



Diplomová práce

Charakterizace tenkých vrstev nanesených magnetronovým naprašováním na teplotně citlivé materiály

Studijní program:

N0715A270015 Materiály a technologie

Autor práce:

Bc. Anna Krobotová

Vedoucí práce:

Ing. Totka Bakalova, Ph.D.

Katedra materiálu

Konzultanti práce:

Ing. Lucie Svobodová, Ph.D.

Katedra materiálu

Ing. Michal Krafka

Katedra materiálu

Liberec 2024



Zadání diplomové práce

Charakterizace tenkých vrstev nanosených magnetronovým naprašováním na teplotně citlivé materiály

<i>Jméno a příjmení:</i>	Bc. Anna Krobotová
<i>Osobní číslo:</i>	S22000219
<i>Studijní program:</i>	N0715A270015 Materiály a technologie
<i>Zadávací katedra:</i>	Katedra materiálu
<i>Akademický rok:</i>	2023/2024

Zásady pro vypracování:

Cílem DP je návrh tvorby a nanosení funkčních tenkých vrstev pomocí magnetronového naprašování na teplotně citlivé filtrační materiály (např. různé typy filtrů, nanovlákn, polymerní materiály). Vytvořené kompozity budou mít za účel zlepšení funkčnosti filtračních systémů a zároveň zajistí snadnější čištění povrchu filtru. Na výsledném kompozitu bude sledována změna drsnosti, pórovitosti, charakterizace užitečných vlastností (filtrační účinnosti), mechanická stabilita a adheze vrstev, posouzení uvolňování prvků z materiálu pomocí testu vyluhovatelnosti. Podkladové materiály (zkušební vzorky) budou částečně zajištěny komerčně (nanovlákn, polymerní materiály, filtry) a modifikace povrchu nanosením tenkých vrstev bude provedena na pracovišti KMT, FS TUL.

1. Vypracování odborné rešerše na téma: Význam a využití tenkých vrstev nanosených metodou magnetronového naprašování ve filtračních procesech. Porovnání s dalšími metodami modifikace filtračních materiálů, přednosti a nedostatky před a po provedení povrchových úprav. Popis vhodných metod pro charakterizaci povrchů (analýza chemického složení, morfologie, struktura a drsnost povrchu, adheze a otěruvzdornost nanosených vrstev, smáčivost povrchu); Popis dalších technologií a možností modifikace povrchu filtračních materiálů a jejich využití v technických aplikacích.
2. Návrh a plánování potřebných laboratorních experimentů (volba vhodných metod hodnocení vlastností povrchu před a po modifikaci; výběr vhodných metodik hodnocení nově vytvořených povrchů na zvoleném základním materiálu; volba vhodné metody pro charakterizaci uvolňování prvků z materiálu do zvoleného roztoku).
3. Provedení experimentů, zpracování a vyhodnocení naměřených dat (příprava grafů, obrázků, tabulek atd.); hodnocení mechanických a funkčních vlastností modifikovaných povrchů a jejich charakterizace pomocí rastrovací, digitální a konfokální mikroskopie).
4. Posouzení vhodnosti navržených tenkých vrstev pro konkrétní/specifické aplikace, okomentování jejich vhodnosti pro daný účel, hodnocení vyluhovatelnosti prvků; hodnocení změn povrchové struktury (míra opotřebení materiálu, změna struktury, drsnosti, smáčivosti povrchu apod.); hodnocení afinity/přilnavosti biofilmu k povrchu před a po jeho modifikaci.
5. Zhodnocení dosažených výsledků, příprava diskuzní části DP (porovnání s dalšími literárními zdroji) a zpracování finálních závěrů.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování práce:

Jazyk práce:

tištěná/elektronická

čeština

Seznam odborné literatury:

1. Sedláček, V. *Povrchy a povlaky kovů*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, **1992**.
2. Daďourek, K. *Vybrané technologie povrchových úprav*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, **2007**, 117 s. ISBN 978-80-7372-168-8.
3. Kraus, V. *Povrchy a jejich úpravy*, Západočeská univerzita, Fakulta strojní, Plzeň, **2000**, 216 s., ISBN 80-7082-668-1.
4. MITURA, Katarzyna, et al. *Active Carbon-based Nanomaterials in Food Packaging*. Coatings. Basil: MDPI, **2021**, 11, 2. ISSN 2079-6412, EISSN 2079-6412. <https://www.mdpi.com/2079-6412/11/2/161/pdf>.
5. NGUYEN, Nhung Anh Huynh, et al. *Attached and planktonic bacterial communities on bio-based plastic granules and micro-debris in seawater and freshwater*. Science of the Total Environment. Amsterdam: Elsevier, **2021**, 785, ISSN 0048-9697, EISSN 1879-1026. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721024840/pdf>.
6. DORINA M. Mihut, Arash Afshar, Laura W. Lackey, Khang N. Le. *Antibacterial effectiveness of metallic nanoparticles deposited on water filter paper by magnetron sputtering*. Surface & Coatings Technology 368 (**2019**) 59-66, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.04.039>.
7. SHANGPENG LIU, Shaohua Zhang, Liguang Yang, et al. *Nanofibrous scaffold by cleaner magnetron-sputtering additive manufacturing: A novel biocompatible platform for antibacterial application*. Journal of Cleaner Production, 315 (**2021**) 128201. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128201>.
8. LETICYA LAIS COELHO, Matthieu Grao, Thomas Pomone, et al. *Photocatalytic microfiltration membranes produced by magnetron sputtering with self-cleaning capabilities*. Thin Solid Films 747 (**2022**) 139143. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2022.139143>.
9. SHEWAYE TEMESGEN KASSA, Chien-Chieh Hu, Yo-Chuan Liao, Jem-Kun Chen, Jinn P. Chu. *Thin film metallic glass as an effective coating for enhancing oil/water separation of electrospun polyacrylonitrile membrane*. Surface & Coatings Technology 368 (**2019**) 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.04.030>.

Vedoucí práce:

Ing. Totka Bakalova, Ph.D.

Katedra materiálu

Konzultanti práce:

Ing. Lucie Svobodová, Ph.D.

Katedra materiálu

Ing. Michal Krafka

Katedra materiálu

Datum zadání práce:

9. listopadu 2023

Předpokládaný termín odevzdání:

5. června 2025

L.S.

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.

děkan

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.

garant studijního programu

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

Charakterizace tenkých vrstev nanesených magnetronovým naprašováním na teplotně citlivé materiály

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na charakterizaci tenkých vrstev CuAg, Cu, Ti, Zr, $\text{Cu}_x\text{Ag}_y\text{O}$, Cu_xO , TiO_x a ZrO_x nanesených na teplotně citlivé filtrační materiály technologií PVD, DC magnetronovým naprašováním. Byla provedena charakterizace vrstev elektronovou mikroskopií (SEM) s EDS analýzou, měřením jejich tloušťky, hodnocením parametrů drsnosti povrchu, tribologickou zkouškou a hodnocením odolnosti vůči deformaci, měřením kontaktního úhlu smáčení, povrchové energie, propustnosti filtrů a antibakteriálních vlastností. Výzkum prokázal, že vrstvy $\text{Cu}_x\text{Ag}_y\text{O}$ a Cu_xO mají obdobnou tloušťku jako vrstvy vytvořené bez reaktivního plynu, zatímco vrstvy TiO_x a ZrO_x potřebují trojnásobnou dobu depozice pro dosažení obdobné tloušťky jako vrstvy z čistých kovů. U tribologických vlastností lze předpokládat, že kyslíkové povrchy mohou být více odolné abrazi. U veškerých kyslíkových vrstev byly naměřeny nižší hodnoty statického i dynamického koeficientu tření. Z výsledků nárůstu bakteriálních kolonií na filtru je patrné snížení pro *E. coli* u veškerých vzorků deponovaných z targetů CuAg a Cu. U bakterie *M. luteus* bylo detekováno snížení oproti substrátu u veškerých vzorků, přičemž nejvýznamnější bylo pozorováno u tenkých vrstev CuAg a $\text{Cu}_x\text{Ag}_y\text{O}$.

Klíčová slova

$\text{Cu}_x\text{Ag}_y\text{O}$, Cu_xO , TiO_x a ZrO_x tenké vrstvy, magnetronové naprašování, filtry se skleněnými vlákny, nylonové filtry, filtrace, užité vlastnosti, antibakteriální vlastnosti

Characterization of Thin Films Deposited by Magnetron Sputtering on Temperature Sensitive Materials

Abstract

The Diploma Thesis is focused on the characterization of thin films of CuAg, Cu, Ti, Zr, $\text{Cu}_x\text{Ag}_y\text{O}$, Cu_xO , TiO_x and ZrO_x deposited by PVD technology, specifically DC magnetron sputtering, on temperature-sensitive filtration materials. The characterization included scanning electron microscopy (SEM) with EDS analysis, thickness measurement, surface roughness parameter evaluation, tribological testing, resistance to deformation testing, contact angle measurement, surface energy evaluation, filter permeability, and antibacterial properties assessment. The research demonstrated that $\text{Cu}_x\text{Ag}_y\text{O}$ and Cu_xO films have similar thicknesses to films created without reactive gas, whereas TiO_x and ZrO_x films require three times the deposition time to achieve a similar thickness as films from pure metals. In terms of tribological properties, oxygen-containing films may be more resistant to abrasion. All oxygen-containing layers exhibited lower static and dynamic friction coefficients. The results also indicate reduced bacterial colony growth on the filter for *E. coli* in all samples deposited from CuAg and Cu targets. A reduction compared to the substrate was detected in all samples, with the most significant effect observed in thin CuAg and $\text{Cu}_x\text{Ag}_y\text{O}$ layers for *M. luteus* bacteria.

Keywords

$\text{Cu}_x\text{Ag}_y\text{O}$, Cu_xO , TiO_x and ZrO_x Thin Films, Magnetron Sputtering, Glass Fibres Filters, Nylon Filters, Filtration, Functional Properties, Antibacterial Properties

Poděkování

Chtěla poděkovat své vedoucí Ing. Totce Bakalové, Ph.D. za její vedení, pomoc, podporu a ochotu, které mi věnovala při zpracování diplomové práce. Ráda bych poděkovala konzultantům Ing. Lucii Svobodové, Ph.D. a Ing. Michalu Krafkovi a svému kolegovi Ing. Petru Francovi za poskytnutí odborných rad. Dále bych ráda poděkovala Mgr. Oldřišce Parmové za jazykovou a stylistickou korekturu této práce a PhDr. Ivaně Pekařové, MA. za kontrolu anotace. V neposlední řadě srdečné poděkování patří celé mé rodině, partnerovi a mým nejbližším přátelům za jejich nesmírnou podporu.

Tato publikace byla podpořena Studentskou grantovou soutěží Technické univerzity v Liberci v rámci projektu SGS-2024-5432 a projektem č. FW09020103 „Design a modifikace povrchových vrstev pro bioaplikace za využití plazmových inovativních technologií“, který je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu TREND, podprogram 2.

V rámci diplomové práce byly pro zpracování teoretické části použity nástroje umělé inteligence – Microsoft Copilot, Chat PDF AI a Litmaps.

Obsah

1. Úvod	11
2. Teoretická část.....	12
2.1. Teplotně citlivé materiály	12
2.1.1. Aplikace celulózy, skleněných vláken a polymerů	13
2.2. Filtrace a filtry	14
2.2.1. Parametry filtrace a užité vlastnosti filtrů	16
2.2.2. Typy filtrů	17
2.2.3. Materiály filtrů	18
2.2.4. Povrchové úpravy filtračních materiálů	20
2.2.5. Aplikace filtrace	21
3. Technologie výroby tenkých vrstev a metodiky hodnocení.....	23
3.1. Technologie výroby tenkých vrstev	23
3.1.1. Magnetronové naprašování	25
3.2. Hodnocení tloušťky vrstev	26
3.2.1. Quartz Crystal Microbalance (QCM)	26
3.3. Rastrovací elektronová mikroskopie (SEM)	27
3.3.1. Energeticky disperzní rentgenová spektroskopie (EDS, EDX)	28
3.4. Morfologie, topografie a drsnost povrchu	28
3.4.1. Konfokální mikroskopie	29
3.5. Hodnocení tribologických vlastností	30
3.5.1. Metody Ball-on-Flat a Pin-on-Flat	30
3.6. Odolnost vůči deformaci	31
3.6.1. Vliv namáhání ohybem	31
3.7. Porozita filtrů	32
3.8. Hodnocení povrchové energie	33
3.9. Prodyšnost a propustnost filtrů	35
3.10. Hodnocení antibakteriálních vlastností	37
3.10.1. Kirby-Bauer test	38
4. Experimentální část	39
4.1. Materiál a příprava substrátů	39
4.2. Navržené tenké vrstvy a jejich depozice	40
4.3. Metody hodnocení vzorků	43
4.3.1. Hodnocení tloušťky vrstev	43
4.3.2. Rastrovací elektronová mikroskopie s EDS analýzou	43
4.3.3. Hodnocení morfologie, topografie a drsnosti povrchu	44
4.3.4. Hodnocení tribologických vlastností	44
4.3.5. Hodnocení odolnosti vůči deformaci	45
4.3.6. Hodnocení kontaktního úhlu smáčení a povrchové energie	45
4.3.7. Hodnocení propustnosti	46

4.3.8.	Hodnocení antibakteriálních vlastností.....	47
4.3.8.1.	Hodnocení antibakteriálních vlastností filtrů a filtrátů po provedení testu propustnosti	48
4.3.8.2.	Kirby-Bauer test.....	48
4.4.	Získaná data a jejich analýza.....	49
4.4.1.	Hodnocení tloušťky tenkých vrstev	49
4.4.2.	Rastrovací elektronová mikroskopie.....	50
4.4.3.	EDS analýza.....	53
4.4.4.	Hodnocení morfologie, topografie a drsnosti povrchu	54
4.4.5.	Hodnocení tribologických vlastností	59
4.4.6.	Hodnocení odolnosti vůči deformaci	62
4.4.7.	Hodnocení kontaktního úhlu smáčení a povrchové energie	64
4.4.8.	Hodnocení propustnosti	65
4.4.9.	Hodnocení antibakteriálních vlastností.....	68
4.4.9.1.	Hodnocení antibakteriálních vlastností filtrů a filtrátů po provedení testu propustnosti	68
4.4.9.2.	Kirby – Bauer test	73
5.	Vyhodnocení a diskuse výsledků.....	76
6.	Doporučení pro další zpracování.....	81
7.	Závěr	82
	Použitá literatura	83
	Seznam příloh.....	92

Seznam zkratek

AE	Augerovy elektrony	-
BSE	Back Scattered Electrons = zpětně odražené elektrony	-
CVD	Chemical Vapour Deposition = chemická depozice par	-
DE	Difraktované elektrony	-
EDS / EDX	Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy = energiově disperzní spektroskopie	-
g	Povrchová energie	(J/m ²)
EM	Elektronová mikroskopie	-
G+	Gram pozitivní – stěna bakterií složena z peptidoglykanu a polysacharidů, zabarví se tmavě fialově	-
G-	Gram negativní – stěna bakterií tvořena z peptidoglykanu a lipopolysacharidů, zabarví se do červena	-
H0	Statisticky nevýznamný výsledek testované hypotézy	-
H1	Statisticky významný výsledek testované hypotézy	-
KHN	Knoop-hardness numbers = tvrdost podle Knoop	-
KTJ	Velikost nárůstu bakterií v počtu kolonií tvořících jednotek	-
McF	McFarland Units = jednotka pro stanovení koncentrace bakterií v roztoku	-
N/A	Not available = nedostupné	-
PE	Primární elektrony	-
PP	Polypropylen	-
PVD	Physical Vapour Deposition = fyzikální depozice par	-
QCM	Quartz Crystal Microbalance	-
RTG	Rentgenové	-
Sccm	Standard cubic centimeter per minute – jednotka průtoku	-
SE	Secondary Electrons = sekundární elektrony	-
SEM	Scanning Electron Microscopy = rastrovací elektronová mikroskopie	-
Sg-	Záporná odchylka povrchové energie	(J/m ²)
Sg+	Kladná odchylka povrchové energie	(J/m ²)
TE	Transmitované elektrony	-
UV	Ultraviolet = ultrafialové	-
Y	Sputtering yield – statistická pravděpodobnost počtu částic rozprášených z terče/targetu po nárazu iontů pracovního plynu	-

1. Úvod

Tenkové vrstvy vytvořené magnetronovým naprašováním se využívají pro široké spektrum materiálů s možností následné aplikace v různých oblastech. V dnešní době jsou zkoumány trendy využití této technologie na netkané textilie, různé typy vláken či na předem modifikované povrchy. V aplikačních potenciálech jsou krom funkčních vlastností tenkých vrstev zkoumány jejich biologické, optické či elektrické vlastnosti.

Tato práce se zabývá modifikací filtračních systémů tenkými vrstvami pro zlepšení jejich funkčních vlastností, zajištění snadnějšího čištění jejich povrchů a zlepšení jejich antibakteriálních vlastností s využitím tzv. contact – killing, kdy se nevyučují látky do prostředí. Cílem práce bylo navrhnout a vytvořit tenké vrstvy pro modifikaci materiálů pro filtrační aplikace, provést experimenty pro hodnocení jejich strukturní změny, pórovitosti, užitných vlastností, mechanické stability a posouzení uvolňování prvků. Dalším bodem bylo zhodnocení vhodnosti navržených a testovaných tenkých vrstev pro filtrační aplikace a možnosti tvorby a přilnavosti biofilmu k povrchu vzorků před a po jeho modifikaci. Práce slouží k prozkoumání dané problematiky a k vytvoření základu pro další zpracování.

Pro výzkum a tvorbu tenkých vrstev byly zvoleny dva typy filtrů z různých materiálů s rozdílnou porézností. U filtru s menší velikostí pórů vznikala obava ze zamezení jeho filtračních vlastností po nanesení tenkých vrstev, která se v rámci výzkumu nepotvrdila. Tenké vrstvy byly deponovány ze čtyř typů targetů – CuAg, Cu, Ti a Zr. Byly vytvořeny dvě série vzorků – vrstvy z kovů a slitin a kyslíkové vrstvy. Druhá série byla vytvořena kvůli obavě z oxidace a nestálosti vrstev vzniklých z kovů a slitin v průběhu času.

2. Teoretická část

Teoretická část se zabývá teplotně citlivými materiály, filtrací, jednotlivými typy filtrů a aplikací filtračních procesů.

2.1. Teplotně citlivé materiály

Teplotně citlivé materiály jsou takové materiály, které při reakci s teplotou vykazují změnu vlastností, materiálového chování nebo struktury. Tyto materiály jsou citlivé na změny teploty, což je využíváno v různých aplikacích závislých na vybraném typu teplotně citlivého materiálu a jeho specifických vlastnostech. Zahrnují se sem kupříkladu termoplasty, slitiny s tvarovou pamětí, sklo či kompozitní materiály. [1]

Při jejich aplikaci je nutno zvolit vhodné technologické postupy, aby nedocházelo k reakci těchto materiálů a jejich následné degradaci vlivem zvýšených teplot a času. Problémy s citlivostí na teplotu různých materiálů se vyskytují například ve strojírenském, farmaceutickém či potravinářském průmyslu. [2]

Pro aplikaci v medicíně a farmaceutickém průmyslu byla vyvinuta celá řada teplotně citlivých materiálů, např. polymery nebo kompozitní materiály. Vybraná skupina polymerů napodobuje přírodu, tj. tyto materiály vykazují chování inspirované přírodou a biologickými jevy. Využívají se například k dodávání léků, v tkáňovém inženýrství či bioseparaci. Jsou syntetizovány ve formě hydrogelů, mikročástic, nanočástic, filmů či micel. S ohledem na jejich použití jsou vyráběny z přírodních nebo syntetických materiálů. Řadí se sem polyakrylamid a kyselina polyakrylová, poly(methylvinylether), nebo poly(pontapeptid). Z biopolymerů je to celulóza, hedvábný fibroin, keratin nebo chitin. Kompozitní materiály jsou tvořeny dvěma a více materiály (fázemi) s rozdílnými vlastnostmi. Ve výsledném materiálu se kombinují vlastnosti jednotlivých fází, které synergickým jevem dosahují finálních vlastností. Spadají sem kompozity s celulóзовou maticí, kolagenní maticí nebo skleněnými vlákny. [3–5]

Z výše uvedených materiálů se ve filtraci s aplikací v medicíně využívá celulóza, skleněná vlákna nebo polymery. [5, 6]

2.1.1. Aplikace celulózy, skleněných vláken a polymerů

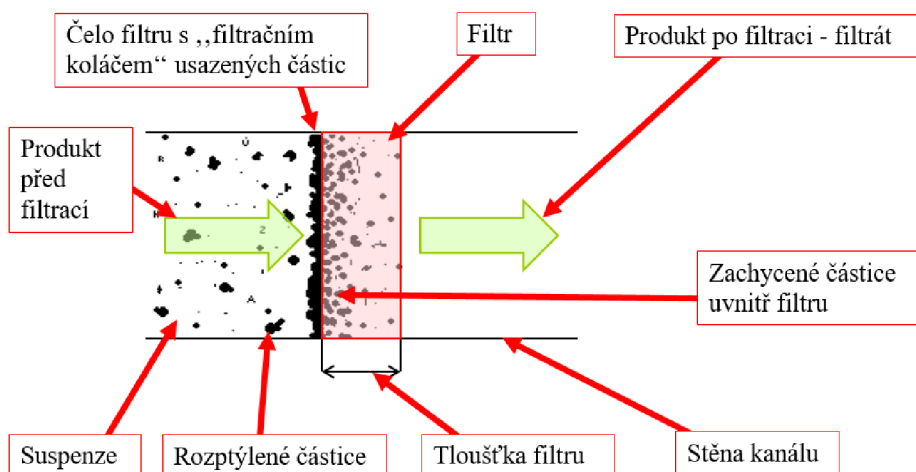
Celulóza je přírodní biopolymer využívaný ve velkém spektru aplikací, například pro výrobu automobilových dílů, biokompozitů, potravinových obalů, při čištění vzduchu a oleje, v biomedicínských aplikacích aj. Je to porézní materiál, lze jej snadno upravit a na základě své krystalické struktury se vyznačuje vysokým stupněm tepelné a chemické stability. Celulóza jakožto přírodní materiál vyskytující se v rostlinných materiálech jako je dřevo či bavlna má významné využití v medicínských aplikacích. Používá se při hojení ran a v tkáňovém inženýrství, v implantátech, pro kontrolu krvácení, při léčbě ledvin či pro filtraci biologických materiálů. Při hojení ran a v tkáňovém inženýrství slouží celulóza jako nanostruktura pro regeneraci pokožky. V implantátech je využita ve formě nosného materiálu s buňkami např. k transplantaci chrupavek, nebo ve formě syntetizovaného materiálu pro vytvoření umělých cév. U léčby ledvin se využívají membrány vyrobené na bázi celulózy při dialýze pro odstranění odpadních produktů z krve. U filtrace biologických materiálů je celulóza vyrobena ve formě filtrů či jiných membrán. V aplikacích, kde se používají membrány a filtry, se vyskytuje riziko kontaminace bakteriemi a tvorby biofilmu. [5–8]

Skleněná vlákna jsou anorganický materiál získaný zvlákněním roztaveného skla. Jeho vlastnostmi jsou malá objemová hustota, nízká tepelná vodivost, odolnost proti korozi, elektrická izolace, ale také křehkost a nízká odolnost proti opotřebení. Z důvodu zmíněných negativních vlastností se tento materiál nepoužívá samostatně, ale v kompozitních systémech. Má široké využití v letectví, biomedicíně, ochraně životního prostředí, stavebních materiálech nebo v optice. V biomedicíně jsou skleněná vlákna aplikována pro biologickou detekci, sterilizaci, v biologické diagnostice či v implantátech. [9]

Polymery se dělí na přírodní a syntetické. Přírodními polymery jsou např. celulóza, želatina či chitosan a syntetickými kyselina polymléčná, polyakrylát, polyamid nebo polyethylenglykol. Polymery využívané v biomedicínských aplikacích se vyznačují nízkou toxicitou in vivo, vhodnými teplotními a mechanickými vlastnostmi, skladovatelností po delší dobu a nízkou hmotností. Využívají se v kompozitních systémech, v systémech pro podávání léků, v kloubních náhradách nebo jako biosenzory. [10]

2.2. Filtrace a filtry

Filtrace je separační proces, při kterém dochází k oddělování částic ze suspenze od kapaliny nebo plynu pomocí porézního prostředí (Obrázek 1). Tímto prostředím mohou být filtry nebo různé typy filtračních médií. Filtry a filtrační média se dělí z několika hledisek – dle typu, aplikace či materiálu. [11]

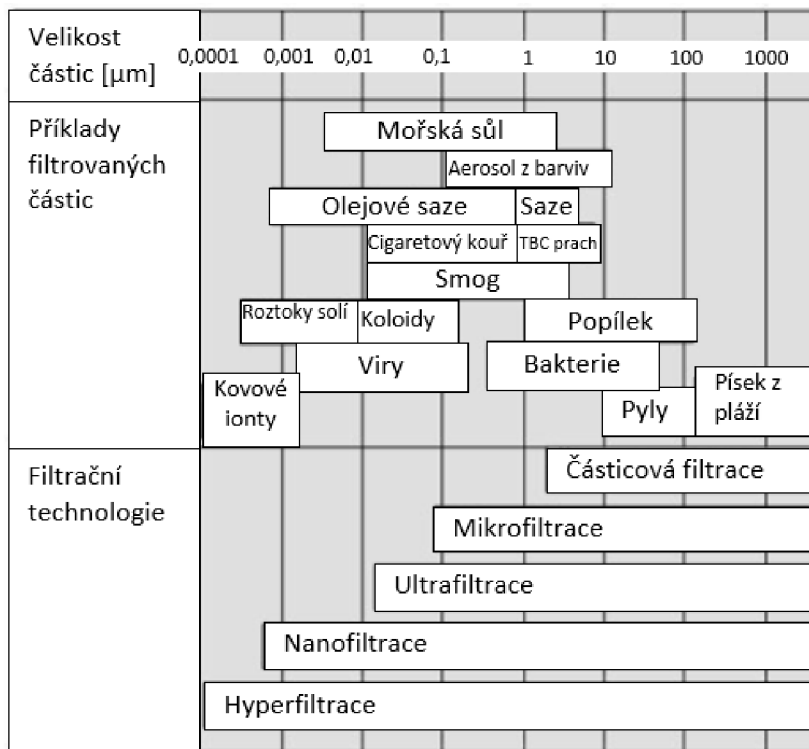


Obrázek 1 Princip filtrace (upraveno) [2]

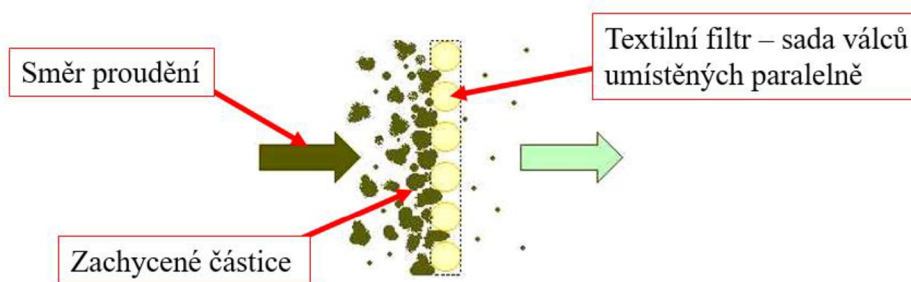
Filtrace se podle filtračního prostředí dělí na kapalinovou a plynnou, dále podle velikosti filtrovaných částic na makrofiltraci/částicovou filtraci, mikrofiltraci, ultrafiltraci, nanofiltraci a hyperfiltraci a dle mechanismu filtrace na povrchovou nebo hloubkovou. Požadavky kladené na filtr definují výběr vhodné filtrační technologie pro danou aplikaci (Obrázek 2). [12]

U povrchové filtrace jsou zachycené částice větší než póry filtru, což umožňuje jejich uvíznutí na povrchu filtru, vznik tzv. filtračního koláče (Obrázek 3). Je zde důležité rozložení pórů a propustnost. Pro tento typ filtrace se používají například tkané filtry. Běžně se takto filtrují kapaliny. Časem jsou vlastnosti tohoto typu filtru nestabilní, jelikož se ucpává. Avšak u čistitelných filtrů se mohou jejich užité vlastnosti po uvolnění ulpělých částic obnovit, což je důležité v biologických aplikacích, kde se vytváří tzv. biofilm. To je struktura zformovaná mikroorganismy, které ulpěly na povrchu, vytvořily zde kolonie a produkovaly látky, např.: polysacharidy. Biofilm se skládá z mikroorganismů a jimi vyprodukovaných látek, které slouží jako matrice pro ochranu mikroorganismů uvnitř. Při hloubkové filtraci se využívá hloubkových filtrů s přesně danou velikostí mezivláknových pórů. Při tomto typu filtrace jsou zachyceny částice natolik malé, že nelze dosáhnout jejich ulpění na povrchu filtrů. Částice pronikají do struktury filtru, kde uvíznou na povrchu vláken (Obrázek 4).

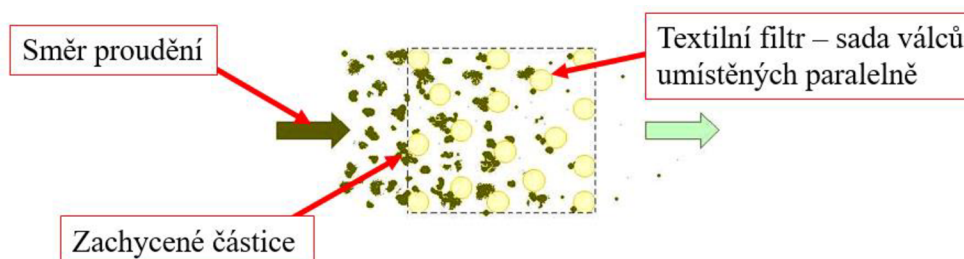
Tento jev se uskutečňuje na základě interakce sil mezi povrchy vláken a částic a následně umožňuje separaci řádově menších částic, než je velikost pórů. Ucpaný hloubkový filtr obvykle není možné vyčistit. [2, 12–14]



Obrázek 2 Příklady vybraných filtrovaných částic, jejich velikost a výběr filtrační technologie (upraveno) [12]



Obrázek 3 Princip povrchové filtrace (upraveno) [2]



Obrázek 4 Princip hloubkové filtrace (upraveno) [2]

2.2.1. Parametry filtrace a užité vlastnosti filtrů

Filtrační parametry nebývají konstantní, a proto mohou ovlivňovat hodnoty vlastností filtrace. Vlastnosti filtrů se v průběhu procesu mění, jelikož dochází k zachycení částic, a tím k jejich postupnému ucpávání. Parametry filtrace se dělí na parametry filtračního materiálu, parametry filtrovaných částic a parametry procesu filtrace (Tabulka 1). Hlavními vlastnostmi filtrů je efektivita, životnost, odolnost vůči vnějším vlivům, prodyšnost či pórovitost. Parametry filtrace, vlastnosti filtrů a zaplňování filtru mají vliv na způsoby jejich testování. [2, 12]

Tabulka 1 Vstupní parametry filtrace [12]

Parametry filtračního materiálu	Plocha filtru
	Tloušťka filtru
	Plošná a objemová hmotnost filtru
	Stejnomořnost materiálu
	Materiál a jeho parametry: objemová hmotnost, elektrická vodivost,
	Parametry vláken: průměr, tvar, jemnost, orientace v prostoru, aj.
Parametry filtrovaných částic	Velikost částic disperzního podílu
	Distribuce velikosti částic disperzního podílu
	Koncentrace částic
	Tvar a povrch částic
	Objemová hmotnost částic
	Elektrické vlastnosti
Parametry procesu filtrace	Rychlost náletu částic na filtr
	Viskozita protékajícího média
	Teplota, tlak, vodivost, aj.

Tabulka 2 Vstupní parametry, mechanismy filtrace a vlastnosti filtru [2]



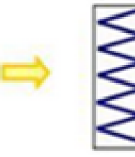

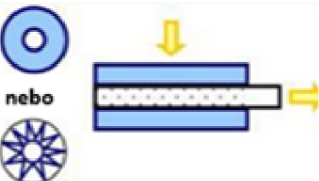

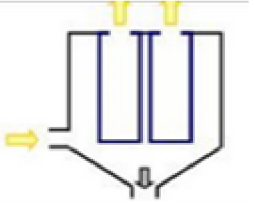

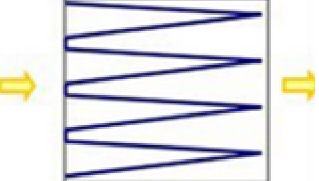

Vstupní parametry	Mechanismy filtrace	Vlastnosti filtru
Parametry filtru	Difuzní záchyt	Životnost
Parametry disperzního prostředí	Přímý záchyt	Efektivita
Parametry procesu filtrace	Setrvačné usazování	Tlakový spád
	Sítový jev	Odolnost vůči podmínkám okolí
	Elektrostatický záchyt	Prodyšnost, porozita,...

