

Potencjalne kierunki rozwoju: hybrydyzacja, magazynowanie, usługi systemowe

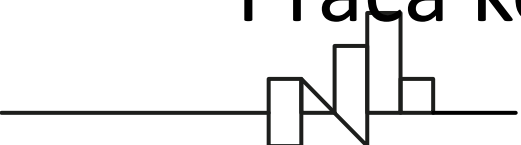
Dr inż. M. Lewandowski,

Dr inż. M.Kaniecki

Towarzystwo Elektrowni Wodnych , T-G Dnalop

Czym są omawiane pojęcia w odniesieniu do energetyki wodnej?

- **Magazynowanie energii** w elektrownia zbiornikowych, szczytowo pompowych, którego celem jest wykorzystania w dogodnym dla systemu energetycznego momencie.
- **Hybrydyzacja elektrowni wodnych** – współdziałanie wielu urządzeń współpracujących z elektrownia wodną w celu magazynowania energii lub zwiększenia produkcji „zielonej energii”.
- Hybryda elektrownia przepływowa + bateria akumulatorów = „elektrownia zbiornikowa”
- Hybryda elektrowni wodnej zbiornikowej oraz innych zielonych źródeł wytwarzania energii = możliwość skutecznej pracy źródeł niestabilnych wspomaganych dużym magazynem wodnym oraz zwiększenie produkcji „zielonej energii”.
- **Usługi systemowe** świadczone przez elektrownie wodne, w szczególności zbiornikowe i szczytowo-pompowe, tj.
 - Produkcja zielonej energii,
 - Magazynowanie energii,
 - Praca interwencyjna,
 - Płynna regulacja mocy i częstotliwości,
 - Praca kompensatorowa.



Sposoby magazynowania energii

Ze względu na „wypełnianie” rynku producentów energii coraz większą liczbą niestabilnych źródeł wytwarzania, takich jak wiatr czy słońce, konieczne stało się zwiększanie mocy interwencyjnych i budowa nowych magazynów energii dla wypełnienia niedoborów energetycznych.

Journal of Power Technologies 97 (3) (2017) 220–245

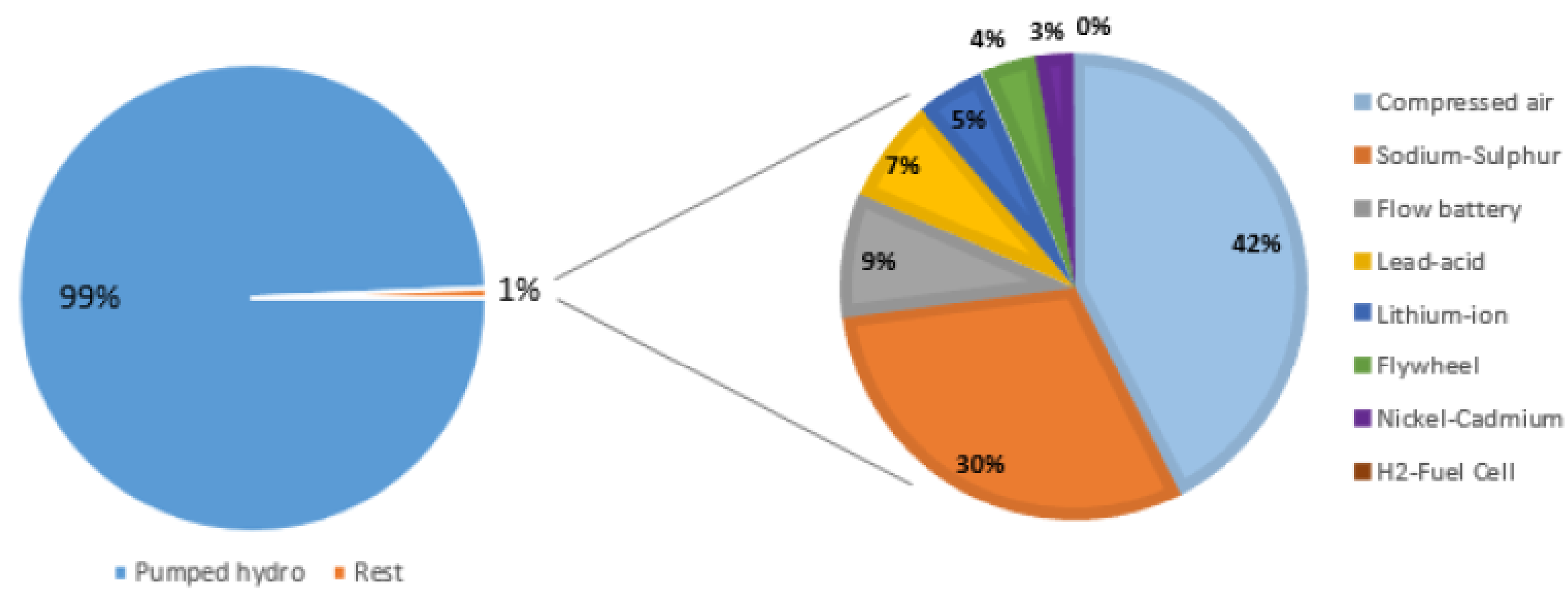


Figure 1: Global EES capacity by technology

A comparative review of electrical energy storage systems for better sustainability

Pavlos Nikolaidisa, Andreas Poullikkasb

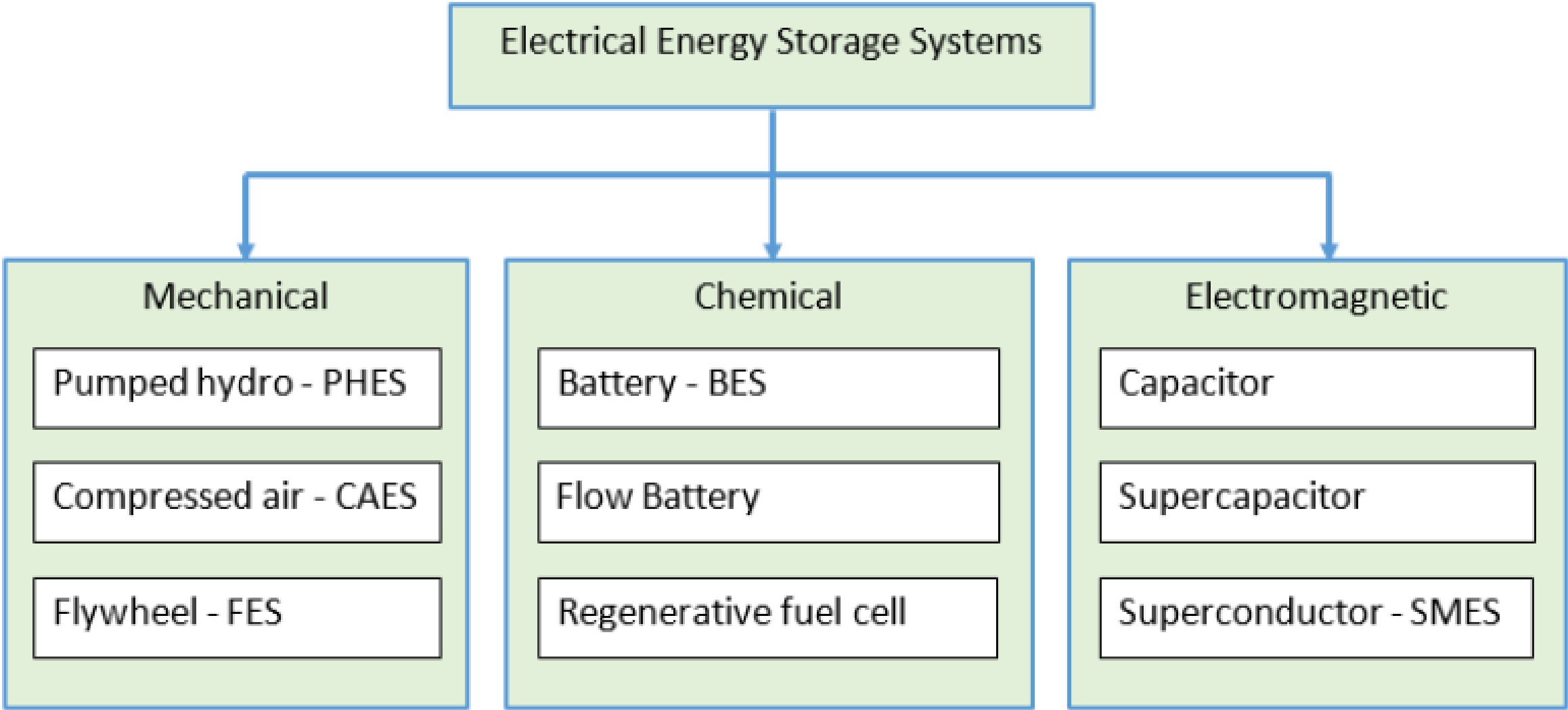
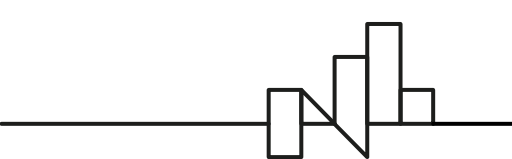


