

## VAKUOVÁ LABORATOŘ SŠIEŘ

Původní vakuová laboratoř byla součástí rozsáhlých technologických laboratoří. Bylo v ní asi deset vysokovakuových laboratorních aparatur VS 35 A čerpaných rotační olejovou vývěvou a malou difúzní vývěvou. Jedna z nich byla vybavena napařovacím zařízením se skleněným zvonem (je vidět na pozadí prvního obrázku z fotogalerie). Tou dobou již v laboratoři byla i napařovací aparatura z NDR. Kromě toho škola vlastnila také vysokovakuovou aparaturu PD 170 AZw od firmy Leybold-Heraeus, která byla vybavena hmotnostním spektrometrem na principu selektivního urychlovače iontů.

Někdy po roce 2004 byly technologické laboratoře, včetně vakuové části zrušeny. Kurz vakuové techniky sice pokračoval, ale úlohy vakuového praktika se měřily v jednom z kabinetů za ne zcela důstojných podmínek. V roce 2014 byl tento kabinet vyklizen, a určen k obnově vakuové laboratoře. Proces to byl poměrně dlouhý, ale nakonec úspěšný. V současné době jsou v laboratoři tři vakuové aparatury, které se využívají jednak pro kurzy vakuové techniky, a také pro laboratorní cvičení studentů denního studia oboru Mechanik elektronik.

Lze říci, že dnešní vybavení laboratoře umožňuje důstojný průběh čtyř z šesti nabízených úloh vakuového praktika. Dvě další úlohy (P5 a P6) vyžadují speciální a nákladné přístroje. O jejich pořízení nemá smysl usilovat, jelikož mimo kurzy je využití laboratoře minimální. Nabízet tyto úlohy nám umožňuje firma Vakuum servis z Rožnova p. R., která nám potřebné přístroje zapůjčuje. Pracovníci firmy tyto úlohy i vedou.

V následujícím textu si stručně představíme jednotlivé vakuové aparatury a jejich využití.

### Vakuová aparatura pro generaci jemného vakua

Je to velmi jednoduché zařízení sestávající jen z vakuové komory, rotační olejové vývěvy, zavzdušňovacího ventilu a dvou vakuometrů.



*Vakuová aparatura pro generaci jemného vakua*

Rotační vývěva s nominální čerpací rychlostí  $2,5 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$  byla školou zakoupena v roce 2002 pro dnešní úlohu P2 – Měření čerpací rychlosti rotační vývěvy metodou stálého objemu (pro studenty denního studia má úloha označení V2). Vakuová komora o objemu 50 L je pro tuto vývěvu poněkud velká, ale to je na druhou stranu výhodou při smyslovém odečítání tlaku.

