

# Kompozitní tenké vrstvy

Bc. Ladislav Vendl

---

Diplomová práce  
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2009/2010

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ladislav VENDL**  
Studijní program: **N 2808 Chemie a technologie materiálů**  
Studijní obor: **Technologie a management**  
  
Téma práce: **Kompozitní tenké vrstvy**

Zásady pro vypracování:

1. provést literární rešerši
2. výběr vhodného systému plnivo/polymer
3. příprava tenkých polymerních vrstev s částicemi (nano- nebo mikro-rozměry)
  3. a dispergace částic v roztoku polymeru a studie procesu přípravy vrstev
  3. b studie vlastností vrstev zejména s ohledem na morfologii vrstvy, distribuci a disperzi plniva v matrici
4. zhodnocení výsledků a doporučení pro další výzkum a praxi

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Schlom, DG; Chen, LQ; Pan, XQ; et al. A thin film approach to engineering functionality into oxides. JOURNAL OF THE AMERICAN CERAMIC SOCIETY, 91 (8): 2429-2454 AUG 2008
2. Jang, J. Conducting polymer nanomaterials and their applications. ADVANCES IN POLYMER SCIENCE, 199: 189-259 2006
3. Mammeri, F; Le Bourhis, E; Rozes, L; et al. Mechanical properties of hybrid organic-inorganic materials. JOURNAL OF MATERIALS CHEMISTRY, 15 (35-36): 3787-3811 2005
4. Matsukawa, K. Development of photo-functional materials from organic/inorganic nano-hybrids. JOURNAL OF PHOTOPOLYMER SCIENCE AND TECHNOLOGY, 18 (2): 203-210 2005

Vedoucí diplomové práce:

**doc. Ing. Ivo Kuřitka, Ph.D.**

Centrum polymerních materiálů

Datum zadání diplomové práce:

**15. února 2010**

Termín odevzdání diplomové práce:

**14. května 2010**

Ve Zlíně dne 15. února 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## **ABSTRAKT**

Tato práce představuje systém plnivo/polymer založený na vodorozpustných PVP a PVAL a na magnetických nanočásticích, který je vhodný pro přípravu anizotropních orientovaných struktur tenkých vrstev. Kolmo nebo rovnoběžně orientované morfologické útvary byly získány v závislosti na vzájemné orientaci magnetického pole a forem použitých k přípravě vrstev odléváním z disperzí. Bez přítomnosti vnějšího pole vznikaly aglomeráty fraktálových tvarů. Byl navržen možný mechanismus vzniku pozorovaných strukturních motivů.

Klíčová slova: polymerní vrstvy, nanočástice, magnetické pole, magnetické částice, morfologie

## **ABSTRACT**

This work presents a filler/polymer system based on water soluble PVP or PVAL and magnetic nanoparticles which is suitable for preparation of anisotropic oriented structures of thin films. Perpendicular or parallel oriented morphologies were obtained according to the mutual orientation of magnetic field and moulds during casting of films from dispersions. Without any external field, the systems tends to form fractal-like agglomerates. A possible mechanism of the formation of observed structural motives is suggested.

Keywords: polymer films, nanoparticles, magnetic field, magnetic nanoparticles, morphology

Příjmení a jméno: Ladislav Kendl

Obor: Technologie a management

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 12. 5. 2010



.....

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací;

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3;

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo;

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedatčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

Děkuji mému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. et Ing. Ivo Kuřítkovi, Ph.D. et Ph.D., za odborné vedení a ochotu, kterou mi věnoval při vypracování diplomové práce a také za výběr zajímavého téma. Stejně tak děkuji za ochotu a pomoc MSc. Andrési Bernalovi Ballénovi a Zuzaně Kožákové za přípravu magnetických nanočástic.

Také bych chtěl poděkovat mé ženě Janě a synovi Vítovi, že mi poskytli takové podmínky, abych vůbec mohl tuto diplomovou práci dokončit.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY</b> .....	<b>11</b>
1.1 ROZDĚLENÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ .....	11
1.1.1 Rozdělení kompozitů dle rozměru vyztužující fáze .....	12
<b>2 TENKÉ VRSTVY</b> .....	<b>14</b>
2.1 NANOKOMPOZITY .....	15
2.2 NANOČÁSTICE .....	16
<b>3 POLYMERNÍ MATRICE</b> .....	<b>18</b>
3.1 PVP – POLYVINYLPYRROLIDON .....	18
3.2 PVAL – POLYVINYLALKOHOL .....	18
<b>4 MAGNETY</b> .....	<b>20</b>
4.1 MAGNETY FERITOVÉ .....	20
4.2 NEODYMOVÉ NdFeB MAGNETY A MAGNETY OBSAHUJÍCÍ PRVKY VZÁCNÝCH ZEMIN .....	21
4.3 MAGNETICKÉ ČÁSTICE .....	22
4.3.1 Oxid železitý (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) .....	22
<b>5 CÍL PRÁCE</b> .....	<b>24</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>25</b>
<b>6 EXPERIMENT</b> .....	<b>26</b>
6.1 PŘÍPRAVA POLYMERNÍ MATRICE A DISPERZE NANOČÁSTIC.....	26
6.2 PŘÍPRAVA 5% DISPERZE PVP (POLYVINYLPYRROLIDONU) .....	26
6.3 PŘÍPRAVA MAGNETICKÝCH ČÁSTIC .....	26
6.4 PŘÍPRAVA 10% DISPERZE S MAGNETICKÝMI ČÁSTICEMI:.....	26
6.5 POUŽÍVANÉ MAGNETY .....	26
6.5.1 Tabulkové hodnoty použitých magnetů .....	28
6.6 POUŽITÝ MIKROSKOP, SOFTWARE A FOTOAPARÁT .....	28
<b>6.7 PŘÍPRAVA SUSPENZÍ MAGNETICKÝCH ČÁSTIC V ROZTOKU POLYMERU</b> .....	<b>28</b>
6.7.1 Příprava suspenze A .....	28
6.7.2 Příprava suspenze B .....	29
6.7.3 Příprava suspenze C .....	31
<b>7 VÝSLEDKY A DISKUSE</b> .....	<b>32</b>
7.1 PŘIPRAVENÉ VRSTVY A POZOROVÁNÍ VZNIKLÝCH STRUKTUR .....	32
7.2 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PŮSOBNÍ MAGNETICKÉHO POLE NA VZNIK ORIENTOVANÝCH STRUKTUR KOMPOZITU .....	63
<b>8 ZÁVĚR</b> .....	<b>69</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>70</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>73</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>74</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>79</b>



## ÚVOD

Již od počátku civilizace se člověk snažil neustále zlepšovat jak své životní podmínky, tak byl nucen dobou nacházet nové a nové technologie.

Historické milníky uvádí, že již staří Babyloňané 3000 let před Kristem používali kompozitní materiály, kdy stavěli říční čluny ze stvolu papyru, které byly ukládány v přírodních pryskyřicích a živících. [1]

Každá civilizační epocha měla za následek využívání dominantních výrobních nástrojů či využívání dominantních materiálů. Ať to byla například doba bronzová nebo železná. Dnešní doba je specifická s využitím „mnohamateriálů“, kde dominuje beton s ocelí a s velkou expanzí plastů a kompozitních materiálů.

Tenké kompozitní vrstvy jsou z historického hlediska ještě na počátku, ale je pravdou, že již tato oblast není zcela neznámá. Tenké vrstvy se již řadu let průmyslově vyrábí např. (velmi tvrdé diamantové vrstvy u vrtáků, frézek a pilek), antireflexní povrchy čoček v optice, reflexní vrstvy na zrcadlech apod. [20]

Vývojem nových tenkých kompozitních vrstev je snaha zlepšovat řadu vlastností výrobků jako např. výroba tenkých vrstev na ochranu proti korozi, tvorbu antireflexních vrstev, antistatických vrstev. Tenkými vrstvami se dají modifikovat přilnavé či nepřilnavé povrchy, hydrofobní vrstvy nebo vrstvy s antibakteriálními vlastnostmi apod. [4]

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Kompozitní materiály jsou tvořeny dvěma nebo více chemicky a fyzikálně odlišnými složkami, resp. fázemi. Tyto složky se dále dělí na matrici a výztuž. Matricí bývá označována spojitá, obvykle poddajnější složka, která slouží jako pojivo výztuže. Výztuží bývá označována tvrdší, tužší a pevnější nespojitá složka.

Výhodou kompozitních materiálů před homogenními materiály jsou možnosti kombinací dvou či více materiálů, případně i několika fází, které lze výhodně zkombinovat a tím ovlivnit celkové vlastnosti výsledného kompozitu. Díky těmto možnostem lze dosahovat mnohem lepších vlastností, než by odpovídalo jen prostému součtu vlastností složek.

Další významnou výhodou kompozitních materiálů je, že mohou být lehké a přitom si zachovat potřebnou pevnost a tuhost, kdy mohou mít i vyšší houževnatost, tepelnou odolnost, rozměrovou stálost, odolnost proti oděru a také nižší cenu. Jsou to materiály, u kterých význam využití neustále roste.[8, 15]

### 1.1 Rozdělení kompozitních materiálů

Při zvyšujících se možnostech kombinování složek, kterými lze kompozity vytvářet, bývá jejich členění komplikovanější.

Kompozitní materiály mohou být přírodní nebo syntetické.

Kompozitní materiály se nejčastěji člení podle materiálu matrice na:

- kompozity kovové (např. slitiny, kovy zpevněné disperzemi, kovy vyztužené částicemi, kovy vyztužené vlákny)
- kompozity polymerní (termoplasty, reaktoplasty)
- kompozity keramické a ostatní kompozity organické (obvykle na bázi silikonové, vápenaté nebo síranové)

Další dělení je podle druhu zpevňující fáze na:

- kompozity se zpevňující fází kovovou
- kompozity se zpevňující skleněnou fází
- kompozity se zpevňující keramickou fází
- kompozity zpevněné vláknovými monokrystaly (tzv. whiskery)

Kompozity lze dále rozdělit podle tvaru výztuže použitého plniva na:

- sférický (kulovitý tvar)
- kubický (krychlový tvar)
- pinakoidální (hranolový tvar)
- lamelový (šupinkovitý tvar)
- jehlicovitý (fibrilární, vláknitý tvar)
- ostatní tvary ( nepravidelné, zrnité či vláknité formy)

Rovněž lze kompozity dělit podle použití na:

- vysokopevnostní kompozity pro použití při běžných teplotách,
- kompozity žárupevné pro použití při vysokých teplotách,
- speciální složené materiály

Kompozity se dále mohou dělit podle orientace částic (ovlivnění izotropie systému), podle koncentrace apod.

Další autoři rozdělují kompozity na partikulové (částicové) a vláknové kompozity.

Částicové kompozity mohou být s částicemi orientovanými či neorientovanými. Vláknové kompozity lze rozdělit na jednovrstvé a vícevrstvé.

Jednovrstvé kompozity se rozdělují na dlouhovláknové (jednosměrně či dvousměrně orientovaná vlákna) a krátkovláknové (nahodile orientovaná vlákna nebo orientovaná vlákna).

Vícevrstvé kompozity se rozdělují na hybridy (využití společné matrice s různými typy zpevňující fáze) a lamináty. [1, 2, 6, 9, 10, 12, 19]

### 1.1.1 Rozdělení kompozitů dle rozměru vyztužující fáze

Kompozitní materiály se mohou dle rozměru vyztužující fáze rozdělit na:

1. Mikrokompozitní materiály
2. Makrokompozitní materiály
3. Nanokompozitní materiály

1. Mikrokompozitní materiály – velikost výstuže vláken či částic jsou v příčném rozměru v rozmezí mikrometrů. Jejich výhodou je menší hustota a tím pádem příznivější poměr

pevnosti v tahu a modulu pružnosti vůči hustotě, díky tomu tyto materiály dosahují velké měrné pevnosti a měrného modulu. Velké využití v průmyslu.

2. Makrokompozitní materiály - mají výztuž o velikosti příčného rozměru  $10^0$  až  $10^3$  mm a jejich využití je především ve stavebnictví – výroba železobetonu, což je beton zpevněný ocelovými lany nebo ocelovými pruty. Dalším makrokompozitním materiálem jsou např. polymerbetony, které obsahují drcené kamenivo a pryskyřici. Mezi makrokompozitní materiály se dají považovat také vícevrstvé materiály a konstrukce, jako jsou chodníky a vozovky.
3. Nanokompozitní materiály jsou takové materiály, kde rozměry výztuže (průměr částice či vlákna nebo tloušťka destičky) se pohybují v jednotkách nanometrů. [24]

## 2 TENKÉ VRSTVY

Tenkou vrstvu lze označit materiál, který je v tloušťce několika nanometrů až po několik mikrometrů a je vytvořený na substrátu (základním materiálu).

Faktory, které ovlivňují tvorbu filmu (tenké vrstvy) z polymerní disperze jsou např. teplota, čas, parciální tlak rozpouštědla či pórovitost substrátu, velikost přidávaných částic a složení polymeru.

Používané materiály k tvorbě tenkých vrstev mohou být malé organické molekuly nebo anorganické sloučeniny, makromolekuly, biomakromolekuly (podobné bílkovinám či DNA), koloidní částice (kovové či oxidy kovů), latexové částice apod. [4, 16]

Využití tenkých vrstev slouží k povrchovým úpravám různých substrátů. Dnes se tenké vrstvy využívají například ve strojírenství, energetice, dekorační technice apod.

Praktické využití tenkých vrstev je použití např. velmi tvrdých diamantových vrstev, které se nanášejí na řezné nástroje (vrtáky, frézky, pilky), tím se několikanásobně zvyšuje jejich životnost.

V optice se tenké vrstvy používají jako antireflexní pokrytí čoček. Pro povlakování sklíček u brýlí se využívá tři vrstev, kde první vrstva chrání před poškrábáním, druhá slouží jako antireflexní a třetí slouží znovu jako vrstva chránící před poškrábáním.

Další aplikace mohou být např. využití tenkých vrstev na interferenční filtry nebo se využívají k nanesení reflexních vrstev na zrcadla.

Mezi rozšířené aplikace tenkých vrstev patří využití kovových vrstev (Al, Au, Cu), kterými se např. tvoří kontakty na polovodičích a Schottkyho bariérách.

Často se také využívá v praxi tenkých vrstev, které jsou průhledné ve viditelné oblasti záření, ale přitom jsou elektricky vodivé ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{ZnO}$  apod.). Tyto tenké vrstvy slouží jako odporové vrstvy, které slouží ke svádění nežádoucích elektrostatických nábojů z nevodivých povrchů nebo jako transparentní elektrody využívaných k plochým zobrazovacím prvkům a k solárním článkům.

Mezi právě tyto důležité aplikace těchto vrstev je výroba kvalitních předních elektrod v plochých displejích, přes které musí být vidět zobrazovaná informace. Tyto transparentní elektrody se využívají v plochých prvcích, které jsou založeny na principu kapalných krystalů, jako u LCD, plazmatu, digitálních hodinkách, kalkulačkách či monitorech počítačů, měřících přístrojů nebo hracích automatech apod.

Například u povlakování displeje vyrobeného z plastu se používají 4 vrstvy, které se nanášejí v jediném pracovním procesu. První vrstva zajišťuje přilnavost, druhá slouží jako vrstva proti oděru, třetí má funkci antireflexní a poslední vrstva má kromě estetické funkce i funkci očištnou (easy-to clean).

Dalším využití tenkých vrstev se využívá např. u PET lahví, kde taková vrstva současně s ochrannou funkcí vkládá i barevný dekor lahví. [20]

Tenké vrstvy je třeba chápat jako systém, protože tenké vrstvy pro svoji tloušťku dosahují společně se substrátem specifických vlastností a chování. Samotné tenké vrstvy mají rozdílné vlastnosti, což je způsobeno nejen tloušťkou, ale i také následkem depozičních procesů, které jsou označovány jako nerovnovážné a vedou ke vzniku metastabilních fází (vrstva-rozhraní-substrát).

Důležitou vlastností systému s tenkou vrstvou je kvalitní adhezní spojení mezi tenkou vrstvou a substrátem. [4, 16, 20]

## 2.1 NANOKOMPOZITY

Nanokompozity jsou materiály, které jsou složené minimálně ze dvou nebo více různých složek, z nichž se musí alespoň jedna složka vyskytovat ve formě částic, které jsou o velikostech v jednotkách nanometrů. Většinou tyto částice mají zajímavé magnetické, elektrické či jiné vlastnosti.

Je důležité použití takové matrice (polymerní matrice,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ), která je schopna nést a pevně spojovat jednotlivé nanočástice a zároveň naopak bránit jejich přímému kontaktu mezi sebou tak, aby nanočástice byly rovnoměrně rozptýleny v matrici.

Výhodou použití nanočástic jsou jejich odlišné fyzikální vlastnosti ve srovnání s matricí (objemovým materiálem). Uvádí se, že tyto odlišné vlastnosti jsou způsobeny např. monodoménovou strukturou nanočástic nebo také vysokým počtem „povrchových ku vnitřních“ atomů v nanočásticích, nemožností vzájemných interakcí částic a mnoha dalšími stále ještě neprobádanými jevy.

Vlastnosti nanokompozitů jsou odvíjeny od složení, velikosti částic, tak také jejich morfologií a uspořádáním. Nanokompozity mají široké spektrum uplatnění v reálném životu. Používají se například ve výrobě laků s reflexními vlastnostmi, kde jsou jako přísada nanočástice  $\text{TiO}_2$ . Další aplikace nanokompozitů je ořezavé povlakování řezných nástrojů a komponent.

Zkouší se i použít kompozitních vrstev respektive povrchového filmu z nanočástic na obkladačky, na kterých se potom nadržuje voda ani špína. V automobilovém průmyslu se používají nanokompozity ve složení polymer-jíl, kde je vyzkoušeno, že již 5% jílu (nanočástic montmorillonitu) v polymerní matici způsobuje významné zvýšení pevnosti kompozitu. Nanokompozity mají již časté zastoupení v mikroelektronice ve formě součástí tranzistorů, čtecích hlav apod.

Nanokompozity z uhlíkových nanotrubic se používají například ve sportu (tenisové rakety zpevnované uhlíkovými vlákny), textilní průmysl (odolnost vůči vodě, špíně a mačkání) apod. [7, 11, 18]

## 2.2 Nanočástice

Za nanočástice a nanokoloidy lze považovat takové částice, které mají alespoň 1 nebo 2 rozměry o velikosti 1 – 100 nm. [14]

Další zdroj uvádí, že požadavky v současné době pro nanočástice jsou takové, že průměr nanočástic se musí pohybovat od jednotek do desítek nanometrů. Mají mít dobře definované složení povrchu. Pro jejich výrobu musí být reprodukovatelná syntéza se stejnými vlastnostmi částic. Jednoduchá izolovatelnost s možností pro opětovné rozpuštění. [13, 25]

První výskyt nanočástic literatura datuje na páté či čtvrté století před n. l. z Egypta a Číny, kde se používalo „rozpuštěné zlato“, které se používalo pro výrobu rubínového skla a barvení keramiky (estetický účel), také mělo využití i v lékařství na léčení srdečních a sexuálních problémů, úplavice a pro diagnózu syfilis.

### Příprava nanočástic kovů:

1. Fyzikální metody
2. Chemické metody

Fyzikální metody jsou založeny na mechanickém dělení kovových agregátů. Touto metodou vznikají částice u kterých je velká variabilita průměrů vzniklých částic. Velikost částic tvořených těmito metodami je většinou o průměru částic větším než 10 nm. Další nevýhodou této metody je nemožnost reprodukovatelně připravit částice o stejném průměru. Částice lze připravit např. mechanickým mletím hrudkových materiálů, vzniklé nanočástice je nutné chránit přidáním ochranných koloidních činidel.



Chemické metody patří mezi nejpoužívanější metody přípravy nanočástic. Pomocí vhodných podmínek lze připravit nanočástice požadovaných tvarů a požadovaných velikostí.

Mezi chemické metody patří např. redukce solí přechodných kovů v roztoku. Jednoduchá metoda na provedení, u které vznikají téměř monodisperzní částice. Pro přípravu koloidních látek se využívá různých redukčních činidel (hydridy, diboran, silany, hydrazin a jeho deriváty, organohlinité sloučeniny apod.) Pro stabilizaci vzniklých nanočástic se používají detergenty či polymery rozpustné ve vodě. Tato metoda je využitelná pro přípravu nanočástic např. mědi, platiny, stříbra, zlata apod.

Další možná využitelná metoda pro přípravu nanočástic je využití elektrochemické metody, jejíž výhoda spočívá v zamezení tvorby nežádoucích vedlejších produktů, nanočástice se dají snadno izolovat z roztoku a jednou z hlavních výhod je i možnost kontroly velikosti vznikajících nanočástic. Takto se dají připravit nanočástice např. paladia, niklu, kobaltu, titanu, železa, stříbra a zlata.

Nanočástice se mohou také připravit zahříváním některých sloučenin kovů mikrovlnným zářením, kdy lze tímto způsobem získat poměrně stejné průměry nanočástic.

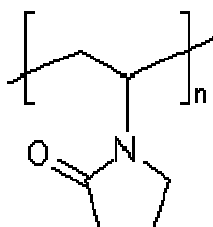
Nanočástice se dají získat i z oxidů kovů, jejichž využití není tak široké, jako u nanočástic samotných kovů. Syntéza se provádí ve vodných roztocích s redukčními činidly (hydrazin, hydroxylamin apod.) nebo je možná i redukce v bezvodém prostředí (méně využívaná metoda). Syntézou nanočástic oxidů se dají připravit např.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  apod.

Využití nanočástic je např. v kosmetice, kde součástí krémů a opalovacích pleťových vod jsou nanočástice  $\text{TiO}_2$  a  $\text{ZrO}_2$ , naopak rtěnky obsahují nanoprášky  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Pokusy probíhají i s přísadami nanočástic  $\text{CeO}$  do motorového paliva s cílem snížení spotřeby paliva. Také v oblasti biomedicíny nachází magnetické nanočástice velké uplatnění při analýze krve, moče a jiných tělních tekutin pro urychlení separace a zlepšení rozlišitelnosti. Taktéž se využívají fluorescentní nanočástice, na kterých je založena řada detekčních technologií (např. analýzy infekčních a genetických chorob a výzkumu léčiv).  
[13, 14, 25, 26]

### 3 POLYMERNÍ MATRICE

#### 3.1 PVP – polyvinylpyrrolidon

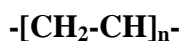


Obr. č. 1 – vzorec PVP [3]

Polyvinylpyrrolidon (PVP) je čirá bezbarvá hmota ve formě prášku, která je rozpustná jak v řadě organických rozpouštědel, tak i ve vodě, kdy vznikají viskózní roztoky. Používá se k přípravě lepidel, lepicích pásek, apretačních prostředků nebo také jako náhrada krevního séra či jako „umělé slzy“. Využívá se také v potravinářství, jako stabilizátor barvy. Ve farmacii se používá k tabletování či potahování tablet.

Vyrábí se dehydrogenací 1,4-butandiolu, kdy vzniká  $\gamma$ -butyrolakton, který zreaguje s amoniakem za vzniku 2-pyrrolidinonu (pyrrolidonu). Tento pyrrolidon pak následně reaguje s acetylenem v alkalickém prostředí, kdy vzniká N-vinyl-2-pyrrolidinon (N-vinylpyrrolidon). Tento vzniklý monomer se polymeruje v emulzi s použitím peroxidů (iniciátorů) za zvýšeného tlaku a vzniká polyvinylpyrrolidon (poly-N-vinyl-2-pyrrolidinon). [3]

#### 3.2 PVAL – polyvinylalkohol



Obr. č. 2 – vzorec PVAL [3,5]

Polyvinylalkohol je polymer, který není možné připravit polymerací, protože příslušný monomer neexistuje, neboť vinylalkohol přechází na stabilnější formu (acetaldehyd). Z těchto důvodů je vyráběn hydrolyzou polyvinylacetátu, kdy vždy ve výsledné formě polyvinylalkohol obsahuje určité množství polavinylnacetátových skupin, které jsou příčinou dosti proměnných vlastností. Hydrolyza může být buď kyselá, nebo alkalická.

Dalším možným výrobním postupem je reesterifikace polyvinylacetátu bezvodým methanolem za přítomnosti kyseliny sírové, chlorovodíkové nebo hydroxidu jako katalyzátoru.

Polyvinylalkohol je zdravotně nezávadný, bez chuti a zápachu. Prodává se ve formě bílého prášku. Jeho použití je poměrně široké, kdy v potravinářství je možné s ním nahradit želatinu. Slouží též jako zahušťovadlo, slouží k výrobě technických výrobků jako např. filtračních plachetek, sítí, chirurgických nití. Používá se také k výrobě lepidel (v kombinaci se škrobem), fotografických emulzí apod. Tenké filmy z PVAL připravené z jeho vodných roztoků jsou bezbarvé, průzračné a stabilní na světle. Pevnost filmu je závislá na obsahu vody. [3, 5]

## 4 MAGNETY

Pro výrobu trvalých magnetů se používají materiály, které jsou označovány termínem „magneticky tvrdé materiály“. Takové materiály jsou schopné si zachovat značnou magnetickou polarizaci i po ukončení působení vnějšího magnetického pole.

