ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1970

Seria: ENERGETYKA z. 34 Nr kol. 279

ERYK PRUGAR

Katedra Cieplnych Maszyn Tłokowych

SILNIKI WOLNOOBROTOWE CZY ŚREDNIOOBROTOWE JAKO GŁÓWNE SILNIKI NAPĘDOWE STATKÓW PEŁNOMORSKICH

Streszczenie: Praca traktuje o korzyściach techniczno-eksploatacyjnych wynikających ze stosowania bezwodzikowych silników średnio-obrotowych do przekładniowego napędu statków pełnomorskich. Perspektywiczne zapotrzebowanie mocy siłowni niektórych typów statków nie będzie mogło być pokryte przez pojedyncze, wolnoobrotowe dwusuwowe silniki wodzikowe, których osiągi wydają się być raczej już szczytowe. Wielosilnikowe siłownie statków będą wyposażane w bezwodzikowe silniki średnioobrotowe.

W trwającej od przeszło 15 lat dyskusji na temat: Silniki wolnoobrotowe czy średnioobrotowe jako główne silniki napędowe statków pełnomorskich - wydaje się przeważać pogląd, że w niektórych typach statków, jak:

- promy dla samochodów i pociągów,
- lodołamacze,
- tankowce, masowce i pojemnikowce (kontenery),
- liniowce pasażerskie,
- statki specjalnego przeznaczenia (marynarka wojenna),

głównymi silnikami napędowymi będą wyłącznie średnioobrotowe silniki bezwodzikowe, pracujące w zasadzie z przekładniami redukcyjnymi lub redukcyjno-nawrotnymi.

Można również przypuszczać, że w niedalekiej przyszłości także w innych typach statków (poza nielicznymi) średnioobrotowe silniki przekładniowe zastąpią dotychczas stosowane wolnoobrotowe silniki wodzikowe, o dużych średnicach cylindrów, napędzające bezpośrednio wał śruby statku.

Na powyższe wskazuje coraz szybszy pokojowy rozwój gospodarczy świata, który wymaga coraz większej intensyfikacji przewozów morskich. Nośność supertankowców osiągnęła już obecnie 370 tys. TDW i będzie wzrastała do 500 tys. TDW, a przeprowadzane są już studia nad możliwością budowy tankowców-gigantów o nośności 1000 tys. TDW.
Moc siłowni dla tych jednostek będzie się wahała w granicach 60...100 tys. KM.

Obok znajdujących się w eksploatacji masowców o nośności 105 tys. TDW trwa budowa masowców o nośności 200 tys. TDW i istnieją perspektywy dalszego wzrostu ich tonażu. Dotychczasowa szybkość masowców wynosząca 15 węzłów, ma być zwiększona do 18...20 węzłów. Moc siłowni pojemnikowców służących dla ładunków wymagających szybkich przewozów (około 30 węzłów) przekroczy 60 tys. KM i może przy dalszym wzroście osiągnąć nawet wartość 100 tys. KM.

Omówione powyżej perspektywiczne zapotrzebowanie mocy siłowni napędowych nie będzie mogło być pokryte przez pojedyncze wolnoobrotowe, dwusuwowe silniki wodzikowe, których osiągi wydają się być raczej już szczytowe (4000 KM/cyl). Silniki te pokrywają przy liczbie cylindrów 12, zapotrzebowanie mocy w zakresie do 48.000 KM.
W tablicy 1 przedstawiono dane techniczne obecnie produkowanych wolnoobrotowych, dwusuwowych silników wodzikowych o mocy powyżej 3000 KM/cyl.

Tablica 1

Dane techniczne obecnie produkowanych wolnoobrotowych, dwusuwowych silników wodzikowych o mocy powyżej 3000 KM/cyl

Producent	Oznaczenie silnika	Średn. cylindra	Skok tłoka	Moc trwała	Prędk. obrot.	Średn. ciśn. efekt.	Moc silnika 12 cyl
		mm	mm	KM	min^{-1}	kG/cm^2	KM
FIAT	1060S	1060	1900	4000	106	10,8	48000
MAN	KZ 105/180E	1050	1800	4000	108	12,1	48000 x)
Sulzer	RND 105	1050	1800	4000	108	11,7	48000
Burmeister i Wain	K 98 FF 98-VT3BF-200	980	2000	3800	103	12,42	45600
Stork	SW 90/170	900	1700	3500	115	14	42000 xx)
Götaverken	DM960/1900	960	1900	3300	108	11,3	39600

x) Produkowany w odmianie do 10 cylindrów

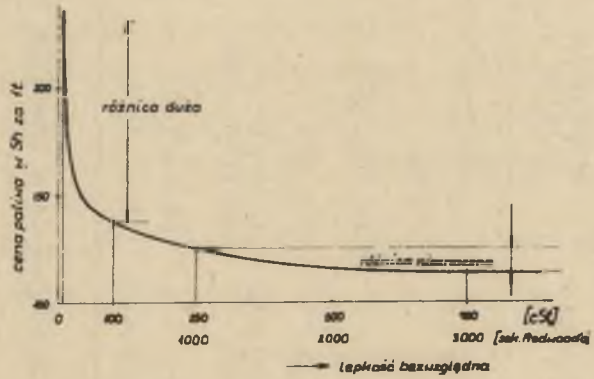
xx) Produkowany w odmianie 6 cylindrów

Można przypuszczać, że pomimo początkowych niechęci i zastrzeżeń armatorów do stosowania w napędach morskich średnioobrotowych silników bezwodzikowych, co jest wywołane w głównej mierze uprzedzeniem do czegokolwiek nowego - silnik średnioobrotowy ma przed sobą wyraźnie zarysowującą się perspektywę dalszego rozwoju i powszechnego stosowania.
W 1968 r. łączna moc siłowni napędowych statków wyposażonych w silniki średnioobrotowe wynosiła ponad 1,5 mln KM.

