

**Stredná priemyselná škola technická Trnava  
Komenského 1, 917 31 Trnava**

**Rádio frekvenčná vákuová naprašovacia komora**

Trnava  
2024

Riešiteľ: Andrej Kužela  
Ročník štúdia : štvrtý

**Stredná priemyselná škola technická Trnava  
Komenského 1, 917 31 Trnava**

**Rádio frekvenčná vákuová naprašovacia komora**

Trnava  
2024

Riešiteľ: Andrej Kužela  
Ročník štúdia : štvrtý  
Školiteľ: Mgr. Zuzana Oravcová

## Čestné vyhlásenie

Vyhlasujem, že prácu stredoškolskej odbornej činnosti na „Rádio frekvenčná vákuová naprašovacia komora“ som vypracoval samostatne, s použitím uvedených literárnych zdrojov. Prácu som neprihlásil a ani neprezentoval v žiadnej inej súťaži, ktorá je pod gestorstvom MŠMVV a Š SR. Som si vedomý dôsledkov, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

Podpis: .....

## **Pod'akovanie**

Chcel by som sa poďakovať svojmuškoliťovi Mgr. Zuzana Oravcová za odborné rady, pomoc a konzultácie, ktorými ma usmerňovala. Taktiež by som rád poďakoval celému MateriálovoTechnologickému ústavu na MTF STU, hlavne Ing. Pavlovi Nogovi PhD., Ing. Dušanovi Vaňovi PhD., Ing. Filipovi Ferenčíkovi, Matejovi Kubišovi. Také isté poďakovanie venujem aj mojej rodine, priateľke a priateľom za ich všetku neochvejnú podporu.

# Obsah

Úvod.....	5
1 Problematika a prehľad literatúry .....	6
1.1 Pokovovanie.....	6
1.2 Fyzikálny princíp naprašovania .....	6
1.3 Rozdiel DC a RF naprašovania .....	8
1.4 Využitie .....	9
2 Ciele práce SOČ.....	10
3 Materiál a metodika .....	11
3.1 Začiatočná spolupráca.....	11
3.2 Jednotlivé časti komory.....	12
3.3 Podtlak.....	14
3.4 RF zdroj.....	16
3.5 Testovanie .....	17
4 Výsledky práce a diskusia.....	18
5 Závery práce .....	19
6 Zhrnutie.....	20
7 Zoznam použitej literatúry .....	21
8 Prílohy.....	22

## Úvod

V treťom ročníku sme absolvovali prax na fakulte MTF STU. Počas praxe ma zaujala téma ionizácie. Je to niečo, s čím sa v bežnom živote nestretám a chcel som mať v tejto problematike viac vedomostí a skúseností. Po konzultácií s Ing. Pavlom Nogom PhD., som sa rozhodol vytvoriť projekt, ktorý by pomohol fakulte, ale najmä mne posunúť sa ďalej nielen v teoretických vedomostiach, ale aj v mojich praktických schopnostiach.

Profesor Pavol Noga mi navrhol zostavenie menšieho funkčného prototypu vákuovej komory, jedného typu, ktoré majú aj v laboratóriu. Jedná sa o malú vákuovú komoru, ktorá bude slúžiť na pokovovanie predmetov ľubovoľného materiálu. Výhodou novej komory by mala byť okrem iného jej jednoduchá manipulácia.

# 1 Problematika a prehľad literatúry

## 1.1 Pokovovanie

Pokovovanie je nanášanie kovového materiálu na vodivý alebo nevodivý povrch materiálov. Ten vďaka vrstve materiálu, ktorý naň nanesieme vie zmeniť svoje vlastnosti.

### Druhy pokovovania:

- Vákuové naparovanie
- Procesy plazmou
- Chemické procesy v plynnom skupenstve
- Chemické techniky v kvapalnom skupenstve

### Procesy plazmou sa ďalej delia:

- Naprašovanie
- Procesy s plazmou

### Naprašovanie sa delí na:

- Diódové naprašovanie
- Reaktívne naprašovanie
- Iónové naprašovanie
- Magnetronové naprašovanie
- Pokovovanie pomocou iónového zväzku
- Reaktívne naprašovanie pomocou iónov
- Pokovovanie pomocou zväzkov zhlukov atómov