Vztahy mezi vlastnostmi filtru a hlavními filtračními parametry, které ovlivňuje proces, nelze plně definovat a stanovit. Je zde souvislost mezi vstupními parametry, mechanismy filtrace a vlastnostmi filtru (Tabulka 2). Vstupní parametry filtrace jsou

nastavitelné nebo změřitelné. Na základě zkoušek získáme vlastnosti filtru, pro jejichž hodnocení je nutné znát mechanismy filtrace. [2]

2.2.2. Typy filtrů

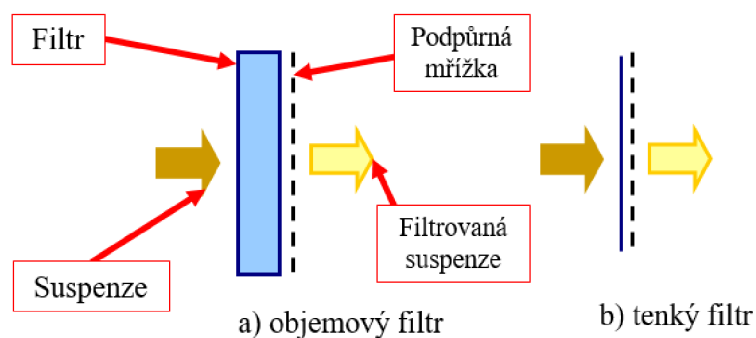
Typy filtrů se dělí podle typu filtrace na hloubkové a ploché (Kapitola 2.2) a podle tvaru na ploché, skládané, svíčkové, hadicové a kapsové (Obrázek 5). Využívají se pro různá filtrační prostředí – kapaliny a plyny (Kapitola 2.2). [12]

Název	Schéma	Ukázka
Ploché		
Skládané		
Svíčkové		
Hadicové		
Kapsové		

Obrázek 5 Typy filtrů dle jejich tvaru (upraveno) [12]

Ploché filtry (Obrázek 6) se využívají buď samostatně bez jakéhokoliv pevného uchycení, nebo jsou zasazeny do rámu či nosné mřížky, čehož se využívá u filtrů s většími rozměry. Dělí se do dvou kategorií – tenké a objemové filtry. Objemové filtry jsou vyrobeny

z tepelně nebo chemicky vrstvených netkaných textilií a jsou určeny pro hloubkovou filtraci. Tenké filtry z tkaných a pletených textilií se využívají pro povrchovou filtraci. [2]



Obrázek 6 Ploché filtry (upraveno) [2]

2.2.3. Materiály filtrů

Filtrační materiály jsou jakékoliv materiály, které jsou propustné při filtraci pro jednu nebo více složek směsi, roztoku či suspenze a nepropustné pro ostatní složky. Filtrační média, tj. i materiály, ze kterých jsou vyrobeny filtry, by měla být z hlediska užitných vlastností pevná (alespoň v tahu), pružná, odolná vůči korozi a abrazi, lehce tvárná do požadovaných tvarů a rozměrů, a měla by dosahovat požadované poréznosti. [6]

Využívají se látky anorganické i organické (přírodní a syntetické). Z anorganických látek to jsou minerály, uhlík, sklo, kovy, oxidy kovů a keramika. Každý z těchto základních materiálů se hodí pro výrobu jednoho nebo více forem filtračních médií (Tabulka 3). Média jsou dále vyhotovena do více typů tvarů a použití (Tabulka 4). [6]

Tabulka 3 Základní materiály filtrů a jejich formy filtračních médií [6]

Základní materiál	Forma filtračního média
Přírodní vlákna: vlna, bavlna	Plst': volná, lepená, vpichovaná
	Tkaná příze
	Pletená příze
	Navinutá příze
Zpracované přírodní vlákno: celulóza	Papír, filtrační listy
Uměle vyrobené organické látky: syntetické polymery regenerované celulózy	Granule: sypké, pojené, slinuté
	Vlákna a filameny: plstěná, tkaná,
	Pěna
	Extrudovaná síťovina („Netlon“)
	Deska: perforovaná, tažená (fibrilovaná),
Trubice: tuhé porézní, duté vlákno	

Tabulka 3 Základní materiály filtrů a jejich formy filtračních médií [6] – pokračování

Kovy: železné a neželezné	Tyče nebo tyčové konstrukce
	Granule nebo prášek: sypký, slinutý
	Vlákna: volná, slinutá
	Desky: perforované (děrované, leptané)
	Drát: vinutý náboj, tkané pletivo, slinutý,
	Rozšířená síťovina: („Expamet“)
	Pěna
Sklo	Papír
	Porézní trubice
Přírodně aktivovaný uhlík	Granule nebo prášek: volné, spojené,
	Vlákna: volná, plstěná, tkaná, vložená
	Porézní blok
Keramika	Granule nebo prášek: sypký, slinutý
	Tvarové bloky s trubkovými otvory
	Vlákna: volná, slinutá
	Pěna
Ostatní minerály: minerální vlna, písek, antracit, granát	Vlákna: filtrové fólie, podložky
	Granule
Kov, papír, plast	Naskládané disky, okrajové filtry, klínový
Materiály podobné papíru	Plisovaná deska
Inertní granule	
Směsi inertních a aktivních látek	Kombinovaná média

Tabulka 4 Formy filtračních médií a jejich druhy médií [6]

Forma filtračního média	Druhy médií
Sypké granule	Hluboké lože
Volná vlákna	Podložky, plsti
Strukturované granule	Lepené, slinuté
Strukturované vlákno	Jehlové plsti, lepené, papír, spřádané
Deska	Perforované, mikroporézní, membrány
Tkané/pletené	Předená příze, monofil, drát
Trubkový	Pevné porézní duté vlákno
Blok	Tuhá s vnitřními kanály, pěna
Strukturované pole	Předená příze, monofil (včetně drátu)
Extrudovaná síťovina	Kotouče, tyčové konstrukce

Sklo je odolné proti kyselinám, má uspokojivou odolnost proti zásadám, avšak není odolné proti abrazi. Použití filtrů vyrobených ze skla a skleněných vláken omezuje špatná mechanická odolnost. Celulóza a její deriváty se pro filtry využívají v čisté formě nebo

v kompozitních systémech. V biomedicínských aplikacích nedosahuje takových mechanických vlastností jako jiné typy celulózy, které se aplikují například v automobilovém průmyslu. Syntetické polymery mají velké zastoupení ve filtraci, jelikož existuje široká škála těchto materiálů. Pro konkrétní aplikace jsou vybírány vhodné typy polymerů vzhledem k jejich fyzikálním a chemickým vlastnostem. Využívají se pro výrobu filtračních papírů a látek, netkaných materiálů, porézních filtrů, či membrán. Velmi důležitou skupinou jsou polymerní vlákna, která jsou kladena na rotující válec. Takto jsou tvořena filtrační média o různé tloušťce, kdy se hustota vláken mění v hloubce jejich vrstvy, tj. uprostřed se nachází hrubá struktura a na povrchu jemnější póry. [5, 6, 15]

2.2.4. Povrchové úpravy filtračních materiálů

Povrchové úpravy filtračních materiálů jsou užívány za účelem zvýšení jejich odolnosti, životnosti a odlučivosti, či pro zlepšení jejich regenerace. Povrchové úpravy lze dělit z několika hledisek: na suché a mokré procesy, nebo na chemické a mechanické procesy. V současnosti se více užívá dělení na mechanické a chemické procesy, jelikož jsou v řadě technologií aplikovány oba zbylé způsoby – mokrý i suchý. Řadí se sem tepelné pojení, tepelné ošetření povrchu, kalandrování, impregnace povrchů, nanášení povlaků, antistatické úpravy a ochrana proti jiskrám. [16, 17]

Chemické povrstvování spadá pod chemické úpravy povrchu a je jednou z nejdůležitějších aplikací povrchových úprav. Při této technologii se využívají roztoky, vodné báze nebo disperze. Sled celé technologie závisí na mnoha parametrech. Aby bylo dosaženo vhodné tloušťky vrstvy, je žádoucí provést aplikaci v jednom kroku. To neplatí u aplikací s rizikem trhlin, zde je potřeba použít vrstvy ve více krocích. [18]

Impregnace je chemický proces, při němž dochází k sycení povrchu materiálu jinou látkou za účelem zlepšení jeho vlastností. Tvoří se pěnou nebo v ponorné lázni. Při použití pěny dochází k nahodilému rozmístění struktury a díky menšímu obsahu vody se po samotné aplikaci materiál méně vysouší. U filtračních materiálů je požadována hydrofobní ochrana nebo ochrana před chemickými látkami. [17, 19]

Antistatické úpravy spadají do chemických úprav povrchu a jsou využívány pro odstranění nežádoucí přilnavosti zapříčiněné elektrostatickým nábojem z vláken. Využívají se chemické přípravky, které jsou buď přidány do pojiva v průběhu tvorby samotného materiálu, nebo nastříkány na vnější stranu produktu. Dosahuje se dočasné nebo trvalé antistatické ochrany. Trvalý antistatický účinek neposkytují pouze přesně definované

chemikálie, ale za stejným účelem se dají do materiálu přidat i částice mědi nebo dispergované saze. [17]

Povrchové úpravy pro ochranu proti jiskrám obecně spadají pod ochranu proti teple a tepelnému zatížení, se kterým mohou přijít filtry do styku. Jiskry mohou být způsobeny také statickou elektřinou. Jsou to chemické technologie ochrany povrchů, pod které spadají povlaky či impregnace. [17]

Tepelné ošetření povrchu je souhrnné označení jednotlivých metod, kdy dochází k úpravě materiálu, potažmo jeho povrchu působením tepla. Spadají pod mechanické úpravy. Patří sem čtyři metody: zažehlování, opalování plamenem, opalování infrazářičem a glazování. [16]

Tepelným pojením je míněno pojení materiálů za zvýšené teploty, tudíž jsou při něm využívány mechanické procesy. Tato metoda využívá horký vzduch, kalandrovací válce, kalandrovací pásy, ultrazvuk nebo infračervené zářiče. Tvoří se homogenní materiál, který se skládá ze základního materiálu a pojivových částic, např.: termoplastická vlákna. V průběhu procesu dochází k zahřívání materiálů na teplotu tavení termoplastického materiálu a následné ochlazování. Touto technologií jsou tvořeny filtry s různými vlastnostmi, jako je např. vysoká pružnost, vysoká objemnost. [20, 21]

Kalandrování je technologie spadající pod procesy tepelného pojení. Dochází při ní ke stlačování materiálu působením válců, tzv. kalandrů, mezi nimiž prochází. Válce jsou buď zahřáté nebo bez ohřevu. U metody s ohřátým kalandrem jsou využity termoplastické komponenty, např. vlákna, prášek. Dochází k jejich natavení a spojení se základním materiálem. Využívá se za účelem pojení materiálů, změny tloušťky a změny hustoty, čímž je dosaženo souvislé struktury s celkově lepší soudržností. Touto technologií se dosahuje také struktur s reliéfem pomocí rastrovaných válců. [17, 20, 22]

2.2.5. Aplikace filtrace

Aplikace filtrace je velmi široká, využívá se v průmyslu, v domácnostech, v komerčních aplikacích, i ve zdravotnictví. Filtrují se plynné a kapalné fáze. U plynných systémů se filtrace využívá pro čištění vzduchu, jako ochrana před výfukovými plyny, při přívodu vzduchu do strojů a motoru, v respirátorech a dýchacích přístrojích, pro úpravu stlačeného vzduchu, u pneumatických systémů či u čištění spalin z pecí. Mezi filtrované kapalné fáze se řadí voda, kapaliny na vodní bázi a oleje. Spadá sem výroba pitné vody,

čištění odpadních vod, čištění chladících kapalin strojů, čištění strojních maziv či zpracování olejů. [6]

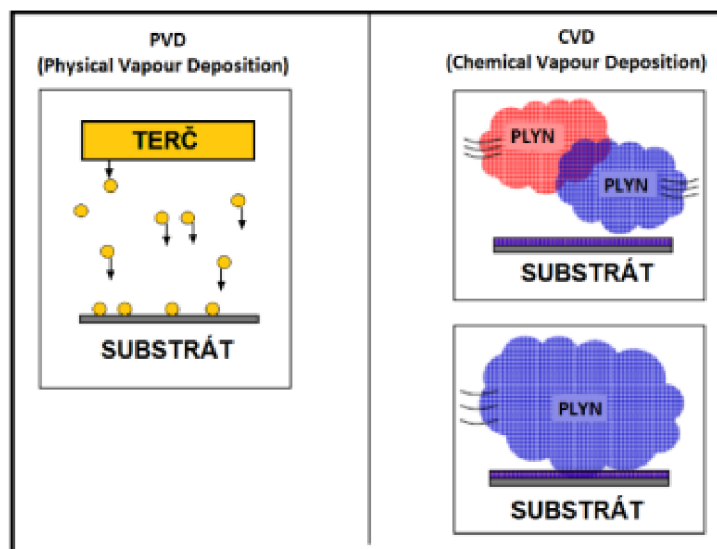
Ve zdravotnickém a farmaceutickém průmyslu filtrace zajišťuje bezpečnost a ochranu pacientů a personálu a kvalitu produktů. Využívá se pro udržení čistoty a kvality prostředí, jako je vzduch, voda nebo chemikálie, při výrobě produktů, např. při testování rozpouštění, filtrování či kontrole kvality léků. Filtrace vzduchu využitá v těchto odvětvích snižuje přenos patogenů. Filtrace vody se aplikuje ve vodovodních rozvodech a pro čištění vody využívané v dalších procesech. Z vody a chemikálií se odstraňují pevné částice, nečistoty, mikroorganismy a bakterie. Analýza rozpuštěných látek je důležitá například i pro hodnocení uvolňování léků. [23–25]

3. Technologie výroby tenkých vrstev a metodiky hodnocení

Tenké vrstvy mohou být vytvořeny mnoha metodami, z nichž jsou nejčastější dvě technologie – PVD (Physical Vapour Deposition) a CVD (Chemical Vapour Deposition). U tenkých vrstev je hodnoceno široké spektrum užitných vlastností. V této kapitole budou zmíněny takové technologie výroby a metody tvorby a hodnocení, které jsou zásadní pro tuto diplomovou práci.

3.1. Technologie výroby tenkých vrstev

Tenké vrstvy jsou vrstvy tvořené na povrchu materiálu tzv. substrátu procesem zvaným depozice, jejich tloušťka se pohybuje od jednotek nanometrů po několik mikrometrů. Tvoří se dvěma základními metodami – CVD a PVD. Oba způsoby užívají rozdílných principů depozice. Pro CVD to jsou chemické reakce a pro PVD fyzikální principy (Obrázek 7). Výroba se skládá ze dvou základních operací. Nejprve před samotnou depozicí je připraven povrch materiálu, pak následuje nanesení povlaku.[26–31]

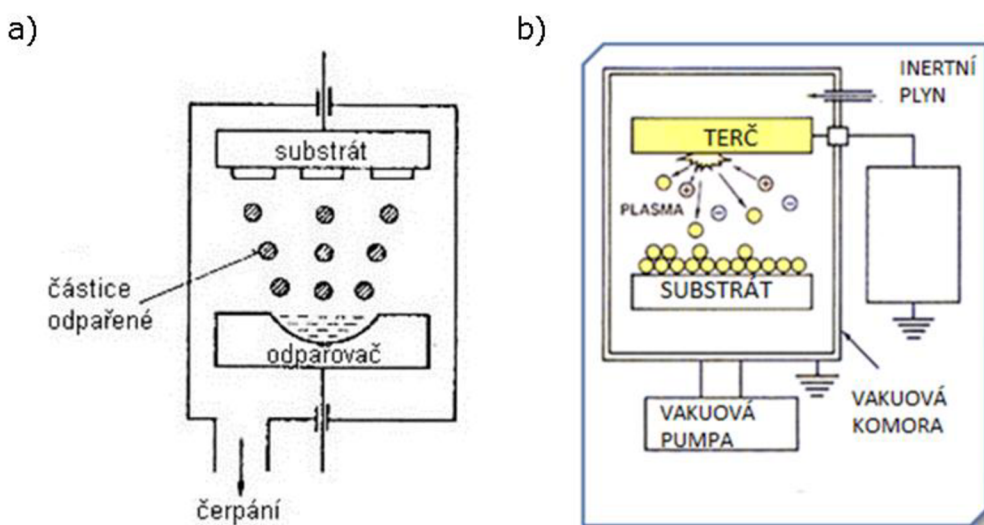


Obrázek 7 Metody PVD a CVD (upraveno) [27]

Metodou CVD vznikají vrstvy chemickou reakcí v deponiční komoře, využití složky pro reakci jsou přivedené v plynné formě. Reakce probíhají za přesně nastaveného tlaku pohybujícího se od 1 do 100 kPa a za zvýšené teploty, které je dosaženo dodáním energie. Tenké vrstvy jsou tvořeny na povrchu substrátu sledem chemických reakcí plynných fází při

kontaktu se substrátem. Pro CVD jsou aplikovány vysoké teploty, nad 750 °C, aby chemické reakce proběhly. Proto tato metoda není využitelná pro veškeré materiály. Takto vytvořené vrstvy mají velkou adhezi, odolnost proti opotřebení a jsou teplotně stabilní. Povlaky jsou homogenní a rovnoměrné. V důsledku relativně vysokých pracovních tlaků dochází k tvorbě tenkých vrstev ve všech místech styku reakčního plynu se substrátem. Tento proces je energeticky náročný, má dlouhý pracovní cyklus a je ekologicky náročný, jelikož pro tvorbu tenkých vrstev jsou využity chemické reakce, a tedy vzniká odpad.[26–29, 31]

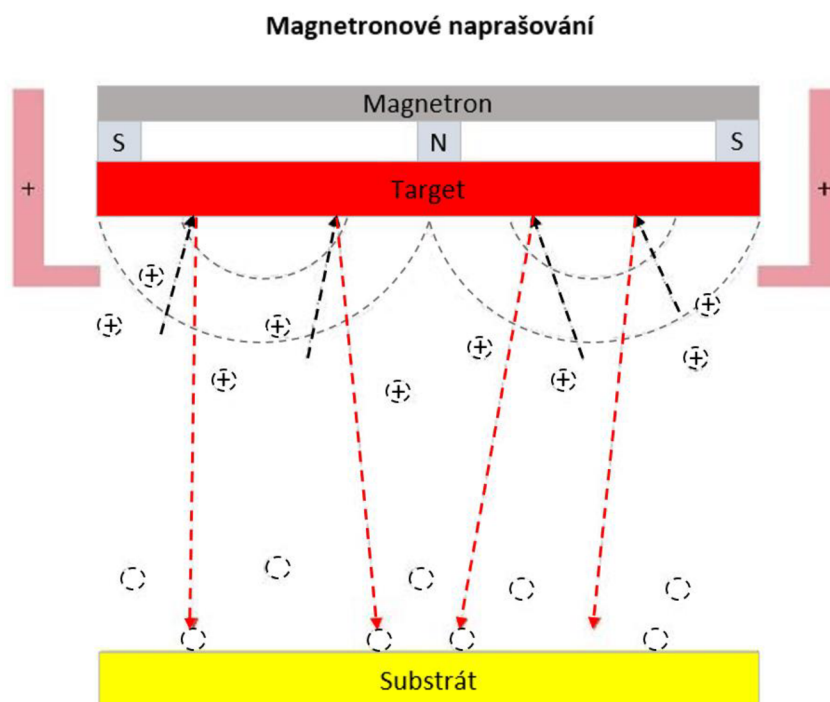
Metoda PVD využívá přeměny materiálu, nazývaného terče/targety, do požadovaného skupenství pomocí zdroje, např.: zdroj částic elektronového děla, nízkonapěťový oblouk či laser. V průběhu procesu se v komoře vyskytuje atmosféra komory, která je tvořena inertním plynem, např. argonem a v konkrétních případech i reakčním plynem, např. dusíkem. Depozice probíhá při sníženém tlaku ochranné atmosféry nebo při vysokém vakuu. V jejím průběhu dochází ke srážkám částic materiálu s částicemi inertního plynu, což zamezuje vzniku nerovnoměrné vrstvy. Metoda PVD se uskutečňuje na základě fyzikálních principů, proto jde o ekologicky šetrnější metodu, kterou lze provádět za nižších teplot, pod 500 °C. Díky tomu se mohou deponovat tenké vrstvy na oceli nebo teplotně citlivé materiály. Pod tuto metodu spadá napařování, napařování a iontové plátování. PVD se řadí do metod reaktivních částic, jelikož sloučenina deponovaná na substrát vzniká v průběhu přesunu mezi zdrojem částic a substrátem. Při napařování dochází k zahřátí tergetu, kdy se základní materiál roztaví a následně odpaří při tlaku vakua $10^{-3} - 10^{-8}$ Pa. U napařování jde o odprášení částic z tergetu nacházejícím se na katodě směrem na anodu, tj. na substrát (Obrázek 8). [26–29, 31]



Obrázek 8 Schéma a) napařování b) napařování (upraveno) [27, 32]

3.1.1. Magnetronové naprašování

Magnetronové naprašování je modifikací technologie naprašování, kdy je přidán pod target planární magnetron pro zefektivnění procesu. Magnetron vytváří statické elektrické pole, které má tvar prstence a tím vzniká husté plazma. Elektrické pole prodlouží dráhu elektronů, čímž dochází k jejich srážkám s pracovním plynem, a tím houstne plazma. V plazmatu vznikne doutnavý výboj, kladné ionty inertního plynu dopadají na target (katoda) a odprašují jeho atomy. Dochází k naprašování targetu na substrát (Obrázek 9). [31, 33, 34]



Obrázek 9 Schéma magnetronového naprašování [35]

Na targetu se nachází reliéf po odprašení, který kopíruje tvar statického elektrického pole, z něhož vzniklo plazma stejného tvaru. V důsledku zachycení elektronů v oblasti tohoto reliéfu se zvyšuje tvorba iontů a to má za následek pokles napětí. Snížení procesního tlaku vede ke zvýšení volné dráhy elektronů. Proto se u magnetronového naprašování využívá nižšího napětí a tlaku než u konvenčního typu naprašování. [30, 33, 34]

Magnetronové naprašování je jednou z nejdůležitějších technologií pro nanášení tenkých vrstev. Využívá se v široké škále případů, například pro díly s velkou plochou, ploché displaye nebo tenkovrstvé solární články. Dají se jím potahovat materiály velmi citlivé na teplotu, jelikož je zde nízké teplotní zatížení substrátu. Magnetronové naprašování zajišťuje vhodnou adhezi tenké vrstvy k substrátu, i když substrát není vodivý. Při této

technologii se nedá kontrolovat rychlost naprašování, s čímž souvisí i rychlost tvorby povlaku a jeho tloušťka. To je zapříčiněno vazbami iontů inertního a reaktivního plynu, a energií kondenzujících částic. Tomuto problému se lze vyhnout rotujícím stolcem. Takto lze tenké vrstvy naprašovat pro potravinářský průmysl, při výrobě filtračních systémů, zdravotnických prostředků či v textilním průmyslu z důvodu poskytnutí antibakteriálních vlastností některými typy vrstev kovů. [30, 33, 36]

3.2. Hodnocení tloušťky vrstev

Tloušťky tenkých vrstev se pohybují od nanometrů po několik mikrometrů. Jejich určení se dělí na přímé a nepřímé. Tloušťka je při přímé metodě měřena např. mikroskopickými metodami. Nepřímé metody jsou založeny na změně fyzikálních vlastností v závislosti na tloušťce. Pod nepřímé metody spadají metody hmotnostní (QCM), optické, elektrické a tenzometrické a metody založené na absorpci a emisi záření. Pro hodnocení tenkých vrstev se dají využít zařízení pro měření drsnosti, kdy se vytvoří vrstva se zamaskovanou částí substrátu a následně se změří vzniklý skok. Dále se využívá metoda kalotest, při níž je zhotoven výbrus ve tvaru mezikruží. V této práci se předpokládá tvorba vzorků s velmi malou tloušťkou vrstev, pod 100 nm, tudíž byla k měření tloušťky tenkých vrstev vybrána metoda Quartz Crystal Microbalance. [31, 37]

3.2.1. Quartz Crystal Microbalance (QCM)

Metoda Quartz Crystal Microbalance, neboli metoda kmitajícího křemenného krystalu, detekuje změnu frekvence oscilací křemenného krystalu pro identifikaci změn hmotnosti. Využívá se k tomu přístroj s krystalem křemene, který má specifické mechanické a tepelné vlastnosti. Z krystalu křemene je vybroušena destička, na jejíž protilehlých stranách jsou umístěny elektrody. Destička je zapojena do oscilačního obvodu. Dochází k adsorpci látky na povrch krystalu, což modifikuje jeho frekvenci. Metody QCM nejsou určeny pouze pro hodnocení tenkých vrstev, ale využívají se v širokém spektru aplikací: od vědeckého výzkumu po průmyslové aplikace. Využívá se při zkoumání rychlosti chemických reakcí, při povrchové adsorpci, v biomolekulárních interakcích či při nanášení tenkých vrstev. [37, 38]

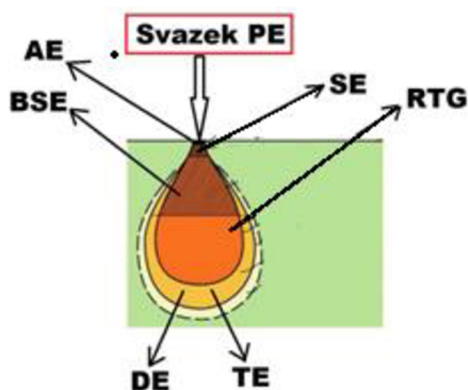
U tvorby tenkých vrstev se tato metoda využívá pro monitorování samotné depozice v reálném čase, jelikož umožňuje regulaci rychlosti růstu a fyzikálně–chemických vlastností

tenkých vrstev. Takto se hodnotí tloušťka tenkých vrstev a depoziční rychlost. Tloušťka tenkých vrstev je touto metodou měřena nepřímou. Hodnotí se změna frekvence kmitů krystalového měřiče. Frekvence vlastních kmitů destičky se při tloušťce t určí pomocí rychlosti příčných elastických vln v_p nebo frekvenční konstanty N : [37–39]

$$f = \frac{v_p}{2t} = \frac{N}{t}. \quad (1)$$

3.3. Rastrovací elektronová mikroskopie (SEM)

Rastrovací elektronová mikroskopie (SEM) spadá pod metody elektronové mikroskopie (EM). Tyto metody slouží k určení struktury povrchu a využívají elektrony k jeho zobrazení. Fungují na principu dopadu primárního elektronového svazku na povrch vzorku. Svazek následně pronikne do jeho určité hloubky, kde na základě rozptylu a absorpce elektronů vznikají signály. Metoda SEM využívá odražené částice jako sekundární elektrony, zpětně odražené elektrony či fotony odraženého RTG záření (Obrázek 10). [40–42]



Obrázek 10 Typy vstupních a odražených částic využívaných při EM (upraveno) [43]

Sekundární elektrony (SE) jsou využity pro zobrazení topografie povrchu. Po interakci elektronů ze svazku jsou vyraženy z vnějších elektronových slupek atomu. Zobrazení závisí na počtu vyražených SE – čím je počet větší, tím světleji se místo zobrazí. Zpětně odraženými elektrony (BSE) je zjišťován chemický kontrast. Jsou to elektrony odražené z materiálu a závisí na protonovém čísle. Těžší prvky odráží více elektronů, tudíž se jeví světlejší. Obraz vzniká na základě změny intenzity signálu z detektoru, která je zapříčiněna různorodou interakcí v jednotlivých bodech. To se projeví jako změna jasu, a tím vznikne vizuální kontrast na obrazu vzorku. [42, 43]

V komoře mikroskopu je vakuum z důvodu proudění elektronů, které by byly jinak rozptylovány srážkami s molekulami vzduchu. K zobrazení povrchu je využit svazek urychlených elektronů (do 30 kV). Svazek primárních elektronů vycházející ze zdroje, jímž je žhavená nebo autoemisní katoda, je fokusován pomocí systému elektromagnetických čoček. Rastrovací cívka umožňuje postupný dopad svazku elektronů v řádcích na vzorek. Dalším konstrukčním prvkem je detektor sekundárních elektronů. Při této metodě je možné vysoké rozlišení povrchu a velké zvětšení (25x – 100 000x). Základní využití je ke studiu fázi a jejich morfologie, či defektů. Vzorky pro SEM musí být vodivé (případně je na vzorek aplikována vodivá vrstva) a bez nečistot z důvodu odvodu elektronů v místě výzkumu, jinak by se elektrony kumulovaly a obraz by byl zkreslený. [40–42, 44]

3.3.1. Energiově disperzní rentgenová spektroskopie (EDS, EDX)

Energiově disperzní rentgenová spektroskopie (EDS) je využívána k chemické mikroanalýze na velmi malé ploše. Spočívá v měření intenzity charakteristického rentgenového záření vzniklého interakcí elektronového svazku s povrchem zkoumaného vzorku. Detekuje energiovou povahu charakteristického RTG záření. Detektor hodnotí celé spektrum vyzářeného charakteristického RTG záření ze vzorku. Detektor této metody je pevnolátkový a je v něm absorbováno RTG záření. Touto metodou dostáváme EDS spektrum s tzv. píky, které jsou hodnoceny. Na základě jejich pozice lze identifikovat konkrétní prvek a dle velikosti integrální intenzity píku lze vyhodnotit množství daného prvku. [42, 45–47]

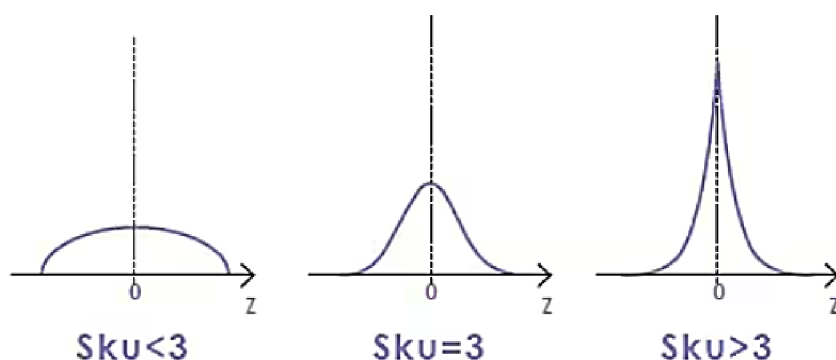
Metoda EDS umožňuje plošnou, liniovou a bodovou mikroanalýzu. Plošnou analýzou je zjišťována změna koncentrace prvku ve zvolené oblasti. Na základě liniové mikroanalýzy je hodnocena změna koncentrací prvku podél navolené linie. Při bodové analýze se detekuje chemické složení lokality o velmi malé ploše. [42, 47]

3.4. Morfologie, topografie a drsnost povrchu

Morfologie studuje tvar, strukturu a distribuci částic na povrchu materiálu. Topografie se zaměřuje na kvantitativní měření rozměrů povrchu. To znamená, že geometricky charakterizuje povrch, což zahrnuje měření drsnosti. Topografie povrchu filtru a její měření úzce souvisí s filtrací samotnou a v medicínských aplikacích má dopad na adhezi buněk,

jejich proliferaci a diferenciaci na povrchu. Typ filtru a jeho parametry ovlivňují drsnost povrchu. [48–51]

Dle normy ISO 25178 (Geometrické specifikace produktu) jsou stanoveny parametry textury povrchu na výškové, funkční, prostorové, hybridní a vlastnosti povrchu. Výškové parametry jsou veličiny umístěné kolmo k povrchu (ve směru osy z), funkční parametry jsou získány na základě integrace výšek povrchu, prostorové parametry jsou veličiny v příčných směrech (ve směru osy x a y), hybridní parametry jsou veličiny na všech osách (x , y , a z) a parametry vlastností povrchu popisují výstupky a prohlubně povrchu. Pod výškové parametry drsnosti povrchu spadá průměrná aritmetická výška plochy Sa , špičatost plochy Sku , největší výška výstupku Sp , průměrná kvadratická výška plochy Sq , maximální hloubka dna plochy Sv a maximální výška plochy Sz . V práci budou využity parametry Sa , Sku a Sz . Maximální výška plochy je definována jako součet nejvyšší hodnoty výšky píku a největší hloubky prohlubně v měřené oblasti. Špičatost plochy udává ostrost výšky profilu. Ta je zkosená a nad střední rovinou, když $Sku < 3$, má normální rozložení, tj. ostré části současně s odsazenými, když $Sku = 3$ nebo špičatá, když $Sku > 3$ (Obrázek 11). [52]



Obrázek 11 Grafické znázornění hodnot pro měření špičatosti plochy [52]

3.4.1. Konfokální mikroskopie

Konfokální mikroskopie je metoda optické mikroskopie, u které je obvykle využit laserový paprsek jakožto zdroj světla. Světlo je detekováno z ohniskové roviny, což zajišťuje vyšší rozlišovací schopnost a umožňuje trojrozměrné zkoumání struktury. Zobrazuje jeden bod objektu v daném okamžiku, tudíž pro vytvoření obrazu celého pole je nutno naskenovat snímky v rovině xy a v ose z . Tím je získán trojrozměrný obraz výsledného snímku. Konfokální mikroskop se skládá z laseru, který vysílá laserový paprsek. Paprsek je soustředěn přes konfokální clonku a dále prochází objektivem na vzorek. Zde se světlo rozptýlí nebo zpětně odrazí. Odražené světlo se dostává opět na clonku, kde je umístěn dělič

paprsků. Ten přeměruje paprsek na druhou konfokální clonku, která odfiltruje světlo z jiných rovin jak ohniskové. Paprsky z ohniskové roviny dopadají na fotonásobič a následně jsou snímány detektorem. [53, 54]

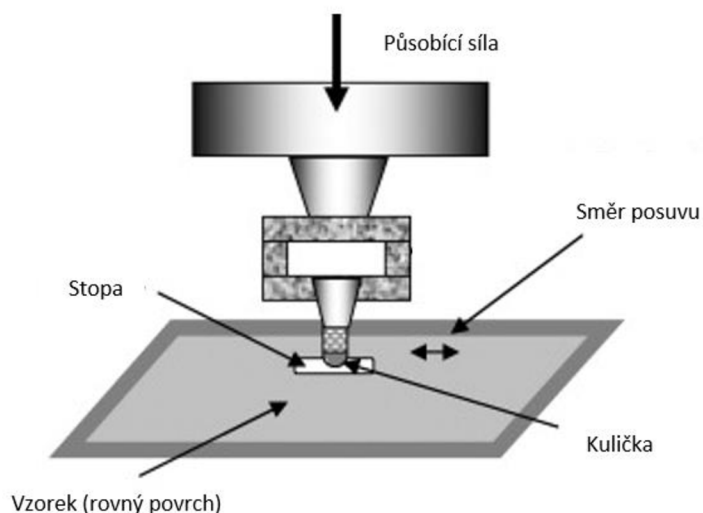
Rozlišují se dva typy konfokálních mikroskopů – rastrující konfokální mikroskop a konfokální mikroskop s rotujícím diskem. U rastrujícího typu je posun laserového paprsku uskutečněn skenujícím zařízením. Model s rotujícím diskem má místo skenujícího zařízení rotující kotouč s velkým počtem clonek, které jsou vzájemně odděleny. [53, 54]

3.5. Hodnocení tribologických vlastností

Tribologickými zkouškami se hodnotí tření materiálů a jejich následné opotřebení v návaznosti na vzájemný pohyb povrchů dvou materiálů, které jsou v kontaktu. U vzorků modifikovaných magnetronovým naprašováním je sledována otěruvzdornost a odolnost zkoumaného povrchu, která je porovnávána s výsledky před samotnou úpravou. Tribologické zkoušky jsou uskutečněny pomocí tribometrů. Ty využívají staticky upevněné tělísko, které vykonává zátěž proti pohybujícímu se vzorku. Vzorek v průběhu testu vykonává buď rotační nebo reciproční pohyb. Existuje mnoho metod zkoumání a hodnocení tribologických vlastností, např.: Ball-on-Disc, Pin-on-Disc, Pin-on-Ring nebo Ring-on-Ring. Pro textilní a filtrační materiály jsou vhodné metody s vratným pohybem nazývané se Ball-on-Flat nebo Pin-on-Flat (ASTM G133). Výstupem zkoušek je tzv. koeficient tření, jeho změna v průběhu testu a míra opotřebení protitělesa. Při experimentech pro hodnocení tribologických vlastností mohou být využity změny podmínek teploty nebo látky pro mazání. [30, 55–57]

3.5.1. Metody Ball-on-Flat a Pin-on-Flat

Metody Ball-on-Flat (Obrázek 12) a Pin-on-Flat jsou charakteristické využitím pevného tělesa ve tvaru kuličky (Ball) nebo kolíku s plochým zakončením (Pin) s přesně definovanými rozměry a materiálem. Těleso je přitlačeno definovanou silou k plochému vzorku (Flat), který je orientován horizontálně. Vzorek se pohybuje dozadu a dopředu vratným pohybem. Pro tyto zkoušky se využívají dva typy pohybu – sinusový a lineární. Sinusový pohyb je často vykonáván vačkou a lineární pohyb servosystémem. Měření má předem definovanou vzdálenost podle zvolené délky dráhy pohybu anebo podle počtu cyklů. Ty jsou detekovány senzorem polohy. Na povrchu vzorku se vytvoří stopa. [55, 57]



Obrázek 12 Schéma metody Ball-on-Flat (upraveno) [55]

Těmito experimenty se hodnotí koeficient tření, který se určuje z měření působících sil a je udáván v závislosti na čase nebo počtu cyklů. Dále jsou hodnoceny jeho změny v průběhu zkoušek. Sleduje se také opotřebení vzorku a protitělesa profilometrickým měřením. Opotřebení vzorků s definovanou hustotou lze měřit pomocí ztráty jejich hmotnosti. [55–57]

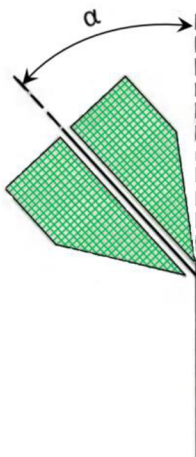
3.6. Odolnost vůči deformaci

Odolnost proti deformaci dílů je nutno testovat, jelikož nelze jednoznačně od sebe odlišit a definovat jednotlivé vlastnosti substrátu a vrstvy. Deformace souvisí s tuhostí a pružností povlaku, jeho přilnavostí nebo tažností. Provádí se zkoušky se statickým nebo dynamickým zatížením. [30]

3.6.1. Vliv namáhání ohybem

Zkouška ohybem patří pod tzv. zkoušky přilnavosti, kdy je sledována tuhost materiálu. Tuhost udává odolnost materiálu vůči namáhání ohybem. Je vyjádřena jako ohybový moment M_o (mN/cm). Změny na materiálu, které vznikly v průběhu této zkoušky se následně pozorují mikroskopicky. Pro test jsou využity vzorky s přesně definovanými velikostmi. Při měření je vzorek upevněn do svorky zkušebního zařízení, která je pohyblivá a otáčí se o úhel α od svislé osy. Osa otáčení pohyblivé svorky se shoduje s okrajem upevnění

vzorku (Obrázek 13). Příklad udává maximální dosaženou hodnotu síly F_1 potřebnou pro deformaci zkušební vzorku v průběhu měření. [30, 58, 59]



Obrázek 13 Nákres principu ohybové zkoušky [60]