Magnety se dělí na feritové, Neodymové - NdFeB (Neodym-železo-bor) a nově používané SmCo<sub>5</sub>, Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub> (magnety na bázi vzácných zemin) a magnety slitinové.

Permanентní magnety charakterizují tyto parametry:

- koercivita ( $H_{cb}$ ,  $bH_c$ ) [ A/m ] – je taková intenzita magnetického pole, která působí proti směru spontánní magnetizace, až dosáhne celkové indukce v materiálu  $B = 0$   
Parametr  $bH_c$  je mírou odolnosti magnetu proti odsmagnetování vnějším polem i vlastní demagnetizací
- Remanence (Br) - [ T ] - je hodnota magnetické indukce, která se ustálí po zsmagnetování v uzavřeném obvodu magnetu bez působení vnějšího magnetického pole
- Vnitřní koercivita ( $H_{cj}$ ,  $iH_c$ ) - znamená pole při kterém je celková polarizace nula (vektory polarizace individuálních magnetických domén se vzájemně ruší)
- Max. energetický součin (BH max) [ kJ/m<sup>3</sup> ] - je úměrný magnetické energii uložené v magnetu optimálního tvaru, odpovídá interakční síle magnetu vůči jiným feromagnetickým předmětům (nejčastěji železu) [21, 22]

### 4.1 Magnety feritové

Základními surovinami pro výrobu feritových magnetů jsou Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a BaCO<sub>3</sub> nebo SrCO<sub>3</sub>. Tyto základní suroviny se mísí v poměru asi 80% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a asi 20% BaCO<sub>3</sub> nebo SrCO<sub>3</sub> a z této směsi kalcinací za vysokých teplot vzniká hexaferit.

Potom se vzniklé magnety lisují do požadovaných tvarů buď za sucha (ve formě prášku s pojivem), a nebo ve formě vodné suspenze. Konečný tvar a pevnost dostávají permanentní magnety výpalem (sintrováním) při teplotách přes 1200°C a poté jsou smagnetovány. Po sintrování mají povahu keramického materiálu. Vyznačují se velkou tvrdostí a křehkostí.

Feritové (keramické) permanentní magnety patří mezi klasické „černé magnety“, které mají široké spektrum využití. Jejich celosvětová výroba se ročně odhaduje na 300 tisíc tun a nadále stoupá. Jejich uplatnění je např. magnety používané v kancelářích, magnetické stavebnice, magnety pro domácnost (magnetická lišta k uchycení nožů, dveřní magnety), magnety pro kovovýrobu (magnetická metla, magnetický čeříč plechů), břemenné magnety, magnety pro sběrné suroviny, magnety pro násypky vstřikolisu, různé magnetické fólie a pásy, montují se také do elektromotorků a generátorů, jsou součástí magnetických spojek a brzd apod.

Feritové magnety se dělí dle postupu výroby na izotropní (slabší) a anizotropní (silnější).

Izotropní magnety se vyrábí lisováním tzv. suchou cestou, kdy jsou potom magnety magnetovány v magnetickém poli. Tento výrobní postup má velkou výhodu v tom, že takové magnety se dají magnetovat v různých směrech dle požadavků.

Anizotropní magnety se vyrábí vstřikováním – tzv. mokrou cestou. Vstřikování probíhá do formy, na kterou působí magnetické pole. Následné magnetování je poté možné pouze ve směru, kterým byl magnet vyráběn.

Feritové magnety není potřeba povrchově upravovat, protože nejsou náchylné ke korozi. [21, 22, 23]

## 4.2 Neodymové NdFeB magnety a magnety obsahující prvky vzácných zemin

Neodymové magnety NdFeB (Neodym-železo-bor,  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ ) a další typy magnetů obsahující prvky vzácných zemin ( $\text{SmCo}_5$ ,  $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ ) patří v současné době k nejsilnějším permanentním trvalým magnetům. Sintrováním (spékáním) se vyrobí výchozí materiál s velmi jemně rozmletých substancí (jejich přímé slévání není možné), který je pak řezán do výsledného tvaru magnetů dle rozměrových požadavků (nesmí se však při řezání přehřívat). Tento výrobní proces umožňuje dodávat široké spektrum různých tvarů. Základními vyráběnými tvary magnetů jsou segmenty, mezikruží, válce, hranoly.

Díky jejich velké síle je možné používat magnety malých rozměrů oproti magnetům feritovým. Jejich velkou nevýhodou ovšem je velká náchylnost vůči korozi. Z těchto důvodů je povrch magnetů většinou potahován zinkem, niklem nebo epoxidovou pryskyřicí nebo se dají magnety povrchově upravit pasivací.

Tyto trvalé magnety na bázi vzácných zemin se využívají v řadě aplikací, kde je zapotřebí vyvinout silnou magnetickou interakci (přídržnou sílu) a tam, kde je potřeba použít magnety malých rozměrů (např. rotory a statory motorů, lineární motory, magnetické spojky a brzdy, magnetické polarizátory tekutin, magnetické separátory, systémy proti krádežím v obchodech apod.)

Další využití těchto magnetů s příměsí vzácných zemin je v těchto oblastech (automaty a roboty, automobily, hračky, kuchyňské stroje, pračky, myčky, náramkové hodinky a výpočetní technika apod. [21, 22, 23]

### 4.3 Magnetické částice

Magnetické částice se začínají objevovat v mnoha vědeckých odvětvích, kde nalézají uplatnění např. v biomedicínských, biotechnologických, chemických, fyzikálních, biofyzikálních oborech apod. [29]

Magnetické vlastnosti částic jsou silně závislé na okolních podmínkách především na působícím magnetickém poli, tlaku, struktuře částic a významnou úlohu zde hraje i samotná velikost částic, protože se snižujícím průměrem částic výsledný magnetický moment klesá, až se částice dostane do supermagnetického stavu, což je stav, kdy jsou částice tak malé, že mohou náhodně změnit orientaci magnetické domény např. vlivem termálních fluktuací. Materiál jako celek pak vykazuje magnetickou indukci jen v případě, kdy je vystaven vnějšímu magnetickému poli. [30, 31]

Podle Dormannovy studie se kulové částice (alfa-  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) do supermagnetického stavu dostávají při velikosti průměru pod 8 nm, Kundigova studie však tvrdí, že tento stav může již nastat při průměru menším než 14 nm. [27, 28]

Magnetických částic se využívá celá řada např.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , práškové železo,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (magnetit), Fe-Ni kompozitní částice,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -PMMA nanokompozitní částice apod. [31]

#### 4.3.1 Oxid železitý ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

Oxid železitý se vyznačuje tím, že může krystalizovat v několika různých modifikacích, které se buď vyskytují v přírodě, nebo se dá synteticky připravit. [30]

$\alpha$  – fáze oxidu železitého se vyskytuje v přírodě ve formě minerálu (hematit), lze i snadno syntetizovat, protože vzniká jako konečný produkt v celé řadě tepelných rozkladů.

Je to nejčastěji se vyskytující modifikace, která při nízkých teplotách vykazuje antiferomagnetické uspořádání, které se ze zvyšující teplotou mění na feromagnetické. [30, 31]

$\beta$  – fáze lze připravit pouze synteticky, při teplotě nad 500 °C přechází na fázi alfa. Dá se připravit redukcí hematitu uhlíkem nebo je možné jej získat pyrolýzou roztoku  $\text{FeCl}_3$  či termickým rozkladem  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ .

$\gamma$  – fáze se vyskytuje v přírodě v podobě minerálu maghemitu. Tepelně nestabilní fáze s feromagnetickými vlastnostmi, ultrajemné částice o velikosti pod 10 nm vykazují supermagnetismus. Připravuje se tepelnou dehydratací  $\gamma\text{-FeO(OH)}$  nebo opatrnou oxidací  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Částice pod 10 nm lze připravit tepelnou transformací šřavelanu železitého.

$\varepsilon$  – fáze vykazuje přechodové vlastnosti mezi fází alfa a gama, zatím není možné ji připravit v čistém stavu. Velikost částic bývá 30 – 80 nm. Lze připravit metodou sol-gel s dusičnanem železitým.

Částice z oxidu železitého mají široké uplatnění. Používají se např. jako kontrastní činidlo (nukleární magnetická resonance), k výrobě magnetických tekutin, ke značení postižených tkání v živém organismu, k cílenému transportu léčiv, záznamová média, chemické katalyzátory apod. [29, 30]

## 5 CÍL PRÁCE

Na základě zadání diplomové práce a provedené literární rešerše byly stanoveny následující cíle práce:

1. Příprava orientovaných kompozitních tenkých vrstev z magnetických částic v roztoku polymerní matrice.
2. Charakterizovat vzniklé struktury kompozitních tenkých vrstev a popsat vliv magnetického pole na vzniklé polymerní kompozitní tenké vrstvy.
3. Pro vznik tenkých kompozitních vrstev použít různé směry magnetického pole.
4. Použít různé polymerní matrice (PVP, PVAL) a různé koncentrace magnetických částic.
5. Zhodnotit výsledky a popř. vznést doporučení pro další výzkum a praxi.



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 EXPERIMENT

### 6.1 Příprava polymerní matrice a disperze nanočástic

Po prostudování odborné literatury a drobných laboratorních pokusech byly vybrány jako vhodné polymerní matrice PVP a PVAL a stejně tak se postupovalo s výběrem nanočástic.

Pro začátek pokusů bylo zvoleno, že se připraví 10% disperze kovových nanočástic a 5% roztok PVP.

### 6.2 Příprava 5% disperze PVP (Polyvinylpyrrolidonu)

Výrobce PVP: St. Louis – Sigma Aldrich (PVP40 – balení 1 kg)

5g PVP + 95 ml dest. H<sub>2</sub>O, míchat při pokojové teplotě → 5% roztok PVP – zásobní roztok uchováván v ledničce.

### 6.3 Příprava magnetických částic

5 mmol.l<sup>-1</sup> FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O

60 mmol.l<sup>-1</sup> Etylen glykolu

25 mmol.l<sup>-1</sup> (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

smícháno a vloženo do MW při 220°C na 30 min (MW-CEM MARS 5)

Vzniklé kulové částice (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> – magnetit) o velikosti 200 nm byly připraveny a dodány od spolupracovníků s kolektivu.

### 6.4 Příprava 10% disperze s magnetickými částicemi:

1g částic (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) + 9g dest. H<sub>2</sub>O, mícháno na vibrační míchačce 6 minut.

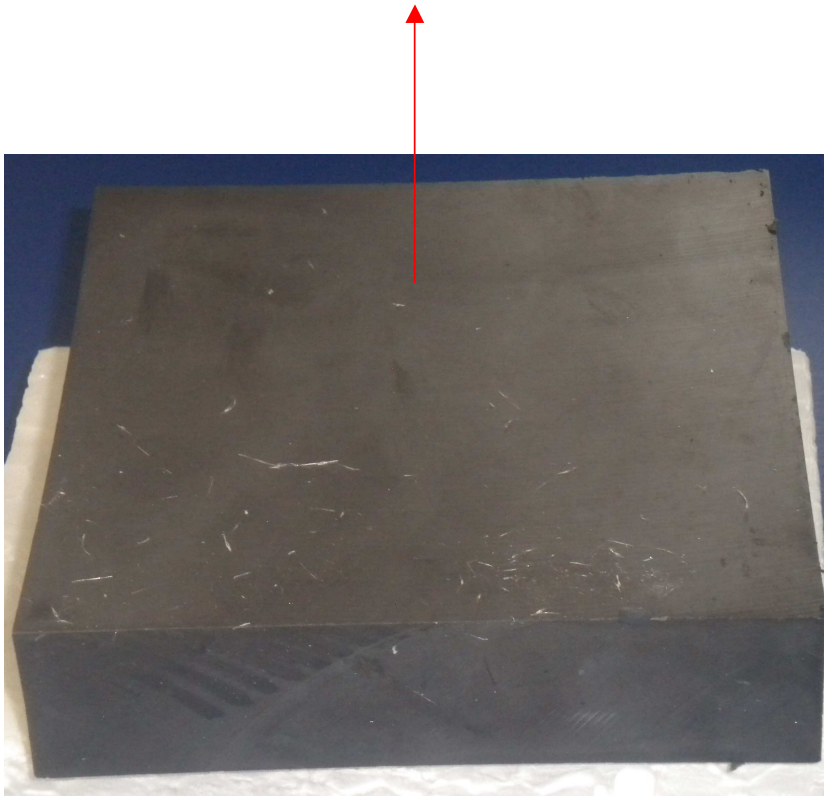
### 6.5 Používané magnety

Pro tvorbu magnetického pole byly zvoleny magnety rozměrů:

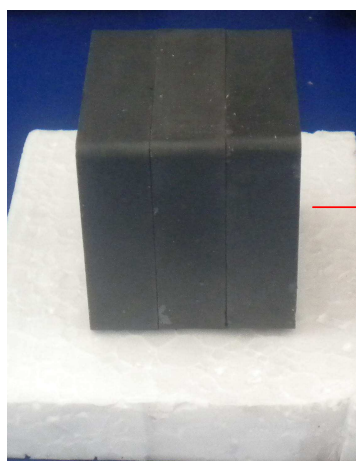
- 1) magnet o velikosti (100x100x25) mm, magnetován kolmo na plochu dle obrázku č. 1

- 2) magnet o velikosti (50x50x15) mm, magnetován kolmo na plochu dle obrázku č. 2 (postavením na výšku působení podélného magnetického pole vůči vytvářené tenké kompozitní vrstvě)

Polarizace magnetu



Obr. č. 3 – „silnější“ anisotropní feritový magnet rozměrů (100x100x25) mm



Polarizace magnetů

Obr. č. 4 – „silnější“ anisotropní feritové magnety o rozměrech (50x50x15) mm

### 6.5.1 Tabulkové hodnoty použitých magnetů

Anisotropní – silnější feritové magnety								
Rozměry (d., š., tl.) (mm)	Remanence (Br)		Koercivita (H <sub>cb</sub> , bHc)		Vnitřní koercivita (H <sub>cj</sub> , iHc)		Max. energetický součin (BH max)	
	mT	KGs	KA/m	KOe	KA/m	KOe	KJ/m <sup>3</sup>	MGOe
50x50x15	370-400	3,7-4,0	205-250	2,58-3,14	210-255	2,64-3,21	25,0-29,5	3,1-3,7
100x100x25	410-430	4,1-4,3	250-270	3,14-3,40	250-275	3,14-3,45	31,5-35,0	4,0-4,4

Převody hodnot: 1,0 Kgs = 100 mT; 1,0 KOe = 79,6 KA/m; 1,0 MGOe = 7,96 KJ/m<sup>3</sup>

Tabulka č. 1 – tabulkové hodnoty použitých magnetů [22]

### 6.6 Použitý mikroskop, software a fotoaparát

Pro tvorbu zvětšených snímků vzniklých tenkých kompozitních vrstev bylo využíváno digitální kamery Digital Camera pro Microskope DCM 310, 3 Megapixels, CMOS chip, která byla vkládána do stereoskopického mikroskopu. K této sestavě byl používán software Scope Photo DCM 310. Vzorčky byly osvětlovány pomocí osvětlení FIBER OPTICAL ILLUMINATOR.

Fotky celkových pohledů vytvořených tenkých kompozitních vrstev byly foceny fotoaparátem Nikon COOLPIX, 10 Megapixels.

### 6.7 Příprava suspenzí magnetických částic v roztoku polymeru

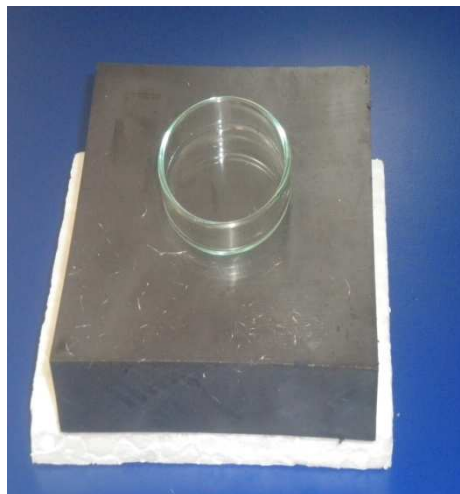
#### 6.7.1 Příprava suspenze A

19g (5% roztoku PVP) + 1 g (10% disperze částic) – mícháno 6 minut na vibrační míchačce a posléze ihned rozléván do předem připravených polystyrenových Petriho misek o průměru 14 cm.

Suspenze A1 a A2 byly po smíchání 5% roztoku PVP s 10% disperzí částic rozlity do polystyrenových Petriho misek o průměru 14 cm, které byly přímo položeny na magnety, viz. obrázky č. 5 a č. 6 a vloženy do sušárny na dobu 72 h při 30°C. Slepý pokus (suspenze A3) byl připraven stejným postupem, jen s rozdílem, že na něj nebylo působeno žádným magnetickým polem.



Obr. č. 5 – uspořádání magnetů a Petriho misky



Obr. č. 6 – uspořádání magnetu a Petriho misky

### 6.7.2 Příprava suspenze B

Byl připraven 5% roztok PVP, u kterého byla přimíchána kyselina mléčná, které bylo 15% z celkového množství polymerní matrice (měla by zde sloužit jako změkčovač). Byla také naředěna disperze s nanočásticemi z původních 10% na 2%.

Vzorky byly připraveny smícháním polymerní matrice, které bylo odebráno 9,5 ml (PVP+ kyselina mléčná) a přidáno 0,5 ml z 2 % disperze s nanočásticemi a nality do připravených skleněných Petriho misek o průměru 4,2 cm a polystyrenových Petriho misek o průměru 5,3 cm.

Byly připraveny ve stejném poměru tyto suspenze:

- suspenze B1 - (PVP + kys. mléčná + nanočástice) – skleněná Petriho miska – bude působeno kolmým magnetickým polem - umístění v sušárně dle obrázku č. 7
- suspenze B2 - (PVP + kys. mléčná + nanočástice) polystyrenová Petriho miska bude působeno kolmým magnetickým polem - umístění v sušárně dle obrázku č. 7
- suspenze B3 - (PVP + kys. mléčná + nanočástice) skleněná Petriho miska – bude působeno podélným magnetickým polem - umístění v sušárně dle obrázku č. 8
- suspenze B4 - (PVP + kys. mléčná + nanočástice) polystyrenová Petriho miska – bude působeno podélným magnetickým polem - umístění v sušárně dle obrázku č. 8
- suspenze B5 - (PVP + kys. mléčná + nanočástice) – skleněná Petriho miska - referenční vzorek – bez působení magnetického pole

Suspenze po přípravě byly dány do sušárny na 30 °C po dobu 72h, kde byly umístěny do sušárny dle uspořádání na obrázcích č. 7 a č. 8.



Obr. č. 7 – umístění připravených suspenzí B1 a B2 v sušárně (působení kolmého magnetického pole)

Suspenze B3 a B4 byly umístěny do sušárny dle postupu na obrázku č. 8, kdy u kolmo postavených tří magnetů do sebe spojených, byla mírně zvýšena vzdálenost mezi magnety a vzorkem.



Obr. č. 8 - umístění připravených suspenzí B3 a B4 v sušárně (působení podélného magnetického pole)

### 6.7.3 Příprava suspenze C

Byl připraven 5% roztok PVAL a byl použit již z předchozích pokusů 2% disperze s nanočásticemi.

Vzorky byly připraveny smícháním polymerní matrice, které bylo odebráno 9,5 ml (PVAL) a přidáno 0,5 ml z 2 % disperze s nanočásticemi.

Byly připraveny ve stejném poměru tyto vzorky:

- suspenze C1 - (PVAL + nanočástice) – skleněná Petriho miska – bude působeno kolmým magnetickým polem – umístění v sušárně dle obrázku č. 7
- suspenze C2 – (PVAL + nanočástice) polystyrenová Petriho miska bude působeno kolmým magnetickým polem – umístění v sušárně dle obrázku č. 7
- suspenze C3 - (PVAL + nanočástice) skleněná Petriho miska – bude působeno podélným magnetickým polem – umístění v sušárně dle obrázku č. 8
- suspenze C4 - (PVAL + nanočástice) polystyrenová Petriho miska – bude působeno podélným magnetickým polem - umístění v sušárně dle obrázku č. 8
- suspenze C5 - (PVAL + nanočástice) – skleněná Petriho miska - referenční vzorek – bez působení magnetického pole
- suspenze C6 - (PVAL + nanočástice) – polystyrenová Petriho miska - referenční vzorek – bez působení magnetického pole

Suspenze po přípravě byly dány do sušárny na 30 °C po dobu 72h.

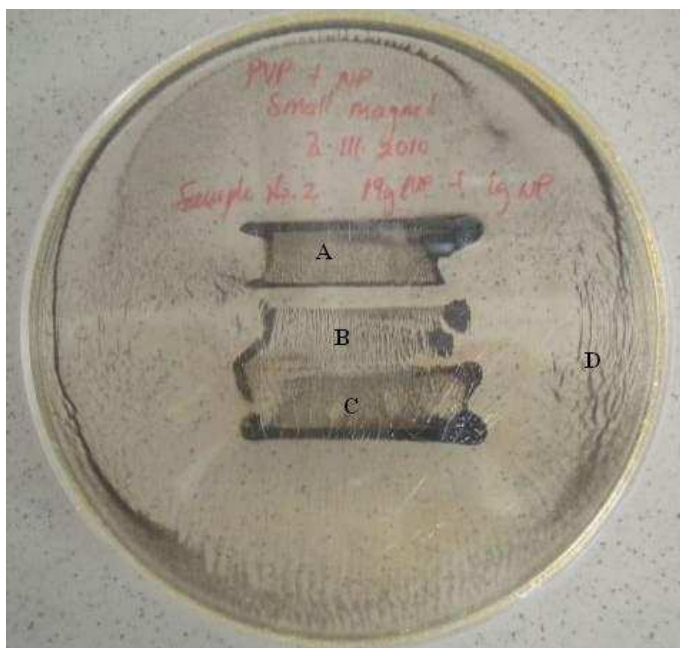
#### **Působení magnetického pole**

Působení magnetického pole bylo uvažováno dle polarizace magnetů vůči připravované tenké kompozitní vrstvě a pomocí uspořádání magnetů pak bylo možné vytvářet kolmé respektive podélné magnetické pole (vůči vznikající kompozitní vrstvě) viz. obrázky č. 3 a č. 4.

## 7 VÝSLEDKY A DISKUSE

### 7.1 Připravené vrstvy a pozorování vzniklých struktur

#### Suspenze A1



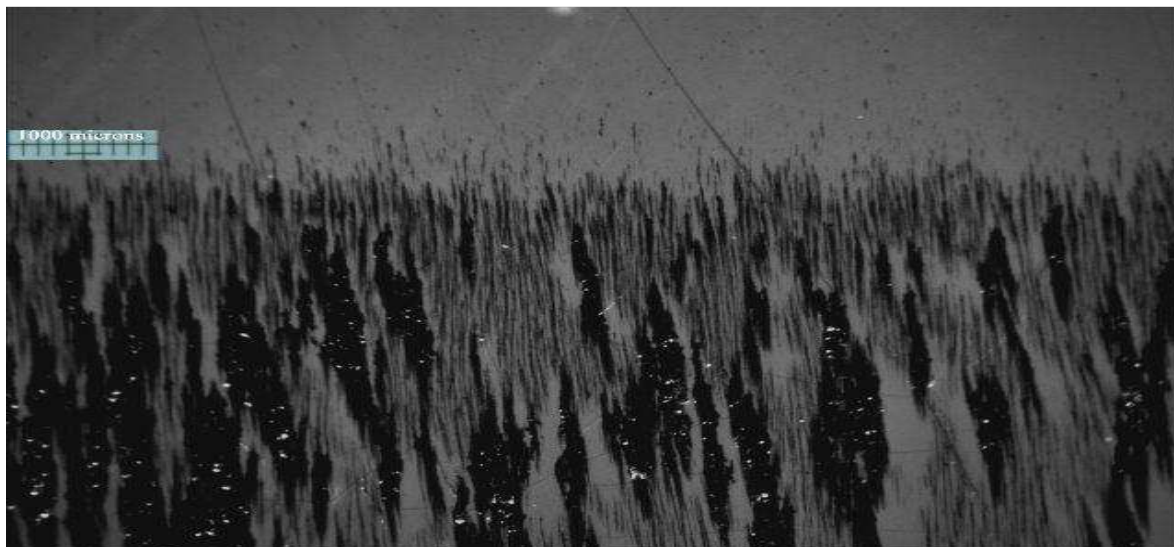
Obr. č. 9 – celkový pohled na suspenzi A1 (PVP+nanočástice) – působení podélným magnetickým polem



Obr. č. 10 – suspenze A1 - (PVP+nanočástice)- detail z výřezu A – působení podélného magnetického pole

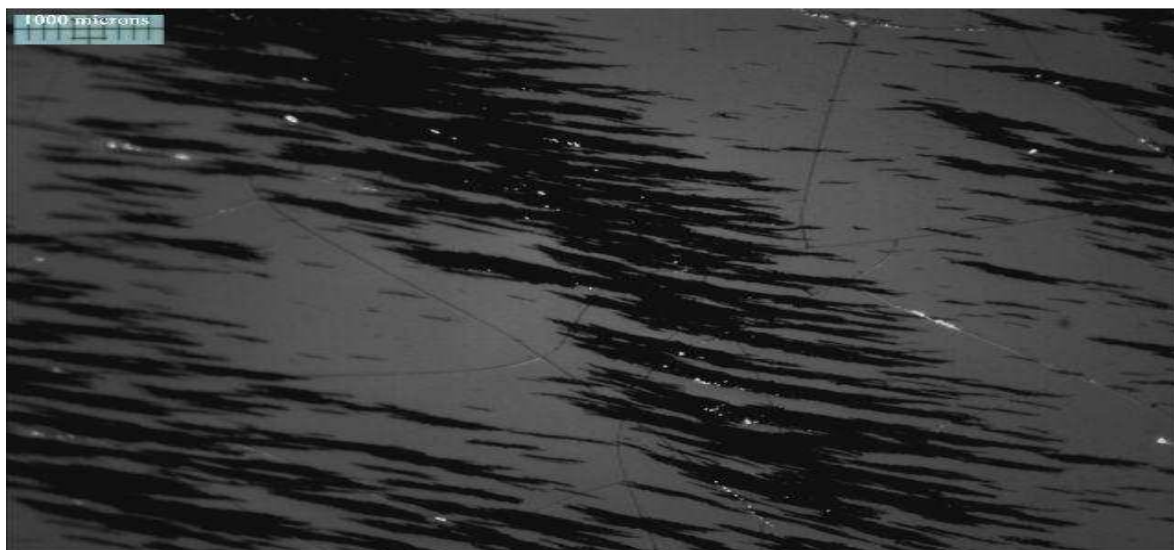


Detail z výřezu A (suspenze A1) se jeví tak, že magnetické pole je nejspíše nehomogenní. Částice mají mírnou tendenci se shlukovat a tím vznikají malé shluky a zároveň místa bez pokrytí magnetickými částicemi. Dá se předpokládat, že to způsobuje nejspíše velké magnetické pole a možná i velká koncentrace magnetických částic.



