



# Využití akustické energie v mechanice sypkých hmot



---

Ing. Jan Moša  
jednatel společnosti

22 | 09 | 2022

# Kmitání, vlnění, akustika ...



Nikola Tesla řekl:

*„Pokud chcete nalézt tajemství vesmíru,  
je ukryto v pojmech energie, frekvence a vibrace.“*



## 1 Představení MOSA Solution<sup>®</sup> s.r.o.

## 2 Akustická energie

- Princip šíření zvuku
- Generátory akustické energie

## 3 Využití účinku akustické energie na sypkou hmotu

- Aplikace akustických měničů na silech a zásobnících

## 4 Provozní zkouška a experiment

- Zkouška čištění nánosů popílku v kotli K24 v roce 2022

## 5 Vyhodnocení a závěr

## 1 Představení MOSA Solution<sup>®</sup> s.r.o.

## 2 Akustická energie

- Princip šíření zvuku
- Generátory akustické energie

## 3 Využití účinku akustické energie na sypkou hmotu

- Aplikace akustických měničů na silech a zásobnících

## 4 Provozní zkouška a experiment

- Zkouška čištění nánosů popílku v kotli K24 v roce 2022

## 5 Vyhodnocení a závěr



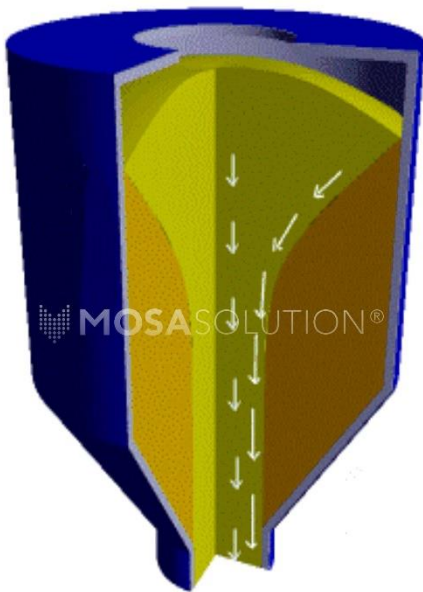
# Kdo jsme ...

- 1999 – Zahájení činnosti – OSVČ
- 2000 – Realizace prvního projektu
- 2007 – Začátek spolupráce s ČVUT
- 2007 – Studium a využití akustiky
- 2007 – Dostavba provozovny v Ostravě
- 2010 – Založení MOSA Solution s.r.o.
- 2015 – Technická činnost v Polsku
- 2015 – Technická činnost v Turecku
- 2015 – Dostavba technického centra
- 2017 – Zahájení vzdělávacích seminářů v ČR
- 2018 – Partneři v zahraničí připravují projekty
- 2019 – Výzkumné projekty s ČVUT v Praze ...
- 2020 – Pokračování v inovacích
- 2021 – Vzdělávání zaměstnanců



Provozovna v Sulejovicích

# TYPICKÉ PROBLÉMY V SILECH



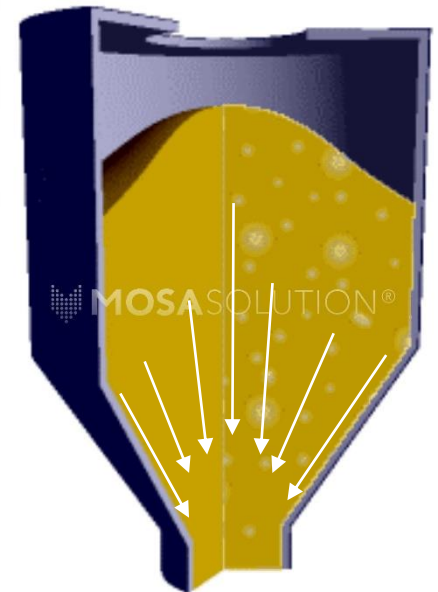
VZNIK TUNELU



VZNIK KLENBY



SEGREGACE



SPRÁVNĚ – HMOTOVÝ TOK !!!

