

Trendy projektowe i technologiczne w energetyce szczytowo-pompowej



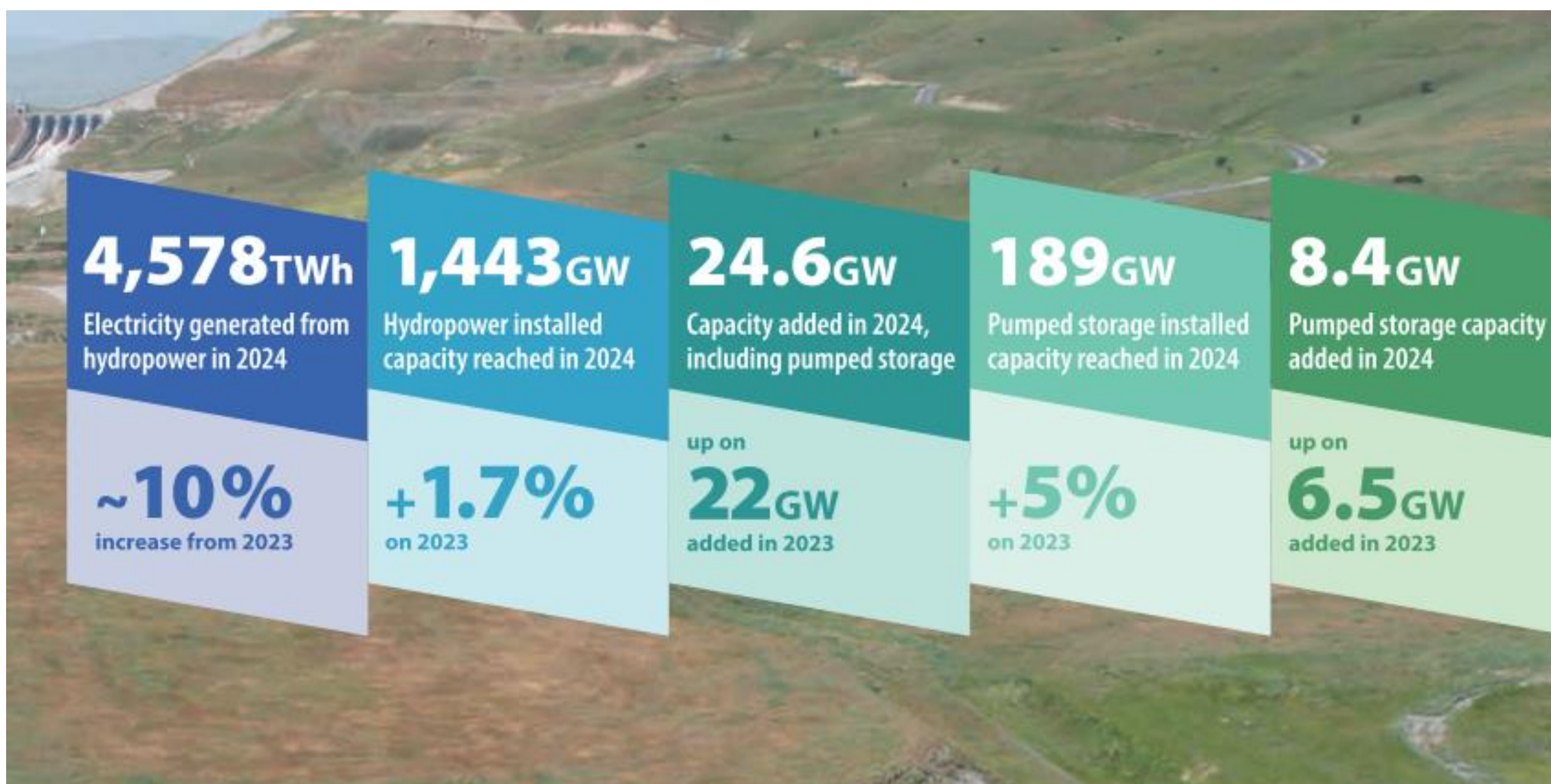
O czym powiemy? I dlaczego to takie istotne?

- Podsumowanie minionego roku
- Hydroenergetyka w transformacji – lekcje z Paryża
- Diagnoza europejskiego systemu
- ESP jako filar odporności systemu
- Wnioski z sesji technicznych
- Przegląd projektów
- Podsumowanie



EPS Frades 2, Portugalia

➤ Podsumowanie ESP za 2024 r.



Pumped storage hydropower capacity pipeline



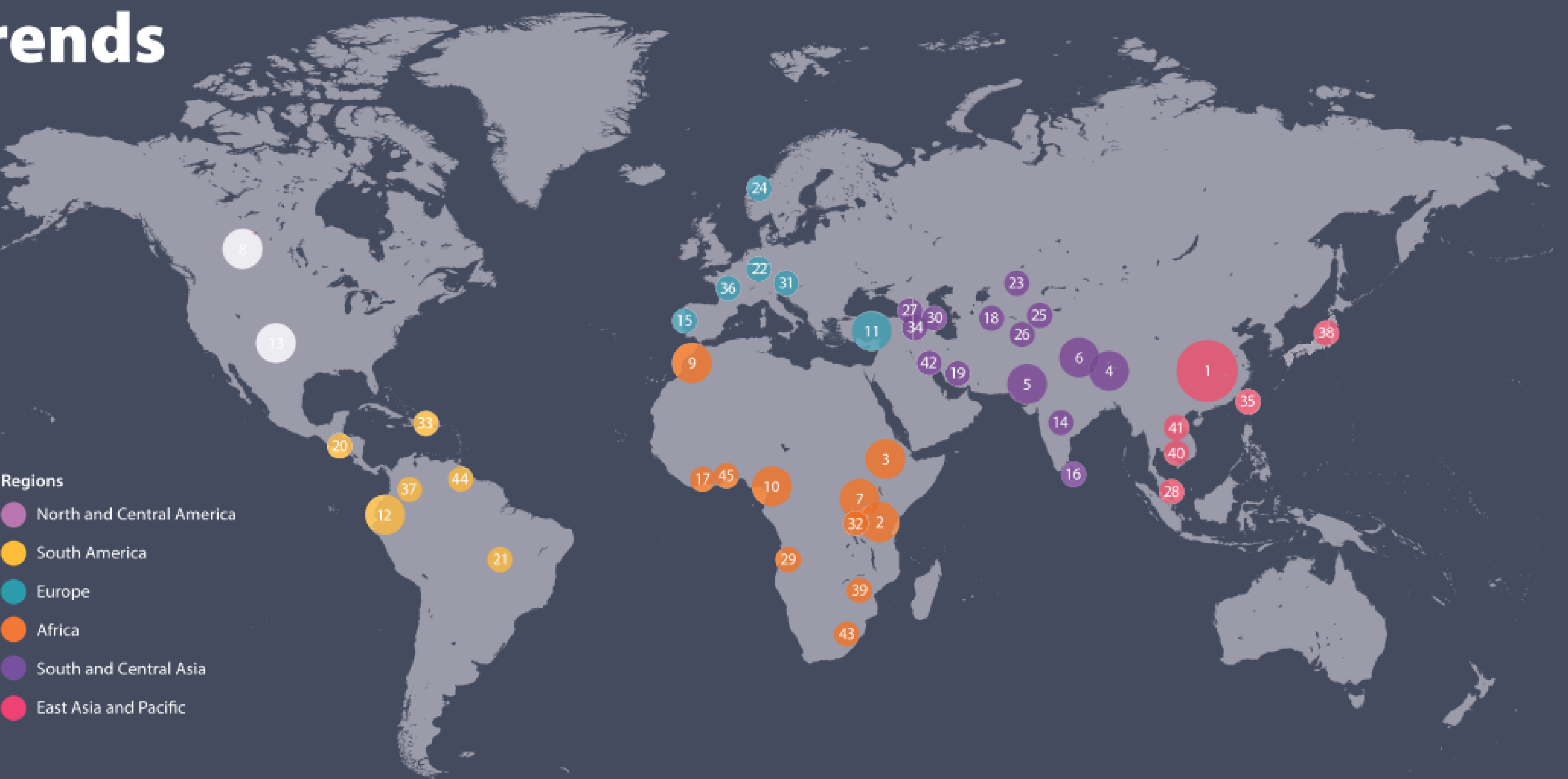
Global trends

Where was capacity added in 2024?

Key

- Capacity
- 199MW and below
 - 200MW to 1,999MW
 - 2,000MW to 9,999MW

- Regions
- North and Central America
 - South America
 - Europe
 - Africa
 - South and Central Asia
 - East Asia and Pacific



	Country/region	Conventional (MW)	Pumped storage (MW)	Combined (MW)
1	China	6,660	7,750	14,410
2	Tanzania	1,880		1,880
3	Ethiopia	1,200		1,200
4	Bhutan	1,138		1,138
5	Pakistan	884		884
6	Nepal	700		700
7	Uganda	605		605
8	Canada	360		360
9	Morocco		349	349
10	Cameroon	300		300
11	Türkiye	241		241
12	Ecuador	226		226

	Country/region	Conventional (MW)	Pumped storage (MW)	Combined (MW)
13	United States	120	96	216
14	India	172		172
15	Portugal	160		160
16	Sri Lanka	127		127
17	Côte d'Ivoire	113		113
18	Uzbekistan	111		111
19	Iran	102		102
20	El Salvador	67		67
21	Brazil	66		66
22	Germany	63		63
23	Kazakhstan	59		59
24	Norway	53		53

	Country/region	Conventional (MW)	Pumped storage (MW)	Combined (MW)
25	Kyrgyzstan	49		49
26	Tajikistan	104		104
27	Georgia	47		47
28	Malaysia	40		40
29	Angola	34		34
30	Azerbaijan	28		28
31	Austria		27	27
32	Burundi	20		20
33	Dominican Republic	18		18
34	Armenia	17		17
35	Taiwan, China	16		16
36	France		14	14

