

BIULETYN TECHNIKI JACHTOWEJ



CREATOR OF BOAT SYSTEMS

NR 1/2024 (18) ISSN 2657-8328 WWW.VETUS.COM

Politechnika Poznańska buduje łódź solarno-wodorową

ambitne plany uczestnictwa
PUT Powertrain
w zawodach
Monaco Energy
Boat Challenge

Saxdor Shipyard i Saxdor Academy,

czyli jak w krótkim czasie
rozwinąć przemysł jachtowy
i personel z nim związany



Silniki elektryczne VETUS
chłodzone powietrzem



Napędy (silniki) mega jachtów

Historia marki Sea-Line – producenta
farb i chemii do jachtów

Logistyka w ujęciu
współczesnym wg
Zbigniewa Marcjaniaka

Karaiby –
Antigua
i Barbuda



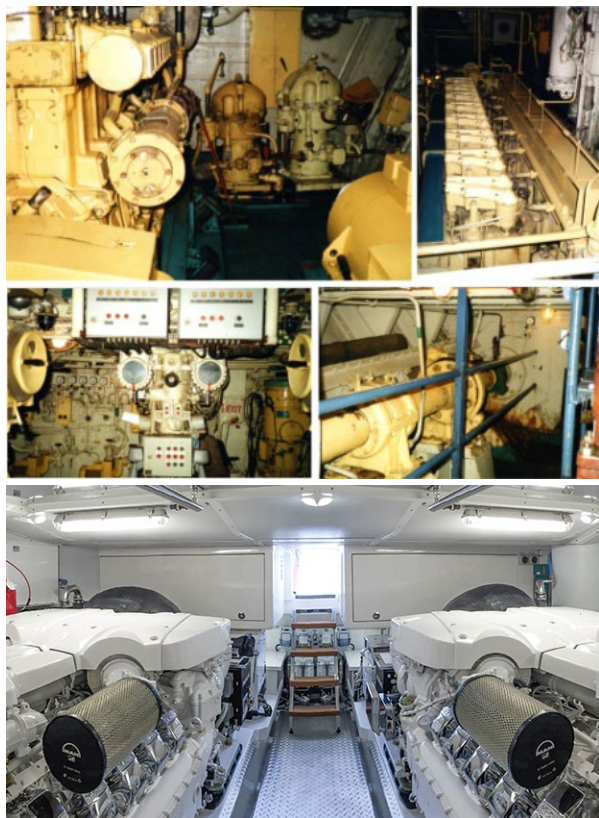
Napędy (silniki) mega jachtów

Pod terminem „mega jachty” rozumie się duże jachty nazywane też statkami rekreacyjnymi. Są to bardzo drogie jachty motorowe lub żaglowe o długości 24 m i powyżej lub pojemności brutto 200 i powyżej. Spotyka się również określenia „super jachty”, a także, w stosunku do wyjątkowo dużych – „giga”, a nawet „tera jachty”. Te największe sięgają długości prawie 200 m i pojemności brutto kilku tysięcy jednostek.

Pojemność brutto GT (ang. Gross Tonnage), czyli miara pojemności, obliczana jest za pomocą wzoru $GT = K_1V$, gdzie V – całkowita objętość wszystkich zamkniętych przestrzeni jachtu [m^3], K_1 – odpowiednia wartość z tabeli w X części Przepisów Nadzoru Konwencyjnego Statków Morskich PRS. Pojemność brutto podaje się w jednostkach bezwymiarowych i w liczbach całkowitych.

