



Přírodovědecká
fakulta

Přírodovědecká fakulta

Univerzita Palackého v Olomouci

Katedra experimentální fyziky

Diplomová práce

Fyzikální procházky Olomoucí (A physics walk around Olomouc)

Autor: Jaroslav Šůstek

Vedoucí práce: Mgr. Lukáš Richterek, Ph.D.

Studijní obor: učitelství pro střední školy

Forma studia: prezenční

Rok: 2016

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Jaroslav Šůstek

Název práce: Fyzikální procházky Olomoucí

Typ práce: Diplomová

Pracoviště: Katedra experimentální fyziky

Vedoucí práce: Mgr. Lukáš Richterek, Ph.D.

Rok obhajoby práce: 2016

Počet stran: 71

Počet příloh: 5

Jazyk: Český

Abstrakt: Cílem práce bylo vytvořit informační materiály pro návštěvu různých míst Olomouce zajímavých z hlediska fyziky, techniky a astronomie (orloj, sluneční hodiny, zvony katedrály sv. Václava, Englerovy varhany). Součástí jsou základní informace a zajímavosti i návrhy pracovních listů pro žáky. Výstup může sloužit jak k výukovým aktivitám olomouckých škol, tak školním exkurzím při návštěvě města.

Bibliographical identification

Autor's first name and surname: Jaroslav Šůstek
Title: A physics walk around Olomouc
Type of thesis: Diploma work
Department: Department of Experimental Physics
Supervisor: Mgr. Lukáš Richterek, Ph.D.
Year of presentation: 2016
Number of page: 71
Number of appendices: 5
Language: Czech
Abstrakt: The aim of this work was to prepare and complete information materials about places in Olomouc interesting from point of view of Physics, engineering and astronomy. The materials include basic facts, some interesting details and student worksheets. The output is intended for various outdoor activities of the schools and school excursions.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Lukáše Richterka, Ph.D., a že jsem použil zdrojů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

V Olomouci

.....
podpis

Úvod	6
Část I: Materiály pro učitele	8
1 Orloj.....	9
1.1 První zastávka: na radnici	9
1.1.1 Co si vzít s sebou.....	9
1.1.2 Dostupnost výstavy	9
1.1.3 Cíl procházky/zastávky	10
1.1.4 Doporučený průběh procházky/zastávky	10
1.1.5 Stručná historie	11
1.1.6 Fabriciův astronomický číselník.....	12
1.1.7 Nové pojmy	15
1.2 Druhá zastávka: před radnicí.....	17
1.2.1 Co si vzít s sebou.....	17
1.2.2 Dostupnost	17
1.2.3 Cíl procházky/zastávky	17
1.2.4 Doporučený průběh procházky/zastávky	18
1.2.5 Popis orloje.....	18
2 Sluneční hodiny	22
2.1 Co vzít s sebou.....	22
2.2 Dostupnost	22
2.3 Cíl procházky/zastávky	22
2.4 Doporučený průběh procházky/zastávky.....	22
2.5 Základní princip slunečních hodin	24
2.6 Jednotlivé sluneční hodiny v Olomouci	29
2.6.1 Na Letné 59.....	29
2.6.2 Mlčochova	30
2.6.3 Wurmova 11	30
2.6.4 Křížkovského 8.....	31
2.6.5 Univerzitní 3	31
2.6.6 Mariánská 7	32
2.6.7 Na Pažitu.....	33
2.6.8 Škroupova 6.....	33
2.6.9 Blažejské náměstí 3	34
2.7 Navržená trasa.....	34

2.8	Nové pojmy	35
3	Zvony v jižní věži katedrály svatého Václava	37
3.1	Co vzít s sebou	37
3.2	Dostupnost	37
3.3	Cíl procházky/zastávky	37
3.4	Doporučený průběh procházky/zastávky	38
3.5	Základní princip	42
3.5.1	Zajímavosti.....	42
3.5.2	Pohon.....	43
3.5.3	Zvuk zvonu.....	44
3.6	Zvony v jižní věži katedrále sv. Václava	46
3.7	Nové pojmy	48
4	Englerovy varhany v kostele sv. Mořice	49
4.1	Co vzít s sebou	49
4.2	Dostupnost	49
4.3	Cíl procházky/zastávky	49
4.4	Doporučený průběh procházky/zastávky	49
4.5	Fyzikální základy zvuku varhan	51
4.6	Englerovy varhany u sv. Mořice v Olomouci	55
4.7	Analýza zvuku varhan	56
4.8	Nové pojmy	60
	Část II: Pracovní listy pro žáky	61
1	Orloj.....	62
1.1	Expozice orloje v budově radnice.....	62
1.2	Před orlojem.....	63
2	Sluneční hodiny	64
3	Zvony v jižní věži katedrály svatého Václava	66
4	Englerovy varhany v kostele sv. Mořice	67
	Závěr.....	69
	Použité prameny	70
	Knihy a časopisy.....	70
	Internetové zdroje.....	70
	Bakalářské a diplomové práce.....	71
	Seznam příloh.....	72

Úvod

Cílem této diplomové práce bylo vytvoření materiálu pro vyučující fyziky na základních a středních školách. Materiál obsahuje seznam pomůcek, doporučený průběh daných zastávek, dostupnost jednotlivých míst, základní teoretický přehled související s daným místem, pracovní listy včetně správného řešení, vysvětlení nových pojmů a řadu fotografií, které jsou volně dostupné na přiloženém CD a http://muj.optol.cz/richterek/doku.php?id=vyuka#vybrane_diplomove_prace. Práce je rozdělena na dvě části. První část zahrnuje podrobnější informace pro učitele a druhá část pracovní listy pro žáky. Na konci kapitol v části pro učitele jsou shrnuty a stručně vysvětleny pojmy, které by mohly být zejména pro žáky ZŠ neznámé. Při prvním použití v dané části je takový nový pojem zvýrazněn kurzívou.

Vytvořená diplomová práce shrnuje jak informace čerpané z odborné knižní a časopisecké literatury, tak zkušenosti a zajímavé podněty získané v diskuzích s odborníky, kteří v daném místě působí a mají detailní znalosti např. o konstrukci a zajištění provozu varhan a zvonů. Prvním je pan Bc. Antonín Kučera, se kterým jsem konzultoval některé z pojmů týkajících se zvonů. Dále souhlasil se zveřejněním jeho telefonního čísla, aby bylo možné se po předešlé domluvě dostat na dómskou věž. Dalším z odborníků je mořický varhaník Václav Metoděj Uhlíř, který nám během své přednášky například poradil zajímavé rejstříky pro zvukovou analýzu. Jím navržené rejstříky jsou zanalyzovány v části 4.6. Posledním z odborníků, se kterým jsem se setkal, je pracovník VMOL pan Mgr. Martin Zdražil. Ten mi doporučil další literaturu týkající se orloje a pomohl najít fotografii originálu Fabriciova planisféria.

Připravené materiály mohou být využity k doplňkovým aktivitám mimo klasické školní třídy, v rámci projektových dnů a školních exkurzích, případně i v rámci kroužků a podobných mimoškolních vzdělávacích aktivit. Žáci si přitom nejen zopakují a prohloubí fyzikální znalosti, ale lze připomenout a posílit i mezipředmětové vztahy, zejména mezi fyzikou a matematikou, dějepisem, zeměpisem a hudební výchovou. U žáků z Olomouce a okolí pak hlubší seznámení se zajímavými místy může posílit vztah k městu, v němž žijí nebo studují.

V práci jsou ověřeny teoretické vztahy, které jsou platné pro zvony nebo pro varhanní píšťaly. Dále je v jednotlivých kapitolách uvedena i doporučená četba pro hlubší poznání dané problematiky, včetně doporučených mobilních nebo počítačových aplikací, na kterých lze některé jevy demonstrovat či ověřovat. V práci je zahrnuta jak fotodokumentace popisovaných lokalit, tak ilustrační obrázky. Některé z nich jsou vytvořeny v programu GeoGebra, který je volně dostupný a pro vyučující předmětu matematika dobře využitelný při výuce.

Spojení konkrétních míst s vybranými kapitolami fyziky mne nadchlo hned při zadání diplomové práce, a to z několika důvodů. Během svých studií jsem několikrát slyšel diskuzi lidí stojících před orlojem o tom, co znamenají jednotlivé ukazatele na orloji. S orlojem se pojí pohyb planet, proto je součástí této práce kapitola věnující se slunečním hodinám. Jako varhaník vím, že se v Olomouci nacházejí největší varhany v České republice. Díky mému známému Bc. Antonínu Kučerovi vím, že se v Olomouci nachází nejtěžší zvon na Moravě. Jelikož se na některá místa lze volně dostat pouze v omezenou dobu, napadlo mne, že by bylo dobré pro zpestření výuky fyziky se na tato místa dostat a ukázat žákům fyzikální jevy týkajících se těchto míst.

Rád bych poděkoval vedoucímu práce za pomoc při vytváření některých fotografií a zvukových nahrávek a cenné rady pro vznik této diplomové práce. Veliké díky patří i Bc. Antonínu Kučerovi, který

mi poskytl jednotlivé nahrávky zvonů, umožnil volný přístup na jižní věž katedrály sv. Václava a souhlasil se zveřejněním svého telefonního čísla pro případnou prohlídku věže pro jednotlivé skupiny. Dále bych rád poděkoval mořickému varhaníkovi Václavovi Metoději Uhlíři, který nám umožnil prohlídku Englerových varhan a pořízení nahrávek použitých v práci. Poděkování patří také P. Mgr. Antonínu Baslerovi za přístup na střechu kostela sv. Michala a Mgr. Jakubovi Hutyrovi za pořízení fotografií východu slunce ze střechy kostela sv. Michala.

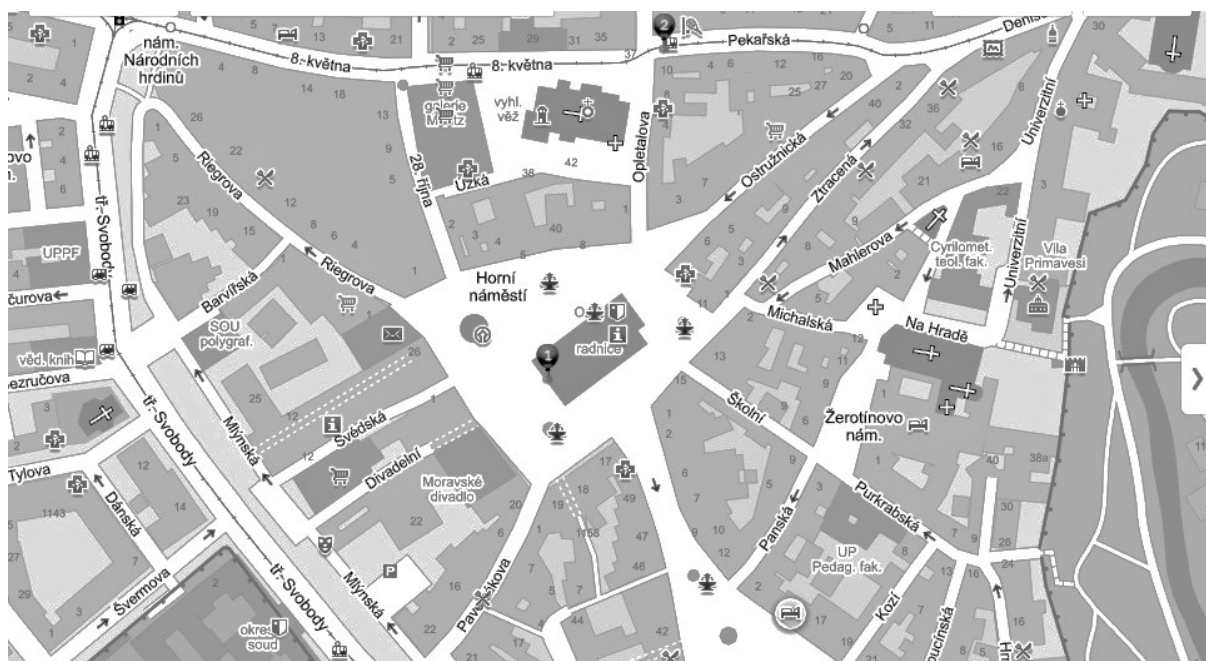
Část I: Materiály pro učitele

1 Orloj

Tato zastávka je rozdělena do dvou částí. Jedna z nich zahrnuje vnitřní prostory radnice, kde je možnost navštívit expozici týkající se historie orloje. Druhá je na Horním náměstí přímo před orlojem. Obě zastávky jsou zaměřeny na astronomickou část orloje, která je z fyzikálního hlediska nejzajímavější. Nejprve doporučujeme navštívit expozici na radnici.

Může se stát, že některé pojmy budou nové i pro středoškolské žáky. Jejich vysvětlení uvádíme na konci této kapitoly.

1.1 První zastávka: na radnici



Obr. 1: Vstup do radnice. 1. Hlavní vstup do radnice, 2. tramvajová zastávka U Sv. Mořice (zdroj: <http://www.mapy.cz>).

1.1.1 Co si vzít s sebou

Expozice je složena z velkých obrazů, proto si s sebou vezměme laserové ukazovátko. Žáci budou potřebovat tužku, vytisknutý pracovní list, pro snadnější vyplňování pevnou podložku. Pokud navštívíme expozici v rámci úředních hodin (viz část 1.1.2. Dostupnost výstavy), využijeme vstup zdarma, v opačném případě je cena cca 40 Kč za osobu.

1.1.2 Dostupnost výstavy

Ve vestibulu druhého patra olomoucké radnice nalezneme stálou expozici týkající se historie místního orloje. Můžeme ji navštívit zdarma v rámci úředních hodin radnice v následujících časech:

pondělí	8:00 – 12:00	13:00 – 17:00
úterý	8:00 – 12:00	13:00 – 15:30
středa	8:00 – 12:00	13:00 – 17:00
čtvrtek	8:00 – 12:00	13:00 – 15:30

Výstava je dostupná i v rámci hodinové prohlídky s názvem „Olomouc v kostce“. Tato prohlídka je zpoplatněná, v lednu 2016 byla cena pro děti ve věku od 6 – 15 let 35 Kč. Prohlídka je časově omezená, ale větší skupiny se mohou předem domluvit na jiném termínu, než jsou časy exkurze. Bližší informace nalezneme na internetových stránkách:

http://tourism.olomouc.eu/tourism/special-tours/olomouc-in-a-nutshell/article_id=1820/cs.

Kromě výše uvedené prohlídky je možno expozici navštívit během výstupu na věž, který lze po domluvě v informačním centru (umístěno v podloubí radnice) objednat za poplatek 10 Kč/žák a 30 Kč/dospělý.

1.1.3 Cíl procházky/zastávky

Po návštěvě výstavy na radnici by měli žáci ZŠ:

- rozlišit základní rozdíly mezi historickým a současným orlojem;
- aplikovat dosažené vědomosti ve výuce dějepisu;
- rozlišit jednotlivé části orloje;
- přiřadit astronomické symboly vybraným tělesům sluneční soustavy;
- vyčíst základní údaje orloje;

Po návštěvě výstavy na radnici by měli žáci SŠ:

- charakterizovat rozdíly geocentrického a heliocentrického modelu sluneční soustavy;
- vysvětlit princip stereografické polární projekce;
- alespoň zčásti pochopit matematické výpočty potřebné k výstavbě orloje;
- aplikovat vybrané poznatky ve výuce zeměpisu (např. sklon zemské osy);
- vyčíst/zjistit základní informace z geocentrického uspořádání historického orloje.

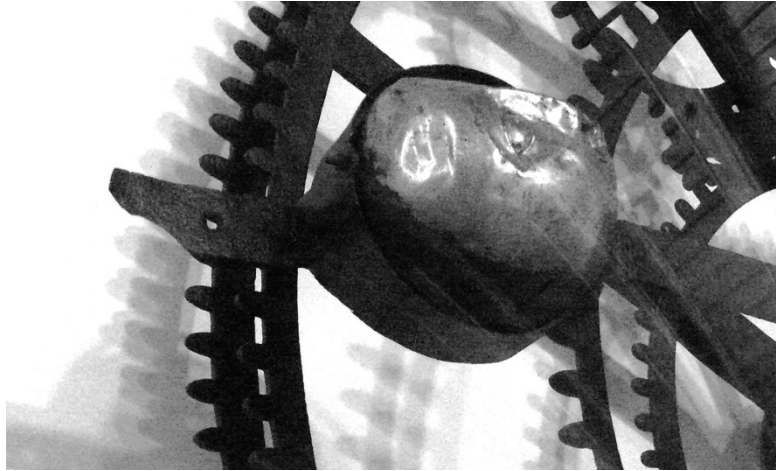
1.1.4 Doporučený průběh procházky/zastávky

S žáky dojdeme na místo výstavy a rozdejme podle časových možností pracovní listy jednotlivcům, případně malým skupinkám. Nejrychlejší, případně skupinu s největším počtem správných odpovědí odměňme podle možností a vlastního uvážení.

Poté řekněme žákům správné odpovědi:

1. Z kterých ozubených kol se skládalo ukazovací soukolí astronomického číselníku? Ze tří ozubených kol (měsíčního, slunečního a zvířetníkového). Zde seznámíme žáky se stručnou historií orloje.
2. Vychází historická konstrukce olomouckého orloje z heliocentrické soustavy nebo geocentrické soustavy? Geocentrická. Ukažme na soukolí s rafiemi Měsíce a Slunce, které obíhaly kolem Země.

3. *Bylo možné z uspořádání orloje vyčíst v jaké fázi se nacházel Měsíc? Ano. Pomocí dvoubarevné rafie otáčející se podle fáze Měsíce kolem své osy (viz obr. 2) a nebo díky železnému kolu s malovanými tvářemi Měsíce.*



Obr. 2: Rafie Měsíce

4. *Z jakého kovu byla vyrobena dochovaná síť astrolábu? Jedná se o pozlacenou měď. Zde pomocí ukazovátka ukažme žákům jednotlivé části planisféry. Popis nalezneme v podkapitole Fabriciův astronomický číselník.*

5. *Jak se jmenovali astronom a hodinář, kteří se podíleli na přestavbě orloje v letech 1570 – 1575? Hans Pohl – mechanik a hodinář, Pavel Fabricius – astronom a vědec.*

6. *Jaká byla v porovnání s ostatními astroláby v Evropě velikost astrolábu olomouckého orloje po přestavbě z konce 16. století? Největší.*

7. *Která hodinářská rodina se nyní stará o orloj? Rodina Schusterů.*

8. *Jak často se musí ručně natahovat současný stroj orloje? Každý den.*

9. *Jaké sféry bylo možné na orloji nalézt? Sféra zemská, hvězdná a andělská. Ukážeme opět ukazovátkem.*

Po případné diskusi se žáky, např. o tom, co se dozvěděli nového, se vydejme k současnému orloji, který je z boku radnice vedle infocentra (viz 2. zastávka).

1.1.5 Stručná historie

Během 14. a 15. století se rozhodla řada měst v Evropě vybudovat orloj. Mezi nejstarší patří orloj ve Štrasburku, se kterým bývají orloje v Praze a v Olomouci srovnávány. Jednalo se o dílo, ve kterém se prolínala duchovní, umělecká a vědecká hlediska. Orloj je navíc pokládán za velmi komplexní dílo z hlediska mechaniky, matematiky a astronomie.

Přesné datum, ani rok vzniku orloje v Olomouci nejsou dosud přesně známé. Podle legendy byl postaven mezi lety 1419 – 1421. První písemné zmínky o něm však pochází až z 16. století. S jistotou můžeme tedy říct, že Olomouc měla orloj někdy mezi 15. – 16. stoletím. Díky svému třípatrovému řešení jej pokládáme za orloj štrasburského typu. Nejenom výzdoba, ale i technické řešení se v těchto patrech v průběhu staletí měnilo. Díky tomu, co vše o orloji víme a jakým způsobem byl řešen mechanismus, který ukazoval astronomické údaje, dělíme vývojové etapy orloje do následujících fází:

- **První etapa:** Od vzniku orloje do jeho obnovy v letech 1570 – 1575, kdy nejsou dochovány žádné písemné údaje o technickém řešení.
- **Druhá etapa:** Od roku 1575 do roku 1898, kdy konstrukce orloje byla geocentrická. Toto uspořádání orloje vidíme na obr. 3.



Obr. 3: Fotografie z fotky akvarelu J. Fišera.

Zásadní přestavbu provedl hodinář Hans Pohl společně s vídeňským doktorem a astronomem Pavlem Fabriciem v roce 1570. Dochované části lze zhlédnout na výstavě ve druhém patře. Výzdoba orloje byla velmi bohatá. Orloj například v jednom období obsahoval malé varhany, zvonkohru, aj. (můžeme vidět v expozici). Kromě nádherných maleb znázorňujících například antické filozofy, zde byly i pohyblivé figurky, například figurka sv. Václava, otáčející hlavu podle pohybu kyvadla, figurka muže, který držel v levé ruce provaz a zvonil hodinovým zvonkem apod. V roce 1746 byl na orloj instalován číselník s jednotlivými dny v roce, na které ukazovala hůlka v ruce anděla.

- **Třetí etapa:** Od roku 1898, kdy Fabriciova planisféra byla nahrazena heliocentrickou planisférou. Toto technické řešení orloje zůstalo až do dnešních dnů.

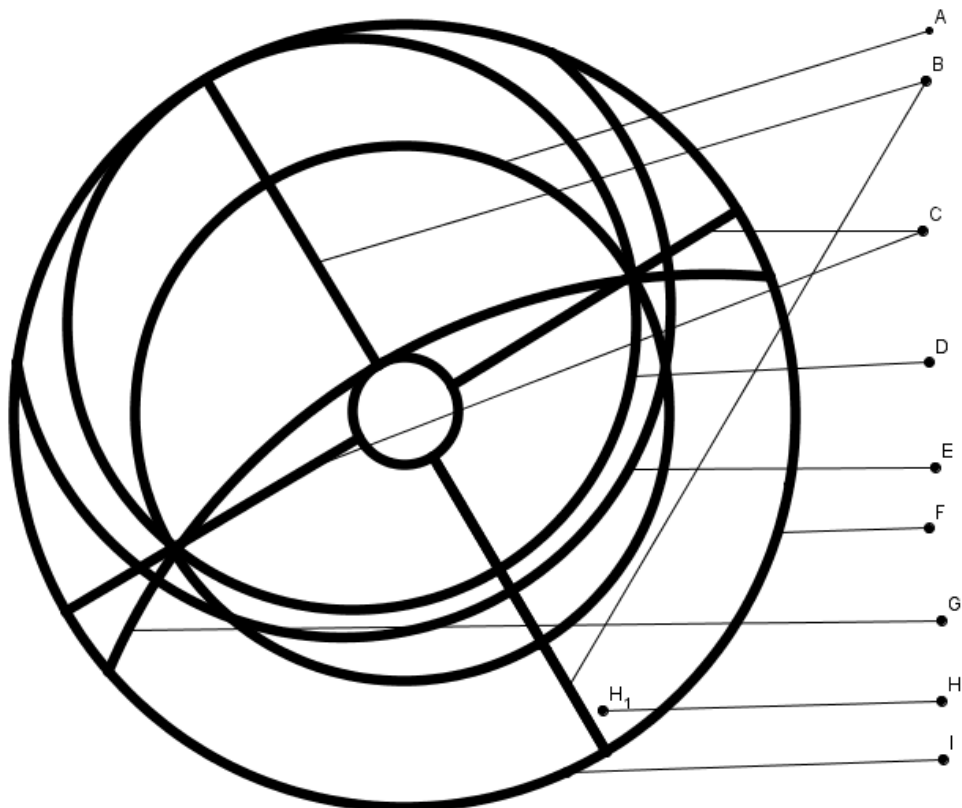
1.1.6 Fabriciův astronomický číselník

Spolu se čtyřmi dalšími číselníky byl součástí hvězdného (druhého) patra orloje. Jeho základ představuje konstrukce astrolábu, které se využívalo na většině orlojů, například pražský orloj má toto řešení do dnešních dnů. Astroláb obecně sloužil k přímému pozorování, tj. měření výšek objektů nad horizontem a k určování času podle postavení Slunce a hvězd. Základem užití bylo nastavení sítě astrolábu (tzv. rete, představovalo hvězdné nebe s ekliptikou) do takové pozice vůči spodní desce astrolábu (představující pozorovatelův horizont), aby bylo ve shodě se skutečným vzájemným postavením nebeské sféry, vůči pozorovatelovu horizontu (Čermák, 2005, s. 7). V případě orloje pohyb rete, ručiček znázorňující Slunce a Měsíc, zajišťovalo mechanické zařízení. Ozubení stroje je k vidění také v budově radnice.

Do dnešních dnů se dochovala z astrolábu pouze jeho síť. Originál je uchován v depozitu Vlastivědného muzea. Po předchozí mailové domluvě s panem Mgr. Martinem Zdražilem (zdrazil@vmo.cz), lze originál zhlédnout. Na expozici je k vidění fotografie ve skutečné velikosti. Rete obsahovalo spoustu údajů, které byly již předem smluvně vyžadovány. Fabricius je obohatil ještě o juliánský kalendář. Jelikož popisky jsou malé, navíc psány latinsky a německy, je uveden na

obr. 4 popis jednotlivých údajů, které bylo možno vyčíst ze sítě. Obrázek je situován přesně tak, jak je síť znázorněna na radnici. Síť pak byla zasazena do osy kola *zvířetníku*, před ní se pohybovaly rafie Měsíce a Slunce, jak můžeme vidět na fotce akvarelu J. Fischera z roku 1805 (viz obr. 3). Foto akvarelu nalezneme ve vestibulu na zdi s označením čísla 2. Rafie na ekliptice ukazovaly, v kterém znamení se nacházejí Slunce a Měsíc. Sluneční rafie ukazovala během dne denní hodiny a měsíční rafie hodiny noční (Jakubec a Perůtka, 2010, s. 496).