Z naměřené hodnoty síly F_1 (N) se zjistí tuhost, tj. je vypočten ohybový moment M_0 :

$$M_0 = F_1 * K, \quad (2)$$

kde K je konstanta určena na základě vztahu:

$$K = \frac{l}{b}, \quad (3)$$

kdy l je délka měřeného vzorku při výchylce α a b je pracovní šířka vzorku. [59]

3.7. Porozita filtrů

Porozita filtrů je definována jako objem porézního materiálu, který není zabírán vlákny, uvádí se v procentech. S porozitou souvisí velikost pórů, která se určuje podle střední, či maximální zjištěné hodnoty nebo podle distribuce jejich velikostí. Pro hodnocení je nutné využít vhodnou definici póru samotného. Ten je pro filtrační aplikace dán jako kulový útvar promítnutý v mezivlákněm prostoru. [2, 13]

Porozita filtrů se hodnotí buď přímou metodou pomocí mikroskopické analýzy, propouštěním definovaných částic textilií nebo průnikem kapalného činidla do textilie či přes ni. Mikroskopická analýza, která zobrazuje strukturu ve 2D, se nazývá přímá metoda. Určují se tak tvary pórů. Průnik kapalného činidla do textilie či přes ni (dle vybrané metody) charakterizuje vztah mezi povrchovým napětím vznikajícím při styku kapaliny s textilií a tlakem. Ten vytlačuje či vtlačuje tekutinu z nebo do textilie (dle vybrané metody). Tento typ hodnocení porozity filtrů závisí na smáčivosti povrchu danou tekutinou. Řadí se sem

bublínková metoda a rtuťová porozimetrie. Bublínková metoda se využívá pro smáčivý povrch, kdy je tekutina vytlačována ven z filtru. Při metodě rtuťové porozimetrie je tekutina vtlačována dovnitř, tudíž je určena pro nesmáčivé povrchy. [2, 13]

3.8. Hodnocení povrchové energie

Povrchová energie, s níž souvisí smáčivost, má stejně jako topografie povrchu vliv na adhezi buněk, jejich proliferaci a diferenciaci na povrchu. S povrchovou energií dále souvisí hydrofilie a hydrofobie. Hydrofilní povrchy se vyznačují vysokou povrchovou energií a hydrofobní povrchy mají povrchovou energii nízkou. Hydrofilní a hydrofobní povaha materiálů má významnou roli pro filtraci ve vlhkých podmínkách, jelikož je výhodnější využít pro vyšší efektivitu filtrace v těchto podmínkách hydrofobní nebo povrchově aktivované materiály. Hydrofilii povrchu lze změnit úpravou chemického složení nebo mikrostruktury povrchu materiálů. [5, 50, 61, 62]

Volná povrchová energie má jednotku $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$ (příp. $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$ nebo $\text{dyn}\cdot\text{cm}^{-1}$) a je definována jako práce W potřebná pro vznik nového povrchu s plochou ΔA . Pro stanovení povrchové energie se využívají zejména nepřímé metody, jelikož přímá měření jsou obtížná. Pod nepřímé metody spadá zjištění volné povrchové energie pomocí kontaktního úhlu smáčení, které je jednou z nejjednodušších metod. Je provedeno pomocí hodnocení kontaktního úhlu, který svírá kapka využití kapaliny s povrchem. Následně je určena volná povrchová energie Youngovou rovnicí. Existuje mnoho modelů pro zjištění volné povrchové energie na základě Youngovy rovnice, např.: Owens-Wendt-Rable-Kaeble, Lifshitz-van der Waals/acidobazická, Li-Neumann, Kwok-Neumann, Wu stavová rovnice, či Zisman. Tyto modely popisují mezimolekulární interakce a liší se v množství interakcí, např.: typ a počet kapalin, nebo typ povrchů (Tabulka 5). [62–64]

Kontaktním úhlem smáčení se vyhodnocuje, zda kapalina povrch smáčí, tj. je hydrofilní nebo nesmáčí, tj. je hydrofobní (Tabulka 6 a Obrázek 14). Smáčivost povrchu vodou souvisí s povrchovou energií, jelikož u hydrofilních povrchů se vyskytuje vysoká povrchová energie a u hydrofobních nízká povrchová energie. Materiály se střední povrchovou energií mohou mít být hydrofilní nebo hydrofobní v závislosti na parametrech a podmínkách, např.: typ materiálu, jeho chemické složení, teplota či vlhkost. Při kontaktním úhlu 0° kapalina dokonale smáčí povrch, tj. rozlije se po pevném povrchu a při 180° kapalina dokonale nesmáčí povrch. Kapaliny, které mají kontaktní úhel v intervalu od 0° do 90° smáčí povrch a kapaliny s kontaktním úhlem od 90° do 180° nesmáčí povrch. Hodnoty povrchové

energie určují, zda je vysoká, střední nebo nízká (Tabulka 7). Vysoká povrchová energie je nad 300 dyn/cm (300 mJ/m²) a vyznačuje se vhodnou smáčivostí povrchu. Střední povrchová energie je v intervalu od 36 dyn/cm (36 mJ/m²) do 300 dyn/cm (300 mJ/m²). Nízká povrchová energie je pod 36 dyn/cm (36 mJ/m²), zde jsou povrchy nesmáčivé. [62–65]

Tabulka 5 Využití pro jednotlivé modely vyhodnocení povrchové energie [63, 64]

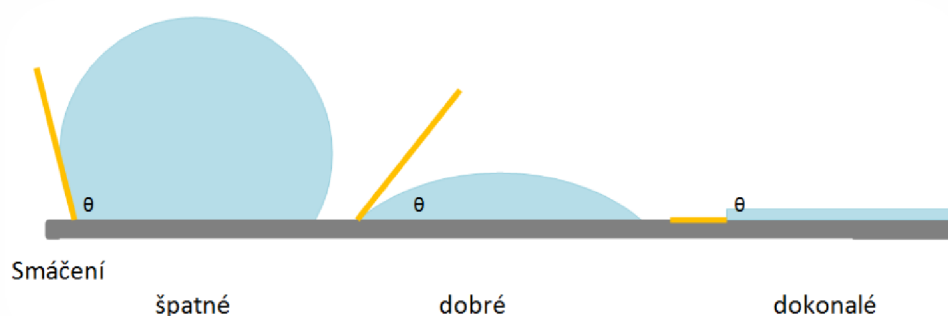
Model	Využití	Kapaliny	Povrchy
Owens-Wendt-Rable-Kaeble	Vliv polárních a disperzních interakcí na smáčivost a adhezi	Dvě kapaliny	Kovové materiály, kovové materiály s povlaky, polymery, středně polární povrchy s nízkým nábojem
Zisman	Hodnocení povrchového chování	Jedna kapalina	Kovové materiály, kovové materiály s povlaky, pouze nepolární povrchy, tekutiny
Kwok-Neumann	Hodnocení přilnavosti a adheze pevných materiálů	Jedna kapalina	Široká škála materiálů (povrchů) včetně kovů a materiálů s povlaky
Li-Neumann	Hodnocení povrchové struktury a vlastností	Jedna kapalina	Široká škála materiálů včetně kovů a materiálů s povlaky
Wu stavová rovnice	Hodnocení povrchové energie pro složené povrchy	Jedna kapalina	Polymery, materiály s nízkou povrchovou energií (do 40 mJ/m ²)
Lifshitz-van der Waals	Hodnocení adheze na povrchu	Tři kapaliny	Široká škála materiálů, kapaliny

Tabulka 6 Hodnoty kontaktního úhlu smáčení [62–65]

Kontaktní úhel smáčení		
Název	Hodnota	Hydrofilní / hydrofobní
Kapalina dokonale smáčí povrch	$\theta = 0^\circ$	Hydrofilní
Kapalina dokonale nesmáčí povrch	$\theta = 180^\circ$	Hydrofobní
Kapalina smáčí povrch	$0^\circ < \theta < 90^\circ$	Hydrofilní
Kapalina nesmáčí povrch	$90^\circ < \theta < 180^\circ$	Hydrofobní

Tabulka 7 Hodnoty povrchové energie [62–65]

Povrchová energie		
Název	Hodnota	Hydrofilní / hydrofobní
Vysoká povrchová	$300 \text{ mJ/m}^2 < W_p$	Hydrofilní
Střední povrchová	$36 \text{ mJ/m}^2 < W_p < 300 \text{ mJ/m}^2$	Hydrofilní nebo hydrofobní
Nízká povrchová energie	$W_p < 36 \text{ mJ/m}^2$	Hydrofobní



Obrázek 14 Kontaktní úhel smáčení [66]

Metody Li-Neumann, Kwok-Neumann a Wu využívají pro zjištění povrchové energie stavovou rovnici. Model Owens-Wendt-Rable-Kaeble funguje na základě známých mezimolekulárních přitažlivých sil mezi pevnou látkou a kapalinou. Model Lifshitz-van der Waals/acidobazický model využívá nekovalentních a neelektrostatických interakcí. Model Zisman stanovuje kritickou celkovou povrchovou energii. Některé z těchto modelů: Owens-Wendt-Rable-Kaeble, Wu, Li-Neumannova a Kwok-Neumannova rozlišují disperzní a polární složku. Disperzní složka je tvořena Londonovou disperzní interakcí a polární složka interakcí vodíkových vazeb. [62, 64]

3.9. Prodyšnost a propustnost filtrů

Prodyšnost a propustnost filtrů má značku k a udává kapacitu porézního materiálu, kterým může projít disperzní prostředí (kapalina nebo plyn). Pro jejich stanovení existuje více definic, např. prodyšnost podle normy EDANA 140.1, propustnost dle D'Arcyho zákona a propustnost dle modelu Hagen-Dupuit-D'Arcy's. Definice závisí na množství zahrnutých parametrů. Prodyšnost se vztahuje na pouze na vzduch, propustnost na plyny a kapaliny. [12, 13, 21]

Prodyšnost určuje množství vzduchu, které projde přes 1 m² filtru za 1 minutu při definovaném tlaku a má jednotku l/dm²/min. Je formulována na základě rovnice: [12, 13]

$$k_1 = \frac{Q}{A}, \quad (4)$$

kde k_1 je prodyšnost (l/dm²/min), Q je průtok vzduchu (l/min) a A je plocha průřezu filtru (dm²). [12, 13]

V praktických aplikacích je na základě D'Arcyho zákona zjištěn koeficient propustnosti. Pro testování koeficientu propustnosti se využívá vzduch nebo voda, kdy se měří objemová rychlost průtoku disperzního činidla na jednotku plochy průřezu a je zaznamenáván proti specifickým rozdílům tlaků. Existují dva vztahy – jednoduchý nebo složitý. Výpočty se liší v zahrnutí dynamické viskozity a tloušťky filtru. Vztahy se vypočítají:

$$k_2 = \frac{Q}{A * \Delta p}, \quad (5)$$

kde k_2 je koeficient propustnosti (m/Pa/s), Q je průtok disperzního prostředí (l/min), A je plocha průřezu filtru (dm²) a Δp je tlakový spád (Pa) a

$$k_3 = \frac{Q * \eta * h}{A * \Delta p}, \quad (6)$$

kde k_3 je koeficient propustnosti (m/Pa/s), Q je průtok disperzního prostředí (l/min), A je plocha průřezu filtru (dm²), Δp je tlakový spád (Pa), η je dynamická viskozita (Pa.s) a h je tloušťka filtru (m). [13, 21]

Hagen-Dupuit-D'Arcy's model určuje koeficient propustnosti u viskózních tekutin, jelikož zahrnuje tzv. koeficient nelinearity C pro vyjádření velikosti nelinearity. Pro výše uvedený typ tekutin je typický nelineární vztah mezi průtokem disperzního prostředí a tlakovým spádem. Model je formulován vztahem:

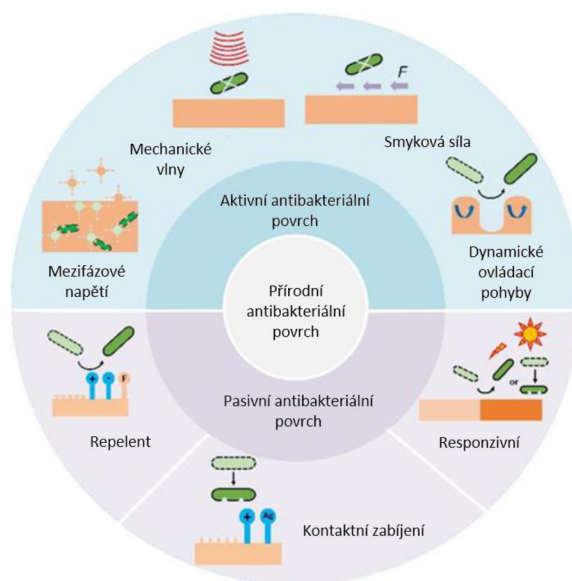
$$\Delta p = \frac{\eta * h}{k_4 * A} * Q = \frac{\rho * C * h}{A} * Q^2, \quad (7)$$

kde k_4 koeficient propustnosti (s²/m⁴), Q je průtok disperzního prostředí (l/min), A je plocha průřezu filtru (dm²), η je dynamická viskozita (Pa.s), h je tloušťka filtru (m) a ρ je hustota disperzního prostředí (g/m²). [13]

3.10. Hodnocení antibakteriálních vlastností

Povrchy v biomedicínských aplikacích, včetně povrchů filtrů podléhají bakteriálnímu znečištění a tvorbě tzv. biofilmu. Filtraci je možné využívat také pro samotnou selekci bakterií z vody. Proto je nutné hodnotit jejich přítomnost po zachycení na filtr a jejich výskyt v tzv. filtračním koláči. [67, 68]

Antibakteriální povrchy se dělí na aktivní a pasivní (Obrázek 15). Aktivní antibakteriální povrchy působí na bakterie pomocí zvolené látky, což způsobuje jejich likvidaci. To zapříčiňuje ulpívání mrtvých bakterií na povrchu materiálu a tvorbu filtračního koláče. Aby se tomuto jevu zabránilo byly vyvinuty způsoby jejich odstranění na základě smykové síly, mezifázového napětí, mechanických vln nebo plazmatických úprav. Pasivní antibakteriální povrchy jsou vyrobeny chemickou modifikací nebo fyzikální modifikací, kam spadají také metody PVD. Jedná se o povrchy odpuzující bakterie, povrchy zabíjející bakterie na základě kontaktu (contact-killing) a responzivní povrchy. Antibakteriální povrchy jsou aplikované do biomedicínských zařízení, implantátů, obvazů na rány nebo do systémů dezinfekce vzduchu. [68]



Obrázek 15 Rozdělení antibakteriálních povrchů (upraveno) [68]

Pro hodnocení antibakteriální aktivity existuje celá řada metod, např.: Kirby – Bauer test, imerzní test a Live/dead metoda. [14]

3.10.1. Kirby-Bauer test

Kirby-Bauer test zkoumá úroveň antibakteriální aktivity na základě růstu bakterií v okolí nebo pod vzorkem, tj. zda jsou bakterie aktivně zabíjeny. Zkouška probíhá v Petriho miskách, v nichž se nachází agar. Ten slouží jako tuhé kultivační médium pro růst těchto organismů. Vrchní vrstva agaru je naočkována zvolenými bakteriemi. Vzorky, jejichž rozměry musí být max. 1/6 rozměru Petriho misky, jsou umístěny na agar doprostřed misek, kde přijdou do kontaktu s bakteriálním inukolem. Takto je připraven i negativní kontrolní vzorek, tj. vzorek bez antibakteriálních účinků a pozitivní kontrolní vzorek, tj. vzorek s přesně danou antibakteriální účinností na zvolené bakteriální kmeny. Poté jsou veškeré vzorky inkubovány pro růst bakterií při teplotě $37 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu 18 – 24 hodin. Hodnotí se inhibiční zóna H , což je vzdálenost (mm) mezi okrajem testovaného vzorku a prvním výskytem bakteriálních kolonií. Antibakteriální schopnost představuje šířka inhibiční zóny, kdy při zvětšující se šířce je silnější antibakteriální schopnost. Šířka inhibiční zóny se vypočte dle vzorce:

$$H = \frac{(D - d)}{2}, \quad (8)$$

kde D je průměr k inhibiční zóně (mm) a d je průměr vzorku (mm). Nakonec se všechny výsledky přepočítají k výsledku pozitivní kontroly, který odpovídá 100% účinnosti. [14, 69]

4. Experimentální část

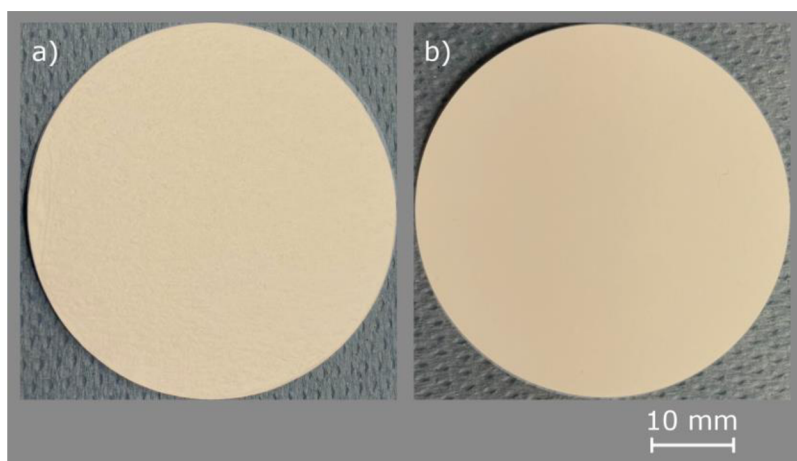
Experimentální část se zabývá zvolenými materiály substrátu, vytvořenými tenkými vrstvami, a využitou metodikou tvorby a hodnocení tenkých vrstev.

4.1. Materiál a příprava substrátů

Jako substrát byly využity dva typy filtrů – filtr ze skelných mikrovláken GF/A od výrobce Whatman a filtr membránový NYLON od výrobce Fisherbrand (Tabulka 8 a Obrázek 16).

Tabulka 8 Parametry substrátů [70, 71]

Název produktu	Filtr ze skelných mikrovláken GF/A	Filtr membránový NYLON
Materiál filtru	100% borosilikátové sklo bez plnidel	Polyamid 6.6
Typ filtru	GF/A	NYLON
Průměr filtru (mm)	47	47
Tloušťka filtru (μm)	260	150-187
Porozita filtru (μm)	-	0,45
Velikost zadržovaných částic (μm)	1,6	-



Obrázek 16 Znárodnění použitých substrátů **a)** GF, **b)** NYLON

Filtr ze skelných mikrovláken GF/A je určen pro monitoring znečištění vody a ovzduší a filtrování odpadních vod, pro filtraci kultur řas a bakterií, filtraci proteinů a analýzu potravin. Dále pro radioimunotestování slabých β zářičů a gravimetrické stanovení částic ve vzduchu. Vyznačuje se malým průtokovým odporem a umožňuje velké zatížení. Filtr

membránový NYLON je vyroben z polyamidu 6.6 (nylon), které jsou užívány k filtraci vodných roztoků a většiny organických rozpouštědel. Jeho předními vlastnostmi jsou hydrofilie a pevnost za mokra i za sucha. [70, 71]

Substráty (filtry) byly použity celé, nebo byly děleny do požadovaných velikostí pro vybrané zkoušky. Dělení bylo uskutečněno pomocí nůžek. Pro určité metodiky hodnocení byly filtry upevněny na podložní sklička oboustrannou lepící páskou. Nůžky a podložní sklička byly před přípravou vzorků očištěny izopropylalkoholem. Filtry byly na podložní skličko přilepeny napnuté a rovné, aby bylo zamezeno zkreslení výsledků měření.

4.2. Navržené tenké vrstvy a jejich depozice

Tenké vrstvy aplikovatelné na teplotně citlivé filtrační materiály byly navrženy dle předchozí rešerše. Při té bylo zjištěno, že pro výše uvedené materiály se využívá měď, stříbro a jejich směs, dále titan a zirkonium. [36, 72, 73]

Vrstvy použité pro tuto práci byly vytvořeny z targetů zirkonia, mědi, titanu a slitiny mědi se stříbrem. Byla využita slitina mědi se stříbrem o poměru Cu 30 hm% a Ag 70 hm%. Depozice tenkých vrstev byla uskutečněna v povlakovacím zařízení NP 70 od firmy KWS CZ s.r.o. (Obrázek 17). Toto zařízení umožňuje dvě základní technologie – magnetronové naprašování povrchu substrátu a ionizační čištění ve vysokoenergetické plazmě. Jedná se o zvonový typ složený z jedné komory. V komoře se nachází čtyři kruhové magnetrony a horizontálně uložený pracovní stůl, který umožňuje polohování na základě otáčení okolo své středové osy. Tato komora dokáže tvořit tenké vrstvy z jedné strany substrátu, jelikož dovoluje uložit substrát staticky na stůl a nemá závěsný systém. [74]



Obrázek 17 Powlakovací zařízení NP 70, firma KWS CZ s.r.o.

Veškeré navržené vrstvy byly vytvořeny pro oba typy substrátu. Pro jejich tvorbu byl využit argon o průtoku 30 sccm jako pracovní plyn. Depozice byla uskutečněna za rotace stolku při rychlosti 10 °/sec (0,1745 rad/sec) o celkovém počtu 3 otáček. Byl využit nízký primární tlak, $P_{\text{prim}} \leq 0,001$ Pa pro docílení vysoké čistoty depozičního procesu. Tenké vrstvy z kovů a jejich slitin byly tvořeny z výše uvedených targetů, kdy pro každý kov byly zhotoveny dva vzorky s odlišným zadaným výkonem zdroje (Tabulka 9).

Tabulka 9 Parametry depozice vzorků z čistých kovů

Vzorek	Target	Pracovní tlak (Pa)	Zadaný výkon zdroje (kW)	Pracovní plyn	Průtok pracovního plynu (sccm)	Počet otáček stolku
C2.1	CuAg	0,13	0,9	Ar	30	3
C2.2	CuAg	0,13	0,4	Ar	30	3
C3.1	Cu	0,13	0,9	Ar	30	3
C3.2	Cu	0,13	0,4	Ar	30	3
C4.1	Ti	0,13	0,9	Ar	30	3
C4.2	Ti	0,13	0,4	Ar	30	3
C5.1	Zr	0,13	0,9	Ar	30	3
C5.2	Zr	0,13	0,4	Ar	30	3

Výše uvedené deponované kovy a jejich slitiny mají tendenci podléhat oxidaci v průběhu času, což může vést ke změně jejich vlastností. Pro zabránění tohoto jevu byly navrženy tenké vrstvy oxidů vybraných kovů. Byly zhotoveny vrstvy na bázi mědi, titanu, zirkonia a slitiny mědi se stříbrem. Stejně jako u předešlých parametrů se depozice lišily v zadaném výkonu zdroje. Byly využity dva pracovní plyny – argon a kyslík o poměru 10:1. Počet otáček stolu, tj. doba depozice pro vrstvy z targetů titanu a zirkonia byl zvýšen na 9 otáček při stejné rychlosti z důvodu delšího času potřebného k tvorbě těchto vrstev. U zbylých vrstev byl ponechán původní počet otáček (Tabulka 10).

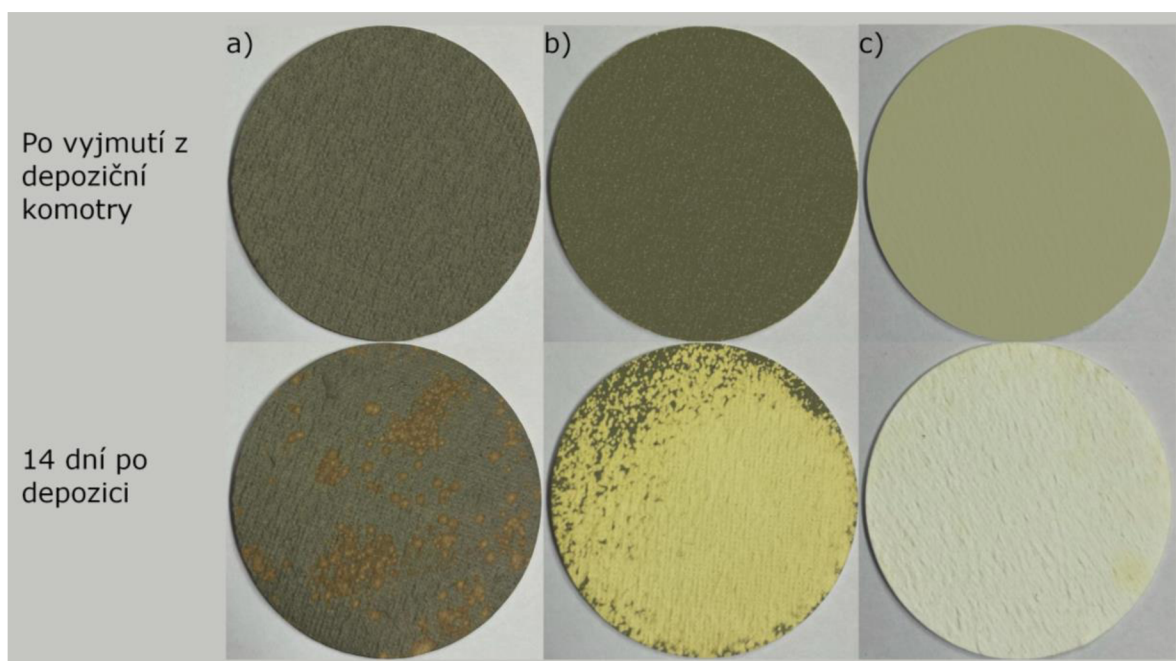
Tabulka 10 Parametry tenkých vrstev oxidů kovů

Vzorek	Target	Pracovní tlak (Pa)	Zadaný výkon zdroje (kW)	Pracovní plyn 1	Průtok pracovního plynu 1 (sccm)	Pracovní plyn 2	Průtok pracovního plynu 2 (sccm)	Počet otáček stolku
K2.1	CuAg	0,13	0,9	Ar	30	O ₂	3,3	3
K2.2	CuAg	0,13	0,4	Ar	30	O ₂	3,3	3
K3.1	Cu	0,13	0,9	Ar	30	O ₂	3,3	3
K3.2	Cu	0,13	0,4	Ar	30	O ₂	3,3	3

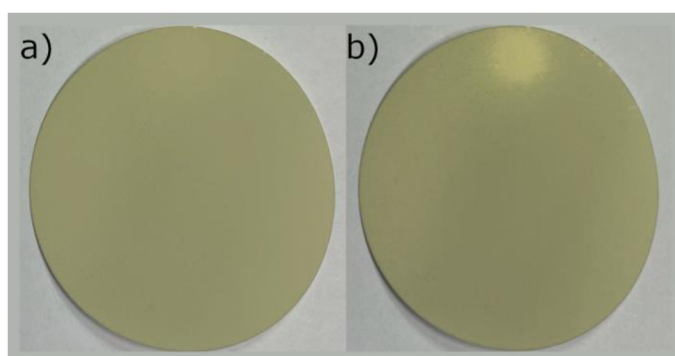
Tabulka 10 Parametry tenkých vrstev oxidů kovů – pokračování

K4.1	Ti	0,13	0,9	Ar	30	O ₂	3,3	9
K4.2	Ti	0,13	0,4	Ar	30	O ₂	3,3	9
K5.1	Zr	0,13	0,9	Ar	30	O ₂	3,3	9
K5.2	Zr	0,13	0,4	Ar	30	O ₂	3,3	9

U vzorků K2.1, K3.1 a K3.2 deponovaných na substrátu GF (Obrázek 18) a u vzorku K3.2 deponovaného na substrátu NYLON (Obrázek 19) byla pozorována nestabilita vrstev. Byla zhotovena analýza SEM pro lepší pochopení vzniklého jevu. Z dalšího testování byly vzorky vyřazeny.



Obrázek 18 Vrstvy na substrátu GF po vyjmutí z depoziční komory a 14 dní po depozici
a) K2.1 b) K3.1 c) K3.2



Obrázek 19 Vrstva K3.2 na substrátu NYLON a) po vyjmutí z depoziční komory b) 14 dní po depozici

4.3. Metody hodnocení vzorků

U vzorků byla hodnocena jejich tloušťka, struktura povrchu pomocí analýzy SEM, chemické složení EDS mikroanalýzou, tribologické vlastnosti, odolnost vůči deformaci, povrchová energie, propustnost filtrů a antibakteriální vlastnosti.

4.3.1. Hodnocení tloušťky vrstev

Tloušťka tenkých vrstev byla sledována v průběhu depozice metodou QCM (Kapitola 3.2.1). Byl využit krystalový měřič, který byl připevněn ke komoře a jejímu Software. Pro měření byla detekována jeho frekvence, která byla zaznamenána před uskutečněním depozice $f_{počáteční}$ (Hz). Následně byl krystal umístěn do komory v blízkosti substrátu. Takto byla při tvorbě tenkých vrstev nanášena vrstva i na samotný krystal. Nanášením tenké vrstvy se změnila frekvence krystalového měřiče, která byla odečtena po dokončení depozice f_{final} (Hz). Tloušťka tenkých vrstev byla získána dle výpočtů poskytnutých výrobcem depozičního zařízení. Nejprve bylo potřeba zjistit rozdíl frekvencí Δf (Hz):

$$\Delta f = f_{final} - f_{počáteční} \quad (9)$$

Následně byla vypočítána tloušťka t (nm) dle rovnice:

$$t = \left[\left(\frac{K}{f_{počáteční} - \Delta f} - \frac{K}{f_{počáteční}} \right) * \frac{\rho_{SiO_2}}{\rho_{látka}} \right] * 10^6, \quad (10)$$

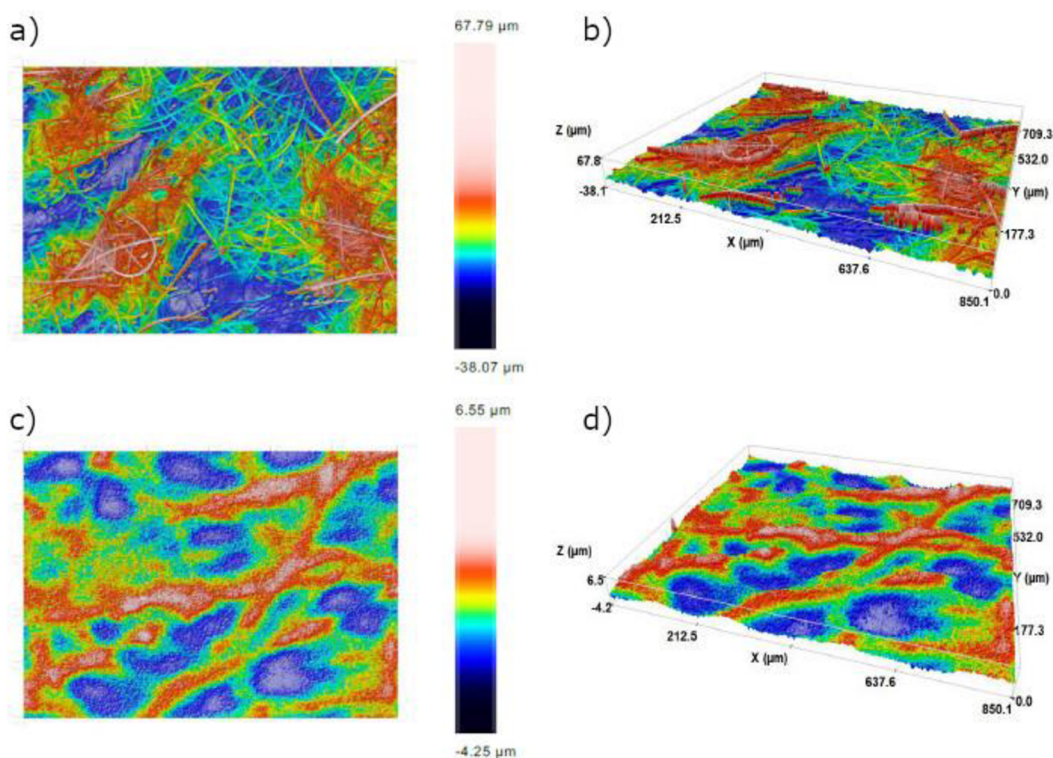
kde K je kmitočtová konstanta specifická pro využitý krystal ($\text{Hz} \cdot \mu\text{m}$), Δf je rozdíl frekvencí (kHz), $f_{počáteční}$ je frekvence před depozicí (kHz), ρ_{SiO_2} je hustota využitého křemene (kg/m^3) a $\rho_{látka}$ je hustota naprašované látky (kg/m^3).

4.3.2. Rastrovací elektronová mikroskopie s EDS analýzou

Pomocí rastrovací elektronové mikroskopie na mikroskopu Carl Zeiss ULTRA Plus (Cxi TUL) s mikroanalytickou sestavou EDS + WDS + EBSD byl zkoumán povrch vzorků a bylo hodnoceno jejich chemické složení. Sledování povrchu bylo zaměřeno u filtrů typu GF na vlákna a u typu NYLON na póry. Byla zkoumána struktura jejich povrchu, velikost skleněných vláken u filtrů GF a velikost pórů u filtrů NYLON.

4.3.3. Hodnocení morfologie, topografie a drsnosti povrchu

Morfologie, topografie a drsnost povrchu byla hodnocena na bezkontaktním optickém 3D profilometru S Neox od firmy SENSOFAR dle normy ISO 25178. Měření bylo provedeno při optickém zvětšení 20x pro oba substráty (Obrázek 20) a veškeré vytvořené tenké vrstvy na těchto substrátech. Pro vhodnou interpretaci výsledků byla plocha každého snímání v Software srovnána do roviny.



Obrázek 20 Snímek profilu substrátů při optickém zvětšení 20x: filtr GF **a)** 2D obraz **b)** 3D obraz; a filtr NYLON **c)** 2D obraz **d)** 3D obraz

4.3.4. Hodnocení tribologických vlastností

Tribologické vlastnosti substrátů a jednotlivých vzorků s nanesenými tenkými vrstvami byly hodnoceny na tribometru pro suché a kapalné prostředí firmy Anton Paar. Testování bylo provedeno dle normy ASTM G133, kdy byla využita metoda Ball-on-Flat s lineárním vratným pohybem protitělesa (kuličky, Ball) vůči vzorkům (Kapitola 3.5.1). Byla využita kulička Soda Lime od firmy Redhill Precision o průměru 6 mm. Tato kulička je vyrobena ze sodnovápenatého skla, má tvrdost 465 KHN a měrnou hmotnost 2,500 g/cm³.

Pevně uchycené protitěleso (kulička, Ball) bylo vtlačováno do zkušebních vzorků při rychlosti 4,5 cm/s, pod zatížením 0,5 N a v počtu 180 cyklů, tj. na dráze 5 m. Při této metodě bylo zjišťováno tření mezi tělesy a opotřebení vzorku.

Zkouška byla provedena pro vrstvy deponované na substrátu NYLON, jelikož u substrátu GF došlo k proboření kuličky a následné destrukci vzorku. Pro hodnocení tření mezi tělesy byly sledovány statický a dynamický koeficient tření. Statický koeficient tření udává odpor tělesa na počátku testu při působení síly, tj. odpor tělesa před uvedením do pohybu. Dynamický koeficient tření je detekován v průběhu pohybu, kdy na těleso působí síly. Přístroj pro metodu Ball-on-Flat udává graf průběhu koeficientu tření, počáteční koeficient tření, jeho průměr, směrodatnou odchylku, minimální a maximální hodnotu.

Opotřebení zkoušených vzorků bylo sledováno bezkontaktním optickým 3D profilometrem S Neox od firmy SENSOFAR. Pro každý vzorek bylo provedeno šest měření při optickém zvětšení 10x. Vzniklá tribologická stopa byla zkoumána ve středu délky dráhy, kde byla zajištěna lineární rychlost tělesa (kulička/ball). Byla hodnocena hloubka a šířka vzniklé stopy.

