

# **fSTŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST**

**Obor SOČ: Tvorba učebních pomůcek, didaktická technologie**

## **PŘÍPRAVA FERROMAGNETICKÉ SUSPENZE A MĚŘENÍ JEJÍCH VLASTNOSTÍ V POROVNÁNÍ S FERROFLUIDEM**

**Imrich Ormandy**

**Kraj: Moravskoslezský**

**Ostrava 2018**

# STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

**Obor SOČ: Tvorba učebních pomůcek, didaktická technologie**

## **PŘÍPRAVA FERROMAGNETICKÉ SUSPENZE A MĚŘENÍ JEJÍCH VLASTNOSTÍ V POROVNÁNÍ S FERROFLUIDEM**

**Autor:** Imrich Ormandy

**Škola:** Gymnázium Olgy Havlové  
Marie Majerové 1691  
708 00 Ostrava – Poruba

**Kraj:** Moravskoslezský

**Vedoucí práce:** Mgr. Jana Trojková, Ph.D.

**Pracoviště:** Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
17. listopadu 2172/15  
708 00 Ostrava

Ostrava 2018

## **Prohlášení**

*Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v seznamu vloženém v práci SOČ.*

*Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.*

*Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.*

V Ostravě dne 21. 3. 2018

podpis: Imrich Ormandy v. r.

---

**Poděkování:**

Děkuji paní Mgr. Janě Trojkové, Ph.D. a panu Mgr. Jiřímu Šamajovi za pomoc, konzultace a podnětné připomínky, či nápady, které mi během práce poskytovali. Dále děkuji Vysoké škole báňské za možnost využití laboratoří k vykonání praktické části práce a za spolupráci.

## **Anotace**

Tato středoškolská odborná činnost se zabývá výrobou ferromagnetické suspenze pomocí magnetitu, magnetického toneru a kapaliny. V práci je popisován postup přípravy, složení a porovnání vlastností výsledné suspenze s originálním ferrofluidem. Cílem práce bylo vytvořit suspenzi určenou k demonstraci siločár magnetického pole.

## **Klíčová slova:**

Ferromagnetická kapalina, ferrofluid, magnetit, magnetický toner, magnetismus

## **Annotation**

This secondary-school professional activity focuses on production of ferromagnetic suspension with magnetite, magnetic toner and fluid. This work contains preparation process, composition and comparison of properties final suspension with original ferrofluid. Goal of this work was to create suspension for demonstration of magnetic field lines.

## **Key words:**

Ferromagnetic fluid, ferrofluid, magnetite, magnetic toner, magnetism

## **OBSAH**

1	Úvod.....	6
2	Teoretická část.....	7
2.1	Ferrofluid.....	7
3	Praktická část.....	8
3.1	Příprava.....	8
3.1.1	MT směs + voda.....	8
3.1.2	MT směs + glycerol.....	9
3.1.3	MT směs + dezinfekční gel na ruce.....	9
3.1.4	MT směs + vazelína.....	10
3.1.5	MT směs + oleje.....	10
3.1.5.1	Řepkový/slunečnicový olej.....	10
3.1.5.2	Kyselina olejová.....	11
3.1.5.3	Parafínový olej.....	11
3.1.5.4	Motorové oleje.....	12
3.1.5.5	Vyjetý motorový olej.....	12
3.2	Vlastnosti připravené suspenze.....	13
3.2.1	Velikost peaků (1 kapka).....	13
3.2.2	Velikost peaků (10 kapek).....	14
3.2.3	Nejvyšší možný peak.....	15
4	Závěr.....	16
5	Seznam obrázků.....	17
6	Zdroje.....	18

# 1 ÚVOD

Ferromagnetická kapalina je směs pevných ferromagnetických nanočástic v tekutém médiu, jež je obaluje. Tyto částice reagují na magnetické pole. Této vlastnosti se dá využít k demonstraci siločar magnetického pole. Tekutina tvoří elevace v místech, kde je magnetické pole nejsilnější. Naopak, v místech kde je pole slabší se elevace netvoří, jelikož jsou ferromagnetické částice přitáhnuty do místa se silnějším magnetickým polem.

Pro ferromagnetické kapaliny je nezbytné použít ferromagnetický materiál tvořený velice malými částčkami hmoty. Tyto částčky pevné látky nesmí svou velikostí přesahovat velikost kolem  $10^{-8}$  m. Jedná se o tzv. nanočástice. Tyto částice musí být jednotlivě obaleny médiem, aby vytvořily suspenzi podobající se roztoku.