Występujące do 1964 r. jako zasadnicze wady silników średnioobrotowych:

- niemożliwość spalania tanich paliw ciężkich, z gatunku używanego do opalania kotłów,
- stosunkowo duże jednostkowe zużycie paliwa,
- stosunkowo szybkie zużycie gładzi cylindrowych

zostały obecnie usunięte.
Wiele z dzisiejszych silników średnioobrotowych spala paliwa ciężkie o lepkości bezwzględnej większej od 250 cSt (1000 sekund Redwooda).
Z przebiegu zależności pomiędzy ceną paliwa i jego lepkością bezwzględną, przedstawionego na rys. 1 wynika, że różnica w



Rys. 1. Zależność pomiędzy ceną paliwa i jego lepkością bezwzględną

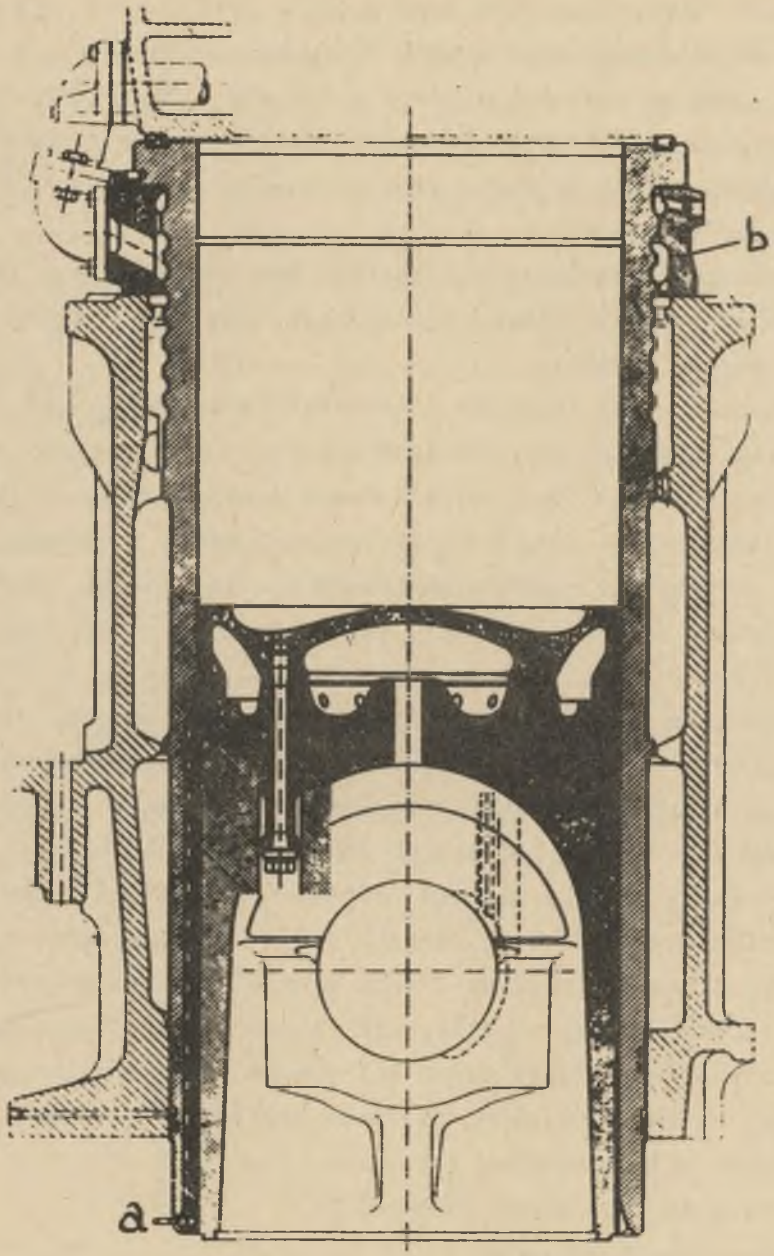
cenie za 1 tonę paliwa jest dość znaczna jeśli chodzi o paliwa których lepkość bezwzględna waha się w granicach od 4...6 cSt (16...24 sekund Redwooda), do 50...100 cSt (200...400 sekund Redwooda), natomiast jest nieznaczna przy paliwach o lepkości bezwzględnej wahającej się w granicach: 250...750 cSt (1000... 3000 sekund Redwooda).

Dla umożliwienia spalania w silnikach średnioobrotowych paliw ciężkich wprowadzono szereg specjalnych rozwiązań konstrukcyjnych, a między innymi:

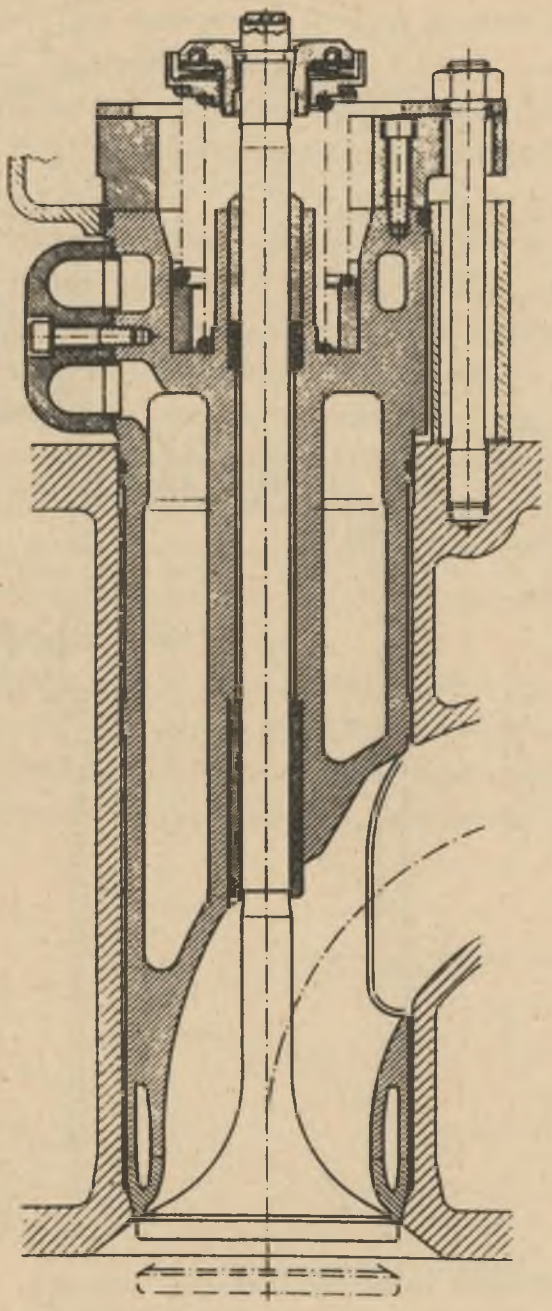
a) zastosowano, podobnie jak w silnikach wolnoobrotowych oddzielne urządzenie do olejenia gładzi cylindrowych, przy czym wprowadzono oleje alkaliczne o dużej zawartości środków zmywających. Olej w ilości około 1 g/kMh doprowadzany jest na gładź cylindrową odpowiednimi wierceniami przebiegającymi w dolnej (chłodnej) części tulei cylindrowej, rys. 2,

