

FRI- 20.21-1-TMS-16

INFLUENCE OF ETHANOL ADDITIVES ON DIESEL ENGINE PERFORMANCE ¹⁶**M. Eng. Ivaylo Ivanov , PhD Student**

Department of Engines and Vehicle,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: +359 888 246425
E-mail: iventsislavov@uni-ruse.bg

Assoc. Prof Simeon Iliev, PhD

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

Abstract: This paper provides a systematic review of the effects of ethanol additives on diesel engine operation and emissions, drawing upon experimental data from recent peer-reviewed publications. The analysis synthesizes results from multiple independent investigations examining diesel-ethanol blends ranging from E10 to E50. Key operational parameters evaluated include brake specific fuel consumption, brake thermal efficiency, ignition delay, and in-cylinder pressure characteristics. Environmental impacts are assessed through emissions profiles of particulate matter, nitrogen oxides, carbon monoxide, and unburned hydrocarbons. The consolidated findings demonstrate that ethanol addition yields substantial reductions in smoke opacity (30-80%) while modestly increasing fuel consumption (5-15%). The review identifies optimal blend concentrations and technical considerations for practical deployment, including stability enhancement strategies and emerging nanoparticle additive technologies.

Keywords: diesel engine, ethanol blends, renewable fuels, emissions analysis, literature review, nanoadditives

ВЪВЕДЕНИЕ**1.1. Актуалност на проблема**

Дизеловите двигатели са широко разпространени в транспорта, селското стопанство и енергетиката поради високата им термична ефективност и надеждност. Въпреки това, те са основен източник на вредни емисии, включително частици (PM), азотни оксиди (NO_x), въглероден монооксид (CO) и неизгорели въглеводороди (HC) (Huang J. (2009) (Hansen, A.C., 2005).

Според Световната здравна организация (WHO), замърсяването на въздуха е отговорно за около 7 милиона преждевременни смърти годишно, като фините частици PM_{2.5} играят значителна роля в развитието на сърдечно-съдови заболявания, рак на белите дробове и респираторни заболявания. Транспортният сектор е един от основните източници на замърсяване, което налага търсенето на алтернативни горива (Hansen, A.C.,2005).

1.2. Етанолът като алтернативно гориво

Етанолът (C₂H₅OH) е възобновяемо биогориво, което може да се произвежда чрез ферментация от различни суровини - захарна тръстика, царевица, целулоза и отпадъци (Hansen, A.C., 2005) (Li, D., 2005). Основните предимства на етанола включват (Iliev S. 2021):

- Възобновяемост - може да се произвежда от биомаса
- По-ниско съдържание на въглерод - води до намаляване на CO₂ емисиите

¹⁶ Докладът е представен на пленарната сесия на 24 октомври 2025 г. с оригинално заглавие на български език: Влияние На Добавки От Етанол Върху Работата На Дизелов Двигател

- Високо октаново число (около 89) - предимство за бензинови двигатели
- Високо съдържание на кислород (34,8% масово) - подобрява горенето

Въпреки че етанолът е широко използван в бензинови двигатели (E85 - 85% етанол и 15% бензин), приложението му в дизелови двигатели е предизвикателство поради специфични физико-химични свойства (Hansen, A.C., 2005) (Li, D., 2005).

ИЗЛОЖЕНИЕ

2. Свойства на дизел-етанолните смеси

2.1. Физико-химични характеристики на етанола

Основните свойства на дизела, етанола и техните смеси са представени в Таблица 1 (Hansen, A.C., 2005) (Li, D., 2005):

Таблица 1. Физико-химични свойства.

Свойство	Дизел	Етанол
Плътност при 20°C (kg/m ³)	822-840	788-803
Кинематичен вискозитет при 40°C (mm ² /s)	2,13-3,35	1,08-1,2
Цетаново число	40-51	6-15
Долна топлина на изгаряне (MJ/kg)	42,5-44,6	26,4-27,1
Скрита топлина на изпаряване (kJ/kg)	270	838-900
Температура на самозапалване (°C)	254	363
Съдържание на кислород (%)	0	34,8

2.2. Предизвикателства при смесването

Основните проблеми при директното смесване на етанол с дизелово гориво включват (Hansen, A.C., 2005) (Li, D., 2005):

1. Фазово разделяне - При температури под 10°C етанолът и дизелът се разделят на два слоя.
2. Ниско цетаново число - Етанолът има цетаново число 6-15 в сравнение с 40-51 за дизела, което затруднява самозапалването.
3. Ниска вискозност и мазилни свойства - Води до повишено износване на горивната система.
4. Намалено енергийно съдържание - Етанолът има 37-38% по-малко енергия от дизела на масова база.