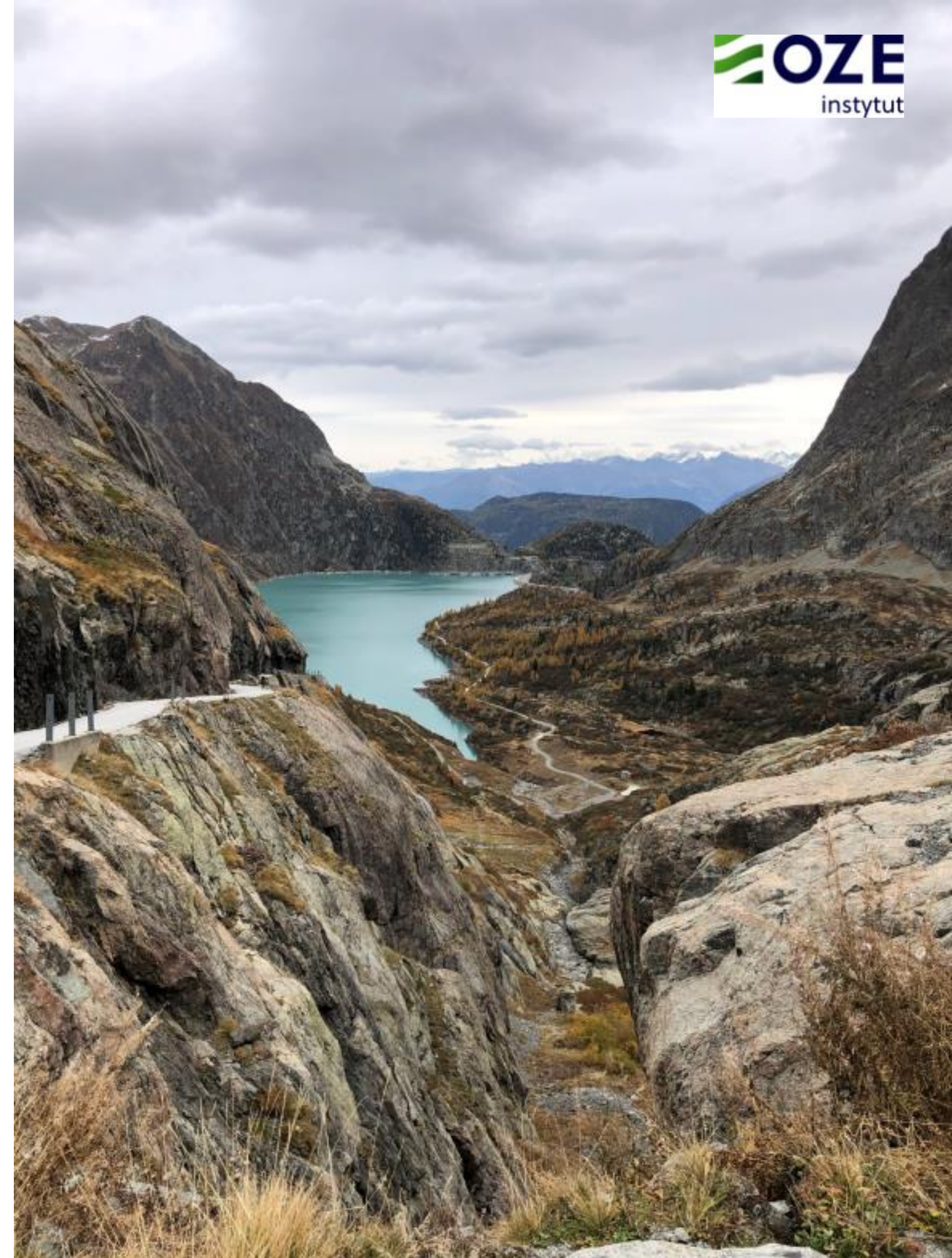
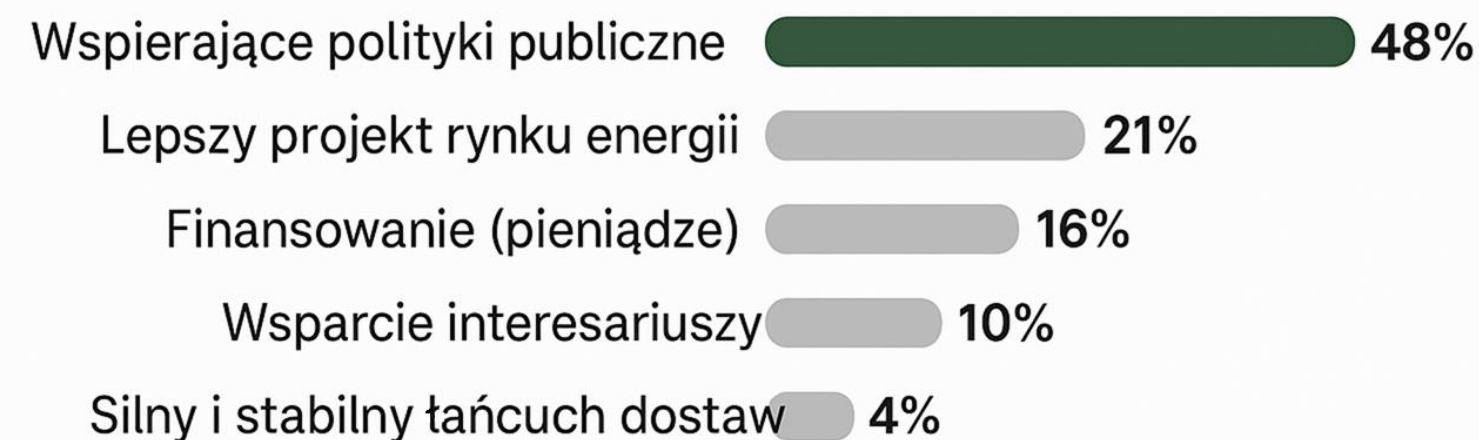
	Country/region	Conventional (MW)	Pumped storage (MW)	Combined (MW)
37	Colombia	12		12
38	Japan	6		6
39	Zimbabwe	5		5
40	Cambodia	5		5
41	Laos	4		4
42	Iraq	2		2
43	Lesotho	1		1
44	Guyana	1		1
45	Ghana	1		1

➤ Wprowadzenie IHA Paryż 2025

- ESP jest fundamentem stabilnej dekarbonizacji gospodarki
- Prognoza wzrostu o ponad 18 GW nowych mocy ESP GLOBALNIE/rok przez okres najbliższych 5 lat
- RALNA, ale tylko przy zmianie podejścia, silnych mechanizmach wspierających i podążaniu za najlepszymi trendami z różnych obszarów
- Chcemy silnych, sprawczych i świadomych decyzji decydentów. Dlatego o ESP należy mówić, zwłaszcza tu, na HYDROFORUM
- Z czym boryka się system elektroenergetyczny - w Polsce, w Europie i na świecie? Zmiany profili wytwórczych, niestabilność, niedobór elastyczności, a nawet blackouty (jak tegoroczny w Hiszpanii)
- Tematy te poruszano na niedawnym Forum w Paryżu organizowanym przez IHA. Padło na nim wiele znaczących ustaleń, deklaracji, sprawozdań, jak również podpisano Porozumienie Paryskie.

Aktywna ankieta

Co jest potrzebne, aby co roku dostarczać 18 GW mocy z elektrowni szczytowo-pompowych?

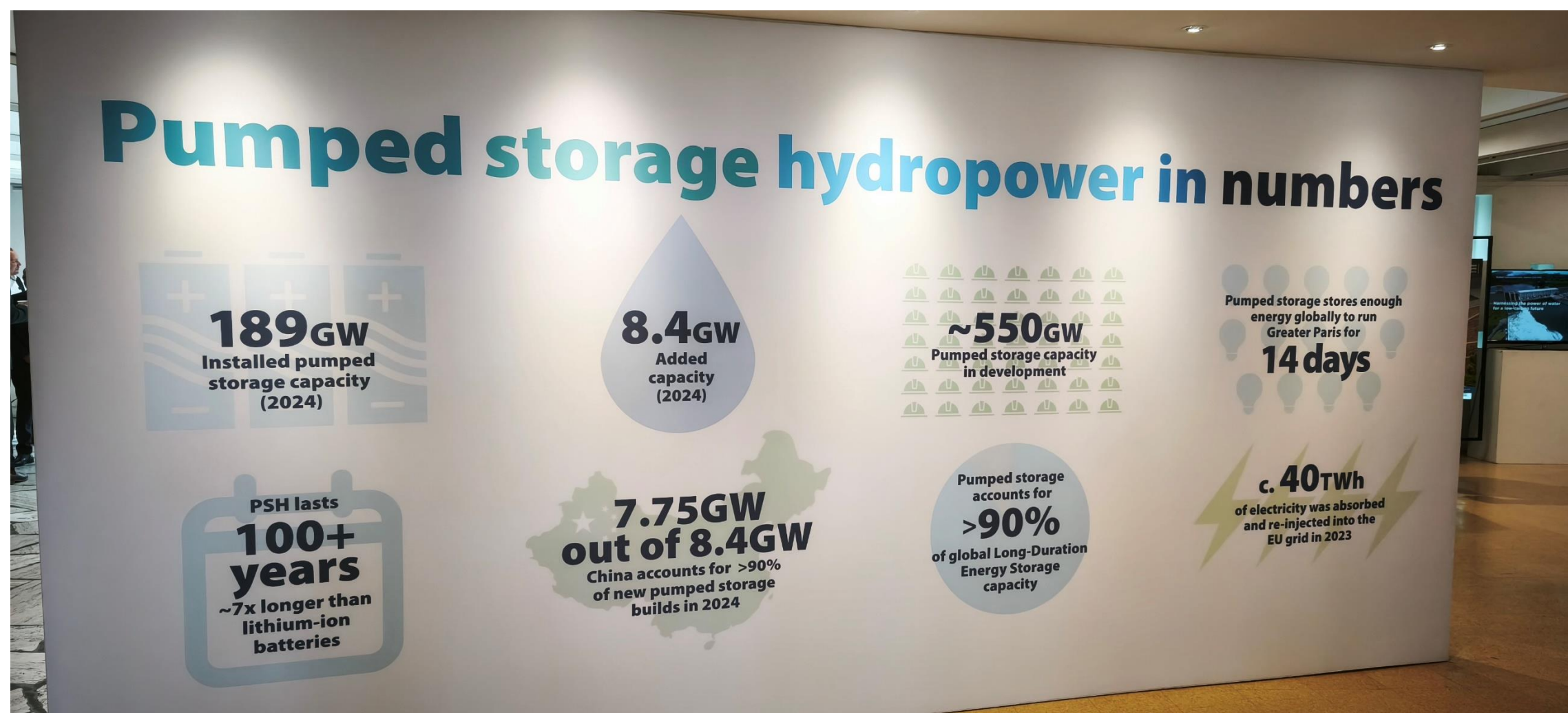


➤ Hydroenergetyka w transformacji – lekcje z Paryża



„Pump it up with Pumped Storage Hydropower”

➤ Diagnoza europejskiego systemu: OZE rosną szybciej niż nasza zdolność do bilansowania



12 TWh OZE zredukowane w 2023 r.

koszt
4,3 mld €

Ceny energii nadal ×2 wyższe niż przed 2021

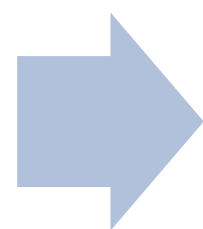
+50% godzin z ujemnymi cenami energii

10× większe straty prognozowane na 2030



➤ ESP jako filar odporności systemu: ponad 90% światowych zasobów magazynowania energii to ESP

