

WPLYW MODYFIKACJI UKŁADU CHŁODZENIA PROTOTYPOWEGO SILNIKA VCR NA PRZEPLYW CIECZY CHŁODZĄCEJ

JAKUBOWSKI Mirosław, Dr. Inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska,
miroslaw.jakubowski@prz.edu.pl, orcid.org/0000-0001-9619-8215

ВПЛИВ МОДИФІКАЦІЇ ПРОТОТИПУ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ДВИГУНА ЗІ ЗМІННИМ СТУПЕНЕМ СТИСКАННЯ НА ПОТІК ОХОЛОДЖУЮЧОЇ РІДИНИ

ЯКУБОВСКИ Мірослав, кандидат технічних наук, Жешувська Політехніка, Жешув, Польща,
miroslaw.jakubowski@prz.edu.pl, orcid.org/0000-0001-9619-8215

EFFECT OF MODIFICATION OF THE PROTOTYPE VCR ENGINE COOLING SYSTEM ON COOLING LIQUID FLOW

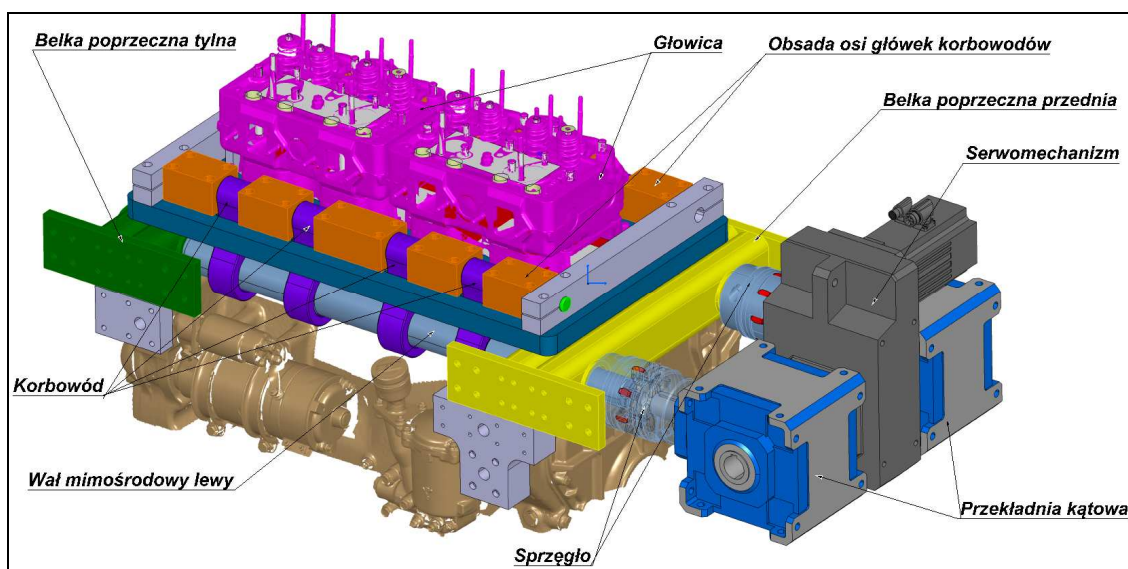
JAKUBOWSKI Mirosław, PhD in Technical Sciences, Rzeszow University of Technology, Rzeszow,
Poland, miroslaw.jakubowski@prz.edu.pl, orcid.org/0000-0001-9619-8215

WSTĘP

Chłodzenie silnika spalinowego ma istotne znaczenie dla parametrów jego pracy. Intensywność chłodzenia ma bowiem wpływ na [2]:

- wymianę ciepła między czynnikiem chłodzącym, a ściankami cylindra,
- przebieg sprężania i rozprężania,
- przebieg i stopień odparowania paliwa,
- okres opóźnienia samozapłonu (silniki ZS).

Ilość ciepła pochłanianego przez ciecz chłodzącą stanowi ok. 25-35% ciepła wytwarzanego przy spalaniu paliwa w cylindrach silnika.

