

VŠB - Technical University of Ostrava  
VŠB - Technická univerzita Ostrava

**Společný aplikovaný výzkum  
Katedry kybernetiky a biomedicínského  
inženýrství, FEI, VŠB-TU Ostrava  
a Fraunhofer Institut, Institute for Machine  
Tools and Forming Technology**

**Doc. Ing. Jan Žídek, CSc.**



<http://cbe.vsb.cz>

# Charakteristika výzkumu katedry

- Od roku 2014 disponuje katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství laboratořemi v nové budově FEI
- Katedra je členěna na odborné skupiny, které orientují své výzkumné aktivity zejména směrem k projektům aplikovaného výzkumu – hlavně na národní úrovni
- Do roku 2015 chyběl těmto výzkumným aktivitám výrazný mezinárodní rozměr – start systematického hledání cesty, jak to změnit



# Fraunhofer Institut – první kontakty

- V roce 2015 jsme prostřednictvím Moravskoslezského dřevařského klastru navázali spolupráci se špičkovou výzkumnou organizací – Fraunhofer Institut z Německa
- S využitím 19. výzvy CORNET v gesci MPO jsme připravili přihlášku projektu HORBIF - **H**uman **O**riented **R**esource-efficient **B**uilding Concept for **I**ntergenerational **F**amily Houses
- Nebyli jsme sice úspěšní, ale navázali jsme první kontakty s lidmi z Institute for Machine Tools and Forming Technology Fraunhofer Institutu (FH IWU) z Chemnitz

# Fraunhofer Institut – první úspěch

- V roce 2016 jsme prostřednictvím Moravskoslezského energetického klastru pokračovali ve spolupráci s FH IWU
- S využitím 20. výzvy CORNET v gesci MPO jsme připravili přihlášku projektu SELF - **S**equential **E**lectromagnetic **F**orming – strategy for highly flexible production of large sheet metal parts
- Tento projekt byl přijat a byl řešen v období září 2016 – srpen 2018
- V rámci tohoto projektu byla navázána přátelská, systematická a úzká spolupráce s výzkumnými pracovníky FH IWU z Chemnitz

