

Popis obsahu balíčku WP15 Snížení problémů hluku a vibrací (tzv. NVH) a zlepšení vibračního pohodlí pro budoucí vozidla

WP15: Snížení problémů hluku a vibrací (tzv. NVH) a zlepšení vibračního pohodlí pro budoucí vozidla

Vedoucí konsorcia podílející se na pracovním balíčku

České vysoké učení technické v Praze, zodpov. osoba Prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.

Členové konsorcia podílející se na pracovním balíčku

Vysoké učení technické v Brně Doc. Ing. Pavel Novotný, PhD.

Hlavní cíl balíčku

Vývoj metod a softwarových nástrojů pro stanovení hluku a vibrací ve vozidle a nalezení zdrojů hluku a vibrací na vozidle pomocí pokročilých experimentálních metod. Doporučení pro snížení úrovně hluku a vibrací osobního a nákladního vozidla. Vytvoření znalostí o navrhování a řešení hluku a vibrací vozidel pro systém DASY.

Dílčí cíle balíčku pro nejbližší období

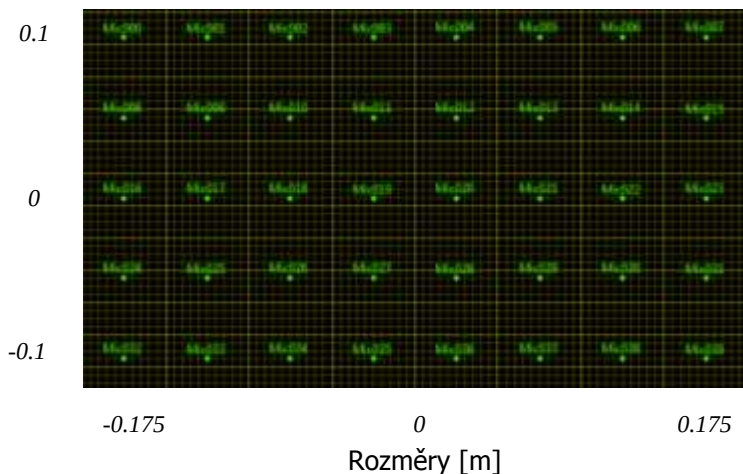
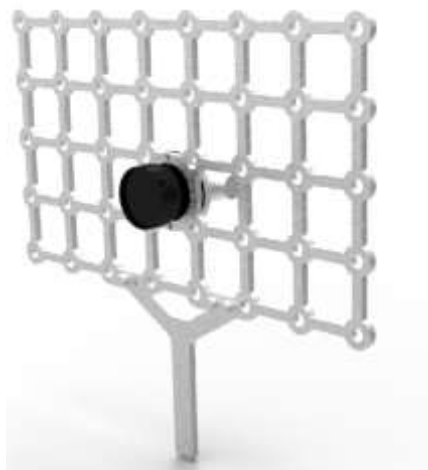
Vývoj metod a softwarových nástrojů pro stanovení hluku a vibrací ve vozidle 12/2014 a nalezení zdrojů hluku a vibrací na vozidle pomocí pokročilých experimentálních metod 12/2015.

Popis plnění balíčku WP15: Snížení problémů hluku a vibrací (tzv. NVH) a zlepšení vibračního pohodlí pro budoucí vozidla

▪ Postup prací – vývoj akustického pole pro aplikaci metody akustické holografie (VUT v Brně)

- Využití metody NAH pro lokalizaci zdrojů hluku
- Mikrofonní pole pro lokalizaci zdrojů hluku pomocí metody blízkého pole (dílní komponenty, kompresor, motor, měření v interiéru atd.)

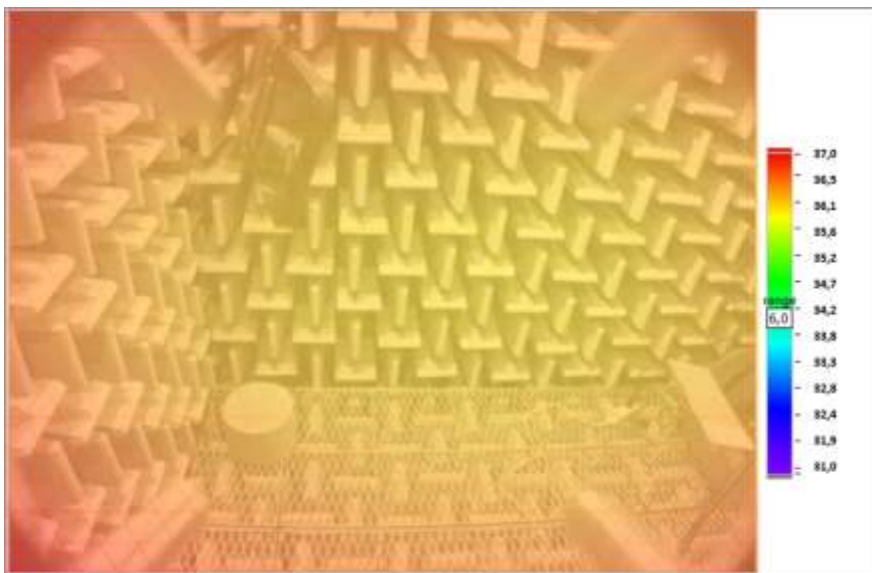
Funkční vzorek mikrofonní pole pro akustickou holografii