Figure 2: Classification of EES technologies by the form of stored energy

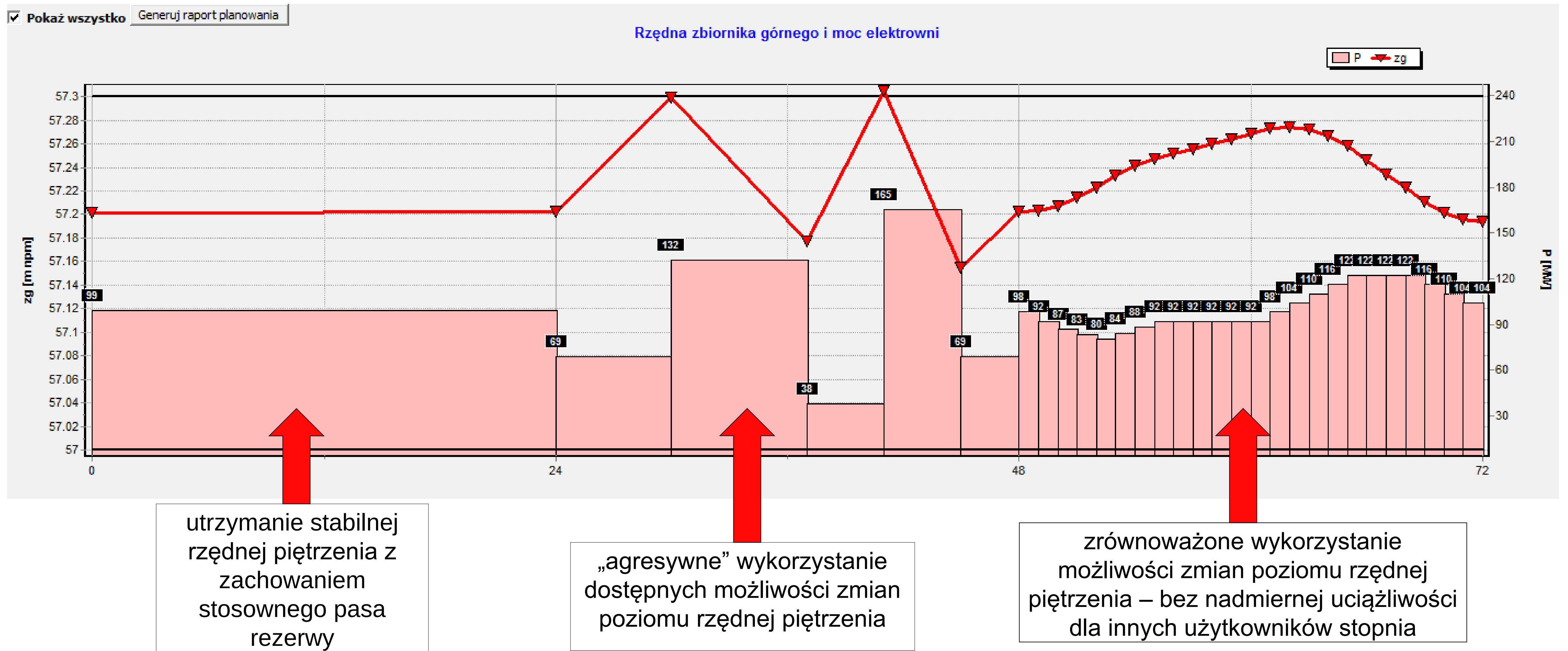


Magazynowanie energii w elektrowniach wodnych

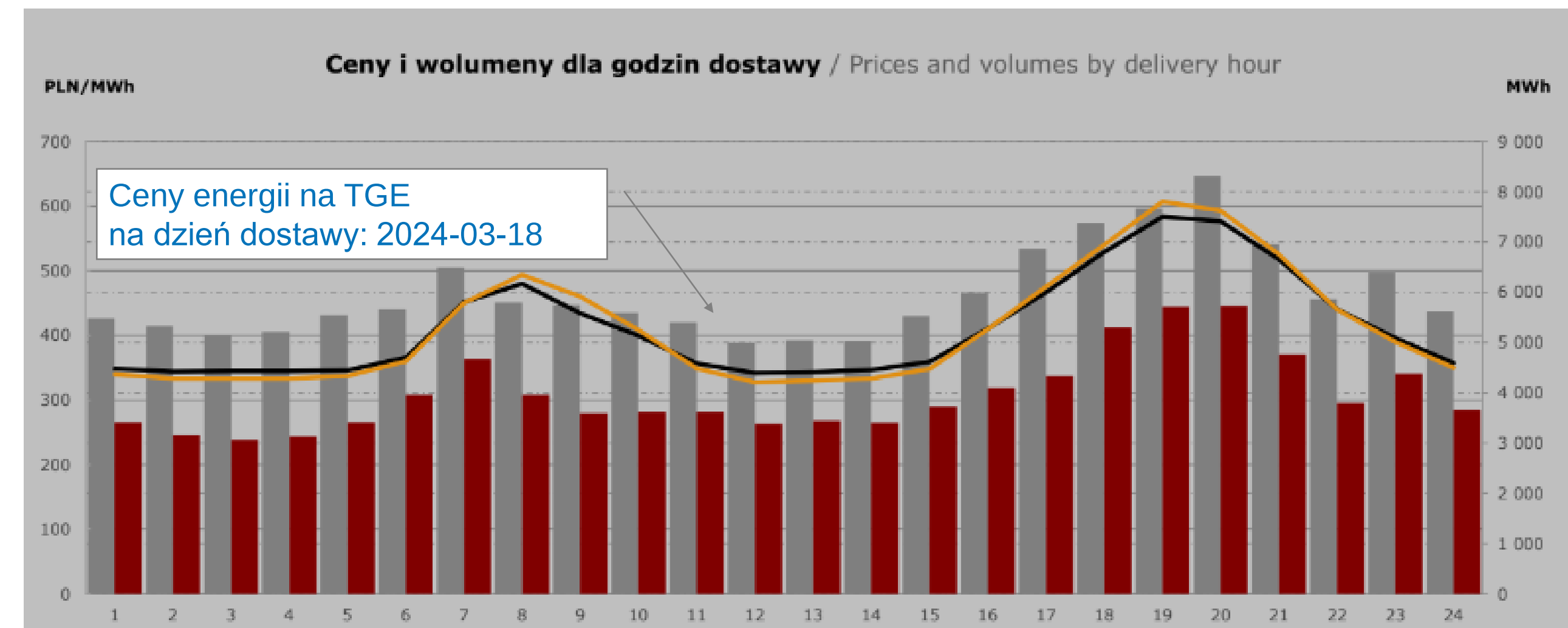
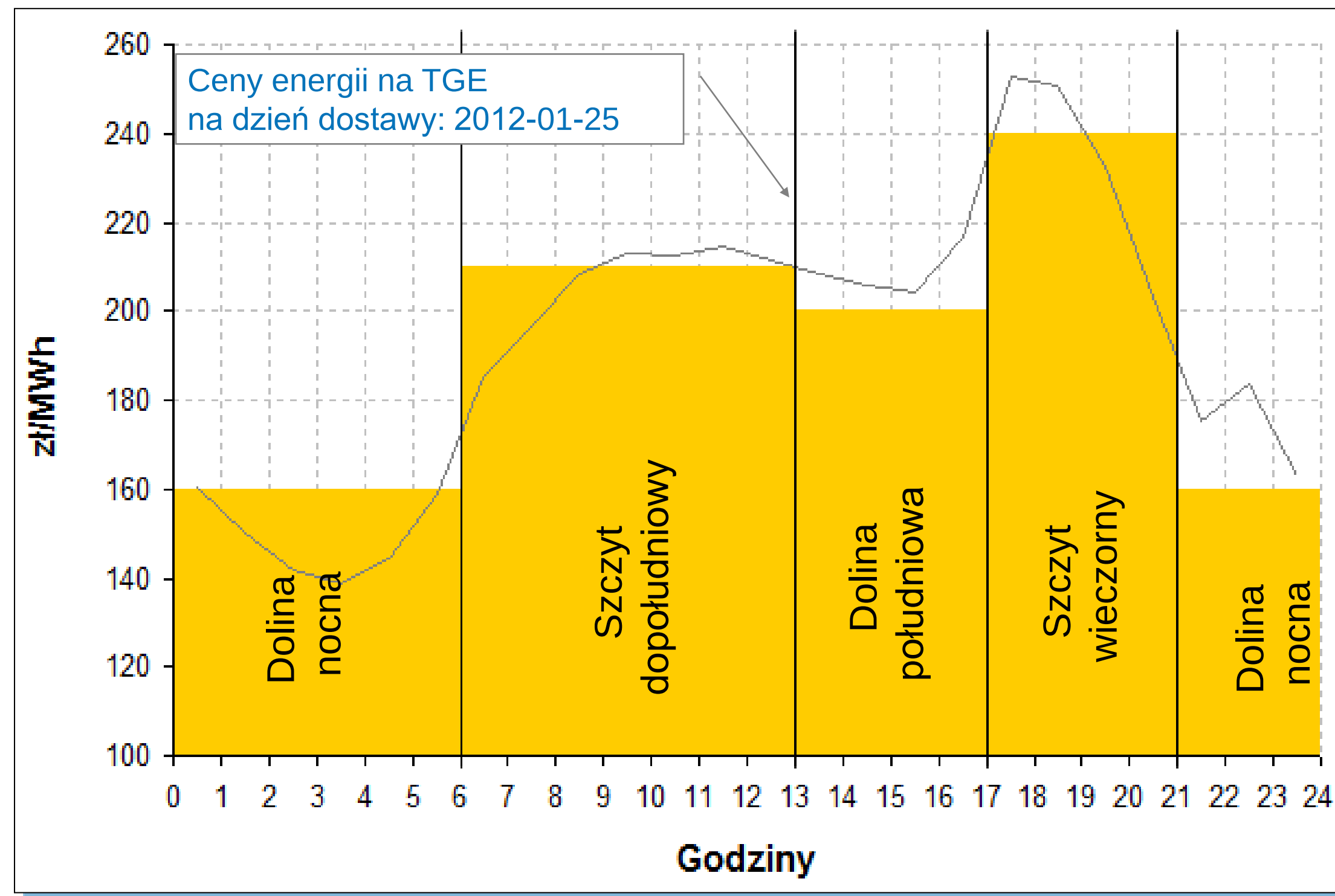
- Zalety elektrowni wodnych wiążą się z:
 - ogólnostatową polityką preferowania pozyskiwania energii z odnawialnych źródeł;
 - koniecznością wdrażania programów oszczędnościowych, w tym programu retencjonowania wody, wynikającej z występującego w Polsce jej niedoboru;
 - relatywnie niskimi kosztami eksploatacji związanymi z wykorzystywaniem praktycznie darmowego odnawialnego źródła energii;
 - możliwością akumulacji energii i dużej elastyczności produkcji związanej z wysoką regulacyjnością tych elektrowni, co pozwala na czynny udział elektrowni na rynku mocy i rynku bilansującym;
 - możliwością pracy ze zmiennym programowym obciążeniem, odpowiednio do wielkości zapotrzebowania na moc i energię w systemie energoelektrycznym.
 - możliwością świadczenia regulacyjnych usług systemowych, takich jak:
 - rezerwa mocy sekundowej i minutowej;
 - praca kompensatorowej;
 - regulacja napięcia i częstotliwości w systemie;
 - udział w odbudowie napięcia i pracy na sieć wydzieloną;
 - praca interwencyjnej.



Przykłady różnych systemów pracy elektrowni zbiornikowych



Wykorzystanie elektrowni zbiornikowej dla prowadzenia sprzedaży na rynku energii.



Hybrydyzacja elektrowni wodnych –współpraca elektrowni wodnych z pływającą farmą paneli fotowoltaicznych

Zalety stosowania hybrydy „słońce – woda”:

- zwiększenie mocy oddawanej do sieci przez zespół urządzeń,
- zagospodarowanie energetyczne powierzchni zbiorników,
- w przypadku współpracy z elektrownią szczytowo-pompową możliwość bezpośredniego magazynowania energii w dolinach południowych,
- znacznie lepsze chłodzenie paneli fotowoltaicznych, przedłużające ich żywotność.