## 1.2 Fyzikálny princíp naprašovania

Naprašovanie je jeden z náhlych fyzikálnych procesov, pri ktorom sa najprv zráža dopadajúca častica s jednou, alebo dvomi časticami odprašovaného materiálu na povrchu terča. Táto zrážka vyvolá ďalšie zrážky aj v nasledujúcich nižších vrstvách terča, čo môže mať za následok odprašenie jednej, alebo viacerých častíc z materiálu. Strednú hodnotu počtu takýchto častíc udáva takzvaný zisk naprašovania. Zisk naprašovania je udávaný ako pomer odprašených častíc k počtu dopadajúcich, je závislý od viacerých parametrov ako povrchová väzbová energia materiálu, energia dopadajúcich častíc, hmotnosti atómov projektilov a terča, ďalšie. Pre rôzne energie dopadajúcich projektilov môžu nastat' nasledujúce prípady;

- Malá energia ( $0 \text{ eV} < E < 20 - 50 \text{ eV}$ ) zodpovedá takzvanému podprahovému režimu. Podľa pôvodných predstáv dopadajúci ión mal príliš malú energiu na to, aby mohol odprašovať, preto bol zisk naprašovania považovaný za nulový.
- Stredná energia ( $50 \text{ eV} < E < 1 \text{ keV}$ ) nazývaná lavínová, prípadne „knock-on” oblasť, pokrýva najviac používaných PVD aplikácii, a preto je najčastejšie používanou. Dopadajúce častice vytvárajú v materiále terča lavínu zrážok. Počet vyrazených častíc terča je závislý na mieste a uhle pod ktorým častice dopadajú. Preto výsledný zisk naprašovania je určovaný štatisticky.
- Vysoká energia ( $1 \text{ keV} < E < 50 \text{ keV}$ ) dopadajúcich častíc pri ktorej sa vytvárajú lavíny, podobne ako to bolo v predošlej oblasti, no s tým rozdielom, že väzby počas lavíny sa pretrhávajú.
- Veľmi vysoká energia ( $50 \text{ keV} < E$ ) dopadajúcich častíc, spôsobí ich prenikanie hlboko do materiálu a včlenenie sa do neho, teda nedochádza k odprašovaniu.

#### ➤ Magnetronové naprašovanie

Magnetronové naprašovanie je depozičná technológia, ktorá zahŕňa plazmu, ktorá je generovaná do uzavretého priestoru obsahujúceho materiál, ktorý sa má naniesť - “target”. Povrch targetu je erodovaný vysokoenergetickými iónmi v plazme a uvoľnené atómy cestujú vákuovým prostredím a usadzujú sa na substrát, kde tvoria tenký film.

V typickom procese naprašovania je komora najprv evakuovaná do vysokého vákua, aby sa minimalizovali parciálne tlaky všetkých pozadných plynov a potenciálnych kontaminantov. Po dosiahnutí základného tlaku je do komory privádzaný naprašovací plyn, ktorý tvorí plazmu, a celkový tlak je regulovaný ( zvyčajne v rozsahu militorr,  $\text{cm}^3$  za minútu,... ) pomocou systému na reguláciu tlaku.

Na spustenie generovania plazmy sa medzi katódou ( zvyčajne umiestnenou priamo za naprašovacím cieľom ) a anódou ( zvyčajne pripojenou ku komore ako elektrická zem ) aplikuje vysoké napätie. Elektróny, ktoré sú prítomné v naprašovacom plyne, sú urýchľované preč od katódy, čo spôsobuje zrážky s blízkymi atómami naprašovacieho plynu. Tieto zrážky spôsobujú elektrostatické odpudzovanie, ktoré “odhodí” elektróny z atómov naprašovacieho plynu, čo spôsobuje ionizáciu. Pozitívne atómy naprašovacieho plynu sú teraz urýchľované smerom k záporne nabitým katódam,



čo vedie k vysoko-energetickým zrážkam na povrchom cieľa. Každá z týchto zrážok môže spôsobiť, že atómy na povrchu cieľa budú vymrštené do vákuového prostredia s dostatočnou kinetickou energiou, aby sa dosiahli na povrch substrátu. Aby sa zabezpečilo čo najviac vysoko-energetických zrážok ( zvýšeniu depozičných rýchlostí ) naprašovací plyn je zvyčajne zvolený ako plyn s vysokou molekulovou hmotnosťou, ako je argón alebo xenón. Ak je požadovaný reaktívny proces naprašovania, do komory môžu byť počas rastu filmu zavedené aj plyny, ako je kyslík alebo dusík.

RF alebo rádiový frekvenčný naprašovanie je technika, ktorá spočíva v striedaní elektrického potenciálu prúdu vo vákuovom prostredí na rádiových frekvenciách, aby sa zabránilo hromadeniu náboja na určitých typoch cieľoch naprašovacích materiálov, ktoré môžu s časom spôsobiť vznietenie do plazmy, ktorá vyprskne kvapky, čo tvorí problémy s kontrolou kvality na tenkých vrstvách - a dokonca môže viesť k úplnému zastaveniu naprašovania atómov, teda ukončuje proces.