2.3. Решения за стабилизация

За преодоляване на проблемите със стабилността на смесите се използват:

- Емулгатори - Създават суспензия от малки капчици етанол в дизеловото гориво
- Ко-разтворители - н-бутанол, тетраhydroфуран (THF), етил ацетат в съотношение 1:2 към етанола
- Подобрители на запалването - Триетилен гликол динитрат (TEGDN), октил нитрат, 2-етилхексил нитрат (EHN)

Изследванията показват, че добавянето на 5% н-бутанол към смес от 10-30% етанол и дизел осигурява стабилност на смесите за повече от 11-14 дни.

3. Влияние върху процеса на горене

3.1. Налягане и скорост на отделяне на топлина

Изследванията показват следните ефекти (Sahu, T.K., 2025):

При стандартна степен на сгъстяване ($\epsilon = 17,5$):

- E15 (15% етанол) намалява максималното налягане в цилиндъра с 3-5% при ниски натоварвания.
- При високи натоварвания (90% от пълния товар) E15 увеличава пика на налягането с 2-4%.

При висока степен на сгъстяване ($\epsilon = 26$):

- E50 (50% етанол) увеличава пиковото налягане с 40-50 bar в сравнение с дизел.
- Максималната скорост на отделяне на топлина (HRR) се увеличава с 11-16% за E15-E50 смеси.
- Оптималният начален момент на инжектиране (SOI) за E50 е 36-39° преди GMT.

3.2. Продължителност на горенето

Смесите показват намалена продължителност на горенето с 4-7% в сравнение с чист дизел благодарение на:

- По-доброто разпределение на горивото поради ниската вискозност
- Кислородното съдържание, което подобрява окислението
- Повишената температура на горене при високи натоварвания

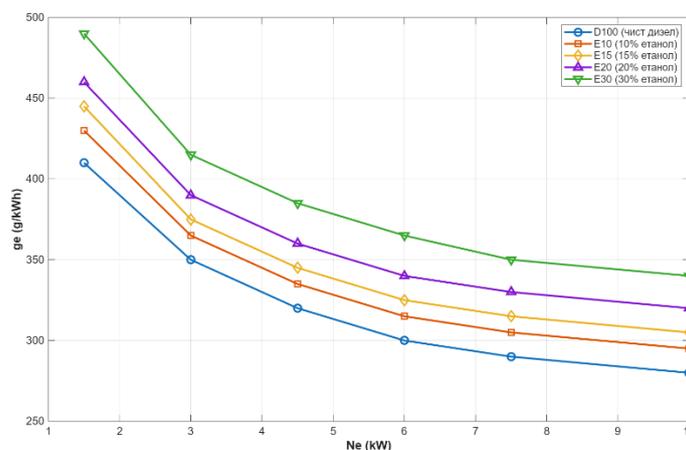
4. Експлоатационни характеристики

4.1. Специфичен горивен разход (BSFC)

Всички изследвания потвърждават увеличение на специфичния горивен разход при използване на етанолни смеси фиг. 1:

Смес	Увеличение на BSFC (%)	Условия
E10	5,2-11,4	2000 min ⁻¹ , различни натоварвания
E15	5,7-16,8	2000 min ⁻¹ , различни натоварвания
E20	-	Максимум при ниски натоварвания
E30	8,5-20,2	2000 min ⁻¹ , различни натоварвания

Основната причина е по-ниската долна топлина на изгаряне на етанола (26,8 MJ/kg срещу 42,5 MJ/kg за дизел) (Huang, J., 2009 , Li, D. 2005).



Фиг. 1 Специфичен разход на гориво при различни смеси

Тази графика показва увеличението на горивния разход с нарастване на етанола (5-15%)

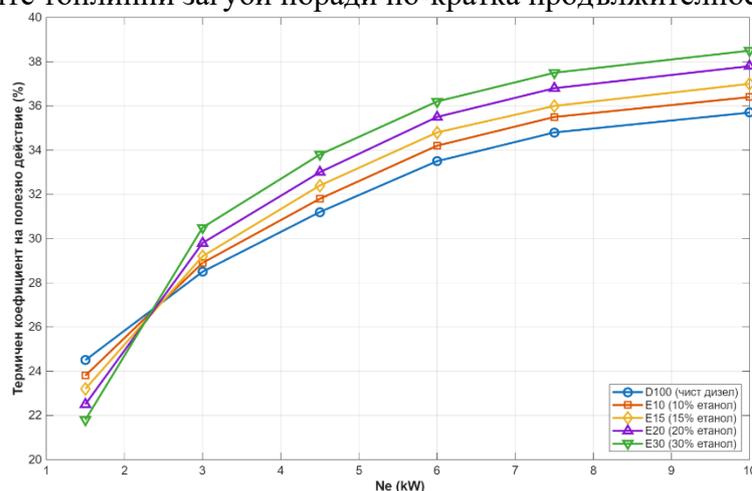
4.2. Термичен коефициент на полезно действие (ВТЕ)

Въпреки увеличението горивен разход, термичната ефективност се подобрява :

- E10-E15: Увеличение с 1,5-4% при високи натоварвания .
- E20: Увеличение с 7,7-12% при оптимизирани условия.
- E50 (CR 26): Максимално увеличение с 4% при SOI 39° преди GMT, достигайки BTE до 32,8% .