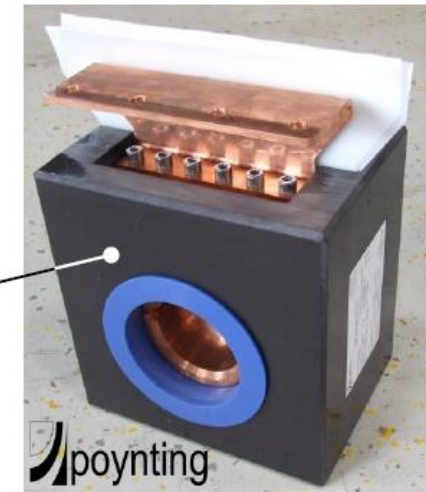
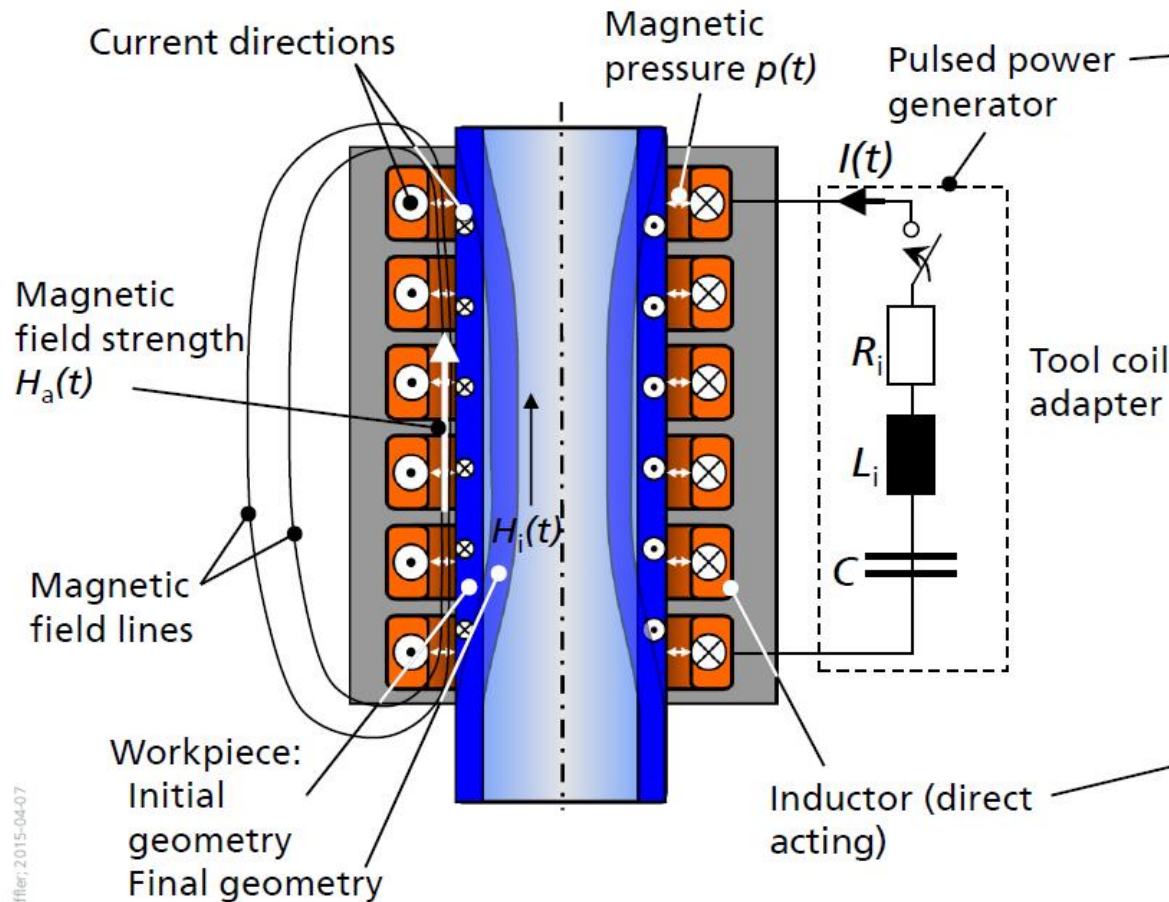
# Projekt SELF – řešená problematika

- Projekt SELF řešil problematiku tváření velkých kovových částí (plechů) elektromagnetickým polem
- Tento unikátní způsob tváření má proti klasickému lisování mnohé výhody zejména pro malosériovou výrobu:
  - Rychlost (až 400 m/s, délka tvářecího procesu 20 – 200  $\mu$ s)
  - Bezkontaktnost (nepoškozuje povrch tvářeného materiálu)
  - Ekonomickou efektivitu (absence formy nebo jednodušší forma)
- Doposud se v průmyslu využívá jednorázového tvářecího procesu EMF – tváření, spojování, dělení, modifikace vlastností tvářeného materiálu)
- Projekt SELF řešil přechod na inkrementální sekvenční formu tohoto tvářecího procesu