Tradičné DC naprašovanie je nákladovo efektívny spôsob aplikácie kovových cieľových povlakov, ktoré sú elektrickými vodičmi, ako je zlato. DC naprašovanie je však obmedzené, pokiaľ ide o dielektrické cieľové materiály - povlaky, ktoré sú nevodivé izolačné materiály, ktoré môžu nadobudnúť polarizovaný náboj. Príkladmi bežných dielektrických povlakových materiálov používaných v polovodičovom priemysle sú oxid hlinitý, oxid kremičitý a oxid tantálitý.

### **1.3 Rozdiel DC a RF naprašovania**

Rovnako ako pri DC naprašovaní, RF naprašovanie spúšťa energetickú vlnu cez inertný plyn vo vákuovej komore, ktorý sa ionizuje. Cieľový materiál alebo katóda, ktorá sa má stať tenkou vrstvou povlaku, je bombardovaná týmito vysoko-energetickými iónmi, ktoré odstreľujú atómy ako jemný sprej, ktorý pokrýva substrát, ktorý sa má pokryť. RF magnetronové naprašovanie používa magnety za zápornou katódou, ktoré zachytávajú elektróny nad záporne nabitým cieľovým materiálom, aby neboli schopné bombardovať substrát, čo umožňuje rýchlejšie depozičné rýchlosti.

časom sa produkujú pozitívne ióny, ktoré sa hromadia na povrchu cieľa, čím mu dávajú pozitívny náboj. V určitom bode sa tento náboj vie nahromadiť a viesť k úplnému odštiepeniu naprašovacích atómov, ktoré sa vypúšťajú na povlakovanie.

Striedaním elektrického potenciálu s RF naprašovaním sa povrch cieľového materiálu môže “vyčistiť” od nárastu náboja v každom cykle. V pozitívnom cykle sú elektróny priťahované k cieľovému materiálu alebo katóde, čím mu dávajú zápornú polaritu. V zápornej časti cyklu pokračuje bombardovanie cieľa, ktorý sa má naprašovať.

#### **1.4 Využitie**

Spotrebiteľská elektronika: CD, DVD, LED displeje, pevné a disketové magnetické disky

**Optika:** Optické filtre, presná optika, laserové šošovky, spektroskopia, káblová komunikácia, antireflexné a protiodrazové povlaky

**Energia:** Solárne panely, povlaky lopatiek plynových turbín

**Lazery:** Vláknové lasery a polovodičové lasery

**Medicína a veda:** Lekárske prístroje, implantáty, mikroskopia, mikroanalýza vzoriek

**Dekoratívne:** Architektonické sklo, balenie, hračky, šperky, oblečenie, stavebné kovanie, lemovanie spotrebičov, sanitárne zariadenia

## 2 Ciele práce SOČ

Cieľom práce je navrhnuť a skonštruovať funkčný model vákuovej naprašovacej komory za účelom pokovovania materiálov rôzneho druhu.

Funkčný model by mal obsahovať:

- Vákuovú pumpu
- Komoru
- RF napät'ový zdroj
- Filamént (pokovovací kov namotaný na pružinku)

Zostrojiť ho chceme pomocou vhodných materiálov a prístrojov zo skladov a laboratórií na MTF STU.

### 3 Materiál a metodika

#### 3.1 Začiatočná spolupráca

Naším prvým cieľom pri zhotovovaní komory bolo zistiť, aké fyzikálne javy sa v práci vyskytujú. Debatovali sme s vedúcim ústavu na MateriálovoTechnologickej fakulte Ing. Pavlom Nogom, PhD., ktorý nám ponúkol možnosť absolvovať niekoľko súkromných prednášok s jedným zamestnancom, ktorý chodí po svete a prezentuje túto formu pokovovania. Volal sa Ing. Ahmad Azizpour, PhD. a na štyroch prednáškach nám podrobne odprezentoval, aké javy nastávajú a ako a prečo sa dejú.

Po absolvovaní prednášok sme sa rozhodli, že pôjdeme už stavať produkt.