Подобрението се дължи на :

- По-голямата доля предварително смесено горене.
- По-доброто разпределение на горивото.
- Намалените топлинни загуби поради по-кратка продължителност на горенето.



Фиг. 2 Термичен коефициент на полезно действие (BTE)

4.3. Мощност и въртящ момент

Мощността и въртящият момент се запазват близки до тези на дизеловото гориво при съдържание на етанол до 15-20%. При по-високи концентрации (E30-E50) се наблюдава намаление с 1,5-5,5% поради по-ниското енергийно съдържание .

5. Емисии на вредни вещества

5.1. Въглероден окис (CO)

Ефектът върху CO емисиите зависи от натоварването :

Ниски натоварвания (10-30%):

- Увеличение с 10-20% поради непълно горене от охлаждащия ефект.

Високи натоварвания (50-90%):

- Намаление с 20-50% благодарение на по-доброто окисляване от кислородното съдържание.

5.3. Неизгорели въглеводороди (HC)

HC емисиите показват сложна зависимост:

При ниски натоварвания: Увеличение с 20-50% поради :

- Охлаждащ ефект на етанола
- Умиване на стените на цилиндъра поради по-продължителното впръскване на гориво
- По-бедна смес в зоните на запалване

При високи натоварвания: Намаление до 30-40% при E50-E100 благодарение на по-високата температура и по-доброто окисляване (Li, J. 2025)

5.4. Азотни оксиди (NOx)

NOx емисиите показват различен модел в зависимост от условията :

Стандартна степен на степен на сгъстяване ($\epsilon = 17,5$):

- E10-E15: Намаление с 0,8-17,5% при повечето режими.
- При ниски натоварвания: По-значително намаление поради охлаждащия ефект.

Висока степен на степен на сгъстяване ($\epsilon = 26$):

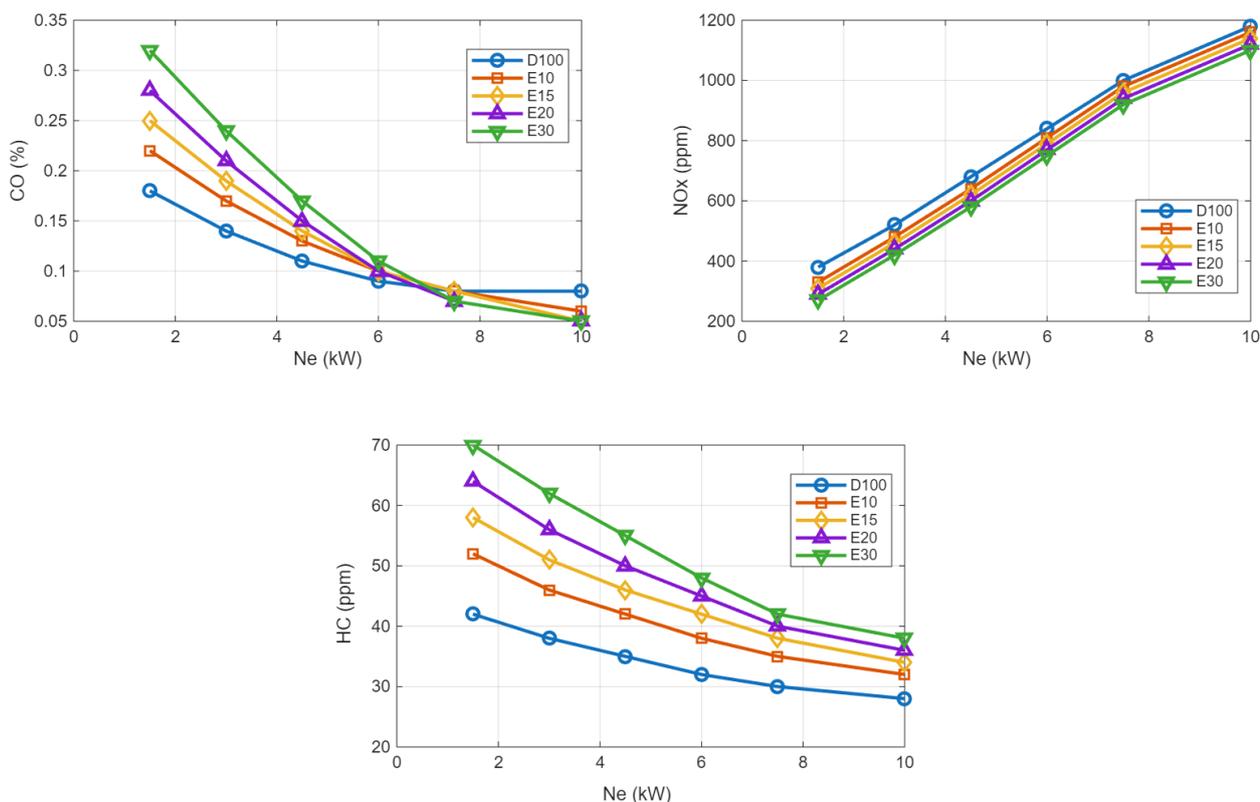
- E50: Увеличение с 5-20% при високи натоварвания поради по-високи температури на горене.

