

## FLUID COOLING SYSTEMS CONSTRUCTION FOR DIFFERENT COMBUSTION ENGINES

Zbigniew Kneba

Gdańsk University of Technology, Mechanical Engineering Faculty  
Narutowicza Street 11/12, 80-952 Gdańsk, Poland  
tel.: +48 58 3472077, fax: +48 58 3471174  
e-mail: zkneba@pg.gda.pl

### Abstract

*In the paper some different cooling systems configurations for combustion engines were presented. The application of the cooling system in internal-combustion engine is resultant necessity from the limitations of admissible work temperatures of its elements. Looking from the second side, this system causes thermal losses and thermal insulating of engine from the surroundings will be much-desired. Starting from small passenger car engines through rail to the ship engines cooling systems are going to be more complicated due to demand of utilization waste energy. Some special remarks were done about controlling cooling circuits. The construction of contemporary liquid cooling circuits of the of car engines begins to be more complex and is similar to the circuits already used in of marine or railway engines. From the marine engines, the car engines differ, above all, by the variable flow of cooling liquid through the engine, which in of ship's engines is constant. For the last few years in of car engines the cooling systems of a new generation is used with the electronic steering of many actuators, responsible for the efficient cooling in the different levels of exploitation. Advanced technically control permits to decrease the expenditure of fuel, to lower the contents of exhaust toxic elements, improve thermal comfort in the vehicle interior and to increase the inter-maintenance runs of engines.*

**Keywords:** engine cooling systems, car engines, rail engines, ship engines, energy utilization

## ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNE UKŁADÓW CHŁODZENIA CIECZĄ SILNIKÓW TŁOKOWYCH

### Streszczenie

*W artykule przedstawiono różne rozwiązania konstrukcyjne układów chłodzenia tłokowych silników spalinowych. Stosowanie układu chłodzenia w silniku spalinowym jest koniecznością wynikającą z ograniczeń dopuszczalnych temperatur pracy jego elementów. Z drugiej strony układ ten powoduje straty cieplne i pożądane byłoby izolowanie cieplne silnika od otoczenia. Szczególną uwagę poświęcono sposobom chłodzenia cylindrów. Zwrócono uwagę na możliwości sterowania parametrami pracy układów. Konstrukcja współczesnych obiegów chłodzenia cieczą silników samochodowych zaczyna być bardziej złożona i upodabnia się do stosowanych już w silnikach okrętowych czy kolejowych. Od silników okrętowych silniki samochodowe różnią się przede wszystkim zmiennością natężenia przepływu cieczy chłodzącej przez silnik, które w silnikach okrętowych pozostaje stałe. Od kilku lat w silnikach samochodowych stosuje się układy chłodzenia nowej generacji wyposażone w elektroniczne sterowanie wieloma urządzeniami wykonawczymi odpowiadającymi za skuteczne chłodzenie w różnych warunkach eksploatacji. Zaawansowane technicznie sterowanie pozwala zmniejszyć zużycie paliwa, obniżyć zawartości toksycznych składników spalin, poprawić komfort cieplny w kabinie samochodu i zwiększyć przebiegi międzypoprząwce silników.*

**Słowa kluczowe:** układy chłodzenia silników, silnika samochodowe, silniki kolejowe, silniki okrętowe, wykorzystanie ciepła

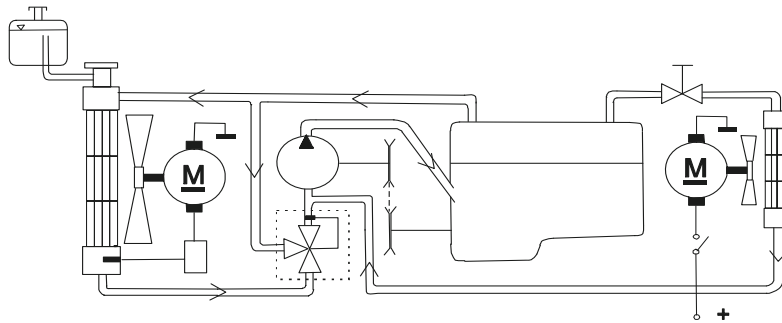
### 1. Wstęp

Stosowanie układu chłodzenia w silniku spalinowym jest koniecznością wynikającą z ograniczeń dopuszczalnych temperatur pracy jego elementów. Z drugiej strony układ ten powoduje straty cieplne i pożądane byłoby izolowanie cieplne silnika od otoczenia. Wraz z wprowadzaniem nowych materiałów konstrukcyjnych maksymalna temperatura cieczy chłodzącej wzrosła. Podwyższono ciśnienie w zamkniętych układach chłodzenia dla uniknięcia

wrzenia cieczy na ściankach powierzchni, z których odbierane jest ciepło. Uważa się także, że lokalne wrzenie pęcherzykowe jest dopuszczalne. Obecnie wprowadzane jest programowane sterowanie przepływem cieczy jej temperaturą i przepływem powietrza.

