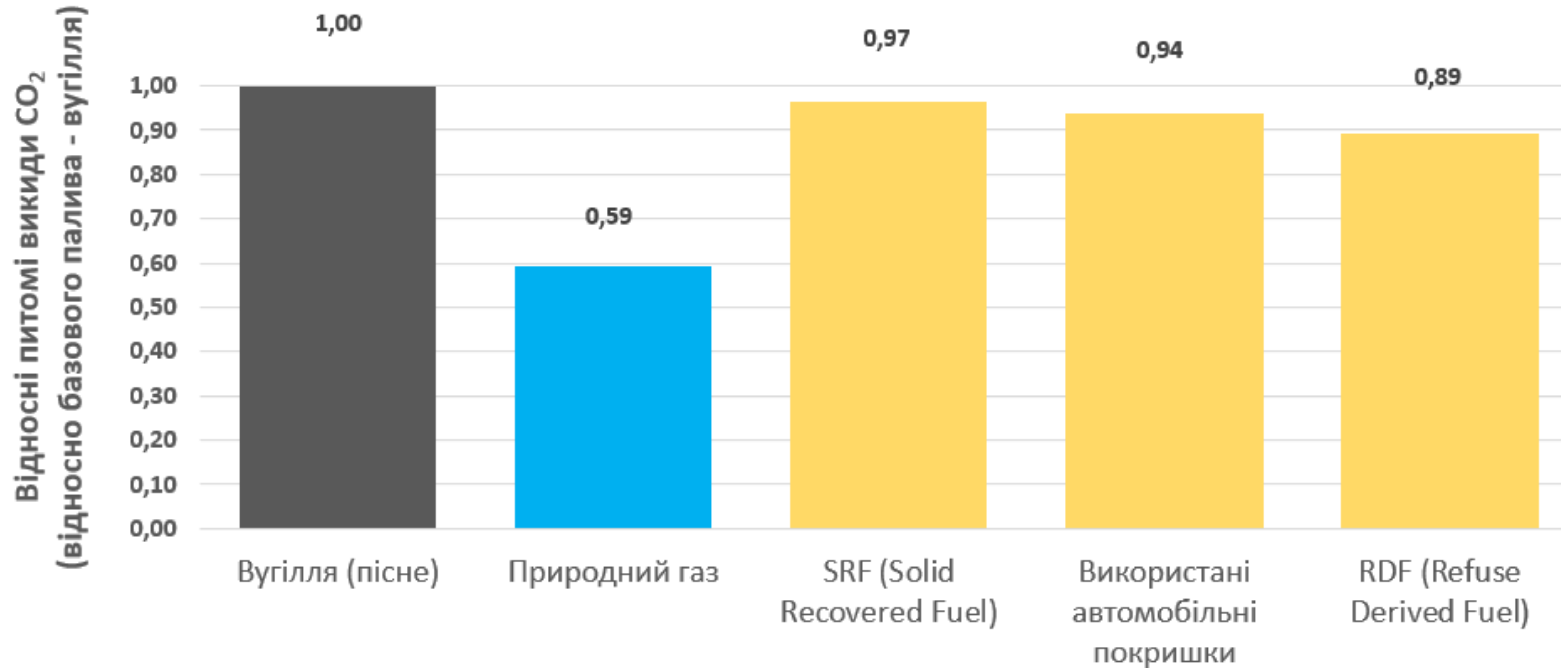
Питомі викиди CO₂: потенціал різних палив

Питомі викиди CO₂ (не біогенні + біогенні) при спалюванні різних палив



Питомі викиди CO₂: потенціал різних палив

Відносні питомі викиди CO₂ (не біогенні) при спалюванні різних палив
(приведено до ТДж тепла, внесеного з паливом)



Цілі по скороченню викидів провідних світових гравців галузі



2030 : Targets :

1.5c aligned targets

520kg net CO₂ emissions per tonne of cementitious product by 2030

CRH commits to reduce gross Scope 1 and Scope 2 Greenhouse Gas (GHG) emissions 33.5% per tonne of cementitious product by 2030 from a 2021 base year.

Absolute Group wide CO₂e emissions by 30% by 2030 to 34 million tonnes.

2050 Target : Net Zero
by 2050



2030 Targets

- 1.5c aligned targets (SBTI)
- Holcim commits to reduce gross Scope 1 and 2 GHG emissions by 26.2% per ton of cementitious materials by 2030 from a 2018 base year.
- Region Europe target 285kg CO₂ net per tonne of cement
- Group 420kg net CO₂ emissions per tonne of cement by 2030.
- 50% of cement sales to be Green / Low carbon

Net Zero by **2050**



Heidelberg
Materials

2050 Target:
Net Zero by
2050

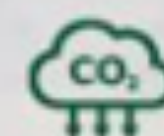
2030 Targets



1.5c aligned targets (SBTI)



In 2019, Heidelberg Materials became the first cement company to secure SBTI validation for its emissions reduction commitments.



Commit to reduce CO₂ emissions to 400kg CO₂/t CEM by 2030



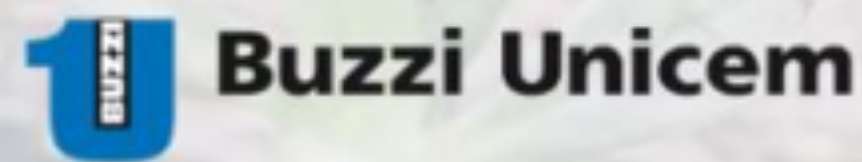
50% of revenue through sustainable projects that are either low carbon or circular.



2030 Targets:

- 1.5c aligned targets (SBTI)
- 430kg of CO₂ per tonne of cement by 2030
- 2025 goal of 50% of cement sales via low carbon alternative (Vertua) achieved (56% cement / 48% concrete)

Net zero —————
————— by 2050



2030 Targets:

-  1.5c aligned targets (SBTI)
-  Reduction of Scope 1/2 emissions by 21.2% of cementitious product by 2030
-  Less than 500kg of CO₂ per tonne of cement

Net zero by 2050



2030 Targets

- **1.5c aligned targets (SBTI)**
- **608kg of CO₂ per tonne of cement**

2050 Targets

- **First company in Türkiye to make a net zero commitment**
- **95.8% emission reduction per tonne of cement by 2050 / Scope 3 gas emissions by 90%**



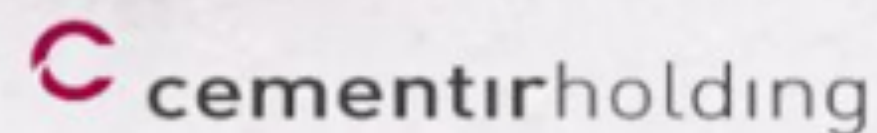
2030 Targets

500kg of CO₂ per tonne of cement

60% of products to be green

2050 Target

Net Zero by 2050



2030 Targets:

- **458kg** of CO₂ per tonne of grey cement
- **737kg** of CO₂ per tonne of white cement

Net zero by 2050

2030 Targets:



- **497kg** of CO₂ per tonne of cement
- **50%** alternative fuel use within the group

2050 Target:

- **Net zero** by 2050

Досвід українських цементних підприємств по впровадженню проектів скорочення викидів ПГ: Проекти спільного впровадження

Цементний завод	Назва проекту	Ідентифікатор проекту (Project ID)	Обсяг верифікованих скорочень викидів CO ₂ (ОСВ) в проекті, тон
АТ «Подільський цемент»	Перехід від мокрого до сухого процесу на заводі Подільський цемент, Україна	UA20000001	504 955
АТ «Волинь-Цемент»	Використання шлаку та перехід від мокрого до напівсухого процесу на заводі Волинь-Цемент, Україна	UA20000017	Немає даних про верифіковані ОСВ
ПрАТ «ХайдельбергЦемент Україна» (Кривий Ріг Цемент)	Використання альтернативних сировинних матеріалів на заводі Кривий Ріг Цемент, Україна	UA20000021	373 753
АТ «Югцемент»	Використання шлаку та перехід від мокрого до сухого процесу на заводі Югцемент, Україна	UA20000027	18 123
АТ «Івано-Франківськ Цемент»	Перехід заводу Івано-Франківськ Цемент з мокрої на суху технологію виробництва цементу і економія палива на сушку вугілля	UA1000100	620 844

