

SIMULATION MODELS APPLIED AT INTERNAL COMBUSTION ENGINES ¹⁶

Dimitar Obretenov – PhD Student

Department of Engines and Vehicles,
University of Ruse “Angel Kanchev”
Tel.: + 359 88 3533556
E-mail: di.obretenov@abv.bg

Assoc. Prof. Simeon Iliev, PhD

Department of Engines and Vehicles,
University of Ruse “Angel Kanchev”
Phone: 082-888 331
E-mail: spi@uni-ruse.bg

Abstract: *With the increase in computing power of modern computers, modeling of individual processes and optimization of work using simulation models is increasingly used. With the help of modern computers, the simulation time is significantly reduced, which allows the use of more complex models that provide more comprehensive and visual information about the ongoing processes. This paper discusses some of the most used models for simulating the operation of modern internal combustion engines. Single and second zone thermodynamic model and computational fluid dynamics (CFD) model are considered.*

Keywords: *ICE, engine simulation, CFD, simulation models*

ВЪВЕДЕНИЕ

Симулационните модели използвани при двигателите с вътрешно горене (ДВГ) са ценни инструменти за инженери, работещи в автомобилната индустрия или принадлежащи към изследователската общност, с цел да проектират двигатели, които да отговарят на стриктното законодателство за емисиите, като същевременно запазват висока производителност (Iliev, S. 2014), (Iliev, S. 2021). Като цяло съществуват две основни категории симулационни модели: феноменологични (Verhelst, S. Sheppard CGW. 2009), (Komninos, NP. Hountalas, DT. 2008) и такива използващи изчислителната динамика на флуидите (CFD) (Reitz, RD. Rutland, CJ. 1995), (Кнор, V. Benkenida, A. Jay, S. Colin, O. 2008). Основната разлика се крие в това че при феноменологичните модели за описание на физическите и химичните процеси протичащи вътре в цилиндъра се използват емпирични или полуемпирични отношения (Finol, CA. Robinson, K. 2006), (Demuynck, J. De Paere, at all. 2011), докато в CFD моделите са използвани специални итеративни техники за решаване на уравненията за запазване на масата, импулса и енергията, обикновено съчетани с модел на турбулентност при дискретизирана изчислителна област, която покрива целия обем на цилиндъра (Reitz, RD. Rutland, CJ. 1995). Феноменологичните модели са допълнително подразделени, в зависимост от тяхната сложност, до едно- или двумерни или многозонови. Наскоро беше предложена нова подкатегория симулационни модели Iliev, S. (2020), Pariotis, EG. Hountalas, DT. (2003), разположена между многозоновите феноменологични и CFD такива, наречени хибридни квазиизмерни модели, който съчетават някои характеристики на многозоновите и на CFD моделите. Този тип модели предлага по-фундаментално описание на физическите процеси, протичащи вътре в горивната камера в сравнение с многозоновите модели, но са по-малко точени в сравнение с по-подробните и изискващ компютърна мощ

¹⁶ Докладът е представен на научна сесия на 27 октомври 2023 с оригинално заглавие на български език: СИМУЛАЦИОННИ МОДЕЛИ ИЗПОЛЗВАНИ В ДВИГАТЕЛИТЕ С ВЪТРЕШНО ГОРЕНЕ

