



POLITECHNIKA WARSZAWSKA
WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY - ISEP
ZAKŁAD NAPĘDU ELEKTRYCZNEGO



MATERIAŁY DO WYKŁADU Z NAPĘDU ELEKTRYCZNEGO

WYKŁAD IV – NAPĘDY TRAKCYJNE, MORSKIE I LOTNICZE

PROWADZĄCY

DR HAB. INŻ. GRZEGORZ IWAŃSKI

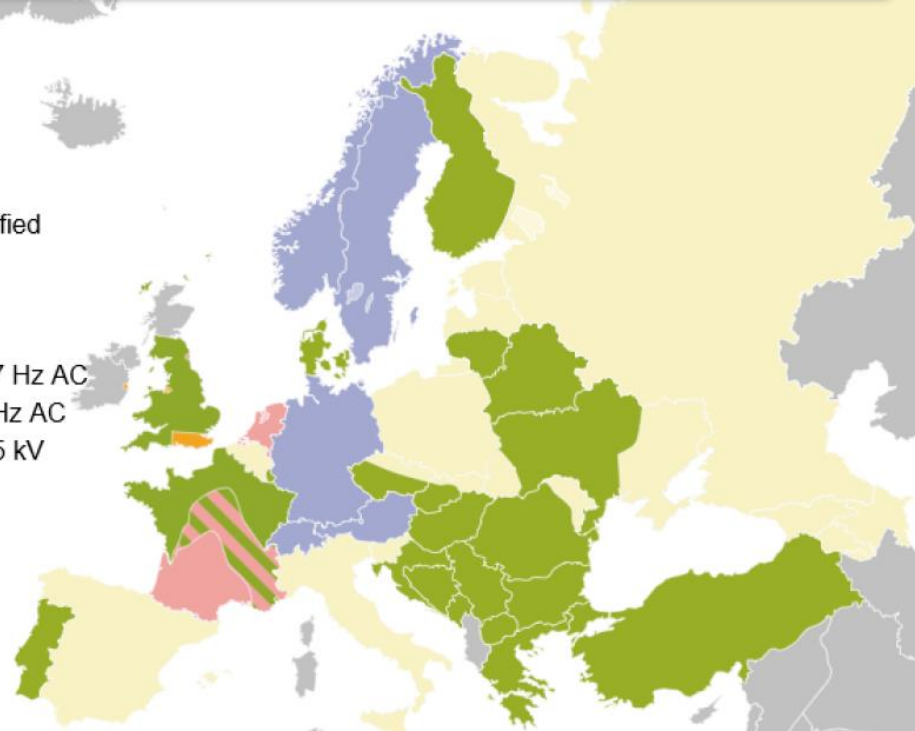
IWANSKIG@ISEP.PW.EDU.PL



RODZAJE TRAKCJI ELEKTRYCZNEJ

Zasilanie prądem stałym
poziomy napięcie:
3kV, 1.5kV, 0.75kV

Zasilanie prądem przemiennym
poziomy napięcie:
16,7Hz – 15kV, 50Hz - 25kV

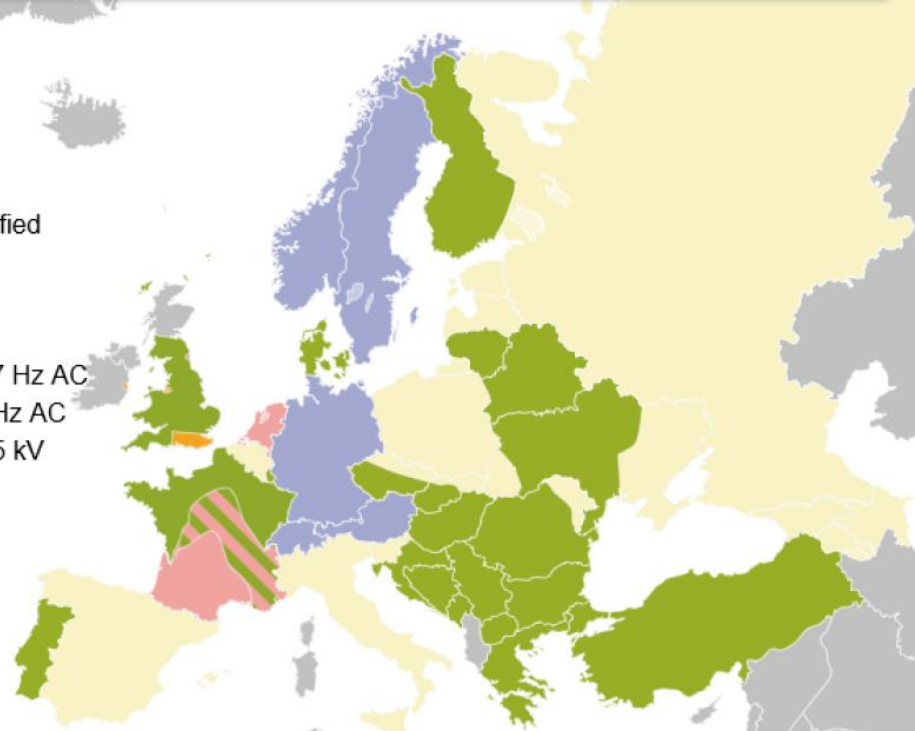




RODZAJE TRAKCJI ELEKTRYCZNEJ

Zasilanie prądem stałym
poziomy napięcie:
3kV, 1.5kV, 0.75kV

Zasilanie prądem przemiennym
poziomy napięcie:
16,7Hz – 15kV, 50Hz - 25kV





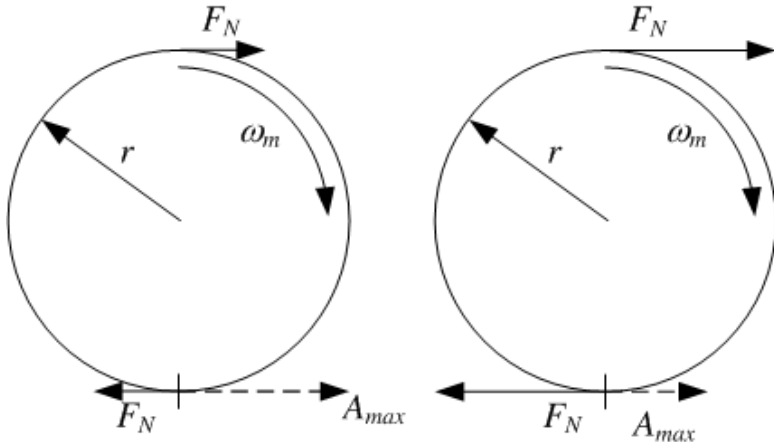
WSPÓŁCZYNNIK TARCIA

Dzięki tarcia siła napędowa może być przeniesiona na styk kół i szyn

