



Vysoká škola technická a ekonomická  
v Českých Budějovicích

# Progresivní metody modelování

---

**Doc. Ing. Ladislav SOCHA, Ph.D. a kol.**



# Realizace laboratorního experimentu zaměřeného na fyzikální modelování rafinace slitin kovů

---

Seminář č. 4

# Fyzikální modelování

---

- ✓ V laboratoři Vysoké školy technické a ekonomické v Českých Budějovicích se nachází fyzikální model rafinace hliníkové slitiny.
- ✓ Hliníková slitina se v provozních podmínkách zpracovává na zařízení pro rafinaci hliníkové taveniny nazývaném FDU (Foundry Degassing Unit).
- ✓ Toto zařízení se skládá z rotoru, kterým je do taveniny přiváděn rafinační plyn (v provozních podmínkách dusík) a vlnolamu.
- ✓ Po zanoření rotoru do pánve s hliníkovou taveninou se rotor začne otáčet a současně dochází k dmýchání rafinačního plynu, který z taveniny odstraňuje škodlivý vodík (detailnější popis procesu je uveden v kapitole 2).
- ✓ Fyzikální model má tedy za úkol na základě teorie podobnosti v laboratorních podmínkách predikovat intenzitu odstranění vodíku z taveniny hliníku v reálném procesu.

# Fyzikální modelování

---

- ✓ Jak bylo řečeno v předchozí kapitole, fyzikální modelování je založeno na teorii podobnosti dvou systémů.
- ✓ Předlohou pro fyzikální model pánve pro rafinaci taveniny byla provozní pánev, využívaná společností MOTOR JIKOV Slévárna a.s.
- ✓ Fyzikální model reaktoru včetně rotoru a vlnolamů byl vyroben v měřítku 1:1 k této pánvi, čímž se zajistila geometrická podobnost modelu a díla.
- ✓ K dispozici je také model pánve pro nízkotlaké lití uvedené společnosti.
- ✓ Dynamická podobnost modelu a díla byla zajištěna nahrazením taveniny hliníkové slitiny vodou, která při pokojové teplotě vykazuje podobnou dynamickou viskozitu jako hliník.
- ✓ Škodlivý vodík byl pro potřeby fyzikálního modelování nahrazen kyslíkem, který má ve vodě při pokojové teplotě podobné vlastnosti jako vodík v tavenině hliníku.
- ✓ Obsah kyslíku ve vodě je monitorován dvěma optickými sondami, umístěnými v různých vzdálenostech od dna modelu.
- ✓ Sondy využívají jev luminiscence, jejíž intenzita je závislá na obsahu kyslíku ve vodě.

# Fyzikální modelování

- ✓ Cílem fyzikálního modelování je zachytit intenzitu odplynění a analyzovat pokles obsahu kyslíku ve vodě při změně různých parametrů (počet otáček, ponor rotoru, počet vlnolamů, tvar rotoru). Poznatky získané v rámci fyzikálního modelování sloužil k optimalizaci modelované technologie, tedy ke stanovení optimálních provozních podmínek rafinace hliníkové taveniny při změně definovaných parametrů procesu.

