

RODZAJE SILNIKÓW SPALINOWYCH

Silniki spalinowe dzielimy na:

- silniki 2- i 4-suwowe (ilość suwów tłoka określa cykl pracy silnika),
- przyczepne i stacjonarne,
- benzynowe i wysokopiężne.

Silnik benzynowy to silnik z zapłonem iskrowym. Iskrę daje świeca zapłonowa.

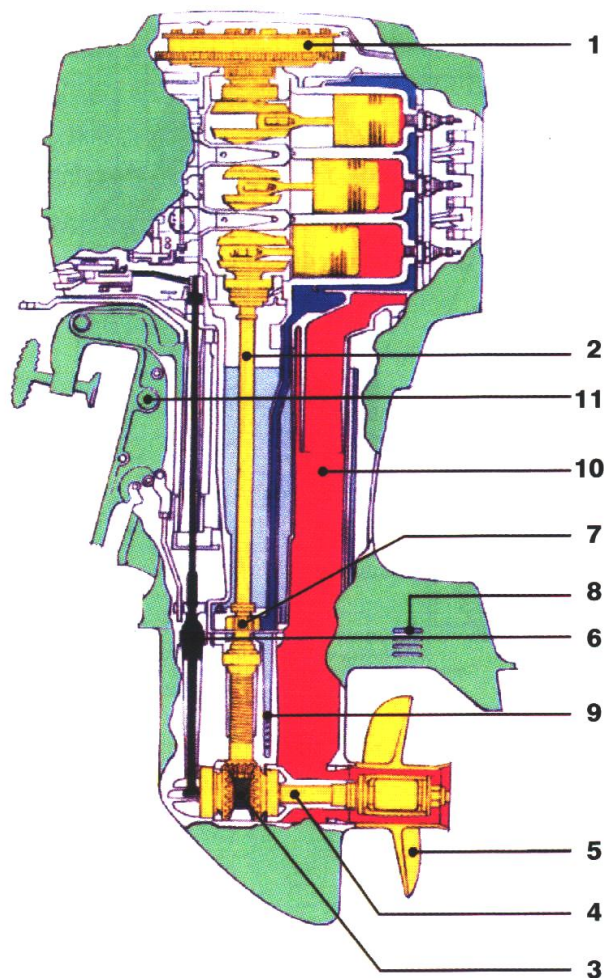
Silnik wysokopiężny (Diesel) to silnik z zapłonem samoczynnym. Sprężone powietrze uzyskuje tak wysoką temperaturę, że wtrysnięte paliwo zapala się samo (samozapłon).

Silnik spalinowy to urządzenie przetwarzające energię cieplną na mechaniczną. Spalanie odbywa się w cylindrze zamkniętym z jednej strony nieruchomą **głowicą**, z drugiej strony ruchomym **tłokiem**. Ciśnienie gazów przesuwaa tłok wzdłuż cylindra do dolnego martwego położenia (DMP), z którego powraca, dzięki działaniu mechanizmu korbowego i bezwładności koła zamachowego, do **górnego martwego położenia (GMP)**. Dolne martwe położenie to dolny punkt zwrotny tłoka, a górne martwe położenie to górny punkt zwrotny tłoka.

Mechanizm korbowo-tłokowy zamienia ruch posuwisto-zwrotny tłoka, na ruch obrotowy wału.

Suw – to ruch tłoka od jednego do drugiego martwego położenia.

Miedzy martwymi położeniami tłoka zawiera się **pojemność skokowa cylindra**.



SILNIK BENZYNOWY - PRZYZCZEPNY

- 1 - koło zamachowe,
- 2 - wał napędowy,
- 3 - przekładnia redukcyjna,
- 4 - wał śrubowy,
- 5 - śruba napędowa,
- 6 - przekładnia biegów,
- 7 - pompa wodna,
- 8 - wylot wody chłodzącej,
- 9 - pobór wody chłodzącej,
- 10 - kanał wylotu spalin,
- 11 - urządzenie mocujące.

PRZEKŁADNIE I PĘDNIKI

Przekładnie

Przekładnie przenoszą moc z wału silnika na wał śrubowy. Przekładnia **mechaniczna** przenosi moc za pomocą kół ciernych i zębatach, natomiast przekładnia **hydrauliczna** za pomocą cieczy. Przekładnie zmniejszają prędkość obrotową (**warunek redukcji**), mogą również zmieniać kierunek prędkości obrotowej (**warunek nawrotności**).

Stąd przekładnie redukcyjne, nawrotne lub redukcyjno-nawrotne.

Charakterystyczna cecha każdej przekładni to jej **przełożenie (i)**.

$$i = \frac{n_1}{n_2}$$

gdzie: n_1 – prędkość obrotowa wału napędzającego,

n_2 – prędkość obrotowa wału napędzanego.

Wielkość przełożenia ($1 \div 5$) istotnie wpływa na dobór średnicy śruby.