# Ukázka aplikace standardního EMF - lisování

## Process principle: Electromagnetic compression

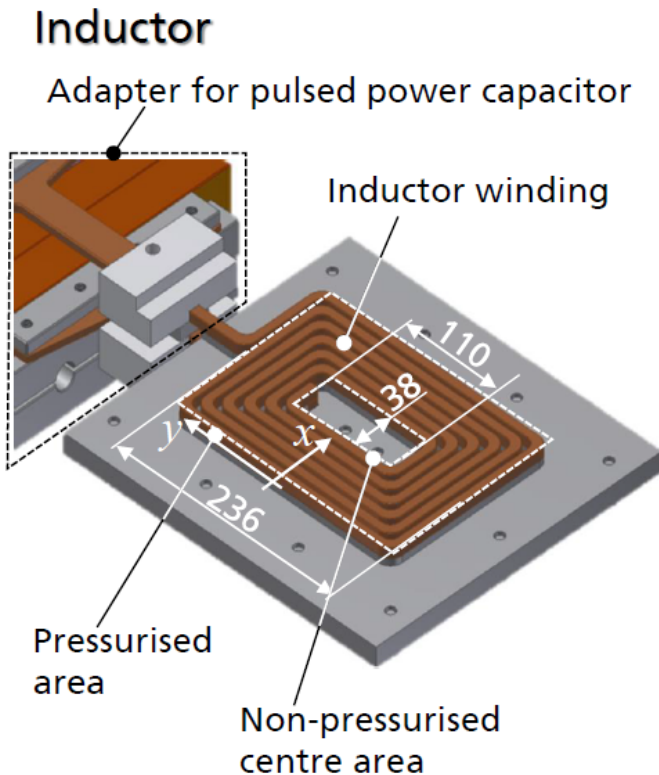


# Projekt SELF – cíle

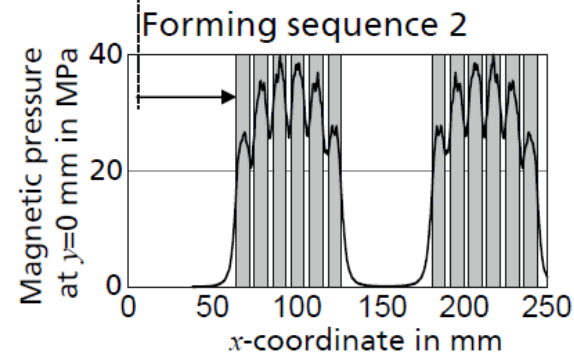
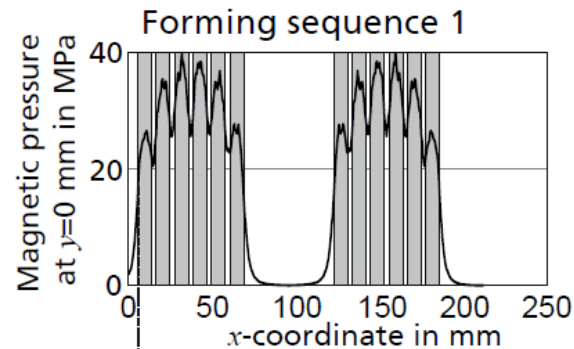
- Cílem projektu SELF byl návrh inkrementálního sekvenčního tvářecího procesu pro postupné tváření velkých kovových částí (plechů) elektromagnetickým polem
- Výstupy projektu mají umožnit malosériovou výrobu velkoplošných plechových částí, např.:
  - Fasádních kovových prvků
  - Designových kovových prvků pro interiéry
  - Kovových krytů technologií, komponent větrných elektráren
  - Tvarových kovových prvků např. pro renovaci historických automobilů
- Přínosy:
  - Možnost využití univerzálního induktoru menších rozměrů (menší síly – menší opotřebení nástroje)
  - Možnost tváření velkých dílů, pro které by nebylo reálné navrhnout induktor pro jednorázové tváření

# Ukázka inkrementálního sekvenčního EMF

## Electromagnetic sheet metal forming – Sequential structuring by EMF

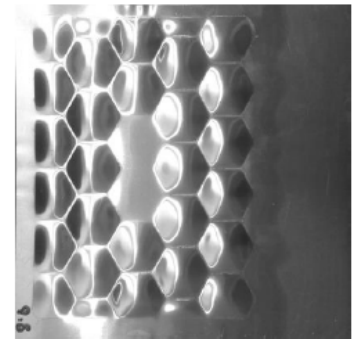


### Pressure distribution

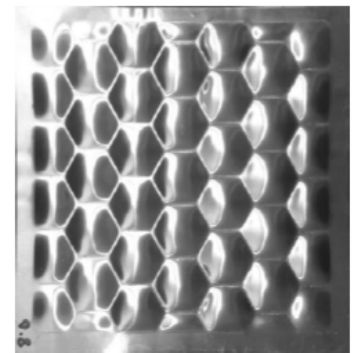


### Forming result

#### Forming sequence 1



#### Forming sequence 2



Sequential forming allows stepwisely structuring large flat sheets or sections of hollow bodies.