48 GW
istniejących ESP
w Europie

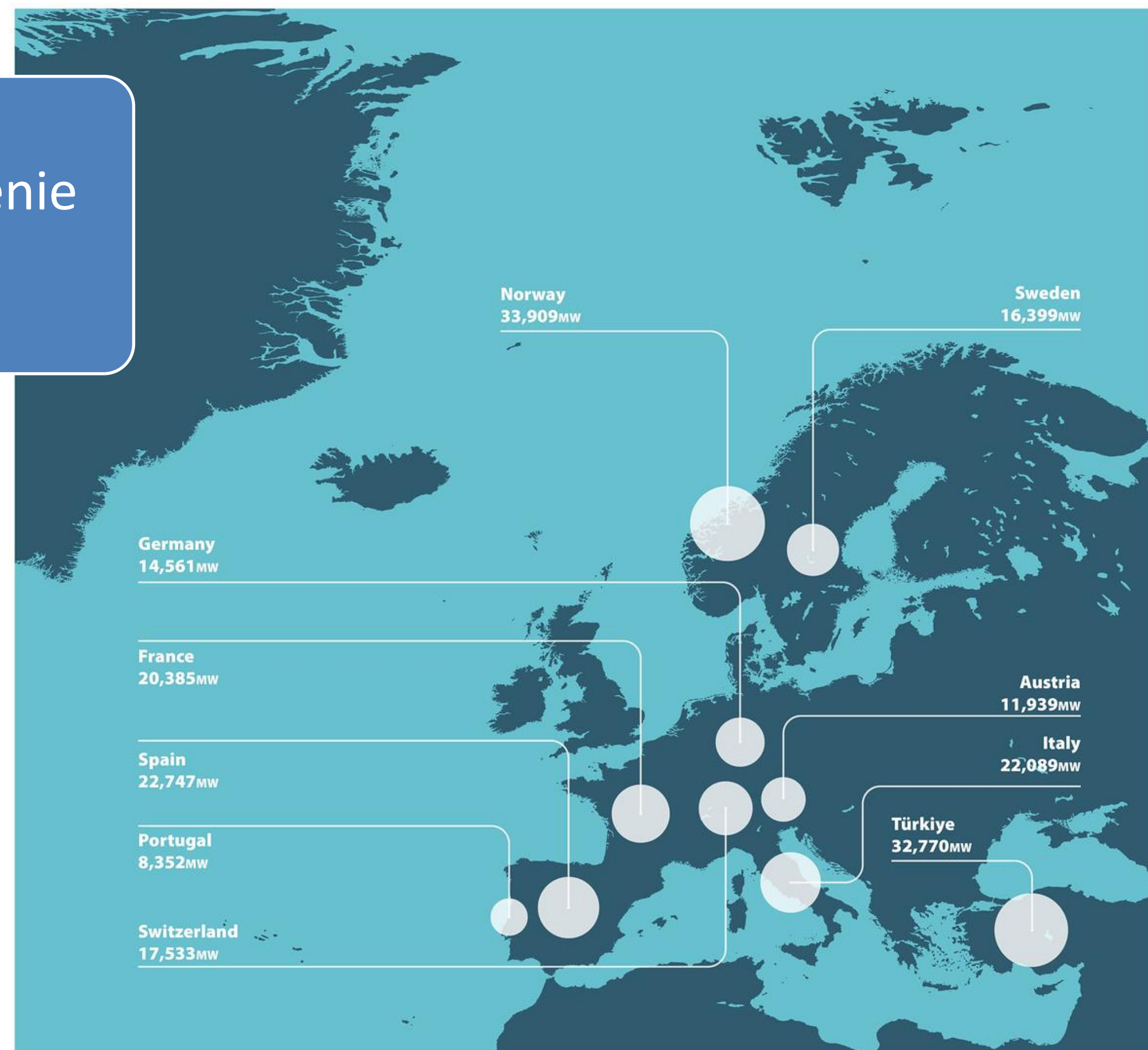


Cel: podwojenie
do 2050 r.

Systemy elektroenergetyczne UE będą wymagały czterokrotnie większej elastyczności do 2030 roku i siedmiokrotnie większej do 2050 roku.

Modele systemów energetycznych wykorzystywane przez Komisję Europejską do oceny polityki klimatycznej zakładają podwojenie mocy elektrowni szczytowo-pompowych w ciągu najbliższych 25 lat.

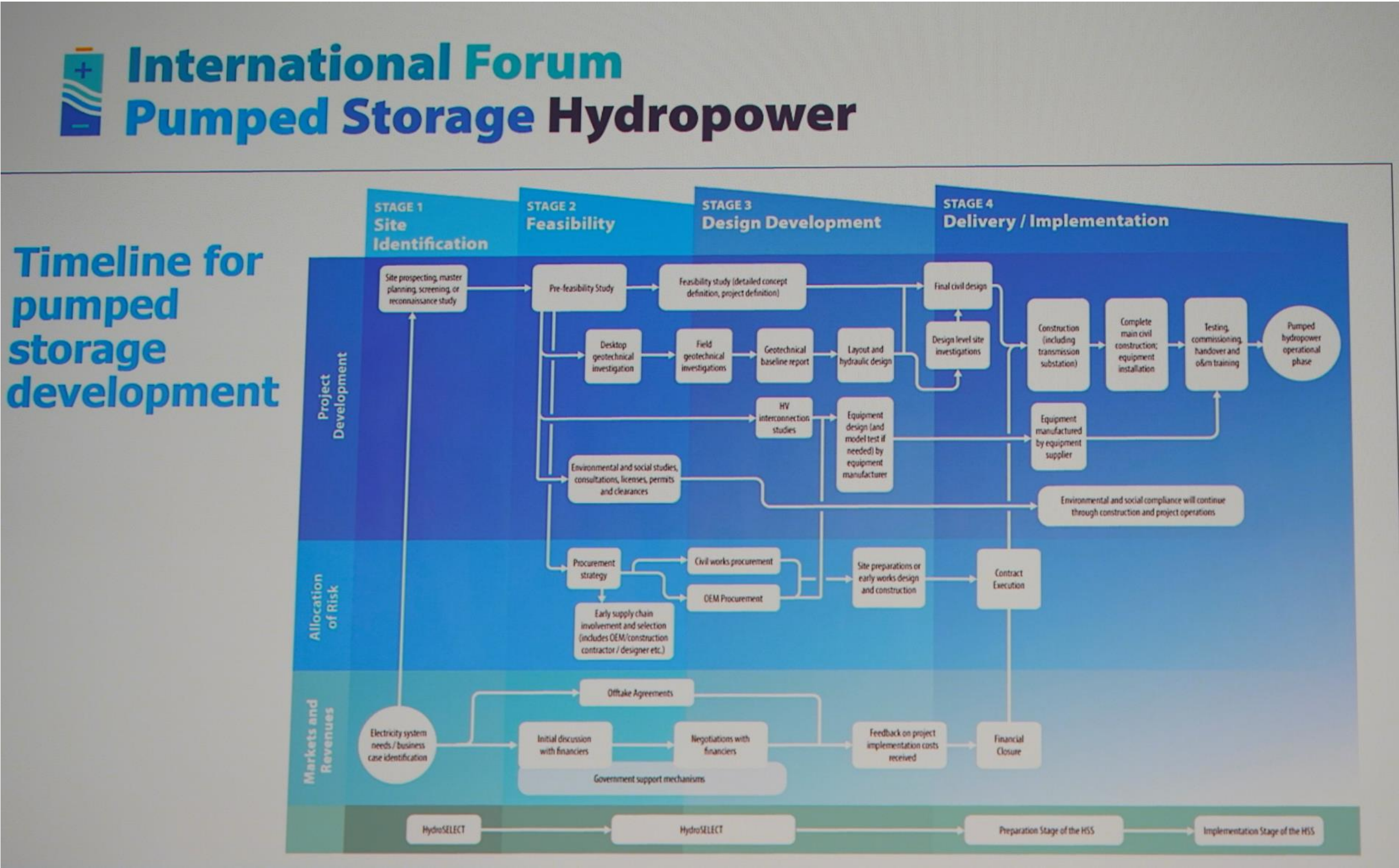
Model **EU PRIMES** przewiduje: **+32 GW do 2040 roku** oraz **+45 GW do 2050 roku**.



➤ Wnioski z sesji technicznych: jak budować skutecznie i bezpiecznie

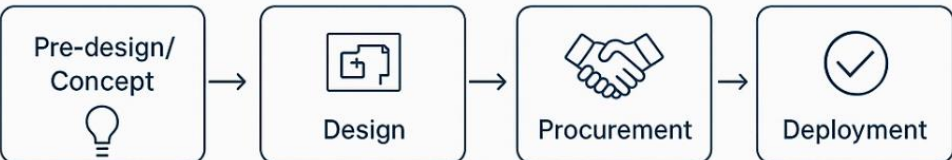


Snowy 2.0 Australia



ECI
EARLY
CONTRACTOR
INVOLVEMENT

Phases



Activities



Collaboration



Benefits

- Reduced risks
- Cost optimization
- Fleecoin soluioions
- Flexible solutions
- Innovation integration

➤ Kühtai 2, Austria – rozbudowa istniejącej ESP, 190 MW

Austriacki wytwórca energii Tiroler Wasserkraft AG (**TIWAG**) rozbudowuje istniejącą grupę elektrowni Sellrain-Silz, dodając **nowy zbiornik Kühtai i podziemną ESP**.

