



Czech Raildays 2009

**Kolejová vozidla, komponenty,
systémy, infrastruktura, ...**

**Spalovací motory Caterpillar
pro platné emisní limity
Stage IIIA**

**Ing. Jiří Štěpánek
CZ LOKO, a.s.**

CZ LOKO a.s.
Bezručovo náměstí 580
560 02 Česká Třebová

Ing. Jiří Štěpánek
+420 602 234 778
jiri.stepanek@czloko.cz

1. Úvod

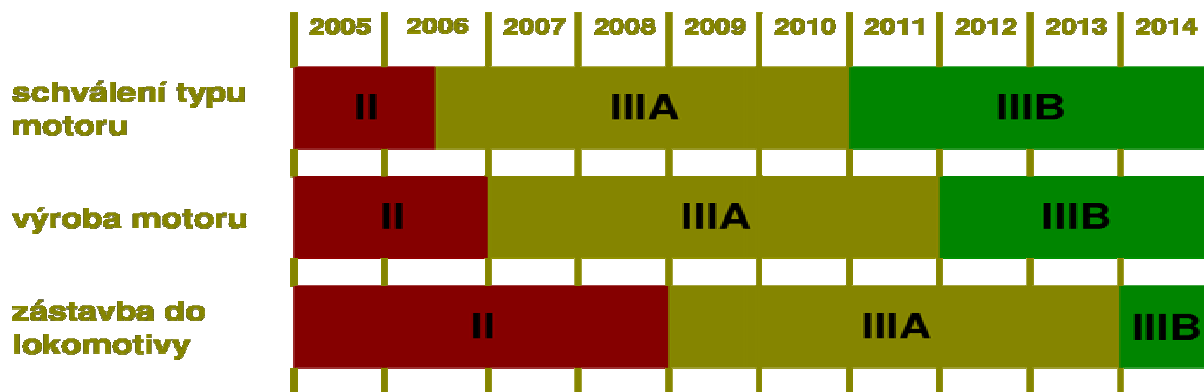
Celosvětový trend v omezování škodlivých emisí se projevuje i v železniční dopravě. Pro firmu CZ LOKO, producenta motorových lokomotiv, se tato situace projevuje především v souvislosti s přijímáním evropské legislativy v České republice. Základním dokumentem, který ovlivňuje emise spalovacích motorů je směrnice EU 2004/26/EC.

Pro splnění požadovaných emisních limitů musely být vyvinuty nové, resp. inovované spalovací motory. I přední světový výrobce spalovacích motorů, firma Caterpillar, připravil několik motorů, které pokryjí výkonové spektrum lokomotivních aplikací CZ LOKO.

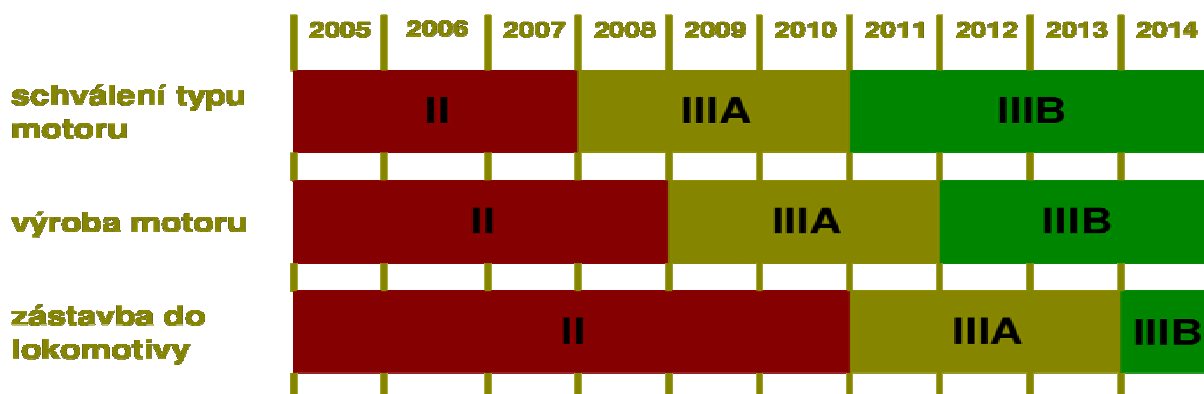
2. Emisní požadavky EU

Od roku 2004 je v platnosti směrnice Evropské unie 2004/26/EC, která zavádí emisní limity pro různá kolejová vozidla (lokomotivy, motorové vozy) v kategoriích do a nad 560 kW jmenovitého výkonu. Tyto limity vstupují postupně v platnost ve stupních („EU Stage“) II, IIIA a IIIB tak, jak je graficky znázorněno na obr. 1 a obr. 2. Hodnoty těchto emisních limitů pro železniční aplikace jsou uvedeny v tab. 1.

