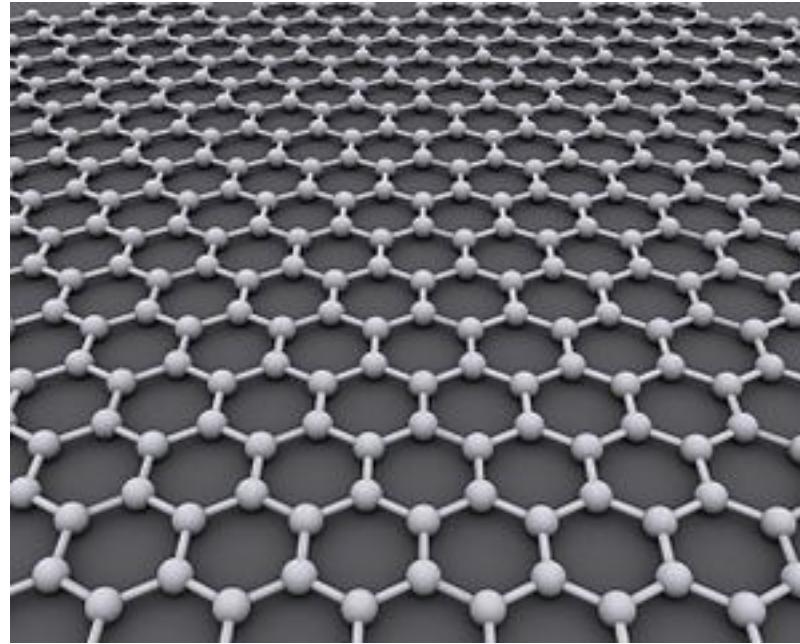


Příprava grafénu



Petr Jelínek



Schéma prezentace

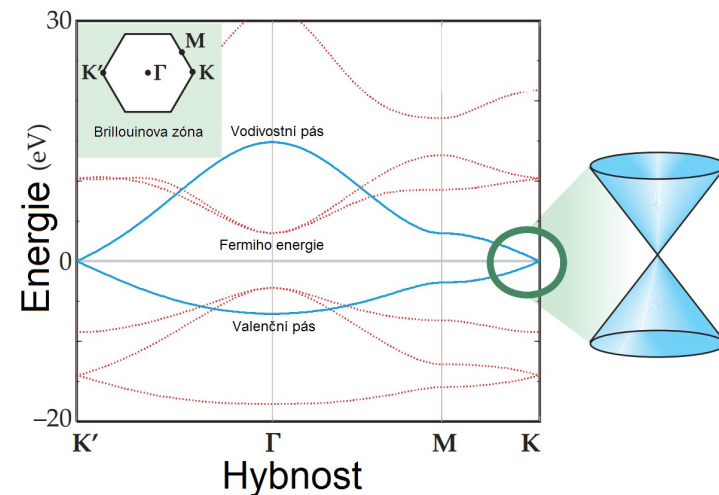
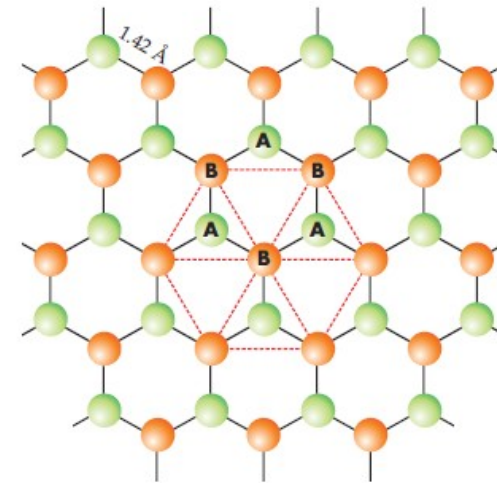
- Úvod do tématu
- Provedené experimenty
 - příprava grafénu
 - charakterizace
- Plánovaná činnost
 - experimenty
- Závěr

Pohled do historie

- 1960 HOPG (Arthur Moore)
- 1985 fulleren C_{60}
- 1993 SWNT
- 2004 grafén
 - Wallace 1947
 - Fernandez Moran 1960
 - Geim, Novoselov 2004

Co je to grafén?

- První 2D materiál
- Význačné vlastnosti
- Aplikace



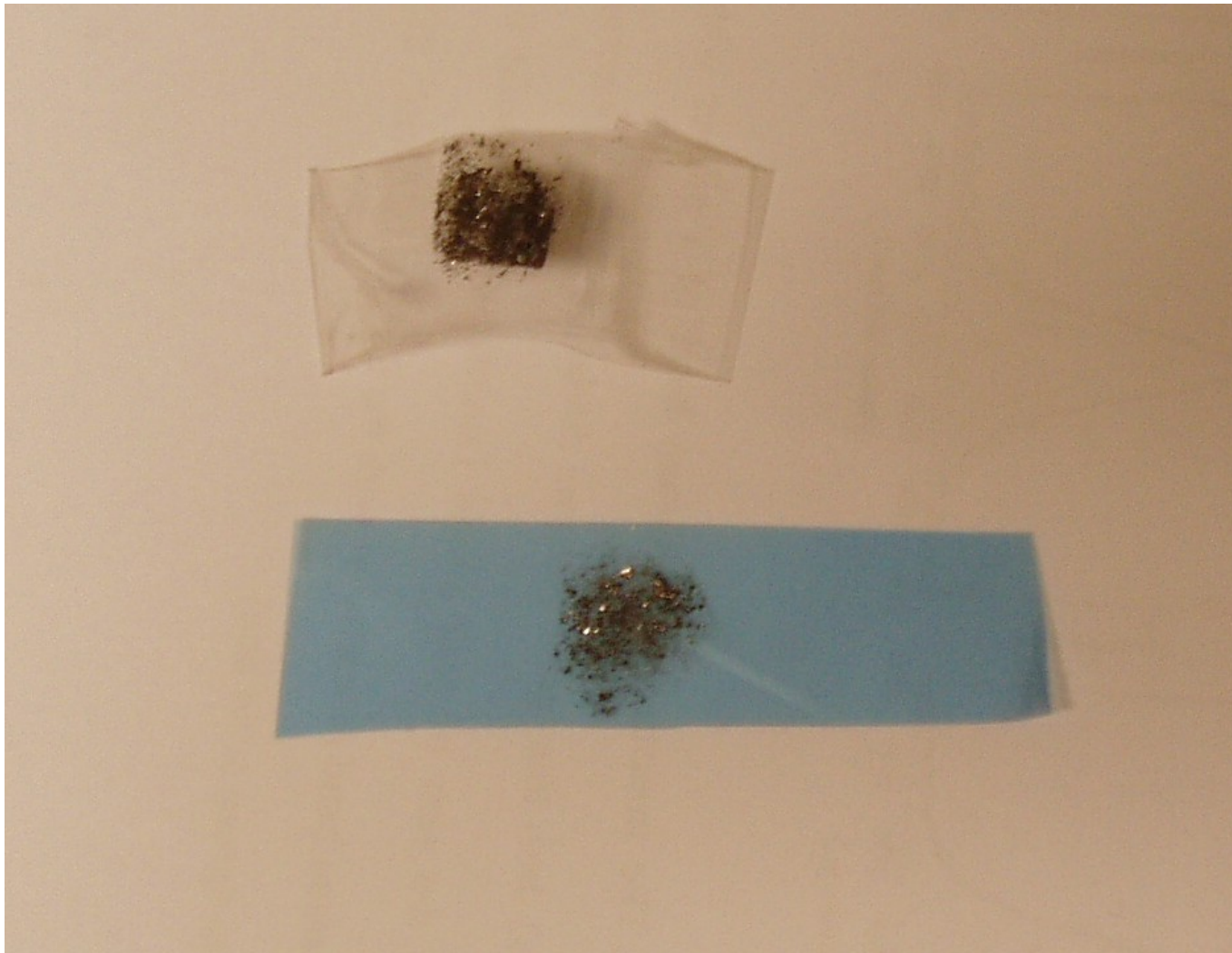
Možnosti přípravy

- Mechanická příprava grafénu – "exfoliace"
- Příprava pomocí CVD
- Chemická exfoliace
- Ozařování vrstvy oxidu grafitu laserem
- Růst na karbidu křemíku
- A další...

Mechanická příprava grafénu

- První popsaná metoda přípravy grafénu
- Experimentální vybavení – grafit, lepící páska, SiO₂
- Výhody
 - levná a rychlá metoda
 - vysoká strukturální kvalita výsledných vzorků
- Nevýhody
 - nízká škálovatelnost
 - malá velikost připravených vzorků

Experimentální vybavení



kontakt: jelinek.petr@mail.muni.cz

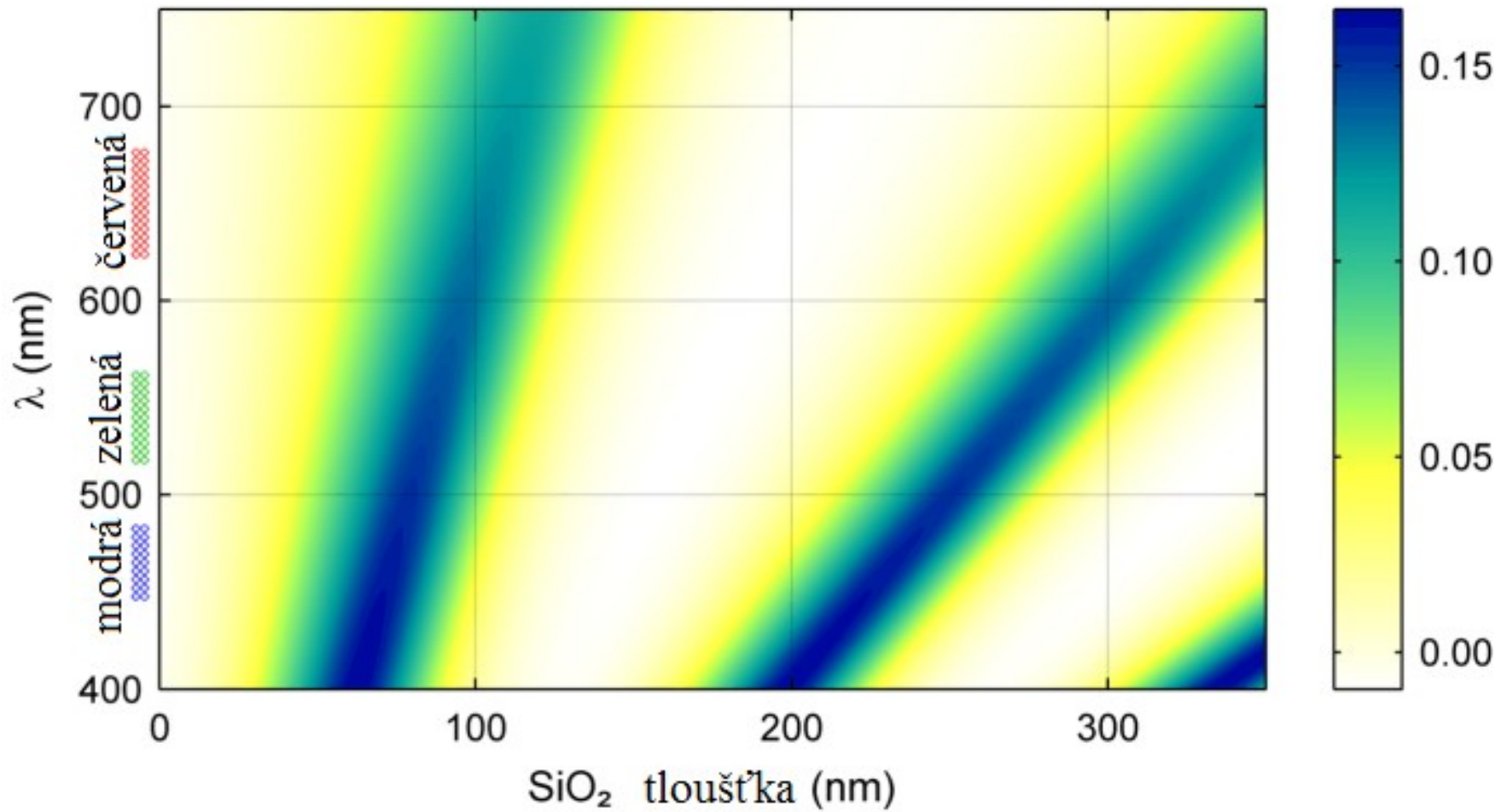
Popis experimentů

- **Použitý materiál**
 - 2 druhy pásky
 - 3 typy zdroje grafitu (hopg, tuha, přírodní grafit)
 - 3 tloušťky SiO₂ vrstvy (92, 100 a 302 nm)
- **Motivace experimentů**
 - příprava grafénu
 - zkoumání vlivu na podklad