W napędach jachtowych szeroko stosowane są przekładnie mechaniczne o różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych.

Można je klasyfikować w zależności od sposobu wyprowadzenia linii wału śrubowego:

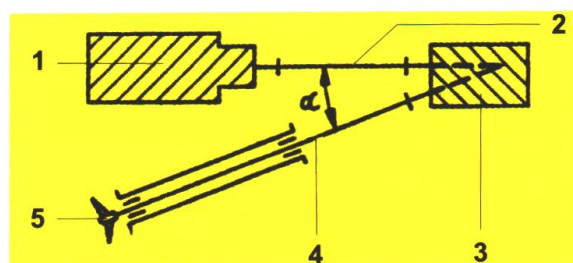
- **liniowe** (silnik, przekładnia, wał śrubowy),
- **niewspółosiowe** (osie wałów przesunięte),
- **typ V** (kątowe),
- **typ S** (obrót pędnika w płaszczyźnie poziomej),
- **typ Z** (obrót pędnika w płaszczyźnie poziomej i pionowej).

Przekładnie o osiach równoległych mają koła walcowe, typowe dla silników wbudowanych w układzie liniowym. Są to przekładnie walcowe.

Przekładnie o osiach prostopadłych mają koła zębate stożkowe, typowe dla silników przyczepnych (napęd typ S i Z). Są to przekładnie stożkowe.

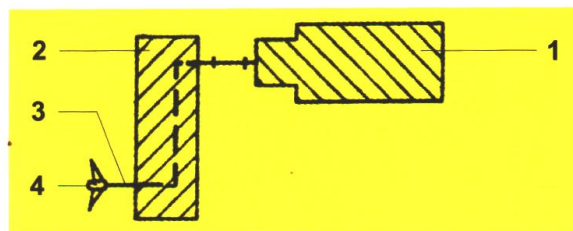
Jeśli przekładnia walcowa lub stożkowa ma również koła o osiach ruchomych (satelity), jest to przekładnia obiegowa (planetarna, różnicowa).

Schemat napędu	Nazwa napędu
	Liniowy (in line)
	Niewspółosiowy (drop-center)
	V
	Z
	L



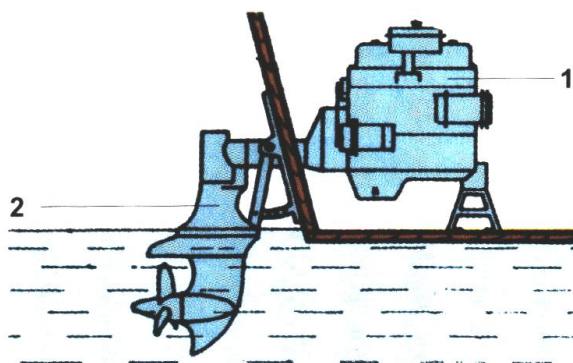
SCHEMAT NAPĘDU TYPU „V”

1 – silnik, 2 – wał pośredni, 3 – przekładnia, 4 – wał napędowy, 5 – śruba



SCHEMAT NAPĘDU TYPU „Z”

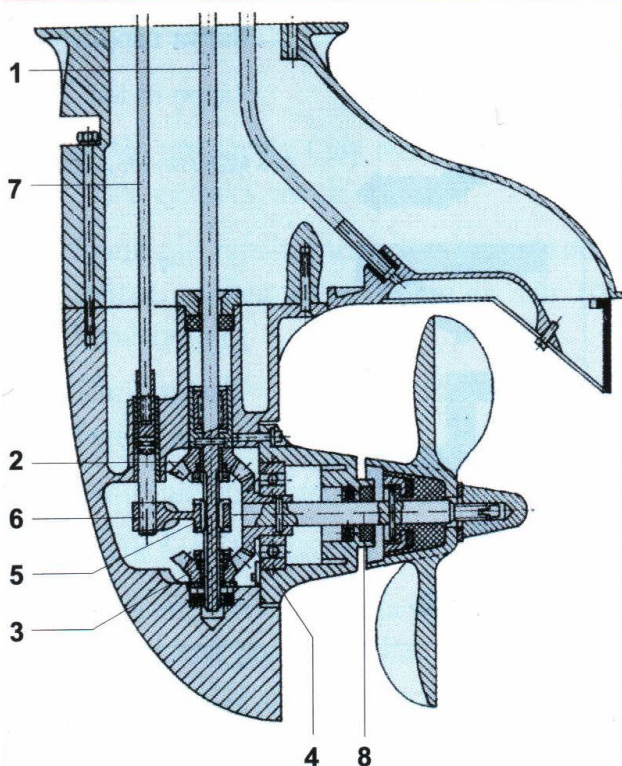
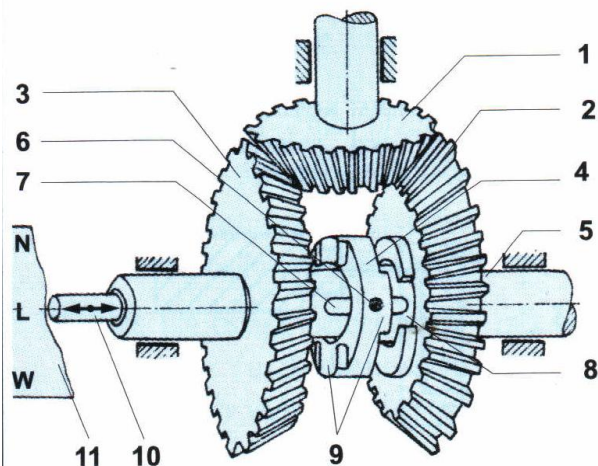
1 – silnik, 2 – przekładnia, 3 – wał napędowy, 4 – śruba