Ako prvé sme potrebovali niečo priesvitné, pod čím by sme videli plazmu. Ideálny sme našli v predajni IKEA. Ideálny by bol sklený zvon, pod ktorým by bola viditeľne vidieť horieť plazma. Snažili sme sa vybrať zvon s najväčšou hrúbkou skla. No nestačilo to. Podľa vzorca na valec  $s = p \cdot r / t$  ( $s$  = pevnosť skla na stlačenie,  $p$  = rozdiel tlakov v atmosférach,  $r$  = polomer skla (valca),  $t$  = hrúbka skla) vyšlo, že hrúbka tohto zvonca by mala byť najmenej trojnásobná, než sme mali.



*Obrázok 1 Sklo 1 (foto: Andrej Kužela; 2023)*

Dôvod prečo sme počítali so vzorcom na valce bol jednoznačný. Tlak, ktorý by tlačil na zaguľatenú stranu zvonca sa rozloží do stien z hora. Preto tento tlak bol pre naše výpočty zanedbateľný. Po ďalšom pohovore s vedúcim ústavu sme sa dohodli, že všetko, čo sa bude robiť, bude pozostávať z materiálov a vyradených predmetov, ktoré

sú na skladoch MTF STU. Ponúkli nám pomoc, vždy keď to bude treba. Profesor Noga poveril dvoch študentov z ich laboratória: Ing. Filip Ferenčík a Matej Kubiš, ktorí nám boli často k dispozícii pre konzultovanie rôznych problémov. S ich asistenciou sme prehľadali sklady, v ktorých sme ponachádzali rôzne predmety, ktoré sa hodia, alebo budú hodiť pri zostavovaní práce.

### **3.2 Jednotlivé časti komory**

#### **➤ Medená podstava(*Príloha A*)**

Našli sme medený predmet, na ktorom boli vyvedené elektródy, ktoré boli vzájomne elektricky odizolované. Zároveň je dostatočne pevný ako základný bod našej práce, na ktorom budeme stavať. Tento predmet mal na sebe volfrámové vlákna, ktoré sa zrejme používali na rovnaké využitie, naprašovanie. Rozložili sme ho takmer až do poslednej skrutky a namerali hodnoty, ktoré sme si uložili, keby sme v budúcnu potrebovali urobiť nejaké zmeny frézou (z dôvodu komplikácie kusu).

#### **➤ Sklo 1(*Príloha B*)**

Náš problém, ktorý sme riešili pri hľadaní správnej hrúbky skla sa vyriešil. Tento kus skla bol dostatočne hrubý na to, aby vydržal vákuum. Bol už použitý niekoľko krát vo vákuovej technike, čiže sme vedeli, že jeho hrúbka bude dostačujúca. Keďže bol už pokovovaný, z dôvodu, že sa nereguluje pri našom systéme, kde lietajú atómy, tak sme hľadali jeho „dvojníka,“ taký istý kus, ktorý by bol čistý a sedel na základnú medenú časť.

#### **➤ Uzávierka komory 1(*Príloha C*)**

Ďalším problémom bola otázka, ako zatvoriť komoru. Potrebujeme stály prístup, na výmenu obrobkov na pokovovanie. Po vyberaní z viacerých možností sme vybrali nerezový kus, ktorý zapadal do seba s ďalšou súčiastkou. Mal aj predvrtané diery so závitmi, ktoré boli tiež na oboch súčiastkach.

➤ **Gumené tesnenia**



*Obrázok 2 Gumenné tesnenia (foto: Andrej Kužela; 2023)*

Jeden z posledných problémov s komorou bolo odizolovanie vzhľadom na vzduchovú izoláciu. Po dlhom premýšľaní a prechádzaní videí s podobnou témou a problémov sme sa rozhodli pre gumené tesnenie. Ak nebude dostatočne tesniť, tak sa nakreslí na výkres drážka, ktorá sa potom vyfrézuje do medenej časti.

➤ **Zat'ahovacie závitové tyče**



*Obrázok 3Zat'ahovacie závitové tyče (foto: Andrej Kužela; 2023)*

Na úplné zatvorenie komory do finálnej podoby sme sa rozhodli z viacerých možností využiť závitovú tyč, na ktorej budú prichytené úchytky podobné háčikom. Tú sme s bezpečnostným vybavením (okuliare a vhodný odev na prácu) prerezali na tri kusy a zabrúsili ich konce. Následne sme pohľadali v sklade matice o rozmeru M8 s podložkami a uchytili všetky časti komory do finálnej pozície.

### **3.3 Podtlak**

Po vytvorení zatvoreného objektu sme mali dilemu, aké čerpadlo sa bude používať na odsávanie atmosféry v komore. Na sklade mali niekoľko voľných púmp, ktoré mohli byť použité pre náš projekt. Ako prvé sme skúsili čerpadlo od značky TRIVAC(**Príloha A**).