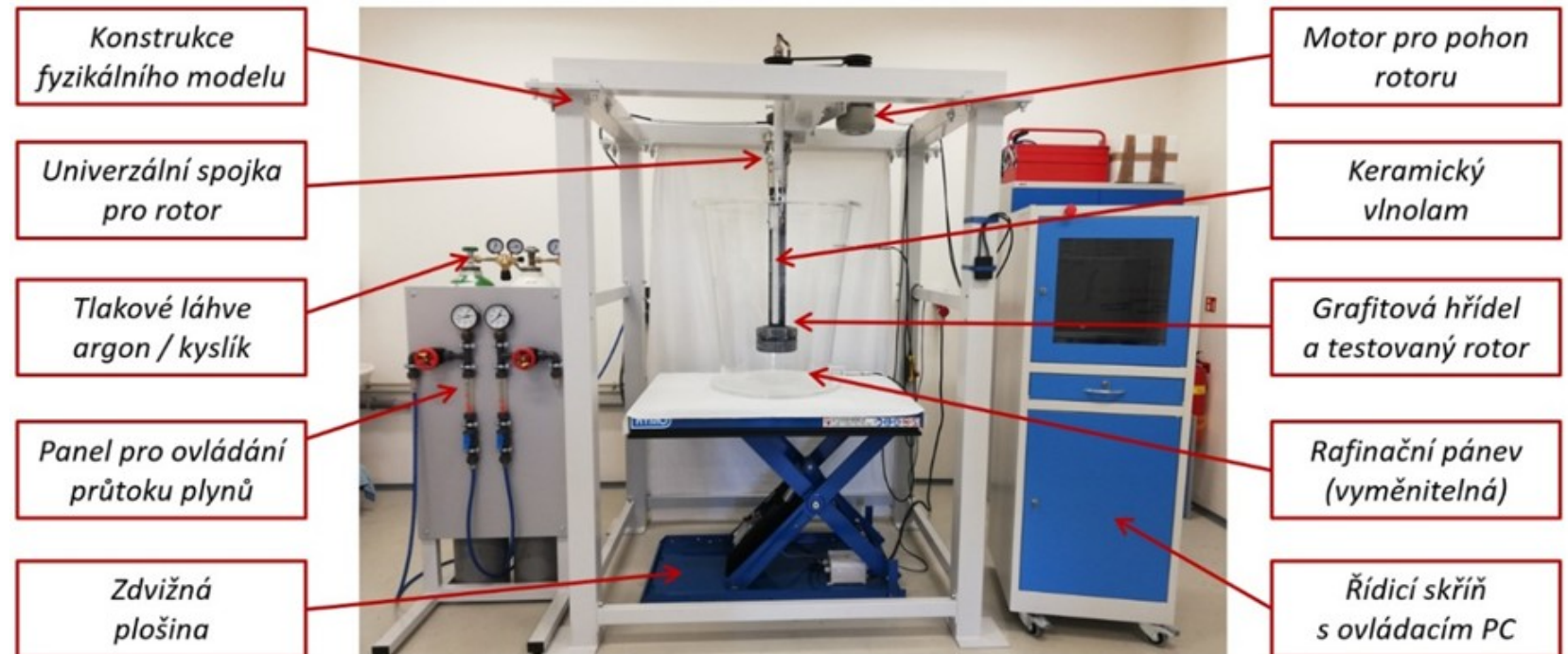
*Kompletní sestava  
fyzikálního modelu  
jednotky FDU*



# Fyzikální modelování

- ✓ Cílem fyzikálního modelování je zachytit intenzitu odplynění a analyzovat pokles obsahu kyslíku ve vodě při změně různých parametrů (počet otáček, ponor rotoru, počet vlnolamů, tvar rotoru). Poznatky získané v rámci fyzikálního modelování sloužil k optimalizaci modelované technologie, tedy ke stanovení optimálních provozních podmínek rafinace hliníkové taveniny při změně definovaných parametrů procesu.

*Kompletní sestava  
fyzikálního modelu  
jednotky FDU*



# Fyzikální modelování

---

- ✓ Vlastní sestava fyzikálního modelu se skládá z následujících částí:
  - *zdvižná plošina pro umístění modelů pánví*
  - *2x modely pánví z plexiskla v měřítku 1:1*
  - *1x vnější čtvercová nádoba z plexiskla pro umístění modelů pánví (určeno pro audiovizuální interpretaci)*
  - *nosná konstrukce s následujícími komponenty → motor pro pohon rotoru, univerzální spojka rotoru, grafitový rotor, 2x uchycení vlnolamů, rozvod plynu do rotoru, laserový otáčkoměr*
  - *panel pro ovládání průtoků plynů → kyslík → naplynění, argon → rafinace*
  - *2x sonda METTLER-TOLEDO InPro6860i/12/120/mA Ex pro měření obsahu kyslíku ve vodě*
  - *řídící panel → skříň s ovládacím PC → regulace a řízení otáček rotoru + záznam průběhu odplynění*

