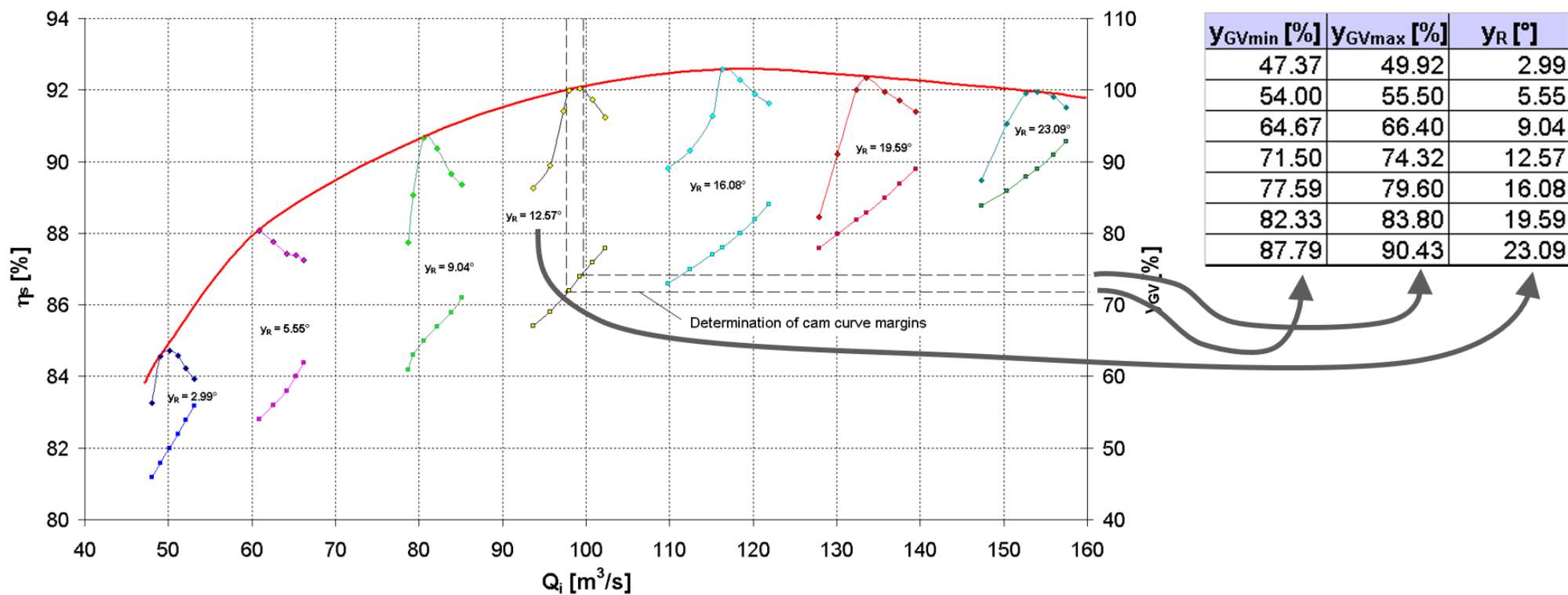




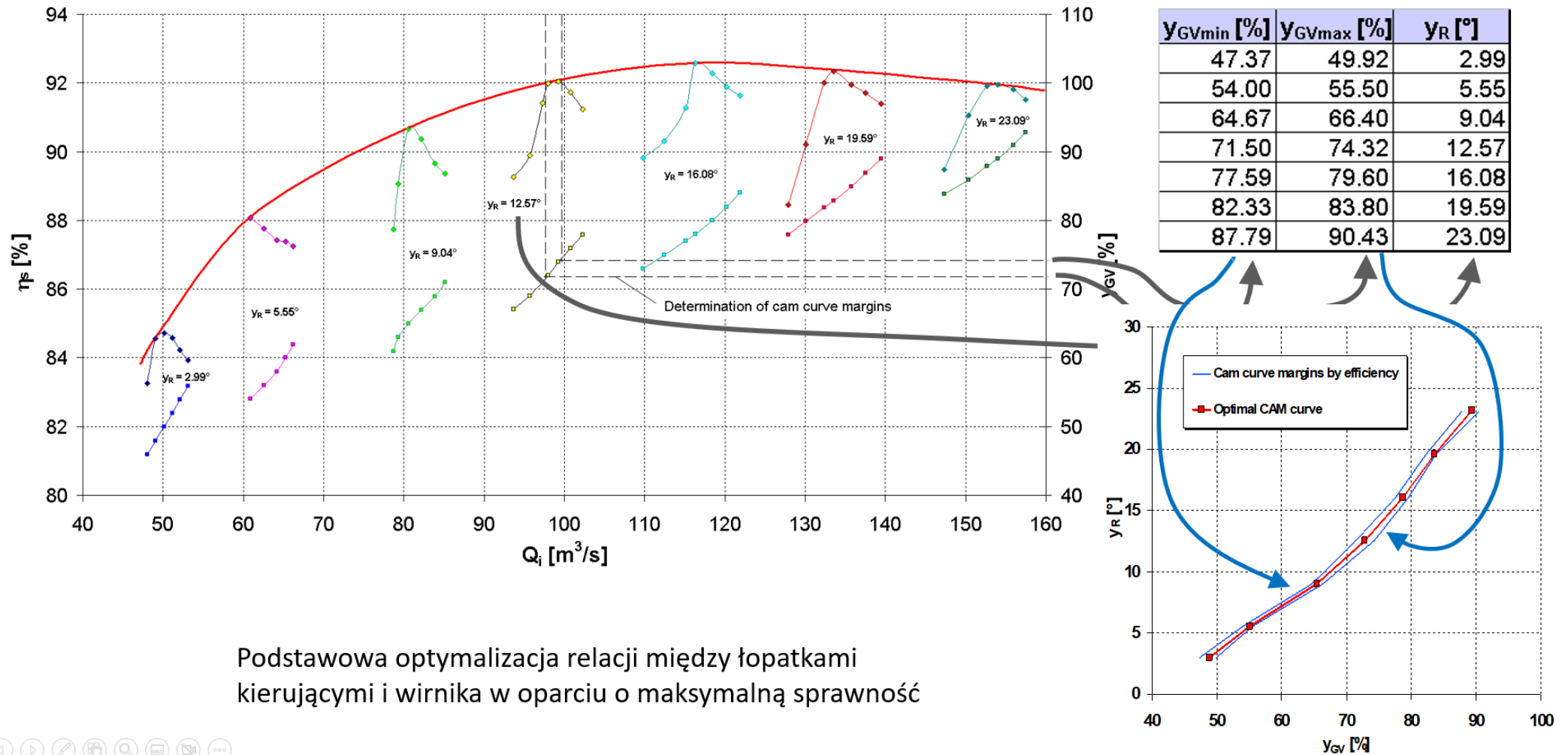
Optymalizacja pracy jednostki przy użyciu sprawności/wibracji