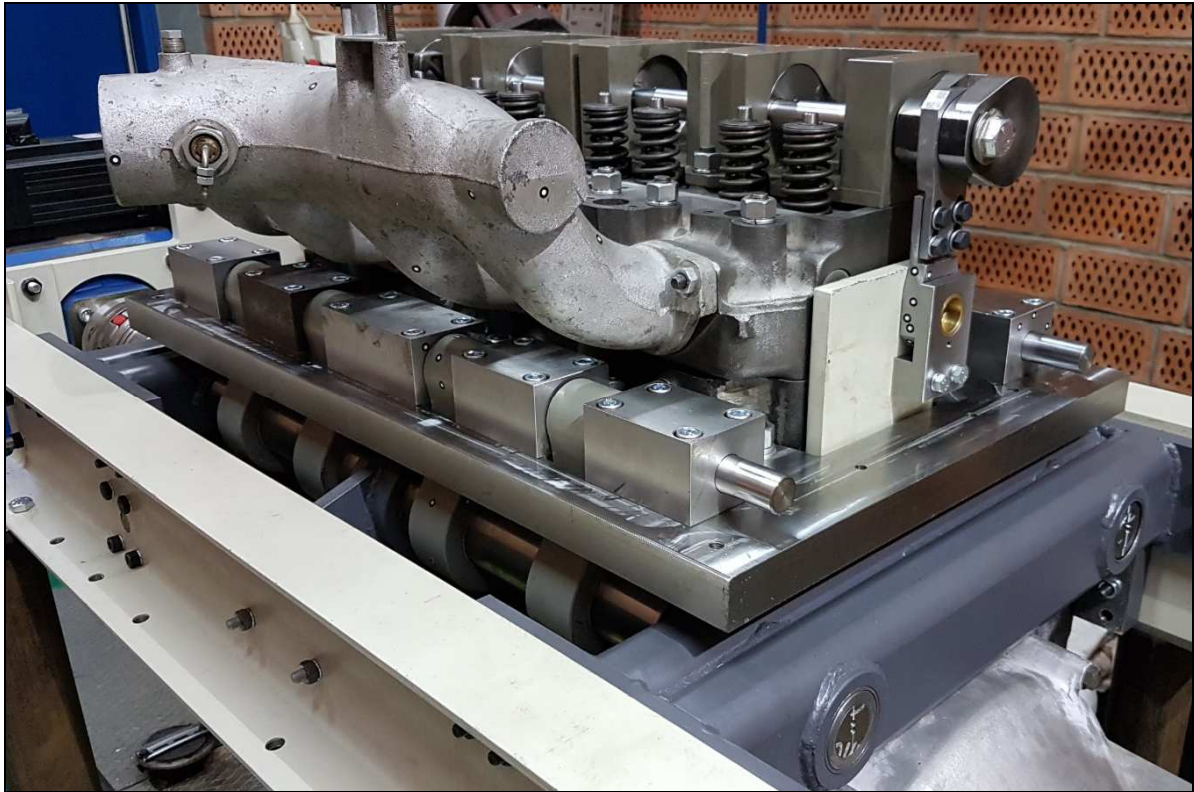


Rysunek 1 – Wizualizacja układu napędu posuwu cylindrów silnika VCR

Figure 1 – Visualization of the drive cylinder feed of the VCR engine

Odpowiednie warunki chłodzenia silnika mają duże znaczenie również w silniku o zmiennym stopniu sprężania. W Katedrze Silników Spalinowych i Transportu Politechniki Rzeszowskiej powstał silnik VCR [3,4,5,8], którego wizualizację przedstawiono na rys. 1.

Na rys. 2 przedstawiono zdjęcie częściowo zdemontowanego silnika znajdującego się na stanowisku w hamowni KSSiT.



Rysunek 2 – Silnik VCR (częściowo zdemontowany)

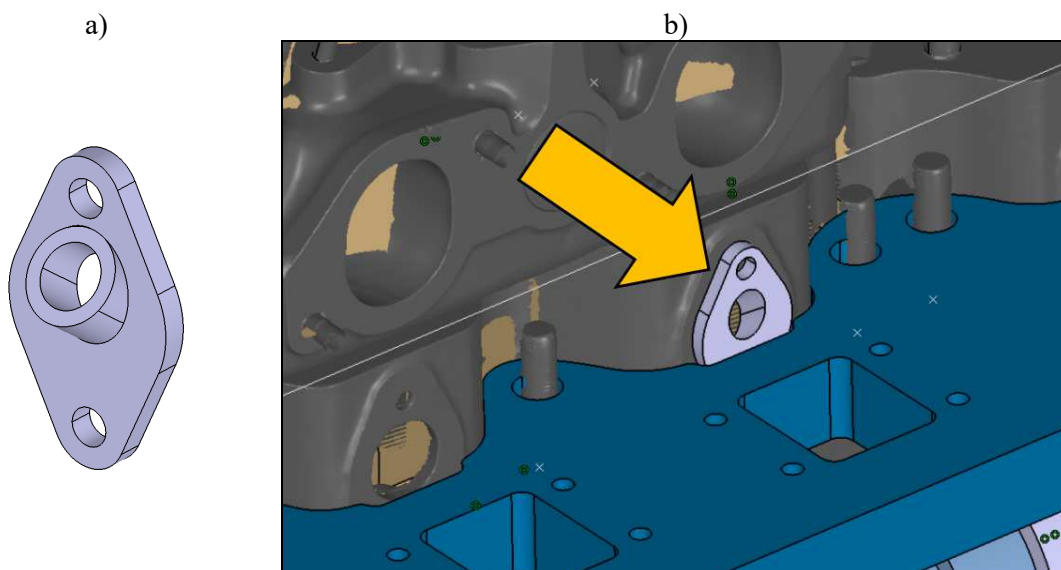
Figure 2 – VCR engine (partly disassembled)