Při svém bádání jsem neměl k dispozici materiál s takto malými částicemi. Jejich velikost byla dostatečná k vytvoření celistvých elevací reprezentujících siločáry magnetického pole. Moje snahy se ubíraly k vytvoření ferromagnetické suspenze, která by svými vlastnosti splňovala definici ferrofluidu pro možnost využití jako učební pomůcku k demonstraci účinků magnetického pole.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Ferrofluid

Ferrofluid, neboli druh ferromagnetické kapaliny, je tekutá suspenze z magnetických nanočástic, povrchově aktivní látky a rozpouštědla, magnetickou složkou je většinou hematit, nebo magnetit. Tyto nanočástice setrvávají v neustálém pohybu v rámci kapaliny (Brownův pohyb) a za běžných podmínek nesedimentují. Při vystavení magnetickému poli vytvoří kapalina plastické znázornění siločar. Po ukončení magnetického působení se kapalina vrátí zpátky k původnímu gravitačnímu tvaru. Tento jev vzniká díky velikosti nanočástic, u kterých je magnetická síla mezi jednotlivými částicemi natolik slabá, že po ukončení působení magnetického pole zanikne.

V roce 1963 byl popis výroby tohoto materiálu popsán Stevem Papellem, vědcem NASA. Jeho záměrem bylo vytvořit alternativní palivo pro pohyb družic a satelitů v nulové gravitaci. Principem fungování měl být 3. Newtonův zákon. Toto však funguje pouze na mikroskopické úrovni.

Nejčastěji se používá jako chladicí médium pro cívky reproduktorů pracujících na středních a vysokých kmitočtech. Využívá se zde schopnosti odvádět teplo a tlumit kmity. Méně časté využití je ke strojnímu obrábění kovů - lze jej použít jako chladicí, či mazací suspenze. Do budoucna se uvažuje o využití i v oblasti zdravotnictví, či energetice jako vodič tepla. Nyní ho však v širším spektru využití limituje jeho poměrně vysoká cena (kolem 250 Kč / 10 ml).



## 3 PRAKTICKÁ ČÁST

### 3.1 Příprava

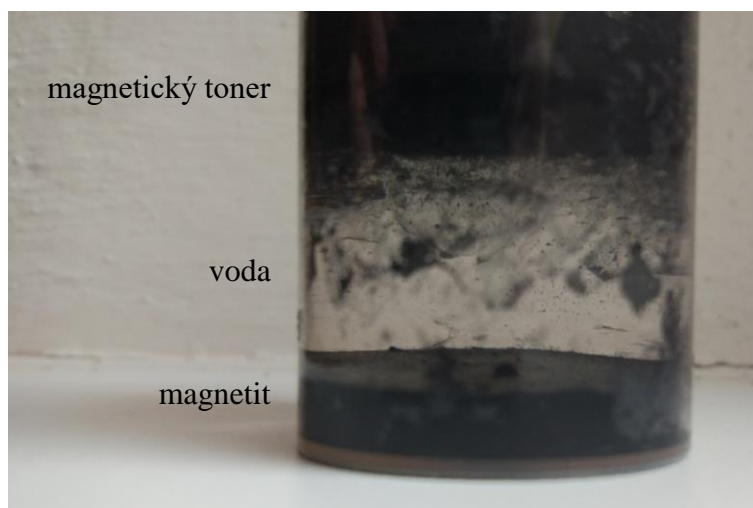
Při mých experimentech jsem se snažil připravit suspenzi s vlastnostmi co nejlíže podobnými ferrofluidu. Nejdříve jsem směšoval různé druhy kapalin s drceným magnetitem (s velikostí částic v řádech maximálně  $10^{-7}$  m) a magnetickým tonerem, kterého velikost částic odpovídá požadované zrnitosti.

Toner však neobsahoval sám o sobě dostatek ferromagnetických částic, proto jsem pro účely své práce vytvořil směs těchto dvou materiálů v poměru 1:3 (jeden díl magnetického toneru, tři díly magnetitu). Tato směs je přiměřeně jemnozrnná a zároveň obsahuje dostatek ferromagnetických částic. Pro vytvořenou směs dvou pevných materiálů jsem z důvodu zjednodušení použil ve zbytku práce označení „MT směs“.

Směs jsem přidával k různým kapalinám v různých poměrech. Nejvíce se mi osvědčil poměr 10 ml kapaliny na 14 g MT směsi z důvodu dobrého poměru kapalné a pevné části. Při vyšším poměru kapalné složky se kapalina výrazněji separovala, směs nebyla celistvá. Naopak při vyšším poměru pevné složky ztrácela suspenze svou tekutost.