# Projekt SELF - struktura

- Projekt SELF byl rozdělen do devíti částí:
  - WP1 - Definition of the manufacturing tasks and investigation strategy
  - WP2 - Experimental analysis of sequential EMF
  - WP3 - Development of numerical simulation for sequential EMF
  - WP4 - Tool development for sequential EMF
  - WP5 - Conceptual design of pulsed power generators optimized for sequential EMF
  - WP6 - Process measurement and automation
  - WP7 - Development and investigation of demonstrator
  - WP8 - Comparison of sequential EMF to competing technologies
  - WP9 - Dissemination and project management
- Jednotlivé části byli vedeny buď FH IWU nebo FEI VŠB-TU Ostrava

# Projekt SELF – podíl FEI

- Do projektu SELF bylo zapojeno pět ze sedmi pracovišť FEI:
  - Katedra elektroenergetiky
  - Katedra obecné elektrotechniky
  - Katedra telekomunikační techniky
  - Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství
  - Katedra aplikované matematiky
- Hlavní přínosy pracovišť FEI v projektu:
  - Numerický simulační model pro sekvenční EMF
  - Numerická simulace různých variant pracovního nástroje (induktoru)
  - Vývoj měřicích metod pro měření intenzity magnetického pole a intenzity elektrického pole
  - Koncepční návrh nového stroje pro sekvenční EMF

# Numerický simulační model pro sekvenční EMF

## Numerical modeling – Implementation

### Input variables

#### Workpiece, tools

Geometry

Mechanical characteristics  
(flow curve, Density, ...)

Electromagnetic characteristics  
(conductivity, permeability, ...)

#### Pulsed power generator

Electrical characteristics  
( $C$ ,  $L_i$ ,  $R_i$ , loading voltage)

Electromagnetic  
model

Determination of the acting loads:  
force- or pressure distribution  
at the moments  $t_0+n\cdot\Delta t$