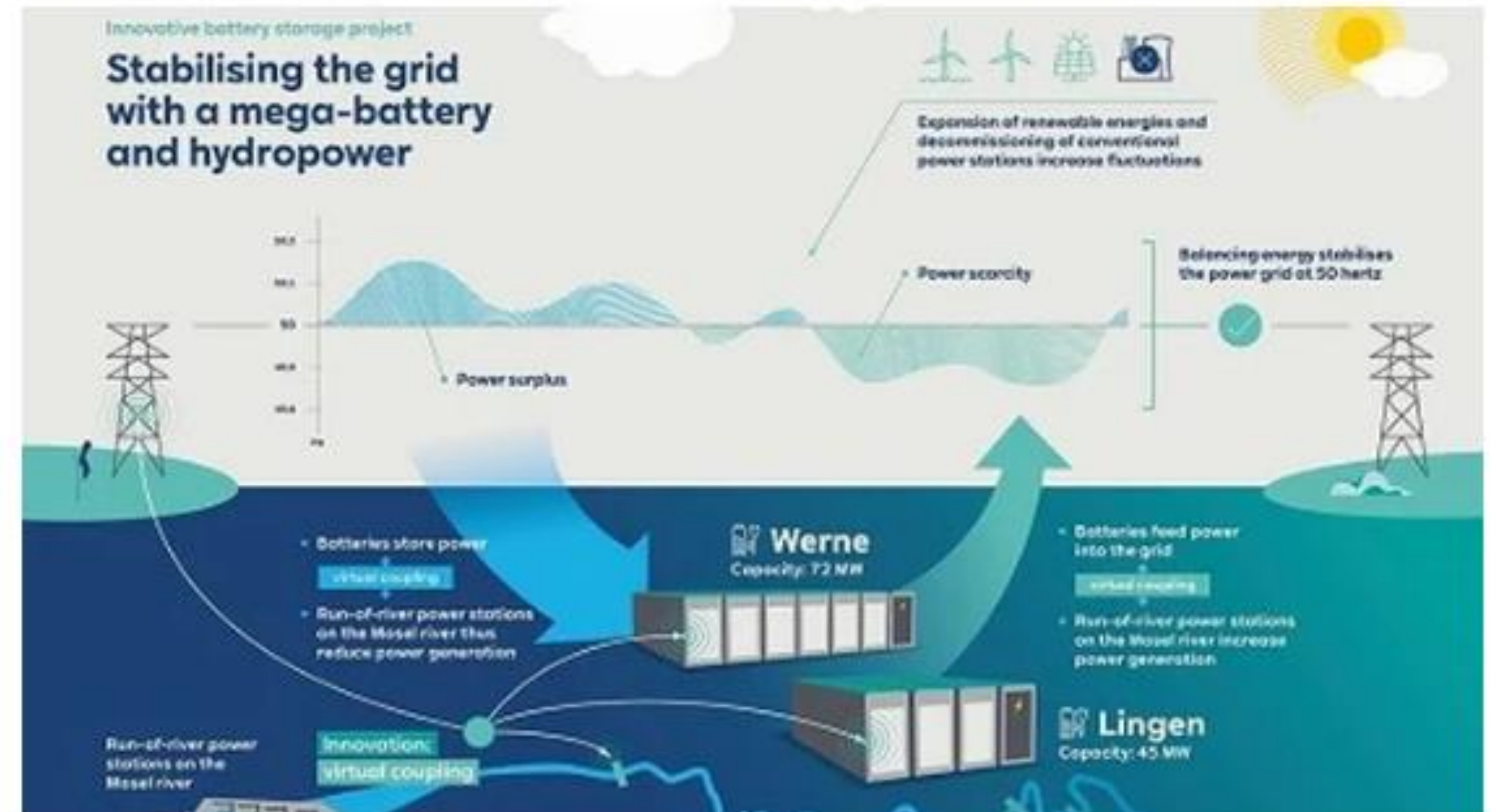


Hybrydyzacja elektrowni wodnych –współpraca elektrowni wodnych z magazynem bateryjnym

Ten rodzaj hybrydy stosowany jest głównie w elektrowniach przepływowych, aby zwiększyć ich możliwości magazynowania energii i poprawić elastyczność pracy.

Zalety:

- częściowe uniezależnienie produkcji elektrowni od chwilowego dopływu,
- możliwość sprzedaży energii po wyższych cenach w okresie niedoboru produkcji,
- ograniczenie konieczności częstej regulacji układem łopatkowym,
- ograniczenie niekorzystnego wpływu zjawisk przejściowych w maszynach hydraulicznych, tj: chwilowych spadków mocy przy szybkim przesterowaniu, obciążeń udarowych elementów przestawczych.



Niemiecki koncern RWE ukończył budowę baterijnego systemu magazynowania energii o parametrach 117 MW/128 MWh. Ogromna instalacja wykorzystywana będzie na potrzeby elektrowni RWE w Lingen i Werne.

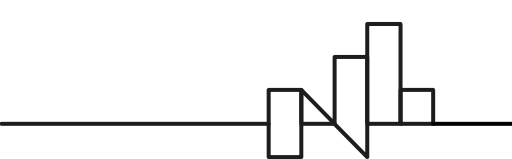
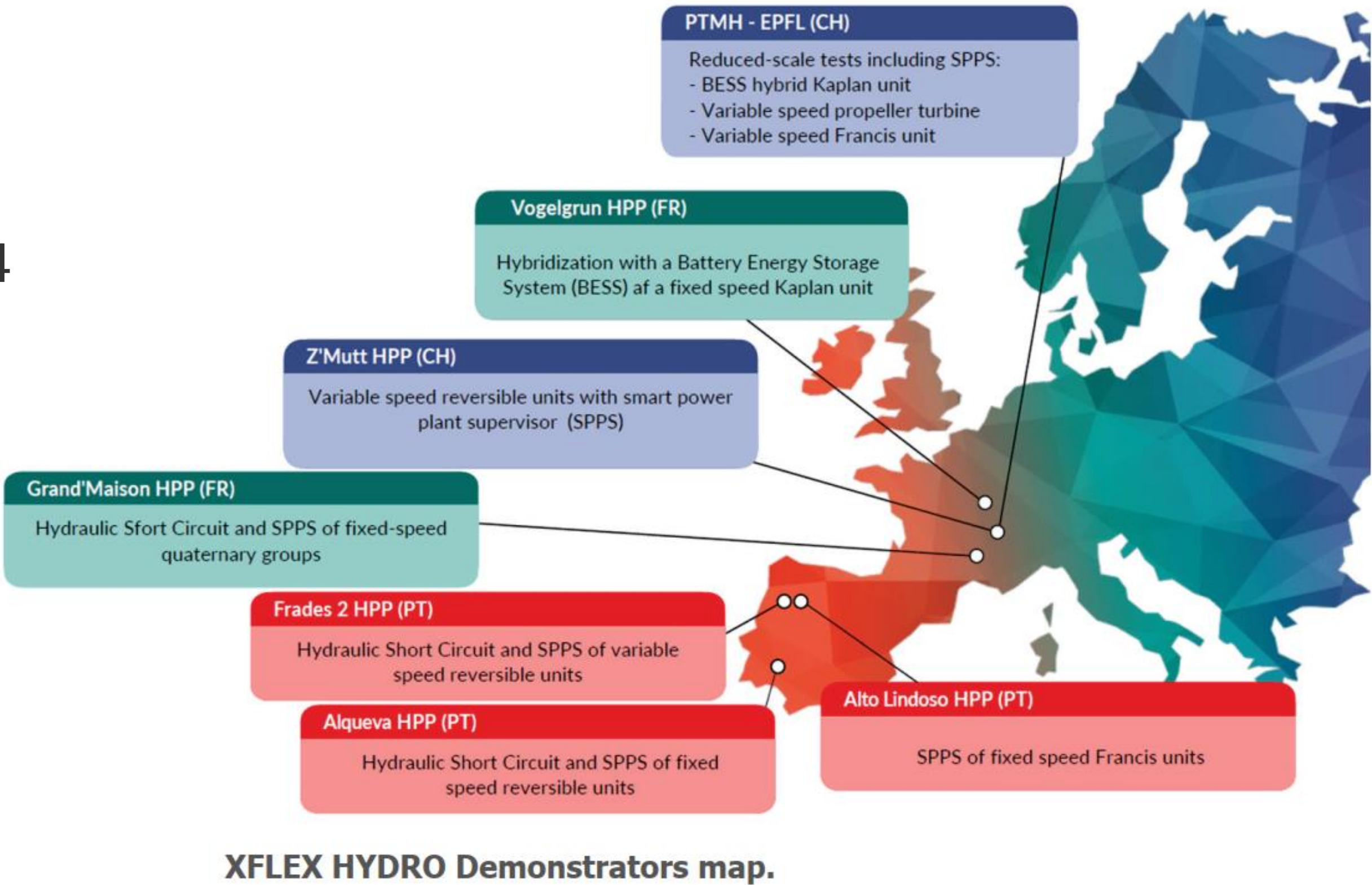


Rozszerzenie usług systemowych jako efekt poprawy elastyczności i zakresu pracy elektrowni wodnych

(Przedstawienie wyników projektu XFlexHydro)



19 partnerów
18 mln EUR (Horizon 2020): wrzesień 2019 - luty 2024



Projekt XFlexHydro



Cel projektu:

Uelastycznienie pracy elektrowni wodnych pod kątem zwiększenia potencjału produkcyjnego w istniejących elektrowniach wodnych oraz rozszerzenia świadczenia usług systemowych.

Rozszerzenie usług systemowych:

- Praca interwencyjna – zwiększenie możliwości startów i zatrzymań maszyny;
- Praca w szerokim zakresie zmiany obciążeń turbiny;
- Płynna regulacja mocy czynnej od mocy ujemnych (praca pompowa) do mocy dodatnich (praca turbinowa) ;
- Zmniejszenie niekorzystnych zmian parametrów pracy maszyny przy prowadzeniu pierwotnej i wtórnej regulacji częstotliwości sieci.

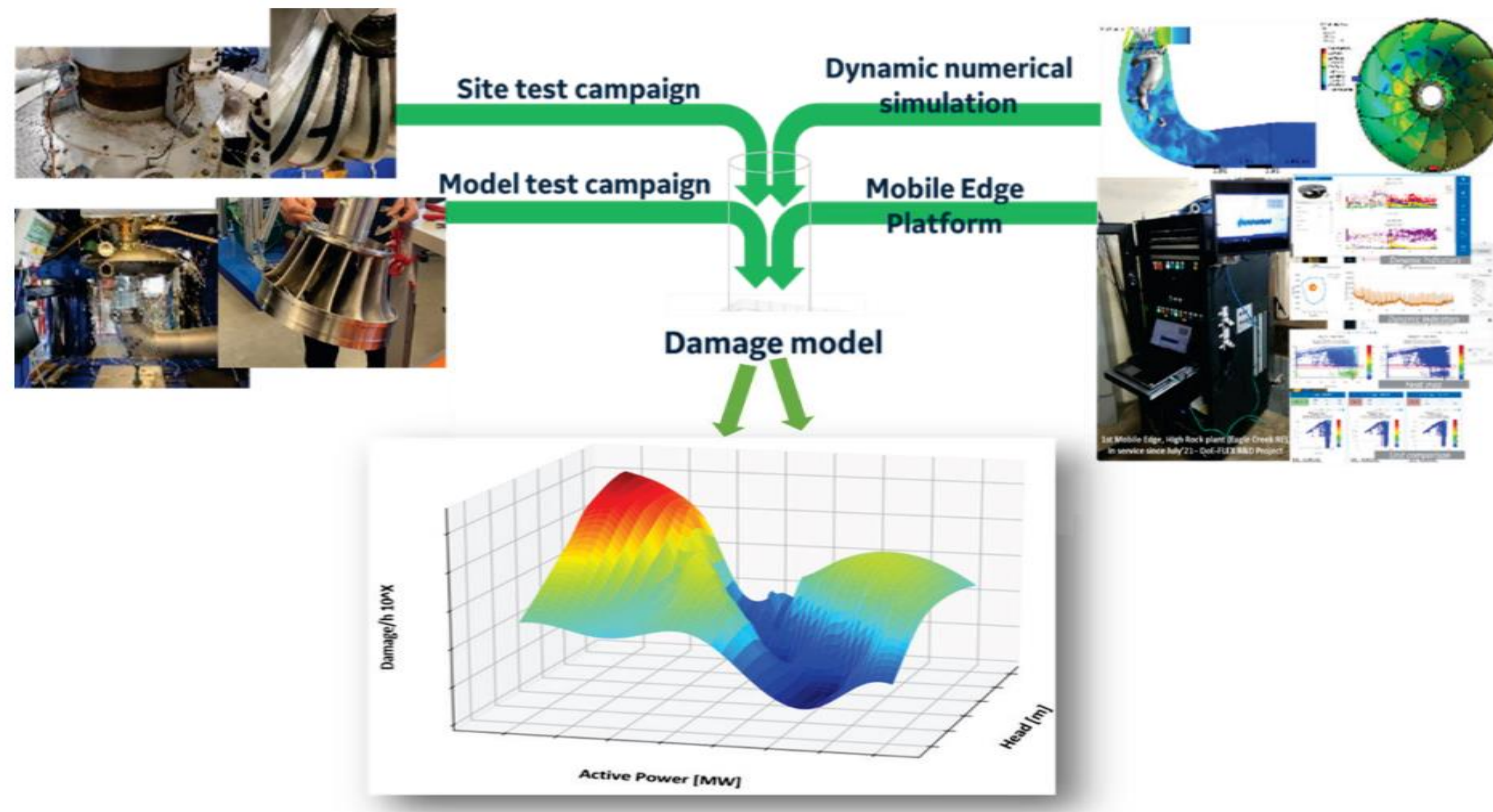


Projekt XFlexHydro



Realizacja celu projektu poprzez:

- Rozpowszechnienie techniki sterowania maszyną poprzez zmienną szybkość obrotową - Variable speed units;
- Praca elektrowni w zwarcu hydraulicznym badania i aplikacje - Hydraulic short circuit;
- Hybrydyzacja z magazynem bateryjnym - Hybridisation with a battery energy storage system;
- System ciągłego monitorowania i optymalizacji pracy elektrowni - Smart Power Plant Supervisor (real-time optimisation methodology)

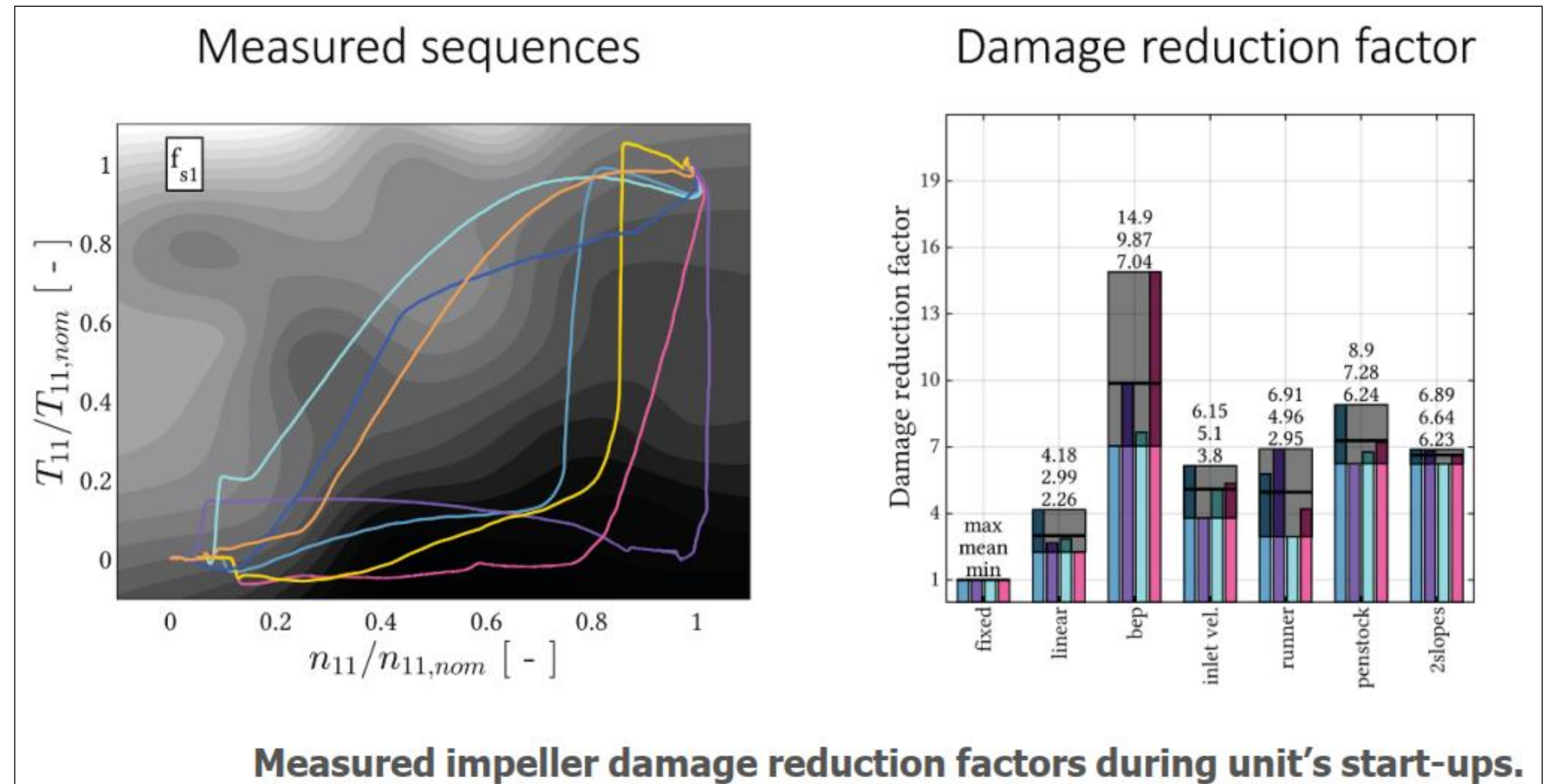


Projekt XFlexHydro

Zmienna szybkość obrotowa
hydrozespołów

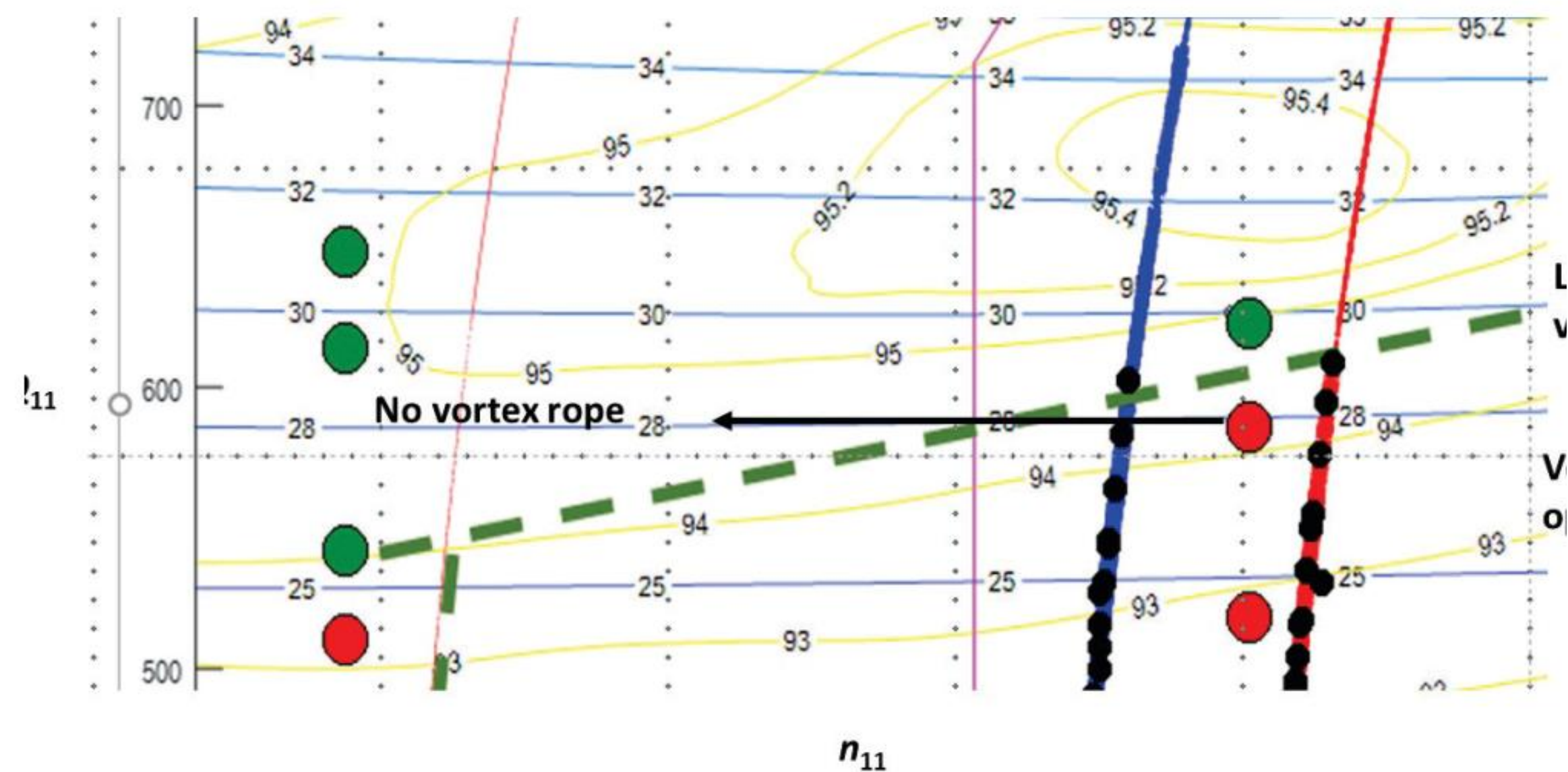
Zalety:

- zwiększenie dopuszczalnej ilości startów i zatrzymań maszyny poprzez płynne obciążanie i odciążanie maszyn,
- uniknięcie niestabilności podczas rozruchu maszyny,
- szybka odpowiedź maszyny na zmiany obciążeń i częstotliwości w sieci,
- możliwość regulacji pompo-turbiny w pracy pompowej,
- unikanie obszarów obciążeń częściowych, gdzie intensyfikują się procesy generacji wirowości w rurze ssącej.