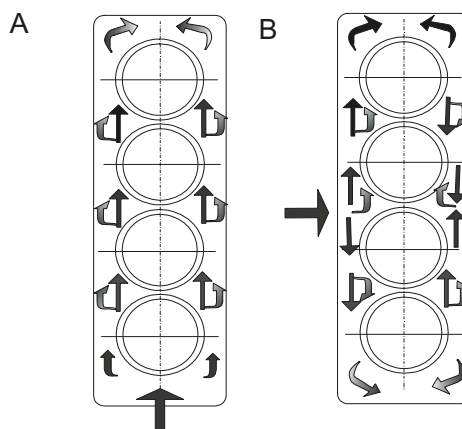
## 2. Układy chłodzenia cieczą silników samochodowych

W typowym układzie chłodzenia cieczą silników samochodowych pompa obiegowa przetłacza ciecz przez blok cylindrów i głowicę gdzie odbierane jest ciepło od ścianek elementów silnika. Następnie ciepło jest transportowane do chłodnicy gdzie odpływa do otaczającego pojazd powietrza. Aby sterować temperaturą cieczy w stanach nieustalonych zawór trójdrogowy umożliwia ominięcie chłodnicy rurociągiem obejściowym. W silnikach samochodowych obecnie dominuje rozwiązanie obiegu gdzie zawór trójdrogowy umieszczony jest na wypływie cieczy z chłodnicy mieszając strumień płynący przez chłodnicę i strumień omijający chłodnicę rurociągiem obejściowym. Tego typu układ zaprezentowano na Rys. 1.



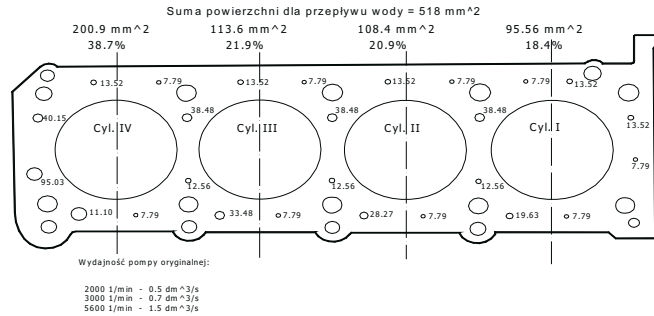
Rys. 1. Klasyczny układ chłodzenia silnika samochodowego  
Fig. 1. Classical cooling system for car engine

Układ z Rys. 1. charakteryzuje się prostotą konstrukcji. Może pracować jako zamknięty przy podwyższonym ciśnieniu do około 0,15 MPa. Szkodliwe pęcherze gazowe odpływają do zbiornika wyrównawczego. W klasycznym układzie chłodzenia pompa cieczy chłodzącej jest napędzana wałem korbowym silnika przez przekładnię przyspieszającą o niewielkim przełożeniu. Obieg cieczy jest wymuszony pracą pompy. Ciecz chłodząca wpływa do bloku i po ochłodzeniu tulei cylindrowych przepływa do głowicy gdzie odbiera ciepło między innymi od bardzo rozgrzanych ścianek głowicy otaczających komorę spalania. W bloku silnika ciecz kierowana jest przez kanały tulei cylindrowych wzdłuż albo poprzecznie do płaszczyzny przechodzącej przez osie cylindrów (Rys. 2).



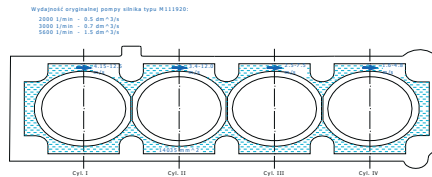
Rys. 2. Schemat wzdłużnego A i poprzecznego B przepływu cieczy chłodzącej przez blok cylindrów załamane strzałki symbolizują odpływ cieczy w kierunku głowicy  
Fig. 2. In line A and perpendicular B coolant flow through engine block. Broken arrow indicate flow direction engine head

Rozpływ cieczy w bloku nie jest równomierny ze względu na kształt kanałów, aby częściowo złagodzić nierównomierne chłodzenie cylindrów oddalonych od kanału napływowego stosuje się zróżnicowane powierzchnie otworów w uszczelce podgłowicowej, przez które przepływa ciecz z bloku do głowicy. Tego typu uszczelkę przedstawia Rys. 3.



