

## Systém detekce strusky pro kontinuální lití – sledování vibrací

### Slag detection system for continuous casting – vibration detection

Ing. David Stoniš; Ing. Martin Papoušek

VÚHŽ a. s., Dobrá 240, 73970 Dobrá, Česká republika

*V průběhu let 2018 – 2020 se firma VÚHŽ a.s., Dobrá ve svých výzkumných úkolech zabývala vývojem a nasazením systému pro detekci strusky v pánvi pro účely zařízení plynulého odlévání v TŽ, a.s. Z důvodu neustále se zvyšujícího tlaku na kvalitu odlévaných profilů a jejich kontrolu, požadoval zadavatel TŽ, a.s. automatickou detekci strusky s možností jejího zpětného dohledání. Zároveň zadavatel kladl důraz na snadnou údržbu zařízení a její nenáročnou implementaci do výrobního procesu. Z výše uvedených důvodů byl pro koncept zařízení zvolen princip detekce na základě změny vibrací při přechodu ocel-struska z pánve do mezipánve.*

**Klíčová slova:** detekce strusky; akcelerometr; kontinuální lití; měření vibrací

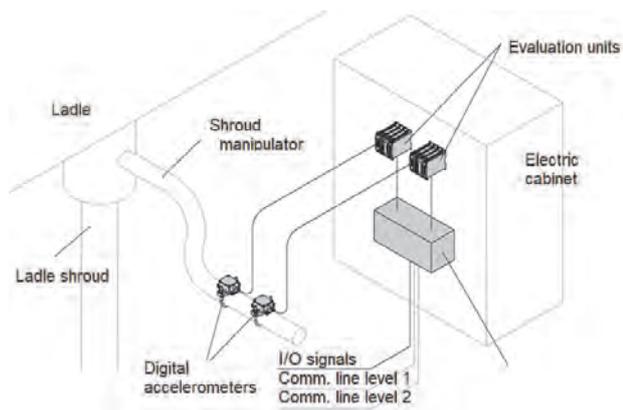
*Today, majority of steel productions is made by the technology known as continuous casting. The zone of transition between steel and slag is recognized as an important issue in today's steelmaking process. Reliable slag detection system must identify the steel-slag transition under varying operating conditions. Many of slag detection systems are already on the market at this time, but numerous casting operations still rely on the decision of human operator. During the years 2018-2020 the VUHZ company, within its researcher tasks, worked on the development and commissioning of a slag detection system for continuous casting machine in Třinec steelworks (TŽ, a.s.) Due to the ever-increasing pressure from the customer side on the quality of continuously cast products, there was a requirement from TŽ, a.s. customers for automatic slag detection system with its on-line trending and monitoring enabling also a study of history. The designed device had to meet requirements for low-cost maintenance and easy implementation into the production process. The concept is based on monitoring of difference in vibrations during pouring of liquid steel and slag from ladle to the tundish. Its main advantage is simplicity, low-cost and non-invasive nature. Detection device consists of two 3-axis accelerometers with digital output line, processing unit and PLC control unit. Data from PLC are sent via ethernet to LEVEL2 systems, where slag detection report is created from them.*

**Key words:** slag detection; accelerometer; continuous casting; vibration measurement

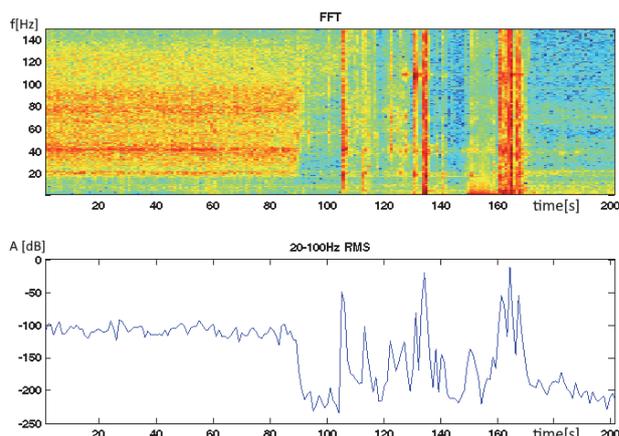
V hutnictví se v zařízeních pro detekci strusky využívají zejména dva hlavní fyzikální principy detekce. Prvním z nich je elektromagnetická detekce, kde jsou do vyzdívky pánve instalovány elektromagnetické senzory, které indikují přechod mezi ocelí a struskou. Druhým principem je měření přechodu mezi ocelí a struskou pomocí sledování vibrací. Každý ze systémů má své výhody i nedostatky. Mezi přednosti elektromagnetické detekce patří přesnost a spolehlivost detekovat přítomnost strusky bez ovlivnění vnějšími vlivy a detekce její přítomnosti ještě před vnikem do stínící trubice, resp. mezipánve. Naproti tomu jsou její nevýhody vysoké prvotní pořizovací náklady, přídatné chlazení a nutnost neustálé údržby a kontroly snímačů při vyzdívání a manipulaci s pánví. Vibrační princip má naopak výhodu v tom, že se používá jen jedno monitorovací zařízení umístěné mimo pánev, které vyžaduje minimální údržbu, a rovněž pořizovací náklady jsou řádově nižší než u prvního způsobu. Nevýhodou vibračního snímání je