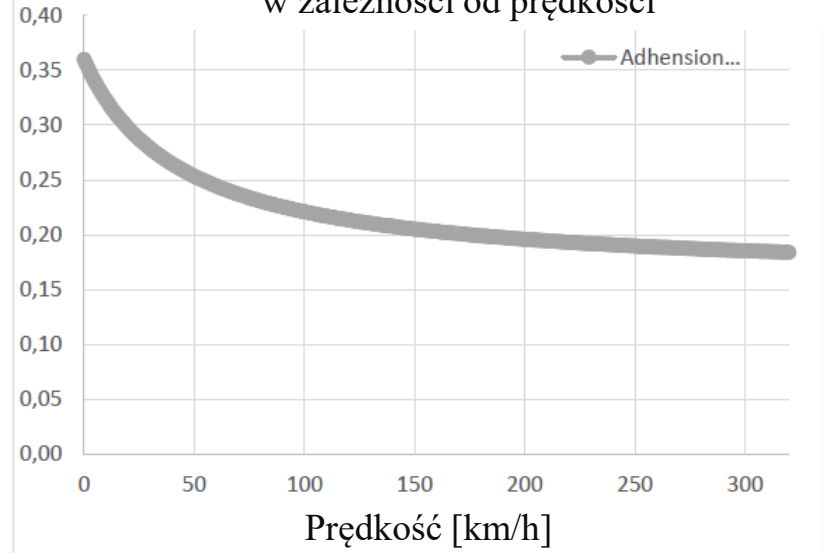
napędzanie bez
poślizgu

napędzanie z
poślizgiem

$$A = \mu M g$$



Współczynnik przyczepności koła μ
w zależności od prędkości



$$\mu = 0,16 + 8,8 / (v + 44)$$



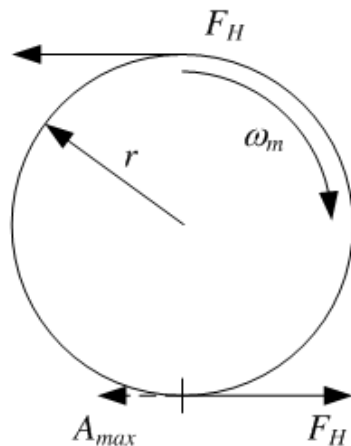
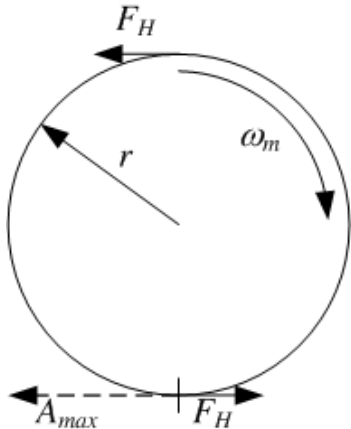
WSPÓŁCZYNNIK TARCIA

Siła hamowania bez poślizgu nie może być większa od siły przyczepności

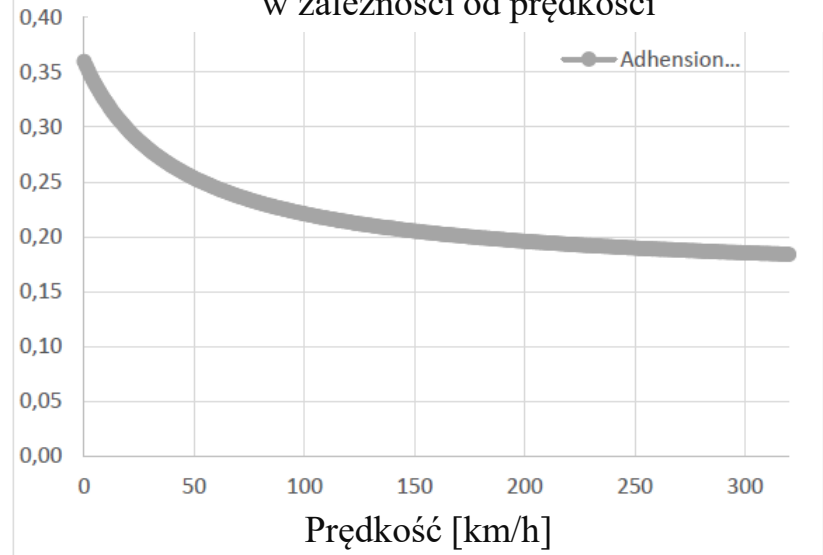
hamowanie bez poślizgu

hamowanie z poślizgiem

$$A = \mu M g$$



Współczynnik przyczepności koła μ
w zależności od prędkości

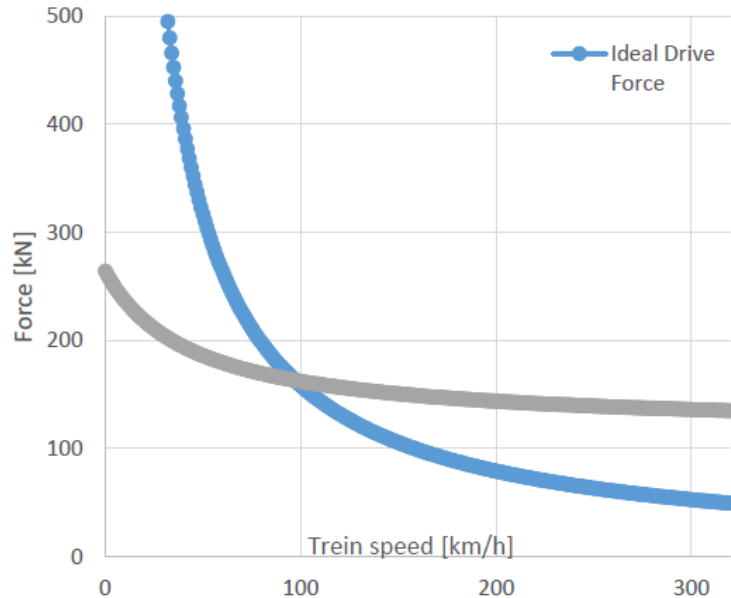


$$\mu = 0,16 + 8,8 / (v + 44)$$

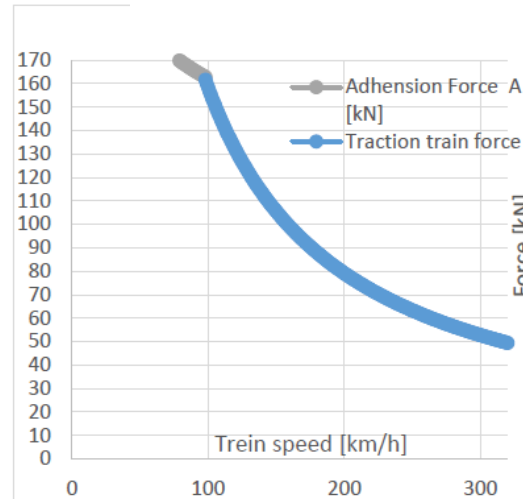


CHARAKTERYSTYKA TRAKCYJNA

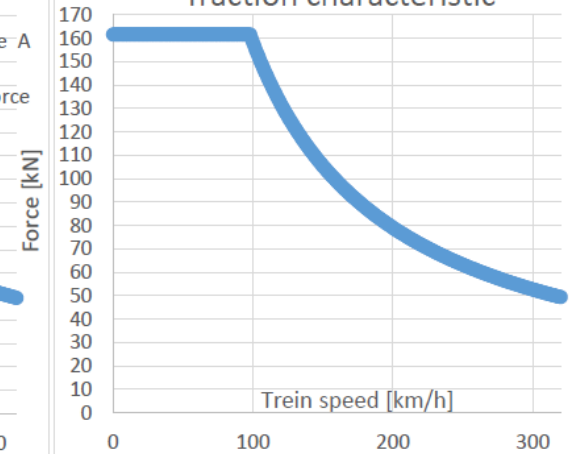
Traction Force



Siła napędowa w funkcji prędkości liniowej
Siła napędowa nie może przekraczać
wartości maksymalnej siły tarcia