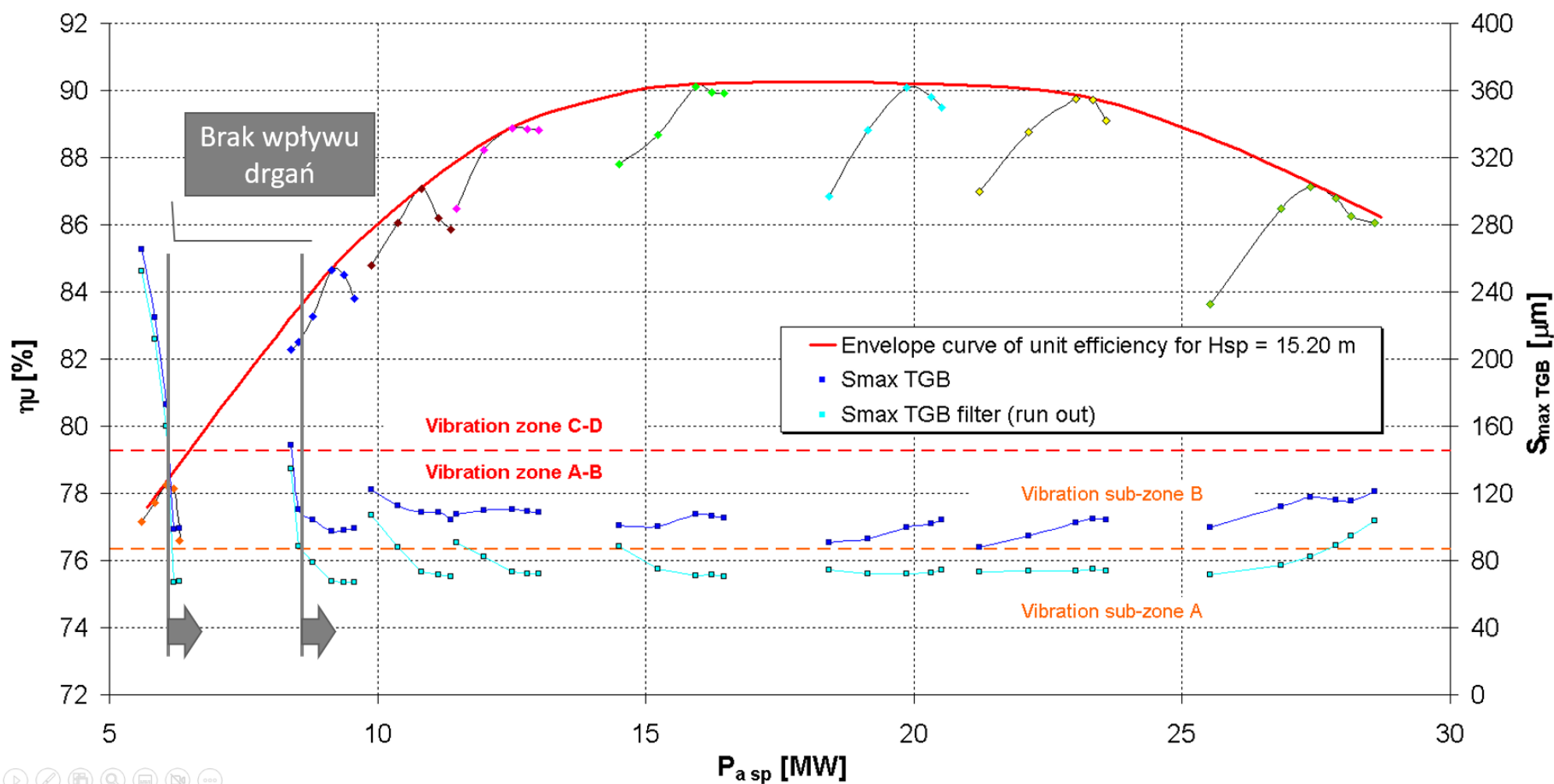


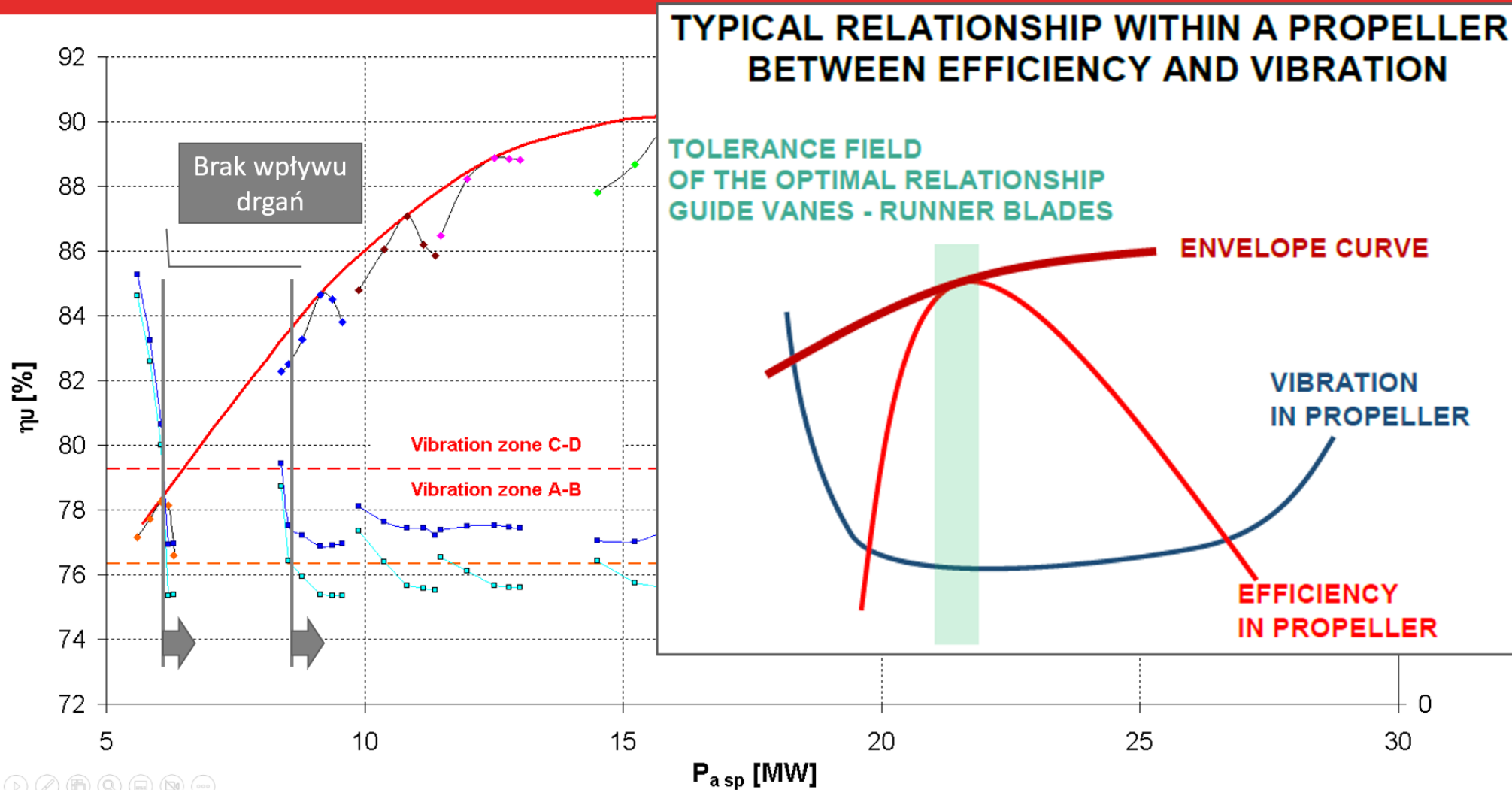
2025

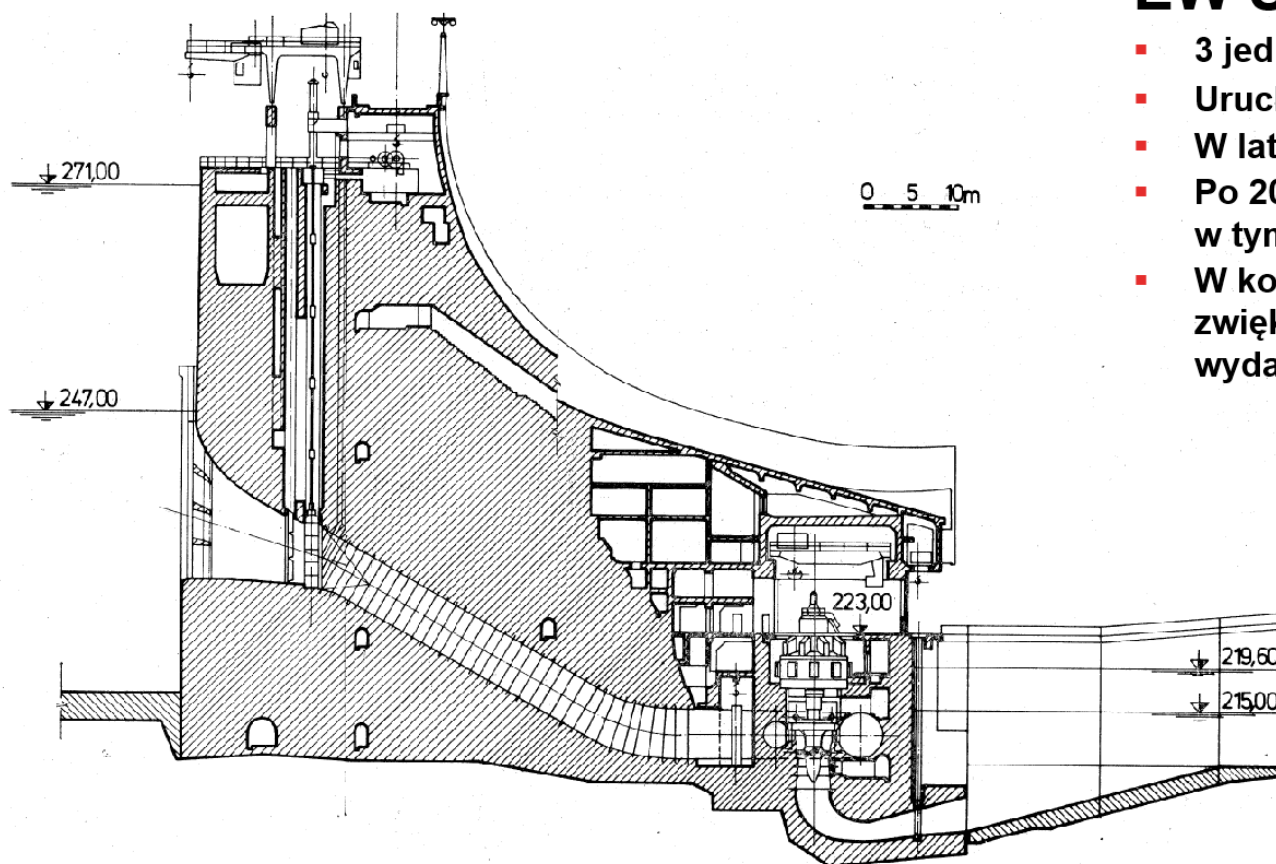


Podstawowa optymalizacja relacji między łopatkami kierującymi i wirnika w oparciu o maksymalną sprawność



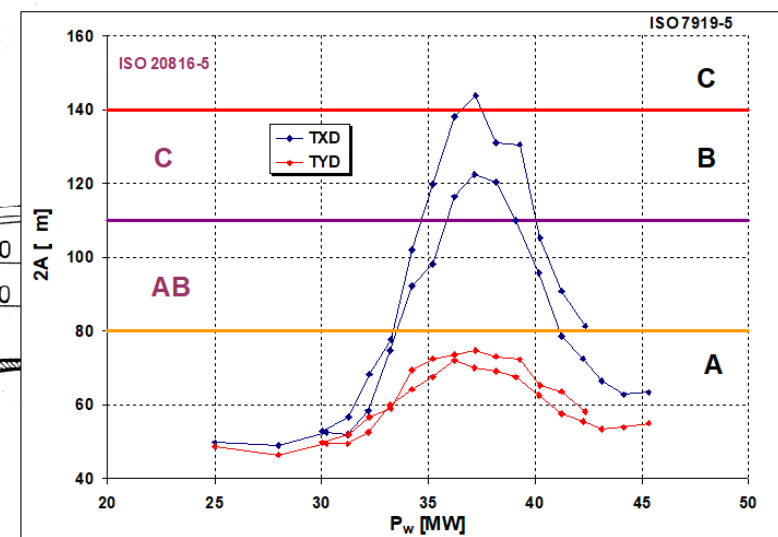






EW Slapy, Czechy

- 3 jednostki, $\bar{a} \approx 50$ MW