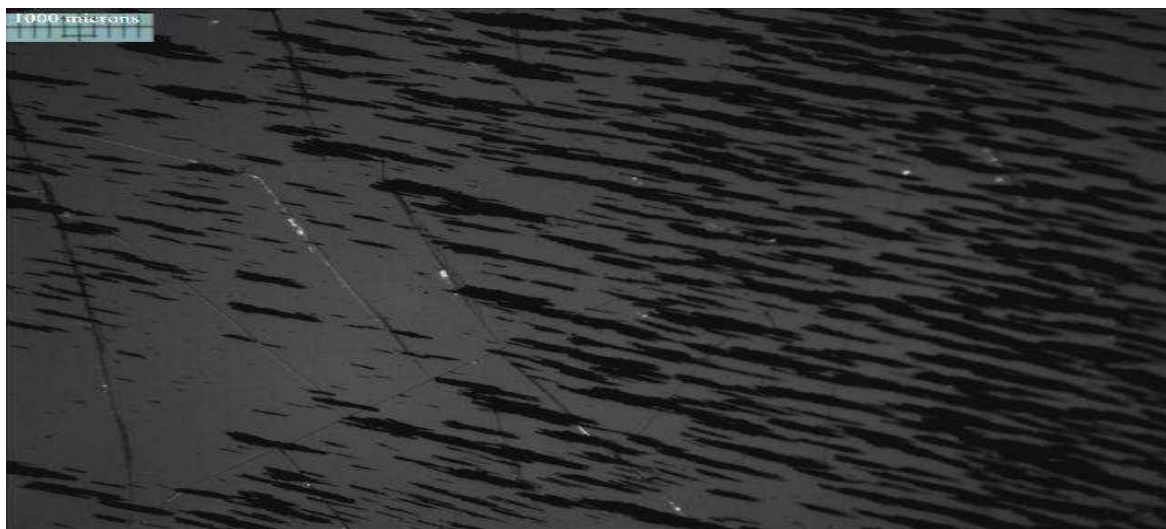
Obr. č. 11 – suspenze A1 - (PVP+nanočástice) – detail výřezu B - působení podélným magnetickým polem

V tomto výřezu B ze suspenze A1 dochází k velkému shlukování magnetických částic, což je způsobeno nejspíše vinou nehomogenního magnetického pole a navíc vzniká mezera kopírující rozhraní magnetického pole.



Obr. č. 12 – suspenze A1 - (PVP+nanočástice) – detail výřezu C - působení podélným magnetickým polem

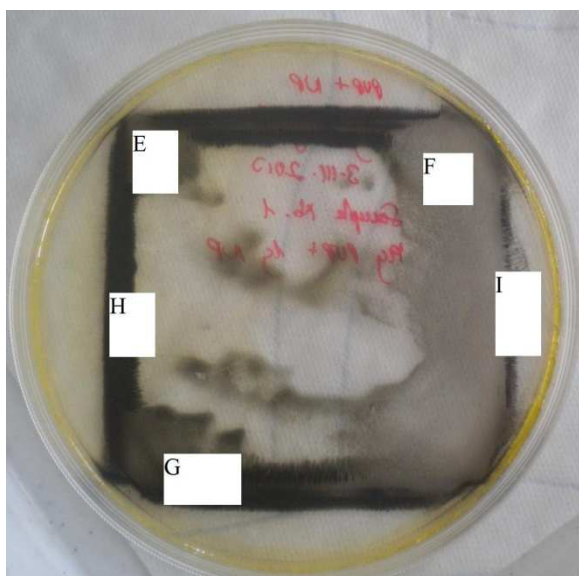
V tomto výřezu C jsou částice sice stejnosměrně uspořádané, ale je tu patrná určitá snaha shlukovat se.



Obr. č. 13 – suspenze A1 – detail výřezu D - působení podélným magnetickým polem

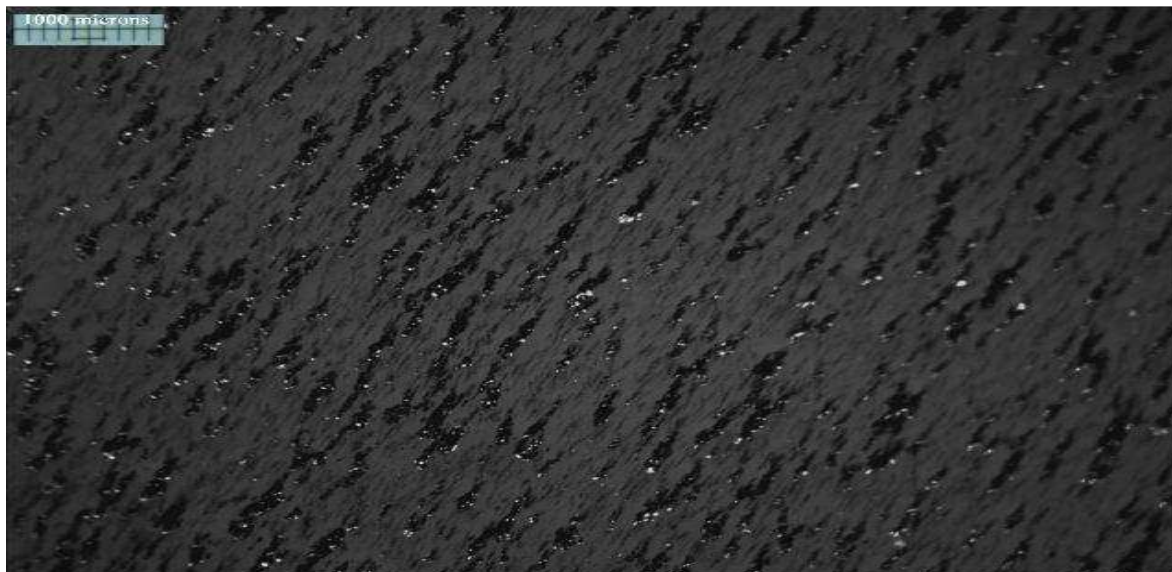
Obrázek č. 13, který je z výřezu okraje Petriho misky, kde evidentně magnetické pole také působí, je patrná orientace částic, opětně dochází ke tvorbě hluchých míst a také k malým shlukům částic. Nejvíce částic je shlukováno u okraje Petriho misky. Částice jsou zřetelně orientovány dle působení magnetického pole, navíc vytvářejí převážně lineární útvary.

### Suspenze A2



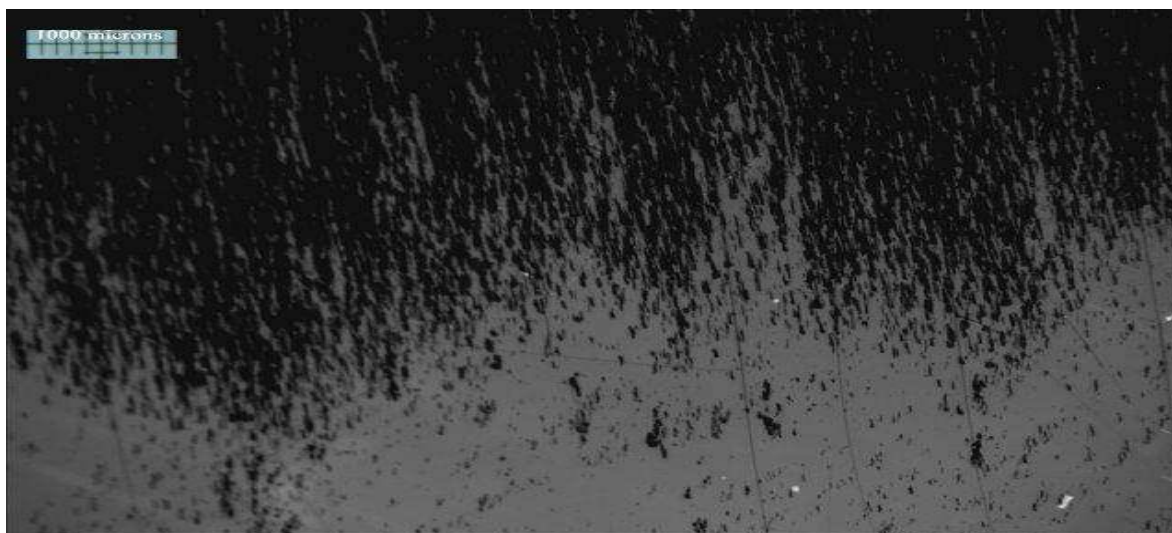
Obr. č. 14 – suspenze A2 – celkový pohled - (PVP+nanočástice) - působení kolmým magnetickým polem

Na obrázku č. 14 jsou zřetelné stopy po nehomogenitě pole. Částice jsou soustředěné v převážně v místě hran magnetu, kde lze očekávat největší gradienty.



Obr. č. 15 – suspenze A2 – detail výřezu E – (PVP+nanočástice) působení kolmým magnetickým polem

V tomto místě vzorku je opět zřejmá tvorba shluků, magnetické částice jsou celkem rozvrstveny po celé ploše a zřetelně orientované.

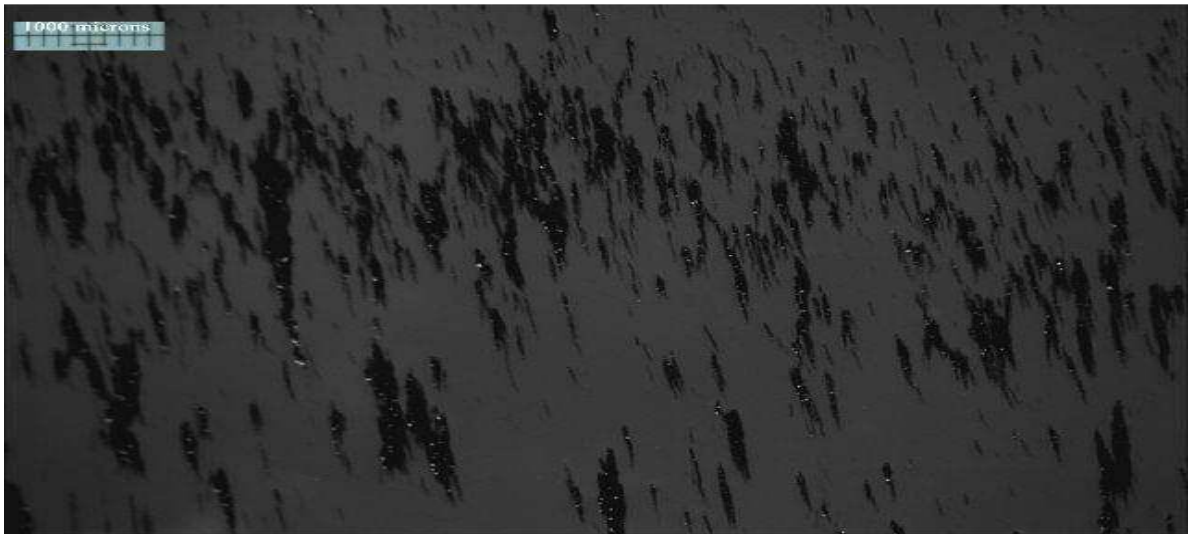


Obr. č. 16 – suspenze A2 – detail výřezu F (PVP+nanočástice) – působení kolmým magnetickým polem

U výřezu F je patrná nehomogenita povrchu způsobená nejspíše velkým magnetickým polem, které na vzorek působilo, část tohoto výřezu je jako u předchozích obrázků s viditelnými shluky a navíc s hluchými místy, jako se vyskytuje u většiny vzorku. Částice

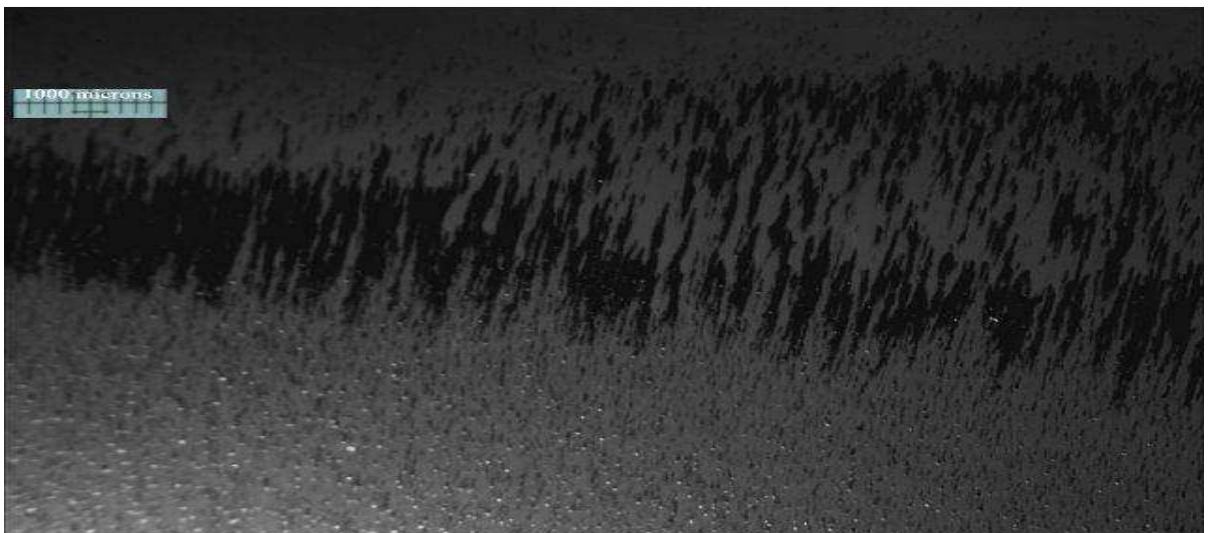


jsou jasně orientované, při bližším pozorování částice vystupují z plochy, což by mohlo odpovídat vzniku vertikálně orientovaných struktur.



Obr. č. 17 – suspenze A2 – detail výřezu G - (PVP+nanočástice) - působení kolmým magnetickým polem

U tohoto výřezu G je znát menší podíl částic, opět se zřejmou orientací a opětovnou formou shluků a prázdných míst. Nejspíše většina magnetických částic byla přetažena ke kraji Petriho misky vlivem silného magnetického pole.



Obr. č. 18 – suspenze A2 – detail výřezu I – (PVP+nanočástice) - působením kolmým magnetickým polem

Na výřezu z obrázku č. 18 je patrné, že v tomto místě opětně působilo velké magnetické pole, částice jsou zřetelně orientované, ale nejspíše silné a nehomogenní magnetické

pole způsobilo nehomogenitu povrchu, který opětně kazí tvorba shluků a nestejněměného rozložení částic.

### Suspenze A3



Obr. č. 19 – suspenze A3 – fragment referenčního vzorku bez působení magnetického pole

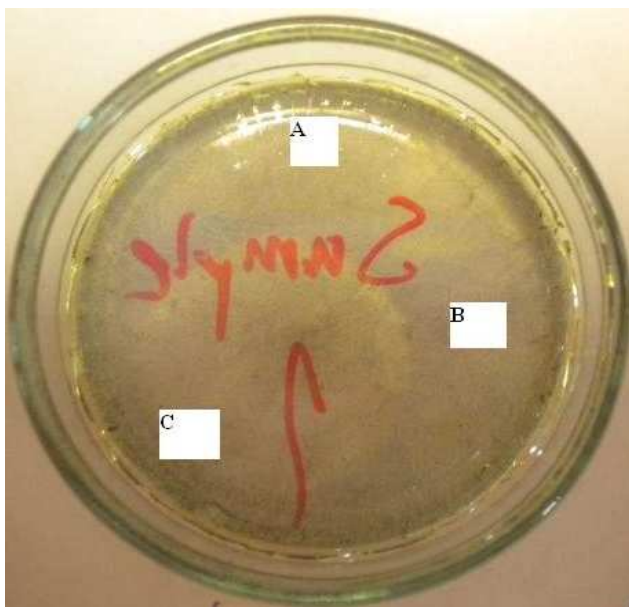
Z tohoto fragmentu je patrné, že místy je pouze samotná polymerní matrice, v jiných místech jsou shluky magnetických částic. V tomto případě to vypadá, že se buď nepodařilo zhomogenizovat suspenzi, nebo se magnetické částice z nějakého důvodu shromáždily jen v určitých místech. Není zde ovšem tvorba tak zřetelných agregátů, jako u vzorků vystavených magnetickému poli.



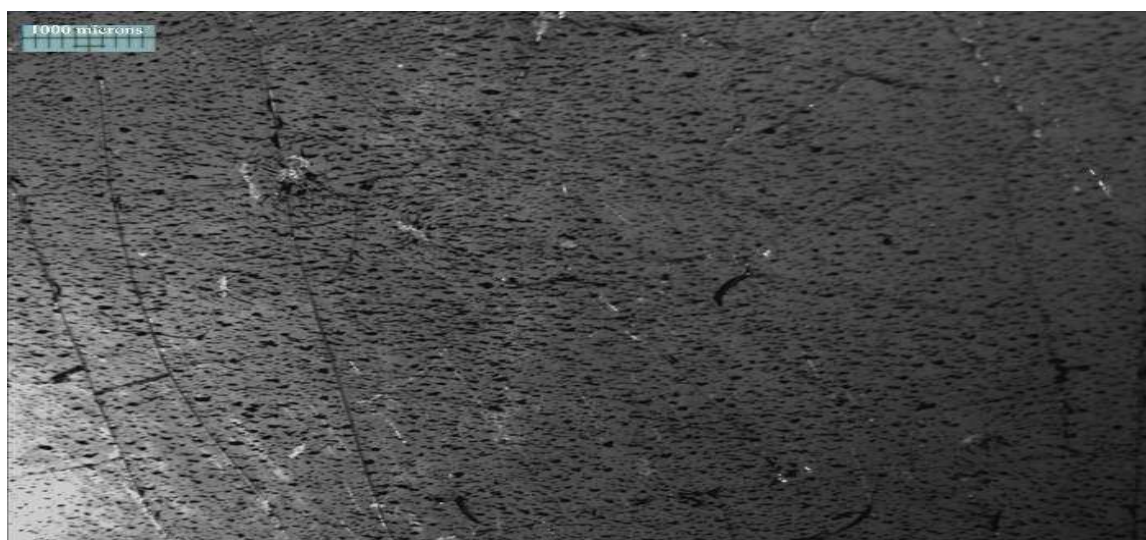
Obr. č. 20 – suspenze A3 – fragment referenčního vzorku bez působení magnetického pole

Na obr. č. 20 byly nashromážděny v téměř celé ploše pouze magnetické částice, což by spíše naznačovalo špatně provedenou homogenizaci připravované suspenze. Navíc vzniklá tenká vrstva praskala a vzorek se bez porušení nedal vyjmout z Petriho misky.

### Suspenze B1



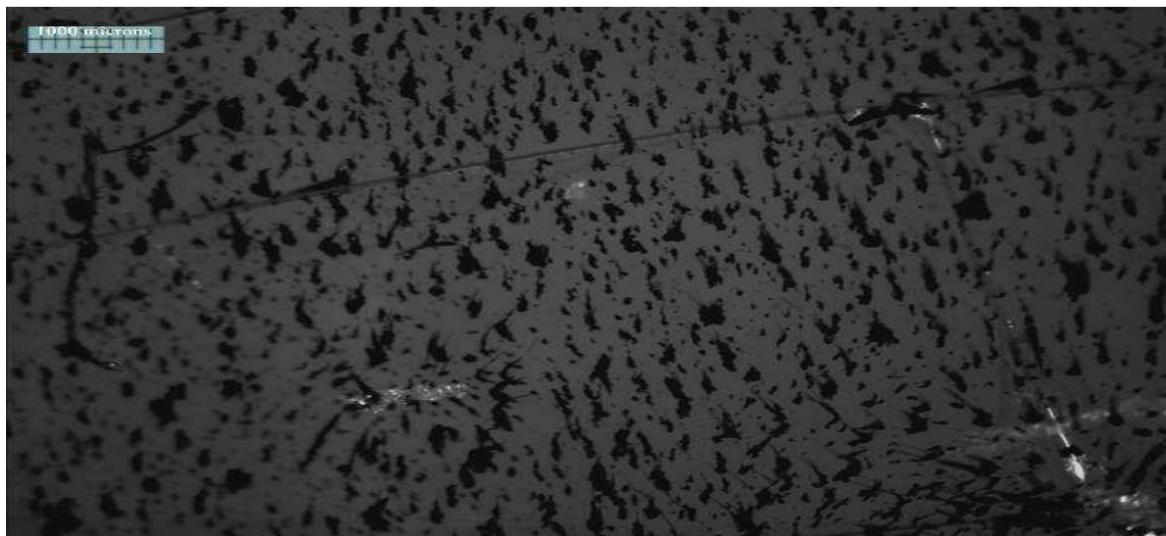
Obr. č. 21 – suspenze B1 (PVP+kys. mléčná+nanočástice) - celkový pohled – skleněná Petriho miska – působeno kolmým magnetickým polem



Obr. č. 22 – suspenze B1 – výřez A - (PVP + kys. mléčná + nanočástice) skleněná Petriho miska po působení kolmého magnetického pole



U výřezu A suspenze B1 je patrné, že v tomto výřezu se podařilo zřetelně rozptýlit magnetické částice, jen je evidentní mírné působení vírového magnetického pole, protože některé magnetické částice jsou místy natočeny různými směry. Mohlo by to být způsobeno nehomogenitou magnetického pole.