nutnost odfiltrovat vibrace z jiných zdrojů a nastavení zařízení individuálně dle specifik jednotlivých provozů. Další nevýhodou je, že k detekci strusky dochází až na základě jejího malého úniku do mezipánve. [1, 3]

U systému detekce strusky bylo požadováno jeho nasazení na technologickém úseku ZPO1 TŽ, a.s., pracoviště KOLP. Dosud zde probíhala detekce strusky tak, že operátor měl před koncem dolití pánve položenou ruku na konci ramene manipulátoru stínící trubice a vnímal změnu vibrací při přechodu oceli na strusku. Z tohoto principu jsme při návrhu vycházeli. Vibrace, které při přechodu ocel-struska ve výtokovém otvoru pánve a stínící trubici vznikají, jsou přenášeny i na manipulátor. Na rameno tohoto manipulátoru jsme nainstalovali jako snímač vibrací tříosý digitální akcelerometr s rozlišením 20 bitů a max. zrychlení  $\pm 2,048$  g. Pro filtraci byl použit 32bitový DSP procesor (obr. 1).



Obr. 1 Blokové schéma systému detekce strusky  
Fig. 1 Block diagram of the slag detection system



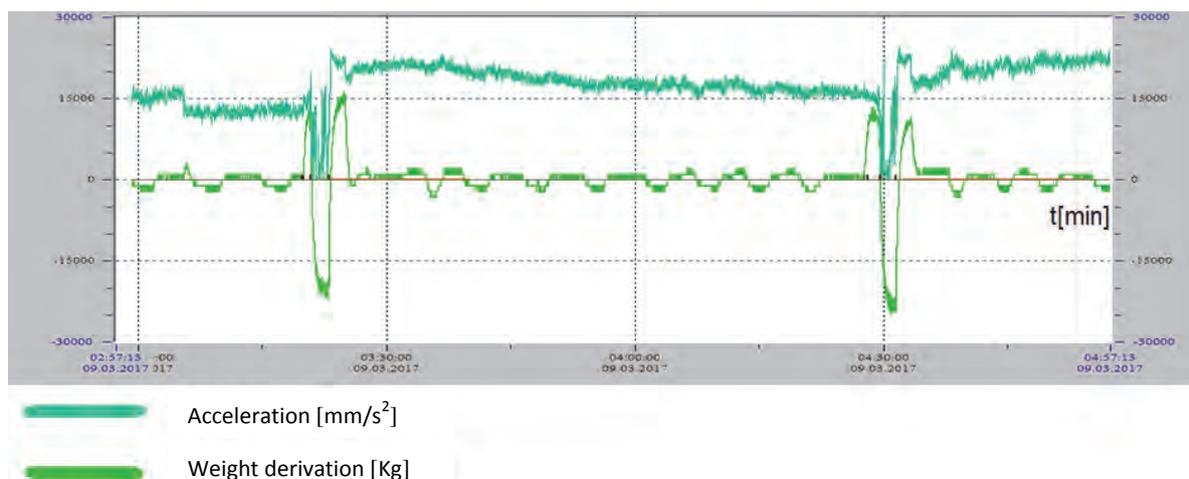
Obr. 2 Frekvenční spektrum přechodu ocel-struska, osa Z  
Fig. 2 Frequency spectrum of transition steel – slag, axis Z

V první fázi projektu bylo třeba zjistit, jestli akcelerometry jsou vůbec schopny zaznamenat změnu v přechodu ocel-struska, je-li měření opakovatelné a jak budou měřené hodnoty ovlivňovat parazitní vlivy. Bylo provedeno několik měření s pomocí digitálního 24bitového B&K analyzátoru. Ukázka výsledného frekvenčního spektra při přechodu ocel-struska je zobrazena na obr. 2.