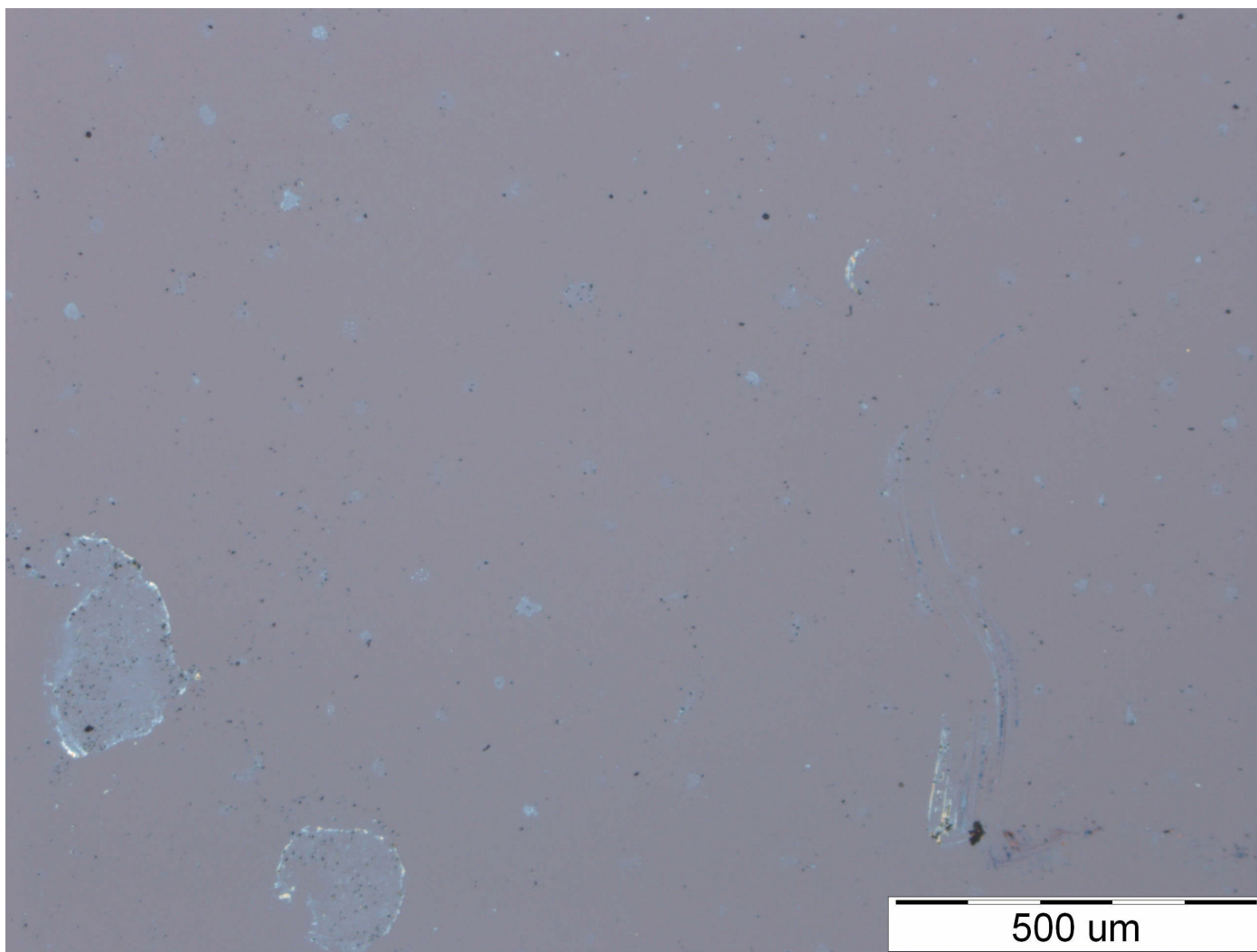
Pozorování grafénu optickým mikroskopem

- Motivace?
- Absorbance zhruba 2,3 % dopadajícího světla
- Kontrast až 15 % oproti vhodnému podkladu
- Vzorky připravené mechanickou metodou
 - velmi malé grafénové kousky
 - chceme-li je dále analyzovat, musíme vědět kde jsou