- Uruchomienie w 1955 roku
- W latach 90. jednostki zostały zmodernizowane
- Po 2000 r. instalacja nowego systemu sterowania, w tym regulatorów turbin
- W kolejnych latach maszyna doświadczyła zwiększonych wibracji w obszarze optymalnej wydajności

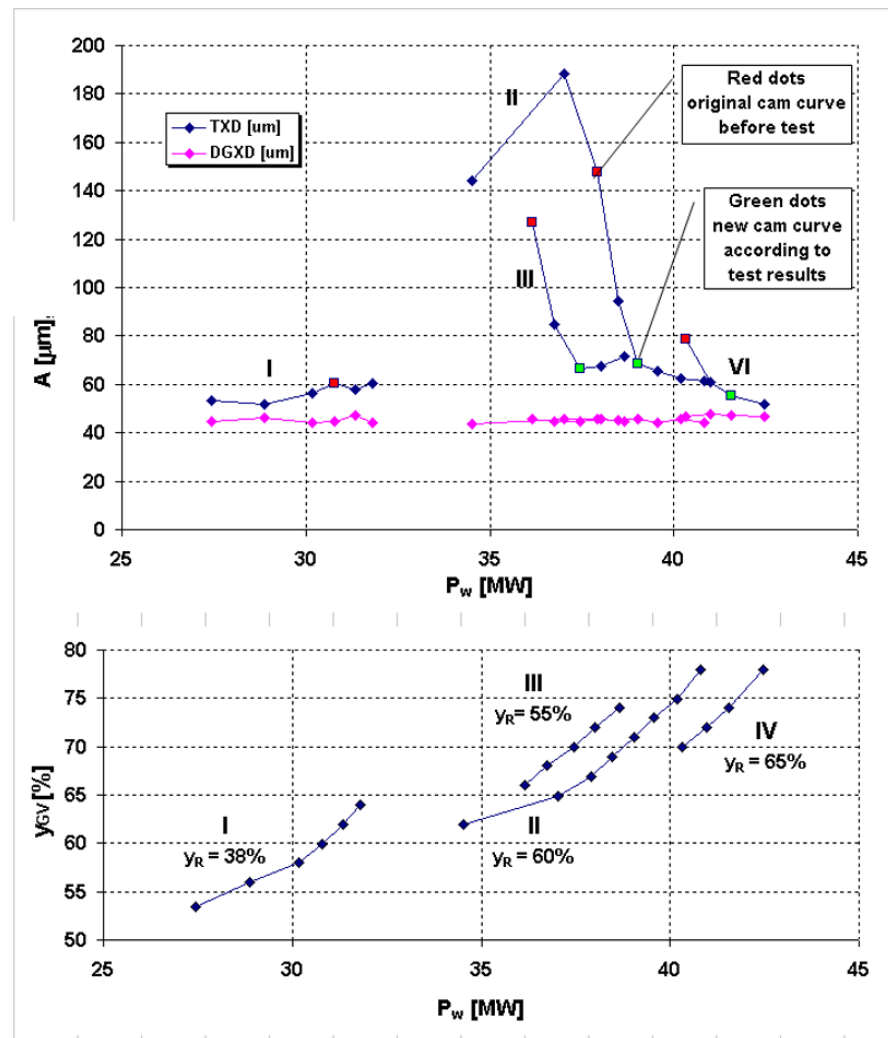


Określenie problemu :

