

Hydroforum 2025

Dobór pompoturbin o regulowanej prędkości obrotowej

JULIUSZ KIREJCZYK

Doświadczenie z pompoturbinami



Pompoturbiny o kontrolowanej prędkości obrotowej:

- Dziesiątki studiów wstępnych i wykonalności
- Dwa projekty w trakcie realizacji
 - 4 x 450 MW
 - 4 x 300 MW



Ludington – 6 x 400 MW

Założenia

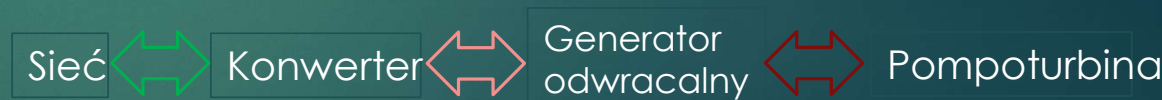
- ▶ Ogólna koncepcja projektu jest ustalona:
 - ▶ Rozmiary obu zbiorników i zakres zmienności spadów
 - ▶ Charakterystyka systemu transportu wody
 - ▶ Moc zainstalowana elektrowni
- ▶ Elementy doboru sprzętu
 - ▶ Liczba i moc jednostkowa hydrozespołów
 - ▶ Rodzaj systemu kontroli prędkości obrotowej
 - ▶ Elementy ograniczające liczbę proponowanych rozwiązań, typowo:
 - ▶ Prędkość synchroniczna
 - ▶ Posadowienie

Systemy kontoli prędkości obrotowej

- DFIM - Maszyny indukcyjne dwustronnie zasilane
Konwerter częstotliwości zasila uzwojenie wirnika prądem przemiennym

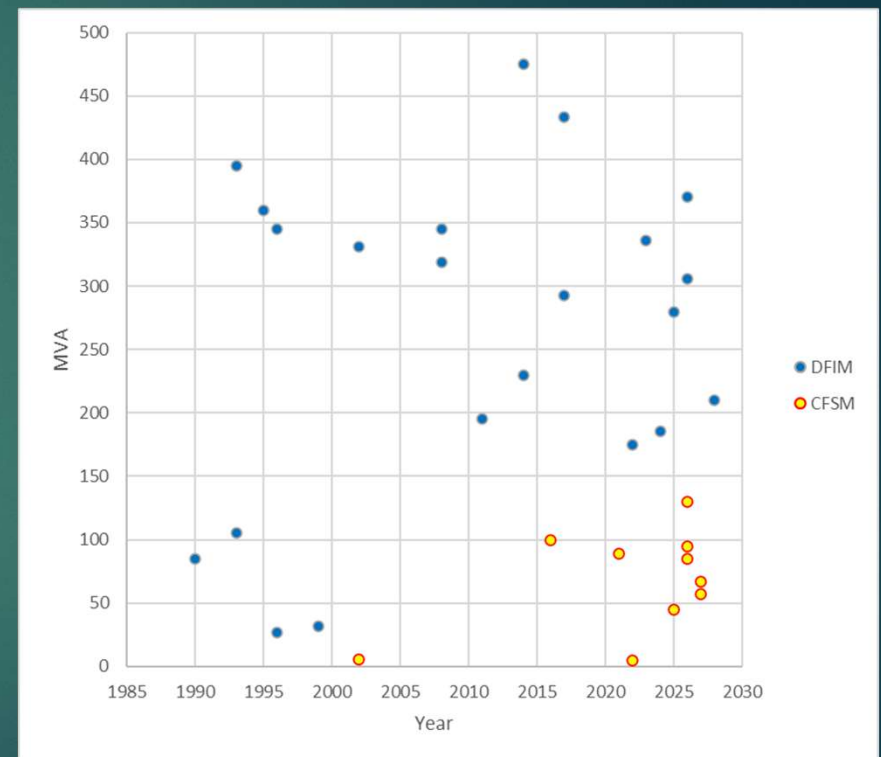


- CFSM - Maszyny synchroniczne zasilane konwerterem
Konwerter znajduje się między generatorem i transformatorem.



DFIM czy CFSM?