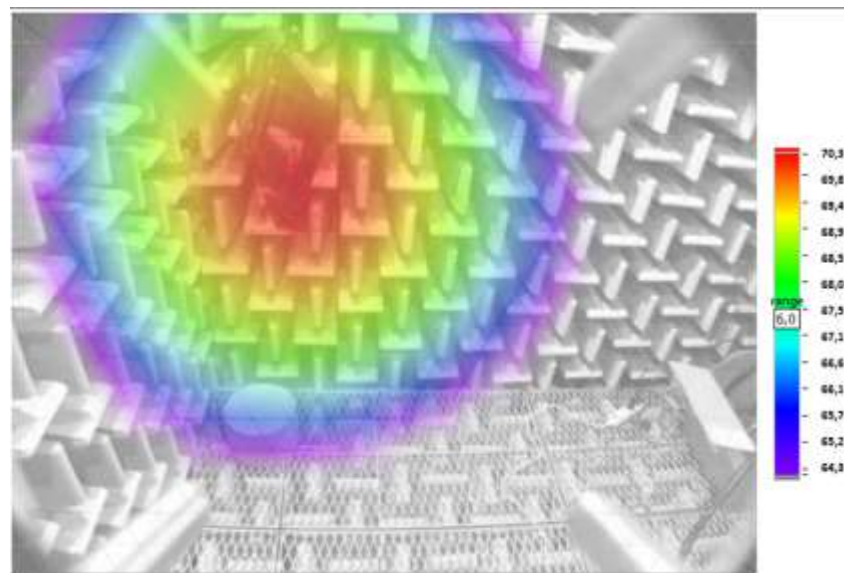
Popis plnění balíčku WP15: Snížení problémů hluku a vibrací (tzv. NVH) a zlepšení vibračního pohodlí pro budoucí vozidla

▪ Postup prací – aplikace akustické holografie (VUT v Brně)

- Porovnání NAH metody a algoritmu Beamforming pro nízké frekvence (100 – 300 Hz) v plně bezdovukové komoře
- Bodový zdroj hluku $f = 150\text{Hz}$



Beamforming

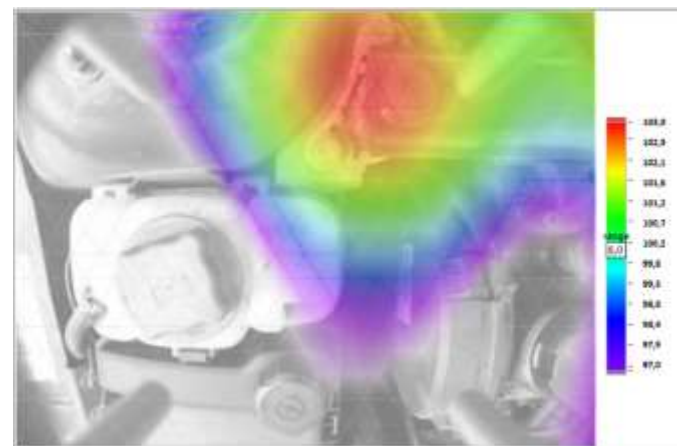
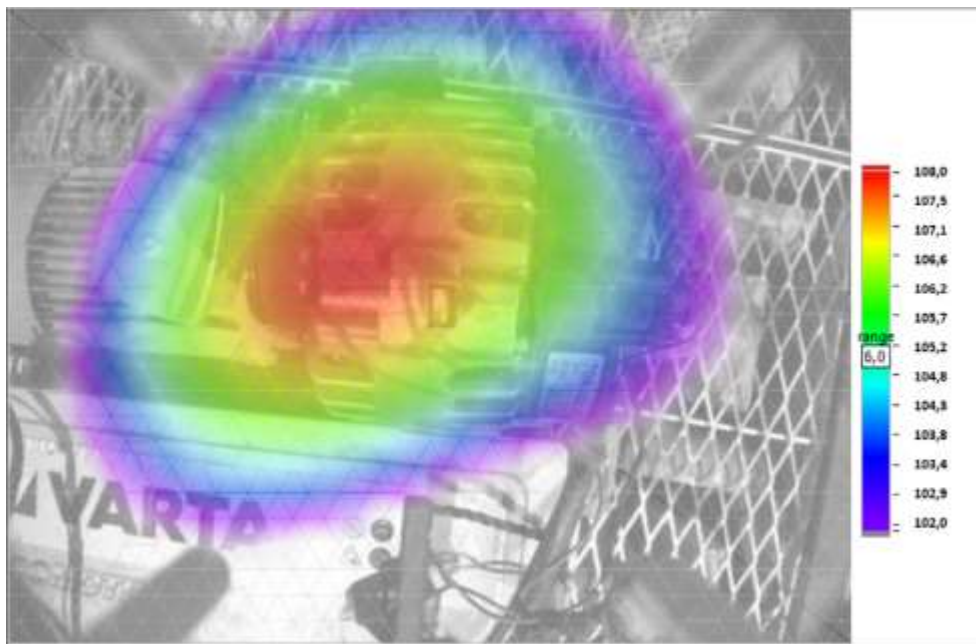


