VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV FYZIKÁLNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PHYSICAL ENGINEERING

MODERNIZACE APARATURY PRO DEPOZICI POMOCÍ IONTOVÉHO NAPRAŠOVÁNÍ

UPGRADE OF THE DEVICE FOR DEPOSITIONS BY ION BEAM SPUTTERING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR´S THESIS

AUTOR PRÁCE Michal Páleníček
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Petr Bábor, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav fyzikálního inženýrství
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Páleníček

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Fyzikální inženýrství a nanotechnologie (3901R043)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Modernizace aparatury pro depozici pomocí iontového naprašování

v anglickém jazyce:

Upgrade of the device for depositions by ion beam sputtering

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na Ústavu fyzikálního inženýrství je provozována vysokovakuová aparatura umožňující depozici tenkých vrstev metodou iontového naprašování. Cílem práce je doplnit tuto aparaturu o zakládací komoru umožňující vložení vzorku bez nutnosti zavzdušnění depoziční komory. Tím se zkrátí čas potřebný pro depozici a zlepší pracovní tlak. V souvislosti s instalací zakládací komory je třeba vyrobit i systém umožňující manipulaci se vzorkem. Další krok modernizace je doplnění manipulátoru vzorku zařízením umožňující měnit teplotu vzorku během depozice.

Cíle bakalářské práce:

1) Proveďte konstrukční a instalační práce nutné k zprovoznění zakládací komory včetně instalace vakuových vývěv.
2) Proveďte konstrukci zařízení pro ohřev vzorku včetně měření teploty vzorku.

Seznam odborné literatury:

[1] J. F. O'Hanlon: A User's Guide to Vacuum Technology,Second Edition John Wiley & Sons, Inc., 1989.
[2]A. Roth: Vacuum Technology, Third Impression, Elsevier Science, Amsterdam, 1996.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Bábor, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 25.11.2009

L.S.

prof. RNDr. Tomáš Šikola, CSc. Ředitel ústavu	doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc. Děkan fakulty

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací aparatury umožňující zakládání vzorků do vakua bez nutnosti zavzdušnění depoziční komory. Jsou diskutovány teoretické základy vakuových technologií. Dále je práce zaměřena na popis stávající depoziční komory a její princip. Největší část práce se zabývá popisem návrhů aparatury pro zakládání vzorků. První návrh, od kterého se opustilo, je popsán jen stručně, u druhého návrhu jsou rozepsány jednotlivé kroky a řešení. V práci je i jednoduchý návod na zakládání vzorků. Na závěr jsou prezentovány výsledky simulací chladícího sytému vzorků a průhybu magnetické tyče.

Abstract

This thesis deals with concept and realization of device which allows loading without air intake. Vacuum technology and its theoretical bases are discussed as well. Moreover the thesis is based on the description of the current deposition chamber and its principles. The main part deals with the description of the concepts of lock and load systems. The first concept that has not been realized is described just briefly. The second one includes the description of the individual used solutions. The work also contains simple instructions how to load the specimen into the deposition chamber. Simulations of the cooling system calculated by software Ansys are also presented.

Klíčová slova

IONTOVÉ NAPRAŠOVÁNÍ, VAKUOVÉ ZAKLÁDÁNÍ, VAKUOVÝ TRANSPORT, ZAKLÁDACÍ SYSTÉMY

Keywords

ION SPUTERING, VACUUM LOADING, VACUUM TRANSPORT, LOCK AND LOAD SYSTEMS

Bibliografická citace:

PÁLENÍČEK, M. *Modernizace aparatury pro depozici pomocí iontového naprašování.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Bábor, Ph.D.

Prohlášení

Já, Michal Páleníček, prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Bábora, Ph.D. a všechna použitá literatura je uvedena v seznamu literatury.

V Rožnově pod Radhoštěm 20. Května 2010

…….

Podpis

Poděkování

Toto poděkování bych rád věnoval všem, kteří se jakýmkoli způsobem podíleli na této práci, především ing. Petru Báborovi za vedení práce a důvěru, ing. Petru Páleníčkovi za neocenitelnou pomoc při práci v kreslících programech a ostatním výpočetním software. Dále svému bratrovi Tomášovi, za korekturu a stylistické úpravy a v neposlední řadě mojí celé rodině a přítelkyni za velkou podporu a trpělivost po celou dobu studia.

Michal Páleníček

Obsah

ÚVOD 9

1 VAKUOVÁ TECHNIKA A TEORIE 10

1.1 Vakuum 10

1.2 Historie vakua a vakuové techniky 10

1.3 Kinetická teorie plynů 11

1.4 Odvození stavové rovnice plynu z tlaku 13

1.5 Střední volná dráha 14

1.6 Vzduch 14

1.7 Vytváření vakua 15

2 STÁVAJÍCÍ DEPOZIČNÍ KOMORA 16

2.1 Depozice pomocí metody IBD 16

2.2 Vakuum v komoře 16

2.3 Uspořádání komory 17

2.4 Dosavadní nedostatky aparatury 20

3 NÁVRH NA MODERNIZACI 21

3.1 První návrh 21

3.2 Druhý návrh 23

3.2.1 Rozšířená paletka 25

3.2.2 Zahřívací paletka 25

3.2.3 Zakládací komora 26

3.2.4 Vakuový kufřík 27

3.2.5 Transportní držák paletek 28

3.2.6 Tloušťkoměr 29

3.2.7 Dok s držákem 30

3.3 Kontrolní výpočty 32

3.3.1 Průhyb magnetické tyče 32

3.3.2 Simulace přestupu tepla při chlazení 33

ZÁVĚR 35

LITERATURA 38

SEZNAM PŘÍLOH 39

Úvod

V posledních několika letech se tenké vrstvy staly nepostradatelnou součástí v nejrůznějších odvětvích průmyslu a výzkumu. Pokud mluvíme o tenké vrstvě, uvažujeme o ni v rozměrech desítek nanometrů až jednotky mikrometrů. Uplatnění nacházení v různých odvětvích průmyslu, od elektrotechnického, přes strojírenství, lékařství, energetiku až po dekorační techniku.

Tato práce se zabývá modernizací aparatury pro přípravu tenkých vrstev v zařízení „Kaufman“ na Ústavu fyzikálního inženýrství. Cílem práce je navrhnout způsob zakládání vzorků do depoziční komory tak, aby nebylo nutné komoru zavzdušňovat. Práce popisuje konstrukci zakládací komory, způsob zakládání, pozicování vzorků, chlazení a ohřev vzorků. Veškeré navržené úpravy by měly vést ke zkrácení depozičního procesu a měly by v budoucnu umožnit transport vzorku do analytických zařízení bez expozice vzorku atmosférou. Konstrukční návrhy jsou vypracovávány v programu SolidWorks a Spaceclaim.

1 Vakuová technika a teorie

1.1 Vakuum

Vakuum definováno podle německé normy DIN 28400 jako: „Vakuum je stav plynu, který má menší hustotu než atmosféra na zemském povrchu ($1{,}01325 \cdot 10^5$ Pa = 760 Torr). Jako vakuum tedy můžeme označit stav plynu, jehož tlak je nižší, než je tlak atmosférický“. Nebo také definice užívaná v teoretické fyzice: „Vakuum je stav systému s nejnižší možnou energií.“[3] Ideálním případem vakua je stav, kdy se v daném prostoru nevyskytuje žádná částice, kdy se jedná o část prostoru, který neobsahuje hmotu, ale může obsahovat elektrické a magnetické pole. Takové vakuum bychom označili jako dokonalé a tlaku by odpovídala nulová hodnota. Vakuum lze rozlišovat podle tlaku na základní vakuum (10^2 - 10^5 Pa), jemné vakuum (10^{-1} – 10^2 Pa), vysoké vakuum (HV 10^{-5} – 10^{-1} Pa) a ultravysoké vakuum (UHV 10^{-11} – 10^{-5} Pa).[1] K označení vakua se používají běžné jednotky tlaku (**tab. 1**).

	Pa	**Torr**	**atm**	**bar**	**psi**	**psf**	**kp·cm^{-2}**
Pa	1	$7{,}5006 \cdot 10^{-3}$	$9{,}8692 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1{,}4504.10^{-4}$	$2{,}0885.10^{-2}$	$1{,}0197.10^{-5}$
Torr	133,322	1	$1{,}3158 \cdot 10^{-3}$	$1{,}3332.10^{-3}$	$1{,}9337.10^{-2}$	2,7844	$1{,}3594.10^{-3}$
atm	$1{,}01325 \cdot 10^5$	760	1	1,01325	14,69595	2116,22	1,033227
bar	$1 \cdot 10^5$	750,06	0,98692	1	14,5038	2088,5	1,0197
psi	6894,76	51,715	0,068046	0,068948	1	144,00	0,070306
psf	47,88	0,35913	$4{,}7254 \cdot 10^{-4}$	$4{,}788.10^{-4}$	$6{,}9444.10^{-3}$	1	$4{,}882.10^{-4}$
kp·cm^{-2}	98067	735,58	0,9678	0,98067	14,223	2048,3	1

Tab. 1 *Převody jednotek tlaku.*

1.2 Historie vakua a vakuové techniky

Kořeny vakuové fyziky můžeme nalézt již v 17. století při formování klasické fyziky za dob Newtona, Galileiho a dalších. V tomto století se Galilei zabýval problémem, proč vodní pumpy nevyzvednou vodu výše než deset metrů. Co se nachází v prostoru přetržení vodního sloupce? Lidé si do této doby mysleli, že vakuum nelze vytvořit, že prázdnota neexistuje.

„Horror vacui“ – Strach z prázdnoty

Roku 1643, Galileův žák, Torricelli provedl pokus se rtutí. V uzavřené trubici vytvořil sloupec rtuti o výšce 76 cm, nad ním vzniklo vakuum. Vznik vakua Torricelli správně popsal působením tlaku atmosféry. Prázdný prostor byl vytvořen a tím tak položeny základy fyziky vakua. Po Torricellim je pojmenována jedna z nejpoužívanějších jednotek tlaku, 1 Torr = 1 mm sloupce rtuti. Během několika dalších let byly sestrojeny slavné Magneburské

polokoule, které byly čerpány vývěvou s dřevěným pístem. Před začátkem 18. století bylo sestrojeno několik dalších vývěv (Hooke, Boyl, Papin), dosahovaly tlaků okolo 10 Torr, problém, se kterým se potýkaly, bylo těsnění. Teprve v 19. st. při pokusech průchodu elektrického proudu ve zředěných plynech byla zkonstruována vývěva Geisslerem, která využívá rtuť, jako píst. Tím se podařilo odstranit problémy s těsněním pístů. Dalším zdokonalováním (Töpler, Sprengel) bylo dosaženo tlaku $1 \cdot 10^{-3}$ Torr.

Teoretické základy dal vakuové fyzice Bernouli (18. st.) rozpravou o kinetické energii molekul. Bernouliho teorie nebyla uznávána, přiklánělo se k fluidové teorii tepla. V 19. století Joule podal potřebný důkaz o pravdivosti Bernouliho teorie pokusem o ekvivalenci tepla a práce. Kinetická teorie plynů je v podstatě teoretickým základem pro vakuovou fyziku, proto bude ještě níže v textu rozebrána.

Nižší tlak přinesl problémy s jeho měřením. Výška sloupce rtuti pro tlak nižší než 1 Torr je příliš malá. V roce 1874 zkonstruoval McLeod kompresní manometr, který se dodnes používá ke kalibraci jiných manometrů. Závratným přelomem lze ve vakuové technologii považovat vynález žárovky Edisonem v roce 1879, protože žárovka se stala prvním sériově vyráběným vakuovým produktem.

Druhá polovina 19. století přináší další rozvoj kinetické teorie plynů a na sklonku tohoto století přichází řada objevů spjatých s vakuem - objevení RTG, elektronů, elektronky, diody. Podařilo se experimentálně prokázat pravdivost kinetické teorie plynů.

Hned na začátku 20. století nastal průlom v možnostech čerpání. Objev molekulární vývěvy (1912), difúzní vývěvy (1913) a kryosorpční vývěvy (1904) umožnil rychlé čerpání větších objemů a dosažení nižšího tlaku. Vznikají a vyvíjejí se taktéž nepřímé metody měření tlaků.

V období mezi válkami rozvoj průmyslu dává prostor výrobě vakuových zařízení, také rozvoj jaderné fyziky (urychlovače) podporuje vakuové technologie. Ve druhé polovině 20. století bylo dosaženo tlaku 10^{-8} Torr, což bylo umožněno zdokonalením difúzní vývěvy a objevem frakční vývěvy. Teoretické znalosti také nezaostávaly. Langmuir se věnoval studiu povrchových procesů látek ve vakuu. Užití nových materiálů (wolfram, molybden, tantal) umožnilo rozvoj technologií.

S koncem druhé světové války přichází mnoho dalších objevů, v 50. letech se spojují jednotlivé odvětví zabývající se problémy vakua a vzniká nový fyzikální obor - vakuová fyzika. Tento obor se zabývá a zkoumá objemové a povrchové procesy v uzavřeném prostoru v plynném skupenství hmoty při nízkém tlaku, pokud u těchto procesů dochází ke změnám počtu částic v daném prostoru. V současné době se stala vakuová technika nedílnou součástí špičkového výzkumu a mnohých odvětví průmyslu. Tento historický přehled byl čerpán z [1].