obr. 1: Zavádění emisních limitů EU pro motory do 560 kW



obr. 2: Zavádění emisních limitů EU pro motory nad 560 kW



tab. 1: Emisní limity 2004/26/EC Stage IIIA pro železniční aplikace

LOCOMOTIVE ENGINES					
Category	Power (P)	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NOx (g/kWh)	Particulates (g/kWh)
Stage IIIA					
RL A	130 ≤ P ≤ 560 kW	3,5	Total HC + NOx 4,0		0,20
RH A	P > 560 kW	3,5	0,5	6,0	0,20
	P > 2000 kW and Swept Volume > 5l/cyl	3,5	0,4	7,4	0,20
Stage IIIB					
R B	P > 130 kW	3,5	Total HC + NOx 4,0		0,025
RAILCAR ENGINES					
Category	Power (P)	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NOx (g/kWh)	Particulates (g/kWh)
Stage IIIA					
RC A	P > 130 kW	3,5	Total HC + NOx 4,0		0,20
Stage IIIB					
RC B	P > 130 kW	3,5	0,19	2,0	0,025
ENGINES WITH CONSTANT SPEED					
Category	Power (P)	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NOx (g/kWh)	Particulates (g/kWh)
Stage IIIA					
H and I	75 ≤ P ≤ 560 kW	3,5	Total HC + NOx 4,0		0,20

3. Technologie ACERT pro spalovací motory do 1000 kW

V souvislosti se změnami v legislativě emisí spalovacích motorů vyvinul Caterpillar v rámci největšího a nejdražšího vývojového úkolu své historie novou technologii pro jejich snížení. Tato technologie se nazývá ACERT (Advanced Combustion Emissions Reduction Technology) a je aplikována na nejnovější řadu spalovacích motorů Cx.

Snížení emisí bylo dosaženo úpravami několika oblastí spalovacího motoru:

Řídicí elektronika

- řídicí jednotka ADEM A4 (32 bitový procesor s vyšším výkonem oproti předchozí verzi A3, větší paměť)
- řídicí jednotka ADEM A4-E2 pro motory C4.4 a C6.6 (jiný design pro malé motory)



Vstřikovací systém

- CCR u motorů C4.4 a C6.6
- HEUI u motorů C7 a C9
- MEUI u ostatních motorů
- nové vstřikovací jednotky s přesnějším dávkováním paliva, synchronizace vstřiků



Plnicí vzduch a výfukové plyny

- průtok plnicího vzduchu napříč hlavami válců – lepší plnění a proplachování válců
- čtyři ventily na válec (kromě C7, který má 3)
- chladnější plnicí vzduch (49 °C)
- regulace průtoku zplodin turbodmychadlem pomocí wastegate (tlakově nebo elektronicky regulovaný průtok přes turbínu popř. bypasem)



Spalování

- použití různých pístů u různých motorů (ocelové nebo hliníkové, pevné nebo dělené)
- zvláštní opracování plochy pístů – zlepšení mazání a zároveň zvýšení jeho těsnosti
- zvýšení kompresního poměru na 18 : 1
- ojnice dělené kontrolovaným lomem – vyšší přesnost montáže



Důsledky

Tyto úpravy sice zajistily splnění emisních limitů požadovaných evropskou legislativou, ale přinesly další problémy pro zástavbu a provoz těchto motorů. Došlo ke zvýšení nároků na chladicí systém (prostorové problémy, vyšší chladicí výkon) a také ke zvýšení měrné spotřeby paliva oproti jejich předchůdcům.

4. Řešení pro spalovací motory řady 3500

Motory řady 3500 jsou natolik provozně osvědčené, že nebylo přistoupeno k jejich nahrazení řadou Cx ACERT, ale bylo hledáno individuální řešení.