#### 3.1.1 MT směs + voda

Smísením vody s MT směsí nevznikla trvalá suspenze. Magnetit se působením tíhové síly okamžitě po ukončení míchacího procesu usadil na dně nádoby pod vrstvou vody, na níž plovla magnetický toner. Z toho jsem usoudil, že pro přípravu mé verze ferrofluidu bude nutné využít kapalin s vyšší viskozitou, či na jiné bázi.



Obrázek 1: MT směs + voda

### 3.1.2 MT směs + glycerol

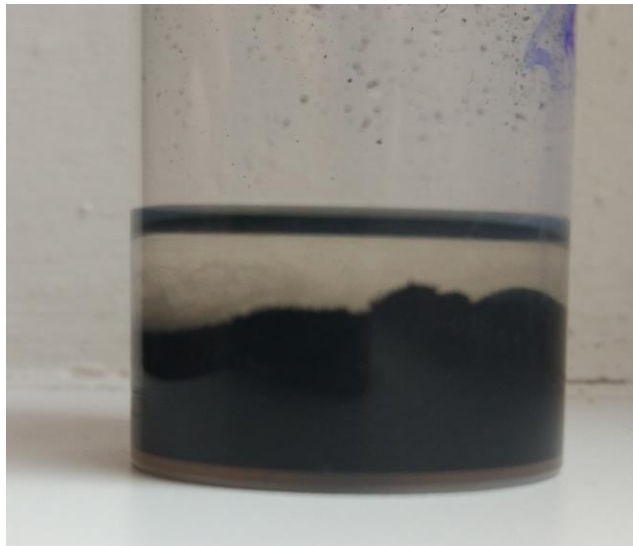
Využitím glycerolu jsem vytvořil nekoloidní suspenzi, avšak po několika minutách se nerozpustná část MT směsi opět usadila na dně nádoby. Při pokusu přiložením magnetu pod tekutinu (s nesedimentovanou MT směsí) na Petriho misce se z MT směsi vytvořily elevace, glycerol byl vytlačen mimo.



*Obrázek 2: MT směs + glycerol*

### 3.1.3 MT směs + dezinfekční gel na ruce

Po smísení MT směsi s dezinfekčním gelem na ruce vznikl podobný výsledek jako při smísení směsi s glycerolem. Dezinfekční gel byl na začátku viskóznější, ale po přidání MT směsi ztratil viskozitu („zřídł“).



*Obrázek 3: MT směs + dezinfekční gel*

### 3.1.4 MT směs + vazelína

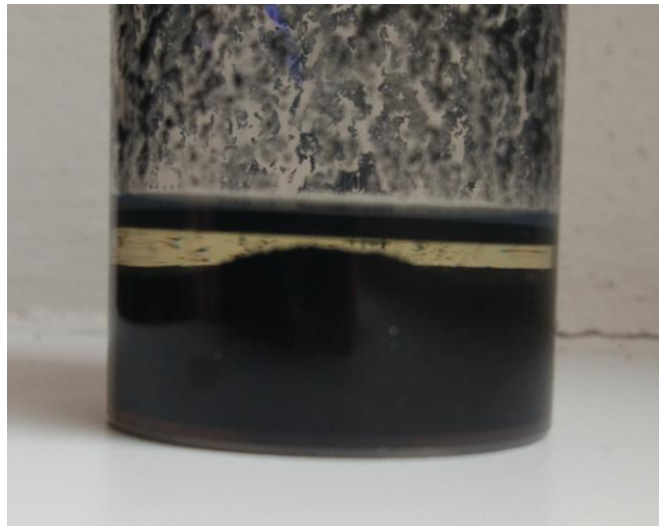
Kombinací těchto dvou vstupních surovin vznikla mazlavá směs. Magnetit sice zůstal rovnoměrně rozděluovaný po vazelině, avšak směs nebyla vůbec tekutá a na magnetické pole reagovala velice nepatrně (kvůli vysoké viskozitě vazelíny).

### 3.1.5 MT směs + oleje

Při mísení MT směsi s oleji jsem dosahoval o mnoho lepších výsledků, než v předchozích experimentech. MT směs zůstávala rozprostřená po kapalině po mnohem delší dobu, vzniklé prostorové útvary znázorňovaly siločáry podobně jako originální ferrofluid.

