



# PŘEHLED VÝVOJE EMISNÍCH STANDARDŮ PRO OMEZENÍ ZNEČIŠŤOVÁNÍ OVZDUŠÍ NESILNIČNÍMI MOBILNÍMI STROJI

## OVERVIEW OF THE DEVELOPMENT OF EMISSION STANDARDS FOR THE REDUCTION OF AIR POLLUTION BY NONROAD MOBILE MACHINERY

Jan Verner<sup>1\*</sup>

---

**Abstrakt** Každý stroj poháněný spalovacím motorem má vliv na obecnou úroveň antropogenního znečištění. Tyto pohony podléhají různým předpisům omezujícím jejich emise pro provozní podmínky a aplikace. Jednou ze skupin takových strojů popsanych v evropských či amerických předpisech jsou nesilniční mobilní stroje. Jelikož není problematika v českých odborných časopisech souhrnně uvedena a zahraniční literatura obsahuje jen málo informací, je cílem tohoto příspěvku prezentace stávajících legislativních regulací týkajících se limitů emisí škodlivých látek z výfukových plynů, které jsou vytvářeny vznětovými spalovacími motory nesilničních mobilních strojů, speciálně hnacími drážními vozidly.

**Klíčová slova** lokomotiva, nesilniční mobilní stroj, emisní předpisy, výfukové plyny, drážní vozidla

**Summary** Every machine powered by an internal combustion engine has an effect on the general level of anthropogenic pollution. These actuators are subject to various regulations limiting their emissions for operating conditions and applications. One of the groups of such machines described in European or American regulations are non-road mobile machines. As the issue is not summarized in Czech professional journals and foreign literature contains little information, the aim of this paper is to present existing legislative regulations concerning limits of pollutants from exhaust gases, which are generated by diesel internal combustion engines of non-road mobile machinery, especially traction rail vehicles.

**Keywords** locomotive, nonroad machinery, emission standard, exhaust emissions, rail vehicles

---

<sup>1</sup> Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra dopravních prostředků a diagnostiky, Studentská 95, 532 10 Pardubice, Česká republika

\*korespondenční autor, e-mail: jan.verner@upce.cz

## 1 ÚVOD

Se spalovacími motory používanými v dopravních prostředích se setkáváme prakticky denně. Od vozidel sloužících pro přepravu cestujících a přepravu zboží až po zvláštní vozidla vyrobená k jiným účelům než k provozu na pozemních komunikacích, která mohou být při splnění podmínek stanovených zákonem k provozu na pozemních komunikacích schválena. Spalovací motory jsou nedílnou součástí dnešní ekonomiky, ale jsou také již dlouho uznávány jako významný zdroj emisí znečišťujících látek, které přispívají ke špatné kvalitě ovzduší, negativním dopadům na lidské zdraví a změně klimatu (Gnap et al., 2020; Vichova et al., 2021). Ačkoliv se emise znečištění ovzduší v Evropě v posledních desetiletích výrazně snížily (Lacressonnière et al., 2017), koncentrace znečištění v ovzduší jsou stále vysoké a stále máme problémy s kvalitou ovzduší (Squizzato et al., 2017). Problém znečištění ovzduší především ve velkých aglomeracích vede k implementaci zákonných omezení emisí škodlivých výfukových plynů ve všech průmyslových odvětvích (Jaś-Nowopolska, 2014) a usilí o zmírnění dopadu emisí ze spalovacích motorů hraje klíčovou roli ve strategiích řízení kvality ovzduší po celém světě. Regulační programy pro snižování emisí byly obvykle nejprve vyvinuty pro motory používané pro silniční aplikace. Postupným procesem vědeckého poznání byly implementovány programy pro jiné typy mobilních zdrojů, včetně nesilničních vozidel a vybavení, námořních plavidel a letadel a lokomotiv. Obecně se dalo říct, že zaostávaly za programy pro silniční motorová vozidla. Mnoho zemí po celém světě tak přikročilo k důslednému omezování emisí z nesilničních mobilních zdrojů znečištění. Ačkoliv se nyní mnoho zemí zaměřuje na vývoj programů k omezování emisí z nesilničních mobilních zdrojů znečištění, tak dva regiony udávají trend v těchto regulačních programech; jsou jimi Spojené státy americké a Evropské unie. Cílem tohoto příspěvku není definovat výzkumné otázky či metody řešení jako je porovnání emisních limitů na konkrétních případových studiích. cílem tohoto příspěvku prezentace stávajících legislativních regulací týkajících se limitů emisí škodlivých látek z výfukových plynů.