# STÁLE SE VYSKYTUJÍ PROBLÉMY





# Produkty, které využíváme pro řešení ...





1 Představení MOSA Solution<sup>®</sup> s.r.o.

## 2 Akustická energie

- Princip šíření zvuku
- Generátory akustické energie

3 Využití účinku akustické energie na sypkou hmotu

- Aplikace akustických měničů na silech a zásobnících

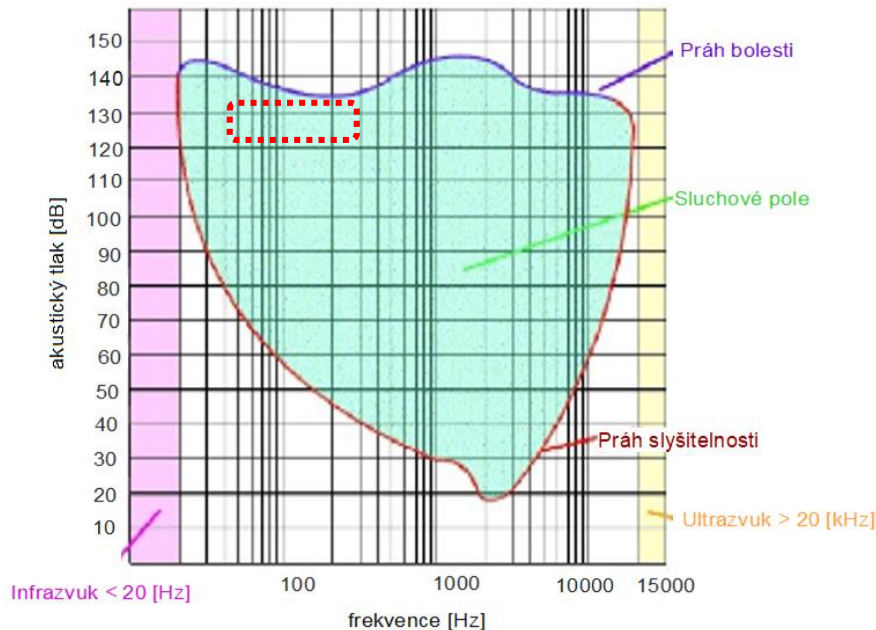
4 Provozní zkouška a experiment

- Zkouška čištění nánosů popílku v kotli K24 v roce 2022

5 Vyhodnocení a závěr

# Sluchové pole (zvukové pole)

## Infrazvuk, ultrazvuk – sluchové pole



Vytváříme hladinu akustického tlaku

$$L_p = 130 \text{ [dB] re 1 m}$$

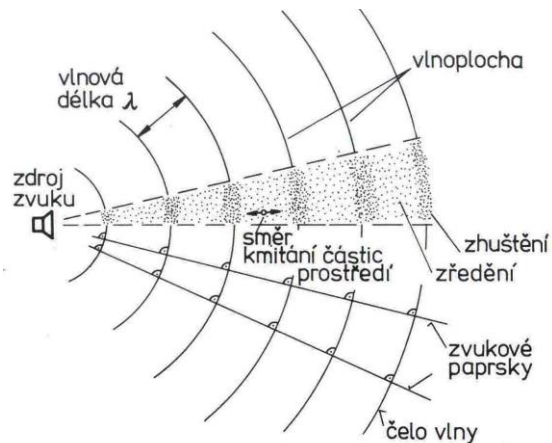
Frekvence základní harmonická

$$f_1 = 70 \text{ až } 270 \text{ [Hz] a více}$$

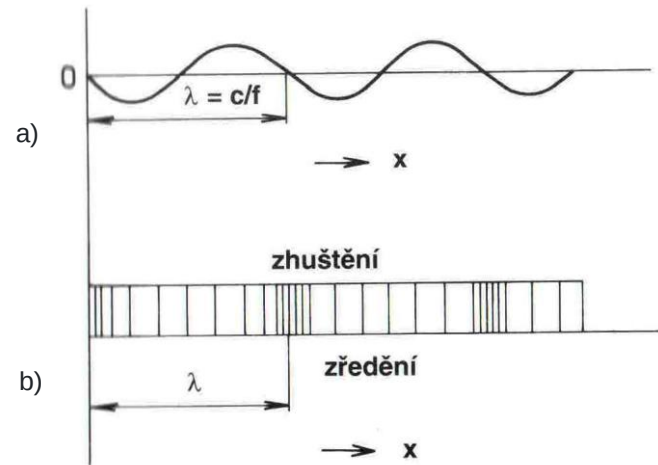
# Kmitavé děje

## AKUSTIKA

Vnější dynamické síly vyvolávají v pružném prostředí kmitání částic. Tento rozruch je předáván pružnými vazbami i sousedícím částicím. Šíření rozruchu se nazývá vlnění. Vznikající vlnoplochy se šíří ve vlnách.



Šíření zvukové vlny, vlnoplocha



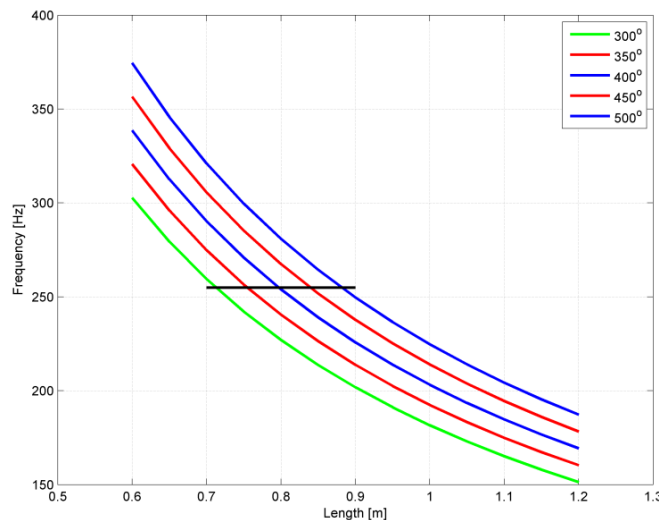
Průběh výchylek vlnění

- a) příčného
- b) podélného

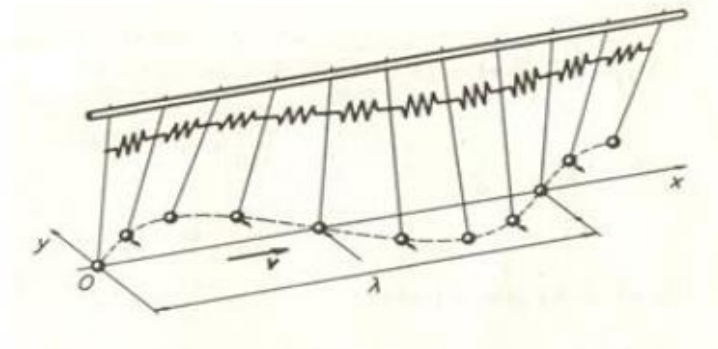


# Vliv teploty prostředí na rychlost zvuku

- Závislost rychlosti zvuku na teplotě  $v_t = 331,82 + 0,61 \cdot t \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$
- Hustota vzduchu v závislosti na teplotě  $\rho = 1,276 / (0,00366 \times (273 + T)) \text{ [kg.m}^{-3}\text{]}$
- Rychlost zvuku v betonu = 1 700 [m.s<sup>-1</sup>]
- Rychlost zvuku v oceli = 5 000 [m.s<sup>-1</sup>]