1.3 Kinetická teorie plynů

Jak již bylo zmíněno, kinetická teorie plynů se považuje za základ vakuové fyziky. Kinetická teorie plynů se zabývá výkladem termodynamických vlastností plynu jako mechanické soustavy částic, které setrvávají v neustálém pohybu ve všech směrech a s různými rychlostmi. Srážky mezi jednotlivými částicemi jsou pružné, srážky mezi částicemi a stěnami systému mohou být pružné i nepružné. Protože se jedná o velké množství částic, lze použít statistických výpočtů, [1], [7].

Částice mají rychlosti s různými směry a velikostmi, což se řídí Maxwellovým rozdělovacím zákonem

$$\mathrm{d}N = f(v)\,\mathrm{d}v,$$

kde *f (v)* je Maxwellova rozdělovací funkce:

$$f(v) = 4\pi N \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{mv^2}{2kT}}\, v^2 \mathrm{d}v\,.$$

Nejpravděpodobnější rychlost lze odvodit pomocí derivace rozdělovací funkce a položením rovno nule

$$\frac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}v} = 0 \implies v_p = \sqrt{\frac{2kT}{m}}.$$

Ze statistického hlediska je ovšem zajímavá střední hodnota. Střední rychlost je vlastně aritmetickým průměrem jednotlivých rychlostí. Vzhledem k tomu, že se jedná o spojitou funkci, je nutné použít integraci, proto:

$$\bar{v} = \frac{1}{N}\int_0^\infty v f(v)\,\mathrm{d}v = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}\,,$$

kde N je celkový počet částic a integruje se přes všechny rychlosti. Umocněním střední rychlosti na druhou se získá tzv. střední kvadratická rychlost:

$$\overline{v^2} = \frac{1}{N}\int_0^\infty v^2 f(v)\,\mathrm{d}v = \frac{3kT}{m}\,.$$

Odmocnina střední kvadratické rychlosti je efektivní rychlost

$$\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = v_{ef}\,.$$

Ze znalostí středních rychlostí lze určit celkovou kinetickou energii soustavy integrací všech energií jednotlivých částic přes jejich počet.

$$E_k = \int_0^\infty \varepsilon_k dN\,,$$

kde

$$\varepsilon_k = \frac{1}{2}mv^2\,.$$

Po dosazení a nahrazení $f(v)\mathrm{d}v$ za $\mathrm{d}N$ lze napsat:

$$E_k = \frac{1}{2}m\int_0^\infty v^2 f(v)\,\mathrm{d}v\frac{N}{N} = \frac{1}{2}m\overline{v^2}N\,.$$

Při dosazení za $\overline{v^2}$ vyplyne známý vztah pro kinetickou energii plynů

$$E_k = \frac{3}{2}kTN = \frac{3}{2}RT\nu\,,$$

Kde ν je látkové množství. V případě ideálního plynu je tato energie rovna vnitřní energii plynu U.

Tlak je touto teorií popisován jako efekt vzniklý narážením částic na stěny nádoby systému. Při pružných srážkách částic se předává stěnám hybnost. Odražená částice má jinou rychlost než před dopadem, změna této rychlosti je

$$\Delta\,\vec{v} = \overrightarrow{v_f} - \overrightarrow{v_i}\,.$$

Změně této rychlosti odpovídá již zmíněná změna hybnosti

$$\Delta\vec{p} = m\Delta\vec{v}\,.$$

Podle Newtonových zákonů stěna působí silou na částici a ze zákona akce a reakce částice na stěnu

$$\Delta\vec{F} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}\,,$$

tato síla je kolmá na stěnu a vytváří tak tlak plynu

$$\mathrm{d}p = \frac{\mathrm{d}F}{\mathrm{d}S}\,.$$

1.4 Odvození stavové rovnice plynu z tlaku

Stavovou rovnici je možné odvodit několika různými způsoby; pomocí statistické fyziky, Gay-Lussacových zákonů, ale také z jednoduchých úvah o tlaku. [1]

Řekněme, že v jednotkovém objemu je

$$\frac{\mathrm{d}N(v_x)}{V}\,v_x\,\mathrm{d}S\mathrm{d}t$$

molekul. Každá z těchto molekul dopadne za čas dt na plochu stěny dS a po odrazu je změna hybnosti jedné částice rovna $2mv_x$. Pak pro všechny částice v daném jednotkové objemu je tato změna hybnosti rovna:

$$\mathrm{d}p' = 2mv_x^2\,\frac{\mathrm{d}N(v_x)}{V}\,\mathrm{d}S\mathrm{d}t\,.$$

Ze znalosti síly, jako změny hybnosti za čas, můžeme získat tlak, jako

$$\mathrm{d}p = \frac{\mathrm{d}p'}{\mathrm{d}S\mathrm{d}t}$$

a celkový tlak získáme integrací přes všechny rychlosti. Po využití Maxwellovy rozdělovací funkce a matematických úpravách obdržíme:

$$p = \frac{m}{V}\overline{v_x^2}N\,.$$

S ohledem na stejnou „důležitost“ všech tří souřadnic využitím rovnosti

$$\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}\,,$$

lze tedy napsat

$$\overline{v_x^2} = \frac{1}{3}\overline{v^2}\,.$$

Při dosazení do vztahu pro tlak a rozšířením zlomkem $\frac{2}{2}$ obdržíme

$$p = \frac{1}{3}\frac{m}{V}\overline{v^2}N\frac{2}{2} = \frac{2}{3}\frac{E_k}{V}\,.$$

Dosazením již dříve odvozeného vztahu pro kinetickou energii získáme stavovou rovnici:

$$p = \frac{2}{3}\frac{1}{V}N\frac{3}{2}kT = \frac{N}{V}kT = nkT\,.$$

1.5 Střední volná dráha

Vzdálenosti, které jednotlivé částice urazí mezi dvěma srážkami, jsou různé, proto se zabýváme střední hodnotou těchto vzdáleností. Střední volná dráha charakterizuje délku dráhy, kterou částice uletí mezi dvěma srážkami, kde vztah pro střední volnou dráhu lze psát jako [1], [2]:

$$\bar{l}p = \frac{kT}{4\sqrt{2}\sigma}\,,$$

kde $\bar{l}$ je střední volná dráha, p tlak, k Boltzmanova konstanta, T teplota a

$$\sigma = \frac{\pi R^2}{4}$$

je průřez atomu. Zde je vidět, že střední volná dráha přímo závisí na tlaku p.

Počet srážek za jednotku času lze vyjádřit jako

$$z = \frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{\bar{v}}{\bar{l}}\,.$$

1.6 Vzduch

Právě vzduch je tím, co se nejčastěji snažíme odčerpat z nějakého prostoru. Prvky s majoritním zastoupením jsou dusík (78,09% obj.), kyslík (20,95% obj.), argon (0,93% obj.), oxid uhličitý (0,033% obj.), dále Ne, He, Xe, Kr, metan a vodík, který je z hlediska vakuové techniky zajímavý tím, že kvůli své nízké hmotnosti a vysokým rychlostem je jedním z nejhůře čerpatelných prvků. Kromě těchto prvků atmosférický vzduch obsahuje proměnlivé množství vodních par a jiných plynů a tuhé aerosoly. Jen pro zajímavost: vodní pára a oxid uhličitý jsou v zemské atmosféře nejvíce zastoupenými tzv. skleníkovými plyny. Vzduch je tedy důležitou průmyslovou surovinou, ze které se získává hlavně kyslík, dusík a argon. Znalost jeho složení, fyzikálních a chemických vlastností napomáhá při návrhu vakuových zařízení a vývoji technologií. [6]

1.7 Vytváření vakua

K vytvoření vakua je potřeba vývěva, což je prvek, kterým prochází objem plynu přes nějakou plochu *A*. Dnešní vývěvy dovolují získat tlak řádově 10^{-12} Pa, tento tlak není možno dosáhnout jedním typem vývěvy, musíme zkombinovat použití více druhů. Každá vývěva je schopná čerpat v určitém rozmezí tlaků.

Veličinami, udávanými výrobcem, charakterizující vývěvu jsou čerpací rychlost *S* a mezní tlak p_0. Čerpací rychlost je definována, jako změna objemu čerpaného plynu za čas:

$$S = \frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}t},$$

kde *V* je objem a *t* čas. Často používanou jednotkou čerpací rychlosti je $\mathrm{l} \cdot \mathrm{s}^{-1}$. Objemový tok plynu transportovaný vývěvou je dán vztahem:

$$q_{pV} = S \cdot p,$$

kde *p* je tlak na přírubě vývěvy. Jednotkou objemového toku plynu transportovaného vývěvou je $\mathrm{Pa} \cdot \mathrm{l} \cdot \mathrm{s}^{-1}$.

Čerpací rychlost *S* lze také vyjádřit pomocí tlaku na vstupu, mezního tlaku, plochy otvoru příruby *A*, jako [3],s. 6:

$$S = 3{,}64 \cdot A(p_1 - p_0)\sqrt{\frac{T}{M}},$$

kde *T* je teplota, *M* hmotnost částic a p_0 je mezní tlak. Vývěva by tedy měla mít velký vstupní otvor a nízký mezní tlak.

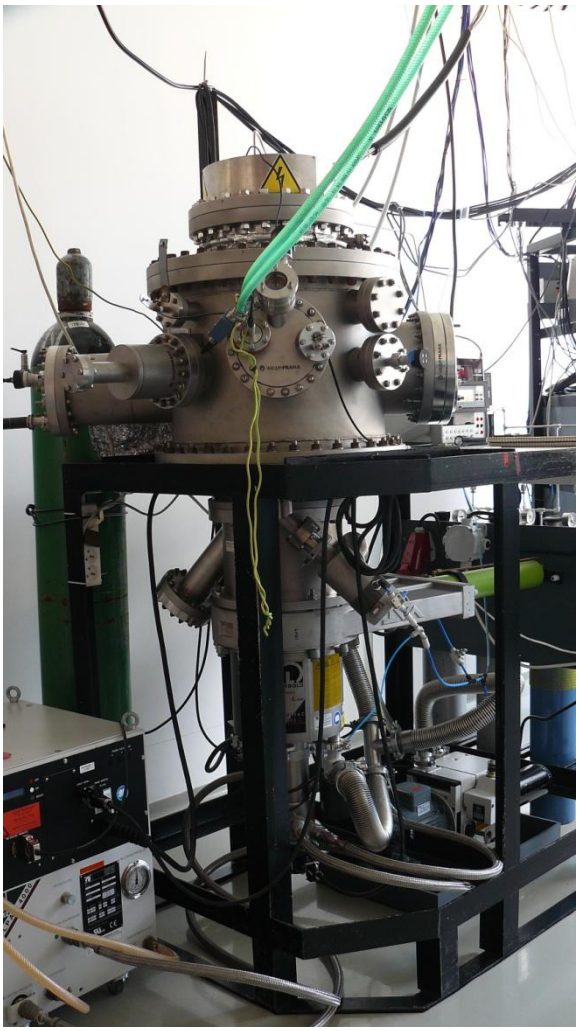
Z termodynamiky plyne, že tlak v systému můžeme snížit jedním, nebo spojením několika dalších postupů [3],s. 7:

- Snížením teploty systému, při konstantním objemu a látkovém množství.
- Zvýšením objemu, při konstantní teplotě a látkovém množství.
- Snížením látkového množství, při konstantním objemu a teploty.

2 Stávající Depoziční komora

2.1 Depozice pomocí metody IBD

Na Ústavu fyzikálního inženýrství je umístěná a provozovaná vakuová aparatura pro depozici tenkých vrstev pomocí iontového svazku, tedy IBD (Ion Beam Deposition), (**obr. 1**). Metoda IBD především slouží k nanášení tenkých vrstev s tloušťkou v řádu jednotek nanometrů. Depozice pomocí iontového svazku je založena na procesu iontového naprašování, při kterém pomocí rychlých iontů vyrážíme atomy z terče, které následně dopadají na substrát. V následujícím textu se budu věnovat popisu stávající komory a jejím jednotlivým částem.



Obr. 1 *Depoziční komora pro naprašování metodou IBAD*

2.2 Vakuum v komoře

Příprava čistých tenkých vrstev, bez příměsí, je možná pouze s využitím vakua. Vakuum hraje významnou roli při depozici pomocí iontového svazku. Při nízkém tlaku (UHV) v komoře zajistíme, aby se na povrchu vzorku neusazovaly. Ve vakuu je minimalizována oxidace deponovaných vrstev, která je nežádoucí. Dalším důvodem, proč je nutné vakuum, je, aby délka střední volné dráhy ionizovaných atomů Ar^{+} byla delší, než vzdálenost od iontového zdroje k terčům, respektive k povrchu substrátu.

Komora je zpočátku čerpána rotační vývěvou na tlaky řádově 10^{0} Pa, při těchto tlacích se rotační vývěva odpojuje a připojuje vývěva kryogenní. Teprve po dosažení HV (High Vacuum), tj. tlaků10^{-8} 10^{-5} Pa, je komora dostatečně vyčerpána a může se začít s depozicí.

