ЕКОЛОГИЧНИ ЕФЕКТИ ОТ ВЪВЕЖДАНЕТО НА СТАНДАРТИ ЗА ДОПУСТИМИ ВРЕДНИ ЕМИСИИ НА АВТОМОБИЛИТЕ ВЪРХУ КАЧЕСТВОТО НА АТМОСФЕРНИЯ ВЪЗДУХ ВЪВ ФРАНЦИЯ

Георги Колешански, Биляна Костова, Ралица Берберова

Нов български университет, Департамент „Природни науки”
e-mail: koleshanski83@abv.bg

Ключови думи: *цели за устойчиво развитие, качество на въздуха, стандарти Евро и Crit'Air, анализ на данни, Франция*

Резюме: *Цел на изследване са екологичните ефекти от два екологични стандарта – общоевропейския за изгорели газове Евро и специфичния за Франция Crit'Air стандарт за автомобили, движещи се в нискоемисионни зони в големите градове – върху качеството на атмосферния въздух във Франция чрез анализ на статистически данни за периода от 2021 до 2024 г.*

Използвани са статистическите данни за състоянието на автомобилите в движение във Франция – брой, средна възраст, брой автомобили, работещи на бензиново, дизелово и алтернативно гориво. Представени са и нивата на NOx, ФПЧ$_{10}$, ФПЧ$_{2.5}$ и SO_2, отделяни от автомобилите за разглеждания период.

Чрез съпоставка и анализ на данните е установено увеличение на броя автомобили в движение и средната им възраст, но и повишаване на автомобилите, задвижвани с алтернативна енергия, което води до понижаване нивата на NOx, ФПЧ$_{10}$ и ФПЧ$_{2.5}$. Единствено при емисиите SO_2 се регистрира увеличаване с 1% през четиригодишния период, като най-вероятната причина за това е понижено качество на горивата.

Резултатите показват, че във Франция има положителни ефекти за качеството на атмосферния въздух от въвеждането на двата стандарта.

THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF VEHICLE EMISSION STANDARDS ON AIR QUALITY IN FRANCE

Georgi Koleshanski, Bilyana Kostova, Ralitza Berberova

New Bulgarian University, Department of Natural Sciences
e-mail: koleshanski83@abv.bg

Keywords: *SDG, air quality, Euro standards and Crit'Air, data analysis, France*

Abstract: *The aim of the study is to examine the ecological effects of two environmental standards – the European Euro emission standards and France's specific Crit'Air standard for vehicles operating in low-emission zones in major cities – on ambient air quality in France through the analysis of statistical data from 2021 to 2024.*

The research is based on statistical data on vehicles in use in France, including total number, average age, and the count of vehicles running on petrol, diesel, and alternative fuels. The levels of NOx, PM_{10}, $PM_{2.5}$, and SO_2 emitted by vehicles during this period were also presented.

The research is based on statistical data regarding vehicles in use in France, including their total number, average age, and breakdown by fuel type (petrol, diesel, and alternative fuels). The levels of NOx, PM_{10}, and $PM_{2.5}$, and SO_2 emitted by vehicles during this period are also presented.

A comparison and analysis of the data show that while the total number, average age, and share of alternative fuel vehicles increased, NOx, PM_{10}, and $PM_{2.5}$ levels declined. However, SO_2 emissions rose by 1% over the four-year period, driven primarily by higher sulfur content in fuels.

The results indicate that the implementation of both standards has had positive effects on ambient air quality in France.

Въведение

Замърсяването на въздуха е сред най-дискутираните екологични рискове за човешкото здраве. В големите градове автомобилите са сред основните замърсители на атмосферния въздух. Въпреки дългогодишните усилия и по-строгото регулиране при производството и експлоатацията на превозни средства, което доведе до намаляване на емисиите на ФПЧ и NOx, тези подобрения трудно компенсират замърсяването, поради нарастващия брой превозни средства Поради това темата за замърсяване на въздуха е пряко застъпена в целите за устойчиво развитие на ООН – Глобална цел 3: Добро здраве и благосъстояние, Глобална цел 11: Устойчиви градове и общности и др. [1–4, 6–8, 18–21].