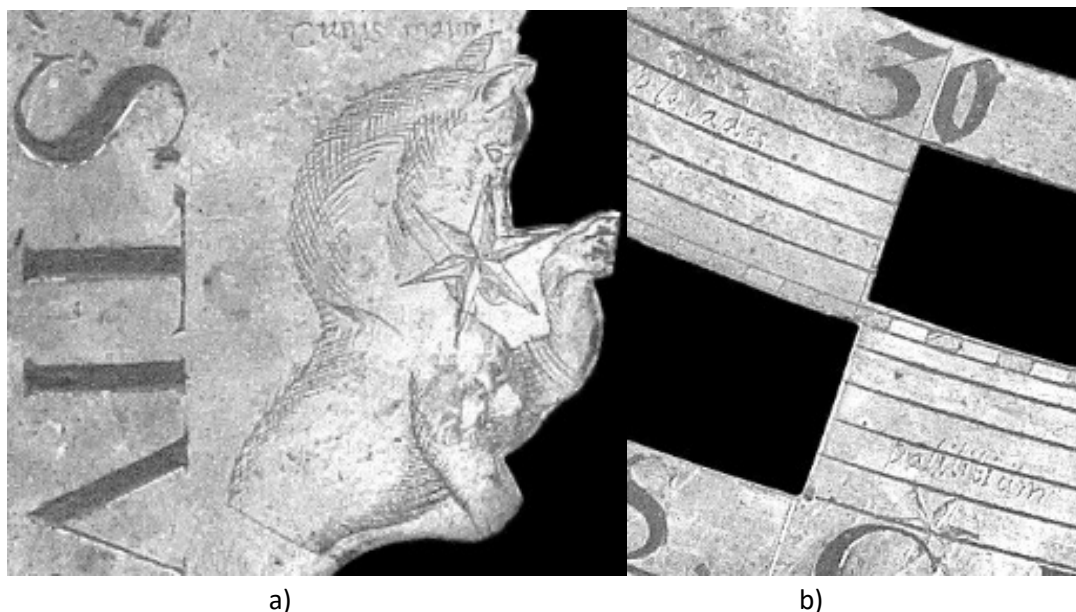
O spodní části astrolábu se můžeme dočíst ze smlouvy, kterou uzavřelo město s Pavlem Fabriciem. Můžeme tedy říci, že na ní byly vyznačeny rovník, obratník Kozoroha, kružnice horizontu, mapa Země. Pravděpodobně na ní byly znázorněny i další informace.



Obr. 4: Náčrtek Fabriciovy sítě astrolábu

- A. Rovník – *circulus aequinoctialis*, kružnice začínající jarním bodem dělená na 360°.
- B. Slunovratový kolur – *colur colstitialis*, *deklnační kružnice* procházející bodem *slunovratu*.
- C. *Rovnodennostní kolur* – *colur aequinoctialis*, *deklnační kružnice* procházející bodem *rovnodennosti*.
- D. *Ekliptika* – kružnice znázorňující pohyb Slunce po obloze rozdělena dvanáctkrát po 30°.
- E. Jednotlivá znamení zvěrokruhu podél ekliptiky (Beran, Býk, Blíženci, Rak, Lev, Panna, Váhy, Štír, Střelec, Kozoroh, Vodnář, Ryby).
- F. Obratník Kozoroha – podle toho, že obratník Kozoroha tu je až na obvodu sítě, poznáme, že se jde o astroláb zachycující severní oblohu (Šimková, Horský, 1985).
- G. Kružnice procházející pólem ekliptiky a body *rovnodennosti*, *podzimním* a *jarním* bodem.
- H. Sirius – nejjasnější hvězda naší hvězdné oblohy, je pojmenována podle souhvězdí, jehož je součástí – Velký pes (odtud také pochází označení *Psi* hvězda). Popis této hvězdy obsahuje i figurální zobrazení. (V náčrtku je přibližná poloha označena jako H_1). Dále na planisféře je znázorněno dvacet sedm nejdůležitějších hvězd severní oblohy. Každá má svůj popis, výjimku tvoří

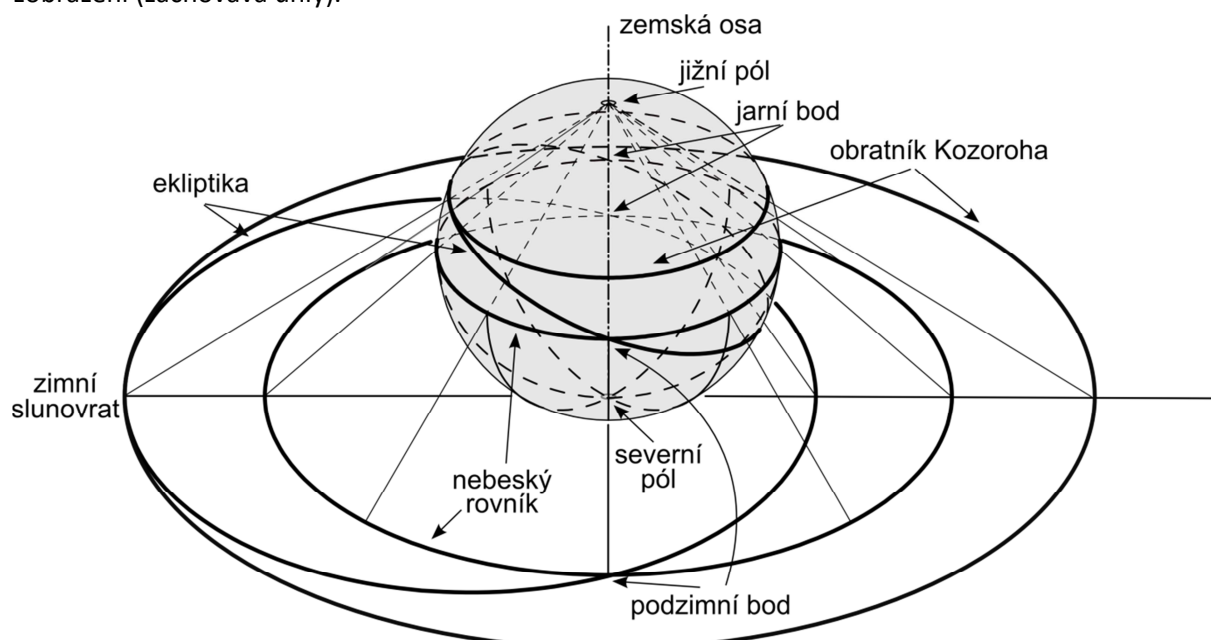
Plejády. Z této hvězdokupy je znázorněno 6 hvězd společným názvem. Hvězdy jsou znázorněny jako šestcípé hvězdy v kroužku. Některé znázorněné hvězdy nalezneme na obr. 5.



Obr. 5: Detail znázornění hvězd na síti a) Síríus b) Plejády a některá z hvězd včetně popisek (VMO, CH936, foto Pavel Rozsival, 2010).

I. Kalendář je připevněn na obvodu sítě. Jak bylo zmíněno výše, jednalo se o juliánský kalendář, ve kterém například jarní *rovnodennost* připadá na 1. března, letní slunovrat do 12. června, podzimní rovnodennost na 13. září a zimní slunovrat na 12. prosince (Šimková a Horský 1985).

Ke zhotovení planisféry bylo nutné znát principy stereografické projekce, kterou znázorňuje obr. 6. V tomto případě je střed v jižním pólu, zobrazovací rovina prochází severním. Jde o konformní zobrazení (zachovává úhly).



Obr. 6: Stereografická projekce (Zdroj: Wikipedie, upraveno)

1.1.7 Nové pojmy

Deklinační kružnice – je kružnice na nebeské sféře, která prochází oběma světovými póly a je kolmá na světový rovník; na Zemi odpovídá poledníku.

Ekliptika – průsečnice roviny oběžné dráhy Země s nebeskou sférou (z lat. eclipse = zatmění). Odpovídá zdánlivé dráze Slunce na nebeské sféře během roku.

Jarní bod – průsečík ekliptiky se světovým rovníkem, do kterého se promítá Slunce při jarní rovnodennosti, tj. 20. - 21. března (obdobně podzimní bod)

Juliánský kalendář – kalendář, který v roce 46 př. n. l. zavedl Julius Caesar. Jde o sluneční kalendář s délkou 365,25 dne. U nás byl nahrazen v roce 1584 gregoriánským kalendářem s délkou roku 365,2425 dne. V současnosti se juliánský kalendář opoždí oproti gregoriánskému o 13 dnů.

Kolur rovnodennosti – deklinační kružnice procházející jarním bodem a podzimním bodem, tj. bodem, do kterého se promítá Slunce při podzimní rovnodennosti.

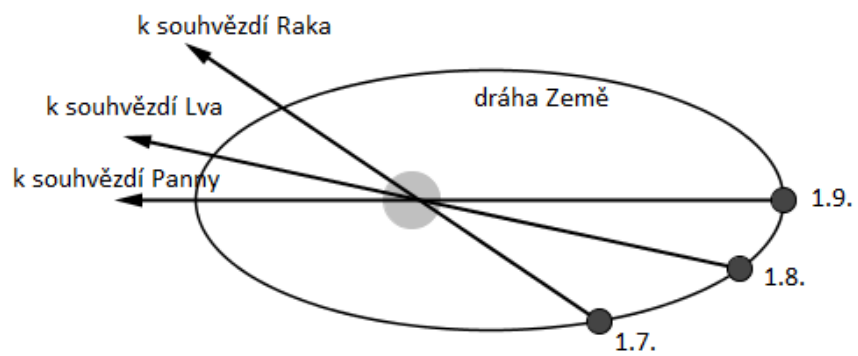
Pól ekliptiky – je bod na nebeské sféře s úhlovou vzdáleností 90° od všech bodů ekliptiky, jinými slovy, průsečík osy dráhy Země kolem Slunce s nebeskou sférou. Podobně, jak známe severní a jižní pól Země, tak i ekliptika má své póly. Jelikož rovina ekliptiky svírá s rovinou rovníku úhel přibližně 23,5°, nejsou póly Země a póly ekliptiky totožné. Severní pól ekliptiky se promítá do souhvězdí Draka, jižní do souhvězdí Mečouna (<http://www.hvezdarnaplzen.cz/2010/10/18/minislovnicek-ekliptika/>)

Rovnodennost – okamžik, kdy se nachází Slunce v rovině světového rovníku, a proto paprsky dopadají kolmo na povrch Země.

Slunovrat – je okamžik, kdy je Slunce na nebeské sféře nejdále od světového rovníku. Letní nastává okolo 21. 3 a zimní okolo 21. 12

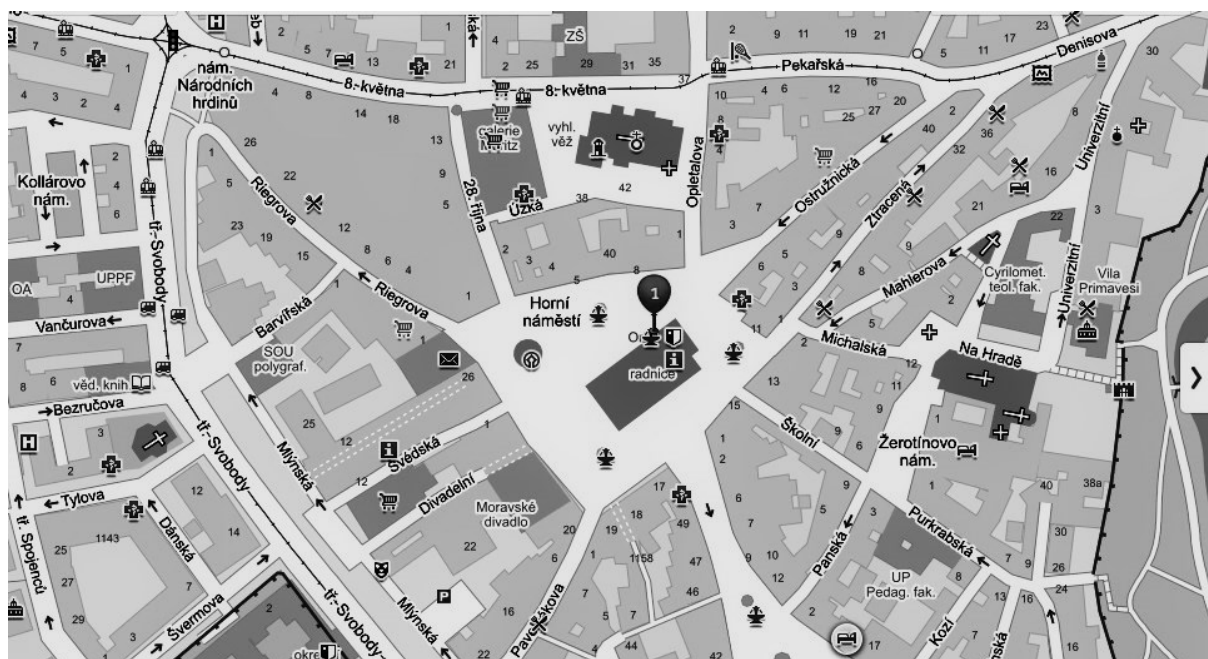
Zvěretník (také zvěrokruh nebo zodiak) – je tvořen souhvězdími, kterými během roku projde na obloze Slunce při zdánlivém pohybu podél ekliptiky. Staří Babyloňané jim dali tato jména: Beran (21. 3. – 20. 4.), Býk (21. 4. – 21. 5.), Blíženci (22. 5. – 21. 6.), Rak (22. 6. – 22. 8.), Lev (23. 7. – 22. 8.), Panna (23. 8. – 22. 9.), Váhy (23. 9. – 23. 10.), Štír (24. 10. – 22. 11.), Střelec (23. 11. – 21.12), Kozoroh (22. 12. – 20. 1.), Vodnář (22.1. – 20. 2.), Ryby (21. 2. –20. 3.).¹

1 V závorce jsou uvedené tradiční data. Jelikož staří Babyloňané chtěli mít 12 znamení, vynechaly i souhvězdí Hadonoše. Proto skutečný horoskop by měl vypadat následovně: Kozoroh (20. 1. – 16. 2.), Vodnář (16. 2. – 11. 3.), Ryby (11. 3. – 18. 4.), Beran (18. 4. – 13. 5.), Býk (13. 5. – 21. 6.), Blíženci (20. 6. – 20. 7.), Rak (20. 7. – 10. 8.), Lev (10. 8. – 16. 9.), Panna (16. 9. – 30. 10.), Váhy (30. 10. – 23.11.), Štír (23.11. – 29. 11.), Hadonoš (29. 11. – 17.12.), Střelec (17. 12. – 20. 1.), který z ČR není dobře vidět díky své nízké poloze nad horizontem (<http://www.astro.cz/clanky/ostatni/prosinec-2012-velke-galakticke-serazeni.html>).



Obr. 7: Náčrtek ekliptiky a souhvězdí zvěrokruhu.

1.2 Druhá zastávka: před radnicí



Obr. 8: Mapa s vyznačením umístění orloje v místě (1) (Zdroj: <http://www.mapy.cz>).

1.2.1 Co si vzít s sebou

Žáci budou potřebovat tužku, vytisknutý pracovní list, pro snadnější vyplňování pevnou podložku. Pro lepší ukazování jednotlivých částí orloje bude vhodné laserové ukazovátko. Pro lepší ověření výsledků si vytiskneme zvětšené symboly jednotlivých planet, které nalezneme v pracovním listě, a nainstalujeme si jednu z mnoha mobilních aplikací pro ověření polohy planet, např. planetarium.

1.2.2 Dostupnost

Orloj je volně přístupný dvacet čtyři hodin po sedm dnů v týdnu.

1.2.3 Cíl procházky/zastávky

Po zastávce před radnicí by měli žáci ZŠ a SŠ:

- chápat heliocentrické uspořádání orloje;
- vyznat se v jednotlivých částech orloje;
- znát pořadí prvních šesti planet sluneční soustavy od Slunce;
- aktivně vyhledávat zajímavosti k jednotlivým planetám;
- aplikovat své poznatky ve výuce dějepisu (např. po kom jsou pojmenovány jednotlivé planety).

1.2.4 Doporučený průběh procházky/zastávky

V případě, že s žáky dojdeme před orloj v poledne, očekávejme zvýšený počet lidí, kteří se na orloj budou dívat. Pracovní list rozdejme opět podle časových možností buď jednotlivcům, nebo malé skupince. Správné odpovědi žákům ukažme pomocí ukazovátka přímo na orloji a dané informace můžeme ověřit pomocí nainstalované aplikace (Planetarium). Popis jednotlivých částí nalezneme níže, stejně jako informace, kde se dá vyčíst, v jaké fázi se Měsíc nachází (odpověď na otázku číslo 8 níže). Pro lepší popis symbolů jednotlivých planet je můžeme vytisknout zvětšené. Popis nejdůležitějších symbolů včetně zajímavosti k jednotlivým planetám je uveden na konci kapitoly.

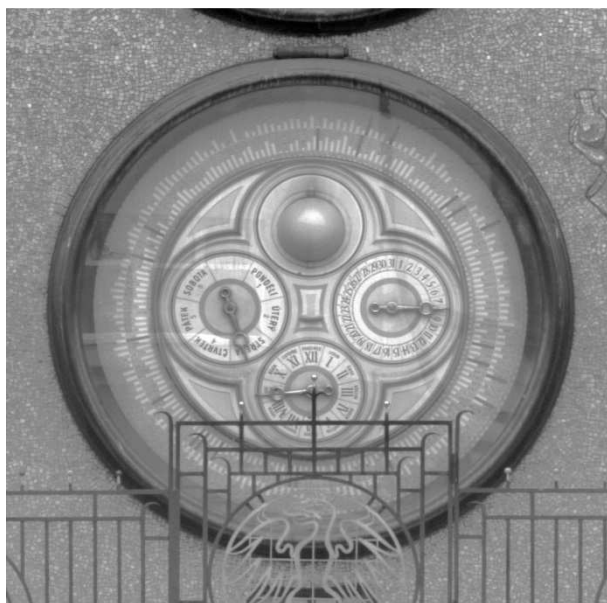
Správné odpovědi z pracovního listu jsou:

1. *Vypiš všechny časové údaje, které můžeš vyčíst z orloje. Kolikátý je den v měsíci? Kolikátý je měsíc v roce? Který máme den v týdnu? Kdo má dnes svátek? Jaký je aktuální rok? Kolik hodin ukazuje orloj? Uveď oba údaje. Kolik minut ukazuje orloj? Jaké máme roční období?* K odpovědi na tuto otázku poslouží prostření a spodní část orloje. Přesný popis těchto částí nalezneme v kapitole 1.2.5. Letopočet na orloji nalezneme úplně dole.
2. *Kolik nebeských těles je znázorněno na heliocentrickém planetáriu? Vypiš je pod sebe do prvního sloupce tabulky.* Počet nebeských těles znázorněných v planetáriu je osm. Jedná se o Slunce, Merkur, Venuši, Země, Měsíc, Mars, Jupiter a Saturn. Měsíc pravděpodobně žáci nenapíší, protože jde slabě vidět.
3. *Načrtni astronomické symboly, které jsou uvedeny na planetáriu. Symboly jsou uvedeny u jednotlivých planet na konci kapitoly 1.2.5, kde nalezneme i odpověď na otázku č. 4. K načrtnutým symbolům se pokus přiřadit názvy planet. Náповěda: poloha planet na planisféře zachovává pořadí planet od Slunce.*
5. *K vyjmenovaným planetám přiřaď zvířetníkové souhvězdí, ve kterém se nacházejí.* K odpovědi na tuto otázku nám poslouží následující kapitola.
6. *Na bývalém orloji bylo možné zjistit, v jaké fázi se nacházel Měsíc. Lze to vyčíst i ze současného orloje? Pokud ano, kde tuto informaci zjistíme?* Ano lze. Ukazatel nalezneme ve spodní části orloje v horní části velkého kruhu. Přes den pravděpodobně žáci na tuto otázku neodpovědí správně, protože ukazatel nesvítí.

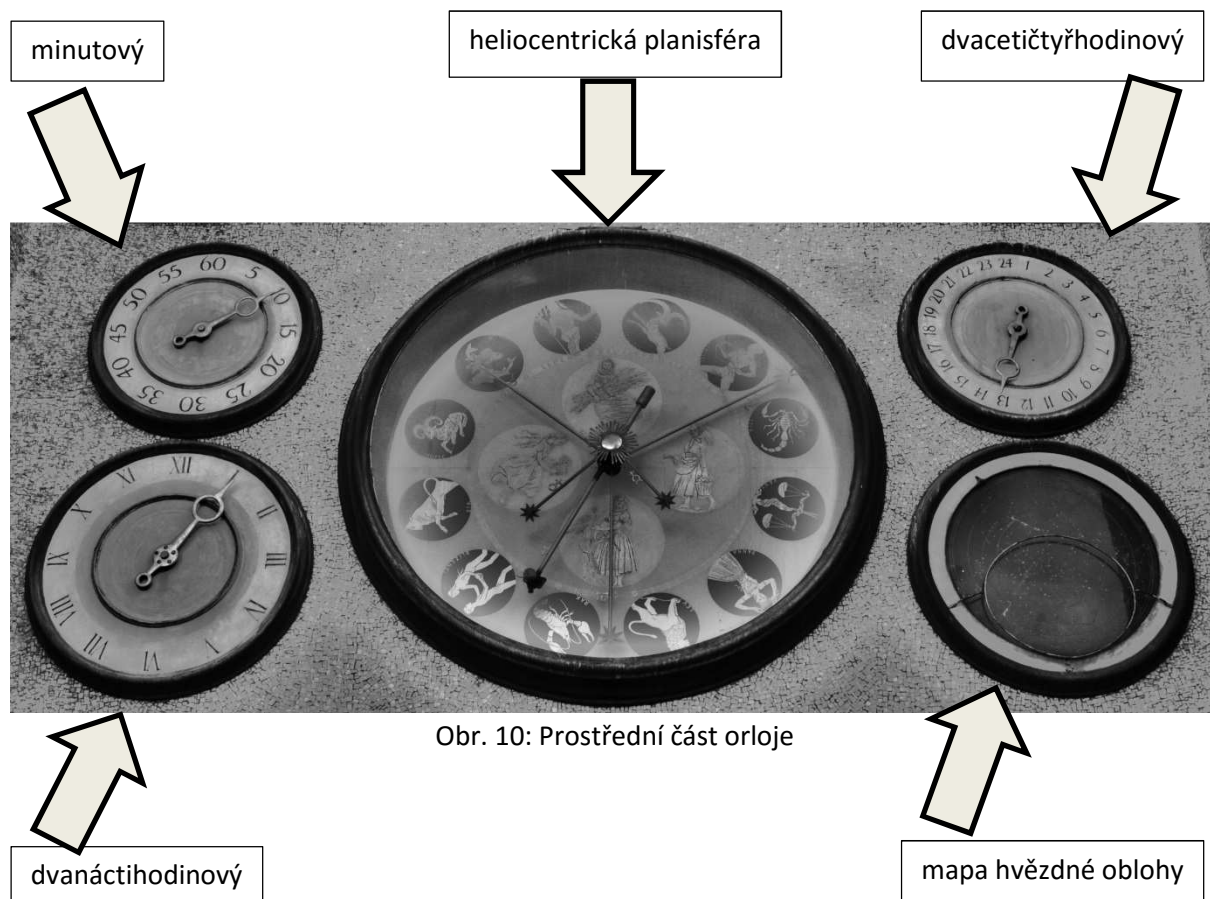
1.2.5 Popis orloje

Z předchozí zastávky víme, že olomoucký orloj má od roku 1898 heliocentrické uspořádání. Třípatrové dělení mu zůstalo do dnešních dnů. Jelikož koncem druhé světové války byla granátem poškozena maska orloje, byla v roce 1947 vypsána veřejná soutěž na jeho novou podobu. Tu vyhrál rodák ze Svatého Kopečka Karel Svolinský. Nový orloj byl slavnostně odhalen dne 9. května 1955. Během odhalování zazněly velkolepé proslovy. „Umělec chtěl, aby výzdoba orloje byla zobrazením současného lidu, aby mluvila řečí jemu blízkou. Proto také hlavními postavami na čelné ploše jsou dělník a výzkumník, kteří oba usilují o vytváření nového dokonalejšího života (Schultz, 2009, s. 368).“ Technické řešení zůstalo beze změny.

Spodní část orloje (obr. 9) je složena z ukazatele roku a velkého kruhu, který znázorňuje kalendář, v něm jsou tři ciferníky znázorňující dny v týdnu, kolikátý den v měsíci máme a který měsíc v roce právě je. Čtvrtý ukazatel uvnitř kalendáře nám v noci znázorňuje fáze Měsíce.



Obr. 9: Spodní část orloje (Zdroj: VMO, CF004075, foto Pavel Rozsival, 2011).



Obr. 10: Prostřední část orloje

V prostřední části vyčteme ze tří číselníků, kolik je právě hodin a minut. Jedná se o minutový ciferník vlevo nahoře, pod ním se nachází dvanáctihodinový a vpravo nahoře dvacetičtyřhodinový ciferník. Konkrétně z obr. 10 vidíme, že je 1 hodina, 10 minut odpoledne. Vpravo dole se nachází mapa hvězdné oblohy. Před mapou je drátěný kruh, který vymezuje viditelné hvězdy na noční obloze.