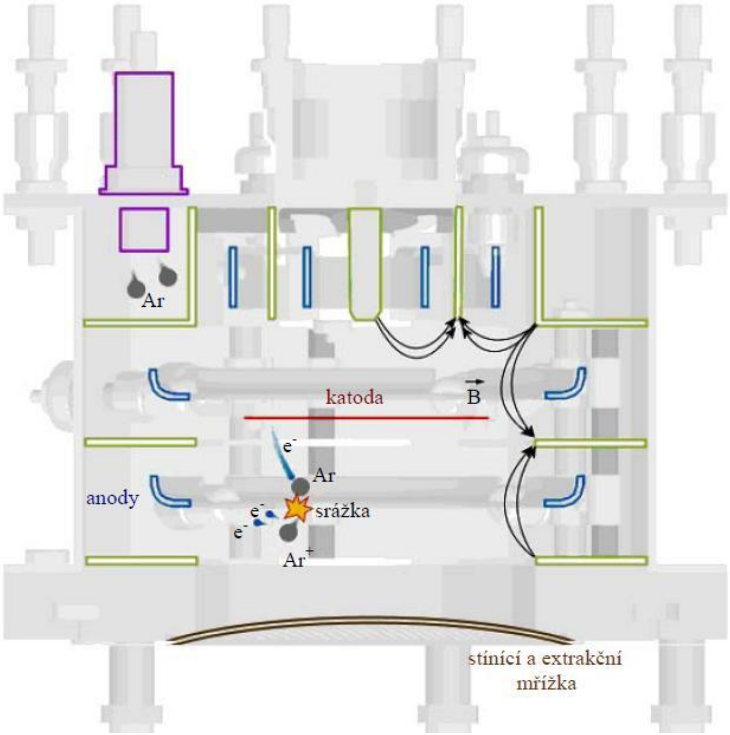
Proto dosažení takovéhoto tlaku je třeba dodržet určité konstrukční zásady. Důležitou roli hraje použitý materiál, opracování a čistota použitého materiálu. Používané materiály jsou značně omezeny, nejčastěji se využívá nerezová ocel 17 240 (ČSN 41 7240). Při použití jiných materiálů (Al, Cu, dural) klesá kvalita vakua. Velké využití zde najdou i keramiky, teflon, sklo, viton, kapton a další. Keramika a kapton se využívají zejména jako izolační prvky, z vitonu se například vyrábí těsnění. Příruby jsou těsněny měděným těsněním, nebo vitonem (často rozebíratelné příruby).

Obr. 2 *Provrtané šrouby. Převzato z [5]*

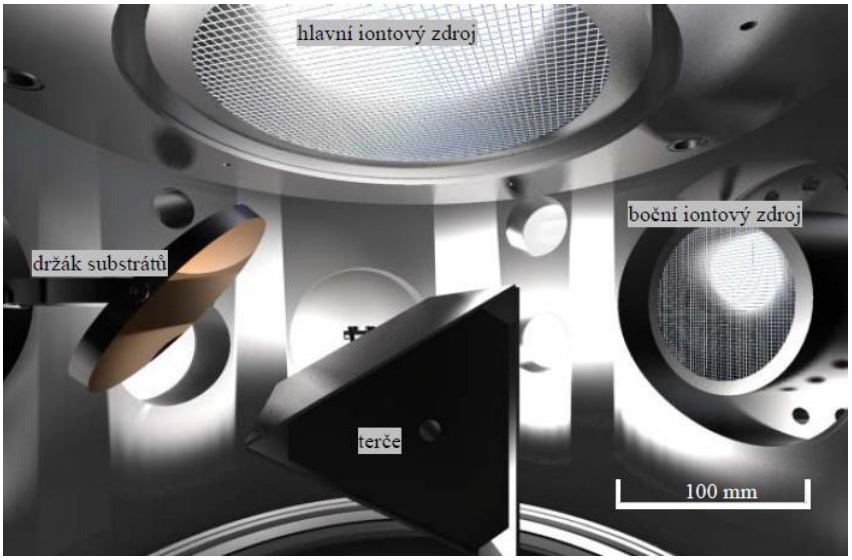
Šrouby jsou například provrtávány (**obr. 2**), aby objem pod utaženým šroubem bylo snadné vyčerpat, nebo vyrobíme průchozí díry. Výše byly nastíněny základní věci, se kterými jsem se musel seznámit, než jsem se začal zabývat úvahami o modernizaci aparatury.

2.3 Uspořádání komory

V horní části komory je umístěn hlavní plasmový iontový zdroj. Wolframové vlákno je žhaveno a termoemisí emituje elektrony, které jsou následně urychleny potenciálovým rozdílem 40 V mezi katodou a anodou. Jejich trajektorie jsou zakřiveny magnetickým polem permanentních magnetů do tvaru šroubovic, tím se zvýší pravděpodobnost srážky s pracovním plynem a následné ionizace. Jako pracovní plyn se zpravidla využívá argon, nebo jiné vzácné plyny. Tyto plyny jsou vhodné, protože špatně reagují s ostatními prvky, jejich hladiny jsou plně obsazeny elektrony. Z tohoto důvodu nevytvoří vazbu s odprašovaným materiálem. V prostoru zdroje vznikne za příznivých podmínek takzvaný „glow-discharge“, neboli studené plasma, z jejíhož povrchu jsou extrakční mřížkou vytahovány ionty a urychleny směrem k terči. Průměr iontového svazku je 150 mm, (**Obr. 3**).

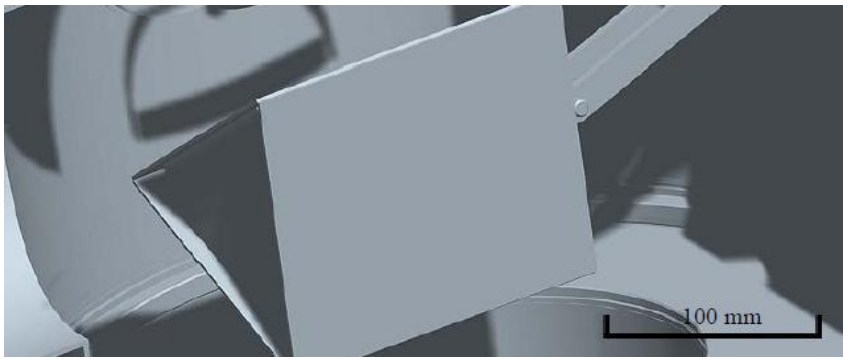


Obr. 3 *Princip činnosti iontového zdroje. Model zdroje vytvořen v programu Pro Engineer. Převzato z* [2].



Obr. 4 *Rozmístění prvků v depoziční komoře. Model vytvořen v programu Pro Engineer. Obrázek vytvořil Ing. Jan Novotný v programu 3D Studio Max. Převzato z [2].*

Trojhranný terč (**obr. 5**) je umístěn ve středu komory na otočném rameni, na každé ze tří ploch je připevněna deska s materiálem, který chceme deponovat. Díky otáčení terče lze měnit deponovaný materiál a úhel mezi deskami terče a substrátem. Plocha, ze které je materiál odprašován, v našem případě, svírá uhel 30˚ se dnem komory a 22˚ s povrchem substrátu. Při dopadu iontů Ar^+ na terč dochází k odprašování materiálu, který dopadá na substráty.

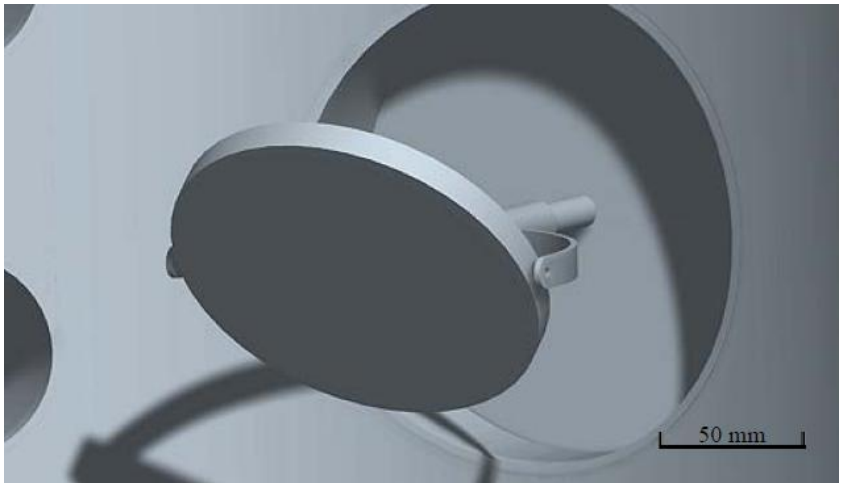


Obr. 5 *Trojhranný terč. Model vytvořen v programu Pro Engineer. Převzato z [2] .*

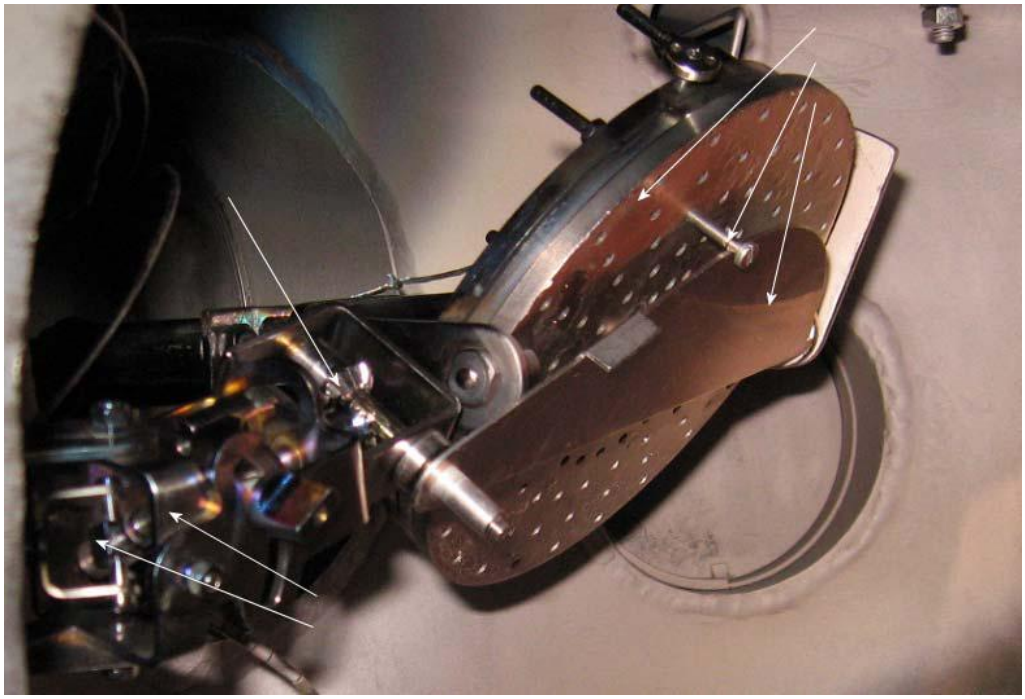
Tenká vrstva může vzniknout jen na povrchu substrátu (křemík, keramika, sklo…). Substrát neboli vzorek je upevněn na držáku (**obr. 6**), který je uchycen dvěma čepy v přírubě komory. V držáku je vinuto odporové vlákno, s jehož pomocí je možné vzorky zahřívat na teploty 20˚ - 400˚ C. Teplota je měřena pomocí termočlánku.

Před držákem substrátu je umístěna pohyblivá clona (**obr. 7**), kterou lze ovládat kardanovou hřídelí z vnějšku komory. Clona slouží k zakrytí vzorku, pří odprašování zoxidované vrstvy materiálu na terči.

V ose držáku substrátu je umístěn boční iontový zdroj. Zapojení a princip je podobný jako u hlavního iontového zdroje. Je zde rovněž možnost použití různých pracovních plynů. Průměr iontového svazku je menší - 75 mm. [2]



Obr. 6 *Držák substrátů. Model vytvořen v programu Pro Engineer. Převzato z [2].*



Obr. 7 *Fotografie clony v současném stavu. Převzato z [2].*

2.4 Dosavadní nedostatky aparatury

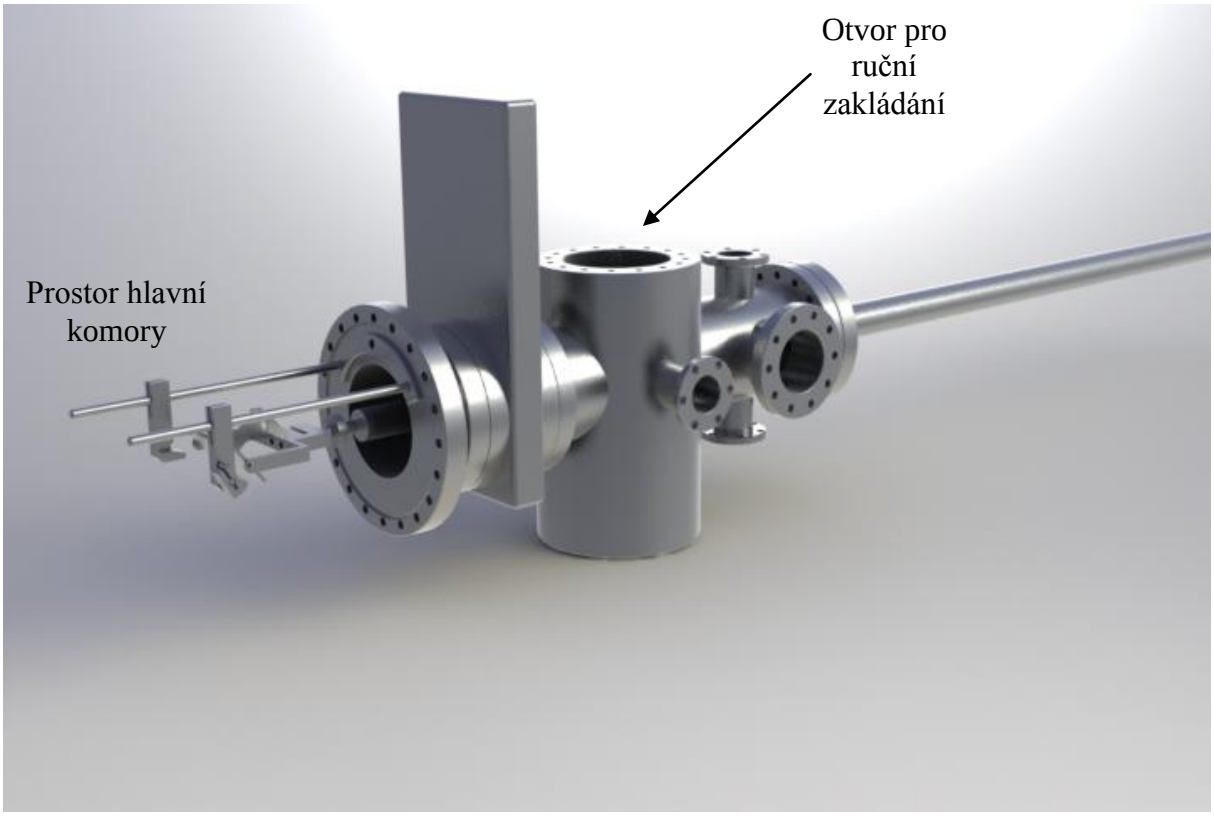
Celý depoziční proces v aparatuře IBD trvá přes tři hodiny - z toho jen několik minut trvá samotná depozice, [2]. Při každé výměně vzorku je nutno zavzdušnit celou komoru, vyjmout držák substrátů a následně provést výměnu vzorků. Celý depoziční proces lze výrazně zkrátit pomocí zakládací komory, jejíž návrh a konstrukce bude dále rozpracována.