Емисиите от отработени газове са смес от различни газове и частици, отделяни от превозните средства, когато двигателят с вътрешно горене (ДВГ) работи, тези емисии влияят на качеството на въздуха. ДВГ изгарят течни или газообразни горива, за да преобразуват химическата енергия в механична. Автомобилите в движение генерират емисии на азотни оксиди (NOx), серен диоксид (SO_2), фини прахови частици (ФПЧ), които според размера си се класифицират като $ФПЧ_{10}$ (с диаметър по-малък от 10 μm) и $ФПЧ_{2.5}$ (с диаметър по-малък от 2.5 μm) и др. [5–6, 11].

С цел намаляване на това замърсяване, през 1992 г. Европейският съюз (ЕС) въвежда минимални европейски стандарти за емисии на отработени газове заедно с приемането на разпоредби за производството на нови автомобили. Тези стандарти задават допустими стойности на изгорелите газове на моторните превозни средства, пускани на европейския пазар. Автомобилите, произведени преди въвеждането на Евро стандартите за вредни емисии, често имат двигатели, които отделят високи количества замърсители. С цел намаляване на замърсяването на атмосферния въздух се въвеждат Евро категории за отработените газове при автомобилите. До 2024 г. са въведени 6 екологични стандарта при производството на нови автомобили (Табл. 1). За автомобилите с двигатели с вътрешно горене, работещи на бензиново и дизелово гориво, са въведени стандартите от Евро 1 до Евро 6, които са с различни параметри, като целта е да се намалят нивата на вредни емисии от отработени газове, главно на NOx, ФПЧ, както и на въглеводороди (HC), брой частици (PN).

Таблица 1. Евро категории за отработените газове при автомобилите

Евро 1	Определя ограниченията за емисиите на CO, HC и NOx
Евро 2	Намалява пределните стойности на емисиите на CO, HC и NOx
Евро 3	Допълнително намалява емисиите на CO, HC и NOx, като въвежда ограничения и за ФПЧ
Евро 4	Определя строги ограничения за емисиите на CO, HC, NOx и ФПЧ
Евро 5	Въвежда по-строги ограничения на емисиите NOx и ФПЧ, особено за дизеловите двигатели
Евро 6	Определя изключително ниски граници за емисиите на NOx и ФПЧ, особено за дизелови превозни средства, и по-строги ограничения за бензиновите двигатели

В допълнение към тези Евро стандарти, във Франция през 2017 г. се въвежда и допълнителен екологичен стандарт за автомобили, движещи се в нискоемисионни зони в големите градове – Crit'Air (сертификат за качество на въздуха). Във Франция са определени специфични зони, през които могат да преминават само превозни средства, на които е поставен стикер Crit'Air, или още наречен винетка. Системата класифицира превозните средства според годината на производство, вида гориво и замърсяващите емисии на фини частици и азотни оксиди отново в шест категории (Фиг. 1) [9]. Чрез тази система се регулира достъпа на превозни средства до определени зони или райони – той може да бъде ограничен за превозни средства от определен екологичен клас както през цялото време, така и само в определени дни или периоди.

Системата Crit'Air разпределя превозните средства в шест категории, като в общи линии те са в съответствие с европейските стандарти за емисии Евро. Френският стандарт Crit'Air дава допълнителна възможност за проследяване на нивата на SO_2, който не се отчита при евростандартите Евро. Стикерът Crit'Air е валиден за целия експлоатационен живот на превозното средство. Най-малко замърсяващите превозни средства обикновено имат право да се движат по-свободно от тези, които отделят повече замърсители [12]. Превозни средства, които са регистрирани преди 1997 г., или такива, които не отговарят на минималните стандарти, нямат право на стикер Crit'Air [10].

Допълнителните екологични мерки за подобряването на атмосферния въздух във Франция са основание за проучване на качеството на въздуха именно в тази държава от ЕС, като са проследени основните замърсители, използвани за Crit'Air за времеви период от четири години, за който са публикувани официални статистически данни. Целта на разработката е проучване на екологичните ефекти от въвеждането на стандартите Евро и Crit'Air за допустими вредни емисии на автомобилите върху качеството на атмосферния въздух във Франция.