Układ posuwu cylindrów silnika (regulacja stopnia sprężania) składa się z wielu elementów składowych, które zabudowane na silniku wymusiły szereg dodatkowych zmian konstrukcyjnych. Jedną z nich była modyfikacja elementów układu chłodzenia. Dotychczasowe rozwiązanie odprowadzenia cieczy chłodzącej z silnika oparte było na dwóch połączonych gumowym węzłem kolektorach mocowanych do cylindrów (rys. 3). Niestety kolektory kolidowały z główną płytą nośną układu posuwu cylindrów. Konieczne okazało się zaprojektowanie nowych elementów – króćców z kołnierzem (rys. 4). Sam kołnierz mocowany jest do cylindra przed montażem głównej płyty nośnej. Następnie do kołnierza wkręcany i uszczelniany jest króciec (rys. 5).

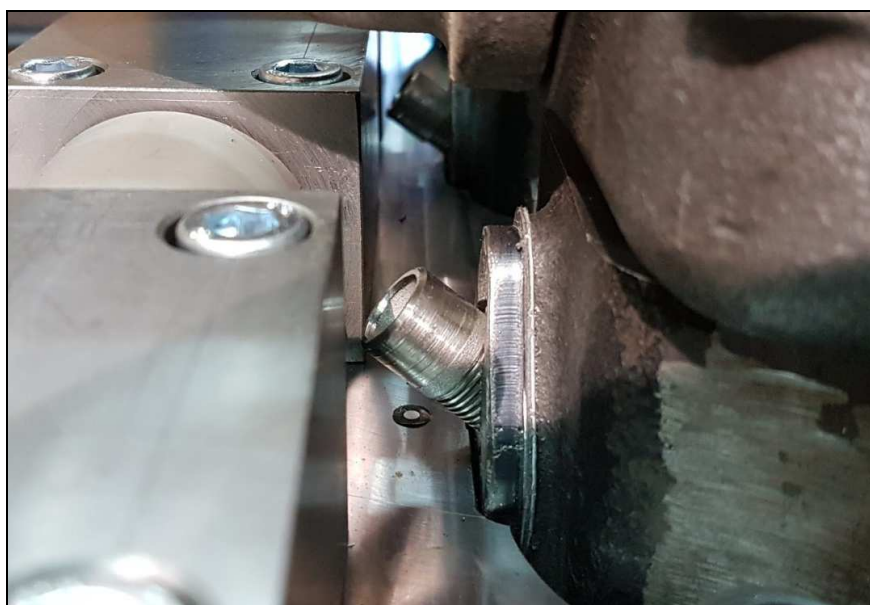


Rysunek 3 – Jeden z dwóch oryginalnych kolektorów układu chłodzenia

Figure 3 – One of the two original collectors of the cooling system



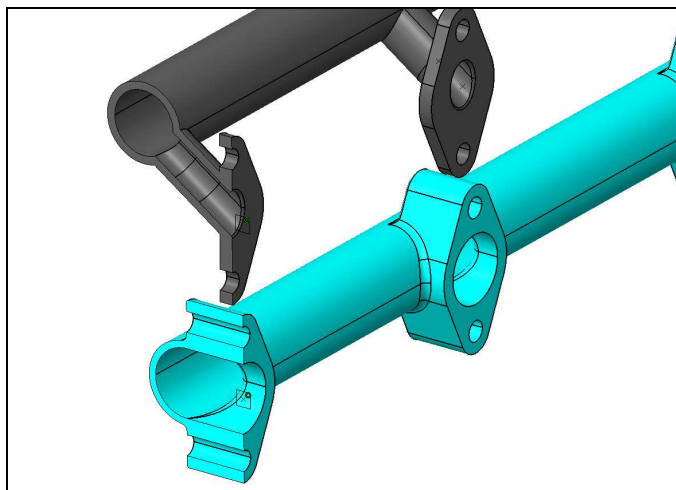
Rysunek 4 – a) kołnierz z króćcem, b) kołnierz przed wkręceniem króćca
 Figure 4 – a) flange with stub pipe, b) flange before screwing on the stub pipe



Rysunek 5 – Kołnierz z króćcem zamontowany na silniku
 Figure 5 – Flange with stub pipe mounted on the engine

BADANIA SYMULACYJNE

Opisana wyżej modyfikacja wymusiła zmianę zarówno przekroju jak i kształtu kanałów, które odpowiadają za odprowadzenie cieczy chłodzącej z silnika. Porównanie geometrii kolektora oryginalnego i nowego przedstawiono na rys. 6. Widoczne jest zmniejszenie pola przekroju wlotu oraz kanałów na określonym odcinku.