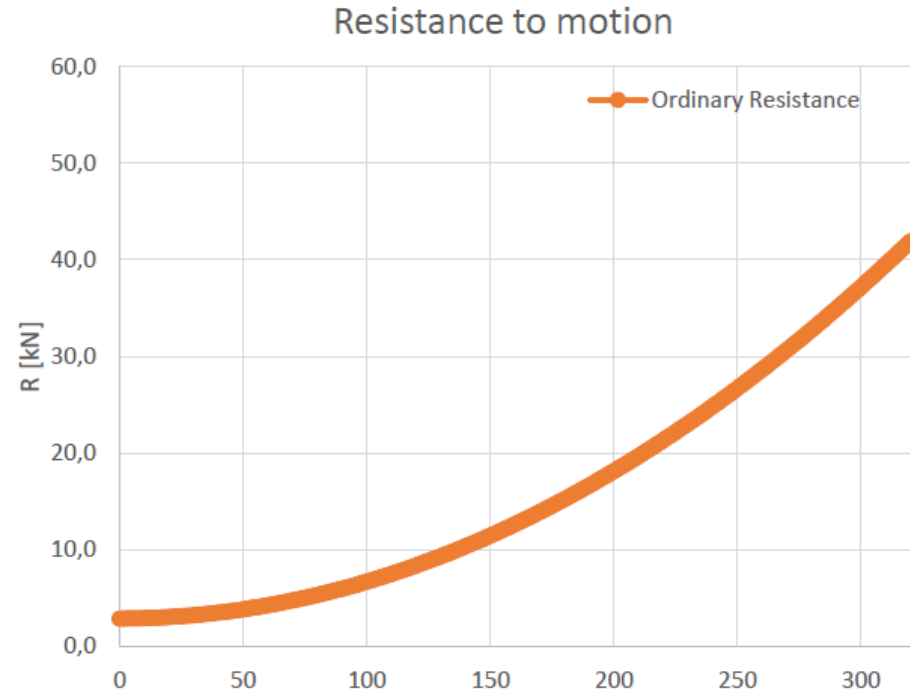
Traction characteristic





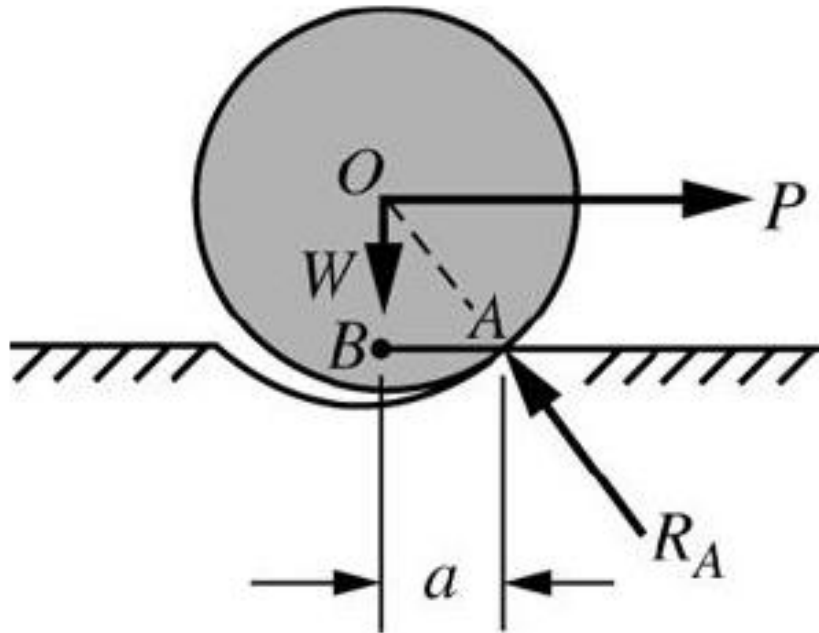
OPORY RUCHU

Suma wszystkich oporów takich jak:
tarcie toczne, opór aerodynamiczny,
tarcie ślizgowe obręczy kół o szyny
(zwłaszcza przy skrętach)
stanowią opory ruchu R_o





TARCIE TOCZNE



P – siła napędowa

W – siła ciężkości

R_A – siła reakcji podłoża

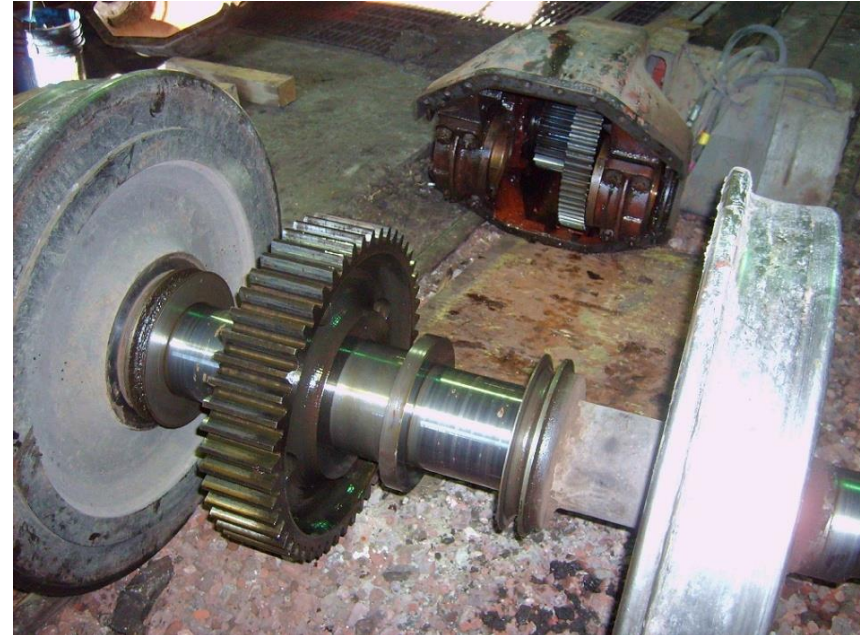
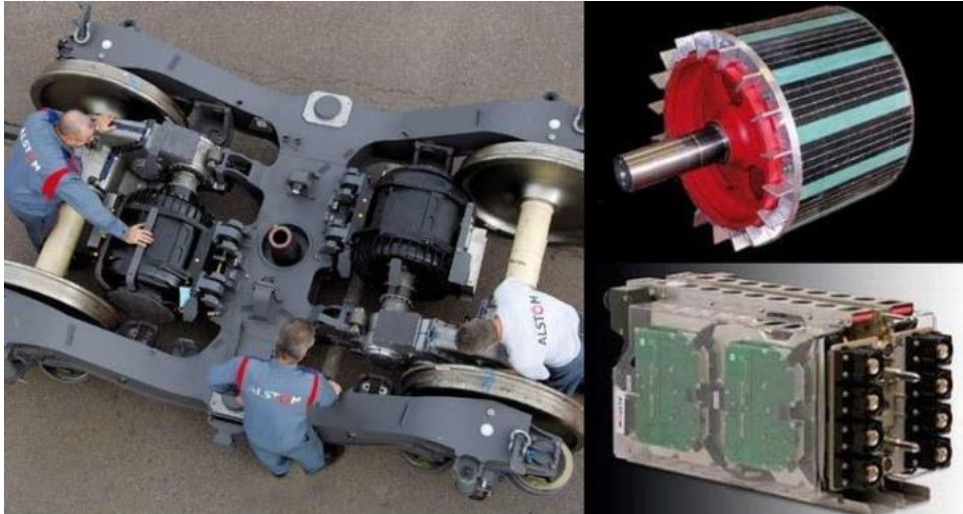
Składowa pozioma siły reakcji R_A jest odpowiedzialna za tzw. tarcie toczne

Składowa pionowa siły reakcji R_A kompensuje siłę ciężaru



PRZENIESIENIE NAPĘDU

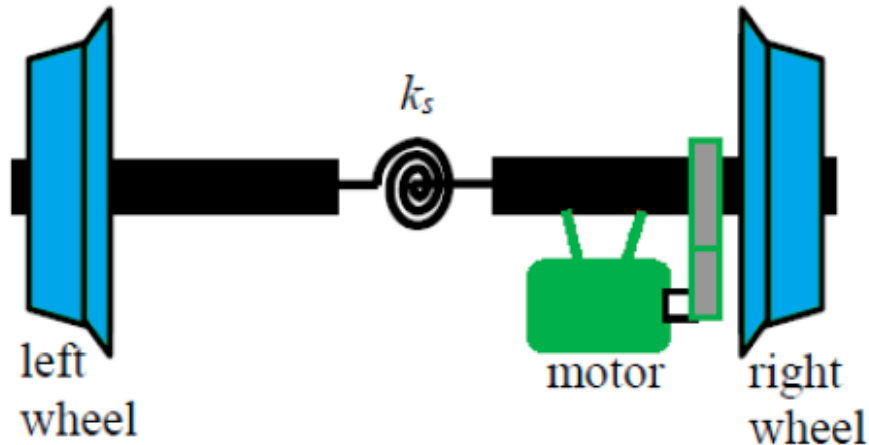
Przeniesienie napędu na koła za pomocą przekładni w celu zwiększenia momentu





POŁĄCZENIE SPRĘŻYSTE

Połączenie sprężyste między kołami napędowymi



Poślizg któregokolwiek z kół wywołuje skokową zmianę momentów oporowych, a to prowadzi do oscylacji. Częstotliwość rezonansowa tych oscylacji jest określona wzorem