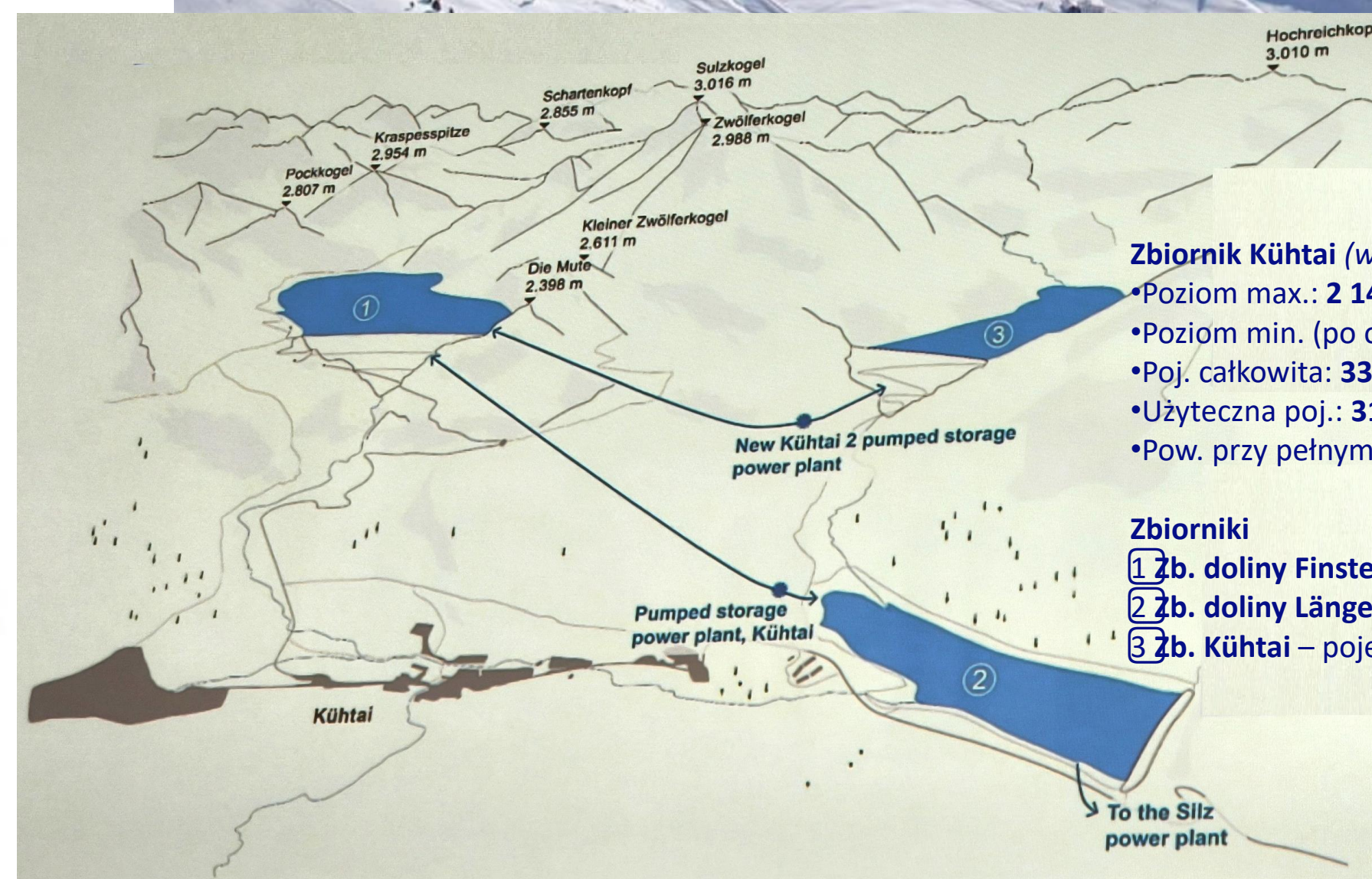
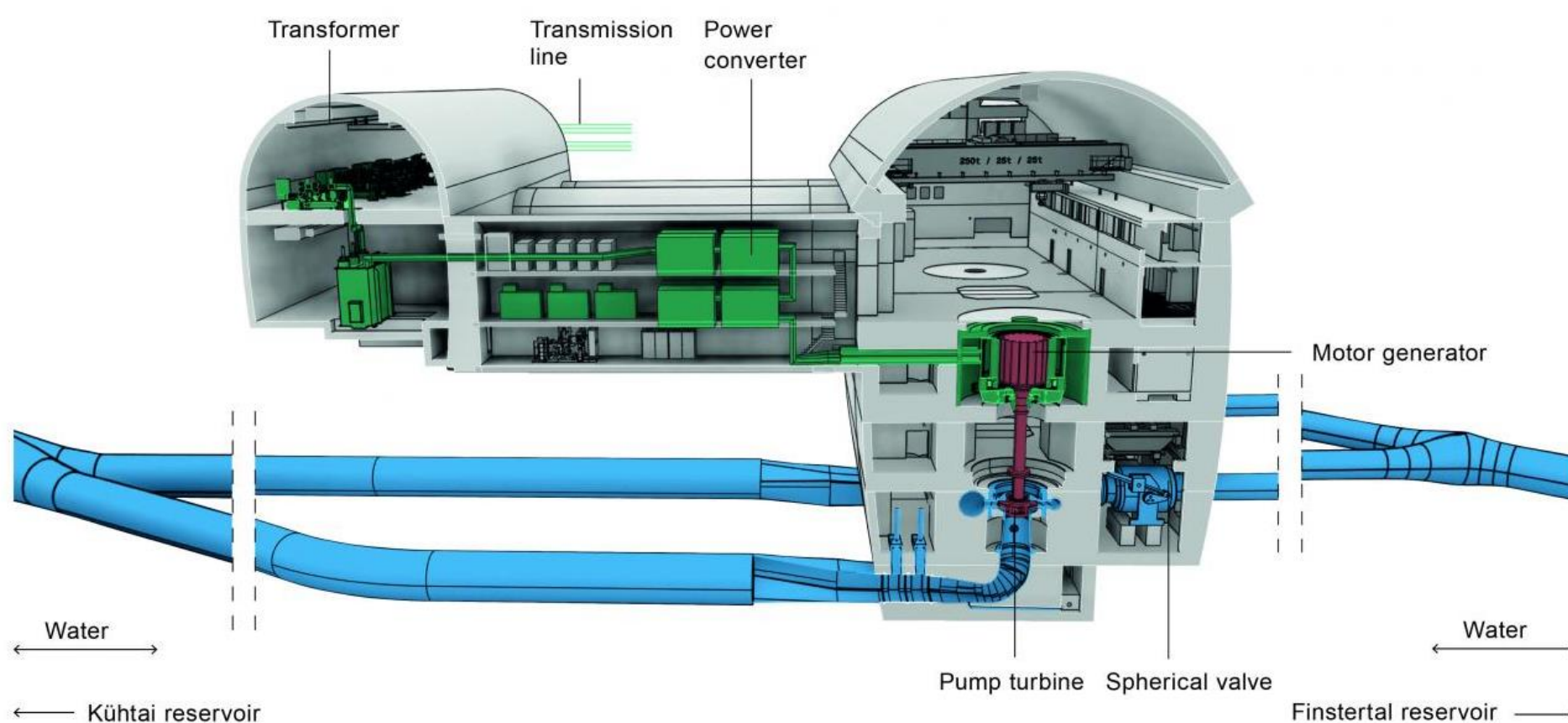
Projekt obejmuje instalację 2 odwracalnych pompoturbin o zmiennej prędkości obrotowej prod. VOITH, o mocach 95 MW każda, pracujących na spadzie max. 274 m, wyposażonych w generatory synchroniczne.

Praca obiektu przekładać się ma na 260 GWh elastycznego magazynowania i wytwarzania energii rocznie.

Szacowany koszt projektu wyniesie **1 mld euro**. Nowa linia wysokiego napięcia prowadzącą do doliny nie jest wymagana, a ukończenie inwestycji jest planowane na 2026 r.

Nowe elementy elektrowni:

- Zbiornik Kühtai z zaporą skalną
- Elektrownia szczytowo-pompowa Kühtai 2
- Tunel obejściowy z sześcioma ujęciami wody



Zbiornik Kühtai (w budowie)

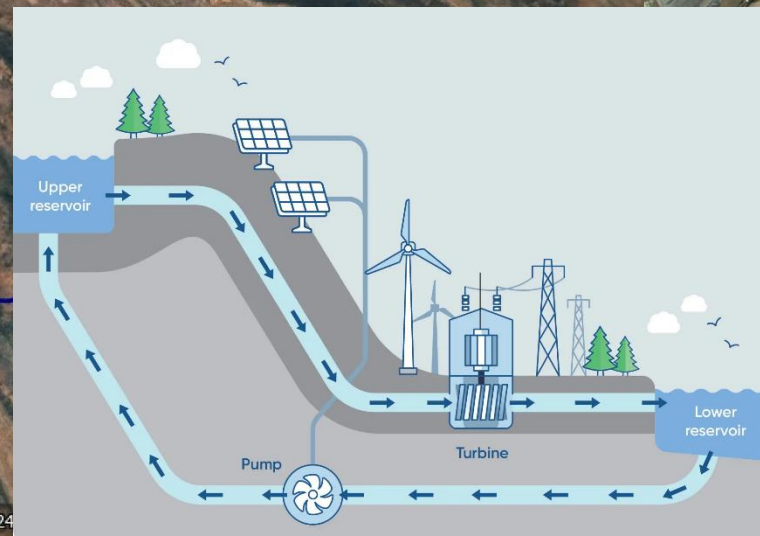
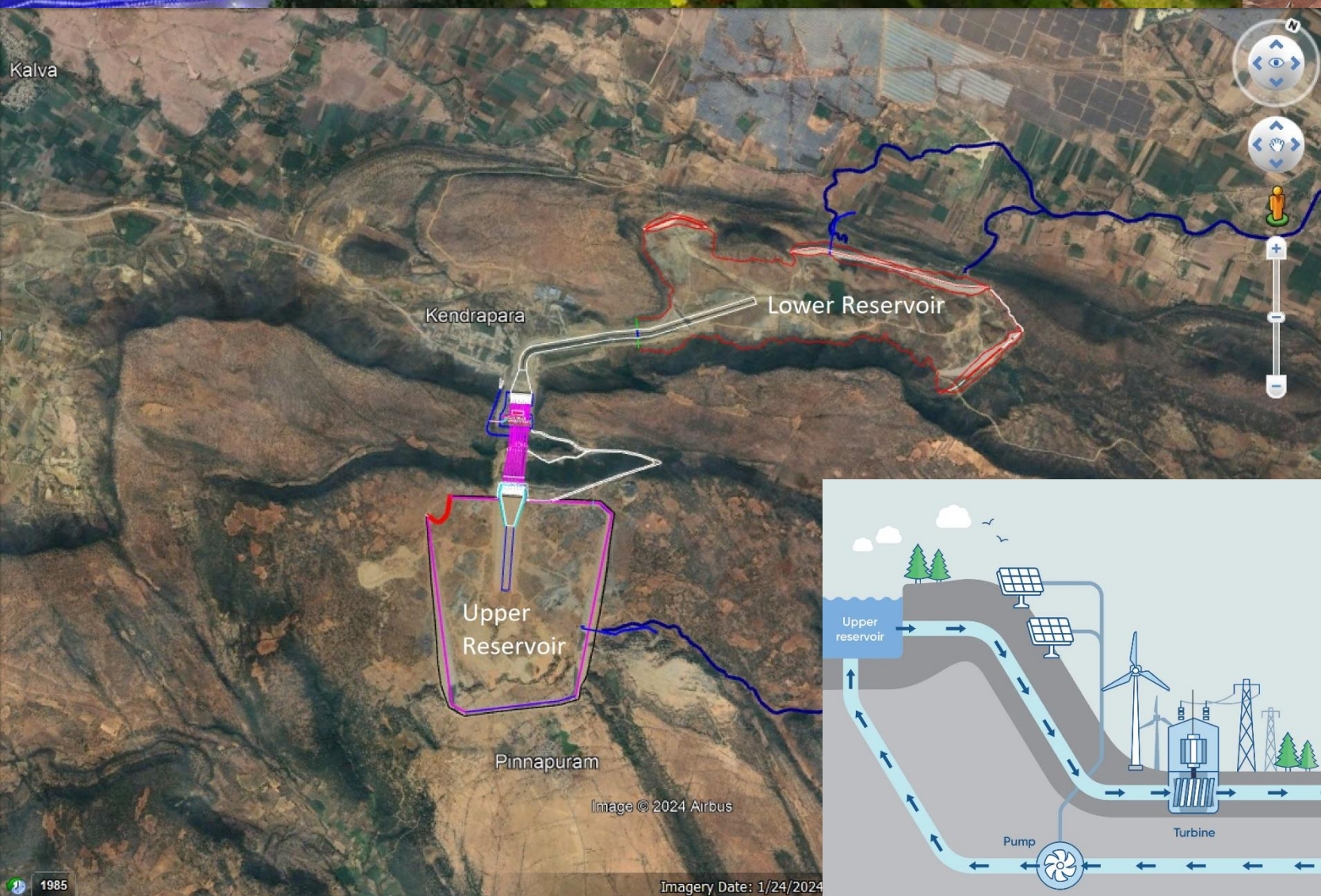
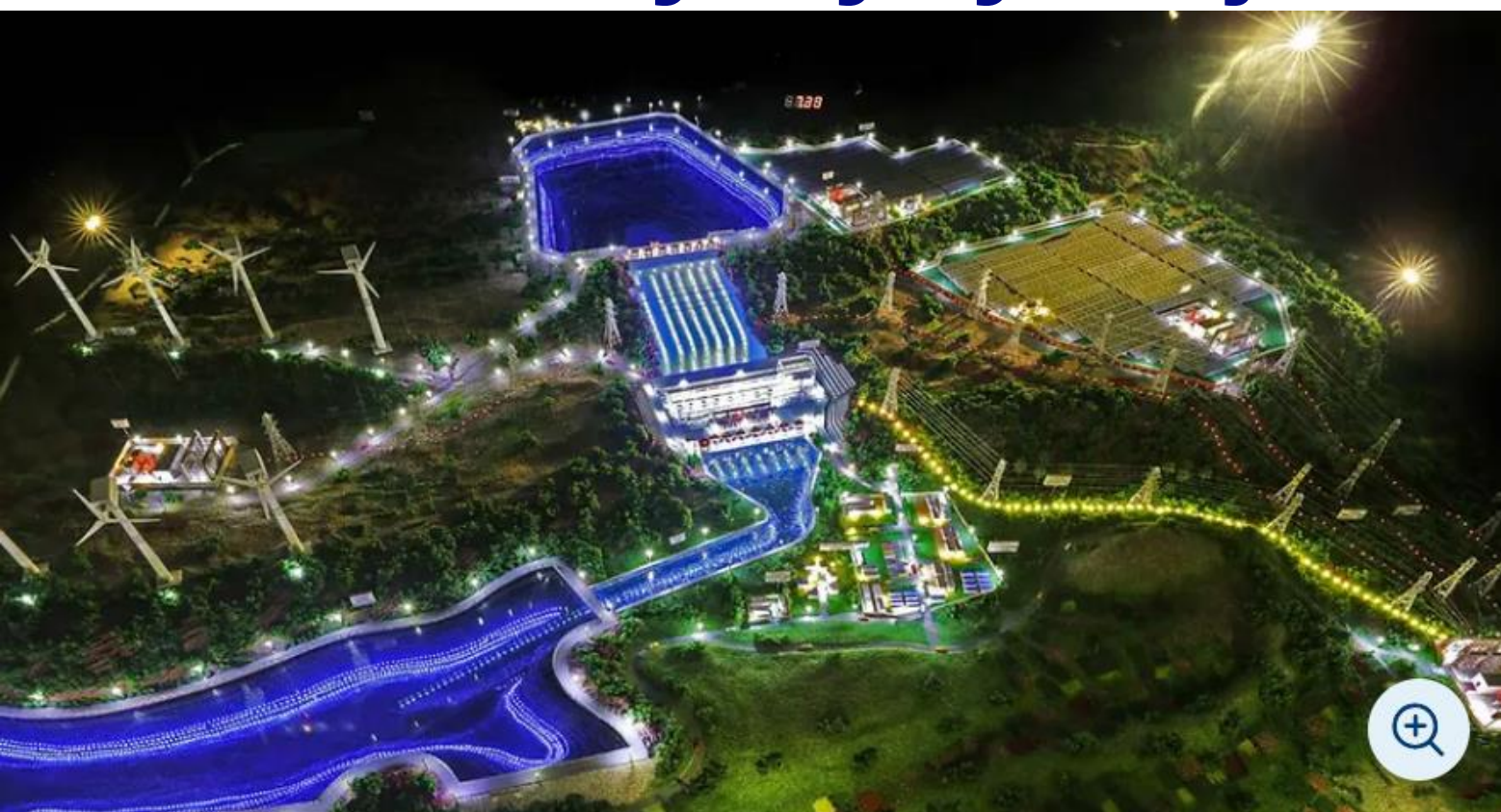
- Poziom max.: **2 140 m n.p.m.**
- Poziom min. (po opróżnieniu): **2 049 m n.p.m.**
- Poj. całkowita: **33 mln m³**
- Użyteczna poj.: **31 mln m³**
- Pow. przy pełnym zbiorniku: **59,5 ha**