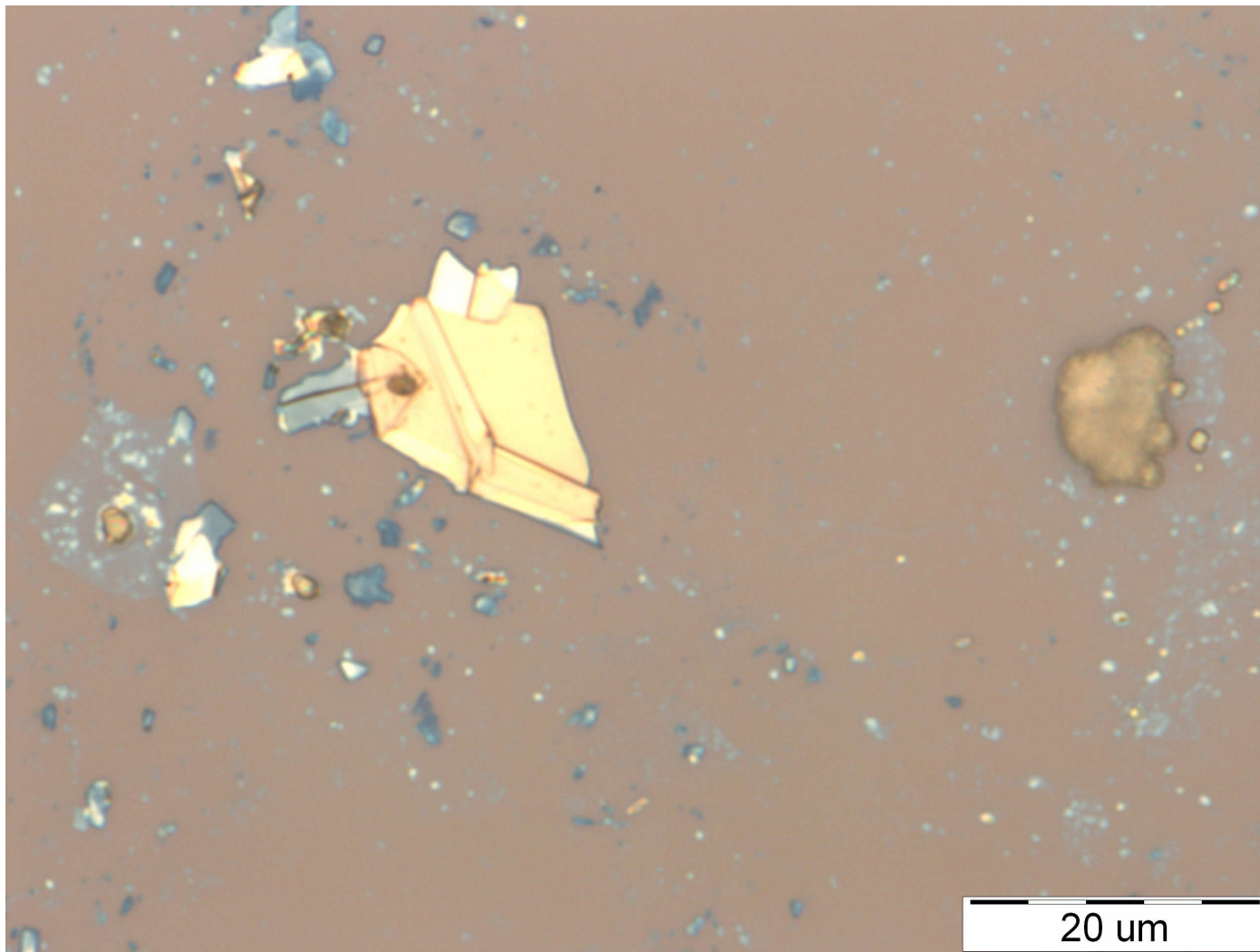
Kontrastní mapa

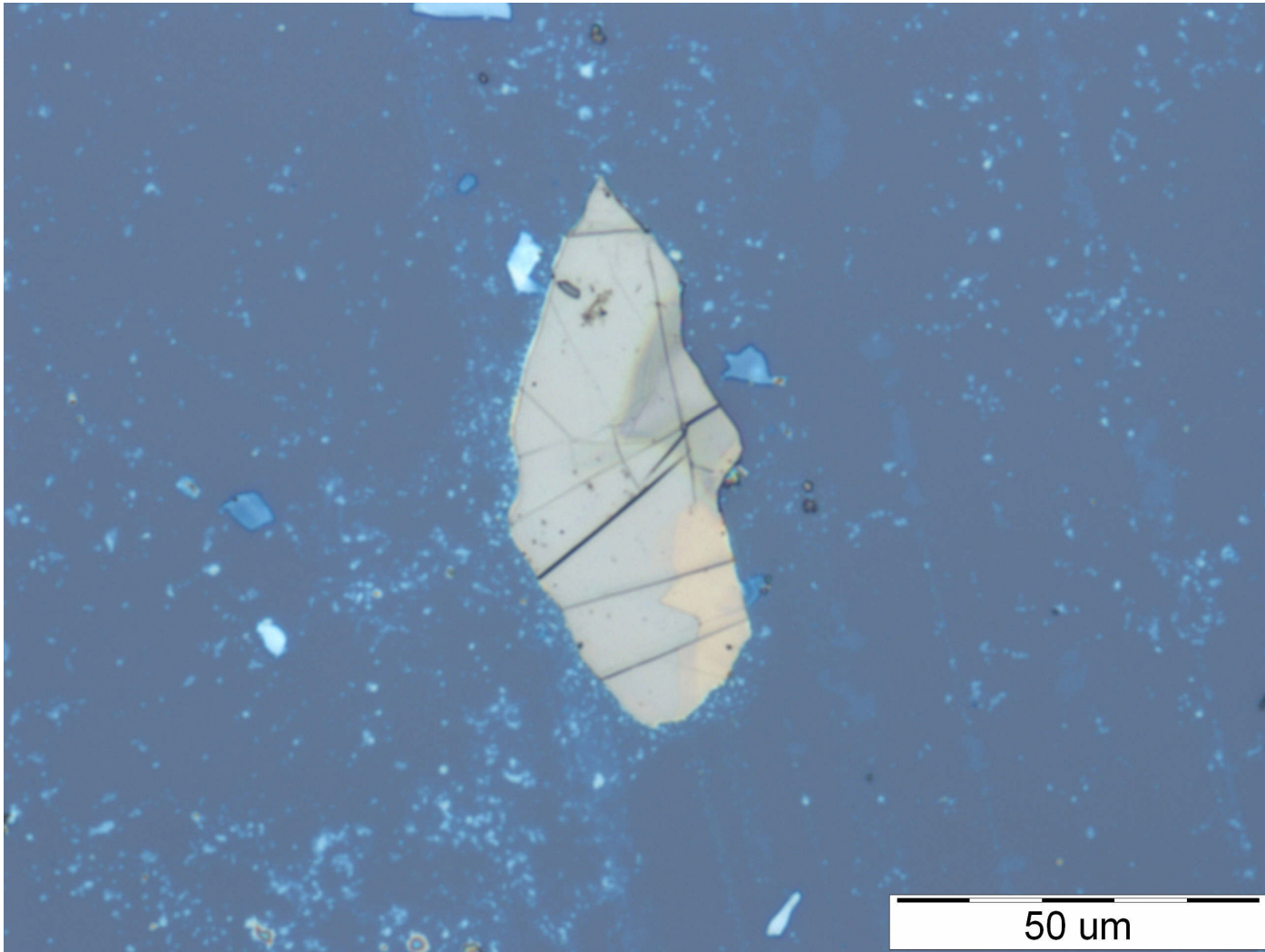


Bez zdroje grafitu



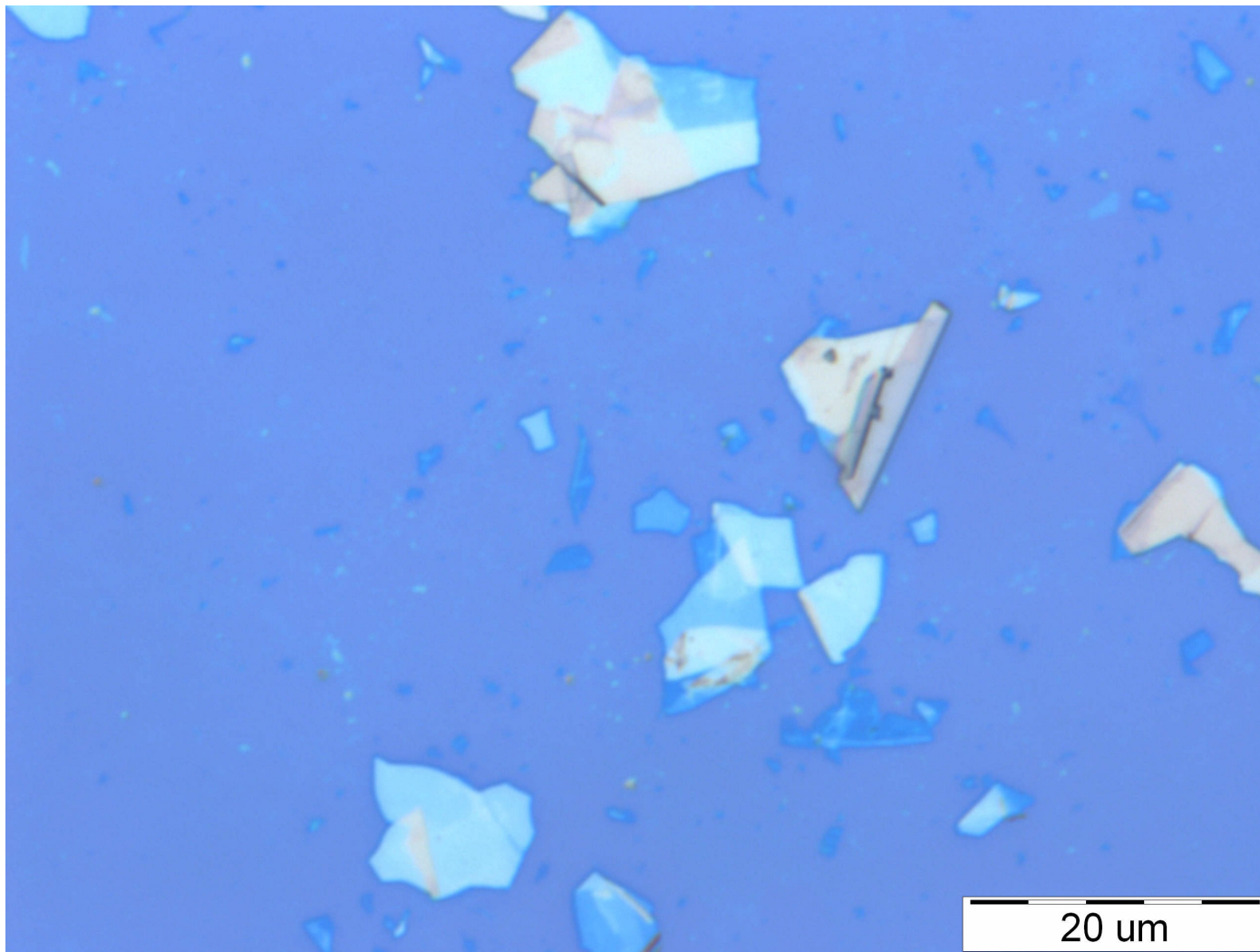
Úprava povrchu v acetonu



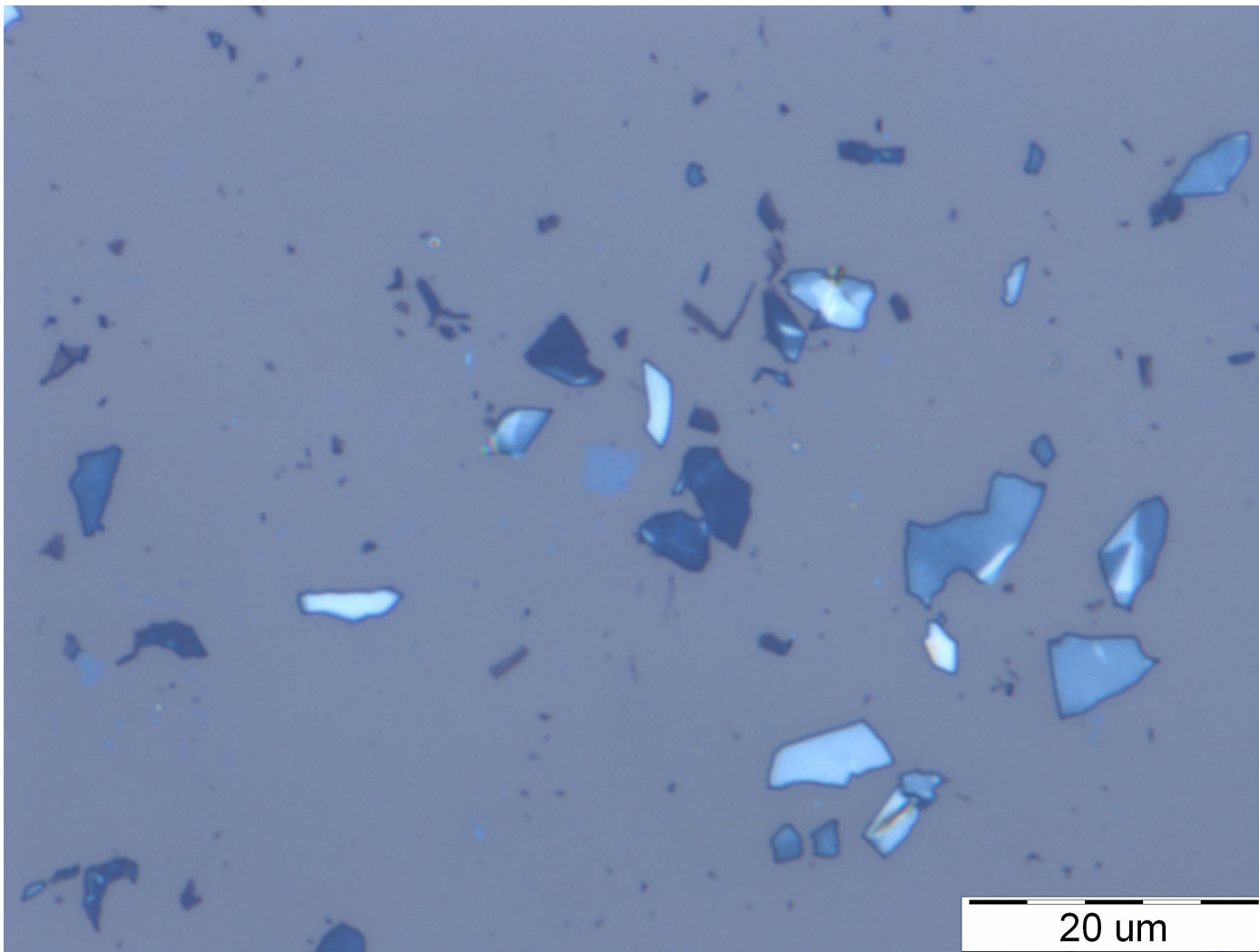


kontakt: jelinek.petr@mail.muni.cz

302 nm SiO₂



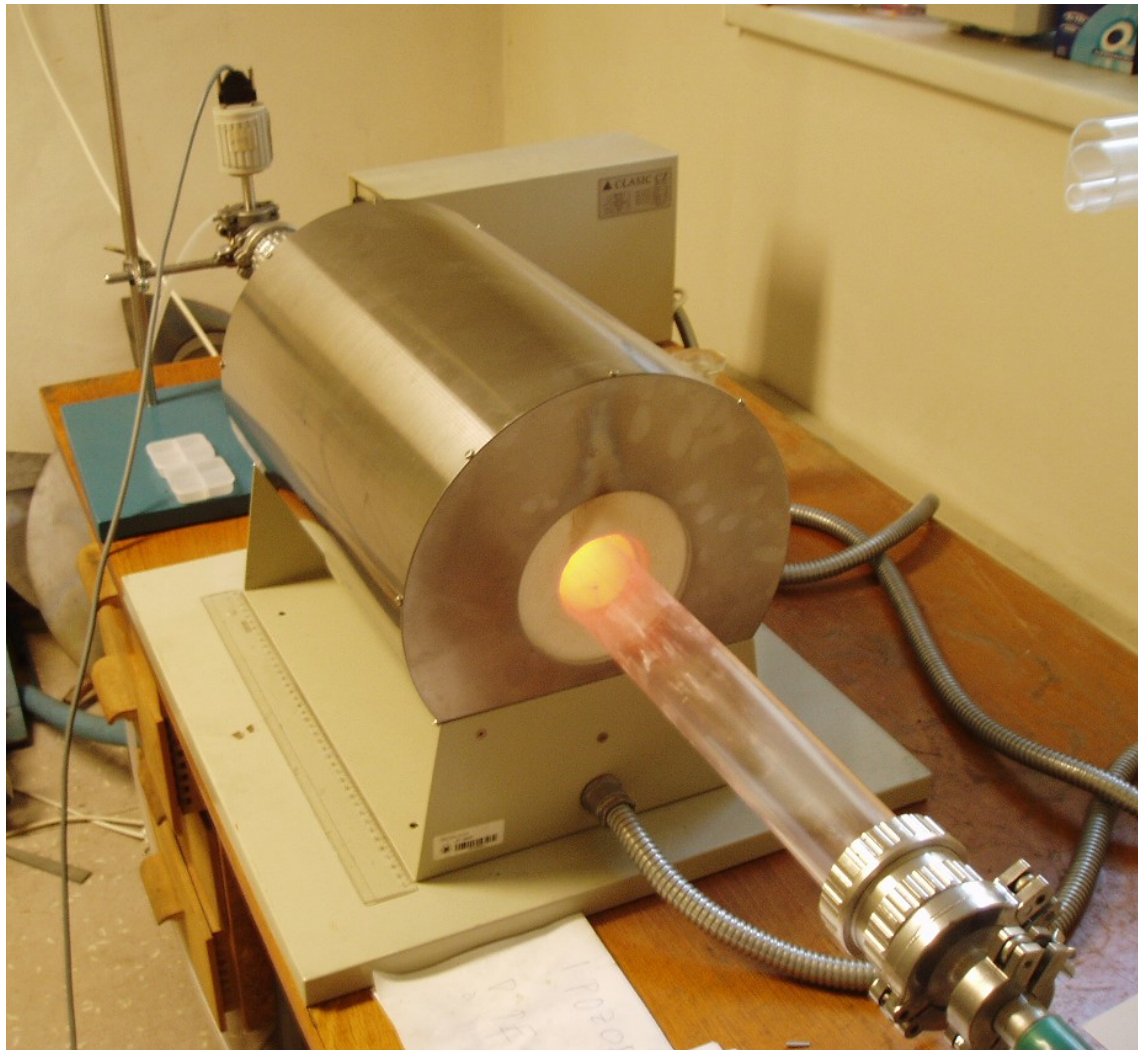
92 nm SiO_2 vrstva



Depozice z plynné fáze

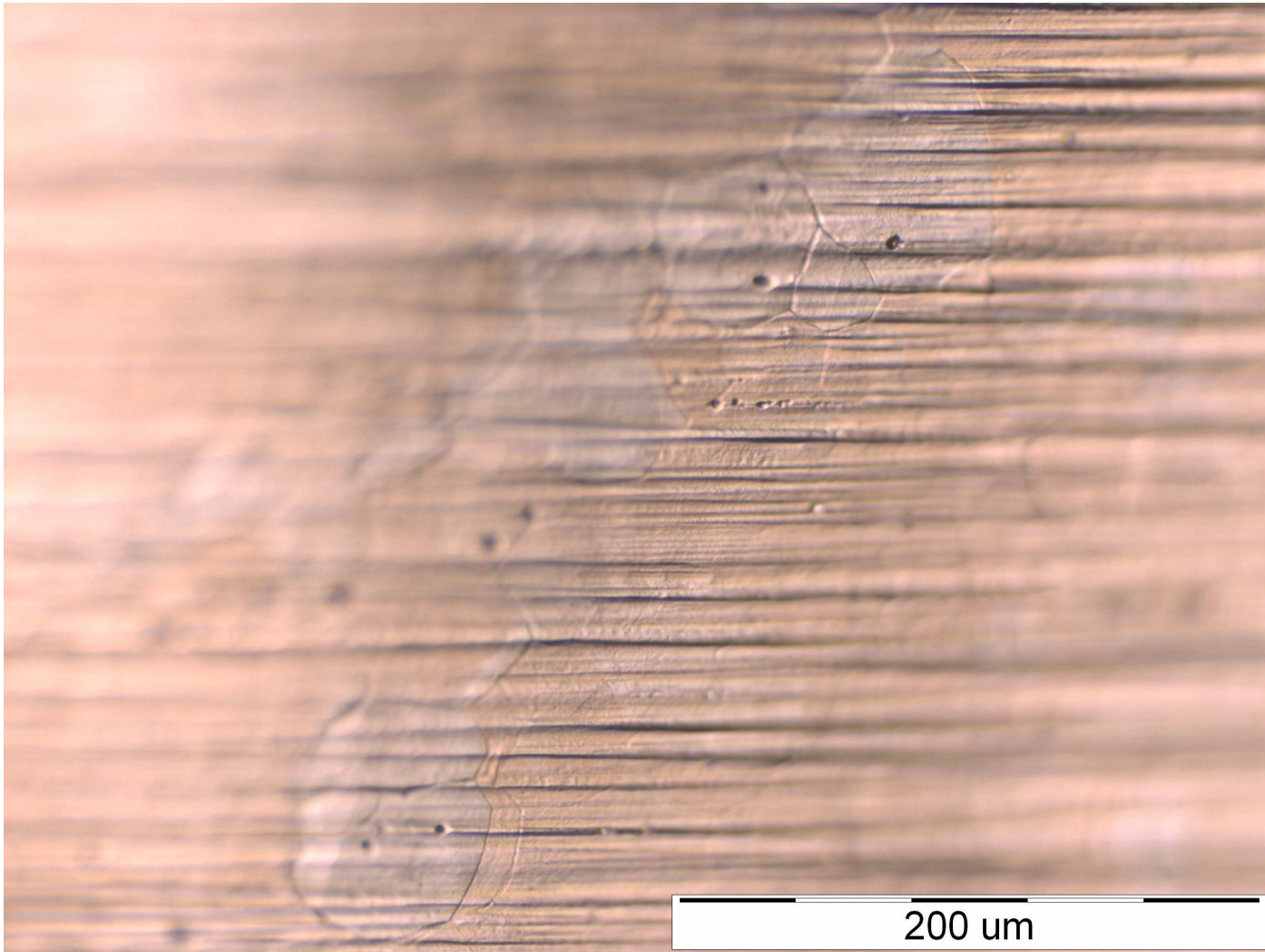
- Methan jako zdroj uhlíku
- Měď jako katalyzátor
-
- Výhody
 - produkce velkých grafénových vzorků
 - škálovatelnost
- Nevýhody
 - nutnost přenosu deponované vrstvy