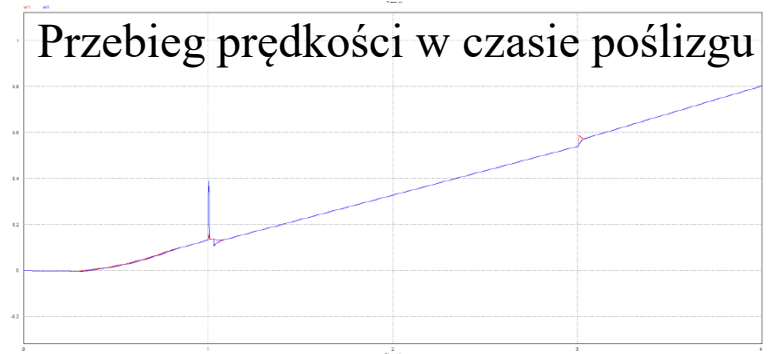
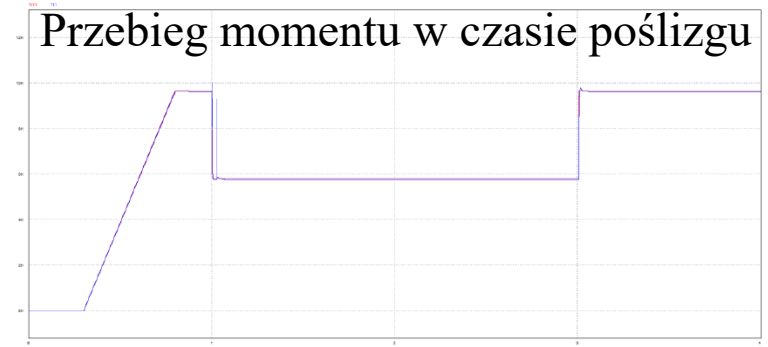
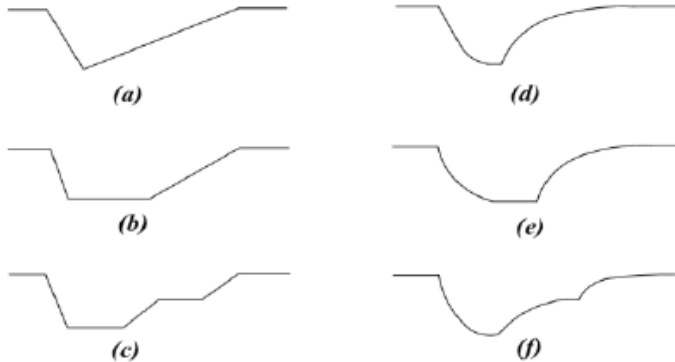
$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_s}{J_r} + \frac{K_s}{J_l}}$$

Zidentyfikowanie tej częstotliwości w zmiennych sterowania jest jedną z metod identyfikacji poślizgu



ZMIANA MOMENTU NAPĘDOWEGO W CZASIE POŚLIZGU

Zidentyfikowanie poślizgu wyzwała procedurę chwilowego obniżenia momentu (na kilka sekund) a następnie powrót do ostatnio zadawanej wartości





EFEKTY BRAKU REAKCJI NA POŚLIZG PRZY RUSZANIU



Drobne uszkodzenia po poślizgach daje się napawać i zeszlifować. W ekstremalnych sytuacjach do wymiany są szyny.

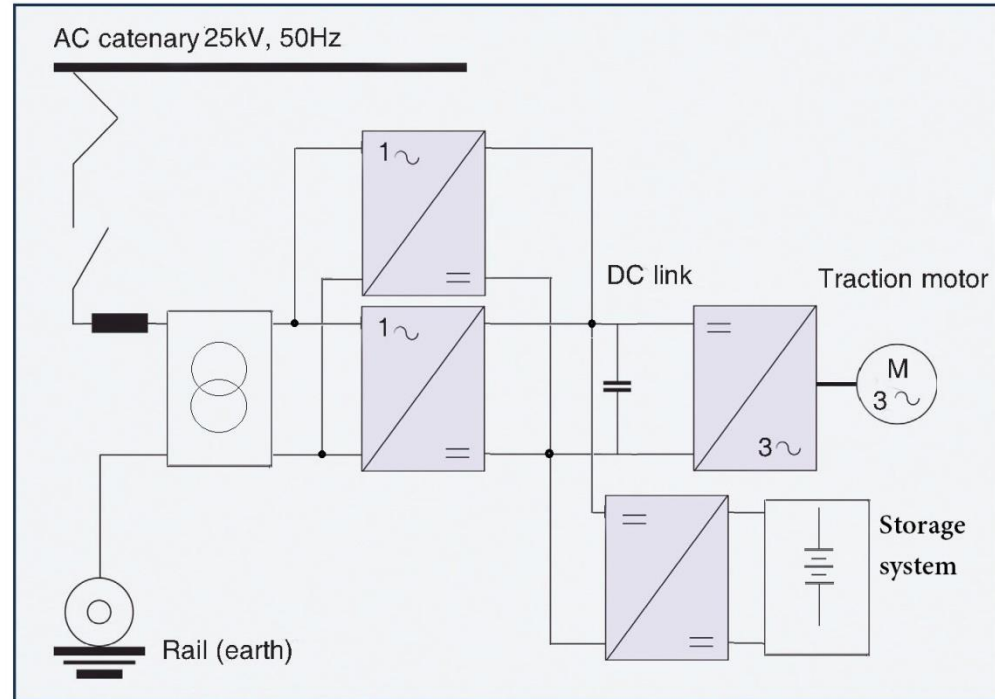


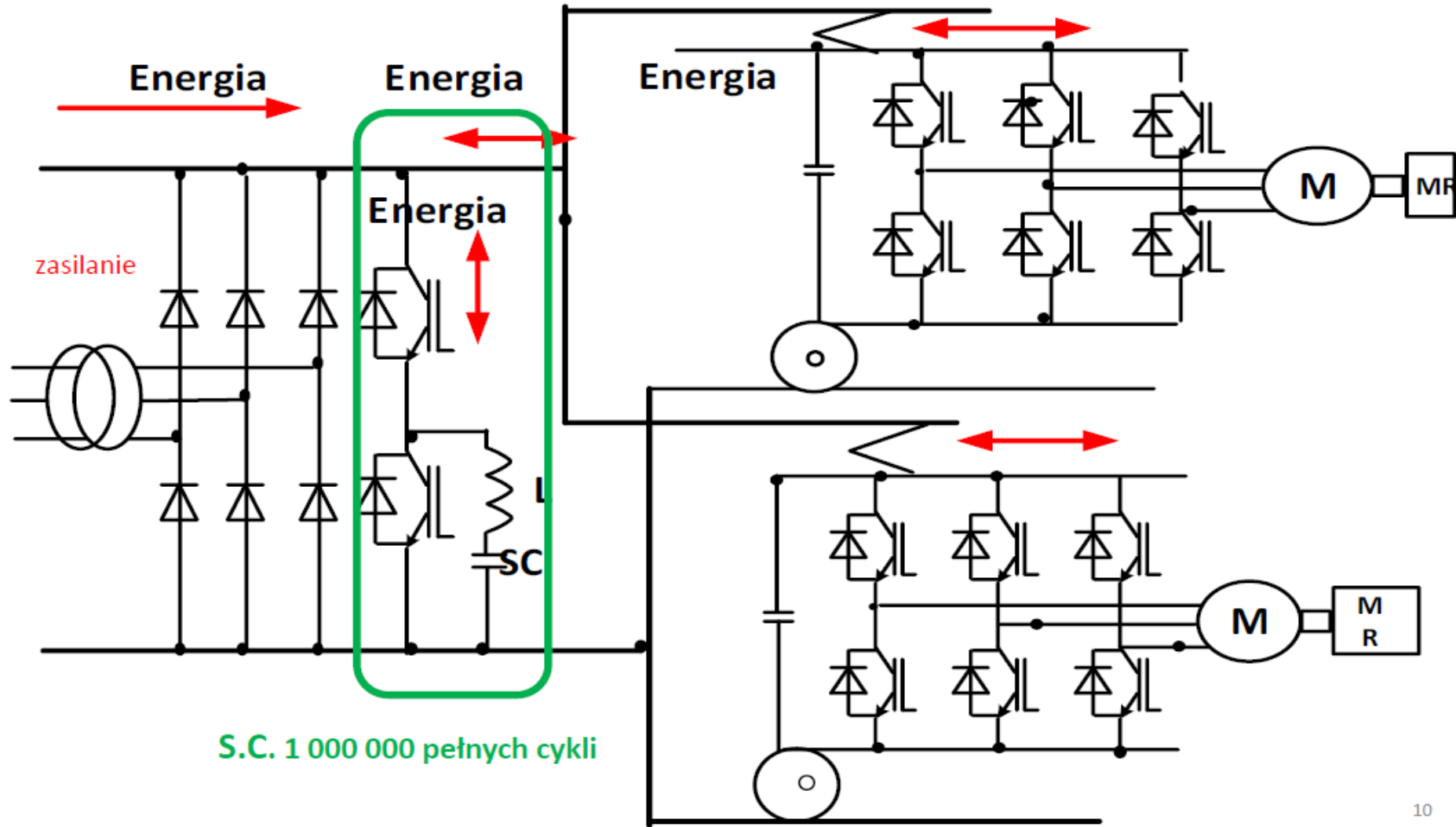


PRZYKŁAD NOWOCZESNEGO NAPĘDU KOLEJOWEGO

Zasilanie jednofazowym napięciem przemiennym przy wykorzystaniu prostowników aktywnych redundantnych.