Zbiorniki

- 1 Zb. doliny Finstertal – poj. roczna: **60 mln m³**
- 2 Zb. doliny Längental – pojemność: **3 mln m³**
- 3 Zb. Kühtai – pojemność: **31 mln m³**

➤ Pinnapuram Integrated Renewable Energy Project (IREP), Indie - hybrydyzacja

System hybrydowy: PV (3 GW) + WIATR (550 MW) + ESP (1,680 GW),
łącznie 5,23 GW



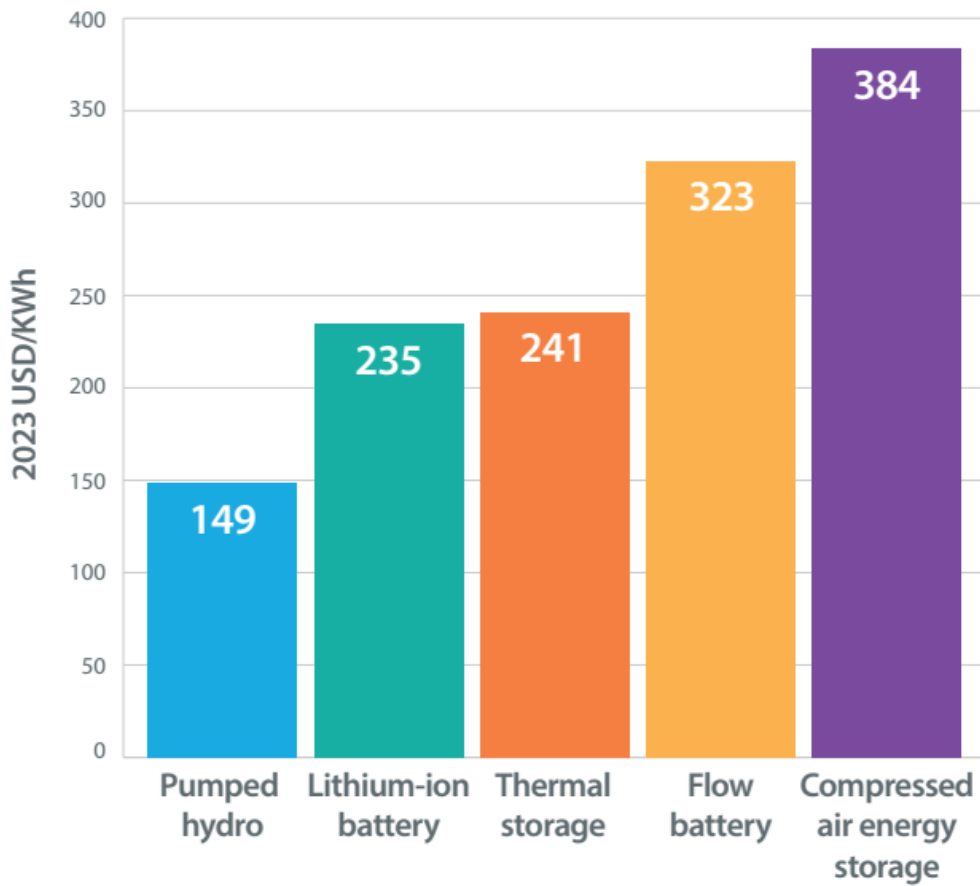
➤ System i regulacje: rynki nie wyceniają wartości ESP

Około 50% europejskich firm postrzega koszty energii jako istotną barierę dla inwestycji. To o 30 punktów procentowych więcej niż w przypadku firm amerykańskich.

Historycznie ceny energii elektrycznej w UE były nieco wyższe niż w USA, jednak w 2024 roku średnia hurtowa cena energii elektrycznej była dwukrotnie wyższa.

TIMEFRAME	POWER FLEXIBILITY			ENERGY FLEXIBILITY			ELECTRICITY STORAGE			
	Real Time	Millisec	Seconds to Hour	Day	Week	Month/ Season	Short Term (Seconds to few hours)	Long Term (10hr+)		
TYPE OF FLEXIBILITY	Inertia	Frequency Services to respond to generation/ consumption fluctuations or power systems failures		Day-night generation difference and daily demand peaks	Weekday-weekend demand difference and wind pattern fluctuations	Heating-cooling periods and seasonal weather patterns	Absorb the electricity surplus for short period of time and reinject it when needed within a few hours	Absorb surplus of electricity generation for longer period (10hr+) and store it for several hours or a few days	Example of Large Projects in EU	Roundtrip storage efficiency ⁱⁱⁱ
Pumped Storage									1800 MW / 24'000 MWh	~75-85%
Chemical Batteries									200 MW / 200 MWh	~70-95%
Power-to-X (Not yet mature)									Experimental	~30%
Reservoir Hydropower							LDES global average cost per technology			

LDSEs global average cost per technology



Koszty systemu elektroenergetycznego mają osiągnąć **95 miliardów euro do 2030 roku.**

Dodatkowe **88 GW** mocy transgranicznej oraz **56 GW** mocy magazynowej do 2030 roku pozwoliłyby zminimalizować koszty europejskiego systemu energetycznego, obniżając jego roczne koszty operacyjne.