NAPĘD TYPU „Z”

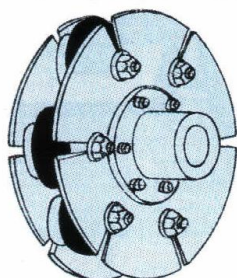
1 – silnik, 2 – ruchoma kolumna

PRZEKŁADNIE I PĘDNIKI

MECHANIZM NAWROTNY (REWERSOR)
SILNIKA PRZYCZEPNEGO

STOŻKOWA PRZEKŁADNIA REDUKCYJNO-NAWROTNA

1 - stożkowe koło napędzające, 2, 3 - stożkowe koła napędzane, 4 - sprzęgło kłowe, 5 - wał śrubowy, 6 - kołek sprzęgła, 7 - rowek wzdużny, 8 - wcięcie do współpracy ze sprzęgłem, 9 - kły sprzęgła, 10 - popychacz, 11 - krzywka sterująca, N - „naprzód”, L - „luz”, W - „wstecz”



SPRZĘGŁO PODATNE

Sprzęgła

Urządzenia łączące wał napędowy z wałem śrubowym to **sprzęgła**. Stosowane są sprzęgła kłowe, cierne, podatne (elastyczne i przegubowe).

Mechanizm nawrotny silnika przyczepnego (silnik na biegu jałowym).

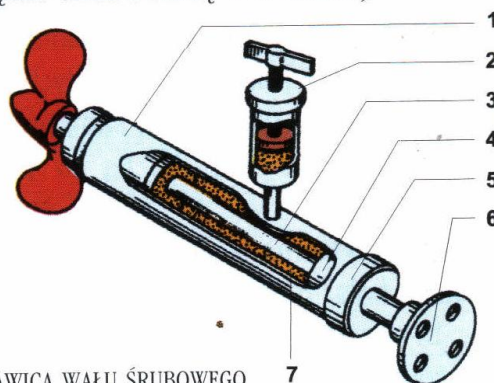
Na wałku napędzającym ① znajdują się koła zębate stożkowe ② i ③ stale zazębiane z kołem zębatym stożkowym ④ obracającym wałek śrubowy ⑧. Koła ② i ③ obracają się luźno na wałku, a umieszczona między nimi przesuwka ⑤, osadzona na wielowypuszcie wałka, obraca się razem z nim i może przesuwać się wzduż wałka. Przesuwka to sprzęgło kłowe. Kły nacięte są na obu stronach przesuwki oraz na kołach ② i ③. Wodzik ⑦ za pomocą widełek ⑥ przesuwa w górę lub w dół przesuwkę ⑤ i łączy ją z kołem ② lub ③ napędzając koło ④. Gdy w górę - jazda „naprzód”, gdy w dół - jazda „wstecz”.

Wał śrubowy

W silniku przyczepnym wałek wyjściowy przekładni jest jednocześnie wałkiem śrubowym. W silniku wbudowanym wał napędowy połączony jest z przekładnią sprzęgłem podatnym.

Przechodzi on przez pochwę z łożyskami i uszczelnieniem. Jedno z tych łożysk to **łożysko oporowe (osiowe)** przenoszące siłę uciagu śruby (siłę wzdużną) na kadłub, a nie na wał korbowy silnika.

W silnikach przyczepnych stosuje się pierścienie uszczelniające np. Simera, a w silnikach wbudowanych dławicę smarną. (Należy codziennie dokręcać smarownicę o 1 obrót.)



DŁAWICA WAŁU ŚRUBOWEGO

- 1 - pochwa,
- 2 - smarownica,
- 3 - wał śrubowy,
- 4 - łożyska,
- 5 - pokrywa,
- 6 - tarcza sprzęgła,
- 7 - smar

PRZEKŁADNIE I PĘDNIKI

Śruba napędowa

Śruba napędowa zamienia moment obrotowy wału na siłę nośną, której część jest zużyta na pchanie kadłuba.

Śruba napędowa, będąca wycinkiem powierzchni śrubowej, składa się z piasty oraz łopatek.