Zistili sme, či funguje (zapli ho na voľnobeh), a následne sme ho zapojili na komoru. Podtlak robilo na pohľad slušný, ale nemali sme pripojený do systému žiadny merač, ktorý by nám meral aký podtlak sme spravili. Zobrali sme analógový merač podtlaku a primontovali ho do zapojenia. Zapli sme prístroj, následne čerpadlo a čakali, kým sa nám analógová ručička začne hýbať. No ani o milimeter sa neposunula.

Jednou zo špekulácií bolo, či prístroj správne meria. Našťastie sme si spomenuli na okruh malého urýchľovača, ktorý majú v laboratóriu MTF. Odpojili od neho digitálny merač podtlaku a pripojili na našu komoru. Po zapnutí tlačidla na spustenie sme čakali pár minút, no vákuum bolo veľmi slabé (0,15 bar).Náš výskum zistil, že analógový merač nemal nijakú chybu, problém bol vo veľkosti podtlaku, ktorý bol mimo rozsah nášho prístroja. Pre pochopenie, oblúk by sme zapálili, no neprebiehalo by naprašovanie. Z dôvodu, že by sa brzdili naprašované atómy o atmosféru, cez ktorú budú cestovať.(**Príloha A**)

Z tohto dôvodu sme hľadali ďalej medzi našimi čerpadlami. Našli sme tam presne ten istý typ, ktorý hneď po spustení na zistenie stavu začal dymiť. Takže bol hneď vylúčený z ďalších pokusov. Druhou nádejou, ktorú sme mali boli ďalšie dve čerpadlá rovnakého modelu VARIAN DS 202.Naše pokusy s jedným z nich vyšli ako pozitívne. Konečne sme dokázali vytvoriť podtlak, v ktorom by bolo možné naprašovať bez toho, aby sme sa obávali o funkčnosť zariadenia.

Keďže olej v čerpadle bol trochu špinavý, tak sme sa ho rozhodli vymeniť. Nachystali sme si nádoby náhradného oleja, misu, do ktorej budeme vylievat' olej a bandasku, do ktorej sa uloží olej pre jeho vyhodenie. Ale na nešťastie sa nám hneď pokazilo ako sme sa ho snažili behom pár minút trochu zohriať. Vyskúšali sme preto aj

druhé čerpadlo, no to začalo vydávať zvuky ako by nás chcelo „zožrat“, tak pre našu bezpečnosť sme sa rozhodli ho nepoužiť.



**Obrázok 4 Čerpadlá (foto: Andrej Kužela; 2023)**

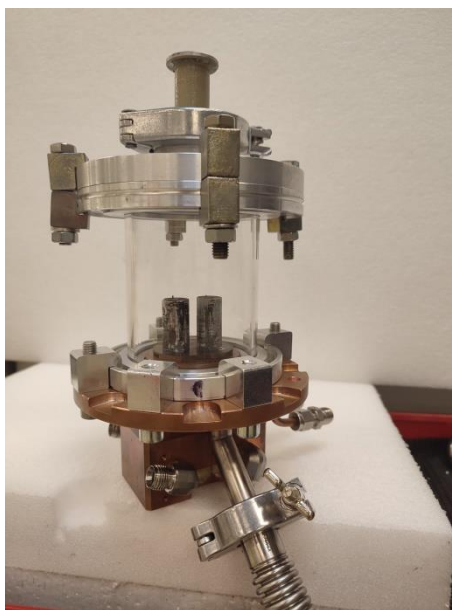
V tom čase bolo jedno čerpadlo nevyužitú pri veľkom yónovom Tandetrónovom urýchľovači. Vzhľadom na jeho výkon sa hodilo do komory s jeho aktuálnou výkonnosťou  $2 * 10^{-3}$  mBar. Meranie však ukázalo, že je príliš malé na veľkosť objemu, ktorý chceme vysávať. Tak sa použilo väčšie, ktoré bolo na vysávanie v malom urýchľovači.

Keďže pri tomto testovaní bol aj pán Noga, ktorý zhodnotil situáciu, že by sa tam mohlo dať nové, väčšie čerpadlo, ktoré je súčasťou malého posledne nevyužívaného urýchľovača v ich laboratóriu. Tiež nám pomohol informáciou, že je trochu nebezpečné stláčať sklo, ktoré sa dostáva do vákua. A to najmä z dôvodu jeho nerovnomerného stlačenia, ktoré by sa prejavilo prasknutím a následným rozbitím skla (implózia).