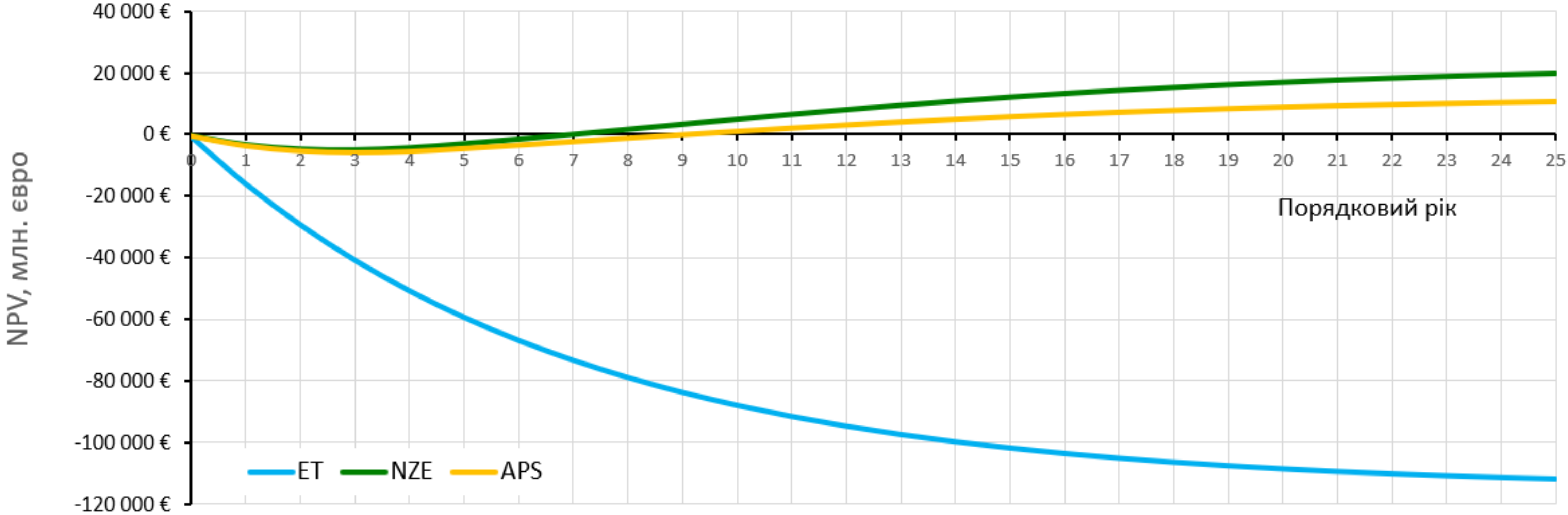


Результати техніко- економічного моделювання: суха технологія виробництва клінкеру

Захід 1 – Залучення альтернативних палив в паливний баланс

Захід 1: перехід на альтернативні палива. MIX1 - 50% вугілля + 50% біогазу

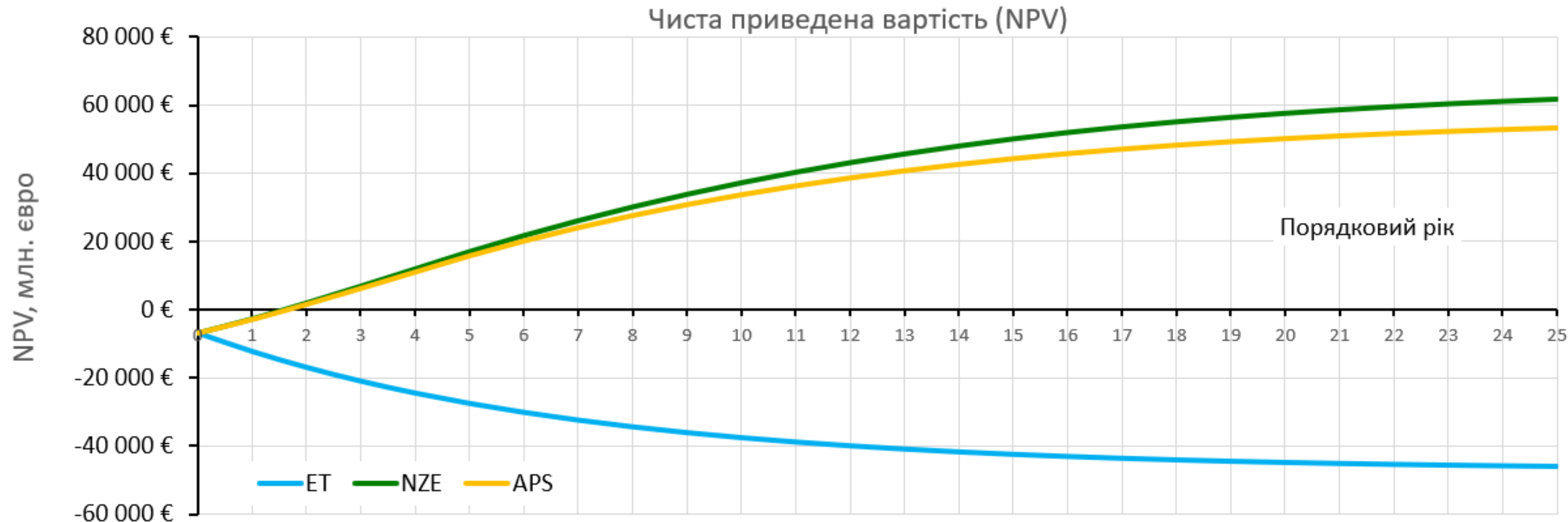
Чиста приведена вартість (NPV)



Сценарій цін на CO ₂	ET	NZE	APS
NPV, тис.євро	-111 939	19 705	10 618
IRR, %	-	36,9	28,5
T _{окуп.дисконт.} років	збитковий	7,0	9,0

Витрата палив:		
Вугілля	69 206	т/рік
Біогаз	83 737	тис.нм ³ /рік
Скорочення CO ₂		
	161 379	т/рік

Захід 1: перехід на альтернативні палива. MIX2 - 60% вугілля + 20% біометану + 20% стебла кукурудзи



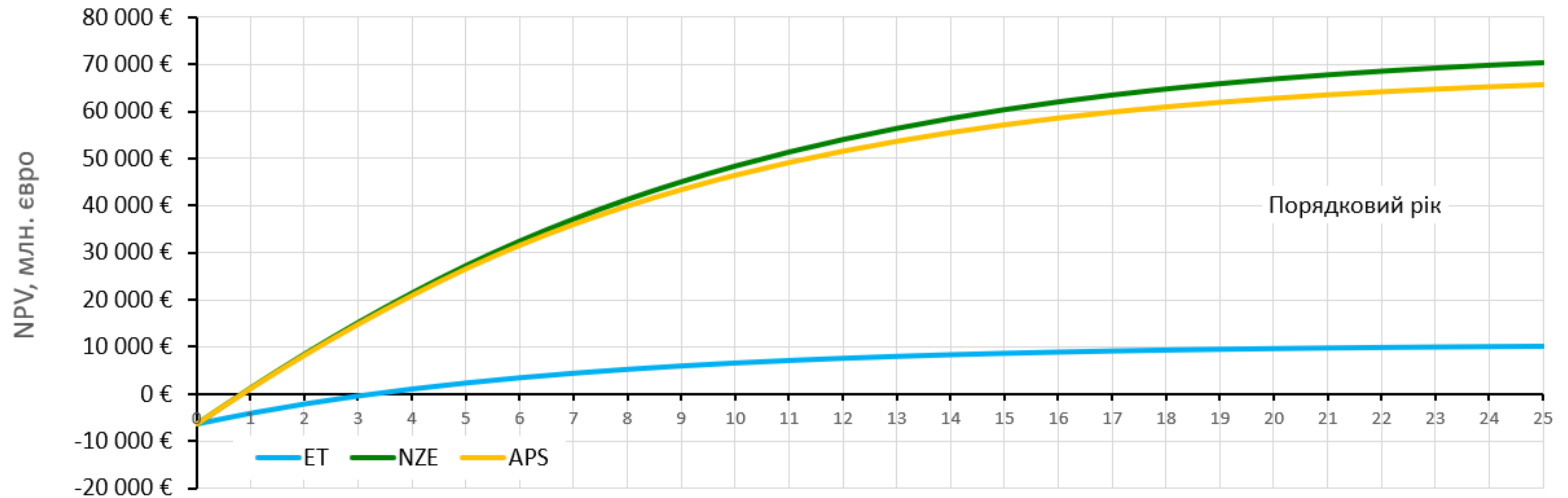
Сценарій цін на CO ₂	ET	NZE	APS
NPV, тис.євро	-45 975	61 760	53 365
IRR, %	-	93,2	89,2
T _{окуп.дисконт.} , років	збитковий	1,5	1,6

Витрата палив:		
Вугілля	83 047	т/рік
Біометан	19 513	тис.нм ³ /рік
Стебла кукурудзи	44 066	т/рік

Скорочення CO₂ 129 075 т/рік

Захід 1: перехід на альтернативні палива. MIX3 - 60% вугілля + 20% RDF + 20% лушпиння

Чиста приведена вартість (NPV)