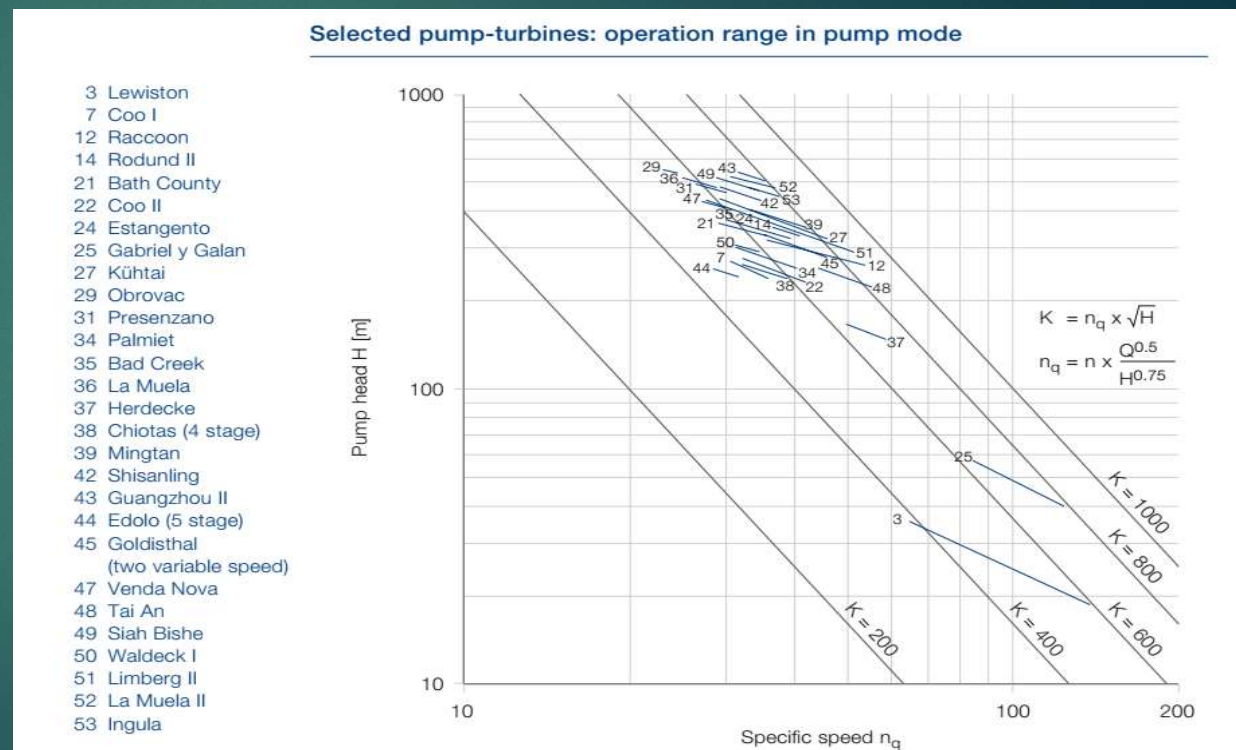
- DFIM
 - Typowa moc generatora >150 MW
 - Moc konwertera 15% - 30% mocy generatora
 - Uzwojenia wirnika generatora są wrażliwym elementem systemu
- CFSM
 - Moc konwertera równa mocy generatora
 - Częstotliwość prądu generatora $< 75\% f_{sieci}$
 - Atrakcyjne rozwiązanie, kiedy:
 - Moc hydrozespołu <100 MW
 - Duże wahania spadu



Dobór prędkości synchronicznej

Czynnik „K”

- ▶ Statystyczna miara „agresywności” strony hydraulicznej
- ▶ Prędkość synchroniczna ↗
- ▶ Koszt hydrozespołu ↘
- ▶ Obecny limit $K \approx 900$

