# Jak se dívat do mikrosvěta

## Radim Kusák

Dvořákovo gymnázium a Střední odborná škola ekonomická,

## Kralupy nad Vltavou

#### Abstrakt

USB mikroskop je dnes pomůcka dostupná za relativně rozumnou cenu. Podíváme se jím na nejrůznější povrchy - například na povrch stolu, mince a základní desku počítače. Také se podíváme na sirku, škrtátko případně magnetickou fólii a jako perličku na krystalizaci palmového vosku. Pro zvětšování malých objektů také využijeme například režim Super Makro fotoaparátu, případně i fotoaparát chytrých telefonů.

#### How to look into the microscopic world

USB microscope is nowadays a tool available for a good price. In this workshop we will take a look at different surfaces - e.g. the surface of the table, coins and a computer motherboard. We will also take a look at a match, the surface of a matchbox and a magnetic flux detector. On the top of that we will see a crystallization of the palm wax. As an enlarge tool we will use also a camera with Super Macro or Smartphone camera.

## Začínáme se dívat do světa malých rozměrů

#### Díváme se pouhým okem

Nejprve se do světa malých rozměrů podíváme pouhým okem. Chceme-li vidět detail nějakého povrchu, musíme se svým okem blíže k povrchu. Jdeme-li ale příliš blízko – přibližně na vzdálenost 5 cm a blíže, nic neuvidíme, jelikož nejsme schopni zaostřit. Podobnou zkušenost budeme mít i později, budeme-li zkoumat povrchy USB mikroskopem. Mikroskop nám totiž nabídne ostrý obraz jen při zvětšení odpovídající hodnotě 50 a 200, je-li mikroskop přiložen přímo ke zkoumanému povrchu.

#### Lupa

Další možností jak si něco zvětšit je použít lupu (přesněji spojku v lupě). Můžeme se bavit o pojmech jako je zvětšení lupy atd. ale naším cílem je podívat ještě menších rozměrů. Zkusíme si tedy vyrobit ze dvou spojek mikroskop. Dál už se klasickým mikroskopem nebudeme zabývat, a podíváme se spíše na zajímavé moderní technologie.



Obrázek 1: Kuličky z hydrogelu. Vlevo kuličky hydrogelu jako lupa, vpravo kuličky hydrogelu ve vodě.

Jako "lupu" je ale také možné využít i jiné prostředky, stačí jen, aby látka byla průhledná a měla kulový (nebo z části kulový) tvar. Jedním z příkladů takové "lupy" jsou kuličky z hydrogelu na květiny (viz obr. 1). Mají zajímavou vlastnost, že ve vodě nejsou téměř vidět (mají index lomu téměř shodný s vodou). Důležité je si ale uvědomit, využijeme-li kulové objekty s malým poloměrem křivosti, projeví se kulová vada.

#### Fotoaparát

Možnosti lupy a dívání se vlastním okem měli lidé už více než tři století. Bylo by tedy rozumné ukázat, jak tyto možnosti můžeme posunout v dnešní době. Jedním způsobem je využít fotoaparát. O využití fotoaparátu jsme měli možnost na Heuréce slyšet v dílně Hrátky s digitálním fotoaparátem v roce 2004 (viz [1]). Hezky bylo v tomto článku rozebráno určení povrchového napětí pomocí fotografie odkapávající kapky. Samotné odkapávání vody taktéž zkoumal o něco později rychloběžnou kamerou Janek Koupil, jehož videa jsou dostupné na [2]. V našem projektu e-VIM jsme taktéž prováděli měření povrchového napětí postupem popsaným Mirkem Jílkem v jeho dílně. Naše měření je dostupné na [3].

Chceme-li zkoumat malé rozměry fotoaparátem, je rozumné nastavit fotoaparát na makro, případně ještě lépe na režim Supermakro (pokud tuto funkci fotoaparát podporuje).

Malé objekty si poté jednoduše zobrazíme pomocí zvětšení fotografie buďto přímo ve fotoaparátu, případně později na počítači. Důležité je si ale uvědomit, že možnost zvětšení obrázku je limitována rozlišením obrázku a jeho velikostí.