## 2 EMISNÍ STANDARDY

Stejně jako v oblasti průmyslu, tak i v dopravě je posledních 30 let zaměřeno na systematické omezování škodlivých emisí. V roce 1994 americká agentura pro ochranu životního prostředí (EPA) zveřejnila emisní normy pro nesilniční vznětové motory, následovaná Evropskou unií byla v roce 1997. Emisní normy v obou regionech se obecně shodují, a to z důvodů zamezení nejasností spojených s rozdíly mezi motory prodávanými v obou regionech. Regulační programy vyvinuté v USA a EU posloužily jako modely pro ostatní země, které implementovaly programy pro kontrolu emisí z nesilničních dieselových motorů.

První vyhláškou, která stanovila limity emisí spalovacích motorů pro nově vyráběné lokomotivy, byla vyhláška ERRI (European Rail Research Institute). Normy ERRI vcházely v platnost postupně a jejich platnost lze odvodit od jejich označení ERRI 1997, ERRI 2003 a poslední ERRI 2008. Norma ERRI 2008 se stala výchozím dokumentem pro jednotnou legislativu upravující emise motorů pro kolejová vozidla v EU a byla posléze nahrazena předpisem Stage IIIA. Pro motory vyrobené po 1. lednu 2012 je pak závazná norma STAGE IIIB. Poslední platná emisní norma pro lokomotivní motory má označením Stage V a vstoupila v platnost 1. ledna 2019. Norma Stage V se už neliší v hodnotách emisí ve srovnání s limity Stage IIIB, ale navíc požaduje záruku od výrobců, že motory splňující STAGE V budou uvedené limity splňovat i po 10 000 mth provozu.

Obecně lze říct, že pro splnění norem ERRI 1997 až ERRI 2008 (STAGE IIIA) se konstrukční změny motorů týkaly „pouze“ optimalizace spalovacího procesu (např. vysokotlaké vstřikování paliva s elektronickým řízením, optimalizace poměru palivo/vzduch, doplnění chladiče plnicího vzduchu motoru, dosazení elektronické řídicí jednotky motoru). Avšak pro splnění emisních limitů předepsaných normou STAGE IIIB a Stage V bylo nutné spalovací motory navíc osadit emisními moduly. Pro splnění emisní normy STAGE IIIB, respektive Stage V pro motory s výkonovým rozpětím 0–560 kW se používá technologie EGR – Engine Gas Recirculation (recirkulace části spalin) s cílem snížení tvorby oxidů dusíku (Nox), dále OC – Oxidation Catalyst (oxidační katalyzátor) s cílem redukce oxidu uhelnatého (CO) na oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) a DPF – Diesel Particulate Filter (filtr pevných částic) pro zachycení sazí a jejich následné spálení. Lokomotivní motory s výkony v rozmezí 561–950 kW pro splnění emisní normy Stage IIIB a Stage V pak používají kombinaci

technologií EGR a OC. Pro splnění emisní normy Stage IIIB a Stage V u motorů s výkony nad 951 kW a to v rozpětí 1 300 – 2 800 kW jsou použity technologie jako SCR (Selective Catalyst Reduction) pro redukci NO<sub>x</sub>, jejíž podstatou je vstřikování chemicky vysoce čistého vodného roztoku syntetické močoviny do výfuku, kde následně dochází k chemické reakci NH<sub>3</sub> a NO<sub>x</sub> za vzniku N<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>O.

## 2.1 Spojené státy americké

Níže je uveden přehled emisních norem pro nesilniční mobilní stroje v USA.