NAH

Popis plnění balíčku WP15: Snížení problémů hluku a vibrací (tzv. NVH) a zlepšení vibračního pohodlí pro budoucí vozidla

▪ Postup prací – aplikace akustické holografie (VUT v Brně)

- Měření alternátoru v bezdozvukové komoře
- Měření motorového prostoru vozidla

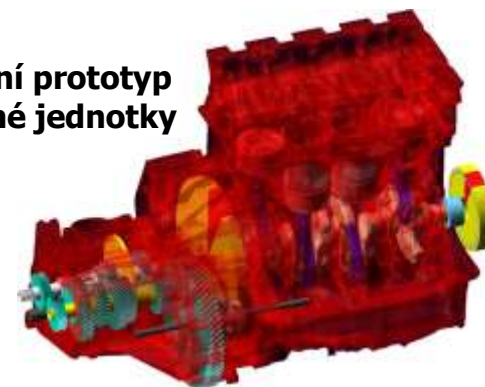


Popis plnění balíčku WP15: Snížení problémů hluku a vibrací (tzv. NVH) a zlepšení vibračního pohodlí pro budoucí vozidla

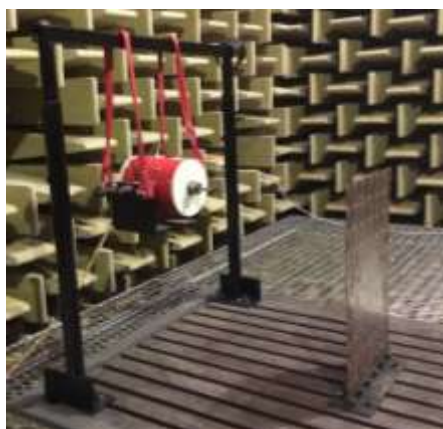
▪ Postup prací: Postupy stanovení povrchových vibrací struktur s využitím virtuálních prototypů (VUT v Brně)

- Výpočtový model pohonné jednotky obsahující pružná tělesa a sestavený pro stanovení povrchových vibrací s cílem snížit akustické emise hluku (koordinace **WP07**)
- Experimentální ověření výpočtových modelů pro stanovení vibrací struktury