b) zastosowano tłoki dzielone, w których górna część tworząca denko tłoka oraz część pierścieniową odkuta jest ze stali, natomiast dolna część tłoka jako prowadząca (wodząca) odlana jest ze stopu lekkiego lub z żeliwa. Stosunkowo cienkie ścianki odkuwki stalowej górnej części tłoka zezwalają w wyniku skutecznego chłodzenia olejem na utrzymanie temperatury ścianek w okolicy rowków pierścieniowych w granicach 100 ...140°C. Mały współczynnik rozszerzalności cieplnej materiału górnej części tłoka zezwala na stosowanie małych luzów, które zabezpieczają górne pierścienie tłokowe przed bezpośrednim działaniem płomienia,

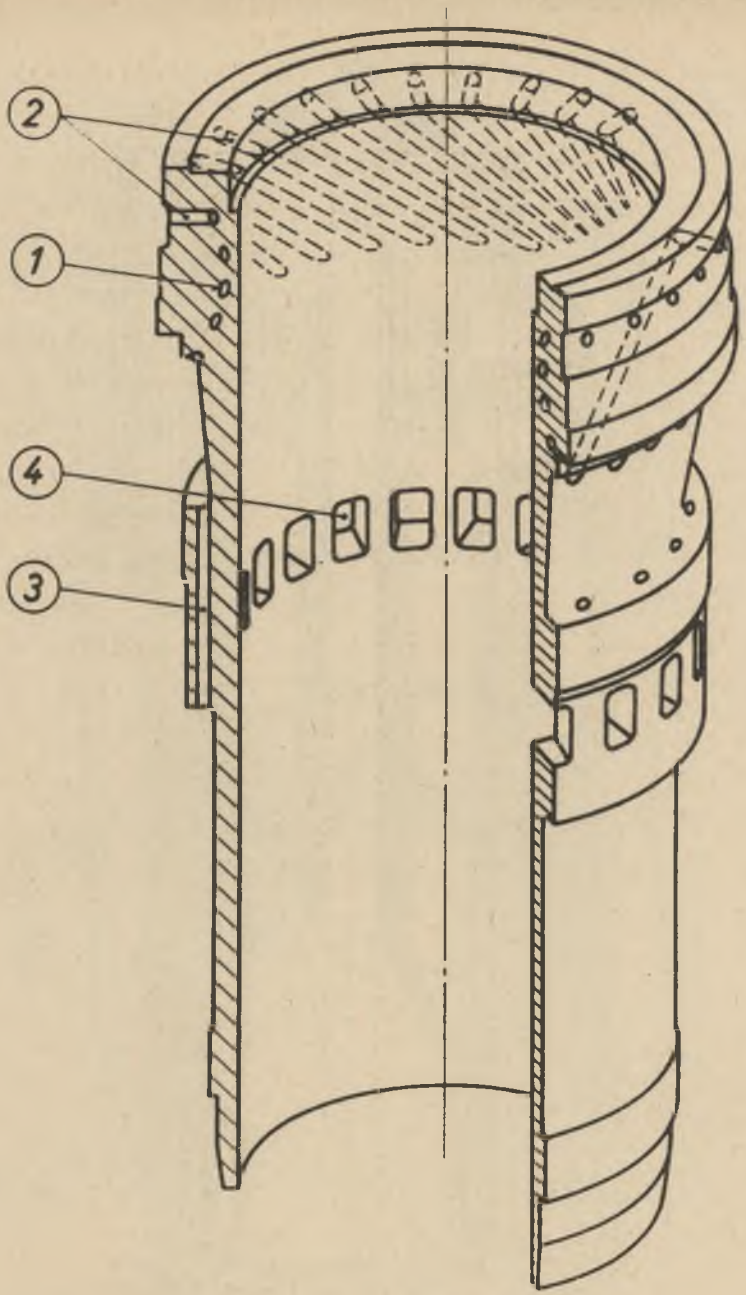
c) zastosowano intensywne chłodzenie:
   - końcówek wtryskiwaczy,
   - gniazd zaworów wylotowych,
   - górnych części tulei cylindrowych.



Rys. 2. Tuleja cylindrowa silnika MAN Typ VV 52/55
a - doprowadzenie oleju na gładź cylindrową, b - pierścień stalowy



Rys. 3. Kosz z zaworem wylotowym



Rys. 4. Chłodzenie tulei cylindrowej silnika SULZER Typu Z
1,2,3 - wiercenia dla przepływu wody chłodzącej, 4 - okna wlotowe

Na rys. 3 przedstawiono osadzony w głowicy silnika kosz z zaworem wylotowym.

Intensywne chłodzenie zewnętrzne trzonka zaworu jak i jego gniazda powoduje, że temperatura gniazda jest stosunkowo niska i wynosi około 400°C.

Chłodzenie górnych części tulei cylindrowych odbywa się przez układ skośnych otworów wierconych stycznie do zewnętrznej ścianki tulei na głębokość możliwie najbliżej gładzi cylindrowej, (rys. 4) lub przez zastosowanie specjalnego pierścienia stalowego, umieszczonego pomiędzy kołnierzem tulei cylindrowej a kadłubem cylindrów i włączonego w obieg chłodzenia, rys. 2. Wysokość pierścienia stalowego jest tak dobrana, aby przy położeniu tłoka najbliżej komory spalania, droga odprowadzania ciepła przez pierwsze pierścienie tłokowe do czynnika chłodzącego była możliwie jak najkrótsza.