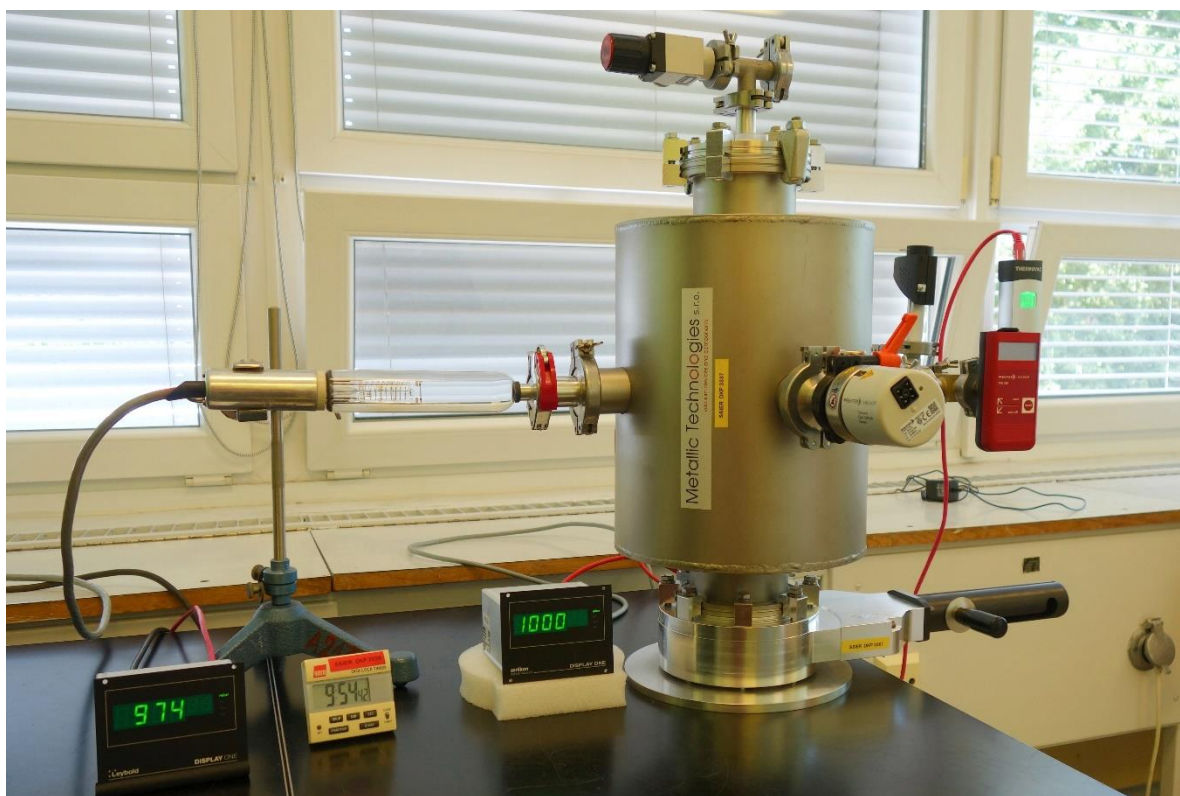
V roce 2018 byl zakoupen vakuometr TPG 202. Jeho výhodou je, že využívá dva principy, tepelný (Pirani) a membránový (piezo), což umožňuje měřit tlak plynule od atmosférického tlaku až pod úroveň mezního tlaku měřené vývěvy. Smyslově odečítané hodnoty se zapisují přímo do tabulky programu excel s potřebnými výpočty. (Prozatím zůstává nevyužita možnost automatického sběru naměřených dat.)

### Vysokovakuová aparatura KB 2016

Je to aparatura postavená svépomocí, většinou z použitých dílů. Je to největší a nejlépe vybavená vakuová aparatura, skýtající mnoho možností využití. Čerpací systém je tvořen turbomolekulární vývěvou s nominální čerpací rychlostí 150 L/s (dar firmy HVM plasma Praha), jež je předčerpávána rotační olejovou vývěvou (dar firmy Vakuum servis z Rožnova p. R.). Je-li aparatura denně čerpána, můžeme očekávat zbytkový tlak v komoře až  $6 \cdot 10^{-7}$  hPa. Aparatura není vybavena předvakuovým ani obtokovým ventilem, což poněkud zužuje její pohotovost. Mezi čerpacím systémem a vakuovou komorou je deskový ventil (nákup SŠIEŘ). Vakuovou komoru o objemu 17 L dodala firma Metallic Technologies z Dobrušky.

Ke stálému vybavení patří kombinovaný vakuometr PTR 090 (Pennig / Pirani), který ale není vidět, protože je umístěn na zadní straně aparatury a vakuometr IVM 050 s ionizační měrkou se žhavou katodou (skleněná trubice vlevo, elektronková řídicí jednotka je mimo záběr). Vakuometr je starý dobrých padesát let, ale stále slouží.

Další vybavení se mění podle potřeby. Vedle zavzdušňovacího ventilu na víku komory momentálně chybí dávkovací ventil, který je na hostování na aparatuře HiCube Eco (škola vlastní pouze jeden kus).



*Vakuová komora vysokovakuové aparatury KB 2016 s přístrojovým vybavením.*

Aparatura KB 2016 se na kurzech vakuové techniky používá pro úlohu P1 – Měření zbytkového tlaku a těsnosti vakuové aparatury (pro studenty denního úloha V1). K tomu postačí vybavení zobrazené na fotografii – oddělovací deskový ventil a některý z vakuometrů.

Aparatura KB 2016 je připravena i k měření úlohy P4 – Kalibrace vakuometrů metodou přímého porovnání s referenčním vakuometrem. Pro tuto úlohu je ovšem nezbytný již zmíněný dávkovací ventil. Namontován bývá na horní podstavě komory spolu se zavzdušňovacím ventilem a kalibrační plyn (v našem případě vzduch) se napouští přes trubičku o průměru 6 mm na rozptylovací terčik. V podstatě lze použít oba způsoby nastavení kalibračního tlaku.