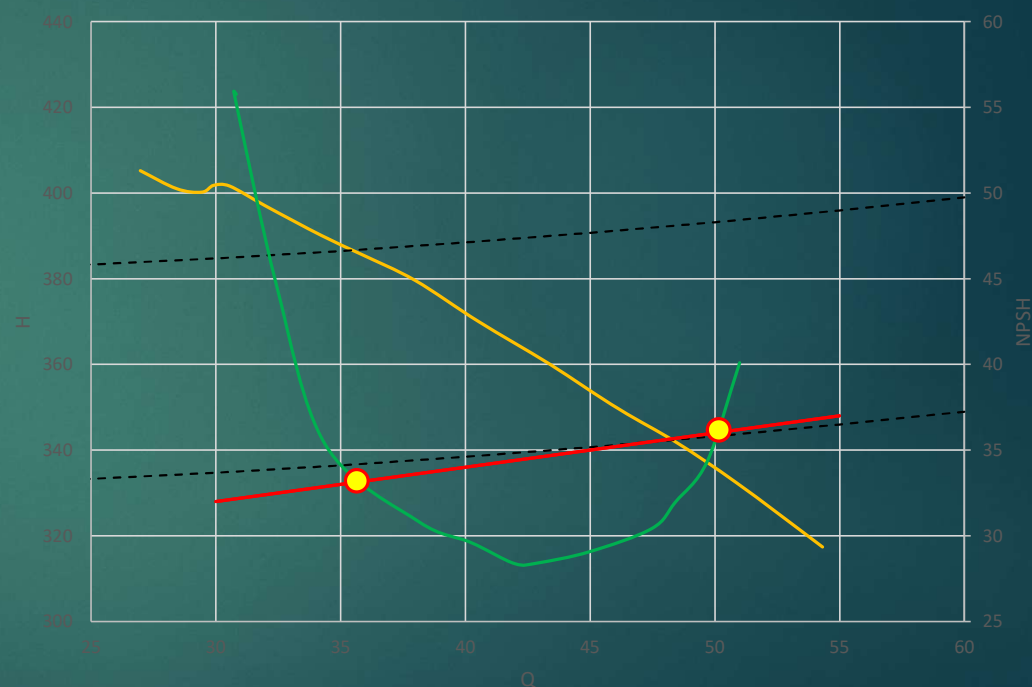


Copyright Voith Hydro

Limity ruchu pompowego

Stała prędkość obrotowa

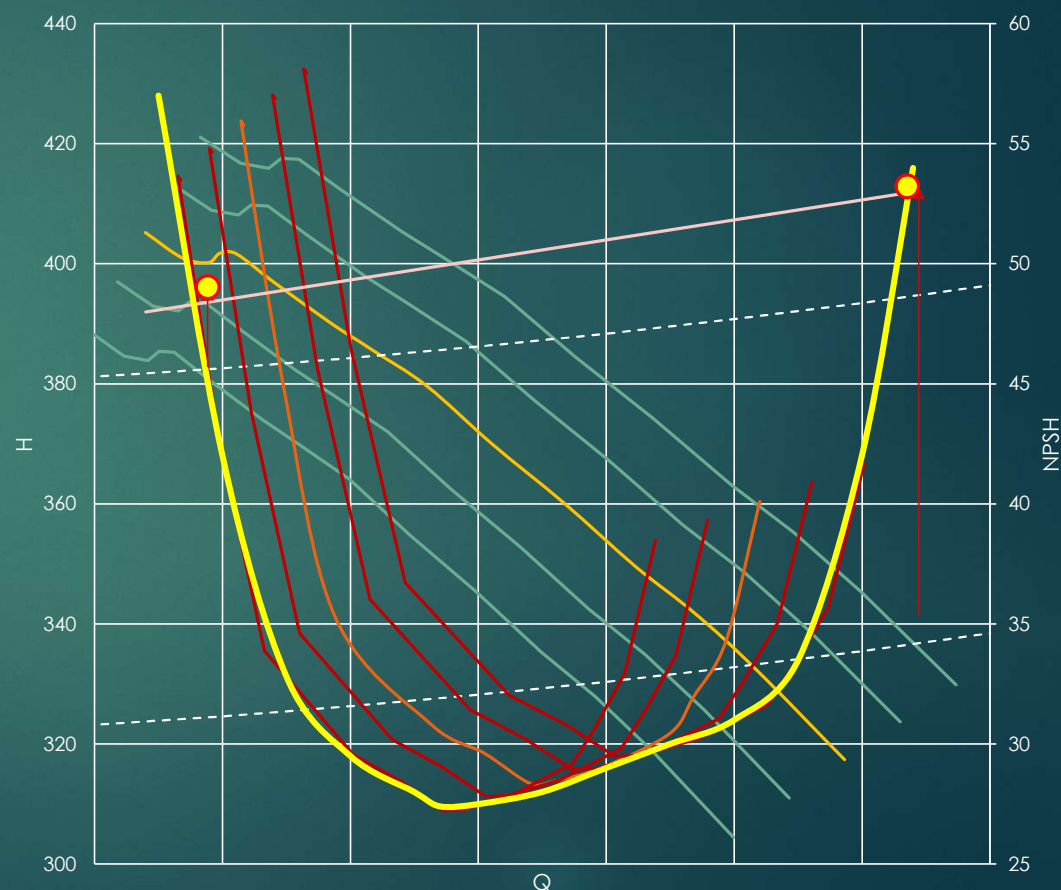
- ▶ Charakterystyka H-Q ruchu pompowego
- ▶ Nadwyżka antykawitacyjna początku kawitacji
- ▶ Wymagana nadwyżka antykawitacyjna instalacji