Uprostřed se nachází heliocentrická planisféra, na které je znázorněno 12 zvířetníkových souhvězdí pomocí obrázků v zeleném kruhu a s českými popisky a názvy měsíců. Dále se na planisféře

nachází obrázky ztvárňující 4 roční období. Z tohoto centrálního ciferníku můžeme vyčíst nejenom, jaké máme roční období, či měsíc v roce, ale i jakém zvířetníkové souhvězdí se nachází prvních šest planet naší Sluneční soustavy. Planety představuje šest ručiček různé délky (podle vzdálenosti od Slunce), zakončené až na jednu, hvězdou; jediná Země je zakončena globusem. Nejkratší ukazatel odpovídá planetě nejbližší Slunci, tj. Merkuru, jehož astronomický symbol je na ručičce vyznačen. Uvedme seznam planet s jejich astronomickými symboly, několika zajímavostí ke každé z nich a se zvířetníkovým souhvězdím, v kterém se nachází na obr. 10:

Merkur ♀ – symbol znázorňuje podle římské mytologie Merkurovu okřídlenou helmu a žezlo. Merkur bylo jméno posla bohů. Planeta Merkur má zhruba stejně velký poloměr jako náš Měsíc. Na planetě se díky pomalé rotaci (kolem osy se otočí za necelých 57 dnů) střídají dlouhé mrazivé noci s teplotou kolem -170°C se stejně dlouhými žhavými dny s teplotou až 430°C (Macháček a kol, 2003). V situaci na obr. 10 se nachází v souhvězdí Panny.

Venuše ♀ – symbol znázorňuje podle římské mytologie Venušinu ruku se zrcadlem. Venuše byla římskou bohyní lásky. Jedná se o třetí nejjasnější nebeské těleso. Při pozorování této planety dalekohledem můžeme vidět její fáze. Kolem své osy se otáčí opačným směrem než ostatní planety. Atmosféra je složena převážně z CO_2 , který propouští viditelné světlo, ale pohlcuje infračervené záření. Na planetě panují vyšší teploty než na Merkuru, který je blíže Slunci. Na obr. 10 ji vidíme v souhvězdí Blíženci.




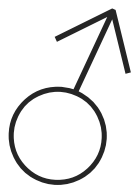

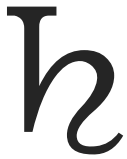
Země ♂ – symbol znázorňuje královské jablko. Na obr. 10 vstupuje do souhvězdí Raka.

Mars ♂ – symbol znázorňuje podle římské mytologie Marsův oštěp a štít. Jméno nese po římském bohu války Martovi. Teploty na rovníku se pohybují v rozmezí -110°C až 0°C . Doba jeho rotace je přibližně jeden náš den. Jen zajímavé, že na povrchu Marsu bylo objeveno mnoho útvarů, které skoro jistě vytvořila v daleké minulosti voda; Mars jí tedy musel kdysi mít daleko více než dnes (Macháček a kol, 2003, s. 47). Mars na obr. 10 vytíná znamení Ryb.

Jupiter ♃ – symbol znázorňuje Jupiterův blesk, nebo orel. Jedná se o největší planetu naší soustavy. Jupiter je římská obdoba boha Dia ([https://cs.wikipedia.org/wiki/Jupiter_\(mytologie\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Jupiter_(mytologie))). Společně se Saturnem nemá pevný povrch a řadíme je mezi obří plyné planety. V mracích, které zahalují atmosféru Jupiteru, můžeme pozorovat různé víry, některé z nich jsou dlouhodobě stabilní. Zajímavostí na povrchu je i velká rudá skvrna pozorovaná už v 17. století, která mění svůj tvar i jasnost. Jupiter se na obr. 10 nachází mezi souhvězdím Raka a Lva.

Saturn ♄ – symbol znázorňuje podle římské mytologie Saturnův srp, nebo kosu (http://cs.wikipedia.org/wiki/Astronomick%C3%BD_symbol). Saturn byl římský bůh zemědělství, sklizně a času ([https://cs.wikipedia.org/wiki/Saturn_\(b%C5%AFh\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Saturn_(b%C5%AFh))). Saturn je znám díky svému prstenci, který tvořen prachem, kameny i většími „skálami“, které obíhají v rovině Saturnova rovníku. Pás, který tato tělesa tvoří, je široký skoro čtvrt milionu km, ale přitom je asi 3 km tlustý (Macháček a kol., 2003, s. 49). Díky kosmickým sondám víme, že i ostatní obří planety mají prstenec. Saturn se nachází na obr. 10 mezi souhvězdím Štíra a Střelce.

K ověření, zda žáci určili správně polohu planet, můžeme využít mobilní aplikaci Planetárium. Na obr. 11 jsou zvětšené astronomické symboly, které jsou na ukazatelích znázorňující jednotlivé planety.

 <p>1.</p>	 <p>2.</p>	 <p>3.</p>
 <p>4.</p>	 <p>5.</p>	 <p>6.</p>

Obr. 11: Zvětšené astronomické symboly (1. Merkur, 2. Venuše, 3. Země, 4. Mars, 5. Jupiter, 6. Saturn)

2 Sluneční hodiny

Tato kapitola pojednává o všech slunečních hodinách v Olomouci, které jsou v katalogu slunečních hodin k datu 24. ledna 2016. Katalog nalezneme na stránkách:

<http://astro.mff.cuni.cz/mira/sh/sh.php>

Jelikož obejít všechny sluneční hodiny by bylo velmi časově náročné, na konci kapitoly je navržena trasa s nejzajímavějšími a centru města nejbližšími z nich.

2.1 Co vzít s sebou

Jelikož některé sluneční hodiny se nenacházejí přímo v centru města, doporučuji vytisknout si mapku s vyznačenými body jednotlivých míst, kterou nalezneme v části 2.7 s doporučenou trasou. Žáci si s sebou vezmou pracovní listy, podložku pro lepší psaní, tužku. V případě pěkného počasí doporučuji vzít fotoaparát. Pokud máme k dispozici tablet, vezměme jej také. Můžeme na něm žákům ukázat jednotlivé sluneční hodiny v době jarní rovnodennosti a zimního slunovratu. Tyto fotografie nalezneme v příloženém CD nebo na internetových stránkách (http://muj.optol.cz/richterek/doku.php?id=vyuka#vybrane_diplomove_prace).

2.2 Dostupnost

Údaje o tom, zda jsou dané sluneční hodiny volně dostupné nebo s omezením, lze nelézt v popisu jednotlivých hodin.

2.3 Cíl procházky/zastávky

Po procházce po slunečních hodinách by měli žáci ZŠ:

- znát základní pohyby Země vůči Slunci a s tím spojené pojmy;
- umět vysvětlit princip slunečních hodin;
- umět vysvětlit, proč sluneční hodiny ukazují několikrát do roka jiný časový údaj oproti občanskému času;
- určit sluneční čas z jednotlivých hodin;
- umět aplikovat dosažené vědomosti ve výuce zeměpisu.

Po procházce po slunečních hodinách by měli žáci SŠ:

- dokázat aplikovat znalost Keplerových zákonů na principu slunečních hodin;
- znát rozdíl mezi místním slunečním a občanským časem;
- znát časovou rovnici;
- aplikovat své poznatky ve výuce zeměpisu;
- určit sluneční čas z jednotlivých hodin.

2.4 Doporučený průběh procházky/zastávky

Dříve než půjdeme ze školy, rozdejme žákům pracovní listy. Jakmile dojdeme s žáky na místo, kde se nachází sluneční hodiny, ujistěme se, že nestojíme ve vozovce, po které jezdí auta. Nejprve formou diskuze zjistěme, co všechno vědí žáci o slunečních hodinách, zda někdo má v okolí svého bydliště sluneční hodiny, jaké jsou jejich představy o pohybu nebeských těles, zvláště Země vůči Slunci. Pokud žáci v rámci diskuze nezmíní, že pohyb Země kolem Slunce je pohyb nerovnoměrný, tak

jim tuto skutečnost vysvětleme. Vysvětlení spočívá v pohybu Země okolo Slunce, který se řídí druhým Keplerovým zákonem (viz část 2.5). Poté uvedme základní informace o jednotlivých hodinách. Během diskuse i výkladu žáci již mohou vyplňovat pracovní list. Pak ukažme na tabletu jednotlivé fotky slunečních hodin v době jarní rovnodennosti a zimního slunovratu. Pokud budeme mít možnost připojení k internetu, ukažme žákům i aplikaci SunCalc, o které se zmiňujeme v kapitole 2.5. V případě, že nemáme možnost využít tablet, ukažme jednotlivé fotky ve škole před začátkem nebo po skončení vycházky. Jako zajímavost lze uvést žákům, že v polovině 16. století Jiří Statuarius (stavitel orloje ve štrasburské katedrále) obdaroval olomoucké radní slunečními hodinami. Dar souvisel se snahou získat zakázku týkající se vylepšení orloje.

Správné odpovědi z pracovního listu jsou následující:

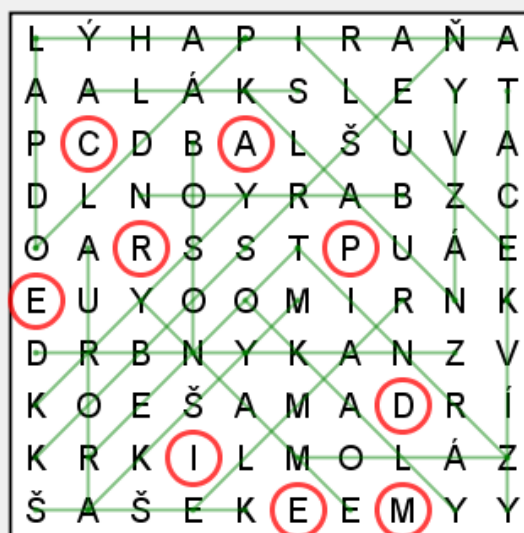
1. Vyluštěním křížovky získáme překlad citátu, který bývá znázorněn na některých slunečních hodinách. Latinský text získáme vyluštěním osmisměrky, která se nachází na další straně.
1. Kolikátý Keplerův zákon nám určuje shodné obsahy ploch opsané průvodičem planety za stejný čas?
2. Po jakých křivkách se přibližně pohybují hvězdy po obloze?
3. Jak nazýváme rovnodennost, která nastává okolo 21. 3.?
4. Jak se nazývá rovnice, která vyjadřuje časový rozdíl mezi pravým a středním slunečním časem?
5. Jaké je příjmení fyzika, který působil v Praze na dvoře císaře Rudolfa II.?
6. Jak se nazývá další typ hodin, který lze také vidět v Olomouci a znázorňuje planety, Slunce i Měsíce?
7. Jak se nazývá úsečka spojující střed planety se středem Slunce?
8. Jak se nazývá křivka, která popisuje nerovnoměrnost plynutí pravého slunečního času a vznikne spojením poloh Slunce na obloze v určitém konkrétním čase a místě na Zemi během roku?
9. Jak označujeme přesně typ křivek, po nichž se pohybují planety kolem Slunce?

UŽÍVEJ DNE

1.			D	R	U	H	Ý		
2.			K	R	U	Ž	N	I	C
3.	J	A	R	N	Í				
4.	Č	A	S	O	V	Á			
5.				K	E	P	L	E	R
6.	O	R	L	O	J				
7.	P	R	Ů	V	O	D	I	Č	
8.				A	N	A	L	E	M
9.					E	L	I	P	S

2. Vyluštěte osmisměrku a získáte citát, který bývá znázorněn na některých slunečních hodinách.
CARPE DIEM

AURORA, BARYON, BOSON,
DRBNY, ELMAR, EMANY, ILUZE,
KECAT, KLAUN, KOBOS, KRYSY,
KVÍZY, MYŠKA, NÁZVY, ODPAL,
OKALY, PÁDLO, PAHÝL, PIRAÑA,
SKÁLA, SRŠEŇ, ŠAŠEK, TONER,
ZÁLOM, ZNAKY, ZRNIT



3. Vypiš případné chyby, kterých se dá dopustit při konstrukci slunečních hodin.

Příklady možných chyb (žáci mohou přijít i na jiné):

- stíny stromů, nebo libovolného svislého předmětu před hodinami;
- předsunuté předměty ve vodorovném směru, jako jsou římsy apod.;
- elektrické vedení, které vrhá na hodiny nepatřičný stín;
- dodatečné stavební úpravy;
- nová vegetace;
- vandalové.

4. Na které adrese jsou východní sluneční hodiny a na které západní? Východní sluneční hodiny jsou na adrese Křížkovského 8 a západní hodiny jsou na ulici Mlčochova.

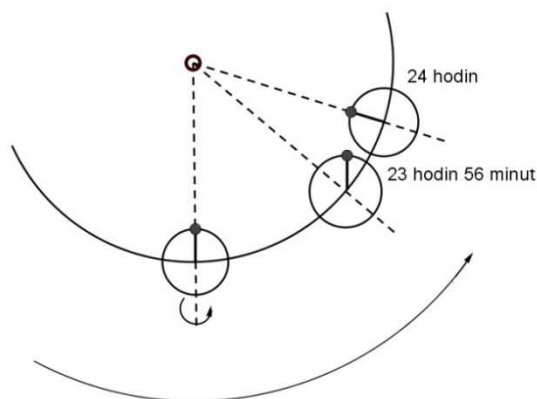
5. Kde by si ve svém okolí umístil sluneční hodiny? Jak by Tvé sluneční hodiny vypadaly, co by na nich nesmělo chybět? Otevřená otázka, která zjistí, jak vnímají žáci ve svém okolí pohyb Slunce po obloze během dne a roku.

Bonus: Jako námět pro další činnost, si můžeme vyrobit vlastní sluneční hodiny. Hodiny si vyrobme ve volné hodině, nikoliv v době procházky. Přesný návod nalezneme na:

<http://www.sundialzone.com/vertical/index-cs.html>

2.5 Základní princip slunečních hodin

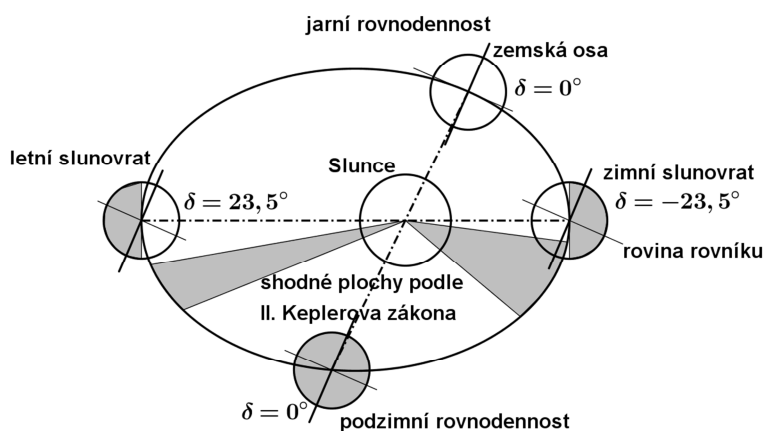
K určení času ze slunečních hodin je důležité si uvědomit několik základních poznatků z astronomie týkajících se pohybu Země kolem Slunce. Planeta Země se kolem své osy otočí jednou za den a jednou za rok oběhne Slunce. Rotace kolem osy trvá 23 hodin 56 minut, ale dané místo na Zemi se do stejné polohy vůči Slunci dostane až za 24 hodin (viz obr. 12).



Obr. 12: Rotace Země kolem osy.

Rotaci Země vnímáme na zemi tak, že Slunce okolo rovnodennosti vychází na východě a zapadá na západě. Zdánlivá denní dráha Slunce po obloze je způsobena rotací Země kolem své osy a oběhem Země kolem Slunce. Podle prvního Keplerova zákona víme, že planety se pohybují kolem Slunce po *elipsách* málo odlišných od kružnic, v jejichž společném ohnisku je Slunce. Druhý Keplerův zákon nám říká, že obsahy ploch opsaných *průvodičem* planety za stejný čas jsou stejně velké. Důsledkem je to, že pohyb Země kolem Slunce je nerovnoměrný (Bednařík a Šířoká, 2000, s. 140).

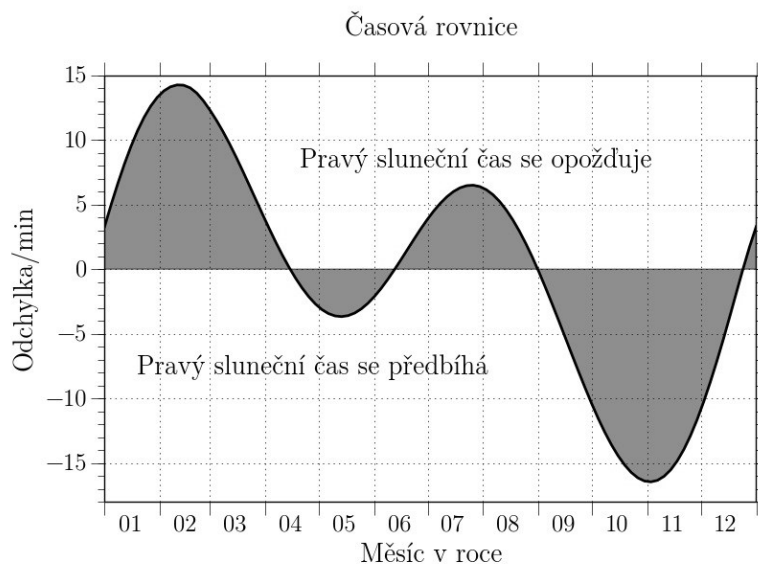
Jelikož pohyb Země kolem Slunce je nerovnoměrný a osa není k rovině zemské dráhy kolmá, ale odkloněna o přibližně $23,5^\circ$, stín ukazatele na slunečních hodinách mění v průběhu roku svoji délku. Výše uvedené zákony znázorněny na obr. 13.



Obr. 13: Náčrtek oběhu Země kolem Slunce.

Sluneční hodiny oproti mechanickým nebo hodinám řízeným krystalem neukazují čas rovnoměrný, který je i základem času občanského pro dané časové pásmo. Ten je definován, jako *hodinový úhel* druhého středního Slunce opravený o 12 hodin. Den středního slunečního času má přesně 24 hodin. Díky tomu se zdá, že sluneční hodiny neukazují přesně. Právě sluneční poledne nastává v okamžiku, kdy je Slunce nejvýše na své zdánlivé dráze (vrcholí) a svou polohou na obloze ukazuje přesný jih. Pokud jsou svislé sluneční hodiny navrženy pro časový údaj pravého/slunečního místního času (PMČ) leží stín v tomto okamžiku na svislici. Na tomto jednoznačném okamžiku lze nejlépe objasnit rozdíl obou časových údajů (<http://www.slunecni-hodiny.webzdarma.cz/princip.html>).

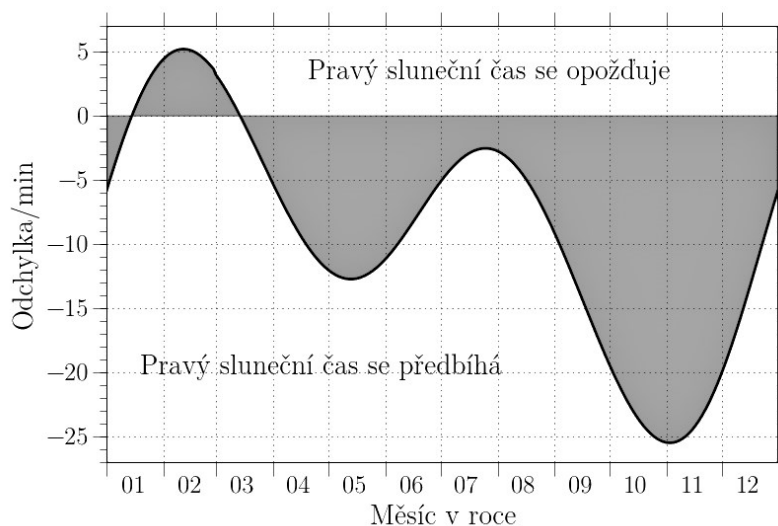
Rozdíl mezi pravým a středním slunečním časem udává časová rovnice. Nejedná se o klasickou rovnici, ale o rozdíl časových hodnot. Matematicky bychom tento vztah vyjádřili rovnicí $E = T_p - T_s$, kde E vyjadřuje časový rozdíl mezi středním a místním slunečním časem, T_p je časový údaj odečtený ze slunečních hodin udávající čas středoevropského poledníku, T_s je časový údaj odpovídající střednímu slunečnímu času (tj. běžnému občanskému). Čtyřikrát do roka je tento rozdíl nulový. Jedná se o dny 15. dubna, 14. června, 31. srpna a 24. prosince.



Obr. 14: Časová rovnice (Zdroj dat: <http://www.slunecni-hodiny.webzdarma.cz/>).

Protože občanský čas vychází z časových pásem (u nás pro 15 stupňů východní délky), pro přesné určení času je kromě časové rovnice potřeba zahrnout do korelace i rozdíl zeměpisných délek, který způsobí rozdíl asi 4 minut na 1° zeměpisné délky. K tomu nám slouží výsledná korekční křivka. Jeden z příkladů korekční křivky je znázorněn na obr. 15.

Olomouc: $\varphi = 49,59250^\circ$, $\lambda = 17,26361^\circ$



Obr. 15: Výsledná korekční křivka pro Olomouc
(Zdroj dat: <http://www.slunecni-hodiny.webzdarma.cz/>).

Některé sluneční hodiny ve svém grafickém ciferníku obsahují výše zmíněnou korekční křivku pro přesné určení času (viz obr. 16). Dále na slunečních hodinách lze najít znázornění analemy.



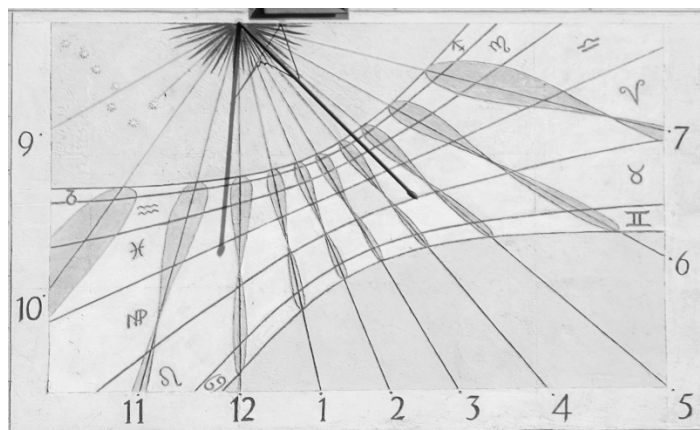
Obr. 16: Svislé hodiny s korekční křivkou (Žlutava, okres Zlín)

Pohyb Slunce po obloze mapuje např. aplikace SunCalc, která je volně dostupná na <http://suncalc.net>, nebo Planetarium pro smartphone s Androidem. V aplikaci si na mapě zvolíme polohu na mapě. Aplikace nám následně ukáže fáze slunečního svitu během dne (východ, západ Slunce, aktuální polohu Slunce). Tenká oranžová křivka nám znázorňuje trajektorii Slunce daný den a žlutá část oblast kolem znázorňuje proměnlivost polohy Slunce během roku. Lze nalézt i místa východu a západu Slunce pro dané místo a den v roce. Tyto údaje mohou např. posloužit k vytvoření různých fotografií, jako je například fotografie na obr. 17.



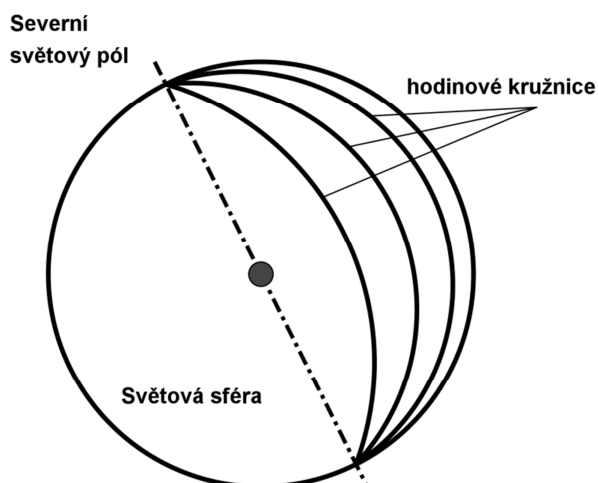
Obr. 17: Slunovratový východ Slunce v Olomouci 22. 6. 2015 ze střechy kostela sv. Michala
(Zdroj: Jakub Hutýra)

Žádný z výše uvedených doplňků na slunečních hodinách v Olomouci nenajdeme. Pro představu, jak mohou sluneční hodiny s *analemami* vypadat, může posloužit obrázek slunečních hodin z Mnichova. Na těchto hodinách jsou znázorněny i *hyperboly*, které kopíruje stín ukazatele v některých měsících roku.



Obr. 18: Sluneční hodiny na mnichovské staré radnici
(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Munich_Altes_Rathaus_sundial.jpg).

V Olomouci jsou všechny sluneční hodiny svislé a fungují na principu hodinového úhlu. Tento princip spočívá v rozdělení světové sféry na 24 dílků. Každý tento dílek odpovídá jedné časové kružnici procházející nebeským pólem. Rozdělíme-li 360° na 24 dílků, vyjde nám přibližně 15° na každou hodinu. Je-li stínový ukazatel slunečních hodin rovnoběžný se zemskou osou, pomyslně se okolo ukazatele otáčí Slunce přibližně vždy o 15° za jednu hodinu (<http://www.slunecni-hodiny.webzdarma.cz/princip.html>).