Magazyn energii opcjonalny w przypadku uszkodzenia trakcji jest możliwość pokonania krótkiego odcinka trasy przy wykorzystaniu energii magazynu.







NAPĘDY ŚRUB STATKÓW MORSKICH



Silnik wysokoprężny Wärtsilä/Sulzer 14RT-flex96C

Moc 81MW

Dwusuwowy

Średnica cylindra 960 mm

Skok tłoka 2500 mm

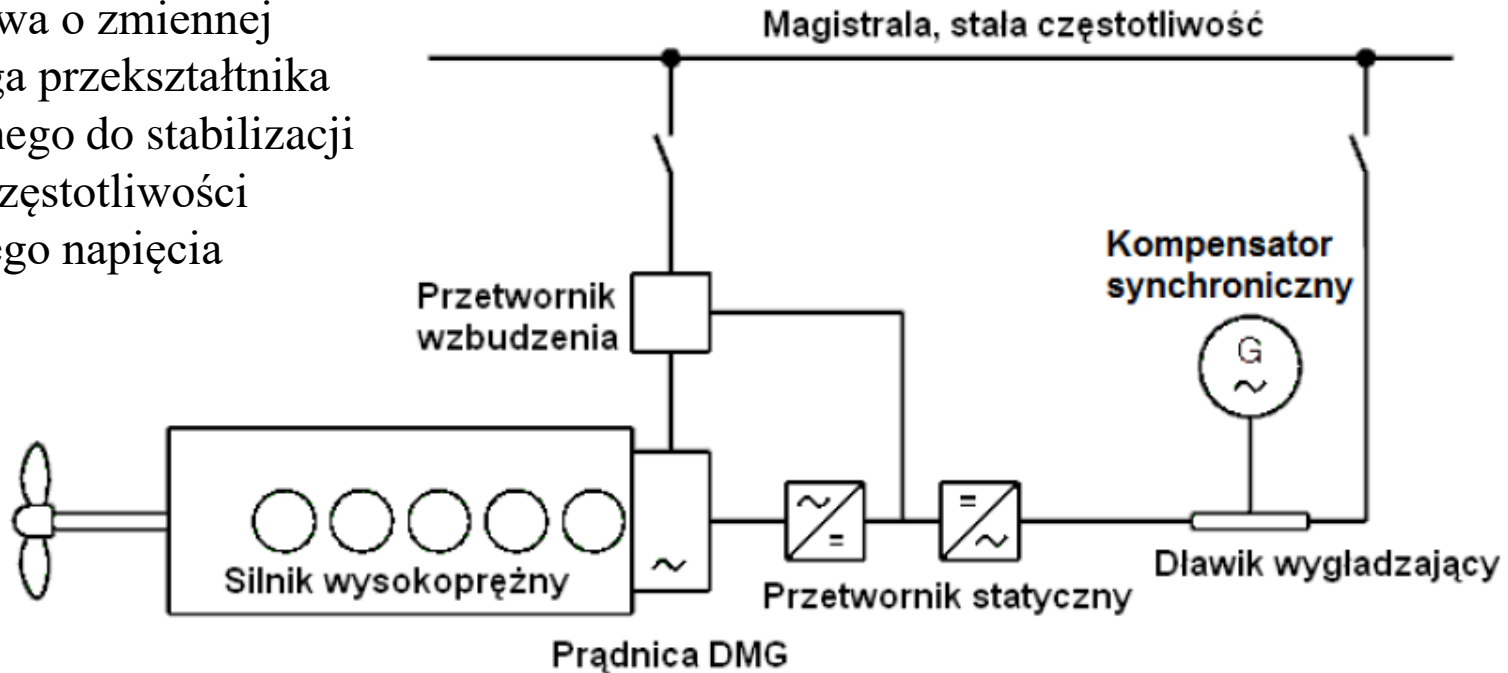
Pojemność skokowa jednego cylindra
1820 dm³

Zakres obrotów 22-105 obr/min



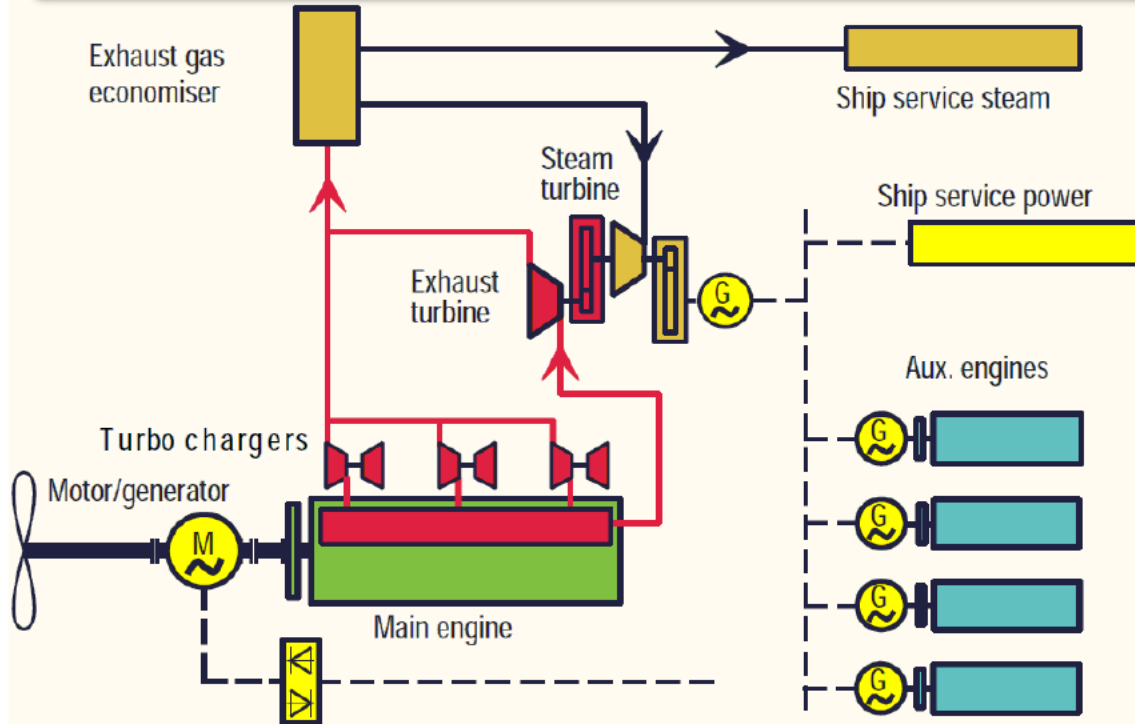
PRĄDNICE WAŁOWE

Prądnica wałowa o zmiennej prędkości wymaga przekształtnika energoelektronicznego do stabilizacji amplitudy i częstotliwości generowanego napięcia