С наночастици:

- Леко увеличение с 5-10% поради подобреното горене.

5.5. Въглероден диоксид (CO₂)

Етанолните смеси водят до намаление на CO₂ емисиите с 10-15% в жизнения цикъл, особено когато етанолът се произвежда от биомаса, като се отчита целият въглероден отпечатък (Iliev S. 2023).



Фиг. 4 Изменение на CO, NOx и HC при различно процентно съдържание

ИЗВОДИ:

Добавките на етанол към дизелово гориво осигурява намаляване на емисиите на твърди частици (30-80%), CO (15-50%) и CO₂ (10-15%). Тези резултати класифицират дизел-етанолните смеси като перспективна технология за намаляване на замърсяването на въздуха.

Въпреки увеличението на специфичния разход на гориво с 5-15%, тези смеси подобряват термичния КПД с 1,5-4% благодарение на кислородното съдържание. Този позитивен баланс показва, че енергийния недостатък е компенсиран от подобреното горене.

E10-E15 смесите представляват оптимално решение, осигурявайки 30-45% намаляване на сажди без необходимост от конструктивни модификации на съществуващите двигатели. При тези концентрации екологичните ползи остават значителни, а оперативните параметри остават приемливи.

Техническите проблеми при смесване на дизел с етанол са решени чрез добавяне на коразтворители (5% н-бутанол), подобрители на запалването и съответни мазилни присадки. Полевите тестове демонстрират стабилност на смесите и нормално износване на компоненти при следване на препоръчаните добавки.

Докладът отразява резултати от работата по проект No 2025-ПУ-02, финансиран от фонд „Научни изследвания“ на Русенския университет.“

REFERENCES

- Huang, J., Wang, Y., Li, S., Roskilly, A.P., Yu, H., & Li, H. (2009). *Experimental investigation on the performance and emissions of a diesel engine fuelled with ethanol–diesel blends. Applied Thermal Engineering.*
- Hansen, A.C., Zhang, Q., & Lyne, P.W. (2005). *Ethanol–diesel fuel blends – a review. Bioresource Technology.*
- Li, D., Zhen, H., Xingcai, L., Wu-gao, Z., & Jian-guang, Y. (2005). *Physico-chemical properties of ethanol–diesel blend fuel and its effect on performance and emissions of diesel engines. Renewable Energy.*
- Sahu, T.K., Shukla, P.C., & Belgiorno, G. (2025). *Investigation of start of injection sensitivity on combustion and emissions of ethanol-diesel blend fuelled high compression ratio CI engine. Fuel.*
- Li, J., Wei, J., Chen, H., Xu, Y., Liu, Y., & Dai, Q. (2025). *Study on the combustion and emission characteristics of a compression ignition engine using diesel–ethanol blend with carbon nanoadditives. Renewable Energy.*
- 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.
- Wong, P.K., Chen, S.H., Ghadikolaei, M.A., et al. (2025). *Chemical and cell toxicity properties of particulate matter emitted from a diesel engine fueled with biodiesel and ethanol blends. Environmental Pollution.*
- Meng, Z., Zhou, F., Duan, X., Fu, J., Liu, J., & Deng, B. (2025). *Experimental study of the effects of engine oil on gaseous and particulate emissions during gasoline–ethanol combustion. Fuel.*
- Iliev S. (2023). *Effects of exhaust gas recirculation (EGR) rates on emission characteristics of ethanol and methanol diesel blended fuels. E3S Web Conf.* 404 02006