Niemożliwość spalania w silnikach średnioobrotowych takich paliw jakie są stosowane do napędu silników wolnoobrotowych i wynikła stąd pozornie nieco droższa eksploatacja silników średnioobrotowych, zostaje zrekompensowana możliwością uzyskania

Rys. 5. Zależność pomiędzy zmianą wartości współczynnika sprawności i prędkością obrotową śruby statku

wyższej sprawności układu: silnik średnioobrotowy - przekładnia - śruba - kadłub statku.
Szczególnego znaczenia nabiera to przy dużych tankowcach i masowcach, których gabaryty zewnętrzne wymagają stosowania śrub o dużych średnicach.
Na rys. 5 przedstawiono wyrażoną w % zmianę wartości współczynnika sprawności napędu w zależności od prędkości obrotowej śruby przy założeniu, że parametry warunkujące właściwą współpracę układu: silnik - śruba - kadłub statku zostały prawidłowo dobrane.
Z wykresu przedstawionego na rys. 5 wynika, że obniżenie prędkości obrotowej śruby powoduje wzrost wartości współczynnika sprawności napędu.
Przy napędzie bezpośrednim silnikami wolnoobrotowymi o prędkościach obrotowych wału korbowego nie mniejszych niż 103... 125 min^{-1}, zmniejszenie prędkości obrotowej śrub jest niemożliwe, a możliwość tę dają napędy pośrednie, tzn. silniki średnioobrotowe z przekładniami redukcyjnymi.
Jednostkowe zużycie paliwa dzisiejszych silników średnioobrotowych waha się w granicach: 150...162 g/KMh, wartości te można uznać jako bardzo dobre.
Pomiary wielkości zużycia mechanicznego ruchomych części silników średnioobrotowych w odniesieniu do 1000 h pracy tych silników wykazały, że:

- zużycie gładzi cylindrowej na wysokości pierwszego pierścienia tłokowego wynosiło 0,01...0,03 mm,
- zużycie rowka pierwszego pierścienia tłokowego wynosiło: 0,001...0,004 mm,
- zużycie pierwszego pierścienia tłokowego (na wysokość) wynosiło: 0,02...0,03 mm,
- zużycie tulei sworznia tłokowego wynosiło: 0,005 mm,
- zużycie łożysk głównych i korbowodowych wynosiło: 0,001 mm.

Powyższe pomiary przeprowadzono na 125 silnikach, które pracowały na olejach ciężkich o lepkości bezwzględnej 200...1500 sekund Redwooda i przez pewien okres na olejach o lepkości bezwzględnej 3500 sekund Redwooda. Wymienione wartości zużycia mechanicznego są niskie i świadczą o dużej trwałości dzisiejszych silników średnioobrotowych.

Bezsprzecznymi zaletami wynikającymi ze stosowania przekładniowych silników średnioobrotowych do napędu statków pełnomorskich są:

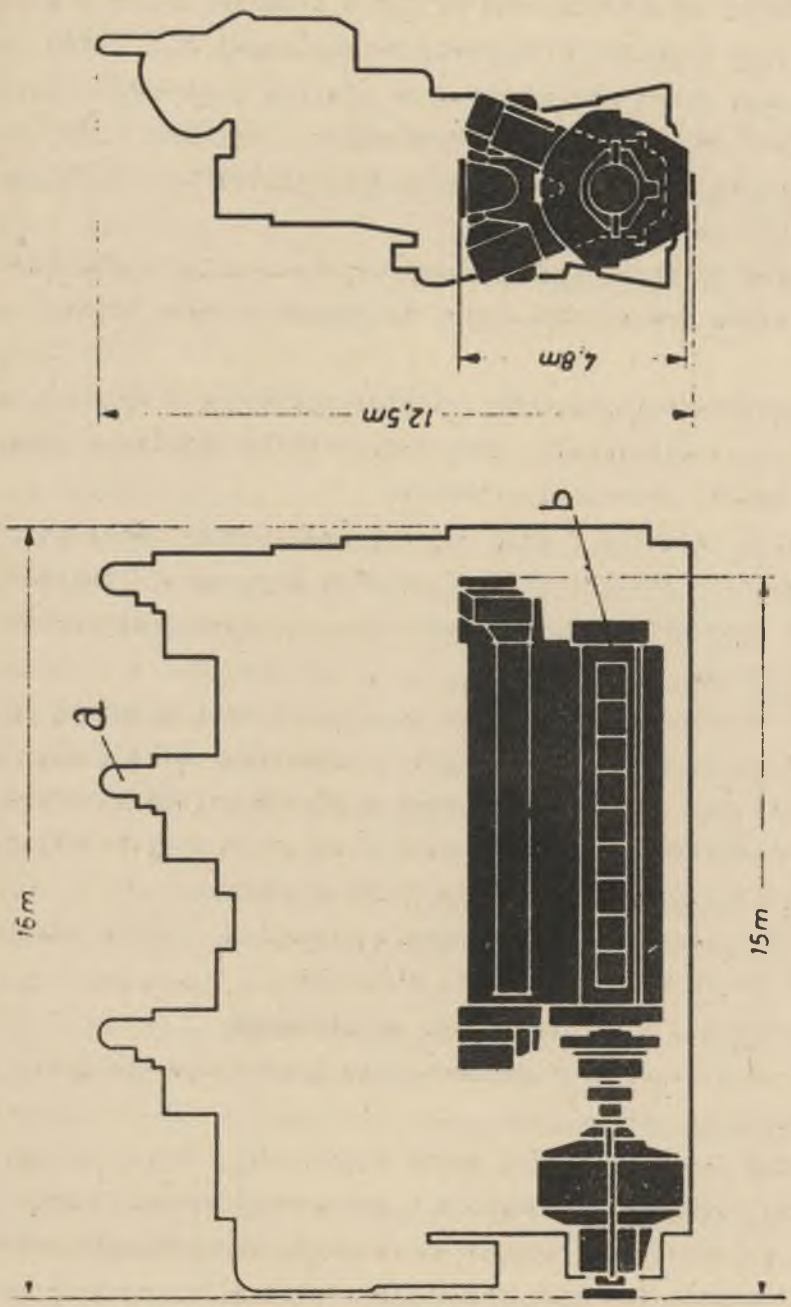
1. Znaczne zwiększenie pewności eksploatacyjnej w przypadku maszynowni wielosilnikowej, gdyż jest możliwe działanie napędu przy awarii jednego z silników.
2. Mały ciężar silników i małe wymiary maszynowni zezwalające na zwiększenie ładowności i pojemności użytecznej statków. Mniejsza wysokość maszynowni zezwala na wprowadzenie dodatkowego pokładu.