Rysunek 6 – Porównanie geometrii kolektora oryginalnego (niżej) i zmodyfikowanego

Figure 6 – Comparison of the original (below) and modified manifold geometry

Porównawcze badania symulacyjne przepływu cieczy chłodzącej przez kolektory przeprowadzone zostały w środowisku Autodesk CFD. Wydajność masową pompy cieczy chłodzącej określono z zależności [1]:

$$M_w = \frac{Q}{c_w \Delta T_w}$$

gdzie:

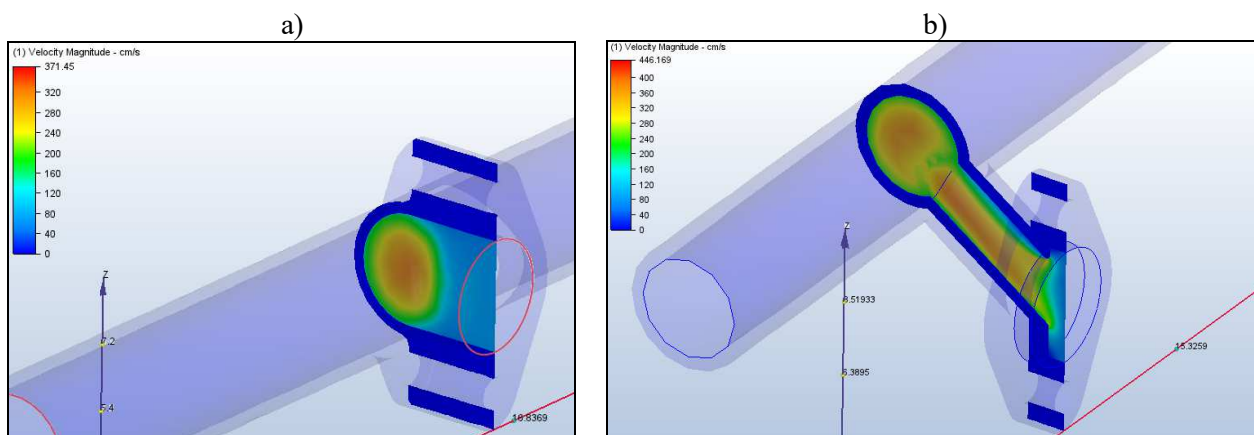
Q – ilość ciepła odprowadzonego z silnika, $Q = (0,95 - 1,25) N_e$

c_w – ciepło właściwe cieczy chłodzącej,

ΔT_w – różnica temperatury cieczy chłodzącej wypływającej i wpływającej do silnika.