PRĄDNICE WAŁOWE

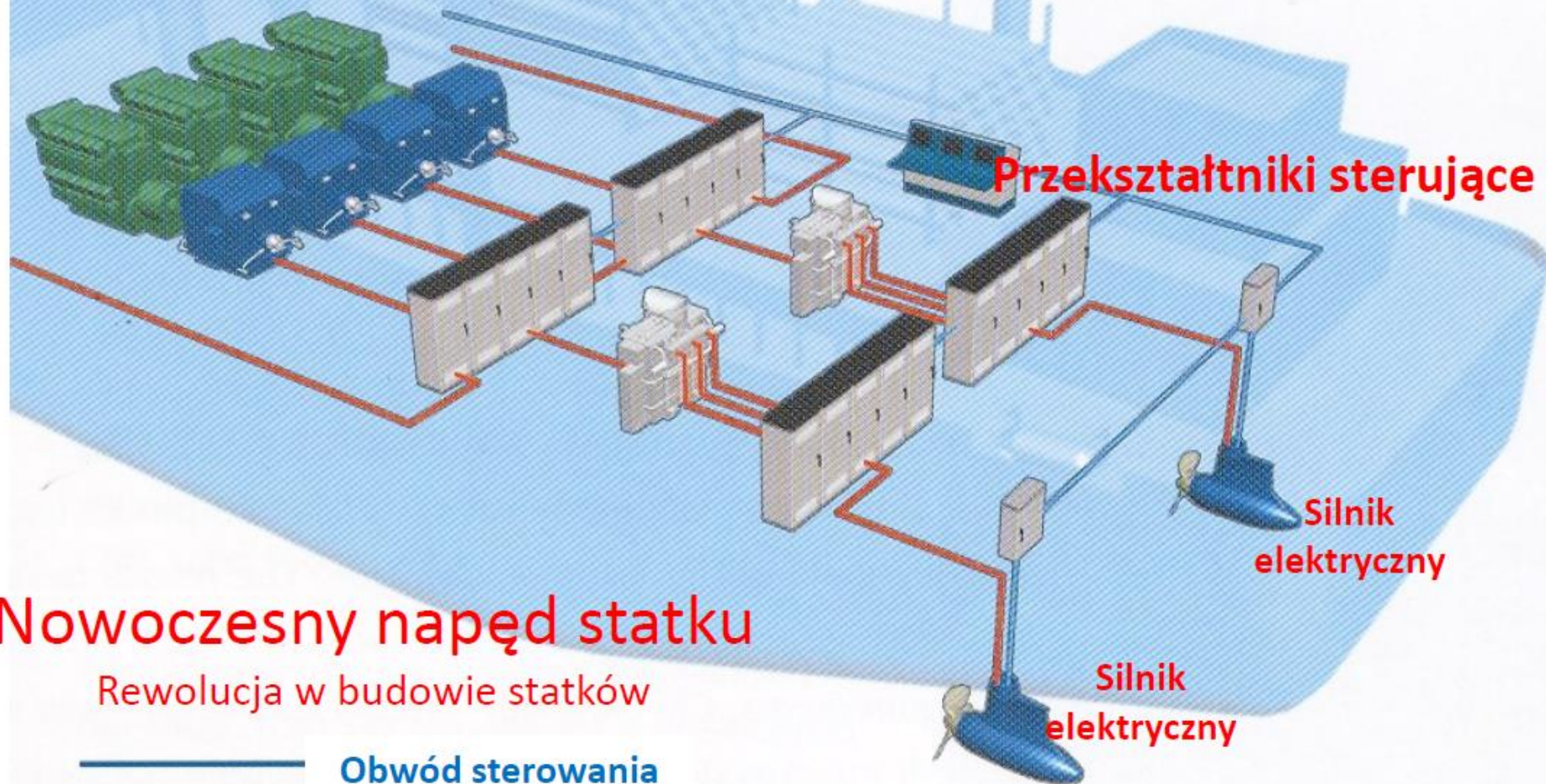


Elektromechaniczno –
przekształtnikowy układ równoległy

Praca jako silnik pomocniczy bądź
jako generator energii elektrycznej

Dodatkowe prądnice w systemie
napędzane jednostkami
pomocznymi oraz turbiną z
odzyskiwaniem ciepła ze spalin
silnika głównego

Elektrownia okrętowa – silnik spalinowe i generatory 1500obr/min



Nowoczesny napęd statku

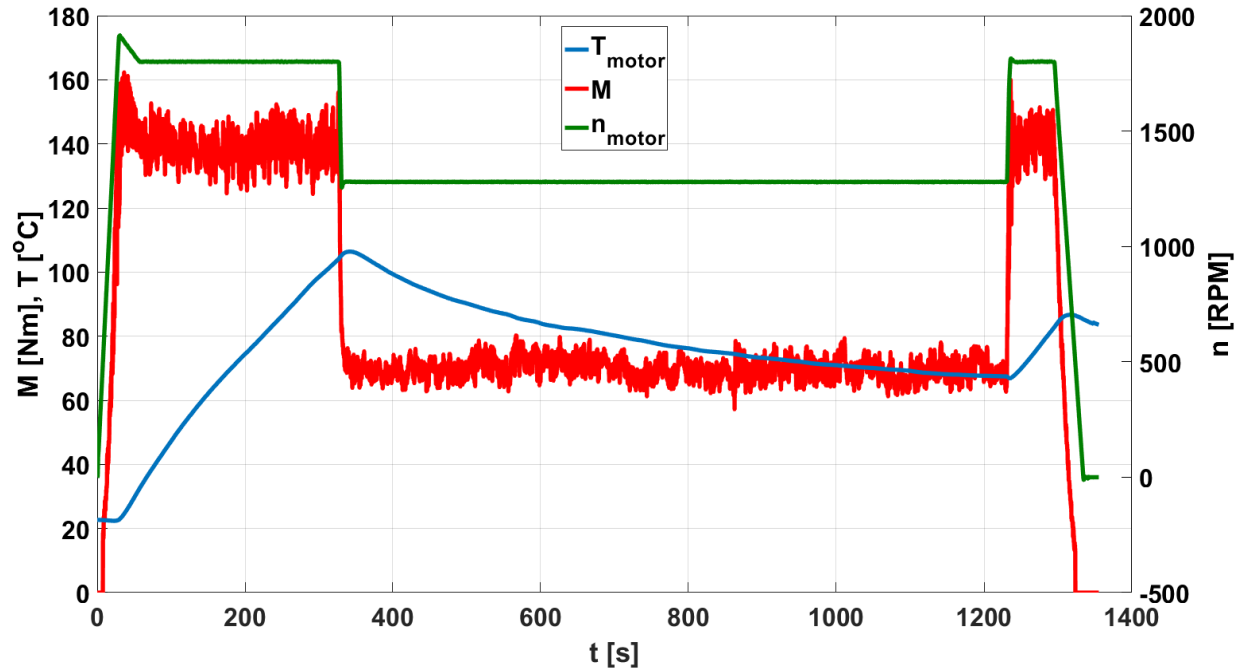
Rewolucja w budowie statków



NAPĘDY LOTNICZE

Największy moment jest wymagany przy starcie i wznoszeniu – największe zapotrzebowanie na energię, znaczny przyrost temperatury silnika i przekształtnika

W locie poziomym spadek momentu i prędkości silnika, mniejsze zapotrzebowanie na energię i spadek temperatury