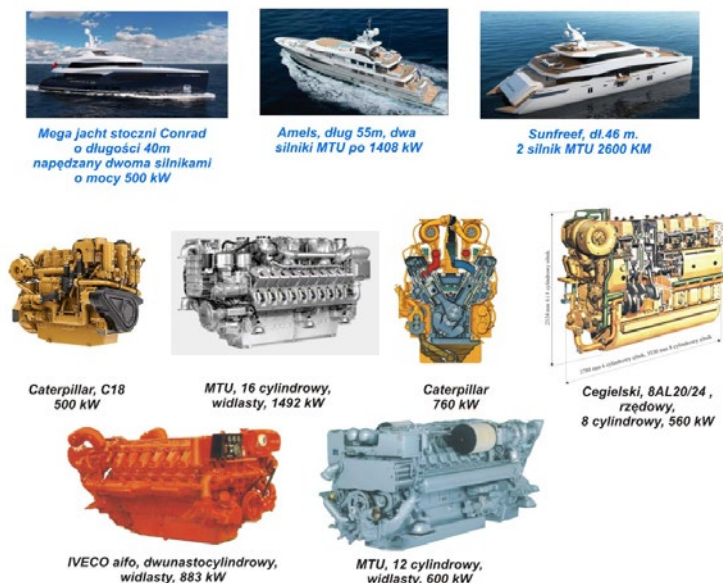
Omawiając dalej napędy (silniki) mega jachtów, przedstawione będą napędy różnej mocy, nie zaliczając ich do giga czy tera jachtów, tym bardziej, że te podziały nie są w istocie precyzyjnie zdefiniowane. Wszystkie te duże (ogromne) jachty określane także mianem jachtów luksusowych lub super jachtów, wzbudzają zachwyty, pożądanie i zazdrość. Te najdroższe i najpiękniejsze cumują zwykle w najbardziej prestiżowych marinach świata, a więc w Monte Carlo, Cannes, Dubaju, na Florydzie i w innych.

Napędy mega jachtów zabudowane są w pomieszczeniach nazywanych maszynowniami lub siłowniami, z angielskiego: engine room (rys. 1) W miarę zwiększania się mocy napędu i zapotrzebowania na energię, zwiększają się też te pomieszczenia, w których instalowane są różne dodatkowe urządzenia, jak ma



Rys. 1. Widoki siłowni

to miejsce w przypadku dużych jachtów motorowych, żaglowych, motorowo-żaglowych i żaglowców. Siłownia jest więc złożonym układem silników napędowych, agregatowych, urządzeń uzdatniających wodę morską, oczyszczalni ścieków, utylizacji śmieci, zbiorników, rurociągów, aparatury zabezpieczającej, sterującej, kontrolno-pomiarowej oraz innych urządzeń. Podstawowym zadaniem siłowni jest więc pokrycie zapotrzebowania na energię mechaniczną, elektryczną i ciepłą. Energia ta jest potrzebna do zapewnienia ruchu jachtu z wymaganą prędkością, zasilania urządzeń koniecznych do funkcjonowania całego systemu energetycznego jachtu



Rys. 2. Przykładowe mega jachty motorowe i stosowane niektóre silniki napędowe

oraz zapewnienia warunków bytowych załogi i pasażerów

Typowymi silnikami stosowanymi do napędu mega jachtów są między innymi silniki amerykańskiej wytwórni Caterpillar, niemieckiej MTU, MAN, Deutz, szwedzkiej Volvo, włoskiej Iveco i innych. Moce napędowe tych silników, uwzględniając jeden, czasami dwa, a nawet trzy silniki, wahają się od około 500 do kilku tysięcy kW. Na rysunku 2 pokazano przykładowo mega jachty motorowe i silniki niektórych z wymienionych firm.

Przykłady te nie wyczerpują tematyki mega jachtów i ich napędów. To ogromna tematyka z dziedziny przemysłu okrętowego, wykraczająca poza ramy niniejszego artykułu. Niemniej jednak starałem się w miarę krótko, mam nadzieję i wyczerpująco, opisać niektóre napędy nawet bardzo dużych jachtów, wprawdzie bez ich ścisłych definicji, jako giga lub tera jachty. A zatem:

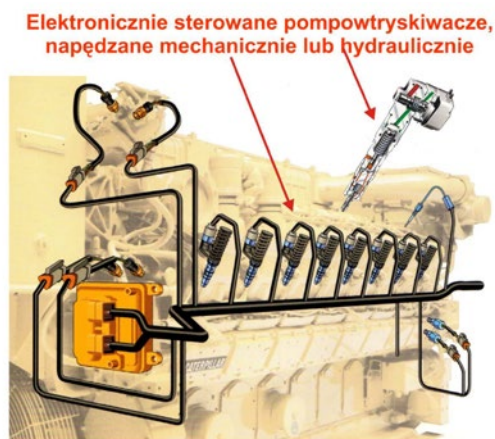
Silniki amerykańskiej wytwórni Caterpillar w napędach mega jachtów

Wytwórnia ta produkuje, między innymi, morskie silniki o bardzo dużej rozpiętości mocy: od kilkuset do kilku tysięcy koni mechanicznych. Są to silniki rzędowe oraz widlaste. Typową konstrukcją takiego silnika



Rys. 3. Widok i przekrój silnika Caterpillar. 16 cylindrów w układzie widlastym. Bezpośredni wtrysk paliwa za pomocą pompowtryskiwaczy.