LS-Dyna

Determination of the displacement  
during a short period of time  $\Delta t$

Mechanical  
model

### Output variables

Workpiece, tools

Geometry

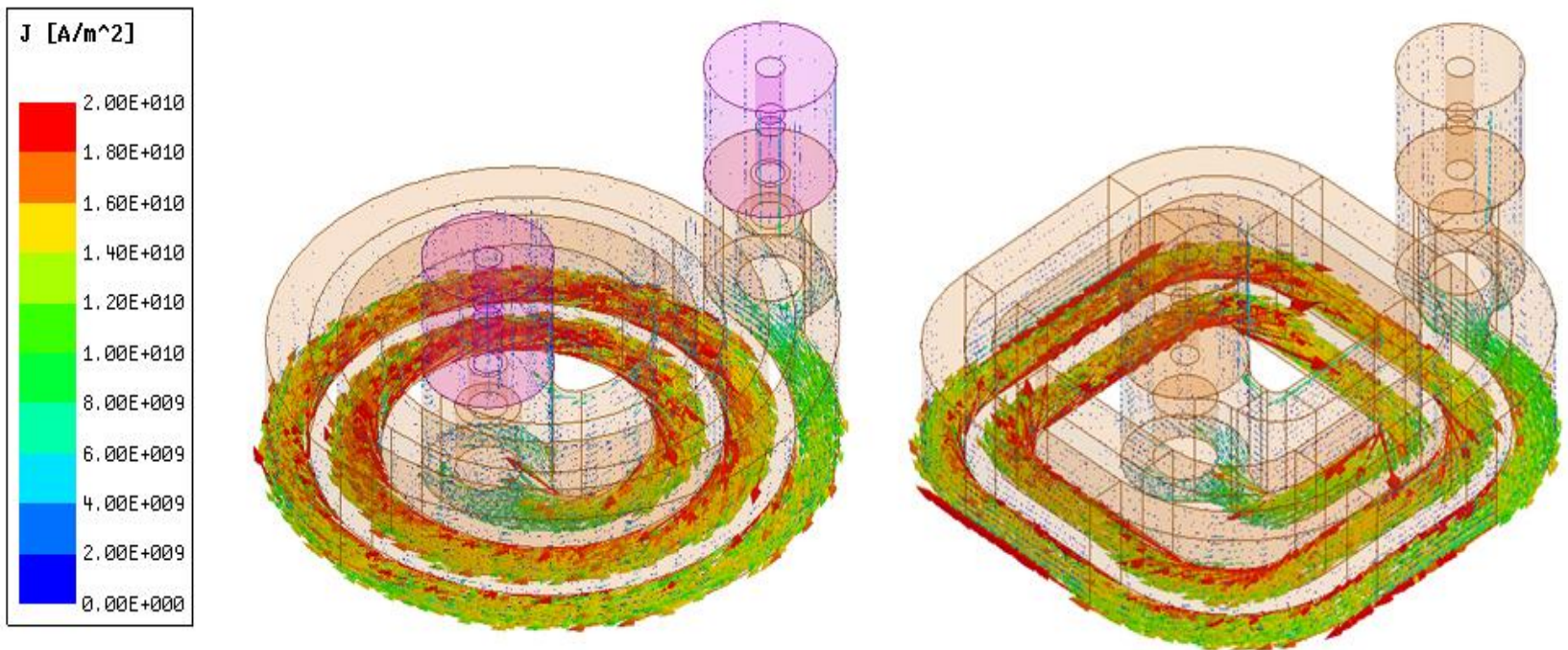
Mechanical characteristics

(displacement, force, pressure, strain, strain rate, ...)

Electromagnetic characteristics

(magnetic fields, current density distribution, ...)

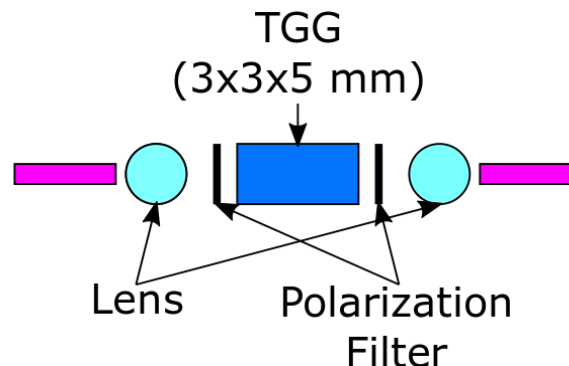
# Numerická simulace různých variant pracovního nástroje