Crit'Air 0/E – изцяло електрически превозни средства и автомобили, задвижвани с водород. Те са най-чистите и са изложени на най-малко ограничения

Crit'Air 1 – модерни бензинови превозни средства (регистрирани от януари 2011 г.) и хибридни превозни средства. Те отделят много малко замърсяване

Crit'Air 2 – обхваща по-нови дизелови превозни средства (от януари 2011 г.) и по-стари бензинови превозни средства. Много чуждестранни автомобили попадат в тази категория

Crit'Air 3 – включва по-стари дизелови превозни средства (2006–2010 г.) и по-стари бензинови превозни средства

Crit'Air 4 – по-стари дизелови превозни средства (2001–2005 г.)

Crit'Air 5 – най-замърсяващите дизелови превозни средства (1997–2000 г.)

Фиг. 1. Категории стикери Crit'Air

Обект и метод

Обект на проучване е изменението в състоянието на автомобилите в движение във Франция и отделени атмосферни замърсители от тях за периода от 2021 до 2024 г. въз основа на официални статистически данни [13–17].

Статистическите данни за състоянието на автомобилите в движение във Франция включват брой автомобили, средна възраст на автомобилите, брой автомобили, работещи на бензиново, дизелово и алтернативно гориво, изменението на съотношението им през годините, както и разпределението на автомобилите през годините според Crit'Air сертификата.

Статистическите данни за състоянието на атмосферния въздух във Франция обхващат емисии на NOx, SO_2, $ФПЧ_{10}$ и $ФПЧ_{2.5}$ за четирите години.

Въз основа на систематизиране, интерпретация и анализ на тези данни се проследява изменението в състоянието на атмосферния въздух във Франция, с което може да се докаже ефективността от въведените екологични стандарти за допустими вредни емисии на автомобилите в страната (европейски стандарт за изгорели газове Евро и Crit'Air френски екологичен стандарт за автомобили, движещи се в нискоемисионни зони в големите градове).

Резултати и дискусия

Официалните данни показват увеличение с 1 млн. на броя автомобили в движение във Франция от 2021 г. (38,7 млн.) до 2024 г. (39,7 млн.). Средната възраст на автомобилите в движение също нараства с 1 година – от 10,5 г. през 2021 г. до 11,5 г. 2024 г. Отчитат се 3,2% намаление в броя на автомобилите, работещи на бензиново и дизелово гориво – през 2021 г. те са 97,7% от всички автомобили в движение, докато през 2024 г. – 94,5%. (Фиг. 2).

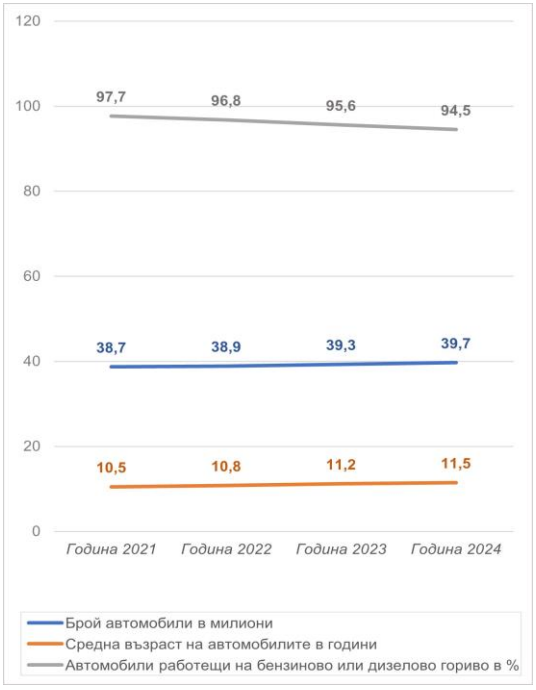
От 2021 до 2024 г. по отношение на автомобилите в движение се отчита намаляване на дизеловите автомобили и повишаване на броя на тези, използващи бензин и алтернативна енергия, както следва: използващите дизелово гориво намаляват с 6,7% (от 55,5% през 2021 г. до 48,8% през 2024 г.); има увеличение с 3,5% на тези, работещи с бензиново гориво – от 42,2% в началото на периода до 45,7% в края на периода; броят на автомобили в движение, работещи с алтернативна енергия се увеличава с 3,2% – от 2,3% през 2021 г. до 5,5% през 2024 г. (Фиг. 3). По отношение на автомобилите, работещи с електрическо задвижване, за тези четири години се установява ръст от 1,9% – от 1% през 2021 г. до 2,9% през 2024 г. (Табл. 2).