3 Návrh na modernizaci

Jak již bylo zmíněno, hlavním předmětem návrhu na modernizaci bude navržení a následná konstrukce zakládací komory. S tím je spojen i transport vzorku ze zakládací komory do hlavní komory a umístění do předem definované polohy. Při návrhu se snažím využít díly, které již jsou na ústavu fyzikálního inženýrství a dosud nebyly využity, což výrazně snižuje rozpočet, ale přináší komplikace. Nejprve byl vytvořen návrh, který se snažil maximálně využít nepoužívané díly z jiných zařízení. Tento návrh měl umožňovat ruční vkládání velkých vzorků. Nakonec bylo rozhodnuto, že bude realizován druhý návrh s menšími vzorky potenciálně umožňující transport vzorků ve vakuu do analytických zařízení.

3.1 První návrh

První návrh předpokládal ruční zakládání vzorků. Mělo být využito komory a zakládací tyče, které již jsou v laboratoři fyzikálního inženýrství. Konstrukční práce se týkaly držáku vzorků, upevnění držáku na magnetickou tyč, umístění držáku do definované polohy a složení jednotlivých dílů ve výslednou sestavu.



Obr. 8 *Sestava se zakládací komorou prvního návrhu. Model vytvořen v programu SolidWorks.*

U tohoto návrhu měla být využita stávající zakládací komora, která je dostatečně velká a tedy vhodná pro ruční zakládání. Komora má čtyři příruby o průměru 100 mm, tento rozměr je vhodný pro připojení vývěvy, pro připojení zakládací komory přes ventil a redukci na hlavní komoru.

V tomto návrhu se vzorky umisťují na držák substrátů. Držák substrátu je vyroben z nerezové oceli 85x40x3 mm. Držák je usazen pomocí čepů do vidlice, která umožňuje měnit úhel držáku vůči terči.

Vidlice je uchycena na magnetickou tyč, která umožňuje lineární a rotační pohyb podél své osy. Pomocí tyče je držák se vzorky dopravován do hlavní komory. Zde je nutno držák umístit do správné polohy.

K tomuto umístění poslouží dok, do kterého se držák usadí pomocí čepů. Náběh na dorazu zajistí, že držák přesně dosedne i v případě prohnutí tyče. Ta by se však měla prohnout pouze o 0,2 mm plném vysunutí (výpočet v kapitole **3.3.1**).

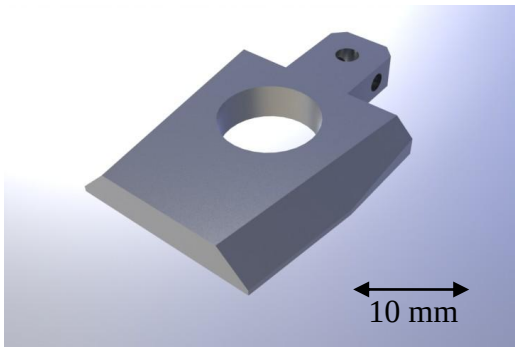
Při výměně vzorků se zavzdušňuje jen zakládací komora, oddělená deskovým ventilem od hlavní komory. K tomuto návrhu byly vypracovány modely a některé výkresy v programu SolidWorks, ale k realizaci nedošlo. Na základě tohoto návrhu byl vytvořen jiný, který by měl více vyhovět potřebám laboratoře.

3.2 Druhý návrh

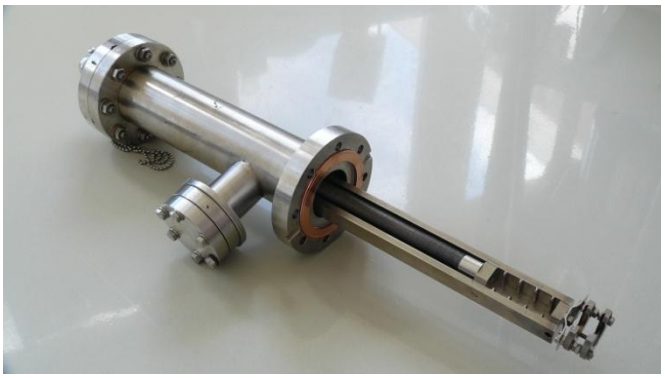
Ke druhému návrhu nás inspirovaly převážně dvě věci; jednak možnost chlazení vzorku a za druhé možnost zakládání vzorků pomocí vakuového kufříku. Využití kufříku by poskytlo možnost transportu vzorků pod vakuem, což by umožnilo například přenesení vzorků z komory (Kauffman) do jiné komory (Antonín) a následné experimentování se vzorkem, bez problémů spojených s oxidací vzorků při transportu v atmosféře.

Zakládání pomocí vakuového kufříku přináší kromě výhod také komplikace v podobě ztíženého umísťování vzorků na držák. Byly využity rybinové paletky (**obr. 10**), které jsou již využívány v laboratoři a jsou kompatibilní s dalším zařízením v ústavu.

Aby bylo možno v budoucnu využít vakuový kufřík pro přenos vzorků pod vakuem, bude třeba vyrobit komoru, která má přírubu (světlost 60 mm) ve vzdálenosti přibližně 90 mm od osy komory. Takováto komora by umožnila umístit více vzorků do kufříku a současně je vyjmout transportní tyčí.



Obr. 10 *Rybinová paletka. Model vytvořen v programu SolidWorks.*

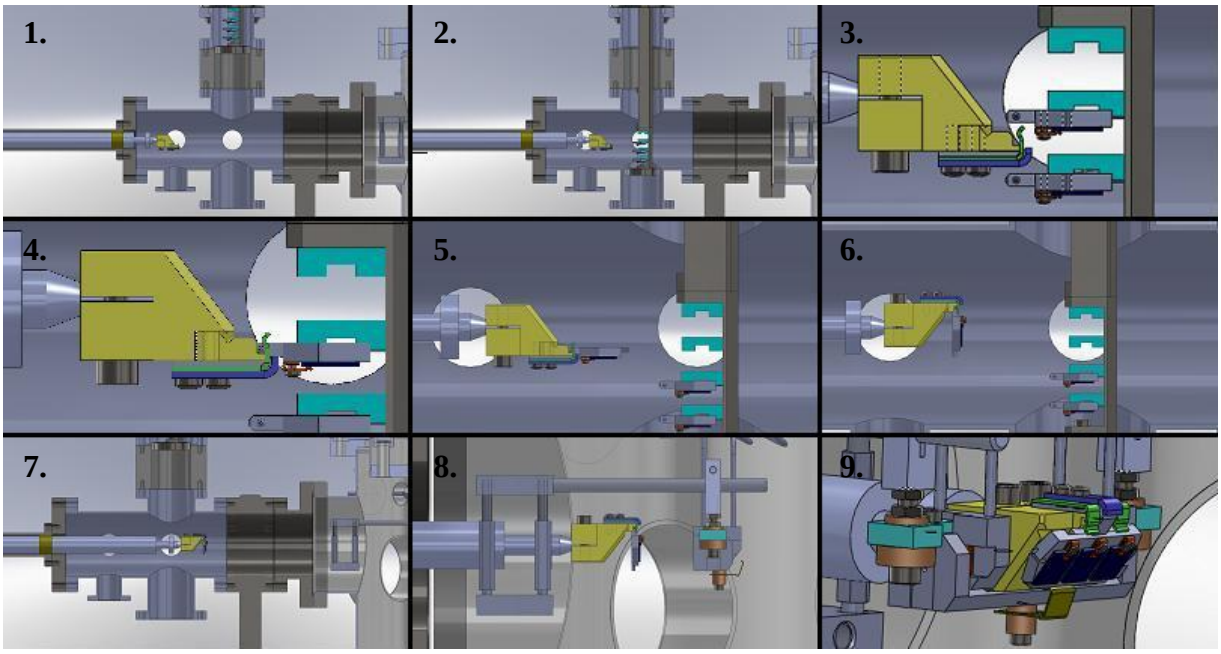


Obr. 9 *Foto vakuového kufříku.*

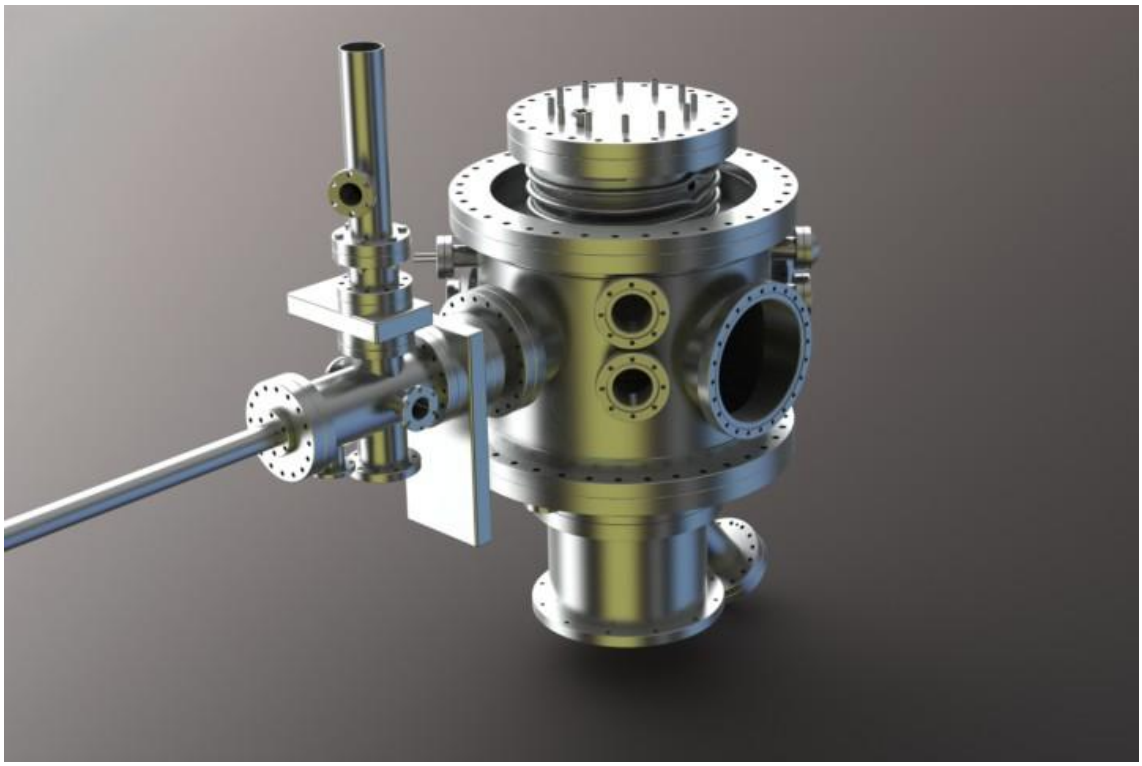
Při zakládání bude vzorek ručně umístěn na paletku, kde se přichytí pomocí klipsy z pružinového plechu. Poté bude paletka se vzorkem nasunuta do rybinové drážky v kufříku. Kufřík se uzavře a připojí k horní přírubě zakládací komory s ventilem. Boční přírubou se kufřík připojí na rotační vývěvu. Při dosažení mezního tlaku rotační vývěvy v prostoru kufříku se otevře ventil, kryogenní vývěva přebere čerpání v celém objemu. Nyní lze vysunout kufřík do zakládací komory, ze které lze nabrat paletku pomocí transportního držáku umístěného na magnetické tyči. Tyč s transportním držákem se nasune do prostoru pod paletku. Posuv kufříku se spustí, až kolík paletky zaskočí za přidržovací perka transportního držáku. Vytažením tyče se vytáhne paletka z kufříku. Pak se posuv kufříku vrátí zpět do těla kufříku, aby bylo možné vzorek zasunout do hlavní komory. Před zasunutím tyče se jejím otočením kolem podélné osy o 180° paletka sklopí do svislé polohy a pak je držák s paletkou připraven pro transport do doku v depoziční komoře.

Dok zajistí dosednutí zadní plochy paletky na čelní plochu transportního držáku, což zprostředkuje jak elektrický kontakt u zahřívací paletky, tak dostatečný tepelný kontakt pro chlazení paletky. Postup při vyjímání vzorku je obrácený.

Na sérii snímků (**obr. 11**) je celý postup zakládání znázorněn.