$$\lambda = \frac{v}{f} \quad f = \frac{1}{T} \quad \lambda = v \cdot T$$



Závislost generované frekvence na délce zvukovodu a teplotě

Zpráva č.: 1236/11/2012 – ČVUT v Praze

# Vliv teploty prostředí na rychlost zvuku

## Změna vlnové délky s frekvencí a teplotou

| teplota [C°] | rychlost [m.s-1] |
|--------------|------------------|
| 20           | 344,02           |
| 300          | 514,82           |
| 350          | 545,32           |
| 400          | 575,82           |
| 450          | 606,32           |
| 500          | 636,82           |
| 550          | 667,32           |
| 600          | 697,82           |
| 650          | 728,32           |

| frekvence f1 [Hz] | rychlost [m.s-1] | vlnová délka [m] |
|-------------------|------------------|------------------|
| 230               | 344,02           | 1,50             |
| 230               | 514,82           | 2,24             |
| 230               | 545,32           | 2,37             |
| 230               | 575,82           | 2,50             |
| 230               | 606,32           | 2,64             |
| 230               | 636,82           | 2,77             |
| 230               | 667,32           | 2,90             |
| 230               | 697,82           | 3,03             |
| 230               | 728,32           | 3,17             |

| frekvence f1 [Hz] | rychlost [m.s-1] | vlnová délka [m] |
|-------------------|------------------|------------------|
| 218               | 344,02           | 1,58             |
| 218               | 514,82           | 2,36             |
| 218               | 545,32           | 2,50             |
| 218               | 575,82           | 2,64             |
| 218               | 606,32           | 2,78             |
| 218               | 636,82           | 2,92             |
| 218               | 667,32           | 3,06             |
| 218               | 697,82           | 3,20             |
| 218               | 728,32           | 3,34             |

| frekvence f1 [Hz] | rychlost [m.s-1] | vlnová délka [m] |
|-------------------|------------------|------------------|
| 70                | 344,02           | 4,91             |
| 70                | 514,82           | 7,35             |
| 70                | 545,32           | 7,79             |
| 70                | 575,82           | 8,23             |
| 70                | 606,32           | 8,66             |
| 70                | 636,82           | 9,10             |
| 70                | 667,32           | 9,53             |
| 70                | 697,82           | 9,97             |
| 70                | 728,32           | 10,40            |

# Stojaté vlnění

Fyzika – experiment (optické sledování vlivu zvuku na sypkou hmotu)



Vybuzená stojatá vlna

- Pohybová rovnice prachové částičky

$$m\ddot{y} = mg - \text{sign}(\dot{y})b\dot{y}^2 + S\Delta p$$

# Princip šíření zvuku

## Základní informace

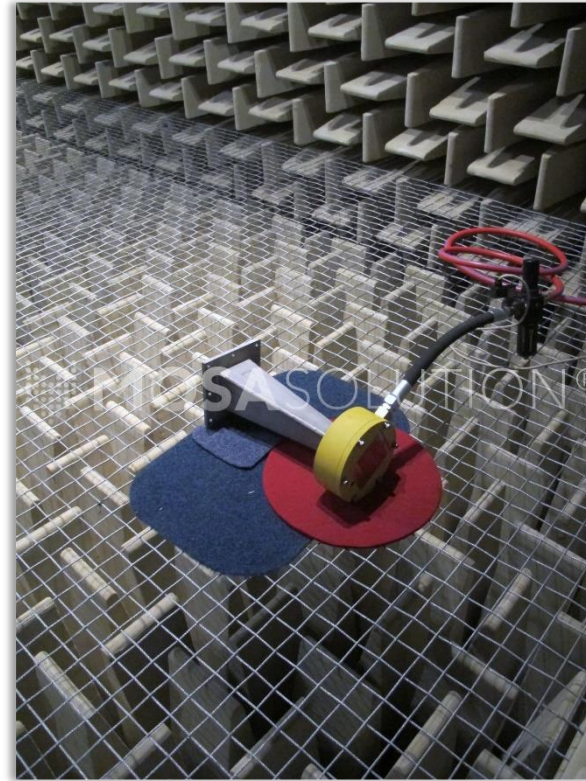
- Energie akustických vln překonává vazebné síly uvnitř sypké hmoty.
- Zdroj zvuku lze libovolně umístit v horní části sila či zásobníku.
- Zvukové vlny se šíří rychlostí 344 metrů za sekundu v okruhu 360°.
- Čím vyšší frekvence, tím je kratší vlnová délka.
- Akustické měniče je nutno aplikovat s ohledem na rezonanční frekvence řešené technologie, tj. oceli, keramického obložení, betonu atd.
- Doporučujeme provést frekvenční analýzu zařízení.
- Vytvořit matematický model tlakových polí akustické vlny.
- Energie zvuku se šíří přímo do sypké hmoty.