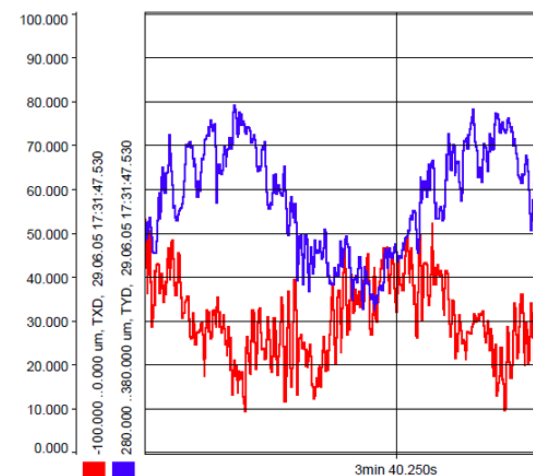
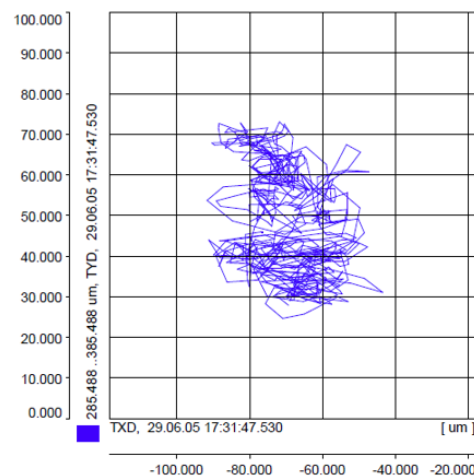
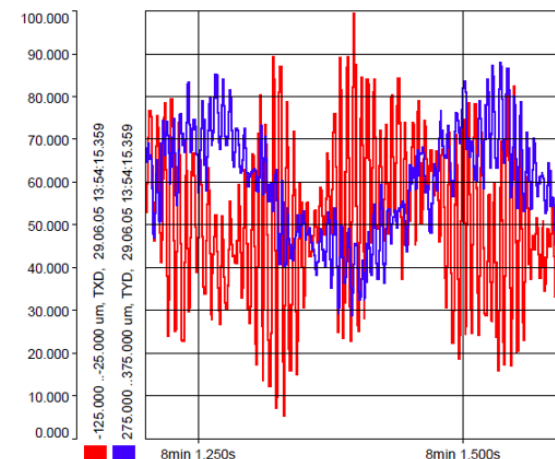
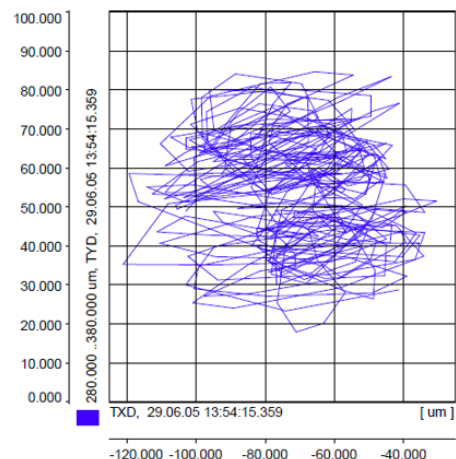
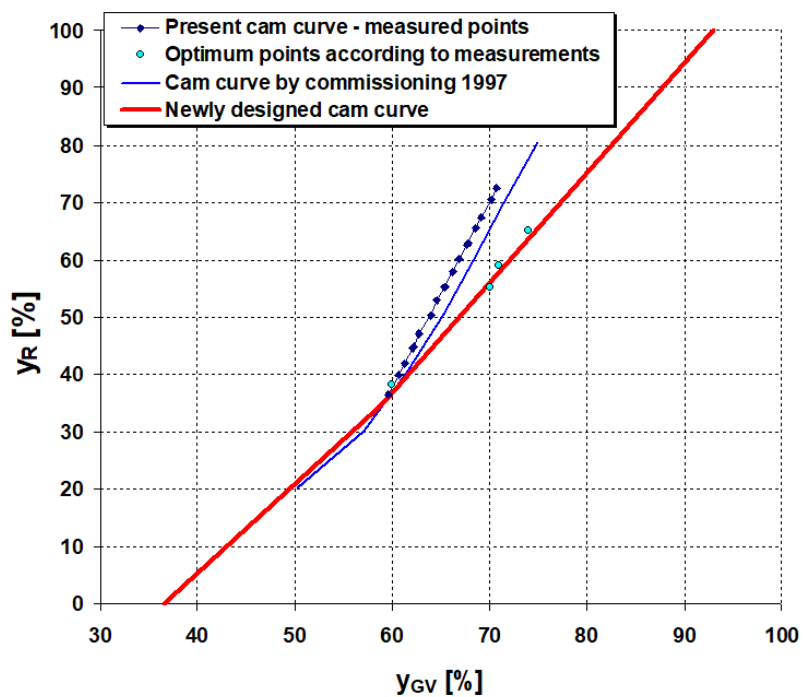
- Zwiększone wibracje w optymalnym punkcie pracy. Łopatki zaczęły powoli wysuwać się z piasty.
- Zatkane odbiory ciśnieniowe dla testu kombinatoryki. Pomiary sprawności względnej nie mogły zostać wykonane (znalezione na miejscu).

Proponowane rozwiązanie :

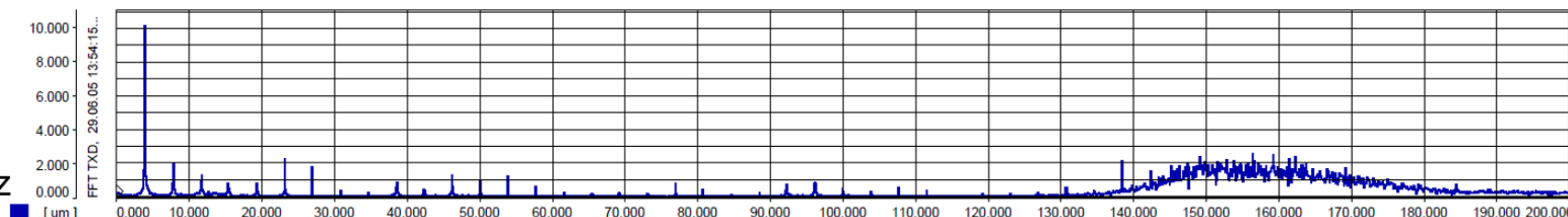
- Rozpoznawanie poziomów wibracji w całym zakresie roboczym.
- Decyzja o pomiarze krzywych proplerow z rejestracją wibracji, pulsacji ciśnienia i intensywności kawitacji.
- Skanowanie krzywej zależności otwarcia kierownicy i wirnika przesłanej do regulatora i porównanie jej z krzywą kombinatoryką zaprojektowaną podczas uruchamiania.
- Modyfikacja aktualnej kombinatoryki w celu zmniejszenia drgań do akceptowalnej wartości.



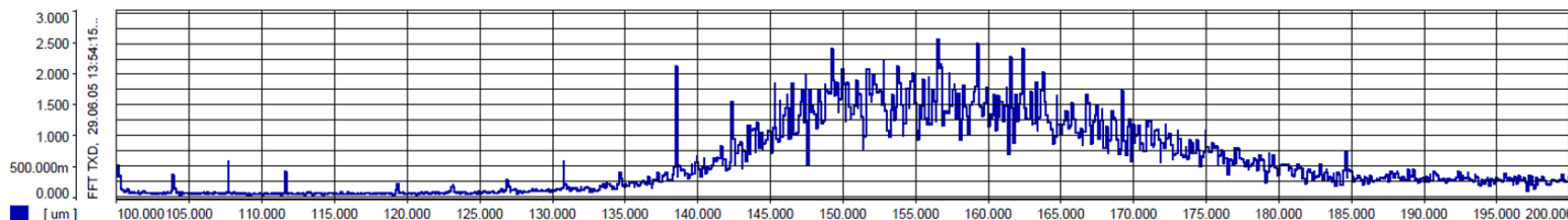
Zmiana krzywej kombinatoryki zgodnie z testem na miejscu i wibracje wału turbiny przed i po test dla mocy wyjściowej 38 MW.