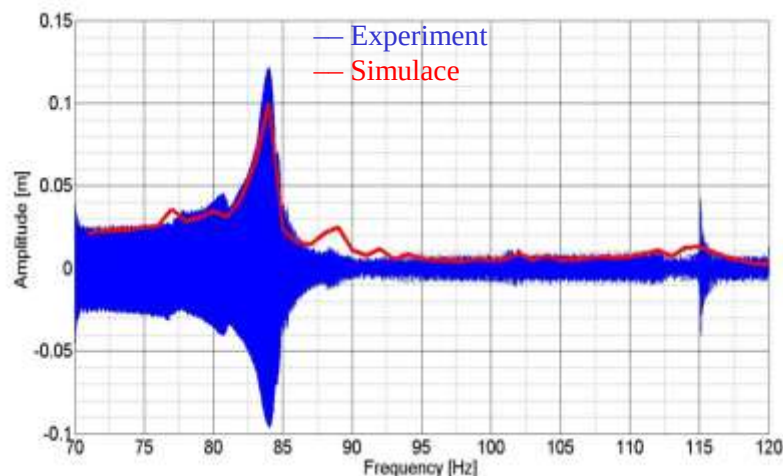
Virtuální prototyp
pohonné jednotky



Technický experiment



Amplituda vibrací – srovnání výpočtu a experimentu

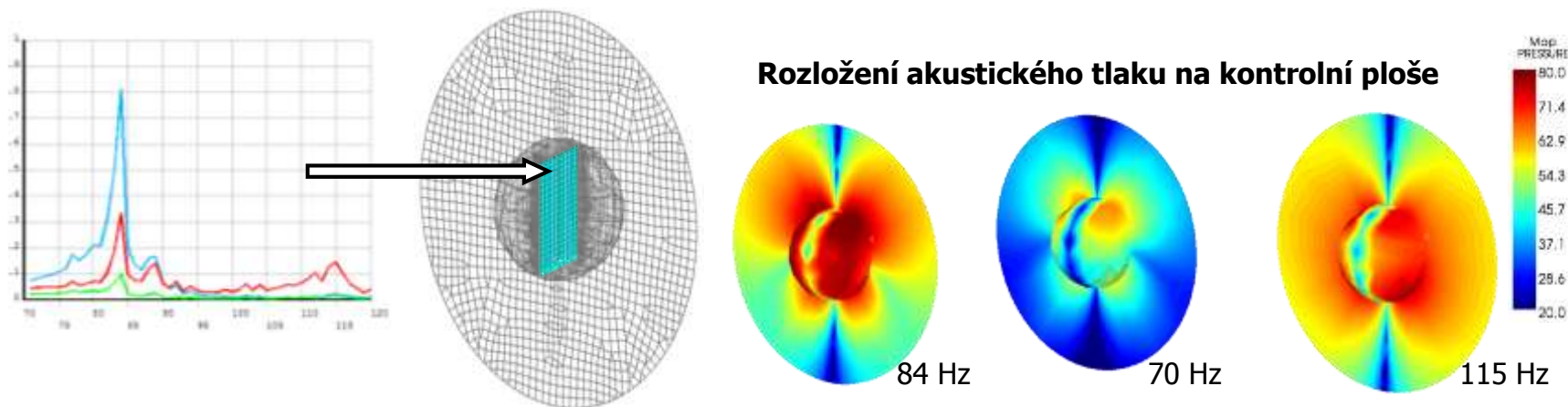


Popis plnění balíčku WP15: Snížení problémů hluku a vibrací (tzv. NVH) a zlepšení vibračního pohodlí pro budoucí vozidla

▪ Postup prací: Postupy stanovení povrchových vibrací struktur s využitím virtuálních prototypů (VUT v Brně)

- Výpočtový MKP model akustického prostředí (ACTRAN) pro ověření vlastností virtuálních prototypů na základě MBS
- Měření akustického tlaku v prostředí plně bezdovukové komory pro ověření vlastností virtuálních prototypů na základě MBS (ADAMS)
- Interakce strukturálního MBS modelu a modelu akustického prostředí

Model akustického prostoru včetně buzené struktury

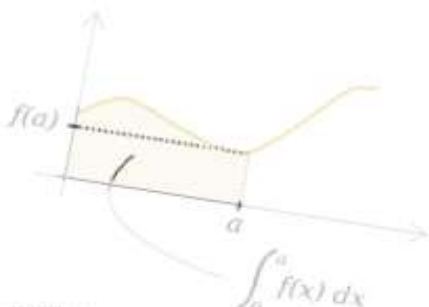


Popis plnění balíčku WP15 Snížení problémů hluku a vibrací (tzv. NVH) a zlepšení vibračního pohodlí pro budoucí vozidla

Popis výstupů a výsledků (ČVUT v Praze)

Vyvinuta nová efektivní metoda výpočtu akustického pole (Joined Harmonic Trefftz method). Metoda umožňuje řešit nestacionární tlaková pole v geometricky komplikovaných doménách založená na principu propojení „Trefftzových“ funkcí splňujících přesné analytické řešení geometricky jednoduché akustické kavity s metodou MKP.

$$\begin{bmatrix} C_{vpZ}^L + C_P^L & C_{LR} \\ C_{RL} & C_{vpZ}^R + C_v^R \end{bmatrix} \begin{pmatrix} h^L \\ h^R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{vp}^L \\ b_{vp}^R \end{pmatrix}$$