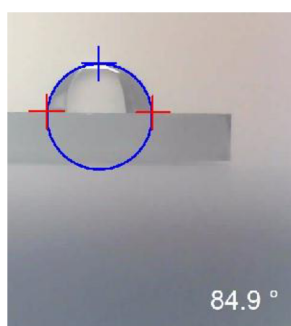
4.3.5. Hodnocení odolnosti vůči deformaci

Odolnost vůči deformaci byla hodnocena zkouškou tuhosti plošných textilií dle normy ČSN 80 0858 na tuhoměru TH-5 na Katedře materiálového inženýrství FT TUL. Vzorky byly připraveny na základě norem ČSN 80 0069 a ČSN 80 0072. Zkušební vzorky byly děleny na pracovní vzorky s rozměry 2,5 cm x 4,7 cm. Namáhání na ohyb bylo provedeno při vychýlení čelistí o uhel 60°. Pro každý substrát a typ vrstvy byly provedeny tři měření pracovního vzorku při přesně definovaném umístění vzorku do čelistí plochou s nadeponovanou vrstvou směrem od zařízení a k němu. Z měření byly získány hodnoty maximální síly, které byly přepočítány na ohybový moment (Kapitola 3.6.1), což je ekvivalentní veličina pro tuhost.

4.3.6. Hodnocení kontaktního úhlu smáčení a povrchové energie

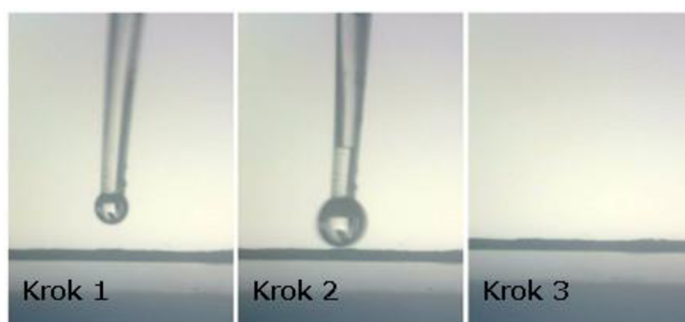
Povrchová energie byla zjišťována metodou Drop test pomocí Surface Energy Evaluation System. Byly hodnoceny vzorky s deponovanými tenkými vrstvami filtr NYLON a substrát jako referenční vzorek.

Při této zkoušce byla na vzorek aplikována kapka destilované vody o objemu 3 μl . Celkový počet 10 měření pro každý vzorek byl proveden na různých místech vzorku. Po každém napipetování kapky na povrch vzorku bylo nutno okamžitě pořídit snímek pro zabránění zkreslení výsledků vstřebáním roztoku. Vyhodnocení výsledků bylo provedeno na základě kontaktního úhlu smáčení, který byl následnou analýzou vyhodnocen v Software. Pro analýzu byl zadán využitý typ kapaliny a na vyfocený snímek byly umístěny tři body: okraje kapky v kontaktu s podkladem a její vrchol (Obrázek 21). Z celého měření bylo dosaženo hodnot kontaktního úhlu ($^{\circ}$) a volné povrchové energie (mJ/m^2). Na základě intervalů uvedených v experimentální části práce bylo z kontaktního úhlu hodnoceno, zda kapalina povrch smáčí nebo nesmáčí a z volné povrchové energie její velikost. Při získávání výsledků povrchové energie byl využit Li-Nemannův model.



Obrázek 21 Hodnocení kontaktního úhlu v See System

Filtry se substrátem z GF nebylo možné hodnotit z důvodu rychlé absorpce kapaliny. V průběhu testu bylo využito snímkování o rychlosti 0,1 s (Obrázek 22).



Obrázek 22 Tři chronologicky seřazené snímky z hodnocení kontaktního úhlu smáčení a volné povrchové energie vrstvy C3.2 na substrátu GF

4.3.7. Hodnocení propustnosti

Propustnost filtrů byla hodnocena pomocí filtrační soupravy PSF NALGENE o objemu horního zásobníku 250 ml, která je určena pro filtry o průměru 47 mm. K filtrační

soupravě bylo připojeno čerpadlo pro zajištění průtoku kapaliny přes filtr. Bakteriální inokulum bylo přichystáno z fyziologického roztoku a vybraných bakterií. Byly využity bakterie *Escherichia coli* (EC 3954) a *Micrococcus luteus*, jejichž hodnocení probíhalo zvlášť pro oba substráty a veškeré typy vytvořených vzorků. Bakterie byly zvoleny s ohledem na stavbu buněčné stěny, která je identifikována například pomocí Gramova barvení. Koncentrace buněk bakteriálního inokula byla nastavena a měřena pomocí denzitometru, odpovídala koncentraci 0,5 McF. Toto inokulum o objemu 4 ml bylo naředěno do fyziologického roztoku o objemu 400 ml, které bylo podrobena filtraci.

Byl filtrován roztok o objemu 20 ml, který byl napipetován do horního zásobníku, a následně bylo puštěno čerpadlo, které pracovalo při tlaku 250 kPa. V průběhu testu byla měřena doba filtrace. U filtrů se substrátem GF filtrace začala probíhat těsně po napipetování roztoku, tj. před spuštěním čerpadla. Pro filtry se substrátem NYLON započala filtrace po spuštění čerpadla. Čas v průběhu testu byl stopován vždy po počátku filtrace, průtoku kapaliny přes filtr. Z důvodu odlišné velikosti a tvaru testovaných typů bakteriálních kmenů, jakožto i různorodosti filtrů, nemohou být časy filtrace vyhodnocovány zprůměrováním všech měření. Časy filtrace jsou proto pro substráty GF a NYLON vyhodnocovány zvlášť pro *E.coli* a pro *M. luteus*.

Filtrát (přefiltrovaná kapalina) byl sbírán do sterilní kádinky, z níž bylo poté provedeno hodnocení kolonií vytvořených z přeživších jednotek. Po filtraci byly hodnoceny antibakteriální vlastnosti filtrů (Kapitola 4.3.8.1).

4.3.8. Hodnocení antibakteriálních vlastností

Antibakteriální vlastnosti materiálů byly hodnoceny po provedení propustnosti filtrů a pomocí Kirby-Bauer testu. Při testech vzorků na obou typech substrátu byly využity bakterie *Escherichia coli* (EC 3954) a *Micrococcus luteus* (Tabulka 11). Veškeré použité nástroje a nádoby byly před testy sterilní.

Tabulka 11 Využité bakterie a jejich dělení na základě Gramova barvení

Typ bakterie	Gramovo barvení	Zabarvení
<i>Escherichia coli</i> (EC 3954)	G-	Tmavě fialová
<i>Micrococcus luteus</i>	G+	Červená

4.3.8.1. Hodnocení antibakteriálních vlastností filtrů a filtrátů po provedení testu propustnosti

Po testu hodnocení propustnosti filtrů byly hodnoceny antibakteriální vlastnosti filtrů přímo na využitých vzorcích a z filtrátu.

Ze sypkého média a vody byl 24 hodin před testováním antibakteriálních vlastností filtrů připraven agar. Pro *E. coli* byl využit MacConkey agar, který je vhodný pro G- bakterie a pro *M. luteus* byl využit Bain Heart Infusion agar. Tato média slouží jako tuhé prostředí při kultivaci bakterií. Oba typy agaru byly sterilovány a přelity do Petriho misek a ponechány ztuhnout. Po filtraci byly testované filtry umístěny na agar v Petriho miskách. Takto připravené vzorky byly inkubovány při teplotě 37 °C po dobu 24 hod pro *E. coli* a po dobu 48 hod pro *M. luteus*. Po uplynulé době byl sledován nárůst bakterií na filtru, který se projevil červeným zbarvením u *E. coli* a žlutým zbarvením u *M. luteus*.

Pro hodnocení bakterií ve filtrátu byl využit agar Mueller-Hinton, který slouží k testování antimikrobiální citlivosti. Ten byl připraven bezprostředně před testem propustnosti filtrů. Filtrát z kádinky byl napipetován o objemu 200 µl do prázdné Petriho misky, k němuž byl přidán agar v kapalné formě o objemu cca. 10 ml. Suspenze z filtrátu a agaru byla promíchána a ponechána ztuhnout. Dále byly vzorky v Petriho miskách inkubovány po dobu 24 nebo 48 hod při teplotě 37 °C. Tímto testem byla zkoumána přítomnost bakteriálních kolonií ve filtrátu a jejich množství.

4.3.8.2. Kirby-Bauer test

Kirby-Bauer test byl využit jako rychlá a efektivní metoda pro zjištění citlivosti bakterií vůči látkám. Hodnocení bylo provedeno vždy jednou pro oba substráty a pro veškeré typy vytvořených vzorků. Pro tuto metodu byl využit agar Mueller-Hinton, standardizované pevné médium doporučované pro testování antimikrobiální citlivosti metodou difúze v agaru nebo diluční metodou. Agar byl 24 hodin před experimentem připraven ze sypkého média a destilované vody, tyto přísady byly smíchány v přesném poměru, pomocí autoklávu sterilizovány a po vychladnutí nality do Petriho misek. Bakterie byly na agar přeneseny ve formě suspenze, tzv. bakteriálního inokula, jež byla přichystána z fyziologického roztoku a vybraných bakterií. Byly využity suspenze o koncentraci 0,3 McF. Na připravený agar bylo napipetováno 20 µl suspenze bakterií, která byla pomocí sterilní mikrobiologické hokejky rovnoměrně rozetřena po povrchu tuhého agaru a nechaná po dobu 15 min vsakovat se do

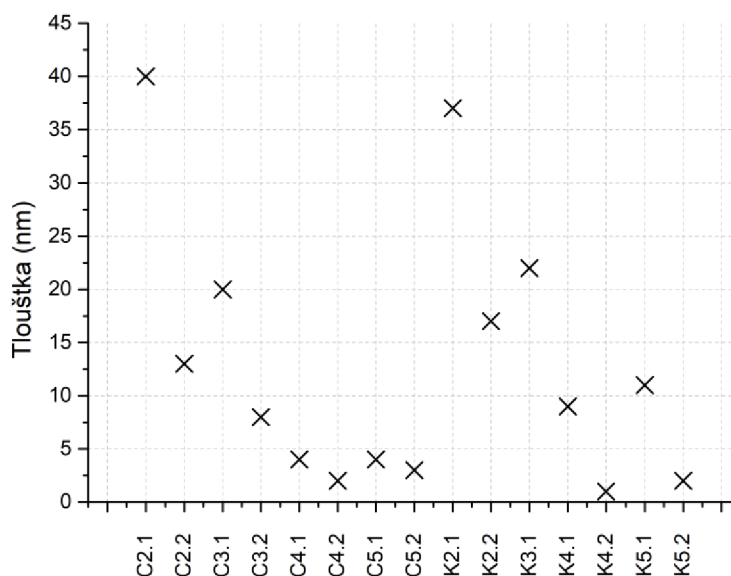
agaru. Testované vzorky byly předem vysterilizovány pod UV světlem po dobu 20ti min z každé strany. Vzorky materiálů (odstřižené části filtrů) byly umístěny do středu Petriho misek tak, aby námi deponované tenké vrstvy byly ve styku s agarem, resp. bakteriemi. Vzorky byly vloženy do inkubátoru na 24 hodin při teplotě 37 °C.

4.4. Získaná data a jejich analýza

Analýza a zpracování dat byly provedeny v programu Microsoft Excel a OriginPro. V níže uvedených tabulkách jsou zjištěné hodnoty zapsány ve tvaru průměr ± nejistota typu A. Pro testování hypotéz u porovnávání vzorků deponovaných vrstev se substrátem a u porovnání jednoho typu vrstvy s rozdílným zadaným výkonem zdroje na stejném substrátu byl zvolen dvouvýběrový T-test na hladině významnosti 95 %.

4.4.1. Hodnocení tloušťky tenkých vrstev

Dle získaných frekvencí využitého krystalu před a po depozici byla vypočítána tloušťka tenkých vrstev (Obrázek 23 a Příloha 2) dle rovnice (10) s využitím hodnot hustoty (Příloha 3). U kyslíkových vrstev byl předpokládán vznik sloučenin Cu_xAg_yO , Cu_xO , TiO_x a ZrO_x , kde $x \in (0; 2)$ a $y \in (0; 2)$. Vzniklé sloučeniny mají rozdílnou hustotu (kg/m^3) než čisté prvky. Pro výpočet tloušťky byly využity hodnoty hustoty nejbližších známých sloučenin, tj. Cu_2O , TiO_2 , ZrO_2 a Ag_2O .



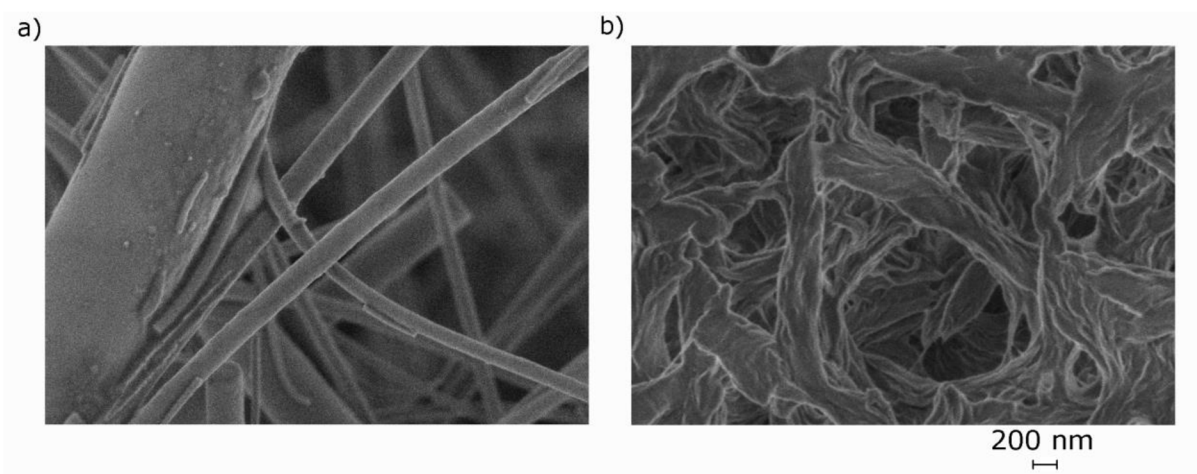
Obrázek 23 Tloušťka tenkých vrstev

Z výše uvedených hodnot je patrné, že tloušťka tenkých vrstev rostla s vyšším výkonem zdroje. Největší tloušťka byla zaznamenána u vrstev deponovaných z targetu CuAg, dále u vrstev z targetu Cu a nejmenší tloušťka u vrstev z targetu Zr a Ti. U vrstev s využitím reaktivního plynu byla pozorována pro vzorky K4.1 a K5.1, tj. z targetů Ti a Zr při vyšším výkonu zdroje více než dvounásobná tloušťka.

4.4.2. Rastrovací elektronová mikroskopie

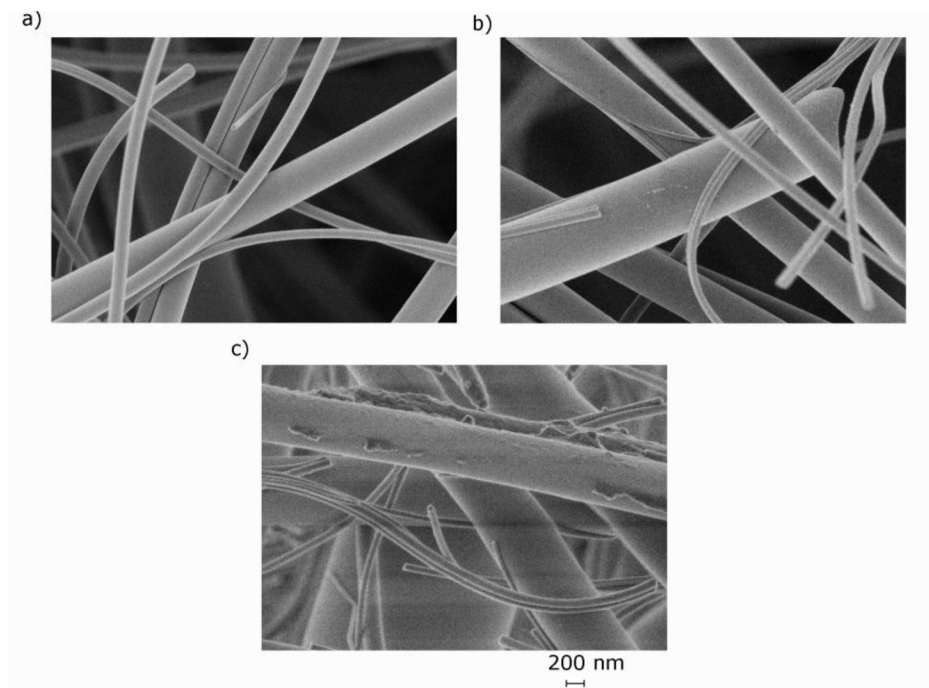
Na základě analýzy SEM byly získány obrazy vzorků při optickém zvětšení 1k x, 2,5k x, 5k x, 10k x a 25k x.

Dle hodnocení struktury vzorků z obrazů SEM (Obrázek 24) analýzy bylo zjištěno, že substrát GF má anizotropní strukturu, skleněná vlákna jsou rovnoměrná a jsou na nich zaznamenány nečistoty. Ve vzorku substrátu NYLON byla zaznamenána struktura s členitým povrchem, která tvoří síť s viditelnými póry.



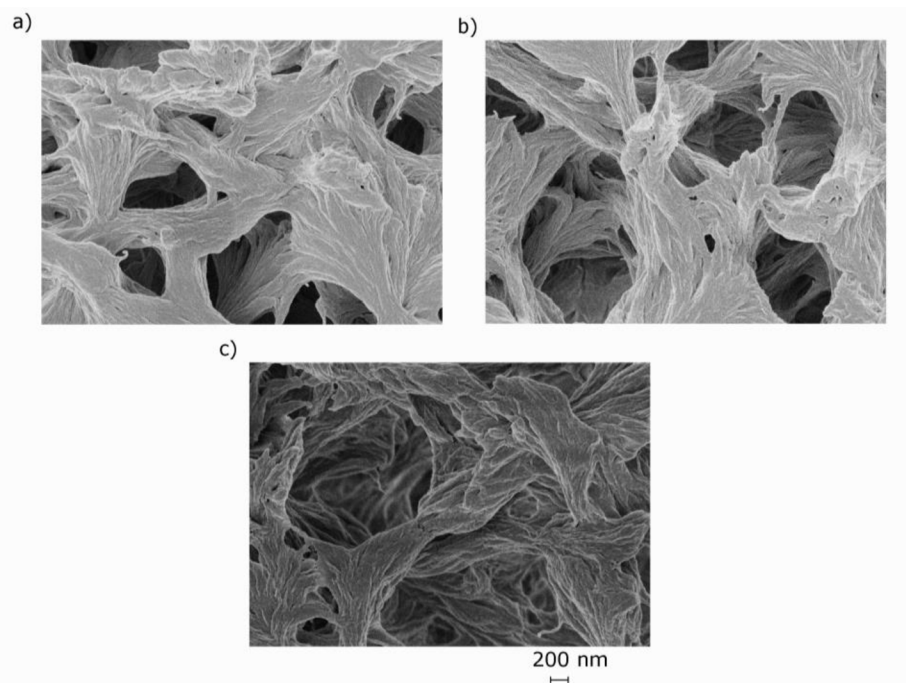
Obrázek 24 Snímky SEM substrátů **a)** GF **b)** NYLON

Vzorky na substrátu GF (Obrázek 25): u C2.1, C2.2, C3.2, C4.1, K2.2, K5.1 a K5.2 se vyskytuje dokonale hladký povrch. U vzorků C3.1, C4.2, C5.1, C5.2 a K4.1 byl pozorován hladký povrch, na kterém bylo vizuálně patrné menší množství nečistot oproti substrátu. Na vláknech vzorku K4.2 je patrné větší množství nečistot, jeho povrch je obdobný jako substrát.



Obrázek 25 Snímky SEM vrstev na substrátu GF **a)** C2.1 **b)** C3.1 **c)** K4.2

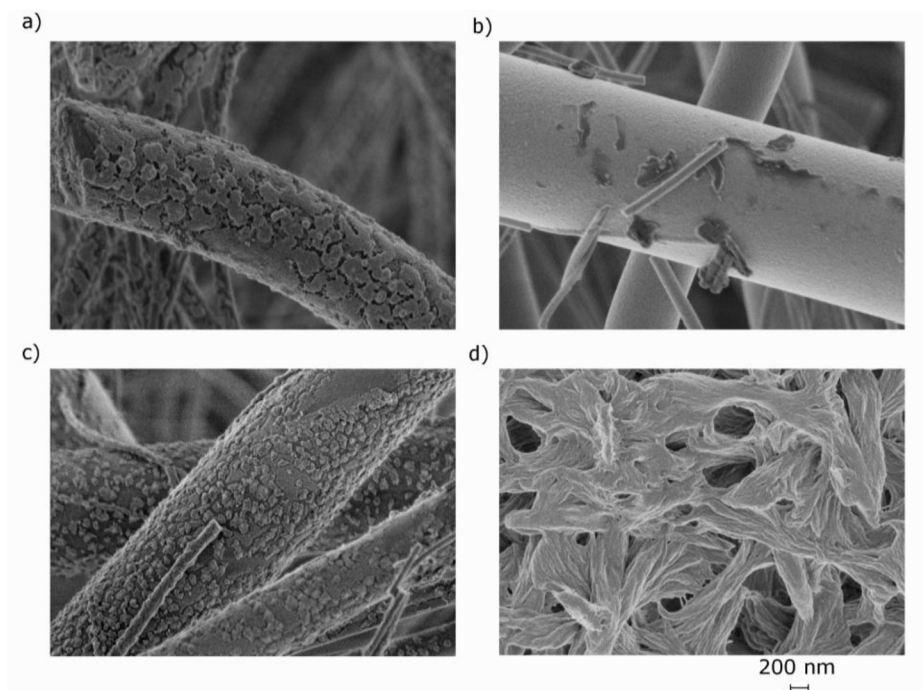
Vzorky na substrátu NYLON (Obrázek 26): C2.1, K2.1 a K2.2 vykazují rovnoměrnější povrch oproti substrátu, ten je i přesto velmi členitý a má hladší hrany póru. U vzorků C2.2, C3.1, C3.2, K4.1 a K5.1 je povrch obdobný substrátu a hrany pórů jsou hladší. Vzorky C4.1, C4.2, C5.1, C5.2, K3.1, K4.2 a K5.2 vykazují strukturu obdobnou substrátu.



Obrázek 26 Snímky SEM vrstev na substrátu NYLON **a)** C2.1 **b)** C2.2 **c)** C4.1

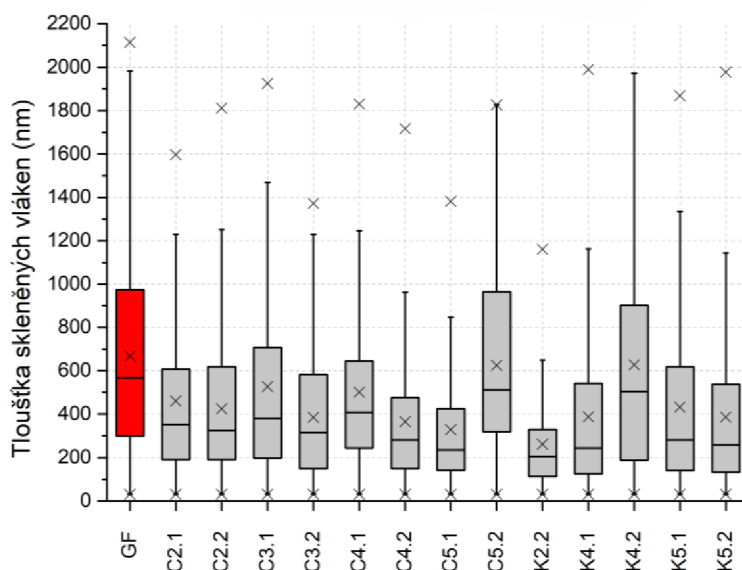
Veškeré vyřazené vzorky (Obrázek 27) na obou substrátech vykazují vrstvu s členitým reliéfem, tzv. ostrůvky. Vrstvy s využitím nižšího výkonu zdroje se rozpadají. U vrstvy

vzorku K3.2 na substrátu NYLON jsou patrná jasná a hladší ohraničení pórů oproti samotnému substrátu.



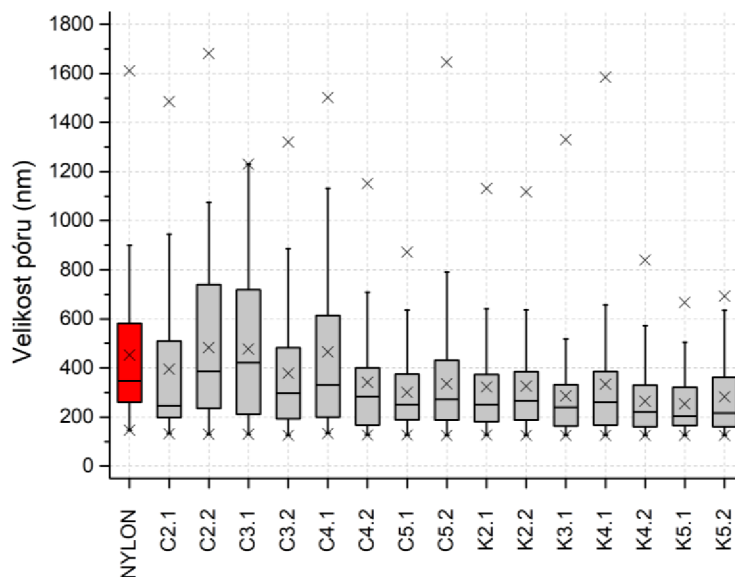
Obrázek 27 Snímky SEM vyřazených vzorků **a)** K2.1 na GF **b)** K3.1 na GF **c)** K3.2 na GF **d)** K3.2 na NYLON

Velikost skleněných vláken a pórů byla zjišťována analýzou obrazů získaných ze SEM v programu MATLAB (The MathWorks). Hodnocení tloušťky vláken (Příloha 4 a Obrázek 28) a velikosti pórů (Příloha 5 a Obrázek 29) bylo provedeno na snímcích při optickém zvětšení 10k x. Dále bylo u filtrů NYLON sledováno zaplnění obrazu póry (Příloha 5).



Obrázek 28 Tloušťka skleněných vláken

Dle krabicového grafu (Obrázek 28) má tloušťka vláken hodnocená z analýzy obrazu u veškerých vzorků široké rozpětí hodnot. U veškerých vzorků je patrné kladně sešikmené rozdělení, to znamená, že převažují hodnoty nižší než průměr. Hodnocení veškerých vzorků oproti substrátu a vzorků tenkých vrstev při rozdílném výkonu zdroje podle hypotézy významnosti vyšlo statisticky významné.



Obrázek 29 Velikost póru

Velikost pórů vzorků NYLON má v krabicovém grafu široké rozpětí s kladně sešikmeným rozdělením (Obrázek 29). Hodnoty velikosti pórů mají velké rozpětí hodnot. Na základě testování hypotézy vzorků vůči substrátu byl statisticky významný rozdíl zjištěn u všech vzorků mimo C2.1 až C4.1. U testování hypotézy pro jednotlivé typy vzorků byl zjištěn statisticky významný rozdíl u vrstev C3.1-C3.2, C4.1-C4.2 a K4.1-K4.2. Porozita sledovaného obrazu vyšla od 6,0 % (K5.1) do 19,8 % (C2.2) (Příloha 5). Na základě testování hypotéz byl vyhodnocen statisticky významný rozdíl vůči substrátu u vrstvy K2.2. Nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými typy vrstev.

4.4.3. EDS analýza

Z analýzy EDS bylo získáno chemické spektrum substrátů a jednotlivých vzorků s tenkými vrstvami. Z nich byly vytvořeny tabulky (Příloha 6 a Příloha 7). Spektrum bylo snímáno v atomárních procentech. Pro porovnání byly hodnoty prvků targetu přepočítány – Cu 42 at% a Ag 58 at%. Na základě chemické prvkové analýzy bylo detekováno, že oba substráty obsahují kyslík. Z důvodu zamezení ovlivnění výsledků substrátem byly kyslíkové

vrstvy deponovány na křemíkový wafer (Příloha 8). Z hodnot chemického složení byl u vrstev Cu_xAg_yO a Cu_xO určen poměr prvků Cu:Ag (Tabulka 12). Velmi malá tloušťka vrstev neumožnila provést hodnocení EDS analýzy vrstev K4.1 a K4.2 a vrstva K3.2 nebyla hodnocena kvůli její nestabilitě pro oba substráty. Z naměřených hodnot byl vypočítán poměr prvků, ze kterých se skládá vrstva, tj. prvek využitého targetu ku kyslíku (Tabulka 13).

Tabulka 12 Poměr Cu:Ag u vrstev C2.1 a C2.2

	C2.1 GF	C2.1 NYLON	C2.2 GF	C2.2 NYLON	K2.1 Si wafer	K2.2 Si wafer
Prvky Cu:Ag v at%	38:62	41:59	47:53	42:58	34:66	36:64

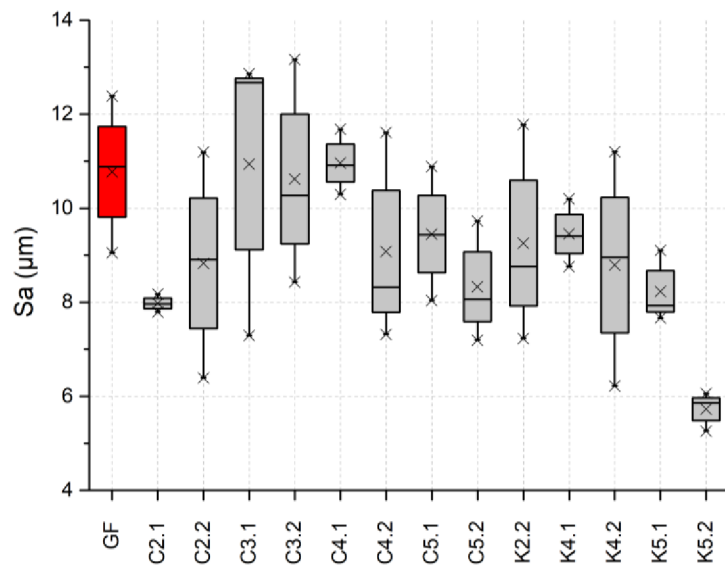
Tabulka 13 Poměr prvku ve vrstvě ku kyslíku

	K2.1	K2.2	K3.1	K3.2	K4.1	K4.2	K5.1	K5.2
Prvky	Cu:Ag:O	Cu:Ag:O	Cu:O	Vyřazený vzorek	N/A	N/A	Zr:O	Zr:O
Prvky v at%	26:51:23	33:59:8	80:20				32:68	8:92

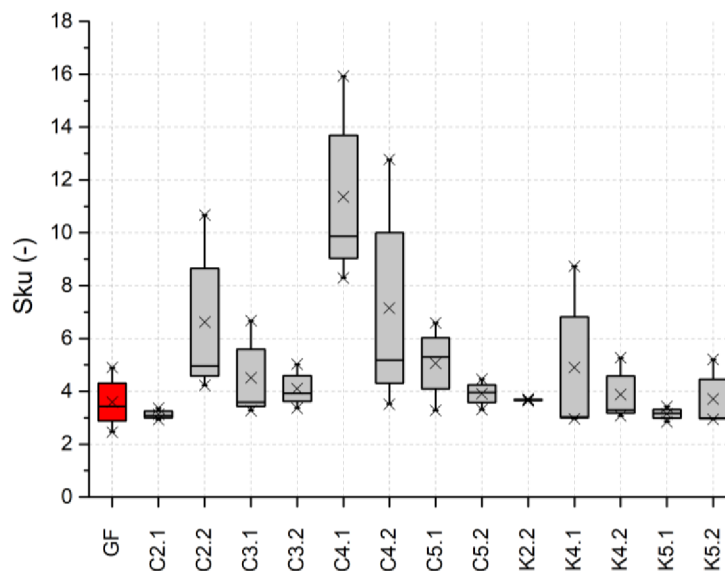
Na základě chemické prvkové analýzy bylo detekováno, že filtr GF neobsahuje podíl organických prvků, nejvíce zastoupenými prvky jsou kyslík (60,3 at%) a křemík (25,7 at%). Substrát NYLON se skládá z uhlíku (77,8 at%), dusíku (12,7 at%) a kyslíku (9,5 at%). U veškerých vrstev bylo zjištěno, že se zvyšujícím se zadaným výkonem zdroje množství at% prvků vyskytujících se ve vrstvě roste a množství at% prvků ze substrátu se snižuje. Z vypočítaných poměrů prvků Cu:Ag byl u vrstev Cu_xAg_yO a Cu_xO zjištěn větší podíl stříbra oproti mědi se širokým rozpětím hodnot poměrů prvků. Dle zjištěných poměrů prvků vůči kyslíku u kyslíkových vrstev byl zjištěn u Cu_xAg_yO a Cu_xO vrstev vyšší podíl prvků z targetu oproti kyslíku. U vrstev ZrO_x se vyskytuje vyšší podíl kyslíku oproti zirkoniu.

4.4.4. Hodnocení morfologie, topografie a drsnosti povrchu

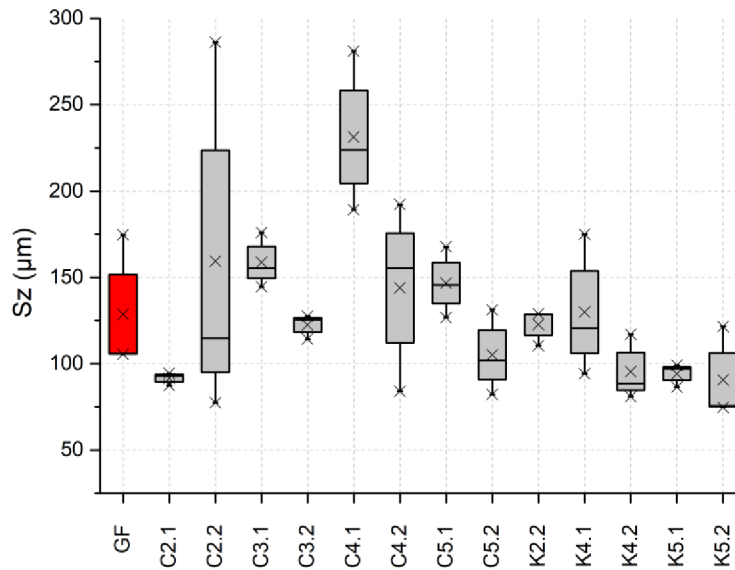
Byly sledovány výškové parametry drsnosti povrchu – průměrná aritmetická výška plochy S_a , špičatost plochy S_{ku} a maximální výška plochy S_z (Příloha 9 a Příloha 10).



