

# Syntéza obohacených mikrosuspenzí s navýšeným MG výkonem metodou LFL

Ondřej Havelka ([ondrej.havelka@tul.cz](mailto:ondrej.havelka@tul.cz)), Rafael Omar Torres-Mendieta

Magnetorheologické tekutiny pokrývají dnes širokou škálu potenciálních aplikací. Základní potíží běžně používaných inteligentních tekutin je jejich stabilita vedoucí ke snížení magnetických vlastností kapalin. Za účelem vytvoření stabilně kvalitní magnetorheologické kapaliny byla použita metoda laserové fragmentace. Pomocí této metody byly vytvořeny specifické železné nanočástice přípravou z mikročastic jinak používaných právě pro magnetorheologické aplikace. Suspenze tvořená prekurzorními mikročasticemi i syntetizovanými nanočasticemi vykazovala následně vymizení sedimentace částicové složky a navýšení dynamické meze kluzu. Samotná syntéza navíc představuje metodu umožňující přípravu zmíněných aditiv bez chemického odpadu.

**Klíčová slova:** magnetorheologie, laserová fragmentace, železná nanočástice, aditivum

## Úvod

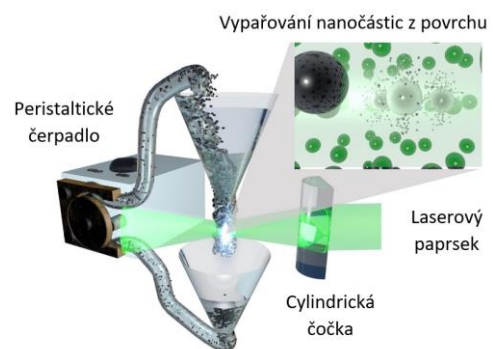
Magnetorheologické (MG) tekutiny jsou suspenze, obsahující magnetické mikročástice a nemagnetickou kapalinu, jenž mají charakter tekutiny. V případě aplikace magnetického pole se MG suspenze začne chovat jako pevná látka. Změna chování se projevuje na úrovni milisekund. Dochází ke zvýšení viskozity a meze kluzu. Důvodem ke změně je vytvoření řetězců magnetických částic podél směru magnetických indukčních čar. [1]

Inteligentní kapaliny zmíněného typu nacházejí využití například v brzdných systémech, jemném leštění atd. [2] Zásadním problémem spočívá v nestálosti MG výkonu suspenzí. V důsledku sedimentace mikročastic se stává snižuje schopnost materiálu tvořit stejné řetězce. Jako řešení sedimentace suspenze bylo v posledních letech použito polymerní funkcionizace mikročastic [3], či přidání určitého množství nanočastic [4].

Karbylizované Fe mikročástice představují skvělý materiál pro tvorbu MG suspenzí díky schopnosti rychlé demagnetizace. V dnešních laboratořích však nebylo do teď možno vyrábět nanočástice za využití zmíněných mikročastic jako prekurzoru. [5] Laserová syntéza, konkrétně metoda laserové fragmentace, představuje techniku, jenž by přípravu nanočastic přímo ze suspenze tvořené mikročasticemi mohla umožnit. Navíc syntéza za pomoci laseru nevyžaduje použití žádné nebezpečné chemikálie a nevytváří přebytečný chemický odpad, což jsou charakteristiky běžně využívaných chemických metod. [6]

## Metodika

Pro vytváření suspenzí byly použity mikročástice karbylizovaného železa s převažující velikostí 2  $\mu\text{m}$  a ethylenglykol (EG) s čistotou 99 %. Směs připravená k ozařování měla koncentraci 0,4 mg/mL železa na EG.



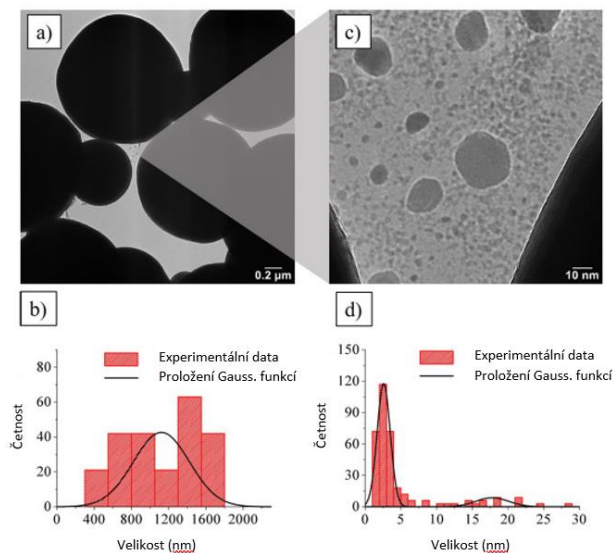
Obrázek 1: Schéma přípravy suspenze mikročastic s nanočasticemi železa; Zdroj: Použito se svolením [5], č. 4841980948487

Samotná laserová fragmentace mikročastic byla prováděna za pomoci nanosekundového pulzního laseru (Obr. 1) - Nd:YLF (Litron Lasers, UK; LDY300 PIV Series, diodově čerpaný, vlnová délka 527 nm, frekvence pulzů 2 kHz, energie 25 mJ, poloměr paprsku 5 mm). Laserový paprsek byl fokusován do suspenze cylindrickou čočkou s ohniskovou vzdáleností 100 mm. Proces ozařování pro 30 mL suspenze byl 60 minut.