Limity ruchu pompowego

Regulowana prędkość obrotowa

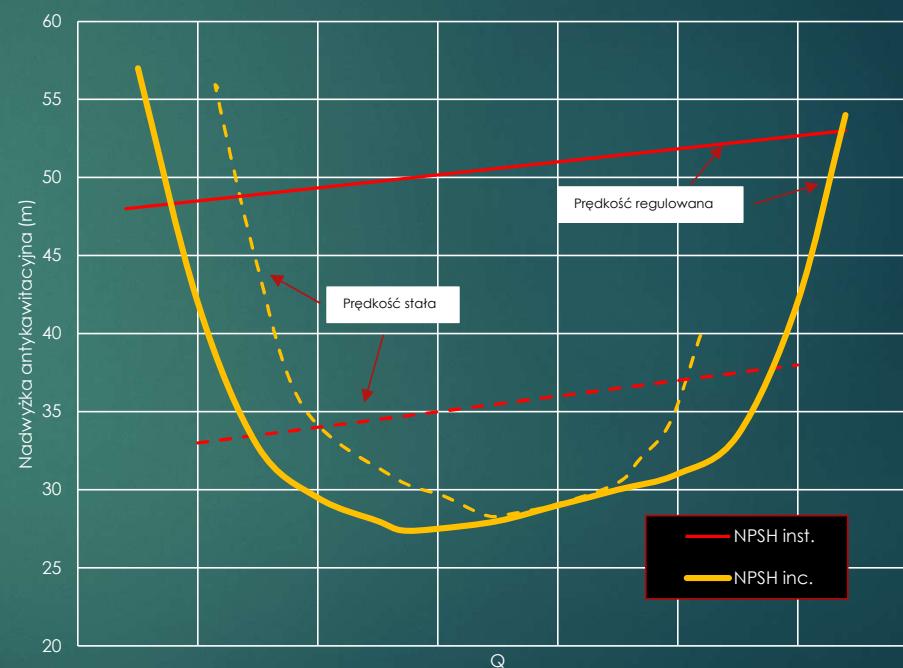
- ▶ Charakterystyka H-Q ruchu pompowego
- ▶ Nadwyżka antykawitacyjna początku kawitacji
- ▶ Wymagana nadwyżka antykawitacyjna instalacji



Wpływ regulowanej prędkości obrotowej na głębokość posadowienia

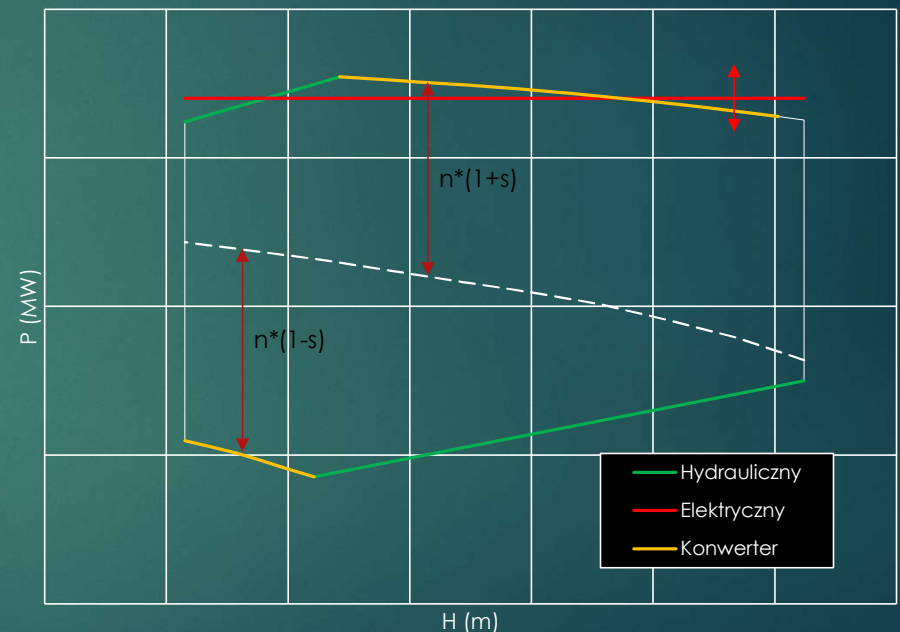
Priorytet:

- ▶ Regulowanie mocy ruchu pompowego
 - ▶ Większy zakres regulacji mocy wymaga głębszego posadowienia
- ▶ Kosztu posadowienia
 - ▶ Regulacja prędkości pozwala na wyższe posadowienie



Typowe limity obszaru pracy pompowej z DFIM

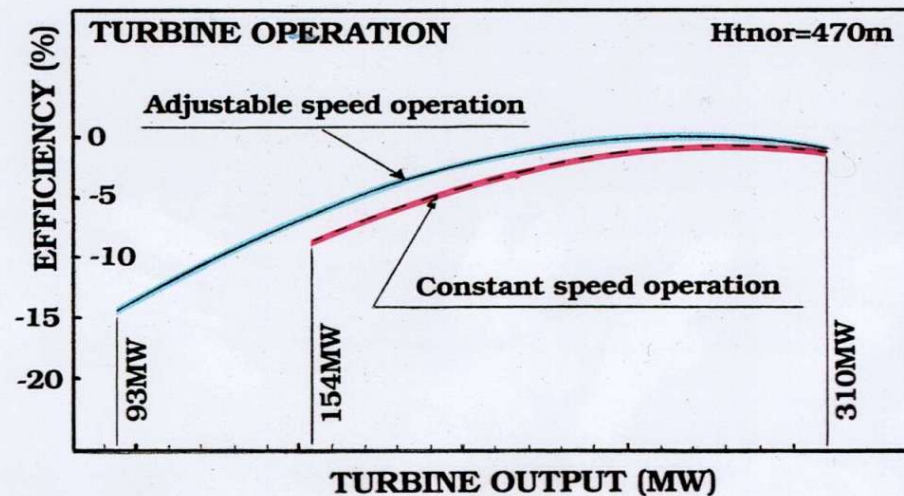
- Pompoturbina
 - Kawitacja
 - Stabilność ruchu pompowego
- Generator odwracalny
 - Moc instalacji
- Konwerter
 - Moc i napięcie zasilania



Ruch turbinowy

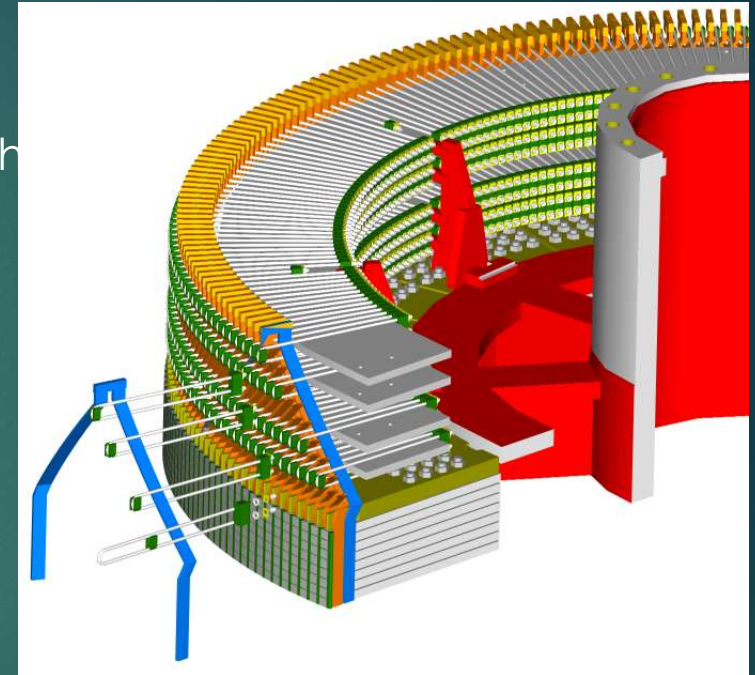
Regulowana prędkość pozwala na:

- ▶ Zwiększenie sprawności
- ▶ Rozszerzenie zakresu regulacji mocy
 - ▶ Obecna tendencja do rozwiązań typu „0-100”