Таблица 2. Процент на автомобилите с електрическо задвижване във Франция в периода от 2021 г. до 2024 г. (по данни от SDES)

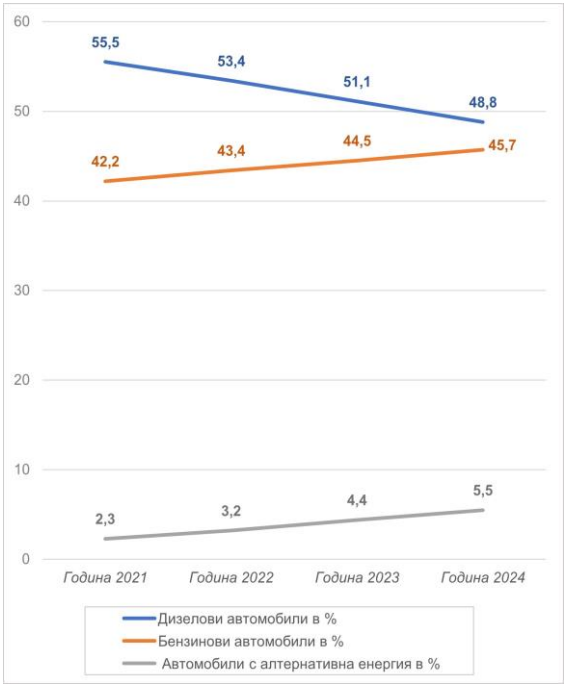
Година	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
Електрически автомобили (%)	1,0	1,5	2,2	2,9

Установява се увеличение с 1,9% на автомобили в движение в категория Crit'Air E (през 2021 г. те са 1%, а през 2024 г. – 2,9%), а за тези в категория Crit'Air 1 увеличението е със 7,7% – от 28% през 2021 г. до 35,7% през 2024 г. Докато през 2021 г. автомобилите в движение в категория Crit'Air 2 са 37% от общия брой автомобили в движение, то през 2024 г. този процент вече е 35, т.е. има спад с 2%. Автомобилите, имащи категория Crit'Air 3, намаляват с 4.1% в периода 2021–2024 г. – от 22% на 17,9%. Спад от 1,8% се отчита и при автомобилите в движение в категория Crit'Air 4 (от 7% през 2021 г. до 5,2% през 2024 г.). През 2021 г. автомобилите в категория Crit'Air 5 и некласифицираните във Франция са 5%, докато през 2024 г. те намаляват до 3,4%, което е спад от 1,6% (Фиг. 4).

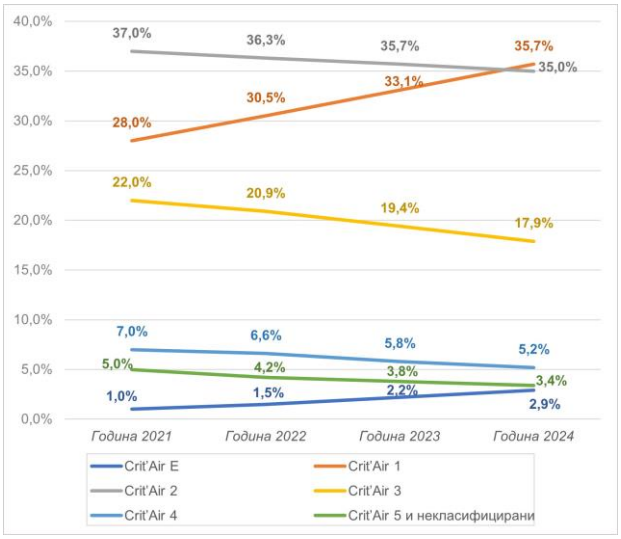
Спадът на емисиите от замърсители във въздуха на NOx от автомобилния транспорт е 6% (от 53% през 2021 г. до 47% през 2024 г.). Отчетеното намаление на емисиите от замърсители във въздуха на ФПЧ е както следва: за $ФПЧ_{10}$ има намаление от 3% – от 14% през 2021 г. до 11% през 2024 г., докато за $ФПЧ_{2.5}$ спадът е с 5% – от 15% през 2021 г. до 10% през 2024 г. За разлика от останалите параметри, които са обект на мониторинг, емисиите от SO_2, продуцирани от автомобилен транспорт се увеличават с 1%, като през 2021 г. те са били 2%, а през 2024 г. вече са 3%. (Фиг. 5).