#### 3.1.5.1 Řepkový/slunečnicový olej

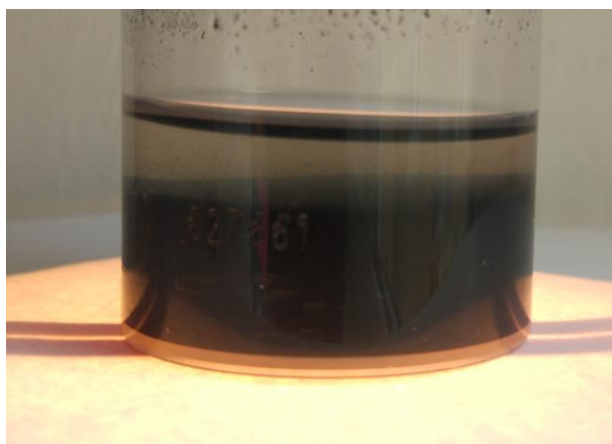
Suspenze s jedlým olejem nesplnila mé očekávání. Kapalina sice byla dostatečně viskózní, ale po přiložení magnetu se olej oddělil a částečně nasycená MT směs vytvořila elevace.



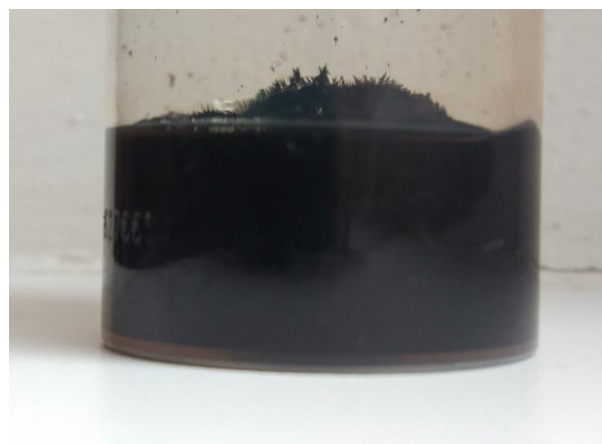
*Obrázek 4: MT směs + řepkový olej*

### 3.1.5.2 Kyselina olejová

Jedlé oleje obsahují velké množství dalších látek, proto jsem se rozhodl vyzkoušet koncentrovanou kyselinu olejovou. Jelikož se jedná o kyselinu, předpokládal jsem, že přispěje k vytvoření suspenze částečným naleptáním povrchu zrn MT směsi. Experiment jsem opakoval s týdenním odstupem (aby došlo k možné reakci kyseliny a částec MT směsi), avšak se odleželá suspenze svými vlastnostmi (krom barvy) nelišila od té čerstvě namíchané. Výsledná suspenze byla velice podobná té s jedlými oleji, taktéž po přiložení magnetu se tekutá část oddělila od pevné.



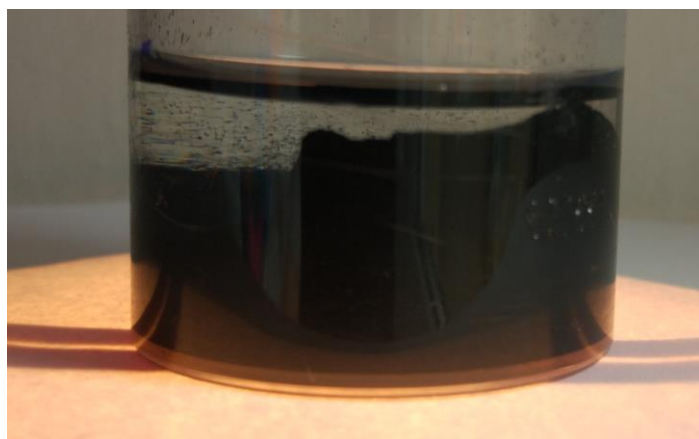
*Obrázek 5: MT směs + kys. olejová*



*Obrázek 6: MT směs + kys. olejová (po 2 týdnech)*

### 3.1.5.3 Parafinový olej

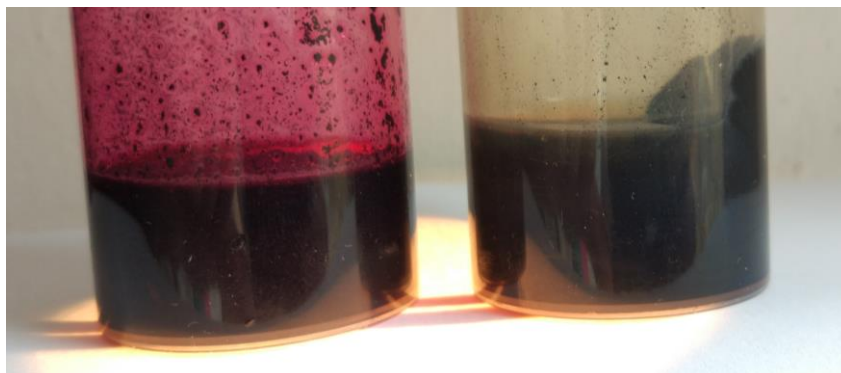
Suspenze s tímto olejem byla takřka totožná s předchozím pokusem (kyselina olejová). Kapalina byla rovněž vytlačena z MT směsi.