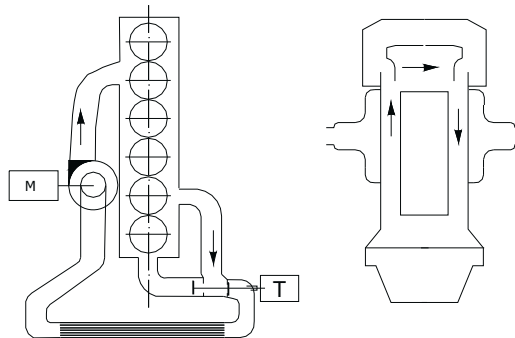
Rys. 3. Zróżnicowane powierzchnie wolne dla przepływu cieczy chłodzącej w uszczelce podgłowicowej  
 Fig. 3. Differences in flow areas in cylinder head gasket

Zróżnicowane przekroje, przez które płynie ciecz są źródłem różnych prędkości cieczy względem ścianek tulei (Rys. 4.) i związanych z tym różnic w temperaturach poszczególnych tulei cylindrowych.

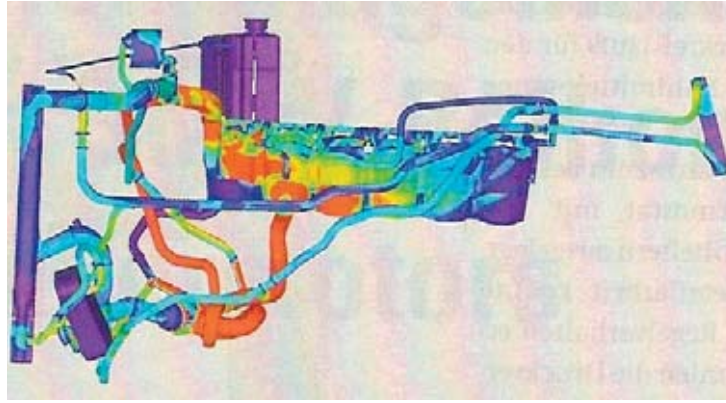


Rys. 4. Prędkości przepływu cieczy wokół tulei cylindrowych  
 Fig. 4. Coolant velocities in engine block

Najczęściej stosowany sposób rozprowadzenia cieczy chłodzącej w bloku wzdłuż osi cylindrów jest związany z kanałem doprowadzającym ciecz jako dyfuzorem pompy umieszczonej w czołowej ściance bloku. Takie umieszczenie pompy jest uwarunkowane zastosowaniem napędu pasowego pompy od wału korbowego. W nowoczesnych silnikach stosuje się pompy z niezależnym napędem - silnikiem elektrycznym. Wówczas można doprowadzić ciecz z dowolnego kierunku. Tego typu rozwiązanie pokazano na Rys. 5-6.



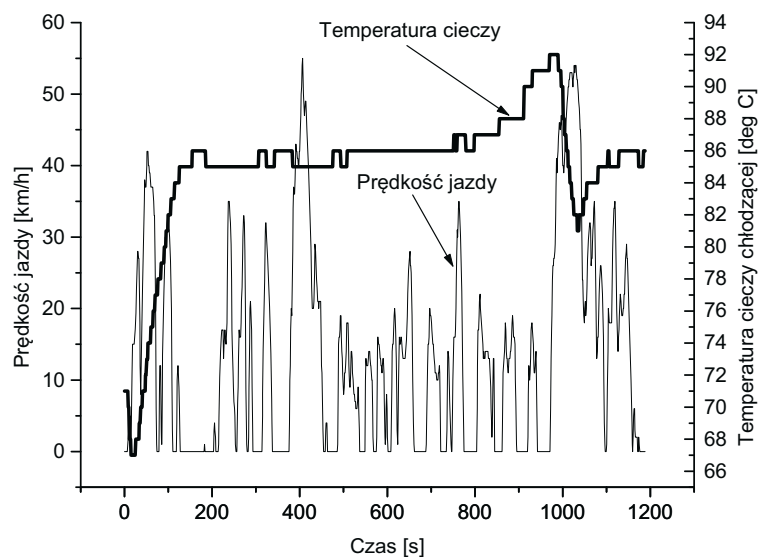
Rys. 5. Rozprowadzenie cieczy chłodzącej w bloku i głowicy przy zastosowaniu pompy cieczy z niezależnym napędem  
 Fig. 5. Coolant distribution in engine block and head while using electrical coolant pump