#### Fotoaparát na mobilním telefonu a tabletu

Avšak v době dílny Hrátky s digitálním fotoaparátem nebyly digitální fotoaparáty dostupné všem studentům. Tuto situaci změnily mobilní telefony typu Smartphone, které mají v sobě zabudovaný fotoaparát umožňující dělat fotografie ve velmi slušném rozlišení (4-8MPx podle typu telefonu). Taktéž je možné využít stejným způsobem i tablet (viz obr. 2).



Obrázek 2: Určení povrchové napětí kapkovou metodou s vyžitím fotoaparátu na tabletu. Čtverečkovaný papír v pozadí slouží jako měřítko k určení rozměrů kapky a jejího krčku.

Pro určení povrchového napětí vyjdeme ze vztahu pro sílu povrchového napětí

 $F = \sigma l$ ,

kde *l* je délka krčku držícího kapku vody. Délku tohoto krčku spočteme jako

 $l = \pi d$ 

kde, *d* je průměr krčku. Budeme-li předpokládat, že kapka je těsně před odkápnutím, síla povrchového napětí odpovídá tíhové síle kapky. Označíme-li dále průměr kapky  $d_1$  a známe-li hustotu vody  $\rho$ , můžeme psát vztah pro povrchové napětí

$$\sigma = \frac{g \rho d_1^3}{6d}.$$

Hodnotu průměru kapky a krčku můžeme určit přímo z fotografie kapky (viz obr. 3), změříme-li například ústí injekční stříkačky. Případně jako u (obr 2) použijeme měřítko v pozadí fotografie. Chyba od tabulkové hodnoty je cca 24%, jak je ukázáno ve [3]. Přesnější měření dávají relativní chybu cca 5-10%.



Obrázek 3: Určení povrchového napětí pomocí fotografie kapky vody.

Výhodou mobilních telefonů je, že valná většina studentů již tyto mobilní telefony vlastní, jen je samotné nenapadlo vyžít telefon tímto způsobem. Další předností je možnost si přímo obrázek zvětšit případně upravit přímo v mobilním telefonu (obdobně jako u některých novějších digitálních fotoaparátů).

#### USB mikroskop

Využití USB mikroskopu (viz obr. 4) v hodinách fyziky může mít dvě hlavní roviny. První z nich je pouhé pozorování, kdy se jen dívám na věci kolem sebe. Druhým použitím mikroskopu je využít jej k měření rozměrů objektů – např. k určení tloušťky vlasu, velikosti zrnka soli atd.



Obrázek 4: Demonstrační foto USB mikroskopu. Pro měření je mnohem lepší si mikroskop přímo přiložit na měřený objekt.

#### Technické parametry mikroskopu

Abychom jen nemluvili o světě malých rozměrů, je dobré zmínit pár technických parametrů mikroskopu. Mikroskop zvětšuje 20x-230x. Pokud mikroskop přímo přiložíme na povrch, mikroskop zaostří ve dvou hodnotách zvětšení a to přibližně kolem hodnoty 50 a 200. Rozlišení mikroskopu, které jsme typicky využívali k pořízení obrázků a videa bylo 1280x1024px. Oblast, ve které vidíme ostrý obraz (hloubka ostrosti), odpovídá hodnotě cca 0,5 mm, při 200 násobném zvětšení.

Rozměry, ve kterých se budeme pohybovat, budou od stovek do desítky mikrometrů.

Typ mikroskopu, který jsme na měření využívali je DigiMicro 2.0 výrobce dnt (Drahtlose Nachrichtentechnik GmbH). Mikroskop lze zakoupit např. na [4]. Program, kterým jsme fotili a zaznamenávali video, se jmenoval MicroCapture-DNT. Zvětšení všech obrázků pořízených samotným mikroskopem je přibližně 200 při zobrazení na monitoru 1:1 (tyto obrázky jsou přiloženy na CD sborníku). Samotné zvětšení obrázků v textu se liší v závislosti na jejich úpravě v aplikaci Word.