*Obrázek 7: MT směs + parafinový olej*

### 3.1.5.4 Motorové oleje

Při pokusech s motorovým olejem jsem používal dva typy – pro dvoutaktní a čtyřtaktní stroje. V obou případech se částičky MT směsi dobře poutaly na olej, ten byl vytlačován po přiložení magnetu minimálně – suspenzi bylo možné udržet na Petriho misce dnem vzhůru bez odkapávání nadbytečné kapaliny. Kompaktněji působil olej na dvoutaktní stroje.



Obrázek 8: MT směs + motorový olej 2T (vlevo) a 4T (vpravo)

### 3.1.5.5 Vyjetý motorový olej

Suspenze s použitým (vyjetým) motorovým olejem se nejvíce svými vlastnostmi blížila originálnímu ferrofluidu. Toto bylo způsobeno obsahem kovových úlomků v oleji (vzniklých při opotřebení motoru). V suspenzi byla MT směs dobře rozprostřena a nesedimentovala (i po pár hodinách odebraný vzorek z hladiny obsahoval ferromagnetické částice, které tvořily po vystavení magnetickému poli elevace). Díky tmavému zbarvení použitého oleje jsem i opticky přiblížil ke vzhledu originální ferrofluidu.



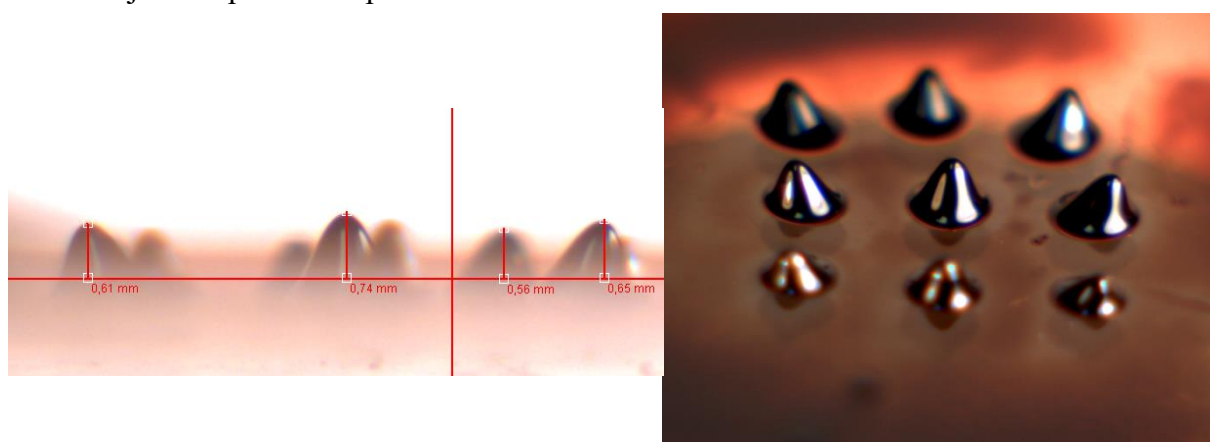
Obrázek 9: MT směs + vyjetý motorový olej

## 3.2 Vlastnosti připravené suspenze

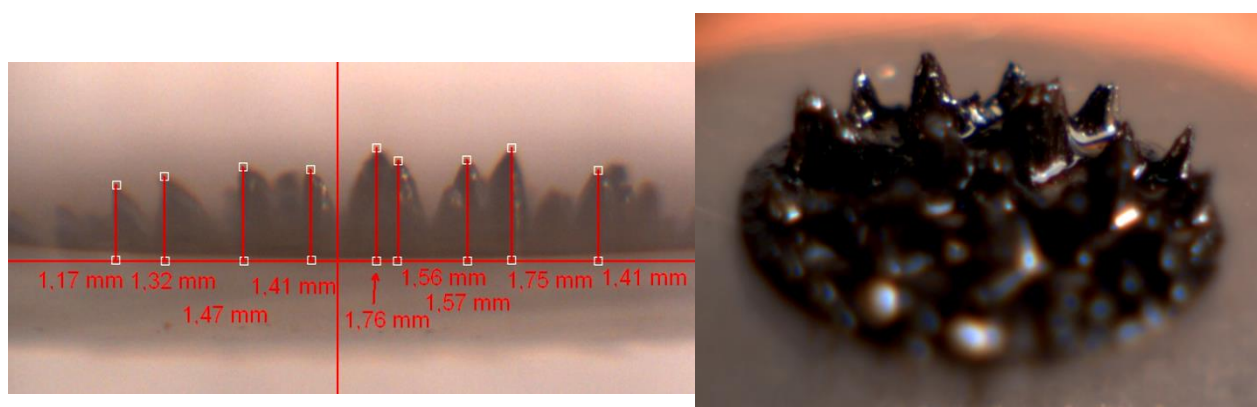
S připravenou suspenzí z vyjetého oleje jsem prováděl pokusy srovnávající jeho schopnost reakce na magnetické pole s originálním ferrofluidem. Pomocí kamery umístěné na měřícím stativu jsem pořizoval fotografie a měřil velikost jednotlivých elevací – jejich peaků.