- Distribuce hustoty proudu v různých tvarech pracovního nástroje

# Vývoj nových měřicích metod

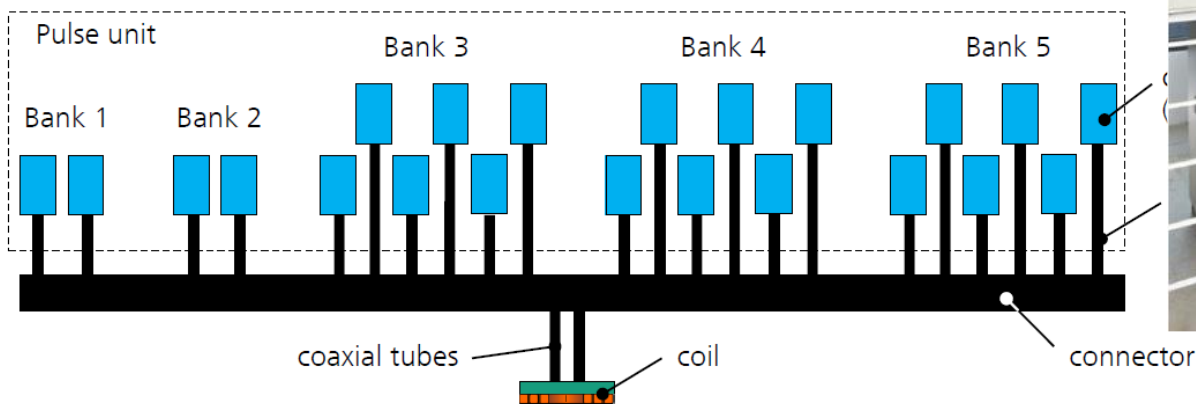
- Pro měření intenzity magnetického pole byly experimentálně ověřovány různé principy senzorů:
  - na bázi magnetostrikčních materiálů – nevyhověly svými dynamickými vlastnostmi
  - na bázi Faradayova efektu – úspěšně ověřeny měřením na experimentálním zařízení v Chemnitz
- Faradayův efekt – natáčení polarizační roviny vlivem magnetického pole
- Využití materiálu s vysokou Verdetovou konstantou – TGG
- Telurium-Galium-Garnet – Verdetova konstanta cca  $150 \text{ rad} \cdot \text{T}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  na  $600 \text{ nm}$





# Konceptní návrh tvářecího stroje pro sekvenční EMF

- Výchoziskem pro tento návrh bylo stávající zařízení, kterým disponují kolegové v Chemnitz:
- Pulzní generátor PS 103-25 Blue Wave (PST Products)
- Maximální dosažitelná energie: 103 kJ
- Maximální napětí nabití kapacitorů: 25 kV
- Kapacitory rozděleny do pěti bank: 30 – 330  $\mu\text{F}$
- Maximální dosažitelný vybíjecí proud:  $2,2 \cdot 10^6 \text{ A}$
- Nejkratší doba pracovního cyklu: cca 40 s



# Koncepční návrh tvářecího stroje pro sekvenční EMF

- S využitím stávajícího stroje byl návrhem použití speciálního napájecího zdroje zkrácen čas nabíjení kapacitorů z 10 sekund na dobu kratší než 1 sekunda
- Doplněním manipulátoru do pracovního prostoru stroje byl umožněn vzájemný pohyb tvářeného materiálu a tvářecího induktoru (fixní poloha)
- Byly vytipovány dva referenční materiály a dva referenční výrobky, pro které byla stanovena strategie výzkumu

material	electr. conductivity $\sigma$ [MS/m]	yield strength $R_{p0.2}$ [MPa]	tensile strength $R_m$ [MPa]	uniform strain $A_g$ [ ]	fracture strain $A_{50}$ [ ]
Cu-DHP R240	46.58	212.3	297.3	27.3	43.0
EN AW 6016 T4	25.28	149.2	267.9	23.2	32.6