#### Pozorování

Hlavním smyslem, použijeme-li mikroskop pouze k pozorování je prozkoumat svět malých rozměrů a taktéž motivace žáků k fyzice. Mikroskopy se obvykle ve škole využívají převážně v biologii, ale i z pohledu fyziky můžeme vidět zajímavé věci.

#### Díváme se kolem sebe

Dáme-li žákům (případně učitelům) do ruky USB mikroskop, jejich prvním úkolem je podívat se kolem sebe. To co máme nejblíže a můžeme se podívat je:

- povrch notebooku
- povrch stolu
- sirka a škrtátko
- chlupy na ruce
- vlasy
- text s obrázky
- oblečení
- nit obyčejná, bavlnka, režná
- pixely na monitoru, mobilním telefonu, tabletu
- mince
- pečivo
- natržený papír.

Dalšími zajímavými podněty jsou taktéž:

- magnetická fólie
- kevlarová nit
- kopřiva
- základní deska
- elektronické součástky dioda, fototranzistor
- listy květin.

Každý z příkladů výše, může dát studentům představu, jak svět malých rozměrů vypadá. Z praktických důvodů zde neukážeme fotografie všech věcí zmíněných výše, proto některé

z nich naleznete na CD sborníku a na stránkách [5]. Podívejme se nyní na některé z výše zmíněných příkladů.

#### Vlasy

Jako první ukázku jsme vybrali lidské vlasy. Podívat se na vlasy USB mikroskopem nabízí hezké propojení biologie a fyziky. Můžeme se dívat na vlasy na hlavě (viz obr. 5), případně můžeme jeden vlas vytrhnout a podívat se na jeho kořínek a koneček, případně v rámci měření určit tloušťku vlasu.



Obrázek 5: Lidské vlasy na hlavě. Tento obrázek nabízí studentům první pohled do mikrosvěta, zajímavý je tento obrázek už tím, že samotné vlasy můžeme vidět – což je pro mnohé studenty překvapením.

## Pixely LCD monitoru a vytištěný obrázek

To co by mohlo některé studenty překvapit je, jak vypadá pixel na LCD obrazovce, případně jak obrazovka zobrazuje jednotlivé barvy (viz obr. 6). Pixely obrazovky, případně mobilu a tabletu se vždy skládají ze tří barev – červené, zelené a modré. Anglicky se tyto barvy řeknou Red, Green, Blue, odtud také jeden z typů barevných schémat – RGB.

Mění-li se během zobrazování barva na monitoru, nejedná se o nic jiného, než tyto jednotlivé barvičky pixelu mění svojí intenzitu. Svítí-li všechny, vidíme bílou, nesvítí-li žádná, vidíme černou.



Obrázek 6: Pixely notebooku Dell XPS L702x. Monitor svítil bílou barvou.

To co je také i z pohledu informatiky zajímavé je podívat se na vytištěný text. Kupujete-li tonery do tiskárny, jistě jste si všimli, že nekupujete, červenou, zelenou a modrou – jako jsou barvy v pixelu, ale barvy tyrkysová, purpurová, žlutá (a černá). Anglicky se tyto barvy řeknou po řadě Cyan, Magenta a Yellow (a BlacK). Odtud také název barevné palety s označením CMYK. Vytištěný barevný obrázek (případně text) je následně vytištěný jako kombinace těchto barev (viz obr. 7)



Obrázek 7: Vytištěná část obrázku na inkoustové tiskárně. Můžeme zde vidět, že samotný obrázek je jen kombinace barev CMYK. Rozměry ve skutečnosti je přibližně 2,1x1,7 mm.

## Magnetická fólie

Pomůckou, která se objevila v hodinách fyziky teprve nedávno, je magnetická fólie (viz obr. 8). Přiložíme-li k ní magnet, tak zčerná (přesněji záleží, jak magnet přiložíme). Zčernání je způsobeno zrnky niklu. Zajímavé je se podívat USB mikroskopem, co toto zčernání způsobuje. Překvapivě za zčernání mohou malé částečky niklu, velké krystalky se vůbec nepohnou.