Obr. č. 23 – suspenze B1 – výřez B - (PVP + kys. mléčná + nanočástice) skleněná Petriho miska po působení kolmého magnetického pole

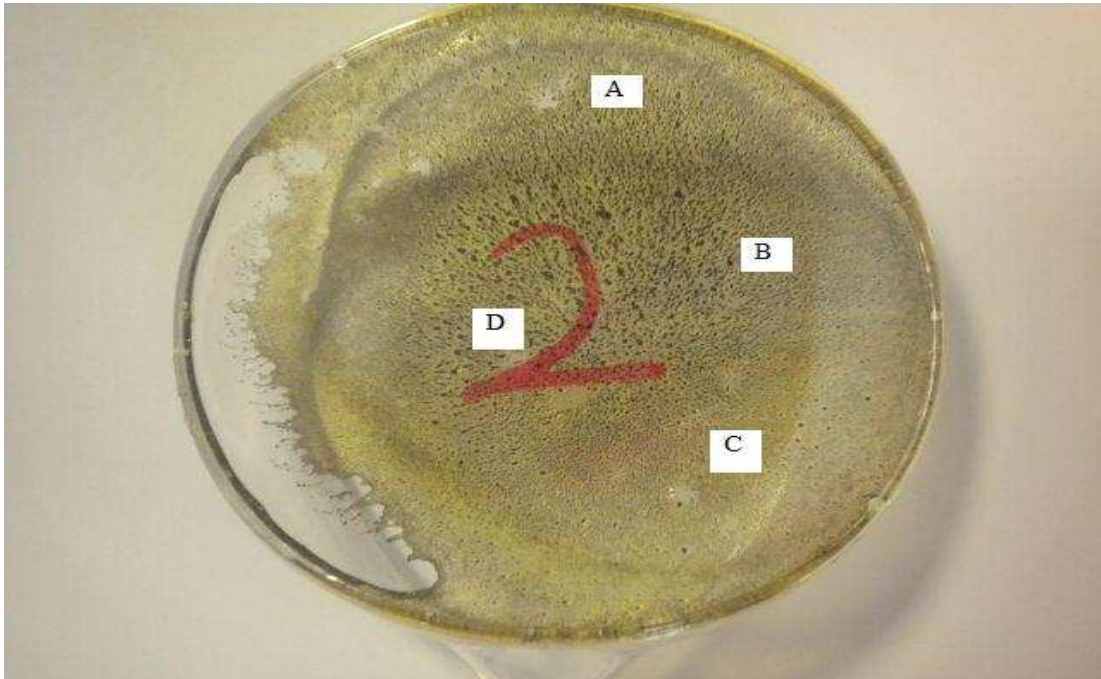


Obr. č. 24 – suspenze B1 – výřez C - (PVP + kys. mléčná + nanočástice) skleněná Petriho miska po působení kolmého magnetického pole

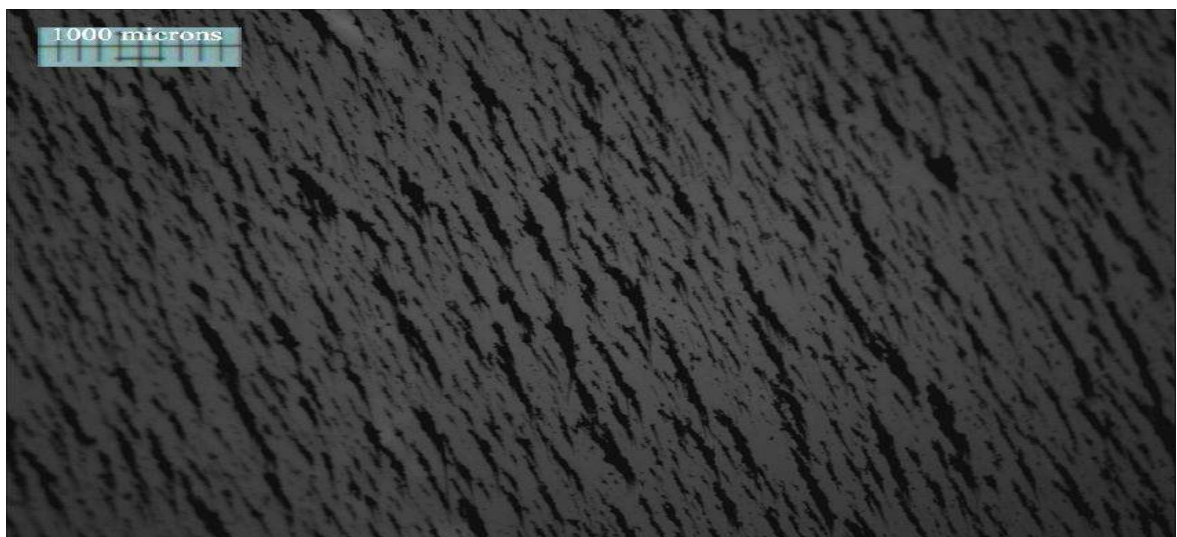
Na obr. č. 23 a č. 24 suspenze B1- (PVP + kys. mléčná + nanočástice) připravená na skleněné Petriho misce po působení kolmého magnetického pole má zřetelně orientaci magnetických částic, při bližším prozkoumání je evidentní tvorba shluků částic, jakoby pyramidálního tvaru. Vzniklá kompozitní vrstva je již celkem kompaktní. Částice se

chovají, jakoby chtěly vystoupat z povrchu, což je nejspíše dáno směrem působení magnetického pole.

### Suspenze B2



Obrázek č. 25 – (PVP+kys. Mléčná+nanočástice)- celkový pohled na suspenzi B2 – polystyrenová Petriho miska – působeno kolmým magnetickým polem

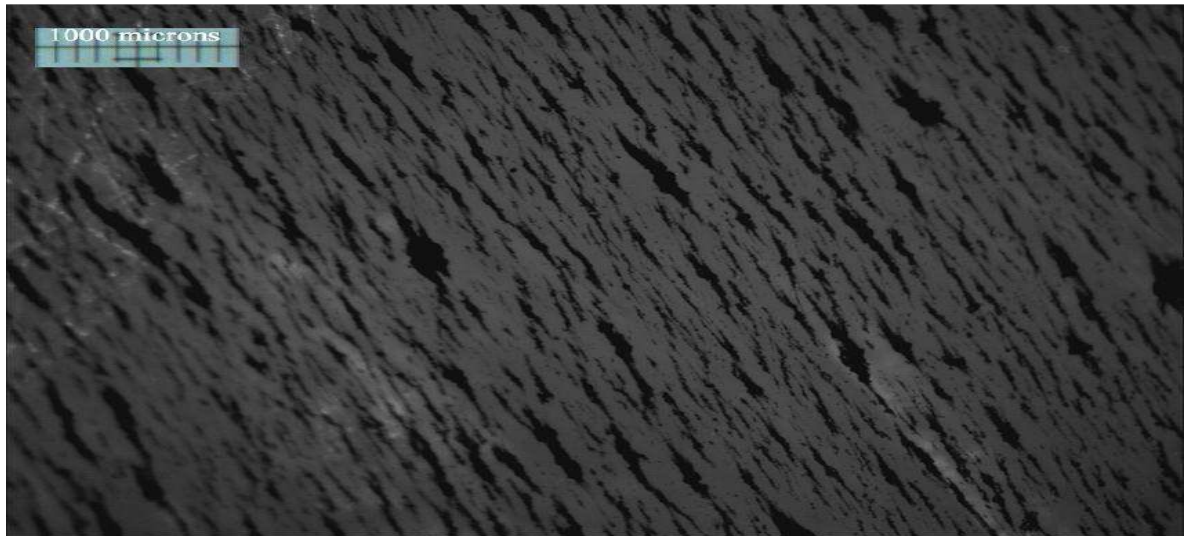


Obr. č. 26 – suspenze B2 – výřez A (PVP + kys. mléčná + nanočástice) polystyrenová Petriho miska – po působení kolmého magnetického pole

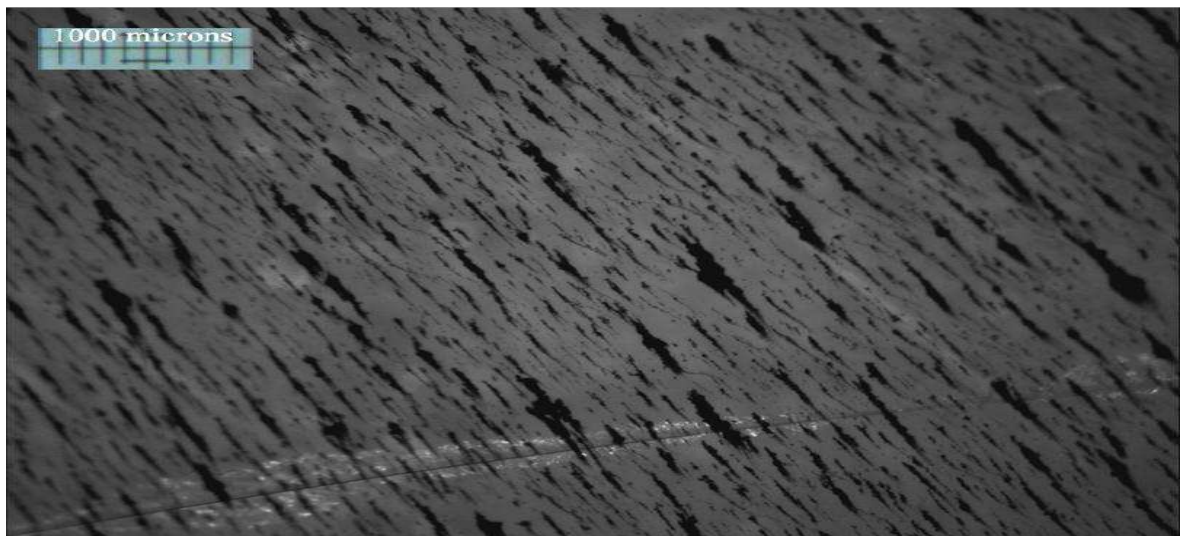
Na obr. č. 26, kde je zobrazený detail z výřezu A naneseného na polystyrenovou Petriho misku po působení kolmého magnetického pole, se jeví výsledná tenká kompozitní



vrstva, jako téměř dokonalá, nanočástice v polymerní matrici jsou zřetelně rozptýleny po celé ploše. Místy jsou viditelné menší shluky nanočástic.

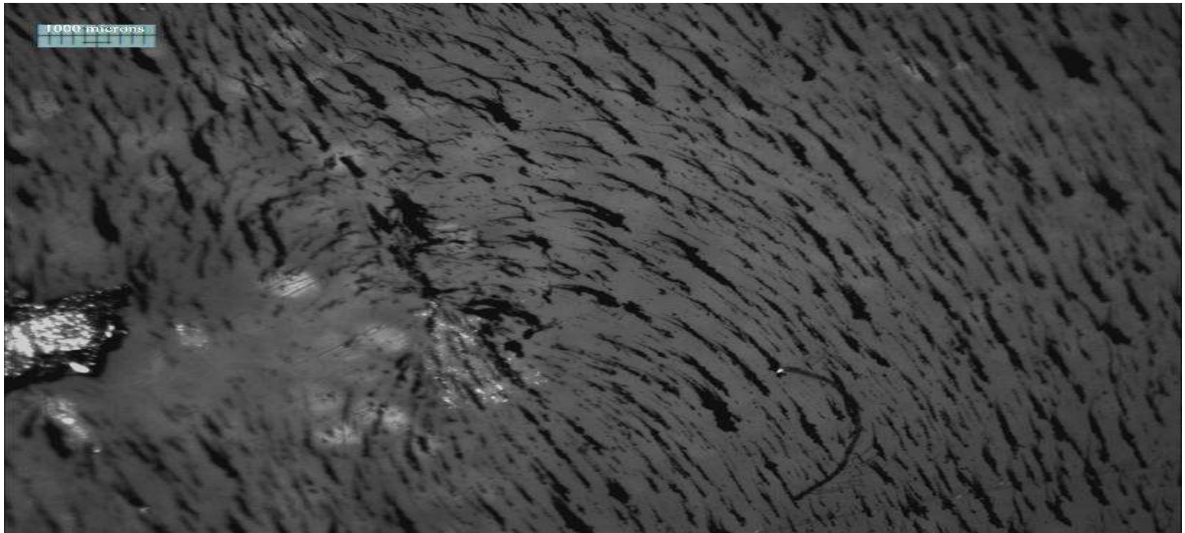


Obr. č. 27 – suspenze B2 – výřez B (PVP + kys. mléčná + nanočástice) polystyrenová Petriho miska – po působení kolmého magnetického pole



Obr. č. 28 – suspenze B2 – výřez C (PVP + kys. mléčná + nanočástice) polystyrenová Petriho miska – po působení kolmého magnetického pole

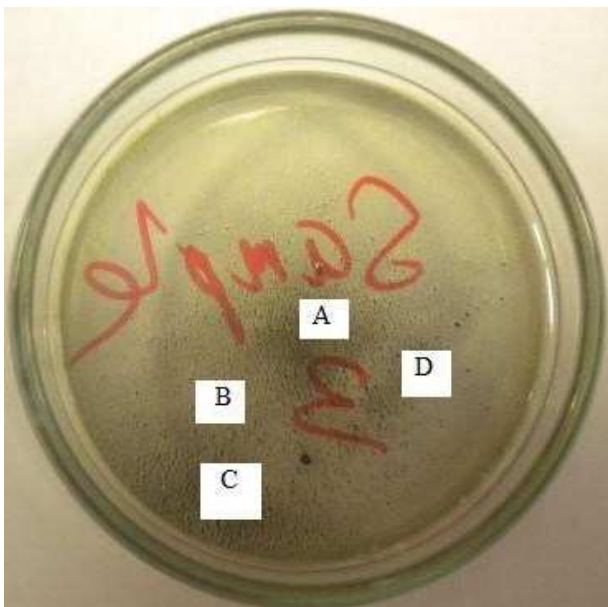
Obrázky č. 27 a č. 28 jsou, co se týče výsledku velmi podobné. Kvalitní rozvrstvení částic s nepatrnou tvorbou shluků, zřetelná orientace magnetických částic.



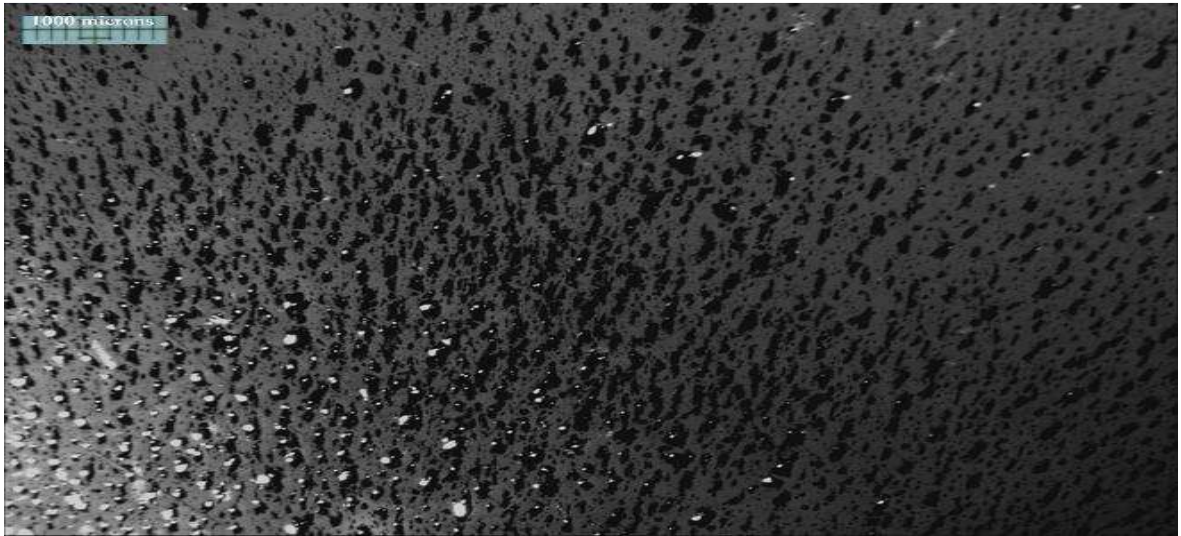
Obr. č. 29 – suspenze B2 – výřez D (PVP + kys. mléčná + nanočástice) polystyrenová Petriho miska – po působení kolmého magnetického pole

Na obr. č. 29, suspenze B2 nanesená na polystyrenovou Petriho misku po působení kolmého magnetického pole, se jeví výsledná tenká kompozitní vrstva, jako téměř dokonalá, jen v tomto výřezu je evidentní působení nehomogenního magnetického pole. Magnetické částice jsou zřetelně rozptýleny po celé ploše.

### Suspenze B3

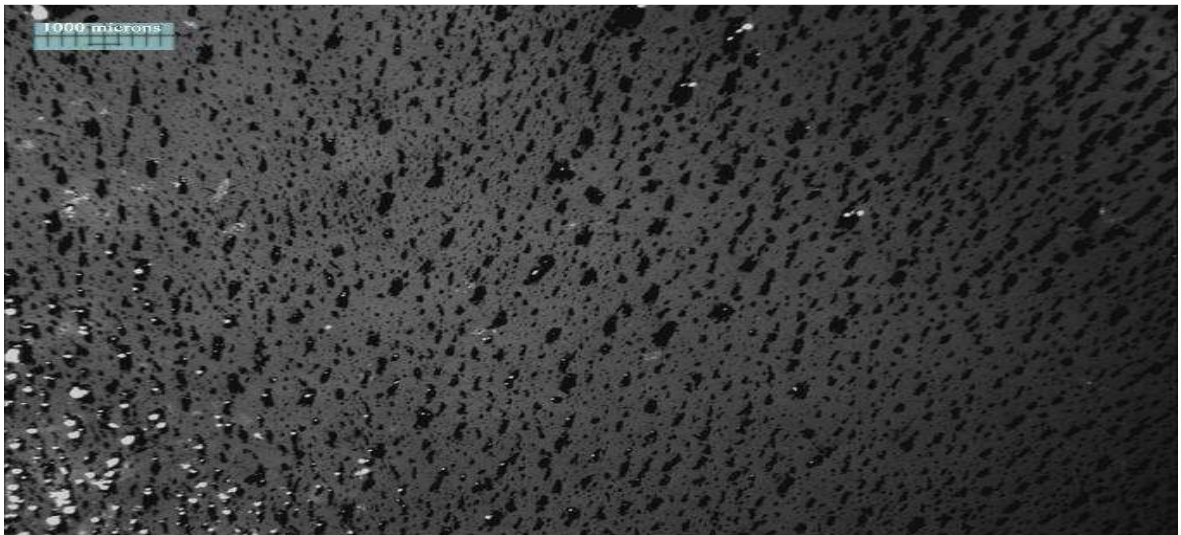


Obrázek č. 30 – suspenze B3 (PVP + kys. mléčná + nanočástice) - celkový pohled – skleněná Petriho miska – působeno podélným magnetickým polem



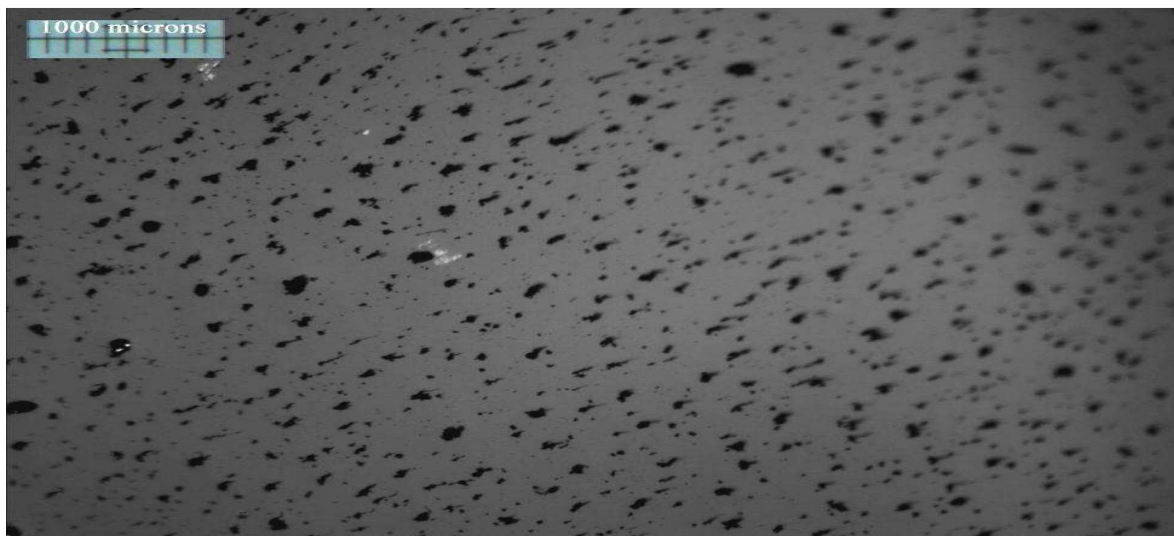
Obr. č. 31 – suspenze B3 – výřez A (PVP + kys. mléčná + nanočástice) skleněná Petriho miska – po působení podélným magnetickým polem

Obr. č. 31 se vzorkem B3 po působení podélným magnetickým polem se po bližším zhlédnutí jeví tak, že magnetické částice měly snahu se postavit kolmo k nanosené tenké vrstvě, povrch se tváří jako poměrně homogenní, evidentní tvorba shluků, kdy částice se formují jakoby do pyramidálního tvaru.



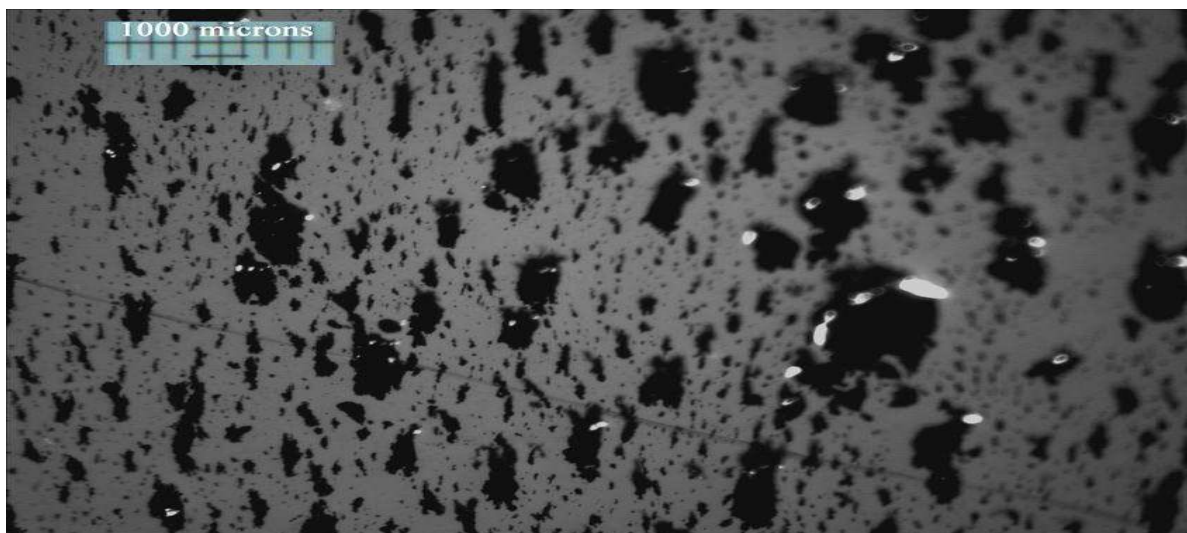
Obr. č. 32 – suspenze B3 – výřez B (PVP + kys. mléčná + nanočástice) skleněná Petriho miska – po působení podélným magnetickým polem





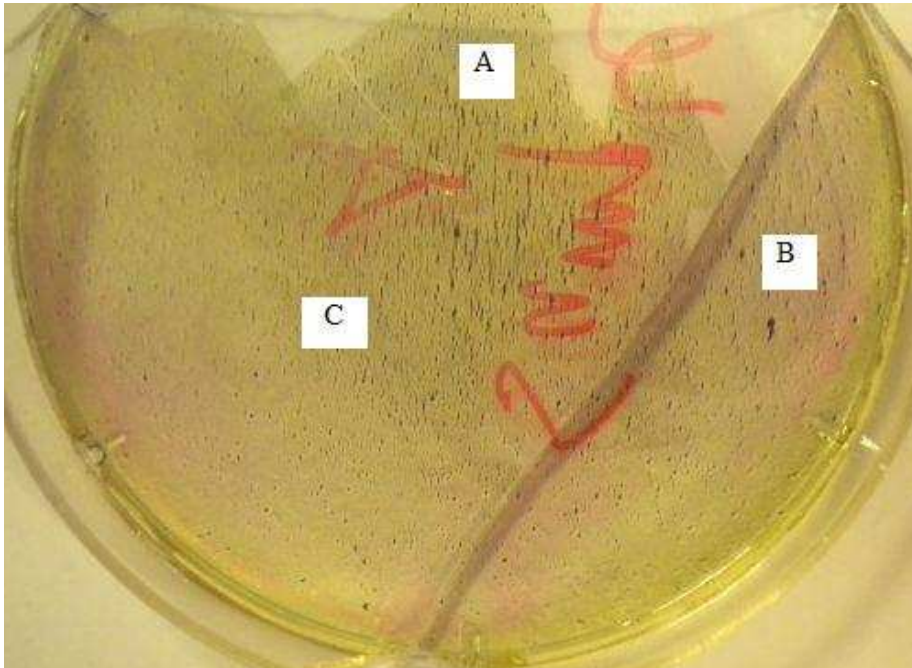
Obr. č. 33 – suspenze B3 – výřez C (PVP + kys. mléčná + nanočástice) skleněná Petriho miska – po působení podélným magnetickým polem

Na obrázcích č. 32 a č. 33 ze suspenze B3 připravených na skleněných Petriho miskách a po působení podélným magnetickým polem je zřejmá orientace částic, které se jakoby stavějí do pyramidálního tvaru a jakoby vrcholy těchto pyramidek se naklání na jednu či druhou stranu, nejspíše podle toho, jak na částice působí magnetické pole, které nejspíše není zcela homogenní.