Obrázek 30 Parametr Sa pro vzorky na substrátu GF

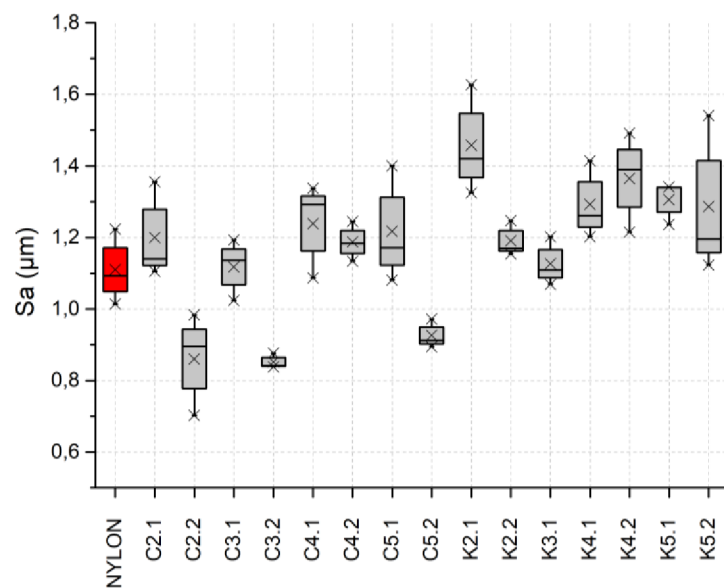


Obrázek 31 Parametr Sku pro vzorky na substrátu GF

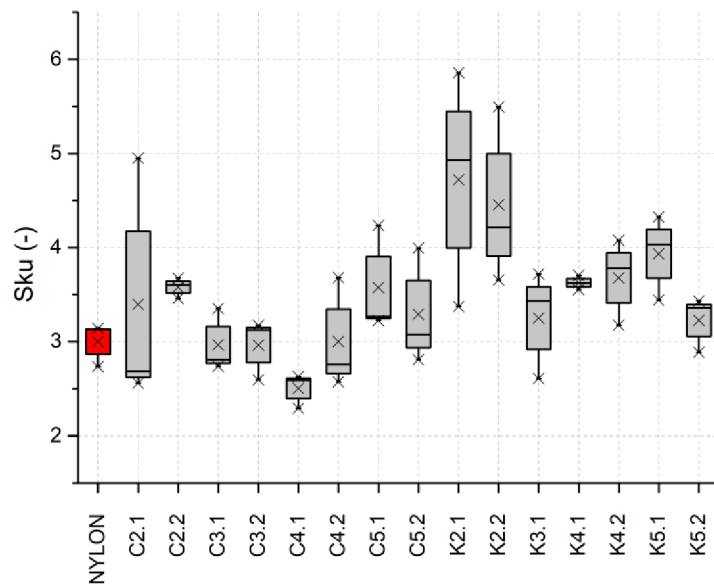


Obrázek 32 Parametr Sz pro vzorky na substrátu GF

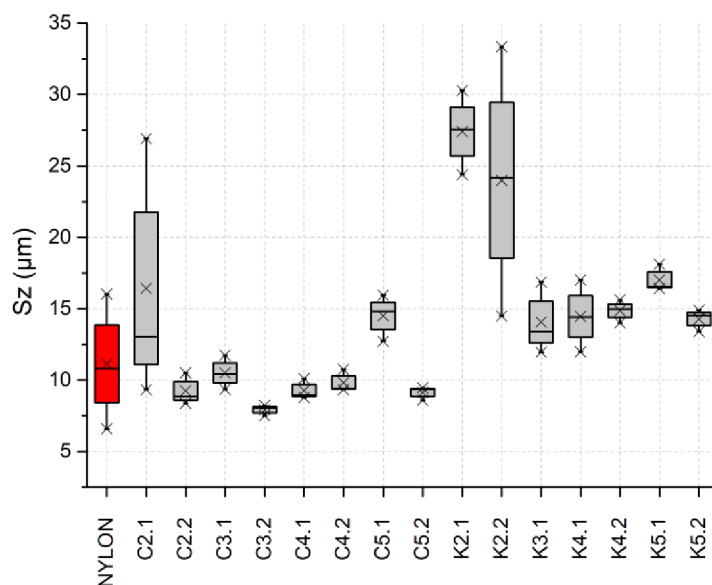
Naměřené hodnoty S_a se kromě vzorků C2.1, C4.1, K4.1, K5.1 a K5.2 pohybovaly v širokém rozmezí (Obrázek 30). Bylo zjištěno výrazné snížení hodnot u vzorku C2.1 a K5.2. Dle testování hypotéz vyšel vzorek K5.2 statisticky významně odlišný vůči substrátu i vůči K5.1. Hodnoty S_{ku} u vzorků C2.2, C4.1, C4.2 a K4.1 měly široké rozmezí (Obrázek 31). Dle hypotézy byl zjištěn statisticky významný rozdíl pro vzorek C4.1 vůči substrátu GF a pro vzorky C2.2, C4.1, K4.1 a K5.1 vůči substrátu NYLON. Nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi vzorky lišícími se zadaným výkonem zdroje. U vzorků C2.2 a C4.1 byly vyšší. Hodnoty S_z pro C2.1, C3.2, K2.2 a K5.1 byly naměřeny v malém rozpětí hodnot (Obrázek 32). Veškeré naměřené hodnoty vzorku C4.1 byly vyšší než substrát, dle hypotézy vyšel statisticky významný rozdíl. U testování hypotézy rozdílu mezi jednotlivými vzorky vyšel statisticky významný rozdíl pro C3.1-C3.2, jejichž hodnoty se nepřekrývají.



Obrázek 33 Parametr S_a pro vzorky na substrátu NYLON



Obrázek 34 Parametr S_{ku} pro vzorky na substrátu NYLON



Obrázek 35 Parametr S_z pro vzorky na substrátu NYLON

Dle krabicového grafu bylo zjištěno, že hodnoty S_a vzorků C2.2, C3.2, C5.2 jsou výrazně nižší a hodnoty vzorku K2.1 vyšší než u substrátu (Obrázek 33). Dle hodnocení hypotézy vyšly vzorky C3.2, C5.2, K2.1 a K5.1 statisticky významné oproti substrátu. U testování vzorků vůči sobě byly zjištěny statisticky významné rozdíly pro C2.1-C2.2, C3.1-C3.2, C5.1-C5.2 a K2.1-K2.2. Hodnoty S_{ku} u vzorků C2.1, K2.1 a K2.2 nabývaly širokého rozpětí (Obrázek 34), u vzorků C2.2, K2.1, K2.2, K4.1 a K5.1 byly naměřeny vyšší a u vzorku C4.1 byly naměřeny nižší než u substrátu. Na základě testování hypotéz vyšly vzorky C2.2, C4.1, K4.1 a K5.1 statisticky významné. Na základě hodnot S_z byl pozorován široký rozptyl hodnot u vzorků C2.1 a K2.2 (Obrázek 35). Vzorek K2.1 vykazuje vyšší hodnoty než substrát, hypotéza vyšla statisticky významná. Testováním vzorků vůči sobě byla zjištěna statistická významnost u C3.1-C3.2, C5.1-C5.2 a K5.1-K5.2.

Dle hodnot špičatosti plochy bylo stanoveno, zda je plocha zkosená a nad střední rovinou, má normální rozložení, je špičatá nebo osciluje kolem normálního rozložení (Tabulka 14).

Tabulka 14 Špičatost plochy vzorků

Substrát GF		Substrát NYLON	
Vzorek	Plocha	Vzorek	Plocha
GF	Špičatá	NYLON	Osciluje kolem normálního rozložení
C2.1	Osciluje kolem normálního rozložení	C2.1	Špičatá
C2.2	Špičatá	C2.2	Špičatá

Tabulka 14 Špičatost plochy vzorků – pokračování

C3.1	Špičatá	C3.1	Osciluje kolem normálního rozložení
C3.2	Špičatá	C3.2	Osciluje kolem normálního rozložení
C4.1	Špičatá	C4.1	Zkosená a nad střední rovinou
C4.2	Špičatá	C4.2	Osciluje kolem normálního rozložení
C5.1	Špičatá	C5.1	Špičatá
C5.2	Špičatá	C5.2	Špičatá
K2.1	Vyřazený vzorek	K2.1	Špičatá
K2.2	Špičatá	K2.2	Špičatá
K3.1	Vyřazený vzorek	K3.1	Špičatá
K3.2	Vyřazený vzorek	K3.2	Vyřazený vzorek
K4.1	Špičatá	K4.1	Špičatá
K4.2	Špičatá	K4.2	Špičatá
K5.1	Osciluje kolem normálního rozložení	K5.1	Špičatá
K5.2	Špičatá	K5.2	Osciluje kolem normálního rozložení

Na základě hodnot Sku bylo zjištěno, že substrát GF má špičatou strukturu povrchu, s výjimkou hodnot u vzorků C2.1 a K5.1, které oscilují kolem normálního rozložení. U substrátu NYLON hodnota Sku osciluje kolem normálního rozložení, hodnoty se pohybují od $2,50 \pm 0,15$ (C4.1) po $4,72 \pm 1,02$ (K2.1). Tudíž se nachází okolo normálního rozložení s mírným překryvem až po hodnoty určující spíše špičatou strukturu povrchu.

4.4.5. Hodnocení tribologických vlastností

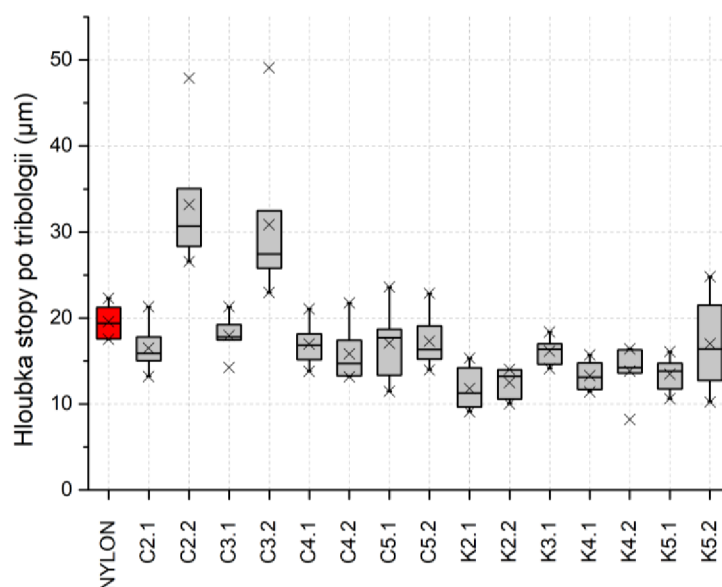
Z každého měření byly v Software získány hodnoty statického koeficientu tření (při startu experimentu) a hodnoty dynamického koeficientu tření – jeho minimální a maximální hodnota, průměr, výběrová směrodatná odchylka a graf průběhu při testu (Tabulka 15).

Tabulka 15 Výsledky dynamického koeficientu tření z tribologických zkoušek pro vzorky s nylonovým substrátem

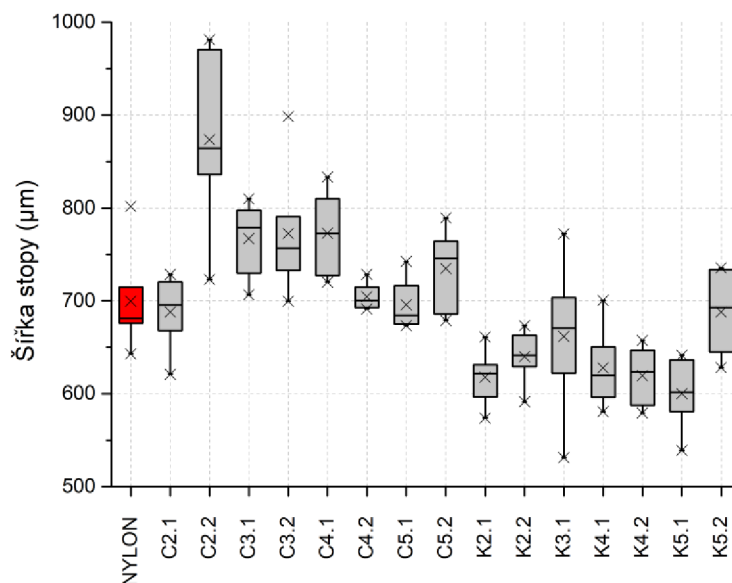
Vzorek	Statický koeficient tření μ_{stat} (-)	Dynamický koeficient tření μ_{kin} (-)	Vzorek	Statický koeficient tření μ_{stat} (-)	Dynamický koeficient tření μ_{kin} (-)
NYLON	0,74	0,82 ± 0,11			
C2.1	0,26	0,66 ± 0,10	K2.1	0,36	0,55 ± 0,03
C2.2	0,46	0,59 ± 0,07	K2.2	0,44	0,52 ± 0,04
C3.1	0,43	0,69 ± 0,08	K3.1	0,42	0,58 ± 0,04
C3.2	0,70	0,61 ± 0,07	K3.2	Vyřazený vzorek	
C4.1	0,79	0,67 ± 0,05	K4.1	0,50	0,66 ± 0,04
C4.2	0,72	0,72 ± 0,07	K4.2	0,49	0,64 ± 0,04
C5.1	0,74	0,56 ± 0,05	K5.1	0,33	0,63 ± 0,05
C5.2	0,77	0,64 ± 0,06	K5.2	0,55	0,53 ± 0,04

U vzorků C3.2, C4.1, C4.2 C5.1 a C5.2 statický koeficient tření nabyl obdobných hodnot (Tabulka 15), u zbylých vzorků bylo pozorováno jeho snížení. Pro zmíněné vzorky vyšla hypotéza hodnocení rozdílnosti dat vůči substrátu statisticky nevýznamná. U všech vzorků došlo ke snížení dynamického koeficientu tření oproti substrátu. Testovaná hypotéza rozdílnosti naměřených dat dynamického koeficientu tření vzorků vůči substrátu vyšla ve všech případech statisticky významná.

Na vzorcích byla měřena hloubka a šířka vytvořené stopy (Příloha 11, Obrázek 36 a Obrázek 37).



Obrázek 36 Hloubka stopy po tribologii

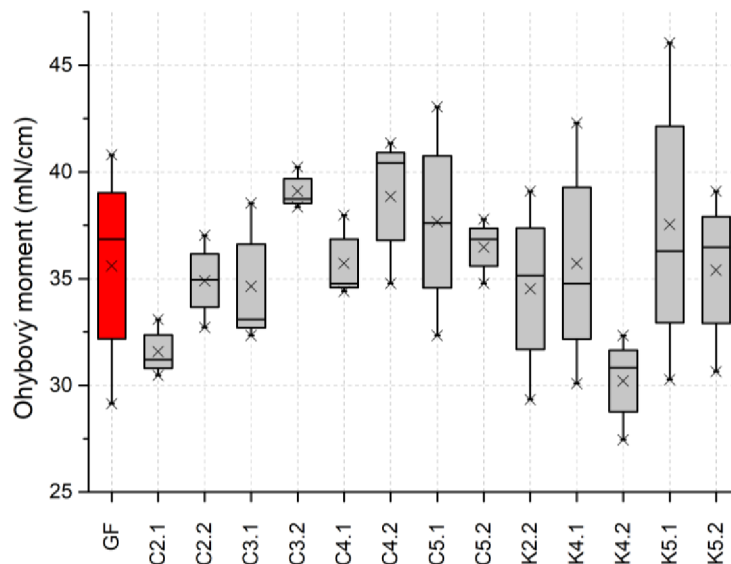


Obrázek 37 Šířka stopy po tribologii

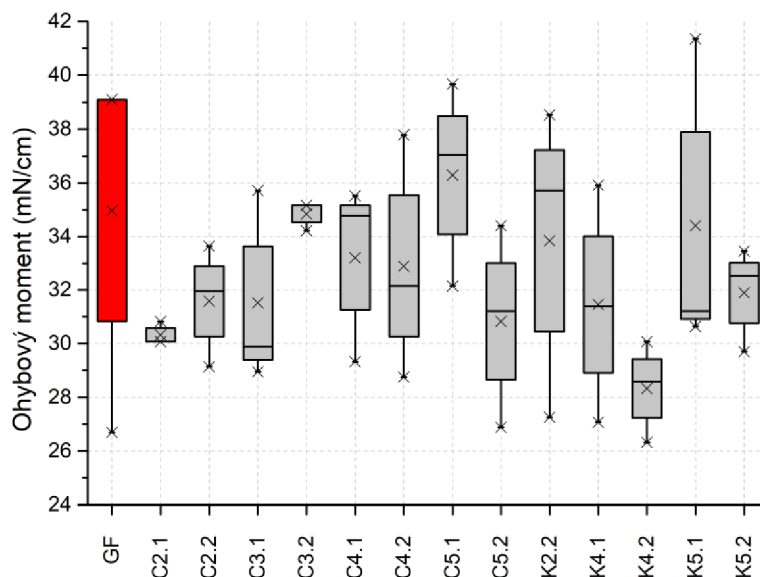
Hloubka stopy po tribologii (Obrázek 36) vykazovala u vrstev C2.2 a C3.2 vysoké hodnoty oproti substrátu a hodnoty měly široké rozmezí. Dle testování hypotéz bylo zjištěno, že vzorky C2.2, C3.2, C4.2 a K2.1 až K5.1 jsou statisticky významně odlišné od substrátu. U vzorků s kyslíkovými vrstvami mimo K5.2 byly naměřeny nižší hodnoty oproti substrátu. Šířka stopy (Obrázek 37) u většiny vzorků mimo C4.2 a C5.1 nabývala širokého rozmezí hodnot. U C2.2 až C4.1 bylo sledováno zvýšení naměřených hodnot a u K2.1, K4.2 a K5.1 snížení hodnot oproti substrátu. Při testování hypotézy rozdílu vzorků vůči substrátu bylo zjištěno, že vrstvy C2.2, C3.1, C4.1 a K2.1 až K5.2 jsou statisticky významné. Pro hypotézu vzorků vůči sobě vyšly statisticky významné vrstvy C2.1-C2.2, C4.1-C4.2 a K5.1-K5.2.

4.4.6. Hodnocení odolnosti vůči deformaci

Získané hodnoty síly byly přepočítány podle vzorce (2) na ohybový moment (Příloha 12 a Příloha 13, Obrázek 38 až Obrázek 41).



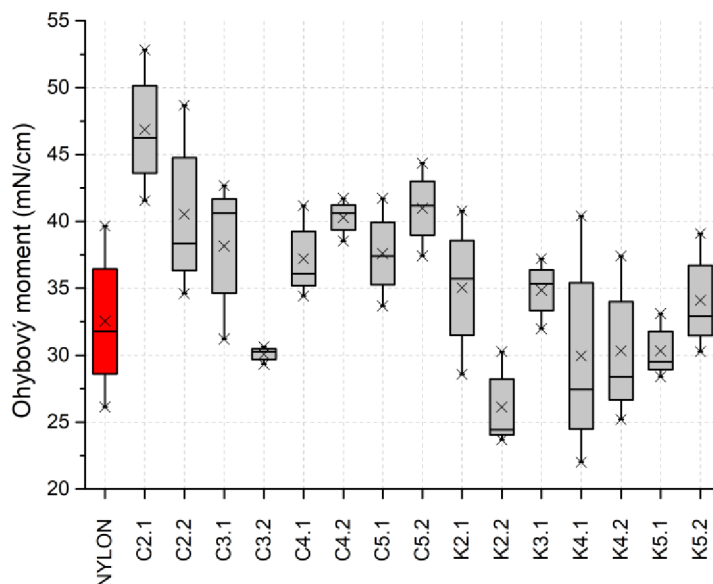
Obrázek 38 Ohybový moment vzorků na substrátu GF při testování vrstvy směrem od přístroje



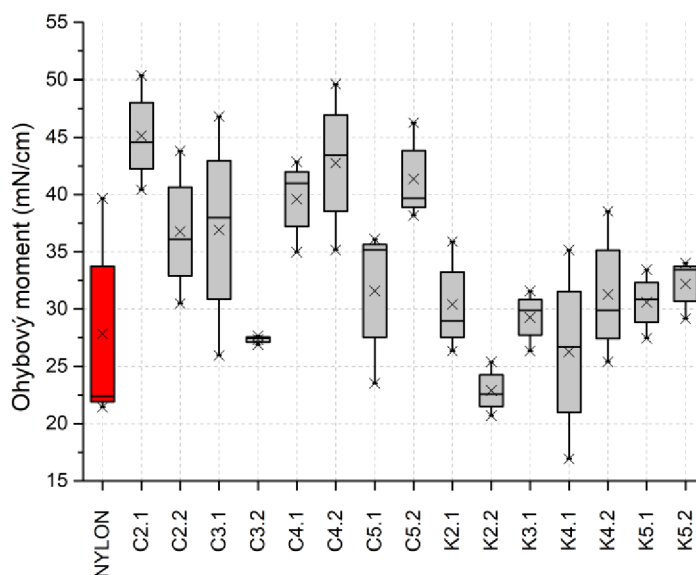
Obrázek 39 Ohybový moment vzorků na substrátu GF při testování vrstvy směrem k přístroji

U substrátu GF bylo sledováno záporně sešikmené rozdělení pro hodnoty směrem od zařízení ($35,6 \pm 4,8$ mN/cm) i k zařízení ($35,0 \pm 5,8$ mN/cm), tj. převažují hodnoty vyšší než průměr (Obrázek 38 a Obrázek 39). Naměřené hodnoty u většiny vzorků pro substrát GF

mimo C2.1 a C3.2 se vyskytovaly v širokém rozmezí. Na základě testování hypotézy porovnání vzorků s nadeponovanými tenkými vrstvami vůči substrátu nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl. U hypotézy testování vzorků zkoušených od zařízení a k zařízení byl zjištěn statisticky významný rozdíl u vrstvy C3.2.



Obrázek 40 Ohybový moment vzorků na substrátu NYLON při testování vrstvy směrem od přístroje



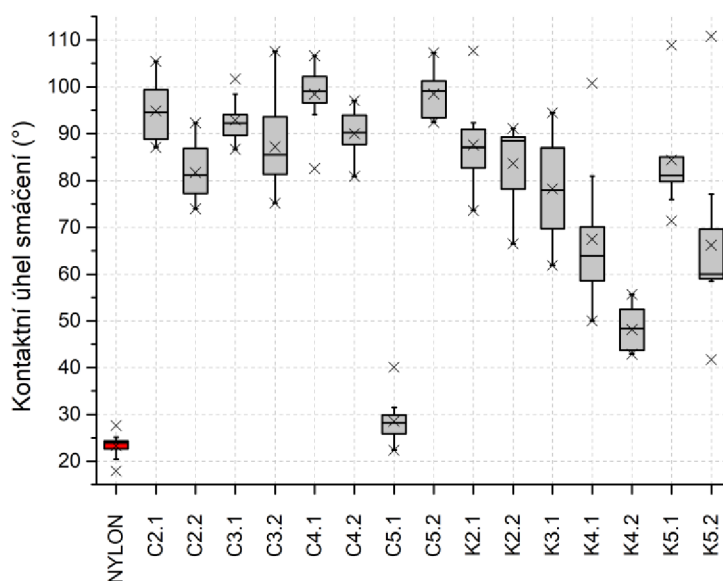
Obrázek 41 Ohybový moment vzorků na substrátu NYLON při testování vrstvy směrem k přístroji

U substrátu NYLON bylo sledováno kladně sešikmené rozdělení pro hodnoty od zařízení ($32,5 \pm 5,6$ mN/cm) i k zařízení ($27,8 \pm 8,4$ mN/cm), tj. převažují hodnoty nižší než

průměr (Obrázek 40 a Obrázek 41). Statisticky významný rozdíl vyšel u vzorku C2.1 vůči substrátu. U hypotézy testování vzorků zkoušených od zařízení a k zařízení, byl zjištěn statisticky významný rozdíl u vrstvy C3.2.

4.4.7. Hodnocení kontaktního úhlu smáčení a povrchové energie

Ze Software byly pro každý vzorek získány hodnoty kontaktního úhlu smáčení a hodnota povrchové energie, její záporná a kladná odchylka (Příloha 14).



Obrázek 42 Kontaktní úhel smáčení

Na základě hodnot kontaktního úhlu (Obrázek 42) bylo zjištěno, zda kapalina smáčí nebo nesmáčí povrch a dle hodnot povrchové energie byla určena její míra. U obou parametrů bylo definováno, zda mají vzorky hydrofilní nebo hydrofobní povahu (Tabulka 16).

Tabulka 16 Hodnocení smáčivosti, míry povrchové energie a hydrofilní/hydrofobní povahy vzorků a substrátu NYLON

Vzorek	Smáčí/nesmáčí povrch	Míra volné povrchové energie	Hydrofilní/hydrofobní povrch
NYLON	Smáčí	Střední	Hydrofilní
C2.1	Smáčí/nesmáčí	Nízká	Hydrofobní
C2.2	Smáčí/nesmáčí	Nízká/střední	Nedefinováno
C3.1	Smáčí/nesmáčí	Nízká	Hydrofobní
C3.2	Smáčí/nesmáčí	Nízká/střední	Nedefinováno

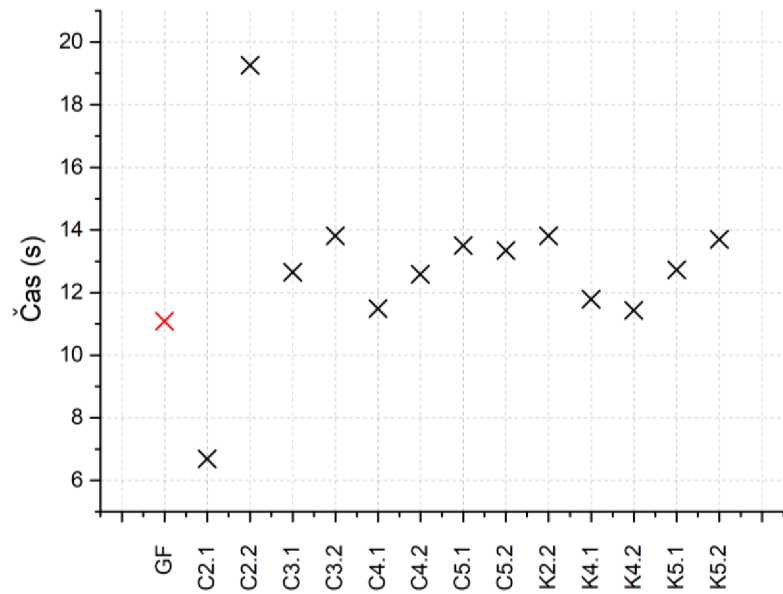
Tabulka 16 Hodnocení smáčivosti, míry povrchové energie a hydrofilní/hydrofobní povahy vzorků a substrátu NYLON – pokračování

C4.1	Nesmáčí	Nízká	Hydrofobní
C4.2	Smáčí/nesmáčí	Nízká	Hydrofobní
C5.1	Smáčí	Střední	Hydrofilní
C5.2	Nesmáčí	Nízká	Hydrofobní
K2.1	Smáčí/nesmáčí	Nízká	Hydrofobní
K2.2	Smáčí/nesmáčí	Nízká	Hydrofobní
K3.1	Smáčí/nesmáčí	Nízká/střední	Nedefinováno
K3.2	Vyřazený vzorek		
K4.1	Smáčí	Střední	Hydrofilní
K4.2	Smáčí	Střední	Hydrofilní
K5.1	Smáčí/nesmáčí	Nízká/střední	Nedefinováno
K5.2	Smáčí	Střední	Hydrofilní

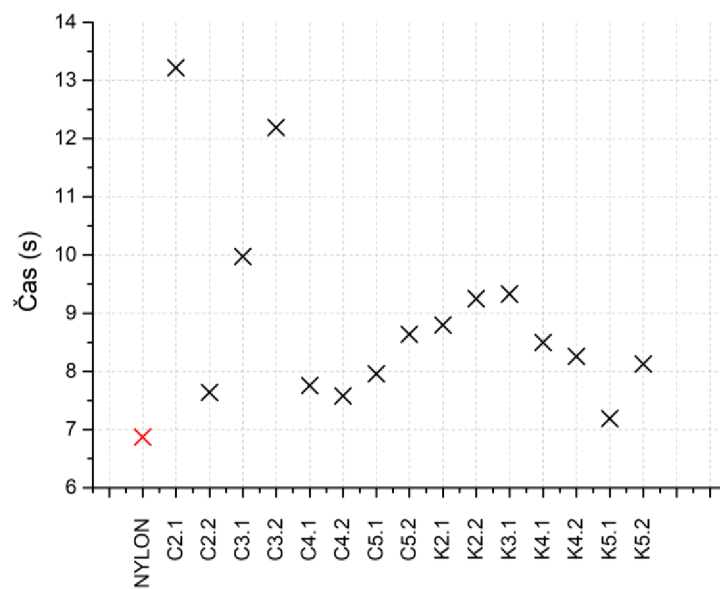
Substrát NYLON se vyznačuje nízkými hodnotami kontaktního úhlu a střední mírou povrchové energie, tj. má hydrofilní vlastnosti. U veškerých vzorků s nadeponovanými tenkými vrstvami byl zjištěn větší kontaktní úhel a nižší povrchová energie oproti substrátu. Rozdíly kontaktního úhlu u všech vrstev vůči substrátu jsou statisticky významné. U téměř veškerých vzorků krom C5.1 a C5.2 byl zjištěn vyšší kontaktní úhel a snížení povrchové energie pro vrstvy deponované při vyšším výkonu zdroje. Tyto vrstvy měly více hydrofobní vlastnosti než vrstvy s nižším výkonem zdroje. Dle hypotéz je rozdíl u vrstev C2.1-C2.2, C4.1-C4.2, C5.1-C5.2, K4.1-K5.2 a K5.1-K5.2 statisticky významný.

4.4.8. Hodnocení propustnosti

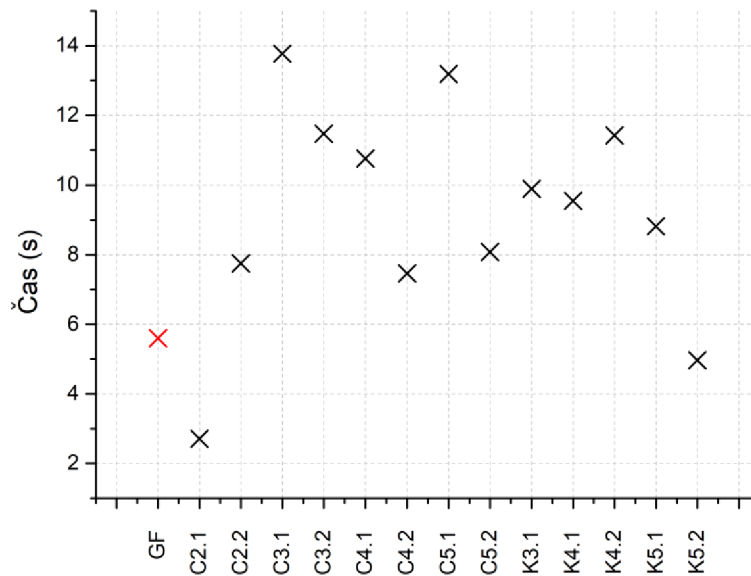
V průběhu testu filtrace vzorků byl zaznamenáván čas, za který byla kapalina přefiltrována. Z těchto údajů byla dle vzorce (5) zjištěna jejich propustnost (Příloha 15). Doba filtrace uvádí Obrázek 43 až Obrázek 46.



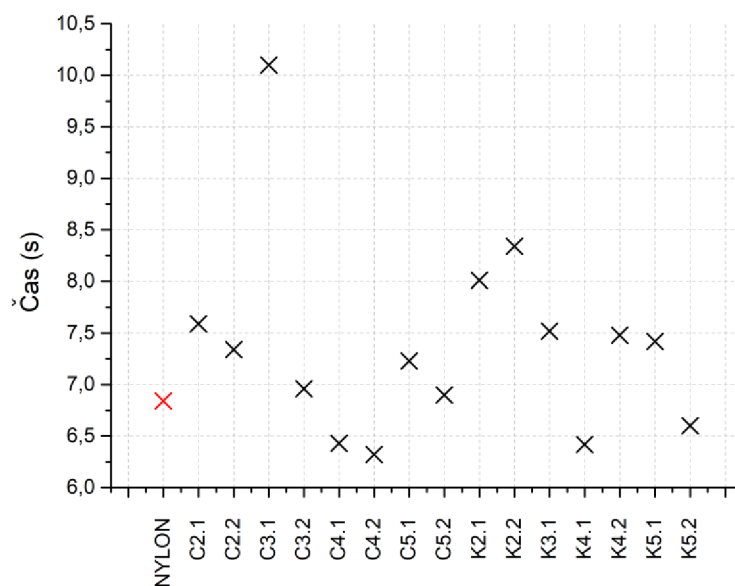
Obrázek 43 Doba filtrace roztoku s bakterií *E. coli* na vzorcích se substrátem GF



Obrázek 44 Doba filtrace roztoku s bakterií *E. coli* na vzorcích se substrátem NYLON



Obrázek 45 Doba filtrace roztoku s bakterií *M. luteus* na vzorcích se substrátem GF



Obrázek 46 Doba filtrace roztoku s bakterií *M. luteus* na vzorcích se substrátem NYLON

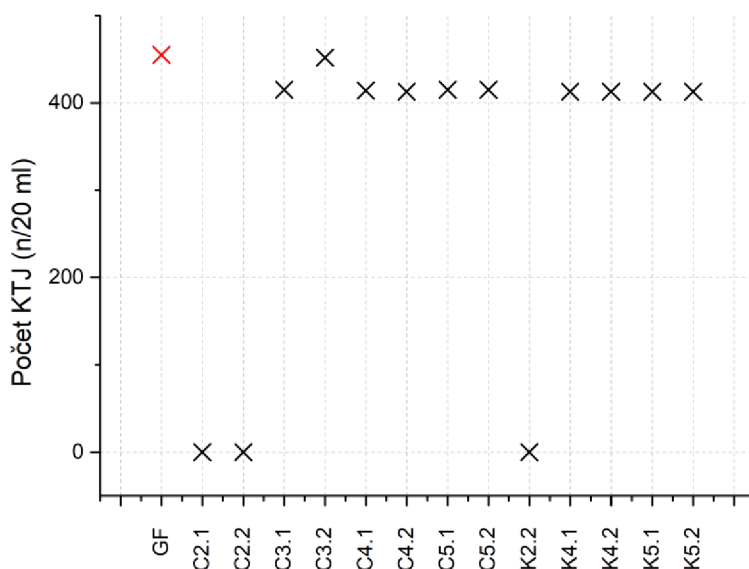
Při stanovení propustnosti filtrů s využitím roztoku s *E. coli* vyšly pro vzorky vytvořené na substrátu GF statisticky významné rozdíly vůči substrátu u veškerých vzorků mimo C4.1, K4.1 a K4.2. U vzorků C2.1 a K3.1 se hodnota propustnosti filtrů oproti substrátu zvýšila, tj. čas filtrace se snížil. U roztoku *M. luteus* při filtraci GF vyšel výsledek statisticky významný u veškerých vzorků mimo K5.2 oproti substrátu. U vzorků C2.1 a K5.2 došlo k poklesu propustnosti filtrů oproti substrátu. Propustnost filtrů s využitím roztoku s *E. coli* na vzorcích NYLON byla statisticky významná pro všechny vzorky mimo K5.1.

U všech vzorků se substrátem bylo pozorováno snížení propustnosti filtrů, tj. zvýšení času filtrace proti samotnému substrátu. Výsledky propustnosti filtrů NYLON s *M. luteus* vyšly statisticky významné pro veškeré vzorky mimo C3.2, C5.2 a K5.2. Bylo pozorováno zvýšení propustnosti u filtrů C4.1, C4.2, K4.1 a K5.2.

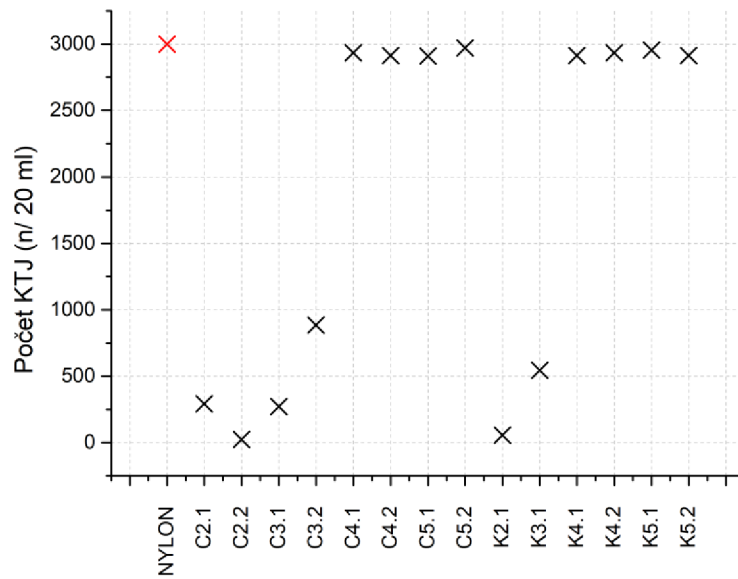
4.4.9. Hodnocení antibakteriálních vlastností

4.4.9.1. Hodnocení antibakteriálních vlastností filtrů a filtrátů po provedení testu propustnosti

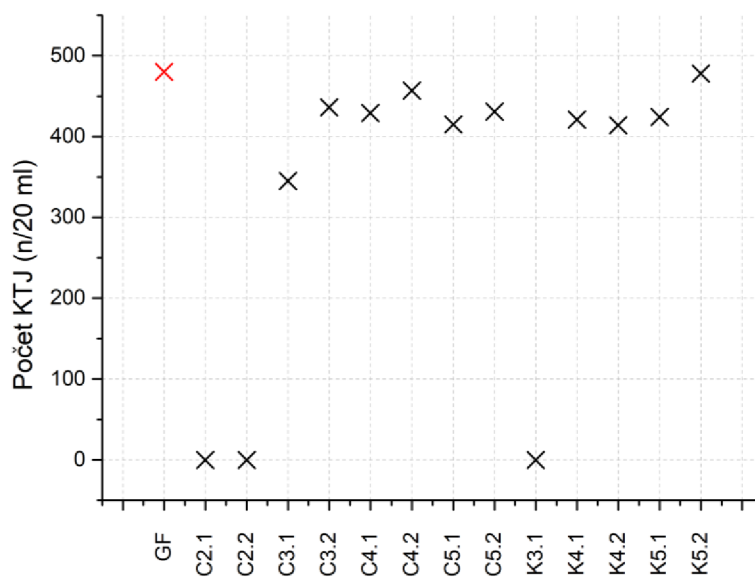
Na filtrech a ve filtrátu veškerých vzorků bylo sledováno množství nárůstu bakterií, tzv. počet kolonií tvořících jednotek na 20 ml (Příloha 16 a Příloha 17, Obrázek 47 až Obrázek 54).