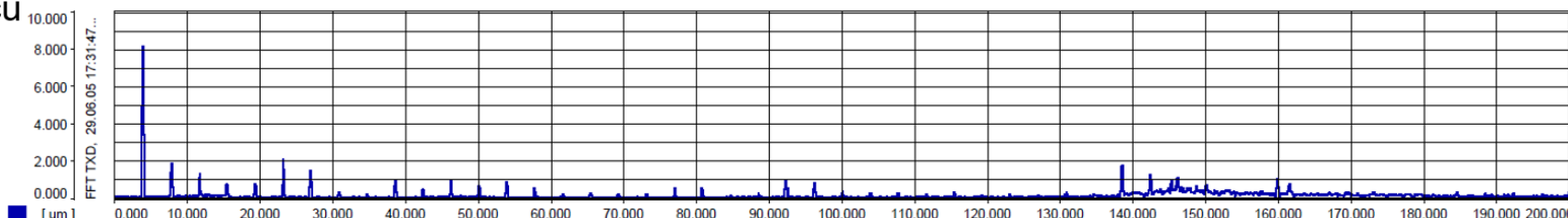
Przed testem
na miejscu dla
mocy 38 MW
zakres 0 ÷ 200 Hz



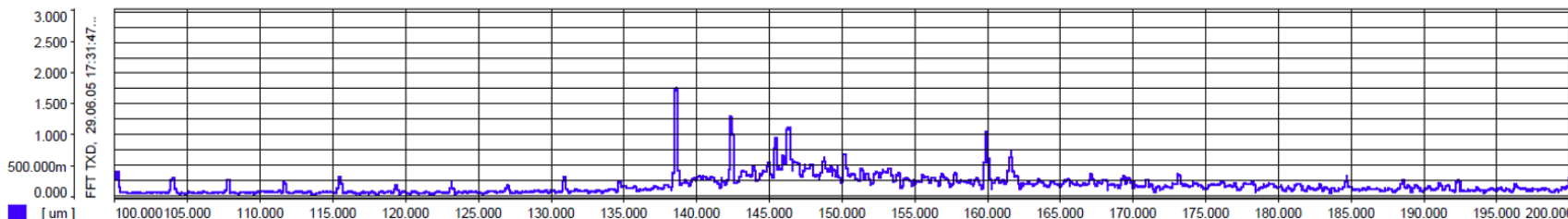
detal

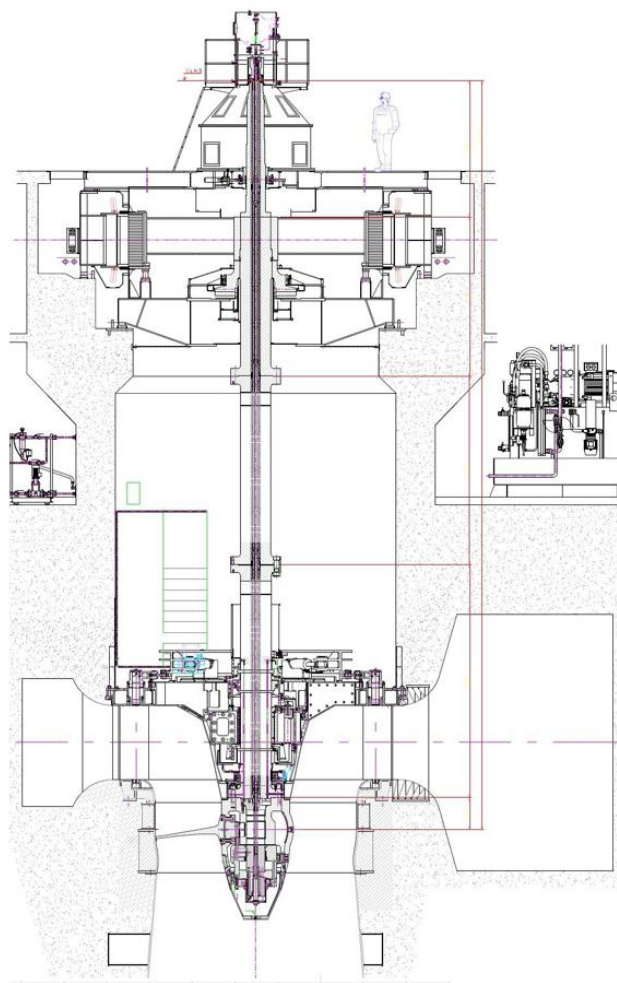


Po teście na miejscu
- również moc
wyściowa 38 MW
zakres 0 ÷ 200 Hz



detal





Główne dane elektrowni :

Typ EW: Przepływowa, dwie jednostki

Lokalizacja: Środkowa Szwecja nad rzeką Faxälven

Uruchomienie: Około 1970 r.

Przebudowa bloku 2, oddanie do użytku w 2024 r.

Obudowa spiralna i rura ssąca bez zmian.

Główne dane jednostki :