# Technický tým ČVUT v Praze – akustika



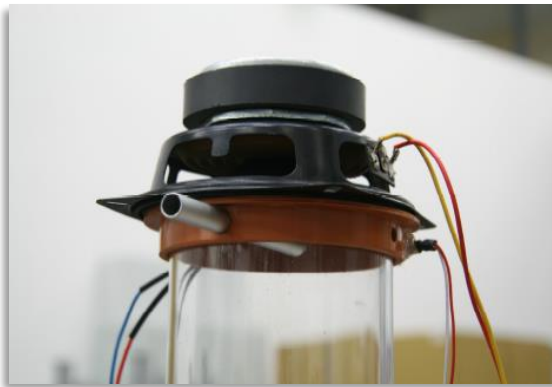
ČVUT v Praze / Fakulta elektrotechnická katedra fyziky  
ČVUT v Praze / Strojní fakulta



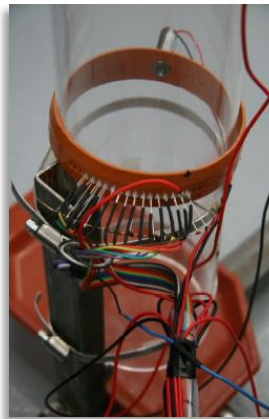
prof. Ing. Ondřej Jiříček, CSc.  
prof. Dr. Ing. Tomáš Vampola

# Vliv akustické energie na sypkou hmotu

## Optické sledování



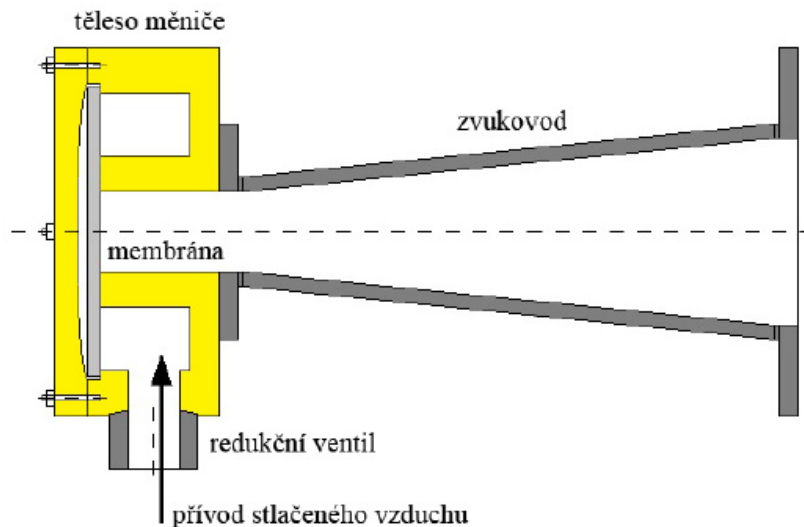
Generátor akustické energie



Čidla pohybu

# Princip akustického měniče

## Technologie – akustický měnič

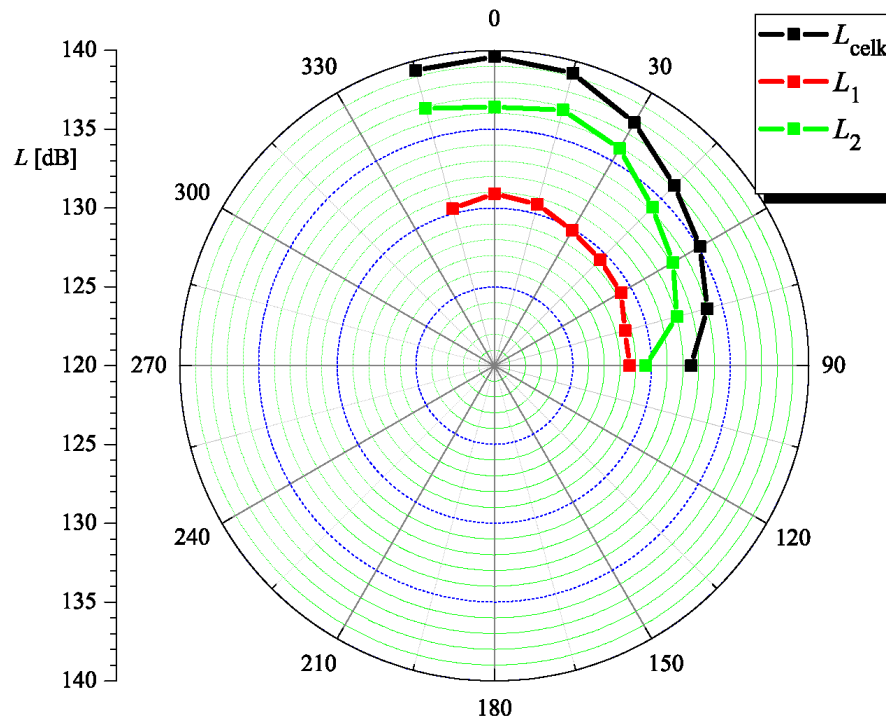


- Přeměna mechanické energie v akustickou / měnič
- Jednoduchá konstrukce
- Potřeba tlakového vzduchu
- Tlakový vzduch proudí do tělesa měniče a pohybuje titanovou membránou, aby velmi rychle oscilovala, tyto rychlé oscilace vytvářejí přes různé typy zvukovodu různé frekvence základní harmonické
- Rozsah frekvencí základní harmonické  $f_1 = 60$  [Hz] až 420 [Hz]
- Hladina vyzářeného akustického tlaku  $L_p = 130$  [dB]