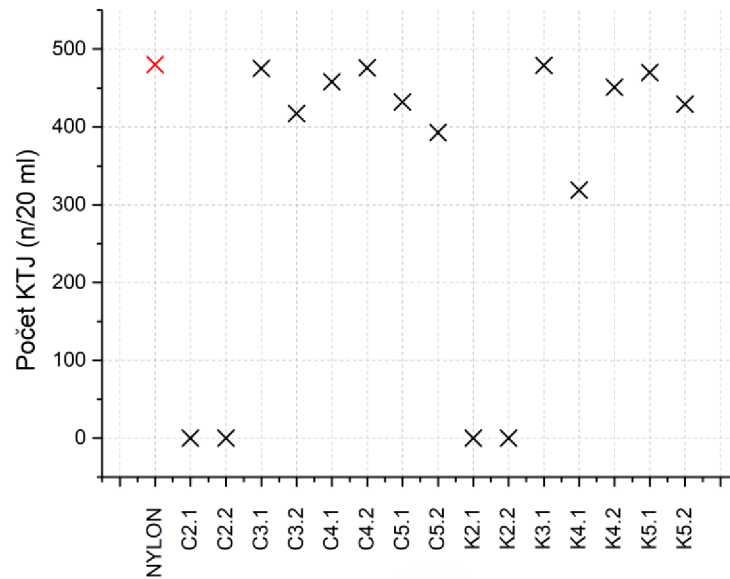
Obrázek 47 Počet kolonií tvořících jednotek na filtru vzorků substrátu GF po filtraci roztoku s *E. coli*



Obrázek 48 Počet kolonií tvořících jednotek na filtru vzorků substrátu NYLON po filtraci roztoku s *E. coli*

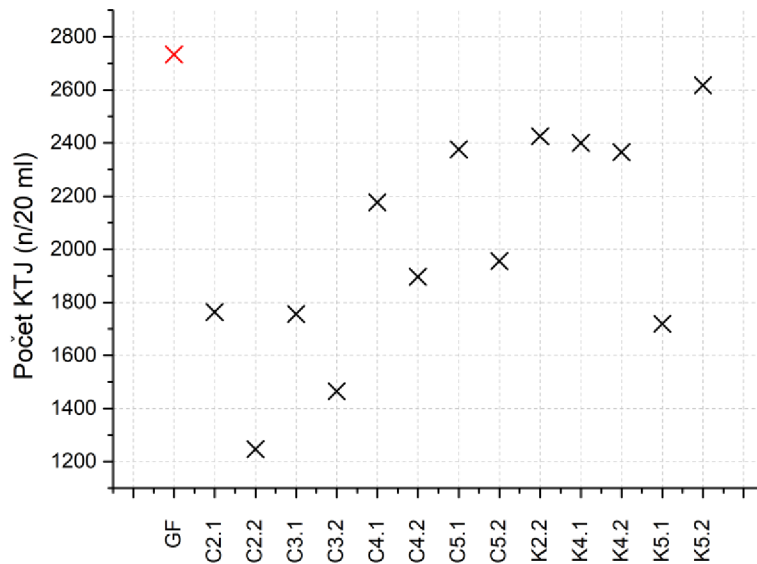


Obrázek 49 Počet kolonií tvořících jednotek na filtru vzorků substrátu GF po filtraci roztoku s *M. luteus*

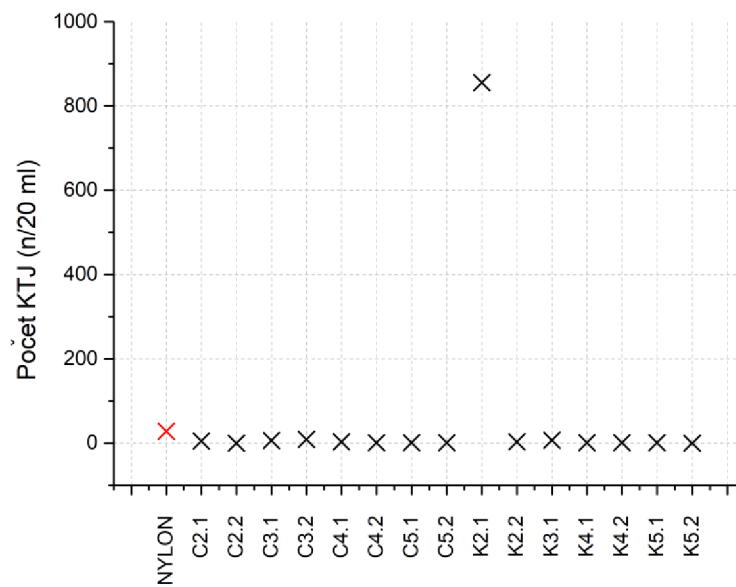


Obrázek 50 Počet kolonií tvořících jednotek na filtru vzorků substrátu NYLON po filtraci roztoku s *M. luteus*

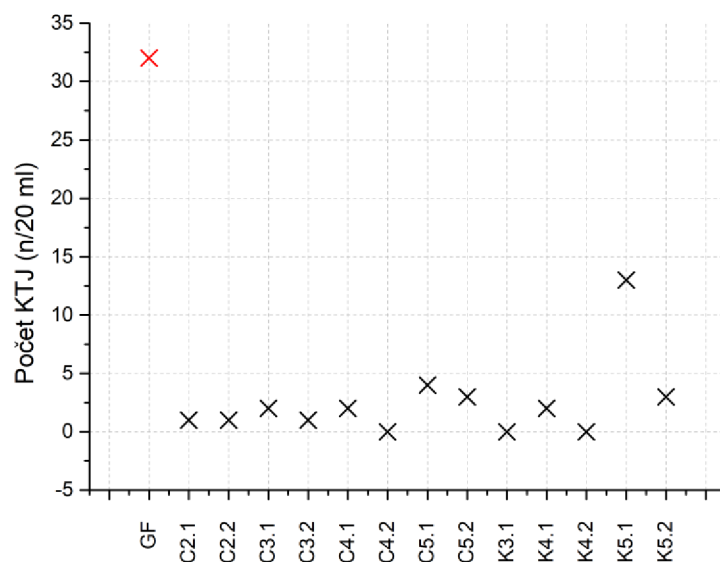
Po filtraci roztoku s *E. coli* nebyl detekován nárůst bakterií na filtru C2.1 a C2.2 na substrátu GF a na filtru K2.2 na substrátu NYLON (Obrázek 47 a Obrázek 48). U veškerých vzorků na substrátu GF mimo C3.2 bylo pozorováno lehké snížení výskytu daného typu bakterie oproti substrátu. Dle testované hypotézy toto snížení bylo statisticky významné. Na substrátu NYLON bylo pozorováno výrazné snížení počtu bakterií pro vzorky C2.1, C2.2, C3.1, C3.2, K2.1 a K3.1. U těchto vzorků vyšla hypotéza rozdílu vůči substrátu statisticky významná. Na základě hodnocení filtrů po filtraci roztoku s *M. luteus* nebyl detekován nárůst bakterií pro vzorky C2.1 a C2.2 na obou substrátech a u vzorků K2.1 a K2.2 na substrátu NYLON (Obrázek 49 a Obrázek 50). Testovaná hypotéza rozdílu počtu nárůstu bakterií na vzorcích vůči substrátům vyšla u veškerých vzorků mimo K5.2 substrátu GF a u většiny vzorků mimo C3.1, C4.2, K3.1 a K5.1 na substrátu NYLON statisticky významná. Na těchto vzorcích byl sledován pokles počtu narostlých bakterií na filtru.



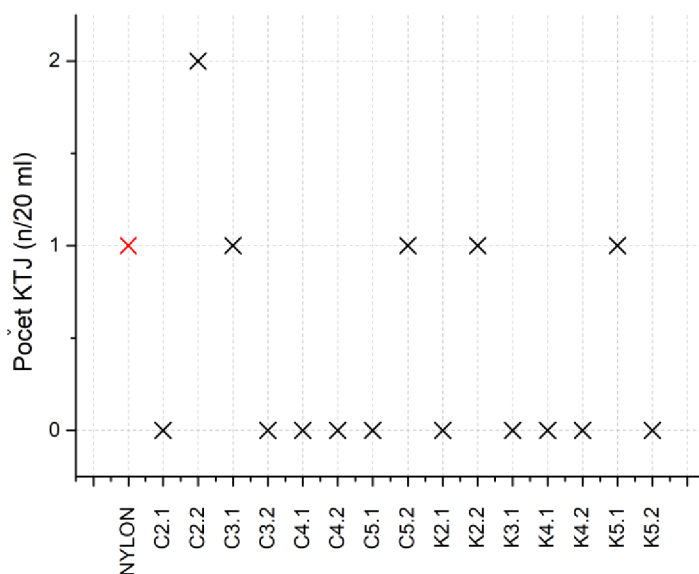
Obrázek 51 Počet kolonií tvořících jednotek ve filtrátu vzorků substrátu GF po filtraci roztoku s *E. coli*



Obrázek 52 Počet kolonií tvořících jednotek ve filtrátu vzorků substrátu NYLON po filtraci roztoku s *E. coli*



Obrázek 53 Počet kolonií tvořících jednotek ve filtrátu vzorků substrátu GF po filtraci roztoku s *M. luteus*



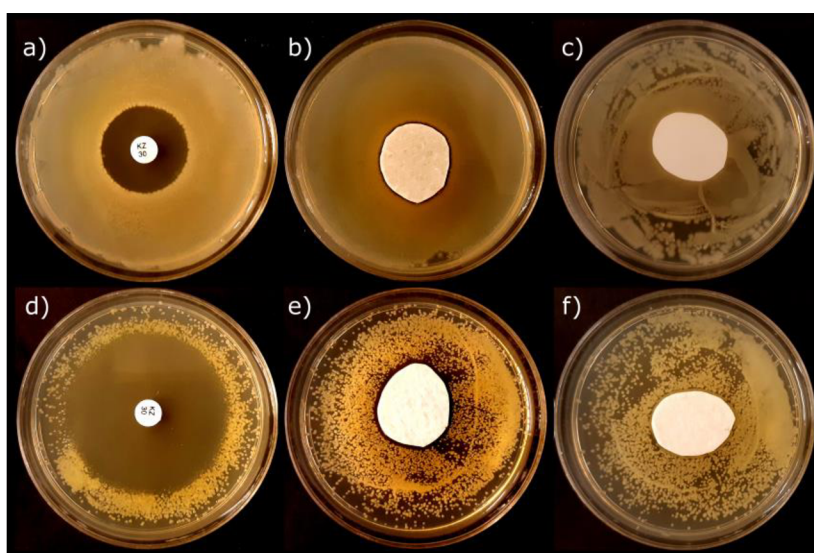
Obrázek 54 Počet kolonií tvořících jednotek ve filtrátu vzorků substrátu NYLON po filtraci roztoku s *M. luteus*

Ve filtrátu po filtraci roztoku s *E. coli* byl u veškerých vzorků substrátu GF pozorován pokles počtu narostlých bakterií (Obrázek 51). Na základě hypotézy rozdílu vzorků oproti substrátu byl tento pokles vyhodnocen u veškerých vzorků mimo K5.2 statisticky významný. U vzorku K2.1 na substrátu NYLON (Obrázek 52) bylo zjištěno výrazné zvýšení nárůstu bakterií zapříčiněné jeho protržením. Z tohoto důvodu byl vzorek vyřazen z grafu a statistického hodnocení. U C2.2 a K5.2 nebyl zjištěn nárůst bakterií ve filtrátu a u zbylých

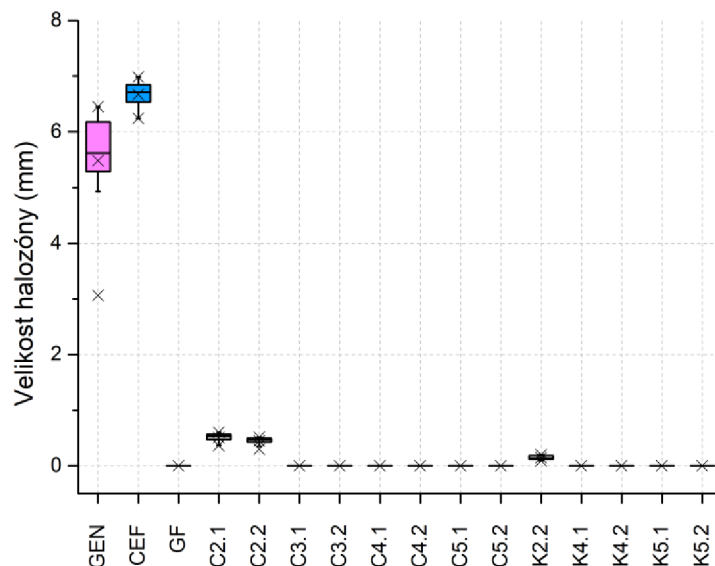
vzorků bylo pozorováno snížení nárůstu počtu bakterií. Dle hypotézy bylo toto snížení statisticky významné. Filtrát vzorku C4.2 na substrátu GF po filtraci roztoku s *M. luteus* nevykazoval nárůst bakterií (Obrázek 53). U zbylých vzorků bylo pozorováno snížení počtu bakterií oproti substrátu, které bylo vyhodnoceno jako statisticky významné. U substrátu NYLON byl sledován minimální nárůst tohoto typu bakterie ve filtrátu (Obrázek 54). Nárůst se lehce zvýšil u vzorku C2.2, u vzorků C3.1, C5.2, K2.2 a K5.1 byl stejný jako u substrátu a u zbylých vzorků nebyl detekován žádný. Zvýšení množství bakterií u vzorku C2.2 na základě hypotézy bylo vyhodnoceno jako statisticky významné z důvodu nízkého počtu vyhodnocených bakterií u všech vzorků.

4.4.9.2. Kirby – Bauer test

Obrázky byly upraveny v programu GIMP (tak aby pozadí bylo jasně černé a byly zřetelně vidět halozóny v okolí vzorků) a následně byly obrázky vyhodnocovány v programu ImageJ. Zde bylo provedeno vždy 10 měření pro zjištění velikost bakteriální halozóny (Obrázek 55). Velikost halozóny byla vztažena ke standardům, jimiž byla antibiotika – Cefazolin 30 μg a Gentamicin 10 μg . Dále bylo zjišťováno, zda došlo k nárůstu bakterií pod umístěným vzorkem. Zde byla zapisována přítomnost bakterií pod vzorkem (+), absence bakterií pod vzorkem (-) nebo nesměrodatné hodnocení (N) (Příloha 18 až Příloha 21).

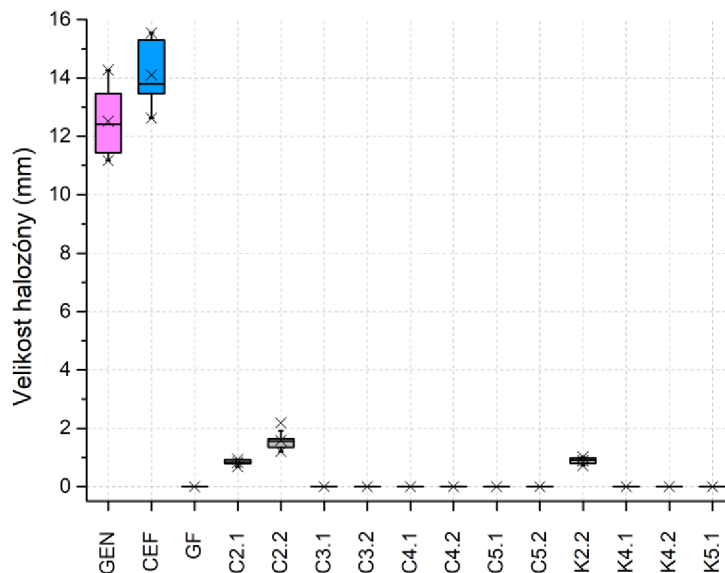


Obrázek 55 Hodnocení velikosti halozóny pro bakterii *Escherichia coli* **a)** halozóna při interakci s antibiotikem cefazolin **b)** vzorek s halozónou **c)** vzorek bez halozóny; a pro bakterii *Micrococcus luteus* **d)** halozóna při interakci s antibiotikem cefazolin **e)** vzorek s halozónou **f)** vzorek bez halozóny

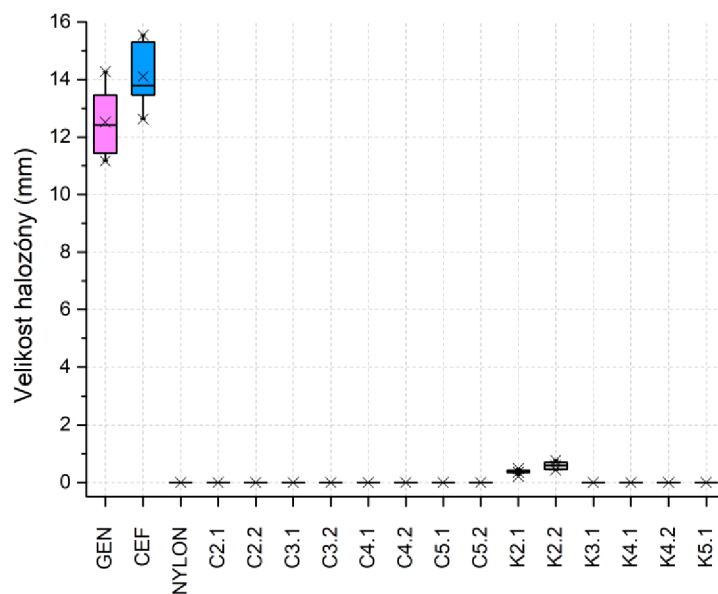


Obrázek 56 Kirby - Bauer test pro vzorky GF s využitím bakteriálního inokula *E. coli*

U vrstev na vzorcích C2.1, C2.2 a K2.2 na substrátu GF pro *E. coli* byla detekována zóna bez nárůstu bakterií, tj. halozóna, která je nižší než využitá antibiotika (Obrázek 56). Naměřené hodnoty jsou procentuálně nižší než u využitých antibiotik, tj. u vzorků se neprojevuje uvolňování prvků z vrstev, které by zajistily významné antibakteriální vlastnosti. Vrstvy na substrátu NYLON nevykazovaly výskyt halozóny pro *E. coli* (Obrázek není uveden), tj. žádná z vrstev neuvolňuje prvky do okolního média.



Obrázek 57 Kirby - Bauer test pro vzorky GF s využitím bakteriálního inokula *M. luteus*



Obrázek 58 Kirby - Bauer test pro vzorky NYLON s využitím bakteriálního inokula *M. luteus*

Pro bakterii *M. luteus* bylo zjištěno, že vznikla halozóna u vzorků C2.1, C2.2 a K2.2 na substrátu GF (Obrázek 57) a u vzorků K2.1 a K2.2 na substrátu NYLON (Obrázek 58). Naměřené hodnoty jsou procentuálně nižší než u využitých antibiotik, tj. u vzorků se neprojevuje uvolňování prvků z vrstev, které by zajistily významné antibakteriální vlastnosti.

Tento typ testu nebyl primárně zaměřen na hodnocení antibakteriální účinnosti, tj. naměřené velice nízké hodnoty jsou v souladu s naším předpokladem. Cílem tohoto testu bylo zjištění, zda vůbec a případně v jaké míře, dochází k uvolňování prvků z vrstev, které by působily antibakteriálně na testované bakteriální kmeny. Bylo tedy prokázáno uvolňování prvků z vrstev CuAg a Cu_xAg_yO pro GF a z vrstev Cu_xAg_yO pro NYLON.

5. Vyhodnocení a diskuse výsledků

Tloušťka tenkých vrstev

Na základě naměřených hodnot bylo zjištěno, že tloušťka tenkých vrstev rostla s vyšším výkonem zdroje, což je uvedeno i v článcích [75] a [76]. Ta závisí na výtěžnosti naprašování (sputtering yield, Y). Výsledky prokazují nejvyšší rychlost odprašování u mědi se stříbrem, dále u mědi a nejnižší u titanu a zirkonia, což je prokázáno v článku [77]. V této práci bylo zjištěno, že vrstvy $\text{Cu}_x\text{Ag}_y\text{O}$ a Cu_xO mají obdobnou tloušťku jako vrstvy vytvořené bez reaktivního plynu a vrstvy TiO_x a ZrO_x potřebují trojnásobnou dobu depozice pro vytvoření obdobné tloušťky než vrstvy z čistých kovů. Tento jev je dán využitým průtokem reaktivního plynu a výkonem zdroje při depozici. Kombinace průtoku reaktivního plynu a výkonu zdroje je pro vytvoření požadovaných tenkých vrstev pro každý prvek rozdílná. U vrstev TiO_x a ZrO_x byl využit buď vysoký průtok kyslíku, nebo poměrně nízký výkon zdroje pro daný prvek anebo jejich kombinace. Tím došlo k pokrytí targetu produkty reakce, tzv. otravě. Za těchto podmínek se oxidy ukládají na substrát nízkou rychlostí, což vede až k porušení procesu odprašování z targetu. Naopak s klesajícím průtokem kyslíku anebo zvyšujícím se výkonem pro daný prvek se rychlost naprašování zvyšuje. To také potvrzuje článek [78].

Analýza SEM

Dle poznatků ze SEM veškeré tenké vrstvy mají na vzorcích dostatečnou adhezi, vrstvy nepřekrývají ani nevyplňují póry (mezery) mezi skleněnými vlákny u filtrů GF ani póry u filtrů NYLON, tj. filtry nejsou zaneseny vrstvou po depozici a nesnižuje se tak efektivní porozita původního substrátu. Článek [79] zkoumá rozdíly v struktuře vrstev CuAg na PP vláknech v závislosti na parametrech depozice, včetně zadaného výkonu. U veškerých vzorků s deponovanými tenkými vrstvami na filtru GF byl pozorován kovový vzhled oproti substrátu, což také udává výše uvedený článek. Tenké vrstvy kovů a slitin targetů CuAg, Cu a Zr jsou hladké, bez zjevného reliéfu, což potvrzuje článek [80] a [36]. Byla zjištěna závislost vzhledu struktury na tloušťce vrstvy u obou substrátů. Dle pozorování u vzorků na GF se intenzita kovového vzhledu zvyšuje a množství pozorovaných částic (nečistot substrátu) snižuje s rostoucí tloušťkou vrstvy. U některých vzorků s tenkými vrstvami deponovanými na substrátu NYLON byly zaznamenány hladší póry oproti substrátu. To je nejspíše způsobeno teplotním ovlivněním nylonu, jehož ostré hrany se v reakci na teplotu zatáhnou. Z obrazové analýzy je patrné, že substrát GF obsahuje rozdílně tlustá skleněná

vlákna. U většiny vzorků na substrátu NYLON bylo pozorováno malé zmenšení pórů a obdobné obsazení plochy póry. Zmenšení pórů po nanesení tenké vrstvy bylo popsáno i ve článku [61] a článek [73] uvádí malé zmenšení pórů a stejné obsazení plochy póry u tenkých vrstev do tloušťky 50 nm.

EDS analýza

Dle naměřených spekter je prvková analýza vzorků s tenkými vrstvami ovlivněna substrátem kvůli velmi malé tloušťce nanesených vrstev. U vrstev $\text{Cu}_x\text{Ag}_y\text{O}$ a Cu_xO bylo zjištěno široké rozpětí hodnot poměrů prvků. Měření proběhlo pouze jednou pro každý vzorek. V článku [36] u deponovaných tenkých Cu vrstev byla detekována pasivační vrstva. Tento jev nebylo možno pomocí zvolené metody prokázat ani vyvrátit, detekce byly ovlivněny kyslíkem ze substrátu. Ze zjištěných poměrů prvků vůči kyslíku u série kyslíkových vrstev byl pozorován u vrstev $\text{Cu}_x\text{Ag}_y\text{O}$ a Cu_xO vyšší podíl prvků z targeu oproti kyslíku a u vrstev Zr_xO vyšší podíl kyslíku oproti zirkoniu. To je způsobeno množstvím využitého průtoku reaktivního plynu nebo výkonem zdroje. Tento faktor souvisí s tloušťkou vrstev a rychlostí odprašování částic. Pro vrstvy $\text{Cu}_x\text{Ag}_y\text{O}$ a Cu_xO byl využit nízký průtok kyslíku anebo vysoký výkon zdroje, čímž došlo k nízkému zoxidování targetu, tzv. otravě. A naopak u vrstev Zr_xO byl využit vysoký průtok kyslíku či poměrně nízký výkon zdroje, čímž došlo k vysoké otravě targetu. S tím souvisí vznik rozdílných stavů povrchu po reaktivním naprašování – plně kovový, plně zoxidovaný a částečně zoxidovaný. Veškeré výše uvedené faktory popisuje článek [78]. U vrstev $\text{Cu}_x\text{Ag}_y\text{O}$ je pravděpodobná reakce kyslíku pouze s mědí z důvodu nízké reaktivity stříbra s kyslíkem, tj. vznik tenkých vrstev z Ag, Cu a Cu_xO , což popisuje článek [81]. Pro hodnocení chemického složení vrstev a detekce pasivační vrstvy je doporučeno využití metody X-Ray diffraction.

Morfologie, topografie a drsnost povrchu

Naměřené hodnoty výškových parametrů S_a a S_z substrátu GF byly větší než u substrátu NYLON. Tento fakt je dán anizotropií struktury materiálu filtru GF. Měření povrchu všech filtrů je více ovlivněno výběrem snímané oblasti. Povrchy obou substrátů jsou členité, z tohoto důvodu je pro většinu měřených vzorků v krabicových grafech u hodnot S_a široké rozpětí kvartilů. Byl pozorován vztah mezi hodnotami S_{ku} a S_z , kdy u zvyšujících se hodnot S_{ku} se zvyšují i hodnoty S_z . Článek [82] tuto závislost popisuje tak, že S_{ku} přímo souvisí s výškami vrcholů a hloubkami údolí. Na základě hodnot špičatosti bylo zjištěno, že povrchy většiny filtrů jsou špičaté. Nevyskytují se statisticky významné

rozdíly mezi jednotlivými vrstvami při různých výkonech zdroje, což dokazuje, že tyto vrstvy mají obdobné rozložené špičatosti ve struktuře. Tento trend je popsán v článku [83] tak, že u většiny vzorků s tenkými vrstvami na bázi Ti se hodnoty Sku pohybovaly v obdobném rozmezí bez ohledu na předúpravu povrchu.

Tribologické vlastnosti

U vrstev čistých kovů a slitin z targetů CuAg a Cu byl pozorován vyšší statický koeficient tření pro vzorky s využitím nižšího výkonu zdroje a hloubka stopy byla větší než u substrátu. Tribologické stopy vzorků C2.2 a C3.2 vykazují rozsáhlé poškození. U veškerých kyslíkových vrstev bylo pozorováno snížení statického i dynamického koeficientu tření. Dále tyto vrstvy vykazovaly obdobné nebo nižší změřené hodnoty šířky a hloubky stopy. Kyslíkové povrchy mohou být více odolné abrazi. Veškeré tribologické testy byly ovlivněny porézní strukturou substrátu.

Odolnost vůči deformaci

Naměřené hodnoty deformace u většiny vzorků pro substrát GF se vyskytovaly v širokém rozmezí, což je pravděpodobně způsobeno anizotropním rozložením skleněných vláken v samotném substrátu. U vrstvy C2.1 na substrátu NYLON byly zaznamenány výrazně vyšší hodnoty ohybového momentu. To může znamenat ovlivnění výsledků tloušťkou samotné vrstvy. U hypotézy pro porovnání vzorků zkoušených směrem od zařízení a směrem k zařízení byl zjištěn statisticky významný rozdíl u vrstvy C3.2 pro oba substráty. To může být zapříčiněno naměřenými hodnotami pro tyto vzorky, které se nachází v malém intervalu, tj. mají úzké kvartilové rozpětí.

Kontaktní úhel smáčení a povrchová energie

Bylo zjištěno, že substrát NYLON má hydrofilní vlastnosti a vzorky s tenkými vrstvami vykazují hydrofobnější vlastnosti oproti substrátu. Článek [79] uvádí snížení povrchové energie u vzorků s deponovanými tenkými vrstvami CuAg oproti substrátu PP, což bylo v této práci prokázáno. V článku je diskutována závislost regenerace vlhkosti (k hodnocení hydrofobního chování materiálů) na výkonu zdroje, kdy bylo zjištěno, že při vyšším výkonu zdroje se materiál s tenkou vrstvou vyznačuje hydrofobnějšími vlastnostmi. To bylo prokázáno i v této práci, vzorek C2.1 má hydrofobní vlastnosti a vzorek C2.2 se pohybuje na hranici hydrofilie a hydrofobie.

Propustnost filtrů

Na základě výsledků bylo zjištěno, že u veškerých filtrů s nadeponovanými tenkými vrstvami nebyla jejich propustnost ovlivněna. Článek [84] uvádí, že netkaná textilie po nanesení CuAg vrstvy o tloušťce 5 nm má vysokou filtrační účinnost, což bylo prokázáno i v našich výsledcích pro vybrané substráty. Časy filtrace, a tím i vypočítaná propustnost filtrů jednoho typu se výrazně neměnily v závislosti na tloušťce tenkých vrstev. To prokazuje, že rozdílná tloušťka hodnocených vrstev stejného typu výrazně neovlivňuje čas filtrace. Filtrace kapaliny přes vzorky GF započala před spuštěním čerpadla, což ovlivnilo měření. Výsledky vzorků C2.1 na GF pro *E. coli* i *M. luteus* byly zatíženy chybou operátora, tudíž byl změřený čas kratší než reálný čas filtrace.

Antibakteriální vlastnosti

Dle Kirby – Bauer testu byly zjištěny antibakteriální vlastnosti vrstev CuAg a Cu_xAg_yO na substrátu GF pro oba typy bakterií a vrstev Cu_xAg_yO na substrátu NYLON pro G+ bakterii. Antibakteriální schopnosti stříbra na rozdíl od zlata, mědi a TiO_2 byly potvrzeny v článku [85]. Ve filtrátech pro vzorky NYLON pro oba bakteriální kmeny se vyskytovalo mnohem menší množství bakterií oproti GF, což bylo zapříčiněno menšími póry filtru NYLON. Dle počtu bakterií KTJ ve filtrátu bylo zjištěno, že substrát NYLON i deponované vrstvy účinně fungují na G+ bakterii a u G- bakterií významně snižují jejich růst, resp. ovlivňují životaschopnost buněk. Dle výsledků veškeré vzorky s deponovanými tenkými vrstvami na GF výrazně snižují nárůst G+ bakterií a mírně ovlivňují růstu G- bakterií. Antibakteriální účinnost závisí na mnoha faktorech, na špičatosti, chemickém složení a na hydrofilní/hydrofobní povaze povrchů. Dle článku [72] nižší úhel smáčení (hydrofilní povrch) má dobrou adhezi a proliferaci buněk a dle článku [83] špičatost ovlivňuje adhezi buněk k povrchu – nízká špičatost omezuje adhezi. Tyto závěry nebylo možno v práci potvrdit z důvodu porézní struktury materiálu. Hodnoty špičatosti vzorků byly obdobné jako u substrátu NYLON a veškeré vzorky vykazovaly hydrofobnější vlastnosti. Výrazné snížení nárůstu bakterií pro *E. coli* bylo pozorováno u vrstev na bázi CuAg a Cu a pro *M. luteus* u C3.1, C5.1, C5.2 a K4.1.

Vyřazené vzorky

Z testování byly vyřazeny výše uvedené vzorky z důvodu nestability vrstvy. U tenkých vrstev je jejich nestabilita zapříčiněna buď oxidací deponované vrstvy nebo špatnou adhezí. Na základě analýzy SEM bylo zjištěno, že veškeré vrstvy na substrátu GF jsou buď

poškozené nebo se zde vytvořily tzv. islands, což je vrstva bez rovnoměrného rozložení, kdy se vytváří shluky prvku deponovaného z targetu. Konkrétní způsob a poškození vrstvy, který byl pozorován, může být ovlivněn vlastnostmi substrátu. Vrstvy s využitím nižšího výkonu zdroje se rozpadají pravděpodobně kvůli výskytu vysoké zbytkové napjatosti ve vrstvách. Vzorek K3.2 na substrátu NYLON vykazuje obdobnou strukturu jako substrát s hladšími póry bez známek defektů. Nedostatečné množství kyslíku při procesu depozice tenkých vrstev $\text{Cu}_x\text{Ag}_y\text{O}$ a Cu_xO způsobilo tvorbu nekvalitních vrstev, což vedlo k vyřazení vzorků. Nestabilita vrstev byla primárně pozorována na substrátu GF, kde bylo detekováno vyšší množství kyslíku než u substrátu NYLON. Největší míra nestability byla pozorována u vrstev, kde byl využit nižší výkon zdroje s totožným průtokem reaktivního plynu. Tyto vrstvy měly menší tloušťku. Relativně vysoká rychlost přeměny vrstev v čase je nejspíše zapříčiněna autokatalytickou reakcí započatou připuštěním kyslíku v průběhu depozice.

6. Doporučení pro další zpracování

Dle naměřených dat doporučuji zaměřit další výzkum na tvorbu a hodnocení série vzorků s kyslíkovými vrstvami. Navrhuji zhotovit analýzu SEM nevyřazených vrstev $\text{Cu}_x\text{Ag}_y\text{O}$ a Cu_xO za účelem zjištění případných strukturálních změn v delším časovém horizontu, po 6ti a 12ti měsících od depozice. Dále navrhuji vytvořit sérii vzorků s rozdílnou stechiometrií vrstev. U vzorků TiO_x a ZrO_x doporučuji využít nižší průtok kyslíku z důvodu snížení otravy targetu, zvýšení tloušťky deponované vrstvy a změny výsledného chemického složení. Účelem je docílit částečně zoxidované vrstvy, která by měla vhodné funkční vlastnosti a vyšší antibakteriální účinnost. Pro vzorky $\text{Cu}_x\text{Ag}_y\text{O}$ a Cu_xO doporučuji využít nižší výkon zdroje s vyšším průtokem kyslíku. Došlo by k takové chemické reakci prvků a reaktivního plynu, aby byly vytvořeny stabilní vrstvy, které by nepodléhaly oxidaci a nežádoucím změnám struktury. Dále u těchto vrstev doporučuji vytvořit řadu, kde se bude měnit doba depozice při stejném výkonu zdroje. To by dodalo informace ke změně struktury v závislosti na tloušťce vrstvy při změně času depozice. Čas depozice může ovlivnit také drsnost povrchu, tribologické vlastnosti a mechanické vlastnosti (ohyb) vrstev.

Pro další zpracování navrhuji vytvořené vzorky podrobit cyklickému namáhání v ohybu, které více simuluje vliv reálného prostředí. U vzorků, kde byly vyhodnoceny nenulové halozóny, tj. v rámci Kirby – Bauer testu, doporučuji udělat test vyluhovatelnosti. Na jeho základě by bylo zjištěno, zda vzorky uvolňují částice nebo prvky do okolního prostředí.

7. Závěr

Diplomová práce byla vypracována v souladu se zadáním a splnila veškeré úkoly a cíle, které si zadané téma vyžadovalo. V práci byly zkoumány tenké vrstvy deponované na filtry ze skleněných vláken a nylonu. Byly vytvořeny dvě série tenkých vrstev z targetů CuAg, Cu, Zr a Ti – vrstvy čistých kovů a slitin a kyslíkové vrstvy. Byla hodnocena jejich tloušťka, chemické složení, parametry drsnosti povrchu, tribologické vlastnosti, odolnost vůči deformaci, povrchová energie, propustnost a antibakteriální vlastnosti. Místo testu vyluhovatelnosti byl zhotoven Kirby – Bauer test, který poskytl rychlé a efektivní výsledky o antibakteriálních vlastnostech vzorků.