Obrázek 8: Magnetická fólie. Velké krystalky se při přiložení magnetického pole vůbec nepohnou, zatímco malé částečky se natočí tak, že zčernají.

## Obyčejná nit

Jak již název napovídá, podíváme se nyní na obyčejnou nit, která praskla. Podíváme-li se pouhým okem, neuvidíme nic zajímavého. Pod mikroskopem se nám ale naskytne tento zajímavý obrázek (viz obr. 9).



Obrázek 9: Nasvícená vlákna přetržené nitě, působí velmi efektně.

## Měření

V rámci fyziky ale nemusíme zůstat jen u pozorování. Díky USB mikroskopu můžeme taktéž provádět i měření rozměrů v mikrosvětě, případně jako další námět může být zkoumání, jak rychle probíhají fyzikální děje v mikrosvětě (zkoumání rychlosti dějů v tomto článku nenaleznete).

Chceme-li provádět měření mikroskopem, je potřeba si dát pozor, abychom měli na obrázku:

- měřítko, nebo
- rozměr, který známe nebo jsme schopní zpětně určit,

případně znali

• velikost zvětšení a rozměry obrázku.

Jako měřítko můžeme použít milimetrový papír, nebo si můžeme vyrobit ještě jemnější měřítko pomocí programů na vektorovou grafiku jako je Corel Draw. Nejjemnější dílek, který běžná tiskárna zvládne rozumně vytisknout je přibližně 0,5 mm. Důležité je si uvědomit, že na těchto rozměrech už hraje roli tloušťka čáry.

Nemáme-li možnost umístit na pořízený obrázek měřítko, je důležité najít na obrázku alespoň jeden rozměr, který známe, nebo jsme schopni zpětně určit. Při měření povrchového napětí by tímto rozměrem mohlo být ústí injekční stříkačky a obecně při videoměření například postava člověka, kterého známe, automobil atd. Tento způsob měření se používá, chceme-li se dívat do ještě menších rozměrů – řádově nanometrů, kde se využívá referenčních koulí (krátké povídání k tomuto tématu viz [6].

Zajímavé na USB mikroskopu je fakt, že měření můžeme provádět jen na základě zvětšení mikroskopu, které z něj odečteme (viz obr. 10).



Obrázek 10: Odečtení zvětšení přímo z mikroskopu. Zvětšení mikroskopu odečteme díky malému černému kolíku – detail vpravo.

Následně samotné měření provedeme přímo v programu MicroCapture-DNT, poklepáním na vyfocený obrázek a zadáním zvětšení v pravém horním rohu programu (viz obr. 12).

Na co je dobré si dát při měření pozor:

- fotoaparát musí být kolmo na měřený objekt
- měřítko by mělo být v obou směrech pozorované plochy
- musíme si dát pozor i na perspektivu objekty blíže se jeví větší.

#### Krystalky kuchyňské soli

Jednoduchým měřením, které by měl zvládnout každý student, je měření velikosti zrnka soli. Sůl jednoduše nasypeme na papír s měřítkem (můžeme si vytisknout vlastní, případně použít milimetrový papír) a poté přiložíme USB mikroskop a pořídíme fotku (viz obr. 11).



Obrázek 11: Zrnka soli. Vzdálenost černých čar je 0,5 mm. Pozor tato vzdálenost je od středu ke středu černých čar.

#### Velikost pixelu

Zajímavým měřením nejen z pohledu fyziky ale i informatiky je určení velikosti pixelu monitoru. Pro naše měření jsme použili obrazovku 17,3" notebooku Dell XPS L702x s rozlišením FullHD. Samotné měření můžeme vidět na (obr. 12).



Obrázek 12: Určení velikosti pixelu pomocí USB mikroskopu. Číslo 215 vpravo nahoře udává hodnotu zvětšení mikroskopu – zadává se ručně odečtením z mikroskopu.

Náš výsledek pomocí USB mikroskopu si můžeme snadno ověřit výpočtem. Monitor, jehož pixely jsme fotili má výšku displeje cca 220 mm a rozlišení ve vertikálním směru 1080 px, což nám dává přibližně 0,2 mm.