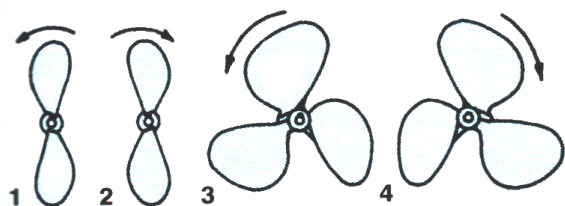
W łopatkę wyróżniamy dwie powierzchnie śrubowe: powierzchnię ssania, zwróconą w kierunku ruchu kadłuba i parcia po drugiej stronie. Podobnie określamy krawędzie łopatki i są to: krawędź natarcia i krawędź spływu. Na połączeniu krawędzi znajduje się wierzchołek łopatki.

Rozkład sił i prędkości na śrubie.

Prędkość napływającej na łopatkę wody V otrzymujemy z sumowania dwóch wektorów: prędkości obwodowej V_o (powstaje na skutek obrotów śruby) i prędkości postępowej śruby V_p (śruba porusza się z kadłubem). Na łopatkę śruby nachylonej pod optymalnym kątem natarcia do napływającego strumienia wody, powstaje siła nośna N , którą rozkładamy na siłę ciągu (napór) N_p i siłę oporu N_r . Siła oporu daje moment obrotowy łopatki względem osi piasty. Suma momentów obrotowych wszystkich łopatek jest równoważona momentem obrotowym silnika. Maksymalna sprawność śruby będzie osiągnięta, gdy każdy przekrój łopatki będzie nachylony do płynącego strumienia wody pod optymalnym kątem natarcia α .

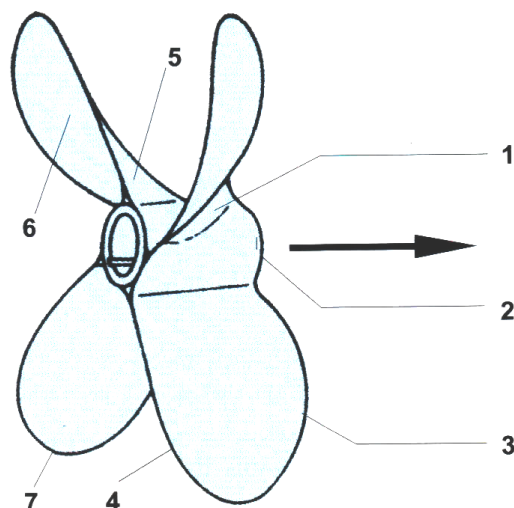
Dlatego im bliżej piasty, przekroje łopatek poruszają się po bardziej stromej spirali.

Gdy śruba obraca się w drugą stronę, kierunki działania sił ulegają odwróceniu, a praca śruby jest mniej efektywna (odwrotna geometria śruby). Wyraźnie występuje skręcanie (zarzucanie) rufy przy śrubie lewoskrętnej w prawo, przy śrubie prawoskrętnej w lewo.



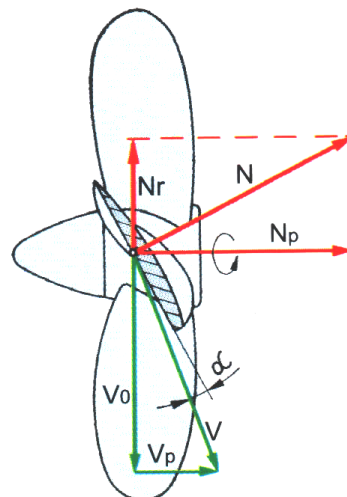
ŚRUBY NAPĘDOWE

1, 3 - lewoskrętne, 2, 4 - prawoskrętne



ŚRUBA CZTEROŁOPATKOWA

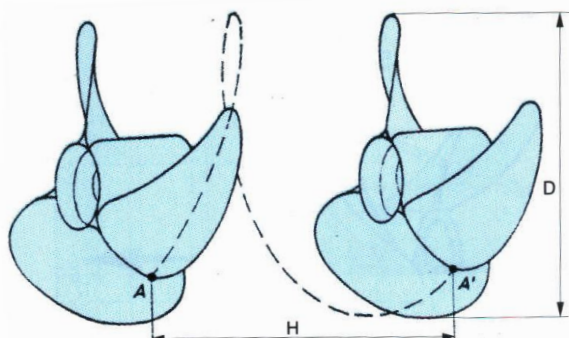
1 - podstawa łopatki, 2 - piasta, 3 - krawędź natarcia, 4 - krawędź spływu, 5 - powierzchnia ssania, 6 - powierzchnia parcia, 7 - wierzchołek łopatki



ROZKŁAD SIŁ I PRĘDKOŚCI NA ŚRUBIE

Określenie, czy śruba jest prawoskrętna czy lewoskrętna

Ustawiamy śrubę jedną z łopatek do góry i jeśli prawa krawędź tej łopatki jest dalej od nas niż lewa, śruba jest prawoskrętna, gdy odwrotnie - lewoskrętna. Lub kładziemy śrubę płasko na ziemi (dowolną stroną) i jeśli daje się uchwycić lewa strona, jest lewoskrętna, jeśli prawa strona, jest prawoskrętna. A więc skręt śruby określa strona odchylenia śruby od ziemi.

