

# Metody návrhu kompaktního ERDPF filtru s důrazem na provozní podmínky elektronického systému

Jindřich Křivka, Jiří Žahour

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

jkřivka@kae.zcu.cz, zahourj@kae.zcu.cz

## The Compact ERDPF Filter Designing Methodology with Emphasis on Operating Conditions of the Electronic System

**Abstract** – This paper describes the new approach for ERDPF design. For a final customer product is necessary to design a filter which will be consist only from a one compact block without a tangle of wires. The filter body has to contain all mechanical and electronic parts. This was the challenge because an exhaust gas temperature can be higher than 500 °C. The electronic chamber has to protect the electronic system against all ambient influences as vibration, water, humidity, temperature, etc. The text is focused on a description of the development and verifications of individual proposals that led to the final solution.

**Keywords** – Exhaust Aftertreatment; ERDPF; PM Pollutions; High Temperature Load; Mechanical Design;

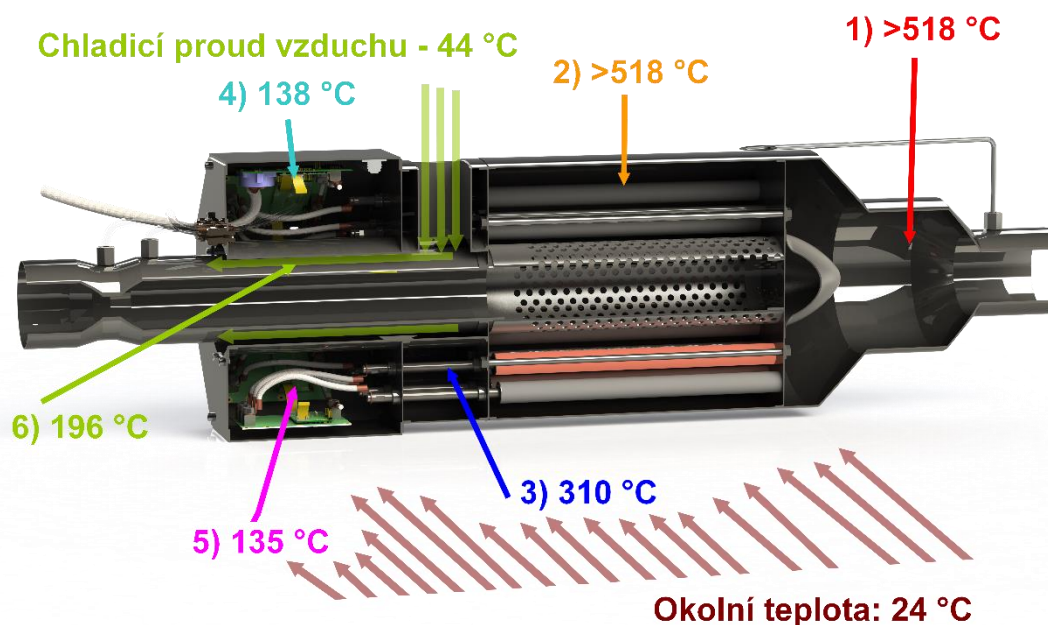
### I. ÚVOD

Tento článek je zaměřen na problematiku návrhu elektronického systému s důrazem na jeho teplotní a mechanickou odolnost. Aby ERDPF filtry mohly být úspěšně nasazené jako OEM emisní technologie, je nezbytné, aby byl filtr kompaktním zařízením. Ověřovací prototypy byly založeny na odděleném designu, kde byla elektronika umístěna mimo tělo samotného filtru, s nímž byla propojena mnoha výkonovými kabely (až 24 x 16 mm<sup>2</sup>). Finální produkt musí implementovat všechny potřebné technologie včetně samotného elektronického ERDPF systému [1], [2], [3] uvnitř jednoho těla filtru. To je výzva především z pohledu mechanického návrhu samotného filtru, neboť teplota spalin snadno přesáhne 500 °C.