➤ Wnioski dla Polski: Czas na nowe podejście do projektów ESP

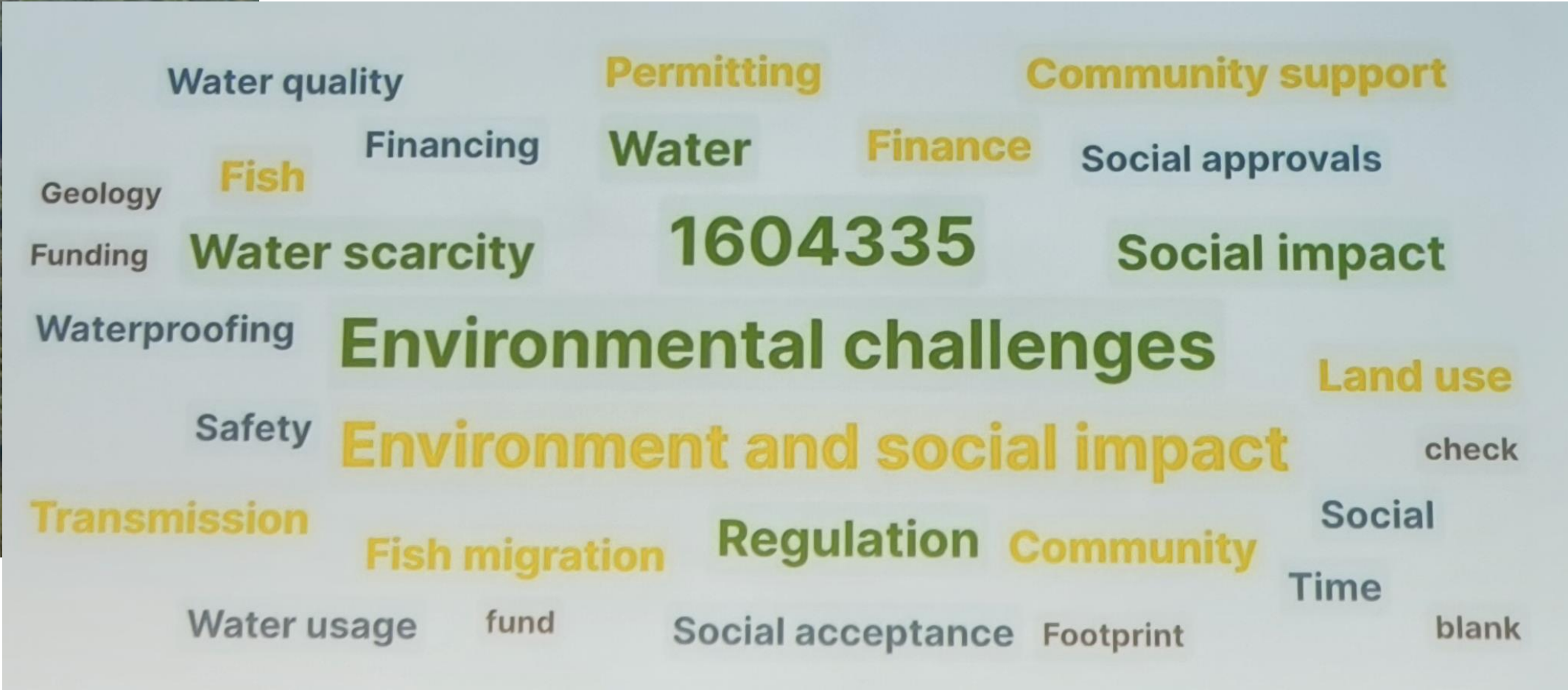
KEY FACT:
 Circa 32 GW of PSH is currently under development in the EU, with an additional 3 GW in Switzerland, Norway and Türkiye. Most of this capacity is pending approval from the national and local regulators.^{viii}



Projekt elektrowni szczytowo-pompowej Kidston jest pierwszym tego typu projektem w Australii od ponad 40 lat, pierwszym rozwijanym przez sektor prywatny oraz trzecim co do wielkości magazynem energii elektrycznej w kraju.

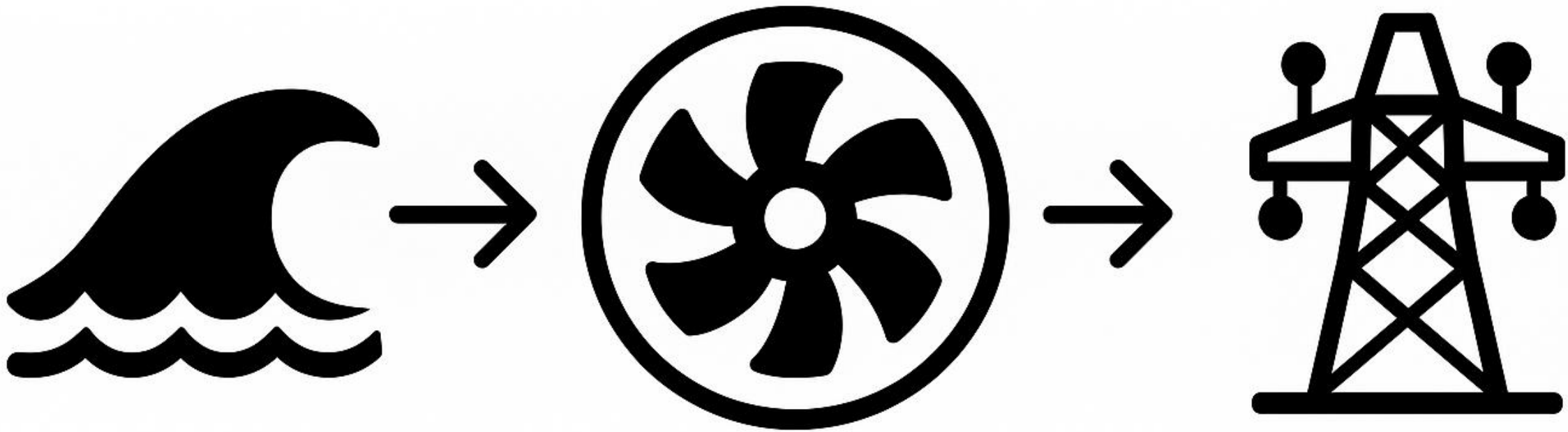
TYPE OF DEVELOPMENTS			
BROWNFIELD			GREENFIELD
Connection of existing reservoirs These projects utilise existing reservoirs and dams. The construction work is typically limited to development of facilities, such as powerhouse and tunnels/penstocks, which often are located underground.	Upgrade of reservoir hydropower plants When the civil design and reservoirs levels of an existing hydropower plant are suitable, an upgrade can be performed to incorporate or increase the pumping capacity.	Conversion of non-hydropower assets These projects leverage on the existence of existing facilities which were originally not built for hydropower, such as abandoned mining pits, converting them into reservoirs for pumped storage projects.	These projects are based in locations with no existing facilities and requires the construction of two new reservoirs, powerhouse and all hydraulic infrastructures.

„Jakie są najważniejsze wyzwania związane ze zrównoważonym rozwojem, charakterystyczne dla projektów elektrowni szczytowo-pompowych?”



➤ Przyszłość: ESP – od tradycji do technologii przyszłości

„Energetyka wodna to nie historia – to przyszłość
stabilnego systemu.”



PRZYKŁADOWE PROJEKTY ESP – ŹRÓDŁA DOBRYCH PRAKTYK, WYZNACZNIKI TRENDÓW TECHNOLOGICZNYCH

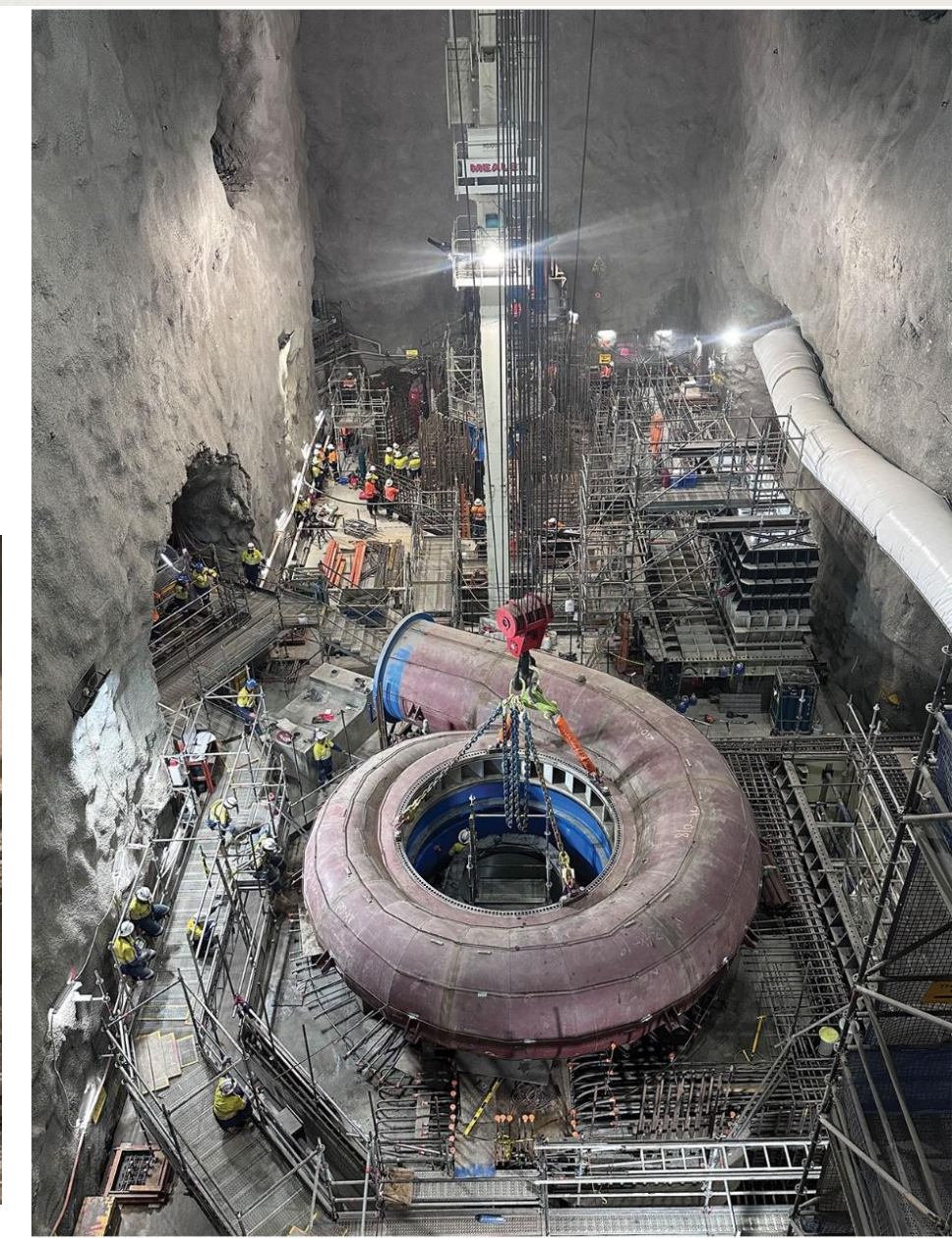
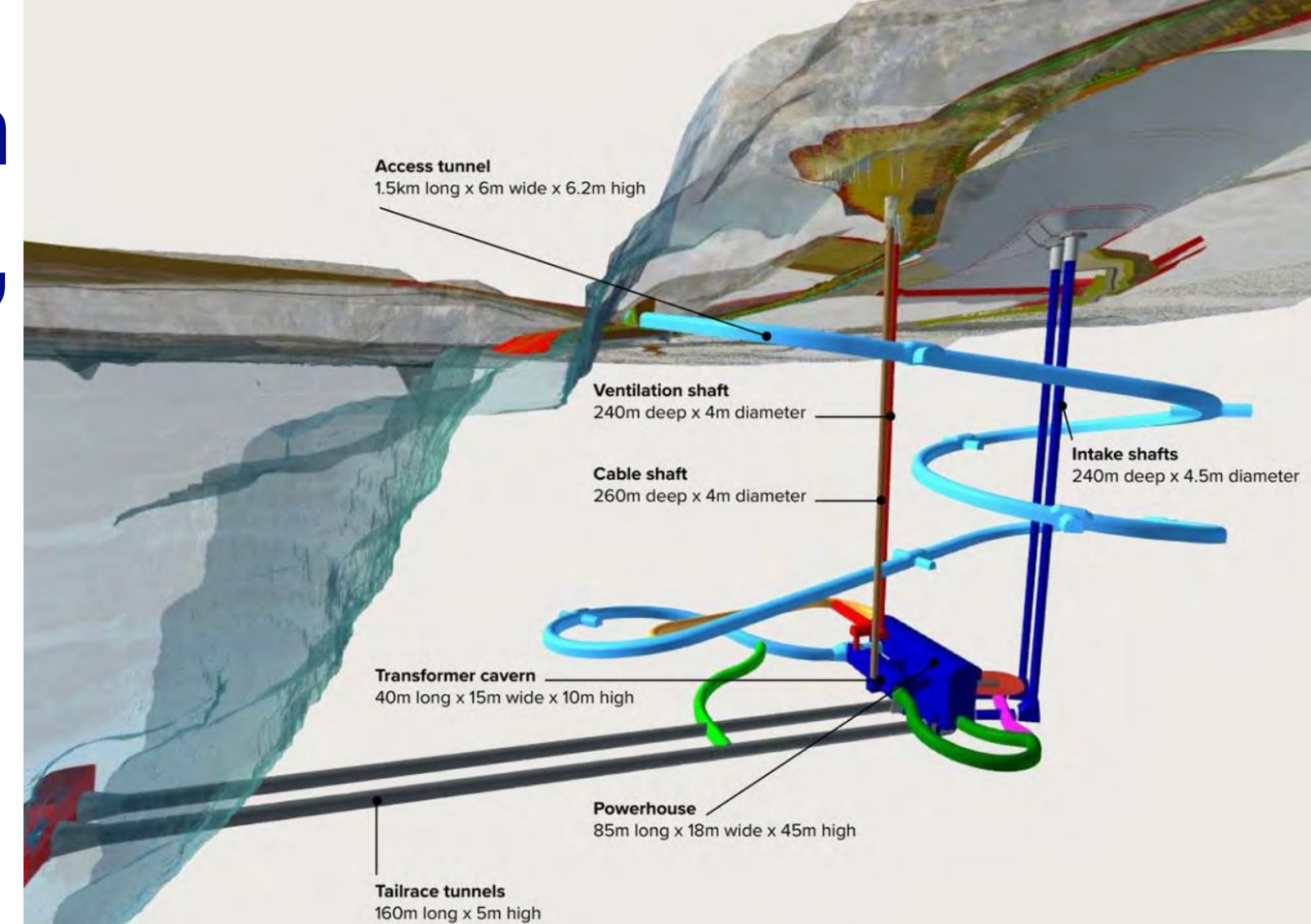
➤ Kidston, Australia - wykorzystanie pustych przestrzeni kopalnianych na potrzeby ESP, 250 MW, hybrydyzacja OZE