Rys. 6. Rozkład prędkości cieczy wewnątrz obiegu chłodzenia [7]  
Fig. 6. Coolant speeds area in coolant circuit [7]

Na Rys. 6 można zaobserwować wciąż duże różnice pomiędzy prędkościami omywania cylindrów przez ciecz chłodzącą szczególnie w przedstawionym rzędowym silniku 6 cylindrowym. Trzeba jednak mieć na uwadze, że pierwszy i ostatni cylinder silnika mają tylko 1 cylinder sąsiedni i temperatura tych skrajnych tulei jest niższa przez brak dopływu ciepła.

Zastosowanie pompy z niezależnym napędem najczęściej uzasadniane jest oszczędnościami energetycznymi. Pompa napędzana od wału korbowego silnika w wielu stanach pracy silnika np. jazda ze średnią prędkością jazdy przy włączonym niskim biegu pobiera z wału korbowego niepotrzebnie dużą moc. Musi ona być zaprojektowana z nadmiarem wydajności, aby zapewnić potrzebny przepływ cieczy również przy niskich prędkościach obrotowych i gdy jest jednocześnie duże obciążenie silnika. Przykładami tego typu stanów eksploatacji są jazda w warunkach dużego natężenia ruchu („w korku”) czy jazda pod wzniesienie. Podczas długotrwałej jazdy „w korku” temperatura cieczy opuszczającej głowicę wzrasta (Rys. 7.). Zawór termostatyczny nie jest w stanie zapewnić stałej temperatury wobec braku odbierania ciepła w chłodnicy i niskiej prędkości obrotowej pompy cieczy chłodzącej. Po zwiększeniu prędkości jazdy temperatura cieczy gwałtownie spada. Różnice temperatur pomiędzy powolną a szybką jazdą miejską mogą przekraczać 10 stopni. Profil prędkości w rzeczywistych warunkach drogowych znacznie odbiega od stosowanego w badaniach samochodów testu europejskiego.

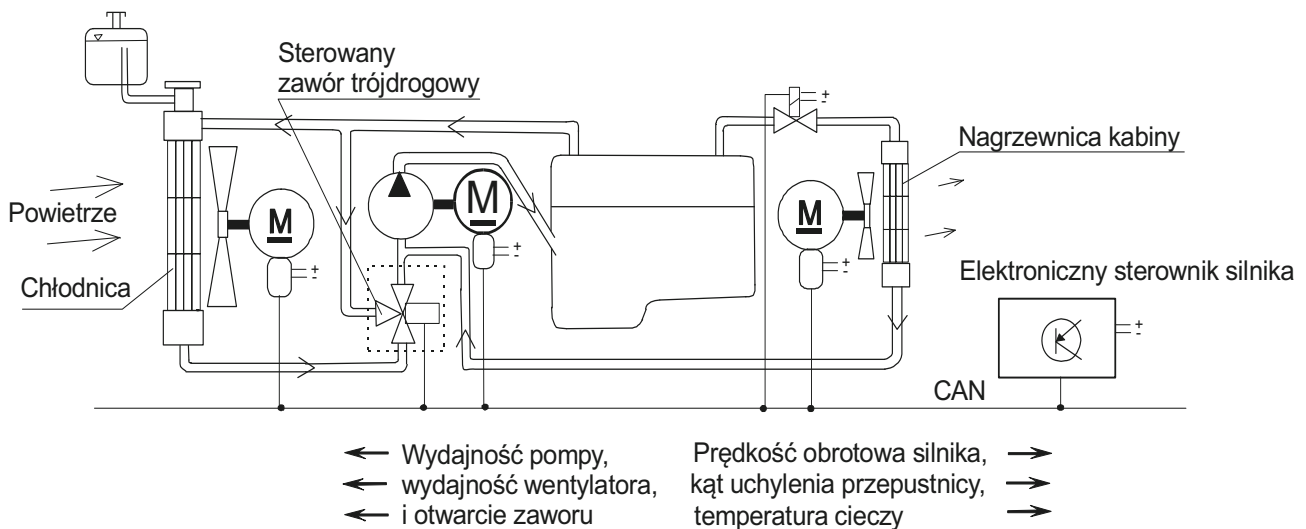


Rys. 7. Prędkość jazdy i temperatura cieczy opuszczającej głowicę podczas wybranej jazdy miejskiej w warunkach dużego natężenia ruchu