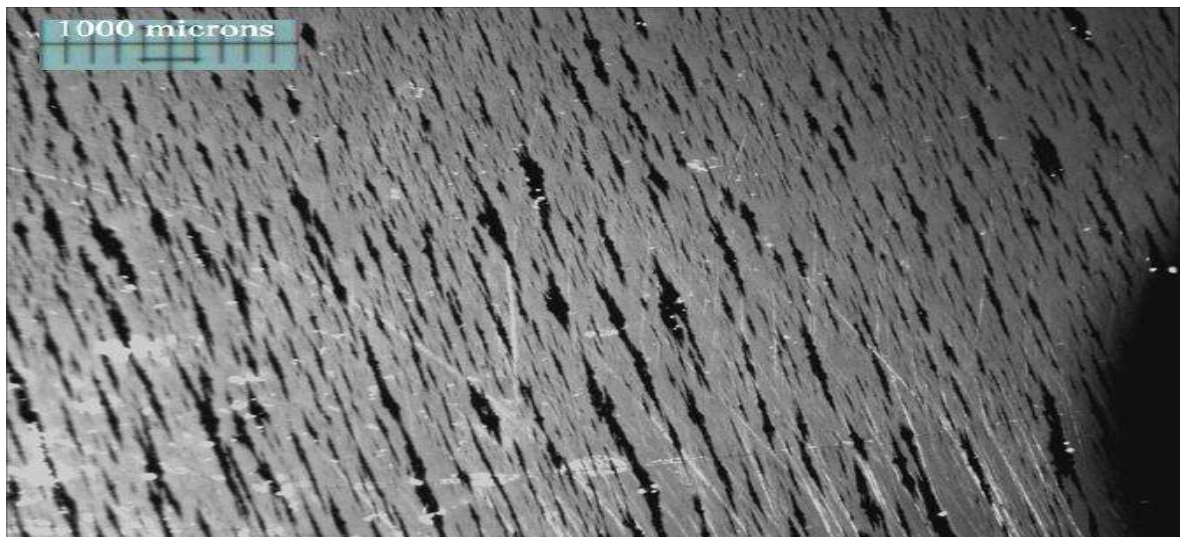


Obr. č. 34 – suspenze B3 – výřez D (PVP + kys. mléčná + nanočástice) skleněná Petriho miska – po působení podélným magnetickým polem

U výřezu D ze suspenze B3 připravené na skleněné Petriho misce a po působení podélného magnetického pole je zřejmé shlukování částic, které se shlukují do větších či menších segmentů. Až na již zmíněné shluky jsou částice poměrně zřetelně rozptýleny.

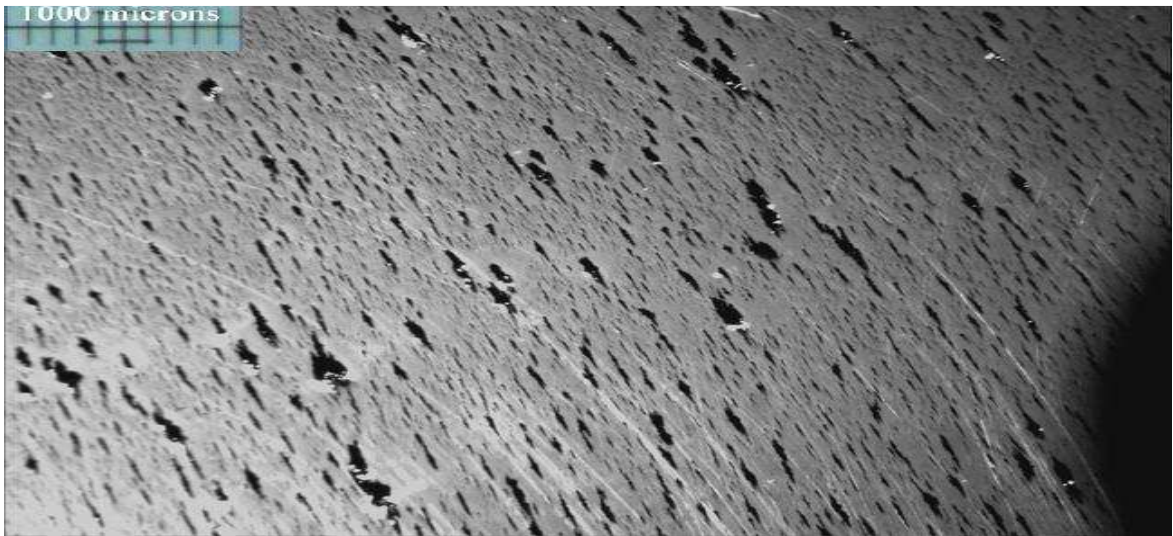
**Suspenze B4**

Obr. č. 35 – suspenze B4 (PVP + kys. mléčná + nanočástice) - celkový pohled – polystyrenová Petriho miska – působeno podélným magnetickým polem



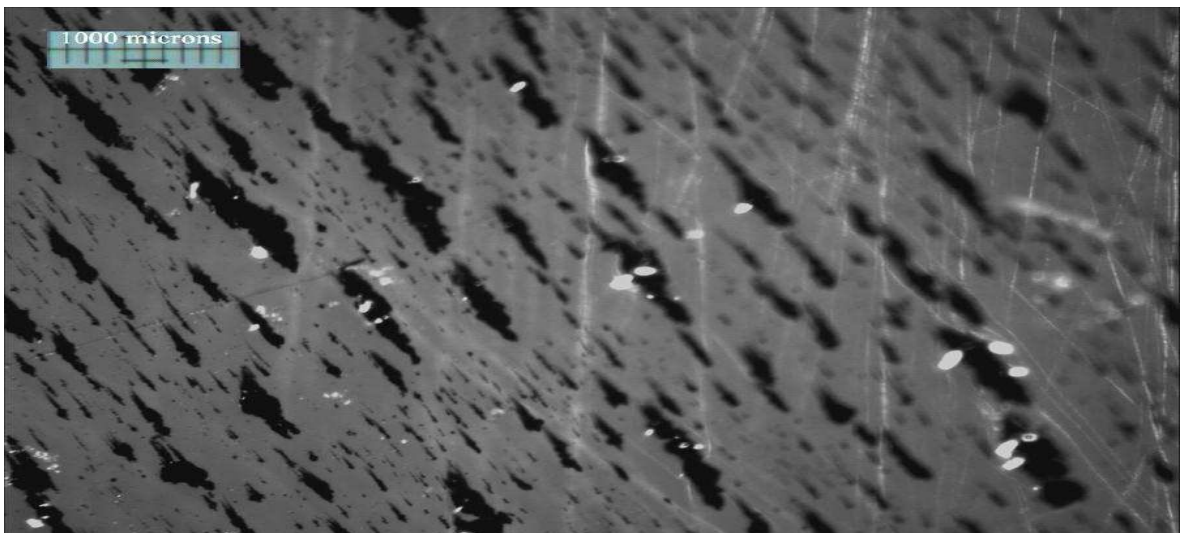
Obr. č. 36 – suspenze B4 – výřez A (PVP + kys. mléčná + nanočástice) polystyrenová Petriho miska – po působení podélným magnetickým polem





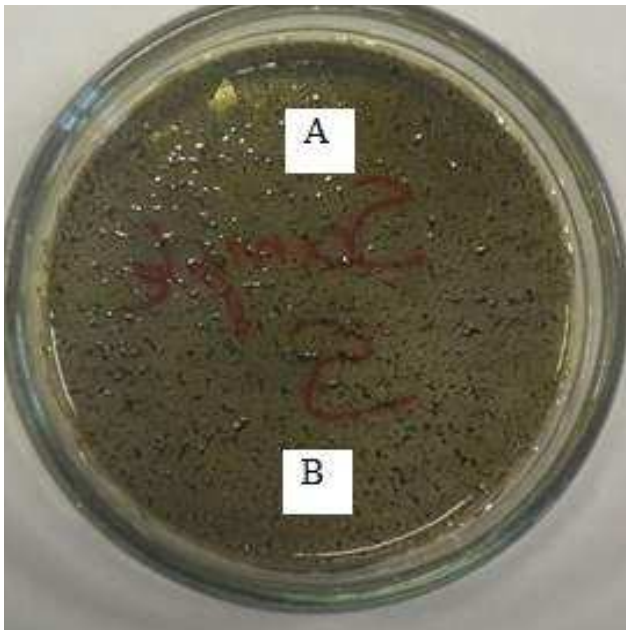
Obr. č. 37 – suspenze B4 – výřez B (PVP + kys. mléčná + nanočástice) polystyrenová Petriho miska – po působení podélným magnetickým polem

U výřezů A a B ze suspenze B4 připravených na polystyrenových Petriho miskách a po působení podélného magnetického pole je vidět jasná orientace částic s mírnou tvorbou jejich shluků, jinak co se týče rozvrstvení částic, dá se považovat za poměrně povedené.

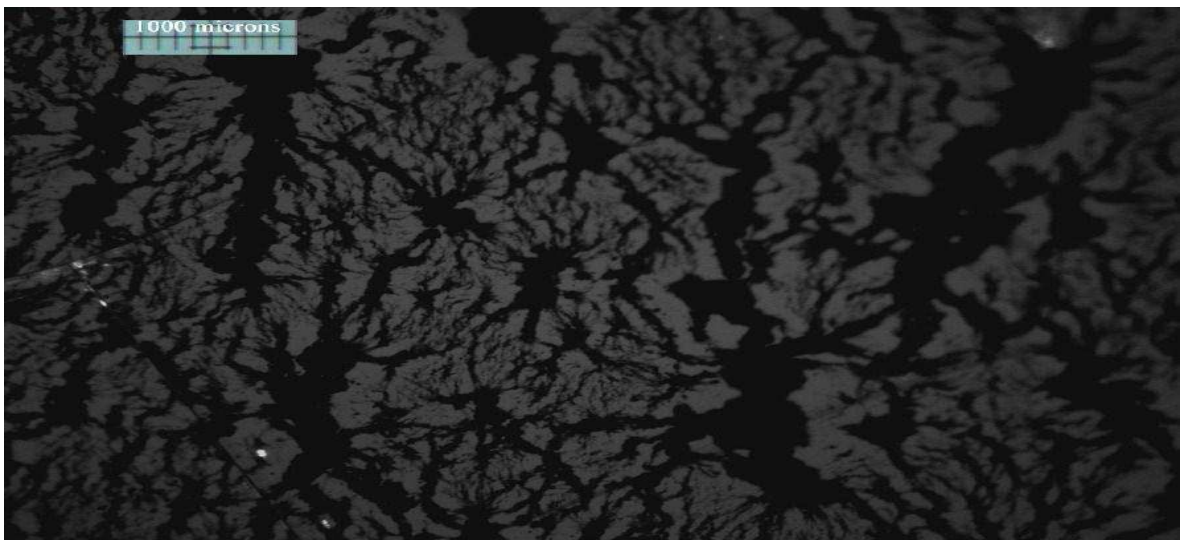


Obr. č. 38 – suspenze B4 – výřez C (PVP + kys. mléčná + nanočástice) polystyrenová Petriho miska – po působení podélným magnetickým polem

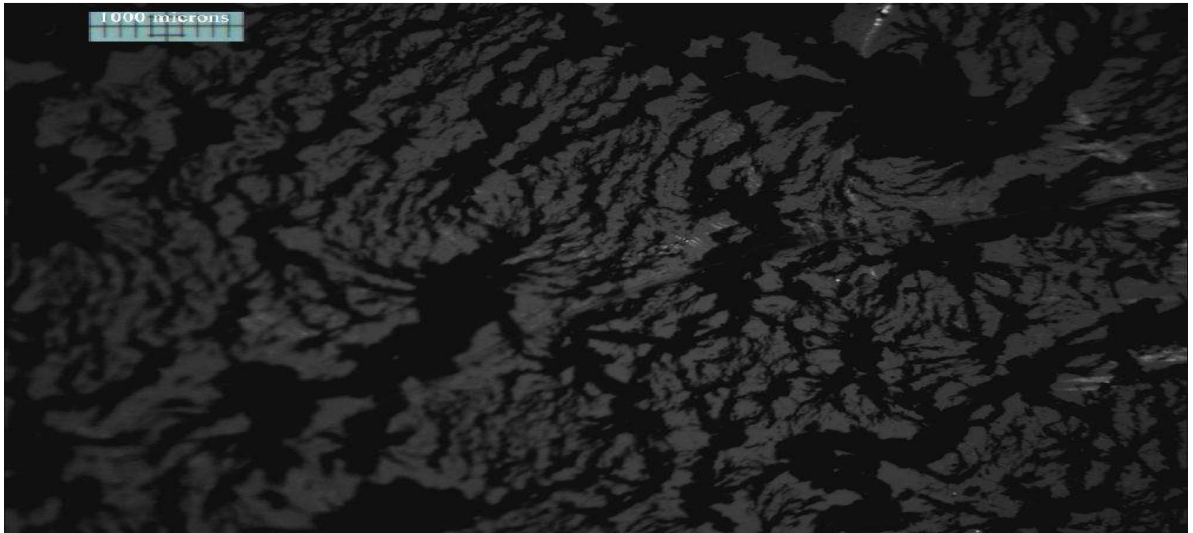
Na obr. č. 38 má vytvořená tenká kompozitní vrstva shodnou orientaci magnetických částic, ale projevují se tu buď větší či menší shluky nanočástic, pokud to není dáno již vzniklou strukturou kompozitní vrstvy.

**Suspenze B5**

Obr. č. 39 – suspenze B5 – referenční (PVP+kys.mléčná + nanočástice) - celkový pohled – skleněná Petriho miska) – bez působení magnetického pole



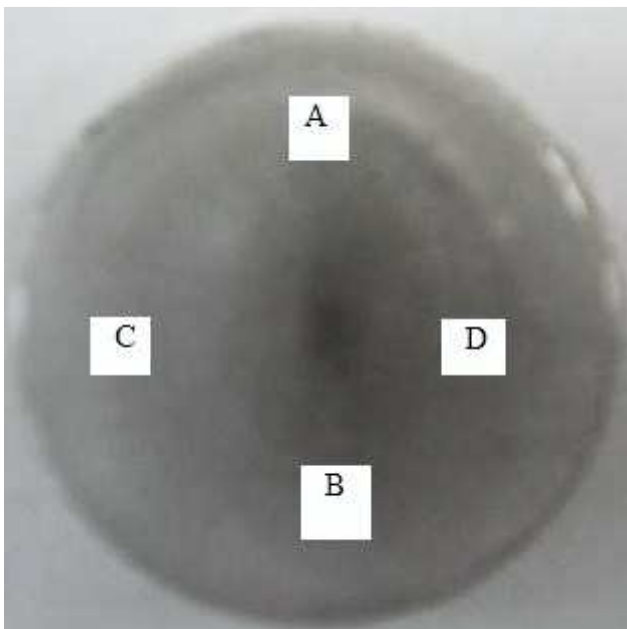
Obr. č. 40 – suspenze B5 – výřez A (PVP + kys. mléčná + nanočástice) skleněná Petriho miska – bez působení magnetického pole



Obr. č. 41 – suspenze B5 – výřez B (PVP + kys. mléčná + nanočástice) skleněná Petriho miska – bez působení magnetického pole

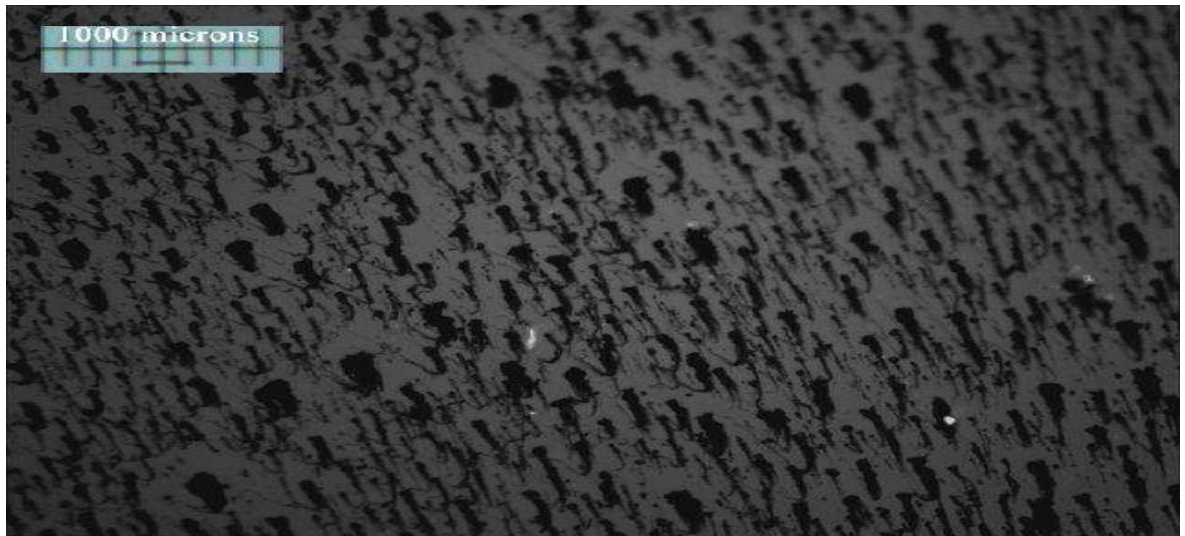
Na obrázcích č. 40 a č. 41 – referenční vzorky připravené na skleněných Petriho miskách, je jasně patrná tvorba shluků a jakoby vlasečnic, které jsou tvořeny spojením magnetických částic. Bez působení magnetického pole zde není možná tvorba lepšího rozmístění magnetických částic.

### Suspenze C1



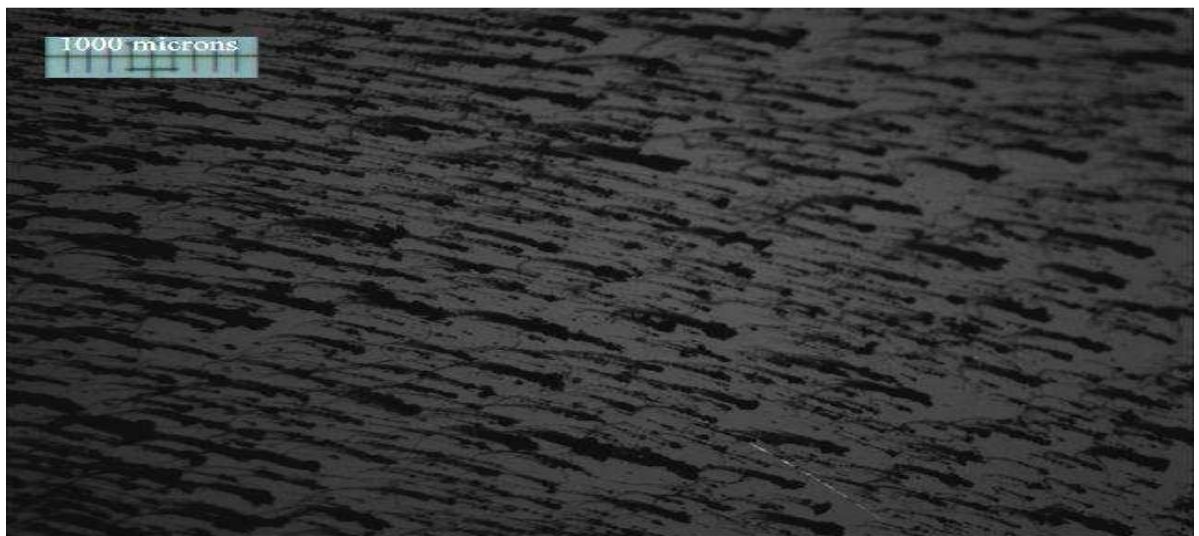
Obrázek č. 42 – suspenze C1 - celkový pohled – (PVAL+nanočástice) - skleněná Petriho miska – působeno kolmým magnetickým polem



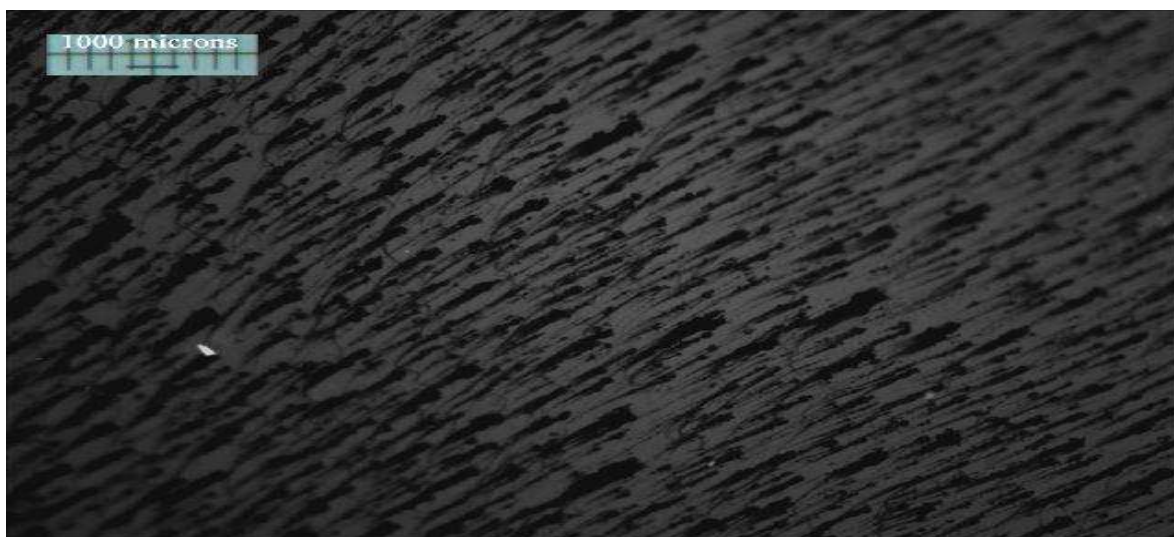


Obr. č. 43 – suspenze C1 - výřez A (PVAL+nanočástice) – skleněná Petriho miska – působení kolmým magnetickým polem

Z výřezu A u suspenze C1 připravené na skleněné Petriho misce a po působení kolmým magnetickým polem jsou patrné orientované struktury, kdy místy částice vytváří tvar písmene J.



Obr. č. 44 – suspenze C1 - výřez B – (PVAL+nanočástice) – skleněná Petriho miska – působení kolmým magnetickým polem



Obr. č. 45 – suspenze C1 - výřez C (PVAL+nanočástice) – skleněná Petriho miska – působení kolmým magnetickým polem

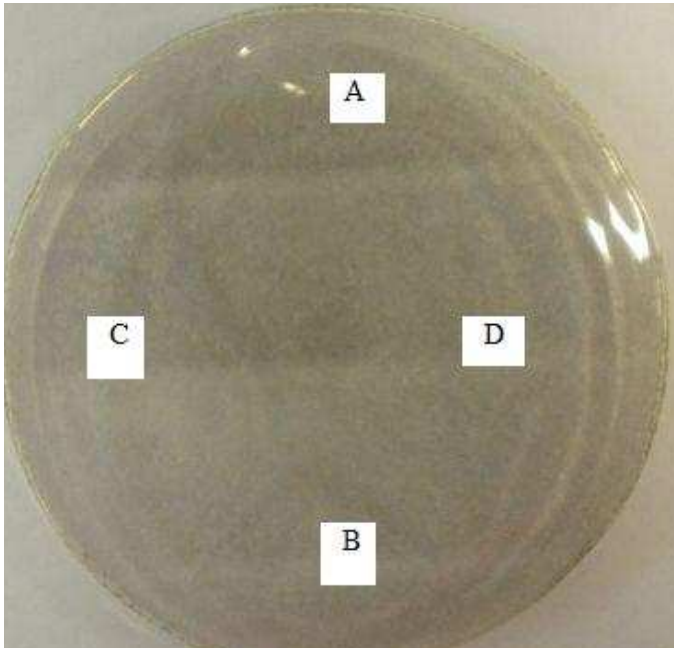
Obrázky č. 44 a č. 45 ze suspenze C1 po působení kolmým magnetickým polem jsou si navzájem podobné, jen se liší směrem orientace částic. Rozvrstvení částic a jejich orientace je poměrně slušná, možná by bylo vhodné jejich menší množství.



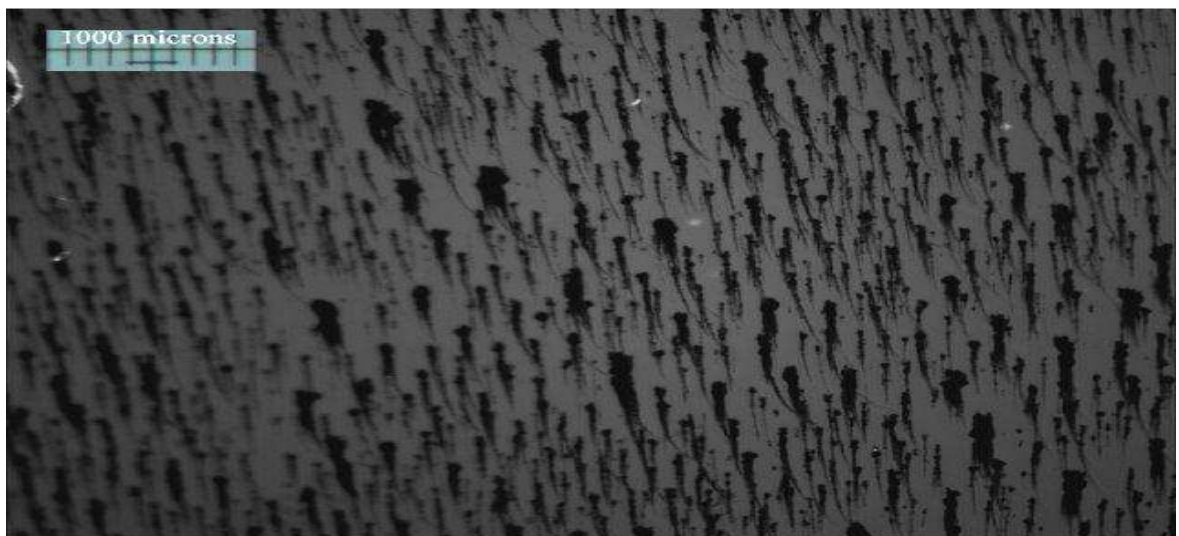
Obr. č. 46 – suspenze C1 - výřez D (PVAL+nanočástice) – skleněná Petriho miska – působení kolmým magnetickým polem

U výřezu D ze suspenze C1 je viditelný zajímavý jev způsobený magnetickým polem, kdy určitá část částic jakoby vystupuje z tenké vrstvy jiné částice jakoby „prchají“ různým směrem, způsobeno nejspíše nehomogenním magnetickým polem.