Ke změnám došlo hlavně v oblasti plnicího vzduchu, spalovacího prostoru a výfuku:

- dvoustupňový mezichladič plnicího vzduchu (předchlazení kapalinou hlavního okruhu, dochlazení kapalinou samostatného vedlejšího okruhu)
- nová, výkonnější turbodmychadla
- použití wastegate
- zvýšení zdvihu pístů u 12- a 16- válcové verze na 215 mm (sufix HD)

Důsledky

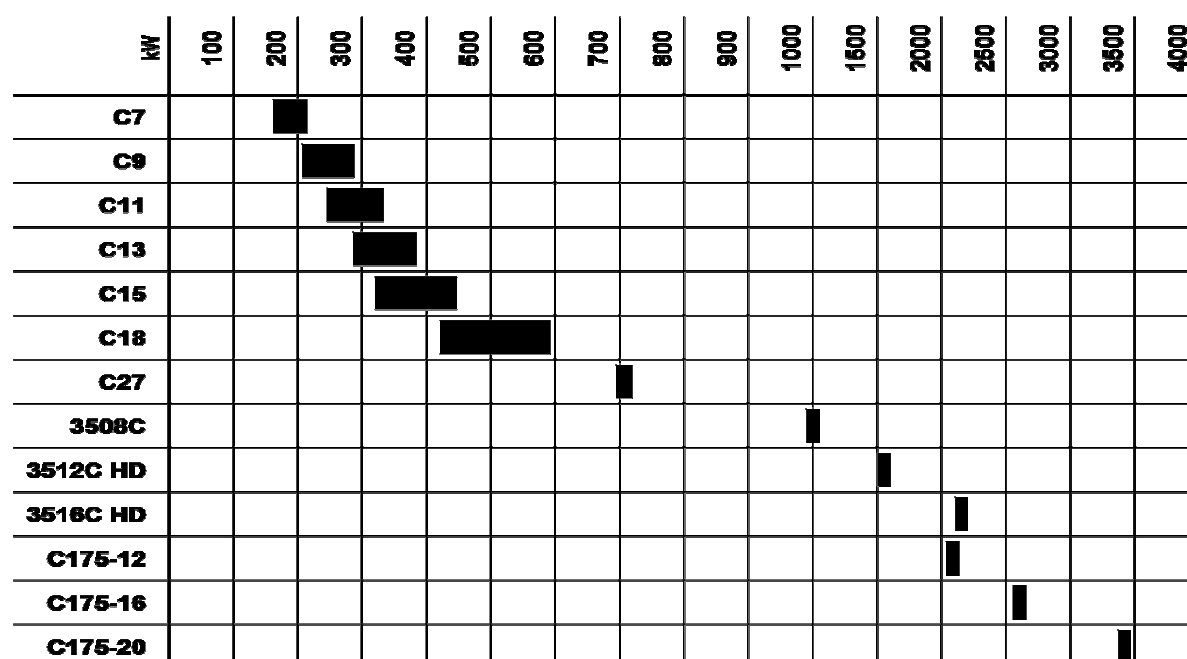
Důsledky těchto změn jsou podobné jako u motorů Cx – zvýšená měrná spotřeba paliva a zvýšené nároky na chlazení, navíc spojené s ostrým nepoměrem mezi teplem odvedeným hlavním a vedlejším okruhem. Zástavbové rozměry motorů narůstají zejména v jejich horní části a v oblasti turbodmychadel, což přináší problémy pro instalace do modernizovaných lokomotiv s nízkými kapotami.

5. Přehled spalovacích motorů Caterpillar

Naftové spalovací motory Caterpillar pokrývají výkonové spektrum cca 8 – 5000 kW v nejrůznějších aplikacích – jako průmyslové (pohony strojů, generátory el. energie...) lodní (hlavní i pomocné motory), petroleum (těžba a vrtání), vozidla (nákladní, pracovní, stavební, zemědělská...) a konečně i lokomotivní.

Přehled spalovacích motorů vhodných pro lokomotivní aplikace s emisními limity EU Stage IIIA se nachází na obr. 3.

obr. 3: Výkonové spektrum motorů Caterpillar vhodných pro lokomotivy



6. Spalovací motory pro železniční aplikace CZ LOKO

Spalovací motor CAT C15

Motor C15 představuje náhradu motorů 3406, 3408 a C-15.