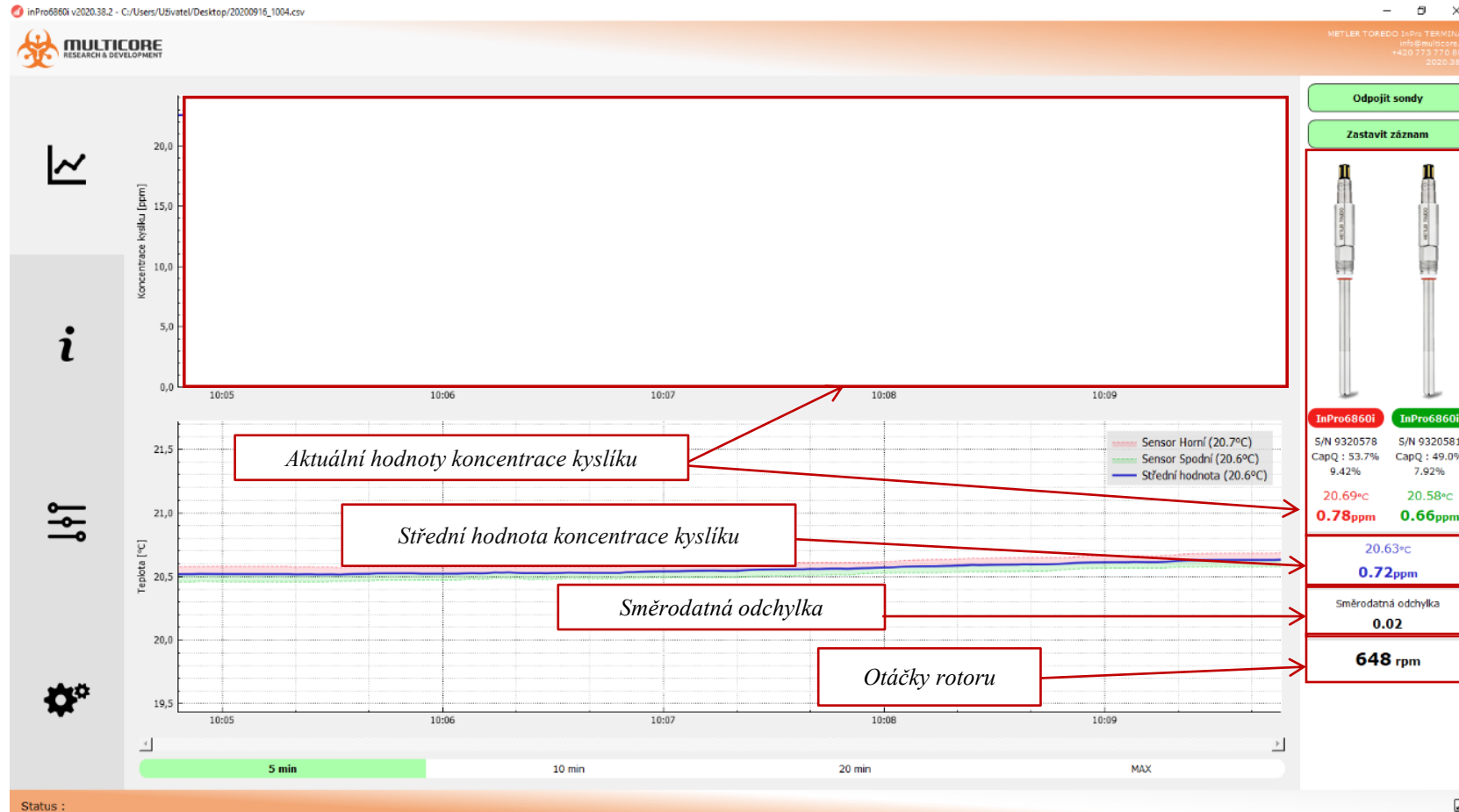
# Fyzikální modelování

---

- ✓ Základní princip fyzikálního modelování odstranění rozpuštěného vodíku z hliníkové taveniny spočívá v odstraňování rozpuštěného kyslíku z modelové kapaliny (vody) za pomoci argonu.
- ✓ Pro kontinuální měření obsahu kyslíku byly vybrány optické sondy firmy METTLER-TOLEDO, dovolující měření obsahu rozpuštěného kyslíku do  $26 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (26 ppm).
- ✓ Pro sondy bylo nutno vyvinout software, který splňuje požadavky na měření koncentrace kyslíku včetně komunikace přes PC, archivace dat a jejich hodnocení.
- ✓ Na obrázku je pro představu uvedeno rozhraní pro monitorování koncentrace kyslíku v průběhu fyzikálního modelování.



# Ukázka SW rozhraní pro monitorování koncentrace kyslíku



# Fyzikální modelování

---

- ✓ Konstrukce modelu je velmi variabilní, umožňuje změnu několika parametrů, a tedy i definici celé řady modelovaných variant. Mezi tyto parametry patří:
  - *typ rotoru*
  - *vzdálenost rotoru od dna pánve (pracovní výška)*
  - *počet vlnolamů*
  - *počet otáček*
  - *průtok inertního plynu (Ar)*

# Fyzikální modelování

- ✓ Pro fyzikální modelování odstranění vodíku z taveniny hliníku na jednotce FDU, byla vyvinuta metodika, která spočívá v následujících krocích:
  - *ustavení nádoby do požadované polohy neboli pracovní výšky 160 mm → pro rotor XDR 190 od dna pánve za pomoci zdvižné plošiny*
  - *naplnění modelu vodou, přičemž hladina vody dosahuje výšky vyznačené výšky*
  - *nastavení požadovaného průtoku plynu dle požadavků dané varianty experimentu, při zachování tlaku plynu 0,4 bar*