### **Uchopenie skla**

Dohodol nám stretnutie s pánom Ing. Dušanom, PhD., u ktorého vybavil lepší dizajn zhotovenia odizolovania celej nádoby. To spočívalo v stláčaní gumičky, ktorá sa nachádza okolo skla, ktorá následne utesnila všetky medzery. Komora sa tak stala odizolovanou voči vzduchu a namáhaniu na jej skle. Tento dizajn umožnil aj krajší výhľad na filamént, na ktorom sa bude vytvárať plazma.





*Obrázok 5 Upravené tesnenie komory (foto: Andrej Kužela; 2023)*

### **3.4 RF zdroj**

Ako prvé bol medzi nájdenými zdrojmi typ jedného, ktorý sa nachádza ešte na jednej komore, ktorá je ešte v prevádzke. Avšak na jeho váhu, objemovú veľkosť sa vyradil z projektu. Na koniec sa ukázal pred nami jeden, ktorý by na naše zaťaženie vyhovoval. Tento RF generátor je ľahučký a vyhovuje vo všetkých parametroch pre túto prácu. Vďaka jeho vzduchovom (pasívnom) chladení nebude problém ho udržať v prevádzke bez potreby chladenia. Čo bol jeden z problémov „pri silnejšom“ zdroji.



*Obrázok 6 Finálny zdroj RF napätia (foto: Andrej Kužela; 2023)*

### 3.5 Testovanie

Tento projekt pre správnu funkciu potreboval prejsť jednou hlavnou skúškou, ktorá pozostávala z merania vákua. Vzhľadom na to, že sa nám počas stavania komory nepodarilo ju ešte dostať do jej budúceho stavu, pri ktorom sa bude naprašovať. Tento test obsahoval jednu veľkú vákuovú „predpumpu“, ktorá bola vo využití pri malom urýchľovači. Test obsahoval 3 fázy:

1. Meranie vákua pri zapnutí čerpadla (**Príloha B**)
2. Meranie vákua, pri ktorom sa čerpadlo blížilo k jeho limitom najväčšieho dosiahnuteľného vákua (**Príloha B**)
3. Meranie vákua pri vypnutí čerpadla (**Príloha B**)

Tento test nám dokázal, že komora je dostatočne odizolovaná pre dosiahnutie dostatočného vákua pre našu prácu.

## 4 Výsledky práce a diskusia

Výsledkom našej práce je funkčná vákuová naprašovacia komora. Komora funguje na spôsobe ionizácie atmosféry, ktorá síce je nízka, ale nikdy nulová (iba teoretické absolútne vákuum je čisté).

Ionizáciu získavame pomocou vysokého rozdielu potenciálov na dvoch elektródach. Pri vysokom zionizovaní atmosféry sa nám podarí zapáliť oblúk, ktorý sa javí ako plazma vo viditeľnom spektre. Pri pozorovaní takejto plazmy o sebe je potrebné použiť ochranu zraku s UV faktorom, pretože plazma vyžaruje silné vysoko spektrálne svetlo. Plazma môže mať vždy rôzne farby pre náš zrak. Jej sfarbenie vždy závisí od plynu, ktorý tvorí z najväčšej % atmosféru.

Pri tejto práci boli použité už zmienené časti ako je sklo, čerpadlo.

Z bezpečnostných dôvodov by sa mohlo kúpiť a používať sklo s hrubším priemerom. To by zaistovalo menšiu šancu na rozbitie počas prenosu práce.

Čerpadlo by sa zas dalo kúpiť silnejšie (pre väčšie vákuá), v ktorých by bolo naprašovanie ľahšie. Z našich pokusov sme totiž prišli k zisteniu, že napriek tomu, aký má objem komora, je veľmi veľká na čerpanie hlbokého vákuá v minútach. Každá funkčná z nich by vedela dosiahnuť také isté vákuum ako posledná, no v dlhšom čase.

Cena celého zariadenia je minimálna, keďže súčiastky neboli nové.

- Sklo, Medená podstava s elektródami a Comet RF generátor boli v sklade MTF v laboratóriu
- Pumpa bola použitá z funkčného malého urýchľovača
- Upravené utesnenie komory je iba hodnota hodín nad opracovaním komponentov

## 5 Závery práce

Zrealizovanie tejto práce nebolo až také ľahké ako sa môže zdať. Keďže cieľom bolo, že vákuová komora musí byť ľahko prenosná a malých rozmerov. Z toho dôvodu sme v rámci nášho projektu navrhli a zostavili malú naprašovaciu komoru, ktorá je schopná generovať plazmu z rôznych plynov, ako je argón, dusík alebo kyslík. Umožňuje testovanie rôznych experimentov s parametrami naprašovania, ako je menenie tlaku, teploty, výkonu alebo času naprašovania.