NAPĘDY LOTNICZE – ZASILANIE Z BATERII LI-ION

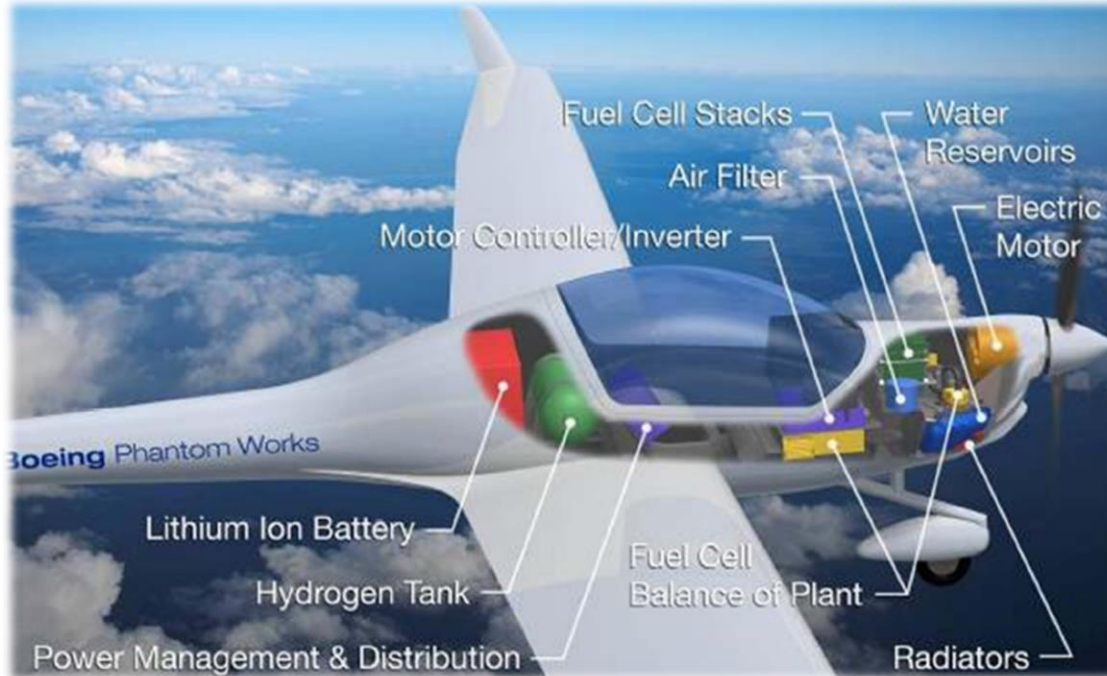


Parametry układu napędowego:
Pojemność baterii Li-Ion - 18kWh
Ciężar baterii 6 modułów x 20kg = 120kg
Silnik elektryczny Siemens - 85kW (peak)

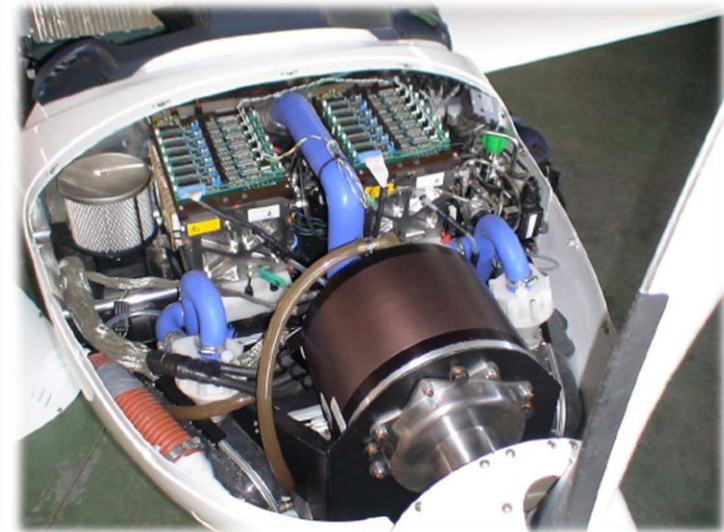




NAPĘDY LOTNICZE – HYBRYDOWY Z OGNIWEM PALIWOWYM



Boeing Fuel Cell
Demonstrator Aircraft

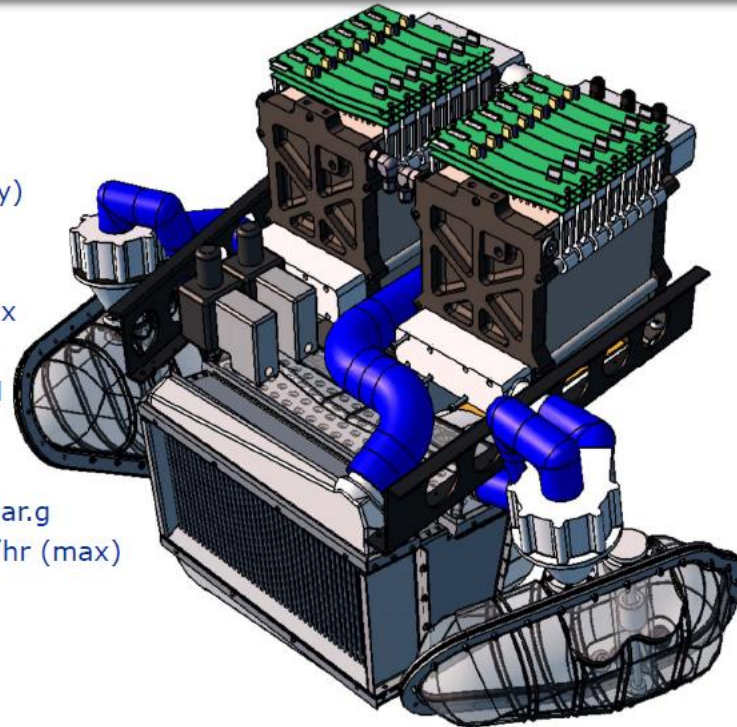




NAPĘDY LOTNICZE – HYBRYDOWY Z OGNIWEM PALIWOWYM

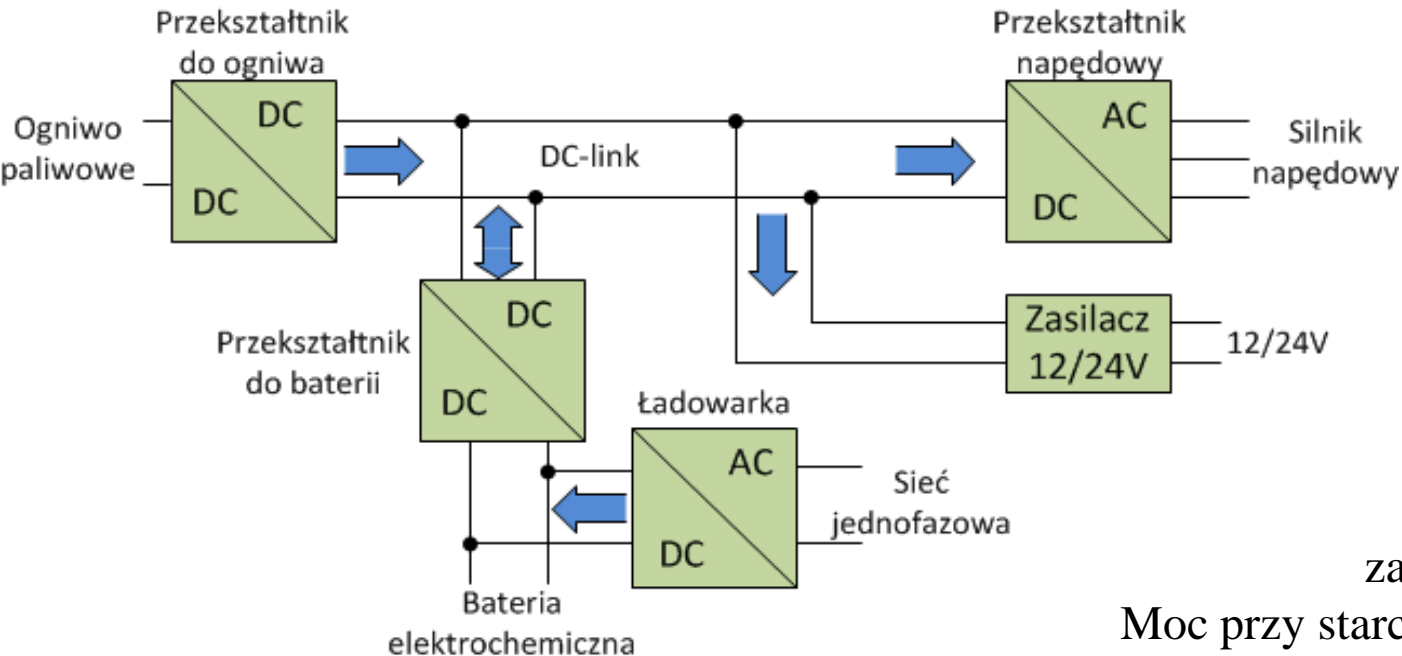
Specification

Volume	150l
Weight	92kg (dry)
Voltage output (unregulated)	192V
Electrical power output	20kW
Current output	130A max
Hydrogen composition	99.95%
Fuel consumption (@20kW)	280SLPM
Fuel stoichiometry	1.01
Air stoichiometry	2.0
Operating pressure	0.2–1.5bar.g
Emissions (Water)	3.0litres/hr (max)