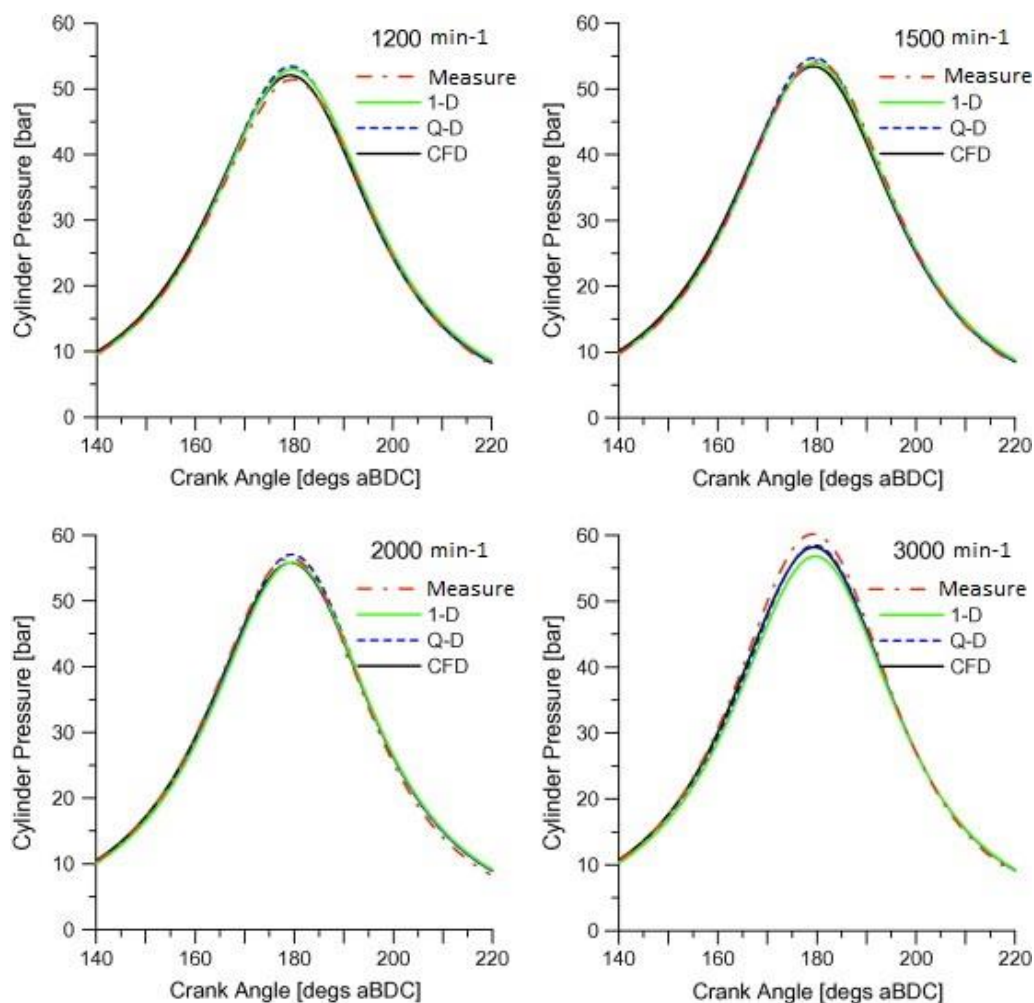
(CPU) CFD модели, тъй като уравненията за импулс не се вземат под внимание за изчисляване на локалното поле на потока.

В зависимост от специфичните нужди на изследването, инженерът трябва да реши кой тип модел отговаря най-добре на неговите нужди, за да получи необходимите резултати за даденото приложение и в същото време да похарчи възможно най-малко изчислителни ресурси. Въпреки че разликите между еднозоновия и CFD модела са големи и целта им на използване може да е ясна, понякога квазиизмерният модел може да замени използването на CFD модел до известна степен; това може да се превърне в спестяване на значително количество усилия и време.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Изчисляване на налягането в цилиндъра с различни математични модели

На (Фиг. 1) са представени резултати на три симулационни модела по отношение на изменението на налягането в цилиндъра, при четири честоти на въртене на двигателя, т.е. 1200 min^{-1} , 1500 min^{-1} , 2000 min^{-1} и 3000 min^{-1} , тъй като точната на прогнозиране на налягането в цилиндъра е предпоставка за адекватността на всеки симулационен модел, използван в реално приложение на двигателя. За тази цел изчисленото налягане в цилиндъра се сравнява със съответното измерено. Както е показано на (Фиг. 1), за всички изследвани работни условия, всички симулационни модели успяват да предскажат адекватно изменението на налягането в цилиндъра.