Naším cieľom je ukázať a naučiť publikum, ako táto technológia môže vytvárať rôzne farebné a štruktúrne efekty a mozaiky na rôznych materiáloch, ako je kov, sklo, keramika alebo plast. A ich vlastnosti a skúmania podmienok ich zlúčenia.

Práca predstavuje jednoduchý a efektívny spôsob, ako demonštrovať možnosti naprašovania ako technológie pre povrchové úpravy materiálov. Tento projekt nielenže zaujme a pobaví návštevníkov DOD, ale tiež im poskytne praktické skúsenosti a vzdelanie v oblasti materiálov a plazmy. K zhotoveniu takejto práce nás dostal aj plán, ktorý bol našim druhým hlavným účelom. A to bolo prilákať ľudí, študentov ku štúdiu na odbore Materiálového inžinierstva, keďže v ročníkoch je okolo 8 žiakov .

Toto bol len jeden zámer k vytvoreniu tejto práce. Druhým zámerom tejto komory je jej reálne využitie v laboratóriách na MTF. Jej ľahký spôsob konštrukcie, nám pomáha ku rýchlemu rozoberaniu/zloženiu. Táto vlastnosť umožňuje jej budúce preskladanie aj na iný spôsob naprašovania.

Ako budúcnosť tejto práce vidím aj jej možné prepínanie z DC na RF napätie, ktoré nebude vyžadovať takmer úplné rozobratie.

## 6 Zhrnutie

Výsledkom našej práce je správne navrhnutý a skonštruovaný funkčný model vákuovej naprašovacej komory za účelom pokovovania materiálov rôzneho druhu.

Výsledný model je funkčný a obsahuje:

- Vákuovú pumpu
- Komoru
- RF napät'ový zdroj
- Filamént (pokovovací kov namotaný na pružinku)

Zostrojili sme ho pomocou nájdených vhodných materiálov a prístrojov v skladoch a laboratóriách na MTF STU.

## 7 Zoznam použitej literatúry

- [1] [online] <https://baiqueaccessories.com/sk/surface-treatment/what-is-pvd-coating/>
- [2] [online] <https://is.muni.cz/th/eksub/diplomka.pdf>
- [3] [online] [Magnetron Sputtering Overview \(angstromengineering.com\)](http://angstromengineering.com)
- [4] [online] [What is RF Sputtering? \(semicore.com\)](http://semicore.com)
- [5] [online] [What is RF Sputtering? The Process and Applications Explained \(korvustech.com\)](http://korvustech.com)
- [6] [online] Handbook of THIN FILM SEPOSITION Krishna Seshan
- [7] [online] [Glass vacuum chamber minimum thickness \(physicsforums.com\)](http://physicsforums.com)

