

Příprava funkčních plniv pro antibakteriální aplikace kompozitů

Bc. Petr Žlebek

Diplomová práce
2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr ŽLEBEK**

Studijní program: **N 2808 Chemie a technologie materiálů**

Studijní obor: **Technologie a management**

Téma práce: **Příprava funkčních plniv pro antibakteriální aplikace kompozitů**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na zadané téma diplomové práce
2. Připravte vzorky plniva za různých podmínek
3. Charakterizujte připravené materiály dostupnými metodami mikroskopie a spektroskopie na FT
4. Vyhodnoťte jejich antibakteriální účinek na vhodné zástupce rodu *Candida* a *Staphylococcus*
5. Diskutujte dosažené výsledky

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **BARATON, M.-I.** Synthesis, functionalization and surface treatment of nanoparticles. Stevenson Ranch: American Scientific Publishers, 2003. xvii, 302 s., [1] l. obr. příl. ISBN 1-58883-009-8 (váz.).
2. **HEILMANN, A.** Polymer films with embedded metal nanoparticles. Berlin: Springer, 2003. x, 216 s. ISBN 3-540-43151-9.
3. **SCHMID, G.** Nanoparticles : from theory to application. Weinheim: Wiley, 2004. x, 434 s. ISBN 3-527-30507-6 (váz.).

Vedoucí diplomové práce:

Ing. et Ing. Ivo Kuřitka, Ph.D.

Centrum polymerních materiálů

Datum zadání diplomové práce:

11. února 2009

Termín odevzdání diplomové práce:

15. května 2009

Ve Zlíně dne 11. února 2009



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.

děkan



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

vedoucí katedry

ABSTRAKT

Tato práce popisuje postup přípravy plniv z oxidu zinečnatého s obsahem nanočástic stříbra. Při výrobě těchto materiálů byla využita metoda mikrovlnné syntézy, přičemž u každého vzorku byl zvolen odlišný čas zpracování (5 minut nebo 15 minut) nebo odlišné počáteční složení látek vstupujících do mikrovlnné syntézy. Materiály, zpracovány do formy prášku, byly charakterizovány elektronovou mikroskopií, rentgenovou difraktometrií a antibakteriální zkouškou inhibičních zón na agarových plotnách.

Klíčová slova: Ag, ZnO, mikročástice, mikrovlnná syntéza, plniva, antibakteriální.

ABSTRACT

Presented work describes preparation of zinc oxide fillers containing silver nanoparticles. Microwave synthesis was employed for the preparation of these materials. Prepared samples differs by the reaction time of microwave irradiation (5 minute or 15 minute) and composition of reaction system. Materials were obtained in form of powder and characterized by electron microscopy, X-ray diffractometry and antibacterial "Zone of inhibition" test.

Keywords: Ag, ZnO, microparticles, microwave synthesis, fillers, antibacterial

Chtěl bych vyjádřit poděkování svému školiteli Doc. Ing. et Ing. Ivo Kuřitkovi, Ph.D. za vedení diplomové práce i veškerou další pomoc, kterou mi poskytl. Dále bych rád poděkoval Ing. Vladimíru Sedlaříkovi, Ph.D., Ing. Michalu Machovskému a Ing. Pavlu Bažantovi za radu a pomoc při práci v laboratoři a při charakterizaci připravených materiálů.

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....

Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 MATERIÁL	10
1.1 DISPERZNÍ SYSTÉMY	10
1.2 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	11
1.3 PLNIVA	12
2 CHARAKTERIZACE MIKROČÁSTIC	13
2.1 SPEKTROSKOPIE A MIKROSKOPIE	14
2.1.1 SEM	14
2.2 RENTGENOMETRICKÉ METODY	15
3 ANTIBAKTERIÁLNÍ MATERIÁLY	16
3.1 LÁTKY S ANTIBAKTERIÁLNÍMI VLASTNOSTMI	16
3.1.1 Stříbro	16
3.1.2 Zinek	17
3.1.3 Oxid Zinečnatý	18
3.2 ANTIBAKTERIÁLNÍ ZKOUŠKY	19
3.2.1 Kultivace bakterií	19
3.2.2 Antibakteriální zkoušky	19
3.2.3 Rod <i>Candida</i>	19
3.2.4 Rod <i>Staphylococcus</i>	20
3.2.5 Rod <i>Escherichia</i>	21
3.3 ANTIBAKTERIÁLNÍ APLIKACE KOMPOZITŮ	23
3.3.1 Nežádoucí biofilm	24
3.4 REGULACE POUŽITÍ MATERIÁLŮ OBSAHUJÍCÍ MIKROČÁSTICE STRÍBRA A ZNO	25
3.4.1 FDA	25
4 SYNTÉZA ČÁSTIC AG A ZNO	27
4.1 PRINCIP MW SYNTÉZY	27
4.1.1 Mikrovlny	27
4.1.2 MW zařízení	27
4.1.3 Ohřev látky	29
4.1.4 Mikrovlnné efekty	30
5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	32
II PRAKTICKÁ ČÁST	33
6 EXPERIMENTÁLNÍ	34
6.1 MATERIÁLY POUŽITÉ V MW SYNTÉZE	34
6.1.1 Octan Zinečnatý Dihydrát - $(\text{CH}_3\text{COOH})_2\text{Zn} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	34
6.1.2 Dusičnan Stříbrný - AgNO_3	34
6.1.3 Polyvinylpyrrolidon - $\text{C}_6\text{H}_9\text{NO}$	34
6.1.4 Hexamethylenetetramin - $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$	35
6.1.5 Glukóza Glukopur® - $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	35
6.1.6 Amoniak - NH_3	35
6.2 ZAŘÍZENÍ K PŘÍPRAVĚ VZORKŮ	35
6.2.1 MW zařízení	36
6.2.2 Filtrační sestava	37
6.2.3 Sušárna MEMMERT	37

6.3	ZAŘÍZENÍ PRO CHARAKTERIZACI VZORKŮ.....	37
6.3.1	SEM.....	37
6.3.2	RTG.....	38
7	PŘÍPRAVA VZORKŮ.....	39
7.1	AGZN – 012.....	39
7.2	AGZN – 013.....	40
7.3	AGZN – 014.....	41
7.4	AGZN – 015.....	42
7.5	AGZN – 016.....	42
7.6	AGZN – 017.....	43
7.7	SPOTŘEBA ENERGIE A VÝTĚŽNOST SYNTÉZY.....	44
7.8	PŘÍPRAVA VZORKŮ PRO ANTIBAKTERIÁLNÍ ZKOUŠKY.....	45
8	CHARAKTERIZACE PŘIPRAVENÝCH VZORKŮ.....	46
8.1	MIKROSKOPIE VZORKŮ.....	46
8.2	RTG DIFRAKCE VZORKŮ.....	54
8.2.1	Vzorek AgZn-012.....	54
8.2.2	Vzorek AgZn-013.....	55
8.2.3	Vzorek AgZn-014.....	56
8.2.4	Vzorek AgZn-015.....	57
8.2.5	Vzorek AgZn-016.....	58
8.2.6	Vzorek AgZn-017.....	59
8.3	VYHODNOCENÍ BAKTERIÁLNÍCH ZKOUŠEK.....	60
8.3.1	Test proti Escherichia coli.....	60
8.3.2	Test proti Staphylococcus aureus.....	60
	ZÁVĚR.....	62
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	63
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	65
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	66
	SEZNAM TABULEK.....	68

ÚVOD

Materiály s antibakteriálními vlastnostmi jsou pro lidstvo velmi užitečné. Od svého objevu nám pomáhají při boji a ochraně před nebezpečnými mikroorganismy. Mikroorganismům, tedy bakteriím a virům, nadělila příroda v porovnání s námi evoluční výhodu. Jejich evoluční vývoj je oproti nám několikanásobně rychlejší. To způsobuje, že na jakýkoli antibakteriální mechanismus vynalezený člověkem, dříve nebo později zareagují svou evolucí i mikroorganismy. Zářným příkladem adaptivních vlastností mikroorganismů jsou antibiotika. Od svého objevu musí procházet neustálým vývojem. Na trhu se objevuje již několikátá generace antibiotik. Reálně se tím blíží neúčinnost antibiotických léků při boji s nebezpečnými infekcemi.

Výskytu těchto organismů zamezujeme i v prostorech, ve kterých je zapotřebí zajistit bezpečné prostředí pro antibakteriální operace. Lidstvo za dobu své existence vyzorovalo antibakteriální vlastnosti u několika látek a sloučenin. Z nejnovějších trendů vzpomeňme využití peroxidu vodíku ve zdravotnictví, využití titanu a v neposlední řadě využití stříbra v různorodých aplikacích. Právě stříbro se používá jako velmi účinný prostředek v boji proti mikroorganismům ohrožujících kontrolované prostředí. Stříbro se využívá v práškových barvách, ve vnitřních i venkovních nátěrových hmotách, lacích, textilích, papírech. Výzkum se zaměřuje na zpracování stříbra v pevných materiálech. Plastikářský a gumárenský průmysl nyní zkoumá aplikace, ve kterých by zajistil kompozitní materiály s antibakteriálními vlastnostmi. Výroba plniv obsahující částice stříbra umožňuje získání kompozitního materiálu s antibakteriálním účinkem.

Pro výrobu plniva se rovněž hledá vhodná metoda zpracování. Jako rychlá, jednoduchá a nenáročná metoda se v tomto případě jeví mikrovlnná syntéza. Metoda již byla použita při zpracování oxidu zinečnatého.

Kompozitní polymer s antibakteriálními účinky při vhodném užití omezí nebezpečí, které plyne ze všudypřítomného výskytu nebezpečných a zdraví škodlivých mikroorganismů. Tento materiál nám pomůže vytvořit aplikace, které umožní v dnešním globalizovaném světě zajistit určitý náskok před nástrahami nebezpečného a rychlejšího mikrosvětla.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MATERIÁL

1.1 Disperzní systémy

Soustava, která obsahuje alespoň dva druhy hmoty, přičemž jeden druh je rozptýlen ve druhém ve formě více nebo méně jemných částic. Rozptýlený druh se nazývá disperzní podíl, spojité druh disperzní prostředí. Pod pojmem druh hmoty se rozumí složka nebo fáze. Disperzní podíl může i nemusí představovat samostatnou fázi a svým chemickým složením se může, ale nemusí vždy lišit od disperzního prostředí. Podle toho mluvíme o disperzní fázi nebo disperzní složce. Převážná většina disperzí patří mezi vícesložkové soustavy. [1]

Existuje mnoho typů disperzních soustav, které bývají klasifikovány podle různých hledisek:

- Podle počtu fází na systémy
 - Homogenní – disperzní podíl i disperzní prostředí tvoří jednu fázi,
 - Heterogenní – disperzní podíl je od disperzního prostředí oddělen fázovým rozhraním,
- Podle počtu molekul v částici disperzního podílu na
 - Systémy molekulární – analytické disperze a roztoky makromolekul,
 - Systémy polymolekulární – asociativní koloidy, lyofobní soly a hrubé disperze,
- Podle velikosti částic disperzního podílu (lineárního rozměru d)
 - Hrubé disperze – $d > 10^{-6}$ m,
 - Koloidní disperze – 10^{-9} m $< d < 10^{-6}$ m,
 - Analytické disperze – $d < 10^{-9}$ m (pravé roztoky),
- Podle tvaru částic
 - Globulárně disperzní – s izometrickými částicemi,
 - Laminárně disperzní – s anizometrickými částicemi, jejichž jeden rozměr je řádově menší než ostatní,
 - Fibrilárně disperzní – s anizometrickými částicemi, jejichž jeden rozměr je řádově větší než ostatní,
- Podle struktury disperzního podílu

Na systémy s disperzním podílem ve formě částic,

Na systémy, u nichž částice disperzního podílu vytvářejí souvislou prostorovou síť, která prostupuje kapalným disperzním prostředím (gely),

- Podle rozdělení velikosti částic

Monodisperzní (uniformní) – s částicemi stejné velikosti (s výjimkou analytických disperzí se vyskytují velmi zřídka),

Paucidisperzní, obsahující několik diskretních velikostních frakcí částic

Polydisperzní (neuniformní) – obsahují částice mnoha různých velikostí [1]

1.2 Kompozitní materiály

Pod pojmem kompozitní materiály rozumíme heterogenní materiály složené ze dvou nebo více fází, které se vzájemně výrazně liší svými mechanickými, fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Obvykle je jedna fáze v kompozitu spojitá – takovou fázi nazýváme matrice. Fázi, která je nespojitá, nazýváme výztuž. [2]

Podle geometrického tvaru výztuže dělíme kompozity následujícím způsobem:

- částicové: jeden rozměr útvarů výztuže nepřesahuje výrazně rozměry ostatní.
- vláknové: výztuž je v jednom směru výrazně rozměrnější [2]



Obr. 1: Rozdělení kompozitních materiálů [2]

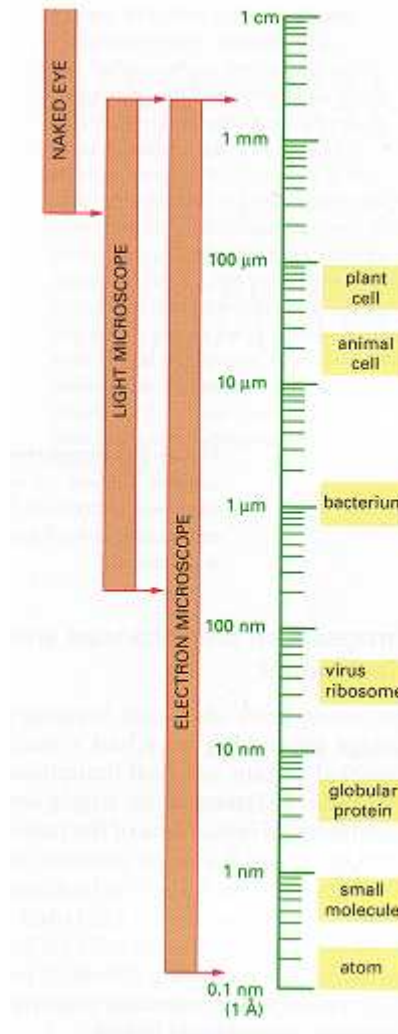
1.3 Plniva

Plniva jsou důležité přísady, které významně ovlivňují vlastnosti směsí a ještě více vlastnosti výrobků, jež právě máme možnost volbou kvality a kvantity plniva upravovat v širokých mezích. Jsou to většinou tuhé látky používané ve formě prášku nebo krátkých vláken (milimetrové délky). Za účelem snížit prášivost a umožnit automatické navažování se prášková plniva stále častěji granulují (granule, nejčastěji ve formě válečků o průměru několika milimetrů a délce do 1 cm, se při míchání polymerní směsi rozpadnou na původní malinké částičky rozměru nanometrů až mikrometrů). Používají se dnes nejen do kaučuků, což bylo jejich historicky první použití, ale i do plastů, a to jak termoplastů, tak reaktoplastů. Jejich dávkování se pohybuje ve velmi širokých mezích, od jednotek někdy až do stovek hmotnostních dílů. [3]

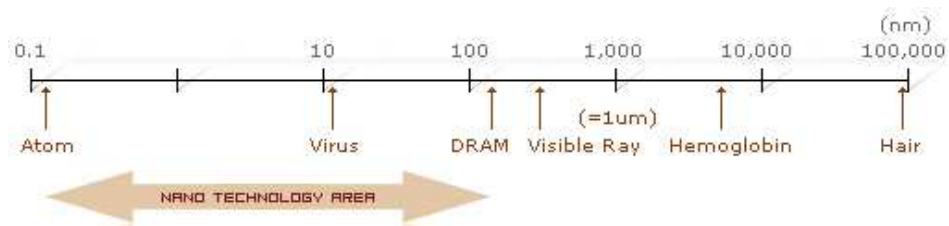
Obecně je možno říci, že plnivy zle zlepšovat mechanické vlastnosti materiálu (např. zvyšovat pevnost, odolnost vůči oděru, houževnatost, tuhost), jeho odolnost vůči teple, ohni, korozi, stárnutí, ovlivňovat vzhled výrobků, ale i jejich cenu. [3]

2 CHARAKTERIZACE MIKROČÁSTIC

Volba metody pro charakterizaci částic závisí nejen na materiálovém složení částic, ale také na jejich velikosti. Pokrytí rozměrové škály částic, které připadají v úvahu v oblasti kompozitů, ilustruje obr. 2. Přechod mezi tzv. mikrosvětlem a nanosvětlem může být vymezen např. charakteristickým rozměrem částic menším než 100 nm, obr. 3.