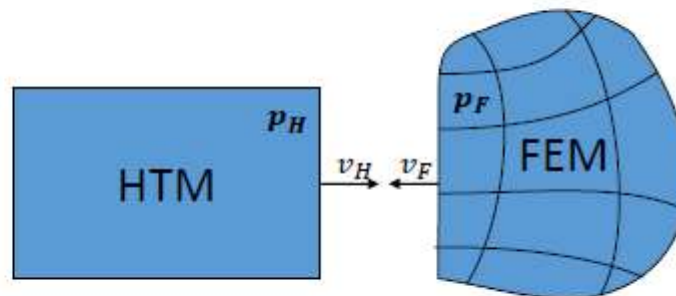
- Pressure on the left
 - $C_P^L = \int_i \frac{i}{\rho \omega} \frac{\partial (N_h^L)^T}{\partial \vec{n}^L} N_h^L d\Gamma_i$
- Velocity on the right
 - $C_v^R = \int_i \frac{i}{\rho \omega} \frac{\partial (N_h^R)^T}{\partial \vec{n}^R} N_h^R d\Gamma_i$
- Left-right
 - $C_{LR} = \int_i \frac{i}{\rho \omega} \frac{\partial (N_h^L)^T}{\partial \vec{n}^L} N_h^R d\Gamma_i$
- Right-left
 - $C_{RL} = \int_i \frac{i}{\rho \omega} \frac{\partial (N_h^R)^T}{\partial \vec{n}^R} N_h^L d\Gamma_i$

Popis plnění balíčku WP15 Snížení problémů hluku a vibrací (tzv. NVH) a zlepšení vibračního pohodlí pro budoucí vozidla

Popis výstupů a výsledků (ČVUT v Praze)

Výhoda spočívá ve spojení dvou domén řešení s různou složitostí řešení.

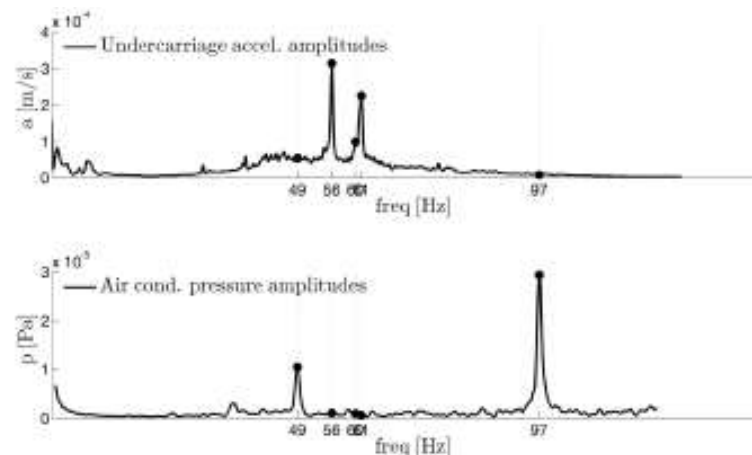
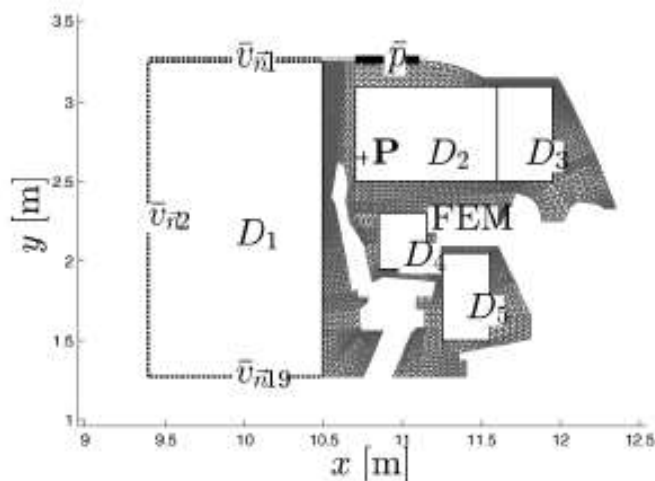
- Goal
 - Extension of geometrical complexity
 - Simple part → HTM
 - Detailed part → FEM
- Pressure
 - $p_H = p_F$
- Velocity
 - $v_H = -v_F$



Popis plnění balíčku WP15 Snížení problémů hluku a vibrací (tzv. NVH) a zlepšení vibračního pohodlí pro budoucí vozidla

Popis výstupů a výsledků (ČVUT v Praze)

Metoda nejdříve odvozena pro 2D struktury. Byla odladěna a automatizována tvorba geometricky jednoduchých kavit vhodných pro přímé řešení a sestavení propojení s MKP na principu Galerkinovy metody



JHTM model with 5 HTM domains

Undercarriage normal velocity acceleration and air-conditioning pressure amplitude spectra