# Konceptní návrh tvářecího stroje pro sekvenční EMF

- Referenční výrobek – sedák židle



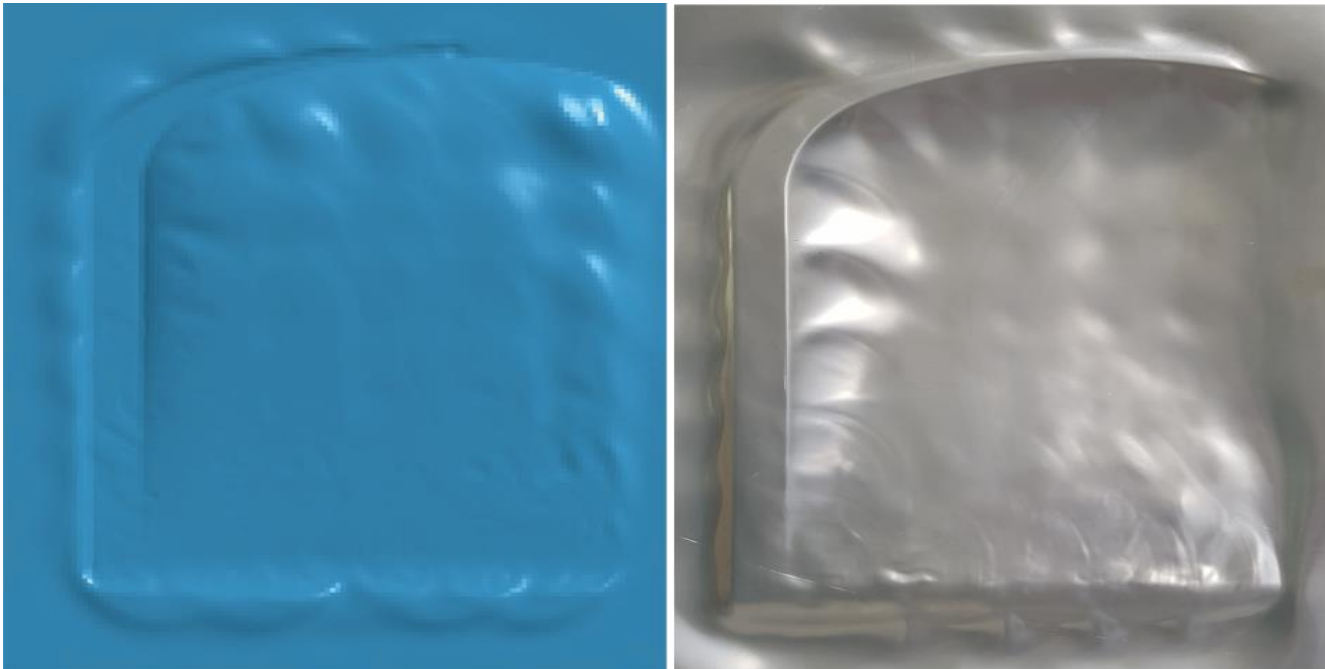
- Parametry experimentů:
  - Dávka energie na jeden cyklus
  - Posun induktoru vůči tvářenému materiálu
  - Vzdálenost induktoru od materiálu
  - Trajektorie induktoru

# Strategie výzkumu

- V souladu s navrženým členěním projektu a harmonogramem projektu byly pro zvolené materiály a zvolené výrobky stanoveny:
  - Materiálové konstanty podstatné pro tvářecí proces
  - Kombinace parametrů tvářecího procesu
  - Byl navržen matematický model chování tvářeného materiálu
    - Rozložení a velikosti silových účinků Lorentzových sil vytvořených vířivými proudy pod použitým induktorem – s využitím metody konečných prvků ve spojení s metodou hraničních prvků zde byly řešeny Maxwellovy rovnice
    - Byla modelována distribuce teplotního pole ovlivňujícího elektrické vlastnosti tvářeného materiálu
    - Konsolidací elektromagnetického, tepelného a mechanického modelu byla simulována deformace tvářeného materiálu pod induktorem
- V rámci experimentů byly použity v projektu vyvinuté metody měření intenzity magnetického pole

## Validace výsledků

- Získané výsledky z popsaného matematického modelu byly srovnány s výsledky simulací tvářecího procesu provedenými v systému LS DYNA a validovány výsledky experimentálních pokusů provedených na experimentálním zařízení
- Srovnání výsledku simulace (vlevo) a reálného tvářecího pokusu (vpravo)