NAPĘDY LOTNICZE – HYBRYDOWY Z OGNIWEM PALIWOWYM



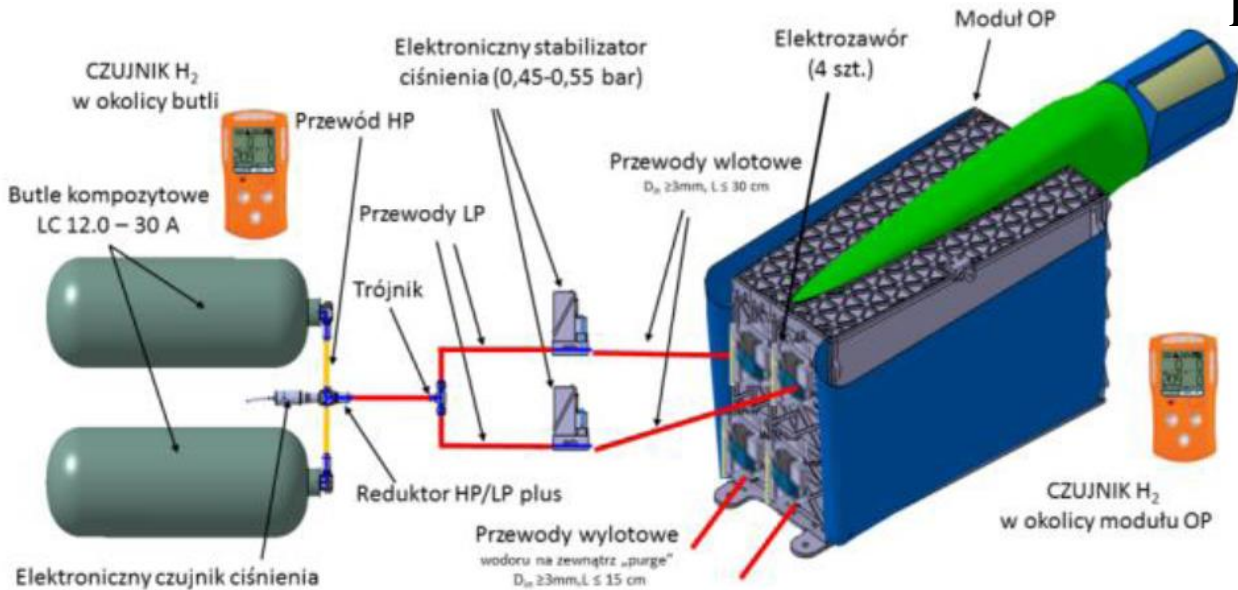
Napęd hybrydowy umożliwia zmniejszenie gabarytów i ciężaru głównego źródła energii (ogniwa paliwowego)

Moc w locie poziomym zapewnia ogniwo paliwowe
Moc przy starcie i wznoszeniu zapewnia ogniwo paliwowe i bateria elektrochemiczna



NAPĘDY LOTNICZE – HYBRYDOWY Z OGNIWEM PALIWOWYM

Platforma motoszybowca AOS-71 wykorzystana jest do zabudowy napędu hybrydowego z ogniwem paliwowym i magazynem Li-Ion.
 Projekt AOS-H2





NAPĘDY LOTNICZE – HYBRYDOWY Z OGNIWEM PALIWOWYM

PMSM Motor – EMRAX 228 HVAC
Nominal power 20kW (@2000rpm)
Peak power 35kW (@2000rpm)
Battery type: Li-Ion
Battery capacity ca. 16Ah
Battery voltage: max 400V
Maximum weight in flight - 650kg
Maximum speed - 250 km/h

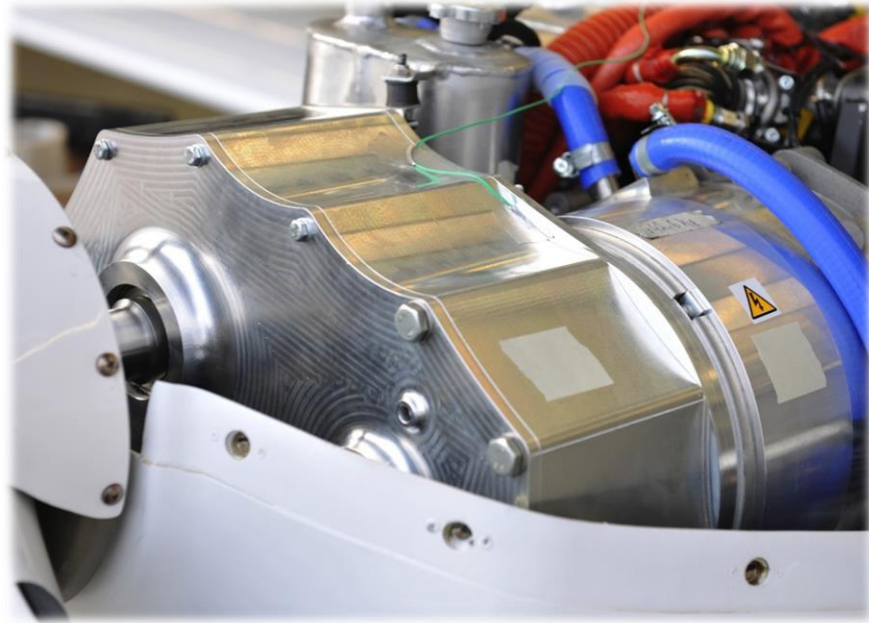
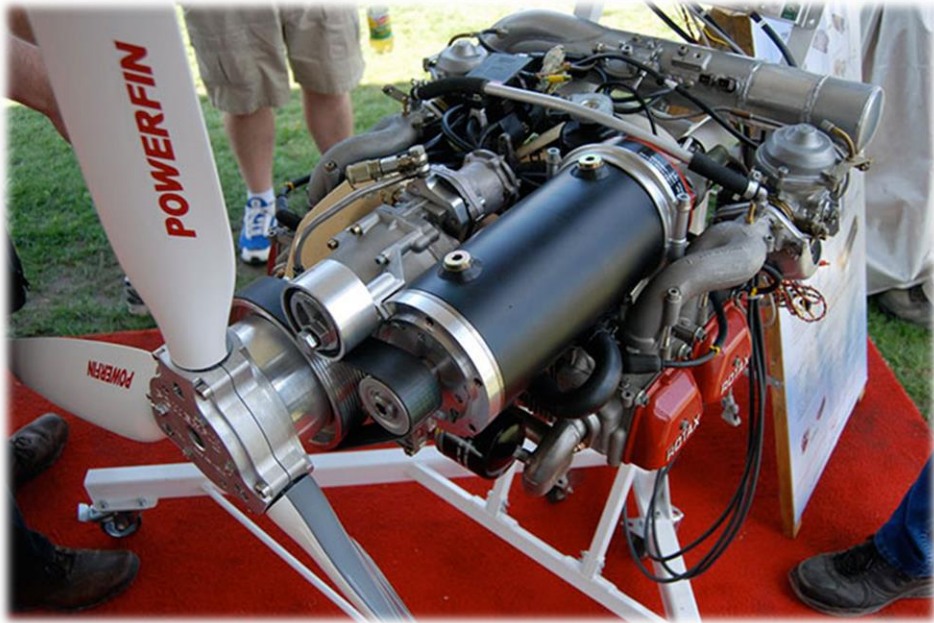




POLITECHNIKA WARSZAWSKA
WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY - ISEP
ZAKŁAD NAPĘDU ELEKTRYCZNEGO



NAPĘDY LOTNICZE – HYBRYDOWY Z SILNIKIEM SPALINOWYM





POLITECHNIKA WARSZAWSKA
WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY - ISEP
ZAKŁAD NAPĘDU ELEKTRYCZNEGO



MATERIAŁY DO WYKŁADU Z NAPĘDU ELEKTRYCZNEGO

WYKŁAD IV – NAPĘDY TRAKCYJNE, MORSKIE I LOTNICZE

PROWADZĄCY

DR HAB. INŻ. GRZEGORZ IWAŃSKI

IWANSKIG@ISEP.PW.EDU.PL