obr. 4: Motor CAT C15



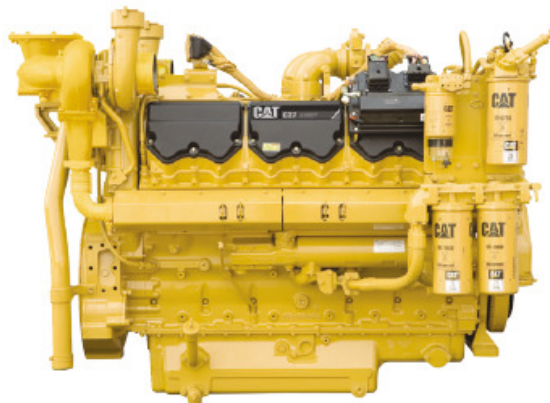
tab. 2: Parametry motoru C15

typ motoru	C15
výkon v ratingu C (kW)	403
otáčky (min^{-1})	600 – 1800 – 2100
počet a uspořádání válců	6 v řadě
celkový objem válců (L)	15,2
vrtání válce (mm)	137
zdvih válce (mm)	171
chladicí systém	dvouokruhový, ACERT
přepřívání	1 turbodmychadlo
vstřikovací systém	MEUI
řídící jednotka	ADEM A4

Spalovací motor CAT C27

Motor C27 představuje náhradu motoru 3412E a částečně i 3508B.

obr. 5: Motor CAT C27



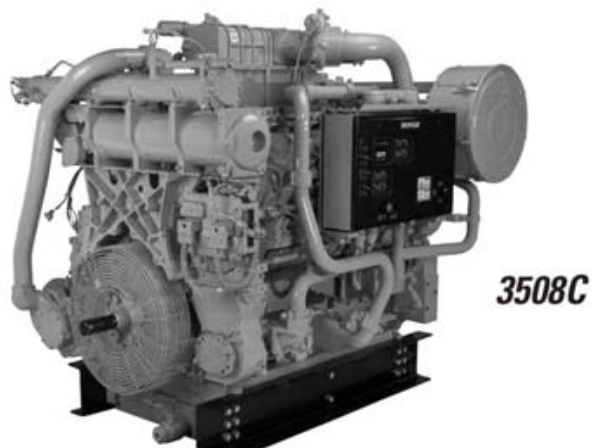
tab. 3: Parametry motoru C27

typ motoru	C27
výkon v ratingu C (kW)	708
otáčky (min ⁻¹)	600 – 1800 – 2100
počet a uspořádání válců	12 do V
celkový objem válců (L)	27,0
vrtání válce (mm)	137,7
zdvih válce (mm)	152,4
chladicí systém	dvouokruhový, ACERT
přepřívání	2 turbodmychadla
vstřikovací systém	MEUI
řídící jednotka	ADEM A4

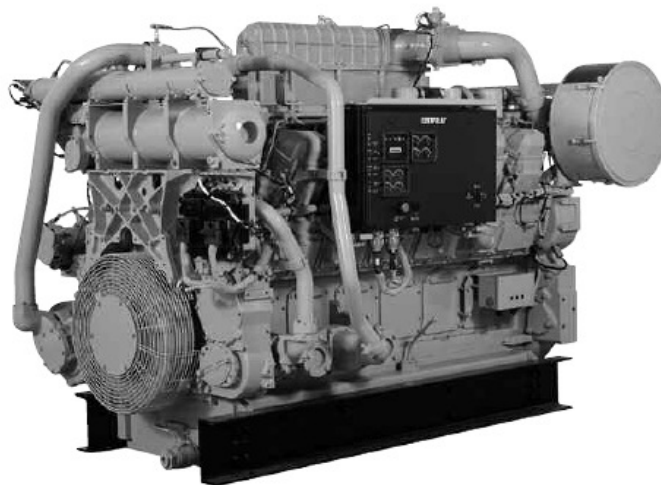
Spalovací motory CAT 3500C

Motory 3508C, 3512C HD a 3516C HD představují náhradu motorů 3508B, 3512B a 3516B HD.