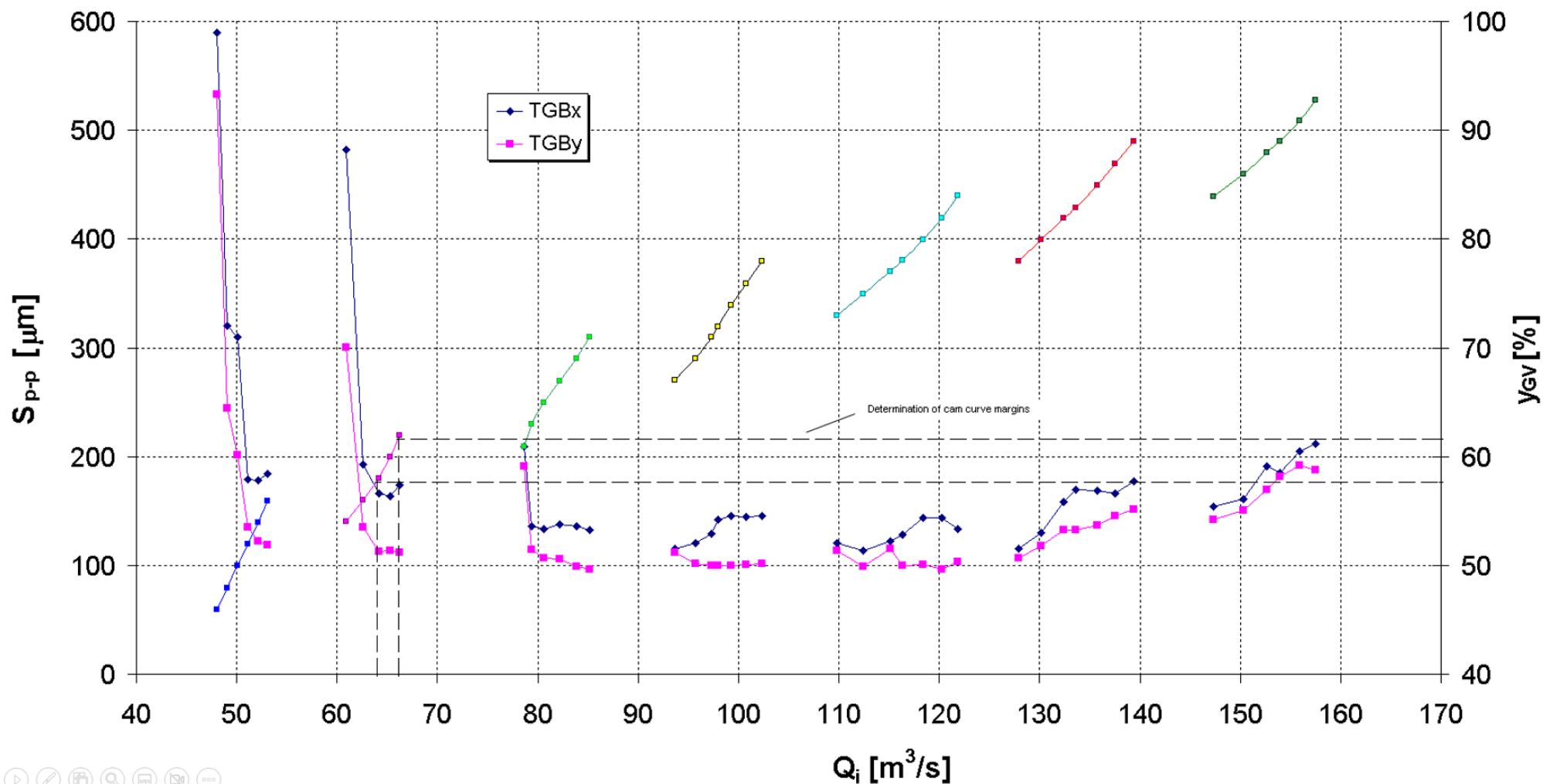
$$H_{\max} = 21 \text{ m}$$

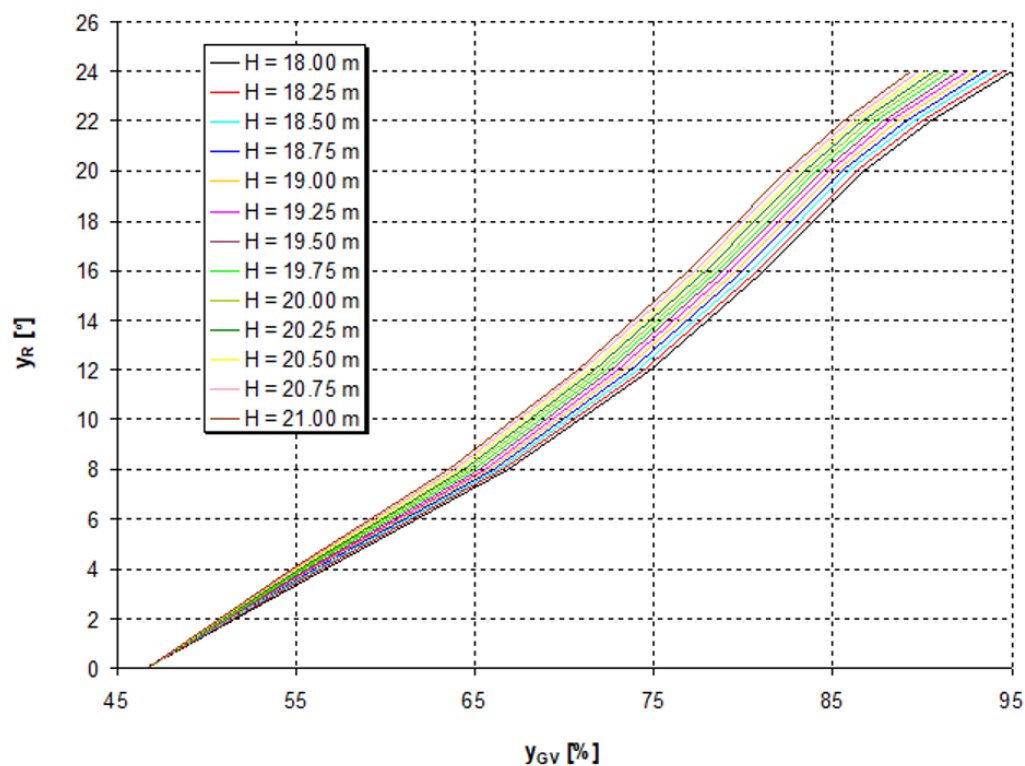
$$P_n = 29 \text{ MW}$$

$$Q_n = 150 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$n = 136.36 \text{ rpm}$$

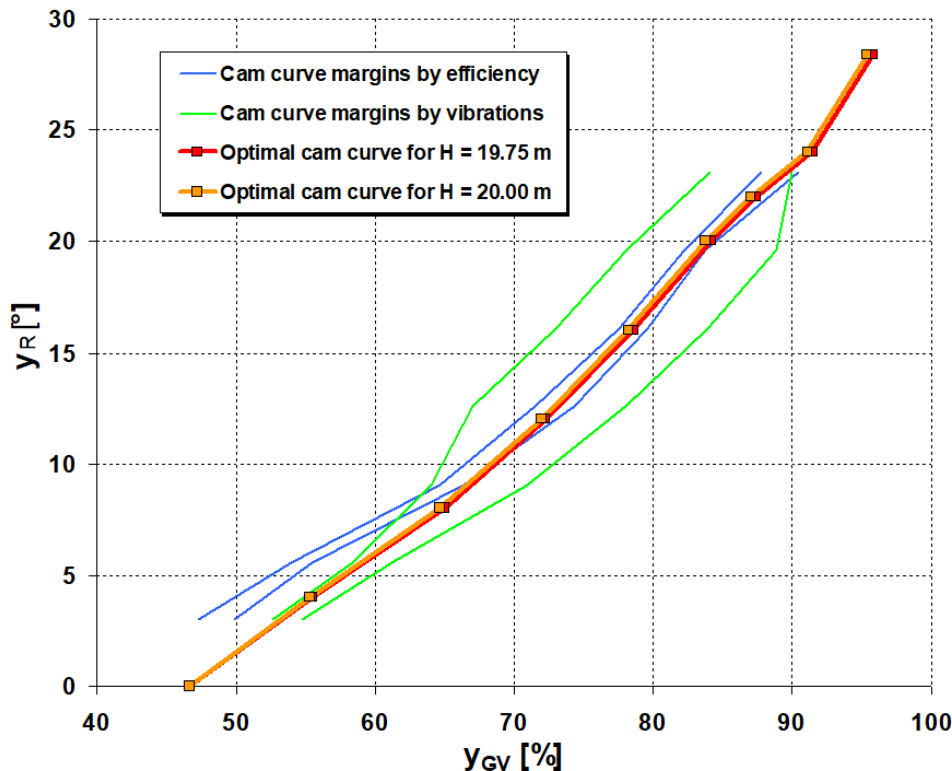






Domyślny stan optymalizacji:

- Krzywa kombinatoryki ustawiona w regulatorze zgodnie z testem modelowym.