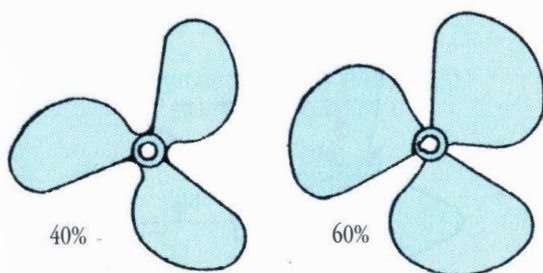


SKOK I ŚREDNICA ŚRUBY

H - skok śruby, D - średnica śruby

Współczynnik H/D

- dla ślizgów i łodzi sportowych do 5000 obr/min wynosi $0,8 \div 1,47$
- dla jachtów wypornościowych oraz jednostek ciężkich i wolnych wynosi $0,55 \div 1,0$.

WSPÓŁCZYNNIK POWIERZCHNI ŚRUBY F_p/F [%]**Kawitacja**

Z fizyki wiemy, że im niższe ciśnienie, tym niższa temperatura wrzenia wody.

Na łopatkach śruby powstaje często taki spadek ciśnienia, że woda osiąga wysoką temperaturę. Pęcherzyki pary przesuwać się po powierzchni łopatki do obszaru wyższego ciśnienia ulegają ponownie kondensacji. Te zmiany ciśnienia na powierzchni łopatek powodują ich erozję (wgnębienia, kawerny). A samo zjawisko powstawania pęcherzyków pary na łopatkach śruby to **kawitacja**.

Na śrubach o szerszych łopatkach kawitacja występuje później niż na śrubach o wąskich łopatkach. Mają na nią wpływ również pęcherzyki i zawirowania powodowane przez elementy konstrukcyjne kadłuba, wał śruby, czy spodzinę silnika przyczepnego. Dlatego też stosuje się płyty antykawitacyjne w celu zapobiegania temu zjawisku.

Charakterystyka śruby

Główne parametry charakteryzujące śrubę to: **średnica (D)** i **skok (H)** śruby.

Skok śruby to droga wzdłuż osi, o jaką przemieści się śruba podczas jednego pełnego obrotu. Średnica śruby to średnica koła opisanego na śrubie.

Wielkości te decydują o doborze śruby. Gdy za mała średnica lub skok śruby, uzyskuje ona zbyt duże prędkości obrotowe (śruba „lekka”), gdy te parametry są za duże, nie może ona rozwinąć odpowiedniej prędkości obrotowej (śruba „ciężka”). Dlatego też jednostki ciężkie (duża wyporność) mają śruby o małym skoku i dużej średnicy, natomiast jachty szybkie (mała wyporność) mają śruby o dużym skoku i mniejszych średnicach.

Dla określania proporcji śruby i jej oceny stosowany jest **współczynnik H/D** i wynosi on $0,55 \div 1,4$.

Drugi współczynnik to tzw. **współczynnik powierzchni śruby**. F_p/F [%]. Jest to stosunek łącznej powierzchni łopatek wyprostowanych do powierzchni koła opisanego na śrubie. Gdy współczynnik przekracza 100%, to łopatki zachodzą za siebie. Uwzględniając obciążenia i kawitację, optymalne są śruby o współczynniku 50%.

Śruba w czasie pełnego obrotu w wodzie nie przesuwa się o skok geometryczny (H).

Strata ta wynika z „usuwania” się wody i jest to **poślizg śruby** (h_s) [%].

Skok pomniejszony o poślizg śruby to **posuw śruby** (h_p).

$$h_p = H - h_s$$

Straty wynikające z poślizgu śruby wynoszą $8 \div 70\%$.

Poślizg śruby [%]

- dla ślizgów i łodzi sportowych $8 \div 25\%$,
- dla jachtów wypornościowych $20 \div 40\%$,
- dla jachtów żaglowych z silnikami pomocniczymi $50 \div 70\%$.

Rodzaje śrub

Ze względu na rozwiązania konstrukcyjne śruby możemy podzielić na:

- śruby stałe,
- śruby nastawne,
- śruby składane.

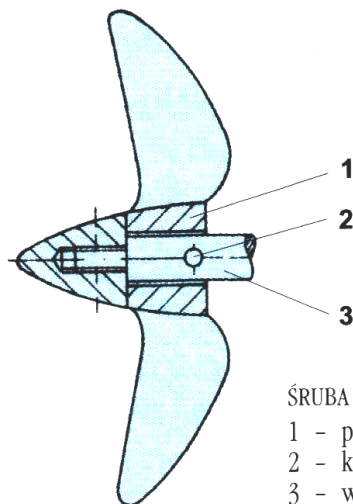
Śruby stałe mają łopatki sztywno połączone z piastą. Mogą być dwu-, trzy-, cztero-, a nawet pięciolopatkowe, o różnych profilach i powierzchni łopatek, prawo- i lewoskrętne, jedno- i dwurzędowe.