Po procesu ozařování byly nanočástice separovány a dále podrobeny XRD analýze k určení krystalografie, TEM zobrazení s urychlovacím napětím 200 kV pro určení morfologie a velikosti částic a magnetometru k určení magnetického charakteru.

## Výsledky a diskuze

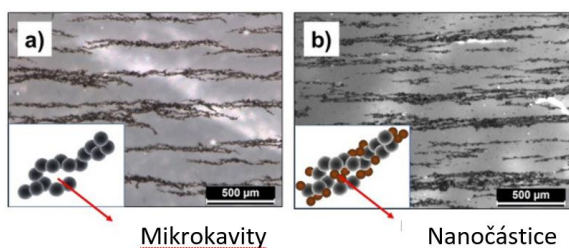
Při pozorování dat z TEM bylo možné analyzovat původní mikročástice a připravené sférické nanočástice metodou LFL (Obr. 2). Z měření vyplývá, že nanočástice vykazovaly hlavní vrchol na úrovni 2,6 nm a menší v oblasti 17,8 nm. Krystalografie nanočástic podle XRD odpovídala  $Fe_3O_4$ .



Obrázek 2: TEM snímek mikročástic (a) a histogram jejich velikostí (b), snímek syntetizovaných nanočástic (c) a příslušný histogram velikostí (d); Zdroj: Použito se svolením [5], č. 4841980948487

Hysterezní křivky mikročástic i směsi s přidavkem nanočástic vykazovaly feromagnetický charakter, přičemž v případě směsi byla saturační hodnota magnetizace nižší. Snížení může být vysvětleno zvýšením vlivu spinové rotace v případě nanočástic.

Chování suspenze mikročástic a směsi částic byla rozdílná (Obr. 3). Při porovnání je možné zpozorovat vyšší homogenitu řetězců částic v případě směsi částic. Takovéto kvalitně sestavené řetězce pak mohou představovat jeden z důvodů nižší sedimentace částic. V neposlední řadě suspenze směsi částic vykazovala navýšení dynamické meze kluzu o 31 %.



Obrázek 3: Tvorba řetězců mikročástic v původní MR suspenzi (a), v suspenzi s přidavkem nanočástic (b); Zdroj: Použito se svolením [5], č. 4841980948487

## Závěr

V rámci výzkumu použití LFL pro tvorbu nové MG tekutiny se podařilo syntetizovat suspenzi obohacenou o nanočástice  $Fe_3O_4$  s dominantní velikostí 2,6 nm. Výsledná MG tekutina obsahovala jak nanočástice, tak karbonylizované Fe mikročástice z běžně používané MG suspenze použité jako prekurzoru.

Připravená suspenze vykazovala lepší tvořivost řetězců částic v magnetickém poli než původní MG suspenze. Důvodem může být interakce mezi dvěma různými velikostními distribucemi částic v suspenzi. Přídavek nanočástic navíc umožnil navýšení dynamické meze kluzu, významné vlastnosti MG suspenzí, o 31 %.

## Poděkování

Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2020. O.H., R.T.-M. by chtěli poděkovat za podporu také MŠMT ČR a Evropské Unie – Evropským strukturálním a investičním fondům v rámci Operačního programu Výzkum, vývoj a vzdělávání v rámci projektu „Hybrid Materials for Hierarchical Structures“ (HyHi, Reg. No. CZ.02.1.01/0.0/0.0/16\_019/0000843) a OPR&DI projektu “Extension of CxI facilities” (CZ.1.05/2.1.00/19.0386).

## Reference

- [1] DE VICENTE, Juan; KLINGENBERG, Daniel J.; HIDALGO-ALVAREZ, Roque. Magnetorheological fluids: a review. *Soft matter*, 2011, 7.8: 3701-3710.
- [2] PARK, Bong Jun; FANG, Fei Fei; CHOI, Hyung Jin. Magnetorheology: materials and application. *Soft Matter*, 2010, 6.21: 5246-5253.
- [3] CVEK, Martin, et al. A facile controllable coating of carbonyl iron particles with poly (glycidyl methacrylate): a tool for adjusting MR response and stability properties. *Journal of Materials Chemistry C*, 2015, 3.18: 4646-4656.
- [4] HAJALILOU, Abdollah, et al. Carbonyl iron based magnetorheological effects with silver nanoparticles via green-assisted coating. *Applied Physics Letters*, 2017, 110.26: 261902.
- [5] CVEK, Martin, et al. Laser-induced fragmentation of carbonyl iron as a clean method to enhance magnetorheological effect. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 254: 120182.
- [6] ANASTAS, Paul; EGHBALI, Nicolas. Green chemistry: principles and practice. *Chemical Society Reviews*, 2010, 39.1: 301-312.