Dle zhotovených experimentů bylo zjištěno, že veškeré zkoumané tenké vrstvy na obou substrátech mají dostatečnou adhesi a během testů se vrstvy nedelaminovaly. Výrazně nemění odolnost vzorků vůči deformaci a nezabraňují propustnosti filtrů. U vrstev deponovaných na oba substráty byla zjištěna závislost vzhledu struktury vrstev na zadaném výkonu zdroje. V průběhu zpracování byly vyřazeny některé vrstvy na bázi $\text{Cu}_x\text{Ag}_y\text{O}$ a Cu_xO kvůli jejich nestabilitě, která pramení z využití malého průtoku reaktivního plynu. Dle EDS analýzy byla zjištěna nedostatečná reakce kyslíku s kovy pro veškeré vrstvy v sérii kyslíkových vrstev. Hodnocením tribologických vlastností bylo zjištěno, že kyslíkové povrchy mohou být více odolné abrazi. Dle Kirby – Bauer testu bylo zjištěno, že vrstvy na bázi CuAg a $\text{Cu}_x\text{Ag}_y\text{O}$ na substrátu GF mají antibakteriální vlastnosti pro oba využití typy bakterií a vrstvy $\text{Cu}_x\text{Ag}_y\text{O}$ na substrátu NYLON pro bakterii *M. luteus*.

Na základě zjištění byla v práci navržena doporučení pro další zpracování. Bylo by vhodné zaměřit se na sérii kyslíkových vrstev pro oba dva substráty. U této série byla pro jednotlivé vrstvy doporučena změna průtoku reaktivního plynu nebo výkonu zdroje. Takto by byly sledovány vlastnosti vrstev na základě změny jejich stechiometrie. Dále doporučuji vytvořit řadu vrstev, u kterých by se měnila doba depozice při využití stejného výkonu zdroje, a to za účelem sledování změny struktury v závislosti na tloušťce vrstvy při změně času depozice. Navrhují zkoumat nevyřazené vrstvy $\text{Cu}_x\text{Ag}_y\text{O}$ a Cu_xO z důvodu zjištění případných strukturálních změn v delším časovém horizontu. Dalším doporučením bylo podrobení studovaných vzorků cyklickému namáhání v ohybu, které více simuluje vliv reálného prostředí. Na základě zjištění z Kirby – Bauer testu byl doporučen test vyluhovatelnosti, a to pro vzorky s nenulovými hodnotami halozóny. Cílem hodnocení bylo, zda se ze vzorků uvolňují prvky, nebo jsou vrstvy natolik antibakteriální, že u nich byla detekována halozóna.

Použitá literatura

- [1] VARAPRASAD, Kokkarachedu, ed. *Polymeric Biomaterials for Healthcare Applications*. United Kingdom: Woodhead Publishing, 2022. ISBN 978-0-323-85233-3.
- [2] HRŮZA, Jakub. *Filtration part 1*. Liberec, 2014. Přednáška. Technická univerzita v Liberci.
- [3] ZARRINTAJ, Payam, Maryam JOUYANDEH, Mohammad Reza GANJALI, Behzad Shirkavand HADAVAND, Masoud MOZAFARI, Sergei S. SHEIKO, Mohammad VATANKHAH-VARNOOSFADERANI, Tomy J. GUTIÉRREZ a Mohammad Reza SAEB. Thermo-sensitive polymers in medicine: A review. *European Polymer Journal* [online]. 2019, **117**, 402–423. ISSN 0014-3057. Dostupné z: doi:10.1016/j.eurpolymj.2019.05.024.
- [4] GANDHI, Arijit, Abhijit PAUL, Suma Oommen SEN a Kalyan Kumar SEN. Studies on thermoresponsive polymers: Phase behaviour, drug delivery and biomedical applications. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences* [online]. 2015, **10**(2), 99–107. ISSN 1818-0876. Dostupné z: doi:10.1016/j.ajps.2014.08.010.
- [5] RANA, Ashvinder K., Ebrahim MOSTAFAVI, Walaa Fahad ALSANIE, Samarjeet Singh SIWAL a Vijay Kumar THAKUR. Cellulose-based materials for air purification: A review. *Industrial Crops and Products* [online]. 2023, **194**, 116331. ISSN 0926-6690. Dostupné z: doi:10.1016/j.indcrop.2023.116331.
- [6] SPARKS, Trevor a George CHASE. *Filters and Filtration Handbook*. Butterworth-Heinemann, 2013. ISBN 978-0-08-099400-0.
- [7] SUCHÝ, Tomáš. *Kompozitní materiály v medicíně* [online]. Praha, 2013 [vid. 2023-11-23]. Přednáška. ČVUT. Dostupné z: http://www.csm-kompozity.wz.cz/tomas_suchy_kompozity.pdf.
- [8] NC STATE UNIVERSITY. *BioResources* [online]. [vid. 2023-12-05]. Dostupné z: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/>.
- [9] WU, Yawen, Yangyang SONG, Di WU, Xiaowei MAO, Xiuling YANG, Shaohua JIANG, Chunmei ZHANG a Rui GUO. Recent Progress in Modifications, Properties, and Practical Applications of Glass Fiber. *Molecules* [online]. 2023, **28**(6), 2466. ISSN 1420-3049. Dostupné z: doi:10.3390/molecules28062466.
- [10] HASHEM, Mona Samir. Advanced Polymers for Biomedical Applications: Mini Review. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research* [online]. 2023, **48**(4)

- [11] PATEL, Rakesh, D. SHAH, Bhupendra PRAJAPATI a M. PATEL. Overview of industrial filtration technology and its applications. *Indian Journal of Science and Technology* [online]. 2010, **3**, 1121–1127. Dostupné z: doi:10.17485/ijst/2010/v3i10/29843.
- [12] HRŮZA, Jakub. *Filtrace a filtrační materiály*. Liberec, 2014. Přednáška. Technická univerzita v Liberci.
- [13] HRŮZA, Jakub. *AUTOMOBILOVÉ FILTRY (automotive filters) I. díl. Popis filtrace a požadavky* [online]. Liberec, 2014. Přednáška. Technická univerzita v Liberci. Dostupné z: <https://jakub-hruza.webnode.cz/prednasky/textilie-pro-automobilovy-prumysl-filtrace/>.
- [14] ZHANG, Erlin, Xiaotong ZHAO, Jial HU, Ruoxian WANG, Shan FU a Gaowu QIN. Antibacterial metals and alloys for potential biomedical implants. *Bioactive Materials* [online]. 2021, **6**, 2569–2612. Dostupné z: doi:10.1016/j.bioactmat.2021.01.030.
- [15] JIROUT, Tomáš. *Hydromechanické procesy: Filtrace* [online]. Praha, 2023. Přednáška. ČVUT. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/xx/document/read/43007279/filtry>.
- [16] VYBÍRAL, Pavel. *Ochrana ovzduší 6*. Praha, 2010. Přednáška. České vysoké učení v Praze.
- [17] ALBRECHT, Wilhelm, Hilmar FUCHS a Walter KITTELMANN, ed. *Nonwoven Fabrics: Raw Materials, Manufacture, Applications, Characteristics, Testing Processes* [online]. 1. vyd. Wiley, 2002 [vid. 2024-03-03]. ISBN 978-3-527-30406-6. Dostupné z: doi:10.1002/3527603344.
- [18] CHVOJKA, Jiří. *Technologie Hot-melt, Povrstvování a Laminace*. Liberec, 2022. Přednáška. Technická univerzita v Liberci.
- [19] CHVOJKA, Jiří. *VÍTÁM VÁS NA PŘEDNÁŠCE Z PŘEDMĚTU TCT*. Liberec, 2022. Přednáška. Technická univerzita v Liberci.
- [20] CHVOJKA, Jiří. *Pojení textilií*. Liberec, 2022. Přednáška. Technická univerzita v Liberci.
- [21] RUSSELL, S. J. *Handbook of Nonwovens*. Amsterdam: Elsevier Science, 2022. ISBN 978-0-12-818912-2.
- [22] CHVOJKA, Jiří. *Flashspinnig, Elecropsinnig, Force spinning a další možné metody výroby vláken*. Liberec, 2022. Přednáška. Technická univerzita v Liberci.

- [23] PILLAI, S.A., Dhawal CHOBISA, Dileep URIMI a N. RAVINDRA. Filters and filtration: A review of mechanisms that impact cost, product quality and patient safety. 2016, **8**, 271–278.
- [24] Air filters for hospitals and healthcare facilities | Camfil. *camfil* [online]. 2021 [vid. 2024-02-11]. Dostupné z: <https://www.camfil.com/en-au/insights/life-science-and-healthcare/air-filters-for-hospitals-and-healthcare-facilities>
- [25] Filtration for medical and healthcare applications. *Cytiva* [online]. [vid. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://www.cytivalifesciences.com/en/us/solutions/medical>
- [26] SEDLÁČEK, Vladimír a Zlatko KNOR. *Povrchy a povlaky kovů* [online]. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1992 [vid. 2023-12-08]. ISBN 978-80-01-00799-0. Dostupné z: https://svk7.svkkl.cz/ar1-kl/cs/detail-kl_us_cat-c095713-Povrchy-a-povlaky-kovu/.
- [27] KROBOTOVÁ, Anna. *Studium mechanických vlastností tenkých vrstev použitelných pro totální endoprotézy Temporomandibulárního kloubu*. Liberec, 2022. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci.
- [28] KŘÍŽ, Antonín. *SYSTÉM TENKÁ VRSTVA SUBSTRÁT V APLIKACI NA ŘEZNÝCH NÁSTROJÍCH* [online]. Hradec nad Moravicí. Metal, 2005 [vid. 2023-12-08]. Západočeská univerzita. Dostupné z: <https://docplayer.cz/110025151-System-tenka-vrstva-substrat-v-aplikaci-na-reznych-nastrojich-thin-film-substrate-system-as-applied-to-cutting-tools-antonin-kriz.html>.
- [29] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [30] KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-668-1.
- [31] DAŘOUREK, Karel. *Vybrané technologie povrchových úprav*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. ISBN 978-80-7372-168-8.
- [32] TCB. *Thermal Conductive Bonding, Inc* [online]. [vid. 2023-11-20]. Dostupné z: <http://www.tcbonding.com/sputtering.html>.
- [33] HASHMI SALEEM, BATALHA, GILMAR F., VAN TYNE, CHESTER J., a YILBAS, BEKIR S. *Comprehensive Materials Processing*. Elsevier Inc., 2014. ISBN 978-0-08-096533-8.
- [34] DAŘOUREK, Karel. *Tenké tvrdé vrstvy*. Liberec, 2023. Přednáška. Technická univerzita v Liberci.

- [35] KWS CZ s.r.o. *Pokovování a povlakování* [online]. [vid. 2023-12-05]. Dostupné z: <https://kwscz.cz/pokovovani-a-povlakovani>.
- [36] MIHUT, Dorina M., Arash AFSHAR, Laura W. LACKEY a Khang N. LE. Antibacterial effectiveness of metallic nanoparticles deposited on water filter paper by magnetron sputtering. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2019, **368**, 59–66. ISSN 0257-8972. Dostupné z: doi:10.1016/j.surfcoat.2019.04.039.
- [37] HANUŠ, Jan. *Měření tloušťky tenkých vrstev, drsnosti a povrchové energie* [online]. Praha, 2020. Přednáška. Univerzita Karlova. Dostupné z: <http://docplayer.cz/174625945-Mereni-tloustky-tenkych-vrstev-drsnosti-a-povrchove-energie.html>.
- [38] WANG, Luyu, Jia SONG a Chunyang YU. The utilization and advancement of quartz crystal Microbalance (QCM): A mini review. *Microchemical Journal* [online]. 2024, **199**, 109967. ISSN 0026-265X. Dostupné z: doi:10.1016/j.microc.2024.109967.
- [39] ANGGRAENI, D a S P SAKTI. Thickness Measurement of Polystyrene Coating on QCM Sensor using Interferometry Principles. *Journal of Physics: Conference Series* [online]. 2021, **1951**(1), 012043. ISSN 1742-6588, 1742-6596. Dostupné z: doi:10.1088/1742-6596/1951/1/012043.
- [40] VODIČKOVÁ, Věra. *Strukturní analýza materiálů: Úvod - současné metody a možnosti*. Liberec, 2023. Přednáška. Technická univerzita v Liberci.
- [41] VODIČKOVÁ, Věra. *Zobrazovací metody: Elektronová mikroskopie 1*. Liberec, 2023. Přednáška. Technická univerzita v Liberci.
- [42] NĚMEČEK, Jiří. *Metody skenovací elektronové mikroskopie SEM a analytické techniky* [online]. Praha, 2017 [vid. 2023-11-23]. Přednáška. ČVUT. Dostupné z: http://ksm.fsv.cvut.cz/~nemecek/teaching/dmpo/lectures/D32MPO_02.pdf.
- [43] ŠVEC, Martin. *Studium struktury kovových materiálů*. Liberec, 2023. Přednáška. Technická univerzita v Liberci.
- [44] MOOC: Instrumental analysis of cultural heritage objects. *Tartu Ülikooli* [online]. 2023 [vid. 2023-11-23]. Dostupné z: <https://sisu.ut.ee/heritage-analysis/book/export/html/19893>.
- [45] VODIČKOVÁ, Věra. *Zobrazovací metody: Elektronová mikroskopie 2*. Liberec, 2023. Přednáška. Technická univerzita v Liberci.
- [46] OTRUBA, Vítězslav. *Elektronová mikroanalýza* [online]. Brno, 2023 [vid. 2024-03-03]. Přednáška. Masarykova Univerzita. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/sci/podzim2013/C7031/um/>.

- [47] VODIČKOVÁ, Věra. *Spektroskopie subvalenčních elektronů: Elektronová mikroanalýza a rentgenfluorescenční spektroskopie*. Liberec, 2023. Přednáška. Technická univerzita v Liberci.
- [48] ŁĘTOCHA, Aneta, Tatiana MILLER a Krzysztof GAJDA. Gaussian Filter and Morphological Filter – the differences in filtration parameters selection. *International Journal of Mechanical Engineering and Automation*. 2014, **1**, 253–258.
- [49] ASMAC. *Morphology and Topography* [online]. [vid. 2023-12-05]. Dostupné z: <http://www.asmac.com.hk/morphology-and-topography.php>.
- [50] SOMERS, Nicolas a Marie LASGORCEIX. Surface Treatment of Bioceramics. In: Michael POMEROY, ed. *Encyclopedia of Materials: Technical Ceramics and Glasses* [online]. Oxford: Elsevier, 2021 [vid. 2023-12-05], s. 701–715. ISBN 978-0-12-822233-1. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-818542-1.00032-1.
- [51] BAKALOVA, Totka. *Integrita povrchu. Experimentální metody hodnocení povrchových mechanických a fyzikálních vlastností*. Liberec, 2023. Přednáška. Technická univerzita v Liberci.
- [52] Sku (Kurtosis) | Area Roughness Parameters | Surface roughness parameters in ISO 25178 | List of parameters useful for design/inspection other than Sa and Sz | Solving the questions about profile and surface roughness measurements! Introduction to „Roughness” | KEYENCE International Belgium. *KEYENCE International Belgium* [online]. [vid. 2024-05-01]. Dostupné z: https://www.keyence.eu/ss/products/microscope/roughness/surface/tab01_e.jsp.
- [53] BOB D. GUENTHER a DUNCAN G. STEEL. *ENCYCLOPEDIA OF MODERN OPTICS*. 2nd Edition. Amsterdam: Elsevier Inc., 2018. Volume, 5. ISBN 978-0-12-809283-5.
- [54] Digitální 4K mikroskop – příklady použití a řešení. *KEYENCE International Belgium* [online]. [vid. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/ss/products/microscope/vhx-casestudy/>.
- [55] MATHEW, M. T., Naveen V. PADAKI, R. ALAGIRUSAMY, B. L. DEOPURA, R. FANGUEIRO, L. A. ROCHA a J. R. GOMES. Tribological behaviour of multilayered textile composites: The effect of reciprocating sliding frequency. *Wear* [online]. 2009, **267**(1), 17th International Conference on Wear of Materials, 26–33. ISSN 0043-1648. Dostupné z: doi:10.1016/j.wear.2009.01.001.

- [56] BAKALOVA, Totka. *Tribologie a tribologické vlastnosti*. Liberec, 2023. Přednáška. Technická univerzita v Liberci.
- [57] GEE, M. G. a S. OWEN-JONES. *Wear testing methods and their relevance to industrial wear problems*. [online]. 1998 [vid. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://eprintspublications.npl.co.uk/3426/>.
- [58] NĚMEC, Jaroslav, Cyril HÖSCHL a Jan DVOŘÁK. *Pružnost a pevnost ve strojírenství*. Praha: SNTL, 1989. ISBN 978-80-03-00193-4.
- [59] ČSN 80 0858:1974. *Zkoušení tuhosti a pružnosti plošných textilií*.
- [60] PAWLAK, R., E. KORZENIEWSKA, C. KONECZNY a B. HAŁGAS. Properties Of Thin Metal Layers Deposited On Textile Composites By Using The Pvd Method For Textronic Applications. *Autex Research Journal* [online]. 2017, **17**(3), 229–237. ISSN 2300-0929. Dostupné z: doi:10.1515/aut-2017-0015.
- [61] KASSA, Shewaye Temesgen, Chien-Chieh HU, Yo-Chuan LIAO, Jem-Kun CHEN a Jinn P. CHU. Thin film metallic glass as an effective coating for enhancing oil/water separation of electrospun polyacrylonitrile membrane. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2019, **368**, 33–41. ISSN 0257-8972. Dostupné z: doi:10.1016/j.surfcoat.2019.04.030.
- [62] PŘF:F8542 Experimentální metody a speciální praktikum. *IS MUNI* [online]. [vid. 2024-03-03]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/jaro2015/F8542/um/Volna_povrchova_energie_modely_ucebni_material.pdf.
- [63] BURŠÍKOVÁ, Vilma. *Surface energy evaluation of plasma treated materials by contact angle measurement*. Brno: Masaryk University, 2004. ISBN 80-210-3563-3.
- [64] MRÓZEK, Magdalena. *Povrchová energie*. Liberec, 2024. Literární rešerše. Technická univerzita v Liberci.
- [65] Measuring surface energy for successful bonding. *Adezif* [online]. [vid. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://www.adezif.com/surface-energy-and-bonding>.
- [66] S.R.O, NETservis. Povrchové napětí nepodceňujte. *EKOBAL | Balicí stroje a obalový materiál, paketovací lisy* [online]. 27. březen 2019 [vid. 2024-03-16]. Dostupné z: <https://www.ekobal.cz/o-nas/aktuality/povrchove-napeti-nepodcenujte>.
- [67] NGUYEN, Nhung H.A., Yehia S. EL-TEMSAH, Sebastien CAMBIER, Magdalena CALUSINSKA, Pavel HRABAK, Miloslav POUZAR, Martin BORUVKA, Pavel KEJZLAR, Totka BAKALOVA, Arno C. GUTLEB a Alena SEVCU. Attached and planktonic bacterial communities on bio-based plastic granules and micro-debris in

- seawater and freshwater. *Science of The Total Environment* [online]. 2021, **785**, 147413. ISSN 0048-9697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2021.147413.
- [68] YANG, Xiao, Wei ZHANG, Xuezhi QIN, Miaomiao CUI, Yunting GUO, Ting WANG, Kaiqiang WANG, Zhenqiang SHI, Chao ZHANG, Wanbo LI a Zuankai WANG. Recent Progress on Bioinspired Antibacterial Surfaces for Biomedical Application. *Biomimetics* [online]. 2022, **7**(3), 88. ISSN 2313-7673. Dostupné z: doi:10.3390/biomimetics7030088.
- [69] MITURA, Katarzyna, Joanna KORNACKA, Elżbieta KOPCZYŃSKA, Jacek KALISZ, Ewa CZERWIŃSKA, Maciej AFFELTOWICZ, Witold KACZOROWSKI, Beata KOLESIŃSKA, Justyna FRĄCZYK, Totka BAKALOVA, Lucie SVOBODOVÁ a Petr LOUDA. Active Carbon-Based Nanomaterials in Food Packaging. *Coatings* [online]. 2021, **11**(2), 161. ISSN 2079-6412. Dostupné z: doi:10.3390/coatings11020161.
- [70] Laboratorní vybavení | Fisher Scientific. *Fisher Scientific* [online]. [vid. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://www.thermofisher.cz/>.
- [71] P-LAB = Potřeby pro laboratoř, Chemikálie, Life Science, Nábytek. *P-LAB* [online]. [vid. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://www.p-lab.cz/>.
- [72] LIU, Shangpeng, Shaohua ZHANG, Liguo YANG, Yi YU, Shuang WANG, Ling LI, Na WANG, Shaojuan CHEN, Jianwei MA a Jiwei LI. Nanofibrous scaffold by cleaner magnetron-sputtering additive manufacturing: A novel biocompatible platform for antibacterial application. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2021, **315**, 128201. ISSN 0959-6526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2021.128201.
- [73] COELHO, Leticya Lais, Matthieu GRAO, Thomas POMONE, Marina RATOVA, Peter KELLY, Michaela WILHELM a Regina de Fátima Peralta Muniz MOREIRA. Photocatalytic microfiltration membranes produced by magnetron sputtering with self-cleaning capabilities. *Thin Solid Films* [online]. 2022, **747**, 139143. ISSN 0040-6090. Dostupné z: doi:10.1016/j.tsf.2022.139143.
- [74] *Návod k obsluze povlakovacího zařízení NP 70*. Opočno: KWS CZ s.r.o. 2021.
- [75] KAVITHA, A., R. KANNAN a S. RAJASHABALA. Effect of target power on the physical properties of Ti thin films prepared by DC magnetron sputtering with supported discharge. *Materials Science-Poland* [online]. 2017, **35**(1), 173–180. ISSN 2083-134X. Dostupné z: doi:10.1515/msp-2017-0022.
- [76] LE, Minh-Tung, Yong-Un SOHN, Jae-Won LIM a Good-Sun CHOI. Effect of Sputtering Power on the Nucleation and Growth of Cu Films Deposited by Magnetron

- Sputtering. *MATERIALS TRANSACTIONS* [online]. 2010, **51**(1), 116–120. ISSN 1345-9678, 1347-5320. Dostupné z: doi:10.2320/matertrans.M2009183.
- [77] MAHNE, Nastja, Miha ČEKADA a Matjaž PANJAN. Total and Differential Sputtering Yields Explored by SRIM Simulations. *Coatings* [online]. 2022, **12**, 1541. Dostupné z: doi:10.3390/coatings12101541.
- [78] SAFI, I. Recent aspects concerning DC reactive magnetron sputtering of thin films: a review. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2000, **127**(2), 203–218. ISSN 0257-8972. Dostupné z: doi:10.1016/S0257-8972(00)00566-1.
- [79] CHU, Changliu, Xuefeng HU, Hongqin YAN a Yanyan SUN. Surface functionalization of nanostructured Cu/Ag-deposited polypropylene fiber by magnetron sputtering. *e-Polymers* [online]. 2021, **21**, 140–150. Dostupné z: doi:10.1515/epoly-2021-0020.
- [80] LAN, Mingming, Huiqin LI, Dong WANG, Yan LI a Guangyin XU. Fabrication of glass fibers uniformly coated with metal films by magnetron sputtering by a two step process involving fixation by a photoresist. *Vacuum* [online]. 2014, **110**, 87–93. Dostupné z: doi:10.1016/j.vacuum.2014.09.003.
- [81] AHMADPOURIAN, Azin, Carlos LUNA, Arash BOOCHANI, Ali ARMAN, Amine ACHOUR, Sahare REZAEI a Sirvan NADERI. The effects of deposition time on surface morphology, structural, electrical and optical properties of sputtered Ag-Cu thin films. *The European Physical Journal Plus* [online]. 2016, **131**(10), 381. ISSN 2190-5444. Dostupné z: doi:10.1140/epjp/i2016-16381-2.
- [82] VAEZZADEH ASADI, Mohsen, Ghahraman SOLOOKINEJAD a Heydar IZADNESHAN. Structural, Morphological and Optical Analysis of TiO₂ Thin Films Prepared by RF Magnetron Sputtering. *Journal of Optoelectronic Nanostructures* [online]. 2021, **6**(4), 59–94. ISSN 2423-7361. Dostupné z: doi:10.30495/jopn.2021.28681.1230.
- [83] ZHURAVLEVA, Irina, M. SUROVTSEVA, Andrey VAVER, Evgeny SUPRUN, Irina KIM, Natalia BONDARENKO, Oleg KUZMIN, Alexander MAYOROV a Olga POVESHCHENKO. Effect of the Nanorough Surface of TiO₂ Thin Films on the Compatibility with Endothelial Cells. *International Journal of Molecular Sciences* [online]. 2023, **24**, 6699. Dostupné z: doi:10.3390/ijms24076699.
- [84] HUANG, Xuemei, Qiao HU, Jia LI, Wenqing YAO, Chun WANG, Yun FENG a Weijie SONG. Sputtering-Deposited Ultra-Thin Ag–Cu Films on Non-Woven

Fabrics for Face Masks with Antimicrobial Function and Breath NO_x Response. *Materials* [online]. 2024, **17**, 1574. Dostupné z: doi:10.3390/ma17071574.

- [85] KHALAF, Mohammed, Kamal OUDAH, Amal HALOB, Sabri JASEM a Mohammed DATHAN. In Antibacterial Study of Silver, Copper, Gold, and Titanium Dioxide Nanoparticles Prepared by DC and RF Magnetron Sputtering. 2017, **4**.
- [86] ZARIOUH, Osama. *Deposition of phase-pure Cu₂O by magnetron sputtering* [online]. 2020 [vid. 2024-05-16]. Master thesis. Dostupné z: <https://www.duo.uio.no/handle/10852/79647>.

Seznam příloh

Příloha 1 Statistická analýza	93
Příloha 2 Tloušťky tenkých vrstev	100
Příloha 3 Hustota vybraných prvků a sloučenin.....	100
Příloha 4 Tloušťka vláken vzorků na substrátu GF	101
Příloha 5 Porozita vzorků na substrátu NYLON a pórovitost obrazu	101
Příloha 6 Chemická analýza substrátů	102
Příloha 7 Chemická analýza vzorků tenkých vrstev kovů a slitin.....	102
Příloha 8 Chemická analýza kyslíkových vrstev na Si waferu	103
Příloha 9 Hodnoty výškových parametrů drsnosti tenkých vrstev a substrátu GF	103
Příloha 10 Hodnoty výškových parametrů drsnosti tenkých vrstev a substrátu NYLON	103
Příloha 11 Hloubka a šířka stopy po tribologických testech.....	104
Příloha 12 Ohybový moment vzorků a substrátu GF.....	105
Příloha 13 Ohybový moment vzorků a substrátu NYLON.....	105
Příloha 14 Kontaktní úhel smáčení a povrchová energie vzorků a substrátu NYLON	106
Příloha 15 Propustnost filtrů při filtraci vybraných roztoků	106
Příloha 16 Počty kolonií tvořících jednotek na 20 ml na filtrech	107
Příloha 17 Počty kolonií tvořících jednotek na 20 ml ve filtrátu	108
Příloha 18 Výsledky hodnocení Kirby-Bauer testu při využití bakteriálního inokula <i>E. coli</i> u vzorků na substrátu GF	108
Příloha 19 Výsledky hodnocení Kirby-Bauer testu při využití bakteriálního inokula <i>E. coli</i> u vzorků na substrátu NYLON	109
Příloha 20 Výsledky hodnocení Kirby-Bauer testu při využití bakteriálního inokula <i>M. luteus</i> u vzorků na substrátu GF	110
Příloha 21 Výsledky hodnocení Kirby-Bauer testu při využití bakteriálního inokula <i>M. luteus</i> u vzorků na substrátu NYLON	110

Příloha 1 Statistická analýza

Průměr vláken (nm)			Průměr pórů (nm)		
Vzorky – GF	T - test	Hypotéza	Vzorky – NYLON	T - test	Hypotéza
C2.1	0,0500	H1	C2.1	0,2693	H0
C2.2	0,0134	H1	C2.2	0,5633	H0
C3.1	0,0687	H0	C3.1	0,6409	H0
C3.2	0,0077	H1	C3.2	0,1087	H0
C4.1	0,1044	H0	C4.1	0,8356	H0
C4.2	0,0063	H1	C4.2	0,0143	H1
C5.1	0,0022	H1	C5.1	0,0002	H1
C5.2	0,1600	H0	C5.2	0,0147	H1
K2.1	Vyřazený vzorek		K2.1	0,0021	H1
K2.2	0,0024	H1	K2.2	0,0021	H1
K3.1	Vyřazený vzorek		K3.1	0,0001	H1
K3.2	Vyřazený vzorek		K3.2	Vyřazený vzorek	
K4.1	0,0005	H1	K4.1	0,0093	H1
K4.2	0,0409	H1	K4.2	0,0000	H1
K5.1	0,0002	H1	K5.1	0,0000	H1
K5.2	0,0001	H1	K5.2	0,0001	H1
Vzorky stejného typu vrstvy	T - test	Hypotéza	Vzorky stejného typu vrstvy	T - test	Hypotéza
C2.1 - C2.2	0,6920	H0	C2.1 - C2.2	0,0988	H0
C3.1 - C3.2	0,2947	H0	C3.1 - C3.2	0,0371	H1
C4.1 - C4.2	0,0682	H0	C4.1 - C4.2	0,0319	H1
C5.1 - C5.2	0,0006	H1	C5.1 - C5.2	0,3045	H0
K4.1 - K4.2	0,0107	H1	K2.1 - K2.2	0,9079	H0
K5.1 - K5.2	0,6742	H0	K4.1 - K4.2	0,0306	H1
			K5.1 - K5.2	0,1961	H0

Parametr <i>S_a</i>					
Vzorky – GF	T - test	Hypotéza	Vzorky – NYLON	T - test	Hypotéza
C2.1	0,0992	H0	C2.1	0,416402	H0
C2.2	0,3138	H0	C2.2	0,072424	H0
C3.1	0,9398	H0	C3.1	0,929164	H0
C3.2	0,9316	H0	C3.2	0,014417	H1
C4.1	0,8658	H0	C4.1	0,260782	H0
C4.2	0,3542	H0	C4.2	0,325466	H0
C5.1	0,3554	H0	C5.1	0,395667	H0
C5.2	0,1150	H0	C5.2	0,048368	H1
K2.1	Vyřazený vzorek		K2.1	0,03249	H1

Parametr Sa – pokračování

K2.2	0,2772	H0	K2.2	0,300203	H0
K3.1	Vyřazený vzorek		K3.1	0,830095	H0
K3.2	Vyřazený vzorek		K3.2	Vyřazený vzorek	
K4.1	0,0071	H1	K4.1	0,1064	H0
K4.2	0,0004	H1	K4.2	0,0653	H0
K5.1	0,0004	H1	K5.1	0,0498	H1
K5.2	0,0004	H1	K5.2	0,2836	H0
Vzorky stejného typu vrstvy	T - test	Hypotéza	Vzorky stejného typu vrstvy	T - test	Hypotéza
C2.1 - C2.2	0,6013	H0	C2.1 - C2.2	0,0408	H1
C3.1 - C3.2	0,8956	H0	C3.1 - C3.2	0,0066	H1
C4.1 - C4.2	0,2381	H0	C4.1 - C4.2	0,5710	H0
C5.1 - C5.2	0,3682	H0	C5.1 - C5.2	0,0408	H1
K4.1 - K4.2	0,6818	H0	K2.1 - K2.2	0,0462	H1
K5.1 - K5.2	0,0076	H1	K4.1 - K4.2	0,5182	H0
			K5.1 - K5.2	0,8921	H0

Parametr Sku

Vzorky – GF	T - test	Hypotéza	Vzorky – NYLON	T - test	Hypotéza
C2.1	0,5523	H0	C2.1	0,6411	H0
C2.2	0,2339	H0	C2.2	0,0176	H1
C3.1	0,5189	H0	C3.1	0,8924	H0
C3.2	0,5862	H0	C3.2	0,8758	H0
C4.1	0,0332	H1	C4.1	0,0435	H1
C4.2	0,2921	H0	C4.2	0,9970	H0
C5.1	0,2900	H0	C5.1	0,1819	H0
C5.2	0,7097	H0	C5.2	0,4885	H0
K2.1	Vyřazený vzorek		K2.1	0,0799	H0
K2.2	0,9208	H0	K2.2	0,0606	H0
K3.1	Vyřazený vzorek		K3.1	0,5231	H0
K3.2	Vyřazený vzorek		K3.2	Vyřazený vzorek	
K4.1	0,5555	H0	K4.1	0,0114	H1
K4.2	0,7904	H0	K4.2	0,0857	H0
K5.1	0,5749	H0	K5.1	0,0334	H1
K5.2	0,9148	H0	K5.2	0,3595	H0
Vzorky stejného typu vrstvy	T - test	Hypotéza	Vzorky stejného typu vrstvy	T - test	Hypotéza
C2.1 - C2.2	0,2284	H0	C2.1 - C2.2	0,8372	H0
C3.1 - C3.2	0,7501	H0	C3.1 - C3.2	0,9886	H0

Parametr *Sku* – pokračování

C4.1 - C4.2	0,3166	H0	C4.1 - C4.2	0,2361	H0
C5.1 - C5.2	0,3248	H0	C5.1 - C5.2	0,5936	H0
K4.1 - K4.2	0,6402	H0	K2.1 - K2.2	0,7834	H0
K5.1 - K5.2	0,5023	H0	K4.1 - K4.2	0,8590	H0
			K5.1 - K5.2	0,0855	H0

Parametr *Sz*

Vzorky – GF	T - test	Hypotéza	Vzorky – NYLON	T - test	Hypotéza
C2.1	0,2477	H0	C2.1	0,4276	H0
C2.2	0,6760	H0	C2.2	0,5374	H0
C3.1	0,2923	H0	C3.1	0,8324	H0
C3.2	0,8034	H0	C3.2	0,3606	H0
C4.1	0,0438	H1	C4.1	0,5669	H0
C4.2	0,7172	H0	C4.2	0,6623	H0
C5.1	0,5246	H0	C5.1	0,3093	H0
C5.2	0,4341	H0	C5.2	0,5396	H0
K2.1	Vyřazený vzorek		K2.1	0,0072	H1
K2.2	0,1022	H0	K2.2	0,1022	H0
K3.1	Vyřazený vzorek		K3.1	0,3973	H0
K3.2	Vyřazený vzorek		K3.2	Vyřazený vzorek	
K4.1	0,3417	H0	K4.1	0,3417	H0
K4.2	0,2495	H0	K4.2	0,2495	H0
K5.1	0,1020	H0	K5.1	0,1020	H0
K5.2	0,3194	H0	K5.2	0,3194	H0
Vzorky stejného typu vrstvy	T - test	Hypotéza	Vzorky stejného typu vrstvy	T - test	Hypotéza
C2.1 - C2.2	0,4022	H0	C2.1 - C2.2	0,3105	H0
C3.1 - C3.2	0,0230	H1	C3.1 - C3.2	0,0240	H1
C4.1 - C4.2	0,1033	H0	C4.1 - C4.2	0,4233	H0
C5.1 - C5.2	0,0886	H0	C5.1 - C5.2	0,0055	H1
K4.1 - K4.2	0,2597	H0	K2.1 - K2.2	0,5821	H0
K5.1 - K5.2	0,8316	H0	K4.1 - K4.2	0,8083	H0
			K5.1 - K5.2	0,0184	H1

Vzorky – NYLON	Statický koeficient tření		Dynamický koeficient tření	
	T - test	Hypotéza	T - test	Hypotéza
C2.1	-11,0	H1	-9,2	H1
C2.2	-5,7	H1	-14,1	H1
C3.1	-6,5	H1	-7,2	H1
C3.2	0,7	H0	-12,7	H1
C4.1	0,4	H0	-8,6	H1

Statický koeficient tření a dynamický koeficient tření – pokračování

C4.2	1,2	H0	-5,1	H1
C5.1	1,8	H0	-16,1	H1
C5.2	1,0	H0	-10,6	H1
K2.1	-8,3	H1	-16,8	H1
K2.2	-6,2	H1	-18,9	H1
K3.1	-6,8	H1	-14,7	H1
K3.2	Vyřazený vzorek			
K4.1	-4,6	H1	-9,2	H1
K4.2	-4,9	H1	-10,6	H1