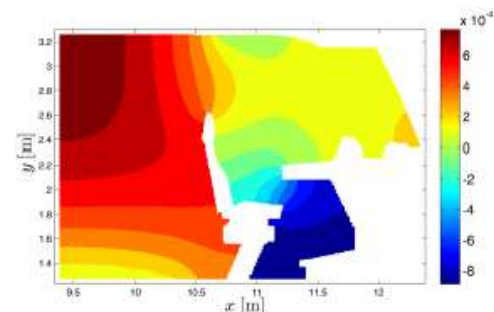
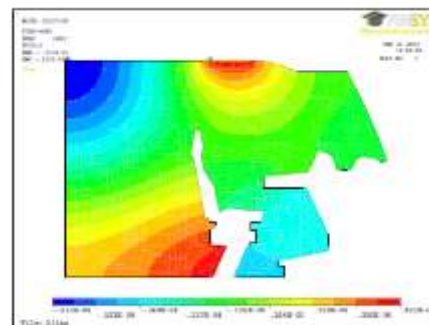
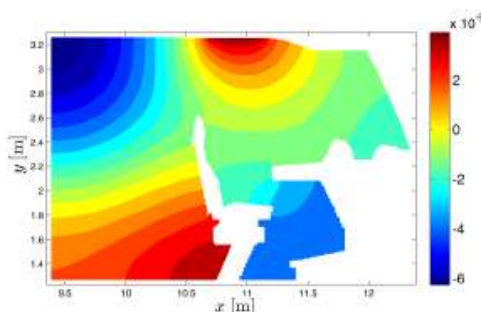
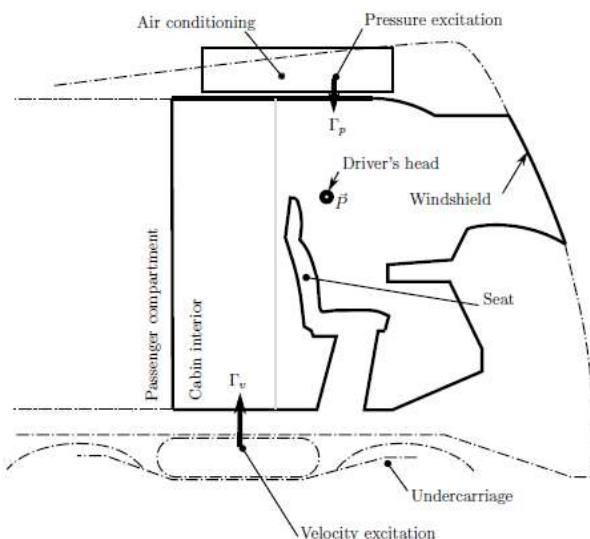
Popis plnění balíčku WP15 Snížení problémů hluku a vibrací (tzv. NVH) a zlepšení vibračního pohodlí pro budoucí vozidla

Popis výstupů a výsledků (ČVUT v Praze)

Použito na výpočet akustického pole kabiny.

Obhájena disertační práce Martina Tukače.

Verifikace MKP



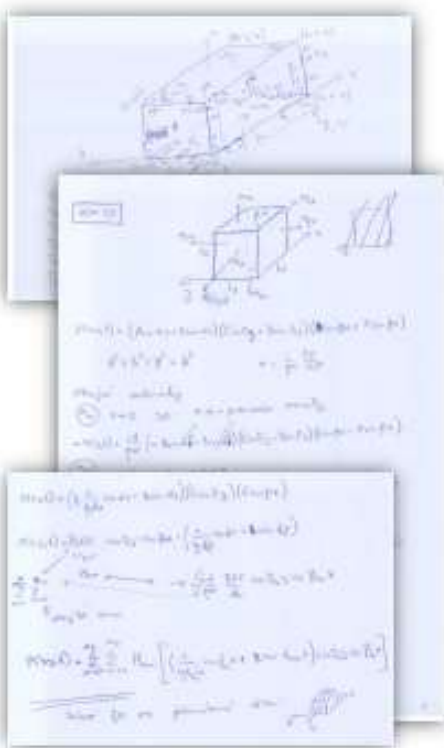
Real and imaginary part of the acoustic pressure

$|p|_{head} = 20.017 \text{ dB}$ – Not all noise sources were included.

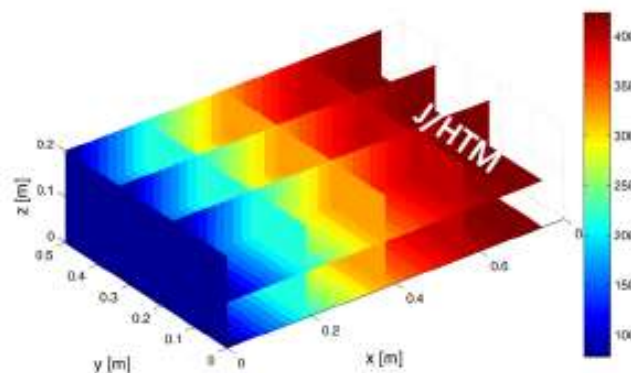
Popis plnění balíčku WP15 Snížení problémů hluku a vibrací (tzv. NVH) a zlepšení vibračního pohodlí pro budoucí vozidla

Popis výstupů a výsledků (ČVUT v Praze)

V současné době je metoda zobecňována na 3D problémy. Dále je rozšiřována o možnost zahrnutí hraničních akustických impedancí umožňující predikovat vliv obložení hraničních ploch akustické kavity na charakter tlakových polí.