Pro **kalibrace ve vysokém vakuu**, od tlaku cca  $4 \cdot 10^{-06}$  hPa do asi  $5 \cdot 10^{-04}$  hPa, se používá nastavení kalibračního tlaku pomocí dynamické rovnováhy, což znamená, že do kalibrační komory se napouští stálý průtok kalibračního plynu, jenž je v dynamické rovnováze s čerpacím účinkem zkoušené vývěvy. Referenčním vakuometrem je ionizační vakuometr se studenou katodou Inficon PEG 050 s řídicí jednotkou CM 51, zkalibrovaný na ČMI Brno. Pro referenční vakuometr je určen port DN 40 ISO KF z přední strany komory.

Pro kalibrace při tlacích cca od  $5 \cdot 10^{-04}$  hPa až do tlaku atmosférického se používá statické nastavení kalibračního tlaku. Kalibrační komora se od čerpacího systému oddělí deskovým ventilem a dávkovacím ventilem se pro každý kalibrační tlak jednorázově napustí kalibrační plyn na požadovaný tlak. Využívá se port DN 16 ISO KF na pravé straně komory, kde je instalován křížový kus umožňující umístění referenčního vakuometru a dvou vakuometrů určených ke kalibraci. Jako referenční vakuometr slouží kombinovaný vakuometr TTR 102 S2 zkalibrovaný na ČMI Brno. Je to ten se zeleně svítícím displejem.

Postup kalibrace pro oba způsoby nastavení kalibračního tlaku je podrobněji popsán v návodu k úloze P4. Obě varianty úlohy jsou připraveny včetně vyčíslení nejistot měření při kalibraci.

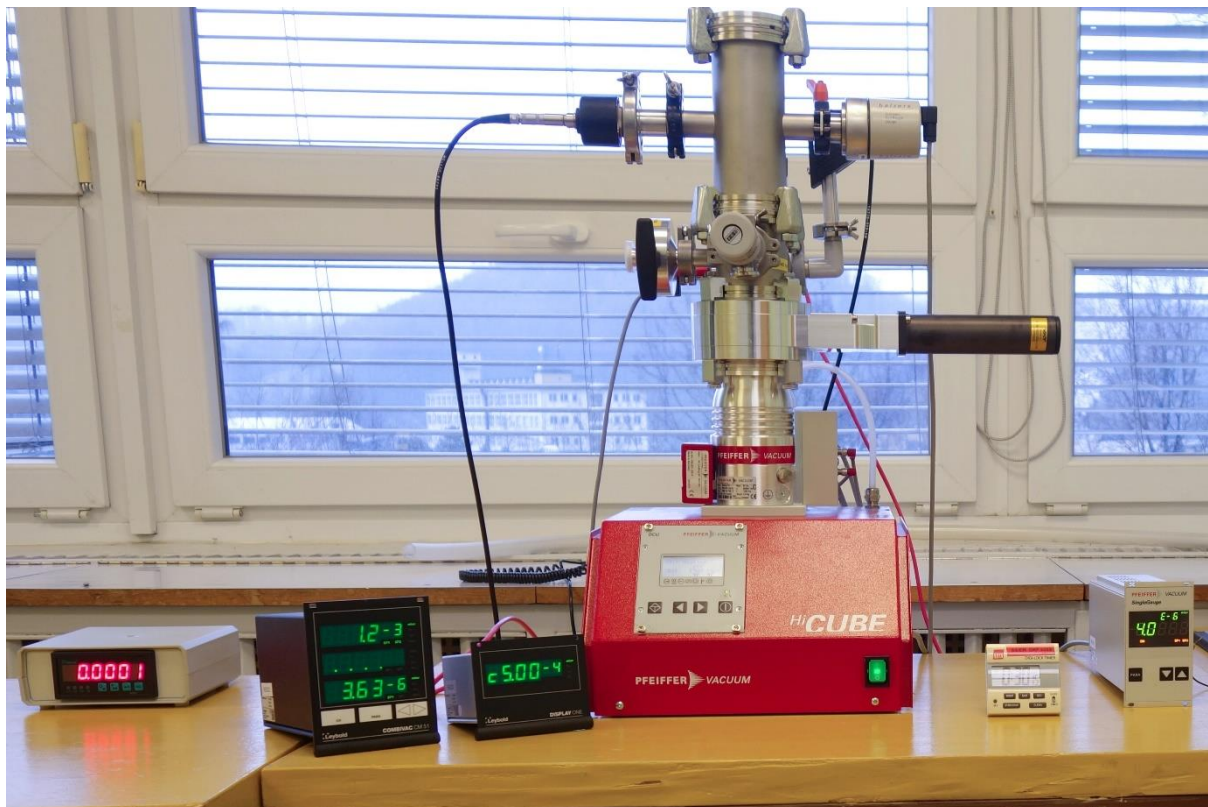
### **Vysokovakuová aparatura Hi-Cube Eco**