## Suspenze C2



Obr. č. 47 – suspenze C2 - celkový pohled (PVAL+nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – působení kolmým magnetickým polem



Obr. č. 48 – suspenze C2 - výřez A (PVAL+nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – působení kolmým magnetickým polem

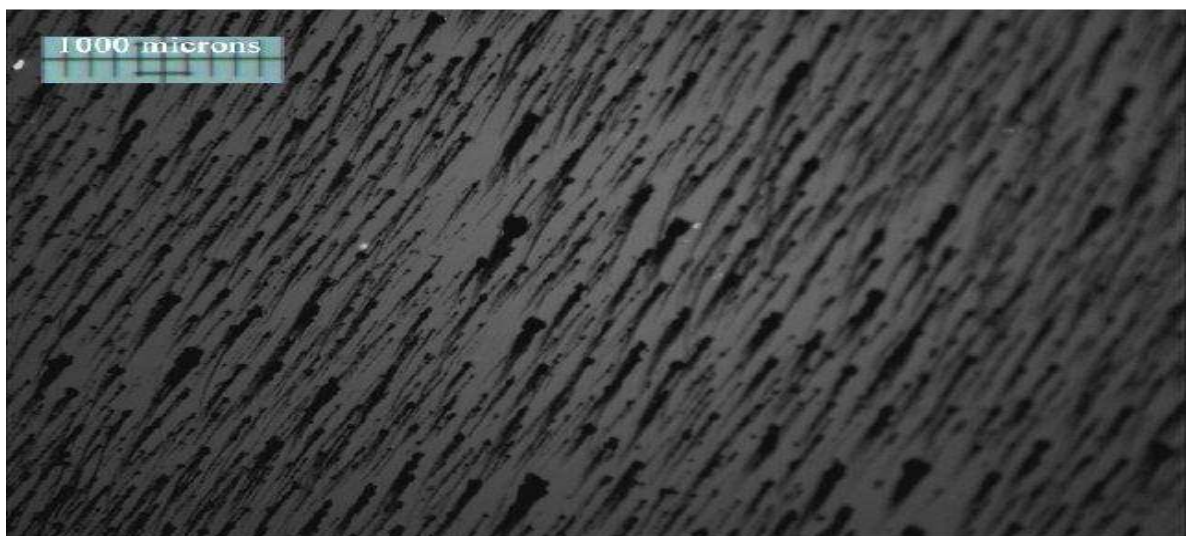
Na obrázku č. 48 ze suspenze C2 nanesené na PS Petriho misku a po působení kolmého magnetického pole je viditelné pěkné rozvrstvení částic se solidní orientací, místy tvorba malých shluků.





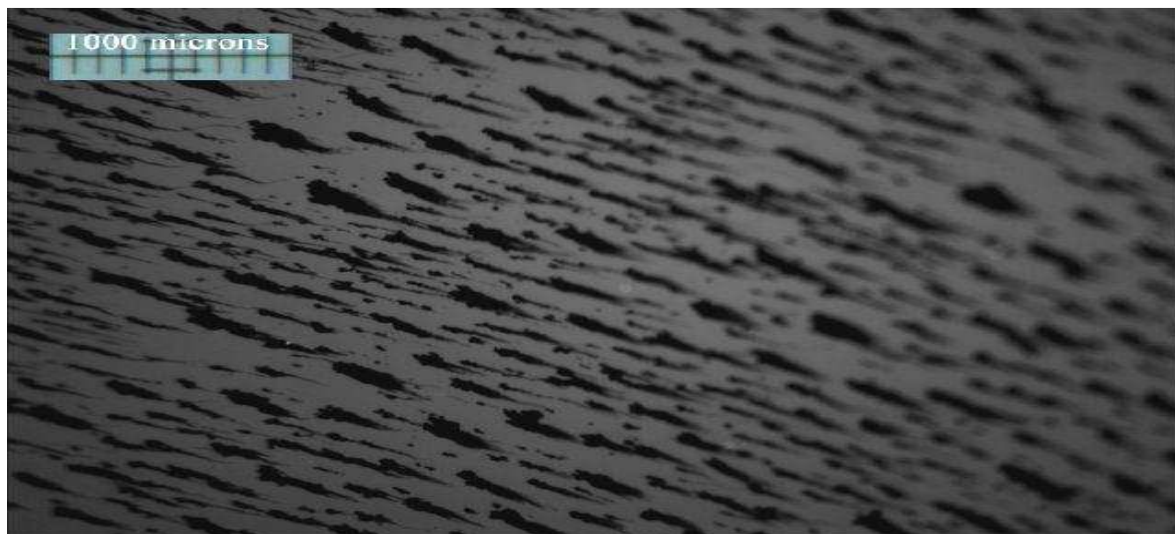
Obr. č. 49 – suspenze C2 - výřez B (PVAL+nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – působení kolmým magnetickým polem

Ve výřezu B ze suspenze C2 nanesené na PS Petriho misku po působení kolmým magnetickým polem je pozorovatelné nestejnsměrné rozložení částic způsobené nejspíše působícím magnetickým polem.



Obr. č. 50 – suspenze C2 - výřez C (PVAL+nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – působení kolmým magnetickým polem

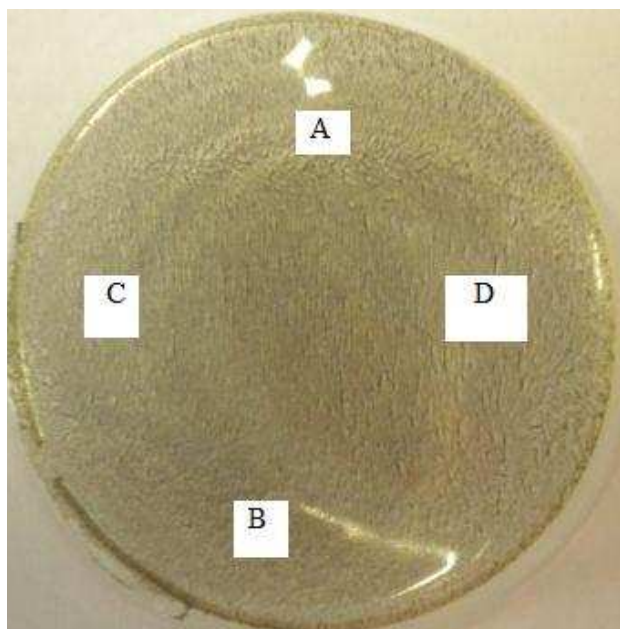
Na obr. č. 50 z výřezu C ze suspenze C2 nanesené na PS Petriho misku po působení kolmého magnetického pole byly magnetické částice téměř ideálně rozloženy, orientace částic velmi pěkná. Stále patrná malá tvorba shluků.



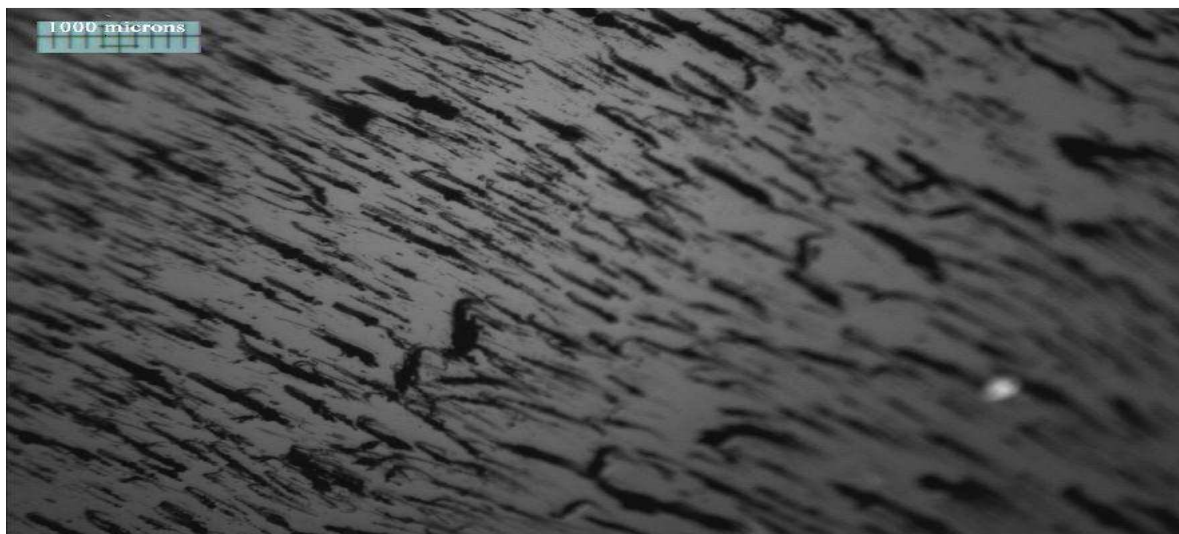
Obr. č. 51 – suspenze C2 - výřez D (PVAL+nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – působení kolmým magnetickým polem

Obr. č. 51 z výřezu D ze suspenze C2 nanesené na PS Petriho misce a po působení kolmého magnetického pole bylo viditelné pěkné rozložení magnetických částic se zřetelně orientací s opětovnou tvorbou malých shluků.

### Suspenze C3

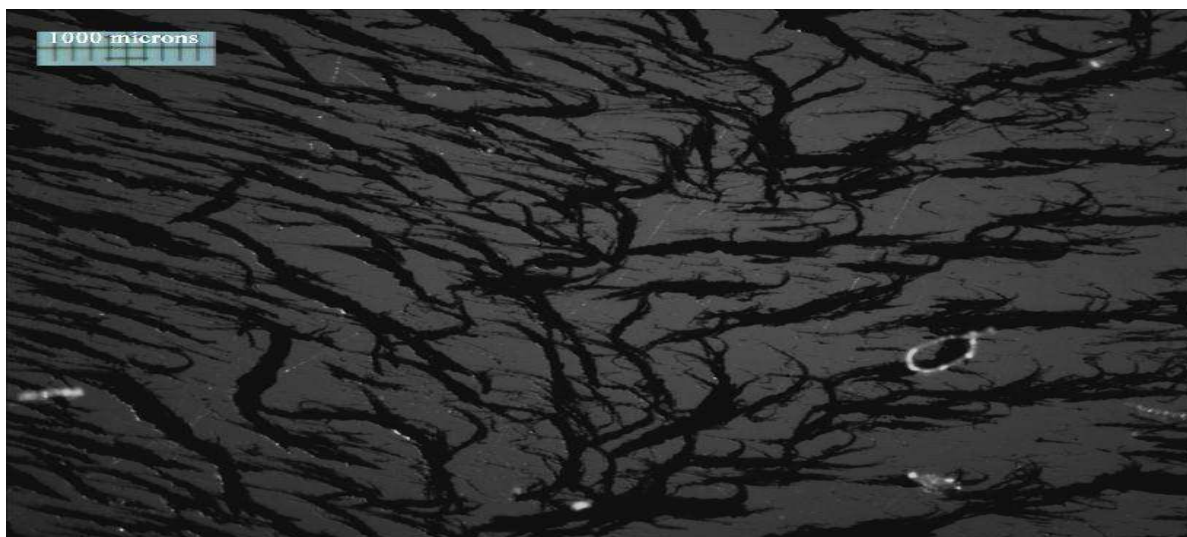


Obr. č. 52 – suspenze C3 - celkový pohled (PVAL+nanočástice) – skleněná Petriho miska – působení podélným magnetickým polem



Obr. č. 53 – suspenze C3 - výřez A (PVAL+nanočástice) – skleněná Petriho miska – působení podélným magnetickým polem

Na obr. č. 53 z výřezu A ze suspenze C3 nanesené na skleněné Petriho misce po působení podélným magnetickým polem bylo patrné různorodé působení magnetického pole. Rozvrstvení magnetických částic poměrně slušné, jejich orientace různá, dle působícího magnetické pole.



Obr. č. 54 – suspenze C3 - výřez B (PVAL+nanočástice) – skleněná Petriho miska – působení podélným magnetickým polem

Na obr. č. 54 – z výřezu B ze suspenze C3 nanesené na skleněné Petriho misce po působení podélného magnetického pole bylo zjevné na částice působeno různorodým magnetickým polem, částice se shlukly do „širších vlásečnic“, vzniklá kompozitní vrstva

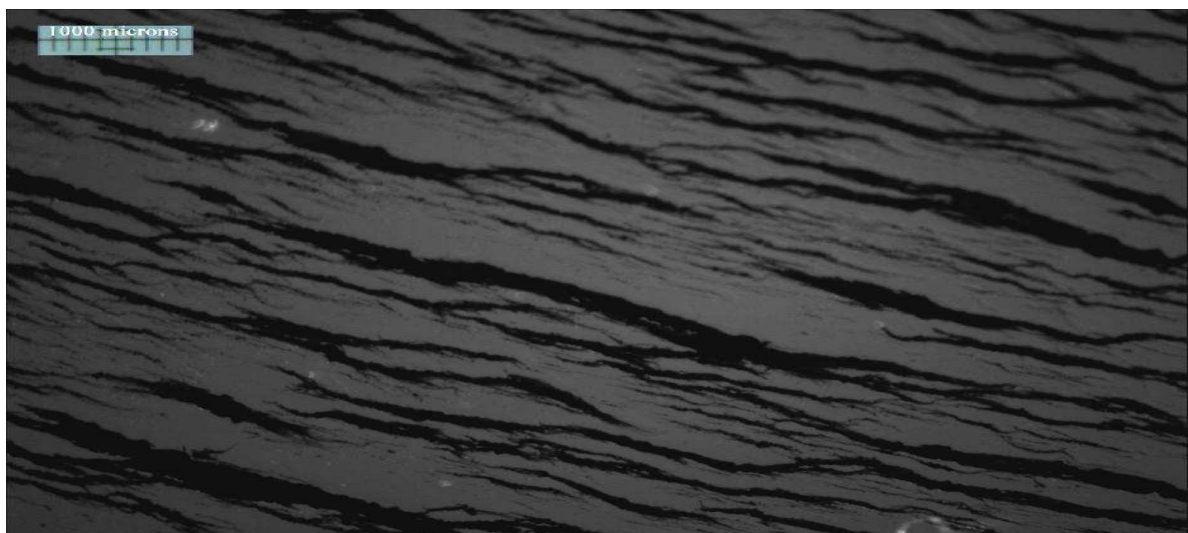


v tomto místě zcela ovlivněna nějakým porušením magnetického pole, snad v místě roštu v sušárně.



Obr. č. 55 – suspenze C3 - výřez C (PVAL+nanočástice) – skleněná Petriho miska – působení podélným magnetickým polem

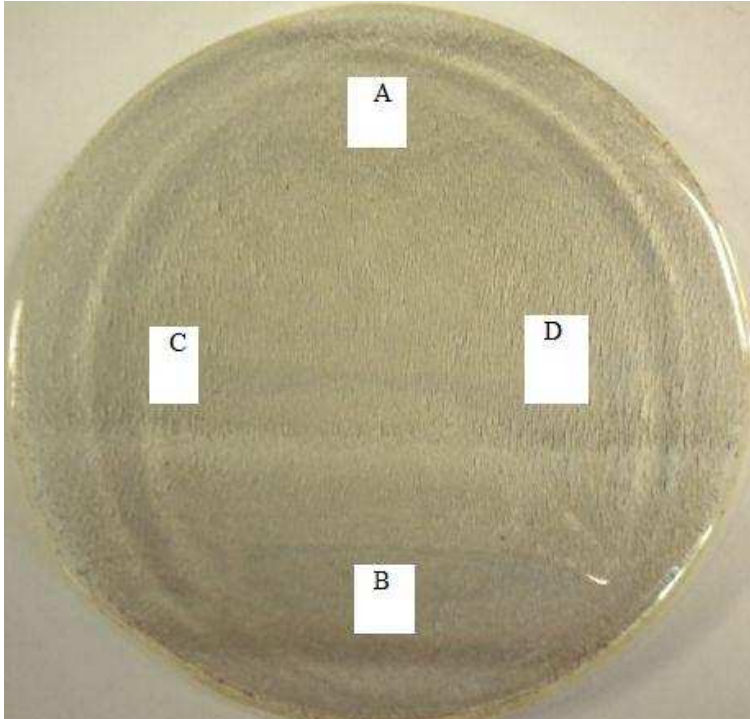
Na obr. č. 55 z výřezu C ze suspenze C3 připravené na skleněné Petriho misce po působení podélným magnetickým polem byla vzniklá kompozitní vrstva poměrně zřetelně orientovaná s pěkným rozvrstvením magnetických částic s malou tvorbou shluků.



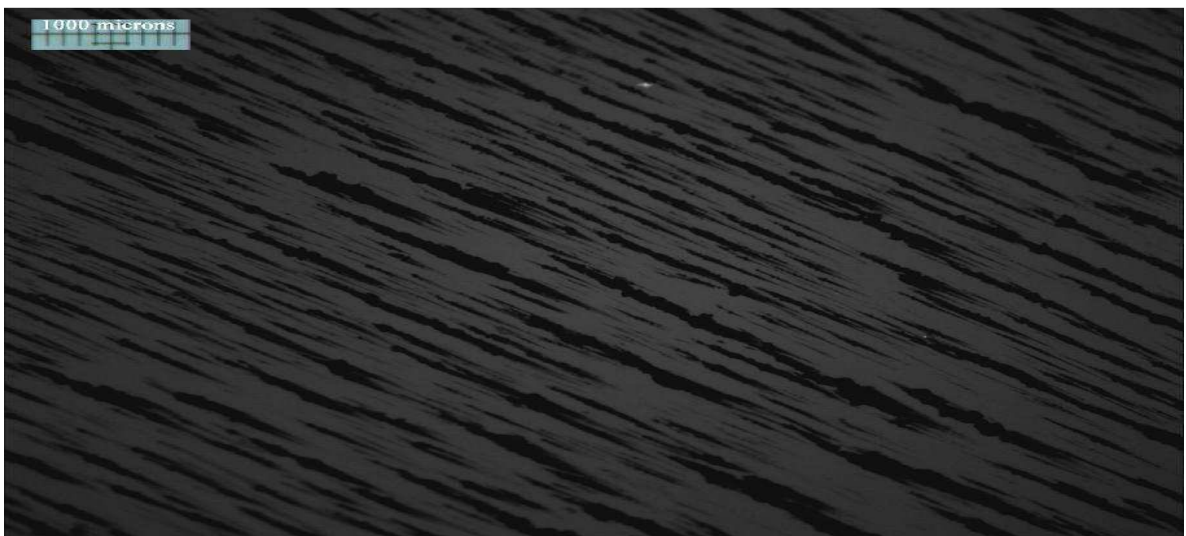
Obr. č. 56 – suspenze C3 - výřez D (PVAL+nanočástice) – skleněná Petriho miska – působení podélným magnetickým polem

Na obrázku č. 56 z výřezu D ze suspenze C3 připravené na skleněné Petriho misce po působení podélným magnetickým polem byly zřejmé shluky částic do různě širokých vlásečnic, které měly tendence se mírně vlnit. Místy byly patrné prázdná místa bez částic.

#### Suspenze C4

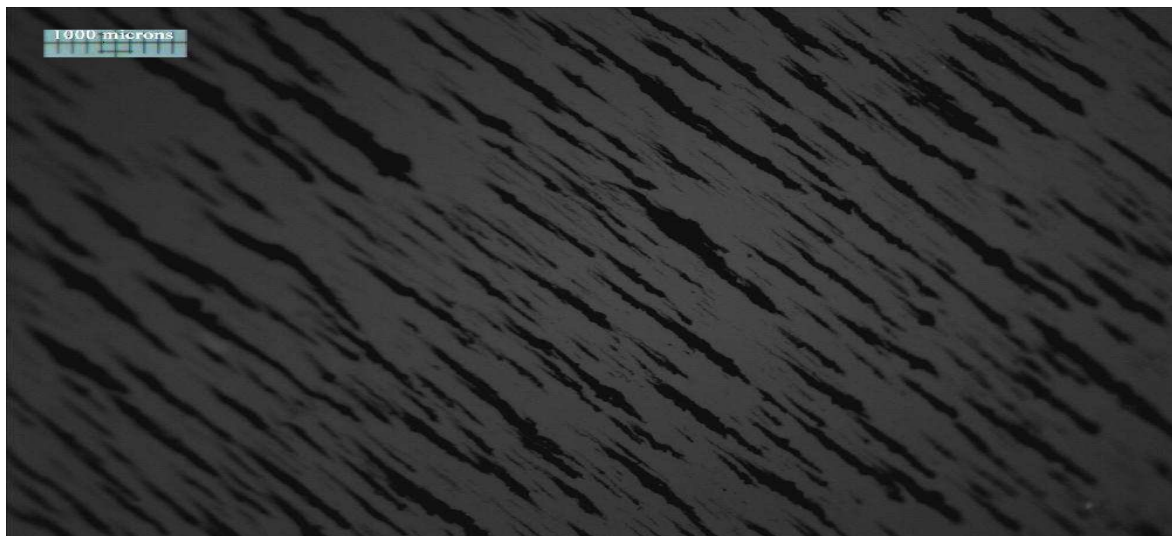


Obr. č. 57 – suspenze C4 - celkový pohled – (PVAL + nanočástice) – polystyrenová Petriho miska - působení podélným magnetickým polem

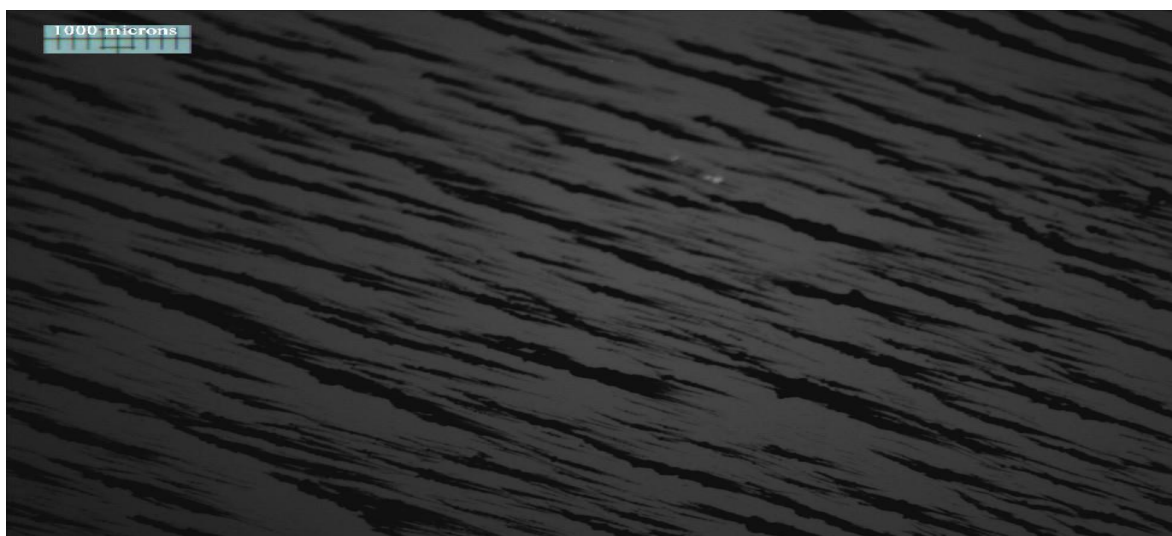


Obr. č. 58 – suspenze C4 - výřez A (PVAL+nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – působení podélným magnetickým polem



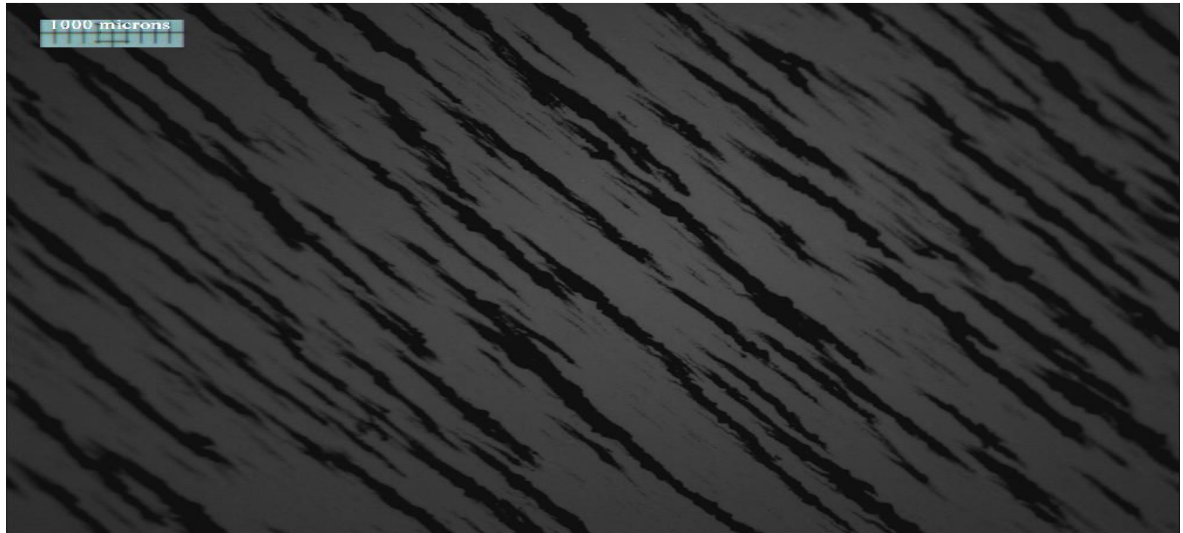


Obr. č. 59 – suspenze C4 - výřez B (PVAL+nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – působení podélným magnetickým polem



Obr. č. 60 – suspenze C4 - výřez C (PVAL+nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – působení podélným magnetickým polem

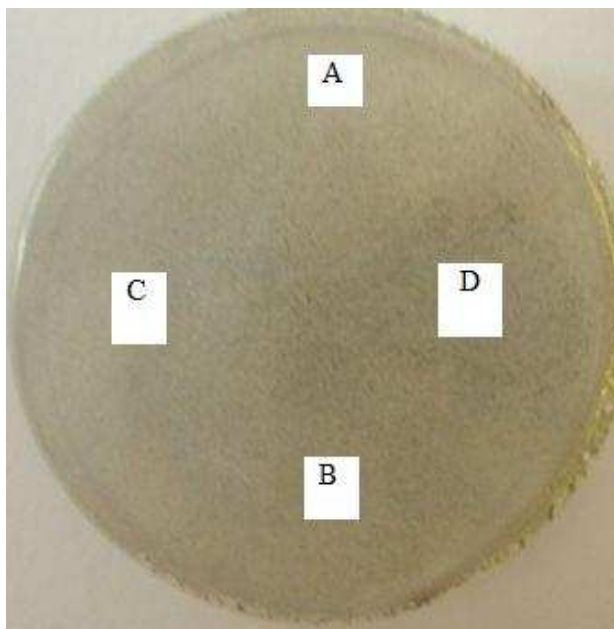
Obr. č. 58 až 60 ze suspenze C4 připravené na PS Petriho misce po působení podélného magnetického pole si byly podobné. Pěkná orientace částic s jejich slušným rozložením. Opětovně byly tvořeny malé shluky. Je patrné jasné působení roštu od sušárny, který je viditelný v pravých částech obrázku, který mírně narušoval vzniklou strukturu, projevovalo se přenesení magnetického pole magnetickým materiálem.