Obr. 2: Rozlišovací schopnosti jednotlivých metod [4]



Obr. 3: Výskyt nanočástic [5]

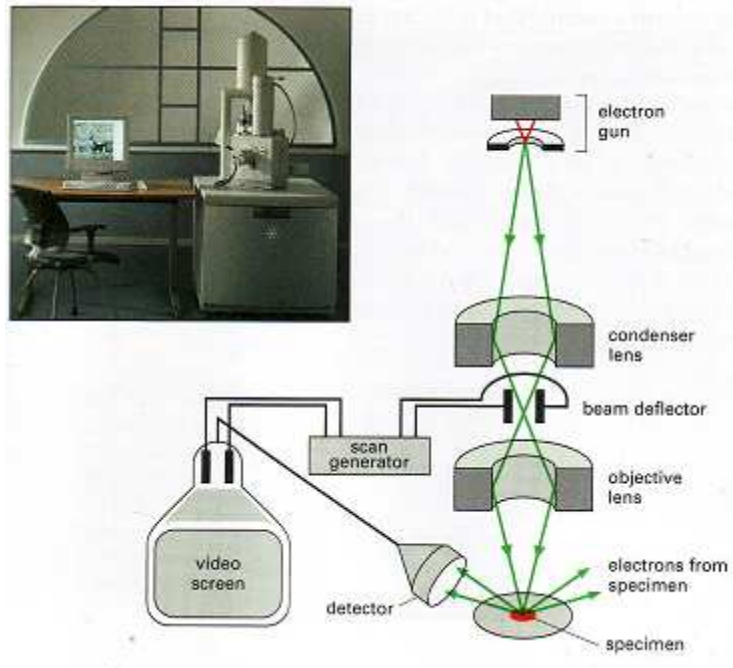
2.1 Spektroskopie a mikroskopie

Spektroskopie je oblast experimentálních metod charakterizujících interakci elektromagnetického záření s hmotou pomocí měření intenzity elektromagnetického záření v závislosti na frekvenci resp. vlnové délce. Do této oblasti spadá řada spektrálních oblastí a měřících technik. [6] :

- Ramanova spektroskopie
- Spektrometrie s Fourierovou transformací
- Infračervená spektroskopie
- UV/VIS spektroskopie
- Atomová absorpční spektroskopie
- Rentgenová fluorescence
- Hmotností spektroskopie – měření poměru hmotnosti a náboje iontů
- Spektroskopie využívající jaderné magnetické rezonance
- Spektroskopie využívající elektronové paramagnetické rezonance

2.1.1 SEM

Skenovací elektronový mikroskop (dále SEM) je přístroj k pozorování povrchů nejrůznějších objektů. Je ho možné do jisté míry považovat za analogii světelného mikroskopu v dopadajícím světle, na rozdíl od něho je výsledný obraz tvořen pomocí sekundárního signálu – odražených nebo sekundárních elektronů. Díky tomu je zobrazení v SEM považováno za nepřímou metodu. Velkou předností SEM v porovnání se světelným mikroskopem je jeho velká hloubka ostrosti, v důsledku které lze z dvojrozměrných fotografií ze SEM nalézt jistý trojrozměrný aspekt. Další předností těchto mikroskopů je, že v komoře preparátů vzniká při interakci urychlených elektronů s hmotou vzorku kromě výše zmíněných signálů ještě řada dalších, např. RTG záření, Augerovy elektrony, katodoluminescence, které nesou mnoho dalších informací o vzorku. Při jejich detekci je možné určit např. prvkové složení preparátu v dané oblasti a při porovnání s vhodným standardem určit i kvantitativní zastoupení jednotlivých prvků. V literatuře se kromě názvu skenovací používá i označení rastrovací nebo český název řádkovací elektronový mikroskop, který naznačuje, že při práci mikroskopu se primární svazek pohybuje po určité ploše preparátu. [6]



Obr. 4: Princip metody SEM [4]

2.2 Rentgenometrické metody

Nejrozšířenějším způsobem studia struktury krystalických látek jsou rentgenometrické metody (metody rentgenové difrakční analýzy). Je to řada metod založených na interakci rentgenového záření (paprsků X) s hmotou, v našem případě krystalem. Vedle rentgenových difrakčních metod se pro studium struktury krystalů využívá interakce elektronů (elektronová difrakční analýza) nebo neutronů (neutronová difrakční analýza) s krystalem. [7]

Rentgenové záření je elektromagnetické záření stejné fyzikální povahy jako světlo, ale jeho vlnová délka se pohybuje v oboru 10^{-11} až 10^{-8} m. Protože vzdálenost mezi stavebními částicemi ve strukturách krystalů je obvykle řádově $0,1 \cdot 10^{-9}$ m, využívá se v praxi pro strukturní analýzu krystalů záření o obdobné vlnové délce. Při průchodu rentgenového záření strukturou krystalu dochází k jevu, který se nazývá difrakce. Ze studia tohoto jevu se vychází při řešení struktury krystalu. [7]

3 ANTIBAKTERIÁLNÍ MATERIÁLY

3.1 Látky s antibakteriálními vlastnostmi

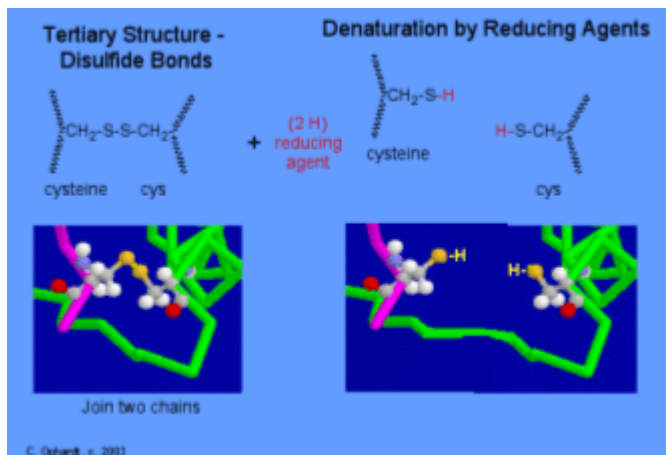
Některé látky přítomné v prostředí mají na mikroorganismy nepříznivý vliv, a to v důsledku svého specifického chemického složení (nikoliv tím, že by ovlivňovaly pH nebo oxidačně redukční potenciál prostředí). Látky s nepříznivými specifickými účinky na mikroorganismy se nazývají antimikrobiální: buď pouze zastavují rozmnožování mikroorganismů (tzv. mikrobistatické látky), nebo je usmrcují (mikrobicidní látky). Působí-li pouze na bakterie, nazývají se látky bakteriostatické nebo baktericidní, ovlivňují kvasinky a plísně, jde o látky fungistatické a fungicidní. [15]

Kromě látek narušujících bílkoviny poškozují enzymy ještě řada dalších sloučenin. Na aktivní -SH skupiny enzymů působí kromě oxidačních činidel ještě ionty těžkých kovů (Ag, Pb, Cu, Hg) nebo jejich organické sloučeniny (např. organoměďnaté nebo organortuťnaté sloučeniny), alkalyční činidla (např. modonojodotová kyselina) a nenasycené sloučeniny (např. sorbová kyselina). [15]

3.1.1 Stříbro

Antimikrobiální účinky stříbra jsou známy již staletí. Předpokládá se, že nanostříbro projevuje své antimikrobiální účinky tak, že v jeho přítomnosti dochází k denaturaci disulfidových vazeb v buněčných membránách bakterií. Funguje obdobně jako peroxid vodíku, což je nejučinnější zabíječ bakterií. [9]

Částice stříbra vyřadí enzym, který buňka bakterie, viry a houby potřebují pro svou kyslíkovou výměnu látek. Částice provede denaturaci. Disulfidové vazby zajišťují ochranné funkce bakteriím, a to jako iniciátor, který otáčí proteinem při působení oxidačních reakcí na bakteriální buňku. Základní struktura enzymu bakterie se působením stříbra rozpojí. Stříbrné částice rovněž napomáhají tvorbě reaktivního kyslíku ve vzduchu nebo ve vodě, který postupně ničí buněčné stěny bakterie. Stříbro relativně okamžitě zabije bakterii denaturací. Z těchto důvodů nemůže bakterie budovat vzdor proti částicím stříbra, zatímco lidské buňky poškozovány nejsou. [10]



Obr. 5: Předpokládaný mechanismus denaturace bakterie [10]

Částice stříbra lze aplikovat v různých oblastech: lékařské přístroje, textil, klávesnice pro počítače, automobilový průmysl, sportovní předměty, kosmetika, hračky, nátěry podlah a zdí aj. V sektoru potravinářského průmyslu je to především pro zásobníky potravin: nádoby na potraviny, chladničky, mrazničky. [9]

Kontejner na potraviny, který má zabudovaný prášek nanostříbra, vyvinula korejská firma A-Do Global Co. Ltd. Kontejner dodávaný na trh pod označením FreshBox® má vynikající antimikrobiální účinky vůči *Escherichia coli* a *Staphylococcus aureus* a to bez negativního vlivu na barvu konečného výrobku (99,9% snížení bakterií po 24 hodinách). [9]

Antibakteriální aktivita stříbra závisí na velikosti, ale také na tvaru nanočástic stříbra. Výrobky se zabudovanými nanočásticemi stříbra schválila řada akreditačních orgánů, např. v USA (US FDA, US EPA), v Japonsku (SIAA), v Korei (KOTRIC-CC). [9]

Nanočástice stříbra zabudované do materiálů je třeba odlišit od koloidního stříbra, které je součástí řady volně prodejných prostředků nabízených k regulaci některých zdravotních problémů. Podle FDA nelze prostředky obsahující koloidní stříbro nebo soli stříbra považovat za bezpečné a účinné. [9]

3.1.2 Zinek

Zinek je měkký lehce tavitelný kov. Za normálních teplot je křehký. Kujný je v teplotním rozmezí od 100 do 150°C. Při teplotách nad 210°C se opět stává křehkým a za vysokých teplot je znovu měkký a kujný. Vede elektrický proud a má vysoký redukční potenciál. Ve

sloučeninách se vyskytuje ve stavu Zn^{2+} . Zinek je po železe, mědi a hliníku čtvrtým průmyslově nejvíce vyráběným kovem. Elementární zinek nachází významné uplatnění (až 40 % produkce) jako antikorozi ochranný materiál především pro železo a jeho slitiny (pozinkovaný plech). [11]

3.1.3 Oxid Zinečnatý

Z hlediska praktického využití je nejdůležitější sloučeninou zinku oxid zinečnatý (ZnO). Užívá se jako netoxický bílý pigment při výrobě barviv, složí také jako plnicí prostředek při výrobě vulkanizovaného kaučuku a nachází uplatnění i v keramickém a sklářském průmyslu při výrobě vulkanizovaného kaučuku a nachází uplatnění i v keramickém a sklářském průmyslu při výrobě speciálních chemických odolných skel a glazur nebo emailu. Z oxidu zinečnatého se vyrábějí zinečnatá mýdla, která se používají jako sušidla nátěrových hmot, stabilizátory plastu a fungicidy. [11]

Z hlediska nebezpečných účinků na zdraví a životní prostředí oxid zinečnatý není klasifikován jako látka s nebezpečnými účinky na zdraví, v závislosti na dávce, resp. koncentraci může působit lokálně dráždivě (zejména na oči). Oxid zinečnatý je nebezpečný pro životní prostředí – závadný pro vodní prostředí, může vyvolat dlouhodobé nepříznivé vlivy ve vodním prostředí. Další možná rizika nejsou známa. [12]

Částice ZnO má vynikající antibakteriální účinky a vynikající fyzikální stabilitu. Další výhodou je, že neodbarvuje, nevyžaduje k aktivaci UV světlo. Částice ZnO nachází široké uplatnění např. v medicíně, kosmetice, při výrobě živočišných krmiv a veterinárních léčiv, v průmyslu pryže, keramiky, textilním, barev aj. Částice ZnO má vynikající schopnost chránit před oběma složkami UV světla (UVA a UVB). FDA schválila ZnO jako jednu ze dvou přísad na ochranu proti slunci první kategorie výrobků péče o pokožku. Oxid titaničitý (TiO_2) má schopnost blokovat pouze UVA (vlnové délky 340 až 400 nm). ZnO je tak jediný, který chrání před oběma složkami UV světla. Částice ZnO v živočišných krmivech napomáhá vyšší absorpci nutričních látek a tím umožňuje snížení dávek krmiva. [9]

Plastový obal se zabudovanými nanočásticemi ZnO vyvinula firma SongSing Nano Technology, která vyrábí řadu dalších nanokompozitních materiálů, např. s obsahem stříbra. [9]

3.2 Antibakteriální zkoušky

3.2.1 Kultivace bakterií

Kultivace je nejdůležitější diagnostickou metodou přímého důkazu většiny bakterií. Na kultivačních půdách určených pro diagnostiku bakterií rostou obvykle také kvasinky a plísně. [13]

V diagnostice bakterií užíváme tzv. kultivace statické, kdy bakterie narostou v ohraničeném množství kultivační půdy, např. ve zkumavce nebo Petriho misce. Jejich růst probíhá podle růstové křivky, kterou lze matematicky definovat. Po vyčerpání živin nebo po nahromadění metabolitů, které je obvykle spojeno s posunem pH, se růst zastavuje. Proto bakterie na stejné kultivační půdě vytvoří za stejnou dobu morfologicky stejné nebo podobné kolonie. Podle jejich vzhledu můžeme některé bakterie zařadit do rodu, nebo zúžit široké spektrum metod dalšího určování. [13]

Kontinuální kultivace (nebo též submerzní kultivace) se užívá při výrobě antibiotik nebo v potravinářském průmyslu. [13]

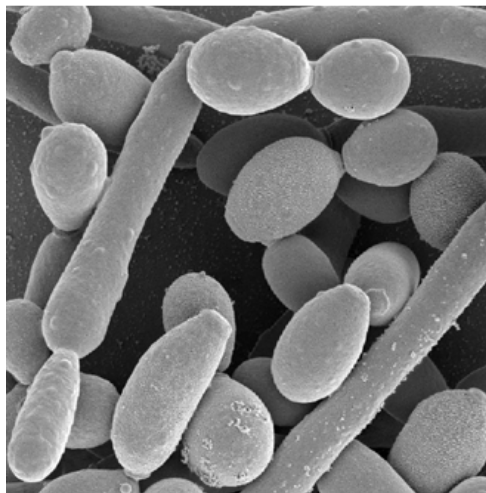
3.2.2 Antibakteriální zkoušky

Antibakteriální vlastnosti materiálů se stanovují např. zkouškou inhibičních zón na agarových plotnách. Kruhovitě vzorky se umístí na agarové plotny, kde je již rovnoměrně rozestřen příslušný bakteriální roztok. Po inkubaci při určité teplotě se změří vzdálenosti inhibičních zón v pěti různých směrech. Z naměřených výsledků se vypočítá průměrná hodnota, která udává kruhovou inhibiční zónu. [14]

3.2.3 Rod *Candida*

Kvasinky rodu *Candida* jsou anaskogenní, protože nevytvářejí vřeska s askosporami, ale tvoří tzv. blastospory, tvořící se na vláknách pseudomycelia jako pučící buňky. Rozměry buněk jsou 2,0 – 3,0 μm \times 3,0 – 4,0 μm . Většina zástupců z této skupiny je fakultativně patogenní pro člověka, jako tzv. kandidózy, projevující se chorobami sliznic, dýchacího, zažívacího a urogenitálního systému, kožními onemocněními pozorovanými na nehtech či v mezivrstevních prostorech. U jedinců se sníženou imunitou mohou napadnout i důležitější

orgán, u jedinců postižených AIDS či cukrovkou se vyskytují jako sekundární onemocnění. Jejich sledování je doporučeno ve vodách z koupališť a bazénů, protože tam mohou být kvasinky rodu *Candida* nejčastěji zdrojem infekčních onemocnění. Pokud jsou kvasinky rodu *Candida* nalezeny v bazénových vodách, pak indikují hrubé hygienické závady, jelikož mají vysokou rezistenci vůči chlóru a dalším dezinfekčním prostředkům. Často jsou nalézány nejen ve vodách, ale i na vodou smáčených plochách, např. roštích, kobercích a podlahách, kde jsou ve styku s kůží osob navštěvujících koupaliště, bazény či sauny. [24]

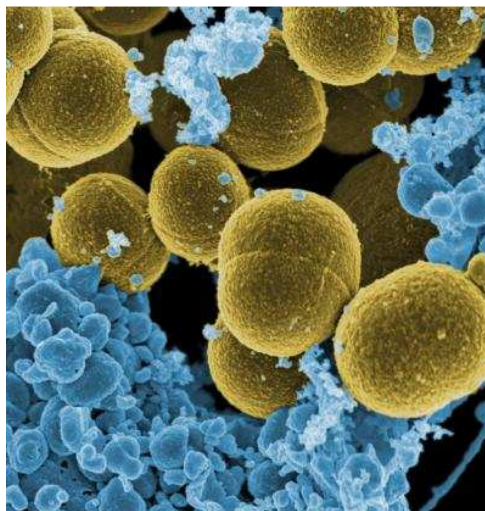


Obr. 6: *Candida albicans* [16]

3.2.4 Rod *Staphylococcus*

Rod *Staphylococcus* se od předchozích rodů liší hlavně tím, že vedle aerobního metabolismu má i metabolismus anaerobní, takže je schopen zkvašovat cukry za tvorby kyselin. Tvoří žluté až oranžové kolonie, některé kmeny však tvoří i kolonie bílé. Nejčastěji se vyskytuje na kůži a mukózních membránách teplokrevných zvířat a člověka, např. v nosní dutině. Rozmnožuje se i na 10% chloridu sodného a je hostitelem řady bakteriofágů. Nejdůležitější je patogenní druh *Staphylococcus aureus*, který způsobuje angínu, hnisavé onemocnění kůže (trudovitost, furunkuly), hnisání ran a hnisavé onemocnění poraněných kostí. Dostane-li se do potravin, produkuje tam enterotoxiny bílkovinné povahy, které mohou způsobit vážné až smrtelné otravy. Některé z nich se inaktivují delším varem, a proto je nebezpečí otrav hlavně u těch potravin, které se již tepelně nepracovávají (majonézy, saláty, krémy v cukrářských výrobcích, zmrzlina apod.). Do těchto potravin se

Staphylococcus aureus může dostat z hnisajících ložisek na ruku lidí připravujících příslušné potraviny nebo kýcháním a kašláním. Každým rokem je ve světě hlášeno několik smrtelných případů otrav stafylokokovými toxiny, nejčastěji po požití závadných cukrářských výrobků. Příznaky otravy se projevují 1 až 6 hodin po požití potraviny a vyznačují se žaludeční nevolností až křečemi, zvracením, průjmy, bolestí hlavy a někdy i pocením a poklesem teploty. Příznaky trvají 1 až 2 dny. Léčení je možné jen klidem na lůžku a podáváním velkého množství nápojů pro udržení kapalinové rovnováhy v těle. K otravě dochází obvykle tehdy, je-li koncentrace buněk *Staphylococcus aureus* v potravine řádu 10^5 až 10^7 /g. Původcem otravy však nejsou živé buňky, nýbrž jimi vytvořené enterotoxiny. *Staphylococcus aureus* rozeznáváme od zbývajících druhů, které netvoří toxiny, na základě jeho schopnosti koagulovat krevní plazmu. [15]



Obr. 7: *Staphylococcus aureus* [17]

3.2.5 Rod *Escherichia*

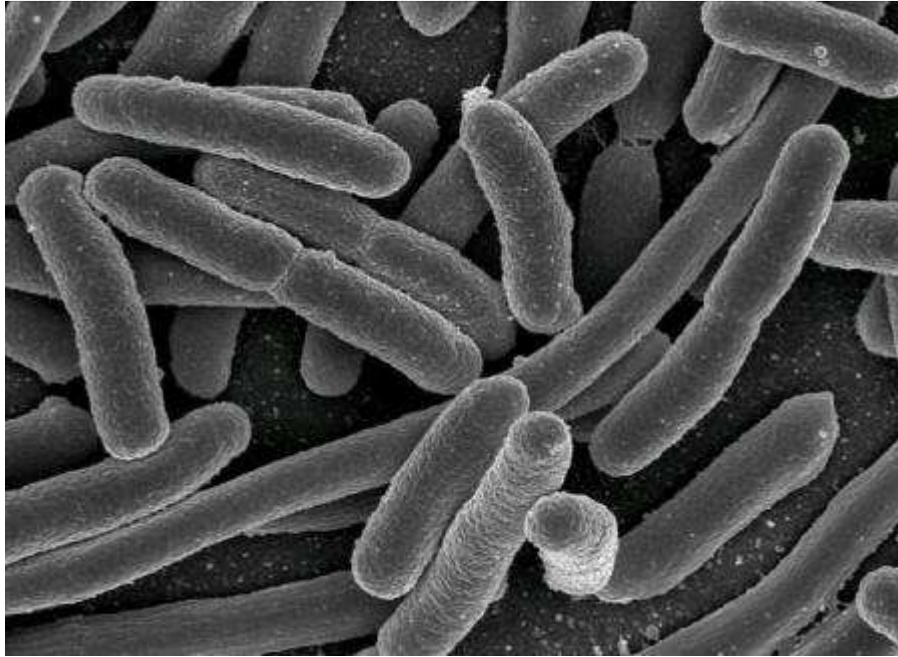
Z hygienického hlediska je nejdůležitější rod *Escherichia*, jehož jednotlivé druhy jsou obyvateli střevního traktu různých živočichů. Nejdůležitější je *Escherichia coli*, který se nachází ve spodní části střevního traktu člověka a teplokrevných zvířat. [15]

Jeho přítomnost ve vodách nebo v potravinách je proto ukazatelem, že zde došlo k znečištění fekáliemi. Pravidelně se vyskytuje v potravinářských surovinách, které byly nutně v kontaktu s hnojenou půdou. Některé jeho kmeny (tzv.. enteropatogenní *Escherichia coli* čili EEC) způsobují průjmová střevní onemocnění a onemocnění močových cest.