Fig. 7. Car speed and coolant temperature during city road in traffic

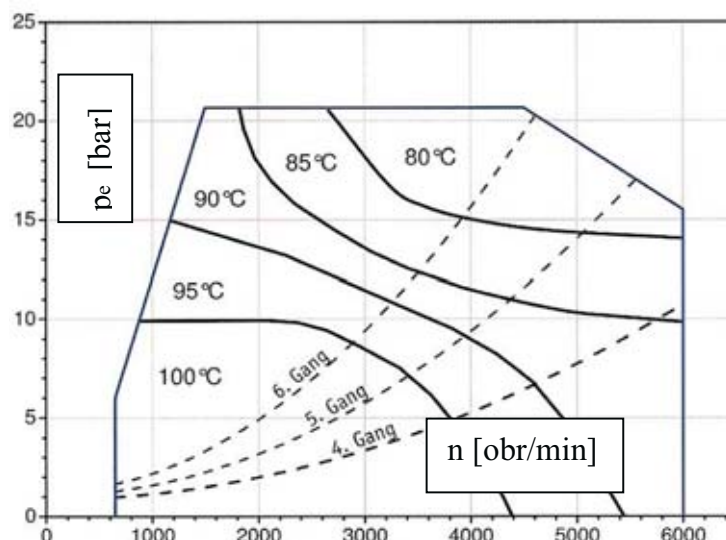
Od kilku lat w silnikach samochodowych stosuje się układy chłodzenia nowej generacji wyposażone w elektroniczne sterowanie wieloma urządzeniami wykonawczymi odpowiadającymi za skuteczne chłodzenie w różnych warunkach eksploatacji (Rys. 8.).

Zaawansowane technicznie sterowanie pozwala zmniejszyć zużycie paliwa, obniżyć zawartości toksycznych składników spalin, poprawić komfort cieplny w kabinie samochodu i zwiększyć przebiegi międzynaprawcze silników.



Rys. 8. Układ chłodzenia nowej generacji dla silnika samochodowego  
 Fig. 8. New generation cooling system for car engine

Zastosowanie układów chłodzenia nowej generacji według publikacji [6, 7] przyniosło częściowo oczekiwane korzyści. Najmniejsze sukcesy odnotowano w zmniejszeniu emisji toksycznych składników spalin. Sterowanie tymi układami wymaga budowy modeli matematycznych i jest rozpatrywane w publikacjach [2, 4]. Najprostszym przedstawieniem założeń sterowania układem jest przedstawienie obszarów utrzymywanych temperatur cieczy chłodzącej wypływającej z głowicy w polu pracy silnika (Rys. 9.) Za utrzymanie tej temperatury odpowiedzialny jest termostatyczny zawór trójdrogowy ze sterowaniem elektronicznym.



Rys. 9. Utrzymywana temperatura cieczy chłodzącej opuszczającej głowicę w układzie z elektronicznie sterowanym termostatem [5]  
 Fig. 9. Coolant controlled temperature in circuit with electronically controlled thermostat