Śruby dwułopatkowe stosowane są na ślizgaczach, a na szybkich łodziach sportowych trzyłopatkowe.

Śruby nastawne (o zmiennym skoku). Łopatki śruby mogą obracać się w osi prostopadłej do piasty, zmieniając w ten sposób skok śruby. Różne położenia łopatek powodują uzyskanie biegu „naprzód”, „wstecz” oraz „luz”. Są to śruby drogie i skomplikowane, uzyskujące sprawność porównywalną ze śrubą stałą tylko w położeniu wyjściowym (parametry geometryczne jak dla śruby stałej). W innych położeniach sprawność jest mniejsza. Również na zmniejszenie sprawności wpływa większa średnica piasty w stosunku do śruby stałej.

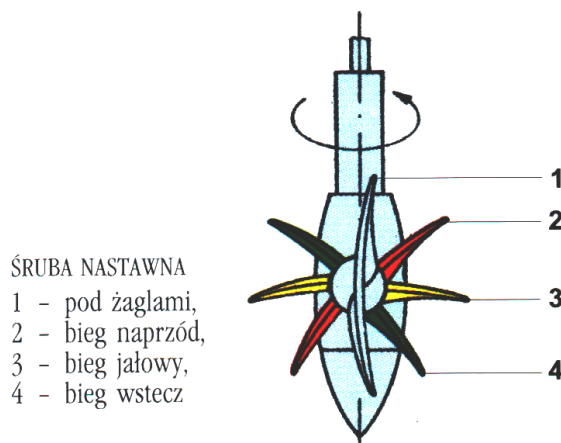
Śruby składane mają łopatki połączone z piastą za pomocą sworzni i mogą obracać się w płaszczyźnie przechodzącej przez oś piasty. Ich wzajemne położenie zależy od obciążenia i prędkości obrotowej śruby. W miarę wzrostu obciążeń przy jeździe „naprzód”, średnica śruby zmienia się (położenie łopatek określa kąt α), czyli dla każdego warunków żeglugi ustala się stan równowagi pomiędzy siłą odśrodkową a siłą wyporu. Gdy wzrastają opory, rośnie kąt α , a średnica śruby ulega automatycznie zmniejszeniu dostosowując się do obciążeń. Śruby te również mają mniejszą sprawność niż śruby stałe.

Zaletą tych śrub jest mały opór opływu po jej złożeniu, np. przy żegludze pod żaglami.



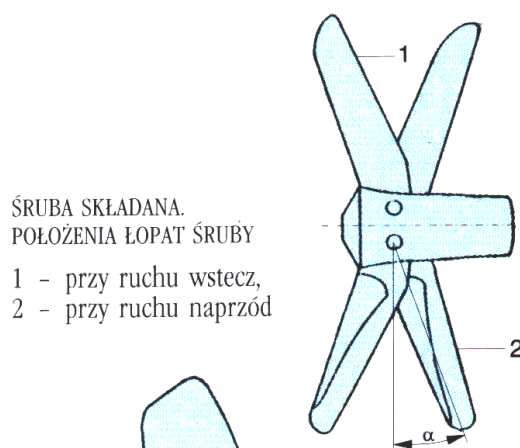
ŚRUBA STAŁA

- 1 - piasta,
2 - łopatek,
3 - wałek napędowy



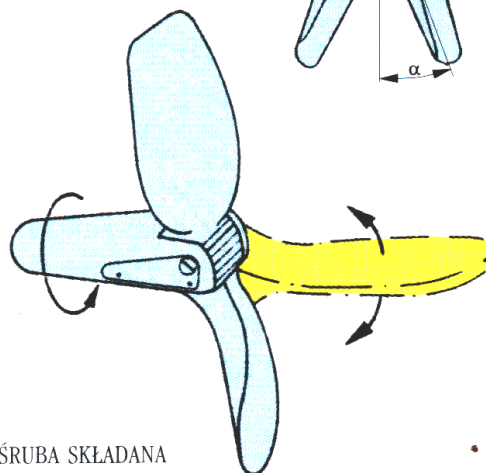
ŚRUBA NASTAWNA

- 1 - pod żaglami,
2 - bieg naprzód,
3 - bieg jałowy,
4 - bieg wstecz



ŚRUBA SKŁADANA.
POŁOŻENIA ŁOPAT ŚRUBY

- 1 - przy ruchu wstecz,
2 - przy ruchu naprzód



ŚRUBA SKŁADANA

PRZEKŁADNIE I PĘDNIKI

Moc silnika a wielkość łodzi

W [m ²]	Moc max [KM] (± 20%)
3,3-3,6	5
3,6-4,0	8
4,0-4,3	10
4,3-4,6	15
4,6-5,0	20
5,0-5,5	25
5,5-6,5	30
6,0-7,0	40
7,0-7,5	50
7,5-8,0	60
7,0-9,0	75