### 3.2.1 Velikost peaků (1 kapka)

Pokus jsem prováděl přikápnutím kapky suspenze na obrácenou Petriho misku, pod kterou jsem umístil ferritový magnet. Suspenze následně vytvořila elevace, jejichž peaky (nejvyšší body elevace) jsem pomocí kamery na pohyblivém stojanu měřil. Elevace mnou vytvořené suspenze byly o cca 0,91 mm (2,25x) vyšší než elevace u originálního ferrofluidu. Pro možnost následného statistického vyhodnocení a eliminaci chyb nehomogenitou směsí, či nepřesnosti v měření jsem experiment opakovl 5x.



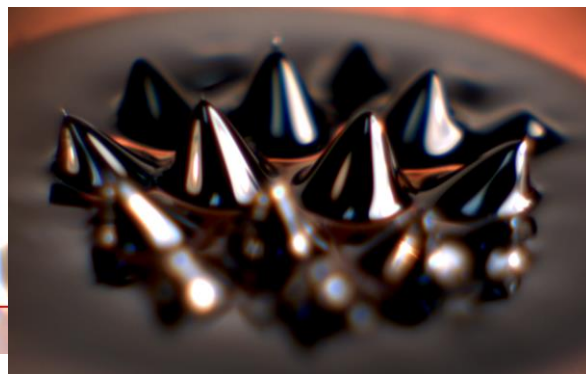
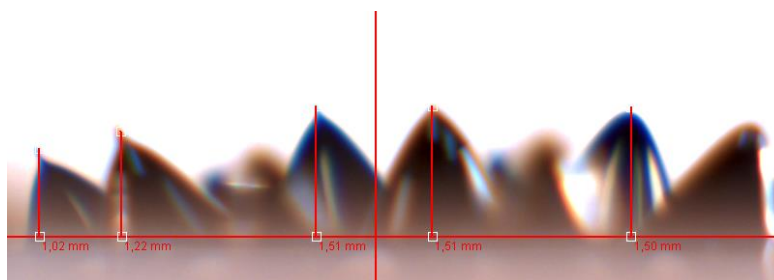
Obrázek 10 a 11: Elevace ferrofluid (1 kapka)



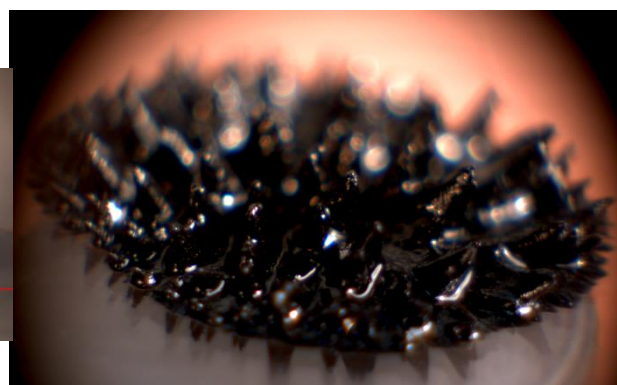
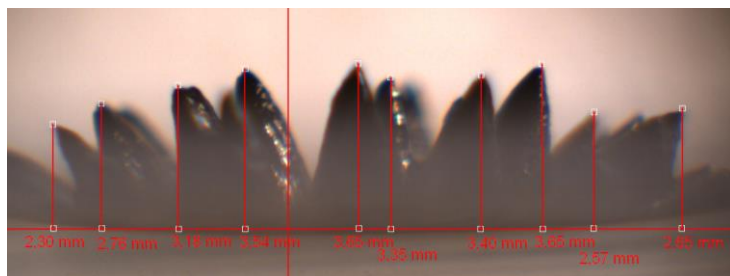
Obrázek 12 a 13: Elevace vytvořené suspenze (1 kapka)

### 3.2.2 Velikost peaků (10 kapek)

Tento pokus jsem prováděl stejným způsobem jako předchozí (3.2.1), avšak použil jsem větší množství suspenzí – 10 kapek. Zde byly elevace vyšší o cca 1,62 mm (2,32x).