Popis experimentu

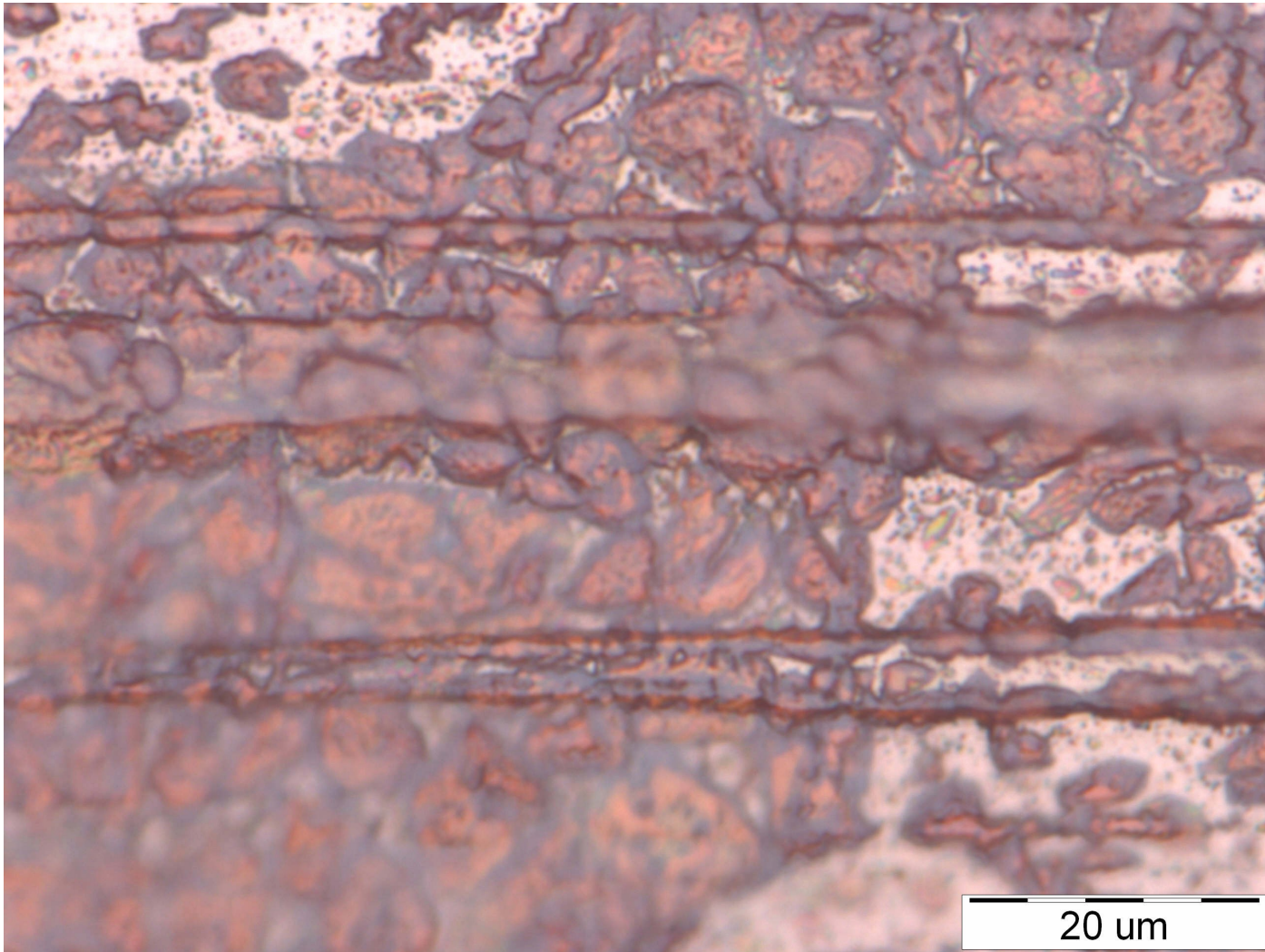


kontakt: jelinek.petr@mail.muni.cz

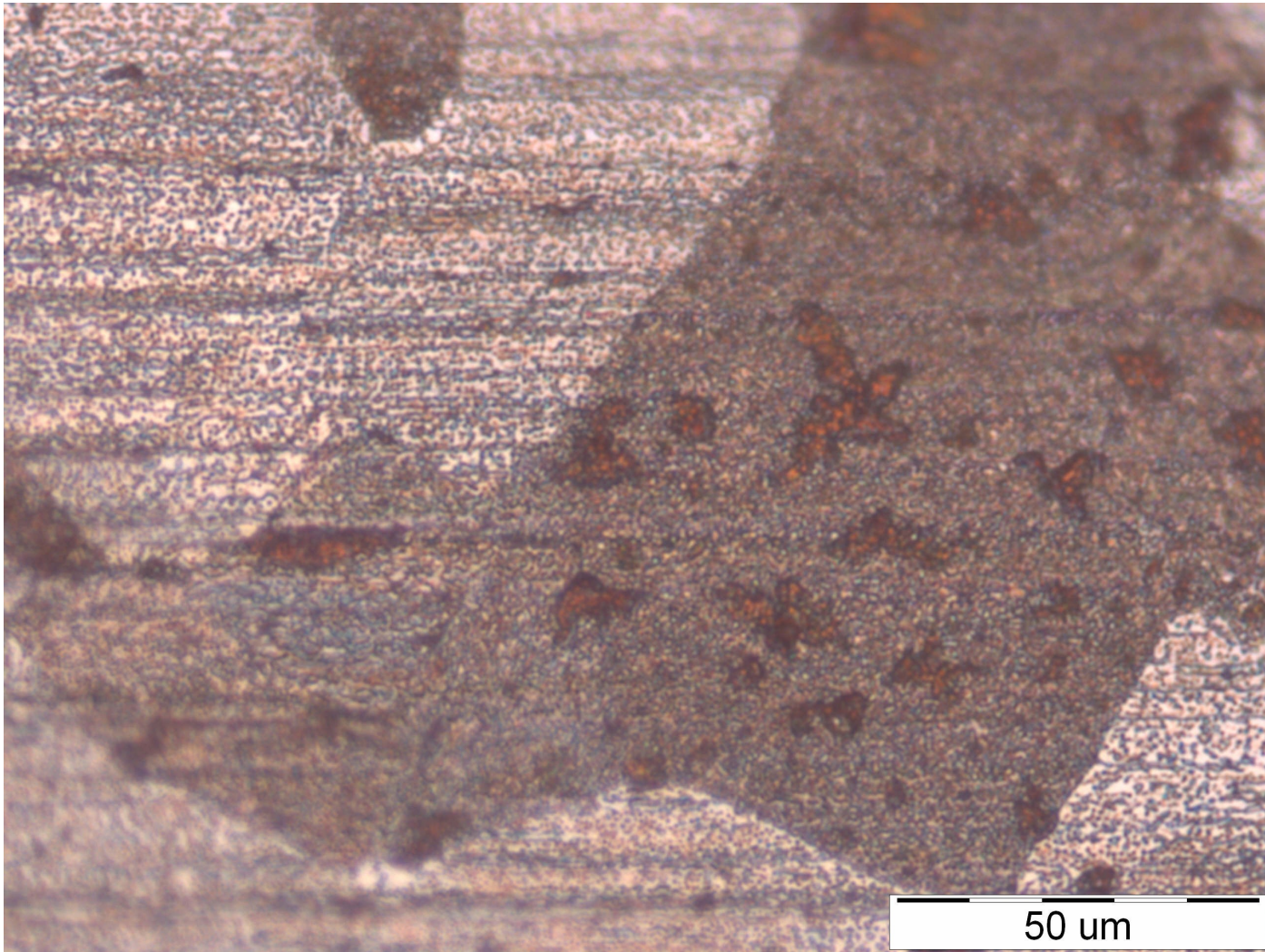
Komentované snímky z optického mikroskopu