Obr. 19: Náčrtek hodinových kružnic.

V Olomouci jsou sluneční hodiny orientovány většinou na jih. Poznáme to podle toho, že je ciferník osově souměrný podle hodinové rysky pro 12 hodinu. Konstruktivně zajímavé jsou hodiny východní, které ukazují čas v době od východu slunce do pravého poledne, anebo západní, které ukazují od pravého poledne do západu slunce (<http://slunecnihodiny.wz.cz/sh/sh.html>). Kromě hodin, které jsou orientovány na východ, jsou všechny *číselníky poloorlojní*. Časové údaje na všech slunečních hodinách v Olomouci jsou znázorněny římskými číslicemi.

Čas ze slunečních hodin určíme pomocí stínu šikmého ukazatele, tzv. polosem, který se pohybuje mezi čarami ciferníku. Polos je rovnoběžný se zemskou osou. Některé ukazatele jsou opatřeny nodem. Nejčastěji se jedná o navlečenou kouli nebo jinak zvýrazněnou část ukazatele. Spojnice Slunce a vrcholu *polosu* opisuje během dne plášť kužele a rovina svislé stěny pak tento plášť protíná v hyperbole (tj. kuželosečce), o rovnodennosti v přímce. Proto nodus během dne

kopíruje křivku ve tvaru hyperboly a během rovnodennosti kopíruje přímkou. Na některých hodinách bývají význačné hyperboly či přímka znázorněny.

2.6 Jednotlivé sluneční hodiny v Olomouci

Ve městě se nachází 12 funkčních slunečních hodin. Online katalog zmiňuje ještě šest slunečních hodin, které zanikly v průběhu rekonstrukcí budov. Názvy následujících podkapitol nesou jméno ulice, kde se dané hodiny nacházejí. Prvních pět podkapitol odpovídá pořadí podle navržené procházky, zbylé čtyři jsou na doplnění.

V každé podkapitole nalezneme informace o tom, zda jsou hodiny volně dostupné, informace o omezení přístupu, fotografii daných hodin, časový rozsah a jiné informace. Tyto podkapitoly slouží k navržení tras pro vyučující znalé Olomouce, kteří mají v blízkosti své školy dané hodiny a chtějí by je navštívit se svými žáky. Školy, včetně uměleckých, které mají ve své blízkosti sluneční hodiny, jsou: ²

ZŠ: Fakultní základní škola dr. Milady Horákové a Mateřská škola Olomouc, Rožňavská 21, příspěvková organizace;

Waldorfská základní škola a mateřská škola Olomouc s.r.o.;

Základní škola a Mateřská škola Olomouc, Demlova 18, příspěvková organizace;

Základní škola a Mateřská škola logopedická Olomouc;

Základní škola a Střední škola CREDO, o.p.s.;

Základní škola Komenium Olomouc, 8. května 29, příspěvková organizace;

Základní škola Olomouc, Mozartova 48, příspěvková organizace;

Základní škola Olomouc, Stupkova 16, příspěvková organizace;

Základní umělecká škola CAMPANELLA Olomouc;

Základní umělecká škola Iši Krejčího Olomouc, Na Vozovce 32.

SŠ: Konzervatoř evangelické akademie;

Obchodní akademie, Olomouc, tř. Spojenců 11;

Slovanské gymnázium, Olomouc, tř. Jiřího z Poděbrad 13;

Střední průmyslová škola strojnická, Olomouc, tř. 17. listopadu 49;

Střední škola polygrafická, Olomouc;

Střední škola technická a obchodní, Olomouc, Kosinova 4;

Základní škola a Střední škola CREDO, o.p.s.

2.6.1 Na Letné 59

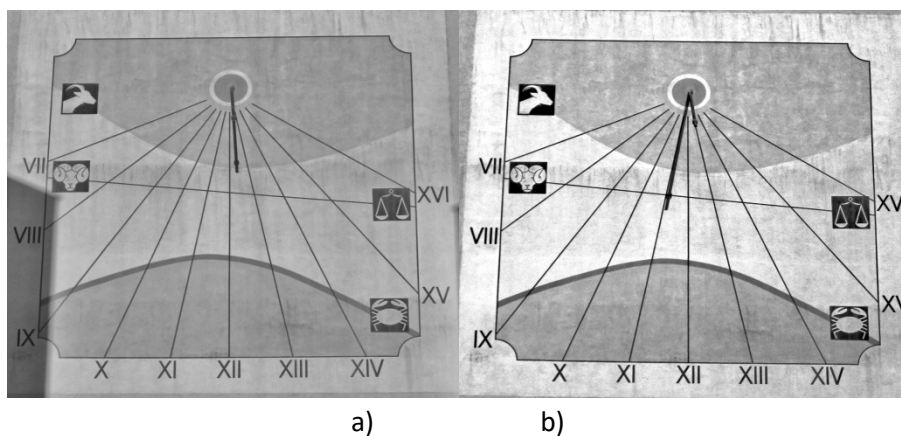
Na budově jednoho z panelových domů se nacházejí sluneční hodiny, které obsahují kromě číselníku i hyperboly slunovratu a přímkou rovnodennosti. Dále jsou na hodinách výtvarně znázorněna souhvězdí Kozoroha, Berana, Vah a Raka. Jedná se o souhvězdí, kterými procházelo Slunce v den zimního slunovratu, jarní rovnodennosti, podzimní rovnodennosti a letního slunovratu. Díky *precesi* zemské osy se ale poloha těchto význačných bodů ekliptiky vůči souhvězdím zvěrokruhu posunula. Hodiny byly vyfoceny během jarní rovnodennosti a zimního slunovratu. Fotky jsou k dispozici na přiloženém CD. Z fotografií jde vidět, jak přesně jsou udělány dané křivky. Na obr. 20a vidíme hodiny

² Jednotlivé názvy a adresy ZŠ a SŠ jsou čerpány z:

<http://www.seznamskol.cz/zakladni-skoly/olomoucky-kraj/olomouc/>;

<http://www.stredniskoly.cz/seznam-skol/olomoucky-kraj/olomouc/>.

v době zimního slunovratu. Sousední panelový dům sice zčásti stíní ciferník, ale samotný stín ukazatele je dobře patrný. Ukazatel je šikmý s nodem. Hodiny jdou vidět z ulice Dlouhá a jsou orientovány na jih.



Obr. 20: Na Letné 59 a) dne 21. 12. 2014 ve 12:09; b) dne 18. 3. 2015 v 10:43

2.6.2 Mlčochova

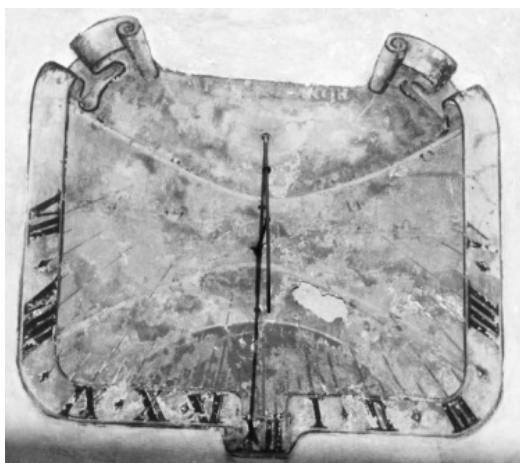
Na ulici v blízkosti Dómu se nacházejí malé sluneční hodiny, které jsou volně dostupné. Na jejich ciferník dopadá i stín okolních budov, ale odečíst časový údaj je možné. Hodiny jsou v dobrém stavu a nalezneme na nich i datum zhotovení LP 98. Číselník se šikmým ukazatelem určuje letní čas.



Obr. 21: Mlčochova dne 18. 3. 2015 ve 12:41

2.6.3 Wurmova 11

Na nádvoří arcibiskupské knihovny se nacházejí sluneční hodiny, které jsou umělecky ve špatném stavu. Do prostor se dá dostat v době, kdy je knihovna otevřená, a to ve dnech pondělí až čtvrtek od 9:00 do 15:00. Na hodinách jsou znázorněny i hyperboly slunovratů a jsou orientovány na jih.

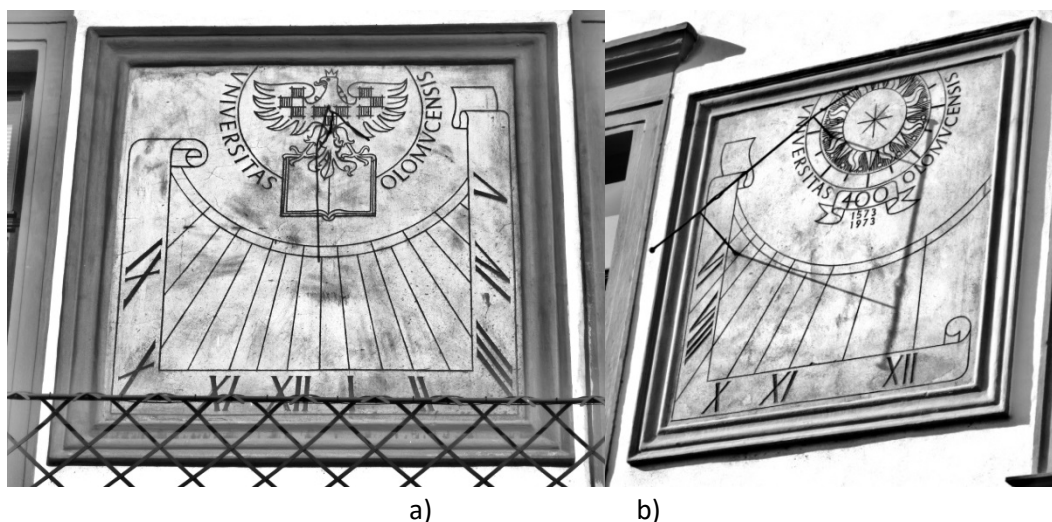


Obr. 22: Wurmova 11 dne 30. 10. 2014 v 11:34

2.6.4 Křížkovského 8

Na této adrese sídlí rektorát Univerzity Palackého, proto i přístup k hodinám je omezen. V době, kdy probíhá klasická výuka, jsou prostory volně přístupné. O víkendu nebo ve státní svátky či v době prázdnin můžeme zkusit poprosit vrátného, aby nám prohlídku umožnil.

Na nádvoří se nacházejí dvoje sluneční hodiny. Na obou je nápis „VNIVERSITAS OLOMVCENSIS“ a mají šikmý ukazatel s nodem. Jedny jsou popsány i letopočty. Stav hodin je ve výborném. V době, kdy je slunce nízko nad obzorem, nelze z hodin vyčíst časové údaje díky stínu okolních budov. Hodiny nad vstupem do nádvoří jsou orientovány na jih, druhé na východ.



Obr. 23: Křížkovského 8 dne 30. 10. 2014 v 11:31 a) orientace na jih; b) orientace na východ

2.6.5 Univerzitní 3

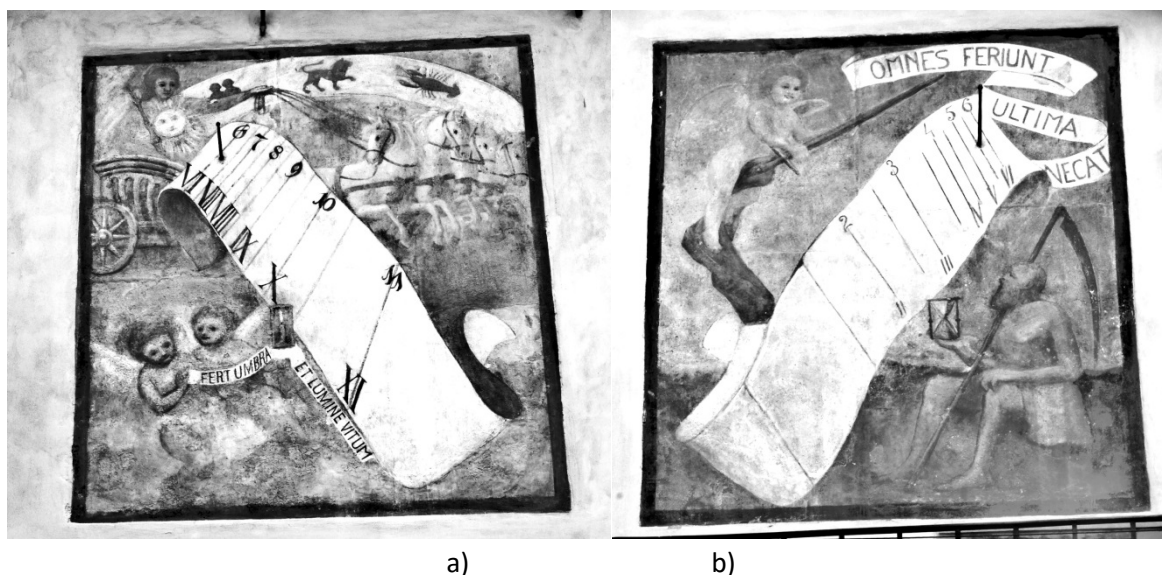
Na budově Konviktu se nacházejí sluneční hodiny. Jelikož se jedná o prostory univerzity, jsou hodiny dostupné pouze v dny, kdy probíhá výuka. Hodiny lze vidět buď z druhého nádvoří filozofické fakulty nebo z Bezručových sadů v prostorách mezi zvoničkou a mauzoleem. Hodiny jsou ve výborném stavu a orientovány na jih.



Obr. 24: Univerzitní 3 dne 30. 10. 2014 v 11:07 a 11:23

2.6.6 Mariánská 7

Na soukromém nádvoří se nacházejí troje sluneční hodiny se dvěma typy ukazatele. Dvoje hodiny mají ke stěně kolmý ukazatel s nodem, prostřední mají šikmý ukazatel s nodem. Přestože nejsou hodiny volně dostupné, podařilo se nám je vyfotit.³ Viz obr. 25, na kterém si můžeme všimnout výtvarného ztvárnění jednotlivých hodin. Hodiny jsou orientovány na východ, jih a západ.



Obr. 25: Mariánská 7 dne 21. 12. 2014 a) ve 14:51 orientované na západ; b) ve 14:52 orientované na východ; kolmý ukazatel.

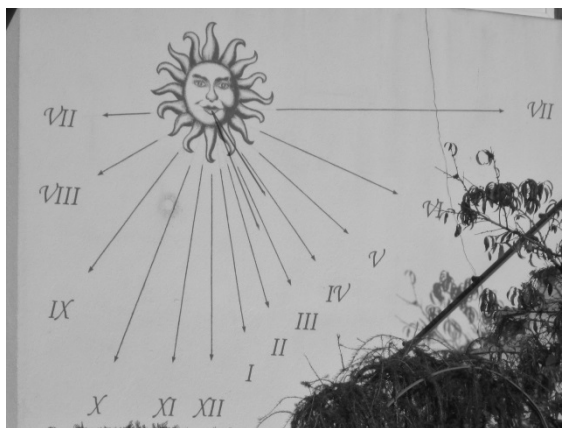
³ V zimním období jsou hodiny zastíněny okolními střechami.



Obr. 26: Mariánská 7 dne 21. 12. 2014 ve 14:50; šikmý ukazatel s nodem, hodiny jsou orientovány na jih.

2.6.7 Na Pažitu

Na rodinném domě v blízkosti sídliště Nové Sady se nacházejí sluneční hodiny s šikmým ukazatelem. Ukazatel je umístěn do úst obrazce znázorňujícího slunce. Číselník je znázorněn římskými číslicemi od VII ráno do VII večerní. Jelikož hodiny nejsou symetrické, nejsou orientovány přesně na jih.



Obr. 27: Na Pažitu, dne 28. 10. 2014, ve 14:25

2.6.8 Škroupova 6

Na rodinném domku v blízkosti hlavního vjezdu do Fakultní nemocnice Olomouc se nacházejí další sluneční hodiny. Hodiny obsahují číselník a šikmý ukazatel. Číselník je *gnómsky* chybný. Z fotografie je patrné, že hodiny ukazují velmi nepřesný čas (viz obr. 28). Tuto odchylku nelze vyčíslit pomocí korekční křivky.



Obr. 28: Škroupova, dne 28. 10. 2014, ve 14:13

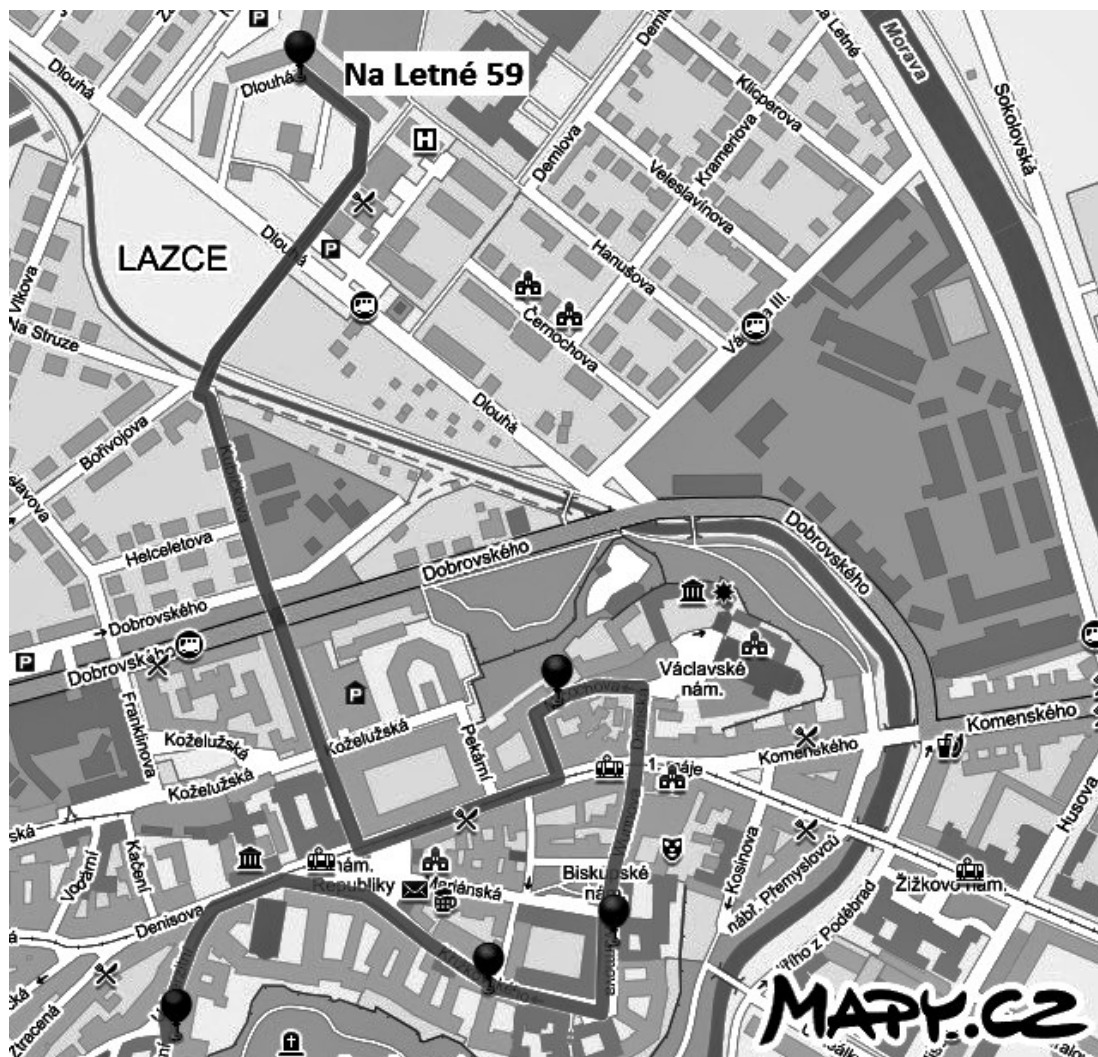
2.6.9 Blažejské náměstí 3

Na soukromém nádvoří se nacházejí jedny hodiny. K těmto hodinám není volný přístup. Podle webu o slunečních hodinách jsou v dobrém stavu. Na hodinách se nachází nápisy „ME SOL VOS UMBRA REGIT⁴, AMDG ... EUM CITHARA, FRIDRICH (<http://astro.mff.cuni.cz/mira/sh/sh.php?rec=19769>).“

2.7 Navržená trasa

Trasa je dlouhá 2 km a zabere přibližně třicet minut. Připočteme-li výklad, diskuzi a zdržení u jednotlivých hodin, dá se očekávat, že procházka zabere něco málo přes hodinu. V navržené trase nejsou znázorněny sluneční hodiny, které jsou vzdálenější od centra města nebo na soukromých pozemcích. Trasa začíná na ulici Dlouhá, ze které jdou vidět hodiny umístěné na panelovém domě s adresou Na Letné 59. Dále uvidíme hodiny na ulici Mlčochova, Wurmova, Křížkovského a procházku zakončíme na druhém nádvoří areálu konviktu Filozofické fakulty UP. Na prvním nádvoří se nachází restaurace Konvikt, kde si můžeme po procházce odpočinout. Na níže uvedené mapě jsou vyznačeny patřičné body, kde se dané hodiny nacházejí. Z navržené trasy se můžeme podívat i na ostatní zastávky, které jsou součástí této práce. V blízkosti navržené trasy se nacházejí Dóm, kostel sv. Mořice a budova radnice.

4 Mne řídí slunce, vás stín

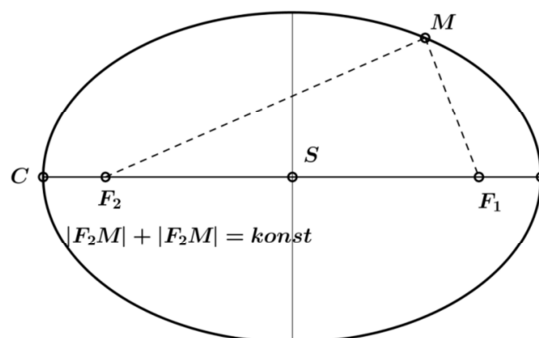


Obr. 29: Mapa trasy (<http://mapy.cz>).

2.8 Nové pojmy

Analema – křivka znázorňující nerovnoměrnost plynutí času (<http://mat.fsv.cvut.cz/solc/wwwpages/analema2/default.html>). Jedná se o křivku, která by vznikla zaznamenáním místa Slunce na obloze v námi zvoleném čase během celého roku.

Elipsa – množina bodů, které mají od dvou daných bodů (ohnisek F) stálý součet. Viz obr. 30.



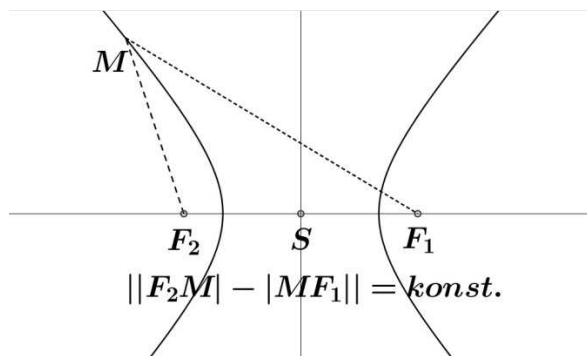
Obr. 30: Náčrtek elipsy.

Gnómon – ukazatel na slunečních hodinách, který je kolmý k číselníku.

Gnómika – nauka o slunečních hodinách.

Hodinový úhel – úhel sevřený rovinou místního poledníku a rovinou určenou světovými póly a objektem na obloze. Měří se od jihu ve směru otáčení oblohy, s časem tedy rovnoměrně narůstá. V daném okamžiku závisí hodinový úhel objektu lineárně na zeměpisné délce místa porovnání (<http://www.astro.cz/clanky/ostatni/vypoctete-si-hvezdny-cas.html>).

Hyperbola – množina bodů, které mají od dvou daných bodů (ohnisek F) stálý rozdíl vzdáleností.



Obr. 31: Náčrtek hyperboly

Precese – změna směru osy rotace rotujícího tělesa

Polorojní číselník – číselník, který po XII. hodině začíná číslicí I, nikoliv XIII.

Poloos – je část slunečních hodin. Jde o ukazatel rovnoběžný se zemskou osou, tedy svírá s vodorovnou rovinou úhel rovnající se hodnotě místní zeměpisné šířky a procházející rovinou místního poledníku

Průvodič – úsečka, spojující střed planety se středem Slunce.

3 Zvony v jižní věži katedrály svatého Václava

Během této zastávky se podíváme na nejtěžší zvon na Moravě. Shlédneme tři různé pohony zvonů, dozvíme se něco z historie zvonařství i základů hudební akustiky, a pokud za pěkného počasí vystoupíme až na vrchol dómské věže, budeme mít nádherný výhled po okolí. Některé otázky týkající se zvonů překračují rozsah této práce. Proto v jednotlivých kapitolách nalezneme odkaz na další prameny, které se dané problematice věnují podrobněji.

3.1 Co vzít s sebou

Žáci si s sebou vezmou pracovní listy, podložku pro lepší psaní, tužku a délkové měřidlo dlouhé alespoň 3 m. Řekněme žákům, ať si do svých smartphonů nainstalují jednu z mnoha aplikací na zvukovou analýzu jako např. *FrequenSee-Spectrum Analyzer*. V případě pěkného počasí si vezměme fotoaparát, mapu okolí a ladičku. Vyučující si s sebou vezmou i audionahrávku zvonu svatého Václava, kterou nalezneme v přiloženém CD, nebo na internetových stránkách

http://muj.optol.cz/richterek/doku.php?id=vyuka#vybrane_diplomove_prace.