### Tier 1

Emisní normy Tier 1 pro nesilniční mobilní stroje se jmenovitým výkonem 37 kW nebo vyšším byly vyhlášeny v roce 1994 (EPA, 1994a). Normy byly postupně zaváděny v letech 1996 až 2000 v závislosti na výkonové třídě motoru. Normy Tier 1 pro motory pod 37 kW byly následně zavedeny v roce 1998 (EPA, 1998b). Normy Tier 1 byly poprvé implementovány pro motory mezi 130 a 560 kW kvůli jejich podobnosti s motory používaných u silničních vozidel a relativně přímočarému přenosu technologií pro kontrolu emisí. Emisní normy Tier 1 byly zaměřeny především na snížení emisí NO<sub>x</sub> a kouře z nesilničních mobilních zdrojů. V procesu tvorby pravidel organizace EPA vyjádřila pochybnosti o reprezentativnosti zkušebních cyklů v ustáleném stavu pro charakterizaci provozních emisí uhlovodíků (HC), CO a pevných částic (PM). Vzhledem k tomu, že tyto emise mají tendenci zvyšovat svou koncentraci během reálného provozu, tak EPA neočekávala, že by regulace vedla ke snížení emisí v reálných podmínkách. Nicméně i tyto emise byly zahrnuty do normy pro motory s výkonem 130 kW nebo vyšším, aby byla zajištěna harmonizace předpisů s Kalifornií a Evropskou unií.

### Tier 2

Emisní normy Tier 2 a 3 pro nesilniční mobilní zdroje znečištění byly vyhlášeny v roce 1998 (EPA, 1998b). Normy Tier 2 byly implementovány v letech 2001 až 2006 na základě třídy výkonu motoru a paralelních norem EPA 1998 pro silniční těžká nákladní vozidla. Emisní limity pro pevné částice byly sníženy o 63 % u motorů o výkonu 130–560 kW a byly zahrnuty poprvé pro motory o výkonu 37–130 kW. Program Tier 2 zavedl kombinovaný limit pro nemethanové uhlovodíky (NMHC) a NO<sub>x</sub>. V normě Tier 2 byly poprvé regulovány emise z klikové skříně u motorů s přirozeným sáním. Přísnost norem Tier 2 byla také zvýšena zahrnutím požadavků na životnost, kdy se od výrobců motorů požadovalo, aby prokázali, že emisní výkonnost je zachována po celou dobu životnosti motoru.

### Tier 3

Standardy Tier 3 byly postupně zaváděny v letech 2006 až 2008 a to pro motory s výkonem v rozmezí 37 a 560 kW. Limit NMHC+NO<sub>x</sub> byl snížen až o dalších 39 % ve srovnání s úrovněmi Tier 2 pro motory s výkonem v rozmezí 37 a 560 kW. Limit pro CO se oproti úrovním Tier 2 nezměnil. V době tvorby pravidel u normy Tier 3 musel být ještě vyvinut nesilniční testovací cyklus a nebyly tak zavedeny předpisy týkající se obsahu síry v palivu pro nesilniční naftu. Z těchto důvodů nebyly do tvorby pravidel Tier 3 zahrnuty nové standardy PM.

### Tier 4

Emisní normy Tier 4 byly přijaty EPA v roce 2004 a implementovány v letech 2008 až 2014 (EPA, 2004b). EPA odhaduje, že tyto normy povedou k více než 90% snížení emisí NO<sub>x</sub> a PM a prakticky k odstranění emisí oxidů síry z motorů s certifikací Tier 4. Norma Tier 4 bere motory a palivo jako sobě rovné, a dochází tak ke zpřísnění limitu na obsah síry v motorové naftě, ten byl snížen o 99 %. Toto zpřísnění limitu obsahu síry v nesilniční naftě podpořilo snížení emisí prostřednictvím přímé kontroly emisí pocházejících ze síry (např. oxidu siřičitého a pevných částic) a odstranění hlavní překážky pro implementaci pokročilých technologií kontroly emisí. Byl zaveden nový cyklus v podobě dynamické zkoušky nesilničních pojízdných strojů (NRTC). Test NRTC byl vyžadován pro certifikaci motoru od roku 2011 pro motory 130–560 kW, od

roku 2012 pro motory 56–130 kW a od roku 2013 pro motory menší než 56 kW. Motory nad 560 kW a motory s proměnným zatížením s konstantní rychlostí byly vyjmuty z testování na NRTC.