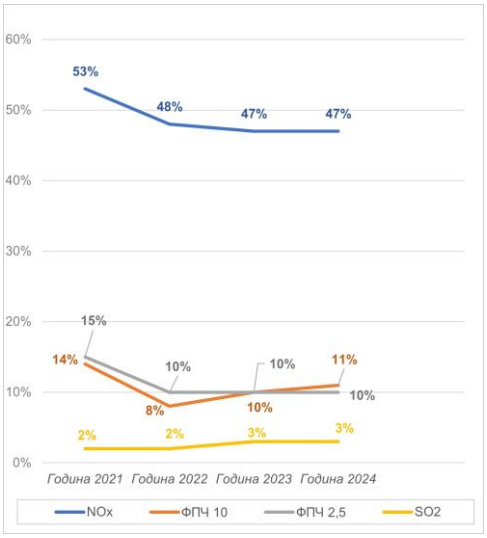
Фиг. 2. Брой автомобили, средната им възраст и вид двигател за периода 2021–2024 г. във Франция (по данни от SDES)



Фиг. 3. Процент автомобили, използващи бензин, дизел и алтернативно гориво за периода 2021–2024 г. във Франция (по данни от SDES)



Фиг. 4. Процент на автомобили по критерии Crit'Air за периода 2021–2024 г. във Франция (по данни от SDES)



Фиг. 5. Емисии на NOx, $ФПЧ_{10}$, $ФПЧ_{2.5}$ и SO_2 за периода 2021–2024 г. във Франция (по данни от SDES)

Резултатите от проучването на официалните данни за Франция за разглеждания период 2021–2024 г. показват, че чрез въвеждането на стандарти за допустими вредни емисии на автомобилите е постигнат положителен ефект за качеството на атмосферния въздух в страната, независимо че за тези четири години, от 2021 до 2024 г., има увеличение както в броя на автомобилите в движение, така и в средната възраст на експлоатация (Фиг. 2). Подобрението на състоянието на въздуха е свързано пряко с намаляването на автомобилите, задвижвани с

класическо гориво (бензиново и дизелово). Това намаляване е за сметка на повишаването на процента автомобили, ползващи алтернативна енергия и електрическите автомобили (Табл. 2, Фиг. 3). За тези четири години електрическите автомобили в движение във Франция са се увеличили почти три пъти, а те са с нулеви емисии, отделяни от изпускателната система на автомобила при експлоатация (Табл. 2). В допълнение, автомобилите в движение във Франция, отделящи по-малко вредни емисии и отговарящи на критериите Crit'Air 0/E и Crit'Air 1 са се увеличили, като съответно за същия период от време са намалели автомобилите, отговарящи на критериите Crit'Air 2, 3, 4, 5 и некласифицирани, които отделят повече вредни емисии в атмосферата (Фиг. 4). За разглеждания период всички предприети мерки водят до понижаване на емисиите замърсители на въздуха NOx, $ФПЧ_{10}$, $ФПЧ_{2.5}$, изпускани от автомобилите в движение във Франция. Обратно – за същия период от време емисиите на SO_2 се покачват (Фиг. 5).