przedstawiono na rysunku 3. Jego moc wynosi 2000 KM, a prędkość obrotowa 1600 obr./min. Silnik ma oddzielne głowice dla każdego cylindra, co zapewnia jego dobre uszczelnienie i sztywność głowic. Takie rozwiązanie stosuje się głównie w silnikach o średnicy cylindra powyżej 100 mm. Ma to odzwierciedlenie w tym silniku, którego średnice cylindrów wynoszą 170 mm, zaś skok 190 mm. Bezpośredni wtrysk paliwa realizowany jest za pomocą wysokociśnieniowych pompowtryskiwaczy. Stosowane są pompowtryskiwacze napędzane mechanicznie za pomocą krzywek, znajdujących się na wałach rozrządu lub pompowtryskiwacze napędzane hydraulicznie (rys. 4). To bardzo trwałe i niezawodne silniki.



Rys. 4. Układ paliwowy z pompowtryskiwaczami

Kolejnym przykładem jest rzędowy silnik Caterpillara CAT C18 ACER. Ma on sześć cylindrów, 18 litrów objętości skokowej, moc 500 KW, maksymalną prędkość obrotową 2100 obr./min, maksymalny moment obrotowy 2915 Nm. Średnica cylindra wynosi 145 mm, skok tłoka 183 mm, długość silnika 1854 mm, szerokość 1134 mm, wysokość 1300 mm i masa 1950 kg. Silnik spełnia wymagania normy EPA Tier 3. (EPA – Environmental Protection Agency USA, czyli Agencja Ochrony Środowiska) w zakresie dopuszczalnej emisji węglowodorów, tlenków azotu i cząstek stałych.

Silniki niemieckiej wytwórni MAN

MAN to skrót od Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg, spółki akcyjnej z siedzibą w Monachium. To jedno z wiodących przedsiębiorstw produkujących samochody ciężarowe, autobusy, silniki oraz urządzenia przemysłowe. W silniki MAN zaopatruje się między innymi australijska stocznia Riviera, produkująca luksusowe jachty motorowe.

Na rysunku 5 pokazano widok dwunastocylindrowego, widlastego silnika V12-1900, który zaprezentowany został w listopadzie 2016 roku na targach METS w Amsterdamie. METS (Marine Equipment Trade Show) to największa na świecie wystawa materiałów, technologii oraz elementów wyposażenia jachtów.

Silnik ten jest najpotężniejszym do tej pory czterosuwowym silnikiem wysokoprężnym firmy MAN. Ma on pojemność skokową 24,2 litra i moc 1397 kW (1900 KM) przy znamionowej prędkości obrotowej 2300 obr./

min. Moment obrotowy wynosi 6220 Nm. Silnik jest oczywiście turbodoładowany z paliwowym układem wtryskowym Common Rail. Sporo zużywa paliwa, bo 373 litry na godzinę. To dla przeciętnego użytkownika raczej zawrót głowy. Takie dwa silniki o łącznej mocy 3800 KM zastosowano między innymi w luksusowym jachcie motorowym Riviera 77 o długości prawie 25 m, posiadającym górny zamknięty pomost (Flybridge), rozwijającym prędkość 35 węzłów (około 65 km/h). Silniki te przeznaczone są do luksusowych jachtów i, co bardzo ważne, spełniają wymagania normy emisji spalin EPA Tier 3.



Rys. 5. Silnik MAN V-12 1900

Ale na specjalnych, luksusowych jachtach (rys. 6) instalowane są silniki o znacznie większych mocach, które można określać mianem silników bardzo dużych mocy, przez analogię do silników okrętowych, nazywanych silnikami wielkich mocy.



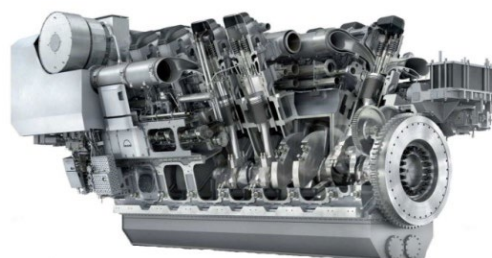
Rys. 6. Niektóre luksusowe jachty

Przykładem może być jacht motorowy „Al Said” rodziny królewskiej Arabii Saudyjskiej, posiadający napęd o mocy 16,5 tys. kW. Obecnie z długością 155 metrów, jacht sultana zajmuje czwartą pozycję w tym rankingu. Al Said może pochwalić się także szerokością 24 m i zanurzeniem na 5,2 m. Poza rekordową mocą,