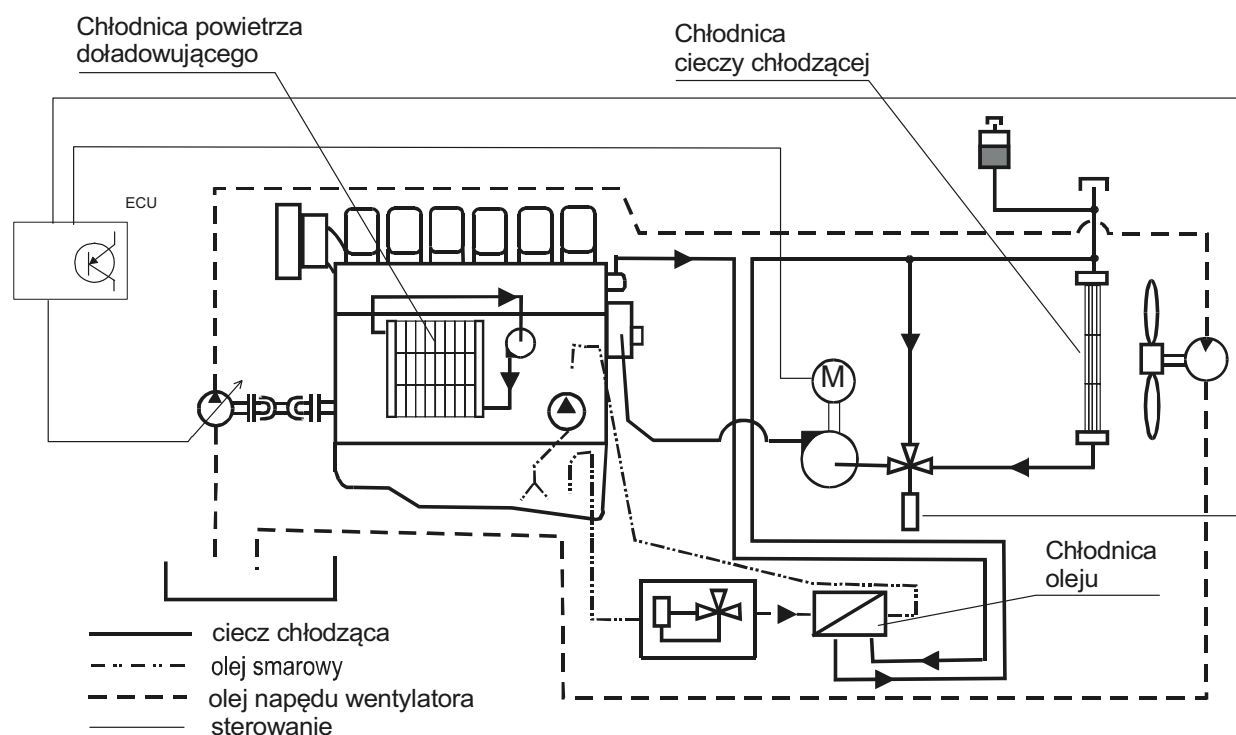
W nowoczesnych układach chłodzenia silników samochodów osobowych pojawiają się chłodnice oleju. Były one stosowane również dawniej do silników samochodów użytkowych albo specjalnych wykonania dla wersji tropikalnych czy rajdowych. Obecnie funkcją chłodnicy oleju jest nie tylko schładzanie oleju, ale również rozprowadzenie ciepła w różne smarowane miejsca silnika, przy zimnym rozruchu, w celu szybkiego nagrzania elementów. Są to chłodnice typu płytowego olej smarowy/ciecz chłodząca. W początkowej fazie nagrzewania silnika ciecz chłodząca oddaje ciepło do oleju poprawiając smarowanie i rozprowadzenie ciepła w silniku. Następnie kierunek przepływu ciepła się odwraca i olej jest schładzany cieczą.

Poważnym problemem nowszych układów chłodzenia silników doładowanych jest odprowadzenie ciepła chłodzenia powietrza doładowującego. Przeważnie stosuje się chłodnice typu powietrze/powietrze. Zajmują one dużą przestrzeń, co jest problemem w małych pojazdach.

### 3. Układy chłodzenia silników spalinowych lokomotyw

Silniki spalinowe lokomotyw chłodzone są zamkniętym albo otwartym obiegiem wody. Układy chłodzenia są podobne do silników przemysłowych napędzających prądnice lub pompy. Nie można wykorzystać ruchu powietrza podczas jazdy i stosowane są wentylatory dużej mocy z napędem mechanicznym elektrycznym albo hydraulicznym.

Schemat układu chłodzenia przedstawia Rys. 10.