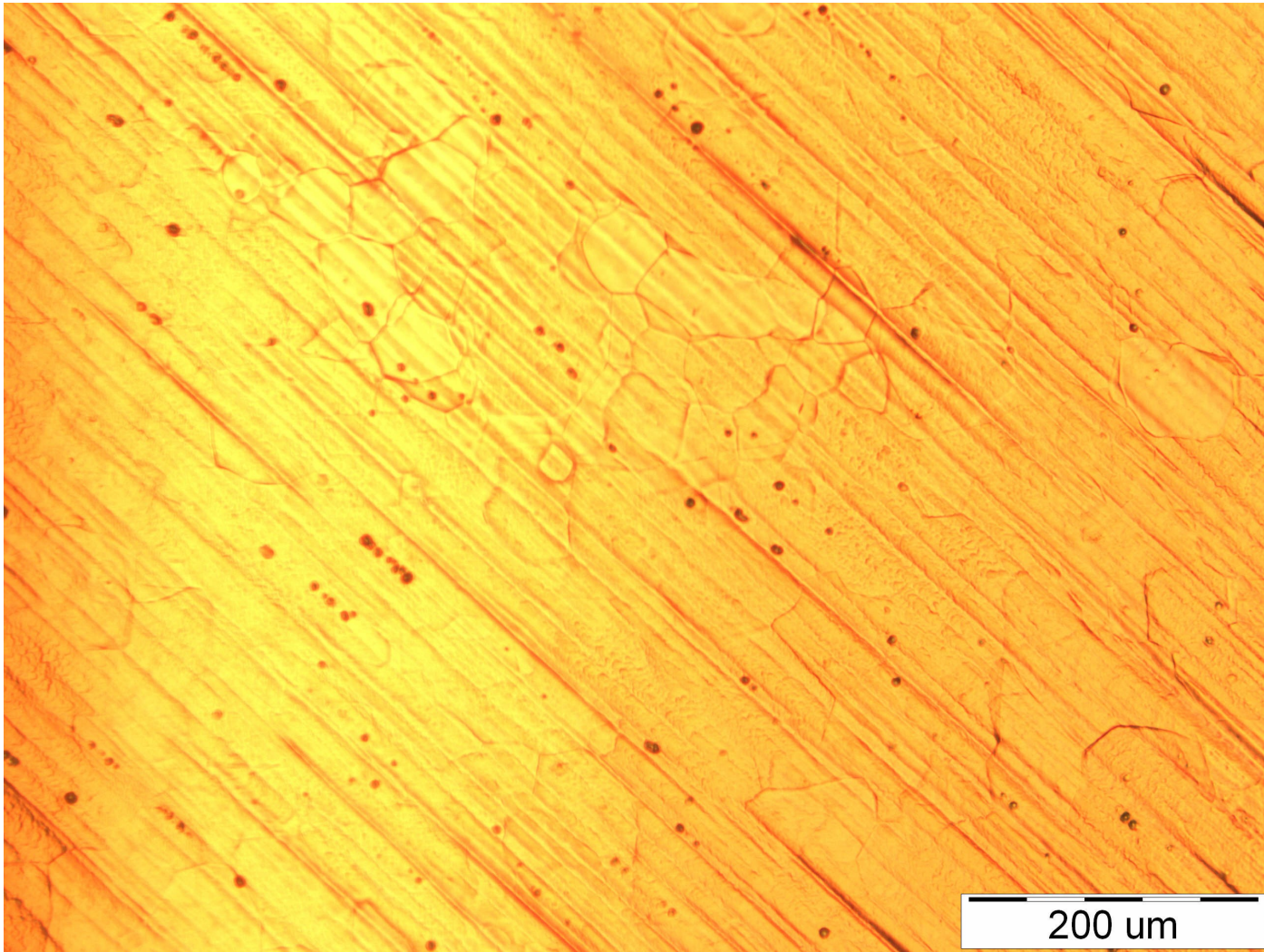
kontakt: jelinek.petr@mail.muni.cz

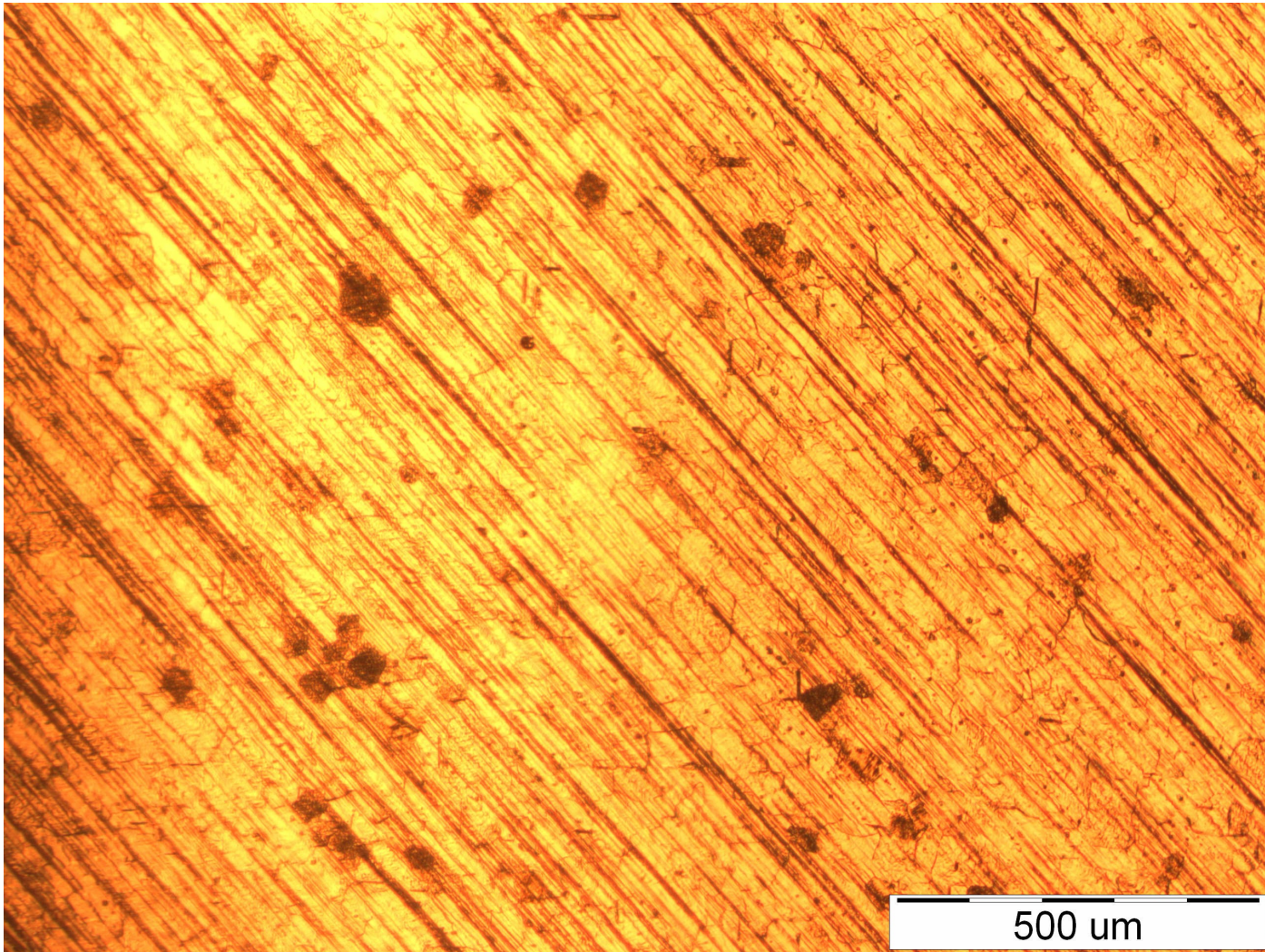


kontakt: jelinek.petr@mail.muni.cz



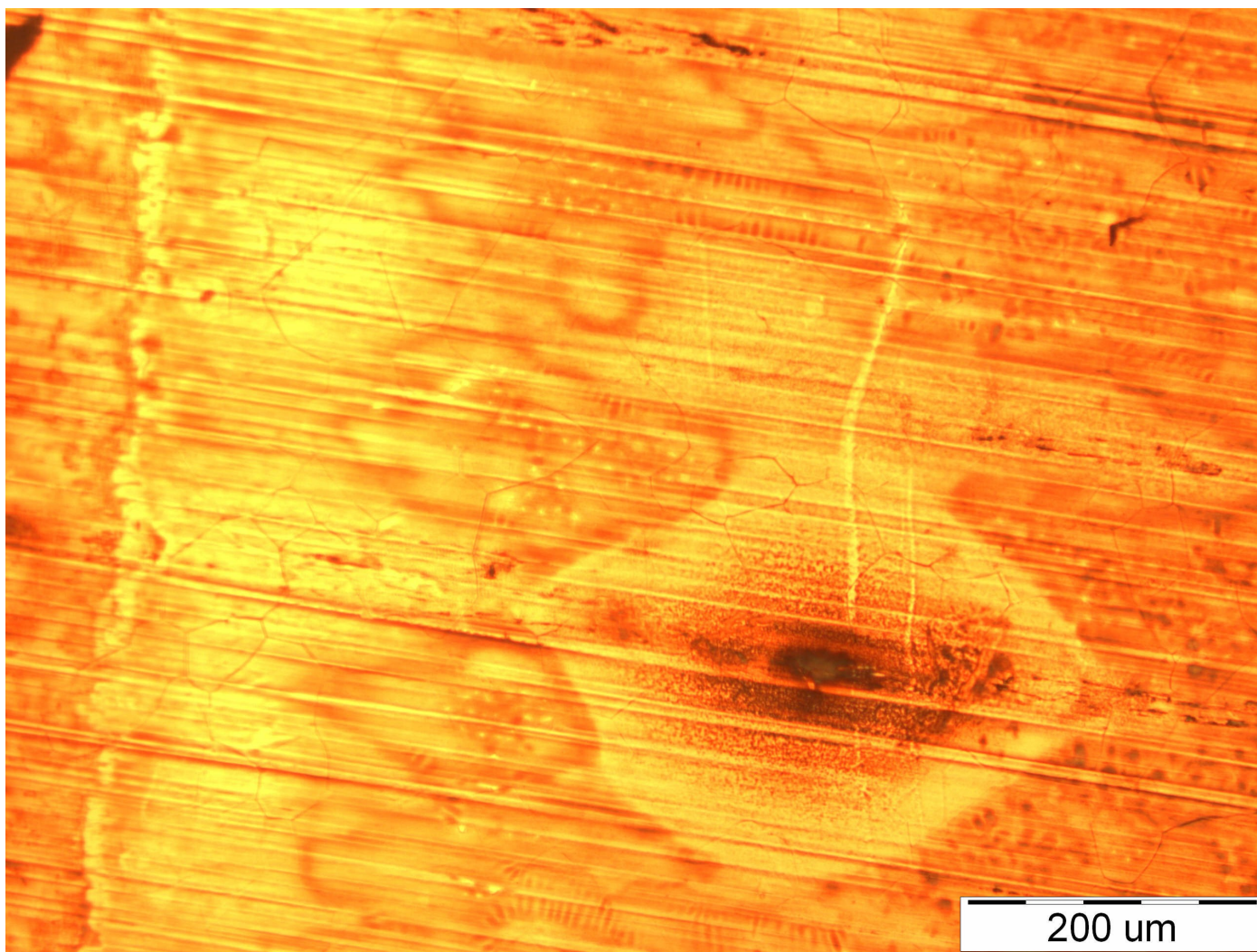
kontakt: jelinek.petr@mail.muni.cz

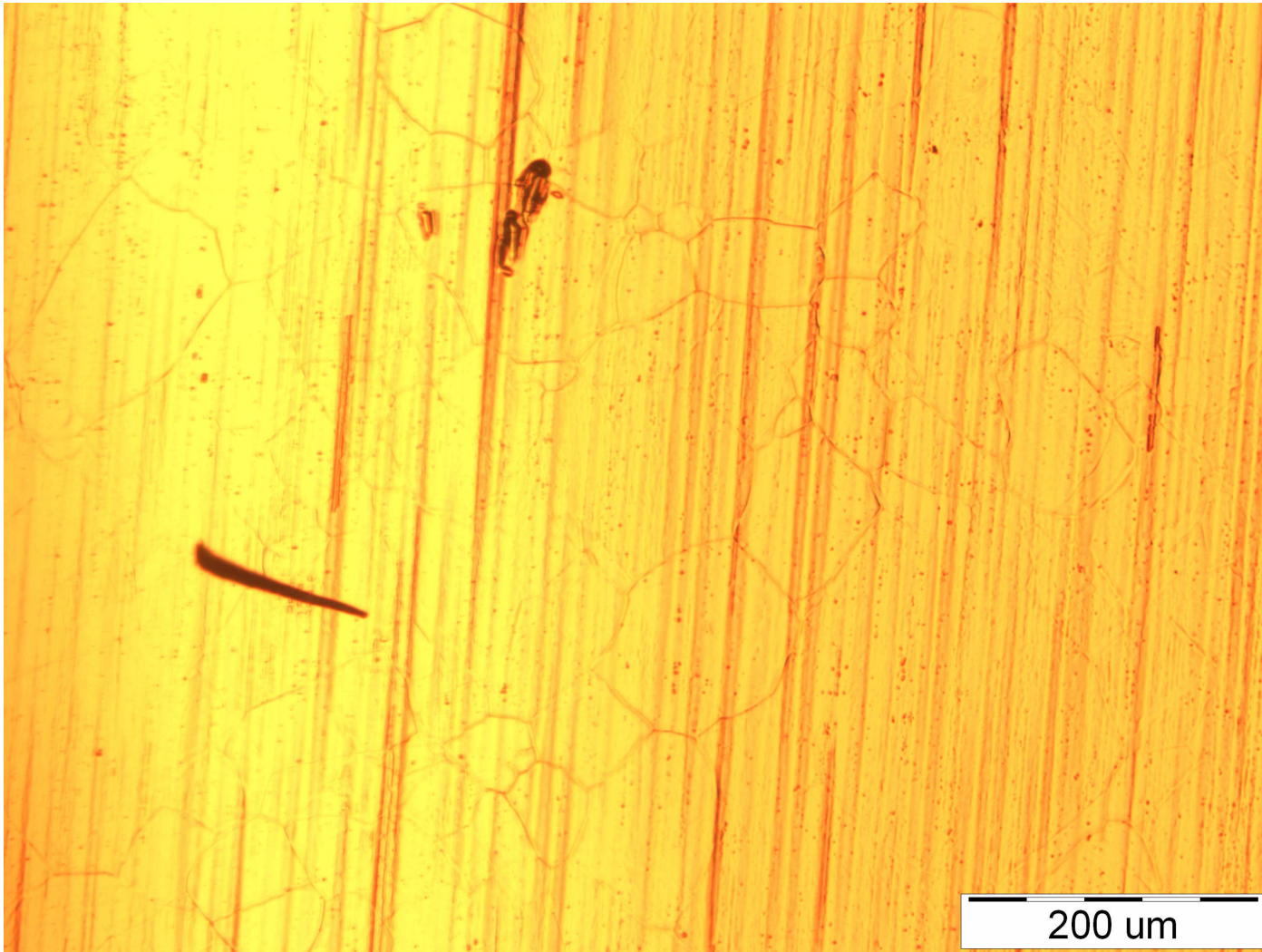




kontakt: jelinek.petr@mail.muni.cz

Sauronovo oko



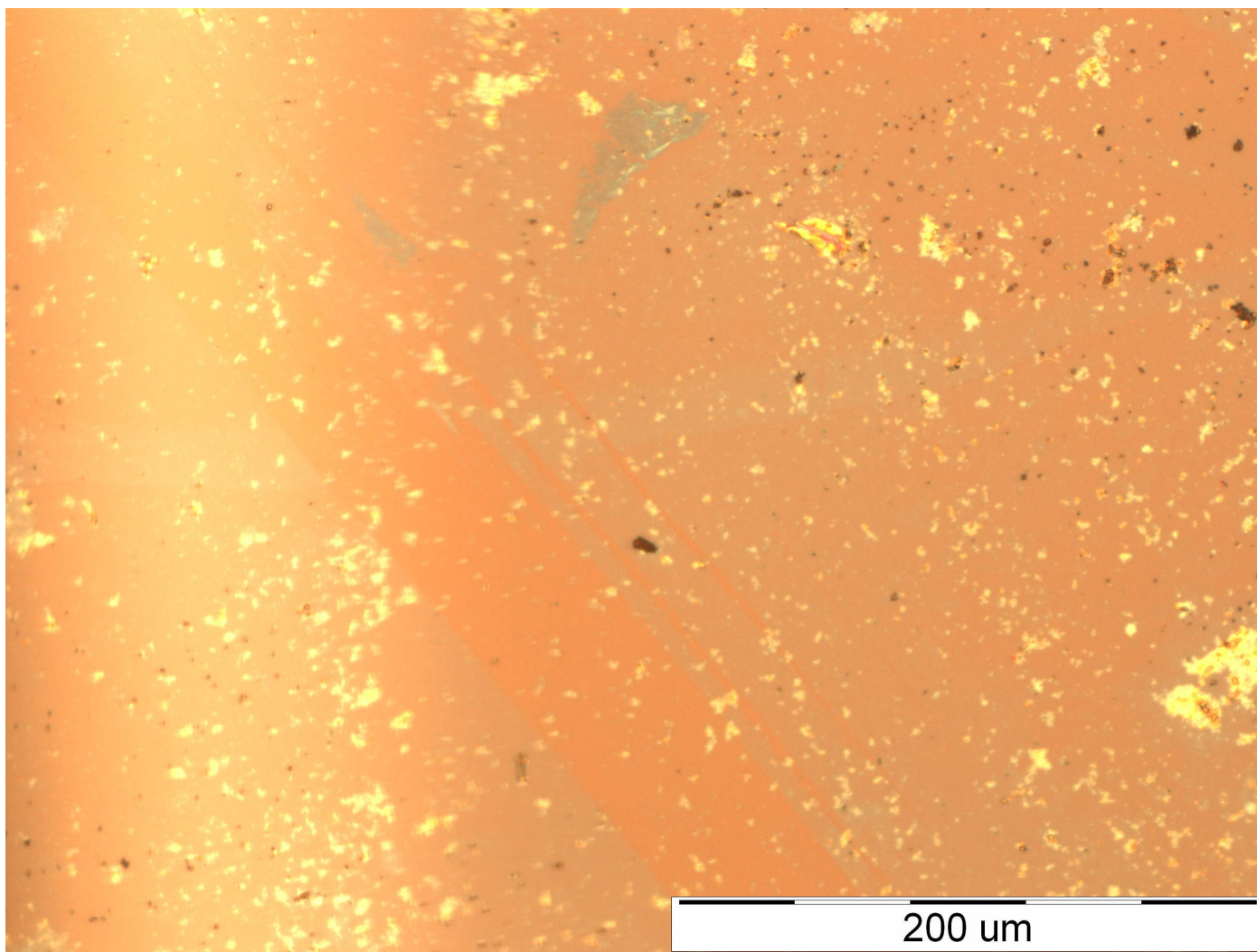


kontakt: jelinek.petr@mail.muni.cz

Přenos deponovaného grafénu

- Otázka nutnosti přenosu
- Provedení
 - PMMA a FeCl_3
- Alternativy?
 - depozice rovnou na vhodném podkladu
 - odleptání zoxidované vrstvy

"přenesený" vzorek



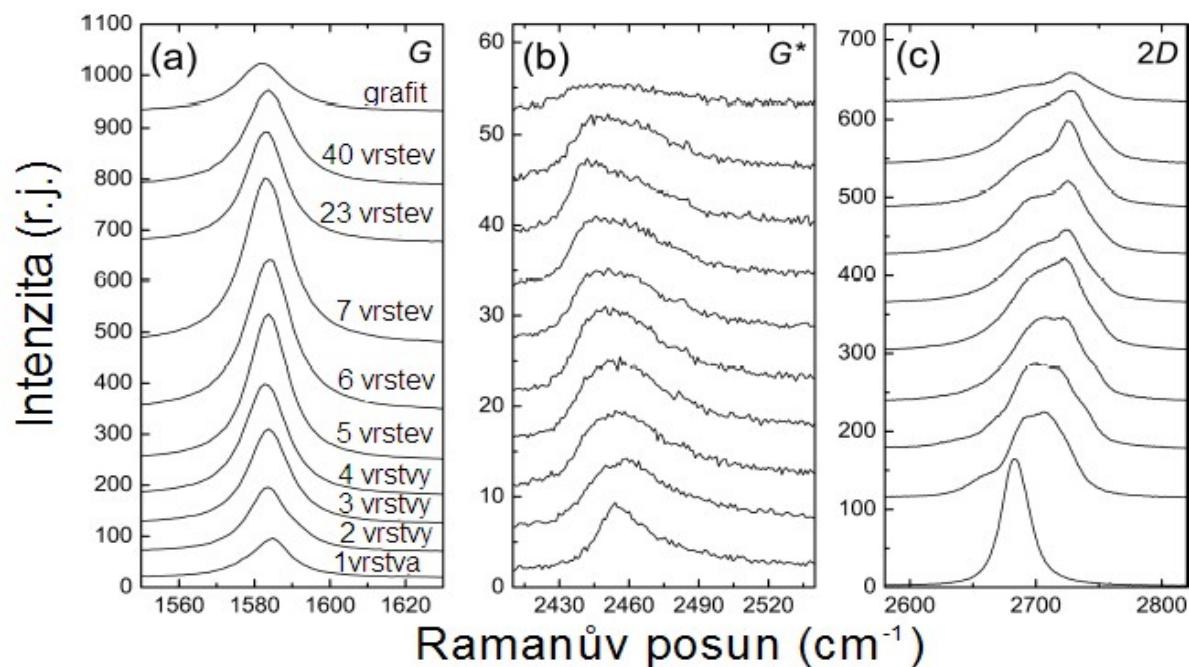
Ramanovská spektroskopie

- Neelastický rozptyl fotonu v látce
- Jedinečný "obraz" materiálu
- Nevýhody
 - měříme i spektrum podkladu grafénové vzorku
 - závislost na mnoha faktorech
- Výhody
 - rychlá a nedestruktivní metoda
 - poskytuje informace i o strukturální kvalitě
 - umožňuje přesně rozlišit počet vrstev a mapovat celé vzorky