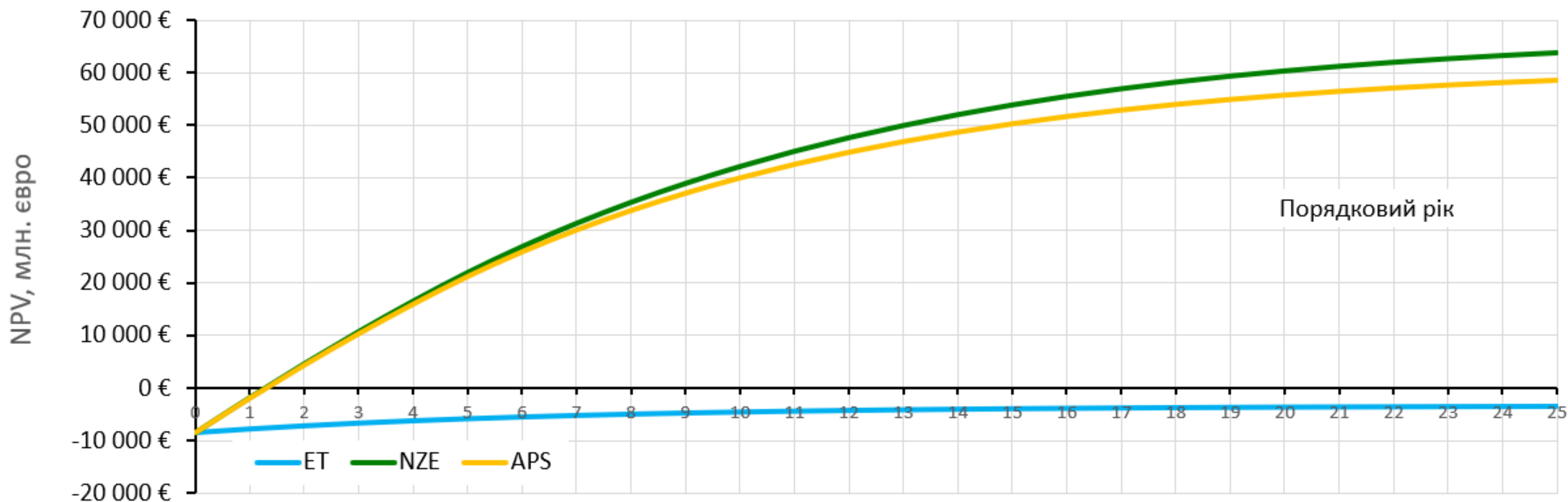
Сценарій цін на CO ₂	ET	NZE	APS
NPV, тис.євро	10 227	70 298	65 617
IRR, %	41	145,7	143,5
T _{окуп.дисконт.} років	3,3	1,0	1,0

Витрата палив:		
Вугілля	83 047	т/рік
RDF	33 467	т/рік
Лушпиння	43 420	т/рік

Скорочення CO₂ 71 970 т/рік

Захід 1: перехід на альтернативні палива. MIX4 - 75% вугілля + 25% солома

Чиста приведена вартість (NPV)

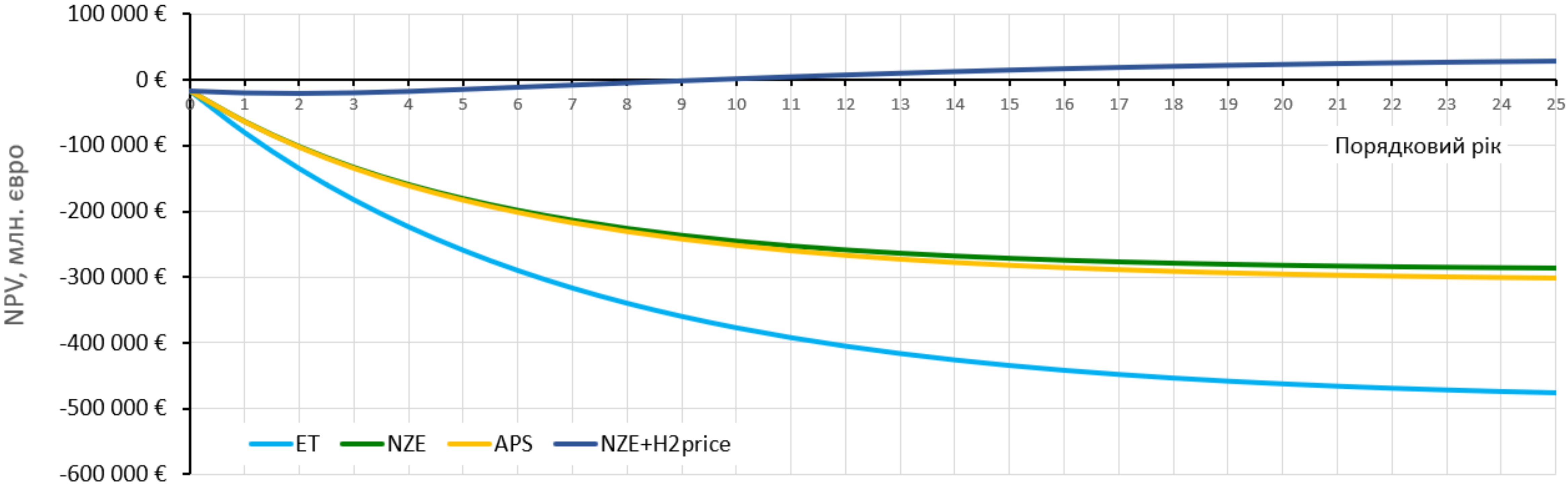


Сценарій цін на CO ₂	ET	NZE	APS
NPV, тис.євро	-3 509	63 752	58 511
IRR, %	8,0	100,6	98,5
T _{окуп.дисконт.} років	збитковий	1,3	1,3

Витрата палив:		
Вугілля	103 809	т/рік
Солома	60 718	т/рік
Скорочення CO ₂		
	80 583	т/рік

Захід 1: перехід на альтернативні палива. MIX5 - 30% вугілля + 40% водню + 30% біогазу

Чиста приведена вартість (NPV)



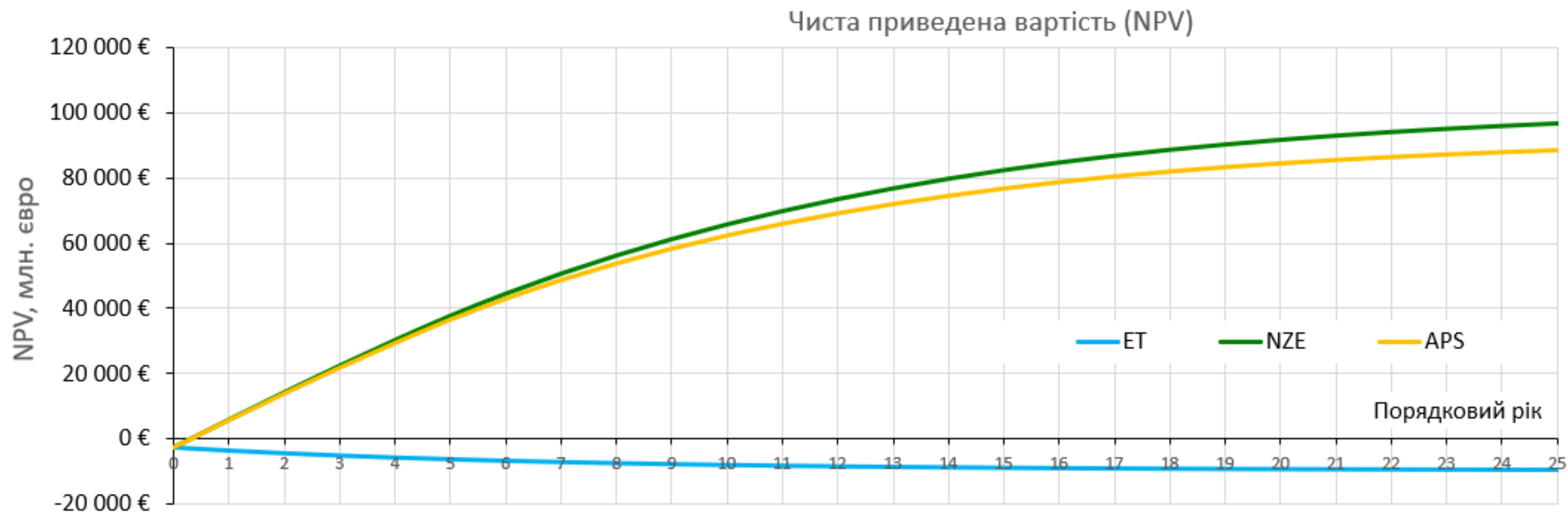
Сценарій цін на CO ₂	ET	NZE	APS	NZE+H ₂ price (6→3 €/кг)
NPV, тис.євро	-475 170	-286 591	-301 285	28 716
IRR, %	-	-	-	25,5
T _{окуп.дисконт.} , років	збитковий	збитковий	збитковий	9,4

Витрата палив:

Вугілля	41 524	т/рік
Водень	11 165	т/рік
Біогаз	50 242	тис.нм ³ /рік
Скорочення CO ₂	225 933	т/рік

Захід 2 – заміна частини сировини на безкарбонатну (на прикладі доменного шлаку)

Захід 2: заміна частини сировини на безкарбонатну (домений шлак)



Сценарій цін на CO ₂	ET	NZE	APS
NPV, тис.євро	-9 275	96 965	88 687
IRR, %	-	371,7	363,8
T _{окуп.дисконт.} років	збитковий	<1,0	<1,0

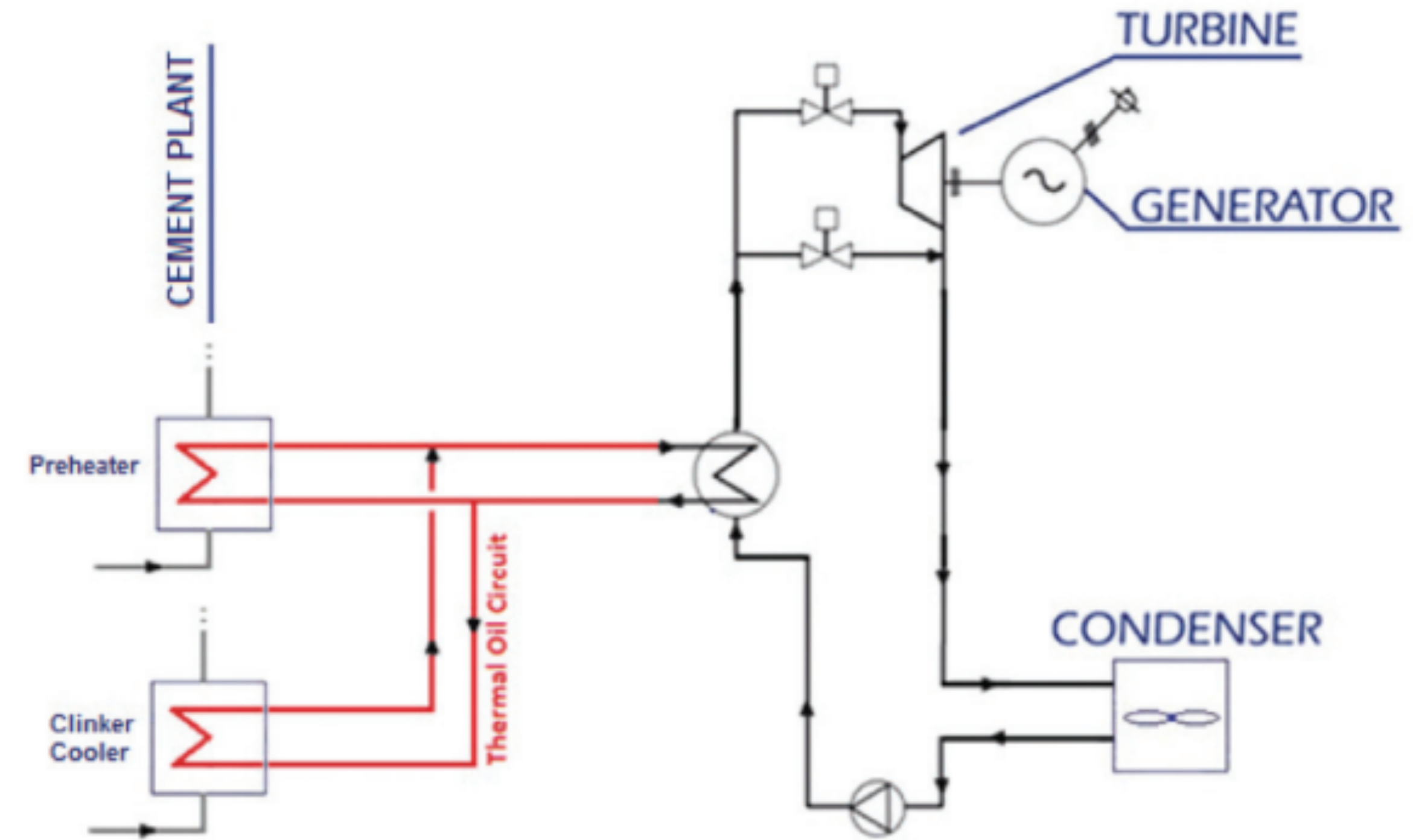
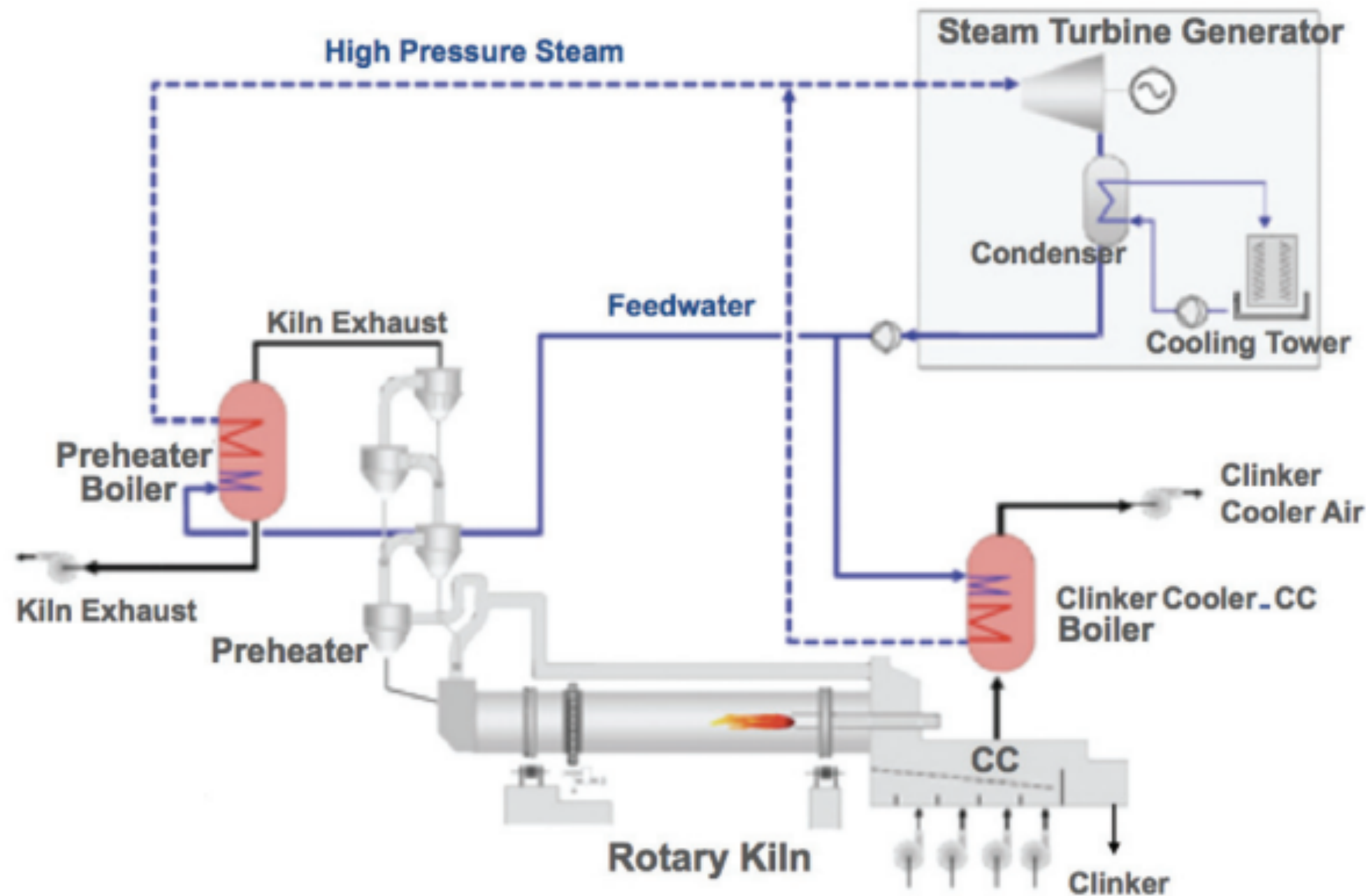
Скорочення CO₂ 127 284 т/рік

Витрата шлаку:

Доля шлаку в суміш 18,1 %
Річна витрата 255 081 т/рік

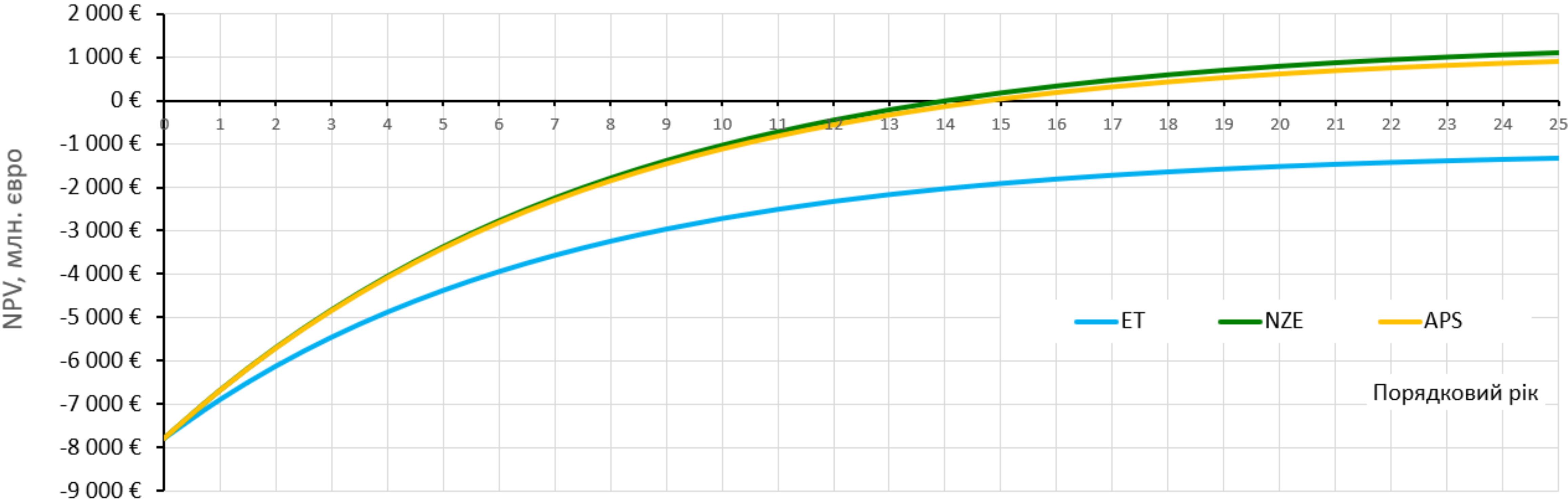
Захід 3 – впровадження системи утилізації скидного тепла (WHRS)

Принципова схема систем утилізації тепла на базі паросилового циклу і ORC



Захід 3: Впровадження системи утилізації скидного тепла (WHRs). $W^{raw} = 12\%$

Чиста приведена вартість (NPV)



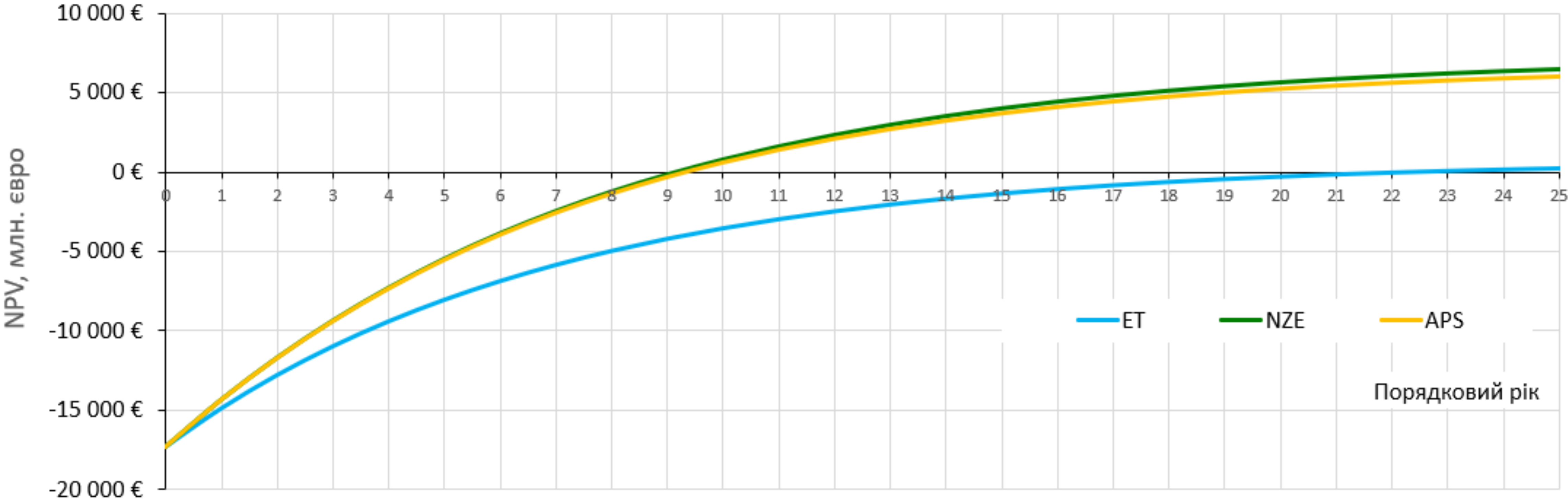
Сценарій цін на CO ₂	ET	NZE	APS
NPV, тис.євро	-1 330	1 103	914
IRR, %	12,5	17,7	17,4
T _{окуп.дисконт.} , років	збитковий	14,0	14,7

Скорочення CO ₂	2 916	т/рік
----------------------------	-------	-------

Показники ORC:		
N _e (бруто)	1,56	МВт
t газів на вході	300	°C
ККД електричний	18,00	%
Річна генерація e/e	9 850	МВт·год

Захід 3: Впровадження системи утилізації скидного тепла (WHRS). $W^{raw} = 8\%$

Чиста приведена вартість (NPV)

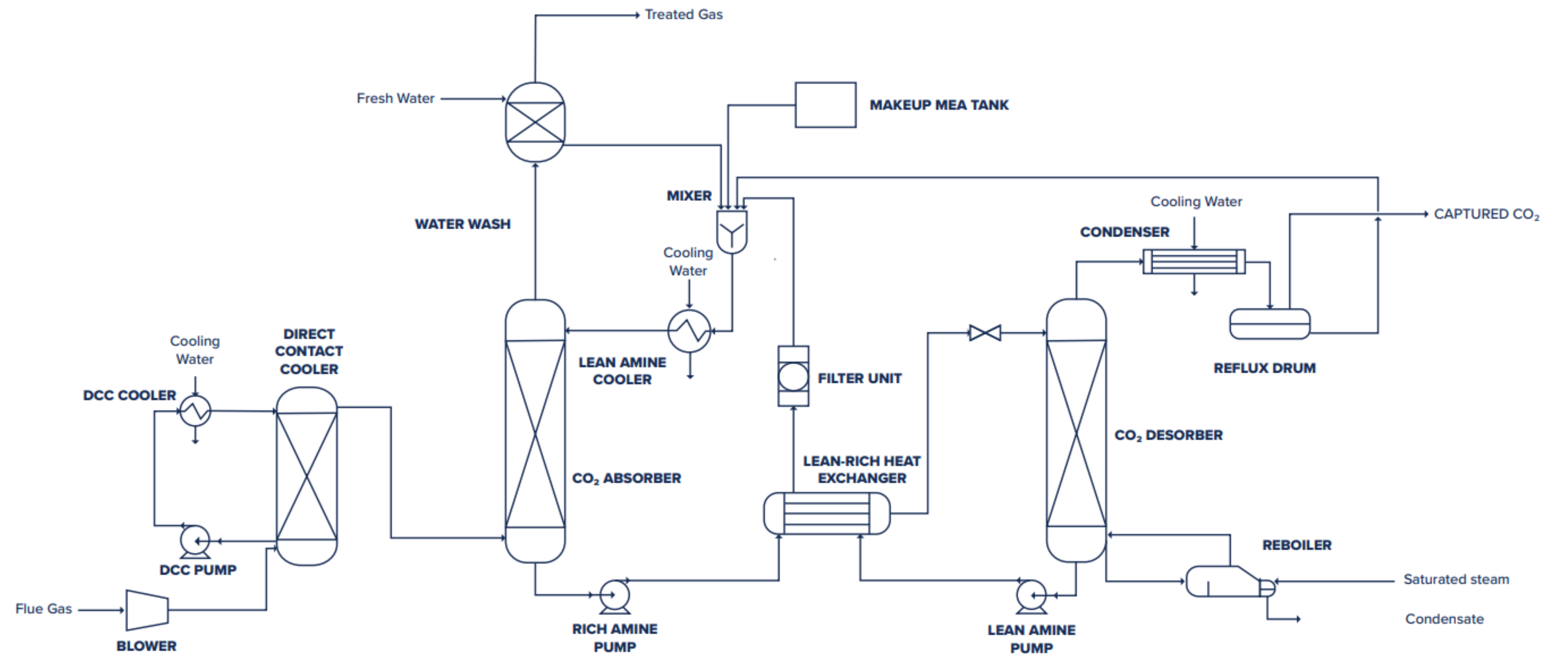


Сценарій цін на CO ₂	ET	NZE	APS
NPV, тис.євро	213	6 501	6 011
IRR, %	16	21,4	21,0
T _{окуп.дисконт.} , років	22,5	9,2	9,4
Скорочення CO ₂	7 533	т/рік	