jednostka może pochwalić się też największą nośnością ze wszystkich super jachtów (15,850 ton). Podobnie jak większość tego typu statków, także Al Said ma kadłub wykonany ze stali i aluminium. Odmocną moc napędu (16,5 tys. kW) jacht zawdzięcza dwóm silnikom firmy MTU. Pozwalają one osiągnąć jednostce prędkość 25 węzłów (22 węzły przy zwyczajnej żegludze). Al Said obsługuje 140 członków załogi. Opis tych największych i najdroższych na świecie jachtów można znaleźć w [2].

Jak wygląda taki silnik bardzo dużej mocy? Pokazano na przykładzie silnika 45-60 CR, firmy MAN. Jest to 12 cylindrowy silnik widlasty (może mieć też 14 cylindrów) o mocy 1300 kW przy 600 obr./min z jednego cylindra. Zatem moc silnika 12-cylindrowego wynosi 15600 kW, a 14-cylindrowego 18200 kW. Średnica cylindra ma 450 mm, skok tłoka 600 mm, a objętość skokowa cylindra około 95 litrów. To w przybliżeniu tyle, ile ma stulitrowa beczka. Zasilanie silnika paliwem odbywa się za pomocą układu Common Rail, zaś doładowanie za pomocą dwustopniowego turbosespołu. W silniku zastosowano system selektywnej redukcji katalizacyjnej SCR (*selective catalytic reduction*), polegający na redukowaniu emisji tlenków azotu (NO_x) oraz cząstek stałych (PM).

Dzięki wymienionym systemom, silnik spełnia wymagania stawiane przez ochronę środowiska.



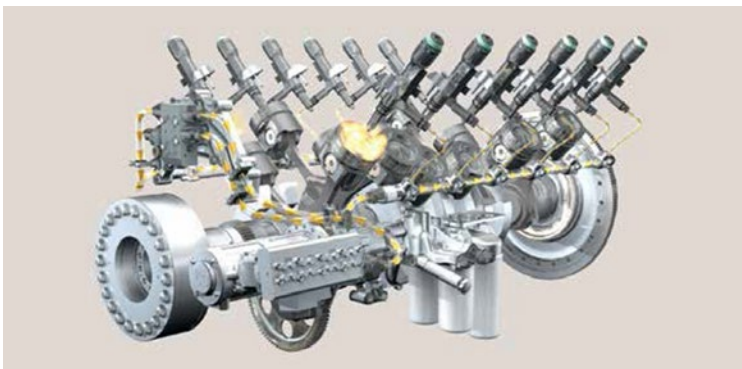
Rys. 7. Silnik MAN 45-60 CR

Niektóre rozwiązania silników mega jachtów

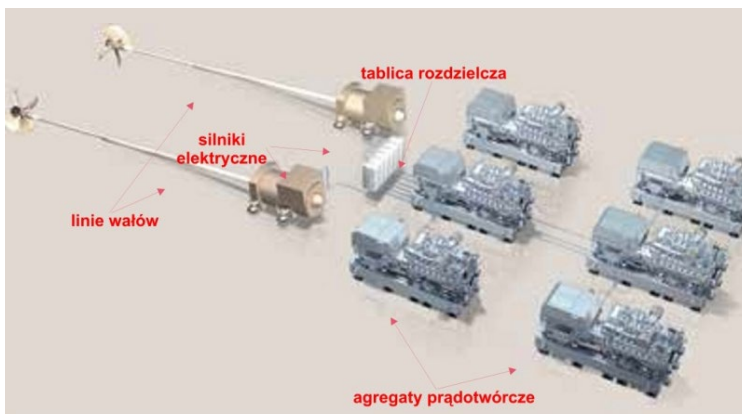
Teraz trochę o rozwiązaniach napędów, czyli układów silnik – linia wałów – pędnik. Stosowane są klasyczne spalinowo-mechaniczne napędy, jak na rysunku 8. To rozwiązanie niemieckiej firmy MTU z dwoma dwunastocylindrowymi, widlastymi silnikami o mocach 2000 KM, każdy. Na rysunku 9 widoczny jest schemat układu paliwowego silnika MTU. Coraz częściej można spotkać