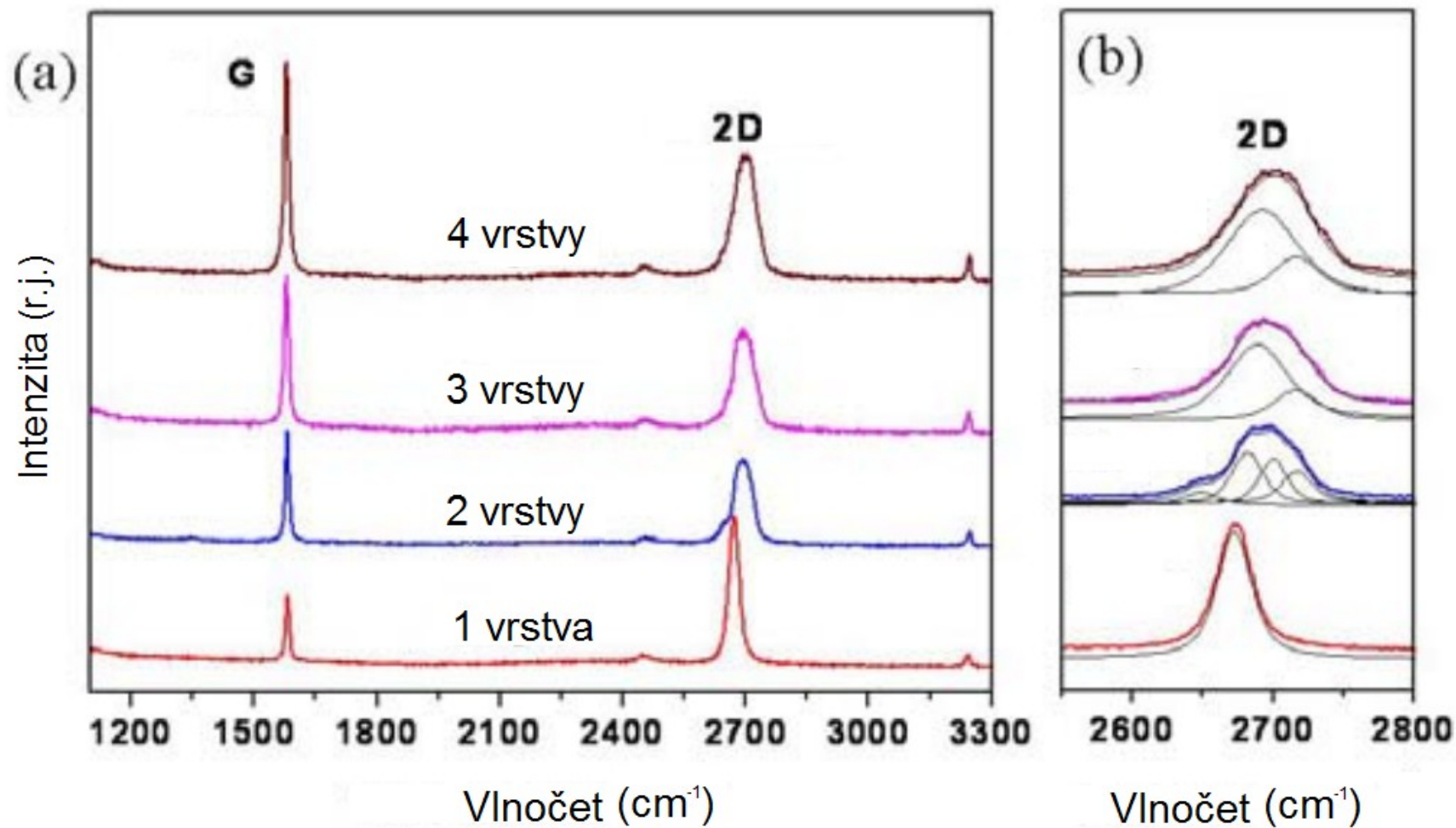
Použité identifikátory

- Intenzita píku, jeho pozice a šířka
- D, G, M, G^* a 2D

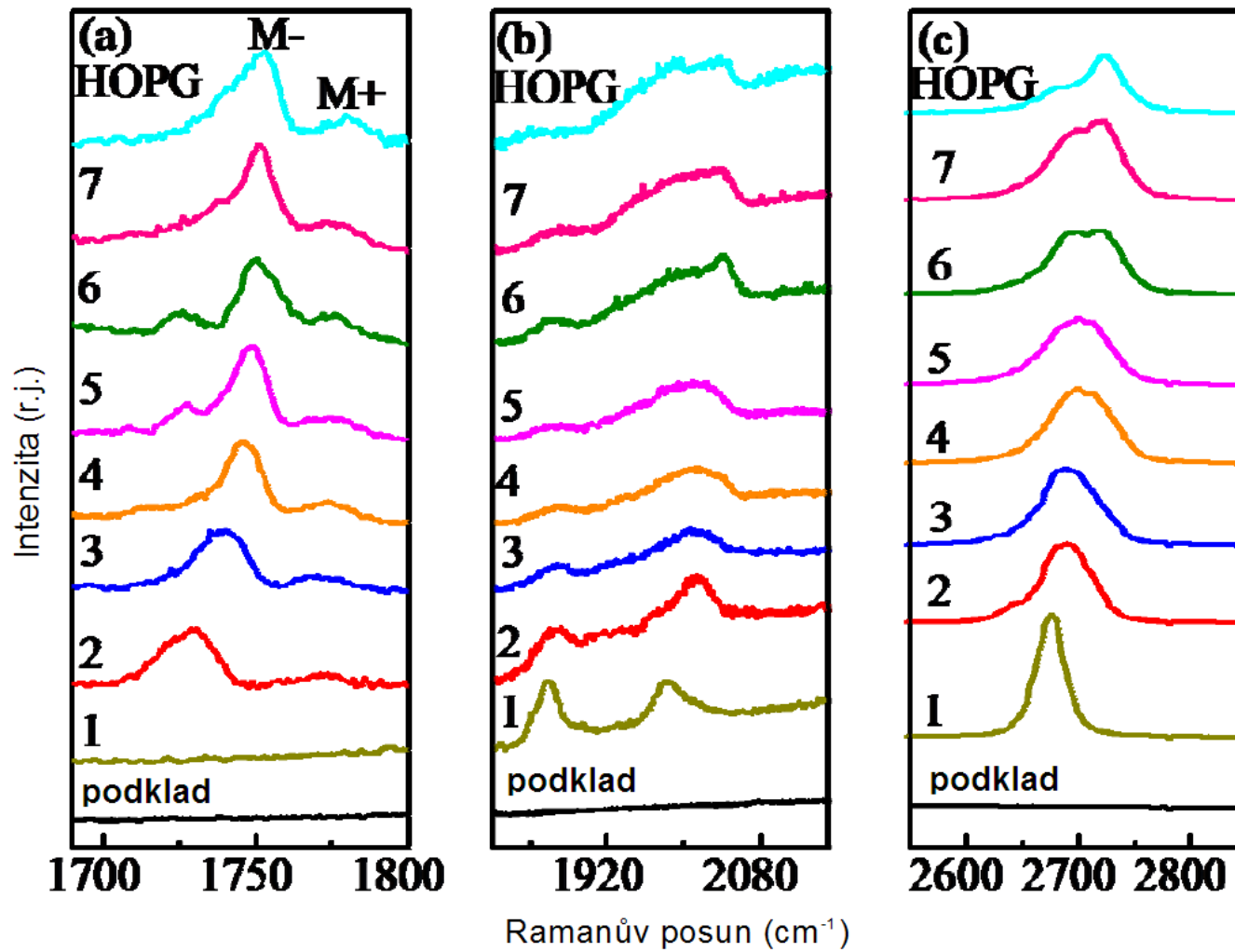
pík	poloha maxima $\omega [cm^{-1}]$	$\partial\omega/\partial E$
D	$1350cm^{-1}$	53
G	$1585cm^{-1}$	0
M	$1755cm^{-1}$	0
G^*	$2450cm^{-1}$	-10
2D	$2700cm^{-1}$	100