### II. PRVNÍ KONCEPCE NOVÉHO TYPU FILTRU

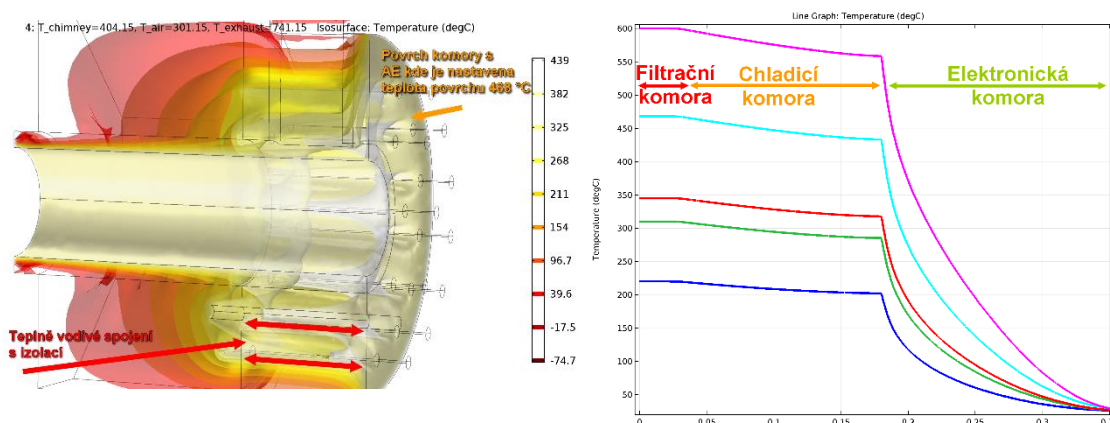
První koncept nového typu filtru, jenž by v sobě implementoval všechny části, byl navržen pro 21 aktivních elementů, což umožňuje připojení až 121 motoru plnicího normu Euro 3. Izolovaná komora, která je určena pro umístění elektroniky, má tvar osmiúhelníku a dovoluje jednoduché umístění osmi desek plošných spojů (1x MCE\_ERDPF a 7x CU<sub>x</sub>\_ERDPF). Tato komora je izolována od středového vývodového potrubí vzduchovou mezerou, která umožňuje volný průtok vzduchu. Na straně připojení aktivních elementů je komora vyplněná skelnou izolací, kterou prochází trubkové vývody jednotlivých aktivních elementů.

Pro ověření této koncepce byl zkonstruován prototypový vzorek, jenž byl otestován v laboratoři TÜV SÜD Czech v Praze. Výsledky nebyly zcela upokojivé, protože při testování s maximální zátěží motoru, kdy vstupní plyny přesahovaly teplotu 518 °C, byla komora elektroniky ohřata až na 138 °C (Obrázek I.). To je více než maximální provozní teplota navržené elektroniky, která je navržena na 90 °C s tím, že systém je schopen omezené funkčnosti až do 125 °C a přežije dlouhodobě bez újmy ve vypnutém stavu 150 °C.



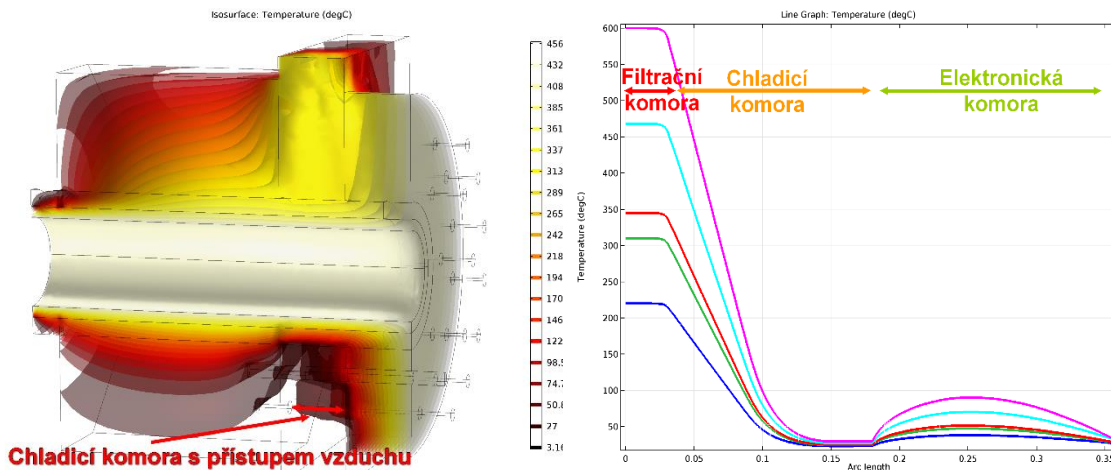
**Obrázek I.** Naměřené maximální teploty při testování prototypu s 21 AE

Pro odhalení příčiny tak intenzivního prostupu tepla byl sestaven model filtru v programu COMSOL Multiphysic. Parametry simulace byly nastaveny podle reálné naměřených dat. Ze simulace vyplynulo, že příčinou prostupu tepla je komora se skelnou izolací a tepelně vodivé napojení na aktivní elementy. Tato izolace uzavírala teplo z konce vodiče u aktivního elementu a umožnila prohřátí vodiče v celé své délce téměř až na teplotu spalin. To znamená, že konec, který ústí v komoře s elektronikou, dosahoval maximální cca 90% hodnoty teploty spalin (Obrázek II.).