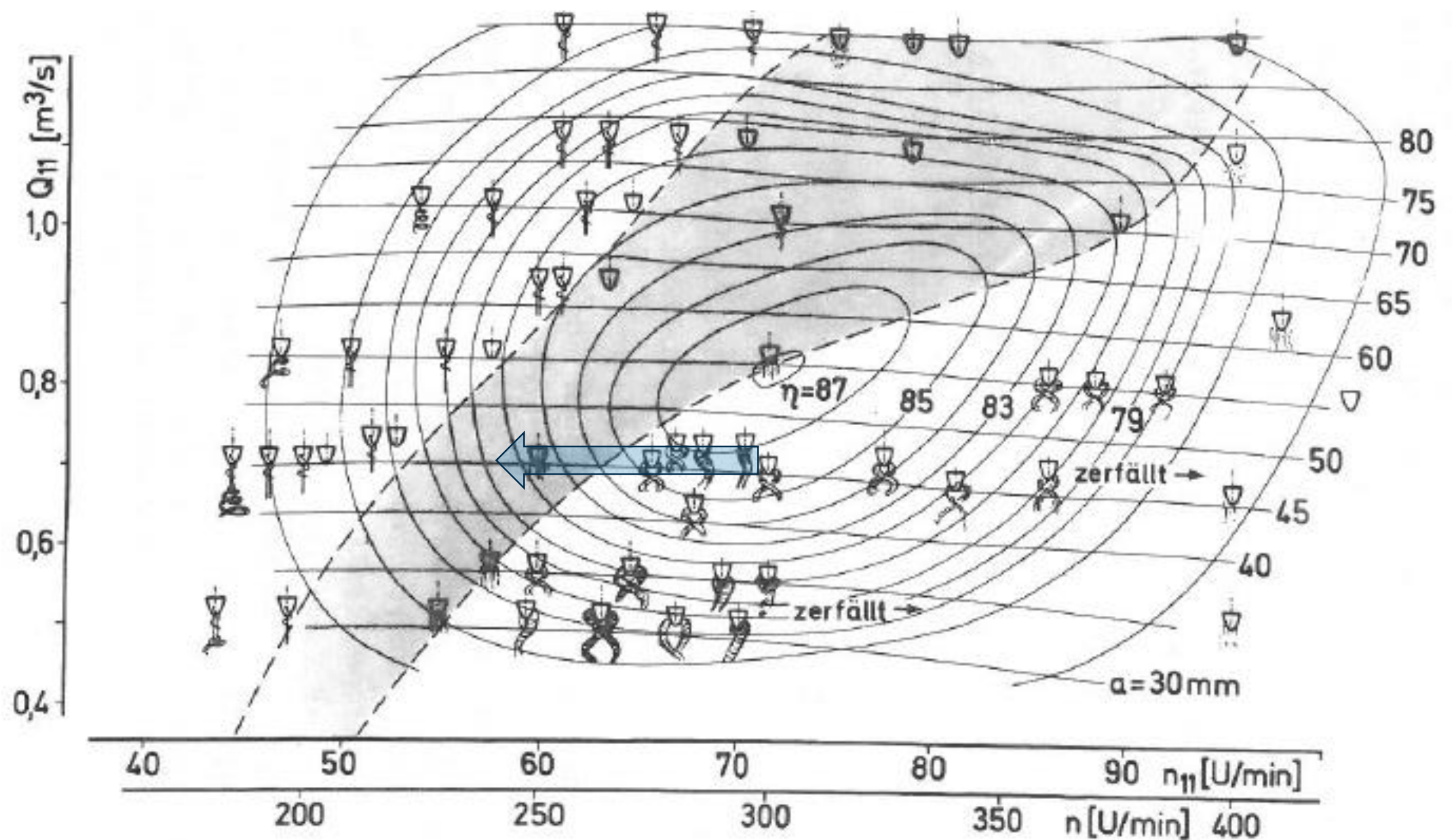


Projekt XFlexHydro

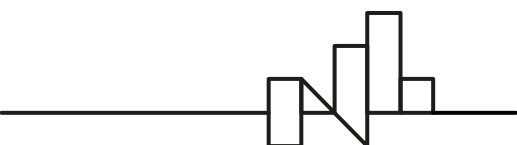
Zmienna szybkość obrotowa hydrozespołów



Avoiding vortex rope by reducing the rotating speed in the n_{11} -hill chart, in SI units (N in min^{-1} , Q in $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$).



Günter Schlemmer



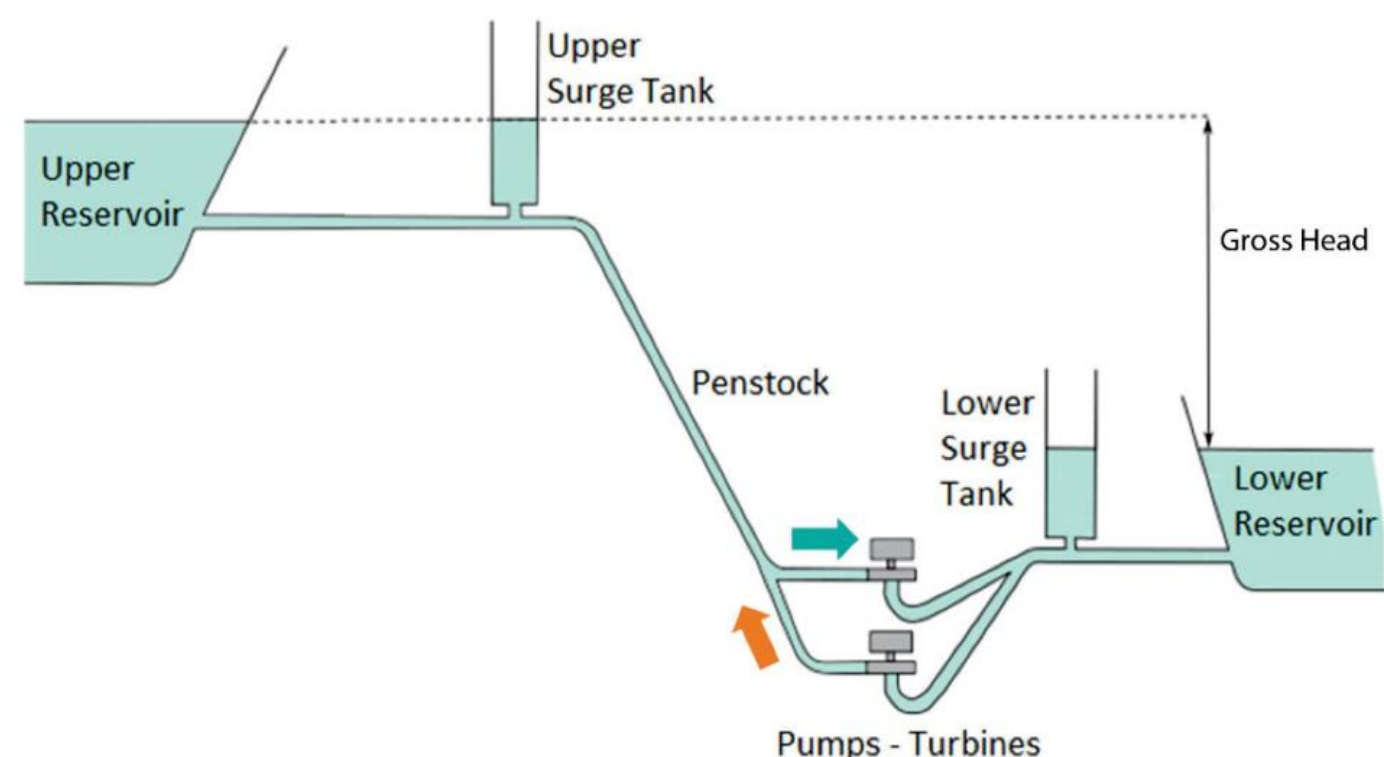
Projekt XFlexHydro



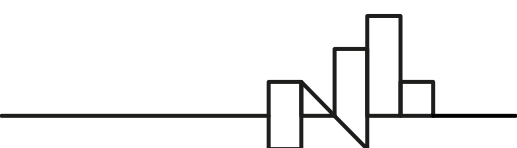
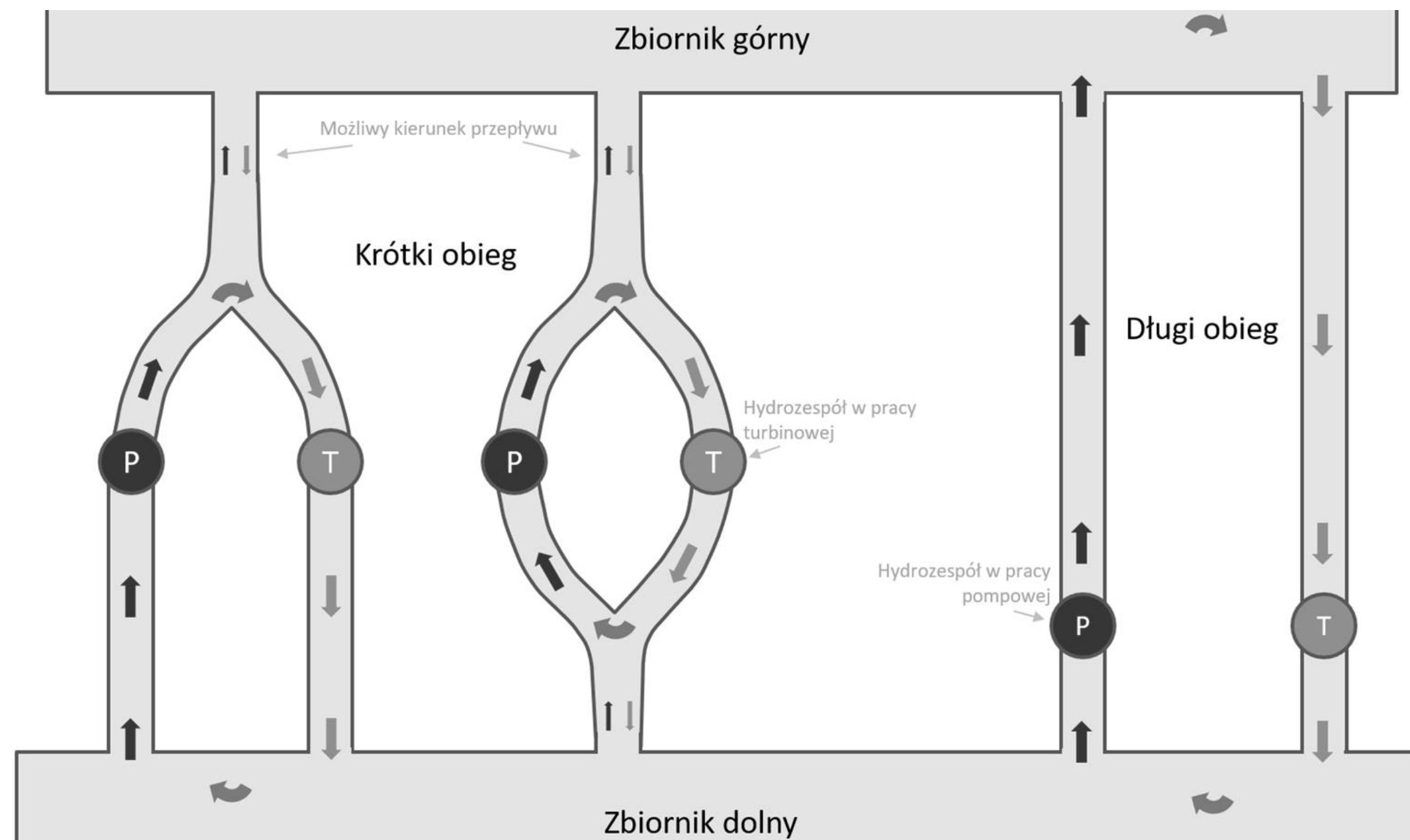
Zwarcie hydrauliczne w elektrowniach szczytowo-pompowych.

Zalety:

- znaczące zwiększenie zakresu regulacji elektrowni,
- możliwość pracy „w gotowości” z mocą około zerową,
- relatywnie niewielki koszt wdrożenia w elektrowni,
- płynna regulacja mocy pobieranej.