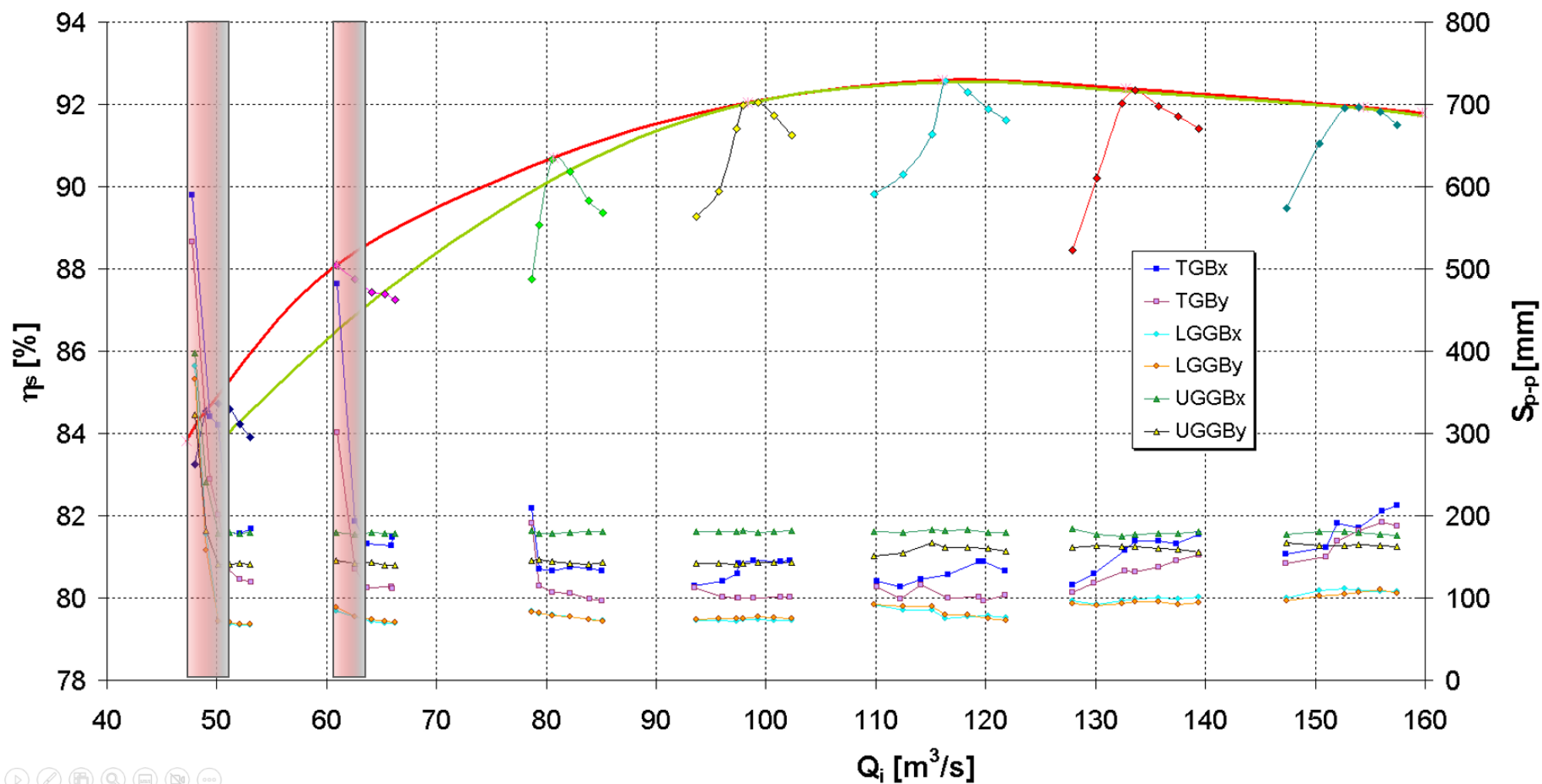


Domyślny stan optymalizacji:

- Krzywa kombinatoryki ustawiona w regulatorze zgodnie z testem modelowym.
- Do regulatora wprowadzono całą rodzinę krzywych dla zakresu spadu $18 \div 21$ m.

Zasady optymalizacji działania :

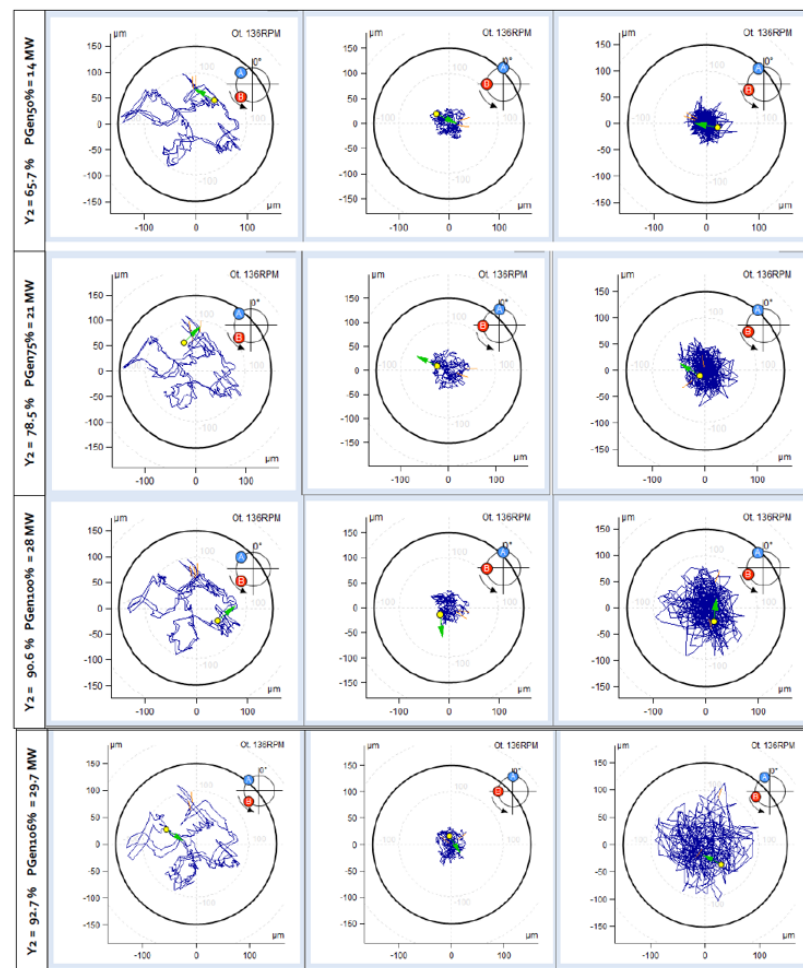
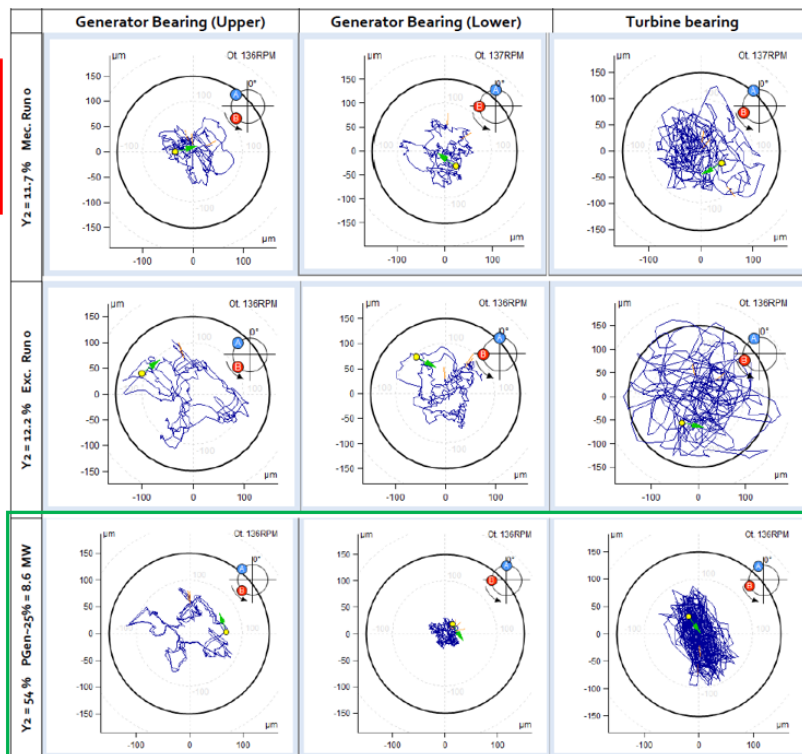
- Płynne działanie jest ważniejszy niż maksymalna sprawność.
- Odległość między krzywymi dla różnych spadów pozostała taka sama jak w rodzinie krzywych na podstawie testu modelu.



Record No. 70					Shaft vibrations					
time	Regime	P _w	y _{GV}	y _R	UGGBx	UGGBy	DGGBx	DGGBy	TGBx	TGBy
		MW	%	%	μm	μm	μm	μm	μm	μm
14:45	100% Pn	28.0	90.6	83.4	197	190	94	95	207	160
15:00	75% Pn	21.0	78.8	57.7	197	180	78	82	119	99
15:10	50% Pn	14.1	65.5	30.7	204	165	69	65	126	91
15:16	25% Pn	7.1	47.3	5.4	244	228	136	144	324	217
15:23	idling. ex.	0.0	12.2	0	231	208	174	144	191	228
15:30	mech.	0.0	11.7	0	151	120	148	155	201	203

Wibracje wału S_{p-p} przed testem indeksowym

Drgania wału (orbity) po optymalizacji.
S_{p-p} dla P_w = 8MW:
TGBx = 178 μm
TGBy = 122 μm



Optymalizacja wyłącznie pod kątem maksymalnej sprawności

- Zaletą jest niewielki wzrost sprawności w niewielkiej części zakresu roboczego (około $1 \div 2\%$).
- Jest to prawie nieistotne w ogólnej produkcji.
- Spodziewana zwiększona liczba awarii jednostek z powodu zwiększonych wibracji.
- Skrócony czas pracy, a tym samym niższa roczna produkcja.
- Dodatkowe koszty usuwania problemów spowodowanych zwiększonymi wibracjami.