**Obrázek II.** Simulace prostupu tepla tělem ERDPF filtru

V simulaci bylo vyzkoušeno několik principů přerušení tohoto tepelného mostu a jako nejlepším řešením se při zvažení konstrukčních aspektů ukázala metoda s přestupnou komorou, jež bude volně přístupná okolnímu vzduchu. Pokles teploty v simulaci byl oproti předchozímu modelu značný, jak je vidět v grafech (Obrázky II a III).



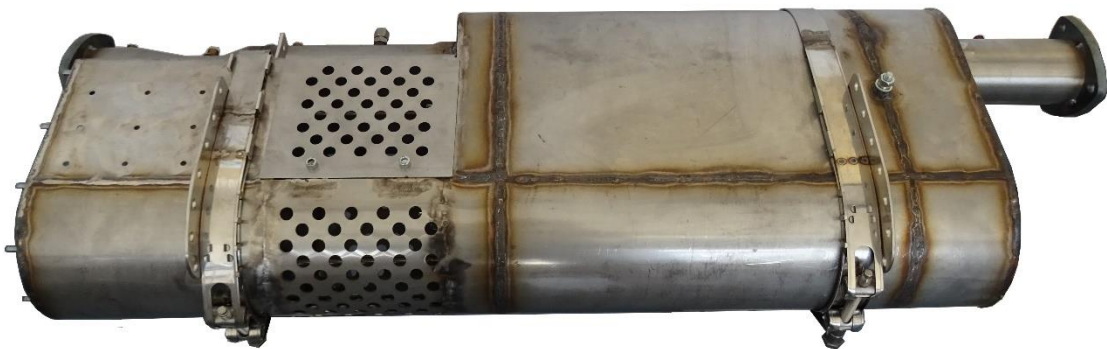
**Obrázek III. Simulace prostupu tepla tělem ERDPF filtru s chladicí komorou**

### III. NOVÝ NÁVRH ARYAN 12 AE FILTRU S CHLADICÍ KOMOROU

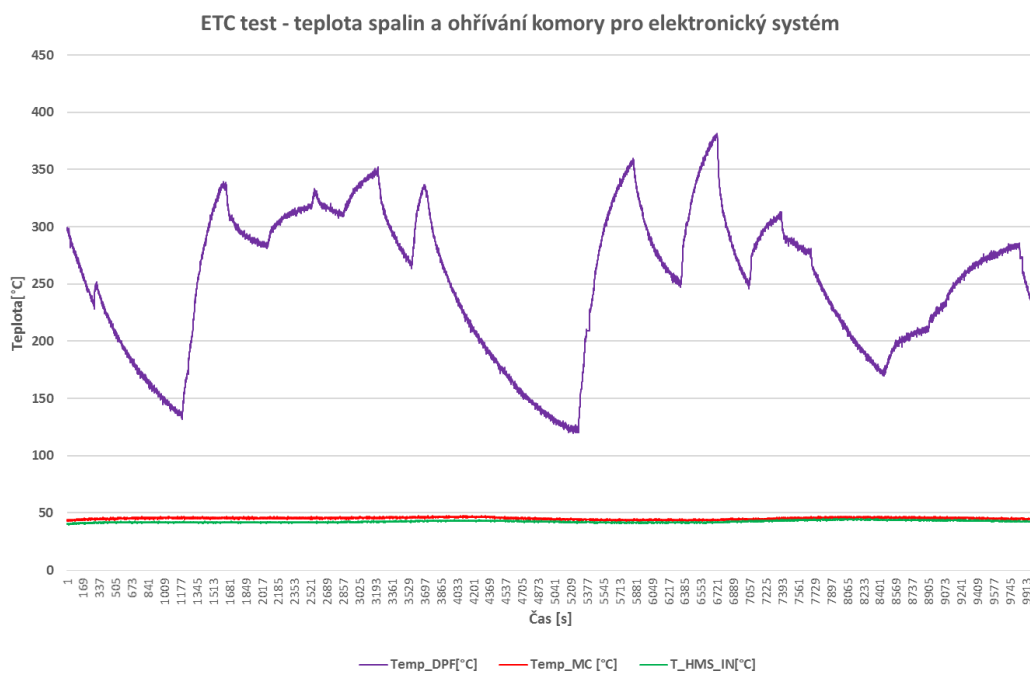
Na základě simulovaného řešení byla navržena zcela nová konstrukce ERDPF filtru s chladicí komorou. Touto komorou prochází 12 vodičů ( $16 \text{ mm}^2$ ), které jsou spirálovitě stočeny, aby kompenzovaly dilataci aktivních elementů během aktivní regenerace (až 10 mm). Tyto kabely jsou deklarovány pro provozní teploty přesahující  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ . Jejich chlazení je zajištěno prouděním okolního vzduchu během pohybu vozidla.