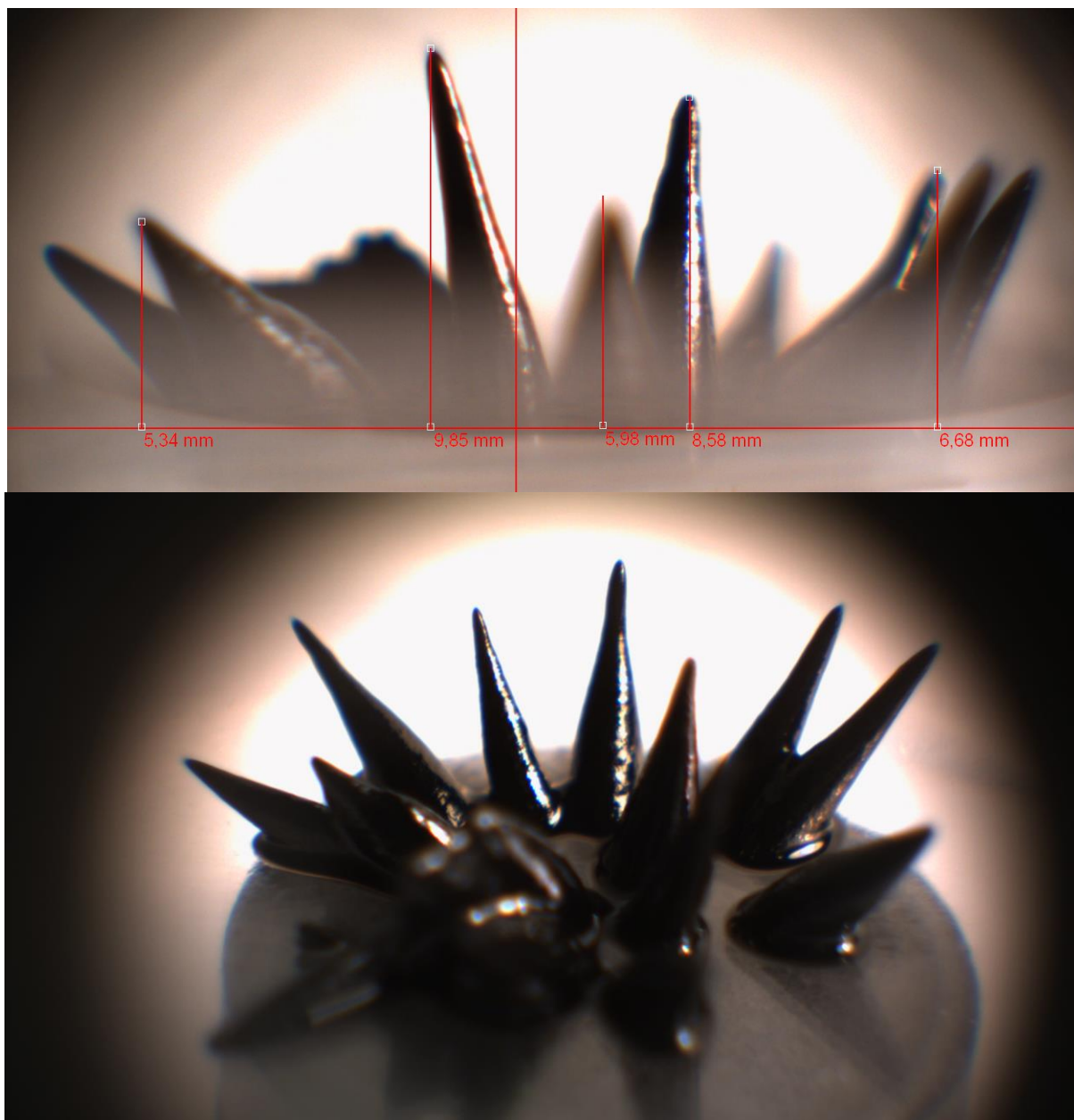
*Obrázek 14 a 15: Elevace ferrofluidu (10 kapek)*



*Obrázek 16 a 17: Elevace vytvořené suspenze (10 kapek)*

### 3.2.3 Nejvyšší možný peak

Při tomto experimentu jsem se snažil pipetou vytvořit co možná nejvyšší elevaci za využití maximálně 0,25 ml suspenze. Pipetou jsem odkapával malá množství suspenze na Petriho misku s magnetem umístěným pod ní. Velikosti nejvyšších peaků se blížily hodnotě 1 cm.