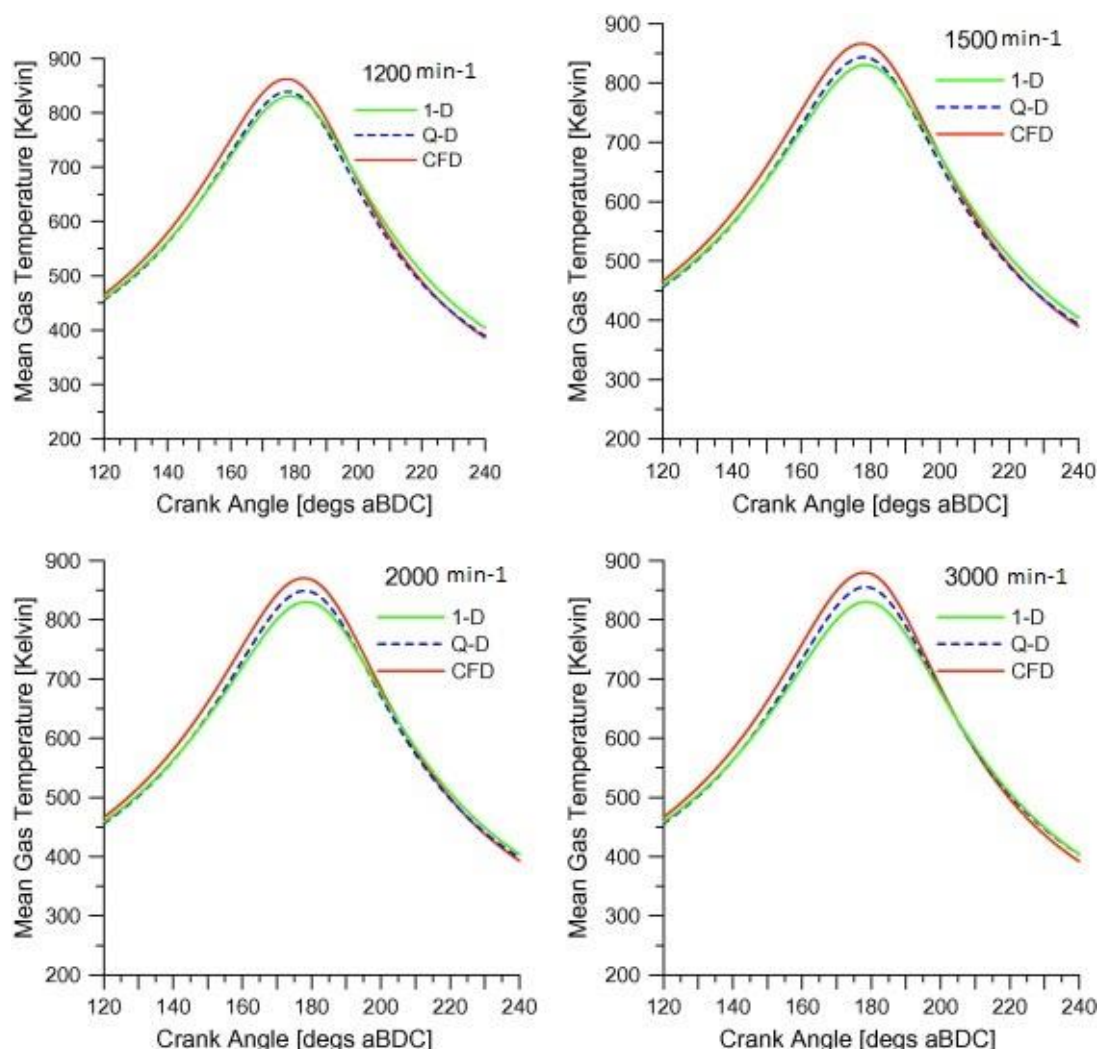


Фиг. 1. Сравнение на изчислените налягания в цилиндъра, получени от трите цифрови модела (1-D, Q-D и CFD) с измерените на честотата на въртене на двигателя.

По-високите несъответствия се наблюдават в близост до горна мъртва точка (ГМТ), където максималната разлика е приблизително 5 бара между измереното и изчисленото пиково налягане в цилиндъра с помощта на 1-D модела. От друга страна, квазиразмерният модел прогнозира с висока точност измереното пиково налягане в цилиндъра във всички изследвани случаи, представяйки се малко по-добре от CFD модела, като максималната разлика се наблюдава при 3000 min^{-1} , което е приблизително равно на 2 бара (въпреки че в този случай прогнозираното налягане в цилиндъра е идентично с това, получено с помощта на CFD модела).