Z frekvenčního spektra je patrný přechod mezi struskou a ocelí, kdy v okamžiku uvolňování strusky dochází k výraznému poklesu vibrací. Na základě těchto měření jsme navrhli digitální filtraci a vyhotovili prototyp zařízení skládající se ze dvou identických měřících systémů, jeden jako hlavní a druhý jako záložní pro případ poruchy. Každý systém sestává z tříosého digitálního akcelerometru napojeného na procesor, který odesílá data z akcelerometru po sběrnici RS485 do vyhodnocovací výpočetní jednotky. V případě ztráty signálu dochází k automatickému přepnutí na záložní systém.

Digitální akcelerometr měří vzorky s frekvencí  $1000 \text{ s}^{-1}$ . Všechny změřené vzorky vstupují do 8bitového MCU a odešlou se spolu s kontrolním součtem po lince RS485. Tato data jsou přenášena do výpočetní jednotky, kde jsou dále zpracovávána. Ve výpočetní jednotce jsou na vybraná data z akcelerometru, zpravidla pouze na data z jedné osy akcelerometru, aplikovány digitální FIR filtry. FIR filtry v časové doméně byly zvoleny jako plně postačující a proti filtraci ve frekvenční doméně výrazně méně výpočetně náročné. Z takto filtrovaného signálu se počítá výkon a dále se filtruje dolní propustí.

Filtrovaný signál je následně posílán s obnovovací periodou 20 ms po analogové lince 4-20 mA do PLC, kde dochází k jeho dalšímu vyhodnocení. Do tohoto PLC jsou napojeny i analogová data z měření hmotnosti pánve a mezipánve (obr. 3) a informace o poloze šoupátkového uzávěru. Jako výstupní signály jsou pro operátora použity informace o aktivaci systému detekce a přítomnosti strusky.



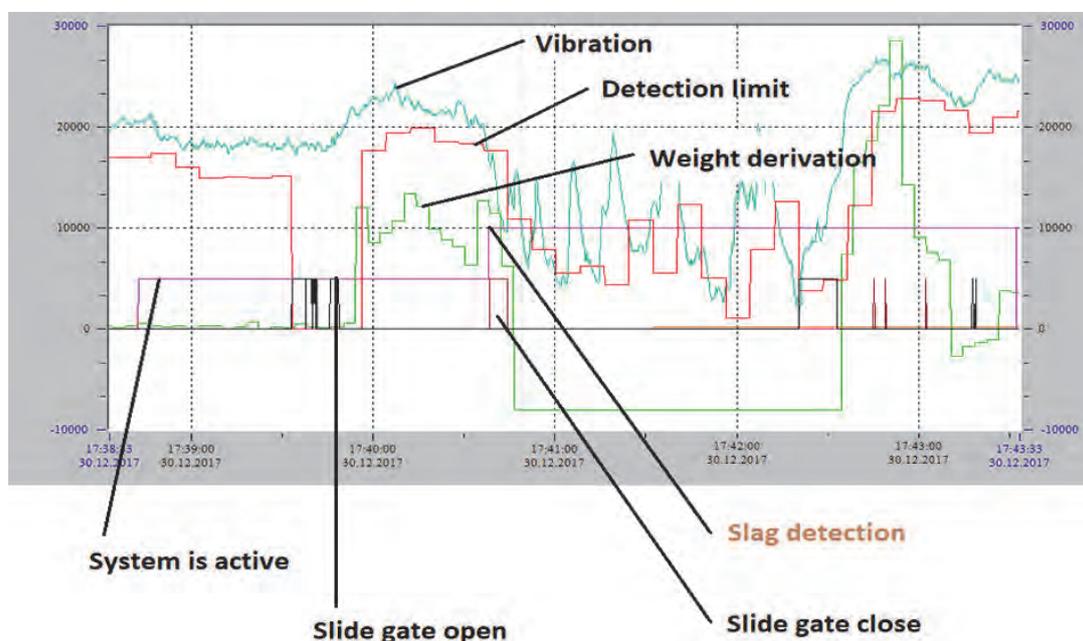
Obr. 3 Průběh vibrací a přírůstků hmotnosti v mezipánvi v sekvenci lití  
Fig. 3 Evolution of the trend of vibrations and tundish weight increments during casting sequence