Obrázek 18 a 19: Nejvyšší elevace suspenze



## 4 ZÁVĚR

Ve své práci jsem se pokoušel vytvořit suspenzi využitelnou pro demonstraci magnetických siločar, která se svým chováním měla přiblížit originálnímu ferrofluidu. Při postupu přípravy suspenze jsem prvně směs magnetitu a magnetického toneru snažil rozmíchat ve vodě. Po chvíli se však magnetit usadil na dně nádoby a magnetický toner plovat na hladině. Následně jsem se snažil smísit MT směs s glycerolem, či s dezinfekčním gelem. Suspenze připomínaly tu s vodou, jednotlivé části vytvořily vrstvy. Směs s vazelínou vytvořila tmavou hmotu, která sice měla částice rovnoměrně rozprostřené v celém svém objemu, avšak nebyla vůbec tekutá.

Při mísení MT směsi s oleji jsem dosahoval mnohem lepších výsledků, nejlépe dopadla suspenze s motorovými a použitými motorovými oleji. Olej byl dobře poután k částicám pevné směsi, díky čemuž se po vystavení magnetickému poli tekutá složka neoddělila. Nejlépe z těchto tří poutal pevné částice použitý (vyjetý) motorový olej, s nímž jsem následně prováděl experimenty.

Oproti ferrofluidu byla má suspenze hustší, ale měla schopnost vytvořit vyšší elevace (cca 2,3x). Dále s ní šly tvořit vysoké elevace (s velikostí okolo 1 cm) za použití velice malého množství. Toto nebylo s originálním ferrofluidem možné.

Cílem mé práce nebylo vytvořit suspenzi se stejným technickým využitím jako ferrofluid, ale se stejnými vlastnostmi (tekutost, pád elevací po ukončení působení magnetického pole). Mnou vytvořená suspenze se tedy dá využít jako pomůcka pro demonstraci účinků magnetického pole a vzhledu jejich siločar. Na rozdíl od originálního ferrofluidu je celková cena za 10 ml mnohonásobně menší, tím pádem i dostupnější pro demonstrativní použití jako učební pomůcky.

## 5 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: MT směs + voda .....	8
Obrázek 2: MT směs + glycerol.....	9
Obrázek 3: MT směs + dezinfekční gel .....	9
Obrázek 4: MT směs + řepkový olej.....	10
Obrázek 5: MT směs + kys. olejová.....	11
Obrázek 6: MT směs + kys. olejová (po 2 týdnech) .....	11
Obrázek 7: MT směs + parafinový olej.....	11
Obrázek 8: MT směs + motorový olej 2T (vlevo) a 4T (vpravo) .....	12
Obrázek 9: MT směs + vyjetý motorový olej .....	12
Obrázek 10 a 11: Elevace ferrofluid (1 kapka) .....	13
Obrázek 12 a 13: Elevace vytvořené suspenze (1 kapka) .....	13
Obrázek 14 a 15: Elevace ferrofluid (10 kapek) .....	14
Obrázek 16 a 17: Elevace vytvořené suspenze (10 kapek) .....	14
Obrázek 18 a 19: Nejvyšší elevace suspenze .....	15

## 6 ZDROJE

Ferrofluid. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2018-03-21]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ferrofluid>

What is Ferrofluid? A Guide to the Theory, Properties and Applications of Magnetic Fluid. *AZO Materials* [online]. AZoNetwork, 2018 [cit. 2018-03-21]. Dostupné z: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6726>

Ferrofluids. *ICPWiki* [online]. Stuttgart, 2018 [cit. 2018-03-21]. Dostupné z: <https://www.icp.uni-stuttgart.de/~icp/Ferrofluids>

Ferrofluid – tajemná pohyblivá se kapalina. Jak funguje?. *Unimagnet* [online]. Praha, 2018 [cit. 2018-03-21]. Dostupné z: <https://www.unimagnet.cz/blog/ferrofluid-tajemna-pohyblici-se-kapalina-jak-funguje-n167>

How To Make Ferrofluid. *Popular science* [online]. Bonnier corporation, 2018 [cit. 2018-03-21]. Dostupné z: <https://www.popsci.com/diy/article/2009-09/making-ferrofluids-work-you#page-2>