Moc silnika a wielkość łodzi

Stosowana norma amerykańska uzależnia moc silnika od wskaźnika powierzchni łodzi (W).

$$W = L \times S \text{ [m}^2\text{]}$$

L – długość łodzi [m], S – szer. pawęży [m]

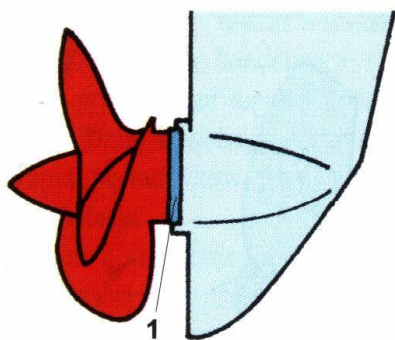
Ostatecznie można również samemu dobrać przybliżoną moc silnika do łodzi ślizgowej wykorzystując wzór

$$KM = \frac{\text{Ł}}{20}$$

gdzie: Ł – ciężar łodzi wraz z wyposażeniem i załogą oraz ciężarem silnika i paliwa.

Natomiast **tabela japońska** przedstawia relacje pomiędzy długością łodzi i jej całkowitym ciężarem a mocą silnika i uzyskiwanymi prędkościami (śruby trzyłopatkowe).

Długość łodzi [m]	Ciężar łodzi [kg]	Moc silnika [KM]	Prędkość [km/h]
3,0-3,7	220-280	5-8	21-28
3,7-4,3	290-310	10-15	28-35
4,3-5,5	350-550	20-30	32-45
4,3-5,5	550-780	40-65	41-67
4,5-6,0	400-950	75-100	50-75
4,5-6,7	700-1300	115-140	60-85
5,2-7,9	1000-1600	150-225	80-100



OCHRONA BIERNA PRZED KOROZJĄ

1 – pierścień cynkowy

Korozyja elektrochemiczna

Wśród różnych materiałów stosowanych przy budowie kadłubów i elementów napędowych występują różne potencjały elektrodowe. Im szlachetniejsze metale, tym wyższa wartość potencjału. Kadłub i elementy napędu (np. śruba wykonana z brązu czy stopu Monella) mają różne potencjały i, zanurzone w wodzie morskiej, powodują korozyję elektrochemiczną. Korozyja elektrochemiczna to ubytki w materiale kadłuba, gdyż jony w elektrolicie płyną od kadłuba (metal mniej szlachetny) do śruby (metal bardziej szlachetny).

W celu zapobieżenia korozji stosujemy bierną lub czynną ochronę elektrochemiczną.

PRZEKŁADNIE I PĘDNIKI

Ochrona bierna to umieszczenie w strumieniu jonów (blisko śruby) anody cynkowej (gdy kadłub stalowy) lub magnezowej (gdy kadłub aluminiowy), w formie płytki, kostki lub pierścienia. W efekcie płyną jony od cynku („+”) do miedzi („-”) chroniąc kadłub, natomiast anoda cynkowa ulega po pewnym czasie zniszczeniu i należy ją wymienić.

Ochrona czynna to umieszczenie między anodą (kadłub) i katodą (śruba), anody ochronnej, która ma dodatni biegun źródła prądu. Biegun ujemny połączony jest z kadłubem.

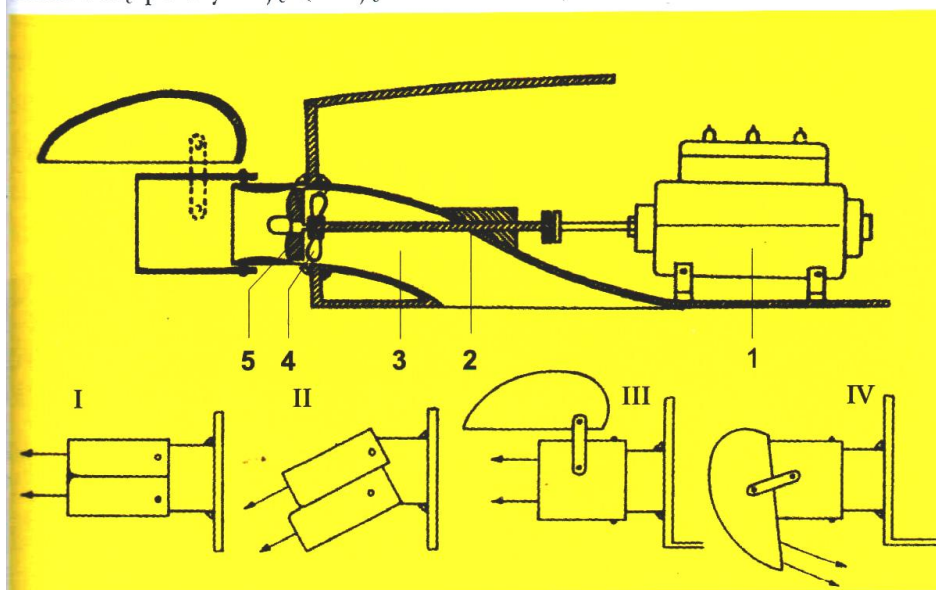
Zanurzona część kadłuba od tej chwili jest katodą, a jony od anody ochronnej płyną w stronę kadłuba (prąd polaryzujący). Właściwy dobór napięcia źródła prądu ($0,6 \div 0,8$ V) pozwala po pewnym czasie uzyskać prawie całkowitą polaryzację (obojętność kadłuba).