Aparatura byla zakoupena v roce 2017. Je to laboratorní aparatura čerpaná membránovou vývěvou a turbomolekulární vývěvou s nominální čerpací rychlostí 50 L/s. Výhodou aparatury Hi-Cube Eco je jednoduchá obsluha a minimalizace rizika havárie při chybě obsluhy nebo při výpadku dodávky elektřiny. Není potřeba odsávání zplodin ani chladicí voda a za zmínku stojí též mnohem menší spotřeba elektrické energie.

Zakoupený čerpací systém byl dovybaven dvěma díly nahrazujícími vakuovou komoru a díky sponzorujícím firmám i kvalitním měřením vakua. V roce 2024 jsme aparaturu vybavili deskovým ventilem a je tak možno, podobně jako na aparatuře KB 2016 měřit úlohu P1. Pro kurzy vakuové techniky s aparaturou počítáme především pro úlohy P3 a P4.

Při měření úlohy P3 je třeba připojit k motýlkovému ventilu (páčka vlevo od dávkovacího ventilu) hmotový regulátor průtoku plynu. Jinak je ovšem realizace úlohy velmi jednoduchá. Postup je podrobně popsán v návodu k úloze P3.

Při kurzu vakuové techniky v roce 2024 jsme tuto aparaturu požívali především pro úlohu P4 - Kalibrace vakuometrů metodou přímého porovnání s referenčním vakuometrem a s dynamickým nastavením kalibračního tlaku. V horní části komory vlevo vakuometr PEG 050 (zobrazovací jednotka CM 51 je druhý přístroj zleva indikující tlak  $3,63 \cdot 10^{-06}$  hPa). Vpravo je pak kalibrovaný vakuometr (zobrazovací jednotka úplně vpravo indikuje tlak  $4,0 \cdot 10^{-06}$  hPa).



*Vysokovakuová aparatura HiCube Eco*

### Pracoviště měření teploty

V laboratoři je též instalovaná sestava pro měření tenkovrstvových platinových teplotních snímačů, která je určena pro laboratorní cvičení denního studia oboru Mechanik elektronik.

Vlevo jsou digitální multimetry. První zleva je 6,5místný pro měření odporu kalibrovaného snímače, to v případě odporového snímače, nebo proudu v případě odporového snímače s převodníkem proudu. Multimetr vedle něj je 7,5místný pro měření odporu etalonového snímače Pt 100 (čtyřvodičové zapojení).

Dalším přístrojem je zdroj proudu pro etalonový odporový snímač. Krabička před zdrojem je ruční přepínač měřicích míst.

Červené kbelíky ukrývají termosky uložené v polyuretanové pěně. Jedna z nich slouží k realizaci teploty 0 °C prostřednictvím ledové tříště (dolní zkušební teplota), druhá pak pro teplotu okolí prostřednictvím odstáté vody (střední zkušební teplota).

Horní zkušební teplota se realizuje v termostatované lázni (darované firmou Sensit s.r.o. z Rožnova p. R.). Používá se voda do teploty cca 80 °C.

V oblasti měření teploty by bylo možno postavit celou řadu dalších úloh, například měření minimální hloubky ponoru, dobu odezvy teplotního snímače, a další.

Pro plánované technické lyceum by se mohly postavit úlohy pro měření dalších neelektrických veličin. Pro stávající obory má škola dobře vybavené laboratoře pro měření elektrických veličin.



*Sestava na kalibraci teplotních snímačů*

Karel Bok, červen 2024