Celý proces detekce se automaticky spouští při poklesu hmotnosti v pánvi pod 20 t nebo manuální aktivací

operátorem. Zpravidla při poklesu hmotnosti pánve pod 15 t operátor přechází do ručního ovládání šoupátkového

uzávěru a obvykle v rozmezí 10 až 8 t šoupátkový uzávěr otevírá, aby docházelo k rychlejšímu odtoku oceli z pánve. V průběhu testů bylo zjištěno, že tímto otevřením se zvýší vibrace, jak dokládá záznam na obr. 4. Zároveň je však nutné pro samotný pohyb šoupátkového uzávěru detekci strusky na krátký čas přerušit, jelikož dochází k jejímu ovlivnění a tím i možnosti falešné detekce. Při změně úrovně vibrací se aktivuje zvukový a světelný signál detekce strusky. Operátor pak na jejich základě dává pokyn k zavření šoupátkového uzávěru pánve. Po uzavření výtokového otvoru pánve se následně z PLC odešlou data s technologickými parametry detekce do nadřazeného systému řízení, kde dochází k jejich dalšímu zpracování. Celý proces detekce se automaticky spouští při poklesu hmotnosti v pánvi pod 20 t nebo manuální aktivací operátorem. Zpravidla při poklesu

hmotnosti pánve pod 15 t operátor přechází do ručního ovládání šoupátkového uzávěru a obvykle v rozmezí 10 až 8 t šoupátkový uzávěr otevírá, aby docházelo k rychlejšímu odtoku oceli z pánve. V průběhu testů bylo zjištěno, že tímto otevřením se zvýší vibrace, jak dokládá záznam na obr. 4. Zároveň je však nutné pro samotný pohyb šoupátkového uzávěru detekci strusky na krátký čas přerušit, jelikož dochází k jejímu ovlivnění a tím i možnosti falešné detekce. Při změně úrovně vibrací se aktivuje zvukový a světelný signál detekce strusky. Operátor pak na jejich základě dává pokyn k zavření šoupátkového uzávěru pánve. Po uzavření výtokového otvoru pánve se následně z PLC odešlou data s technologickými parametry detekce do nadřazeného systému řízení, kde dochází k jejich dalšímu zpracování.



Obr. 4 Záznam zrychlení (vibrací) v průběhu konce lití – software Promotic  
Fig. 4 Records of acceleration (vibration) during end of casting – Promotic software

## Závěr

Cílem popsaného projektu bylo automatizovat stávající systém detekce strusky a náhradu lidské obsluhy. Vyvinutý systém detekce byl úspěšně nasazen a prakticky byla ověřena i jeho spolehlivost při provozních zkouškách. Za rok a půl plného provozu zařízení bylo jeho pomocí vyhodnoceno přes 4000 taveb s celkovou úspěšností pohybující se kolem 92 %. Zbývajících 8 % jsou případy, kdy došlo k vyřazení detekce z důvodu pohybu šoupátkového uzávěru, uzavření pánve z technologických důvodů nebo z důvodu poruchy na zařízeních posílajících data potřebná pro správnou funkci systému.

## Literatura

- [1] GERGELY, T., ONDREJKOVIČ, K., HULKÓ, G. A Low-cost Non-invasive Slag Detection System for Continuous Casting. *IFAC Papers*, on-line, 50-1 (2017) 438–445. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.065>
- [2] TAN, D., LI, P., PAN, X. D. Application of Improved HMM Algorithm in Slag Detection System. *Journal of Iron and Steel Research*, 16 (2009) Issue 1, Jan., 1-6, [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(09\)60001-7](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(09)60001-7).
- [3] WALKER, D. I., DAWSON, S., MOUNTFORT, N. Development of Vibration Style Ladle Slag Detection Method and the Key Technologies. *Transactions of the Iron&Steel Society of AIME*, (1991) 12, 223-230.
- [4] Nupro Corporation - 755 Center Str., Suite 3, Lewiston, New York, USA 14092, Cost Effective Caster Slag Detection (2017), [http://www.nuprocorp.com/pdf\\_file/slag\\_trkII.pdf](http://www.nuprocorp.com/pdf_file/slag_trkII.pdf)