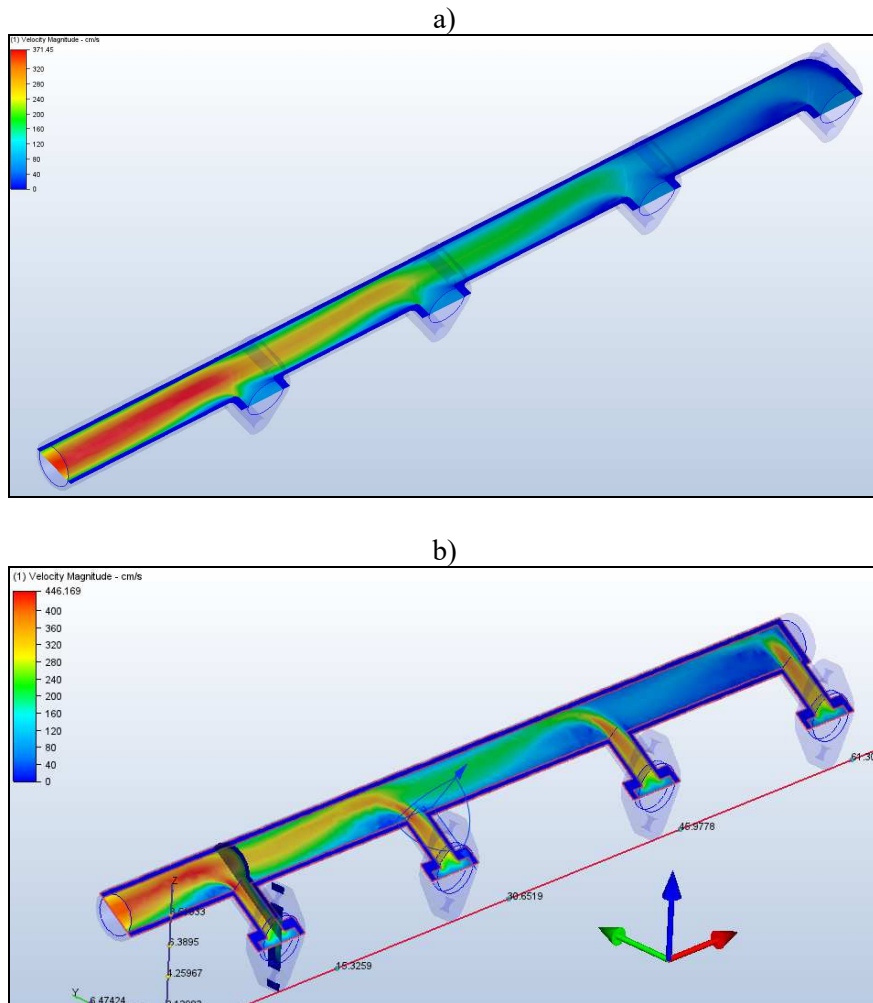
Dla silnika o mocy 80 kW (w wersji oryginalnej) wydajność masowa M_w pompy cieczy chłodzącej według powyższej zależności powinna wynosić 1,9 kg/s (jako ciecz przyjęto wodę). Zarówno dla oryginalnego jak i zmodyfikowanego kolektora przyjęto $\frac{1}{4}$ tej wartości dla poszczególnych przekrojów na wlotach kolektora.

Wyniki symulacji przedstawiono na rys. 7 – 10. Analizie poddano rozkład prędkości przepływu cieczy (wartość zredukowana) [6]. Do symulacji kołnierze nowego kolektora zostały skorygowane w ten sposób, że zwiększono ich grubość oraz średnice otworów wlotowych – chodziło o odzwierciedlenie geometrii otworów wylotowych w cylindrach.



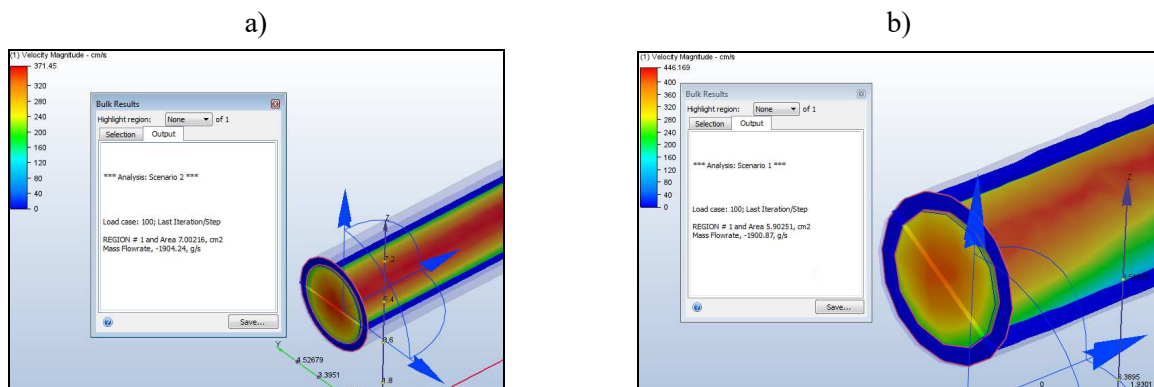
Rysunek 7 – Porównanie rozkładu prędkości przepływu cieczy w płaszczyźnie pionowej przechodzącej przez oś króćca wlotowego: a) kolektor oryginalny, b) kolektor zmodyfikowany

Figure 7 – Comparison of the velocity distribution of the liquid flow in a vertical plane passing through the axis of inlet nozzle: a) original cooling manifold, b) modified cooling manifold