## Další náměty na měření

USB mikroskopem ale nemusíme měřit jen krystalky kuchyňské soli a velikost pixelu. Můžeme také zkoumat, jak se liší tloušťka vlasů různé barvy, případně jak se liší tloušťka vlasů, pokud je obarvíme. Dalším zajímavým námětem je podívat se součástky na křemíkové destičce (viz obr. 13).



Obrázek 13: Určení rozměrů na křemíkové destičce. Destičku nám na dílnu přinesli kolegové z dílny *Světlo ze světla* 

#### Pot

Zajímavým námětem je také podívat se na koneček prstu, jak se člověk potí (viz obr. 14 a video [7]). Pot je chladícím mechanizmem našeho těla. Je zajímavé sledovat vznik samotného potu a jeho vypařování, případně lze na dotyčnou osobu zakřičet a sledovat jak pocení typicky zintenzivní.



Obrázek 14: Pot na konečku prstu

#### Krystalizace palmové svíčky

Jako poslední perličku na závěr, se podíváme na krystalizaci palmové svíčky. Typicky se učí, že vosk je látka amorfní, existují ale i vosky které krystalizují (viz obr. 15). Samotnou krystalizaci vosku můžeme sledovat přímo USB mikroskopem, odkápneme-li trochu vosku na papír a přiložíme na něj mikroskop. Ne vždy se krystalizace podaří jako na videu [8]. Rozhodně se ale jedná o zajímavou podívanou.



Obrázek 15: Krystalizace palmového vosku.

## Poděkování

Velký dík patří všem účastníkům dílny *Jak se dívat do mikrosvěta*, jelikož každý z nich přinesl do dílny něco nového, co se dá USB mikroskopem zkoumat.

Také bychom chtěli poděkovat za možnost realizovat přírodovědný projekt e-VIM (výuka interaktivní moderní, CZ.1.07/1.1.06/03.0057), probíhající na Dvořákově gymnáziu a Střední odborné škole ekonomické, Kralupy nad Vltavou. Tento projekt je financován Evropským sociálním fondem a rozpočtem České republiky. Materiály z tohoto projektu jsou dostupné na stránkách [9].

### Literatura

- [1] Jílek M.: *Hrátky s digitálním fotoaparátem*, v Dílny Heuréky 2003-2004, Sborník konferencí projektu Heuréka, Ed. Dvořák L. Prometheus, Praha 2005 str. 91-94
- [2] Koupil J.: Drop forming at water faucet @ 1200 FPS [online]. Dostupné z: http://www.youtube.com/watch?v=cJUnZAnSsIE&feature=plcp [cit. 2012-11-03]
- [3] Kusák R.: Měření povrchového napětí vody pomocí kapky vody [online]. Dostupné z http://app.evim.cfme.net/default.aspx?id=675 [cit. 2012-11-13]
- [4] Conrad Electronic: Digitální mikroskopová kamera DigiMicro 2.0 [online]. Dostupné z: http://www.conrad.cz/digitalni-mikroskopova-kamera-digimicro-2-0.k191250
  [cit. 2012-11-04]
- [5] Kusák R.: USB mikroskop. [online] Dostupné z: http://www.radim-kusak.net/vyukatemata/fyzika/usb-mikroskop [cit. 2012-11-04]
- [6] Nanotechnology World: NIST Reference Materials Are 'Gold Standard' for Bio-Nanotech Research [online]. Dostupné z: http://www.nanotechnologyworld.co.uk/index.php?option=com\_content&view=article &id=602:nist-reference-materials-are-gold-standard-for-bio-nanotechresearch&catid=20:products&Itemid=47
- [7] Kusák R.: Pot [online]. Dostupné z: http://www.youtube.com/watch?v=1y7rUZtV7aA [cit. 2012-11-04]
- [8] Krystalizace vosku z palmové svíčky [online]. Dostupné z: http://www.youtube.com/watch?v=ZkUUUOiWrQc [cit. 2012-11-04]
- [9] Stránky projektu e-VIM. Dostupné z: http://evim.cfme.net/ [cit. 2012-11-04]