# Vyzařování akustického měniče

## Směrová charakteristika hladiny akustického tlaku

- Vyzařuje všesměrově

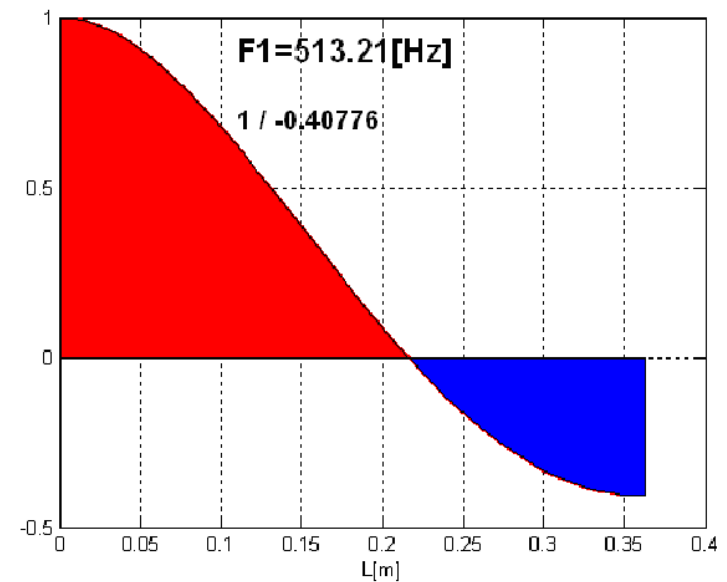
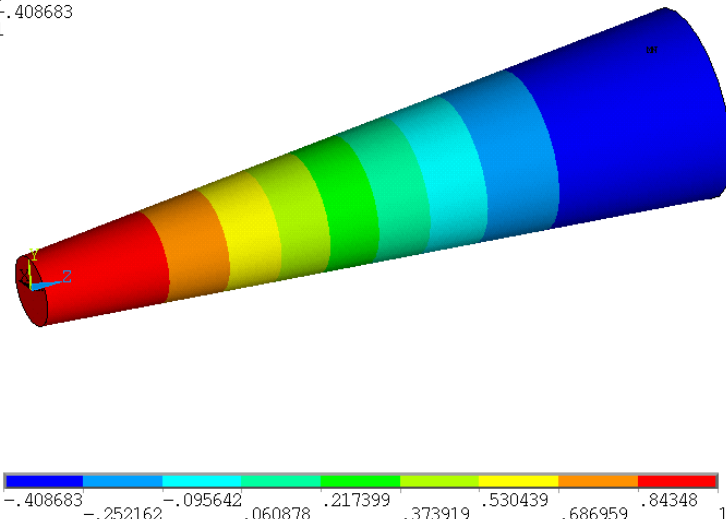




# Model akusticko strukturní soustavy

## Akusticko strukturní analýza měničů

SUB =1  
FREQ=513.208  
PRES (AVG)  
RSYS=0  
SMN =-.408683  
SMX =1



První vlastní tvar kmitu – absolutní odrazivost měniče

# Vyzařování akustického měniče

## Směrová charakteristika hladiny akustického tlaku

- Simulace vyzařování



## 1 Představení MOSA Solution<sup>®</sup> s.r.o.

## 2 Akustická energie

- Princip šíření zvuku
- Generátory akustické energie

## 3 Využití účinku akustické energie na sypkou hmotu

- Aplikace akustických měničů na silech a zásobnících

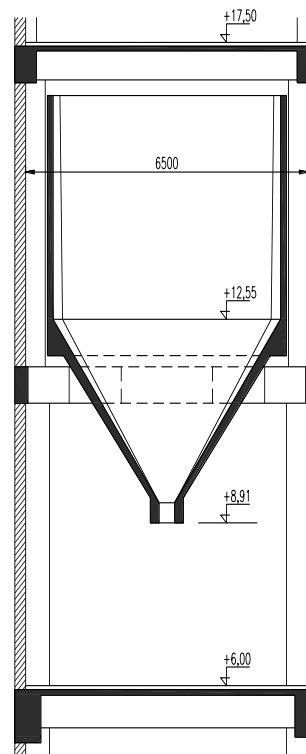
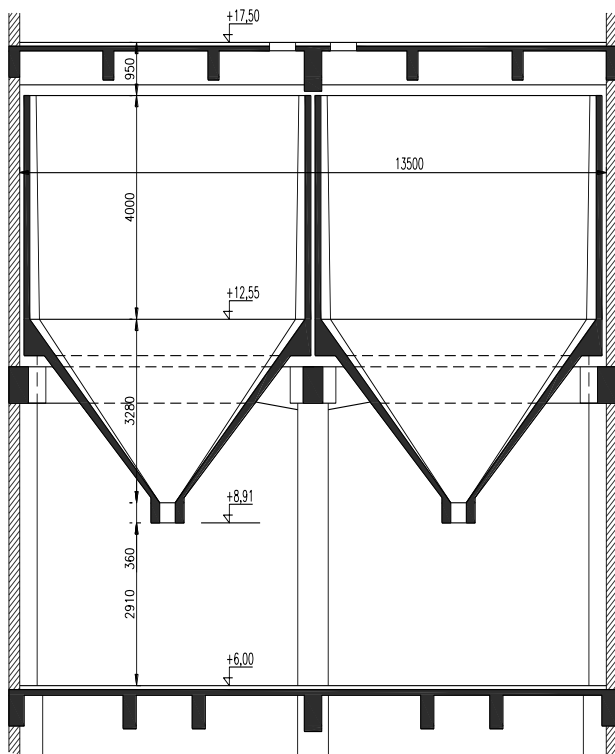
## 4 Provozní zkouška a experiment