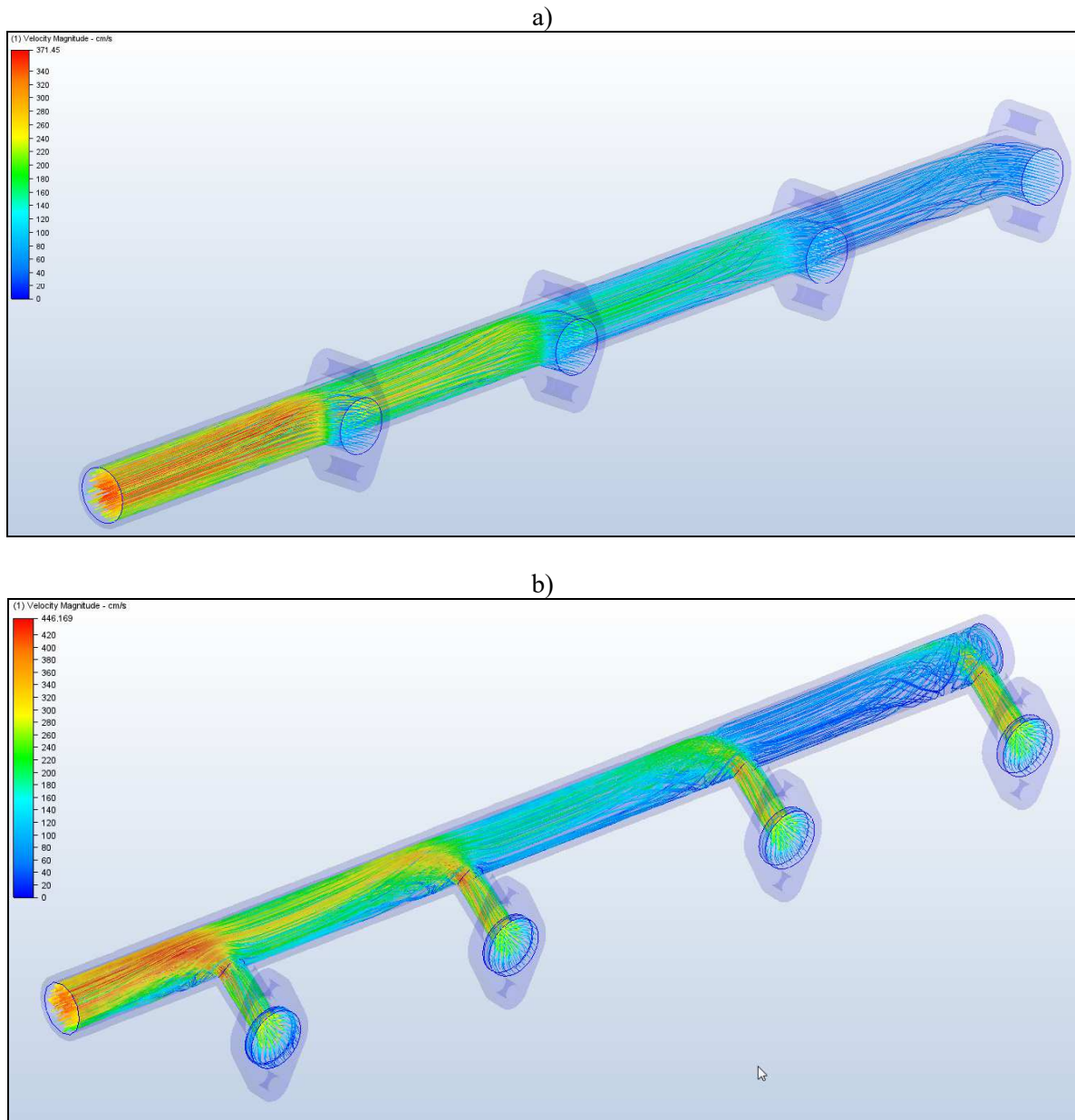
Rysunek 8 – Rozkład prędkości przepływu cieczy w płaszczyźnie przechodzącej przez podłużną oś kolektora oraz oś króćca wlotowego: a) kolektor oryginalny, b) kolektor zmodyfikowany

Figure 8 – Liquid flow velocity distribution in a plane passing through the longitudinal axis of the manifold and the axis of inlet nozzle: a) original cooling manifold, b) modified cooling manifold



Rysunek 9 – Weryfikacja założonego na wlocie przepływu masowego: a) kolektor oryginalny, b) kolektor zmodyfikowany

Figure 9 – Verification established at the inlet mass flow: a) original cooling manifold, b) modified cooling manifold



Rysunek 10 – Linie prądu: a) kolektor oryginalny, b) kolektor zmodyfikowany

Figure 10 – Flow traces: a) original cooling manifold, b) modified cooling manifold

WNIOSKI

Analiza wyników symulacji numerycznej pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

- zredukowana prędkość przepływu cieczy chłodzącej przez oryginalny kolektor przy założonej wydajności masowej osiąga mniejsze wartości niż dla kolektora zmodyfikowanego – wynika to oczywiście z elementarnych zasad mechaniki płynów,
- charakter zmian prędkości jest łagodniejszy dla kolektora oryginalnego – widać to głównie na rys. 8,
- linie prądu (rys. 10) pokazują, że zwiększona prędkość przepływu powoduje miejscowe turbulencje,
- uspokojenie burzliwego przepływu można osiągnąć np. poprzez zmianę geometrii połączenia króćców z główną rurą kolektora (inny kąt pomiędzy osiami, większe promienie zaokrąglenia krawędzi),
- planowana jest dalsza analiza rozkładu prędkości przepływu oraz linii prądu dla cieczy innych niż woda, np. glikol etylenowy.