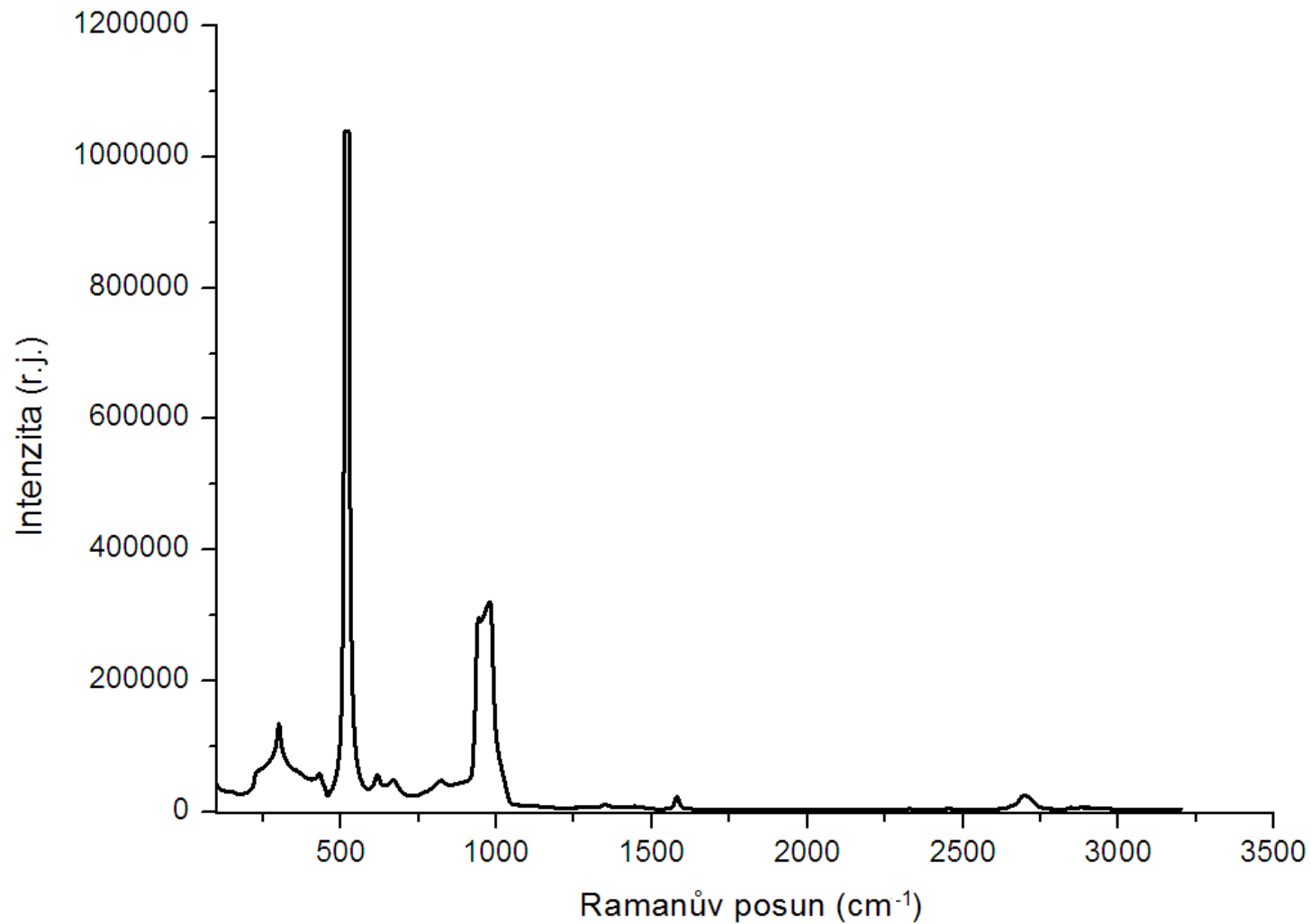
Ramanovo spektrum grafénu



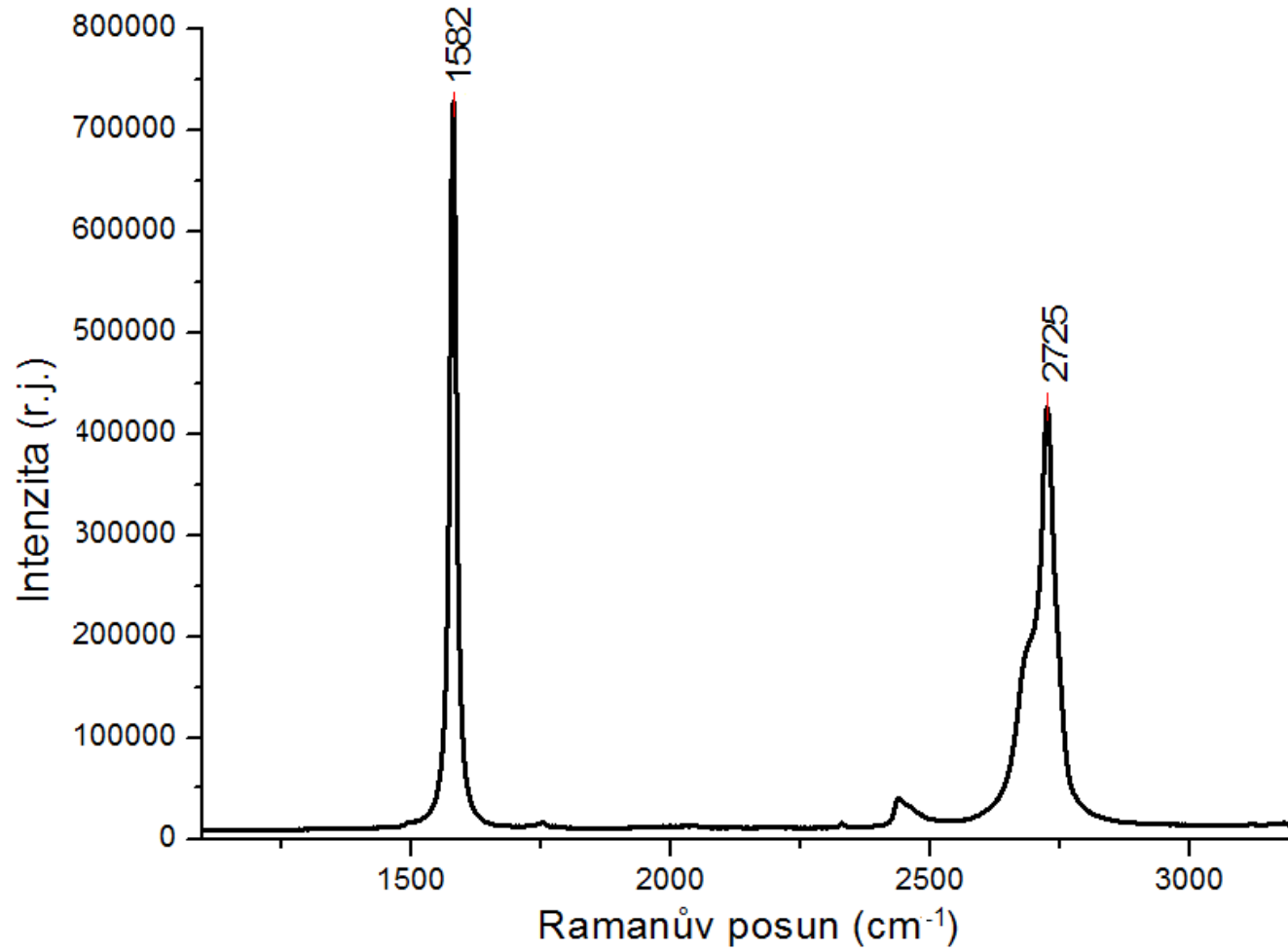
M pík



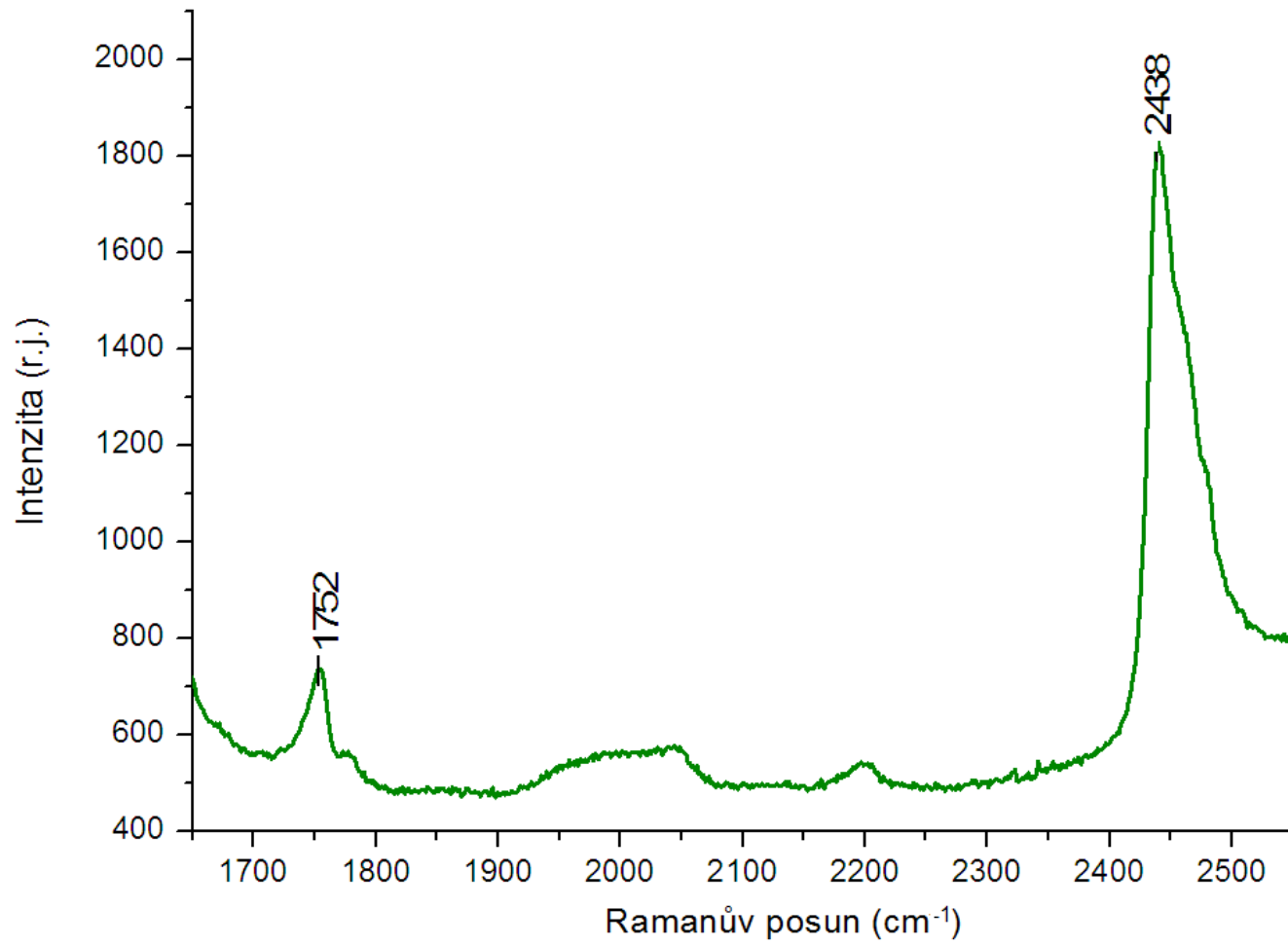
Kompletní spektrum (na SiO_2)