## 2.2 Evropská Unie

Níže je uveden přehled emisních norem pro nesilniční mobilní stroje v Evropské unii.

### STAGE I

Emisní norma STAGE I pro nesilniční mobilní zdroje byla stanovena ve směrnici 97/68/ES vyhlášené Evropskou komisí a postupně zaváděna od roku 1999 do roku 2002 (EC, 1997). Norma STAGE I omezovala škodlivé látky stejně jako paralelně platná norma EPA Tier 1 a platila pro motory s jmenovitým výkonem mezi 37 a 560 kW. Limity HC, CO a PM byly zahrnuty pro všechny regulované výkonové třídy, na rozdíl od amerických norem Tier 1, kde byly limity pro tyto znečišťující látky zahrnuty pouze pro motory o výkonu 130–560 kW. Limity CO byly stanoveny na hodnotu 5 g/kWh oproti 11,4 g/kWh v odpovídajících amerických normách.

### STAGE II

Norma STAGE II byla vyhlášena spolu se STAGE I ve směrnici 97/68/ES. Normy byly stanoveny pro motory o výkonu 18 až 560 kW. Standardy STAGE II byly postupně zaváděny od roku 2002 do roku 2003. Emisní normy pro PM a NO<sub>x</sub> byly sníženy o 50 až 60 % u PM a asi 30 % u NO<sub>x</sub> ve srovnání se STAGE I. Na rozdíl od programů EPA Tier 1 a 2, regulované motory v rámci programů STAGE I a II nezahrnovaly motory s konstantními otáčkami.

### STAGE IIIA

Norma STAGE IIIA byla vyhlášena v roce 2004 prostřednictvím směrnice 2004/26/ES a postupně zaváděny v letech 2006 až 2007 (EC, 2004). Norma STAGE IIIA je ekvivalentem k americké normě Tier 3 pro motory o výkonu 19–560 kW. Poprvé byly do předpisů EU zahrnuty motory s konstantními otáčkami pro nesilniční mobilní zdroje.

### STAGE IIIB

Standardy STAGE IIIB byly vyhlášeny prostřednictvím stejné směrnice (2004/26/ES) jako norma STAGE IIIA. Normy byly zaváděny postupně v letech 2011 až 2013. Norma STAGE IIIB regulují motory o výkonu 37 až 560 kW a do značné míry odrážejí americkou normu Tier 4, s výjimkou limitů emisí pevných částic pro určité výkonové třídy. Normy PM u STAGE IIIB pro 37–56 kW jsou o 92 % nižší než odpovídající limity Tier 4i. Pro výkonovou třídu 56–560 kW je emisní limit pevných částic 0,025 g/kWh v normě STAGE IIIB ve srovnání s 0,02 g/kWh v normách Tier 4i. Vzhledem k tomu, že postupy v USA pro hlášení certifikace motoru emisní hodnoty PM vyžadují zaokrouhlení na dvě desetinná místa, jsou tyto dvě normy PM funkčně shodné. STAGE IIIB prosadila limit na emise čpavku, které neměly překročit 25 ppm během certifikačního testovacího cyklu. Počínaje STAGE IIIB bylo vyžadováno testování podle NRTC pro všechny výkonové třídy motoru.

### STAGE IV

Norma STAGE IV pro nesilniční motory a pro zemědělské a lesnické traktory byla přijata v roce 2005 prostřednictvím směrnice 2004/26/ES. Norma STAGE IV byla implementována v roce 2014 a do značné míry odrážela normu EPA Tier 4f pro běžně regulované výkonové třídy, s výjimkou motorů mezi 19 a 37 kW, které byli i nadále regulovány dle úrovně STAGE IIIA. Norma STAGE IV zpřísňuje emisní limit amoniaku na 10 ppm.