   Wartości ciężarowego wskaźnika mocy maszynowni składających się z silników średnioobrotowych i przekładni wahają się w granicach: 14...20 kg/KM i stanowią 40-50% wartości ciężarowego wskaźnika mocy równorzędnych wolnoobrotowych silników napędzających bezpośrednio śruby statków.

   Na rys. 6 przedstawiono porównanie gabarytów dwóch równorzędnych co do mocy (18000 KM) silników:

   a(dwusuwowego, wolnoobrotowego wodzikowego,

   b) czterosuwowego, średnioobrotowego bezwodzikowego wraz z przekładnią redukcyjną:
3. Łatwiejszy dobór prędkości śruby napędowej, drogą łatwego do zmiany stosunku przełożenia w przekładni redukcyjnej:
4. Lepsze przystosowanie napędu do różnych warunków pływania, drogą włączania lub wyłączania niektórych silników maszynowni wielosilnikowej.



Rys. 6. Gabaryty dwóch równorzędnych co do mocy (18000 KM) silników
a - silnik 2-suwowy, wolnoobrotowy-wodzikowy, b - silnik 4-suwowy, średnioobrotowy-bezwodzikowy

5. Krótszy okres manewrowania statkiem przy maszynowniach wielosilnikowych, drogą stosowania silników lewo i prawoobrotowych.
6. Silnik średnioobrotowy może być w całości wbudowany na statek podczas gdy silnik wolnoobrotowy jest montowany wewnątrz statku.
7. Małe wymiary i ciężary istotnych dla obsługi oraz napraw części silników średnioobrotowych ułatwiają przeprowadzenie okresowych przeglądów i ewentualnych napraw nawet podczas rejsu (możliwość naprawy drogą wymiany części i całych zespołów). Powyższe wpływa na znaczne skrócenie okresu nieefektywnego postoju statków.

Wymienione zalety oraz możliwości ekonomicznej, długotrwałej i bezawaryjnej pracy maszynowni statków pełnomorskich z silnikami średnioobrotowymi sprawiły, że wiele przodujących wytwórni rozpoczęło już produkcję tych silników względnie się do niej przygotowuje.

W PRL do produkcji silników średnioobrotowych według licencji f-my "Sulzer", przygotowują się Zakłady Urządzeń Technicznych "Zgoda" w Świętochłowicach, z którymi Katedra Cieplnych Maszyn Tłokowych Politechniki Śląskiej współpracuje, przygotowując między innymi odpowiednią kadrę inżynierską (w roku akad. 1969 /70 3 prace dyplomowe dotyczą silników średnioobrotowych, które w przyszłości będą produkowane w ZUT "Zgoda").

Dane techniczne, niektórych bezwodzikowych silników średnioobrotowych - przeznaczonych do przekładniowego napędu statków podane są w tablicy 2.

Według planu produkcyjnego f-my "Sulzer" w niedalekiej przyszłości w skład rodziny silników średnioobrotowych (oznaczonej symbolem Z) będą wchodzić również silniki: Z 40/70, ZB 56/70 i ZVB 56/70.

Dane techniczne wymienionych silników podane są w tablicy 3.

Tablica 2.

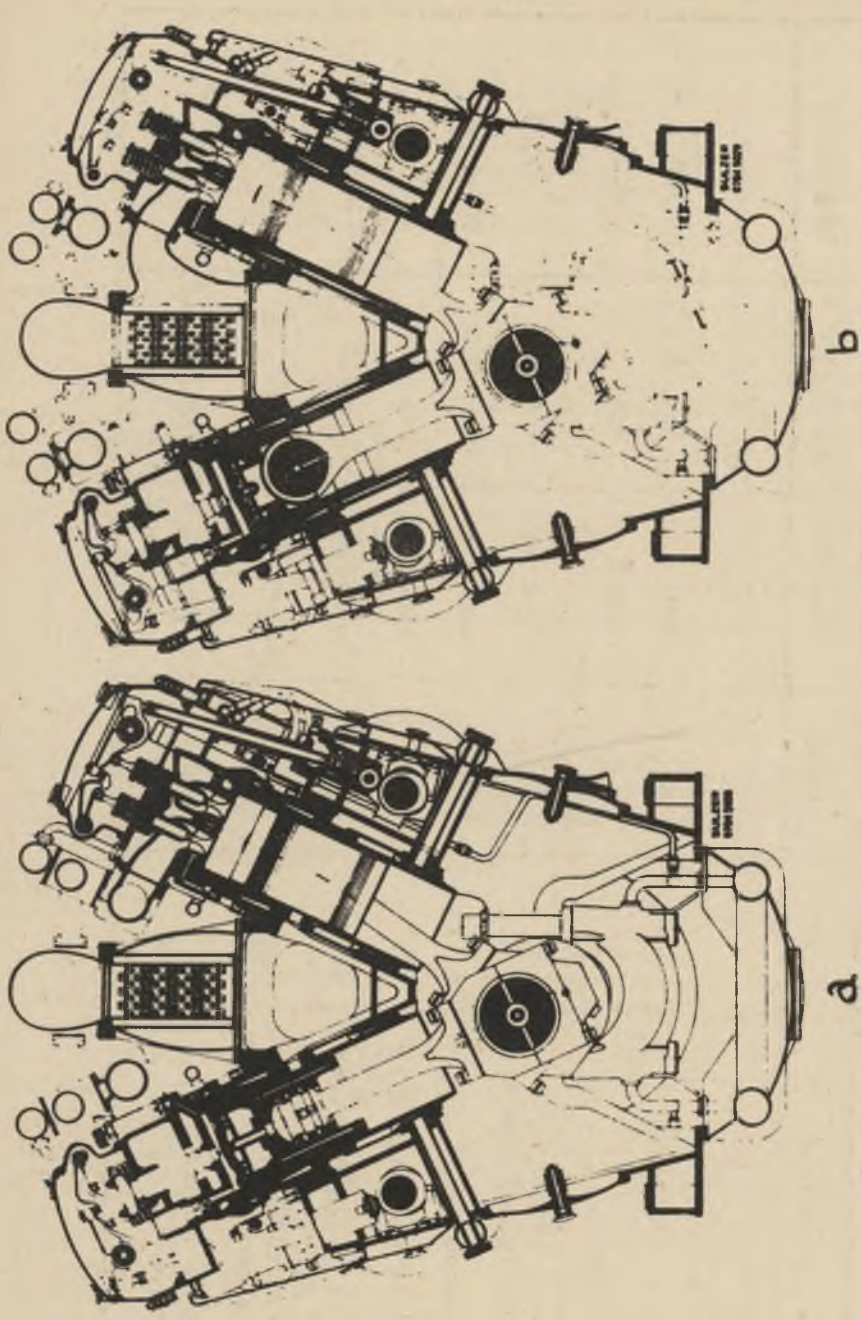
Dane techniczne, niektórych silników bezwodzikowych średniobrotowych przeznaczonych do przekładniowego napędu statków