LITERATURA

1. Jędrzejowski J. (1984) Obliczanie tłokowego silnika spalinowego. Warszawa, WNT – Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, p. 319.

2. Wajand J.A., Wajand J.T. (2000) Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybkoobrotowe. Warszawa, WNT – Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, p. 479.
3. Woś P., Balawender K., Jakubowski M., Kuszewski H., Lejda K., Ustrzycki A. (2012) Design of affordable multi-cylinder variable compression ratio (VCR) engine for advanced combustion research purposes, SAE Technical Paper.
4. Jakubowski M. (2016) Projektowanie części w programie CATIA V5 z wykorzystaniem inżynierii odwrotnej, Biuletyn Narodowego Uniwersytetu Transportu w Kijowie.
5. Lejda, K., Woś, P. (2009) A Preliminary Project of Multi Cylinder, Variable Compression Ratio (VCR) Engine for Research Purposes, Combustion Engines, Vol. SC2, Paper No PTNSS-2009-062.
6. Szczygieł I. (2005) Analiza wybranych zagadnień odwrotnych konwekcji. Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, Zeszyt nr 1666.
7. Rychter T., Teodorczyk A. (2006) Teoria silników tłokowych. WKiŁ, Warszawa.
8. Woś P., Jakubowski M., (2014) Silnik tłokowy o zmiennym stopniu sprężania. Patent nr PL 217826 B1

STRESZCZENIE

JAKUBOWSKI Mirosław. Wpływ modyfikacji układu chłodzenia prototypowego silnika VCR na przepływ cieczy chłodzącej / M. JAKUBOWSKI // Wisnyk Narodowego Uniwersytetu Transportu. – K. : NTU, 2019. – № 3 (45).

W artykule przedstawiono wyniki badań symulacyjnych wpływu modyfikacji kolektora w układzie chłodzenia prototypowego silnika VCR na parametry przepływu. Dokonano symulacji przepływu cieczy chłodzącej dla dwóch kolektorów – oryginalnego i zmodyfikowanego. Analizie poddano prędkość przepływu oraz kształt linii prądu.

Przedmiot badań - układ chłodzenia silnika o różnym stopniu sprężania.

Celem pracy jest określenie wpływu geometrii rurociągów układu chłodzenia silnika o różnym stopniu sprężania na parametry przepływu płynu chłodzącego.

Metoda badawcza jest obliczana.

Ustalono, że ze względu na cechy konstrukcyjne silnika ze zmienną kompresją rurociągi standardowego układu chłodzenia wymagają modyfikacji. W wyniku symulacji numerycznej stwierdzono, że zmniejszenie natężenia przepływu płynu chłodzącego przez oryginalny kolektor o przewidywanej wydajności masowej jest bardziej znaczące niż w przypadku zmodyfikowanego kolektora. Jednocześnie ustalono, że charakter zmian prędkości jest bardziej miękki dla pierwotnego kolektora. Linie przepływu płynu wskazują, że zwiększona prędkość przepływu powoduje lokalne turbulencje. Zmniejszenie turbulencji przepływu można osiągnąć na przykład przez zmianę geometrii połączenia dysz z głównym rurociągiem kolektora (pod różnymi kątami między osiami, większe promienie krzywizny krawędzi). W kolejnych badaniach planuje się analizę rozkładu prędkości przepływu i linii prądu dla cieczy innych niż woda, na przykład glikolu etylenowego.

SŁOWA KLUCZOWE: UKŁAD CHŁODZENIA, PARAMETRY PRZEPŁYWU, NATĘŻENIE PRZEPŁYWU, STOPIEŃ SPRĘŻANIA, PŁYN CHŁODZĄCY, GEOMETRIA RUROCIĄGU.

РЕФЕРАТ

ЯКУБОВСКИ Мірослав. Вплив модифікації прототипу системи охолодження двигуна зі змінним ступенем стискання на потік охолоджуючої рідини / М. ЯКУБОВСКИ // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник – К.: НТУ, 2019. – Вип. 3 (45).

У статті представлені результати імітаційних досліджень впливу модифікації колектора системи охолодження двигуна зі змінним ступенем стискання на параметри потоку. Моделювання потоку теплоносія для двох колекторів - оригінальний і модифікований. Проаналізовано швидкість потоку і форму струменя рідини.