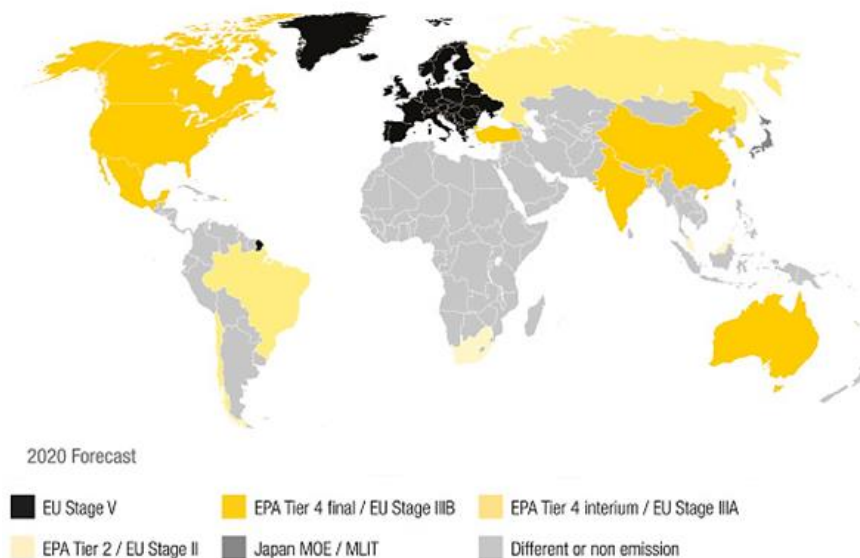
### STAGE V

Norma STAGE V byly navržena v roce 2014 a v roce 2019, začala platit pro motory do 56 kW a nad 130 kW a od roku 2020 pro motory o výkonech v rozmezí 56 až 130 kW. Na rozdíl od předchozích norem

se STAGE V poprvé vztahuje také na dieselové motory s výkonem pod 37 kW i na ty s výkonem nad 560 kW. Norma STAGE V poprvé zavedla limity počtu částic PN pro nesilniční motory. Limity STAGE V PM pro motory od 19 do 560 kW jsou o 40 % přísnější oproti úrovni STAGE IV.

### 2.3 Globální regulační programy

Mnoho zemí po celém světě přijalo předpisy pro nesilniční motory rovnocenné s U.S. nebo programy EU. Země jako Kanada, Japonsko a Jižní Korea již zavedly Tier 4 nebo ekvivalentní standardy Tier 4. Bližší znázornění dnes používaných emisních standardů napříč všemi státy světa je patrné na obrázku 1. Jednou z významných světových ekonomik, podílejícím se na významném znečišťování planety je Čína. Nesilniční normy v Číně jsou v současné době rovnocenné s EU Stage IIIB. V prosinci 2020 Ministerstvo pro ekologii a životní prostředí (MEE) aktualizovalo emisní normy China IV pro nesilniční mobilní zdroje znečištění. Stanovuje nové požadavky na limity počtu částic PN, používání sledovacích systémů GPS (Global Positioning System) a testování přenosných systémů měření emisí (PEMS) pro zlepšení shody mezi laboratorními měřeními a reálným světem. Aktualizované standardy China IV budou postupně zaváděny od prosince 2022 pro všechna naftová nesilniční zařízení s velikostí motoru menší než 560 kW.



Obr. 1 Přehled emisních standardů z nesilničních mobilních zdrojů; zdroj: <https://keestrack.com/cs/news-press/nonroad-machinery-emissions-forecasts>

## 3 ZÁVĚR

Technická složitost nesilničních mobilních strojů za posledních 30 let výrazně pokročila v reakci na stále přísnější regulační programy ve Spojených státech a Evropské unii. Dnes prodávané motory musí splňovat limity emisí PM a NO<sub>x</sub>, které jsou přibližně o 95 % nižší než limity Tier 1/STAGE I zavedené v polovině 90. let. Vývoj, který umožnil tato snížení emisí, byl z velké části zapříčiněn integrací technologií používaných v lehkých užitkových vozidlech používaných v každodenním životě. Po zavedení regulačních programů v obou regionech byla počáteční zlepšení emisního výkonu nesilničních mobilních strojů z velké části realizována prostřednictvím technických úprav ve spalovacím prostoru, jejichž cílem bylo omezit množství znečištění vznikajícího během spalovacího procesu. Mezi důležité technologie motorů přijaté během počátečních regulačních fází patří sofistikovanější systémy vstřikování paliva za vyššího tlaku zahrnující elektronické ovládání, turbodmychadla se systémy chlazení pnicího vzduchu a recirkulaci výfukových plynů.