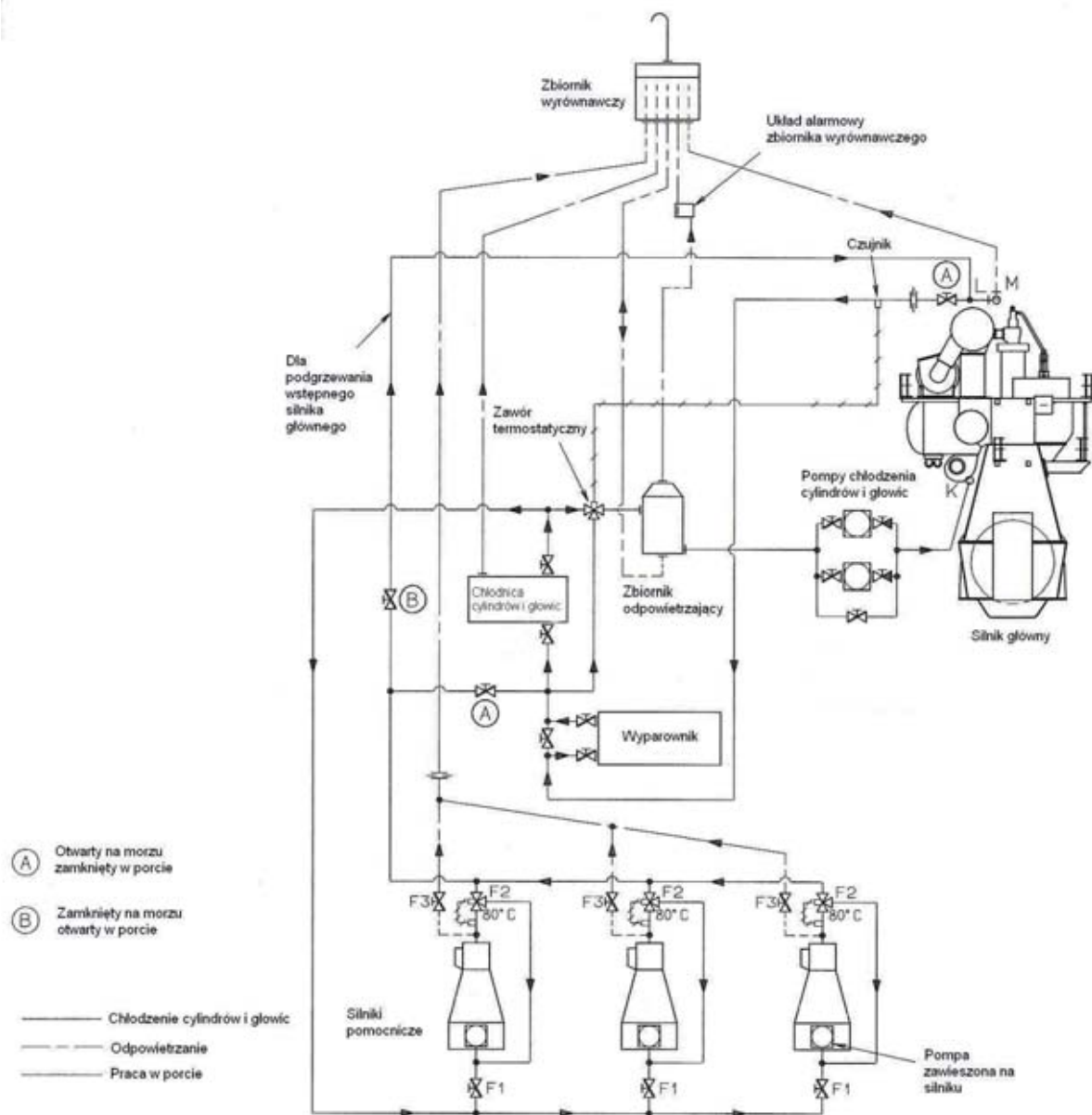
Rys. 10. Schemat układu chłodzenia silnika spalinowego lokomotywy  
 Fig. 10. Cooling circuit for the rail engine

Powszechnie stosuje się chłodzenie powietrza doładowującego w chłodnicach powietrze/ciecz chłodząca (jak na rysunku) albo powietrze/powietrze.

### 4. Układy chłodzenia silników okrętowych

Układy chłodzenia silników pracujących w siłowniach okrętowych zasadniczo różnią się od tych stosowanych w silnikach trakcyjnych. Czynnikiem odprowadzającym ciepło z cylindrów i głowic jest woda słodka w obiegu wysokotemperaturowym. Wymienia ona ciepło z wodą słodką obiegu niskotemperaturowego a ta z kolei odprowadza ciepło do wody morskiej w chłodnicy centralnej.