Изчисляване на средната температура на газа в цилиндъра

На (Фиг. 2) е показано изменението на средната температура на газовете в цилиндъра при четирите изследвани честоти на въртене на двигателя, изчислена от трите симулационни модела. Както се наблюдава, във всички изследвани случаи прогнозираната средна температура на газа при всеки ъгъл на завъртане на колянния вал на двигателя е по-висока при използване на CFD модела, докато разликата между пиковата средна температура на газа на цикъла, предвидена от CFD и квази-дименсионалния модел, е почти половината от съответната при сравняване на CFD и 1-D модел (особено при по-високи честоти на въртене на двигателя), което е приблизително равна на 50°C .



Фиг. 2. Сравнение на изчислените средни температури на газовете в цилиндрите с помощта на трите числени модела (1-D, Q-D и CFD) за различни честоти на въртене на двигателя

Забелязва се, че разликата на прогнозирания пик при средните температури на газовете в цилиндъра при използване на трите симулационни модела остават практически постоянни

в целия диапазон от изследваните честоти на въртене на двигателя, с леко увеличение при честота 3000 min^{-1} .

Въпреки че прогнозирането на изменението на налягането в цилиндъра е направено с относително сходна точност, може да се заключи, че прогнозираните профили на средната температура на газа варират в по-голяма степен при превключване между трите изследвани симулационни модела.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящото изследване три симулационни модела на двигателя (1-D, Q-D и CFD) са приложени за симулиране на високооборотен дизелов двигател, работещ при различни честоти на въртене на двигателя. Еднозоновият модел изчислява с разумна точност налягането в цилиндъра, докато той по-скоро подценява средната температура на газа близо до горната мъртва точка център (ГМТ), в сравнение с другите два модела (квазиизмерен и CFD) при всички проверени честоти на въртене на двигателя. Сред положителните характеристиките на този тип модел определено са много ниско изчислително време, което е приблизително равно на 1 s, когато работи на персонален компютър. От друга страна, изчислителното време, необходимо за квазиразмерния модел, е приблизително 6 минути, докато CFD моделът се нуждае от до 20 часа.

REFERENCES

- Iliev S. (2014) Developing of a 1-D Combustion Model and Study of Engine Characteristics Using Ethanol-Gasoline Blends, Proceedings of the World Congress on Engineering 2014, Vol II, WCE 2014, July 2-4, London, U.K.
- Iliev S. (2021) A Comparison of Ethanol, Methanol, and Butanol Blending with Gasoline and Its Effect on Engine Performance and Emissions Using Engine Simulation. Processes; 9(8):1322.
- Verhelst, S. Sheppard CGW. (2009) Multi-zone thermodynamic modelling of sparkignition engine combustion – an overview. Energy Convers Manage; 50: 1326–35.
- Komninos, NP. Hountalas, DT. (2008) Improvement and validation of a multi-zone model for HCCI engine combustion concerning performance and emissions. Energy Convers Manage; 49:2530–7.
- Reitz, RD. Rutland, CJ. (1995) Development and testing of diesel engine CFD models. Prog Energy Combust Sci; 21:173–96.
- Knop, V. Benkenida, A. Jay, S. Colin, O. (2008) Modelling of combustion and nitrogen oxide formation in hydrogen-fuelled internal combustion engines within a 3D CFD code. Int J Hydrogen Energy; 33: 5083–97.
- Finol, CA. Robinson, K. (2006) Thermal modelling of modern engines: a review of empirical correlations to estimate the in-cylinder heat transfer coefficient. Proc Inst Mech Engrs, Part D, J Automob Eng; 220: 1765–81.
- Demuynck, J. De Paepe, M. Huisseune, H. Sierens, R. Vancoillie, J. Verhelst, S. (2011) On the applicability of empirical heat transfer models for hydrogen combustion engines. Int J Hydrogen Energy; 36:975–84.
- Iliev, S. (2020). Investigation of the Gasoline Engine Performance and Emissions Working on Methanol-Gasoline Blends Using Engine Simulation, Numerical and Experimental Studies on Combustion Engines and Vehicles, Paweł Woś and Mirosław Jakubowski, IntechOpen
- Pariotis, EG. Hountalas, DT. (2003) A new quasi-three dimensional combustion model for prediction of DI diesel engines performance and pollutant emissions. SAE Paper no. 2003-01-1060