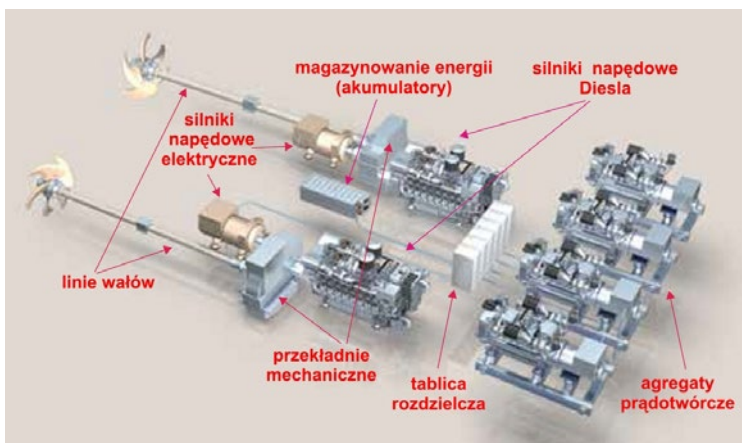
Rys. 8. Schemat napędu spalinowo-mechanicznego



Rys. 9. Schemat układu paliwowego Common Rail



Rys. 10. Schemat napędu hybrydowego szeregowego, tzw. Diesel elektryczny [5]



Rys. 11. Schemat napędu hybrydowego, równoległego

napędy hybrydowe o rozwiązaniu szeregowym lub równoległym – rysunki 10 i 11. Przedstawione rozwiązania są z pędnikami śrubowymi. Spotyka się także napędy strugowodne. To napędy niezwykle wygodne w eksploatacji, coraz częściej spotykane, choć nieco mniej sprawne od napędów śrubowych.

Na zakończenie opisu napędów mega jachtów, dla uświadomienia Czytelnikowi, jak duże mogą być mega jachty i ich siłownie, zamieszczono w celach porównawczych siłownię żaglowca „Dar Młodzieży”. Wprawdzie nie jest on nazywany mega czy giga jachtem, a żaglowcem czy statkiem szkolnym ze względu na swoje przeznaczenie, ale jako konstrukcje można by w innych okolicznościach zaliczyć go do kategorii bardzo dużego mega jachtu – giga czy tera jachtu. Oczywiście, czyniąc jego wnętrza bardziej luksusowymi.

Dar Młodzieży to żaglowy statek szkolny (STS – Sail Training Ship), pełnorejowiec – fregata projektu Zygmunta Chorenia, zbudowany w 1980 r. w Stoczni Gdańskiej (rys.12). Armatorem statku jest Akademia Morska w Gdyni. Długość całkowita statku wynosi 108,80 m, szerokość 14 m, zanurzenie 6,37 m, powierzchnia ożaglowania 3015 m², wypór 24 940 kN.



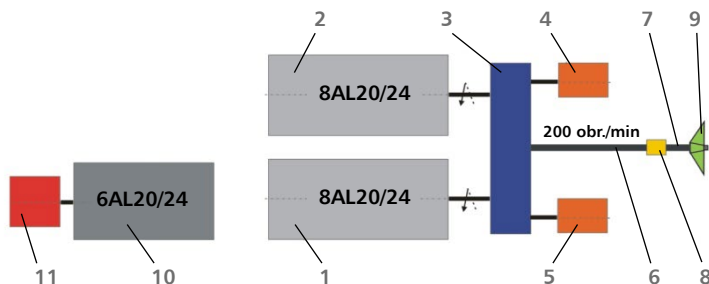
Rys. 12. Dar Młodzieży pod pełnymi żaglami

Jak wynika z przytoczonych danych, jest on nawet mniejszy od niektórych mega jachtów.

Na rysunku 13 przedstawiono schemat blokowy pomocniczego napędu, na którym zaznaczono także zespół prądowórczy (agregat prądowórczy) znajdujący się w siłowni statku. Napęd składa się z dwóch takich samych silników Diesla 8AL20/24 produkcji Zakładów H. Cegielski w Poznaniu. Konstrukcja tych silników jest identyczna jak silnika sześciocylindrowego, widocznego na rysunku, oczywiście silnik ośmiocylindrowy jest dłuższy.