Optymalizacja z uwzględnieniem wibracji/pulsacji

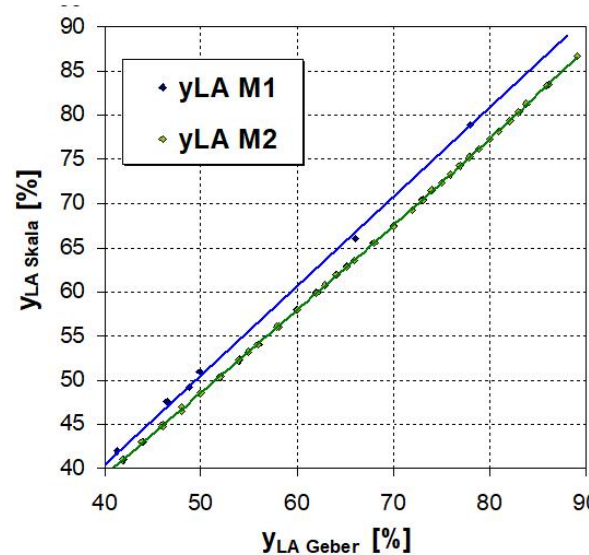
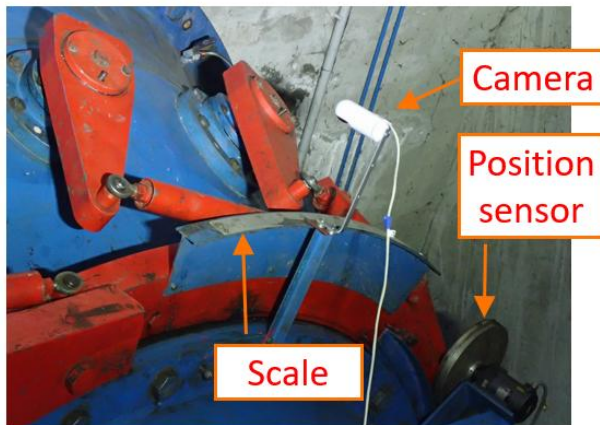
- Niska utrata wydajności w niewielkiej części zakresu roboczego (około $1 \div 2\%$).
- Jest to rekompensowane cichą pracą i dłuższą żywotnością maszyny.
- Wibracje w pasmach A/B są zazwyczaj akceptowalne (zgodnie z ISO 7919-5 lub ISO 20816-5).
- Ważne jest doświadczenie personelu HPP (zwłaszcza po każdej zmianie w urządzeniu).
- Zaleca się sprawdzanie krzywej kombinatoryki po każdej zmianie w regulatorze (czujniki, aktualizacja sprzętu itp.). Niewielkie przesunięcie zakresu może znacznie zwiększyć pulsację / wibracje.





Przykład z 2020 r. – MEW Frauenburg

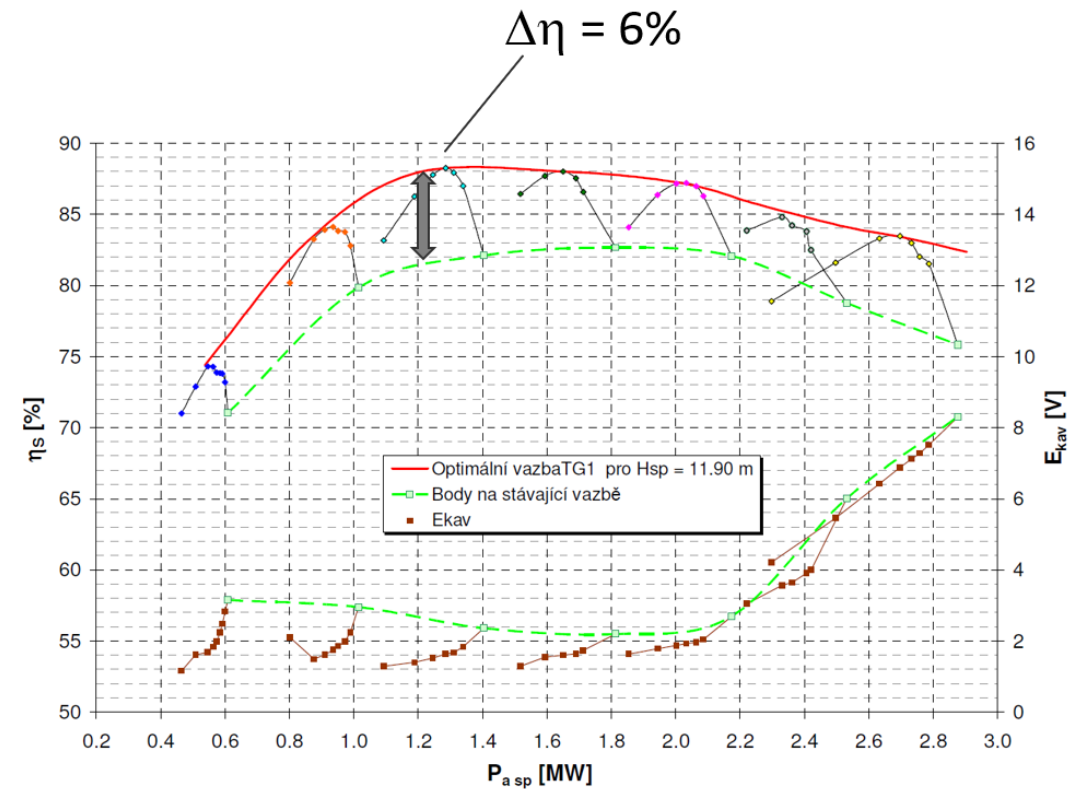
- Dwie identyczne jednostki
- Maksymalna moc TG2 była o ok. 200 kW niższa niż moc TG1.
- Przyczyną nieprawidłowej krzywej kombinatoryki w momencie pomiaru była stopniowa zmiana kalibracji czujnika położenia GV.
- Po wdrożeniu nowej krzywej krzywkowej na podstawie bieżącej kalibracji czujnika GV, wyjście obu jednostek było takie samo.



Inne typowe powody

- Wymiana czujnika otwarcia kierownicy lub wirnika
- Nowy regulator lub jego modernizacja
- Demontaż i ponowna instalacja istniejącego czujnika z niedoskonałą regulacją położenia granicznego
- Wdrożenie identycznej krzywej kombinatoryki na sąsiedniej maszynie bez testu indeksowego
- Stopniowa zmiana kalibracji czujnika spadu

- Głównie cele prezentowanej optymalizacji operacyjnej są następujące:
 1. Osiągnięcie maksymalnej możliwej sprawności.
 2. Zapobieganie ewentualnym uszkodzeniom maszyny na skutek drgań lub kawitacji i wynikającego z tego wymuszonego wyłączenia i naprawy, podczas których następuje utrata produkcji.
- Korzyść z optymalizacji może sięgać kilku procent w porównaniu do stanu poprzedniego - patrz obrazek.
- Z perspektywy kosztów, optymalizacja działania jest optymalna, gdy przeprowadza się ją jednocześnie z kalibracją przepływomierzy operacyjnych. Koszty optymalizacji stanowią wówczas jedynie ułamek ceny oddzielnych pomiarów.





2025



Kontakty

OSC, a.s.
Staňkova 557/18a
CZ 602 00 Brno

WWW.OSC.CZ

Petr Ševčík

Senior Consultant

+420 602 407 149

petr.sevcik@osc.cz

Lukáš Rinka

Leader of Hydropower
Group

+420 601 122 810

lukas.rinka@osc.cz

Richard Bischof

Hydropower Engineer

+420 602 792 763

richard.bischof@osc.cz