Case study – velocity BC from left



JHTM3D and 1D check:

$$p_{MIN} = 77,86 \text{ Pa}$$

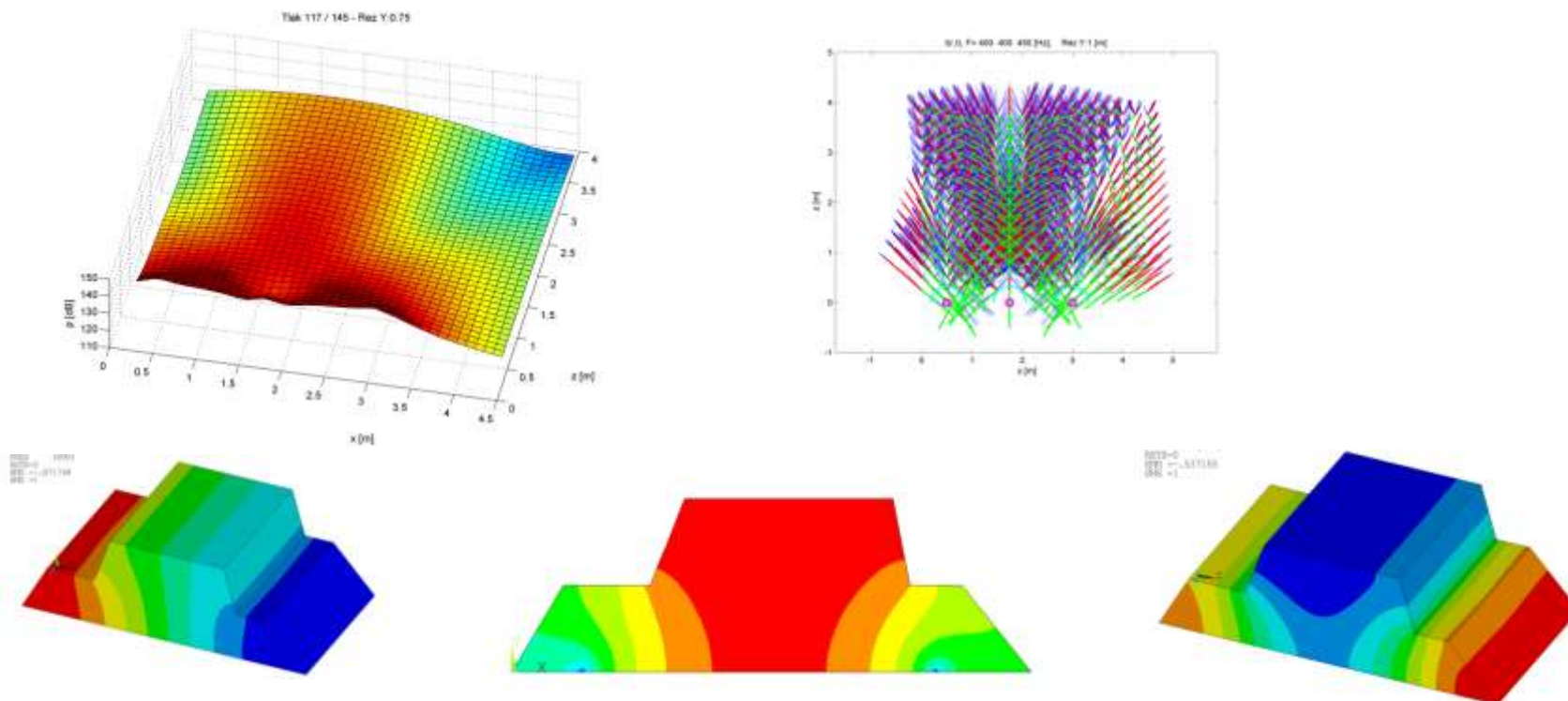
$$p_{MAX} = 423,7 \text{ Pa}$$

Perfect match

Popis plnění balíčku WP15 Snížení problémů hluku a vibrací (tzv. NVH) a zlepšení vibračního pohodlí pro budoucí vozidla

Popis výstupů a výsledků (ČVUT v Praze)