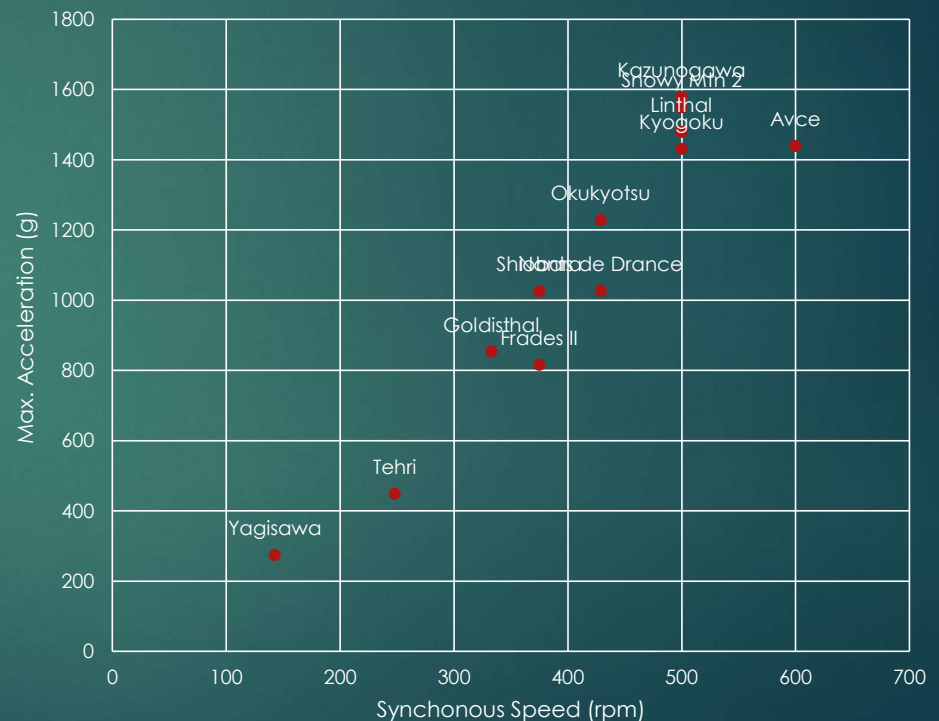
Generatory odwracalne

- ▶ Stator – taki sam jak w generatorach synchronicznych
- ▶ Wirnik – trójfazowe uzwojenia wzbudzenia prądem przemiennym
 - ▶ Konieczność odpowiedniego zamocowania uzwojeń wirnika
 - ▶ Odpowiednia wentylacja



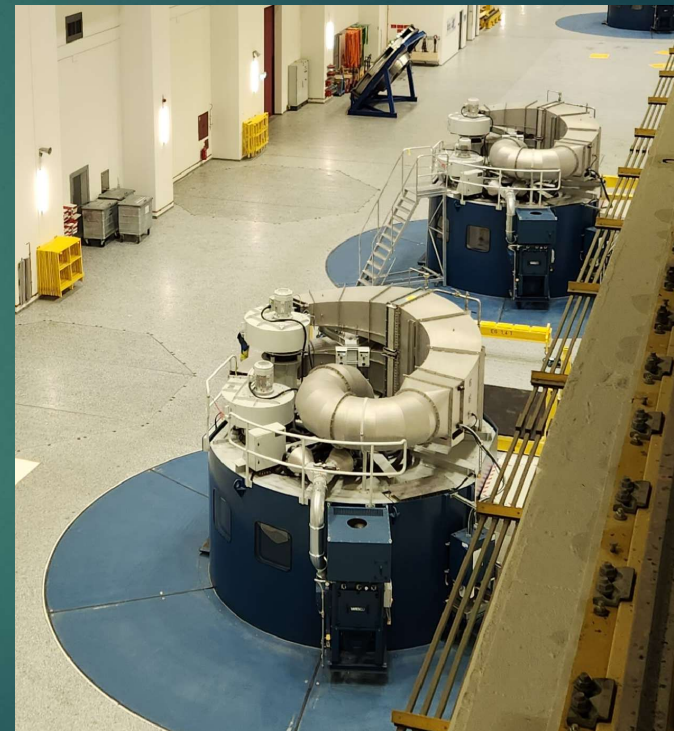
Siły odśrodkowe działające na uzwojenia wirnika

Obecna sytuacja na rynku
Po początkowych problemach, reputowani dostawcy opanowali metody budowy niewawodnych wirników



Komutator generatora

- Trzy pierścienie komutatora
- Wymagana zwiększona uwaga:
 - Układ zbierania pyłu
 - Wymiana szczotek – dwa razy do roku



Konwertery

Dominujący typ:

- ▶ Przetwornica częstotliwości z łączem prądu stałego (DC)
- ▶ Wysoka niezawodność, potwierdzona doświadczeniami z systemami transportu publicznego



DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