## **8 Prílohy**

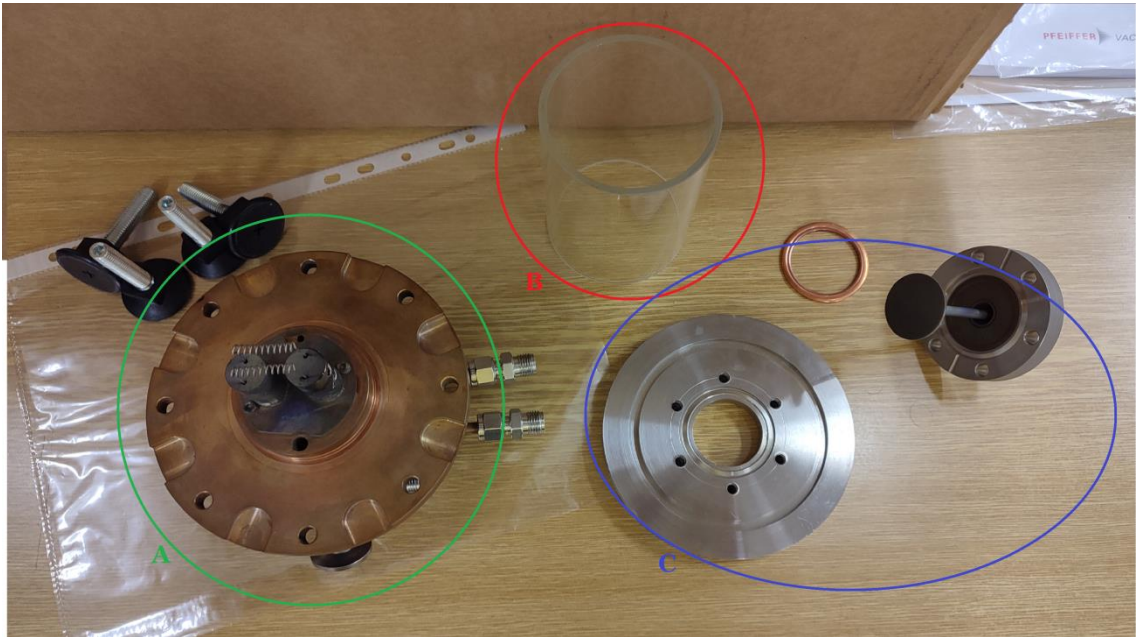
**Príloha A – Meranie vákua**

**Príloha B – Namerané hodnoty**

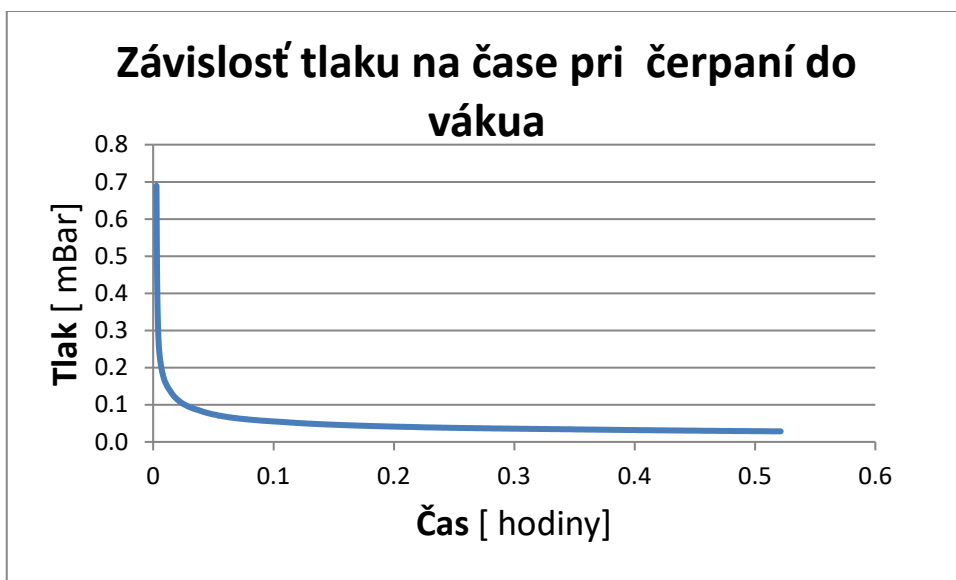
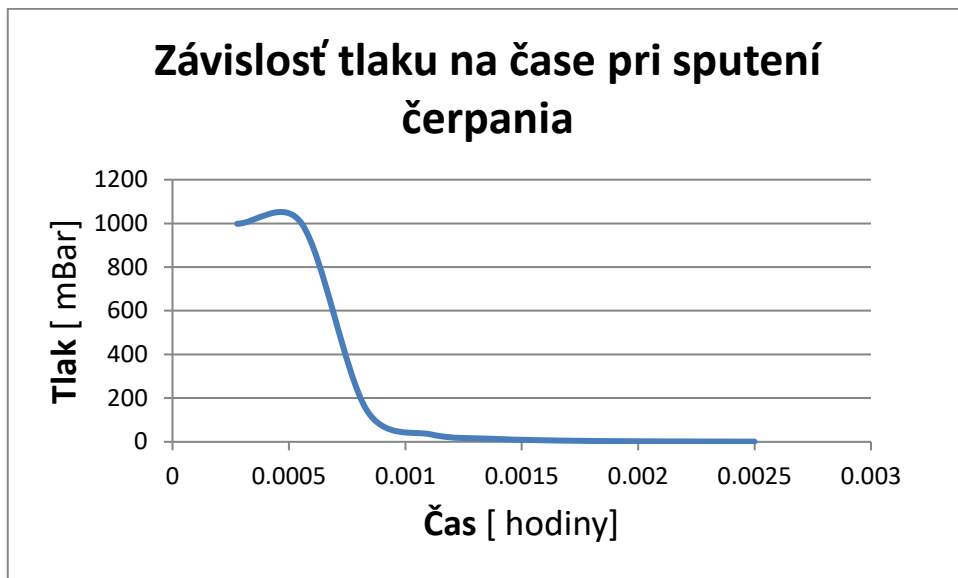
## Príloha A - meranie vákua







## Príloha B – Namerané hodnoty



### Závislost tlaku na čase pri vypnutí čerpania vzduchu