Dane techniczne	Oznacz.	Wymiar	SKMP Pielstick	FIAT	Mirrlees-National			MAN		B W	Sulzer		
			PC2	0280	K	KL	F	TV 52/55	RV 52/55	450S	RD30/38	240/48	RD40/48
Liczba suwów		-	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	2
Średnica cylindra	D	mm	400	420	381	381	304,8	520	520	450	300	400	480
Skok tłoka	S	mm	460	500	457	508	381	550	550	540	380	480	480
Stosunek skoku tłoka do średnicy cylindra	$\frac{S}{D}$	-	1,15	1,2	1,2	1,33	1,25	1,06	1,06	1,2	1,27	1,20	1,20
Moc jednostkowa	$\frac{N_e}{cyl}$	$\frac{KM}{cyl}$	365-469	450	64-277,5	106-266,7	95-133,8	900-1100	900-1000	575	300-400	400-600	400-600
Prędkość obrotowa wału	n	min^{-1}	350-500	450	200-450	200-450	500-600	400-430	400-430	428	500-600	350-450	350-450
Średnia prędkość tłoka	$c_{śr}$	$\frac{m}{s}$	5,4-7,7	7,45	3,05-6,9	3,4-7,6	6,3-7,6	7,35-7,9	7,35-7,9	7,7	6,33-7,6	5,6-7,2	5,6-7,2
Średnie ciśnienie efektywne	p_e	$\frac{kG}{cm^2}$	14,5-16,8	13,1	5,6-10,8	5,6-10,8	6,8-10,0	17,3-17,9	17,3-17,9	14,1	10,4-11,6	8,5-9,9	8,5-9,9
Pojemność skokowa cylindra	V_s	dm^3	57,5	63,9	58,4	58,1	27,8	117	117	85,5	25,85	60,29	60,29
Pojemnościowy wskaźnik mocy	$\frac{N_e/cyl}{V_s}$	$\frac{KM}{dm^3}$	6,35-8,12	6,5	1,22-5,3	1,82-5,2	3,4-6,95	7,7-8,5	7,7-8,5	6,7	11,5-15,4	6,6-9,8	6,6-9,8
Jednostkowe zużycie paliwa	g	$\frac{g}{KMh}$	160	-	-	-	-	150	150	160	158	158	158
Liczba cylindrów w układzie rzędowym	i	-	6,8,9	-	6,7,8	6,7,8	3,4,5,6,7,8	-	6-9	-	-	6,9,12	-
Liczba cylindrów w układzie widlastym	i	-	10,12,14,16 18	12	12,16	-	-	10-18	-	8-18	8,12,16	-	12,18

Tablica 3

Dane techniczne, niektórych silników rodziny Z f-my "Sulzer" przeznaczonych do bezpośredniego napędu śruby statku

Dane techniczne	Oznacz.	Wymiar	Z 40/70	ZB 56/70	ZVB 56/70
Liczba suwów		-	2	4	4
Średnica cylindra	D	mm	400	560	560
Skok tłoka	S	mm	700	700	700
Stosunek skoku tłoka do średnicy cylindra	$\frac{S}{D}$	-	1,75	1,25	1,25
Moc jednostkowa	Ne/cyl	$\frac{KM}{cyl}$	400-600	900-1000	900-1000
Prędkość obrotowa wału	n	min^{-1}	250-300	300-350	300-350
Średnia prędkość tłoka	$c_{śr}$	$\frac{m}{s}$	5,83-7,0	7,0-8,4	7,0-8,4
Średnie ciśnienie efektywne	p_e	$\frac{kG}{cm^2}$	8,2-10,2	15	15
Pojemność skokowa cylindra	V_s	dm^3	87,92	172,32	172,32



Rys. 7. Przekroje poprzeczne silników
a - 2-suwowego Typu ZV 30/38, b - 4-suwowego Typu ZVB 30/38

