

# ANALÝZA ZVONU

A. Neubauerova, J. Hejlová, J. Příhoda

Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola, Žďár nad Sázavou, Studentská 1

## Abstract

**Cílem projektu je ukázat využití moderních výpočetních technologií ve výrobě zvonů. Řešení této problematiky podává vhodný příklad pro popularizaci FEM a zejména programu COMSOL Multiphysics na vyšších a středních technických školách.**

**The aim of the project “Analysis of bell” is the application modern ICT technologies in bell manufacturing.**

## 1 ÚVOD

Projekt byl vytvořen ve spolupráci s firmou ŽĎAS a. s. Žďár nad Sázavou. Je zaměřen nejen na výrobu zvonů, ale i na využití moderních počítačových technologií v této oblasti. Zvon byl odlit v roce 2006 k výročí 55 let Střední průmyslové školy ve Žďáře nad Sázavou a ke stejnému výročí zahájení provozu ve firmě ŽĎAS. Obdobný zvon byl odlit i před pěti lety. V práci popisujeme nejen staré technologie výroby zvonů (které se stále dodržují), ale také moderní současné postupy. To se týká nejen slévárenské části, ale také výpočetních metod.

### Projekt se skládá z následujících částí:

- a) **Historie** výroby zvonů
- b) Návrh tvaru zvonu v **CAD** programu UNIGRAPHICS
- c) **Vizualizace proudění** oceli ve formě programem MAGMASoft
- d) Počítačová **vizualizace chladnutí** zvonu ve formě programem MAGMASoft
- e) Popis **technologie výroby** zvonu
- f) **Počítačová simulace deformací a napětí** zvonu při úderu srdce (FEM)
- g) **Akustická analýza** – výpočet vlastních frekvencí a tvarů zvonu (FEM)
- h) **Měření akustiky zvonu – frekvenční analýza**

První dva zvony byly ve Žďárských slévárnách a strojárnách odlity při příležitosti zahájení výroby v srpnu roku 1951. Byly odlity z oceli na odlitky a jeden z nich je dodnes na zvonici kostela v obci Křižánky. Slévárny se k odlévání zvonů vrátily v roce 2001, kdy bylo odlito osm zvonů k výročí 50 let zahájení výroby ve firmě. Od té doby se na základě požadavků obcí odlilo několik dalších ocelových zvonů.

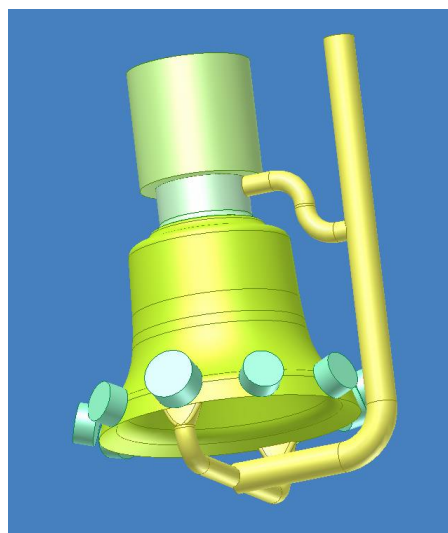
## 2 ŘEŠENÍ

### Konstrukce zvonu

Konstrukce byla navržena CAD programem UNIGRAPHICS. Vychází z tvaru starých zvonů českého zvonaře Vavřince Kříčky z Bítvyšky, který žil v 16. století n. l. Takto získaná geometrická data se využila nejen při vlastní výrobě polystyrénového modelu zvonu a jaderníku, ale také pro další počítačové simulace a výpočty. Proto nebylo potřeba kreslit a tisknout klasické výrobní výkresy. Na Obrázku 1 je 3D model zvonu, na Obrázku 2 je 3D model slévárenské technologie.(zvon, vtoková soustava a chladítka).