Jeden z prvních prototypů je zachycen na obrázku IV. Tento typ filtru splňuje všechny deklarované požadavky na kompaktnost systému, neboť k filtru jsou připojeny pouze dva výkonové vodiče o průměrech  $25 \text{ mm}^2$  a jeden 5 žilový kabel s průměry žil  $0,5 \text{ mm}^2$ , který slouží pro komunikaci CAN s napájením elektroniky. ARYAN 12 AE filtr obsahuje 12 aktivních elementů, pro jejichž provoz je nainstalována elektronika v konfiguraci: 1x MCE\_ERDPF a 4x CUx\_ERDPF.

Z nedostatku času byl tento filtr otestován až u potencionálního zákazníka (I.D.E.M. Tabríz, Íránská islámská republika), kde byl podroben standardním výkonovým a ETC testům na motoru Cummins ISF3.8s3154 o objemu 3,4 l. Průběh jednoho ETC testu na již zahřátém motoru i filtru je zachycen v grafu na obrázku V., kde je patrné, že teplota v elektronické komoře nepřesáhla  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ , což je velmi dobrý výsledek. Zajímavostí těchto testů bylo, že se využívalo palivo s obsahem síry převyšujícím 3000 ppm (norma maximálního obsahu síry je pro evropské palivo 50 ppm).



**Obrázek IV. Nový prototyp ARYAN 12 AE s chladicí komorou**



**Obrázek V. ETC test – teploty ERDPF filtru**

#### IV. ZÁVĚR

Koncept kompaktního filtru, jenž implementuje všechny části v jednom těle, se i přes prvotní neúspěch podařilo navrhnout a otestovat jak v laboratorních podmínkách, tak v reálném provozu. V laboratoři bylo možné vyzkoušet extrémní podmínky, kterých za normálního provozu nelze dosáhnout, a i přesto výsledky dopadly velmi dobře a oteplení elektronické komory v laboratoři nepřesáhlo 30 °C oproti teplotě okolního vzduchu. V reálném provozu se teplota komory při dlouhodobém provozu ustálila na teplotě vyšší o 15 °C oproti teplotě okolního vzduchu. Dalším krokem k finálnímu sériovému produktu bude nutné otestovat dlouhodobou spolehlivost (minimálně 8000 cyklů regenerace na jeden aktivní element) a vibrační odolnost celého systému.

#### PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2016-006 a projektu SGS-2015-002: Moderní metody řešení, návrh a aplikace elektronických a komunikačních systémů.

#### LITERATURA

- [1] KŘIVKA, J., KŘIBSKÝ, P., VALDA, L., ŽAHOUR, J., KOSTURIK, K. Autonomous Control System of Electrically Regenerable Diesel Particulate Filter for Light Duty Vehicles. In Proceedings of the 22nd Telecommunications Forum (TELFOR 2014). Belgrade: IEEE, 2014. s. 706-709. ISBN: 978-1-4799-6190-0
- [2] KŘIVKA, J., ELIS, L., ŽAHOUR, J. Nový řídicí systém pro elektricky regenerovatelné filtry pevných částic. In Elektrotechnika a informatika 2014. Část 2., Elektronika. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2014. s. 37-40. ISBN: 978-80-261-0366-0
- [3] KŘIVKA, J., ŽAHOUR, J., KOSTURIK, K., FREDHOLM, S. Automatic detection of different mechanical ERDPF configurations. In Proceedings of the 23rd Telecommunications Forum (TELFOR 2015). Piscataway: IEEE, 2015. s. 654-657. ISBN: 978-1-5090-0055-5