За да отговарят на екологичните стандарти за вредни емисии ДВГ на автомобилите е необходимо да разполагат с редица технологии, които да подобрят системите за обработка на въздух, за впръскване на гориво, за последваща обработка на отработените газове, за качеството на горивото и др. Физичните и химични свойства на горивото оказват влияние върху емисиите на отработени газове от автомобилите. Съдържанието на сяра е един важен параметър сред свойствата на дизеловото гориво и е ключов контролиран фактор за горивния стандарт [11]. Сярата е един от естествените примеси на дизеловото гориво, като при изгаряне образува SO_2, създавайки емисии, които влияят неблагоприятно върху атмосферния въздух, екосистемите и човешкото здраве [6].

Главен източник за емисии от SO_2 са дизеловото и бензиновото гориво. Отстраняването на сярата от бензиновите и дизеловите горива е от решаващо значение за отделяните от превозните средства емисии. Емисиите на SO_2 се увеличават с натоварването на двигателя, малкото количество гориво в цилиндъра при ниско натоварване на двигателя води до малка концентрация на сяра в сместа „въздух-гориво“ и ниски емисии на SO_2 в отработените газове на двигателя. Емисиите на SO_2 се увеличават с повече впръскано гориво в цилиндъра. Емисиите на SO_2 намаляват със съдържанието на сяра в горивото. Това показва, че сярата в горивото има пряко въздействие върху емисиите на SO_2 от двигателя [11].

Въвеждането на стандарти за допустими вредни емисии на автомобилите в движение върху качеството на атмосферния въздух във Франция е пряко свързано с непрекъснатото увеличаване на автомобилите в движение и увеличаването на средната им възраст, което вероятно се дължи на световната икономическа обстановка, която възпира потребителите от покупка на нови и по-екологични превозни средства. Въвеждането на тези стандарти цели: да се намали процента на автомобилите с ДВГ в движение и процента на автомобилите с дизелови двигатели в движение; да се увеличи процента на автомобилите с бензинови двигатели в движение спрямо дизеловите двигатели; да се увеличи процента на автомобилите, задвижвани с алтернативна енергия и тези на автомобилите с Plug-in хибридни двигатели, с електрически двигатели и водородни двигатели в движение; да се повиши процента на автомобилите с най-високите Евро категории и най-ниските Crit'Air категории.

Въвеждането на стандарти за допустими вредни емисии на автомобилите за подобряване на качеството на атмосферния въздух е приложимо благодарение на разширяването на възможностите за разработка и вграждане на нови технологии в МПС като: автомобили, използващи електрическа и друга алтернативна енергия; използване на филтри за твърди частици (DPF) при дизеловите автомобили; подобряване на качеството на горивата; използване на иновативни двигатели, вграждани в автомобилите; използване на катализатори в изпускателните системи на автомобилите; вграждане на системи за рециркулацията на отработените газове (EGR); вграждане на системи за селективна каталитична редукция (SCR); оптимизация на аеродинамиката и теглото на автомобилите; системи за автоматично изключване на двигателя при престой.

Заключение

Въведените във Франция стандарти Crit'Air и Евро са част от екологичните мерки по отношение на качеството на атмосферния въздух и подобряване на градската среда.

Независимо от общото повишаване на броя на автомобили в движение във Франция и покачването на средната им възраст чрез въведените стандарти са постигнати положителни ефекти за качеството на атмосферния въздух като са понижени нивата на замърсяване с NOx, $ФПЧ_{10}$, $ФПЧ_{2.5}$ чрез: намаляване на процента автомобили с ДВГ; повишаване на автомобилите, задвижвани с електричество и алтернативна енергия; цялостно повишаване на броя автомобили от екологичните категории Crit'Air. Единственият показател, по който няма подобрение е съдържанието на SO_2 във въздуха, което се дължи на по-високо съдържание на сяра в горивото. Отстраняването на сярата от бензиновите и дизеловите горива ще бъде от решаващо значение за контрола на емисиите от превозните средства.

Предимствата на Франция от въвеждането на двата екостандарта са:

- чрез стандарта Crit'Air се проследяват нивата на SO_2, който не се следи от евростандартите за изгорели газове Евро;
- подобряването на качеството на атмосферния въздух, а оттам и опазване на здравето на хората в големите градове;
- възможност на местните власти да въвеждат ограничения по време на пикове на замърсяване, като ограничават движението на автомобили с по-висока категория стикери (например Crit'Air 4 и 5), което не се контролира от екологичните изисквания, въведени със стандарта Евро;
- цялостно подобряване на качеството на въздуха, градската среда и качеството на живот, което е в отговор на целите за устойчиво развитие.