- Zkouška čištění nánosů popílku v kotli K24 v roce 2022

## 5 Vyhodnocení a závěr

# Tok popílků v zásobních silech

## Stávající technologie – výsypná část sila



### Aplikované prvky:

- Vnitřní ocelová vestavba
- Obklad s povrchem glazury
- Výsypná část s čeřením



# Tok popílku v zásobních silech

## Vzorek elektrárenského popílku

Vzorek



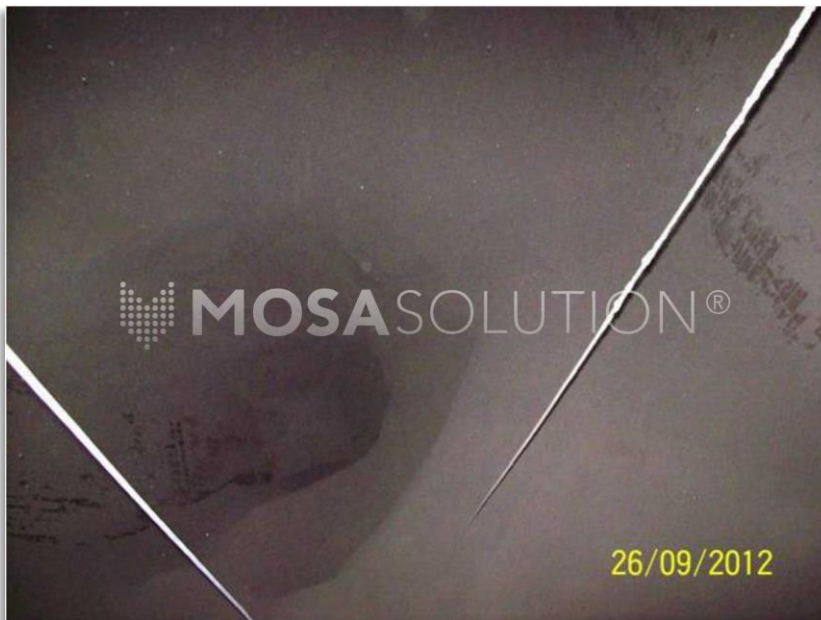
Sypný úhel



# Tok popílku v zásobních silech

## Problémy v technologii

Tunel ve vnitřní části



Oblast pneumatického vykladače



Mechanické obouchávání

# Tok popílku v zásobních silech

## Aplikace akustické energie

Snadná a rychlá montáž



Měnič na stropě sila

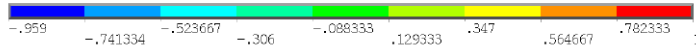
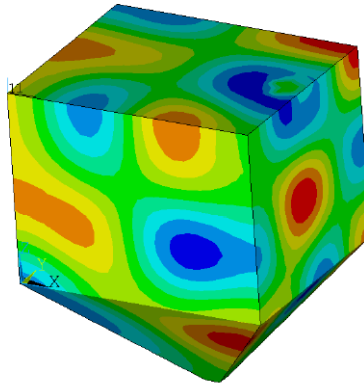


# Tok popítku v zásobních silech

## Budící frekvence

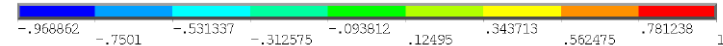
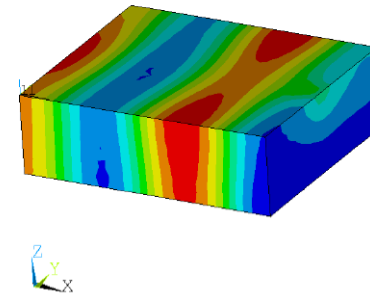
FREQ=98.9101  
PRES (AVG)  
RSYS=0  
SMN =-.959  
SMX =1

a)



FREQ=80.2535  
PRES (AVG)  
RSYS=0  
SMN =-.968862  
SMX =1

b)



Vlastní tvar kmitu pro frekvenci cca 100 [Hz].