Показники ORC:		
N _е (бруто)	4,04	МВт
t газів на вході	320	°C
ККД електричний	20,00	%
Річна генерація е/е	25 451	МВт·год

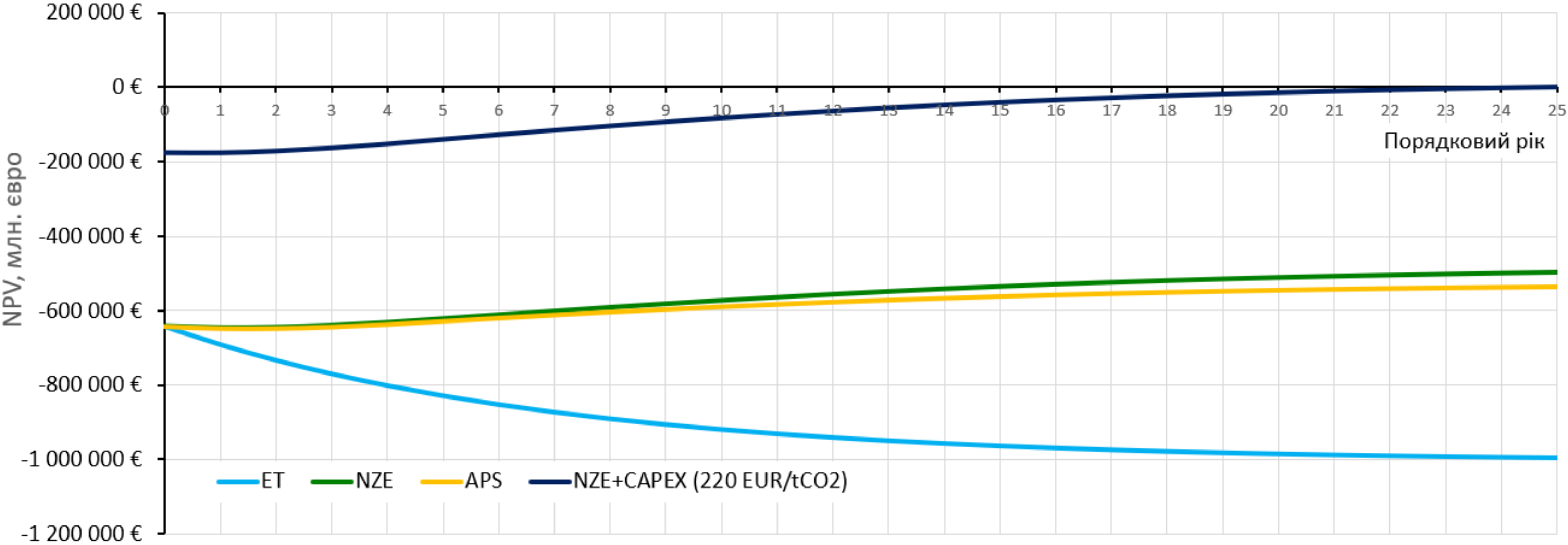
Захід 4 – вловлювання вуглецю CCUS (технологія з аміновим сорбентом)

Принципова схема CCUS по технології амінового сорбента



Захід 4: Вловлювання вуглецю (CCUS, сорбент - амін)

Чиста приведена вартість (NPV)



Сценарій цін на CO ₂	ET	NZE	APS	NZE+CAPEX (220 EUR/tCO ₂)
NPV, тис.євро	-995 718	-496 578	-535 471	423
IRR, %	-	3,7	1,4	15,5
T _{окуп.дисконт.} , років	збитковий	збитковий	збитковий	24,8

Показники CCUS:		
Ефект. вловлювання CO ₂	90,0	%
CAPEX	816	EUR/tCO ₂
Скорочення CO ₂	595 097	т/рік

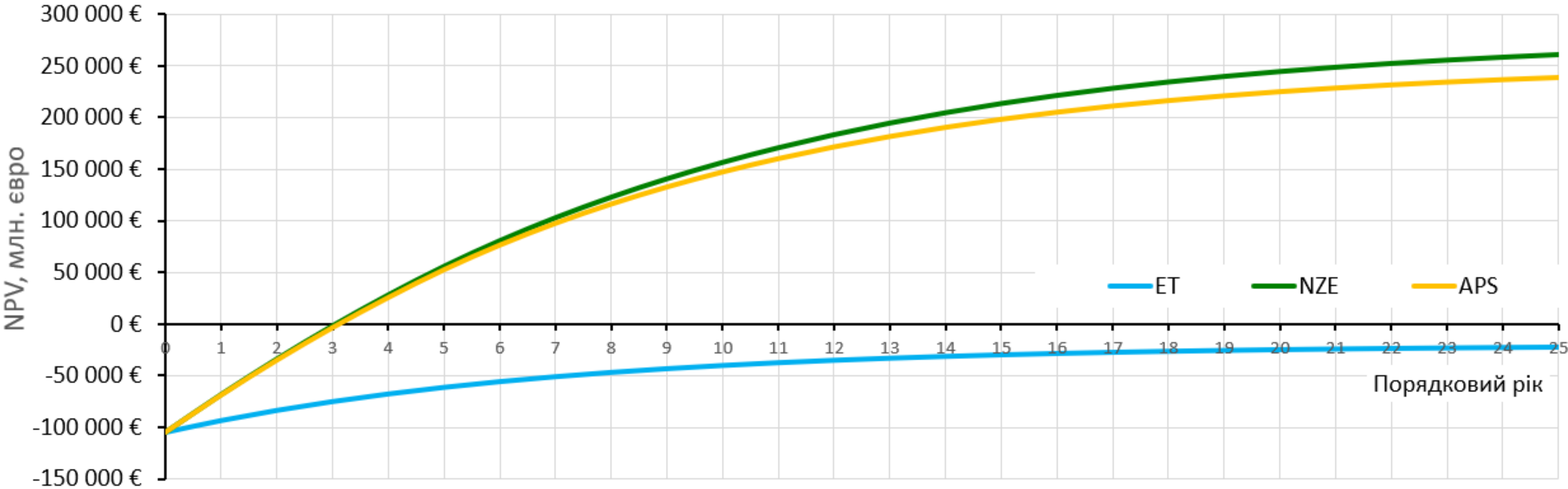


Результати техніко- економічного моделювання: мокра технологія виробництва клінкеру

Захід 1 – Реконструкція з переходом з мокрої на суху технологію виробництва

Захід 1: Реконструкція з переводом з мокрої на суху технологію виробництва

Чиста приведена вартість (NPV)

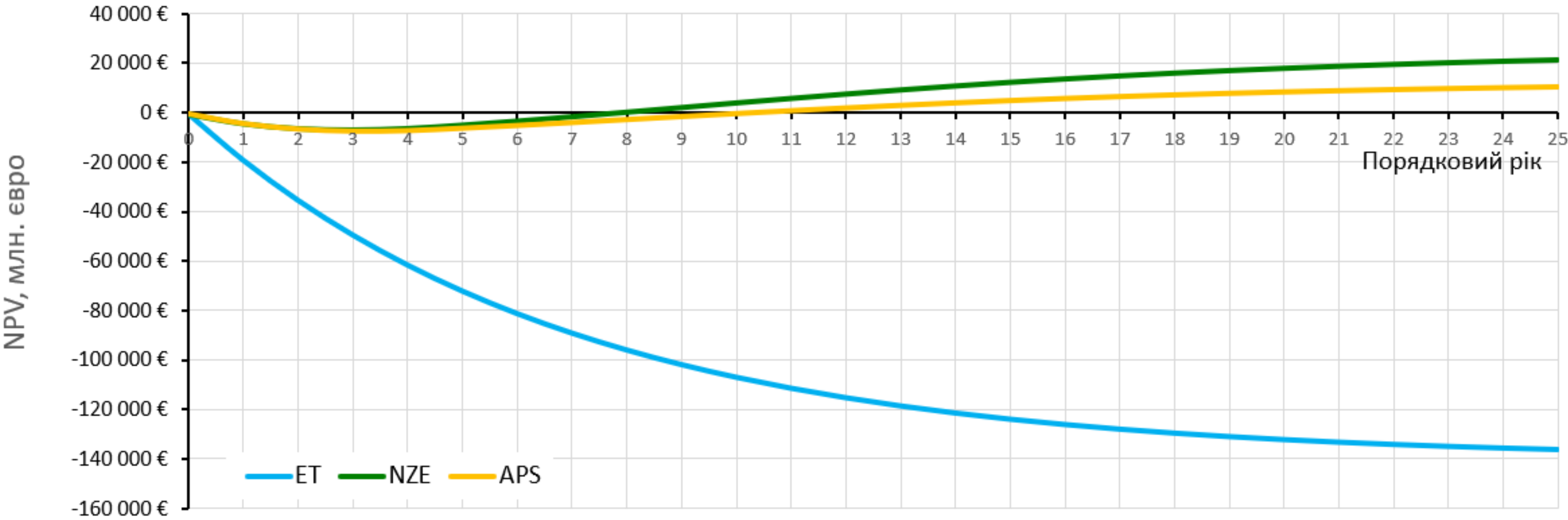


Сценарій цін на CO ₂	ET	NZE	APS	Скорочення CO ₂	
NPV, тис.євро	-22 443	261 451	239 330	340 129	т/рік
IRR, %	11,7	47,1	46,0		
T _{окуп.дисконт.} , років	збитковий	3,0	3,1		