Přítomnost *E. coli* ve vodě nebo v potravíně ukazuje, že stejným způsobem se do tohoto prostředí mohou dostat i patogenní střevní bakterie (tj. příslušníci rodu *Salmonella* nebo *Shigella*). [15]

Escherichia coli je nejprozkoumanějším mikrobiálním druhem, neboť slouží jako modelový organismus pro biochemické, genetické i fyziologické studie. Je prvním bakteriálním druhem, u něhož byla pozorována a prostudována konjugace (tj. spájení) buněk a výměna genetického materiálu; jeho chromozom byl podrobně zmapován a také bakteriofágy, které jej napadají, patří k nejprostudovanějším. [15]

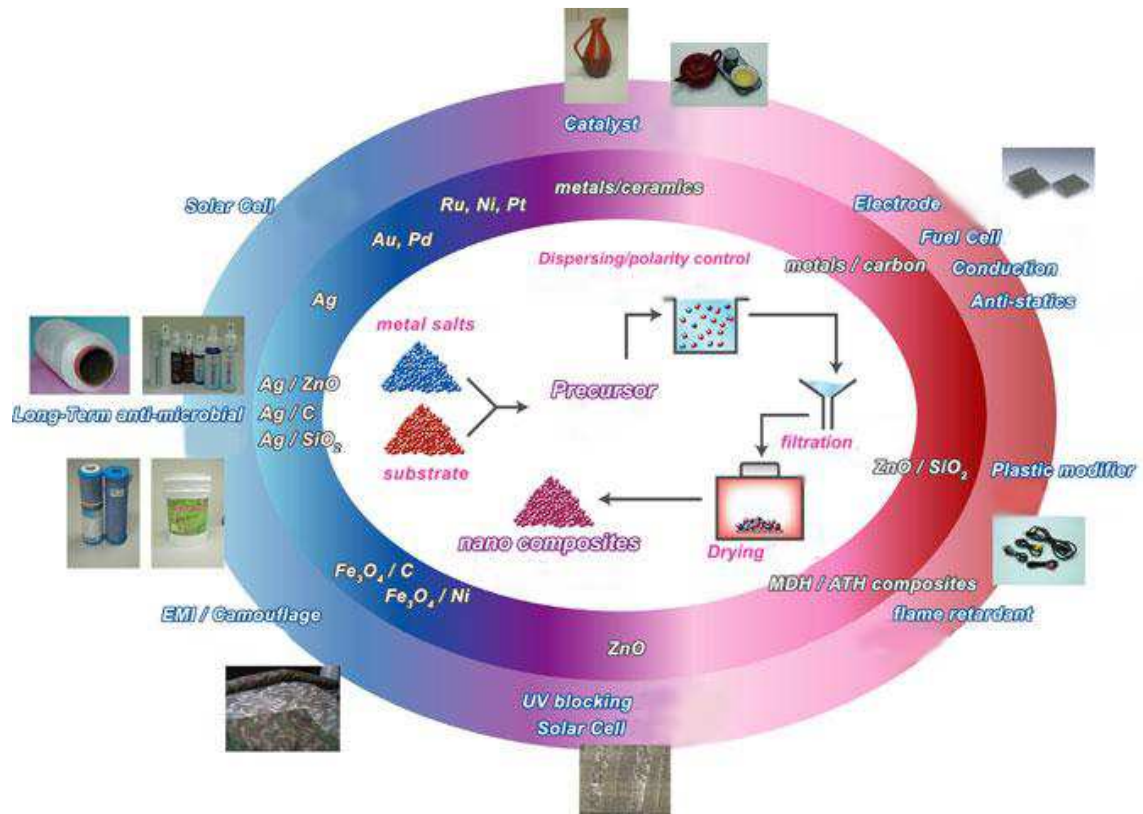
Escherichia coli zkvašuje cukry (např. glukosu, laktosu, některé pentosy a alkoholické cukry) za intenzivní tvorby kyselin a plynu. Tvoří z těchto cukrů hlavně kyseliny mléčnou, pyrohroznovou, octovou a mravenčí, přičemž část kyseliny mravenčí rozkládá na oxid uhlíčitý a vodík. Gramnegativní povahy *Escherichia coli* a její schopnost zkvašovat laktosu za vzniku kyselin se využívá pro zjištění této bakterie v potravinách nebo ve vodě: příslušné diagnostické selektivní půdy totiž obsahují laktosu jako zdroj uhlíku, barvivo (např. pH indikátor), které změnou barvy prokáže zkvašování laktosy, a sloučenin (např. další barvivo nebo anionaktivní tenzid), které zabrání rozmnožování grampozitivních bakterií, jež jsou většinou ve vyšetřovaném materiálu mnohem četnější než gramnegativní bakterie a živnou půdu by přerostly. Vedle *Escherichia coli* a dalších příslušníků tohoto rodu zde tvoří typické kvasné kolonie ještě příslušníci rodu *Enterobacter* a některé další rody střevních tyčinek. Všechny je proto označujeme jako „koliformní“, i když mají různou hygienickou hodnotu (např. rod *Enterobacter* se vyskytuje běžně i v půdě a na rostlinách). Patogenní rod *Salmonella* zde také roste, ale většinou netvoří kyseliny, neboť většinou nezkvašuje laktosu. [15]



Obr. 8: *Escherichia coli* [18]

3.3 Antibakteriální aplikace kompozitů

Kompozitní materiály s antibakteriálními účinky nacházejí stále širší uplatnění. Tomuto stavu expandujícího trhu odpovídá i zájem vědeckých, výzkumných a vývojových organizací z veřejné i soukromé sféry. Propracovanost technologie a současný stav oboru možno dokumentovat na příkladu výrobce Top Nano Technology Co., Ltd. (obr.9)



Obr. 9: Antibakteriální aplikace kompozitů [19]

3.3.1 Nežádoucí biofilm

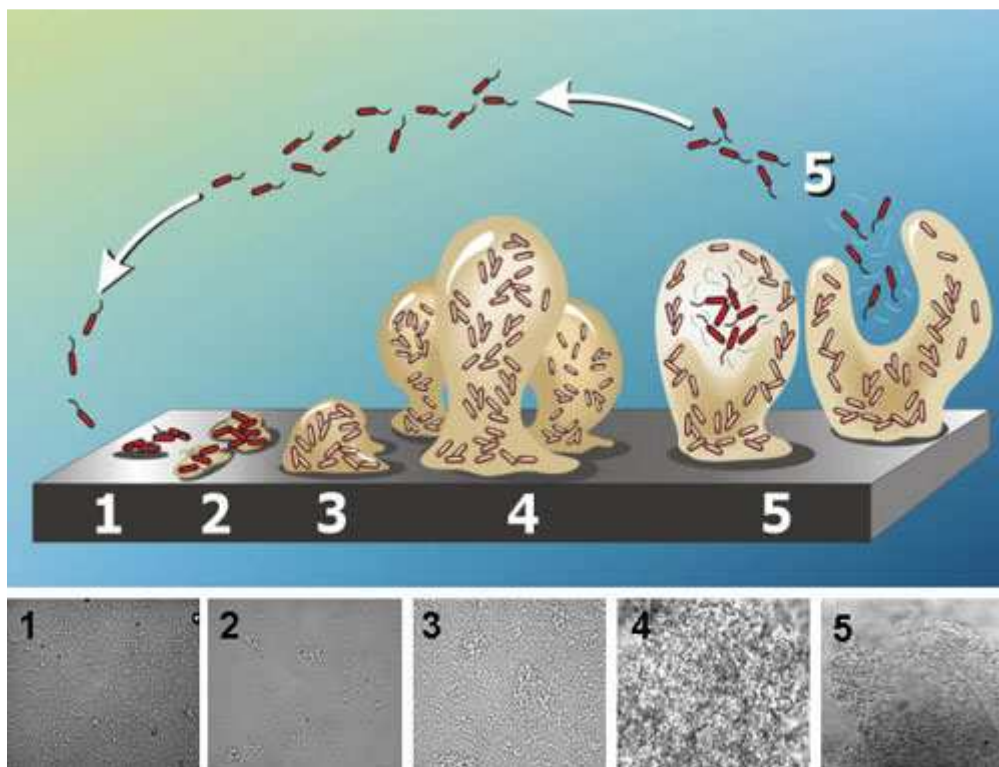
Biofilm je komplexní seskupení mikroorganismů rostoucích na pevném podkladu. Biofilmy jsou charakteristické strukturální heterogenitou, genetickou rozmanitostí, komplexní komunitními vztahy a mezibuněčnými maticemi na polymerních látkách. [20]

Biofilm můžeme rozdělit na složitý a jednoduchý. Složitý biofilm je symbiózy bakterií, řas, sinic a dalších organismů, roste ve vodním prostředí, na povrchu kamenů ve vodních tocích, dno rybníků. Má složitou strukturu a uchovává vlastnosti uvnitř biofilmu. Jednoduchý biofilm je složen s bakterií osidlujících cizorodé povrchy. Má podstatně jednodušší strukturu. [21]

Vývoj biofilmu na pevném povrchu rozdělujeme na pět částí:

- 1) přichycení buněk k povrchu
- 2) vznik mikrokolonie
- 3) vznik biofilmu
- 4) růst biofilmu

5) uvolnění buněk z biofilmu [21]



Obr.10: Tvorba biofilmu *P. aeruginosa* [21]

3.4 Regulace použití materiálů obsahující mikročástice stříbra a ZnO

V případě materiálů obsahující tyto antibakteriální mikročástice lze usoudit, že je nutné být obeznámen s postojem organizací, které stanovují obecné podmínky v oborech, které jsou vhodné pro využití těchto materiálů.

3.4.1 FDA

Americký Úřad pro potraviny a léky (FDA) patří k prvním vládním institucím na světě, které mají definici nanotechnologie a nanoproduktů. FDA však nevytvořil svoji vlastní formální definici, nýbrž se podílel na vypracování definice v rámci NNI (National Nanotechnology Initiative), jejímž je členem. NNI definuje nanotechnologii jako:

- Výzkum a technologický vývoj na atomové, molekulární nebo makromolekulární úrovni, v měřítku cca 1-100 nm.

- Vytváření a využívání struktur, přístrojů a systémů, které mají v důsledku své malé anebo intermediární velikosti nové vlastnosti a funkce.
- Schopnost regulace nebo manipulace na atomové úrovni. [9]

FDA uvádí, že reguluje výrobky, ne technologie. Úvaha o regulaci používání produktu nanotechnologie se nemůže vyskytnout dříve, dokud nedojde k počátečnímu výzkumu nanotechnologie a nebude uzákoněna její klasifikace. FDA reguluje pouze určité kategorie výrobků a očekává se, že velký počet produktů nanotechnologie bude spadat do působnosti řady útvarů v rámci FDA a bude regulováno jako “kombinované výrobky” útvarem pro kombinované produkty. FDA tradičně reguluje řadu produktů obsahujících jemné materiály (particulate materials) ve stejné velikosti jako jsou buňky a molekuly (tj. ve velikosti nano). Z tohoto důvodu jsou existující požadavky FDA i existující soubor testů farmakotoxicity adekvátní pro většinu produktů nanotechnologie. Vzhledem k tomuto FDA prohlašuje, že velikost částic není problém. Pokud se zjistí nová toxikologická rizika, která pocházejí z nových materiálů nebo výrobních technik, budou požadovány nové testy bezpečnosti. Pro vývoj harmonizované směrnice týkající se použití nanotechnologie je zapotřebí těsná spolupráce různých vládních institucí. FDA spolupracuje s ostatními vládními institucemi: NIH (National Institutes of Health) a NIEHS (National Institute of Environmental Health Sciences) na studiích nanotoxicity a přímo přispívá k vyhodnocování toxicity materiálů. V roce 2006 vzniklo v rámci FDA úkolové uskupení pro nanotechnologii na podporu trvalého vývoje inovačních, bezpečných a účinných produktů regulovaných FDA, které využívají materiály z nanotechnologie. [9]

4 SYNTÉZA ČÁSTIC AG A ZNO

4.1 Princip MW syntézy

4.1.1 Mikrovlny

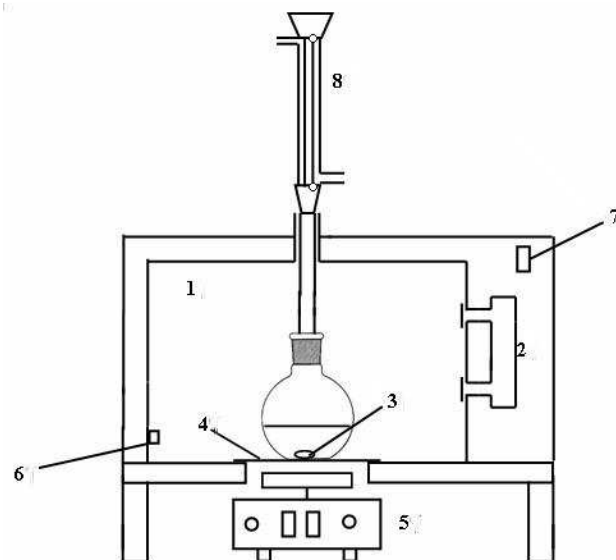
Mikrovlny jsou elektromagnetické vlny, používá se hlavně frekvence 2450 MHz. Je to neionizující nedestruktivní zařízení o nízké energii (10^{-3} eV), které není při nízkých výkonech pro živé organismy nebezpečné. Většinou materiálů (vzduch, sklo, umělé hmoty, nepolární látky apod.) mikrovlny pronikají, jako proniká světlo sklem. V materiálech, které mikrovlny pohlcují, se mikrovlnná energie přeměňuje na teplo. Třetí případ je, když materiál mikrovlny nepohlcuje ani jím nepronikají, tj. dochází k odrazu mikrovln jako je tomu např. u kovových materiálů. Na tomto principu je založena funkce radaru, který byl prvním využitím mikrovln po jejich objevu. Obdobným způsobem je zamezeno úniku mikrovln z kuchyňských mikrovlnek, které jsou v podstatě plechovými krabicemi. Vzhledem k vlnové délce 12,2 cm nemohou mikrovlny unikat malými otvory, jako je např. mřížka na dvířkách. [23]

4.1.2 MW zařízení

Existují 2 základní druhy mikrovlnných zařízení:

S rozptýleným polem (multimode):

- kuchyňská trouba – úprava pro chemické procesy
- laboratorní zařízení MILESTONE, (Itálie)
- laboratorní zařízení PLAZMATRONIKA, (Polsko)



Obr. 11: Upravená kuchyňská trouba pro chemické pokusy [23]

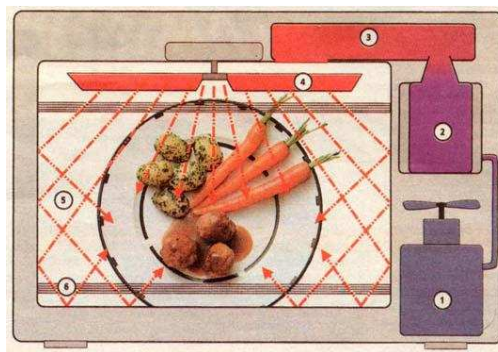
1 – kavita, 2 – magnetron, 3 – magnetické míchadlo, 4 – hliníkové dno, 5 – magnetická míchačka, 6 – IČ teploměr, 7 – vypínač, 8 – vodní chladič

Druhým druhem je zařízení s fokusovaným polem (monomode)

- PowerMax (CEM, USA)

Většinou se používají jak v laboratoři, tak v průmyslovém měřítku zařízení s rozptýleným polem. Fokusované pole je výhodnější pro výzkum v malém měřítku. [23]

Mikrovlny jsou generovány magnetronem (2) a poté se vedou vlnovodem (3) do prostoru trouby – kavity (5). Tam se mikrovlny rozptýlí (4), odrážejí se od stěn a vytvářejí zde mikrovlnné pole (5, 6). Mikrovlny se spotřebovávají pohlcením v absorpčních materiálech za vzniku tepla. Pokud se v mikrovlnném poli vyskytuje materiál s nízkou nebo žádnou absorpční schopností, mikrovlny se nemají kde pohltit, dochází k jejich zpětnému odrazu do magnetronu, což snižuje jeho životnost, případně hrozí jeho zničení. Účinnost magnetronů při přeměně elektrické energie na mikrovlnnou je maximálně 65-70 %. Většina ztrát připadá na uvolněné teplo v magnetronu, který se proto musí intenzivně chladit. Při úpravě kuchyňské mikrovlnné trouby pro laboratorní použití (vyvrtání děr např. pro teploměr či chladiče), je třeba pravidelně kontrolovat detektorem mikrovln, zdali nedochází k úniku mikrovln do prostoru obsluhy. [23]



Obr. 12: Schéma mikrovlnné trouby [23]

- 1 - Vysokofrekvenční zdroj, 2 – magnetron, 3 – vlnovod, 4 – rozptylovač mikrovln,
5,6 – varný prostor

4.1.3 Ohřev látky

Existují tři možnosti přeměny mikrovlnné energie na teplo z hlediska materiálu a jeho interakce s mikrovlnami:

- Transparentní (např. sklo, nepolární látky)
- Absorpční (např. voda, polární rozpouštědla)
- Odrážející (např. kovové předměty vhodných rozměrů a tvarů) [23]

Z obecného pohledu nás zajímá především druhý způsob, tj. interakce mikrovln s látkami, které mikrovlny absorbují, např. látky polární. V normálním stavu jsou polární molekuly v neuspořádaném stavu. V elektrickém poli dojde k orientaci molekul podle polarity (kladná část k zápornému pólu, záporná ke kladnému pólu). Co se však stane s polární molekulou při vystavení elektromagnetickému, tj. mikrovlnnému poli? Polarita vysokofrekvenčního elektromagnetického pole se mění více než 10^9 krát za sekundu. Polární molekula je nucena se těmito rychlým změnám přizpůsobit, ale sotva se přizpůsobí, již se polarita opět změní. To vyvolává oscilační vibrace, až rotace, kdy dochází ke tření a srážkám molekul (a k dielektrické ztrátě). To se projeví jako teplo, tj. dojde k přeměně mikrovlnné energie na tepelnou. [23]

Mechanismus přeměny mikrovlnné energie na teplo je dán vztahem:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \epsilon' \cdot \epsilon'' \cdot E^2$$

P Energie absorbovaná v jednotce objemu (W/m^3)

f ... frekvence mikrovlnného pole (2450 MHz)

ϵ' ... permitivita (F/m)

ϵ'' ... dielektrický ztrátový faktor materiálu

E ... intenzita elektrického pole uvnitř materiálu (V/m)

Rozhodující úlohu při přeměně mikrovlnné energie na teplo hraje ztrátový faktor. [23]