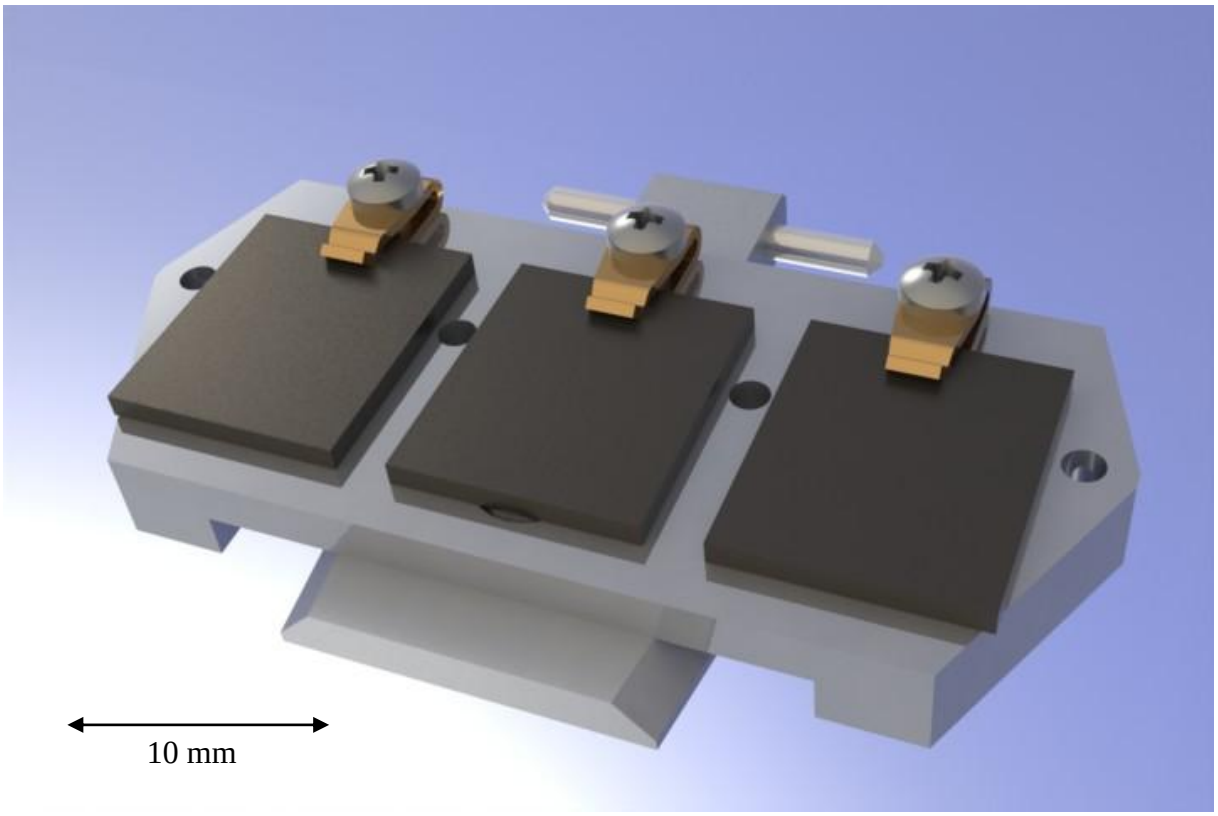
Obr. 11 *Postup zakládání vzorku. 1) Připojení kufříku, 2) Vysunutí posuvu kufříku, 3) Vodorovný pohyb mag. tyče, 4) Vertikální pohyb posuvu kufříku, 5) Odebrání paletky z kufříku, 6) Otočení mag. tyče a sklopení paletky, 7) Transport do hlavní komory, 8) Přijíždění do doku, 9) Pozice v doku, paletka je přitlačena k transportnímu držáku*



Obr. 12 *Celá sestava depoziční komory se zakládací komorou a vakuovým kufříkem.*

3.2.1 Rozšířená paletka

Aby bylo možné deponovat na více vzorků nebo jeden větší, bylo nutné rozšířit paletku. Základem je klasická rybinová paletka (**obr. 10**), která má odfrézovanou její čelní plochu do hloubky 1 mm. Na sníženou plochu je přišroubována rozšiřující část, tvořená duralovou destičkou o tloušťce 4 mm s vybranou střední částí na polovinu. Materiál byl vybírán s ohledem na schopnost vedení tepla, proto slitiny hliníku nebo mědi. Měď není vhodná pro styk se vzorkem, kvůli možné difuzi atomu mědi do vzorku. Proto byla vybrána hliníková slitina. Rozšířená paletka je zezadu opatřena třemi plochami, které leží v jedné rovině, kvůli chlazení paletky. Tvar rozšířené části je přizpůsoben prostoru ve vakuovém kufříku. Paletka je dostatečně velká aby na ni bylo možno umístit tři vzorky o rozměrech 10x12 mm. Vzorky jsou přichyceny pomocí plechových klipsen, které dostatečně přitlačí vzorek na paletku.



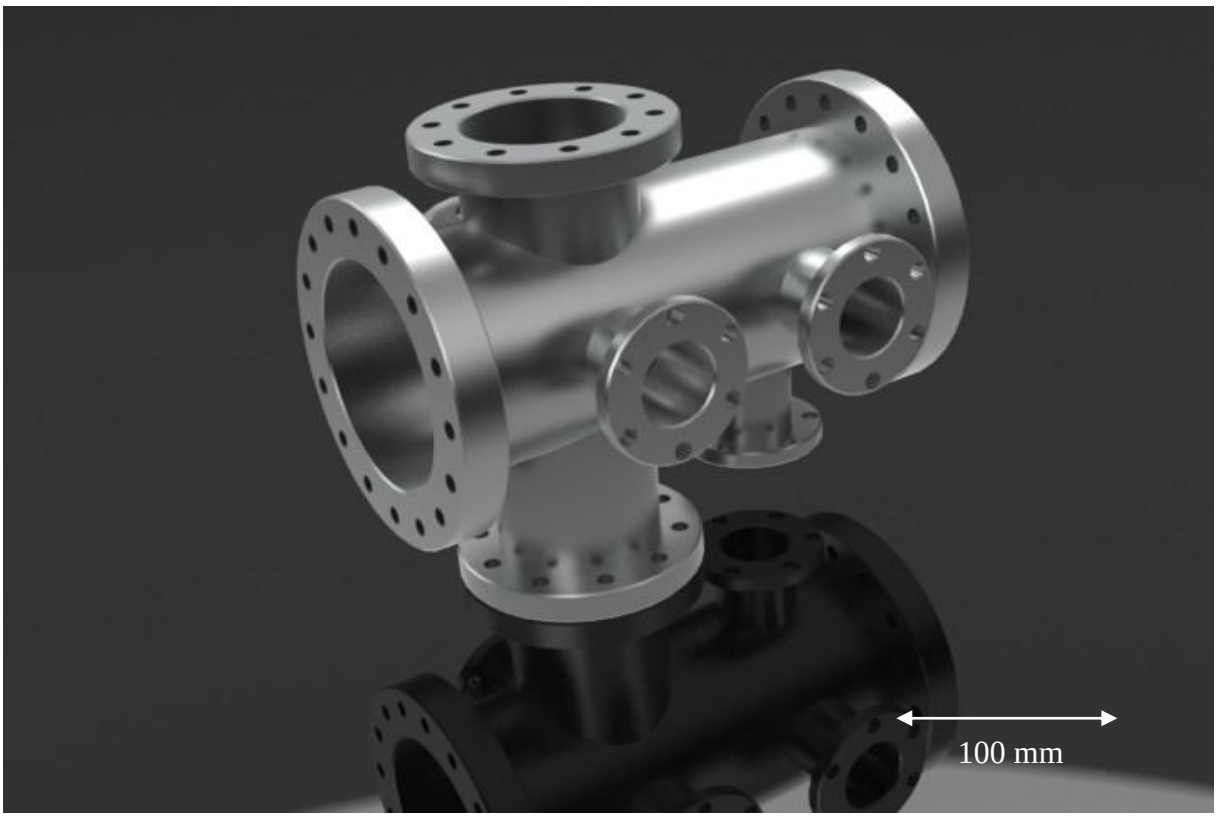
Obr. 13 *Rozšířená paletka se třemi vzorky. Model vytvořen v programu SolidWorks.*

3.2.2 Zahřívací paletka

Obr. 14 *Fotografie zahřívací paletky.*

Pomocí zahřívací paletky je možné vzorek zahřát až na teplotu 1200 °C. Ohřev je založen na rozdílu potenciálů přiložených na krajích vzorku. Vzorek se upevní na tuto speciální paletku, která je rozdělena na poloviny, které jsou odizolovány pomocí keramických podložek. Paletka je opatřena kolíkem a rybinovým úkosem.

3.2.3 Zakládací komora

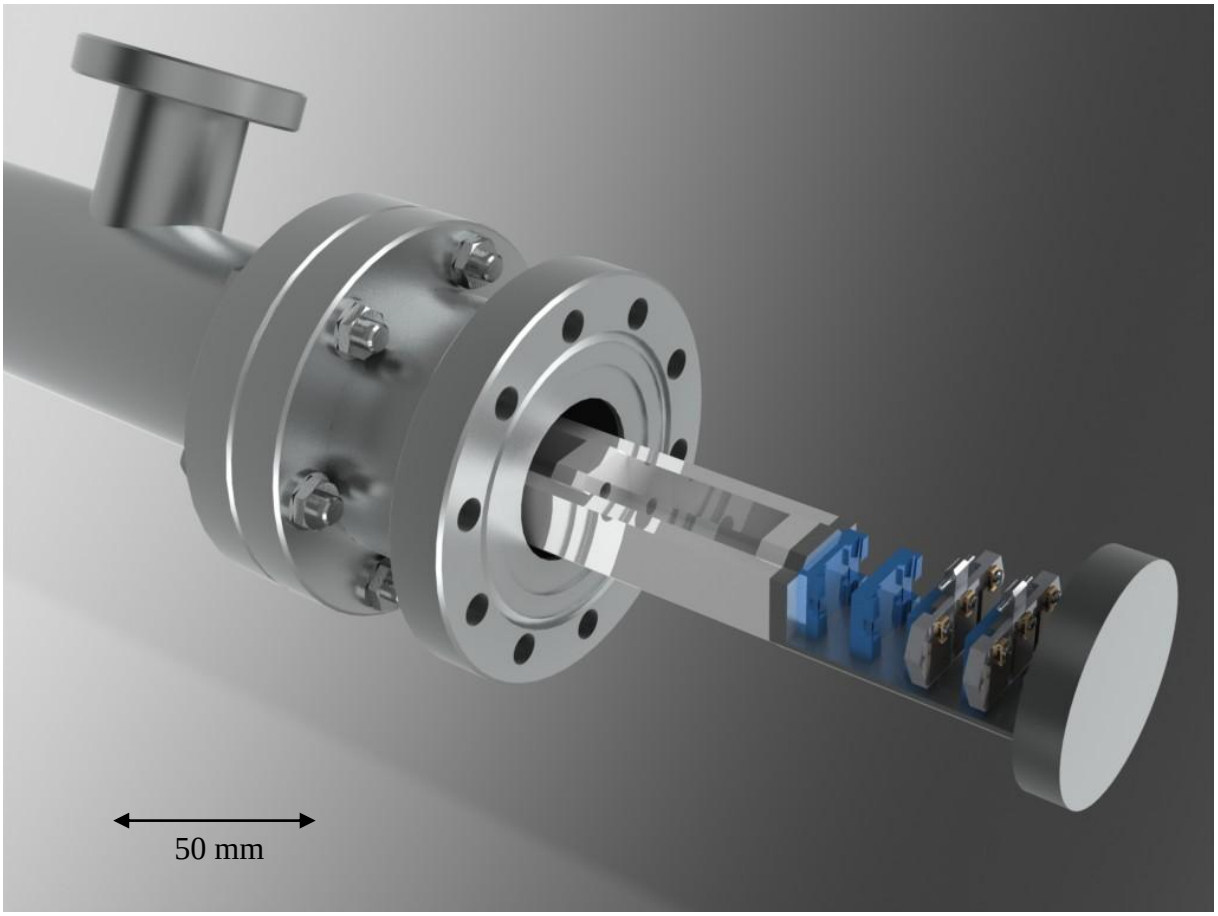


Obr. 15 *Zakládací komora, na jejíž horní přírubu se připojí přes ventil vakuový kufřík. Model vytvořen v programu SolidWorks.*

Komora, která je k dispozici a bude při testování transportu vzorků využita, má přírubu pro připojení kufříku příliš daleko od osy komory a kufřík nedosáhne do dostatečné hloubky i při plném vysunutí. Osa příruby pro připojení kufříku s osou komory jsou mimoběžné, což ztěžuje nabírání paletek. Z těchto důvodů byla navržena komora, která splňuje všechny požadavky pro přenos vzorků pod vakuem. Příruby jsou vzdáleny přibližně 90 mm od osy komory. Dvě příruby se světlostí 70 mm zaručují dostatek prostoru pro manipulaci s kufříkem, další tři příruby s vnitřním průměrem 35 mm umožní připojení měrky tlaku a vývěvy. Komora je oddělena ventilem od hlavní komory, to umožní (při zavřeném ventilu) napuštění komory plynem Ar^+ pro ochlazení vzorku po zahřívání (kapitola **3.2.2**).

3.2.4 Vakuový kufřík

Použitím vakuového kufříku se zkrátí celková doba procesu depozice, protože se bude čerpat podstatně menší objem. Vakuový kufřík umožňuje v budoucnu realizovat záměr transportovat vzorky z depoziční komory do analytické bez expozice na atmosféře.