Większe jednostki posiadają kilka anod ochronnych.

Napęd strumieniowy

Zasadniczym elementem pędnika wodnoodrzutowego (wodomiotu) jest bardzo wydajna pompa, która zasysa wodę i odrzuca ją do tyłu. Odrzut strumienia wody daje siłę ciągu.

Stacjonarny silnik ① napędza wał pędnika ② połączony z wirnikiem ④ turbiny pracującej w tunelu wodnym ③. Turbina zespolona jest z nieruchomymi łopatkami-kierownicami ⑤ prostującymi strugi wody wyrzucane z tunelu. Wylot tunelu napędowego znajdującego się nad lustrem wody, posiada ruchome urządzenie sterująco-nawrotne, zmieniające kierunek wylotu strumienia wody. Zaletą napędów strumieniowych jest minimalne zanurzenie.



NAPĘD STRUMIENIOWY

- 1 - silnik,
- 2 - wał pędnika,
- 3 - tunel,
- 4 - turbina
- (wirnik łopatkowy),
- 5 - kierownica
- (łopatki prostujące
- strumień wody)

- I - kierunek na wprost
- (widok z góry),
- II - skręt w prawo
- (widok z góry),
- III - jazda w przód
- (widok z boku),
- IV - jazda w tył
- (widok z boku)

URZĄDZENIA STEROWNICZE I KONTROLNE

Urządzenia sterownicze i kontrolne znajdują się w kokpicie, na mostku lub w sterówce.

Urządzenia sterownicze to dźwignie (manetki) umożliwiające obsługę silnika w ruchu.

System z jedną dźwignią - pozwala na zmianę biegu „naprzód” na „wstecz” oraz regulację obrotów silnika.

System dwudźwigniowy - pozwala na sterowanie obrotami silnika jedną dźwignią, a druga dźwignia służy do zmiany biegów.

Włącznik rozruchu (stacyjka) - służy do uruchamiania silnika za pomocą akumulatorów.

Urządzenia kontrolne - to wskaźniki:

- ciśnienia oleju,
- temperatury chłodzenia silnika,
- ładowania akumulatora,
- prędkości obrotowej silnika.

Silnik

Przygotowanie do sezonu

- Wykręcić świece,
- Wlać do cylindrów trochę benzyny, pokręcić kilka razy wałem korbowym i zlać paliwo.
- Wkręcić mocno świece.
- Napęlnić zbiornik paliwem
- Uruchomić silnik.

Konserwacja po sezonie

- Silnik należy przechowywać w suchym pomieszczeniu.
- Po użytkowaniu silnika w morskiej wodzie należy umieścić go w zbiorniku wody słodkiej i uruchomić na 2 - 3 minuty.
- Spuścić wodę z układu chodzenia.
- Silnik należy wyjąć z wody i powoli pokręcić mechanizmem rozruchowym.
- Zlać paliwo ze zbiornika i gaźnika.
- Przemyć zbiornik czystą benzyną, następnie wlać 0,5 litra oleju silnikowego, powytrząsać zbiornikiem i zlać olej. Dotyczy to tylko zbiorników metalowych.
- Wyrzeć zewnętrzne powierzchnie do sucha, a następnie powierzchnie niemalowane przetrzeć szmatą nasyconą olejem.
- Zdjąć śrubę napędową, zakonserwować wał i założyć śrubę na swoje miejsce.
- Zlać olej z przekładni, przemyć ją benzyną i napełnić świeżym olejem zalecanym przez producenta. Pokryć zewnętrzne powierzchnie trące smarem (np. ŁT-4)
- Wykręcić świece zapłonowe, ustawić silnik otworami świec do góry ustawić kolejno tłoki w położeniu dolnego martwego punktu i przez otwory świec wlać w cylindry trochę oleju silnikowego.
- Odczekać 1 - 2 minuty, po czym pokręcić wałem korbowym kilka razy.
- Ustawić silnik w normalnym położeniu, ponownie pokręcić wałem.
- Oczyszczyć świece zapłonowe z nagaru, sprawdzić odstęp elektrod, pokryć gwinty smarem i wkręcić na miejsce (lekko).
- Założyć zaślepkę z papieru w otwór gaźnika.