4.1.4 Mikrovlnné efekty

Mikrovlnný ohřev má některé vlastnosti, které neexistují u klasického ohřevu. Projevují se jako mikrovlnné efekty. Mikrovlnné efekty jsou takové efekty, které nelze dosáhnout klasickým ohřevem. Jsou 2 druhy mikrovlnných efektů:

- Teplotní
- Neteplovní [23]

Teplotní efekty jsou vyvolány přeměnou mikrovlnné energie na teplo. Rozeznáváme následující druhy teplotních efektů:

- přehřátí
- horké a studené zóny (tzv. hot spots)
- objemový ohřev
- selektivní ohřev
- teplotní úlet
- simultánní chlazení (při mikrovlnném ohřevu)
- ostatní efekty [23]

Přehřátí může být celkové či lokální. Například polární rozpouštědla (aceton, propanol) vřou za atmosférického tlaku až o 30 až 50 °C nad bodem varu neboť dodaná mikrovlnná energie je mnohem vyšší, než odebraná energie reprezentovaná výparným teplem. Nejčastěji k přehřátí dochází v důsledku nehomogenity mikrovlnného pole. [23]

Mikrovlnné pole rozptýlené v prostoru trouby není nikdy zcela homogenní, tj. existují místa s vyšší a nižší intenzitou (tzv. „hotspots“), která mohou způsobit až místní přepálení zejména tuhých materiálů. V kuchyňských mikrovlnných troubách se tento jev potlačuje rotačním talířem, u průmyslových zařízení běžícím pásem. [23]

Objemový ohřev – k ohřevu materiálu dochází v celém objemu, tj. zevnitř k povrchu a nikoliv přestupem tepla od povrchu dovnitř, jak je tomu u klasického ohřevu. To může přispívat k rovnoměrnosti ohřevu, avšak záleží na tvaru, velikosti a složení materiálu. Teplotní profil je opačný než u ohřevu klasického. Nejvyšší teplota je uvnitř a klesá směrem k povrchu. Vzhledem k objemovému ohřevu je mikrovlnný ohřev několika násobně rychlejší než ohřev klasický a nezávisí na tepelné vodivosti materiálu. To znamená, že materiály s nízkou tepelnou vodivostí lze velmi rychle ohřát v celém objemu, což klasickým ohřevem není možné. [23]

Selektivní ohřev – k ohřevu u více složkového materiálu dochází jen u složky, která absorbuje mikrovlny. Neadsorbující složka se neohřívá nebo jen vedením od ohřáté složky (např. směsi voda-tuk, voda-olej, voda-chlorid uhličitý atp.). V těchto případech se ohřívá jen voda. To má dalekosáhlý význam pro provádění chemických reakcí a v dalších procesech sušení, katalýza). Teplotní úlet – dochází k němu jen ve výjimečných případech, kdy schopnost absorpce mikrovln prudce stoupá s teplotou (např. u práškových kovů či, oxidů). U vody tento případ nehrozí, neboť absorpce mikrovln vodou s teplotou naopak klesá. Může však dojít k přehřátí vody nad 100C. [23]

Neteplotní efekty jsou efekty vyvolané přímým účinkem mikrovlnné energie na chemickou vazbu, tj. které se nedají vysvětlit žádným z výše uvedených teplotních efektu. Jejich existence však nebyla dosud vědecky plně prokázána. [23]

Výhody mikrovlnného ohřevu v chemických reakcích jsou vysoká rychlost ohřevu v celém objemu, urychlení chemických reakcí přehřátím reakční směsi, umožnění provedení reakce při vyšší teplotě bez použití tlaku, možnost zvýšení selektivity chemických reakcí, Provedení reakcí, které probíhají obtížně za klasických podmínek a úspory energie. [23]

Mezi problémy mikrovlnného ohřevu patří homogenita, přesněji nehomogenita mikrovlnného pole, kvantitativní detekce nehomogenity mikrovlnného pole, měření teploty (IČ pyrometr, optická vlákna) a reprodukovatelnost výsledků. [23]

5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

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

1. Syntetizovat hybridní částice ZnO/Ag.
2. Provést jejich charakterizaci metodami SEM a rentgenové difraktometrie.
3. Otestovat jejich účinek na bakteriální kmeny *Staphylococcus aureus* a *Escherichia coli*.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 EXPERIMENTÁLNÍ

6.1 Materiály použité v MW syntéze

Při přípravě vzorků byly použity tyto látky:

6.1.1 Octan Zinečnatý Dihydrát - $(\text{CH}_3\text{COOH})_2\text{Zn} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

- Výrobce: PENTA Chrudim, Ing. Petr Švec
- CAS: 5970-45-6, EINECS: 209-170-2
- Číslo šarže: 190707
- Hmotnost: 1000g
- M_r : 219,50
- Obsah: min 99,0%
- Látky nerozpustné ve vodě: max. 0,005%, Chloridy: max. 0,001%, Sírany: max. 0,002%, Fe: max. 0,005%, Alkálie a kovy alkalických zemin: max. 0,1%

6.1.2 Dusičnan Stříbrný - AgNO_3

- Výrobce: PENTA Chrudim, Ing. Petr Švec
- CAS: 7761-88-8, EINECS: 231-853-9
- Číslo šarže: 150807
- Hmotnost: 100g
- M_r : 169,87
- Obsah: min 99,5%
- Látky nerozpustné ve vodě: max. 0,005%, Chloridy: max. 0,005%, Sírany: max. 0,005%, Fe: max. 0,0005%, Látky nesrážející se s HCl: max. 0,04%

6.1.3 Polyvinylpyrrolidon – $\text{C}_6\text{H}_9\text{NO}$

- Výrobce: Sigma-Aldrich Chemie GmbH
- CAS: 9003-39-8
- $M_w = 40\ 000$

6.1.4 Hexamethylenetetramin – C₆H₁₂N₄

- Výrobce: Sigma-Aldrich Chemie GmbH
- CAS: 100-97-0, Č.ES: 202-905-8
- Číslo šarže: 1314144 10308127
- Hmotnost: 250g
- M_r: 140,19
- Obsah: min 99,5%
- Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Zn: max. 0,0005%, Cl, SO₄, K, Na: max. 0,005%, Ca: max. 0,001%, NH₄⁺: max. 0,01%

6.1.5 Glukóza Glukopur® - C₆H₁₂O₆

- Výrobce: Natura, a.s., Havlíčkův Brod
- Hmotnost: 250g

6.1.6 Amoniak - NH₃

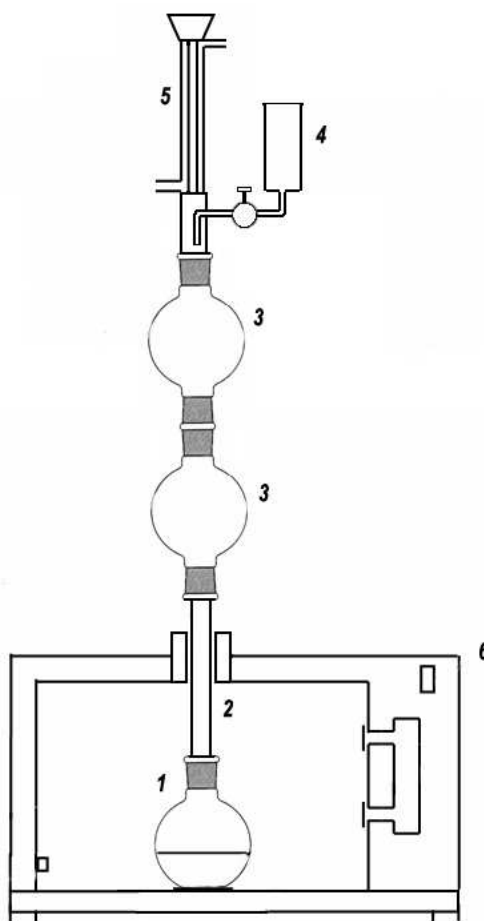
- Výrobce: PENTA Chrudim, Ing. Petr Švec
- CAS: 1336-21-6, ES EINECS: 215-647-6
- Číslo šarže: 220508
- Objem: 1000ml
- M_r: 17,03
- Obsah: 25-27%
- Netěkavé látky: max. 0,001%, Chloridy, Ca, Fe, těžké kovy: max. 0,0001%, Sírany: max. 0,0003%, Uhličitany: max. 0,002%

6.2 Zařízení k přípravě vzorků

Vzorky byly připraveny MW syntézou v MW zařízení, poté byla vzniklá disperzní kapalina přefiltrována. Filtrační koláč byl vystaven procesu sušení po dobu 24 hodin.

6.2.1 MW zařízení

Vzorky materiálu byly připraveny na MW zařízení CWR-TECH, jehož součástí je skleněná laboratorní sestava dle obrázku 14. MW zařízení – typ CWR-TECH vygeneruje maximální výkon 700W a jeho pracovní frekvence je 2,45GHz. Laboratorní sestava je složena z reakční baňky (1). Do reakční baňky je připraven vzorek a působením MW záření v tomto místě probíhá daná reakce. Z reakční baňky (1) přes prodlužovací nástavec (2) pokračuje skleněná sestava do chladicí části systému. Následují dva rozšířené odplyňovací nástavce (3), které zabraňují únikům reagujícího roztoku. Před zpětným chladičem (5) je přidán odkapávač (4), který umožňuje do probíhající reakce přidávat další roztok. Zpětný chladič poté zabraňuje úniku par z uzavřeného systému a vrací zpět vypařující se látky v podobě kondenzované kapaliny. Při výrobě vzorků byla rovněž sledována spotřeba energie – tuto funkci zajišťoval přístroj ENERGY CHECK 3000 Voltcraft®.

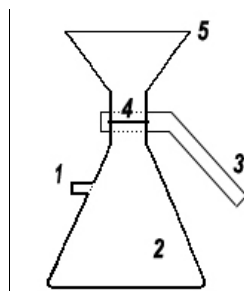


Obr. 13: MW zařízení s přidávanými laboratorními komponenty

- 1 – reakční baňka, 2 – prodlužovací nástavec, 3 – odplyňovací nástavec,
4 – odkapávač, 5 – zpětný chladič, 6 – MW zařízení

6.2.2 Filtrační sestava

Po krátkém vychladnutí reakční baňky byla prováděna filtrace vzniklého disperzního systému. Filtrace probíhala přes papírový filtr na filtrační sestavě firmy Sartorius. Tato sestava funguje na principu sání vzduchu z baňky umístěné pod filtrem. Filtrace u každého disperzního systému trvala odlišnou dobu v závislosti na velikosti a množství pevných částí.



Obr. 14: Schéma filtrační sestavy Sartorius

1 – odsávání vzduchu, 2 – baňka s filtrátem, 3 – spojovací kleště,

4 – filtrační podložka s filtračním papírkem, 5 – baňka na produkt syntézy

6.2.3 Sušárna MEMMERT

Sušení filtračního koláče probíhalo v sušárně MEMMERT UNB 400 při teplotě 40°C po dobu 24 hodin.

6.3 Zařízení pro charakterizaci vzorků

6.3.1 SEM

Mikroskopická charakterizace vzorků byla provedena pomocí zařízení VEGA II LM. Zařízení je rastrovací elektronový mikroskop s wolframovou žhavenou katodou. Je vybaven velkou analytickou komorou s plně motorizovaným manipulátorem.



Obr. 15: Elektronový mikroskop VEGA II LM [23]

Každý vzorek byl vždy skenován detektorem SE a BSE, přičemž výstup byl proveden ve zvětšení 20 μm , 10 μm , 5 μm a 2 μm u každého detektoru.

6.3.2 RTG

Rentgenová charakterizace vzorků byla provedena pomocí difraktometru X'Pert PRO od firmy PANalytical. Systém se skládá z goniometru, do kterého je vložen analyzovaný vzorek. Goniometr je řízen počítačem, jenž vyhodnocuje data z přístupných databází. Počítač je vybaven komerčním softwarem firmy PANalytical.



Obr. 16: Difraktometr X'Pert PRO [24]

7 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Byly zvoleny 3 druhy vzorků o definovaných koncentracích jednotlivých složek, přičemž každý vzorek byl vystaven dvěma časům působení MW záření.

7.1 AgZn – 012

Byly připraveny čtyři roztoky o následujících koncentracích:

roztok č. 1:	ZnAc ₂ · 2H ₂ O	10,8g	rozpuštěno v 70 ml H ₂ O
roztok č. 2:	AgNO ₃	0,6998g	rozpuštěno v 5 ml H ₂ O
roztok č. 3:	PVP	1,740g	rozpuštěno v 25 ml H ₂ O
roztok č. 4:	HTMA	6,9g	rozpuštěno v 50 ml H ₂ O

Průběh přípravy vzorku: $T_{MW} = 5 \text{ min}$

Roztok smíchaný z roztoků č. 1, č. 2 a č. 3 byl po dobu 5 min vystaven působení mikrovln. Po 2 min působení mikrovln přidán i roztok č. 4. Při smíchání prvních tří roztoků vznikl mléčně zakalený roztok. Po přidání roztoku č. 4 se po dobu 10 s tvořila pěna, poté beze změn. Výsledný vzorek po 5 min působení MW záření byl zbarven do světle zeleného odstínu. Při postupném usazování pevných částic tmavější odstín s lesklým povrchem baňky. Následná filtrace snadná a rychlá. Odfiltrované pevné částice (filtrační koláč) vložen i s filtrem do sušárny a vystaven 24 hodinovému sušení.



Obr. 17: Vzorek AgZn-012

7.2 AgZn – 013

Tento vzorek byl složením shodný ze vzorkem AgZn – 012. Příprava vzorku byla prováděna shodně s tím rozdílem, že roztok byl vystaven delšímu působení MW záření.

Průběh přípravy vzorku: $T_{MW} = 15 \text{ min}$

Po 2 min přidán roztoku č. 4 (HTMA). Po dobu 10 s se tvořila pěna, poté vymizela. V čase 5 min 15 s začala pěna tmavého odstínu vystupovat do prodlužovacího nadstavce. Po 6 min se tmavý odstín začal zesvětlovat. V čase 6 min 35 s světlý – bílý odstín. Pěna postupně vystoupala do druhé baňky a v obou baňkách se začaly tvořit tmavé pevné částice. V 8 min mírně zelený odstín a tmavá pěna v druhé baňce. Výsledný vzorek po 15 min působení MW záření byl zbarven do šedostříbrného odstínu. Při této přípravě byl odebrán i vzorek, který se usadil v obou chladičích. Tyto vzorky byly označeny AgZn – 013.1 (horní chladič aparatury) a AgZn – 013.2 (dolní chladič aparatury). Filtrace snadná a rychlá. Vzorky vloženy i s filtrem do sušárny a vystaveny 24 hodinovému sušení.



Obr. 18: Vzorek AgZn-013



Obr. 19: Vzorek AgZn-013.1



Obr. 20: Vzorek AgZn-013.2

V další přípravě vzorků použijeme glukózu $C_6H_{12}O_6$ a amoniak NH_3 . Provedeme její přečet. Při výrobě dalších vzorků použijeme 2,954 g glukózy a 14,55 ml amoniaku.

7.3 AgZn – 014

Dle propočtů byly připraveny čtyři roztoky o následujících koncentracích:

roztok č. 1:	$ZnAc_2 \cdot 2H_2O$	10,8g	rozpuštěno v 80 ml H_2O
roztok č. 2:	$AgNO_3$	0,699g	rozpuštěno v 20 ml H_2O
roztok č. 3:	$C_6H_{12}C_6 + NH_3$		rozpuštěno v 34 ml H_2O
	$C_6H_{12}C_6$	2,954g	
	NH_3	14,55ml	

Průběh přípravy vzorku: $T_{MW} = 5 \text{ min}$

Byl smíchán roztok č. 1 a č. 2. Po 2 min neustálého působení MW záření byl do baňky vpraven i roztok č. 3. V 3 min působení MW záření se začala tvořit pěna světle béžového odstínu. Po 3 min a 30 s se zaplňoval první chladič. Po 5 min působení MW záření získal výsledný béžový odstín. Filtrace probíhala nenáročně, pomalejší než filtrace předešlé.



Obr. 21: Vzorek AgZn-014

7.4 AgZn – 015

Průběh přípravy vzorku: $T_{MW} = 15 \text{ min}$

Při 15 min MW syntéze probíhala příprava vzorku v 5 min intervalu obdobně jako u vzorku AgZn – 014. Ve 3 min začala vznikat pěna světle béžového odstínu. Po 9 min se roztok začal zbarvovat do zeleného odstínu, poté špinavě zelený odstín. Ke konci 15 min intervalu tmavější odstín. Vznikl tmavě zelený roztok. Filtrace zdlouhavá.



Obr. 22: Vzorek AgZn-015

7.5 AgZn – 016

Při přípravě poslední dvojice vzorků byly použity tyto koncentrace látek:

roztok č. 1:	$\text{ZnAc}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	10,8g	rozpuštěno v 70 ml H_2O
roztok č. 2:	AgNO_3	0,699g	rozpuštěno v 5 ml H_2O
roztok č. 3:	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{C}_6 + \text{NH}_3$		rozpuštěno v 34 ml H_2O
	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{C}_6$	2,954g	
	NH_3	14,55ml	
roztok č. 4:	PVP	1,74g	rozpuštěno v 25 ml H_2O

Průběh přípravy vzorku: $T_{MW} = 5 \text{ min}$

Základní roztok byl vytvořen smícháním roztoků č.1, č.2 a roztoku č.4. Po 2 min působení MW přidán roztok č. 3. Při přidání roztoku č.3 vznikla bílá pěna, které rychle vymizela. Poté ve skleněné aparatuře nepozorovány žádné změny. Po 5 min působení MW béžový odstín roztoku. V delším časovém intervalu při sedimentaci pevných částí vznikly v baňce 3 vrstvy. Spodní vrstva světle béžový odstín – pevné části. Prostřední vrstva tmavější roztok s mikročásticemi. Horní vrstva kapaliny s tmavějším odstínem s nádechem červené. Filtrace probíhala časově podobně jako u vzorku AgZn – 014.



Obr. 23: Vzorek AgZn-016

7.6 AgZn – 017

Průběh přípravy vzorku: $T_{MW} = 15 \text{ min}$

Obdobný způsob jako u přípravy vzorku AgZn – 016. Po 2 min, kdy byl přidán roztok č.3, se na rozdíl od předešlého pokusu neobjevila bílá pěna. Pěna vznikla až v čase 4 min 5 s a v čase 4 min 30 s vystoupala až do druhého chladiče. Odstín postupem času žloutne, posléze načervenalý (rezavý) odstín. V čase 9 min a 30 s je horní chladič tmavějšího odstínu. 12 min. pokusu tmavě zelený odstín. Ve 14 min. pokusu mix odstínů tmavě zelené. Po skončení 15 min MW syntézy se udržuje stále tmavě zelený odstín. Filtrace probíhá obdobně jako předešlý pokus.