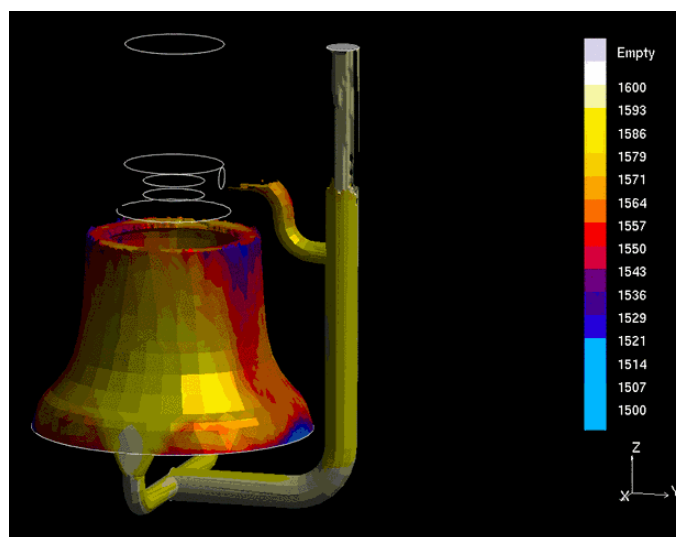
Obrázek 1: 3D model zvonu



Obrázek 2: 3D model surového odlitku

### Simulace plnění formy

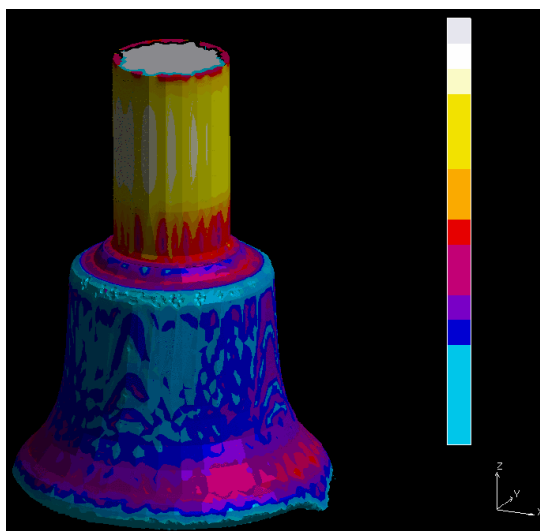
Při odlévání je třeba sledovat správné plnění formy. Tím se zajišťuje minimalizace špatných odlitků, vznikajících například z důvodu nezatečení, staženin apod. Proto se nasazují výkonné počítačové programy pro tuto simulaci. Simulace probíhá jako video a je možno podrobně sledovat podmínky plnění formy a měnit vstupní parametry lití (například rychlost plnění vtokového kanálu). Pro tuto simulaci jsme využili software MAGMASoft. Výsledkem je simulace odlévání, ukázka je na Obrázku 3.



Obrázek 3: Simulace plnění slévárenské formy

### Simulace chladnutí

Další významnou částí přípravy odlévání je simulace chladnutí odlitku ve formě. Touto simulací se posuzuje rychlost chladnutí jednotlivých částí odlitku a možnost vzniku vad (staženiny, řediny, zákalky apod.). Opět se mohou měnit podmínky chladnutí ještě před vlastním odléváním, například formovací materiál, chladítka atd. U odlévání zvonů je doba chladnutí velmi důležitá, protože při rychlém chladnutí, nebo předčasném vytažení zvonu z formy, může dojít k jeho deformaci, nebo prasknutí. Pro tuto simulaci se opět využil software MAGMASoft. Ukázka ze simulace chladnutí je na Obrázku 4.



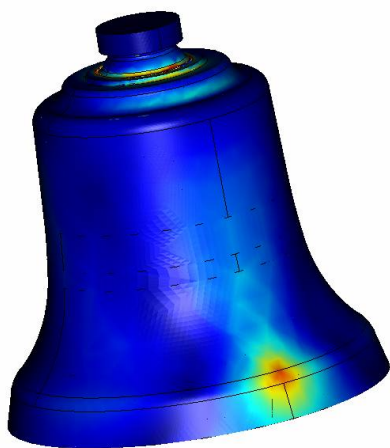
Obrázek 4: Simulace chlazení odlitku ve formě

### Popis technologie výroby zvonu

V této části práce je textový a obrázkový podrobný popis přípravných prací (výroba polystyrénového modelu zvonu, jaderníku, ozdob atd.). Pro rozsáhlost této kapitoly odkazujeme na [www.spszr.cz](http://www.spszr.cz), kde je možno celou práci získat.

### Počítačová simulace deformací a napětí

Při úderu srdce zvonu na věnec zvonu dochází k dynamickému působení, které vede ke vzniku napětí a k deformaci zvonu. Tyto výpočty jsme provedli pomocí MKP (FEM) programem COMSOL Multiphysics. Na Obrázku 5 je příklad rozložení napjatosti, na Obrázku 6 je příklad deformace zvonu. Obdobně se zjistily i vlastní frekvence zvonu a k nim příslušné tvary. Opět pro rozsáhlost odkazujeme na [www.spszr.cz](http://www.spszr.cz), kde jsou barevné výstupy výpočtů, které je možno analyzovat. Je možno určit a vyhodnotit napětí, které by mohlo vést k poškození zvonu a tím předejít jeho poškození – prasknutí.



Obrázek 5: Napjatost ve zvonu



Obrázek 6: Deformace zvonu při úderu

### Akustická analýza

Poslední částí práce je analýza zvuku zvonu. Jejím záznamem a rozбором je možno posuzovat zvuk podle obsažených frekvencí (tónů) a jejich amplitud. Je to jakási výstupní kontrola zvonu, která může být opět simulována softwarem, nebo měřena na vyrobeném zvonu. Výsledky opět v tištěné práci, nebo na [www.spszr.cz](http://www.spszr.cz).

### 3 ZÁVĚR

Práce ukazuje aplikace moderních počítačových metod na výrobku, který má více než tisíciletou výrobní tradici. Je ukázkou komplexního nasazení ICT od designu, přes přípravné technologické práce až po výstupní kontrolu – analýzu zvuku.

#### References/Literatura

- [1] MANOUŠEK, Petr. Zvonařství. Praha: Grada Publishing, 2006.  
ISBN 80-247-1294-6.
- [2] Internetové zdroje na URL <http://www.comsol.com> a <http://www.humusoft.cz>
- [3] Dokumentace k softwaru (Unigraphics, MAGMAsoft, COMSOL Multiphysics)

#### Kontaktní informace:

Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola, Studentská 1, 591 01 Žďár nad Sázavou, tel. 566 651 211, [posta@spsze.cz](mailto:posta@spsze.cz), [prihoda@spszr.cz](mailto:prihoda@spszr.cz)