Hloubka stopy po tribologii			Šířka stopy po tribologii		
Vzorky – NYLON	T - test	Hypotéza	Vzorky – NYLON	T - test	Hypotéza
C2.1	0,0573	H0	C2.1	0,6925	H0
C2.2	0,0067	H1	C2.2	0,0031	H1
C3.1	0,2421	H0	C3.1	0,0368	H1
C3.2	0,0318	H1	C3.2	0,0704	H0
C4.1	0,0866	H0	C4.1	0,0298	H1
C4.2	0,0408	H1	C4.2	0,8351	H0
C5.1	0,2311	H0	C5.1	0,8864	H0
C5.2	0,1780	H0	C5.2	0,2481	H0
K2.1	0,0002	H1	K2.1	0,0000	H1
K2.2	0,0001	H1	K2.2	0,0000	H1
K3.1	0,0095	H1	K3.1	0,0000	H1
K3.2	Vyřazený vzorek		K3.2	Vyřazený vzorek	
K4.1	0,0002	H1	K4.1	0,0000	H1
K4.2	0,0033	H1	K4.2	0,0000	H1
K5.1	0,0004	H1	K5.1	0,0000	H1
K5.2	0,3399	H0	K5.2	0,0000	H1
Vzorky stejného typu vrstvy	T - test	Hypotéza	Vzorky stejného typu vrstvy	T - test	Hypotéza
C2.1 - C2.2	0,0023	H1	C2.1 - C2.2	0,0014	H1
C3.1 - C3.2	0,0194	H1	C3.1 - C3.2	0,8694	H0
C4.1 - C4.2	0,5207	H0	C4.1 - C4.2	0,0117	H1
C5.1 - C5.2	0,9268	H0	C5.1 - C5.2	0,0970	H0
K2.1 - K2.2	0,5865	H0	K2.1 - K2.2	0,2207	H0
K4.1 - K4.2	0,7124	H0	K4.1 - K4.2	0,7121	H0
K5.1 - K5.2	0,2007	H0	K5.1 - K5.2	0,0047	H1

Ohybový moment vzorky GF					
VRSTVA OD SEBE	T - test	Hypotéza	VRSTVA OD ZAŘÍZENÍ	T - test	Hypotéza
C2.1	0,3785	H0	C2.1	0,3170	H0
C2.2	0,4790	H0	C2.2	0,8588	H0
C3.1	0,4992	H0	C3.1	0,8229	H0
C3.2	0,9795	H0	C3.2	0,3695	H0
C4.1	0,7203	H0	C4.1	0,9744	H0
C4.2	0,6949	H0	C4.2	0,4605	H0
C5.1	0,7921	H0	C5.1	0,6775	H0
C5.2	0,4260	H0	C5.2	0,8167	H0
K2.1	Vyřazený vzorek		K2.1	Vyřazený vzorek	
K2.2	0,8434	H0	K2.2	0,8222	H0
K3.1	Vyřazený vzorek		K3.1	Vyřazený vzorek	
K3.2	Vyřazený vzorek		K3.2	Vyřazený vzorek	
K4.1	0,5103	H0	K4.1	0,9813	H0
K4.2	0,1954	H0	K4.2	0,2205	H0
K5.1	0,9220	H0	K5.1	0,7521	H0
K5.2	0,5129	H0	K5.2	0,9664	H0
Vzorky stejného typu vrstvy	T - test	Hypotéza	Vzorky stejného typu vrstvy	T - test	Hypotéza
C2.1 - C2.2	0,4023	H0	C2.1 - C2.2	0,0873	H0
C3.1 - C3.2	0,2553	H0	C3.1 - C3.2	0,0943	H0
C4.1 - C4.2	0,9292	H0	C4.1 - C4.2	0,2527	H0
C5.1 - C5.2	0,1531	H0	C5.1 - C5.2	0,7302	H0
K4.1 - K4.2	0,6048	H0	K4.1 - K4.2	0,8066	H0
K5.1 - K5.2	0,1712	H0	K5.1 - K5.2	0,7049	H0

Ohybový moment vzorky NYLON					
VRSTVA OD SEBE	T - test	Hypotéza	VRSTVA OD ZAŘÍZENÍ	T - test	Hypotéza
C2.1	0,0587	H0	C2.1	0,0484	H1
C2.2	0,2741	H0	C2.2	0,2362	H0
C3.1	0,3438	H0	C3.1	0,3455	H0
C3.2	0,9405	H0	C3.2	0,5979	H0
C4.1	0,1390	H0	C4.1	0,3477	H0
C4.2	0,1092	H0	C4.2	0,1265	H0
C5.1	0,6280	H0	C5.1	0,3288	H0
C5.2	0,1030	H0	C5.2	0,1276	H0
K2.1	0,7162	H0	K2.1	0,66022	H0
K2.2	0,4616	H0	K2.2	0,2237	H0
K3.1	0,8258	H0	K3.1	0,61167	H0
K3.2	Vyřazený vzorek		K3.2	Vyřazený vzorek	

Ohybový moment vzorky NYLON - pokračování

K4.1	0,8534	H0	K4.1	0,7221	H0
K4.2	0,6517	H0	K4.2	0,7038	H0
K5.1	0,6786	H0	K5.1	0,6272	H0
K5.2	0,5136	H0	K5.2	0,7565	H0
Vzorky stejného typu vrstvy	T - test	Hypotéza	Vzorky stejného typu vrstvy	T - test	Hypotéza
C2.1 - C2.2	0,1593	H0	C2.1 - C2.2	0,3008	H0
C3.1 - C3.2	0,2537	H0	C3.1 - C3.2	0,1475	H0
C4.1 - C4.2	0,5507	H0	C4.1 - C4.2	0,2421	H0
C5.1 - C5.2	0,1089	H0	C5.1 - C5.2	0,3338	H0
K2.1 - K2.2	0,0766	H0	K2.1 - K2.2	0,0963	H0
K4.1 - K4.2	0,4859	H0	K4.1 - K4.2	0,9571	H0
K5.1 - K5.2	0,5220	H0	K5.1 - K5.2	0,2753	H0

Kontaktní úhel smáčení

NYLON	T - test	Hypotéza	Vzorky stejného typu vrstvy	T - test	Hypotéza
C2.1	0,0000	H1	C2.1 - C2.2	0,0001	H1
C2.2	0,0000	H1	C3.1 - C3.2	0,1276	H0
C3.1	0,0000	H1	C4.1 - C4.2	0,0062	H1
C3.2	0,0000	H1	C5.1 - C5.2	0,0000	H1
C4.1	0,0000	H1	K2.1-2.2	0,3766	H0
C4.2	0,0000	H1	K4.1 - K4.2	0,0020	H1
C5.1	0,0084	H1	K5.1 - K5.2	0,0355	H1
C5.2	0,0000	H1			
K2.1	0,0000	H1			
K2.2	0,0000	H1			
K3.1	0,0000	H1			
K3.2	Vyřazený vzorek				
K4.1	0,0000	H1			
K4.2	0,0000	H1			
K5.1	0,0000	H1			
K5.2	0,0005	H1			

Počet KTJ Filtr *E. coli*

GF	T - test	Hypotéza	NYLON	T - test	Hypotéza
C2.1	-10,2	H1	C2.1	-6,6	H1
C2.2	-10,2	H1	C2.2	-7,4	H1
C3.1	0,7	H0	C3.1	-6,6	H1
C3.2	1,7	H0	C3.2	-4,8	H1
C4.1	0,7	H0	C4.1	1,5	H0

Počet KTJ Filtr *E. coli* – pokračování

C4.2	0,7	H0	C4.2	1,5	H0
C5.1	0,7	H0	C5.1	1,5	H0
C5.2	0,7	H0	C5.2	1,7	H0
K2.1	Vyřazený vzorek		K2.1	-7,3	H1
K2.2	-10,2	H1	K2.2	-7,5	H1
K3.1	Vyřazený vzorek		K3.1	-5,8	H1
K3.2	Vyřazený vzorek		K3.2	Vyřazený vzorek	
K4.1	0,7	H0	K4.1	1,5	H0
K4.2	0,7	H0	K4.2	1,5	H0
K5.1	0,7	H0	K5.1	1,6	H0
K5.2	0,7	H0	K5.2	1,5	H0

Počet KTJ Filtr *M. luteus*

GF	T - test	Hypotéza	NYLON	T - test	Hypotéza
C2.1	-10,6	H1	C2.1	-9,8	H1
C2.2	-10,6	H1	C2.2	-9,8	H1
C3.1	-1,7	H1	C3.1	1,6	H0
C3.2	0,6	H0	C3.2	0,2	H0
C4.1	0,5	H0	C4.1	1,2	H0
C4.2	1,2	H0	C4.2	1,7	H0
C5.1	0,1	H0	C5.1	0,6	H0
C5.2	0,5	H0	C5.2	-0,3	H1
K2.1	Vyřazený vzorek		K2.1	-9,8	H1
K2.2	-10,6	H1	K2.2	-9,8	H1
K3.1	Vyřazený vzorek		K3.1	1,7	H0
K3.2	Vyřazený vzorek		K3.2	Vyřazený vzorek	
K4.1	0,2	H0	K4.1	-2,1	H1
K4.2	0,1	H0	K4.2	1,1	H0
K5.1	0,3	H0	K5.1	1,5	H0
K5.2	1,7	H0	K5.2	0,5	H0

Počet KTJ Filtrát *E. coli*

GF	T - test	Hypotéza	NYLON	T - test	Hypotéza
C2.1	-7,8	H1	C2.1	0,8	H0
C2.2	-13,0	H1	C2.2	0,6	H0
C3.1	-7,9	H1	C3.1	0,9	H0
C3.2	-10,8	H1	C3.2	1,0	H0
C4.1	-3,7	H1	C4.1	0,8	H0
C4.2	-6,5	H1	C4.2	0,7	H0
C5.1	-1,8	H1	C5.1	0,7	H0
C5.2	-5,9	H1	C5.2	0,7	H0
K2.1	Vyřazený vzorek		K2.1	-31,4	H1

Počet KTJ Filtrát *E. coli* – pokračování

K2.2	-1,3	H1	K2.2	0,8	H0
K3.1	Vyřazený vzorek		K3.1	0,9	H0
K3.2	Vyřazený vzorek		K3.2	Vyřazený vzorek	
K4.1	-1,5	H1	K4.1	0,7	H0
K4.2	-1,9	H1	K4.2	0,7	H0
K5.1	-8,3	H1	K5.1	0,7	H0
K5.2	0,6	H0	K5.2	0,6	H0

Počet KTJ Filtrát *M. luteus*

GF	T - test	Hypotéza	NYLON	T - test	Hypotéza
C2.1	-20,9	H1	C2.1	-5,5	H1
C2.2	-20,9	H1	C2.2	-5,5	H1
C3.1	-20,1	H1	C3.1	1,8	H0
C3.2	-20,9	H1	C3.2	-5,5	H1
C4.1	-20,1	H1	C4.1	-5,5	H1
C4.2	-21,6	H1	C4.2	-5,5	H1
C5.1	-18,7	H1	C5.1	-5,5	H1
C5.2	-19,4	H1	C5.2	1,8	H0
K2.1	Vyřazený vzorek		K2.1	-5,5	H1
K2.2	-21,6	H1	K2.2	1,8	H0
K3.1	Vyřazený vzorek		K3.1	-5,5	H1
K3.2	Vyřazený vzorek		K3.2	Vyřazený vzorek	
K4.1	-20,1	H1	K4.1	-5,5	H1
K4.2	-21,6	H1	K4.2	-5,5	H1
K5.1	-12,1	H1	K5.1	1,8	H0
K5.2	-19,4	H1	K5.2	-5,5	H1

Příloha 2 Tloušťky tenkých vrstev

	C2.1	C2.2	C3.1	C3.2	C4.1	C4.2	C5.1	C5.2
Tloušťka (nm)	40	13	20	8	4	2	4	3
	K2.1	K2.2	K3.1	K3.2	K4.1	K4.2	K5.1	K5.2
Tloušťka (nm)	37	17	22	Vyřazený vzorek	9	1	11	2

Příloha 3 Hustota vybraných prvků a sloučenin

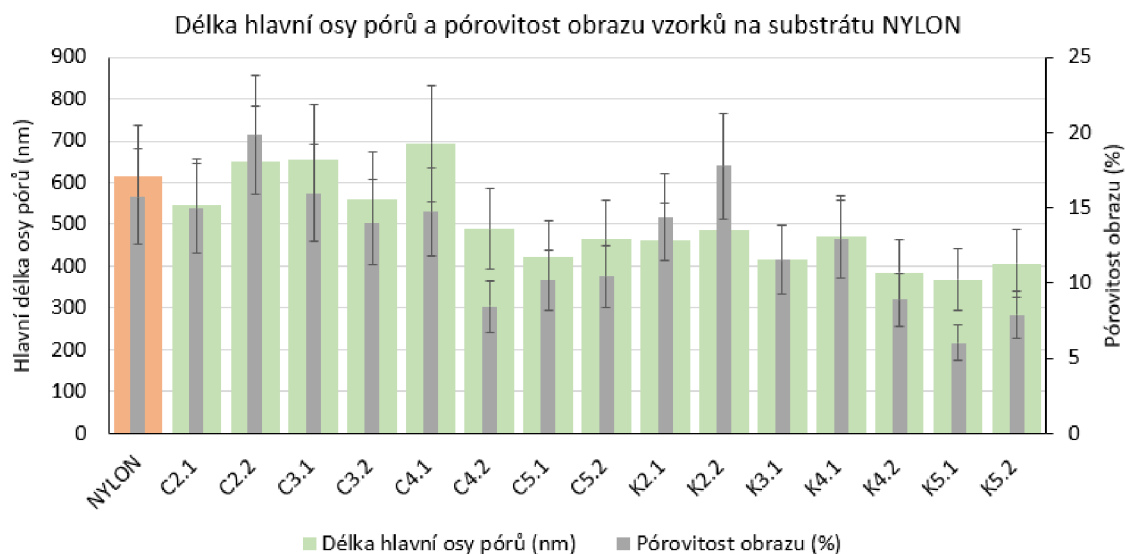
Prvek	Ti	Zr	Cu	Ag	TiO ₂	CuO	ZrO ₂	Ag ₂ O
Hustota (kg/m³)	4 540	6 500	8 920	10 510	4 230	6 310	5 730	7 140

Příloha 4 Tloušťka vláken vzorků na substrátu GF

	Tloušťka vláken (nm)			Tloušťka vláken (nm)	
	min	max		min	max
GF	31	2114			
C2.1	31	1597	K2.1	Vyřazený vzorek	
C2.2	31	1813	K2.2	31	1160
C3.1	31	1926	K3.1	Vyřazený vzorek	
C3.2	31	1371	K3.2	Vyřazený vzorek	
C4.1	31	1831	K4.1	31	1990
C4.2	31	1717	K4.2	31	2537
C5.1	31	1382	K5.1	31	1868
C5.2	31	1827	K5.2	31	1978

Příloha 5 Porozita vzorků na substrátu NYLON a pórovitost obrazu

	Porozita (nm)		Pórovitost obrazu (%)		Porozita (nm)		Pórovitost obrazu (%)
	min	max			min	max	
NYLON	147	1612	16				
C2.1	132	1485	15	K2.1	127	1630	14
C2.2	130	1681	20	K2.2	127	1131	18
C3.1	130	1231	16	K3.1	125	1118	12
C3.2	125	1321	14	K3.2	Vyřazený vzorek		
C4.1	134	1503	15	K4.1	127	702	13
C4.2	127	1151	8	K4.2	126	1585	9
C5.1	127	872	10	K5.1	125	840	6
C5.2	125	1645	10	K5.2	125	667	8



Příloha 6 Chemická analýza substrátů

	Prvek v at%										
	C	N	O	Na	Al	Si	K	Ca	Zn	Ba	Celkem
GF	-	-	60,3	6,1	2,8	25,7	1,7	0,9	1,3	1,1	100
NYLON	77,8	12,7	9,5	-	-	-	-	-	-	-	100

Příloha 7 Chemická analýza vzorků tenkých vrstev kovů a slitin

Substrát GF								
Prvek v at%	C2.1	C2.2	C3.1	C3.2	C4.1	C4.2	C5.1	C5.2
O	56,9	60,6	56,7	60,4	58,9	59,7	60,1	61,2
Na	5,3	5,8	5,6	6,1	5,8	6,2	5,9	6,0
Al	2,6	2,8	2,7	2,7	3,0	2,9	2,8	2,8
Si	23,4	23,3	24,6	24,0	26,1	25,8	25,5	24,9
K	1,6	1,6	1,8	1,6	1,8	1,8	1,9	1,7
Ca	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	1,0	0,9	0,9
Ti	-	-	-	-	0,8	0,1	-	-
Cu	2,5	1,3	5,1	1,9	-	-	-	-
Zn	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,5	1,3	1,4
Zr	-	-	-	-	-	-	0,4	0,2
Ag	4	1	-	-	-	-	-	-
Ba	1,2	1,0	1,3	1,1	1,2	1,1	1,2	1,0
Celkem	100	100	100	100	100	100	100	100
Substrát NYLON								
Prvek v at%	C2.1	C2.2	C3.1	C3.2	C4.1	C4.2	C5.1	C5.2
C	79,4	82,0	74,9	76,1	77,2	75,9	76,1	76,2
N	4,1	5,0	10,6	11,5	11,3	13,5	11,6	12,5
O	9,4	10,5	10,7	11,1	11,1	10,4	11,9	11,3
Ti	-	-	-	-	0,4	0,2	-	-
Cu	2,9	1,1	3,9	1,4	-	-	-	-
Zr	-	-	-	-	-	-	0,3	0,1
Ag	4,1	1,5	-	-	-	-	-	-
Celkem	100	100	100	100	100	100	100	100

Příloha 8 Chemická analýza kyslíkových vrstev na Si waferu

Prvek v at%	K2.1	K2.2	K3.1	K3.2	K4.1	K4.2	K5.1	K5.2
O	23,3	8,4	5,2	Vyřazený vzorek	N/A	N/A	10,1	2,3
Si	-	-	74,1				85,2	97,5
Ti	-	-	-				-	-
Cu	25,6	32,9	20,7				-	-
Zr	-	-	-				4,7	0,2
Ag	51,1	58,7	-				-	-
Celkem	100	100	100				100	100

Příloha 9 Hodnoty výškových parametrů drsnosti tenkých vrstev a substrátu GF

	<i>Sa</i> (μm)	<i>Sku</i> (-)	<i>Sz</i> (μm)
GF	10,78 ± 1,36	3,60 ± 1,01	128,72 ± 32,54
C2.1	7,98 ± 0,16	3,13 ± 0,18	91,63 ± 3,05
C2.2	8,83 ± 1,96	6,62 ± 2,88	159,45 ± 90,93
C3.1	10,94 ± 2,58	4,51 ± 1,53	158,76 ± 13,03
C3.2	10,62 ± 1,95	4,11 ± 0,69	122,50 ± 5,85
C4.1	10,96 ± 0,57	11,36 ± 3,29	231,38 ± 37,88
C4.2	9,08 ± 1,83	7,16 ± 4,03	143,97 ± 44,94
C5.1	9,45 ± 1,16	5,06 ± 1,37	146,74 ± 16,78
C5.2	8,33 ± 1,05	3,91 ± 0,48	105,21 ± 20,15
K2.1	Vyřazený vzorek		
K2.2	9,26 ± 1,89	3,68 ± 0,03	120,79 ± 44,75
K3.1	Vyřazený vzorek		
K3.2	Vyřazený vzorek		
K4.1	9,45 ± 0,59	4,91 ± 2,71	129,93 ± 33,68
K4.2	8,79 ± 2,04	3,88 ± 0,99	95,51 ± 15,53
K5.1	8,23 ± 0,63	3,15 ± 0,24	94,25 ± 5,54
K5.2	5,73 ± 0,34	3,71 ± 1,05	90,62 ± 21,92

Příloha 10 Hodnoty výškových parametrů drsnosti tenkých vrstev a substrátu NYLON

	<i>Sa</i> (μm)	<i>Sku</i> (-)	<i>Sz</i> (μm)
NYLON	1,11 ± 0,09	3,00 ± 0,19	11,14 ± 3,87
C2.1	1,20 ± 0,11	3,40 ± 1,01	16,43 ± 7,57
C2.2	0,86 ± 0,12	3,58 ± 0,09	9,24 ± 0,91
C3.1	1,12 ± 0,07	2,97 ± 0,28	10,50 ± 0,98
C3.2	0,85 ± 0,02	2,96 ± 0,26	7,92 ± 0,31
C4.1	1,24 ± 0,11	2,50 ± 0,15	9,27 ± 0,59

**Příloha 10 Hodnoty výškových parametrů drsnosti tenkých vrstev a substrátu
NYLON – pokračování**

C4.2	1,19 ± 0,05	3,01 ± 0,49	9,83 ± 0,66
C5.1	1,22 ± 0,13	3,58 ± 0,47	14,50 ± 1,34
C5.2	0,93 ± 0,03	3,29 ± 0,51	9,13 ± 0,39
K2.1	1,46 ± 0,13	4,72 ± 1,02	27,41 ± 2,41
K2.2	1,19 ± 0,04	4,45 ± 0,77	24,00 ± 7,70
K3.1	1,13 ± 0,06	3,25 ± 0,47	14,07 ± 2,07
K3.2	Vyřazený vzorek		
K4.1	1,29 ± 0,09	3,63 ± 0,06	14,47 ± 2,06
K4.2	1,37 ± 0,11	3,68 ± 0,38	14,87 ± 0,66
K5.1	1,31 ± 0,05	3,93 ± 0,37	17,03 ± 0,78
K5.2	1,29 ± 0,18	3,23 ± 0,24	14,28 ± 0,64

Příloha 11 Hloubka a šířka stopy po tribologických testech

	Hloubka stopy (µm)	Šířka stopy (µm)
NYLON	19,56 ± 2,10	699,66 ± 55,01
C2.1	16,51 ± 2,78	688,16 ± 41,96
C2.2	33,20 ± 7,79	873,31 ± 95,19
C3.1	17,97 ± 2,33	767,05 ± 40,93
C3.2	30,87 ± 9,45	772,57 ± 68,94
C4.1	16,97 ± 2,60	772,80 ± 44,50
C4.2	15,83 ± 3,28	704,72 ± 14,44
C5.1	17,08 ± 4,28	695,98 ± 27,53
C5.2	17,29 ± 3,22	735,08 ± 44,48
K2.1	11,80 ± 2,48	617,67 ± 30,33
K2.2	12,50 ± 1,76	639,96 ± 28,77
K3.1	16,14 ± 1,57	661,85 ± 83,55
K3.2	Vyřazený vzorek	
K4.1	13,29 ± 1,69	627,95 ± 42,85
K4.2	13,83 ± 3,01	619,63 ± 32,23
K5.1	13,47 ± 2,01	600,13 ± 39,70
K5.2	17,00 ± 5,71	688,00 ± 44,36

Příloha 12 Ohybový moment vzorků a substrátu GF

	Ohybový moment při zkoušení vrstvy od přístroje (mN/cm)	Ohybový moment při zkoušení vrstvy k přístroji (mN/cm)
GF	35,6 ± 4,8	35,0 ± 5,8
C2.1	31,6 ± 1,1	30,3 ± 0,4
C2.2	34,9 ± 1,8	31,6 ± 1,9
C3.1	34,7 ± 2,8	31,5 ± 3,0
C3.2	39,1 ± 0,8	34,8 ± 0,4
C4.1	35,7 ± 1,6	32,2 ± 2,2
C4.2	38,9 ± 2,9	32,9 ± 3,7
C5.1	37,7 ± 4,4	31,6 ± 5,7
C5.2	36,5 ± 1,3	30,8 ± 3,1
K2.1	Vyřazený vzorek	
K2.2	34,5 ± 4,0	33,8 ± 4,8
K3.1	Vyřazený vzorek	
K3.2	Vyřazený vzorek	
K4.1	35,7 ± 5,0	31,5 ± 3,6
K4.2	30,2 ± 2,0	28,3 ± 1,5
K5.1	35,4 ± 3,5	31,9 ± 1,6
K5.2	37,5 ± 6,5	34,4 ± 4,9

Příloha 13 Ohybový moment vzorků a substrátu NYLON

	Ohybový moment při zkoušení vrstvy od přístroje (mN/cm)	Ohybový moment při zkoušení vrstvy k přístroji (mN/cm)
NYLON	32,5 ± 5,6	27,8 ± 8,4
C2.1	46,9 ± 4,6	45,1 ± 4,1
C2.2	40,5 ± 6,0	36,8 ± 5,5
C3.1	38,2 ± 5,0	42,4 ± 4,4
C3.2	30,1 ± 0,6	27,3 ± 0,3
C4.1	37,2 ± 2,9	39,6 ± 3,4
C3.2	30,1 ± 0,6	27,3 ± 0,3
C4.2	40,3 ± 1,3	42,7 ± 5,9
C5.1	37,6 ± 3,3	31,6 ± 5,7
C5.2	41,0 ± 2,8	41,4 ± 3,5
K2.1	35,0 ± 5,0	30,4 ± 4,0
K2.2	26,1 ± 2,9	22,9 ± 1,9
K3.1	34,8 ± 2,2	29,3 ± 2,2
K3.2	Vyřazený vzorek	
K4.1	30,0 ± 7,7	26,3 ± 7,5
K4.2	30,3 ± 5,2	31,3 ± 5,5
K5.1	34,1 ± 3,7	32,2 ± 2,2
K5.2	30,3 ± 2,0	30,6 ± 2,5

**Příloha 14 Kontaktní úhel smáčení a povrchová energie vzorků a substrátu
NYLON**

	Kontaktní úhel (°)	Povrchová energie (mJ/m ²)		
		g	Sg-	Sg+
NYLON	23 ± 3	67,45	1,90	2,08
C2.1	96 ± 9	25,27	7,29	4,24
C2.2	81 ± 9	35,00	7,08	5,84
C3.1	92 ± 6	27,83	5,62	4,67
C3.2	88 ± 15	30,28	14,24	8,82
C4.1	98 ± 7	24,06	4,57	10,59
C4.2	90 ± 9	29,39	4,55	6,56
C5.1	48 ± 5	54,95	2,78	1,83
C5.2	98 ± 6	24,06	5,08	2,80
K2.1	88 ± 6	30,78	4,43	2,22
K2.2	89 ± 5	29,71	1,90	1,57
K3.1	78 ± 17	36,97	9,34	5,98
K3.2	Vyřazený vzorek			
K4.1	61 ± 10	47,02	-4,89	6,65
K4.2	46 ± 6	55,93	-3,31	3,35
K5.1	83 ± 11	33,78	-8,53	5,02
K5.2	62 ± 17	46,80	-7,95	4,24

Příloha 15 Propustnost filtrů při filtraci vybraných roztoků

<i>E. coli</i>				<i>M. luteus</i>			
	k (cm/kPa/min)		k (cm/kPa/min)		k (cm/kPa/min)		k (cm/kPa/min)
GF	0,025	NYLON	0,0401	GF	0,0494	NYLON	0,0407
C2.1	0,041	C2.1	0,0210	C2.1	0,1025	C2.1	0,0364
C2.2	0,014	C2.2	0,0364	C2.2	0,0355	C2.2	0,0379
C3.1	0,022	C3.1	0,0277	C3.1	0,0200	C3.1	0,0274
C3.2	0,020	C3.2	0,0227	C3.2	0,0241	C3.2	0,0395
C4.1	0,024	C4.1	0,0355	C4.1	0,0256	C4.1	0,0432
C4.2	0,022	C4.2	0,0364	C4.2	0,0369	C4.2	0,0439
C5.1	0,020	C5.1	0,0346	C5.1	0,0210	C5.1	0,0384
C5.2	0,021	C5.2	0,0322	C5.2	0,0342	C5.2	0,0401
K2.1	Vyřazený vzorek	K2.1	0,0314	K2.1	Vyřazený vzorek	K2.1	0,0346

Příloha 15 Propustnost filtrů při filtraci vybraných roztoků – pokračování

K2.2	Vyřazený vzorek	K2.2	0,0297	K2.2	Vyřazený vzorek	K2.2	0,0333
K3.1	0,028	K3.1	0,0297	K3.1	0,0279	K3.1	0,0369
K3.2	Vyřazený vzorek	K3.2	Vyřazený vzorek	K3.2	Vyřazený vzorek	K3.2	Vyřazený vzorek
K4.1	0,023	K4.1	0,0325	K4.1	0,0288	K4.1	0,0432
K4.2	0,024	K4.2	0,0333	K4.2	0,0243	K4.2	0,0369
K5.1	0,022	K5.1	0,0384	K5.1	0,0314	K5.1	0,0374
K5.2	0,020	K5.2	0,0342	K5.2	0,0553	K5.2	0,0419

Příloha 16 Počty kolonií tvořících jednotek na 20 ml na filtrech

<i>E. coli</i>				<i>M. luteus</i>			
	Počet KTJ (n/20 ml)		Počet KTJ (n/20 ml)		Počet KTJ (n/20 ml)		Počet KTJ (n/20 ml)
GF	455	NYLON	3000	GF	480	NYLON	480
C2.1	0	C2.1	292	C2.1	0	C2.1	0
C2.2	0	C2.2	24	C2.2	0	C2.2	0
C3.1	415	C3.1	271	C3.1	345	C3.1	475
C3.2	452	C3.2	885	C3.2	436	C3.2	417
C4.1	414	C4.1	2934	C4.1	429	C4.1	458
C4.2	413	C4.2	2913	C4.2	457	C4.2	476
C5.1	415	C5.1	2909	C5.1	415	C5.1	432
C5.2	415	C5.2	2971	C5.2	431	C5.2	393
K2.1	Vyřazený vzorek	K2.1	57	K2.1	Vyřazený vzorek	K2.1	0
K2.2	0	K2.2	0	K2.2	Vyřazený vzorek	K2.2	0
K3.1	Vyřazený vzorek	K3.1	544	K3.1	0	K3.1	479
K3.2	Vyřazený vzorek	K3.2	Vyřazený vzorek	K3.2	Vyřazený vzorek	K3.2	Vyřazený vzorek
K4.1	413	K4.1	2913	K4.1	421	K4.1	319
K4.2	413	K4.2	2933	K4.2	414	K4.2	451
K5.1	413	K5.1	2953	K5.1	424	K5.1	470
K5.2	413	K5.2	2913	K5.2	478	K5.2	429

Příloha 17 Počty kolonií tvořících jednotek na 20 ml ve filtrátu

<i>E. coli</i>				<i>M. luteus</i>			
	Počet KTJ (n/20 ml)		Počet KTJ (n/20 ml)		Počet KTJ (n/20 ml)		Počet KTJ (n/20 ml)
GF	2733	NYLON	28	GF	32	NYLON	1
C2.1	1764	C2.1	5	C2.1	1	C2.1	0
C2.2	1246	C2.2	0	C2.2	1	C2.2	2
C3.1	1756	C3.1	6	C3.1	2	C3.1	1
C3.2	1465	C3.2	9	C3.2	1	C3.2	0
C4.1	2177	C4.1	3	C4.1	2	C4.1	0
C4.2	1897	C4.2	1	C4.2	0	C4.2	0
C5.1	2376	C5.1	1	C5.1	4	C5.1	0
C5.2	1956	C5.2	1	C5.2	3	C5.2	1
K2.1	Vyřazený vzorek	K2.1	856	K2.1	Vyřazený vzorek	K2.1	0
K2.2	2425	K2.2	3	K2.2	Vyřazený vzorek	K2.2	1
K3.1	Vyřazený vzorek	K3.1	7	K3.1	0	K3.1	0
K3.2	Vyřazený vzorek	K3.2	Vyřazený vzorek	K3.2	Vyřazený vzorek	K3.2	Vyřazený vzorek
K4.1	2400	K4.1	1	K4.1	2	K4.1	0
K4.2	2365	K4.2	1	K4.2	0	K4.2	0
K5.1	1719	K5.1	1	K5.1	13	K5.1	1
K5.2	2617	K5.2	0	K5.2	3	K5.2	0

Příloha 18 Výsledky hodnocení Kirby-Bauer testu při využití bakteriálního inokula *E. coli* u vzorků na substrátu GF

	Velikost halozóny (mm)	Halozóna vůči GEN (%)	Halozóna vůči CEF (%)	Nárůst pod vzorkem
GEN	5,48 ± 0,99	100		
CEF	6,67 ± 0,23		100	
GF	0	0	0	+
C2.1	0,51 ± 0,08	9,3	7,6	-
C2.2	0,45 ± 0,07	8,1	6,7	-
C3.1	0	0	0	N
C3.2	0	0	0	N
C4.1	0	0	0	+
C4.2	0	0	0	+
C5.1	0	0	0	+
C5.2	0	0	0	N
K2.1	Vyřazený vzorek			

Příloha 18 Výsledky hodnocení Kirby-Bauer testu při využití bakteriálního inokula *E. coli* u vzorků na substrátu GF – pokračování

K2.2	0,14 ± 0,04	2,6	2,1	-
K3.1	Vyřazený vzorek			
K3.2	Vyřazený vzorek			
K4.1	0	0	0	-
K4.2	0	0	0	N
K5.1	0	0	0	+
K5.2	0	0	0	+

Příloha 19 Výsledky hodnocení Kirby-Bauer testu při využití bakteriálního inokula *E. coli* u vzorků na substrátu NYLON

	Velikost halozóny (mm)	Halozóna vůči GEN (%)	Halozóna vůči CEF (%)	Nárůst pod vzorkem
GEN	5,48 ± 0,99	100		
CEF	6,67 ± 0,23		100	
NYLON	0	0	0	+
C2.1	0	0	0	-
C2.2	0	0	0	-
C3.1	0	0	0	+
C3.2	0	0	0	N
C4.1	0	0	0	-
C4.2	0	0	0	-
C5.1	0	0	0	-
C5.2	0	0	0	-
K2.1	0	0	0	-
K2.2	0	0	0	-
K3.1	0	0	0	-
K3.2	Vyřazený vzorek			
K4.1	0	0	0	-
K4.2	0	0	0	-
K5.1	0	0	0	+
K5.2	0	0	0	N

Příloha 20 Výsledky hodnocení Kirby-Bauer testu při využití bakteriálního inokula *M. luteus* u vzorků na substrátu GF

	Velikost halozóny (mm)	Halozóna vůči GEN (%)	Halozóna vůči CEF (%)	Nárůst pod vzorkem
GEN	12,52 ± 1,06	100		
CEF	14,10 ± 1,00		100	
GF	0	0	0	-
C2.1	0,84 ± 0,08	6,7	5,9	-
C2.2	1,58 ± 0,27	12,6	11,2	-
C3.1	0	0	0	-
C3.2	0	0	0	-
C4.1	0	0	0	-
C4.2	0	0	0	-
C5.1	0	0	0	-
C5.2	0	0	0	-
K2.1	Vyřazený vzorek			
K2.2	0,88 ± 0,10	7,1	6,3	
K3.1	Vyřazený vzorek			
K3.2	Vyřazený vzorek			
K4.1	0	0	0	-
K4.2	0	0	0	-
K5.1	0	0	0	-
K5.2	0	0	0	-

Příloha 21 Výsledky hodnocení Kirby-Bauer testu při využití bakteriálního inokula *M. luteus* u vzorků na substrátu NYLON

	Velikost halozóny (mm)	Halozóna vůči GEN (%)	Halozóna vůči CEF (%)	Nárůst pod vzorkem
GEN	12,52 ± 1,06	100		
CEF	14,10 ± 1,00		100	
NYLON	0	0	0	+
C2.1	0	0	0	-
C2.2	0	0	0	-
C3.1	0	0	0	-
C3.2	0	0	0	-
C4.1	0	0	0	-
C4.2	0	0	0	-
C5.1	0	0	0	-
C5.2	0	0	0	-
K2.1	0,36 ± 0,08	2,9	2,6	-
K2.2	0,59 ± 0,13	4,7	4,2	-

Příloha 21 Výsledky hodnocení Kirby-Bauer testu při využití bakteriálního inokula *M. luteus* u vzorků na substrátu NYLON – pokračování

K3.1	0	0	0	+
K3.2	Vyřazený vzorek			
K4.1	0	0	0	-
K4.2	0	0	0	-
K5.1	0	0	0	-
K5.2	0	0	0	-