ESP zlokalizowana w miejscu dawnej kopalni złota

Dwie pompoturbiny o mocy 125 MW każda, prod. ANDRITZ, spad max. 218 m

W Kidston zintegrowano i współlokalizowano trzy projekty wytwarzania energii odnawialnej, obejmujące wielkoskalowe elektrownie słoneczne, ESP i elektrownie wiatrowe.

Spodziewane zakończenie budowy ESP to koniec 2025 r.



➤ Coire Glas, Szkocja – 1500 MW/30 GWh – certyfikacja HSS

Coire Glas jest pierwszym projektem elektrowni szczytowo-pompowej na świecie oraz pierwszym projektem jakiegokolwiek typu w Wielkiej Brytanii, który został certyfikowany zgodnie ze standardem HSS (Hydropower Sustainability Standard).

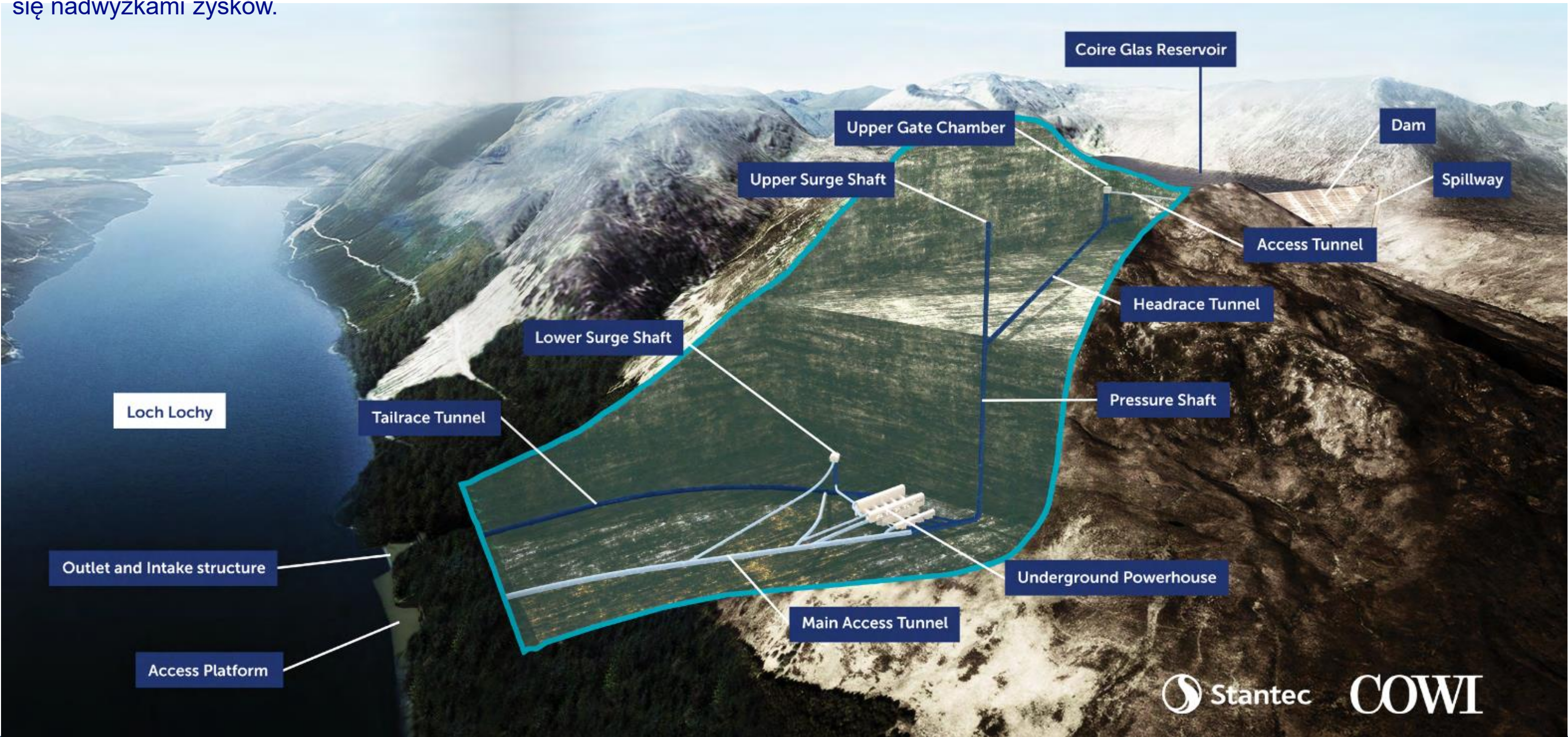
Zlokalizowany na brzegach jeziora Loch Lochy w szkockich Highlands, projekt Coire Glas wymaga inwestycji kapitałowej przekraczającej **2,5 miliarda funtów**, z czego nawet 70% ma być wydane w Wielkiej Brytanii, przynosząc znaczące korzyści lokalne.

Po uzyskaniu zgody planistycznej w 2020 r., **projekt podwoi całkowitą pojemność magazynową długoterminowej energii elektrycznej w Wielkiej Brytanii**, zapewniając kluczowe wsparcie dla coraz bardziej „odnawialnego” systemu energetycznego i wzmacniając bezpieczeństwo energetyczne kraju.

Ostateczna decyzja inwestycyjna (FID) planowana jest na 2027 r., po uzyskaniu porozumienia dotyczącego modelu finansowego **Cap and Floor** (limit i minimalny poziom przychodów).

Mechanizm **Cap&floor** on na celu zapewnienie stabilności finansowej dla deweloperów, minimalizując ryzyko strat, jednocześnie dzieląc się nadwyżkami zysków.

KLUCZOWE DANE	
Magazynowanie energii:	+30 GWh
Moc turbin pompujących:	4 turbiny, każda o mocy 375 MW (pompowanie), łącznie 1 500 MW; moc generacyjna 1 500 MW
Lokalizacja elektrowni:	1100 metrów wewnątrz góry
Różnica wysokości między zbiornikami:	500 m
Pojemność górnego zbiornika:	26 miliardów litrów
Szerokość zapory górnego zbiornika:	700 m
Wysokość zapory:	92 m
Czas reakcji (rezerwa szybka):	30 sekund od minimum do pełnej generacji
Czas trwania stabilnej mocy:	24 godziny nieprzerwanej pracy



➤ Nant de Drance – projekt typu Brownfield, 900MW/ 20 000 MWh, Szwajcaria



Czynniki przemawiające za realizacją projektu:

- 2 istniejące zbiorniki: Emosson i Vieux-Emosson
- minimalny ślad środowiskowy realizacji ESP
- istotny wpływ na system elektroenergetyczny

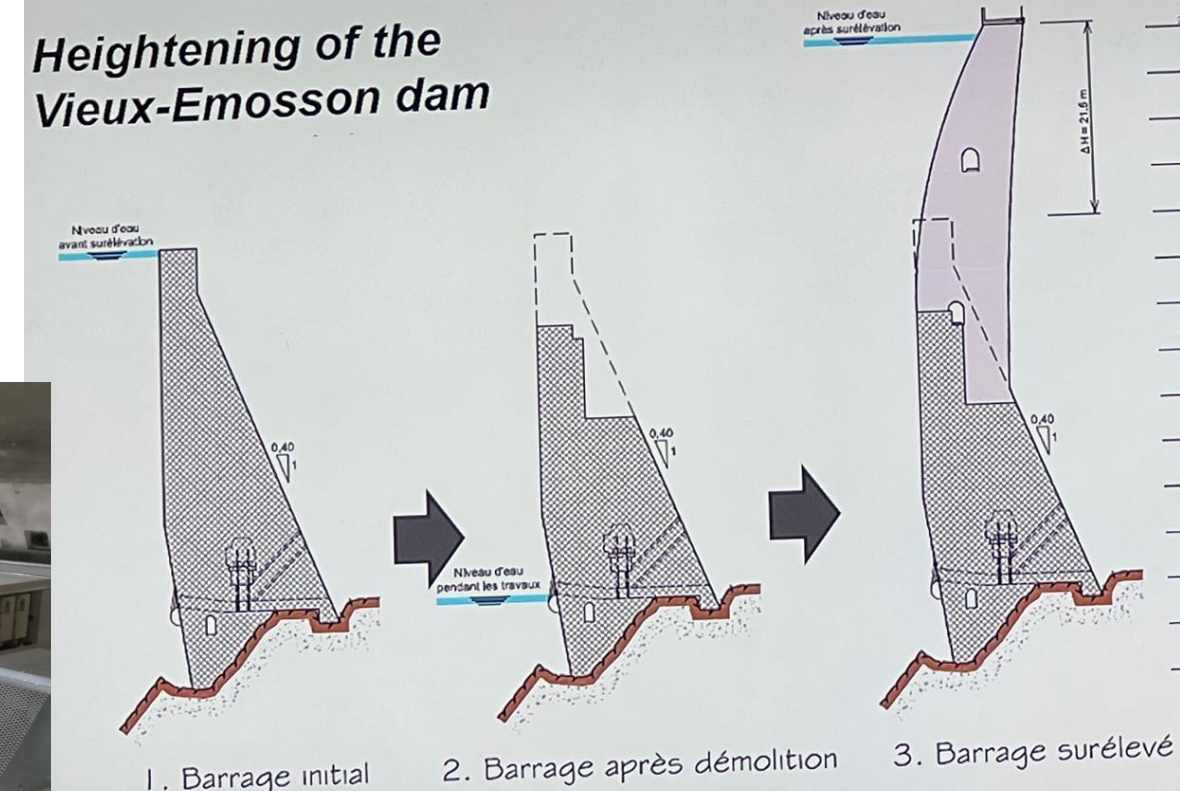
Przykład elastycznej reakcji na zmiany uwarunkowań rynku i wzrost kosztów inwestycji.