Благодарности

Резултатите са получени с подкрепата на Департамент „Природни науки" в НБУ като част от дипломна теза в БП „Екология и опазване на околната среда ДО".

Литература:

1. ЕСП-2018, Европейска сметна палата. Специален доклад 23/2018 „Замърсяване на въздуха – здравето ни все още не е достатъчно защитено": https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/air-quality-23-2018/bg/#box1
2. ЕСП-2025, Европейска сметна палата. Специален доклад 02/2025 „Градско замърсяване в ЕС – по-чист въздух в градовете, но шумовото замърсяване остава", Служба за публикации на Европейския съюз, 2025 г.: https://www.eca.europa.eu/bg/publications/sr-2025-02
3. ИАОС-ОВКАЗЧЗ, Изпълнителна агенция по околна среда. Оценка на влиянието на контролираните атмосферни замърсители върху човешкото здраве: https://eea.government.bg/ocenka-vliyanie
4. ИАОС-СИНКАВ, Изпълнителна агенция по околна среда. Система за информиране на населението за качеството на атмосферния въздух: https://eea.government.bg/kav/questions/
5. Chakraborty, S., B. Kramer, B. Kroposki. 2009. A review of power electronics interfaces for distributed energy systems towards achieving low-cost modular design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 13(9), 2323-2335. https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.05.005
6. Daemme, L., de Arruda Penteado, R., Silva, K., Errera, M., M. Z. Zotin, F. 2014. Regulated and Non-Regulated Emissions from a Light-Duty Diesel Car Fueled with Different Diesel Sulfur Content, SAE Technical Paper 2014-36-0110: https://doi.org/10.4271/2014-36-0110
7. EEA, European Environment Agency, Europe's Environment 2025, Air pollution and impacts on human health,: https://www.eea.europa.eu/en/europe-environment-2025/thematic-briefings/environment-and-human-health/air-pollution-and-impacts-on-human-health
8. Miner, P., Barbara M. Smith, Anant Jani, Geraldine McNeill, Alfred Gathorne-Hardy. 2024. Car harm: A global review of automobility's harm to people and the environment. *Journal of Transport Geography*. 15. 103817: https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2024.103817
9. Ministère de la Transition écologique, de la Biodiversité et des Négociations internationales sur le climat et la nature, France: https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/certificats-qualite-lair-critair
10. Official website of the Crit'Air sticker: https://www.certificat-air.gouv.fr/
11. Pi-Qiang Tan, Zhi-Yuan Hu, Di-Ming Lou. 2009. Regulated and unregulated emissions from a light-duty diesel engine with different sulfur content fuels. *Fuel*, 88(6), 1086–1091: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.11.031
12. RAC, Royal Automobile Club: https://www.rac.co.uk/drive/advice/emissions/euro-emissions-standards/
13. SDES, Les rejets de polluants dans l'air: résultats complémentaires du bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2021: https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/les-rejets-de-polluants-dans-lair-2021
14. SDES, Les rejets de polluants dans l'air : résultats complémentaires du bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2022: https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/les-rejets-de-polluants-dans-lair-resultats-complementaires-du-bilan-de-la-qualite-de-lair
15. SDES, Les rejets de polluants dans l'air : données détaillées du bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2023: https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/les-rejets-de-polluants-dans-lair-donnees-detaillees-du-bilan-de-la-qualite-de-lair-exterieur-en-0
16. SDES, Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2024: https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/media/8742/download?inline
17. UNDP, United Nations Development Programme: https://www.undp.org/sustainable-development-goals
18. UN-SDG, United Nations, Sustainable Development Goals: https://sdgs.un.org/goals
19. WHO, World Health Organization. Air Pollution: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1
20. WHO-GAQG, World Health Organization. 2021. WHO Global Air Quality Guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. https://iris.who.int/handle/10665/345329