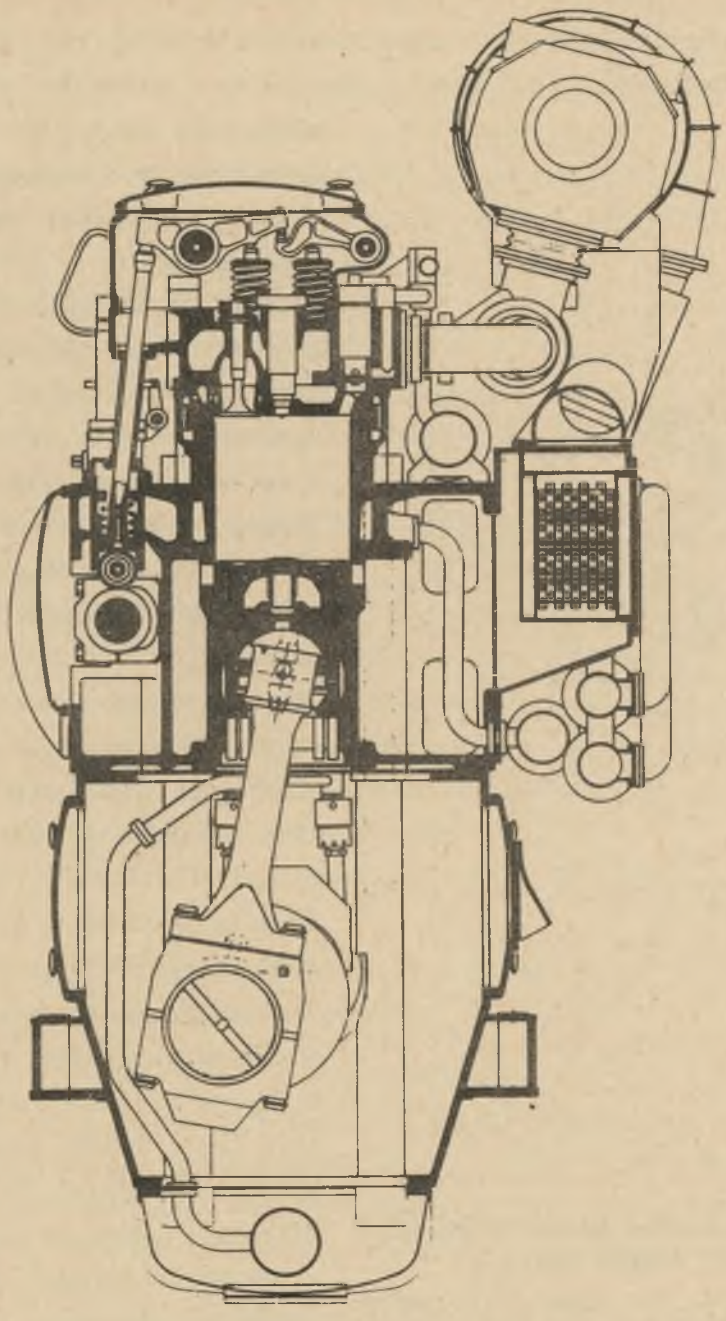
Wszystkie silniki rodziny Z są silnikami:
- o tłokach nurnikowych (konstrukcja bezwodzikowa),
- doładowanymi (pulsacyjnie) za pomocą turbosprężarek,
- dwusuwowymi jakkolwiek po pewnych niewielkich zmianach silniki typu ZV 30/38 mogą być budowane (do $N_e \leqslant 5000$ KM) jako silniki czterosuwowe.

Dwusuwowe silniki rodziny Z mają cylindry z jednokierunkowym płukaniem wzdłużnym, przy czym w głowicy każdego cylindra znajdują się 4 zawory wylotowe.
Na rys. 7 przedstawiono przekroje poprzeczne, z lewej strony dwusuwowego silnika typu ZV 30/38, natomiast z prawej strony takiego samego silnika lecz w odmianie czterosuwowej, oznaczonej symbolem ZVB 30/38.
Silniki typu Z 40/48 i Z 40/70 są silnikami dwusuwowymi o układzie cylindrów rzędowym lub widlastym i budowane są w dwóch odmianach konstrukcyjnych: w odmianie krótkoskokowej o S = = 480 mm i odmianie długoskokowej o S = 700 mm, przewidzianej do bezpośredniego napędu wału śruby.
Silniki typu ZB 56/70 i ZVB 56/70 są silnikami czterosuwowymi, przy czym pierwsze są silnikami o układzie rzędowym, natomiast drugie o układzie widlastym, oba typy przewidziane są do bezpośredniego napędu wału śruby.
Na szczególne podkreślenie zasługuje wysoki stopień podobieństwa konstrukcyjnego i technologicznego silników rodziny Z, który zezwala na wykorzystanie szeregu identycznych części i zespołów przy: budowie silników typu ZV 30/38 w odmianie dwu i czterosuwowej, budowie silników typu Z 40 w odmianie krótkoskokowej Z 40/48 i długoskokowej Z 40/70.
W silnikach typu ZV 30/38 jako główne części identyczne dla odmiany dwu i czterosuwowej występują:
- kadłuby silników,
- głowice,

- tłoki,
- korbowody.

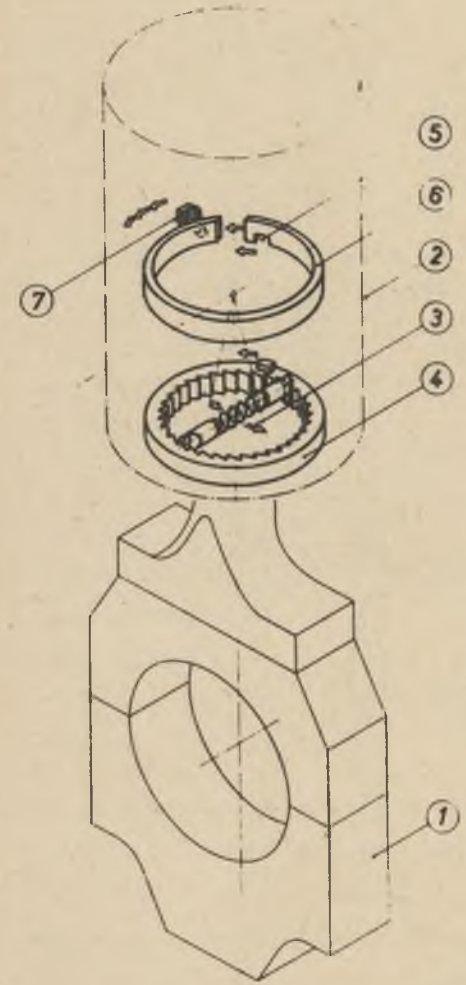
Konstrukcja spawano-lanego kadłuba silnika zezwala przez dobór ilości ścian działowych, odlewanych ze staliwa i dobór długości bocznych blach stalowych, na łatwe wykonywanie kadłubów dla silników o różnych liczbach cylindrów.
Konstrukcja głowicy przewiduje 4 zawory, które w odmianie dwusuwowej spełniają rolę zaworów wylotowych, natomiast w odmianie czterosuwowej - 2 zawory przewidziane są jako wlotowe, a pozostałe 2 jako wylotowe.
W silnikach typu Z40 jako główne części identyczne dla odmiany krótkoskokowej (s = 480 mm) i długoskokowej (s=700 mm) występują:
- kadłuby silników,
- głowice kompletne,
- układy zasilania,
- napędy zaworów (dochodzi dodatkowo jedno koło zębate),
- turbosprężarki,
- chłodnice,
- łożyska główne i korbowodowe,
- systemy regulacji.