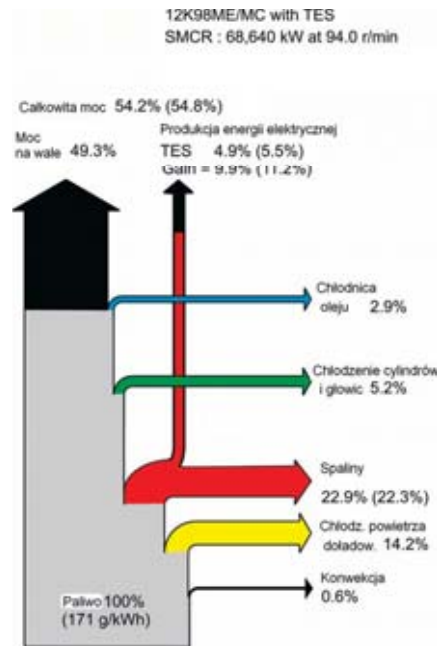
Na Rys. 11 przedstawiono obieg chłodzenia cylindrów i głowic.



Rys. 11. Obieg chłodzenia cylindrów i głowic [9]

Fig. 11. Cylinders and heads cooling system [9]

Stosuje się tu stałe natężenie przepływu wody. Temperatura wody opuszczającej głowicę jest utrzymywana na stałym poziomie  $80^{\circ}\text{C}$ . Za regulację temperatury odpowiada trójdrogowy zawór termostatyczny z czujnikiem zewnętrznym. Mieszając strumień wody płynący przez chłodnicę i omijający chłodnicę doprowadza do silnika wodę o temperaturze zależnej od chwilowego obciążenia cieplnego obiegu chłodzenia cylindrów i głowic. Zastosowanie elektrycznego napędu pomp wody umożliwia wstępne podgrzanie silnika przed rozruchem i powolne ochładzanie po zatrzymaniu. Wstępne podgrzanie ułatwia rozruch, który byłby trudny przy użyciu paliwa ciężkiego, a w połączeniu z wolnym chłodzeniem zmniejsza zużycie i obciążenie cieplne szczególnie, gdy występują krótkie zatrzymania na przykład w czasie manewrów. Znaczna ilość ciepła odprowadzana jest w chłodnicy powietrza doładowującego (Rys. 12.). W chłodnicy powietrza doładowującego ciepło odprowadzane jest często wprost do wody morskiej. Użycie wody morskiej jako bardzo łatwo dostępnego dolnego źródła ciepła w siłowniach okrętowych ułatwia odprowadzanie ciepła porównując ten proces do występującego w silnikach trakcyjnych.



Rys. 12. Bilans cieplny silnika okrętowego napędu głównego [9]

Fig. 12. Heat balance of the ship main engine [9]

Temperatura obliczeniowa wody morskiej jest przyjmowana na poziomie 32°C a temperatura powietrza 3-6 stopni wyższa. Przy zaprojektowanych chłodnicach dla obliczeniowej temperatury na wielu akwenach powierzchnie chłodnic będą zbyt duże [1]. Wysokie temperatury otoczenia nie są więc problemem. Niskie temperatury otoczenia poniżej -10°C wymagają dodatkowej instalacji upustu części sprężonego w turbosprężarce powietrza, aby nie przekroczyć dopuszczalnego ciśnienia doładowania.

## 5. Podsumowanie

Konstrukcja współczesnych obiegów chłodzenia cieczą silników samochodowych zaczyna być bardziej złożona i upodabnia się do stosowanych już w silnikach okrętowych czy kolejowych. Od silników okrętowych różnią się przede wszystkim zmiennością natężenia przepływu cieczy chłodzącej przez silnik, które w silnikach okrętowych pozostaje stałe.

## Literatura

- [1] Balcerski, A., Giernalczyk, M., Kneba, Z., *Prognozowanie parametrów rozkładów temperatury wody zaburtowej na założonych liniach żeglugowych*, *Mar. Technol. Trans*, Vol. 7, s. 23-30, 1996.
- [2] Cichy, M., *Modelowanie systemów energetycznych*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2001.
- [3] Cichy, M., *Nowe teoretyczne ujęcie charakterystyki gęstości czasowej*, *Silniki Spalinowe*. Nr 2-3, 1986.
- [4] Cichy, M., Kneba, Z., Makowski S., Kropiwnicki J., *Wpływ odbiorników energii elektrycznej pojazdu na parametry silnika spalinowego*, *Archiwum Motoryzacji*, 01, 2005.
- [5] Edwards, S., Muller, R., Feldhaus, G., Finicdel, T., *CO<sub>2</sub>-Minderung bei einem Turbo-DI-Ottomotor durch optimiertes Thermomanagement* MTZ 1, 2008.
- [8] Kneba, Z., *Model chłodnicy płytowej pracującej w układzie chłodzenia silnika samochodowego*, *Archiwum motoryzacji* 05, 2006.
- [9] www.MAN B&W.