Nadbudowa istniejącej zapory o 20 zwiększyła objętość zbiornika dwukrotnie. Inwestycja zwiększyła moc obiektu z 600 do 900 MW. W obiekcie zainstalowano 6 turbin Francisa, każda o mocy 150 MW, max. spad to 425 m.

Elektrownia znajduje się 600 m pod ziemią.



Heightening of the Vieux-Emosson dam

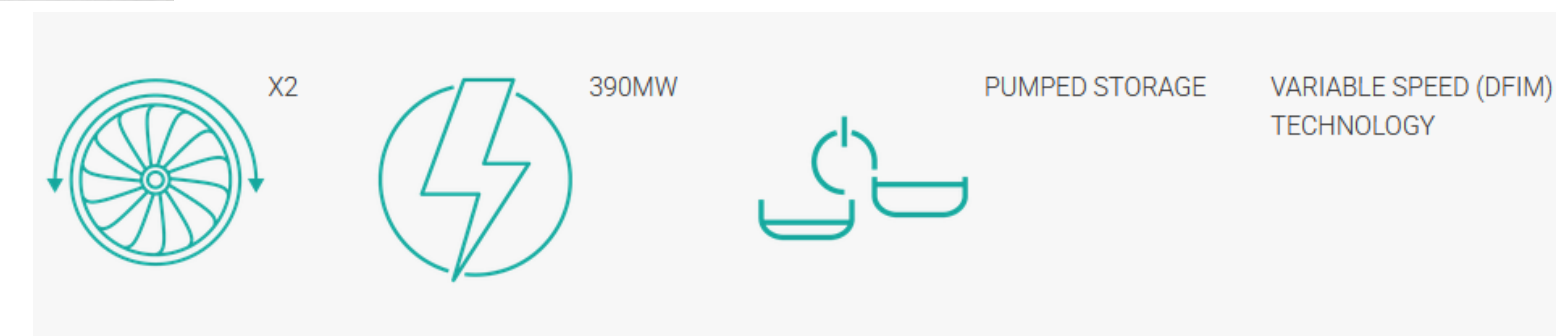


➤ Frades II, Portugalia – projekt demonstracyjny XFLEX HYDRO

Zespół Frades II to **sztandarowy przykład transformacji hydroenergetyki w kierunku elastyczności i cyfryzacji**. Jego turbiny współpracują z silnikami-generatorami o **zmiennej prędkości obrotowej** – to wciąż rzadkość w skali europejskiej, a tu zastosowano największe tego typu urządzenia na kontynencie, każde o mocy **420 MVA**. Dzięki temu obiekt może działać niezwykle elastycznie, błyskawicznie dopasowując się do zmiennych warunków systemu elektroenergetycznego. Frades II wyróżnia się przy tym wyjątkową stabilnością pracy — nawet w sytuacjach zakłóceń w sieci elektroenergetycznej. Dzięki zaawansowanemu sterowaniu i technologii zmiennej prędkości obiekt **potrafi utrzymać synchronizację z systemem przez nawet 600 milisekund po nagłym spadku napięcia** — czyli około czterokrotnie dłużej niż standardowe jednostki. To z pozoru niewielka różnica, ale w praktyce ma kluczowe znaczenie – bo w takich momentach liczą się ułamki sekund. A one zależą od precyzji wykonania wirnika, wydajności przekształtników i skuteczności systemów zabezpieczeń.



XFLEX HYDRO - **wybór konwersji zamiast budowy nowej elektrowni ESP pozwolił znacząco ograniczyć koszty inwestycyjne – przy jednoczesnym osiągnięciu wysokiej elastyczności i niezawodności**. Dodatkowo, **integracja z cyfrowymi narzędziami sterowania – SPPS (Smart Power Plant Supervisor) i AJC (Advanced Joint Control)** — oraz zastosowanie technologii **Enhanced Fixed Speed** umożliwiają dynamiczną reakcję na potrzeby rynku, a także oferowanie usług systemowych bez konieczności fizycznego dodania funkcji pompowania. To sprawia, że **Frades II pełni dziś rolę precyzyjnego „regulatora” systemowego**, zapewniając konieczną elastyczność systemu.



Blackout w Hiszpanii – koszty braku ESP

Wnioski z awarii systemu elektroenergetycznego w Hiszpanii:

Incydent był wynikiem kombinacji zewnętrznych zdarzeń dla Iberdrola, prawdopodobnie związanych ze spadkiem zapotrzebowania – pracą systemu wytwórczego i przesyłowego, zbiegającym się ze zmianą trybu pracy połączenia międzysystemowego z Francją.

Faza 0 – Silne i nietypowe wahania napięcia w sieci przesyłowej oraz znaczne odchylenia w planowanych wymianach międzysystemowych z Francją od około godziny 9:00

- Niskie zapotrzebowanie (25 GW) i wysoki udział generacji odnawialnej (70% energia słoneczna i wiatrowa). Dodatkowo, zgodnie z planem REE, tylko **6 turbin gazowych** było zsynchronizowanych na minimalnym poziomie technicznym w trakcie zdarzenia (niski udział generacji synchronicznej).
- Od godziny 9:00 odnotowano kilka **zjawisk przebiegów oraz oscylacji częstotliwości** w różnych punktach sieci przesyłowej.
- Harmonogramy wymiany energii między Hiszpanią a Francją wykazały znaczne odchylenia, a około godziny 12:12 operatorzy systemów hiszpańskiego i francuskiego wprowadzili zmianę trybu pracy, ustawiając eksport przez linie HVDC w Katalonii na poziomie 1 000 MW.
- Nadal brak jednoznacznych lub ostatecznych informacji dotyczących **pochodzenia początkowych wyłączeń** zarejestrowanych w naszych obiektach wytwórczych.

Faza 1 – Przebiegi w sieci przesyłowej spowodowały zadziałanie zabezpieczeń instalacji odnawialnych i ich odłączenie; przeplatanie zadziałaniami zabezpieczeń podczęstotliwościowych

- **Wyłączenie jednostek odnawialnych** spowodowało **spadek częstotliwości**. Połączenie międzysystemowe nie pomogło w stabilizacji.
- Systemy zabezpieczeń częstotliwości w elektrowniach **Gouvães, La Muela** oraz w mieszanych stacjach pompowych zadziałały.
- Odłączenie jednostek pompowych przyczyniło się do niewielkiego wzrostu częstotliwości. Niestabilność napięciowo-częstotliwościowa jednak się utrzymywała, prowadząc do dalszego zadziałania zabezpieczeń przepięciowych.

Faza 2 – Niezrównoważenie systemu spowodowało wyłączenie jednostek wytwórczych z powodu podczęstotliwości oraz innych zabezpieczeń

- W wyniku znacznej utraty zapotrzebowania spowodowanej odłączeniem jednostek pompowych i odnawialnych, w wielu punktach sieci wystąpiły oscylacje częstotliwości i napięcia, co spowodowało zadziałanie zabezpieczeń różnych technologii, prowadząc do **całkowitej awarii krajowego systemu elektroenergetycznego**.

Uwaga: Podobne zdarzenia techniczne miały miejsce w ostatnich miesiącach (04/22 i 04/24), jednak dzięki skutecznej interwencji ich wpływ na system był znacznie mniej poważny.

Wnioski z awarii systemu elektroenergetycznego w Hiszpanii

- **Elektrownie wodne**, takie jak kompleks hydroelektryczny **Cortes–La Muela** w dorzeczu Morza Śródziemnego i na rzece Júcar, odegrały **kluczową rolę w reaktywacji dostaw energii elektrycznej** dzięki swojej zdolności do **autonomicznego rozruchu**.
- **99% elektrowni wymaga zewnętrznego źródła energii**, aby się uruchomić i pracować.

Jedynie elektrownie wodne są **wolne od tej zależności**.

- **Większość elektrowni wodnych jest w stanie uruchomić się samodzielnie, od zera, w przypadku całkowitej awarii systemu:**
 - Korzystając z **baterii lub autonomicznych generatorów** oraz wykorzystując wodę ze swoich zbiorników lub tam, elektrownie te mogą wytworzyć **początkową energię potrzebną do stopniowego ponownego uruchomienia innych jednostek wytwórczych**.
 - Proces ten tworzy tzw. „**wyspy energii**”, które operator systemu następnie **łączy z siecią**, aby **przyspieszyć odbudowę systemu elektroenergetycznego**.

Lessons from blackout in Spain



PODSUMOWANIE

- ELASTYCZNOŚĆ = BEZPIECZEŃSTWO
- ESP KLUCZOWE DLA OZE I ATOMU
- SUKCES ESP=MULTIDYSCYPLINARNE PODEJŚCIE +
MIEDZYNARODOWA WSPÓŁPRACA+ ZAANGAŻOWANIE POLITYCZNE
- ESP ≠ PODEJŚCIE JEDNOSTKOWE
- ESP = KORZYŚCI DLA CAŁEGO SYSTEMU I REGIONU
- Inwestycje w modernizację istniejącej infrastruktury, uproszczenie procedur administracyjnych oraz rozwój innowacyjnych modeli finansowych i technologicznych, w tym w zakresie cyfryzacji i AI, są kluczowe dla wykorzystania pełnego potencjału ESP jako kręgosłupa przyszłego, zdekarbonizowanego systemu energetycznego.



Dziękuję za uwagę

Zapraszamy do kontaktu !

Instytut OZE Sp. z o. o.

ul. Skrajna 41a
25 - 650 Kielce

www.instytutoze.pl

ewelina.bogacka@ioze.pl
534 691 570

michal.kubecki@ioze.pl
505 176 479