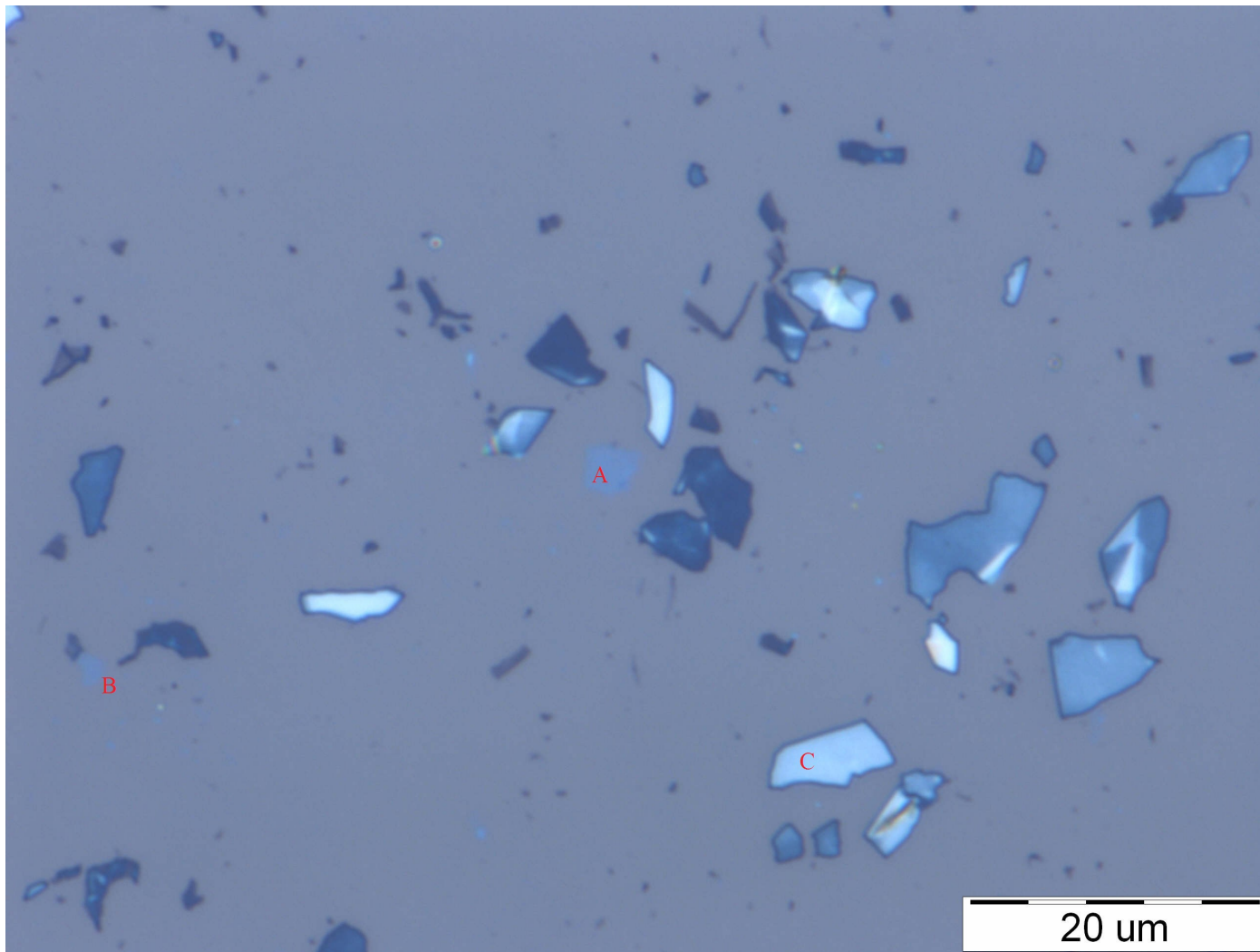
HOPG



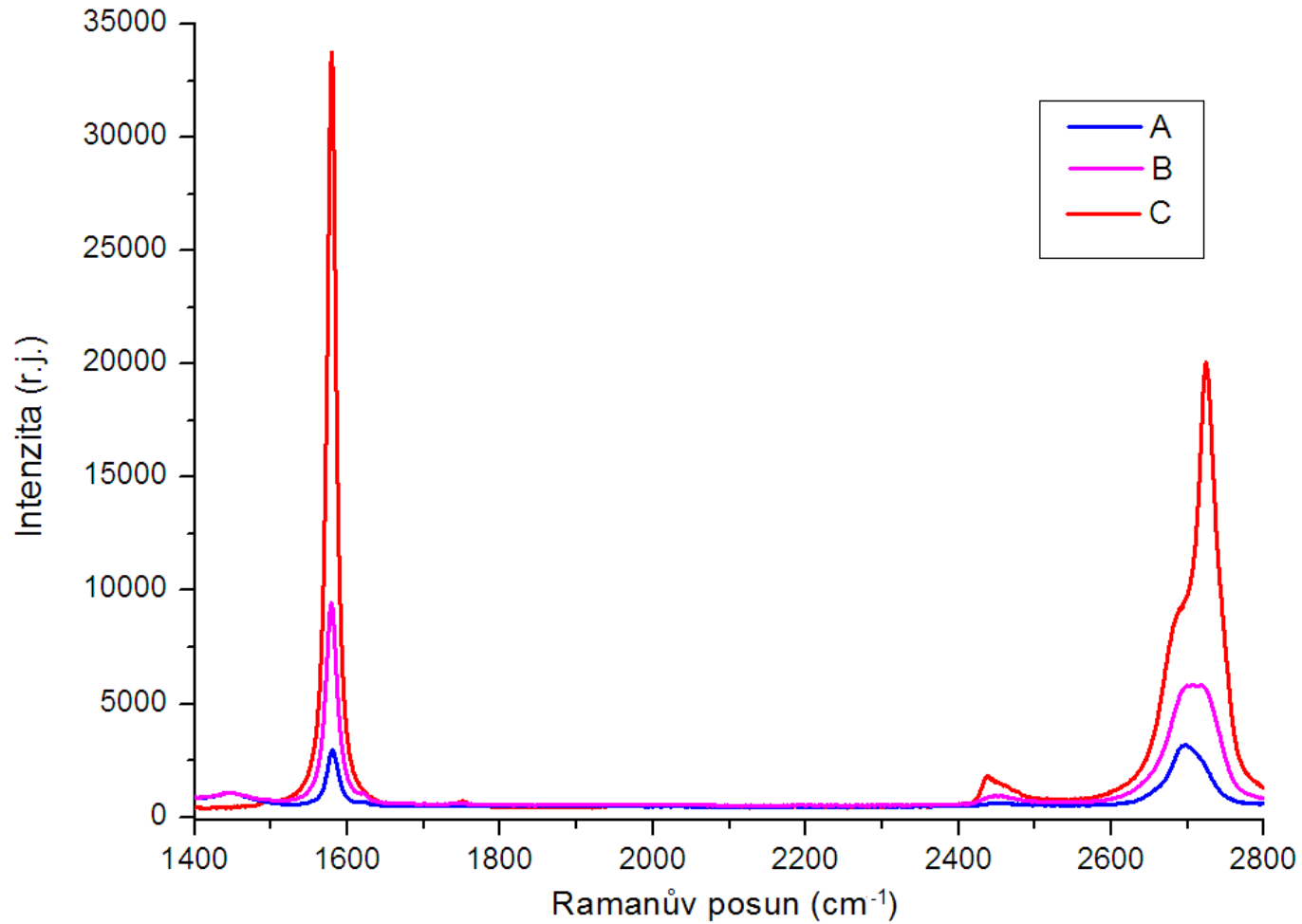
HOPG



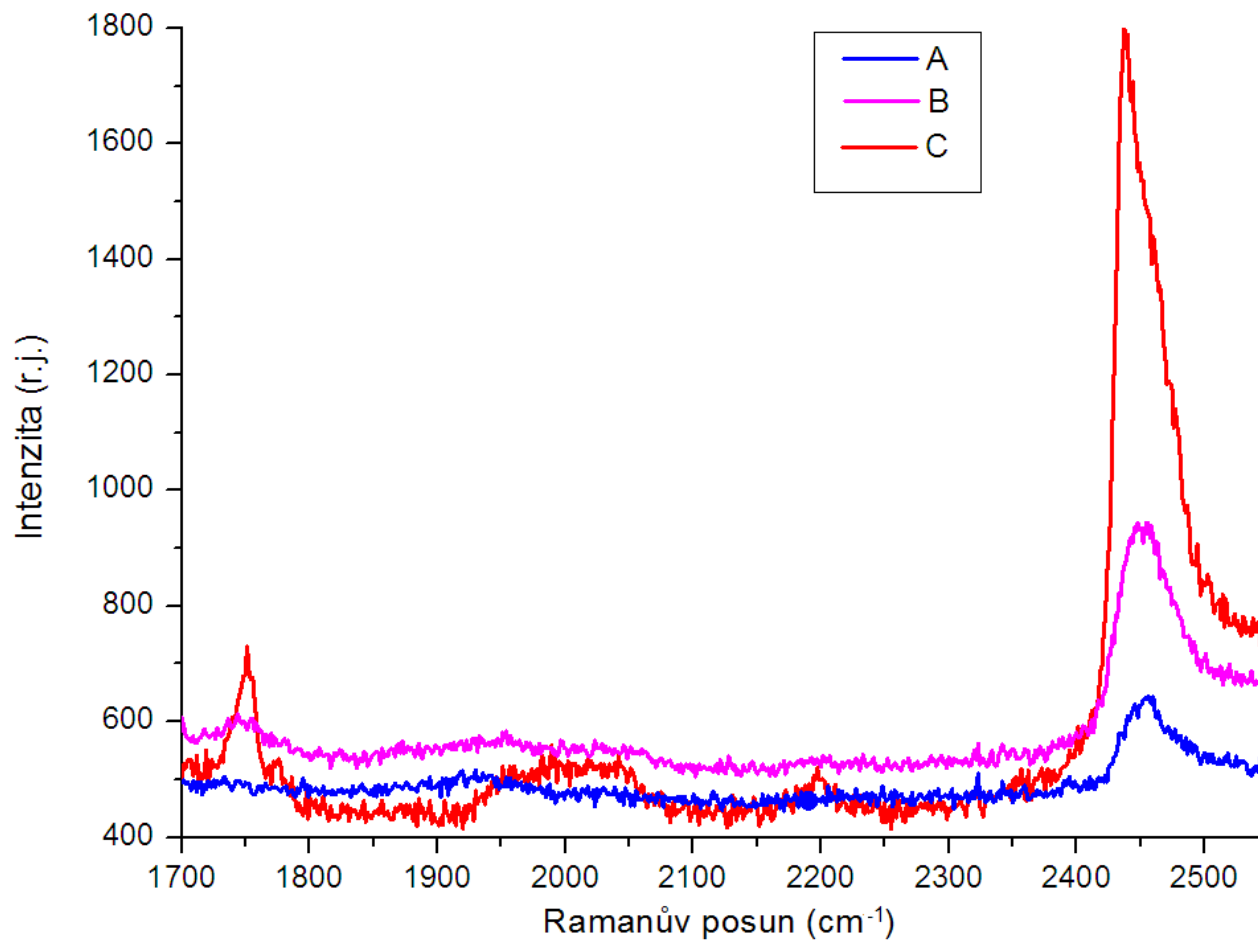
Vzorek připravený exfoliací



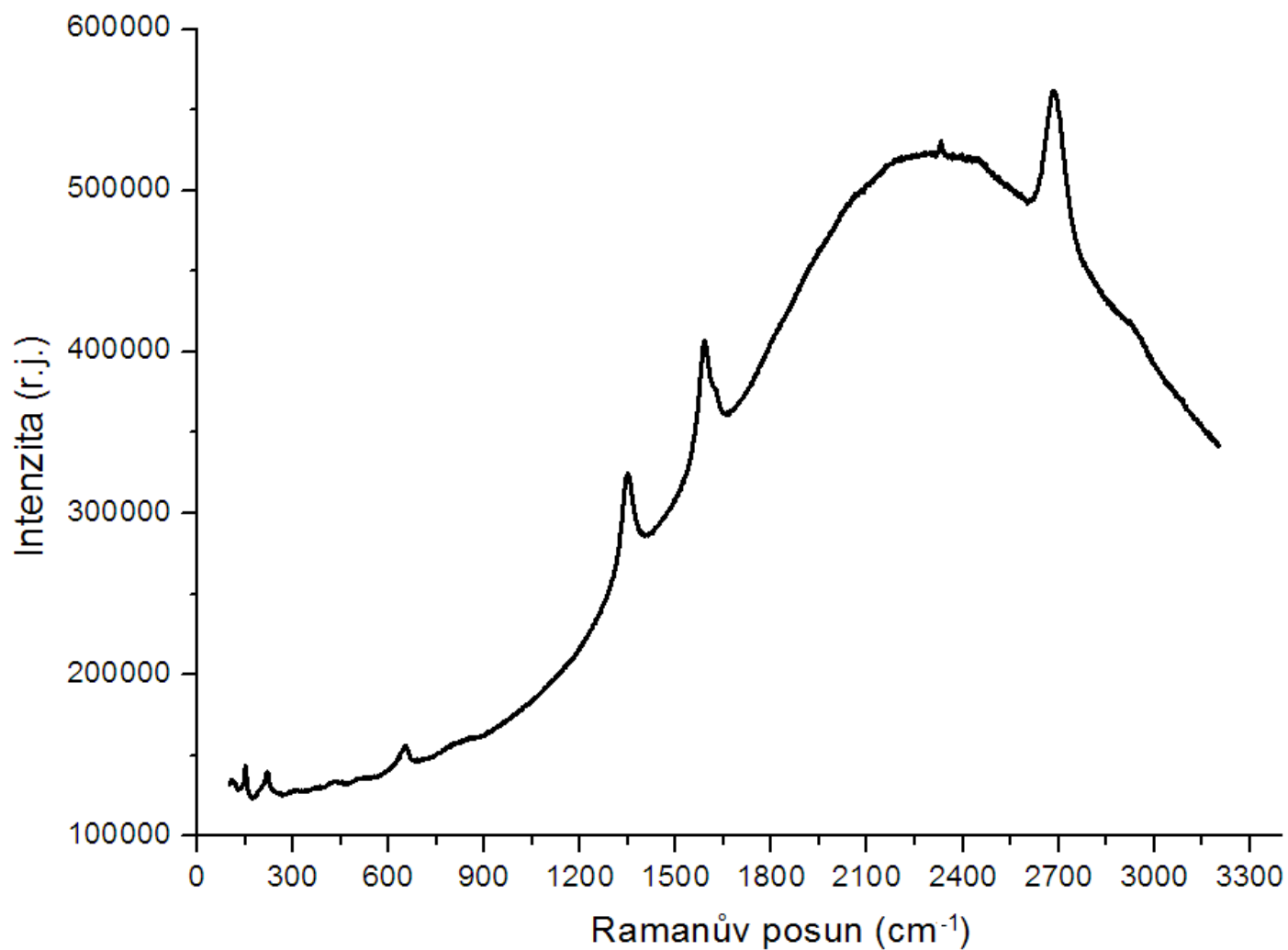
Naměřené spektrum



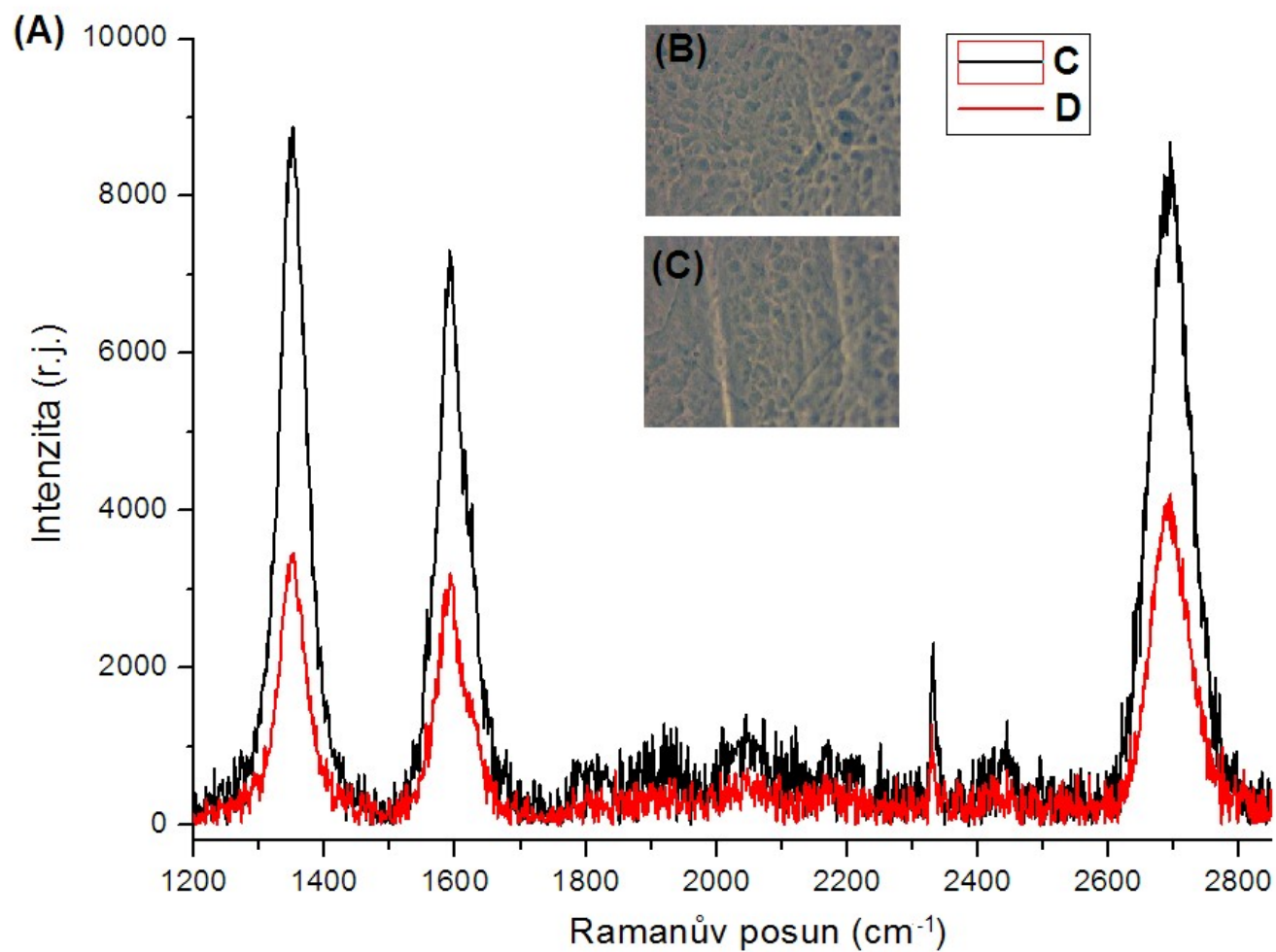
Detail spektra



Vzorek připravený pomocí CVD



Vzorek připravený pomocí CVD



Aplikace

- Podklady pro vzorky (TEM)
- Transparentní vodivé povlaky
- Superkondenzátory
- Skladování vodíku
- elektronika

Plánovaná činnost

- Optimalizace experimentů
 - příprava grafénu mechanickou metodou
 - a) úprava povrchové energie SiO₂
 - b) úprava zdroje grafitu
 - příprava grafénu pomocí CVD
 - a) přenos deponovaného grafénu z mědi
 - b) deponování grafénu na vhodném podkladu
 - c) příprava grafénu za atmosférického tlaku?
- Hydrogenizace grafénu

Závěrečné shrnutí

- Kde je ten grafén?
- Konkurence?
 - Silicene: Compelling Experimental Evidence for Graphenelike Two-Dimensional Silicon

Děkuji za pozornost

- Výběr z literatury

- Novoselov - A roadmap for graphene
- Geim – The rise of graphene
- Blake – Making graphene visible
- Soldano - Production, properties and potential of graphene
- M. Dresselhaus – Raman spectroscopy in graphene related systems
- Jelínek – Metody přípravy grafénu

- Zajímavá videa (youtube.com)

- AK Geim - Graphene Update 2011
- Mildred Dresselhaus - Raman Spectra of Graphene and Carbon Nanotubes