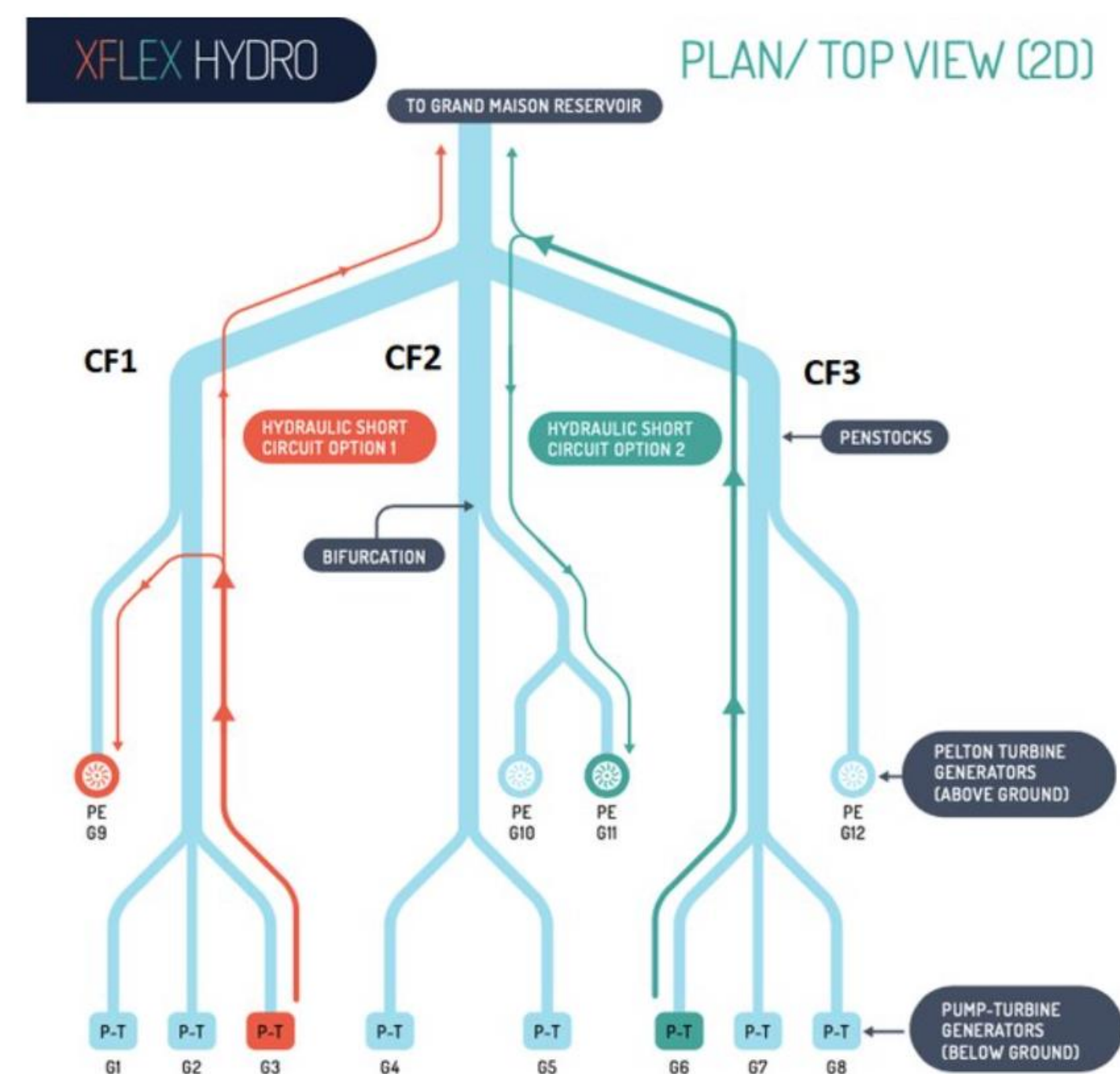


HSC operation of a PSP scheme featuring two reversible pump-turbine units.



Projekt XFlexHydro

Zwarcie hydrauliczne w elektrowniach szczytowo-pompowych.



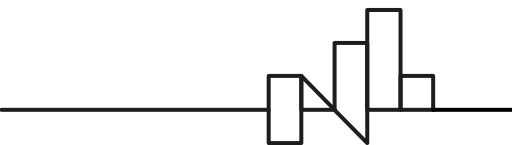
Section view of the Grand'Maison power plant. (b): Schematic representation of the power plant with the three bifurcations and the trifurcation as well as the flow paths for HSC configurations of type 1 (orange) and type 2 (green blue).

Grand'Maison, położona we francuskich Alpach, jest największą w Europie elektrownią szczytowo-pompową o mocy 1800 MW. Elektrownia posiada wiele jednostek produkcyjnych, w tym 4 turbiny Peltona i 8 pompoturbin. W ramach projektu XFLEX HYDRO przeprowadzono badania pracy w zwarcu hydraulicznym przy zastosowaniu rozbudowanego systemu monitoringu pracy elektrowni.



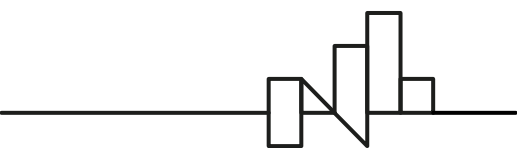
Możliwość zastosowania zwarcia hydraulicznego w polskich elektrowniach szczytowo-pompowych.

NAZWA ELEKTROWNI	SCHEMAT UKŁADU PRZEPŁYWOWEGO	ZAKRES REGULACJI MOCY W KLASYCZNYM SYSTEMIE PRACY	ZAKRES REGULACJI MOCY W SYSTEMIE ZWARCIA HYDRAULICZNEGO	OBSZAR CIĄGŁEJ I BEZPRZERWOWEJ REGULACJI MOCY CZYNNEJ
ESP DYCHÓW		$P_{min} = +6,0 \text{ MW}$ (1×T z mocą min) $P_{max} = +85,5 \text{ MW}$ (3×T z mocą max) Zakres regulacji $\Delta P = 79,5 \text{ MW}$ ciągły obszar regulacji	$P_{min} = -16,0 \text{ MW}$ (1×P + 1×T z mocą min) $P_{max} = +85,5 \text{ MW}$ (3×T z mocą max) Zakres regulacji $\Delta P = 101,5 \text{ MW}$ ciągły obszar regulacji	System klasyczny: $\Delta P_{reg,A} = 79,5 \text{ MW}$ Zwarcie hydrauliczne: $\Delta P_{reg,A} = 101,5 \text{ MW}$ Zwiększenie zakresu regulacji o: +22 MW; 28%
ESP SOLINA		$P_{min} = +20,0 \text{ MW}$ (1×T z mocą min) $P_{max} = +200,0 \text{ MW}$ (4×T z mocą max) Zakres regulacji $\Delta P = 180 \text{ MW}$ z wyłączeniem obszaru: (+32 ÷ +40 MW) $\Delta P = 8 \text{ MW}$	$P_{min} = -22,0 \text{ MW}$ (2×P + 1×T z mocą min) $P_{max} = +200,0 \text{ MW}$ (4×T z mocą max) Zakres regulacji $\Delta P = 222 \text{ MW}$ z wyłączeniem obszaru: (+6 ÷ +9 MW) $\Delta P = 3 \text{ MW}$	System klasyczny: $\Delta P_{reg,A} = 172 \text{ MW}$ Zwarcie hydrauliczne: $\Delta P_{reg,A} = 219 \text{ MW}$ Zwiększenie zakresu regulacji o: +47 MW; 28%
ESP ŻAR		$P_{min} = +80,0 \text{ MW}$ (1×T z mocą min) $P_{max} = +500,0 \text{ MW}$ (4×T z mocą max) Zakres regulacji $\Delta P = 420 \text{ MW}$ z wyłączeniem obszarów: (+125 ÷ +160 MW) $\Delta P = 35 \text{ MW}$	$P_{min} = -325,0 \text{ MW}$ (3×P + 1×T z mocą min) $P_{max} = +500,0 \text{ MW}$ (4×T z mocą max) Zakres regulacji $\Delta P = 825 \text{ MW}$ z wyłączeniem obszarów: (-280 ÷ -190 MW) $\Delta P = 90 \text{ MW}$ (-145 ÷ -135 MW) $\Delta P = 10 \text{ MW}$ (-10 ÷ +25 MW) $\Delta P = 35 \text{ MW}$	System klasyczny: $\Delta P_{reg,A} = 385 \text{ MW}$ Zwarcie hydrauliczne: $\Delta P_{reg,A} = 690 \text{ MW}$ Zwiększenie zakresu regulacji o: +305 MW; 79%



Możliwość zastosowania zwarcia hydraulicznego w polskich elektrowniach szczytowo-pompowych.

NAZWA ELEKTROWNI	SCHEMAT UKŁADU PRZEPŁYWOWEGO	ZAKRES REGULACJI MOCY W KLASYCZNYM SYSTEMIE PRACY	ZAKRES REGULACJI MOCY W SYSTEMIE ZWARCIA HYDRAULICZNEGO	OBSZAR CIĄGŁEJ I BEZPRZERWOWEJ REGULACJI MOCY CZYNNEJ
ESP ŻYDOWO		$P_{min} = +38,0 \text{ MW}$ (1×T z mocą min) $P_{max} = +165,0 \text{ MW}$ (3×T z mocą max) Zakres regulacji $\Delta P = 127 \text{ MW}$ z wyłączeniem obszarów: (+55 ÷ +76 MW) $\Delta P = 21 \text{ MW}$ (+110 ÷ +114 MW) $\Delta P = 4 \text{ MW}$	$P_{min} = -88,0 \text{ MW}$ (2×P + 1×T z mocą min) $P_{max} = +165,0 \text{ MW}$ (4×T z mocą max) Zakres regulacji $\Delta P = 253 \text{ MW}$ z wyłączeniem obszarów: (-71 ÷ -25 MW) $\Delta P = 46 \text{ MW}$ (-8 ÷ +13 MW) $\Delta P = 21 \text{ MW}$ (+55 ÷ +76 MW) $\Delta P = 21 \text{ MW}$ (+110 ÷ +114 MW) $\Delta P = 4 \text{ MW}$	System klasyczny: $\Delta P_{reg,A} = 102 \text{ MW}$ Zwarcie hydrauliczne: $\Delta P_{reg,A} = 161 \text{ MW}$ Zwiększenie zakresu regulacji o: +59 MW; 58%
ESP ŻARNOWIEC		$P_{min} = +107,0 \text{ MW}$ (1×T z mocą min) $P_{max} = +716,0 \text{ MW}$ (4×T z mocą max) Zakres regulacji $\Delta P = 609 \text{ MW}$ z wyłączeniem obszaru: (+179 ÷ +214 MW) $\Delta P = 35 \text{ MW}$	$P_{min} = -493,0 \text{ MW}$ (3×P + 1×T z mocą min) $P_{max} = +716,0 \text{ MW}$ (4×T z mocą max) Zakres regulacji $\Delta P = 1'209 \text{ MW}$ z wyłączeniem obszarów: (-421 ÷ -293 MW) $\Delta P = 128 \text{ MW}$ (-221 ÷ -186 MW) $\Delta P = 35 \text{ MW}$ (-21 ÷ +14 MW) $\Delta P = 35 \text{ MW}$	System klasyczny: $\Delta P_{reg,A} = 574 \text{ MW}$ Zwarcie hydrauliczne: $\Delta P_{reg,A} = 1'011 \text{ MW}$ Zwiększenie zakresu regulacji o: +437 MW; 76%
ESP NIEDZICA		$P_{min} = -98,0 \text{ MW}$ (1×P z mocą min) $P_{max} = +98,0 \text{ MW}$ (2×T z mocą max) Zakres regulacji $\Delta P = 196 \text{ MW}$ z wyłączeniem obszarów: (-74 ÷ -49 MW) $\Delta P = 25 \text{ MW}$ (-37 ÷ +5 MW) $\Delta P = 42 \text{ MW}$	$P_{min} = -98,0 \text{ MW}$ (2×P z mocą min) $P_{max} = +98,0 \text{ MW}$ (2×T z mocą max) Zakres regulacji $\Delta P = 196 \text{ MW}$ z wyłączeniem obszaru: (-74 ÷ -49 MW) $\Delta P = 25 \text{ MW}$	System klasyczny: $\Delta P_{reg,A} = 129 \text{ MW}$ Zwarcie hydrauliczne: $\Delta P_{reg,A} = 171 \text{ MW}$ Zwiększenie zakresu regulacji o: +42 MW; 33%