Obr. č. 61 – suspenze C4 - výřez D (PVAL + nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – působení podélným magnetickým polem

Obr. č. 61 z výřezu D ze suspenze C4 připravené na PS Petriho misce po působení podélným magnetickým polem bylo viditelné slušná orientace částic a opětovná mírná snaha jejich shlukování. Je patrné jasné působení roštu od sušárny, který je viditelný v pravé části obrázku, který mírně narušoval vzniklou strukturu.

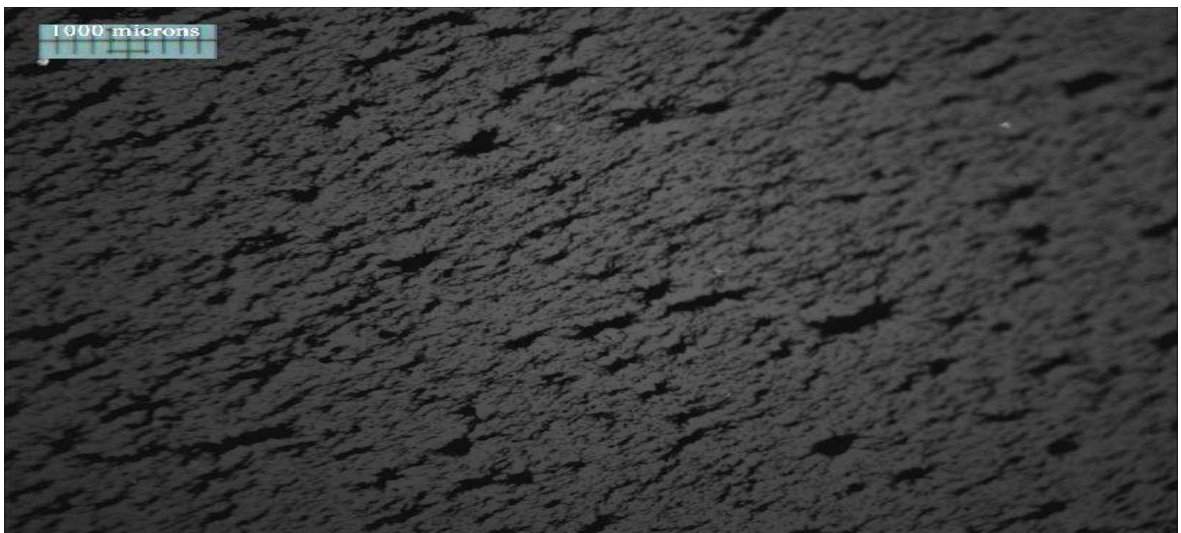
### Suspenze C5



Obr. č. 62 – suspenze C5 - celkový pohled - referenční vzorek - (PVAL + nanočástice) – skleněná Petriho miska – bez působení magnetického pole



Obr. č. 63 – suspenze C5 - výřez A (PVAL + nanočástice) – skleněná Petriho miska – referenční vzorek- bez působení magnetického pole



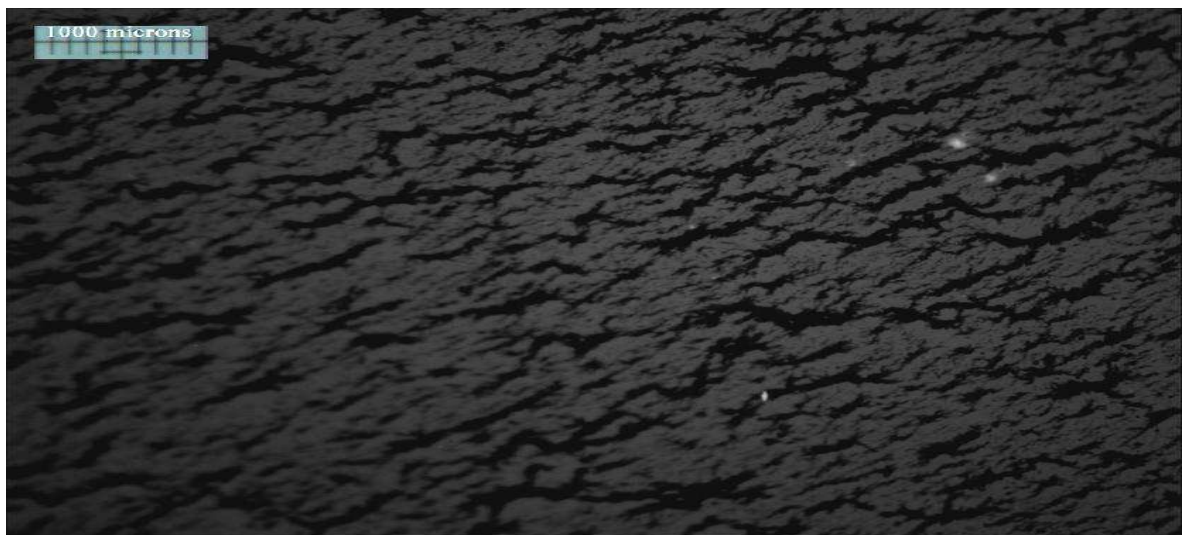
Obr. č. 64 – suspenze C5 - výřez B (PVAL + nanočástice) – skleněná Petriho miska – referenční vzorek- bez působení magnetického pole

Na obrázcích č. 63 a č. 64 ze suspenze C5 připravených na skleněné Petriho misce bez působení magnetického pole byly podle rozložení částic a jejich jasné orientace nejspíše ovlivněny nějakým magnetickým polem z okolních uložených magnetů, které nejspíše ovlivnilo rozvrstvení a orientaci částic.



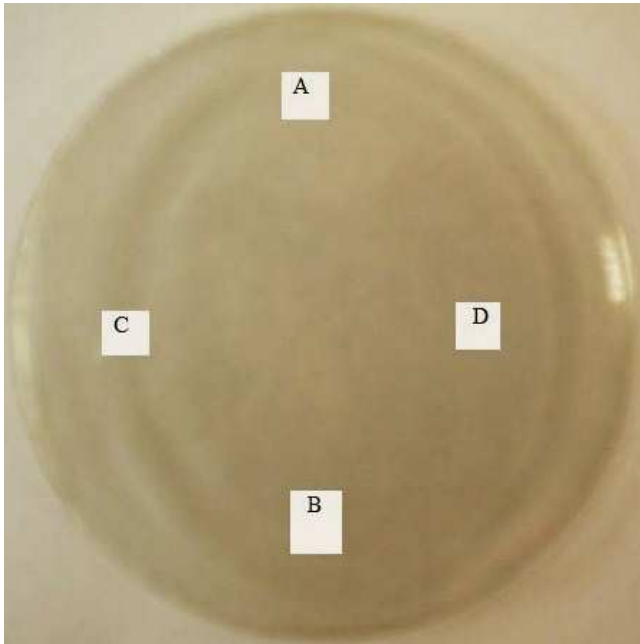


Obr. č. 65 – suspenze C5 - výřez C (PVAL + nanočástice) – skleněná Petriho miska – referenční vzorek- bez působení magnetického pole

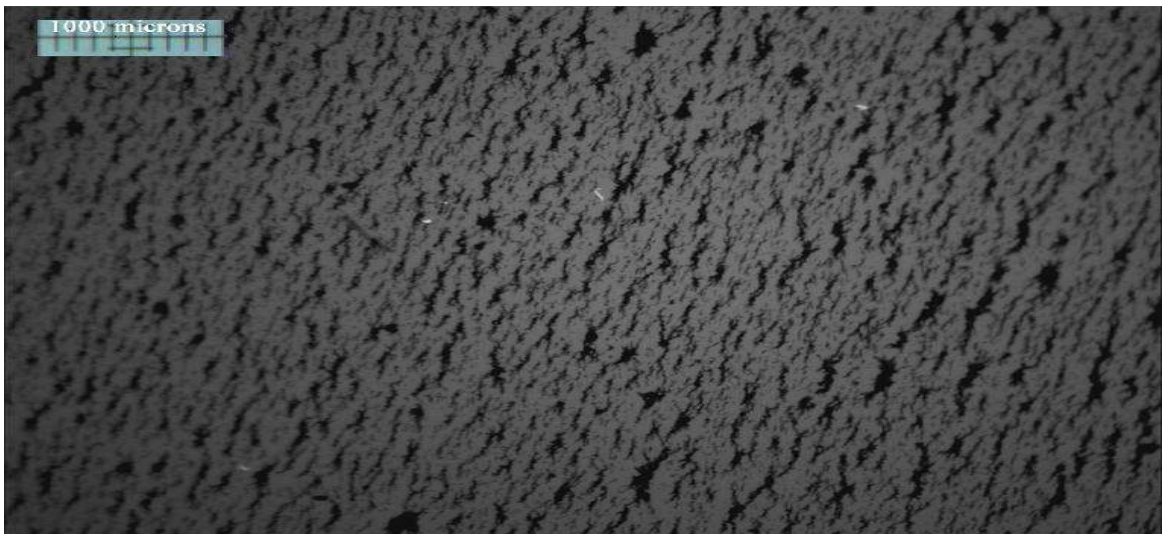


Obr. č. 66 – suspenze C5 - výřez D (PVAL + nanočástice) – skleněná Petriho miska – referenční vzorek- bez působení magnetického pole

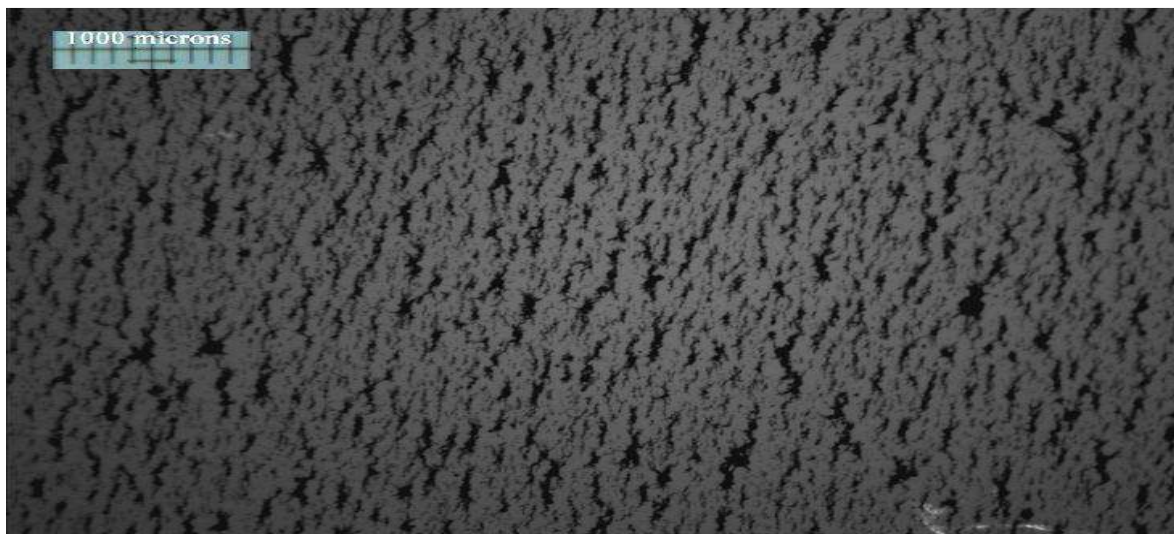
Na obrázcích č. 65 a č. 66 ze suspenze C5 na kterou nemělo být působeno magnetickým polem, bylo nejspíše nějakým magnetickým polem působeno, protože vzniklá kompozitní vrstva jevila jasnou míru orientace částic, ale nejspíše působící síla pravděpodobného magnetického pole od okolních magnetů a roštu v sušárně nebyla dostačující.

**Suspenze C6**

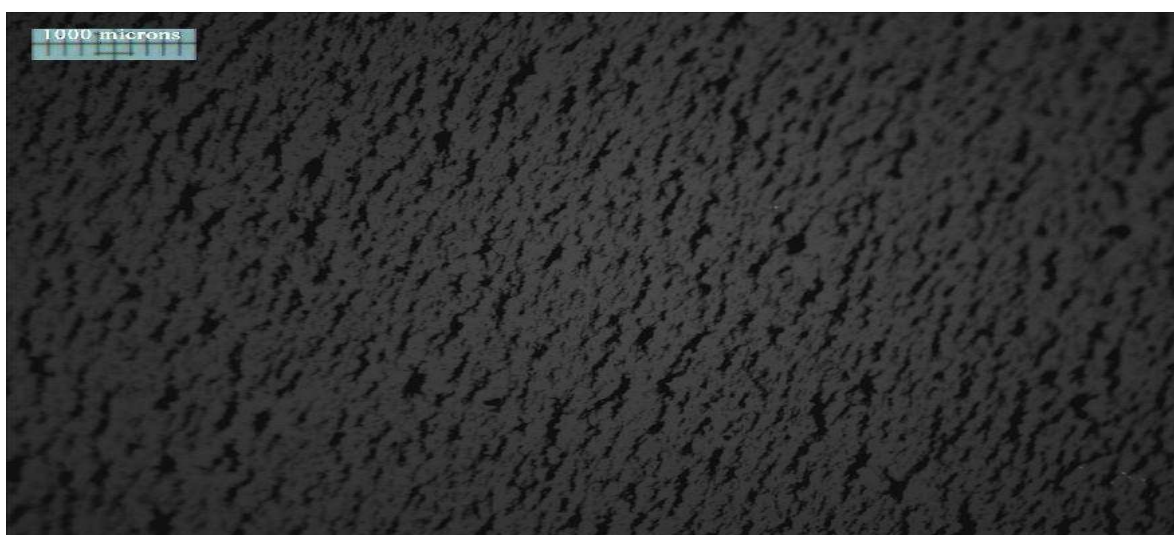
Obr. č. 67 – suspenze C6 - celkový pohled (PVAL + nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – referenční vzorek- bez působení magnetického pole



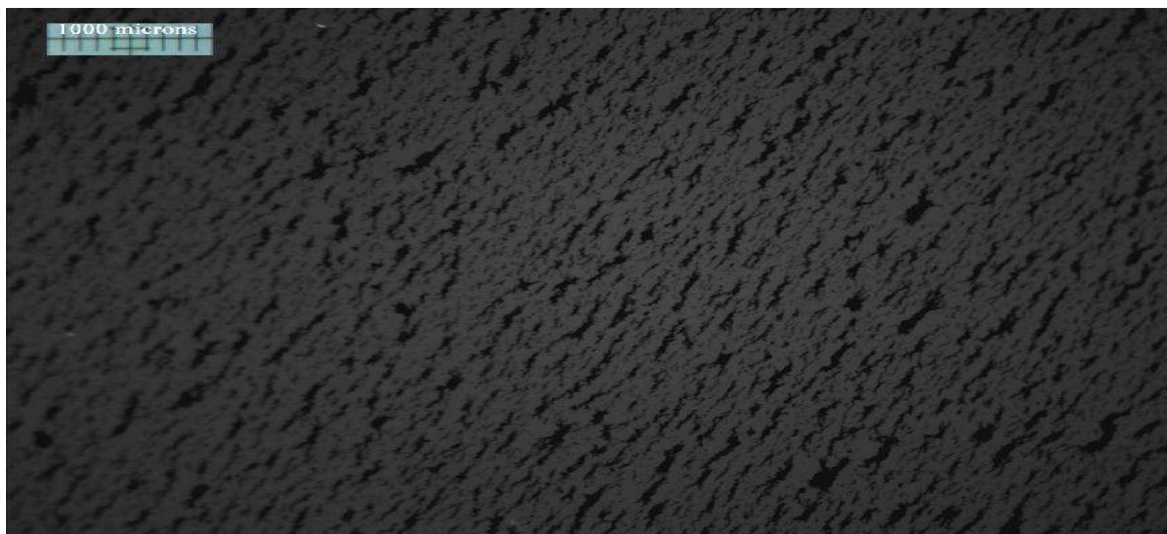
Obr. č. 68 – suspenze C6 - výřez A (PVAL + nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – referenční vzorek- bez působení magnetického pole



Obr. č. 69 – suspenze C6 - výřez B (PVAL + nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – referenční vzorek- bez působení magnetického pole



Obr. č. 70 – suspenze C6 - výřez C (PVAL + nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – referenční vzorek- bez působení magnetického pole



Obr. č. 71 – suspenze C6 - výřez D (PVAL + nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – referenční vzorek- bez působení magnetického pole

Na obrázcích č. 68 až 71 ze suspenze C6 připravené na PS Petriho misce bez údajného působení magnetického pole se spíše jevílo, že muselo docházet k nějakému působení magnetického pole buď z okolních magnetů, nebo pomocí roštu ze sušárny, který mohl převádět malé množství magnetického pole.

## 7.2 Zhodnocení výsledků působení magnetického pole na vznik orientovaných struktur kompozitu

### **Zhodnocení výsledků působení podélného magnetického pole na suspenzi A**

U připravené suspenze A po působení podélného magnetického pole byla zřejmá tvorba shluků částic a naopak volných míst, které byly tvořeny jen polymerní matricí s PVP. Bylo evidentní, že se částice nejvíce shlukovaly na rozhraní spojů magnetů a u krajů Petriho misek v místech, kde bylo nehomogenní magnetického pole s největším gradientem nebo kde okraj misky vytvářel zábranu pohybu částic při jejich uspořádávání, proto se nepovedlo vytvořit kompaktní rozvrstvení částic po celém povrchu. Mohlo by se konstatovat, že působící magnetické pole nebylo homogenní a možná i dost silně působící. Vzniklé kompozitní vrstvy praskaly a těžko se daly vyjmout z Petriho misek.

Pro další vývoj příprav kompozitních vrstev bylo doporučeno, pokusit se vytvořit lepší homogenitu magnetického pole třeba tím, že bude zvýšena vzdálenost mezi magnetem a Petriho miskou.



Dalším krokem, který by se mohl vyzkoušet je snížení koncentrace magnetických částic, tak i samotné polymerní matrice z PVP a popř. přidat nějaký plastifikátor pro změknutí vzniklé kompozitní vrstvy, aby se odstranil problém s praskáním a vyjmutím kompozitních vrstev z Petriho misek.

K další přípravě by mohlo být použito skleněných a polystyrenových Petriho misek o menším průměru, aby se zrychlila tvorba tenké kompozitní vrstvy a popř. se zjistilo, zda má nějaký vliv na přípravu kompozitních vrstev použití Petriho misek ze skla a PS.

### **Zhodnocení výsledků působení kolmého magnetického pole na suspenzi A**

Již z celkového pohledu na vzorek bylo patrné, že většina magnetických částic byla odtažena k okraji Petriho misky. Na středu vzorku byly jen náhodné fragmenty tvořené shluky magnetických částic. Celý vzorek se jevil jako nehomogenní, což způsobila nejspíše velká působící magnetická síla. Částice byly orientovány dle působícího magnetického pole. Tenká kompozitní vrstva praskala a nebylo možné ji v celém stavu vyjmout z Petriho misek.

Pro další vývoj přípravy tenké kompozitní vrstvy působením kolmého magnetického pole bylo doporučeno zkusit, jak by mohlo pomoci snížení intenzity magnetického pole pomocí oddálení magnetu od Petriho misky s připravenou suspenzí. Stejně tak by bylo dobré vyzkoušet naředit koncentraci částic i samotné polymerní matrice z PVP a pokusit se přidat plastifikátor pro zabránění praskání vzniklé tenké kompozitní vrstvy.

Taktéž by bylo vhodné použít k dalším přípravám suspenzí menší průměr Petriho misek z různých materiálů, které byly určeny na skleněné a polystyrenové Petriho misky.

### **Zhodnocení výsledků bez působení magnetického pole na suspenzi A**

U referenčních vzorků se patrně nepodařilo zhomogenizovat důkladně připravenou suspenzi, protože vzniklá tenká kompozitní vrstva byla notně nestejnorodá, na některých místech byl velký shluk magnetických částic, jinde naopak byla jen samotná polymerní matrice z PVP. Evidentně bez působení magnetického pole by v tomto případě nešlo vytvořit orientovanou tenkou kompozitní vrstvu.

### **Zhodnocení výsledků působení podélného magnetického pole na suspenzi B**

Doporučení ke snížení koncentrace magnetických částic a samotné polymerní matrice a zvýšení vzdálenosti mezi magnetem a Petriho miskou, se projevilo jako vhodné. Určitě nebylo ani od věci zmenšení průměru Petriho misek, což určitě urychlilo tvorbu



tenkých kompozitních vrstev a hlavně spotřebu vstupních surovin. Taktéž se projevilo použití různých Petriho misek, v našem případě skleněných a polystyrenových, kdy u používaných skleněných Petriho misek převládala vzniklá struktura tenkých kompozitních vrstev ve tvaru jakoby „pyramidálních shluků“ naopak u použitých PS Petriho misek spíše převládala struktura, která více mohla odpovídat působícímu podélnému magnetickému poli.

Použití plastifikátoru v podobě přídatku kyseliny mléčné se neprojevilo jako úspěšné. Sice došlo k mírnému změkčení vzniklé kompozitní vrstvy, ale problém s praskáním při vyjmutí nebyl odstraněn.

Protože vzniklé tenké kompozitní vrstvy byly již poměrně slušné, bylo doporučeno připravit stejným způsobem suspenzi s polymerní matrice PVAL za použití stejné koncentrace jak magnetických částic, tak i samotné polymerní matrice.

### **Zhodnocení výsledků působení kolmého magnetického pole na suspenzi B**

Celkové snížení koncentrace samotné polymerní matrice a koncentrace magnetických částic přineslo výrazné zlepšení, také určitě zvýšení volného prostoru mezi magnetem a Petriho miskou přineslo své „ovoce“. Vzniklé kompozitní tenké vrstvy již měly slušnou orientaci částic, i co se týče rozvrstvení po celé ploše Petriho misky. Vzniklé struktury se lišily dle použití Petriho misek. Při použití skleněných Petriho misek převažovala spíše struktura se „stříškovitými“ malými shluky, naopak u PS Petriho misek spíše převažovala struktura odpovídající pro působení podélného magnetického pole, kdy vznikaly jasně orientované malé shluky částic.

Použití kyseliny mléčné jako plastifikátoru nebylo příliš úspěšné, vzniklá kompozitní vrstva sice trochu změkla, ale při vyjímání vzniklých kompozitních vrstev s Petriho misek stále docházelo k jejich praskání.

Protože vzniklé tenké kompozitní vrstvy bylo možno orientovat, bylo doporučeno připravit stejným způsobem suspenzi s polymerní matrice PVAL za použití stejné koncentrace jak magnetických částic, tak i samotné polymerní matrice jako u přípravy suspenzí z PVP bez použití kyseliny mléčné.

### **Zhodnocení výsledků bez působení magnetického pole na suspenzi B**

U referenčních vzorků připravených na skleněných Petriho miskách, je jasně patrná tvorba shluků a jakoby vlásečnic, které je propojují. Bez působení magnetického pole zde není možná tvorba lepšího rozmístění magnetických částic.