Obr. 24: Vzorek AgZn-017

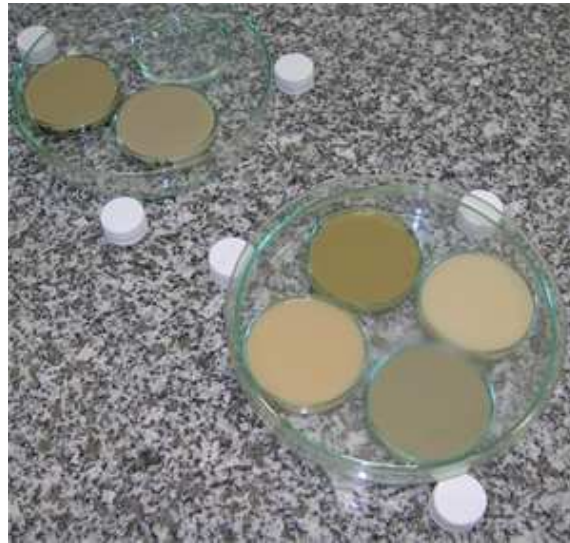
7.7 Spotřeba energie a výtěžnost syntézy

Označení vzorku	Doba působení MW záření [s]	Spotřeba energie [kWh]	Celková hmotnost vzorku [g]
AgZn - 012	300	97	0,893
AgZn - 013	900	315	0,959
AgZn - 014	300	97	3,385
AgZn - 015	900	315	2,665
AgZn - 016	300	97	3,138
AgZn - 017	900	315	2,171

Tab. 1: Spotřeba energie a výtěžnost syntézy

7.8 Příprava vzorků pro antibakteriální zkoušky

Pro potřeby antibakteriálních zkoušek bylo potřeba připravit fólie dle definovaných rozměrů. Byl připraven roztok, který obsahoval jednotlivý vzorek (ve formě prášku), PVA a H₂O. Po vysušení při pokojové teplotě (obr. 25) byl fóliový materiál pro antibakteriální zkoušku připraven. Připravili jsme 7 dávek pro 6 vzorků a 1 dávka bez přidaného vzorku (pouze PVA a H₂O).

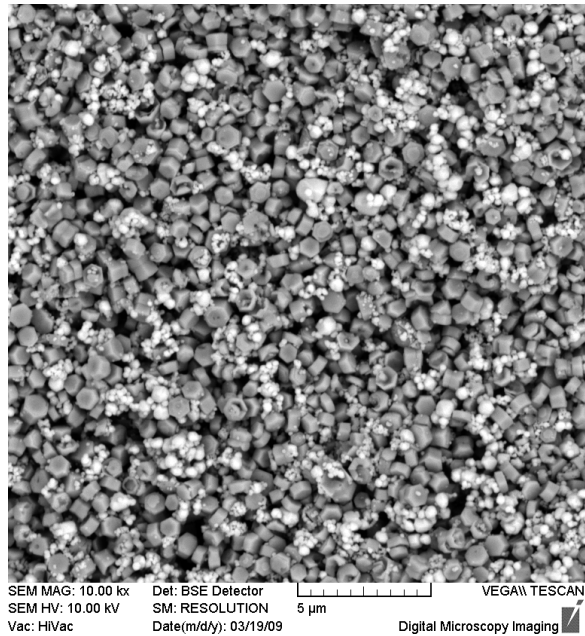


Obr. 25: Sušení fólií pro antibakteriální zkoušky

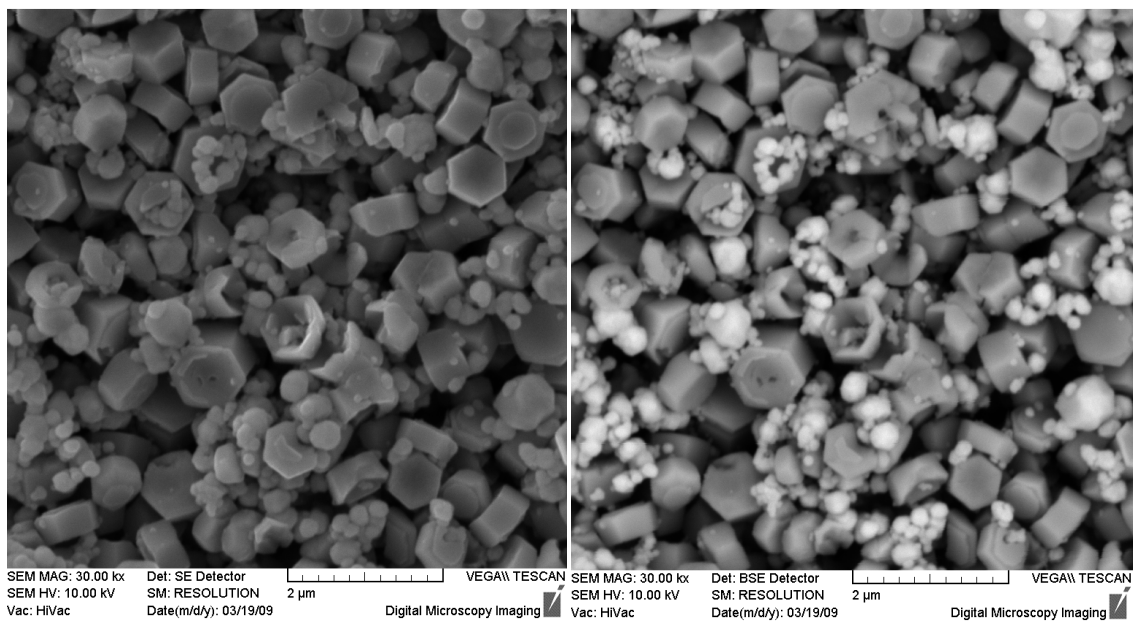
Z takto připravených fólií byly pro účely stanovení antibakteriálních vlastností materiálů zkouškou inhibičních zón na agarových plotnách vysekány kruhové vzorky (8mm v průměru). Vzorky se umístí na agarové plotny, kde je již rovnoměrně rozprostřen příslušný bakteriální roztok (10⁸ CFU/ml). Využívají se *Escherichia coli* a *Staphylococcus aureus*. Po 24 h inkubaci při teplotě 37°C se měří vzdálenosti inhibičních zón v pěti různých směrech. Z naměřených výsledků se vypočítá průměrná hodnota, která udává kruhovou inhibiční zónu.

8 CHARAKTERIZACE PŘIPRAVENÝCH VZORKŮ

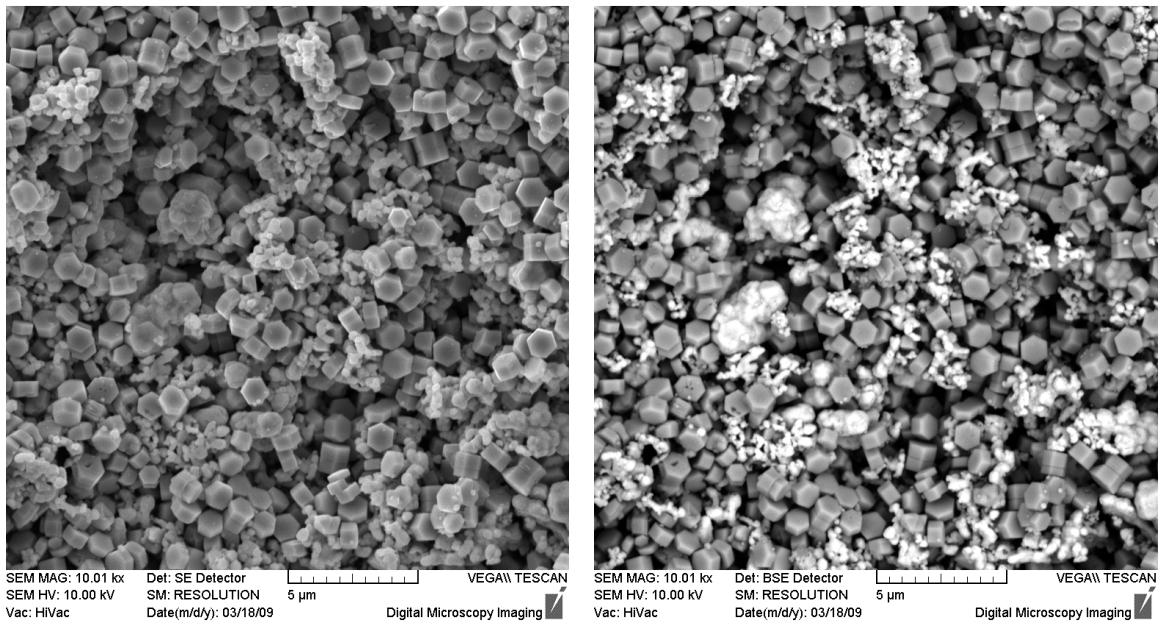
8.1 Mikroskopie vzorků



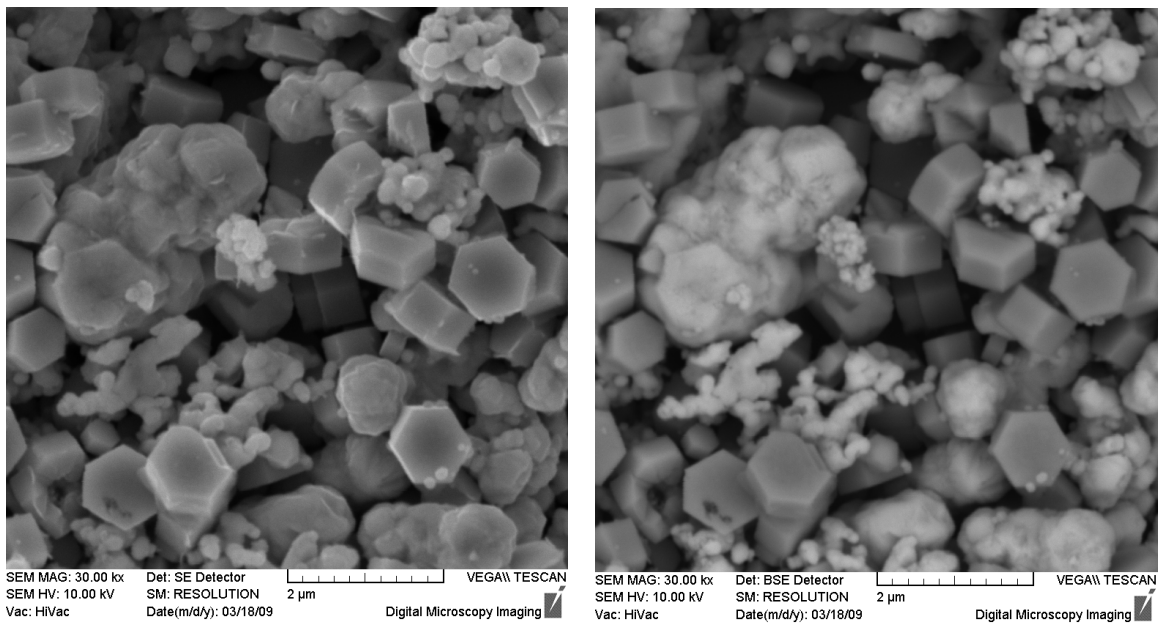
Obr. 26: Vzorek AgZn-012 při zvětšení 5 μm



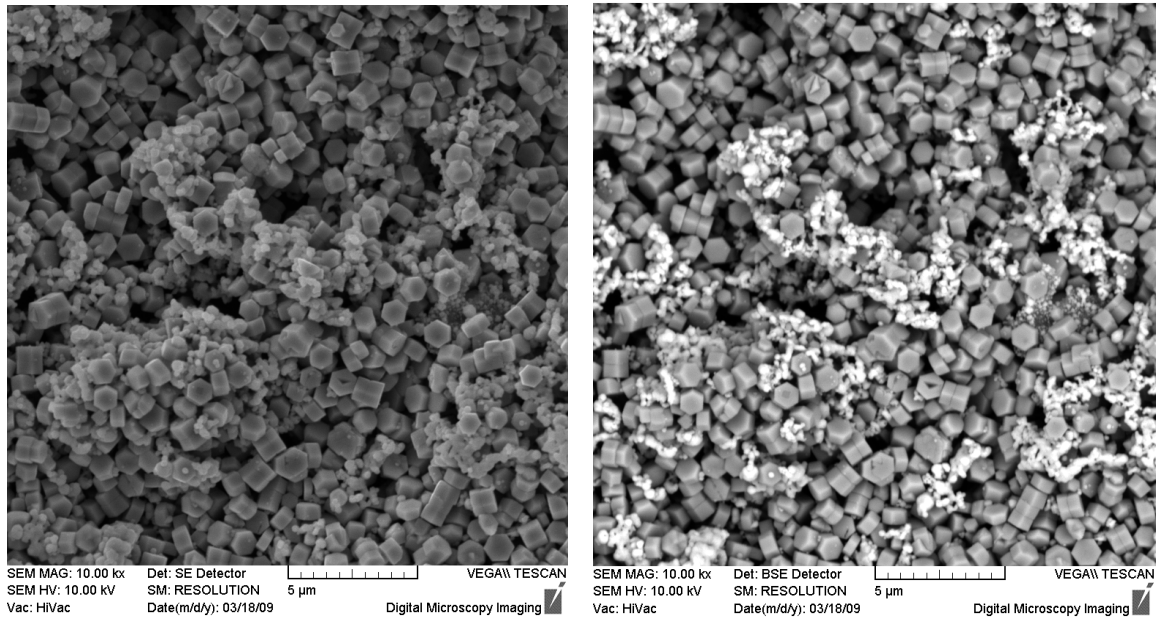
Obr. 27: Vzorek AgZn-012 při zvětšení 2 μm



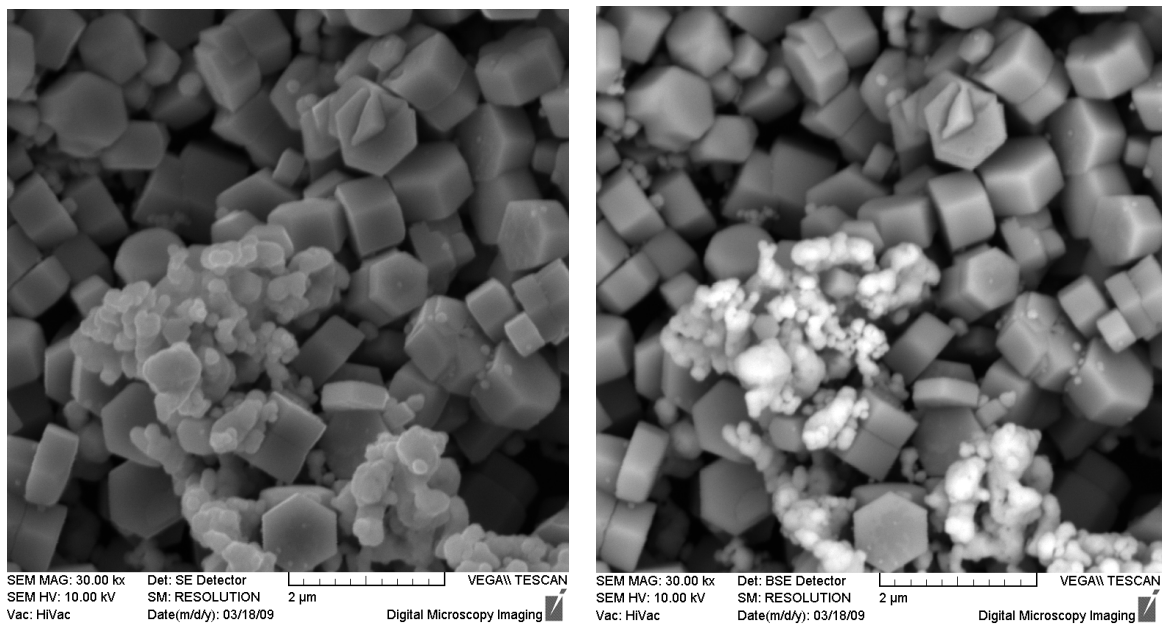
Obr. 28: Vzorek AgZn-013 při zvětšení 5 µm



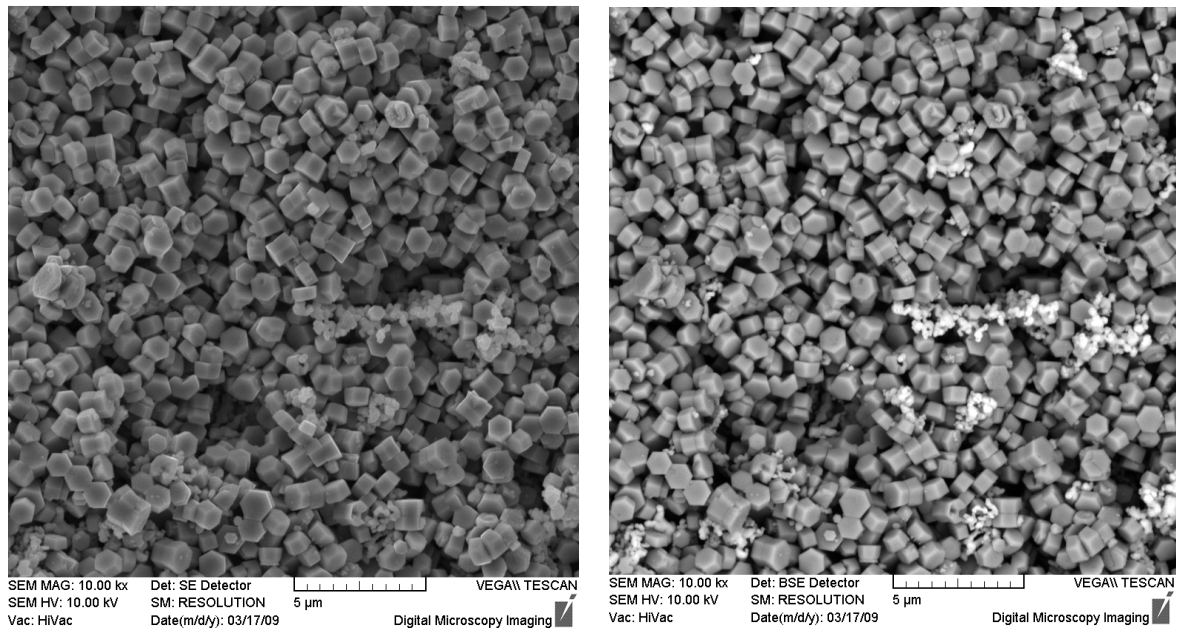
Obr. 29: Vzorek AgZn-013 při zvětšení 2 µm