Zvuk můžeme přehrát buď ze svého mobilního telefonu, tabletu, diktafonu, nebo pomocí jiného technického zařízení.

3.2 Dostupnost

Dómskou věž můžeme navštívit během Noci kostelů (nockostelu.cz), která probíhá každý rok a na níž se podílí řada ekumenických společenství včetně Olomoucká *arcidiecéze*, nebo je dostupná ještě během Dnů evropského dědictví v první polovině září. Tyto dvě akce jsou hojně navštěvovány širokou veřejností. Proto raději zvolme třetí možnost, a tou je telefonická domluva s *kostelníkem katedrály svatého Václava*, panem Bc. Antonínem Kučerou. Jeho telefonní číslo je +420 603 515 816. Buď provede třídu on, nebo zařídí jiného průvodce.

3.3 Cíl procházky/zastávky

Po výstupu na jižní věž katedrály sv. Václava by měli žáci ZŠ:

- znát základní pohony zvonů;
- chápat náročnost výroby zvonu;
- znát základní vztah mezi velikostí zvonu a jeho frekvencí;
- zvládat základní orientaci v centru Olomouce;
- aplikovat dosažené vědomosti ve výuce zeměpisu a dějepisu.

Po výstupu na jižní věž katedrály sv. Václava by měli žáci SŠ:

- ověřit si nové znalosti provedením výpočtu dle příslušných vztahů na konkrétních příkladech;
- znát nejčastější chyby při výrobě zvonu;
- umět vysvětlit pojem tón;
- dokázat aplikovat poznatky z učiva kmitání a vlnění i akustiky na pohyby zvonů;
- umět aplikovat své poznatky ve výuce zeměpisu, dějepisu, ZSV a hudební výchovy.

3.4 Doporučený průběh procházky/zastávky

Pokud budeme chtít využít možnosti jít na věž v jiném termínu, nežli jsou oficiální prohlídky, domluvme si nejprve telefonicky termín. Den předem si ověříme, zda nedošlo k nějaké změně (pohřeb, svatba v katedrále apod.). S panem Bc. Antonínem Kučerou se domluvíme dopředu, co budeme s dětmi na věži chtít projít a probrat.

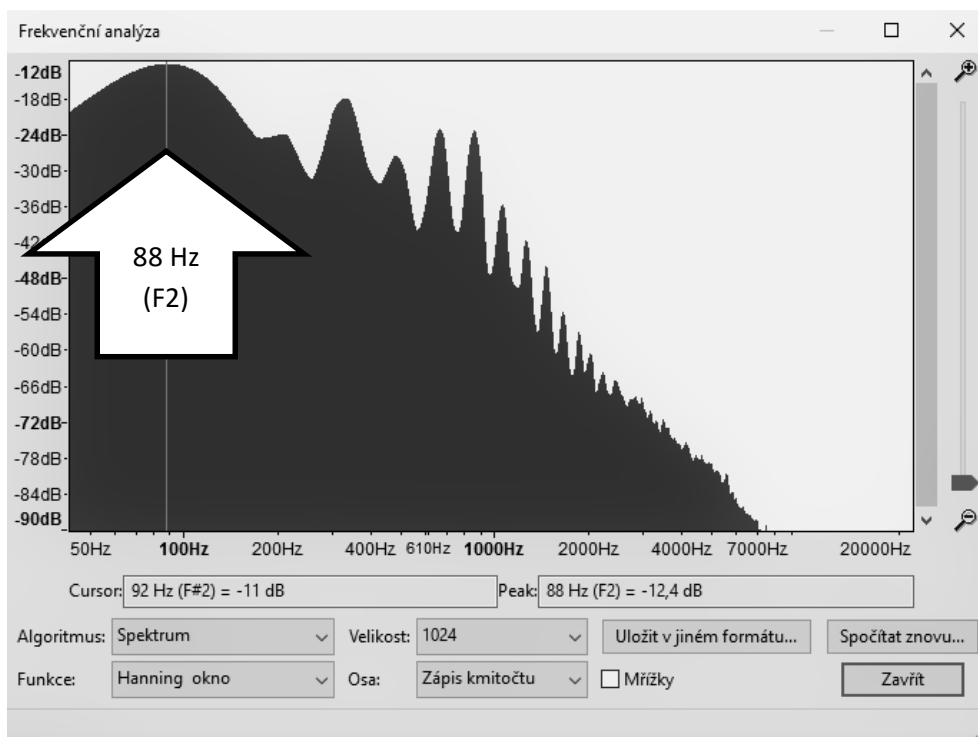
Před setkáním s průvodcem, začneme s žáky diskutovat například o tom, při jakých událostech se zvony používají, zda někdy měli možnost pomáhat při rozezvučení zvonů atd. Žáci pravděpodobně rozezvonili zvoneček na vánočních trzích na Dolním náměstí. V diskusi zjistíme, zda žáci vnímají zvony pouze na věži kostela nebo i při jiných příležitostech. Jako zajímavost můžeme říct žákům, že *patronem* zvonařů je sv. Agáta, nejstarší dochovaný zvon v ČR je z roku 1286 a je uchován v Městském muzeu v Chebu (Manoušek, 2006). Jiné zajímavosti jsou zmíněny v části 3.5.1.

Během výstupu na věž nejprve uvidíme zvon svatého Václava. U zvonu se zastavme a nechme žáky hledat kartičku s údaji o zvonu, aby si mohli doplnit údaje v pracovním listu. Jelikož zvon lze slyšet pouze při výjimečných událostech, můžeme využít příležitosti a pustit audionahrávku jeho zvuku. V dalším mezitím nalezneme zbylé dva zvony (svatého Petra a Pavla a Panny Marie Svatohostýnské), u kterých upozorníme žáky na jejich pohony. V případě, že zvony nebudou odbíjet, domluvíme se s průvodcem, zda si můžeme změřit poloměr zvonu, který budeme potřebovat pro ověření vztahu mezi frekvencí humu („hukotu“) zvuku a průměrem. Frekvenci humu zjistíme rozбором nahrávky zvonu např. v programu Audacity.

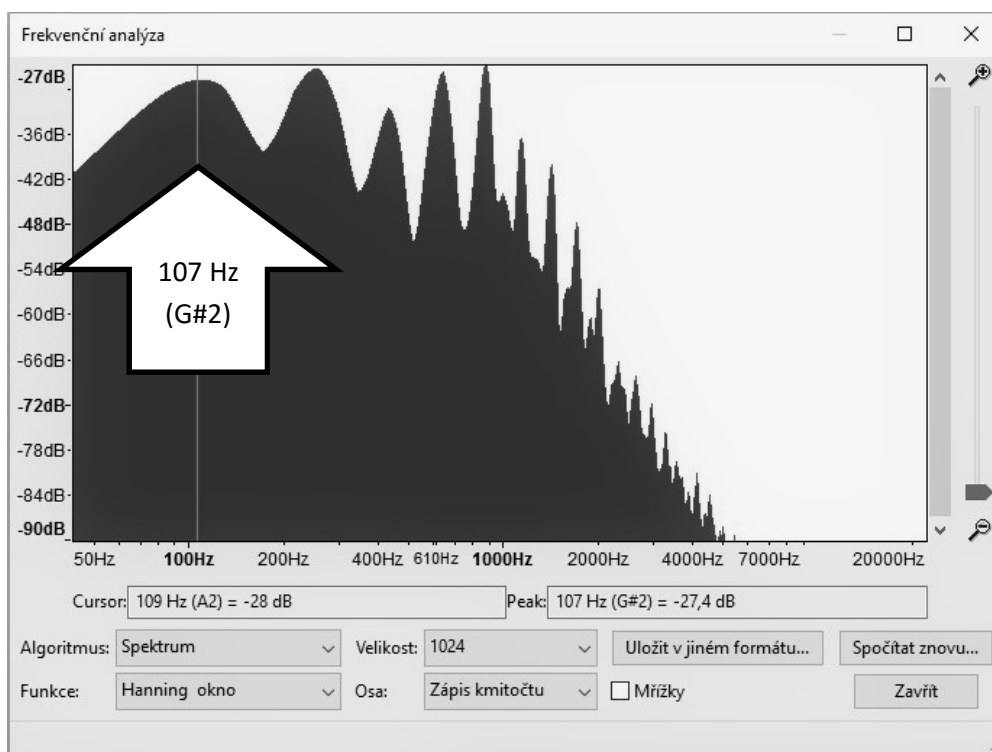
Jakmile zhlédneme všechny zvony, vydejme se na ochoz věže, ze kterého budeme mít nádherný výhled. Můžeme s sebou vzít mapu okolí, abychom zjistili, kam až vidíme. Pomocí dalekohledu, který se již nachází na vrcholu věže, můžeme za velmi dobrých povětrnostních podmínek vidět špičku vysílače Pradědu.

Správné odpovědi z pracovního listu jsou:

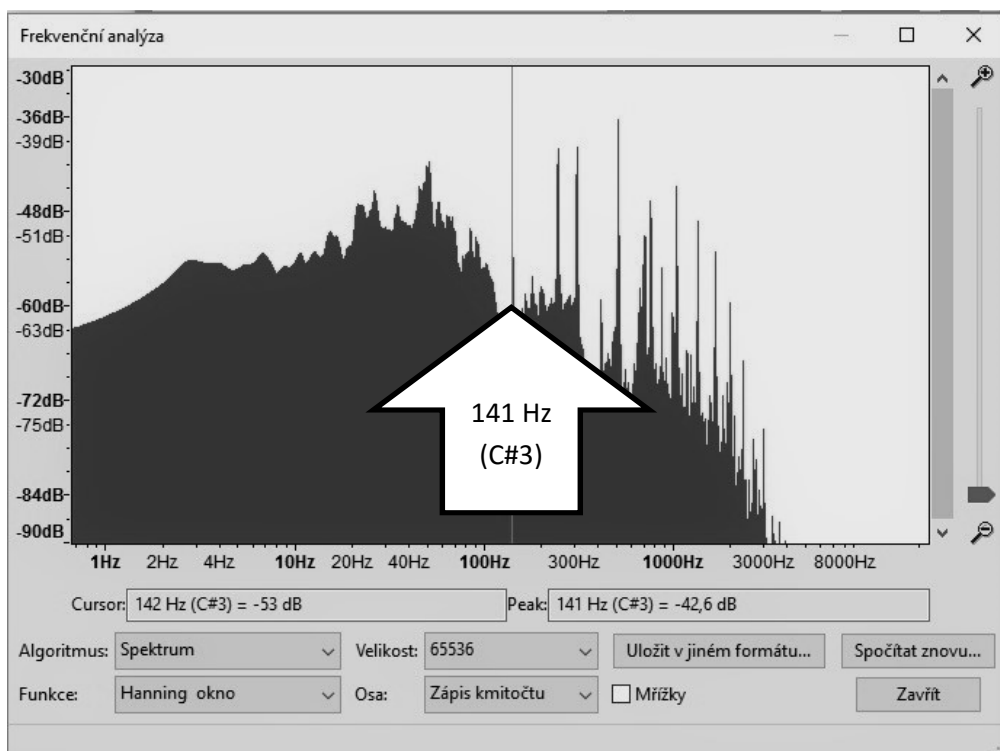
1. *Ověř, zda pro zvony v jižní věži katedrály platí vztah mezi frekvencí a hmotností.* Ověření lze provést buď přímým měřením, nebo z nahrávky zvonů. Většina mobilních aplikací na zvukovou analýzu ukazují okamžité spektrum, bez možnosti další analýzy. Pro účely této práce byla využita aplikace *FrequenSee-Spectrum Analyzer*. Frekvenční analýza je možná například v programu Audacity, který je dostupný zdarma. K určení frekvence humu je potřeba určit ze spektra tónu zvonu frekvenci spodní oktávy (viz obr. 32 – 34), na kterých je vyznačena základní frekvence a vypsána pod grafem. Nalezená hodnota se použila k ověření empirického vztahu. Tuto část úkolu je možné nechat žáky doplnit doma nebo po návratu do školy.



Obr. 32: Spektrum zvonu sv. Václava s vyznačeným maximem pro jeho hum 88Hz



Obr. 33: Spektrum zvonu Panny Marie Svatohostýnské s vyznačeným maximem pro jeho hum 107 Hz
 V souladu s článkem (Vogt, kasper a Burde, 2015) lze vidět, že další vrchol je dvojnásobkem frekvence humu (tedy o oktávu výše) a tón 428 Hz má dokonce frekvenci 4krát větší než hum (je o dvě oktávy výše).



Obr. 34: Spektrum zvonu sv. Petra a Pavla s vyznačeným maximem pro jeho hum 141Hz (pro určení peaku bylo nutné zvětšit velikost a odfiltrovat šum)

V literatuře (Vogt, kasper a Burde, 2015) lze nalézt vztah mezi poloměrem r nejširší části zvonu a základní frekvencí humu f_h . Po dosazením naměřených hodnot do vztahu

$$r = \frac{v}{\pi} \cdot \frac{1}{f_h} \cdot 0,91,$$

kde v je rychlost zvuku ve vzduchu je $343 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ při 20° C (Vogt, kasper a Burde, 2015), získáme následující hodnoty, které lze porovnat se skutečnými hodnotami průměru zvonu:

- Vypočtený poloměr z uvedeného vztahu u zvonu sv. Václava je 112 cm, skutečný poloměr má hodnotu 121 cm
- Vypočtený poloměr z uvedeného vztahu u zvonu sv. Petr a Pavel je 70 cm, skutečný poloměr má hodnotu 76 cm
- Vypočtený poloměr z uvedeného vztahu u zvonu Panny Marie Svatohostýnské je 93 cm, skutečný poloměr má hodnotu 94 cm

2. *Vyjmenuj a popiš části sluchové dráhy ucha.* Vnější, střední a vnitřní ucho. Viz podkapitola 3.5.3.

3. *Jaký nevdálenější bod si z věže rozpoznal?* Otevřená otázka, která zjistí, jak se žáci orientují v okolí.

4. *Přiřaď jednotlivé pojmy do tabulky*

rezonance	jev náhlého zvětšování amplitudy výchylky vynucených kmitů oscilátoru, jestliže se úhlová frekvence budící síly blíží rezonanční úhlové frekvenci. Objevuje se u všech typů vln či vibrací (mechanické, akustické, elektromagnetické, ...)
Lissajousovy obrazce	křivky, které dostaneme při skládání dvou kolmých kmitů
harmonický tón	tón, který zní spolu s tónem základním, dříve se nazývaly alikvótními tóny ⁵

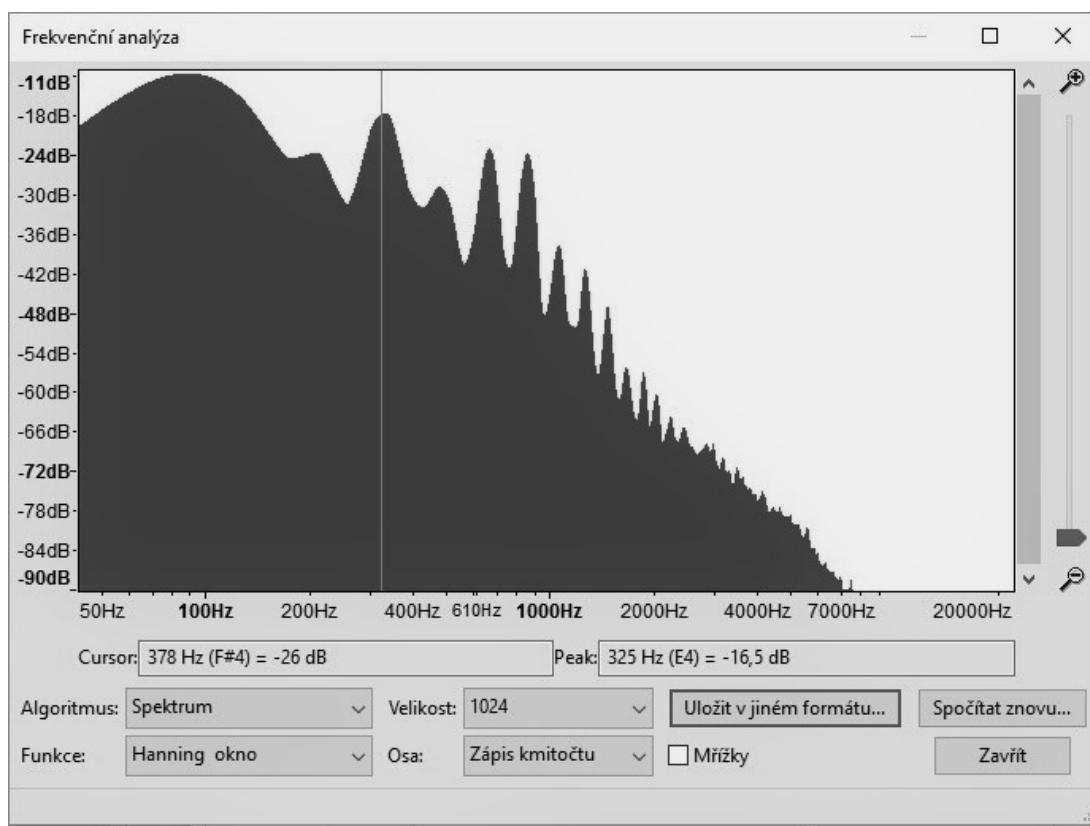
⁵ Ve starší literatuře lze pro vyšší harmonické složky (kmity, tóny) nalézt označení též alikvótní, částkové, parciální, svrchní složky (kmity, tóny) nebo dokonce shorky. (Srov. Syrový, 2013, s. 24)

idiofon	hudební nástroj, ve kterém tón vzniká chvěním celého nástroje. Dělíme je na tyčové (xylofon), deskové (činky) a dutinové (zvony)
oscilátor	zařízení nebo systém, schopný kmitavého pohybu, při němž se hodnoty určitých parametrů (např. poloha) periodicky opakují.
práh bolesti	140 dB

5. Do tabulky vyplň jména zvonů a přiřaď k nim jejich hmotnost, základní tón, včetně jeho frekvence. Hodnoty pro frekvence se mohou mírně lišit, díky množství zpracovávaných dat, které necháme vyhodnotit. Frekvence základního tónu určíme podle posledního nejvyššího peaku ve spektru.

sv. Václav	8 156 kg	e	325 Hz
sv. Petr a Pavel	2 168 kg	h	508 Hz
Panna Marie Svatohostýnská	4 805 kg	gis	428 Hz

6. Na počítači, tabletu, smartphonu vykresli spektrum zvonu sv. Václava a vypiš několik harmonických tónů. Obr. 35 ukazuje spektrum získané v programu Audacity s vyznačením peaku 325 Hz (E4), které odpovídá základnímu tónu zvonu.



Obr. 35: Frekvenční analýza zvonu sv. Václava s vyznačeným tónem e (325 Hz).

3.5 Základní princip

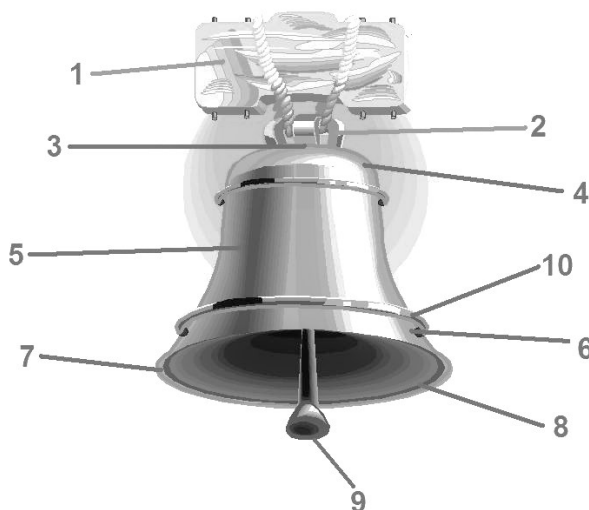
V této části se nejprve uvádíme pár zajímavostí – něco málo z historie zvonařství (*kampanologie*), některé pověsti o zvonech, výrobním procesu a názvosloví. Poté se zmíníme o pohonu a akustice zvonů.

3.5.1 Zajímavosti

Nejstarší zmínky o zvoncích pocházejí z vykopávek v Ninive v Asýrii z poloviny 3. tisíciletí př. n. l., avšak jejich tvar a velikost je jen skromnou předzvěstí dnešní podoby (Kučera, 2015, s. 7). Zvuk zvonu se používal nejenom ke svolávání k modlitbám, ale i jako zvukový signál varující před pohromou nebo oznamující pohřeb či oslavu pohanských bohů. V dnešní době se zvony používají při svatbách, slavnostech, nebo jiných významných událostech. Tvar profilu zvonu se v průběhu staletí měnil z původně oválného přes čtvercový, úlovitý, homolovitý (12. století) až po zvon gotického typu, který používáme a známe dodnes. Podle nařízení papeže Sebiniana zvony od roku 604 n. l. oznamují hodinu k modlitbám.

Výroba zvonu je náročná po akustické, metalurgické, konstrukční i výtvarné stránce. Dříve než se odlije zvon ze *zvonoviny*, je nejprve potřeba rozhodnout, jaký bude mít daný zvon *úderový tón*. Výška, hlasitost a charakter zvuku hlavně určuje síla a tvar zvonovitého žebra, výška a váha zvonu. Poté se připraví návrh zvonu i s výtvarnou výzdobou, pak slitina a zvon se odlije. Pokud akustické zkoušky dopadnou dobře, stačí zavěsit srce zvonu z měkčího materiálu (měkká ocel), které má mít 3,5 % váhy zvonu. Pokud se zvon nevydaří, musí se rozbít a odlít znovu. Proces je to velmi zdoluhavý, plný tradičních postupů a technologií. Více informací lze nalézt v odborných publikacích (např. Manoušek, 2006).

Při zavěšení zvonu je třeba dbát, aby zvonová stolice nebyla zakotvena do nosné konstrukce věže, ale musí být upevněna samostatně. Takto zamezíme možným vibracím. Pro zajímavost uvádím názvosloví jednotlivých částí zvonu na obr. 36.



Obr. 36: Části zvonu (zdroj: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Parts_of_a_Bell.jpg): 1. hlava, 2. koruna, 3. čepec, 4. rameno, 5. krk, 6. lem, 7. a 8. ústa, 9. srdce, 10. věnec.

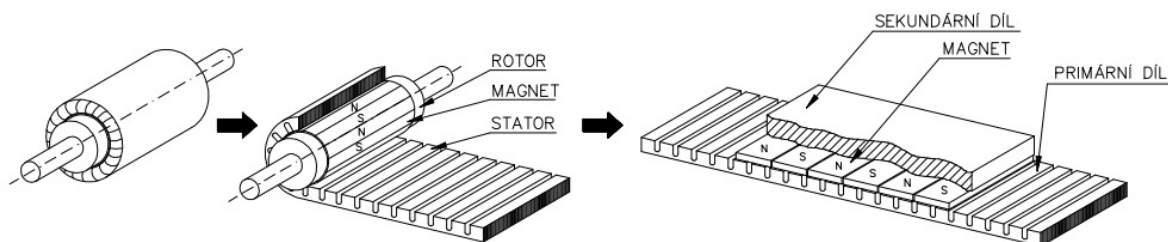
Zvuk zvonů můžeme slyšet např. ve skladbách Antonína Dvořáka, Petra Ebena nebo v opeře Richarda Wágnera Parsifal.

3.5.2 Pohon

Pohon zvonu je například v Německu z více než 90 % elektrifikován, naopak ve Španělsku se vrací k ručnímu pohonu zvonů. V naší republice se nejstarší a nejtěžší zvony rozhoupávají ručně. Není to jenom z důvodu tradice, ale hlavně díky tomu, že nedochází k prudkému trhání a násilnému zastavení zvonu.

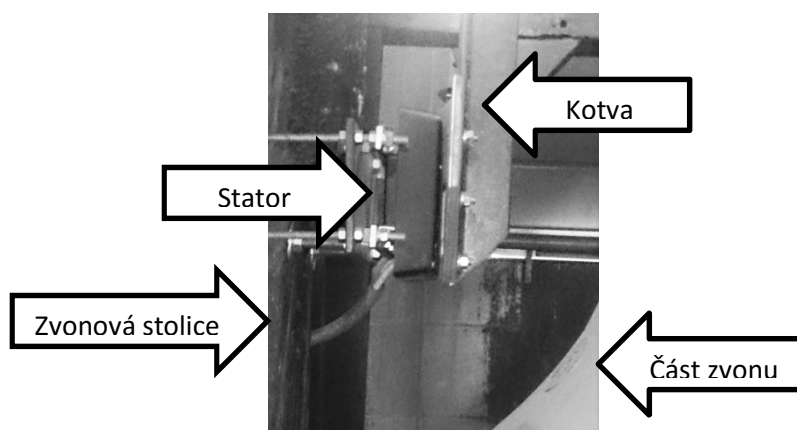
Nejčastěji se setkáme s pohonem pomocí elektromotoru, který je umístěn v blízkosti zvonu. Na kolo, které je připevněno na hlavě zvonu, je namontován napevno řetěz, který je zachycen k elektromotoru. Ten se v předem vypočtených časových intervalech spíná, aby vyhoupl zvon na jednu stranu. Poté se elektromotor vypne a zvon se vlastní vahou zhoupne a díky setrvačnosti dostane na opačnou stranu. Následně se sepne elektromotor a vyhoupne zvon na stranu jako při první sepnutí. Proces se znovu opakuje.