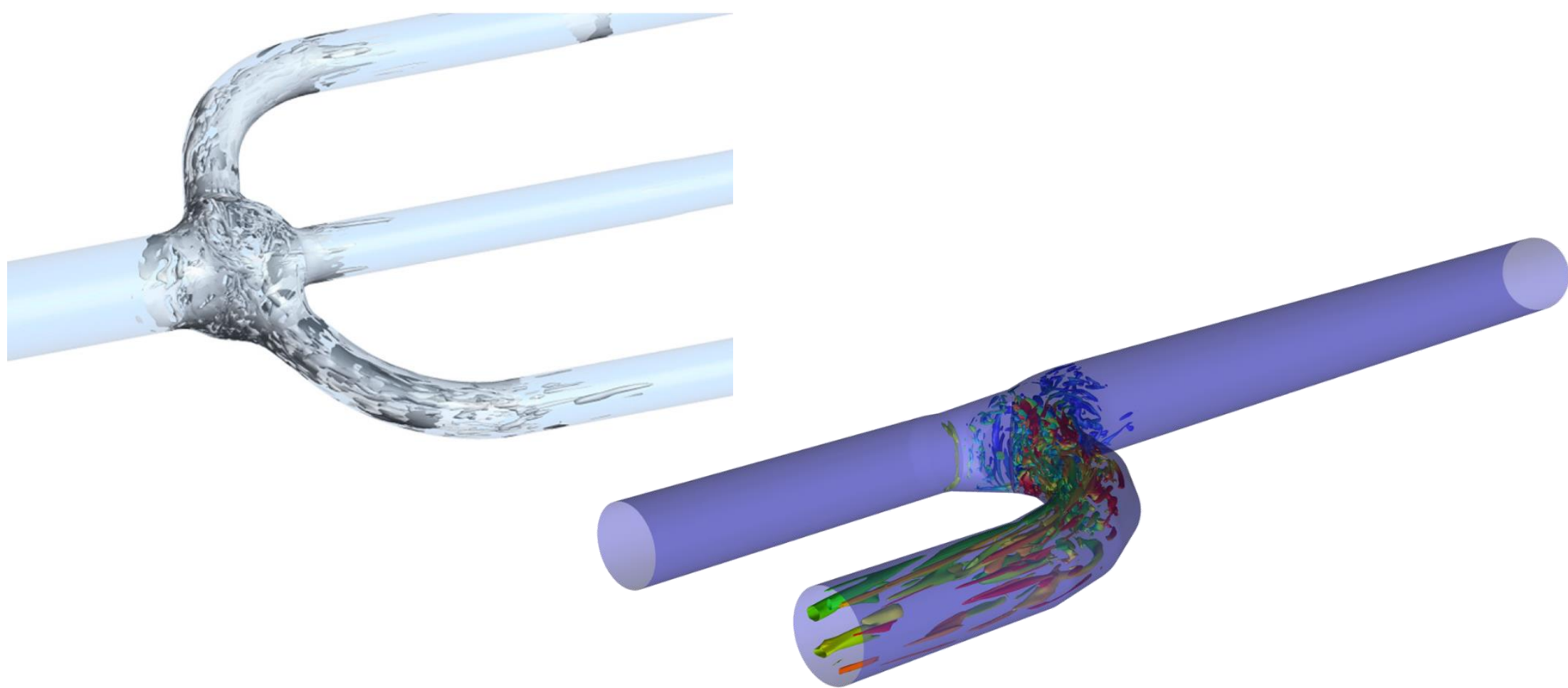
Możliwość zastosowania zwarcia hydraulicznego w polskich elektrowniach szczytowo-pompowych.

Ze względu na to, że system zwarcia hydraulicznego nie był przewidywany w ramach założeń pierwotnych projektów istniejących elektrowni szczytowo-pompowych, konieczne jest rozpoznanie ocena możliwości technicznych realizacji pracy maszyn w tym:

- Obliczenia numeryczne przepływu wody w węźle hydraulicznym stanowiącym miejsce przyłączenia (węzeł hydrauliczny) odgałęzień,
- Analizy numeryczne i pomiarowe (pomiarы względną metodą objętościową, metody eksploatacyjne) względnych zmian sprawności maszyn
- Numeryczne obliczenia stanu naprężeń w rurociągu w obrębie węzła hydraulicznego dla pracy w systemie zwarcia hydraulicznego;
- Pomiarы parametrów stanu dynamicznego (drgania, pulsacje ciśnień) podczas ustalonej pracy maszyn;
- Analizy numerycznej strat hydraulicznych;
- Analizy numeryczne i pomiarы parametrów pracy podczas stanów przejściowych,



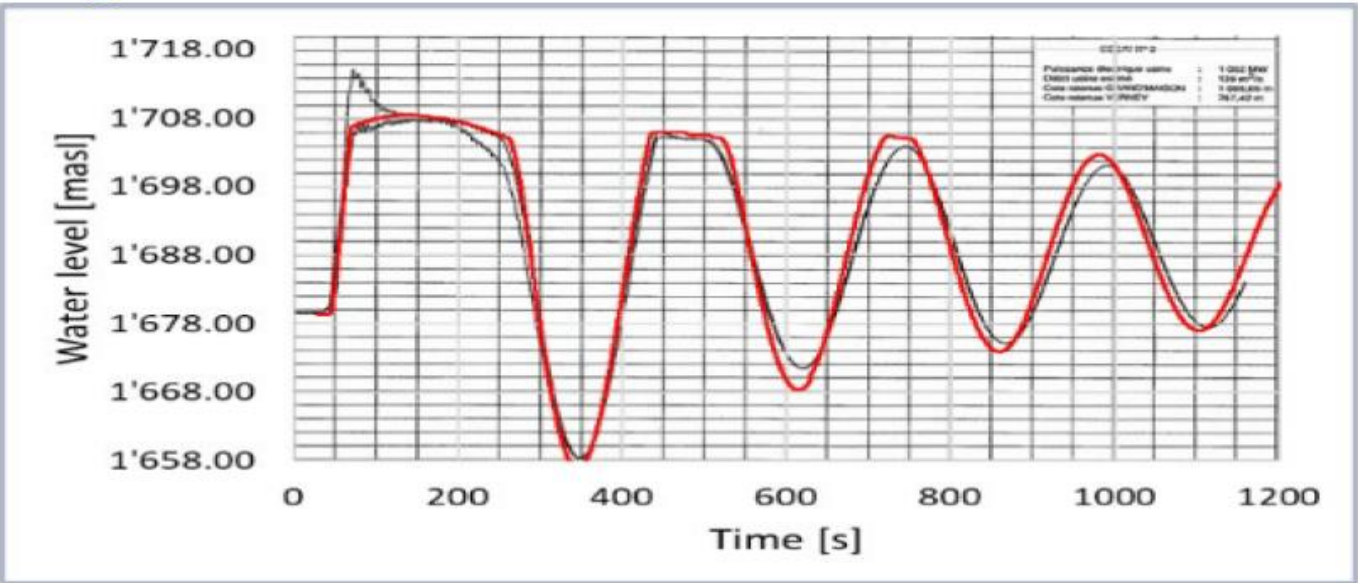
Możliwość zastosowania zwarcia hydraulicznego w polskich elektrowniach szczytowo-pompowych.



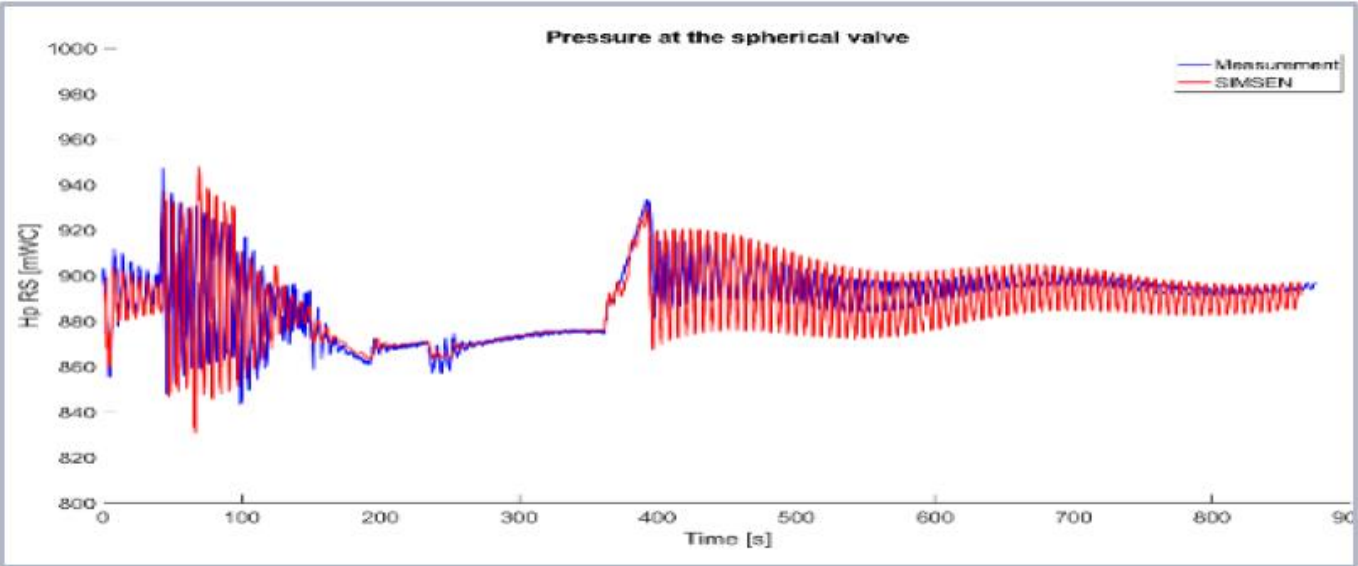
Computational fluid dynamics (CFD) in a bifurcation of Grand'Maison. Image credit to HES-SO.