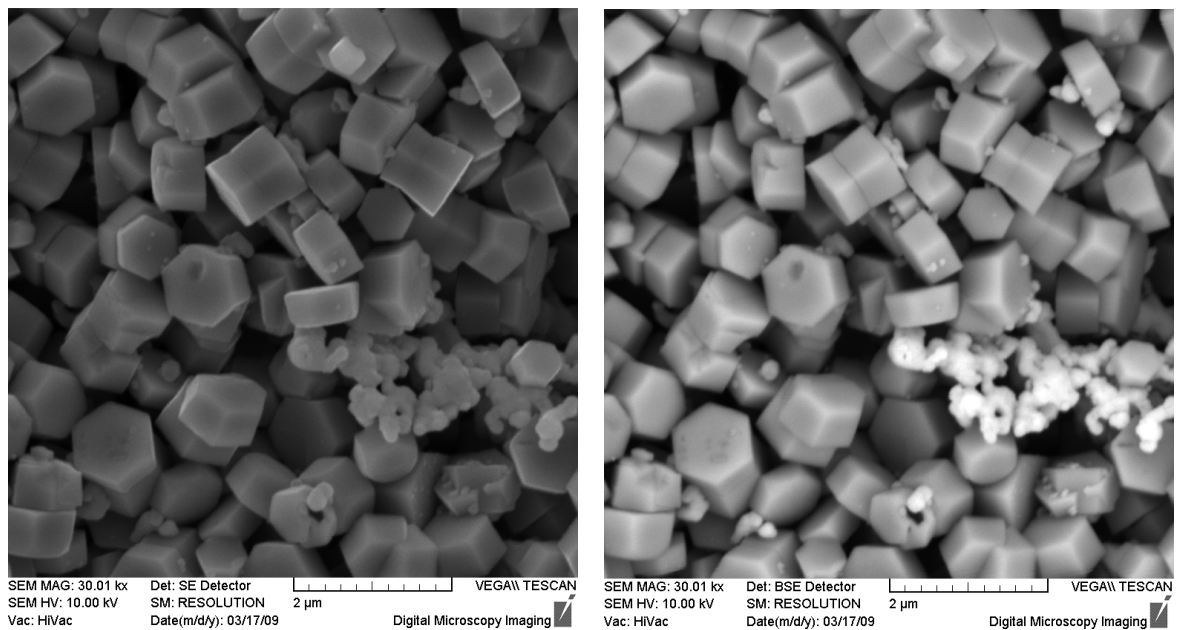
Obr. 30: Vzorek AgZn-013.1 při zvětšení 5 μm



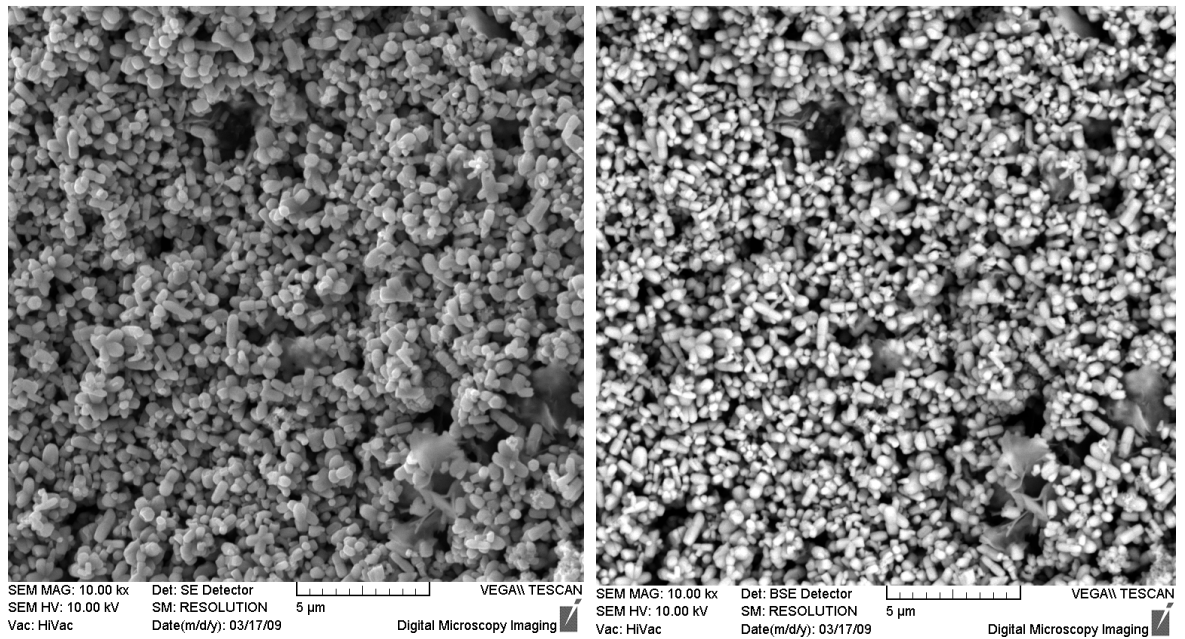
Obr. 31: Vzorek AgZn-013.1 při zvětšení 2 μm



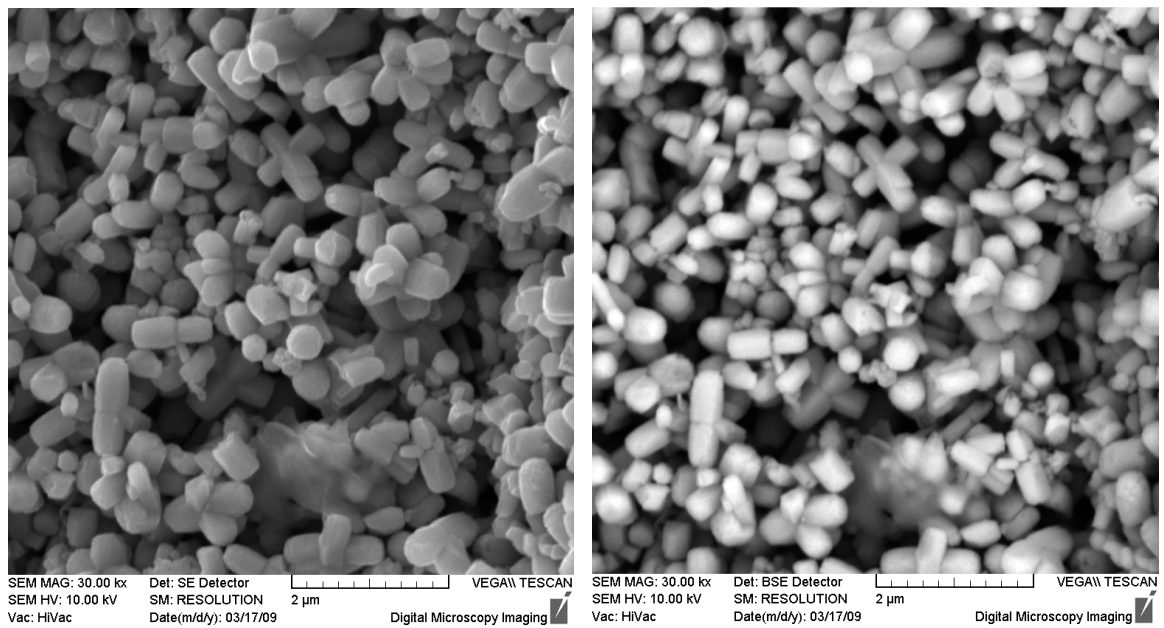
Obr. 32: Vzorek AgZn-013.2 při zvětšení 5 μm



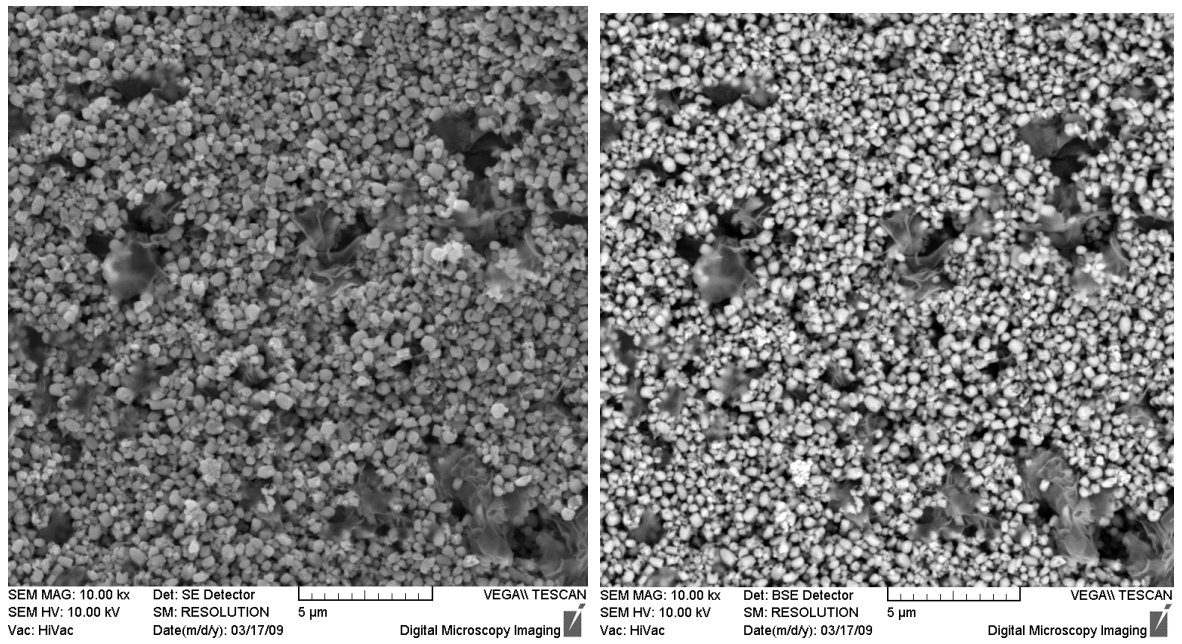
Obr. 33: Vzorek AgZn-013.2 při zvětšení 2 μm



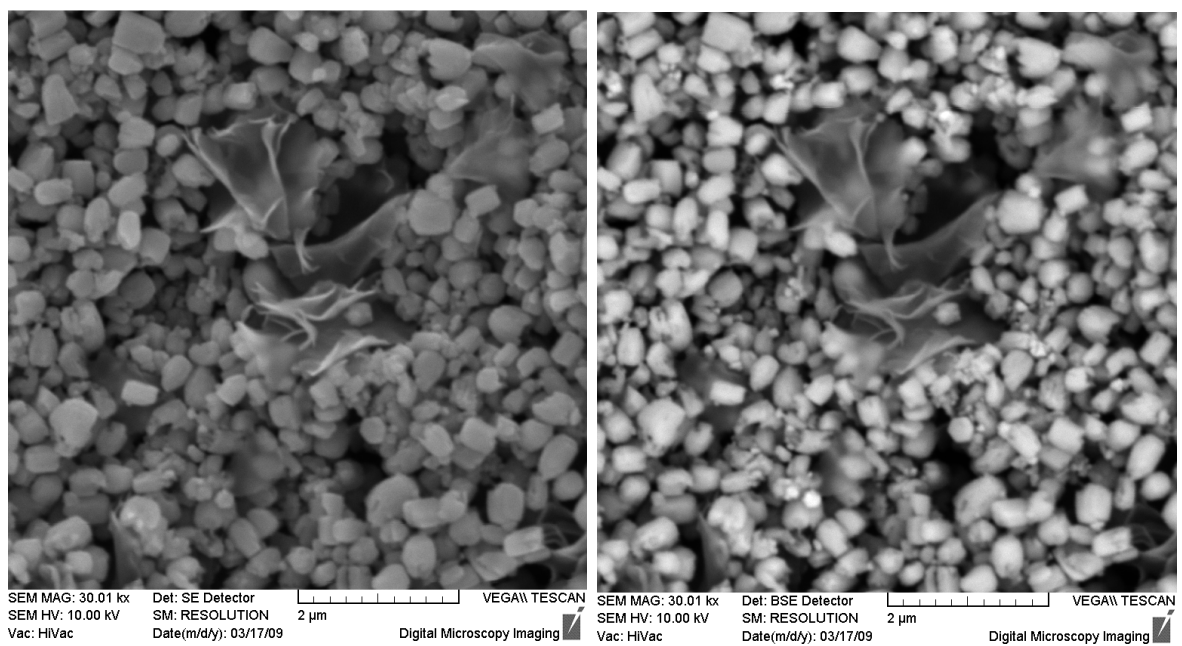
Obr. 34: Vzorek AgZn-014 při zvětšení 5 µm



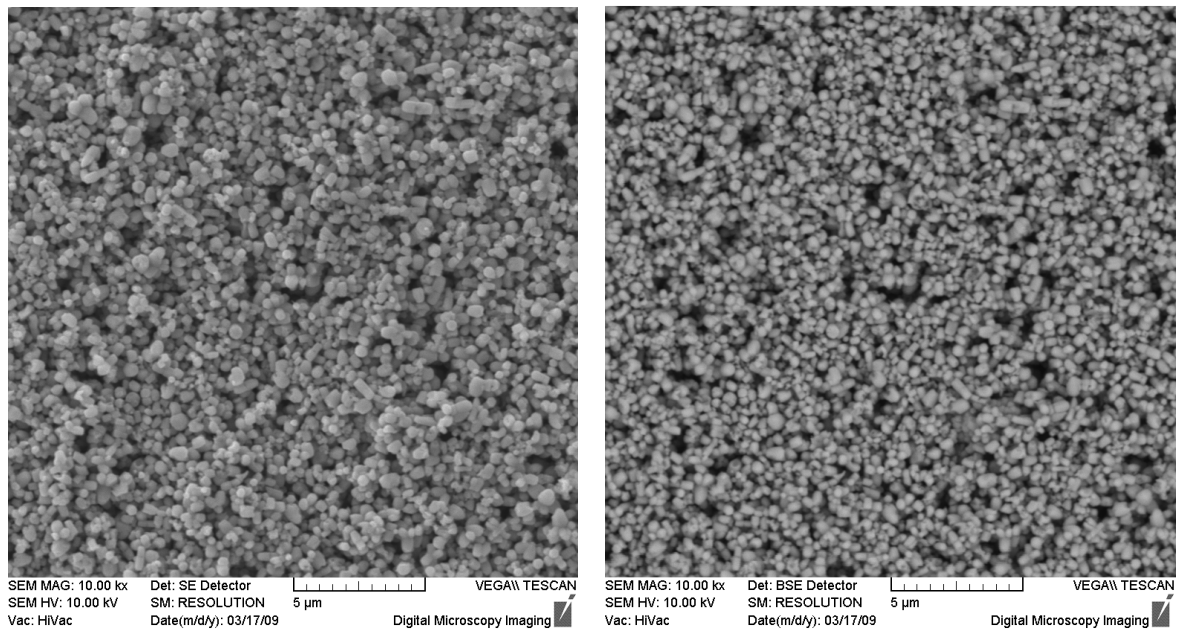
Obr. 35: Vzorek AgZn-014 při zvětšení 2 µm



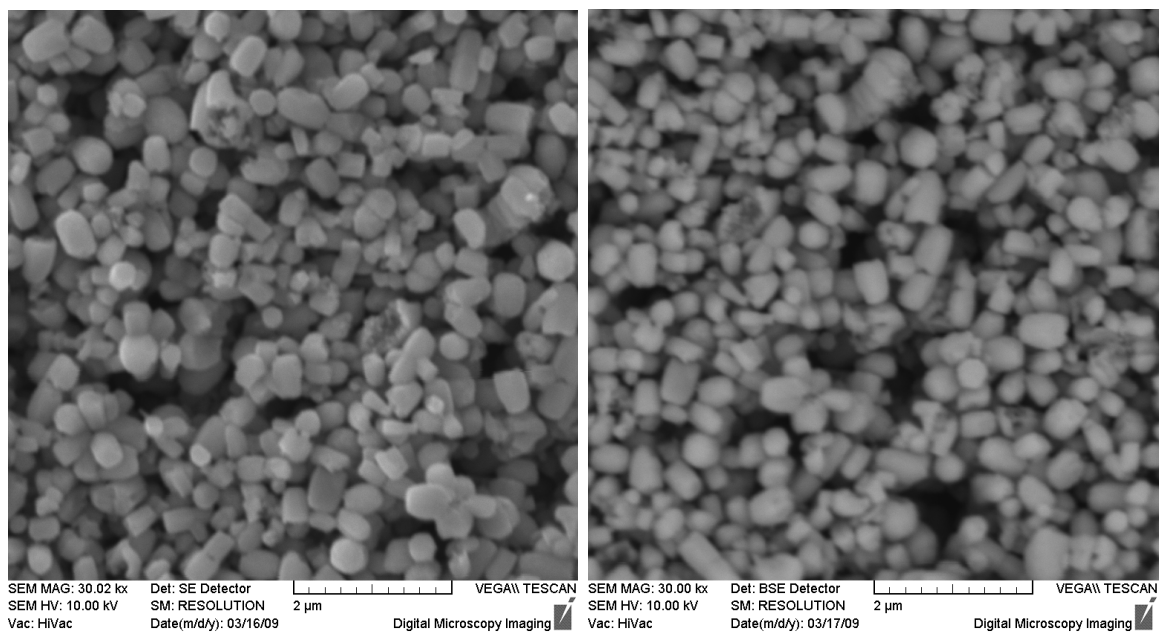
Obr. 36: Vzorek AgZn-015 při zvětšení 5µm



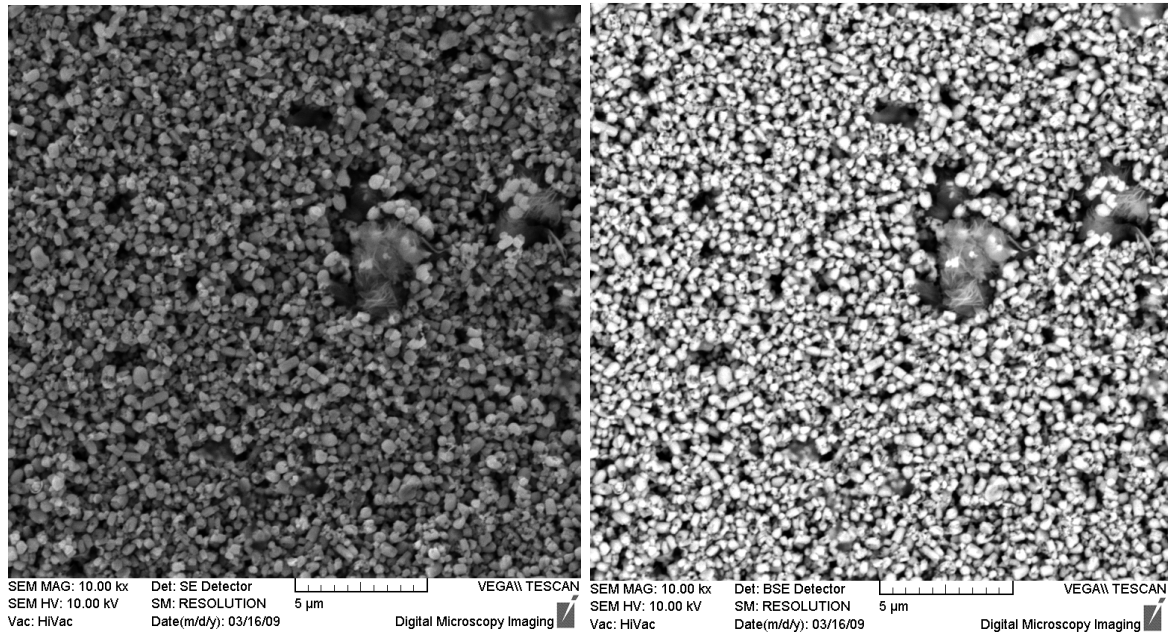
Obr. 37: Vzorek AgZn-015 při zvětšení 2 µm