Z fyzikálního hlediska je zajímavý lineární pohon fungující na principu odpuzování kovových součástí pohybujících se v magnetickém poli. Tento systém byl vyvinut na počátku 90. let 20. století v Německu a od druhé poloviny 90. let se montuje i v ČR (Lunga a Vácha, 2009). Jedná se v principu o klasický elektromotor, kde stator je rozložen do roviny a upevněn ke zvonové stolici, a rotor tvoří ocelový plát s hliníkovým plechem (odborně kotva) a je připevněn v ose zvonu na jeho zavěšení. Přes kotvu je přenášena elektromagnetická síla lineárního motoru na houpavý pohyb zvonu. Rozložení statorové cívky do roviny, včetně fotografie lineárního pohonu na jižní věži katedrály, jsou znázorněny obr. 37 a obr 38.



Obr. 37: Lineární motor a jeho analogie s rotačním motorem

(Zdroj: http://www.vues.cz/file/417/CZ_LIN-OBECNE_020909.PDF)



Obr. 38: Lineární pohon zvonu Panny Marie Svatohostýnské

Díky tomu, že přenos síly obstarává magnetické pole, odpadají tak veškeré převodové části. Další výhodou je, že se zvonem nelomcuje ani při startu, ani při brždění. Důvod spočívá v malé účinnosti motoru.

3.5.3 Zvuk zvonu

Věnujeme se podrobněji akustice a následně o akustice zvonů a pravidlům pro dobrý zvuk zvonu.

Akustické jevy můžeme zkoumat nejenom z fyzikálního nebo hudebního hlediska, ale i z fyziologického nebo prostorového. Vše kolem nás, včetně elektronických přístrojů vydává buď tón (pravidelné chvění zdroje zvuku) nebo hluk (nepravidelné chvění zdroje zvuku). U tónu můžeme zkoumat výšku (počet kmitů za sekundu, neboli frekvenci v jednotkách Hz), délku (rytmická složka hudby, dána zněním chvění v čase), *hladinu intenzity zvuku* (dynamická složka hudby, dána mírou rozechvění, hlasitostí) a barvu (spektrum tónu, které nelze subjektivně ani objektivně vyjádřit – jedná se o odraz fyzikální struktury tónu v našem vědomí).

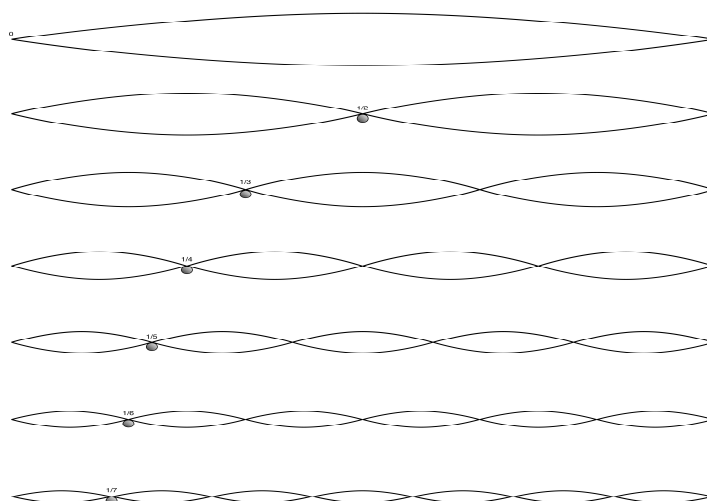
Zvuk se může šířit ve vzduchu, v kapalinách, ale i v pevných látkách. K šíření zvuku je nejprve potřeba rozechvět nějaký zdroj zvuku (hlasivky, reproduktor, strunu atd.), následně dojde ke zhušťování a zředování vzduchu (střídání většího a menšího tlaku; hovoříme o akustickém tlaku), a šíření těchto změn, které tento pohyb nazýváme tlakovou vlnou, která se šíří všemi směry stejnou rychlostí. Rychlost zvuku ve vzduchu je $343 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ při 20° C (Vogt, kasper a Burde, 2015).

Tóny dělíme na jednoduché, jejichž spektrum tvoří jen jedna základní frekvence a lze je vytvořit pomocí generátorů, nebo složené, vznikající na hudebních nástrojích. Složený tón je složen z harmonických tónů (ve starší literatuře označen jako alikvótní tóny).

Zvuk vnímáme sluchovým orgánem, který je složen z vnějšího ucha (boltec, zvukovod a ušní bubínek), středního ucha (tři kůstky – kladívko, kovadlinka a třmínek) a vnitřního ucha (spirálovitě zatočená trubička naplněná tekutinou). Ve vnějším uchu je zesílen kmitající pohyb částic vzduchu, které způsobí mechanické vibrace středního ucha a následné šíření vln v kapalině vnitřního ucha až k elektrochemickým dějům ve smyslových buňkách. Popsaná cesta zvuku v uchu se nazývá sluchová dráha.

Průměrný člověk slyší zvuky o frekvencích 16 Hz až 20 kHz (starší lidé pouze do 15 kHz). Práh bolesti je při hladině intenzity 140 dB, přičemž při 160 dB dochází již k okamžitému poškození sluchu.

Jakmile rozezvučíme libovolný nástroj, vznikají zvukové vlny. Nejprve se zaměříme na lineární oscilátor (strunu), která kmitá příčně. Jelikož jsou oba konce struny pevně uchyceny, vzniknou díky rozechvění struny dvě vlny, které mají stejnou amplitudu, frekvenci a směr kmitání šíří se proti sobě se stejnou rychlostí. Jde o *stojaté vlnění* a zastoupení vyšších harmonických frekvencí a je dáno polohou tzv. kmiten a uzlů. Body na struně kmitají se stejnou fází, avšak s rozdílnou velikostí výchylek, jak můžeme vidět na obr. 39.



Obr. 39: Harmonický tón

(https://cs.wikipedia.org/wiki/Alikvotn%C3%AD_t%C3%B3n#/media/File:Harmonic_partials_on_strings.svg).

U deskových nástrojů, u kterých vzniká tón chvěním sebe sama (deskový idiofon), vznikají uzlové čáry, nikoliv body. Zvon oproti deskovým idiofonům má ještě třetí rozměr, proto uzlové čáry jsou u něj rozmístěny jako „rovnoběžky a poledníky“. Zastoupení frekvencí a rozložení kmiten a uzlů jsou výsledkem lineární kombinace celé řady rezonančních módů, jejichž amplituda je určována buzením zvonu (Syrový, 2013).

V akustickém zjednodušení lze zvon považovat za extrémně tvarovaný dvourozměrný oscilátor, který je schopen vydat velmi komplexní zvuk – jeden zvon emituje 70 – 100 tónů. Citlivé ucho může z tohoto počtu slyšet až osm. Pro běžného posluchače se všechny tóny slíjí v jeden mohutný. U zvonů jsou dva charakteristické tóny. Jsou jimi základní tón a nárazový tón. Základní tón odpovídá tónu ladění zvonu a nárazový tón je tón, který zní při nárazu. V ideálním případě se jedná o ten samý tón, nebo dané tóny splynou v jeden.

Dříve než se objedná zvon, je třeba určit, zda bude zvon znít samostatně, nebo bude součástí nějakého seskupení. Pokud má být součástí nějakého uskupení, je potřeba správně změřit základní a nárazový tón současných zvonů, kterým se nový zvon přizpůsobí. Ke změření jednotlivých frekvencí základního tónu nepomůže klasická elektronická ladička nebo spektrometr. Spektrometr změří všechny šумы a výsledek by byl nepřehledný. Proto kolaudátoři používají sadu Barthelmesových ladiček a svůj sluch pro odhad tónu. Zjištění tónu se provádí tak, že se nejprve rozezní zvon a kolaudátor nastaví na ladičce frekvenci tónu, který určí podle svého sluchu. Poté přiloží rozechvělou ladičku nerozhoupanému zvonu. Pokud je frekvence správně určena, zvon se rozezní pouze na této frekvenci, pokud je frekvence špatná, zvon se nerozezní.

Kvalitní zvon by měl ladit se třemi svými oktávami, které zazní v přísném harmonickém vzestupu (spodní, prima a horní oktáva), dále s ostatními zvony se sladí buď harmonicky (malá tercie, velká tercie, čistá kvarta), melodicky (sekundové intervaly), nebo harmonicko – melodicky (kombinace dvou předešlých). U klasických zvonů zní malá tercie, která způsobuje, že jsou zvony laděny v mollových stupnicích, ve kterých jsou půltóny mezi druhým a třetím a mezi pátým a šestým stupněm. Velká tercie je u starších zvonů způsobena nějakou technologickou chybou výroby. Více se o tom lze dozvědět v bakalářské práci (Jandová, 2006).

Aby zvon zněl kvalitně a bez vynechávek, je potřeba zvolit správný výkyv při zvonění. Například pro zvon se středním žebrem je přibližný výkyv na jednu stranu 50° při hmotnosti 4000 kg, ale 62° při hmotnosti 450 kg. Podobně se bude lišit i počet úderů za minutu v závislosti na hmotnosti zvonu tento vztah lze vyjádřit pomocí rovnice (Srový, 2016, s. 267)

$$\frac{f_1}{f_2} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}$$

Předchozí rovnice platí pro zvony stejného profilového tvaru, proto pro zvony v jižní věži katedrály Sv. Václava uvedený vztah neplatí. Dále je pro zvuk zvonu důležité vzájemné sladění zvonů a rytmická souhra.

Jelikož každá zvonářská dílna si střeží své výrobní tajemství založené v některých případech i na staleté tradici, je většina fyzikálních závislostí získána empiricky měřením a rozbořením zvuků nějakého souboru zvonů. Výzkumu zvonů se věnovali např. Leonard Euler a Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz. Na základě analýzy zvuku 700 zvonů byl odvozen vztah mezi frekvencí humu f_h a vnitřním poloměrem nejširší části lemu zvonu r (Vogt, Kasper a Burde, 2015)

$$r = \frac{v}{\pi} \cdot \frac{1}{f_h} \cdot 0,91,$$

kde v rychlost zvuku, f_h frekvence nejnižšího tónu zvonu (hum zvonu). Pro zvony v jižní věži není odchylka větší než 8 % a jednotlivé údaje nalezneme v části věnující se jednotlivým zvonům. Pro zvony platí i přibližný vztah z článku (Vogt, Kasper a Burde, 2015) pro odhad mezi hmotností zvonu M a frekvencí humu f_h

$$M = 4776 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(\frac{v}{\pi} \cdot \frac{1}{f_h} \right)^3,$$

kde v rychlost zvuku. Odchylka je 2,3 % u zvonu sv. Petra a Pavla, 5,65 % u zvonu Panny Marie Svatohostýnské a 11,85 % u zvonu sv. Václava (s rostoucí hmotností zvonu se nepřesnost zvyšuje)

3.6 Zvony v jižní věži katedrále sv. Václava

Počet zvonů se v průběhu staletí v katedrále měnil. Hlavními důvody bylo zrekvírování zvonů na vojenské účely během válek nebo požáry. Fotografie jednotlivých zvonů, které se nacházejí v jižní věži, jsou na konci této části. Parametry zvonů jsou převzaty z:

<http://zvony.chlup.net/pruvodce.html>.

V nejvyšší věži katedrály se nacházejí tři zvony. Největší zvon na Moravě byl odlit v roce 1827 ve Vídni a je zasvěcen Nejsvětější Trojici a svatému Václavu (zkráceně označován jako svatý Václav). Jeho pohon je ruční a váží 8 156 kg s průměrem 242 cm. Korunu tvoří šest uší. Bohaté zdobení zvonu obsahuje reliéf patrona Nejsvětější Trojice a spolupatrona svatého Václava. Dále obsahuje erb olomouckého arcibiskupa arcivévody kardinála Rudolfa Jana (arcibiskupem v letech 1819 – 1831) a několik latinských nápisů. Základním tónem je malé e o frekvenci 325 Hz. Na zvon se zvoní při výjimečných příležitostech jako např. při jáhenském a kněžském svěcení, volbě a úmrtí papeže či biskupa, o Vánocích a Velikonocích, slavnosti svatého Václava, úmrtí významné osobnosti apod.

Druhý zvon, vyrobený v roce 1827 ve Vídni, je zasvěcen svatému Petru a Pavlu a Cyrilu a Metodějovi (zkráceně označován jako zvon sv. Petra a Pavla). Váží 2 168 kg. Jeho průměr je 152 cm a jeho koruna je tvořena šesti uchy. Zdobení zvonu je složeno z latinských nápisů, a z reliéfů svatého Cyrila a Metoděje a svatého Petra a Pavla. Základní tón je malé h o frekvenci 508 Hz. Pohonem zvonu je elektromotor. Podobně jako zvon svatého Václava zvoní při výjimečných příležitostech.

Třetím je zvon Panny Marie Svatohostýnské, který nahradil zvon Panny Marie Bohorodičky (zrekvírovaný za 1. světové války) vážící 4 805 kg (nejtěžší zvon odlitý pro Českou republiku po 2. světové válce) s průměrem 188 cm a výškou 185 cm. Byl vyroben v roce 2008 v Pasově. Základní

tón je malé gis o frekvenci 428 Hz. Pohon zvonu je lineární. Zvon zvoní pravidelně pondělí až neděli 11:00 – 11:10 (díky velkému množství zvonů v Olomouci, zvoní zvony v katedrále hodinu před polednem, aby byl slyšet jejich zvuk samostatně), v pátek 15:00-15:10 (podle tradice v pátek ve tři odpoledne zemřel Kristus na kříži) a v neděli 9:30-9:40 (před hlavní nedělní bohoslužbou).



a)

b)

Obr. 40: a) Zvon sv. Václava; b) zvon sv. Petra a Pavla



Obr. 41: Zvon Panny Marie Svatohostýnské

3.7 Nové pojmy

Diecéze – správní jednotka církve s episkopální strukturou, v jejímž čele stojí biskup s úřadem a sídlem nazývaným biskupství. Diecéze se vymezuje územně, výjimečně institucionálně či funkčně. Na území České republiky existuje osm diecézí, z nichž se dvě nazývají arcidiecéze (olomoucká, pražská).

Kostelník – osoba starající se o kostel, roucha kněží a ministrantů.

Kampanologie – věda o zvonech a zvonařství. Pojmenována podle města Campania (střední Itálie), kde podle pověsti v roce 409 nolánský biskup Paulinus, který vynalezl kovové zvony.

Hladina intenzity zvuku (hlasitost) – je určena vztahem $L = \log \frac{I}{I_0}$, kde $I_0 = 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (práh slyšení), I je intenzita zvuku. Jednotkou hladiny intenzity zvuku je bel (značka B) a je pojmenována po vynálezci telefonu Alexandru Grahamu Bellovi (1847 – 1922). Jedná se o velkou veličinu, proto se v praxi používají menší jednotky, nejčastěji dB.

Intenzita zvuku I – je definována podílem výkonu P zvukového vlnění a plochy S , kterou vlnění prochází: $I = \frac{P}{S}$ (<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/208-zakladni-definice>). Jednotkou je $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Katedrála (katedrální kostel, dóm) – hlavní kostel v dané diecézi.

Kmitna – bod, který kmitá s největší amplitudou při stojatém vlnění.

Patron – osoba, nebo skupina osob, která určitým způsobem chrání, jiného člověka, skupinu osob, nebo dokonce některé předměty, v církvích ochránce lidí, kostela, země apod.

Stojaté vlnění – vzniká interferencí postupného přímého vlnění a vlnění odraženého.

Úderový tón – tón, který vznikne nárazem srdce zvonu do jeho žebra.

Uzel – bod při stojatém vlnění, který je v klidu.

Vyšší harmonické tóny – jsou tóny s vyšší frekvencí než základní, s níž tvoří výsledný tón. Mají menší rozkmit, a proto jsou slabší než základní tón. Jejich frekvence je násobkem frekvence základního tónu.

Zvonovina – materiál používaný k výrobě zvonů. Skládá se z 78% mědi a 22% cínu. Konkrétní poměr těchto dvou prvků není přesně určen, ale je tajemstvím jednotlivých zvonařských dílen.

4 Englerovy varhany v kostele sv. Mořice

Tato část pojednává o největších varhanách v České republice se zaměřením na vybrané fyzikální jevy, které můžeme pozorovat při hře na varhany. Kromě fyzikální podstaty se v kapitole dozvíme i něco málo z názvosloví, které se u varhan používá, včetně historie Englerových varhan u sv. Mořice v Olomouci.

4.1 Co vzít s sebou

Jelikož je prohlídka varhan zpoplatněna, nezapomeňme si s sebou vzít vybrané peníze. Žáci si vezmou pracovní listy, ve svých smartphonech si nainstalují jednu z mnoha aplikací na rozbor zvuku, např. již zmíněnou FrequenSee-Spectrum Analyzer. Jelikož se jedná o kostel, kde bývá i v letních měsících chladněji, vezměme si i teplejší oblečení.

4.2 Dostupnost

Varhany jsou dostupné po předchozí telefonické (tel. číslo: 585 223 179) nebo mailové (christ@volny.cz) domluvě s farností svatého Mořice v Olomouci. Cena prohlídky je stanovena na 40 Kč/osobu, přičemž minimální vybraná částka musí být 800 Kč. Pokud se exkurze zúčastní méně než 20 osob, je cena za osobu vyšší.

4.3 Cíl procházky/zastávky

Po prohlídce varhan by měli žáci ZŠ:

- znát základní pojmy o varhanách;
- chápat náročnost výroby varhan;
- znát vztah mezi délkou píšťaly a výškou tónu;
- aplikovat dosažené vědomosti ve výuce dějepisu.

Po prohlídce varhan by měli žáci SŠ:

- ověřit si nové znalosti provedením výpočtu dle příslušných vztahů na konkrétních příkladech;
- znát základní názvosloví o varhanách;
- umět vysvětlit příčiny rozladění zvuku píšťal;
- dokázat aplikovat poznatky z problematiky vlnění pro vznik zvuku v jednotlivých píšťalách;
- umět aplikovat své poznatky ve výuce dějepisu.

4.4 Doporučený průběh procházky/zastávky

Nejdříve si domluvme termín prohlídky varhan. Kontakty jsou uvedeny v části 4.2 věnující se dostupnosti. Varhany budou prohlíženy za doprovodu jednoho z místních varhaníků. Na něj můžeme počkat před vchodem do kostela z ulice 8. května nebo v zadní části kostela. Dříve než se vydáme na prohlídku, upozorníme žáky, že bývá v gotických kostelích chladněji. Při čekání na průvodce řekněme žákům, aby si vypnuli zvonění u svých mobilních telefonů. Je neslušné, aby chlapci měli v kostele pokrývky hlavy. Poté můžeme s žáky rozvést diskuzi o tom, co je podle nich nejdůležitější pro zvuk varhan. Během diskuze by měli zaznít pojmy jako píšťaly, hrací stůl, ovládací mechanismus, vzduch aj.

Jako perličku můžeme říct studentům, že se jedná o největší varhany v České republice nebo některou jinou zajímavost, kterou se dočteme v podkapitole 4.6. Během varhaníkovy přednášky jej poprosme, aby zahrál stejný tón s různou *rejstříkovou* dispozicí pro potřeby zvukové analýzy. Zvukovou analýzu provedou žáci buď na svých tabletech, mobilních telefonech, nebo notebooku. Součástí prohlídky je i poslech jedné ze skladeb varhaníkova repertoáru.

Správné odpovědi z pracovního listu jsou:

1. *Vyluštěním tajenky zjistíš název jedné z mnoha interdisciplinárních oblastí fyziky. AKUSTIKA*

1.		M	E	C	H	A	N	I	C	K	Á			
2.	P	Ř	E	F	O	U	K	N	U	T	Í			
3.		M	E	N	S	U	R	A						
4.						S	C	H	I	N	D	L	E	R
5.				P	Ě	T								
6.	E	L	E	K	T	R	I	C	K	Á				
7.				T	L	A	K							
8.	S	T	R	O	U	H	A	L						

1. *Jak se nazývá traktura, která byla použita při výstavbě původních historických Englerových varhan?*
2. *Jak se nazývá jev, při kterém píšťala bude znít o oktávu výš?*
3. *Jak se nazývá poměr průměru píšťaly k průměru píšťaly o oktávu vyšší?*
4. *Jaké je příjmení zakladatele a iniciátora Mezinárodního varhanního festivalu u sv. Mořice?*
5. *Kolik manuálů obsahují Englerovy varhany u sv. Mořice?*
6. *Jaká je traktura nového hracího stroje Englerových varhan?*
7. *Co je potřebné k rozeznění píšťaly?*
8. *Jak je příjmení českého vědce, který ve své habilitační práci uvedl fyzikální vztah pro výšku třetího tónu?*

2. *Přiřaďte k jednotlivým tvrzením ANO, NE, podle toho, zda se jedná o pravdivé tvrzení (zapíšete ANO), nebo nepravdivé tvrzení (zapíšete NE)*

- *Varhany u sv. Mořice jsou největší v České republice. ANO*
- *Varhanář je člověk, který na varhany pouze hraje. Varhaník je člověk, který varhany pouze opravuje. NE*
- *K zesílení zvuku varhan stačí pouze přidat další píšťaly, aniž by bylo potřeba změnit typ píšťal. NE*
- *V každém místě kostela uslyším stejně znějící zvuk varhan. NE*
- *Otevřená retná píšťala je dvakrát delší než krytá píšťala stejného tónu. ANO*

3. Vyjmenuj několik důvodů, proč při akustickém měření v rozdílných částech kostela naměříš jiné hodnoty.

Jedná se o otevřenou otázku, která prověří představivost studentů a upozorní na náročnost akustických měření. Důvodů může být několik. V různých částech kostela nám může při akustickém měření stínit sloup. Můžeme stát v místě, kde se nejvíce odráží zvuk, nebo můžeme být v různých vzdálenostech od zdroje zvuku. I obsazenost kostela způsobí rozdílnost měření. Žáci určitě dojdou i k jiným odpovědím, které s nimi můžeme prodiskutovat.

4. Seřad' zanalyzované rejstříky podle barevnosti zvuku od nejméně barevných po nejvíce barevné. Odpověď hlavně záleží na konkrétních rejstřících, které zahráje varhaník. Nejméně barevné bývají flétnové rejstříky a zvukově nejbohatší jsou jazýčkové rejstříky (viz následující podkapitoly). Časový průběh vybraných rejstříků naleznete v části 4.6.

4.5 Fyzikální základy zvuku varhan

V porovnání s klavírem nelze u varhan ovládat sílu zvuku úderem varhaníkovi ruky. K síle zvuku slouží rozdílnost znějících píšťal (konstrukce, mensurace, zvolený materiál), včetně akustiky daného prostoru. Případně bývají některé píšťaly schované za žaluzií, která se může podle potřeby otevírat či zavírat. Pro intenzitu zvuku varhan je nejdůležitější rozdílnost jednotlivých rejstříků. Souvisí to se znalostí Fechnerova-Webrova zákona, který udává logaritmickou závislost mezi intenzitou zvuku a subjektivní silou tónu. Proto se v akustice zavedla nová veličina hladina intenzity, která je definována v části 3.7. Pokud bychom přidávali ve varhanách píšťaly o stejné intenzitě, dostaneme výsledný vztah pro hladinu intenzity (Mlčoch, 2015, s. 294):

$$B = 10 \log n + 10 \log \frac{I_1}{I_0},$$

kde n je počet rejstříků, I_1 je intenzita daného rejstříku a I_0 je prahová intenzita rejstříku. Ze znalosti o logaritmických funkcích je patrné, že nárůst hladiny intenzity tónu se bude zmenšovat se zvyšováním počtu jednotlivých rejstříků.

Pro představu, kdyby varhany měli deset druhů píšťal (rejstříků) a vynásobili jsme je počtem kláves na klaviatuře o rozsahu např. 5 oktáv (12 tónů na jednu oktávu), dostaneme 600 píšťal. Zde je třeba uvést, že u velkých varhan bývá počet rejstříků daleko větší a některé rejstříky mohou obsahovat až osm píšťal. Na obr. 42 si všimněme rozdílnosti tvarů jednotlivých rejstříků. Vidíme zde rejstříky složené ze čtyř píšťal, uzavřené i otevřené píšťaly, včetně píšťal ve tvaru hranolu. Jedna řada píšťal různého druhu zde odpovídá jedné klávesnici na hracím stole.