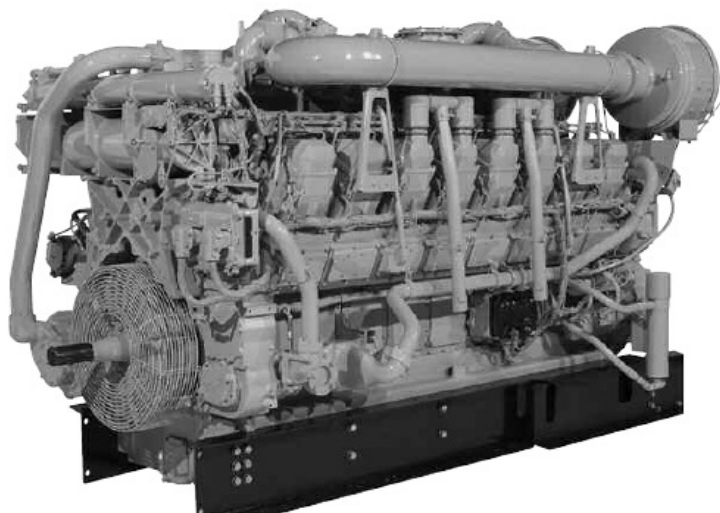
obr. 6: Motor CAT 3508C



obr. 7: Motor CAT 3512C HD



obr. 8: Motor CAT 3516C HD



tab. 4: Parametry motorů 3508C, 3512C HD a 3516C HD

typ motoru	3508C	3512C HD	3516C HD
výkon v ratingu C (kW)	1000	1530	2350
otáčky (min ⁻¹)	600 – 1800		
počet a uspořádání válců	8 do V	12 do V	16 do V
celkový objem válců (L)	34,5	58,6	78
vrtání válce (mm)	170		
zdvih válce (mm)	190	215	215
chladicí systém	dvouokruhový		
přepřívání	2 turbodmychadla		4 turbodmychadla
vstříkovací systém	EUI		
řídící jednotka	ADEM A3		

7. Zástavba nových spalovacích motorů v CZ LOKO

Potenciál nových motorů

Motory C9 a C15 již jsou do lokomotiv CZ LOKO běžně zastavovány (řady 797.8, 709.0, 709.7, 719.7, 740.3) a jsou připravovány další modernizace s jejich použitím (SM42).

Pro lokomotivy 724.7 a 724.8 se spalovacím motorem 3412E je vhodným nástupcem motor C27. Modernizace s tímto motorem může být realizována již v roce 2009.

Motor 3508C bude v roce 2009 dosazen na modernizovanou řadu 742.7 a jeho využití je možné i na dalších lokomotivách, kde se dosud používal motor 3508B (ČME-3M).

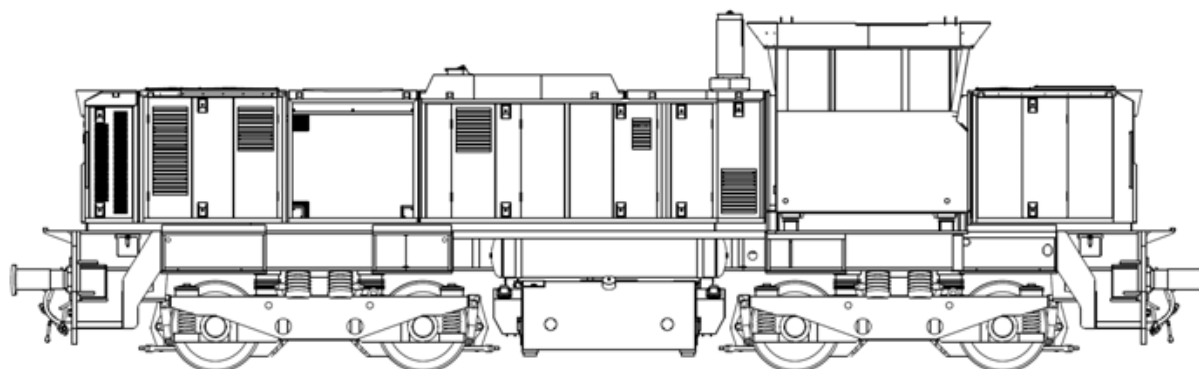
V nejvyšší výkonové kategorii CZ LOKO bude motor 3512C HD náhradou na lokomotivách řad 753.7 a ČME-3M.

Instalace nových motorů

Zástavba nových motorů do lokomotiv s sebou nese řadu problémů. Jedná se především o problematiku chlazení a rozměry samotných motorů. Především v kapotových lokomotivách se tyto charakteristiky mohou negativně podepsat na výhledových poměrech z kabiny strojvedoucího.

I přes tyto problémy je však situace řešitelná i u stávajících koncepcí modernizací lokomotiv, jak se ukázalo v projektu 742.7.

obr. 9: Lokomotiva 742.7



„Staré“ motory

Spalovací motory 3412E, 3508B, 3512B a 3516B HD jsou nadále v produkci firmy Caterpillar a mohou být zastavovány do lokomotiv určených zákazníkům mimo území Evropské unie.