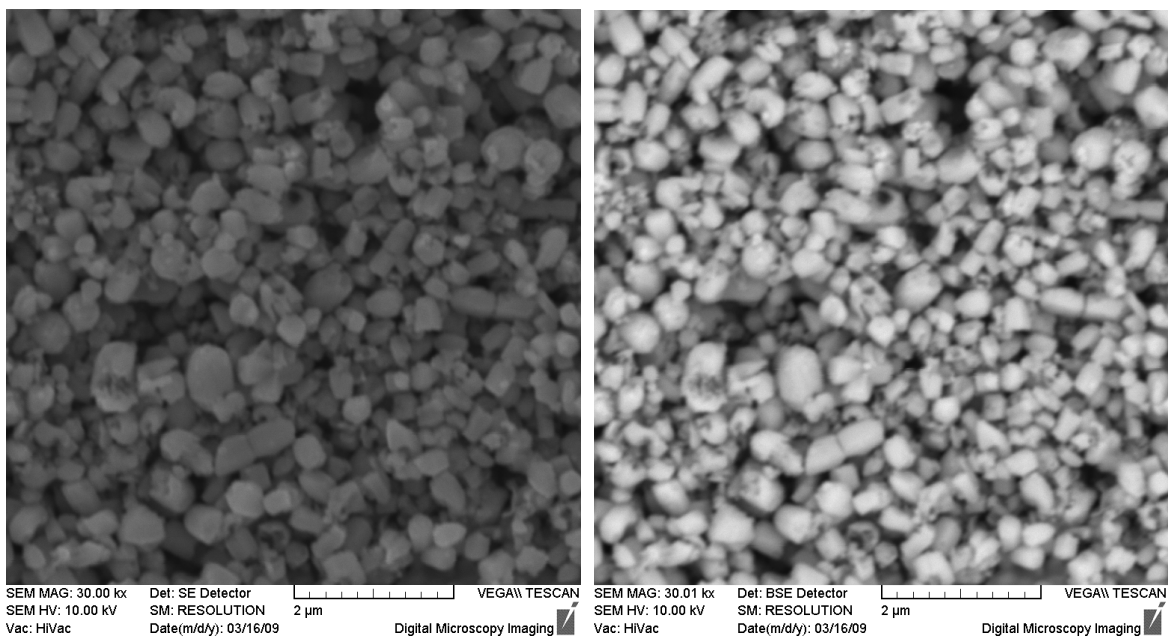
Obr. 38: Vzorek AgZn-016 při zvětšení 5 μm



Obr. 39: Vzorek AgZn-016 při zvětšení 2 μm



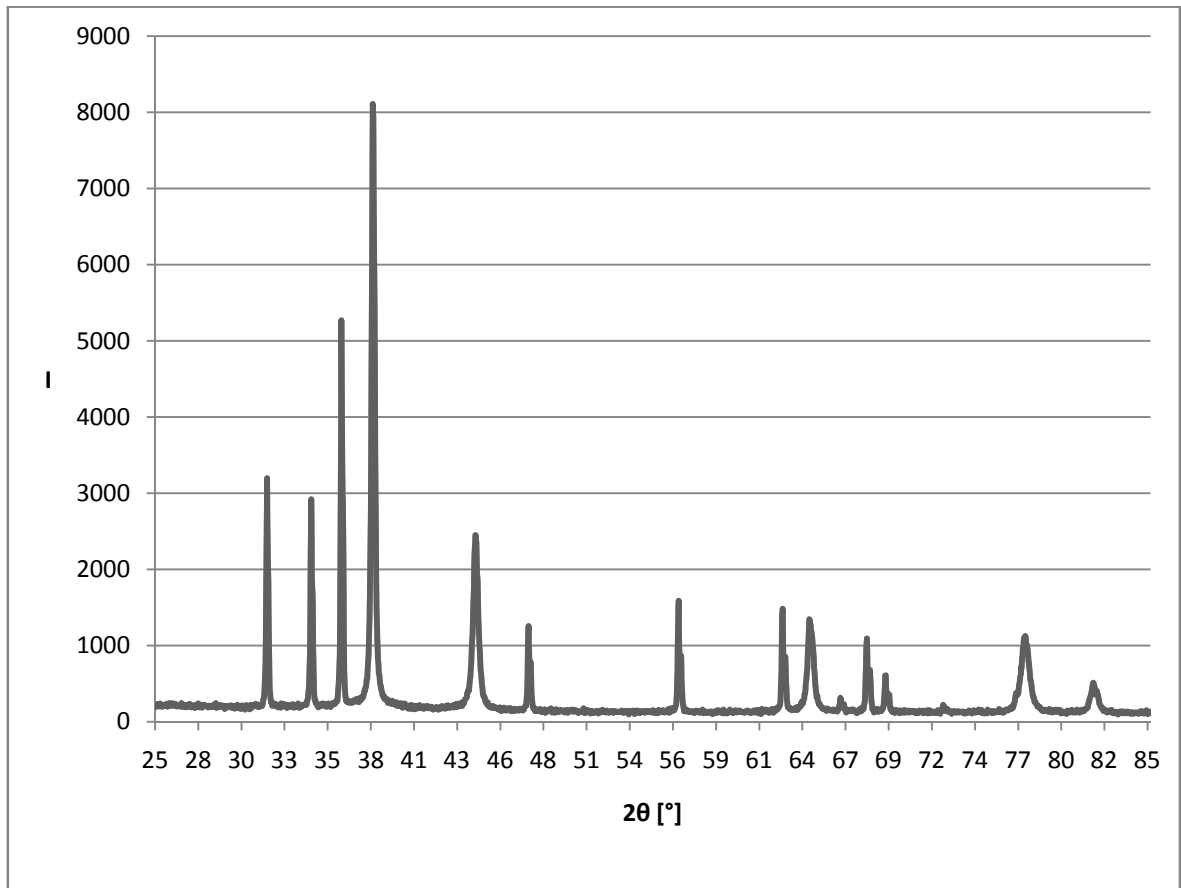
Obr. 40: Vzorek AgZn-017 při zvětšení 5 μm



Obr. 41: Vzorek AgZn-017 při zvětšení 2 μm

8.2 RTG difrakce vzorků

8.2.1 Vzorek AgZn-012

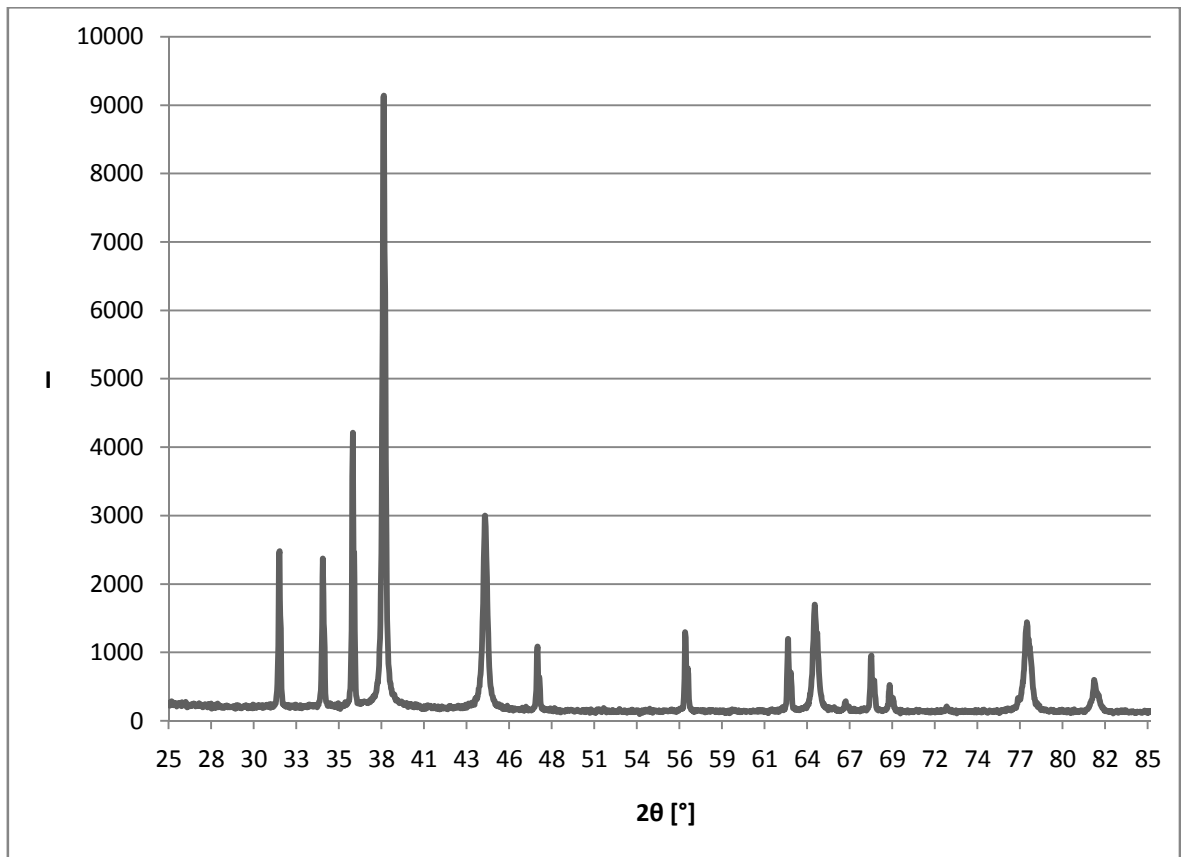


Obr. 42: Difraktogram vzorku AgZn-012

Výsledné porovnání s dostupnými databázemi vykazalo v krystalické fázi přítomnost oxidu zinečnatého a stříbra v tomto procentuálním zastoupení:

- Oxid Zinečnatý (ZnO) - 66%
- Stříbro (Ag) - 34%

8.2.2 Vzorek AgZn-013

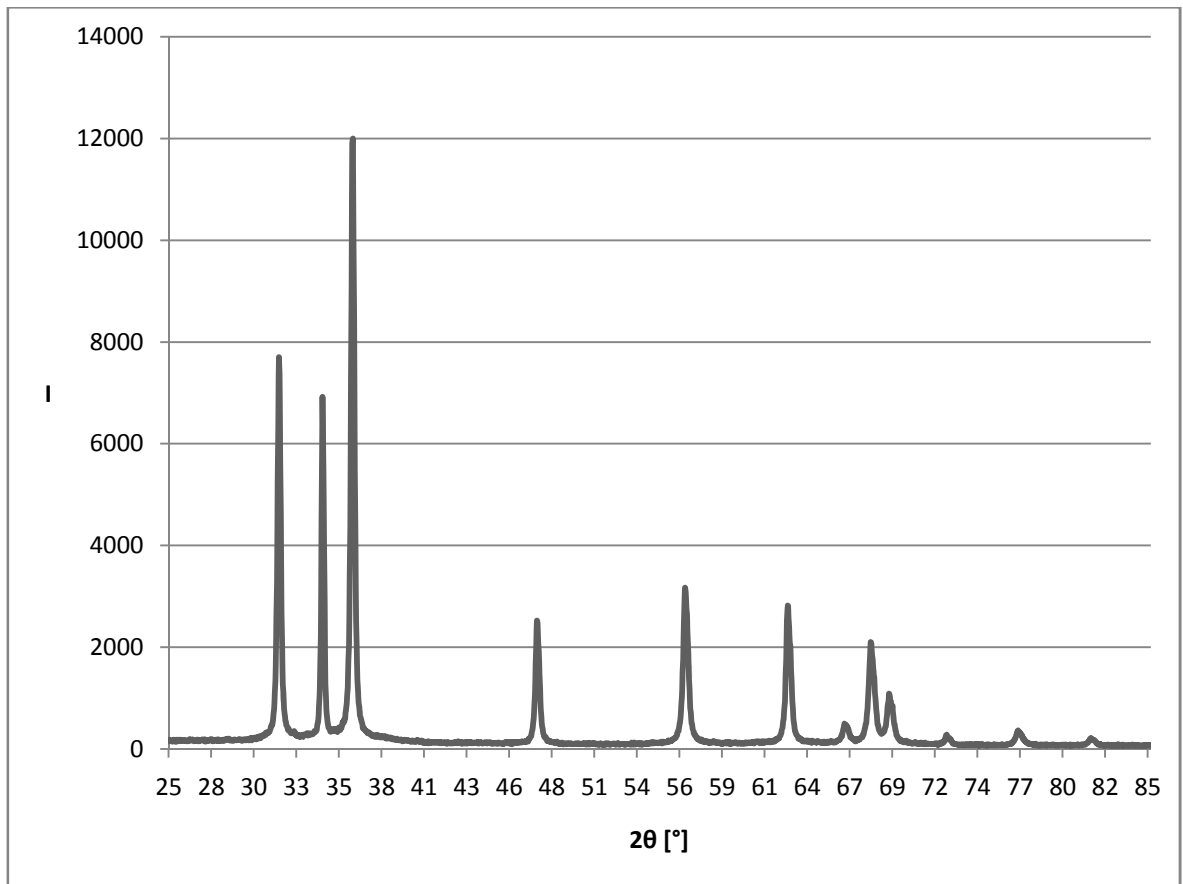


Obr. 43: Difraktogram vzorku AgZn-013

Výsledné porovnání s dostupnými databázemi vykázalo v krystalické fázi přítomnost oxidu zinečnatého a stříbra v tomto procentuálním zastoupení:

- Oxid Zinečnatý (ZnO) - 61%
- Stříbro (Ag) - 39%

8.2.3 Vzorek AgZn-014

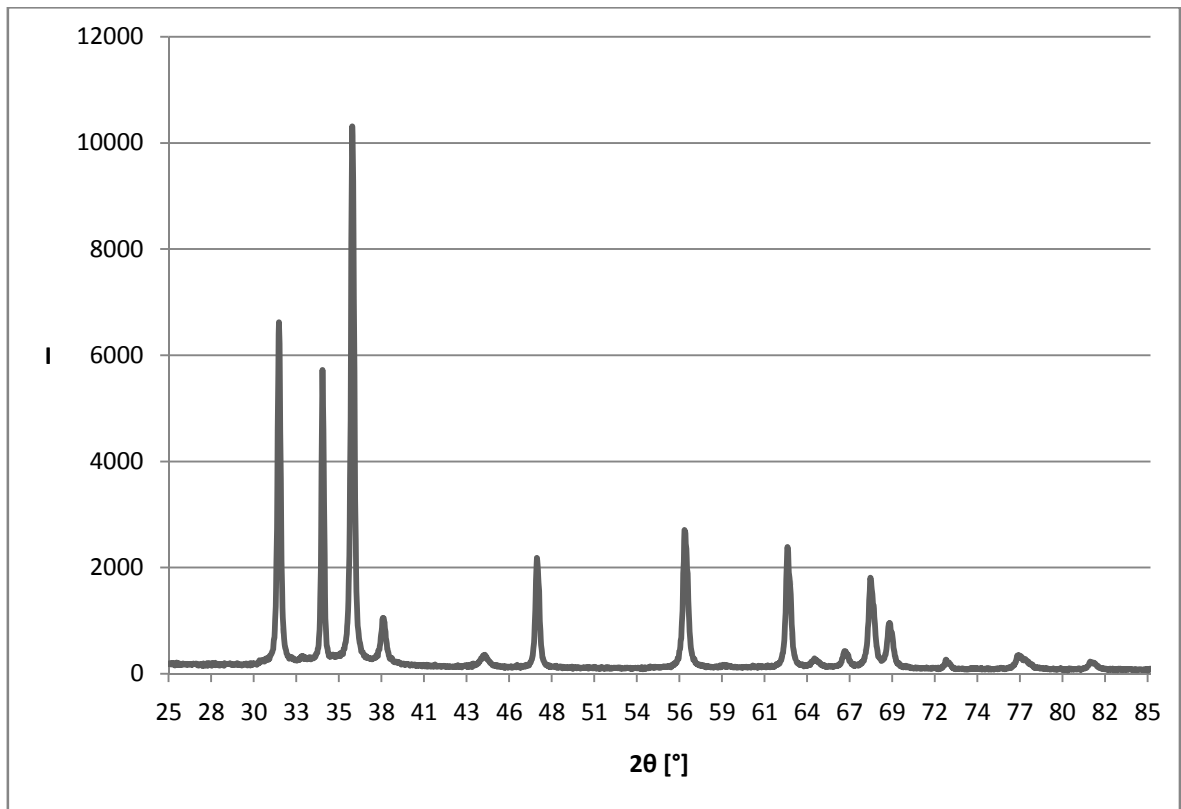


Obr. 44: Difraktogram vzorku AgZn-014

Výsledné porovnání s dostupnými databázemi vykazalo v krystalické fázi přítomnost oxidu zinečnatého ve stoprocentním zastoupení:

- Oxid Zinečnatý (ZnO) - 100%

8.2.4 Vzorek AgZn-015

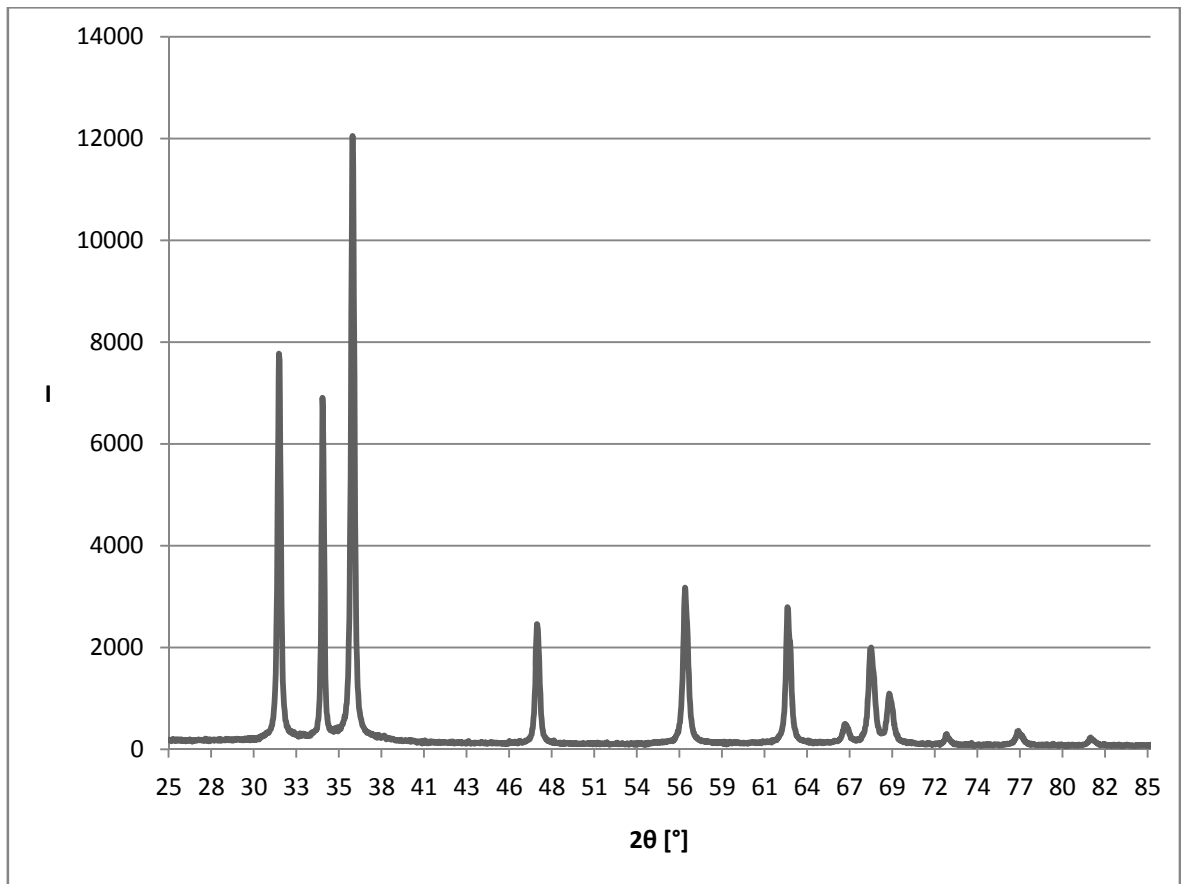


Obr. 45: Difraktogram vzorku AgZn-015

Výsledné porovnání s dostupnými databázemi vykazalo v krystalické fázi přítomnost oxidu zinečnatého a stříbra v tomto procentuálním zastoupení:

- Oxid Zinečnatý (ZnO) - 98%
- Stříbro (Ag) - 2%

8.2.5 Vzorek AgZn-016

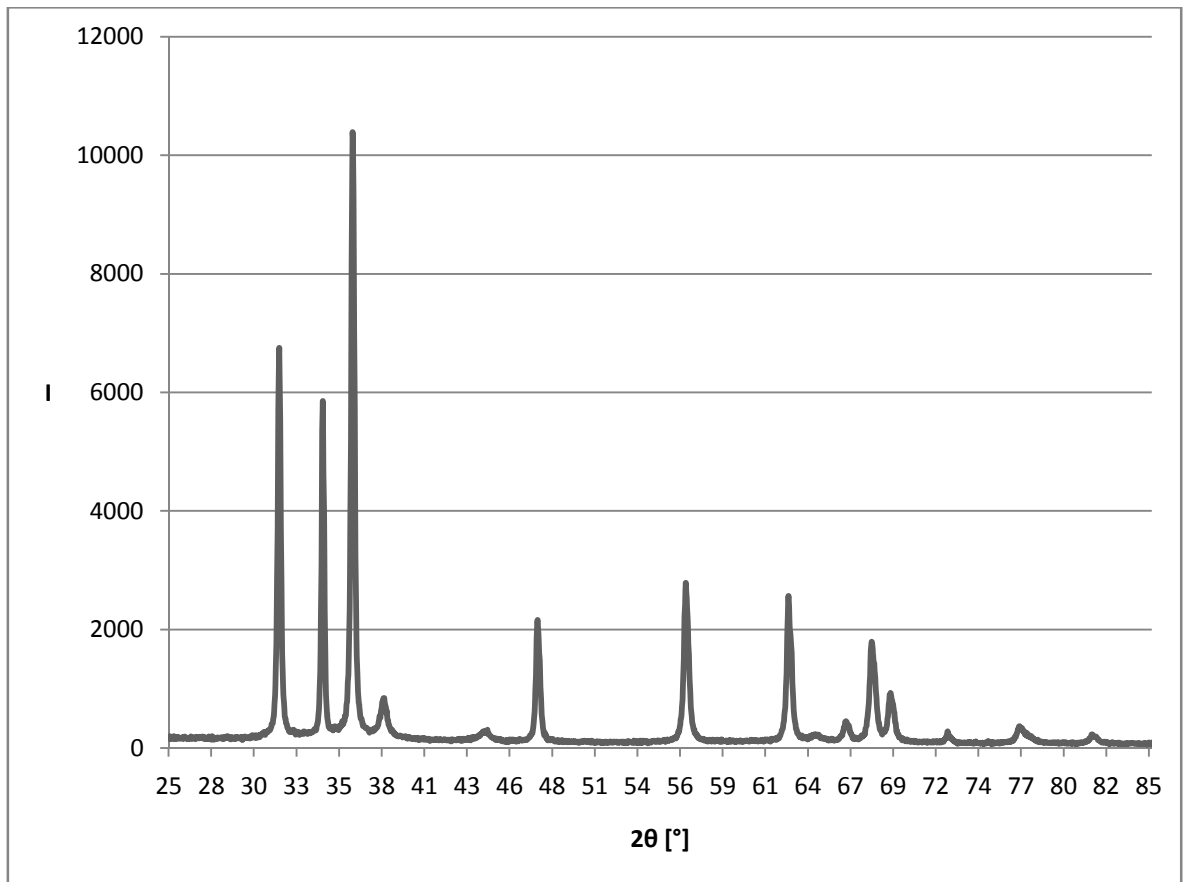


Obr. 46: Difraktogram vzorku AgZn-016

Výsledné porovnání s dostupnými databázemi vykazalo v krystalické fázi přítomnost oxidu zinečnatého ve stoprocentním zastoupení:

- Oxid Zinečnatý (ZnO) - 100%

8.2.6 Vzorek AgZn-017



Obr. 47: Difraktogram vzorku AgZn-017

Výsledné porovnání s dostupnými databázemi vykazalo v krystalické fázi přítomnost oxidu zinečnatého a stříbra v tomto procentuálním zastoupení:

- Oxid Zinečnatý (ZnO) - 98%
- Stříbro (Ag) - 2%

8.3 Vyhodnocení bakteriálních zkoušek

8.3.1 Test proti *Escherichia coli*

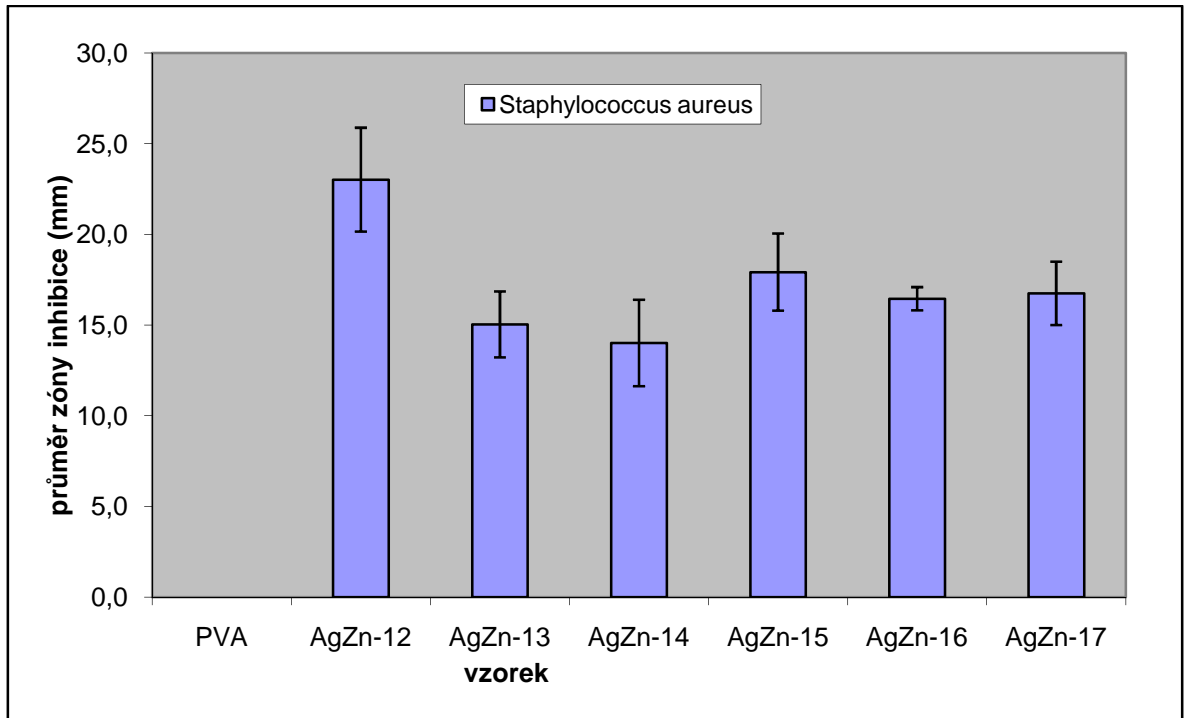
Připravené vzorky nevykazovaly antibakteriální aktivitu proti *Escherichia coli*

8.3.2 Test proti *Staphylococcus aureus*

Výsledky představují aritmetický průměr 3 měření – každý vzorek byl testován 3x.

Označení vzorku	Průměr inhibiční zóny (mm)	Směrodatná odchylka (mm)
PVA	0,0	0,0
AgZn-12	23,0	2,9
AgZn-13	15,0	1,8
AgZn-14	14,0	2,4
AgZn-15	17,9	2,1
AgZn-16	16,5	0,6
AgZn-17	16,8	1,8

Tab. 2: Průměrné hodnoty inhibičních zón pro jednotlivé vzorky



Obr. 48: Průměrné hodnoty inhibičních zón pro jednotlivé vzorky

ZÁVĚR

Byly připraveny materiály na bázi ZnO, které obsahují stříbro ve formě částic. Metoda přípravy materiálu je velmi rychlá, mikrovlnami asistovaná, syntézní cesta, která poskytuje značnou variabilitu při hledání způsobů jak připravit nové tvary a formy aktivních antibakteriálních plniv z již známých materiálů. Pořízené SEM snímky dokumentují poměrně dobrou jednotnost rozměrů a tvarů připravených částic. Různé metody chemického srážení za mikrovlnného ohřevu poskytovaly částice s odlišnou morfologií, zejména ovlivňovaly výskyt částic stříbra.

Morfologie oxidu zinečnatého byla ovlivněna méně, vždy vznikaly hexagonální tyčinkovité krystaly, pouze při aplikaci HTMA byly vznikající krystaly ve tvaru dvojitých bubnů a pravděpodobně duté.

Připravená plniva měla velmi výrazný efekt na staphylococcus aureus, který je významným patogenem. Účinek na Escherichia coli v použitém testu pozorován. Pro další vývoj plniva lze doporučit zaměření na hybridní systém obsahující migrující složky aktivní proti Escherichia coli. Nejslibnějším kandidátem se jeví materiál připravený s HTMA, který pravděpodobně má pórezní strukturu a tudíž by mohl posloužit zároveň jako nosič i jako antibakteriální plnivo sám o sobě.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BARTOVSKÁ, L., ŠIŠKOVÁ, M.: *Disperzní systém* [online]. 2005, [cit. 2009-05-10].
<http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/disperzni_system.html>
- [2] *Kompozity* [online]. [cit. 2009-05-10].
<<http://delta.fme.vutbr.cz/mikromechanika/kompozityA4.pdf>>
- [3] DUCHÁČEK, V.: *Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití* [online]. 2. Vydání, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006, [cit. 2009-05-10]. ISBN 80-7080-617-6.
<http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-617-6/pages-img/154.html>
- [4] ALBERTS, B., et al.: *Molecular biology of the cell: Visualizing cells*. 4th edition. New York: Garland Science, 2002. ISBN 0-8153-3218-1
- [5] *Výskyt nanočástic* [online]. [cit. 2009-04-13]
<http://www.nanosilver.it/eng/nano_silver.htm>
- [6] NEBESÁŘOVÁ, J.: *Elektronová mikroskopie pro biology* [online]. [cit. 2009-04-13]. <<http://www.paru.cas.cz/lem/book/Podkap/7.0.html>>
- [7] *Úvod do mineralogie: Rentgenometrické metody*. [online]. 2002, [cit. 2009-04-13].
< http://www.museum.mineral.cz/mineraly/ucebnice/obecna_min/o_35.php >
- [9] KVASNIČKOVÁ, A.: *Aplikace nanotechnologie v potravinářství* [online]. 2008, [cit. 2009-01-11].
<http://www.agronavigator.cz/UserFiles/File/Agronavigator/Kvasnickova_2/Nanotechnologie_web-final.pdf>
- [20] *Předpokládaný mechanismus denaturace bakterie* [online]. [cit. 2009-01-11].
<nano-silver.net/eng>
- [31] *Zinek a jeho sloučeniny* [online]. [cit. 2009-04-13].
<http://www.irz.cz/repository/latky/zinek_a_jeho_slouceniny.pdf>
- [42] *Bezpečnostní list – oxid zinečnatý* [online]. Bochemie, a.s.. 2008, [cit. 2009-04-13]. <http://www.bochemie.cz/ke-stazeni/bezpecnostni-listy/ap_2>

- [53] NOVÁKOVÁ, A.: *Antibakteriální účinek tavící soli HBS (polyfosforečnan s dlouhým lineárním řetězcem)*, Bakalářská práce, FT UTB Zlín, 2006.
- [64] GALYA, T., SEDLAŘÍK, V., KUŘITKA, I., et al.: *Antibacterial Poly(vinyl Alcohol) Film Containing Silver Nanoparticles: Preparation and Characterization*. Journal of applied polymer science, 110, 2008, str. 3178-3185.
- [75] ŠILHÁNKOVÁ, L.: *Mikrobiologie pro potravináře a biotechnology*. 2. vydání. Praha: Victoria Publishing, 1995. ISBN 80-85605-71-6.
- [86] *Candida albicans* [online]. [cit. 2009-08-08].
<http://www.chuv.ch/imul/imu_home/imu_collaborations/euresfun.htm>
- [97] *Staphylococcus aureus* [online]. [cit. 2009-08-08].
<<http://info-bashkirbeehoney.com/eigenschaften/eigenschaften1.html>>
- [108] *Escherichia coli* [online]. [cit. 2009-08-08].
<http://inventorspot.com/articles/e_coli_turns_sugar_hydrogen_fuel_10299>
- [119] *Antibakteriální aplikace kompozitů* [online]. [cit. 2009-08-08].
<<http://www.ssnano.net/en/modules/tinyd2/>>
- [20] *What is biofilm?* [online]. 2005, [cit. 2009-04-13].
<http://www.bionewsonline.com/n/what_is_biofilm.htm>
- [21] ČERMÁK, P.: *Klinická mikrobiologie - biofilm* [online]. [cit. 2009-08-08].
<http://ukb.lf1.cuni.cz/ppt/cermak/klinicka_mikrobiologie-biofilm.pdf>
- [23] HÁJEK, M.: *Mikrovlny v akci* [online]. [cit. 2009-04-13].
< <http://www.otevrena-veda.cz/ov/users/Image/default/C2Seminare/MultiObSem/112.pdf> >
- [24] ŘÍHOVÁ, A. J.: *Encyklopedie hydrobiologie* [online]. [cit. 2009-06-06].
<http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-006/ebook.html?p=A013text>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

UV/VIS	Ultraviolet-visible spectroscopy or ultraviolet-visible spectrophotometry
UV	Ultrafialové záření
UVA	Druh ultrafialového záření
UVB	Druh ultrafialového záření
SEM	Skenovací elektronový mikroskop
RTG	Rentgenové záření
US FDA	The Food and Drug Administration (FDA or US FDA)
FDA	The Food and Drug Administration (FDA or US FDA)
US EPA	The U.S. Environmental Protection Agency (EPA or sometimes USEPA)
ZnO	oxid zinečnatý
Ag	stříbro
TiO ₂	oxid titaničitý
EEC	enteropatogenní <i>Escherichia coli</i>
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
<i>P. aerugi- nosa</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
NNI	National Nanotechnology Initiative
NIH	National Institutes of Health
NIEHS	National Institute of Environmental Health Sciences
MW	Mikrovlnné
SE a BSE	Druh detektoru SEM

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Rozdělení kompozitních materiálů	11
Obr. 2: Rozlišovací schopnosti jednotlivých metod.....	13
Obr. 3: Výskyt nanočástic.....	13
Obr. 4: Princip metody SEM.....	15
Obr. 5: Předpokládaný mechanismus denaturace bakterie	17
Obr. 6: Candida albicans.....	20
Obr. 7: Staphylococcus aureus	21
Obr. 8: Escherichia coli.....	23
Obr. 9: Antibakteriální aplikace kompozitu.....	24
Obr. 10: Tvorba biofilmu P. aeruginosa.....	25
Obr. 11: Upravená kuchyňská trouba pro chemické pokusy	28
Obr. 12: Schéma mikrovlnné trouby.....	29
Obr. 13: MW zařízení s přidávanými laboratorními komponenty.....	36
Obr. 14: Schéma filtrační sestavy Sartorius.....	37
Obr. 15: Elektronový mikroskop VEGA II LM.....	38
Obr. 16: Difraktometr X'Pert PRO	38
Obr. 17: Vzorek AgZn-012.....	39
Obr. 18: Vzorek AgZn-013	40
Obr. 19: Vzorek AgZn-013.1	40
Obr. 20: Vzorek AgZn-013.2.....	40
Obr. 21: Vzorek AgZn-014	41
Obr. 22: Vzorek AgZn-015	42
Obr. 23: Vzorek AgZn-016.....	43
Obr. 24: Vzorek AgZn-017.....	44
Obr. 25: Sušení fólií pro antibakteriální zkoušky.....	45

Obr. 26: Vzorek AgZn-012 při zvětšení 5 μm	46
Obr. 27: Vzorek AgZn-012 při zvětšení 2 μm	46
Obr. 28: Vzorek AgZn-013 při zvětšení 5 μm	47
Obr. 29: Vzorek AgZn-013 při zvětšení 2 μm	47
Obr. 30: Vzorek AgZn-013.1 při zvětšení 5 μm	48
Obr. 31: Vzorek AgZn-013.1 při zvětšení 2 μm	48
Obr. 32: Vzorek AgZn-013.2 při zvětšení 5 μm	49
Obr. 33: Vzorek AgZn-013.2 při zvětšení 2 μm	49
Obr. 34: Vzorek AgZn-014 při zvětšení 5 μm	50
Obr. 35: Vzorek AgZn-014 při zvětšení 2 μm	50
Obr. 36: Vzorek AgZn-015 při zvětšení 5 μm	51
Obr. 37: Vzorek AgZn-015 při zvětšení 2 μm	51
Obr. 38: Vzorek AgZn-016 při zvětšení 5 μm	52
Obr. 39: Vzorek AgZn-016 při zvětšení 2 μm	52
Obr. 40: Vzorek AgZn-017 při zvětšení 5 μm	53
Obr. 41: Vzorek AgZn-017 při zvětšení 2 μm	53
Obr. 42: Difraktogram vzorku AgZn-012.....	54
Obr. 43: Difraktogram vzorku AgZn-013.....	55
Obr. 44: Difraktogram vzorku AgZn-014.....	56
Obr. 45: Difraktogram vzorku AgZn-015.....	57
Obr. 46: Difraktogram vzorku AgZn-016.....	58
Obr. 47: Difraktogram vzorku AgZn-017.....	59
Obr. 48: Průměrné hodnoty inhibičních zón pro jednotlivé vzorky.....	61

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Spotřeba energie a výtěžnost syntézy.....	44
Tabulka 2: Průměrné hodnoty inhibičních zón pro jednotlivé vzorky.....	60