Podstawowe dane silnika 8AL20/24:

- liczba cylindrów: 8
- układ cylindrów: rzędowy, pionowy
- moc znamionowa: 560 kW (70 kW z jednego cylindra)
- średnica cylindra: D 200 mm
- skok tłoka: S 240 mm
- znamionowa prędkość obrotowa: 750 obr./min



Rys. 13. Schemat blokowy pomocniczego (dieslowskiego) napędu, wraz z zespołem prądotwórczym statku żaglowego Dar Młodzieży
 1, 2 – silniki napędowe Diesla 8AL20/24,
 3 – przekładnia redukcyjna, 4, 5 – prądnice wałowe,
 6 – wał pośredni, 7 – wał śrubowy, 8 – mechanizm nastawczy śruby nastawnej, 9 – śruba nastawna,
 10 – silnik Diesla napędzający prądnicę,
 11 – prądnica (generator)

Zgodnie z przedstawionym schematem na rysunku 13, dwa silniki ośmiocylindrowe 8AL20/24 połączone są z przekładnią redukcyjną 3, zmniejszającą prędkość obrotową wałów pośredniego 6 i śrubowego 7 oraz śruby napędowej 8 do prędkości obrotowej wynoszącej 200 obr./min. Śruba napędowa 8 jest trzyskrzydłową śrubą nastawną o średnicy D równej 3000 mm. Z przekładnią połączone są dwa generatory 4 i 5, nazywane prądnicami wałowymi, dostarczającymi prąd podczas pracy silników napędowych. Za silnikami napędowymi znajduje się w siłowni silnik 6AL20/24, identyczny jak silnik 8AL20/24, tylko posiadający o dwa cylindry mniej, czyli sześć cylindrów. Budowa silników AL20/24 na przykładzie silnika sześciocylindrowego pokazana została na rysunku 14.

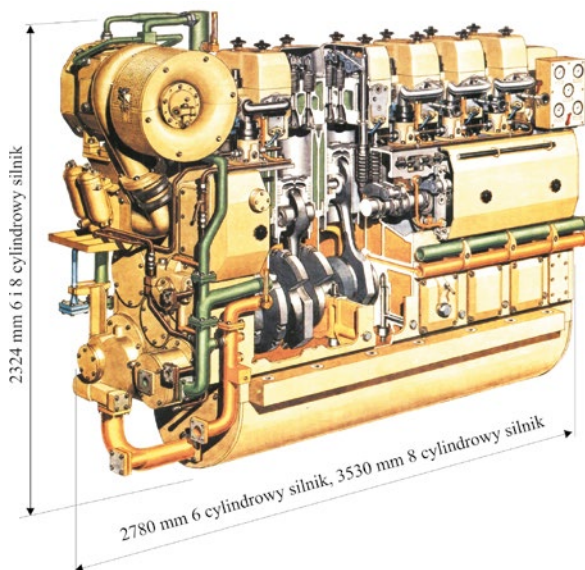
Charakterystyczne dla tych silników są między innymi oddzielne głowice dla każdego cylindra, dzięki czemu cylindry są bardzo sztywne i dobrze uszczelnione. Takie rozwiązania stosuje się właśnie w silnikach posiadających średnice cylindra powyżej 130 mm. Tak więc omawiany silnik AL o średnicy cylindra 200 mm potwierdza tę prawidłowość. Elementy siłowni wyszczególnione na rysunku 13 widoczne są na rysunku 15.

Na rysunkach 14 i 15 zwracają uwagę grube przewody (rury) przy głowicach silnika. Są to szczelne osłony przewodów wtryskowych, łączących wtryskiwacze ze swoimi pojedynczymi pompami wtryskowymi. Te osłony zabezpieczają przed wyciekami paliwa pod ciśnieniem do pomieszczenia siłowni w przypadku ewentualnego pęknięcia przewodu wtryskowego. Rozruch silnika odbywa się za pomocą sprężonego powietrza z butli ładowanych przez sprężarkę do ciśnienia 2,6 MPa. Powietrze to podczas rozruchu dochodzi do każdego cylindra przez rozdzielacz powietrza. [1]

dr inż. Krzysztof Zbierski

Literatura:

- [1] <https://www.mtu-report.com/de-de/Marine/Yachten/Erste-Serienyacht-mit-MTU-Hybridantrieb>
- [2] <https://www.mtu-online.com/mtu/anwendungen/yacht-diesel-motoren/index.de.html>
- [3] <https://www.hamiltonjet.com/global/hm-series>
- [4] Zbierski K.: Dieslowskie napędy jachtów. Wyd. Studio M, Łódź 2012.



Rys. 14. Silnik Diesla AL20/24



Rys. 15. Elementy siłowni (oznaczenia, jak na rysunku 13)