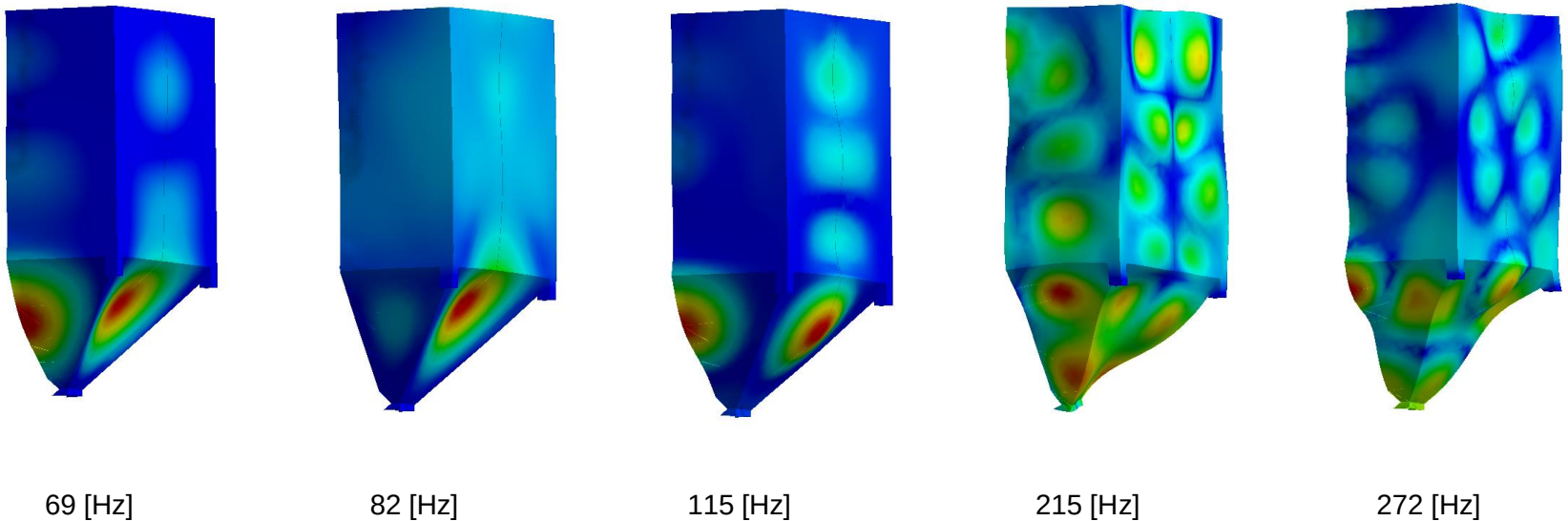
a) prázdné

b) plné



# Strukturální analýza účinků měniče na silo

## Příklad – kritické frekvence vibrací stěn sila



Modální analýza samostatného sila bez modelu vzduchu a sypké hmoty



# Tok popílku v zásobnících silech

## Změna mechanicko-fyzikálních vlastností popílku

Změna frekvence akustického měniče



## 1 Představení MOSA Solution<sup>®</sup> s.r.o.

## 2 Akustická energie

- Princip šíření zvuku
- Generátory akustické energie

## 3 Využití účinku akustické energie na sypkou hmotu

- Aplikace akustických měničů na silech a zásobnících

## **4 Provozní zkouška a experiment**

- Zkouška čištění nánosů popílku v kotli K24 v roce 2022

## 5 Vyhodnocení a závěr

# Uvolňování návěje v kotli

**Dne 3. 4. 2022 zkouška uvolnění návěje popílku**

Levá boční stěna mezitahu kotle K24



Výskyt návěje popílku v kotli



Prostor montáže akustického měniče

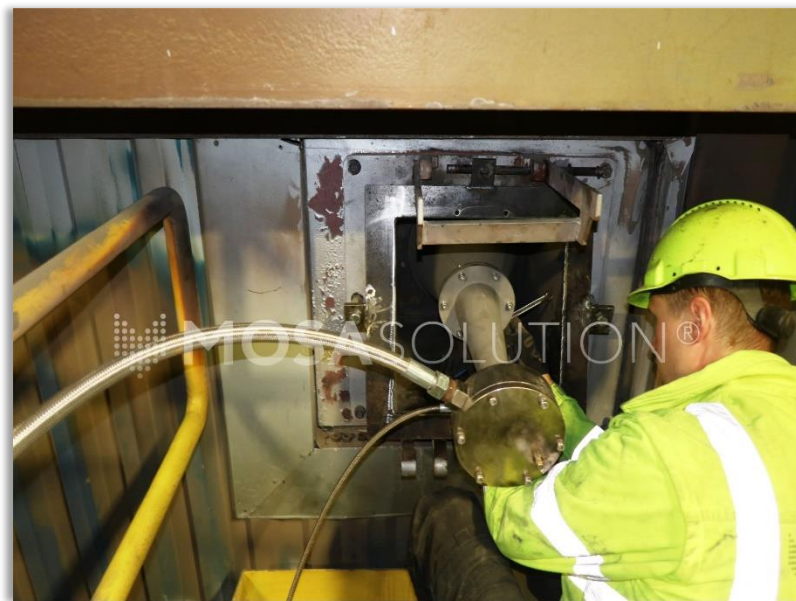


# Uvolňování návěje v kotli

## Příprava a montáž zkoušky



Montáž kompresoru a vzdušníku



Montáž akustického měniče do revizního otvoru



# Uvolňování návěje v kotli

## Teplota žhavého popílku v mezitahu



Měření

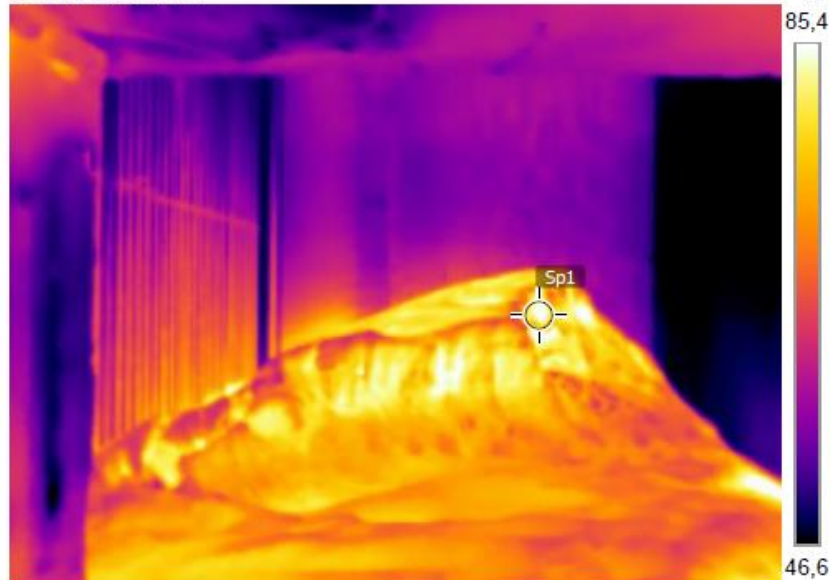
Sp1 94,9 °C

Parametry

Emisivita 0.95

Odr. tepl. 20 °C

03.04.2022 5:48:04



FLIR0651.jpg

FLIR E6xt Wifi

639063612

# Uvolňování návěje v kotli

## Ukončení zkoušky – teplota popílku



Měření

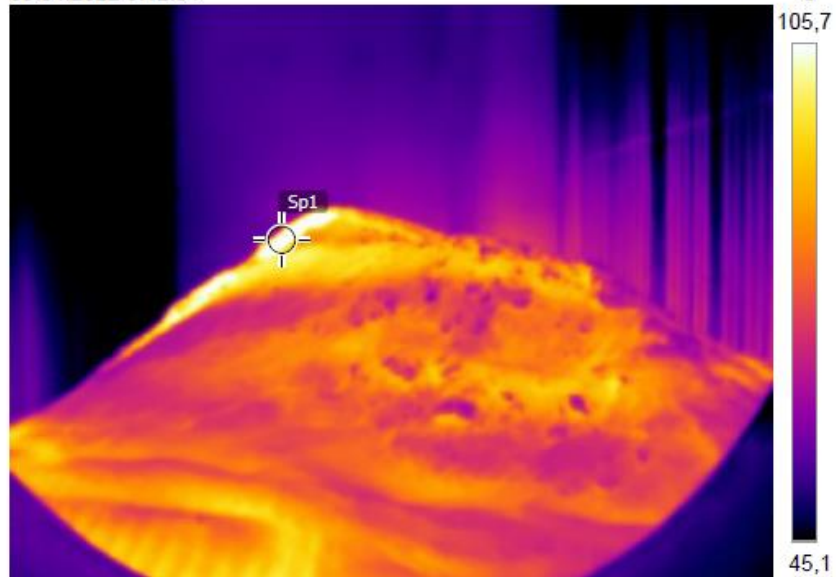
Sp1 145,7 °C

Parametry

Emisivita 0.95

Odr. tepl. 20 °C

03.04.2022 9:12:34



FLIR0667.jpg

FLIR E6xt Wifi

639063612

## 1 Představení MOSA Solution<sup>®</sup> s.r.o.

## 2 Akustická energie

- Princip šíření zvuku
- Generátory akustické energie