# Publikace výsledků

Nō	Date	Title	Authors	Where	Type
1	Mar-17	Wirtschaftliche Fertigung individualisierter Blechbauteile	Fraunhofer IWU	<a href="#">webpage Fraunhofer IWU</a>	flyer
2	Jun-17	Coupling of Finite and Boundary Elements for Transient Eddy Current Problems	D. Lukáš, P. Kačor, L. Ivánek, V. Mach, C. Scheffler	Mathematical Analysis and Numerical Mathematics, 15 (2), pp.280-285	journal
3	Aug-17	Inkrementelle elektromagnetische Umformung – Numerische und experimentelle Prozessanalyse	M. Linnemann, C. Scheffler, P. Kurka, V. Psyk, D. Landgrebe	Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 112(7-8), pp.454-458	journal
4	Oct-17	Individualisierte Blechteile wirtschaftlich umformen	M. Linnemann, C. Scheffler, P. Kurka	Maschinenmarkt, 123 (43), pp.36-39	journal
5	May-18	Sequential electromagnetic forming of large-scale components	P. Kurka, D. Landgrebe, M. Linnemann, V. Psyk, C. Scheffler, J. Zidek, D. Lukáš, V. Vašinek, L. Hájek	Metal 2018, Brno, Czech Republic	conference
6	Oct-18	Inkrementelle elektromagnetische Blechumformung – Wirtschaftliche Herstellung kleiner Losgrößen durch geschickte Verfahrenskombination	M. Linnemann, V. Psyk, P. Kurka, C. Scheffler, D. Landgrebe	UMFORMtechnik - Blech Rohre Profile	journal
7	Nov-18	High-Speed Incremental Forming – New Technologies For Flexible Production Of Sheet Metal Parts	M. Linnemann, V. Psyk, E. Djakow, R. Springer, W. Homberg, D. Landgrebe	Procedia Manufacturing	journal/ conference

## Přínosy projektu SELF pro katedru

- V rámci projektu probíhala pravidelná setkání projektového týmu střídavě v Chemnitz a v Ostravě
- V rámci prezentace dosažených dílčích výsledků na těchto setkáních jsme se učili vzájemné spolupráci s německými kolegy z FH IWU
- Součástí těchto setkání byly i schůzky tzv. User Committee – zástupcům průmyslových podniků z Německa a ČR jsme prezentovali postup a dosažené výsledky a získávali tak zpětnou vazbu z průmyslu
- V průběhu řešení projektu navštívil rektora VŠB-TU Ostrava ředitel IWU institutu prof. Dirk Landgrebe a byla uzavřena dohoda o systematické spolupráci mezi Fraunhofer Institutem a VŠB-TU Ostrava
- Na základě této dohody bylo zřízeno na FEI pracoviště pro Dipl. Ing. Dietera Weise – pracovníka IWU, který na FEI tráví jeden týden v měsíci
- V rámci těchto pobytů připravujeme další společné projekty

# Navazující projekty s Fraunhofer Institutem

Na základě zkušeností získaných v projektu SELF byly na katedře připraveny a jsou řešeny další projekty:

- EFFICoil - Resource-efficient, flexible manufacturing and testing processes for high performance coils – úspěšně podáno v rámci výzvy CORNET, řeší se
- IQZeProd - Inline quality control for zero-error-products – úspěšně podáno v rámci 23. výzvy CORNET, rozbíhá se řešení
- Smart Cushion Pin 4.0 – úspěšně podaný v rámci veřejné soutěže programu Delta TAČR, řeší se
- MoSys4.0Industry – Modular system for simple sensor integration and monitoring of process data for industrial production processes – podán v rámci šesté veřejné soutěže programu Delta TAČR

# Navazující projekty s Fraunhofer Institutem

Zkušenosti s multioborovostí řešeného projektu SELF jsme zúročili v projektu Operačního programu Výzkum, vývoj a vzdělávání, prioritní osa 1, investiční priorita 1, specifický cíl 2, výzvy: Dlouhodobá mezisektorová spolupráce a Dlouhodobá mezisektorová spolupráce pro ITI, kde jsme úspěšně podali projekt

„Platforma pro výzkum orientovaný na Průmysl 4.0 a robotiku v ostravské aglomeraci“

Do tohoto projektu jsou kromě Fraunhofer Institutu zapojeny i firmy působící v ostravské aglomeraci, Moravskoslezský automobilový klastr a Moravskoslezské inovační centrum.

Rozpočet projektu cca 80 mil. Kč, doba řešení 2018 - 2022



Děkuji za  
pozornost

doc. Ing. Jan Žídek, CSc.

jan.zidek@vsb.cz