### **Zhodnocení výsledků působení podélného magnetického pole na suspenzi C**

Dle doporučení přípravy byly použity stejné koncentrace polymerní matrice z PVAL jako u předcházející z PVP, taktéž byla zachována koncentrace přidávaných magnetických částic. Vzniklé kompozitní vrstvy vlivem působení podélného magnetického pole na suspenzi C byly zřetelně rozvrstveny a orientovány, jen v některých případech byly zaznamenány různé odchylky způsobené nějakým rušivým magnetickým polem, kdy se to projevovalo „vírovitou“ vzniklou strukturou. Taktéž bylo pozorováno jasné ovlivnění výsledné struktury díky roštu v sušárně. Opětne byl zřejmý rozdíl výsledné struktury při použití skleněné a PS Petriho misky.

Připravená suspenze ve skleněné Petriho misce po působení podélného magnetického pole byla více náchylná na rušivý element nějakého cizorodého magnetického pole, vyskytovala se často „vírovitá struktura“ naopak u použitých PS Petriho misek nebylo tolik zřejmé narušení struktury vzniklé kompozitní tenké vrstvy, až na viditelné příčné pruhy, které nejspíše kopírovaly rošt v sušárně. Jinak vzniklé struktury byly poměrně slušně rozvrstvené, hlavně u suspenze připravené v PS Petriho misce.

### **Zhodnocení výsledků působení kolmého magnetického pole na suspenzi C**

Stejně jako u připravených suspenzí pro působení podélného magnetického pole, tak i v tomto případě byla zachována koncentrace polymerní matrice z PVAL i magnetických částic dle postupu při přípravě suspenzí z PVP. Vzniklé struktury tenkých kompozitních vrstev byly více rozdílné u suspenzí připravených do skleněných Petriho misek, kde se vyskytovaly spolu se slušně orientovanými částicemi i různé rozdílné orientace, jako např. ve tvaru „J“ nebo se částice chovaly tak, že v jednom místě jakoby „vystupovaly“ z povrchu kompozitní vrstvy a v dalších místech jakoby „utíkaly“ v různých směrech z povrchu kompozitní vrstvy, což nejspíše způsobovalo nějaké rušivé magnetické pole, snad způsobované nepříznivým vlivem samotného roštu v sušárně, který nejspíše ovlivňoval výsledné struktury tenkých kompozitních vrstev. Vzniklé tenké kompozitní vrstvy se vyznačovaly mírnými shluky částic, které mohly připomínat tvarem „ležící vodní řasy“, které se nahýbaly dle směru působícího magnetického pole.

Je možné, že se jednotlivé připravené suspenze mohly ovlivňovat navzájem, tedy v tom smyslu, že používané magnety mohly být u sebe blíže, než by bylo vhodné.

I suspenze připravené do PS Petriho misky vykazovala jisté anomálie, kdy se v některých částech připravené suspenze po působení kolmého magnetického pole tvořily „pyramidální“ útvary nebo byla orientace částic v různých místech rozdílná.

### **Zhodnocení výsledků bez působení magnetického pole na suspenzi C**

Z výsledků bylo zřejmé, že z nějakých důvodů působilo, ačkoliv malé, ale jisté magnetické pole, protože částice měly snahu se orientovat v jednom směru, což by bez působení magnetického pole nebylo možné. Dalo by se to vysvětlit tím, že referenční vzorky byly v sušárně spolu s dalšími připravenými suspenzemi, na které bylo působeno magnetickým polem. Vlivem toho mohla docházet ke zmagetizování roštu v sušárně, který mohl způsobit orientaci magnetických částic, nebo je mohly ovlivňovat přímo okolní používané magnety.

### **7.3. Možný způsob jakým vznikají pozorované struktury**

Pomocí optické mikroskopie byly pozorovány lomy vrstev a v závislosti na směru působení magnetického pole lze vysledovat dva základní strukturní typy připravených kompozitů. Pokud jsou siločáry magnetického pole a rovina vrstvy kolmé, vznikají struktury připomínající „mořské řasy“, které mají ztluštěnou bázi u povrchu vrstvy, který byl původně u dna Petriho misky, a „vlající ohon“ který se postupně ztenčuje až do nejvíce ohnuté špičky. Tyto struktury jsou evidentně orientované, jak ukazuje obr. č. 72 i obrázky např. č. 48 a č. 50. Tyto struktury pravděpodobně vznikají již po umístění disperze do magnetického pole a špičkou dosahují až k hladině. V průběhu vysychání vrstvy se bortí a ohýbají. Nejvíce se ohnou ve své horní a zároveň nejtenčí části a proces probíhá směrem shora dolů, tak jak klesá hladina disperze. Proti tomuto procesu musí v jistou chvíli začít působit nárůst viskozity a hustoty vysychajícího roztoku polymeru. Pokud nejsou siločáry magnetického pole přesně kolmé na rovinu vrstvy, struktury se ohnou jedním převládajícím směrem, čímž se právě formuje struktura na řezu podobná vodním rostlinám splývajícím po proudu. Díky nehomogenitám magnetického pole je možné pozorovat i struktury vírů, např. na sérii obrázků č. 42 až č. 46, nebo u jednotlivých defektů jako na obr. č. 29.

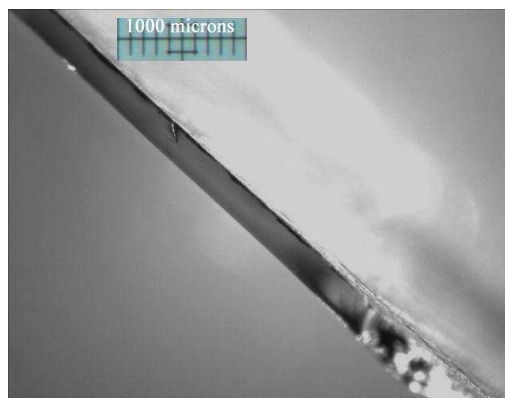
Vrstvy s podélnou orientací mají ploché struktury výhradně soustředěné v tenké vrstvě přiléhající ke dnu Petriho misky, ve které vrstva vzniká. Mají tedy nejenom 2D orientaci pozorovanou pohledem (mikroskopem) seshora, ale zároveň je zaručeno, že nemají

žádnou vertikální strukturu v řádu stovek, či desítek mikrometrů a jsou lokalizovány výhradně na jedné straně vrstvy. I o těchto strukturních motivech předpokládáme, že se utvářejí ihned po vložení disperze do magnetického pole, ale díky postupnému vysychání separovaného roztoku matrice nad nimi jsou fixovány ve vznikajícím materiálu v podobě, v jaké vznikly. Mohlo by je ovlivnit smršťování nebo jiné změny tvaru zasychající disperze, ale v našem případě nebyly takovéto změny pozorovány, byly připraveny perfektně orientované lineární struktury, např. na sérii obr. č. 57 až č. 61.

Pokud je koncentrace částic velká, projevuje se i pod vlivem vnějšího magnetického pole tendence ke shlukování a narušení dokonalosti uspořádání. Aglomerace působením vlastního magnetismu částic se projevuje nejlépe v kontrolních vzorcích, které byly připraveny bez vlivu externího magnetického pole. Tehdy je pozorovatelný vznik fraktálových struktur, jako na obr. č. 40 a č. 41.



Obr. č. 72 – struktura“ mořských řas“



Obr. č. 73 – struktura „ležících částic“

## 8 ZÁVĚR

Bylo zjištěno, že vybrané magnetické částice  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  byly snadno dispergovány ve vybraných polymerních matricích z PVP a PVAL. Povedlo se pomocí podélně orientovaného magnetického pole vůči připravené suspenzi vytvořit tenké kompozitní vrstvy s jasně orientovanou strukturou. Lepších výsledků bylo dosaženo s menšími koncentracemi polymerního roztoku, tak i samotných magnetických částic, kdy bylo dosaženo pravidelnějších a lépe definovaných struktur.

Bylo zaznamenáno, že určitým způsobem byly ovlivňovány vznikající tenké kompozitní vrstvy působením magnetického materiálu roštu v sušárně a proto další experimenty by měly pokračovat za použití pomůcek z diamagnetických materiálů.

Byl pozorován rozdíl vzniklé struktury dle používaného magnetického pole a to tak, že ve většině případů při kolmém působení magnetického pole měla výsledná struktura spíše charakter struktury „mořských řas“ – viz. obrázek č. 72 a naopak u podélného působení magnetického pole spíše charakteru „ležících částic“ na povrchu polymerní matrice – viz. obrázek č. 73.

Pomocí vnějšího pole se tedy podařilo připravit různé anizotropní struktury, 2 D orientované lineární útvary v rovině vrstvy, které jsou soustředěny při jednom povrchu, vertikálně orientované struktury procházející skrz celou tloušťku vrstvy a i zde lze odlišit „dno“ od „hladiny“. Pokud vrstvy vznikají bez vlivu vnějšího pole, vznikají struktury fraktálního vzhledu.

Tato práce demonstruje možnost docílit jednoduchou metodou přípravy naprosto odlišných charakteristik materiálu. Dá se předpokládat, že výsledné tenké kompozitní vrstvy by vzhledem ke své morfologii mohly mít zásadně rozdílné anizotropní elektrické a magnetické vlastnosti.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] BAREŠ, A. RICHARD, Kompozitní materiály, SNTL Praha, 1988.
- [2] BHAGWAN D. AGARWAL, LAWRENCE J. BROUTMAN, Vláknové kompozity, překlad SNTL Praha, 1987.
- [3] ČERNÝ F., Chemická technologie polymerů, SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1982, Praha, 304 stran.
- [4] DECHER G., Polyelectrolyte Multilayers, an Overview, GERO DECHER, JOSEPH B. SCHLENOFF, Multilayer Thin Films Sequential Assembly of Nanocomposite Materials, WILEY-VCH, Weinheim, 2003, ISBN 3-527-30440-1, p.524.
- [5] DUCHÁČEK V.: *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd., Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [6] GOTTFRIED W. EHRENSTEIN, Polymerní kompozitní materiály, NAKLADATELSTVÍ SCIENTIA, 2009, Křížová 1018/6, Praha 5, ISBN 978-80-86960-29-6, 351 stran.
- [7] JANG, J., Conducting polymer nanomaterials and their applications. ADVANCES IN POLYMER SCIENCE, 199: p. 189-259, 2006.
- [8] KOLAŘÍK J., Kompozitní polymerní materiály, Ediční středisko VŠCHT, Nové materiály, Centrum materiálového inženýrství, Vysoká škola chemicko-technologická, Technická 5, Praha 6, 1991, ISBN 80-7080-098-4, 208 stran.
- [9] KOŘÍNEK Z., Kompozity, LUDĚK PTÁČEK A KOLEKTIV, Nauka o materiálu II., Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 2002, ISBN: 80-7204-248-3 (2. opr. a rozš. vyd.).
- [10] MALLICK, PK. Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing and Design, New York: Marcel Dekker, Inc., 1993, ISBN 0-8247-9031-6.
- [11] MASAMI OKAMOTO, Polymer/Layered Silicate Nanocomposites, Rapra Technology Limited, Volume 14, Number 7, 2003, Shrewsbury, Shropshire SY4 4NR, United Kingdom, ISBN 0889-3144, p. 166.
- [12] MATTHEWS, FL. and RAWLINGS, RD. Composite Materials: Engineering and Science, London: Chapman & Hall, 1994, ISBN 0-412-55960-9.

- [13] Nanoparticles and nanostructured films: preparation, characterization and applications/ JANOS H. FENDLER,(ed.).-Weinheim; New York; Chichester; Brisbane; Singapore; Toronto: Wiley-VCH, 1998, ISBN 3-527-29443-0.
- [14] N.A.KOROV, Layer-by-Layer Assembly of Nanoparticles and Nanocolloids: Intermolecular Interaction, Structure and Materials Perspectives, GERO DECHER, JOSEPH B. SCHLENOFF, Multilayer Thin Films Sequential Assembly of Nanocomposite Materials, WILEY-VCH, Weinheim, 2003, ISBN 3-527-30440-1, p.524.
- [15] RAAB MIROSLAV, *Materiály a člověk*. Encyklopedický dům Praha, 1999.
- [16] Schlom, DG; Chen, LQ; Pan, XQ; et al. A thin film approach to engineering functionality into oxides. JOURNAL OF THE AMERICAN CERAMIC SOCIETY, 91 (8): p. 2429-2454, AUG 2008.
- [17] ŠŇUPÁREK J.ML, FORMÁNEK L., Vodné disperze syntetických polymerů, SNTL Nakladatelství technické literatury, n.p., 1979.
- [18] TASILO PRNKA, KAREL ŠPERLINK, Nanotechnologie, srpen 2004, Česká společnost pro nové materiály a technologie, 2004, ISBN 80-7329-070-7.
- [19] YATCHKO IVANOV, VALERII CHESHKOV and MARGARITA NATOVA, Polymer Composite Materials – Interface Phenomena & Processes, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 2001, Dordrecht, The Netherlands, ISBN 0-7923-7008-2, p. 167.
- [20] [http://www.ateam.zcu.cz/HODNOCENI\\_VLASTNOSTI\\_TENKYCH\\_VRSTEV\\_%20NITRIDU\\_KOVU.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/HODNOCENI_VLASTNOSTI_TENKYCH_VRSTEV_%20NITRIDU_KOVU.pdf) - on-line - citace ze dne 15.4.2010.
- [21] <http://www.elidis.cz/index.php?menu=57> - on-line-citace ze dne 20.4.2010.
- [22] <http://www.magsy.cz/page/100.magnety/> - on-line-citace ze dne 20.4. 2010.
- [23] [http://www.promag.cz/Permanentni\\_magnety.pdf](http://www.promag.cz/Permanentni_magnety.pdf) - on-line-citace ze dne 22.4.2010.
- [24] <http://www.volny.cz/zkorinek/historie.pdf> – on-line-citace ze dne 10.3.2010.
- [25] <http://www.ksicht.natur.cuni.cz/serialy/nanocastice/1> - on-line-citace ze dne 10.3. 2010.
- [26] [http://www.rmi.cz/editor/image/produkty\\_soubory/Vujtek%20nanocastice.pdf](http://www.rmi.cz/editor/image/produkty_soubory/Vujtek%20nanocastice.pdf) - on-line-citace ze dne 20.04.2010.

- [27] DORMANN, J.L., CUI, J.R., SELLA, C., Mossbauer studies of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  antiferromagnetic small particles, *Journal of Applied Physics*, 1985, vol. 57, no.8, p. 4283-4285.
- [28] KUNDIG, W. BOMMEL, H., CONSTABA, G., LINDQUI, R.H., Some properties of supported small alpha-  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  particles determined with Mossbauer effect, *Physical Review*, 1966, vol. 142, no. 2, s 327 – 329.
- [29] [http://bezpecna\\_krmiva.cz/soubory/Paramagneticke\\_castice\\_Special.doc](http://bezpecna_krmiva.cz/soubory/Paramagneticke_castice_Special.doc) - on-line-citace ze dne 10.5.2010.
- [30] <http://atmilab.upol.cz/vys/fe2o3.html> - on-line-citace ze dne 10.05.2010.
- [31] NOVÁČEK VLADISLAV, Technologie výroby Magnetoreologických kapalin, Bakalářská práce, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování, VUT v Brně, 2009.



## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PVP Polyvinylpyrrolidon

PVAL Polyvinylalkohol

PS Polystyren

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

- Obr. č. 1 – vzorec PVP [3]
- Obr. č. 2 – vzorec PVAL [3,5]
- Obr. č. 3 – „silnější“ anisotropní feritový magnet rozměrů (100x100x25) mm
- Obr. č. 4 – „silnější“ anisotropní feritové magnety o rozměrech (50x50x15) mm
- Obr. č. 5 – uspořádání magnetů a Petriho misky
- Obr. č. 6 – uspořádání magnetu a Petriho misky
- Obr. č. 7 – umístění připravených suspenzí B1 a B2 v sušárně (působení kolmého magnetického pole)
- Obr. č. 8 – umístění připravených suspenzí B3 a B4 v sušárně (působení podélného magnetického pole)
- Obr. č. 9 – celkový pohled na suspenzi A1 (PVP+nanočástice) – působení podélným magnetickým polem
- Obr. č. 10 – suspenze A1 - (PVP+nanočástice)- detail z výřezu A – působení podélného magnetického pole
- Obr. č. 11 – suspenze A1 - (PVP+nanočástice) – detail výřezu B - působení podélným magnetickým polem
- Obr. č. 12 – suspenze A1 - (PVP+nanočástice) – detail výřezu C - působení podélným magnetickým polem
- Obr. č. 13 – suspenze A1 – detail výřezu D - působení podélným magnetickým polem
- Obr. č. 14 – suspenze A2 – celkový pohled - (PVP+nanočástice) - působení kolmým magnetickým polem
- Obr. č. 15 – suspenze A2 – detail výřezu E – (PVP+nanočástice) působení kolmým magnetickým polem
- Obr. č. 16 – suspenze A2 – detail výřezu F (PVP+nanočástice) – působení kolmým magnetickým polem
- Obr. č. 17 – suspenze A2 – detail výřezu G - (PVP+nanočástice) - působení kolmým magnetickým polem
- Obr. č. 18 – suspenze A2 – detail výřezu I – (PVP+nanočástice) - působení kolmým magnetickým polem

- Obr. č. 19 – suspenze A3 – fragment referenčního vzorku bez působení magnetického pole
- Obr. č. 20 – suspenze A3 – fragment referenčního vzorku bez působení magnetického pole
- Obr. č. 21 – suspenze B1 (PVP+kys. mléčná+nanočástice) - celkový pohled – skleněná Petriho miska – působeno kolmým magnetickým polem
- Obr. č. 22 – suspenze B1 – výřez A - (PVP + kys. mléčná + nanočástice) skleněná Petriho miska po působení kolmého magnetického pole
- Obr. č. 23 – suspenze B1 – výřez B - (PVP + kys. mléčná + nanočástice) skleněná Petriho miska po působení kolmého magnetického pole
- Obr. č. 24 – suspenze B1 – výřez C - (PVP + kys. mléčná + nanočástice) skleněná Petriho miska po působení kolmého magnetického pole
- Obr. č. 25 – (PVP+kys. Mléčná+nanočástice)- celkový pohled na suspenzi B2 – polystyrenová Petriho miska – působeno kolmým magnetickým polem
- Obr. č. 26 – suspenze B2 – výřez A (PVP + kys. mléčná + nanočástice) polystyrenová Petriho miska – po působení kolmého magnetického pole
- Obr. č. 27 – suspenze B2 – výřez B (PVP + kys. mléčná + nanočástice) polystyrenová Petriho miska – po působení kolmého magnetického pole
- Obr. č. 28 – suspenze B2 – výřez C (PVP + kys. mléčná + nanočástice) polystyrenová Petriho miska – po působení kolmého magnetického pole
- Obr. č. 29 – suspenze B2 – výřez D (PVP + kys. mléčná + nanočástice) polystyrenová Petriho miska – po působení kolmého magnetického pole
- Obr. č. 30 – suspenze B3 (PVP + kys. mléčná + nanočástice) - celkový pohled– skleněná Petriho miska – působeno podélným magnetickým polem
- Obr. č. 31 – suspenze B3 – výřez A (PVP + kys. mléčná + nanočástice) skleněná Petriho miska – po působení podélným magnetickým polem
- Obr. č. 32 – suspenze B3 – výřez B (PVP + kys. mléčná + nanočástice) skleněná Petriho miska – po působení podélným magnetickým polem
- Obr. č. 33 – suspenze B3 – výřez C (PVP + kys. mléčná + nanočástice) skleněná Petriho miska – po působení podélným magnetickým polem
- Obr. č. 34 – suspenze B3 – výřez D (PVP + kys. mléčná + nanočástice) skleněná Petriho miska – po působení podélným magnetickým polem

- Obr. č. 35 – suspenze B4 (PVP + kys. mléčná + nanočástice) - celkový pohled – polystyrenová Petriho miska – působeno podélným magnetickým polem
- Obr. č. 36 – suspenze B4 – výřez A (PVP + kys. mléčná + nanočástice) polystyrenová Petriho miska – po působení podélným magnetickým polem
- Obr. č. 37 – suspenze B4 – výřez B (PVP + kys. mléčná + nanočástice) polystyrenová Petriho miska – po působení podélným magnetickým polem
- Obr. č. 38 – suspenze B4 – výřez C (PVP + kys. mléčná + nanočástice) polystyrenová Petriho miska – po působení podélným magnetickým polem
- Obr. č. 39 – suspenze B5 – referenční (PVP+kys.mléčná + nanočástice) - celkový pohled – skleněná Petriho miska) – bez působení magnetického pole
- Obr. č. 40 – suspenze B5 – výřez A (PVP + kys. mléčná + nanočástice) skleněná Petriho miska – bez působení magnetického pole
- Obr. č. 41 – suspenze B5 – výřez B (PVP + kys. mléčná + nanočástice) skleněná Petriho miska – bez působení magnetického pole
- Obr. č. 42 – suspenze C1 - celkový pohled – (PVAL+nanočástice) - skleněná Petriho miska – působeno kolmým magnetickým polem
- Obr. č. 43 – suspenze C1 - výřez A (PVAL+nanočástice) – skleněná Petriho miska – působení kolmým magnetickým polem
- Obr. č. 44 – suspenze C1 - výřez B – (PVAL+nanočástice) – skleněná Petriho miska – působení kolmým magnetickým polem
- Obr. č. 45 – suspenze C1 - výřez C (PVAL+nanočástice) – skleněná Petriho miska – působení kolmým magnetickým polem
- Obr. č. 46 – suspenze C1 - výřez D (PVAL+nanočástice) – skleněná Petriho miska – působení kolmým magnetickým polem
- Obr. č. 47 – suspenze C2 - celkový pohled (PVAL+nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – působení kolmým magnetickým polem
- Obr. č. 48 – suspenze C2 - výřez A (PVAL+nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – působení kolmým magnetickým polem
- Obr. č. 49 – suspenze C2 - výřez B (PVAL+nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – působení kolmým magnetickým polem
- Obr. č. 50 – suspenze C2 - výřez C (PVAL+nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – působení kolmým magnetickým polem

- Obr. č. 51 – suspenze C2 - výřez D (PVAL+nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – působení kolmým magnetickým polem
- Obr. č. 52 – suspenze C3 - celkový pohled (PVAL+nanočástice) – skleněná Petriho miska – působení podélným magnetickým polem
- Obr. č. 53 – suspenze C3 - výřez A (PVAL+nanočástice) – skleněná Petriho miska – působení podélným magnetickým polem
- Obr. č. 54 – suspenze C3 - výřez B (PVAL+nanočástice) – skleněná Petriho miska – působení podélným magnetickým polem
- Obr. č. 55 – suspenze C3 - výřez C (PVAL+nanočástice) – skleněná Petriho miska – působení podélným magnetickým polem
- Obr. č. 56 – suspenze C3 - výřez D (PVAL+nanočástice) – skleněná Petriho miska – působení podélným magnetickým polem
- Obr. č. 57 – suspenze C4 - celkový pohled – (PVAL + nanočástice) – polystyrenová Petriho miska - působení podélným magnetickým polem
- Obr. č. 58 – suspenze C4 - výřez A (PVAL+nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – působení podélným magnetickým polem
- Obr. č. 59 – suspenze C4 - výřez B (PVAL+nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – působení podélným magnetickým polem
- Obr. č. 60 – suspenze C4 - výřez C (PVAL+nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – působení podélným magnetickým polem
- Obr. č. 61 – suspenze C4 - výřez D (PVAL + nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – působení podélným magnetickým polem
- Obr. č. 62 – suspenze C5 - celkový pohled - referenční vzorek - (PVAL + nanočástice) – skleněná Petriho miska – bez působení magnetického pole
- Obr. č. 63 – suspenze C5 - výřez A (PVAL + nanočástice) – skleněná Petriho miska – referenční vzorek- bez působení magnetického pole
- Obr. č. 64 – suspenze C5 - výřez B (PVAL + nanočástice) – skleněná Petriho miska – referenční vzorek- bez působení magnetického pole
- Obr. č. 65 – suspenze C5 - výřez C (PVAL + nanočástice) – skleněná Petriho miska – referenční vzorek- bez působení magnetického pole
- Obr. č. 66 – suspenze C5 - výřez D (PVAL + nanočástice) – skleněná Petriho miska – referenční vzorek- bez působení magnetického pole

- Obr. č. 67 – suspenze C6 - celkový pohled (PVAL + nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – referenční vzorek- bez působení magnetického pole
- Obr. č. 68 – suspenze C6 - výřez A (PVAL + nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – referenční vzorek- bez působení magnetického pole
- Obr. č. 69 – suspenze C6 - výřez B (PVAL + nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – referenční vzorek- bez působení magnetického pole
- Obr. č. 70 – suspenze C6 - výřez C (PVAL + nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – referenční vzorek- bez působení magnetického pole
- Obr. č. 71 – suspenze C6 - výřez D (PVAL + nanočástice) – polystyrenová Petriho miska – referenční vzorek- bez působení magnetického pole
- Obr. č. 72 – struktura“ mořských řas“
- Obr. č. 73 – struktura „ležících částic“



## SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1 – tabulkové hodnoty použitých magnetů [22]