## 3 Využití účinku akustické energie na sypkou hmotu

- Aplikace akustických měničů na sílech a zásobnících

## 4 Provozní zkouška a experiment

- Zkouška čištění nánosů popílku v kotli K24 v roce 2022

## **5 Vyhodnocení a závěr**

# Závěr a vyhodnocení

| CO VÁM NABÍZÍME ...                                    | CO TÍM ZÍSKÁTE ...                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Technická podpora ve spolupráci s vědeckými pracovníky | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Matematický model pro zjištění frekvenčních charakteristik síla.</li> <li>✓ Výpočet maximální deformace síla – bezpečnost.</li> <li>✓ <b>Výroba atypických měničů na základě výsledků měření a výpočtů.</b></li> </ul>                              |
| Možnost zkoušky                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Nabízíme možnost odzkoušení navrženého řešení v provozních podmínkách.</li> <li>✓ Možnost změny frekvence při změně mechanicko-fyzikálních vlastností skladované sypké hmoty.</li> <li>✓ <b>Šetříme čas a náklady na projekt.</b></li> </ul>        |
| Rychlá realizace                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Prakticky ihned dle rozsahu projektu.</li> <li>✓ Držíme dostatečné skladové zásoby pro střední projekty.</li> <li>✓ Stále jsou k dispozici 2 týmy montážních pracovníků.</li> <li>✓ <b>Žádné mezičlánky, pouze dodavatel a zákazník.</b></li> </ul> |



***„Každý den posílejte ven kousky své práce a sebe,  
a začnete potkávat úžasné lidi.“***

Bobby Solomon



**DĚKUJI VÁM ZA POZORNOST**

**MOSA Solution® s.r.o.**

IČ: 28736541, DIČ: CZ28736541

Zámecká 297, 411 12 Čížkovice, Česká republika

Tel.: +420 416 538 904, [info@mosasolution.com](mailto:info@mosasolution.com)

**[www.mosasolution.com](http://www.mosasolution.com)**