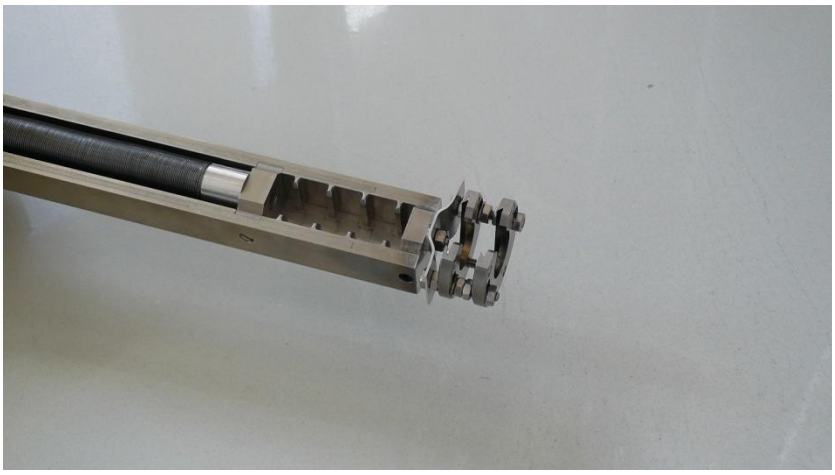


Obr. 16 *Vakuový kufřík s mezikusem a prodloužením. Model vytvořen v programu SolidWorks.*

Užití kufříku vyžaduje jeho úpravy. Vnitřní prostor není dostatečně velký pro transport rybinových paletek, natož rozšířených. Proto byl navržen mezikus, který je našroubován na kufřík a slouží, jako jeho prodloužení a k rozšíření vnitřního prostoru. Mezikus je opatřen na jedné straně otočnou přírubou se světlostí 70 mm pro připojení stávajícího kufříku a na druhé straně přírubou s dosedací plochou pro dno upraveného kufříku a zároveň je tato příruba navržená pro připojení na přírubu ventilu o světlosti 60 mm.

Na vnitřní tělo kufříku je našroubováno prodloužení ve tvaru písmene „C“, ve kterém jsou upevněny držáky pro paletky. Ve čtyřech držácích může být uložena jakákoli kombinace rozšířených i původních rybinových paletek. Ke spodní ploše prodloužení je přišroubováno dno původního kufříku.

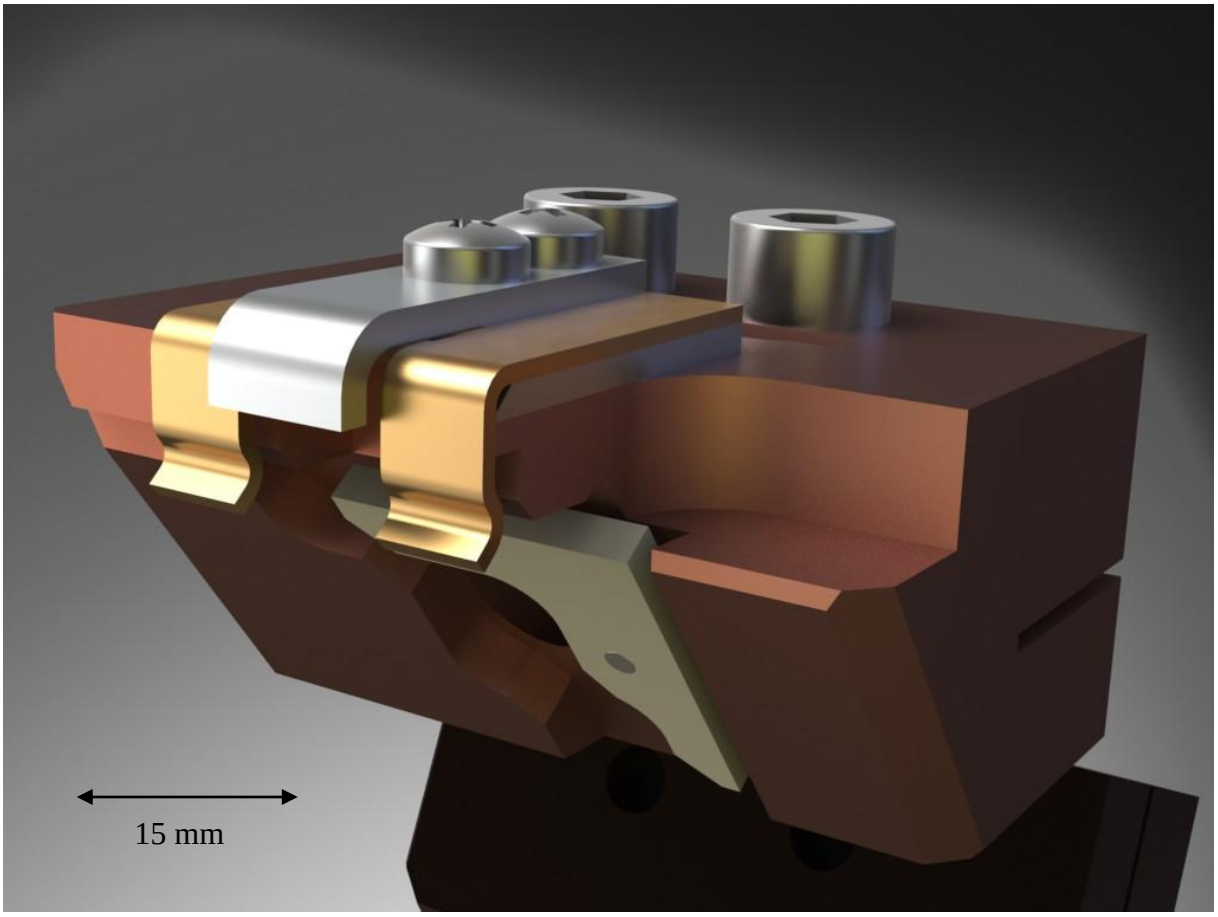
Vzorky na rybinových paletkách se umisťují ručně do držáků s rybinovou drážkou. Paletky jsou v držácích uloženy ve vodorovné poloze, to umožňuje jednoduché uchopení paletky pomocí magnetické tyče.



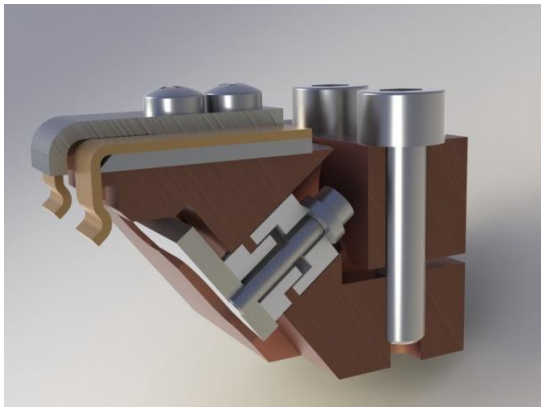
Obr. 17 *Fotografie posuvu kufříku. Prozatímní úprava vakuového kufříku umožňující využití stávající zakládací komory.*

Transport pod vakuem, neboli těsnost kufříku jsme netestovali, kvůli výše zmíněnému problému se zakládací komorou. Kompenzace zmíněných výrobních nepřesností stávající zakládací komory byla provizorně realizována pomocí nerezového plechu a jeho prodloužení dvěma rybinovými šuplíky (**obr. 17**). Tímto jsme však přišli o dno a možnost kufřík uzavřít.

3.2.5 Transportní držák paletek



Obr. 18 *Transportní držák paletek s elektrickým kontaktem. Model vytvořen v programu SolidWorks.*



Obr. 19 *Řez transportním držákem paletky. Zobrazení přivedení rozdílného potenciálu pro ohřev vzorku. Model vytvořen v programu SolidWorks.*

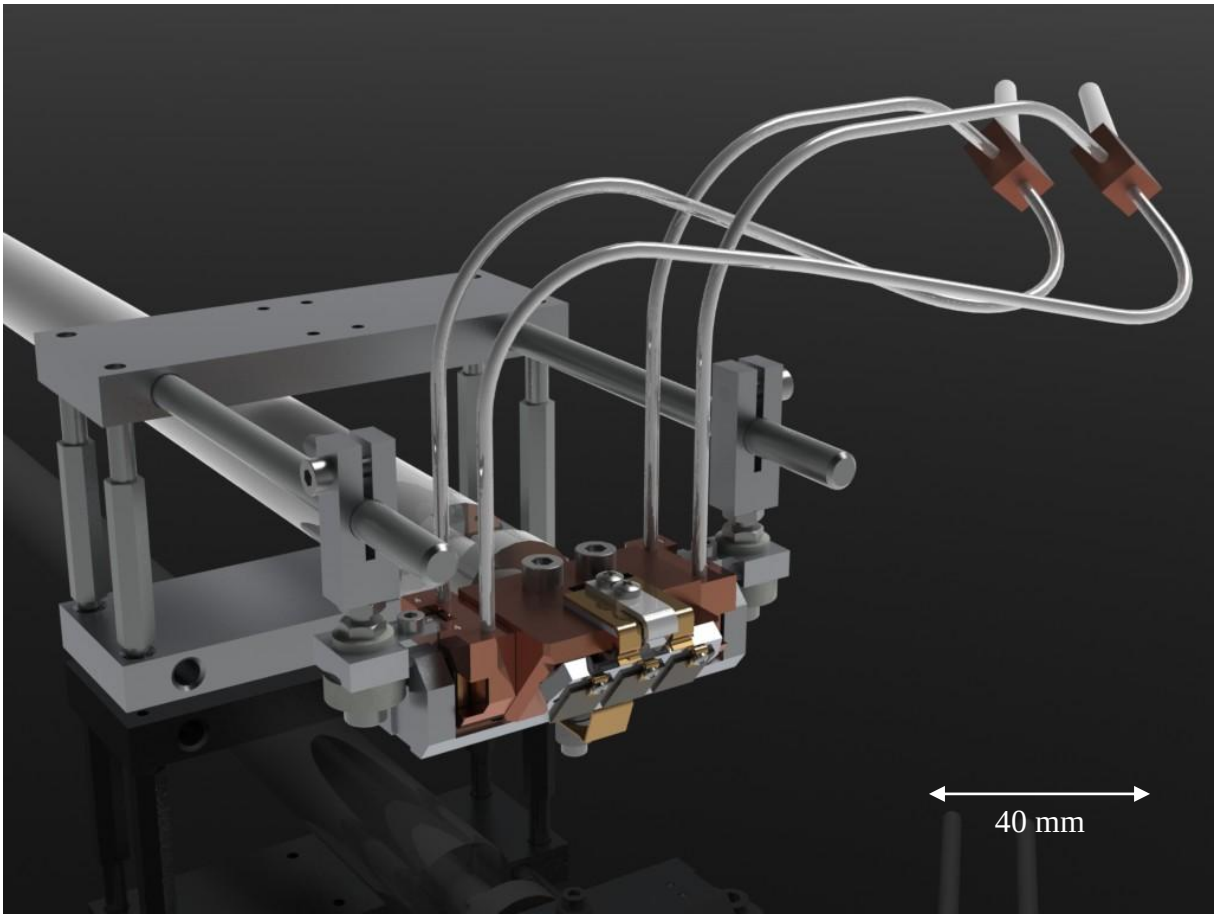
Transportní držák paletek je přichycen na magnetickou tyč. Mezi držákem paletek a magnetickou tyčí je vložena kaptonová folie, kvůli tepelné a elektrické izolaci. Držák byl navržen tak, aby bylo možné odebírat paletky z kufříku ve vodorovné poloze. Způsob nabíraní a vykládání paletky je realizován dvěma vzájemně na sebe kolmými pohyby. Pohybem kufříku ve svislé poloze a pohybem magnetické tyče ve vodorovném směru. Paletka je uchopena za kolík pomocí pružinových plechů a vytažena z kufříku, po vytažení zůstává ve vodorovné poloze, což zajišťuje plechový doraz na držáku. Při otočení magnetickou tyčí o 180° se paletka zhoupne do svislé polohy. Kolík paletky není na držáku sevřený, to dovolí při dané orientaci magnetické tyče volný pohyb paletky okolo osy kolíku.

Držák je také přizpůsoben ohřevu vzorku (**obr. 19**). Tělo držáku je přivedeno na odlišný potenciál než plech upevněný přes izolační keramiky na čelní ploše. Takto je zajištěn elektrický kontakt pro zahřívací paletku, (**obr. 14**). S využitím těchto paletek je možné vzorek žíhat až na 1200 °C (kapitola **3.2.2**). Vyvrtaná díra v ploše pod paletkou slouží jako prostor pro umístění termočlánku, kterým bude zaznamenávána teplota vzorku. Vybrání horní plochy na jedné ze stran je jako prostor pro tloušťkoměr, s jehož pomocí jsme schopni měřit tloušťku deponované vrstvy, (kapitola **3.2.6**).

3.2.6 Tloušťkoměr

Tloušťkoměr pracuje na principu kmitajícího piezo krystalu. Zaznamenává se frekvence kmitání před depozicí, při deponování se nanese vrstva i na krystal a změní se jeho hmotnost. Při měření frekvence po depozici se zaznamená jiná hodnota, právě kvůli nárůstu hmoty na krystalu. Z těchto frekvencí se nepřímou metodou zjistí tloušťka nanesené vrstvy. Proto musí být krystal ve stejné rovině a co nejblíže vzorků. Aby bylo možné takto zařízení umístit, bylo nutné odebrání materiálu.