Захід 2 – Залучення альтернативних палива в паливний баланс

Захід 2: перехід на альтернативні палива. MIX1 - 70% вугілля + 30% біогазу

Чиста приведена вартість (NPV)

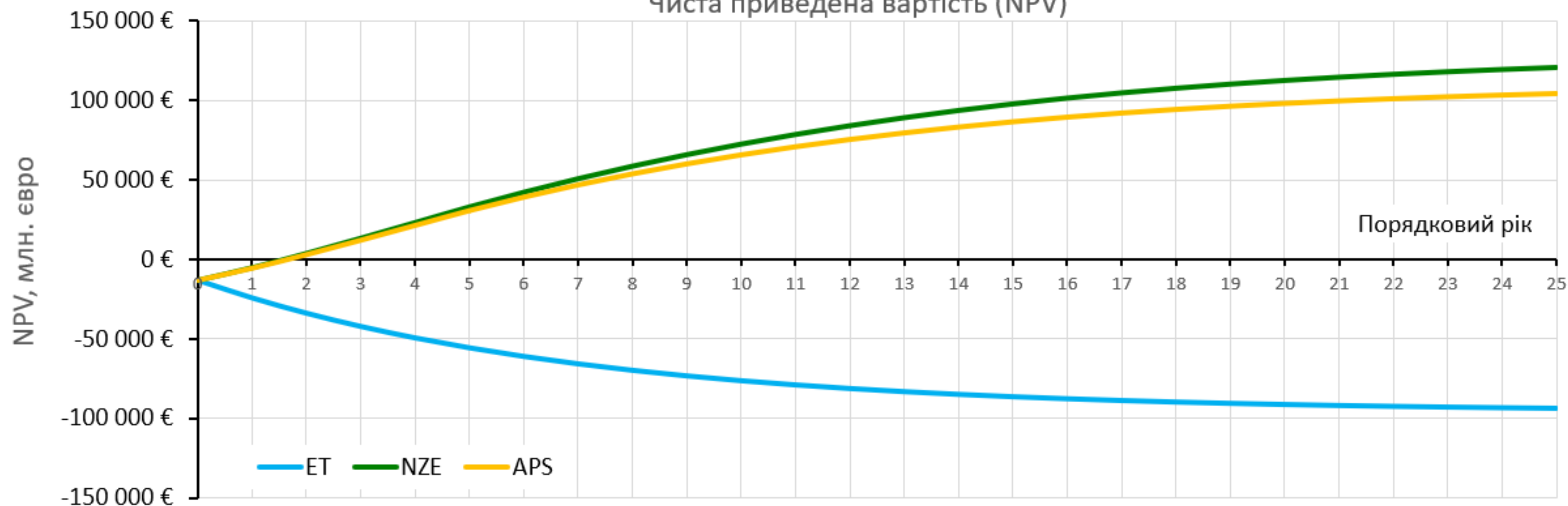


Сценарій цін на CO ₂	ET	NZE	APS
NPV, тис.євро	-136 283	21 379	10 519
IRR, %	-	33,8	25,7
T _{окуп.дисконт.} , років	збитковий	7,8	10,4

Витрата палив:		
Вугілля	193 776	т/рік
Біогаз	100 484	тис.нм ³ /рік
Скорочення CO ₂		
	192 862	т/рік

Захід 2: перехід на альтернативні палива. MIX2 - 60% вугілля + 20% біометану + 20% стебла кукурудзи

Чиста приведена вартість (NPV)



Сценарій цін на CO ₂	ET	NZE	APS
NPV, тис.євро	-93 620	120 966	104 246
IRR, %	-	93,6	89,5
T _{окуп.дисконт.} , років	збитковий	1,6	1,6

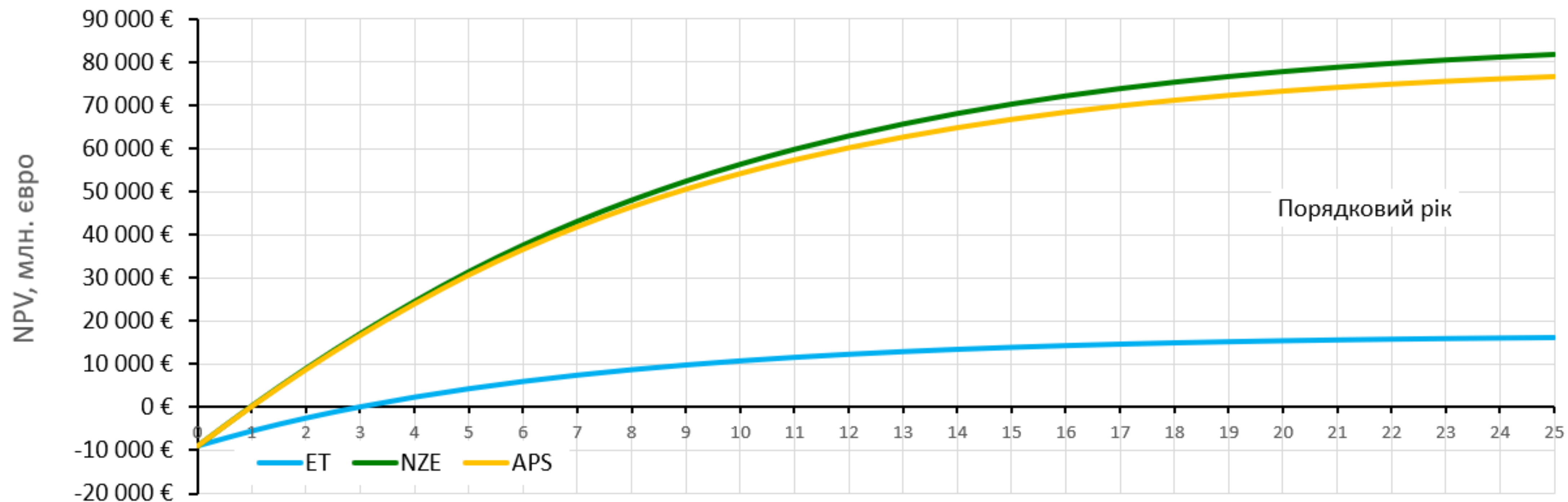
Витрата палив:

Вугілля	166 094	т/рік
Біометан	39 025	тис.нм ³ /рік
Стебла кукурудзи	88 132	т/рік

Скорочення CO₂ | 257 093 | т/рік

Захід 2: перехід на альтернативні палива. MIX3 - 70% вугілля + 20% RDF + 10% лушпиння

Чиста приведена вартість (NPV)



Сценарій цін на CO ₂	ET	NZE	APS
NPV, тис.євро	16 125	81 750	76 637
IRR, %	-	127,6	125,7
T _{окуп.дисконт.} , років	3,0	1,0	1,0

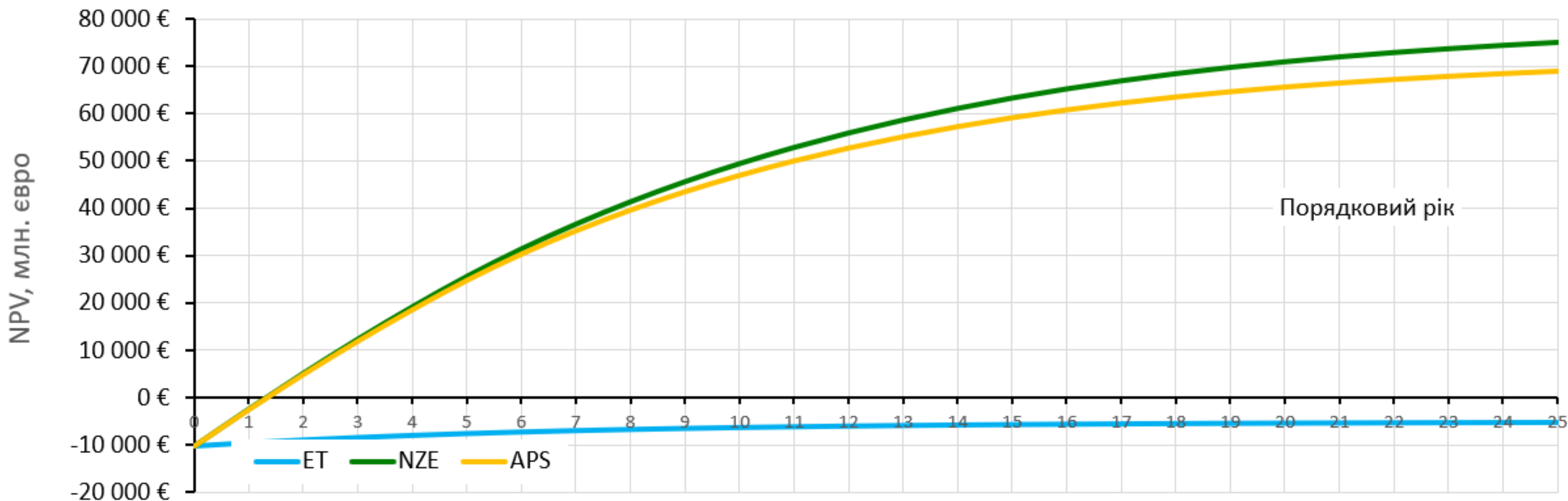
Витрата палив:

Вугілля	193 776	т/рік
RDF	66 933	т/рік
Лушпиння	43 420	т/рік

Скорочення CO₂ | 78 624 т/рік

Захід 2: перехід на альтернативні палива. MIX4 - 85% вугілля + 15% солома

Чиста приведена вартість (NPV)



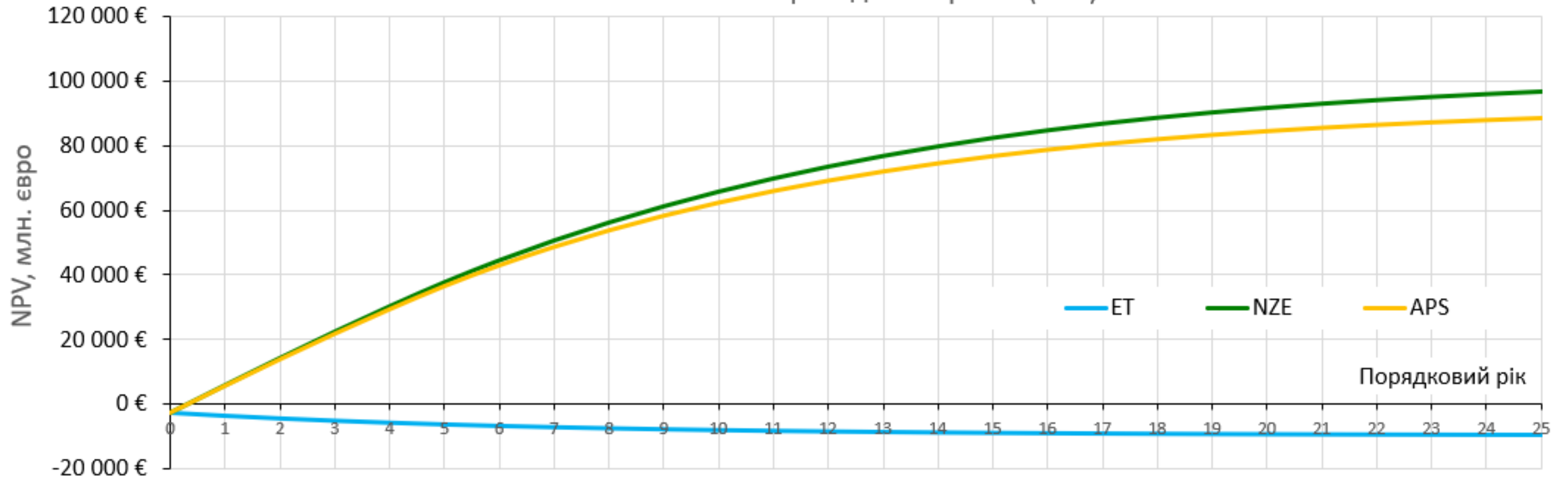
Сценарій цін на CO ₂	ET	NZE	APS
NPV, тис.євро	-5 205	75 176	68 913
IRR, %	-	98,8	96,7
T _{окуп.дисконт.} , років	збитковий	1,3	1,3

Витрата палив:		
Вугілля	235 300	т/рік
Солома	72 862	т/рік
Скорочення CO ₂	96 304	т/рік

Захід 3 – заміна частини сировини на безкарбонатну (на прикладі доменного шлаку)

Захід 3: заміна частини сировини на безкарбонатну (домений шлак)

Чиста приведена вартість (NPV)



Сценарій цін на CO ₂	ET	NZE	APS
NPV, тис.євро	-9 275	96 965	88 687
IRR, %	-	371,7	363,8
T _{окуп.дисконт.} , років	збитковий	<1,0	<1,0

Скорочення CO₂ 127 284 т/рік

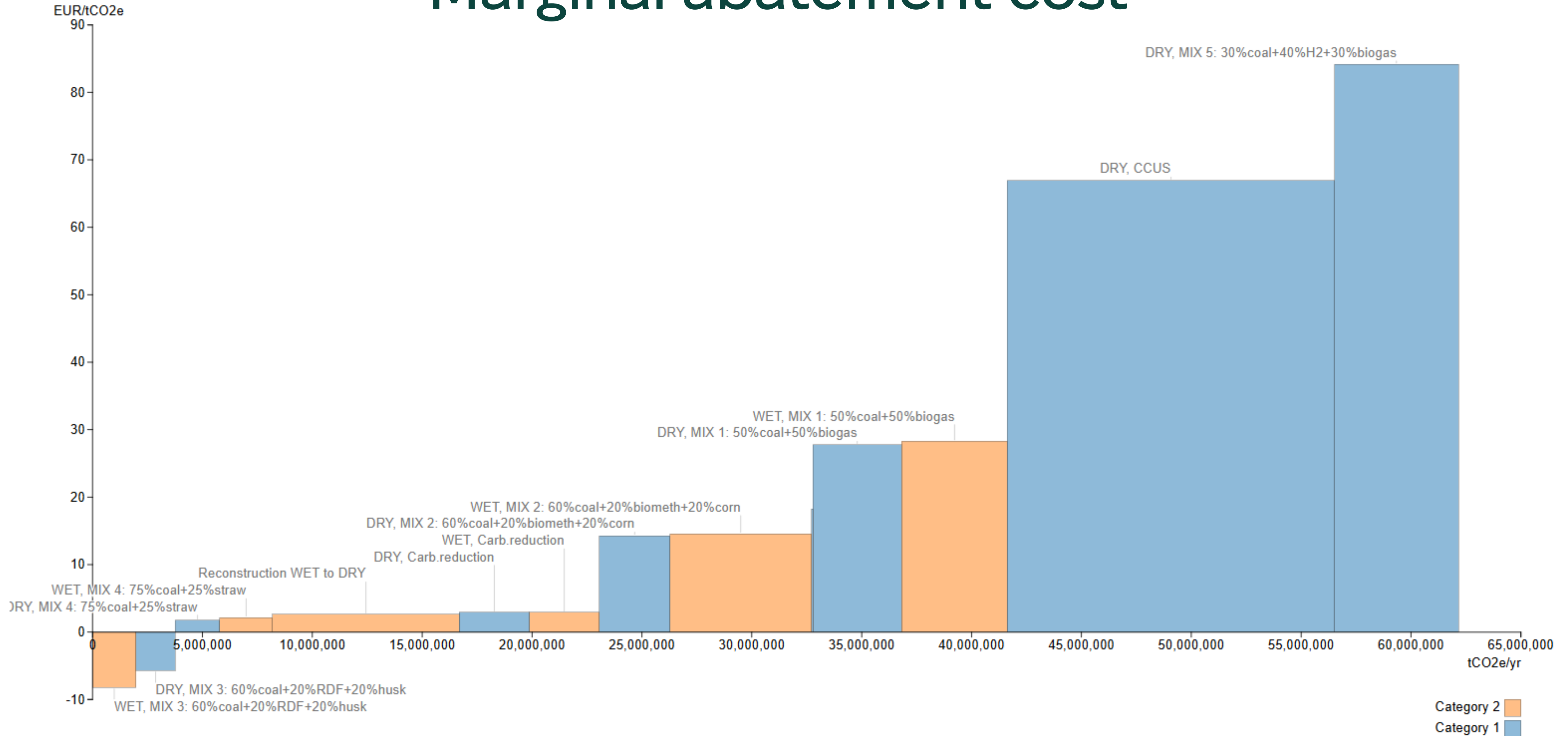
Витрата шлаку:

Доля шлаку в суміш 18,1 %

Річна витрата 255 081 т/рік

Питома вартість скорочення викидів – Marginal abatement cost

Marginal abatement cost





Green
Transition
Office

Дякую за увагу!