Об'єкт досліджень – система охолодження двигуна зі змінним ступенем стиснення.

Мета роботи – визначення впливу геометрії трубопроводів системи охолодження двигуна зі змінним ступенем стискання на параметри потоку охолоджуючої рідини.

Метод дослідження – розрахунковий.

Встановлено, що через особливості конструкції двигуна зі змінним ступенем стиснення, трубопроводи штатної системи охолодження потребують модифікації. В результаті чисельного моделювання встановлено, що зниження швидкості потоку охолоджуючої рідини через оригінальний колектор з передбачуваною масовою ефективністю більш суттєве, ніж для модифікованого колектора.

Разом з тим, визначено, що характер змін швидкості є більш м'яким для оригінального колектора. Лінії потоку рідини показують, що збільшена швидкість потоку викликає локальну турбулентність. Зменшення турбулентності потоку може бути досягнуте, наприклад, шляхом зміни геометрії з'єднання сопел з головним колекторним трубопроводом (різним кутом між осями, більшими радіусами закруглення краю). В подальших дослідженнях заплановано провести аналіз розподілу швидкості потоку та ліній струму для рідин, відмінних від води, наприклад, етиленгліколю.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СИСТЕМА ОХОЛОДЖЕННЯ, ПАРАМЕТРИ ПОТОКУ, ШВИДКІСТЬ ПОТОКУ, СТУПІНЬ СТИСНЕННЯ, ОХОЛОДЖУЮЧА РІДИНА, ГЕОМЕТРІЯ ТРУБОПРОВОДУ.

ABSTRACT

JAKUBOWSKI Mirosław. Effect of modification of the prototype VCR engine cooling system on cooling liquid flow. Visnyk of National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. Kyiv. National Transport University. 2019. Vol. 3 (45).

The article presents the results of simulation studies on the impact of the collector modification in the VCR engine prototype cooling system on flow parameters. Simulation of coolant flow for two collectors - original and modified. The flow velocity and the shape of the current line were analyzed.

The object of research - engine cooling system with varying degrees of compression.

The purpose of the work is to determine the influence of the geometry of the engine cooling system pipelines with varying degrees of compression on the flow parameters of the cooling fluid.

The research method is calculated.

It has been established that due to the design features of the engine with variable compression, the pipelines of the standard cooling system require modification. As a result of numerical simulation, it has been found that reducing the flow rate of a cooling fluid through an original collector with a predicted mass efficiency is more significant than for a modified collector. At the same time, it is determined that the character of the velocity changes is softer for the original collector. Fluid flow lines indicate that increased flow velocity causes local turbulence. Reducing the turbulence of the flow can be achieved, for example, by changing the geometry of the connection of nozzles with the main collector pipeline (at different angles between the axes, larger radii of curvature of the edge). In subsequent studies, it is planned to analyze the distribution of flow velocity and current lines for liquids other than water, for example, ethylene glycol.

KEYWORDS: COOLING SYSTEM, FLOW PARAMETERS, FLOW RATE, COMPRESSION RATIO, COOLANT FLUID, PIPELINE GEOMETRY.

AUTOR:

JAKUBOWSKI Mirosław, dr inż., Politechnika Rzeszowska, adiunkt, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, e-mail: mirosław.jakubowski@prz.edu.pl, tel.: +48 17 743 2352, 35-959, Rzeszów, Polska, Al. Powstańców Warszawy 12, orcid.org/0000-0001-9619-8215.

АВТОР:

ЯКУБОВСКИ Мірослав, кандидат технічних наук, Жешувська Політехніка, доцент, кафедра двигунів внутрішнього згоряння і транспорту, e-mail: mirosław.jakubowski@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1531, 35-959, Жешув, Польща, бульвар Повстанців Варшави 12, orcid.org/0000-0001-9619-8215.

AUTHOR:

JAKUBOWSKI Mirosław, PhD in Technical Sciences, Rzeszow University of Technology, Department of Internal Combustion Engines and Transport, e-mail: mirosław.jakubowski@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1531, 35-959, Rzeszow, Poland, Powstańców Warszawy Avenue 12, orcid.org/0000-0001-9619-8215.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Любас Януш, доктор технічних наук, професор, Жешувська політехніка, професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння і транспорту, Жешув, Польща.

Гутаревич Ю.Ф., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри двигунів і теплотехніки, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Lubas Janush, Doctor of Technical Sciences, professor, Rzeszow University of Technology, professor of the internal combustion engines and transport department, Rzeszow, Poland.

Gutarevych Yu.F., Doctor of Technical Science, professor, National Transport University, Head of the Engines and Heating Engineering Department, Kyiv, Ukraine.