Jak z powyższego wynika w silnikach typu ZV 30/38, Z 40/48 i Z 40/70 bardzo korzystnie rozwiązane jest zagadnienie unifikacji ich konstrukcji.
Stosunkowo duża ilość części i całych zespołów powtarzalnych w wielu rozwiązaniach konstrukcyjnych tych typów silników, zapewnia uzyskanie odpowiednio niskiego kosztu ich wytwarzania. Przy tak daleko stosowanej unifikacji znacznie mniejsze będzie obciążenie każdej wykonanej części lub zespołu kosztami oprzyrządowania, sprawdzianów itp. wynikającymi z procesu produkcyjnego.



Rys. 8. Połączenie tłoka z głową korbowodu za pomocą przegubu kulistego

Poza tym drogą niewielkich zmian konstrukcyjnych, nie naruszających podobieństwa technologicznego można otrzymać silniki nieco odciążone o mniej zaostrzonych wymaganiach technologicznych i eksploatacyjnych.



Rys. 9. Mechanizm obrotu tłoka silnika SULZER typu Z

1 - korbowód, 2 - tłok, 3 - zapadki 4 - koło zapadkowe, 5 - zaczep sprężyny, 6 - sprężyna obwodowa, 7 - połączenie sprężyny obwodowej z tłokiem

Również po pewnych stosunkowo niedużych zmianach konstrukcyjnych, można przystosować silniki rodziny Z w odmianie czterosuwowej do napędu gazem ziemnym (np. silniki holowników portowych oraz statków żeglugi przybrzeżnej).

Dla wyeliminowania ujemnych skutków dużych obciążeń cieplnych tłoków oraz wysokich nacisków jednostkowych (powyżej 8 kG/cm^2) pomiędzy częścią prowadzącą tłoków i gładzią cylindrową, jakie występują zwłaszcza w dwusuwowych silnikach rodziny Z, firma "Sulzer" zastosowała dwa ciekawe rozwiązania konstrukcyjne. Pierwsze dotyczy połączenia tłoka z głową korbowodu za pomocą przegubu kulistego, rys. 8. Drugie rozwiązanie konstrukcyjne dotyczy mechanizmu

powodującego obrót tłoka wokół jego osi podłużnej przy równoczesnym wykonywaniu przezeń ruchu posuwisto-zwrotnego wzdłuż gładzi cylindrowej, rys. 9.

Dzięki połączeniu tłoka z głową korbowodu za pomocą przegubu kulistego, wyeliminowano zjawisko "kantowania" tłoka w tulei cylindrowej (ukośnie ustawianie się tłoka w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny wirowania korbowodu).

Jako przyczyny zjawiska "kantowania", powodującego krawędziowe, a więc bardzo duże naciski górnej i naprzeciwległej dolnej części tłoka na gładź cylindrową, mogą wystąpić (tylko w przypadku połączenia tłoka z głową korbowodu za pomocą sworznia cylindrycznego):

- odchyłki w prostopadłości korbowodu względem czopa wału korbowego,
- odchyłki w prostopadłości osi sworznia tłokowego względem osi podłużnej tłoka (niedokładna obróbka otworów w nadlewach tłoka oraz otworu w głowie korbowodu dla osadzenia sworznia tłokowego względnie odkształcenia samego sworznia),
- nierównomierne (stożkowe) zużywanie się czopa korbowodowego oraz panewek łożyska korbowodowego,
- odkształcenie kadłuba silnika względnie skrzyni korbowej silnika,
- drgania giętne wału korbowego, potęgujące się ze wzrostem luzów w jego łożyskach głównych.

Przez zmuszenie tłoka do obrotu względem tulei cylindrowej zmniejszono w bardzo znacznym stopniu niebezpieczeństwo jego zatarcia się, gdyż każdorazowo inna - świeżo naolejona część powierzchni niosącej tłoka znajduje się pod działaniem siły normalnej, dociskającej tłok do gładzi cylindrowej.

Ponadto uzyskano:

- lepsze warunki dotarcia tłoka oraz jego pierścieni do gładzi cylindrowej,

- równomierne zużycie powierzchni tłoka,
- równomierny rozkład temperatur w tłoku, eliminujący niebezpieczne naprężenia cieplne (prowadzące z reguły do pękania den tłoków),

Wyjątkowa zwartość konstrukcji oraz bardzo dobra i niezawodna praca tych silników, szczególnie przy dużych obciążeniach daje im duże szanse i szerokie możliwości zastosowania we wszystkich morskich potrzebach.

LITERATURA

[1] PRUGAR E.: Technologiczność konstrukcji oraz możliwości eksploatacyjne nowych bezwodzikowych silników rodziny Z f-my "Sulzer". Kwartalnik Naukowo-Techniczny, Silniki Spalinowe Nr 4/1969, Poznań.

[2] ZPM H. CEGIELSKI: Rozwój polskiego przemysłu wysokoprężnych silników okrętowych i kolejowych", Poznań, październik 1969.

ТИХОХОДНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ИЛИ СРЕДНЕХОДНЫЕ
КАК ГЛАВНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ПРИВОДА СУДЕН
ДАЛЬНЕГО ПЛАВАНИЯ

Р е з ю м е

В статье рассматриваются технико-эксплуатационные преимущества, следующие из применения безкрейцкопфенных среднеходных двигателей для передаточного привода судов дальнего плавания.

Перспективная потребность в мощности силовой станции некоторых типов судов не будет возможно покрыть отдельными тихоходными, 2-ходовыми крейцкопфенными двигателями, которых достижения кажутся быть уже пиковыми.

Многодвигательные силовые станции судов будут оборудованы безкрейцкопфенными среднеходными двигателями.

SHOULD SLOW-SPEED OR MEDIUM-SPEED ENGINES BE USED
AS DRIVE ENGINES IN OCEAN SHIPS

S u m m a r y

The paper deals with the technical-exploitation advantages derived from usin crossheadlers medium-speed engines to the gear-drive of ocean ships.

It seems that demand for power in power-stations of some types of ships would not be covered by single slow-speed two-stroke crosshead engines, as their efficiency has rather reached its peak.

Multi-engined ship power-stations will be equipped in future with crosshead medium-speed engines.