3.2.7 Dok s držákem



Obr. 20 *Dok uchycený na držáku. V doku je zavezený transportní držák paletky, který je svírán chladícími čelistmi. Model vytvořen v programu SolidWorks.*

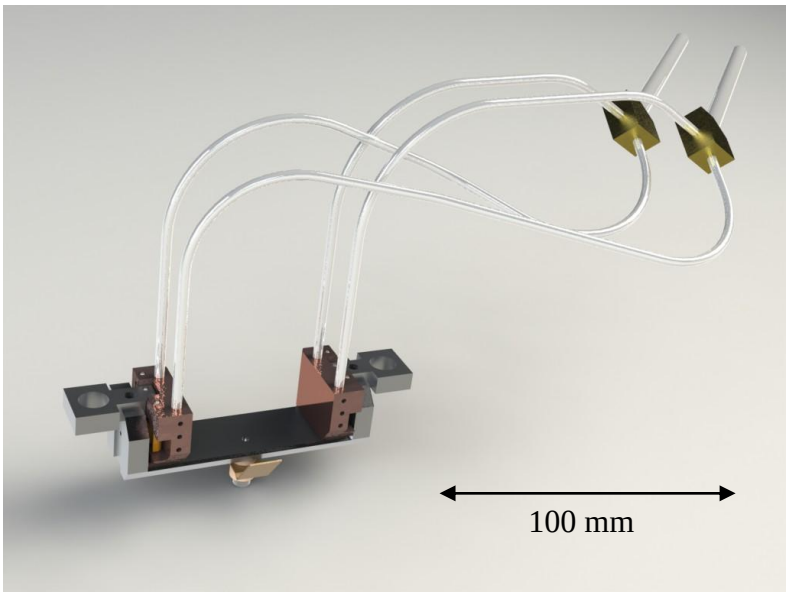
V hlavní komoře je důležité, aby byl vzorek umístěn v přesně definované poloze. V používaném uspořádání to znamená, aby svíral úhel 52° se dnem komory a jeho kolmá vzdálenost od terče je 100 mm. Vzorek také musí ležet v oblasti, do které jsou z terčů vyráženy atomy. Proto je v komoře umístěn na speciálním držáku dok, do kterého zajíždí držák paletek.

Držák doku je jednoduchá rozpěra, ve které jsou našroubovány dvě nosné tyče o průměru 10 mm. Rozpěra je uchycena ve vstupní přírubě pro transport vzorků. Kromě doku je k držáku upevněn i tloušťkoměr (kapitola **3.2.6**). Dok je od držáku odizolován keramickými podložkami, aby se zabránilo přenosu tepla a elektrickému kontaktu. Dok je možné seřizovat ve dvou osách, lze měnit jeho výšku a pozici ve směru osy magnetické tyče.

Držák paletek zajíždí mezi měděné čelisti, které jsou přichyceny k tělu doku pomocí fosforbronzových per a nerezových kolíků. Po zasunutí držáku paletky do doku jsou čelisti pomocí per přitisknuty k bočním stěnám držáku paletky. Čelisti jsou opatřeny systémem kanálků, které zajišťují rozdělení proudu kapalného dusíku, aby chlazení bylo rovnoměrné. Kapalný dusík je do čelistí přiveden pomocí nerezových trubiček o průměru 3 mm.

Na spodní straně těla doku je přichycen přes keramiky nerezový plech, který přitlačí paletku k transportnímu držáku paletek. Tím zajišťuje v případě zahřívací paletky (kapitola **3.2.2**)

elektrický kontakt a v případě klasické, nebo rozšířené paletky (kapitola **3.2.1**) dostatečný tepelný kontakt.



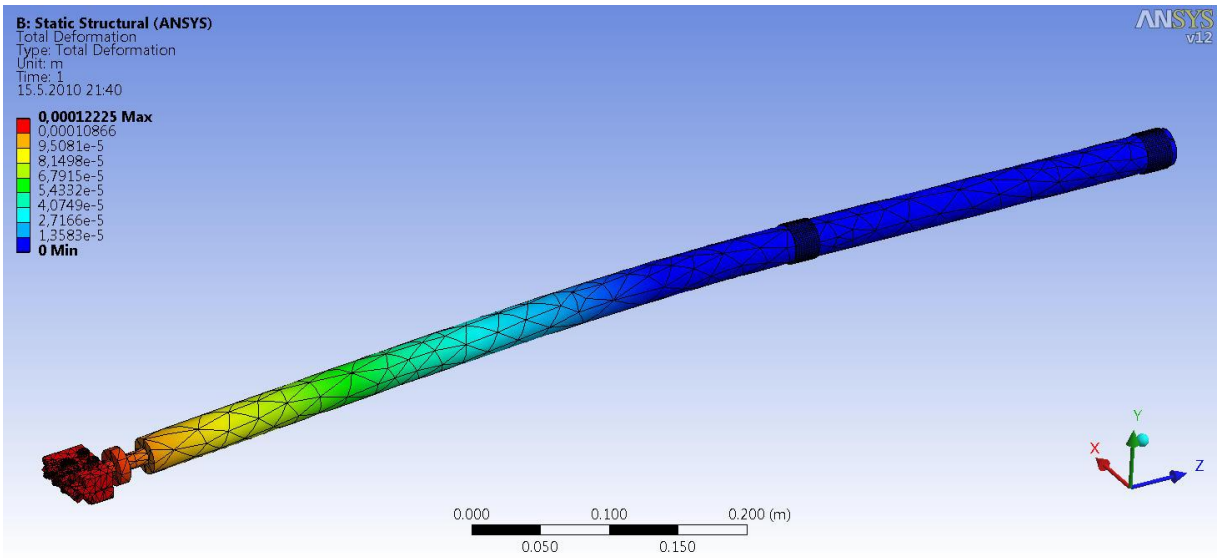
Obr. 21 *Dok s chladícími čelistmi a způsobem vedení dusíku. Model vytvořen v programu SolidWorks.*

3.3 Kontrolní výpočty

Pro ověření funkčnosti některých prvků byly provedeny simulace v programu ANSYS 12.

3.3.1 Průhyb magnetické tyče

Tento výpočet byl proveden k podpoření úvah o pozicování vzorku v komoře pomocí doku. Bylo ověřeno, že průhyb tyče je zanedbatelný. Nakonec byl však dok navržen tak, aby se jeho svislá i vodorovná poloha dala měnit (kapitola **3.2.7**).



Obr. 22 *výsledek analýzy průhybu tyče. Simulace vytvořena v programu Ansys.*

Geometrie sestavy byla importována z programu SolidWorks do prostředí „Workbench“ v Ansys, kde byly zároveň zvoleny potřebné materiálové charakteristiky pro přiřazení jednotlivým komponentám. Byl zde zvolen i typ úlohy, tj. statická strukturální analýza. V prostředí „Mechanical“ byly pak dílům přiřazeny již zvolené materiálové charakteristiky, dále byla využita automatická detekce kontaktních ploch, zadány okrajové podmínky (válcová podpěra v místech pouzder magnetické tyče) a zatížení (vlastní vahou – gravitace). Byla vytvořena síť konečných prvků s využitím řízení programem. Výsledky výpočtu jsou zobrazeny na **obr. 22**.

3.3.2 Simulace přestupu tepla při chlazení

Pomocí programu Ansys byla taktéž provedena simulace teplotního pole a vedení tepla. Simulace byly provedeny, abychom se seznámili s problémy při chlazení vzorku, abychom si vytvořili představu o tomto ději.

Teplotní pole v závislosti na souřadnicích a čase je řešeno pomocí Fourierovy diferenciální rovnice vedení tepla:

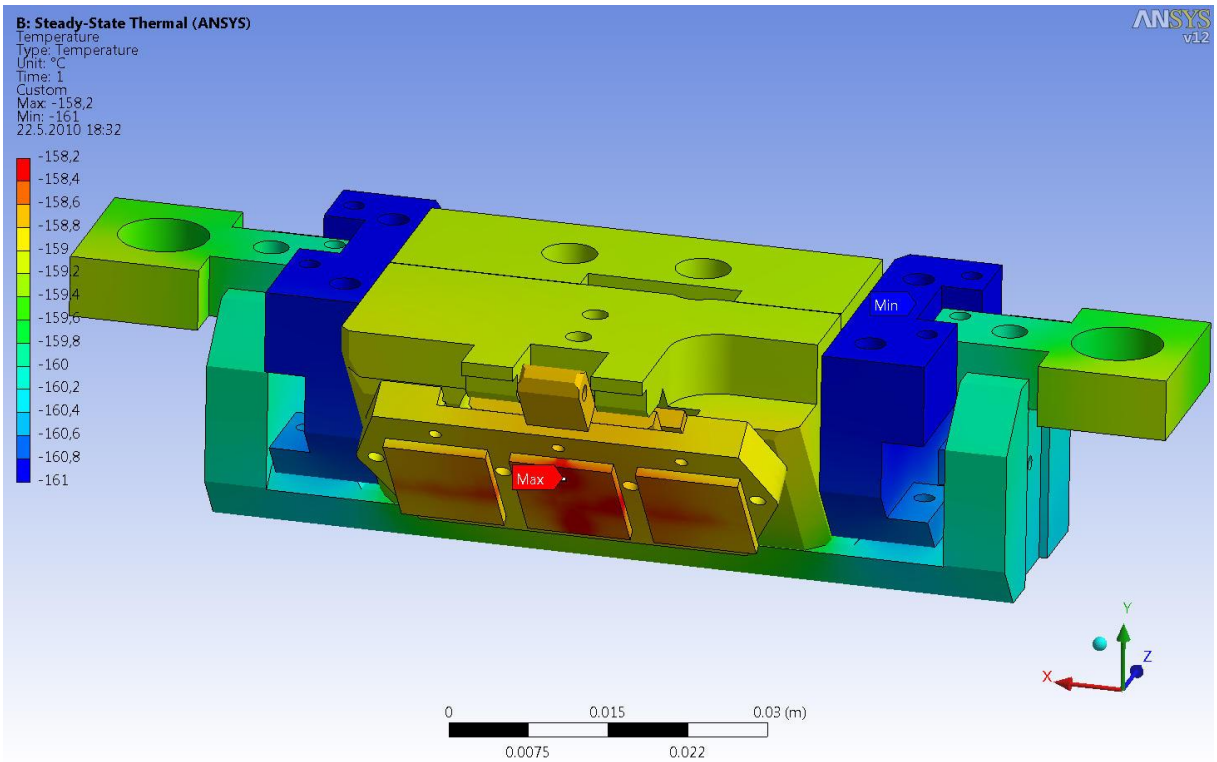
$$\rho c\left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v}\nabla T\right) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + q_z \,,$$

kde ρ je hustota, c je měrná tepelná kapacita, T teplota, t čas, q_z je objemový zdroj tepla, λ je součinitel tepelné vodivosti, $\vec{v} = (v_x, v_y, v_z)$ je vektor rychlosti přestupu tepla, ∇ je operátor gradientu a $\nabla \cdot$ je operátor divergence.

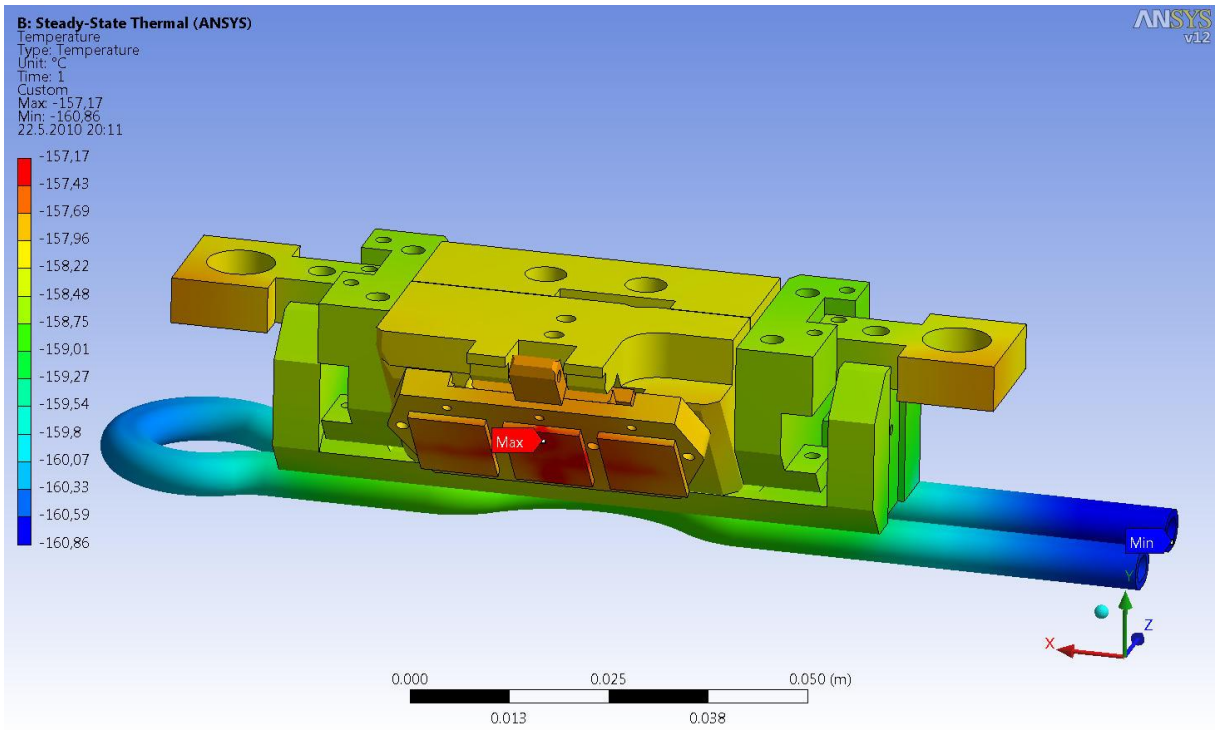
Při simulaci uvažujeme ustálený stav. Plošný výkon od dopadajících atomů nanášeného materiálu, který ohřívá vzorky a příslušné plochy držáku. Kapalný dusík při protékání systémem kanálků čelistí odebírá teplo.