Obr. 42: Různé píšťaly uvnitř varhanní skříně Englerových varhan

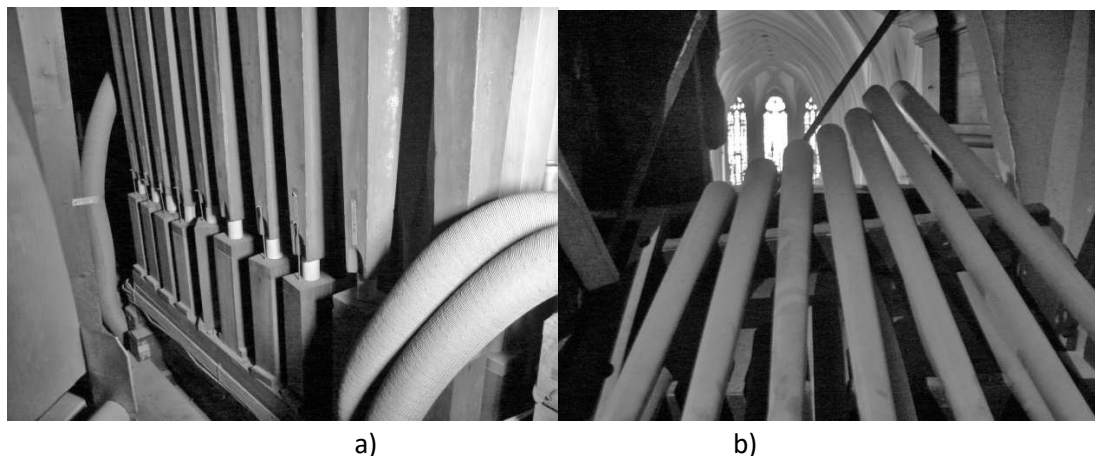
Varhany nejsou složeny pouze z píšťal, ale důležitou součástí je i mechanismem ovládající jednotlivé píšťaly. K ovládní píšťal slouží mechanická (založená na kombinaci pák a táhel, které se odborně nazývají abstrakty), pneumatická (ovlivňuje tlak vzduchu), elektrická, nebo kombinovaná *traktura*. Každá má svoji výhodu, ale i nevýhodu. Například mechanická traktura, ke které se současní varhanáři vracejí, přenese okamžitě pohyb varhaníkova prstu k otevření vzduchu do píšťaly, za cenu někdy silnějšího stisku klávesy, který je nutný k překonání odporových sil, které vznikají v táhlech a pákách mechanismu. Pneumatická traktura jde lehce, ale je velmi náchylná ke změně tlaku a poruchám. Elektrická traktura jde přesně, ale je cenově nákladná na pořízení i údržbu. V současné době se varhanáři vracejí k mechanické traktuře (Mlčoch, 2015).

Dalším důležitým faktorem je patřičný tlak (zesílení zvuku jednotlivých píšťal nedocílíme zvýšením tlaku v píšťale) a množství vzduchu (vzduch musí vystačit i při maximálním odběru, kdy jsou zapnuty všechny rejstříky a spojky) s dostatečnou stabilitou (zamezení kolísavosti zvuku). To zajišťuje čerpací soustava složená ze vzduchovodů, *měchů*, a jiných částí. Charakteristickou veličinou je statický tlak, který je určen tlakem vzduchu ve varhanách, jestliže varhany neodebírají vzduch (nehrají). Tento tlak by měl být všude stejný, ať jej měříme na jakémkoliv místě (Mlčoch, 2015).

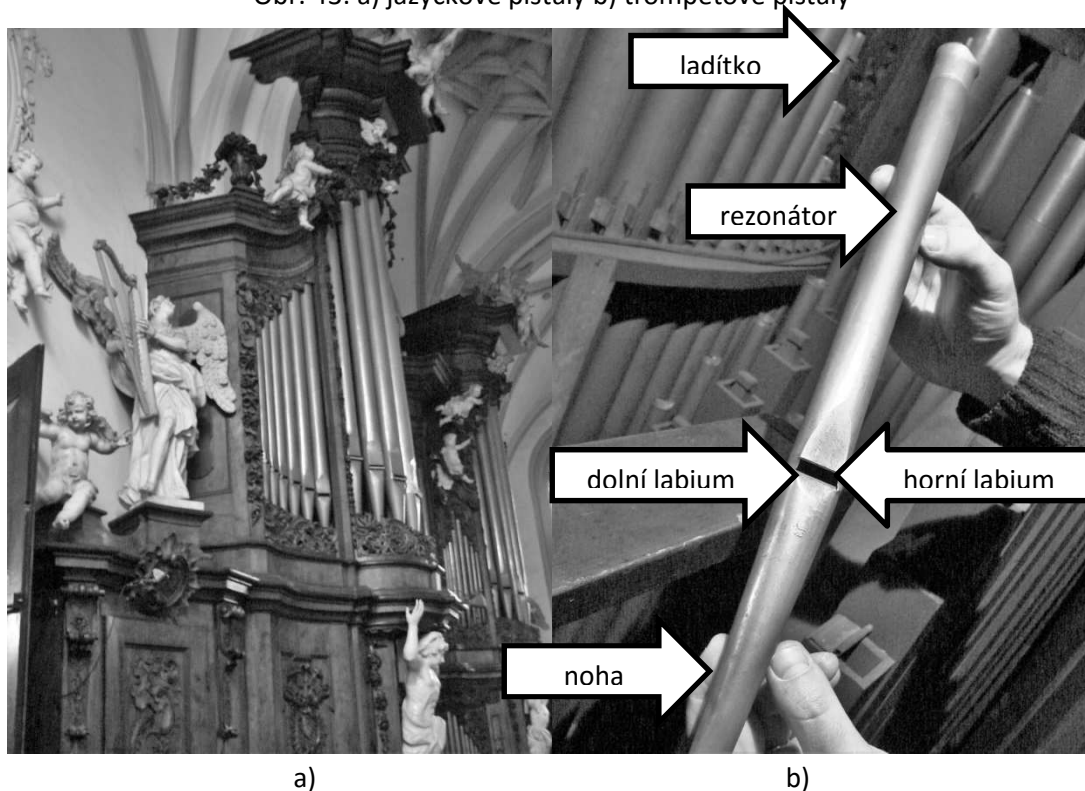
Se změnou tlaku souvisí zvukový efekt nazvaný tremolo, který způsobuje kolísání tónu. Tento efekt zajišťuje tremoland, který způsobuje rozkolísání tlaku vzduchu, např. nárazovitým periodickým uzavírání kanálu. Dalším efektem souvisejícím se změnou tlaku je echobas, který není dalším rejstříkem, ale jedná se o napájení rejstříku s označením bas vzduchem o nižším tlaku.

Z fyzikálního hlediska je nejzajímavější zkoumat jednotlivé rejstříky varhan a jejich kombinace. Při zkoumání tónů jednotlivých rejstříků nalezneme jednoduchý průběh flétnového rejstříku, přes složitější (zvukově barevnější) principálový rejstřík až k nejsložitějším jazykovým rejstříkům (zvukově nejbarevnější). Píšťaly jednotlivých rejstříků se liší tvarově, rozměrově, ale i konstrukčně. Konstrukčně dělíme píšťaly na retné a jazykové. Nejznámější jsou retné píšťaly, které jdou vidět v *prospektu* a jsou součástí výzdoby varhan. Druhým typem jsou jazykové rejstříky, které jsou nejvíce náchylné na změnu teploty a bývají proto laděny i několikrát do roka. Podrobnější členění nalezneme např.

v (Mlčoch, 2015). Zmíněné typy rejstříků jsou obsaženy v Englerových varhanách, viz obr. 43 a obr. 44.



a) b)
Obr. 43: a) jazýčkové píšťaly b) tompétové píšťaly



a) b)
Obr. 44: a) Retné píšťaly v části prospektu Englerových varhan b) retná píšťala uvnitř hrací skříně, spolu s dalšími píšťalami a názvoslovím

U jazýčkové varhanní píšťaly, stejně jako u ústní harmoniky je oscilátorem kovový jazýček, jehož délka určuje výšku tónu (Srový, 2013). Při znění retné píšťaly se částice vzduchu usměrní úzkou štěrbinou na ostrou hranu, za kterou vzniká turbulentní proudění. Změna tlaku vzduchu za hranou způsobena turbulentním prouděním vybudí třetí tón.⁶ Ten, pokud mají varhany správný tlak vzduchu, téměř neslyšíme. Jeho frekvence se shoduje s rezonančním módem vzdušného sloupce píšťaly, která se díky tomu rozezní. Uvnitř píšťaly se částice vzduchu rozkmitají podélně. Jelikož částice nejsou spolu pevně svázané, vznikají uvnitř píšťaly rychlostní *kmitny* a *uzly* (pokud pozorujeme rychlost

⁶ Vzniku třetího tónu se věnoval ve své habilitační práci z roku 1878 český vědec Vincenc Strouhal, ve které i uvedl fyzikální vztah pro výšku třetího tónu

částic), tlakové kmitny a tlakové uzly (pokud pozorujeme tlak uvnitř píšťaly). V místech, kde se nachází rychlostní uzel (resp. kmitna), se nachází tlaková kmitna (resp. uzel). U otevřené retné píšťaly se tvoří všechny celočíselné násobky půlvlny, kdežto u kryté retné píšťaly se tvoří jen liché celočíselné násobky čtvrtvlny (Mlčoch, 2015). Délku a tónovou výšku nám udává Bernoulliho vzorec, který má pro krytou (uzavřenou) píšťalu tvar

$$f = \frac{c}{4L},$$

pro otevřenou píšťalu má tvar

$$f = \frac{c}{2L},$$

kde f je frekvence, c rychlost zvuku a L je délka píšťaly. U píšťal můžeme pozorovat i záměrné přefouknutí píšťaly, kdy frekvence třetího tónu odpovídá vyššímu rezonančnímu módu píšťaly. Díky tomu slyšíme tón o oktávu vyšší.

Každý rejstřík je označen kromě názvu i číselným údajem, který označuje délku píšťaly (ve stopových jednotkách, kde jedna stopa je přibližně 30,5 cm), která zní při stisknutí klávesy C. Číselný údaj 8' znamená, že slyšíme stejný tón, který varhaník stiskl. Pokud je stisknut rejstřík s označením 4', slyšíme tón o oktávu vyšší. Kdežto při stisknutí rejstříku 16' slyšíme tón o oktávu nižší. Další číselné údaje mohou být 32', 2', 1', ale i 2 2/3' a jiné. Zvukovou analýzu vybraných rejstříků Englerových varhan nalezneme na konci následující podkapitoly.

Každý rejstřík má svoji typickou barvu zvuku, která s vhodnou kombinací jiného rejstříku smísí a vytvoří novou barvu zvuku. Na rozdíl od klavíru, kde při stisku klávesy c – g, vnímáme dvojjzvuk. Klaviatury obou nástrojů využívají temperovaného ladění, ale kombinace rejstříků např. PRINCIPÁL 8' + KVINTA 2 2/3' (viz předešlý odstavec) při stisku klávesy c uslyšíme tóny c a g1 v čistém ladění.

Dalším fyzikálním jevem, který můžeme u varhan pozorovat, jsou rázy. Ty vznikají, pokud znějí dva tóny velmi blízkého kmitočtu. Tohoto efektu využívají výchvěvné rejstříky, které se skládají ze dvou řad píšťal, které jsou vůči sobě laděny o něco výš, či méně. Rázy lze pozorovat i při rozladění varhan.

U varhanních píšťal můžeme sledovat řadu rozměrů. Pokud bychom se, zaměřili např. na šířku píšťal, zjistíme, že stejně vysoké píšťaly o různé šířce budou znít různě. Široké píšťaly nám budou znít kulatě a flétnově, kdežto užší píšťaly ostře a smykavě. Píšťaly středně široké nám kombinují obě charakteristiky a vytvářejí plný zvuk s charakteristickou barvou. Při porovnávání rozměrů varhan se zavádí pojem mensura⁷. Mensurou M budeme rozumět poměr průřezu (tj. plochy) píšťaly k průřezu píšťaly o oktávu vyšší; tedy o 12 půltónů vyšší (Mlčoch, 2015, s. 389):

$$M = \frac{S(x)}{S(x+12)} > 1,$$

kde $S(x)$ je průřez (plocha) píšťaly tónu x a $S(x + 12)$ je průřez píšťaly tónu o oktávu vyššího (tedy o 12 půltónů vyššího) než x . Pro porovnání dalších parametrů je vhodné zavést pojem lineární mensura m , kterou budeme rozumět jako poměr průměru píšťaly k průměru píšťaly o oktávu vyšší (Mlčoch, 2015, s. 390):

$$m = \frac{d(x)}{d(x+12)} > 1,$$

kde $d(x)$ je průměr píšťaly tónu x a $d(x + 12)$ je průměr píšťaly o oktávu vyššího (tedy o 12 půltónů vyššího) než x . Výše definované pojmy jsou na sobě závislé a to vztahem (Mlčoch, 2015, s. 390)

$$m = \sqrt{M}.$$

⁷ Pojem mensura bývá u varhan chápán několika způsoby. V některých literaturách je chápána ve smyslu nějaké délky píšťaly, jinde ve smyslu tabulkových rozměrových údajů píšťal daného rejstříku, nebo ve smyslu poměru u píšťal.

Při konstrukci varhan se setkáváme s různým typem mensur jako např. lineární, Töpferovou, Dom Bedosovou aj.

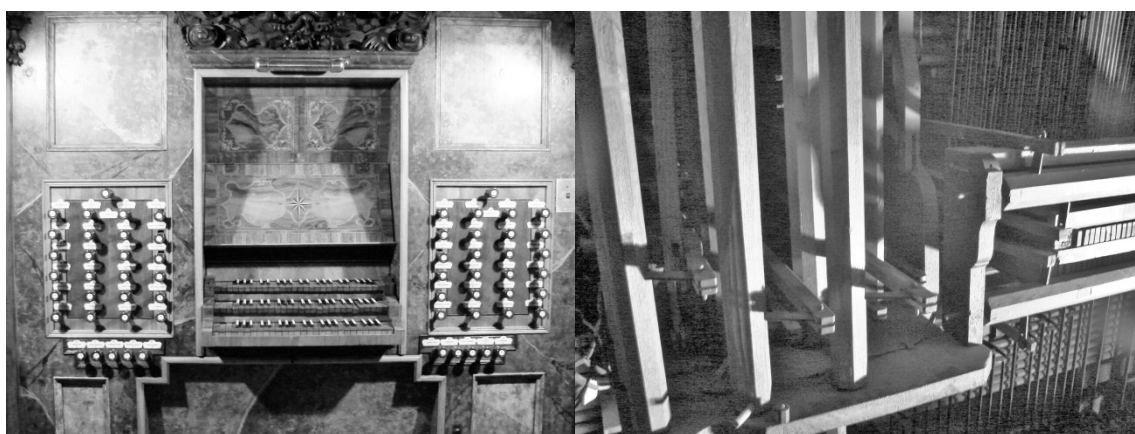
Další rozměr, který lze pozorovat, je labiová šířka $s(x)$; na obr. 44 se jedná o šířku otvoru v přední části píšťaly (Mlčoch, 2015, s. 404)

$$s(x) = k\pi d(x),$$

kde k je konstanta, $d(x)$ je průměr píšťaly o tónu x . Pro různé typy rejstříků se hodnota k liší, např. pro principál se hodnota k obvykle volí $k = \frac{1}{4}$ (Mlčoch, 2015). Více informací lze nalézt v odborných publikacích (např. Mlčoch, 2015).

4.6 Englerovy varhany u sv. Mořice v Olomouci

Při požáru města v roce 1709 shořely původní varhany o 22 rejstřících. Náhrada varhan byla pomalá. Nejdříve byl postaven olomouckým varhanářem Antonínem Jiřím Schackem v roce 1716 doposud existující šestirejstříkový pozitiv. V roce 1729 pověřil mořický probošt František Řehoř hrabě Giannini místního varhanáře Josefa Emanuela Heintzlera stavbou velkých varhan. Ten v roce 1736 zemřel, aniž by byla stavba dokončena. Poté se stavby ujal kroměřížský varhanář Kryštof Zikmund Klemmt, ale i on téhož roku zemřel. Hrabě Giannini na radu známých pověřil dokončením varhan Michaela Englera, který v roce 1745 za cenu 18 902 zlaté, 40 krejcarů a dva denáry varhany dokončil. Na tu dobu to byla ohromná suma, která nebyla nikdy Englerovi celá vyplacena. Varhany obsahovaly na třech *manuálech* a *pedálu* 44 znějících rejstříků. Byly přestavěny *vzdušnice* tak, aby kancely obsahovaly i tóny Fis a Gis (původní Heintzlerův záměr bylo použití krátké oktávy, neboli vynechání tónů Fis a Gis), rozšíření vzduchovodů aj. Kromě platu Engler požadoval úhradu za cestu pro sebe a tři tovaryše, byt a stravu třikrát denně po dobu stavby, a pro každého denně dva mázy piva (něco přes dva litry) a pro sebe ještě sklenici vína (Sehnal, 2004, s. 275). Hrací stůl byl umístěn z perspektivé strany pro lehčí chod mechanické traktury a je dochován do dnešních dnů, viz obr. 45.



a)

b)

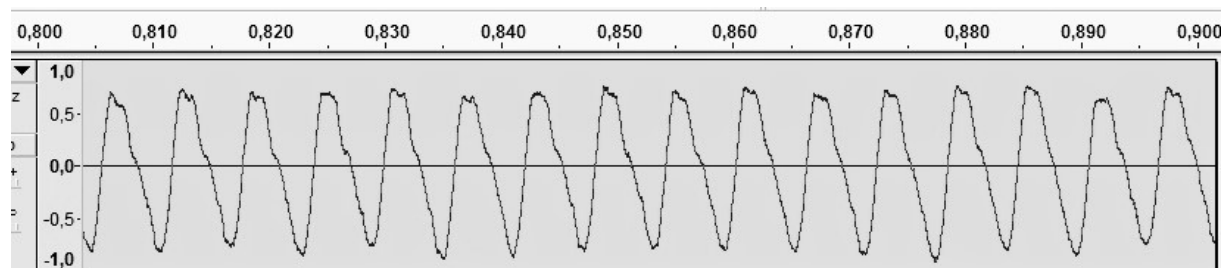
Obr. 45: a) Hrací stůl Englerových varhan b) část mechanické traktury z druhé strany hracího stolu.

Velkou opravou, která odstranila nestylové zásahy z 19. století a kterou realizovala firma Rieger-Kloss, Varhany Krnov, prošly varhany v letech 1959 – 1969. Varhany byly elektrifikovány při zachování původní mechanické traktury a podle návrhu Antonína Schindlera byly rozšířeny o další dva manuály. Nástroj od té doby obsahuje pět manuálů a 96 rejstříků a umožňují interpretaci hudby všech slohových období. Od roku 1969 se vždy v září koná v kostele sv. Mořice Mezinárodní varhanní

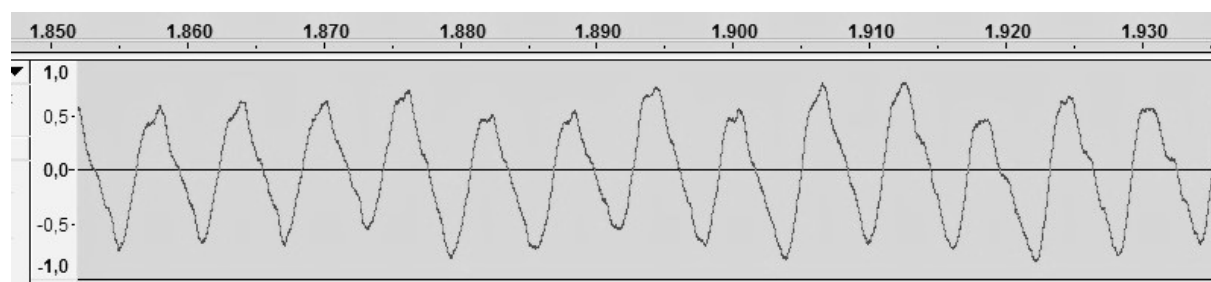
festival, jehož zakladatelem a iniciátorem byl varhaník mořického kostela, organolog a violista Antoním Schindler.

4.7 Analýza zvuku varhan

V následující podkapitole je analyzován tón e^8 , jak zní při zapnutí vybraných rejstříků Englerových varhan. Pro zvýraznění vybraných maxim ve spektru jsou v šípkách uvedeny číselné hodnoty, které odpovídají frekvenční hodnotě daného tónu v jednotkách Hz. Při časovém průběhu je na jednotlivých obrázcích znázorněna časová osa v sekundách.

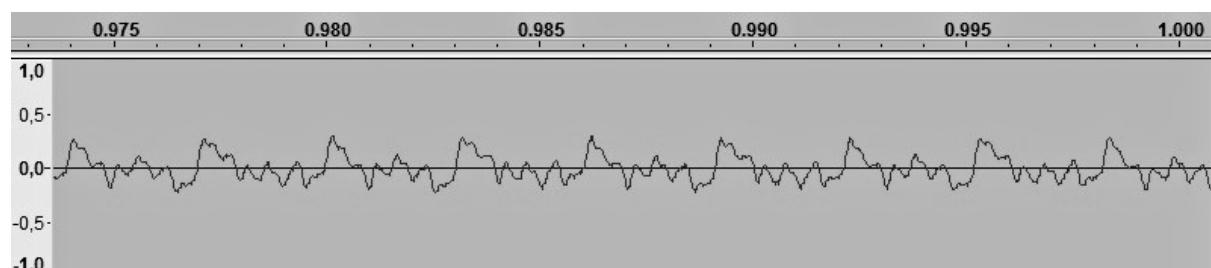


Obr. 46: Principál 8' (časový průběh)



Obr. 47: Principál 8' se zapnutým tremolem (časový průběh)

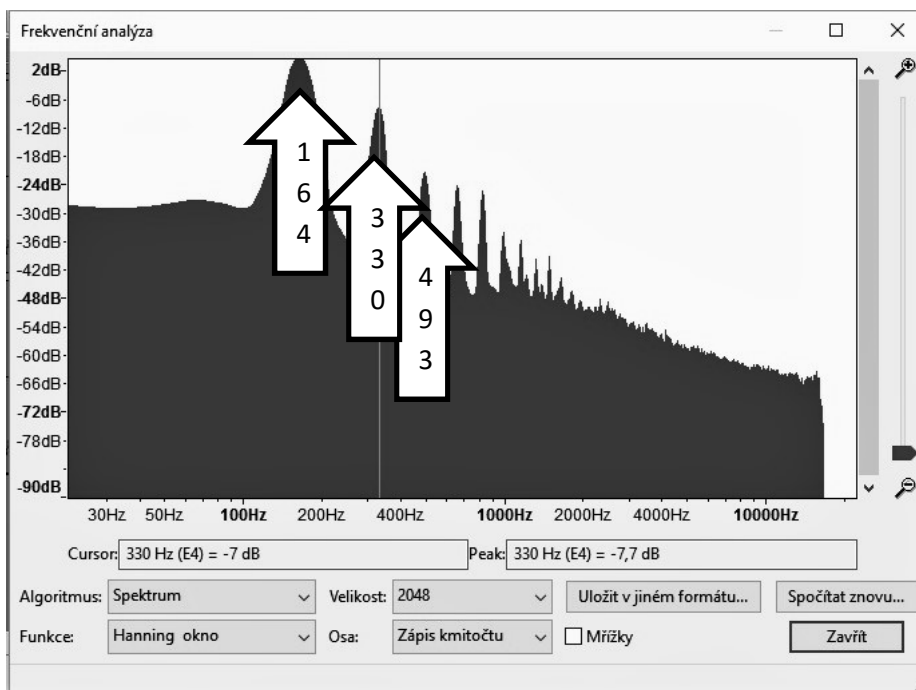
Na obr. 47 je patrné kolísání zvuku oproti obr. 46, způsobené tremolem (princip tremola byl vysvětlen v předešlé části). Jednotlivé rejstříky mohou obsahovat i více píšťal, které jsou postupně laděny o oktávu výš, než původní rejstřík⁹. Proto označení rejstříku principalmixtur 8x 4' znamená, že jednotlivý tón obsahuje 8 řad píšťal, kde základní tón je laděn o oktávu výš. Více různých znějících píšťal nám ovlivní nejenom časový průběh (viz obr. 48), ale i zvukové spektrum rejstříku (viz porovnání obr. 49 a obr. 50). Ve spektru principál 8' a principalmixtur 8x 4' lze najít celé násobky frekvence základního tónu, protože se jedná o rejstříky složené z otevřených píšťal. Dále si lze všimnout, že rejstřík principalmixtur 8x 4' má první maximum o oktávu výš než principál 8' (viz část 4.5) a prvních osm maxim je u principalmixtury díky množství píšťal vyšší.



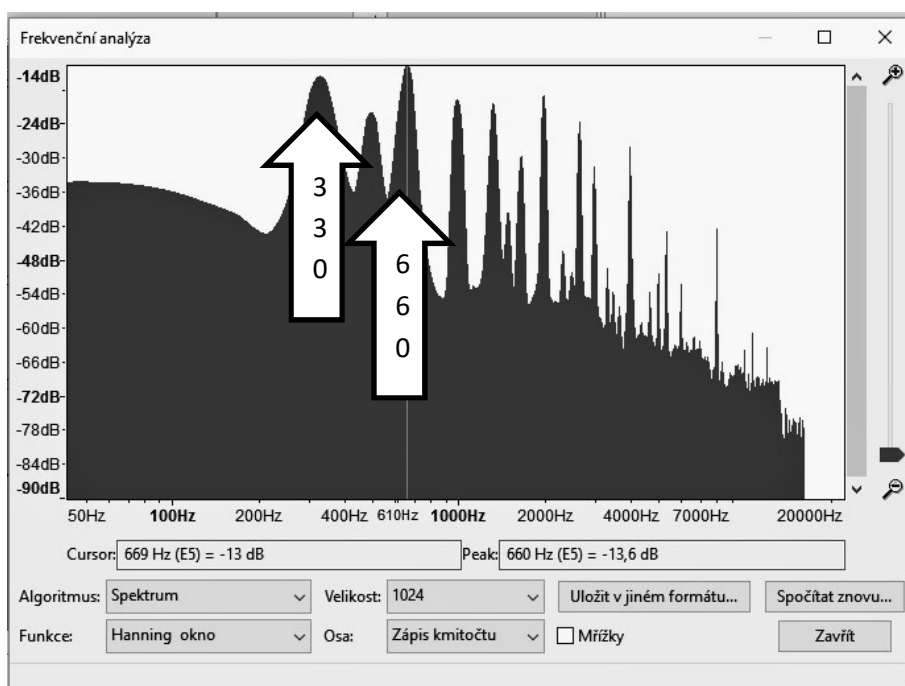
Obr. 48: Principalmixtur 8x 4' (časový průběh)

⁸ V programu Audacity nám bude odpovídat malému e označení E3 (viz příloha)

⁹ V části 4.5 se lze dočíst, že jednotlivé píšťaly mohou být laděny o něco výš či méně.