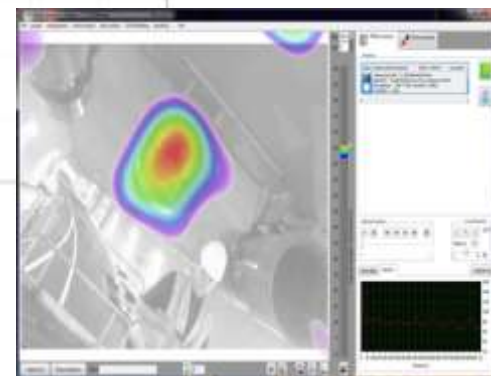
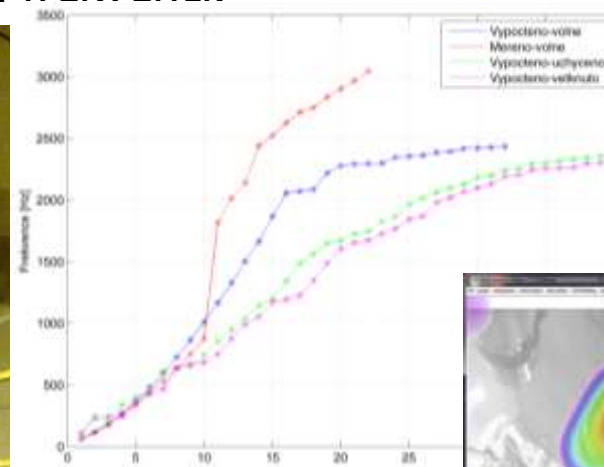
Je implementován algoritmus výpočtu akustické intenzity zohledňující vliv vícebodového buzení na vývin nestacionárních tlakových polí. Implementace navržených postupů je verifikována na geometricky zjednodušených kavitách.



Popis plnění balíčku WP15 Snížení problémů hluku a vibrací (tzv. NVH) a zlepšení vibračního pohodlí pro budoucí vozidla

Popis výstupů a výsledků (ČVUT v Praze)

Navrženého postupu výpočtu bude verifikován pomocí experiment. Za tímto účelem je rozvíjen souhrn poznatků a postupů umožňující využít „akustickou“ kameru pro vizualizaci tlakových polí generovaných vícebodovým zdrojem. Pro ladění postupů byl zvolen extrémní případ šíření tlakových polí v uzavřené doméně tunelu buzený čtyřmi zdroji mírně odlišných budicích frekvencí.



Popis plnění balíčku WP15 Snížení problémů hluku a vibrací (tzv. NVH) a zlepšení vibračního pohodlí pro budoucí vozidla

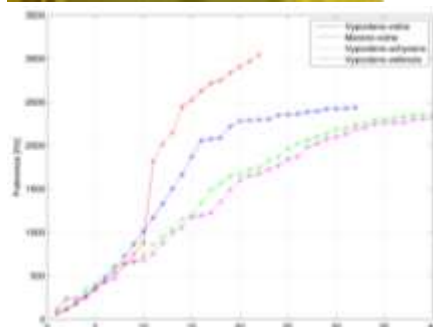
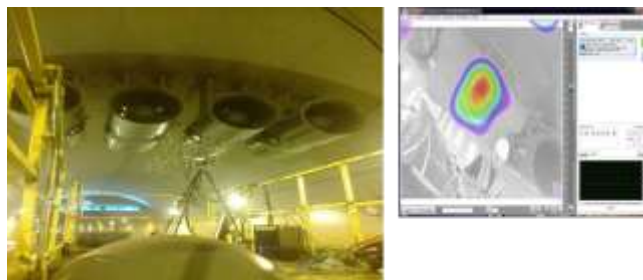
- TE01020020V046 WP15V0011: Postupy stanovení povrchových vibrací struktur s využitím virtuálních prototypů. R/1, X/1
12/2014 06/2015 VUT Novotny
- TE01020020V047 WP15V0013: Postupy stanovení rozsáhlých akustických tlakových polí v interiérech a exteriérech vozidla. R/1, X/1
12/2014 06/2015 CVUT Valasek
- TE01020020V048 WP15V0014: Experimentální ověření stanovení rozsáhlých akustických tlakových polí v interiérech a exteriérech vozidla. G/1
12/2014 06/2015 CVUT Valasek

Popis plnění balíčku WP15: Snížení problémů hluku a vibrací (tzv. NVH) a zlepšení vibračního pohodlí pro budoucí vozidla

▪ Výsledky

- Funkční vzorek akustického pole pro aplikaci metody akustické holografie (VUT v Brně)
- Virtuální prototyp sestavený pro stanovení povrchových vibrací (VUT v Brně)
- Metodika ověření výpočtového modelu (VUT v Brně)

Popis plnění balíčku WP15: Snížení problémů hluku a vibrací (tzv. NVH) a zlepšení vibračního pohodlí pro budoucí vozidla



Měření akustického tlakového pole v exteriéru vozidla a porovnání se simulací