Výpočty lze brát jen ilustrativně, okrajové podmínky byly odhadnuty, jako níže zmíněný plošný výkon a koeficienty přestupu tepla na styčných plochách jednotlivých dílů stejně tak, jako součinitel přestupu tepla z čelistí do tekutého dusíku. I při změnách těchto parametrů se interval a rozložení teplot příliš neměnily, tudíž lze říci, že teplotní pole na vzorcích je dostatečně homogenní.

Uvažovaný plošný tepelný tok je 500 $W \cdot m^{-2}$, součinitel přestupu tepla je 1000 $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$, teplota kapalného dusíku 108,15 K a teplota okolí je 295 K. Na obrázcích jsou dva případy: První případ je chlazení pomocí čelistí (**obr. 23**), druhý je s chlazením pomocí trubičky vedené pod tělem doku (**obr. 24**).



Obr. 23 *Simulace teplotního pole při chlazení čelistmi. Simulace provedena v programu Ansys.*



Obr. 24 *Simulace teplotního pole při chlazení trubkou přichycenou na spodní straně těla doku. Simulace provedena v programu Ansys.*

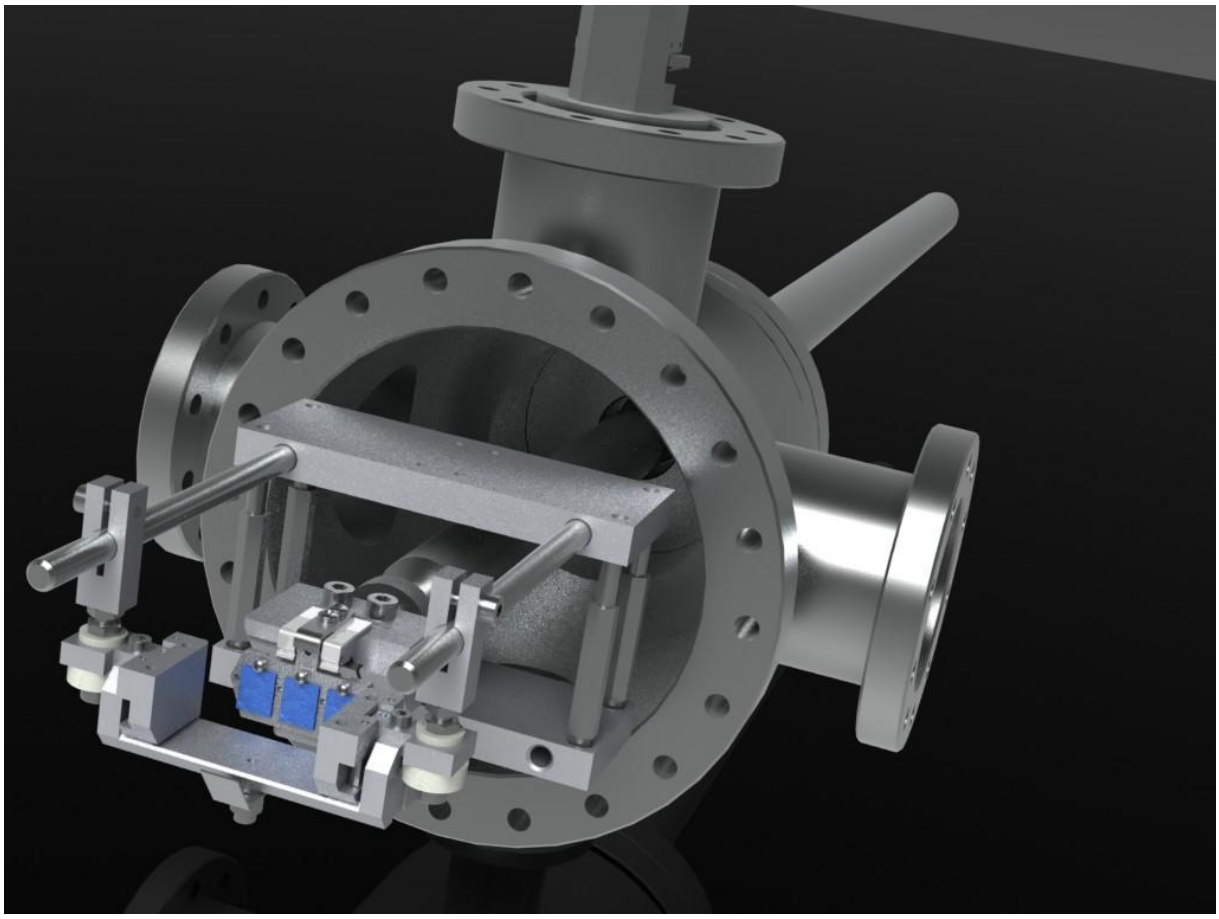
V obou případech je celá sestava ochlazená téměř na teplotu kapalného dusíku, teplota kolísá v rozmezí 3 °C.

Závěr

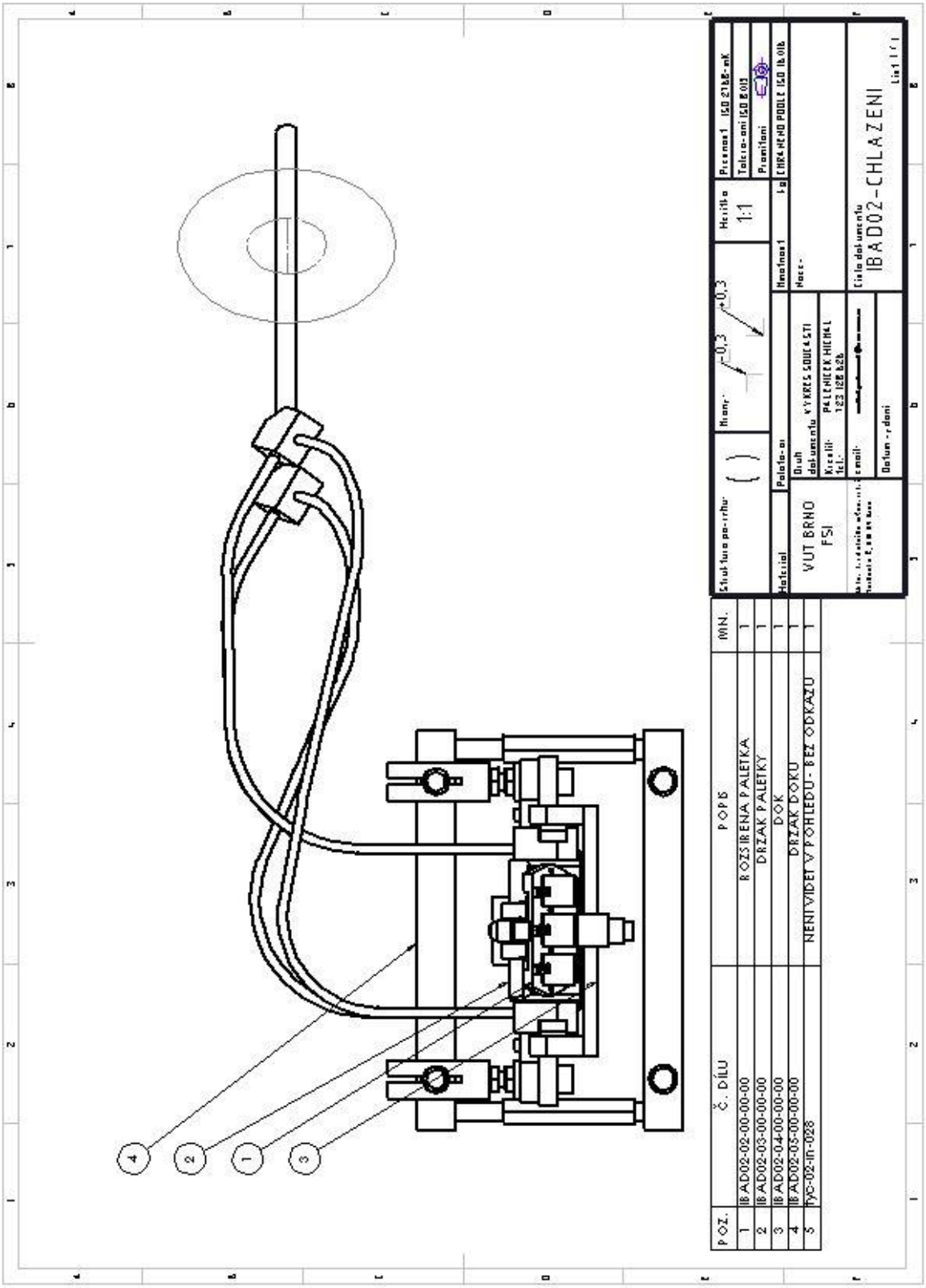
Výsledkem této práce je návrh a částečná realizace zařízení pro zakládání vzorků do depoziční komory „Kaufman“ na Ústavu fyzikálního inženýrství. Zařízení do budoucna umožní transport vzorků ve vakuu z depoziční komory do analytické komory.

Za tímto účelem byla vybrána druhá navrhnutá varianta s vakuovým kufříkem, který umožňuje transportovat čtyři paletky, z nichž každá může nést tři vzorky o rozměrech 10x12 mm. Vzorky je možné umístit pomocí transportního držáku a magnetické tyče do doku v depoziční komoře. Dok se vzorky je možné ochladit a tak deponovat za nízkých teplot nebo naopak lze vzorek zahřát pomocí zahřívací paletky. Teplota vzorku při depozici bude měřena pomocí termočlánku a tloušťku deponované vrstvy bude možné měřit tloušťkoměrem.

V případě již částečně realizovaného druhého návrhu bude možné provádět depozice za stejných podmínek (bez zavzdušnění depoziční komory) pro sérii 12 vzorků na čtyřech paletkách. Na **obr. 25** je již částečně realizovaná varianta zařízení pro vkládání vzorků do vakua. Některé díly zakládacího systému jsou již vyrobeny, což umožnilo otestování způsobu zakládání na vzduchu, které bylo úspěšné.



Obr. 25 *Sestava s použitím vyrobených součástí a stávající komory. Model vytvořen v programu SolidWorks.*


POZ.
Č. DÍLU
POPIS
MN.
1 IB AD02-02-00-00-00 ROZŠIŘENÁ PALETKA 1
2 IB AD02-03-00-00-00 DRŽÁK PALETKY 1
3 IB AD02-04-00-00-00 DOK 1
4 IB AD02-05-00-00-00 DRŽÁK DOKU 1
5 FYC-02-IN-028 NENÍ VIDĚT V POHLEDU - BEZ ODKAZU 1
VUT BRNO
FSI
IBAD02-CHLAZENI
1:1

Literatura

[1] RUSŇÁK, Karel, et al. *Vakuová fyzika a technika* [online]. Pleň : ZČU, 2009 [cit. 2010-05-14]. Dostupné z WWW: http://www.kfy.zcu.cz/Rusnak/sylabus.fytv.Rus_09.htm

[2] URBÁNEK, Ivan. *Modernizace aparatury IBAD*. Brno, 2008. 69 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické. Vedoucí práce doc. RNDr. Jiří Spousta Ph.D..

[3] ERBEN, Milan. *Vakuová technika: Získávání a měření vakua, využití vakuových technologií*. Pardubice : Univerzita pardubice, 2008. 28 s.

[4] ROTH, A. *Vacuum Technology, Third Impression, Elsevier Science*. Amsterdam, 1996.

[5] LEWVAC. *Produktový catalog,* dostupnot z WWW: http://www.lewvac.co.uk

[6] Air In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , [cit. 2010-05-14]. Dostupné z WWW: http://en.wikipedia.org/wiki/Air

[7] Kinetic theory In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , [cit. 2010-05-14]. Dostupné z WWW: http://en.wikipedia.org/wiki/Kinetic_theory

Seznam příloh

DVD:

- Bakalářská práce v PDF formátu
- Jednotlivé výrobní výkresy DRŽÁKU PALETKY
- Jednotlivé výrobní výkresy DRŽÁKU DOKU
- Jednotlivé výrobní výkresy DOKU
- Jednotlivé výrobní výkresy ROZŠÍŘENÉ PALETKY
- Výkresy a 3D modely REDUKCÍ
- Jednotlivé 3D modely DRŽÁKU PALETKY
- Jednotlivé 3D modely DRŽÁKU DOKU
- Jednotlivé 3D modely DOKU
- Jednotlivé 3D modely ROZŠÍŘENÉ PALETKY
- Jednotlivé 3D modely použitých VENTILŮ
- Jednotlivé 3D modely VAKUOVÉHO KUFŘÍKU a jeho úprav
- 3D model ZAKLÁDACÍ KOMORY
- 3D model MAGNETICKÉ TYČE
- 3D model aparatury IBAD [2], z příloh.
- Některé výrobní výkresy a 3D modely týkající se 1. Návrhu
- Výrobní výkresy týkající se prozatímního řešení
- 3D modely sestav v samo-spouštěcím prohlížeči e-Drawings
- Video postupu zakládání vzorku ve formátu AVI

Veškeré 3D modely jsou ve formátu SolidWorks 2010 (*.sldprt, *.sldasm), výkresy jsou taktéž ve formátu SolidWorks 2010 (*.slddrw) a v PDF. Modely v samo-spouštěcím prohlížeči (e-Drawings) slouží k náhledu na sestavy a díly.