  - *sycení kyslíkem na stanovenou hodnotu při rychlosti otáčení rotoru 350 ot.min<sup>-1</sup> a tlaku plynu 0,4 bar. Následuje prodleva, během které dojde k doběhu koncentrace kyslíku, homogenizaci koncentrace kyslíku v objemu vody a její ustálení na požadované hodnotě 22 ppm. Během prodlevy je vypnuto otáčení rotoru*
  - *nastavení požadovaných otáček pro danou variantu experimentu → v průběhu prodlevy*
  - *spuštění měření → po skončení prodlevy současné spuštění dmýchání argonu, otáčení rotoru a záznamu dat z optických sond*
  - *ukončení měření → vypnutí otáček a zastavení přívodu plynu, jakmile střední hodnota koncentrace kyslíku z měřicích sond dosáhne hodnoty 0,5 ppm*

# Zadání laboratorního experimentu

- ✓ Laboratorní experiment na fyzikálním modelu jednotky FDU spočívá v realizaci základních variant fyzikálního modelování. Tyto varianty mají za cíl stanovit intenzitu odplynění kapaliny při změně počtu otáček a průtoku inertního plynu. V rámci laboratorního cvičení proveďte modelování variant, uvedených v tabulce. V průběhu měření budou zaznamenávejte křivky úbytku koncentrace kyslíku z vody. Ke každé variantě pořídte také snímek, který vizualizuje intenzitu proudění a množství bublin v reaktoru. Na základě naměřených dat proveďte hodnocení experimentů a navrhnete optimální variantu s ohledem na provozní podmínky. Berte v potaz také ekonomiku procesu.

Pracovní výška (mm)	160																											
Počet vlnolamů (ks)	1																											
Otáčky ( $\text{ot}\cdot\text{min}^{-1}$ )	150				250				350				450				550				650							
Průtok Argonu ( $\text{Nl}\cdot\text{min}^{-1}$ )	12	17	22	27	12	17	22	27	12	17	22	27	12	17	22	27	12	17	22	27	12	17	22	27	12	17	22	27

*Definice variant experimentů fyzikálního modelování rafinace hliníkové taveniny*