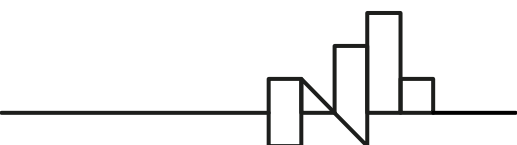
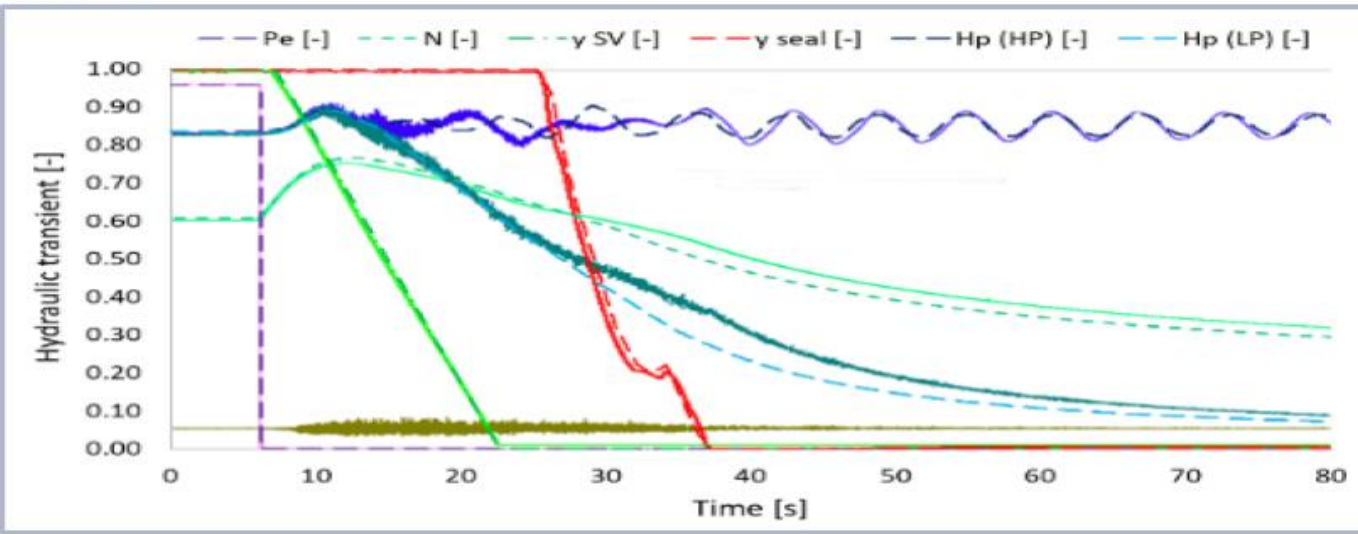
Surge tank



Penstock



Units

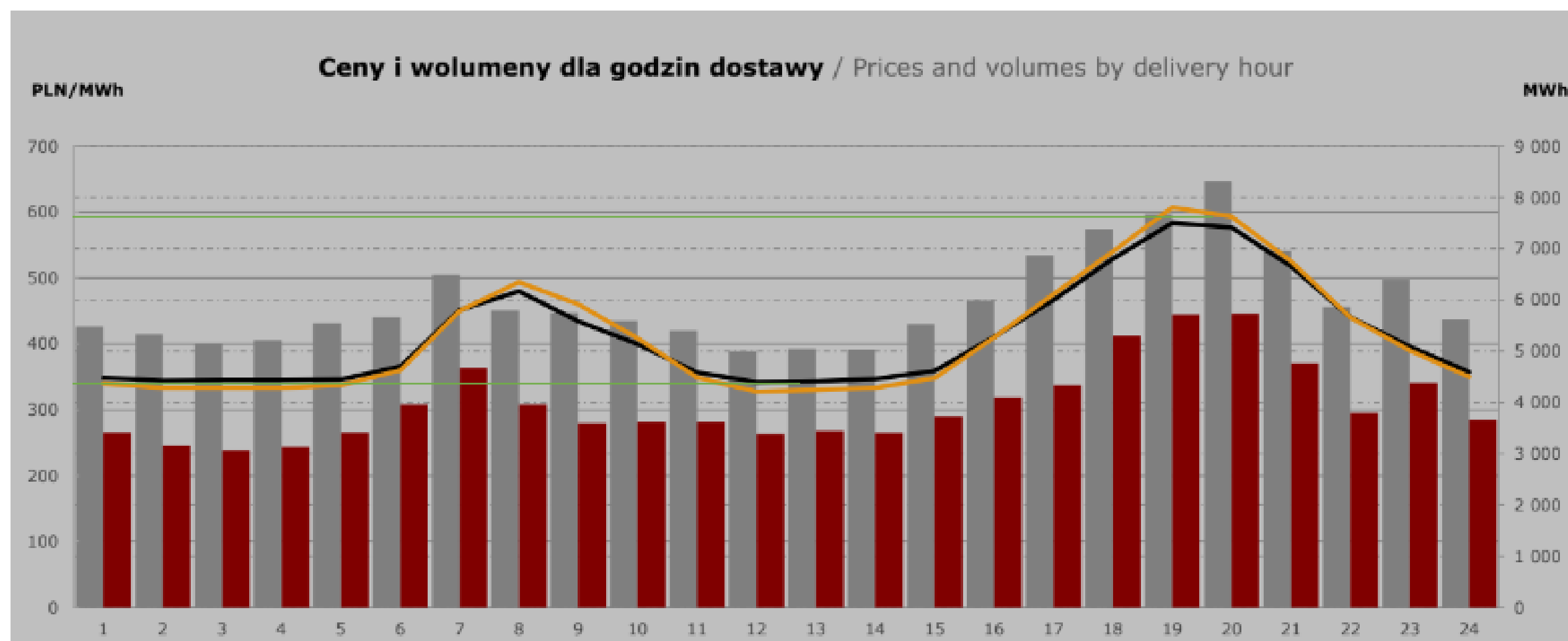


Projekt XFlexHydro

Hybrydyzacja elektrowni z magazynem bateryjnym.

Zalety:

- częściowe uniezależnienie produkcji elektrowni przepływowej od zmian przepływu na rzece,
- możliwość prowadzenie sprzedaży - „gry giełdowej” w okresach większego zapotrzebowania rynku na energię,
- szybka reakcja na zmiany częstotliwości w sieci – pierwotna regulacja częstotliwości,



Cena magazyny 100kWh wynosi ~300000 zł

Ilość cykli pracy do 8000

2 cykle na dobę , 700 cykli na rok.

Czas „życia” baterii = 11,5 roku.

Przychód dzienny = 100kWh x 0,15zł + 100kWh x 0,25zł= 40 zł

Przychód roczny = 40zł x 365dni = 14 600zł

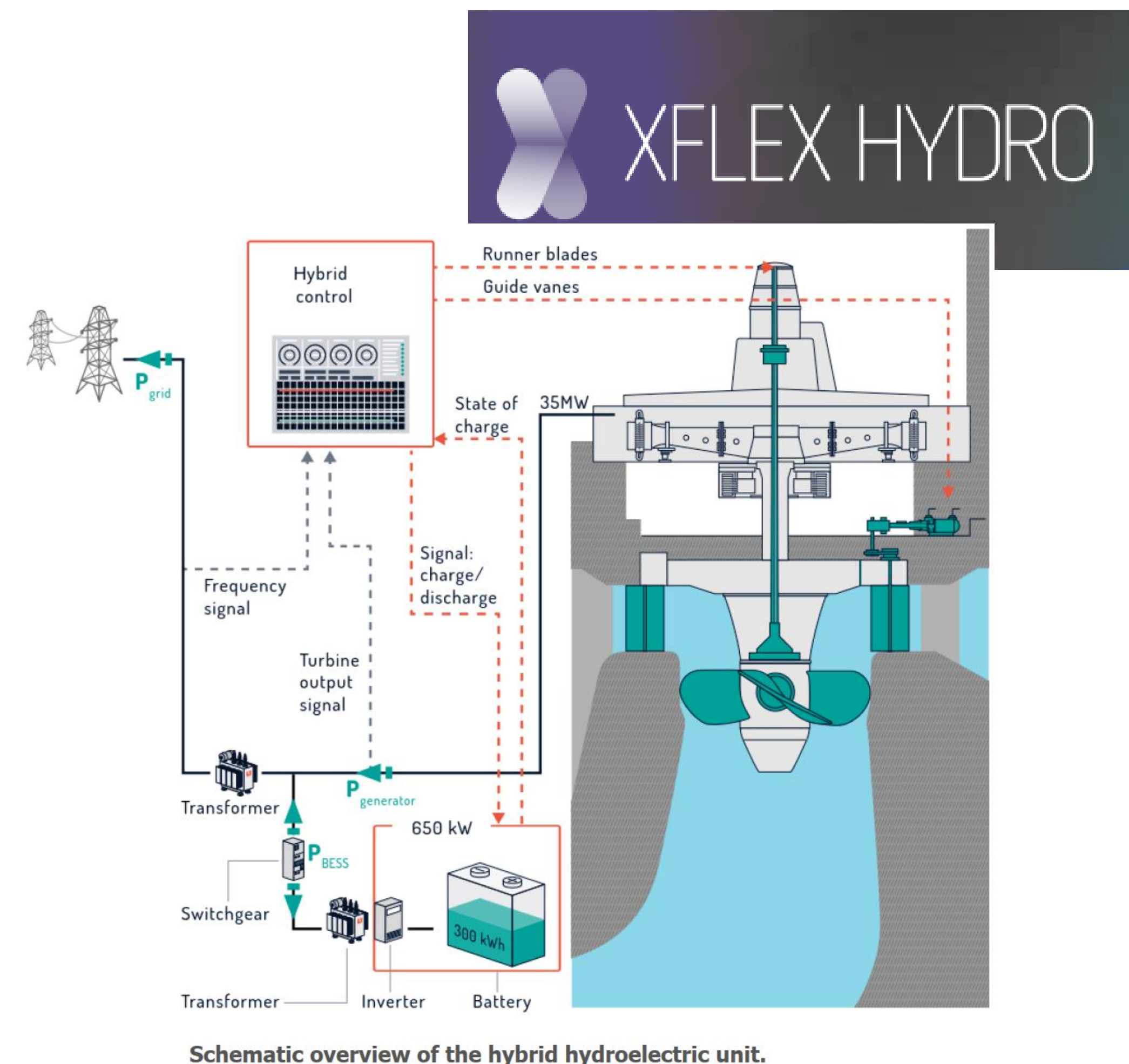
Przychód po 11,5 latach = 14 600zł x 11,5 = 167 000 zł

Inwestycja nieopłacalna z punktu widzenia zysków ze sprzedaży energii.

Wahania ceny mogą jednak być coraz wyższe.

EW Gubin – oddanie do eksploatacji. Spotkanie szkoleniowo – informacyjne. Dychów 24÷25.04.2024

Hybrydyzacja elektrowni z magazynem bateryjnym.



Vogelgrun to przepływowa elektrownia wodna o mocy 142 MW we Francji, położona w pobliżu granicy z Niemcami, na Renie. Elektrownia posiada cztery turbiny Kaplana niskospadowe, pracujące od 1959 r. W ramach projektu XFLEX HYDRO jedna z jednostek została połączona z magazynem bateryjnym niewielkiej mocy. Elektrowni poza standardową usługą produkcji energii, świadczy również usługi regulacji częstotliwości w sieci. Magazyn baterijny pozwolił na szybsze reagowanie układu na chwilowe zmiany częstotliwości.

Podsumowanie

Magazynowanie energii w perspektywie kilkudziesięciu lat będzie głównie oparte na elektrowniach szczytowo-pompowych i elektrowniach zbiornikowych,

Hybrydyzacja różnych źródeł wytwarzania „zielonej” energii pozwoli na podwyższenie elastyczności całej instalacji,

Podnoszenie możliwości magazynowania i elastyczności pracy elektrowni wodnych staje się priorytetem w europejskim systemie elektro-energetycznym.

Uelastycznienie pracy elektrowni celem zwiększenia możliwości świadczenia usług systemowych: rozszerzenie zakresu generacji mocy, zakresu regulacji mocy, możliwość szybszej regulacji częstotliwości sieci, zwiększenie żywotności hydrozespołów.