Pomocí těchto technologií byli výrobci nesilničních mobilních strojů schopni splnit regulační limity pro fázi Tier 3 / STAGE IIIA. Počínaje rokem 2011, kdy byly implementovány normy Tier 4i / STAGE IIIB, již tyto prvky ve spalovacím prostoru nestačily ke splnění emisních požadavků pro nesilniční mobilní stroje, a tak se zařízení pro dodatečnou úpravu stala běžnou v konstrukcích nesilničních mobilních strojů. Pro větší motory výrobci obecně přijali balíčky pro regulaci emisí založené na SCR pro regulaci NO<sub>x</sub> a oxidační katalyzátory pro regulaci PM. I když bylo dosaženo významného pokroku v omezování emisí z nesilničních mobilních strojů, tak tato kategorie zdrojů stále zůstává významným zdrojem emisí látek znečišťujících ovzduší.

## Literatura

DieselNet. Přehled emisních standardů. [Online]. Dostupné z: <https://dieselnet.com/standards/> [cit.: 2021, 31. říjen].

European Commission (EC). **1997**. Directive 97/68/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 1997 on the approximation of the laws of the Member States relating to measures against the emission of gaseous and particulate pollutants from internal combustion engines to be installed in non-road mobile machinery. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:31997L0068> [cit.: 2021, 26. říjen].

European Commission (EC). **2004**. Directive 2004/26/EC of the European Parliament and of the Council of 21 April 2004 amending Directive 97/68/EC on the approximation of the laws of the Member States relating to measures against the emission of gaseous and particulate pollutants from internal combustion engines to be installed in non-road mobile machinery. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32004L0026R%2801%29> [cit.: 2021, 28. říjen].

Gnap, J., Šarkan, B., Konečný, V., Skrúcaný, T. 2020. The impact of road transport on the environment. *Ecology in Transport: Problems and Solutions*, Springer. s. 251-309.

Jaś-Nowopolska, M. **2014**. Selected activities leading to minimize the car's exhaust emissions. *Przegląd Prawa Ochrony Środowiska*, s. 201–218, <<https://doi.org/10.12775/PPOS.2014.008>>

Lacressonnière, G., Watson, L., Gauss, M., Engardt, M., Andersson, C., Beekmann, M., Colette, A., Foret, G., Josse, B., Marécal, V., Nyiri, A., Siour, G., Sobolowski, S., Vautard, R. **2017**. Particulate matter air pollution in Europe in a +2 °C warming world. *Atmospheric environment*, 154, s. 129–140. <<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.01.037>>

Squizzato, S., Cazzaro, M., Innocente, E., Visin, F., Hopke, PK, Rampazzo, G. **2017**. Urban air quality in a mid-size city—PM<sub>2.5</sub> composition, sources and identification of impact areas: from local to long range contributions. *Atmospheric Research* 186, s. 51–62. <<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.11.011>>

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). **1994a**. Determination of Significance for Nonroad Sources and, Emission Standards for New Nonroad Compression-Ignition Engine At or Above 37 Kilowatts; Final Rule. Federal Register, Vol 59. No.116. Dostupné z: <https://www3.epa.gov/otaq/nonroad-diesel.html> [cit.: 2021, 11. říjen].

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). **1998b**. Control of Emissions of Air Pollution From Nonroad Diesel Engines; Final Rule. Federal Register. Vol 63. No.205. Dostupné z: <https://www3.epa.gov/otaq/nonroad-diesel.html> [cit.: 2021, 28. říjen].

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). **2004b**. Control of Emissions of Air Pollution From Nonroad Diesel Engines and Fuel; Final Rule. Federal Register. Vol 69. No.124. Dostupné z: <https://www3.epa.gov/otaq/nonroad-diesel.html> [cit.: 2021, 28. říjen].

Vichova, K., Veselik, P., Heinzova, R., Dvoracek, R. **2021**. Road Transport and Its Impact on Air Pollution during the COVID-19 Pandemic. *Sustainability*, 13(21), 11803.