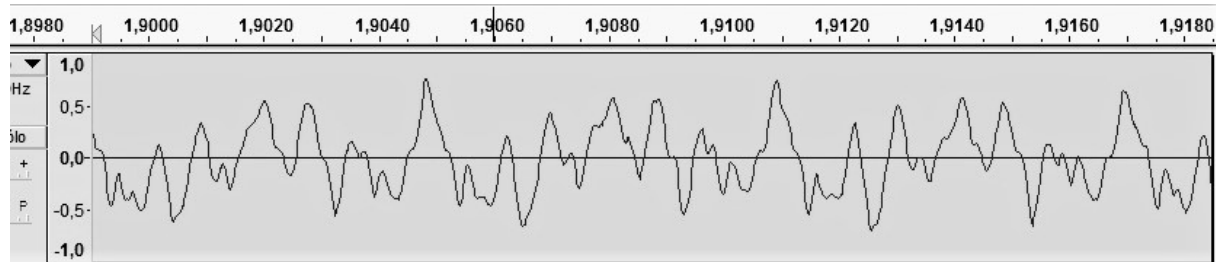


Obr. 49: Principl 8' (spektrum)

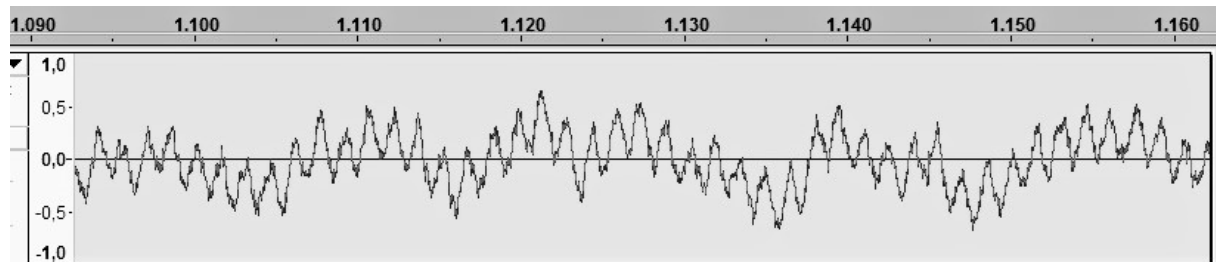


Obr. 50: Principlmixtur 8x 4' (spektrum)

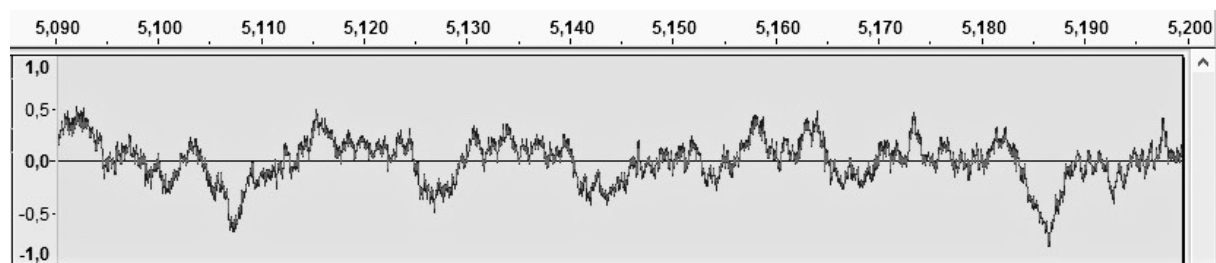
Jak již bylo zmíněno, na obr. 50 jsou násobky základního tónu e posunuty o jednu oktávu výš, proto první maximum 330 Hz odpovídá tónu e1. Různost časového průběhu byla zatím ukázána na stejném typu rejstříků, proto obr. 51 – 53 odpovídají jinému typu rejstříků. Jednotlivé rejstříky se liší tvarem píšťal i počtem píšťal. Na obr. 53 je znázorněn průběh rejstříku, jehož 3 píšťaly, které znějí při stisknutí jedné klávesy, jsou záměrně mírně rozladěny tak, aby vydávaly chvějivý tón. Na obr. 54 nalezneme časový průběh při zapnutí všech rejstříků (odborně tutti).



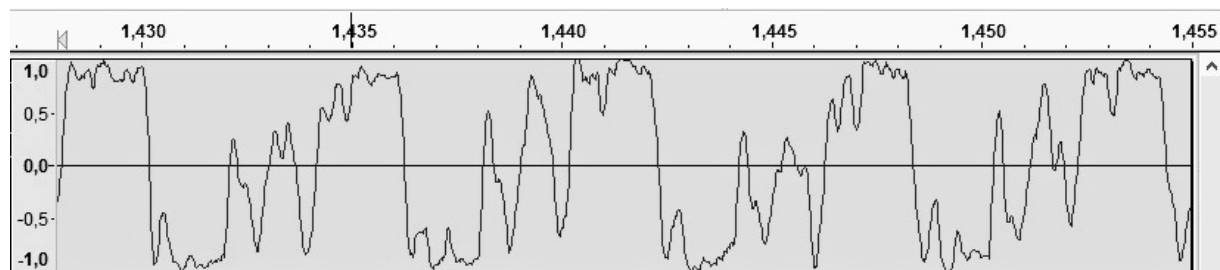
Obr. 51: Trompeta 8' (časový průběh)



Obr. 52: Waldflöte 2' (časový průběh)

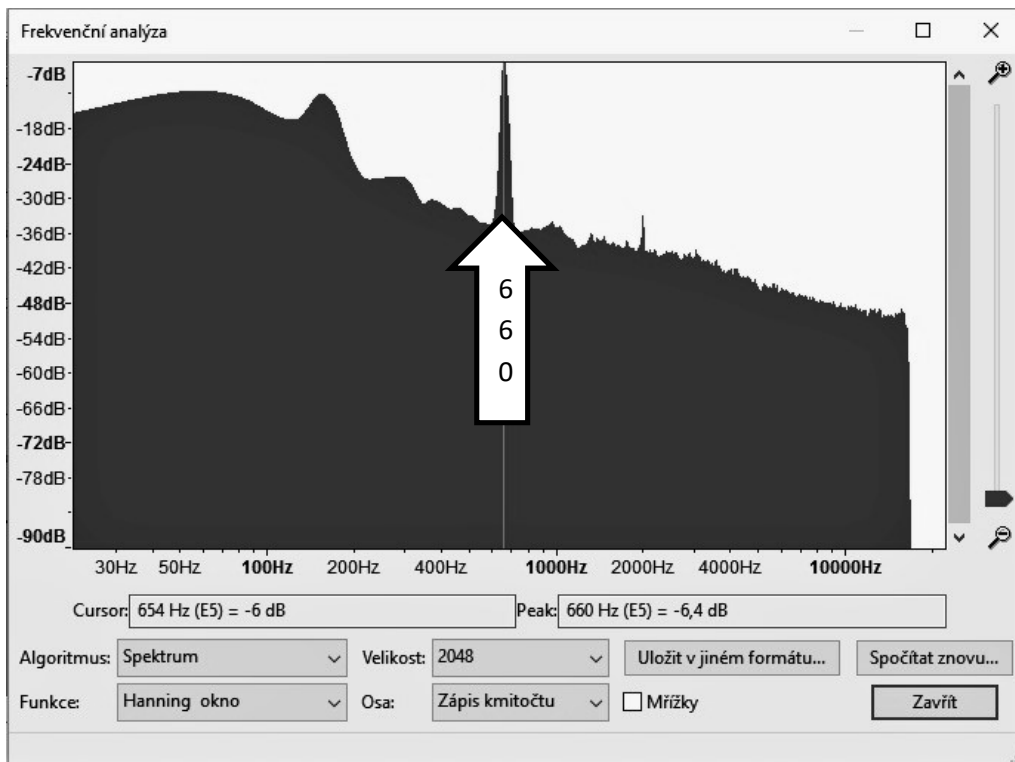


Obr. 53: Vox angelica 3x 8'-4'-4' (časový průběh)

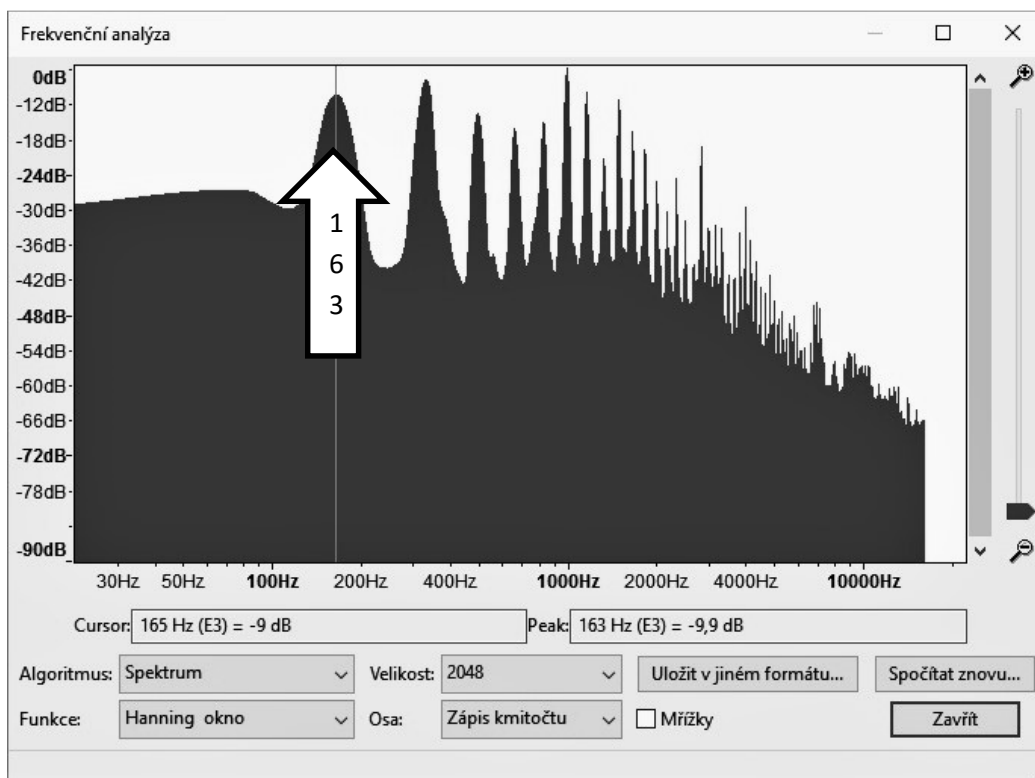


Obr. 54: Tutti (časový průběh)

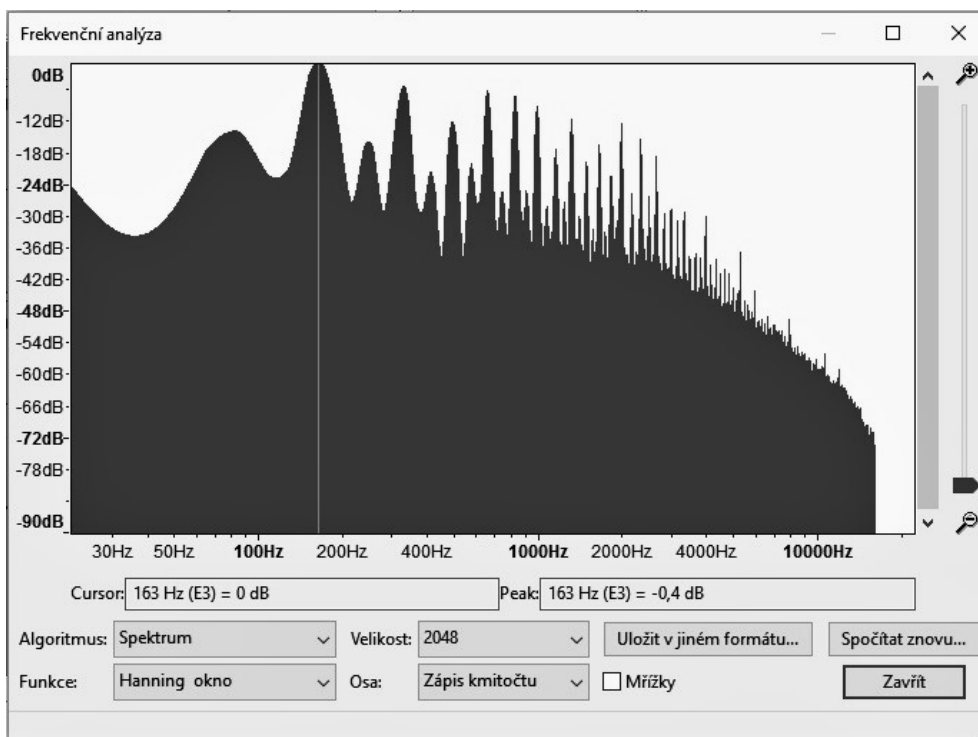
Na obr. 55. je spektrum rejsříku Waldflöte 2', kde si lze všimnout, že základní tón je posunut oproti hranému tónu o dvě oktávy a díky tomu, že se jedná o flétnový rejstřík, nemá tolik význačných maxim jako například principál 8' (obr. 49) nebo trompeta 8' (obr. 56), která je jedním z nejvýraznějších rejstříků, proto i ve spektru vidíme velké množství stejně vysokých maxim. Na obr. 57 je znázorněno spektrum tutti. Jelikož jsou při tutti zapnuty všechny rejstříky lze najít ve spektru i jiné než celé násobky základního tónu.



Obr. 55: Waldflöte 2' (spektrum)



Obrázek 56: Trompeta 8' (spektrum)



Obr. 57: Tutti (spektrum)

4.8 Nové pojmy

Kancela – část vzdušnice, kterou se přivádí vzduch do píšťal.

Manuál – část klaviatury, která se ovládá rukama. Podle velikosti mohou varhany obsahovat jeden i více manuálů. Mořické varhany obsahují pět manuálů.

Měch – ve zjednodušení jde o zásobárnu vzduchu o stejném tlaku. Pro stabilitu tlaku vzduchu může být použito závaží, pružina, nebo jejich kombinace. Dělíme podle funkce na čerpací, zásobníkový, regulační a nárazový

Pedál – část klaviatury, která se ovládá nohama. Varhany bez pedálu se nazývají prospekt.

Prospekt (lat. proscio) – hleděti vpřed, vyhlížeti (do dálky). Přední část varhan, která bývá bohatě zdobená a jde vidět z chrámového prostoru, nebo koncertní síně. V době druhé světové války byly rekvírovány pro vojenské účely většinou píšťaly z prospektu, protože ostatní píšťaly nešly vidět.

Rejstřík – souvislá řada píšťal stejného zvukového charakteru.

Traktura – mechanický, pneumatický, nebo elektrický systém (či libovolná kombinace např. elektro-pneumatický), který předává povel z hracího stolu do vzdušnice. Dělíme ji na hrací (ovládá tóny) a rejstříkovou (ovládá rejstříky). Obě traktury jsou na sobě nezávislé.

Vzdušnice – zařízení, které rozděluje vzduch k patřičným píšťalám podle hry varhaníka (Mičoch, 2015). Jedná se o uzavřený prostor, rozdělený přepážkami na jednotlivé kancely.

Část II: Pracovní listy pro žáky

1 Orloj

1.1 Expozice orloje v budově radnice

1. Z kterých ozubených kol se skládalo ukazovací soukolí astronomického číselníku?
2. Vychází historická konstrukce olomouckého orloje z heliocentrické soustavy nebo geocentrické soustavy?
3. Bylo možné z uspořádání orloje vyčíst v jaké fázi se nacházel Měsíc?
4. Z jakého kovu byla vyrobena dochovaná síť astrolábu?
5. Jak se jmenovali astronom a hodinář, kteří se podíleli na přestavbě orloje v letech 1570 – 1575?
6. Jaká byla v porovnání s ostatními astroláby v Evropě velikost astrolábu olomouckého orloje po přestavbě z konce 16. století?
7. Která hodinářská rodina se nyní stará o orloj?
8. Jak často se musí ručně natahovat současný stroj orloje?
9. Jaké sféry bylo možné na orloji nalézt?

1.2 Před orlojem

1. Vypiš všechny časové údaje, které můžeš vyčíst z orloje.

- Kolikátý je den v měsíci?
- Kolikátý je měsíc v roce?
- Který máme den v týdnu?
- Kdo má dnes svátek?
- Jaký je aktuální rok?
- Kolik hodin ukazuje orloj? Uveď oba údaje.
- Kolik minut ukazuje orloj?
- Jaké máme roční období?

2. Kolik nebeských těles je znázorněno na heliocentrickém planetáriu? Vypiš je pod sebe do prvního sloupce tabulky.

3. Načrtni astronomické symboly, které jsou uvedeny na planetáriu.

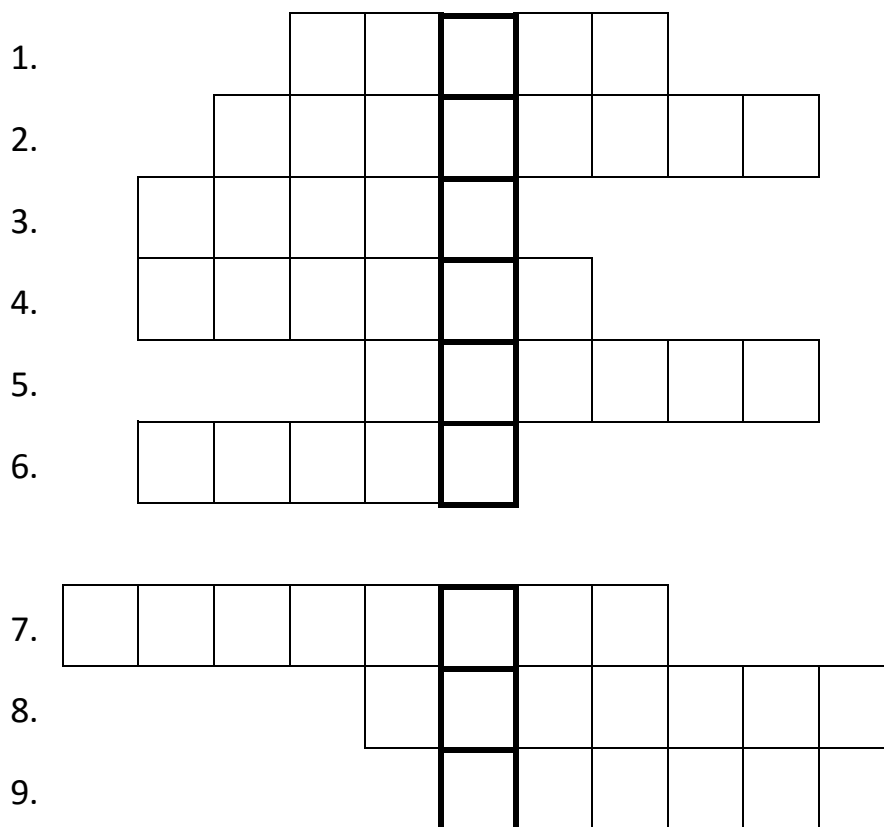
4. K načrtnutým symbolům se pokus přiřadit názvy planet. Náповěda: poloha planet na planisféře je zachovává pořadí planet od Slunce.

5. K vyjmenovaným planetám přiřaď zvířetníkové souhvězdí, ve kterém se nacházejí.

6. Na bývalém orloji bylo možné zjistit, v jaké fázi se nacházel Měsíc. Lze to vyčíst i ze současného orloje? Pokud ano, kde tuto informaci zjistíme?

2 Sluneční hodiny

1. Vyluštěním křížovky získáte překlad citátu, který bývá znázorněn na některých slunečních hodinách. Latinský text získáte vyluštěním osmisměrky, která se nachází na další straně.



1. Kolikátý Keplerův zákon nám určuje shodné obsahy ploch opsané průvodičem planety za stejný čas?
2. Po jakých křivkách se přibližně pohybují hvězdy po obloze?
3. Jak nazýváme rovnodennost, která nastává okolo 21.3.?
4. Jak se nazývá rovnice, která vyjadřuje časový rozdíl mezi pravým a středním slunečním časem?
5. Jaké je příjmení fyzika, který působil v Praze na dvoře císaře Rudolfa II.?
6. Jak se nazývá další typ hodin, který lze také vidět v Olomouci a znázorňuje planety, Slunce i Měsíce?
7. Jak se nazývá úsečka spojující střed planety se středem Slunce?
8. Jak se nazývá křivka, která popisuje nerovnoměrnost plynutí pravého slunečního času a vznikne spojením poloh Slunce na obloze v určitém konkrétním čase a místě na Zemi během roku?
9. Jak označujeme přesně typ křivek, po nichž se pohybují planety kolem Slunce?

2. Vyluštěte osmisměrku a získáte citát, který bývá znázorněn na některých slunečních hodinách.



AURORA, BARYON, BOSON,
DRBNY, ELMAR, EMANY, ILUZE,
KECAT, KLAUN, KOBOS, KRYSY,
KVÍZY, MYŠKA, NÁZVY, ODPAL,
OKALY, PÁDLO, PAHÝL, PIRAÑA,
SKÁLA, SRŠEŇ, ŠAŠEK, TONER,
ZÁLOM, ZNAKY, ZRNIT

3. Vypiš případné chyby, kterých se dá dopustit při konstrukci slunečních hodin.

4. Na které adrese jsou východní sluneční hodiny a na které západní?

5. Kde by si ve svém okolí umístil sluneční hodiny? Jak by Tvé sluneční hodiny vypadaly, co by na nich nesmělo chybět?

3 Zvony v jižní věži katedrály svatého Václava

1. Ověř, zda pro zvony v jižní věži katedrály platí vztah mezi frekvencí a průměrem zvonu.

2. Vyjmenuj a popiš části sluchové dráhy ucha.

3. Jaký nevdálenější bod si z věže rozpoznal?

4. Přiřaď jednotlivé pojmy do tabulky

- práh bolesti
- idiofon
- oscilátor
- Lissajousovy obrazce
- harmonický tón
- rezonance

	jev náhlého zvětšování amplitudy výchylky vynucených kmitů oscilátoru, jestliže se úhlová frekvence budící síly blíží rezonanční úhlové frekvenci. Objevuje se u všech typů vln či vibrací (mechanické, akustické, elektromagnetické, ...)
	křivky, které dostaneme při skládání dvou kolmých kmitů
	tón, který zní spolu s tónem základním, dříve se nazývaly alikvótními tóny ¹⁰
	hudební nástroj, ve kterém tón vzniká chvěním celého nástroje. dělíme je na tyčové (xylofon), deskové (činky) a dutinové (zvony)
	zařízení nebo systém, schopný kmitavého pohybu, při němž se hodnoty určitých parametrů (např. poloha) periodicky opakují.
	140 dB

5. Do tabulky vyplň jména zvonů a přiřaď k nim jejich hmotnost, základní tón, včetně jeho frekvence.

6. Na počítači vykresli spektrum zvonu sv. Václava a vypiš několik harmonických tónů.

¹⁰ Ve starší literatuře lze pro vyšší harmonické složky (kmity, tóny) nalézt označení též alikvótní, částkové, parciální, svrchní složky (kmity, tóny) nebo dokonce shorky. (Syravý, 2013 s. 24)

3. Vyjmenuj několik důvodů, proč při akustickém měření v rozdílných částech kostela naměříš jiné hodnoty.

4. Seřaď zanalyzované rejstříky podle barevnosti zvuku od nejméně barevných po nejvíce barevné.

Závěr

Celkem byly navrženy čtyři vycházky, dvě s astronomickou tematikou (orloj a sluneční hodiny) a dvě s náměty z akustiky (zvony a varhany). Lze předpokládat, že témata týkající se spektrální charakteristiky zvuku zapadají spíše do učiva fyziky na SŠ. V literatuře (Vogt, Kasper a Burde, 2015) se podařilo najít zajímavý vztah mezi frekvencí humu a vnitřním poloměrem nejširší části lemu zvonu. Daný vztah byl empiricky odvozen ze vzorku 700 zvonů s tím, že má průměrnou odchylku 9,8 %. Ověřili jsme, že u zvonů v jižní věži katedrály sv. Václava je odchylka menší než 8 %.

V práci jsou uvedeny příklady několika aplikací pro osobní počítače nebo tzv. chytré telefony, které mohou usnadnit nejenom procházku, ale mohou sloužit vyučujícím při jejich výuce. Aplikace jsou volně dostupné a umožňují například ověřit polohu planet či polohu Slunce (SunCalc či Planetarium) nebo zanalyzovat zvuk pomocí programů Audacity nebo FrequenSee-Spectrum Analyzer. Jelikož se aplikace každým rokem vyvíjejí, nebylo cílem této práce vyjmenovat všechny existující aplikace, pouze zmínit ty, které byly přímo použity a osvědčily se.

Součástí práce je poměrně bohatý soubor fotografií a ilustračních obrázků, které mohou napomoci hlubšímu a názornějšímu pochopení některých témat. Např. obr. 4 (náčrt Fabriciovy sítě astrolábu) a některé další byly vytvořeny ve volně šiřitelném programu Geogebra. Společně s fotografiemi tak práce prostřednictvím stránek

http://muj.optol.cz/richterek/doku.php?id=vyuka#vybrane_diplomove_prace

poskytuje nejen náměty k procházce po Olomouci, ale také obrazový materiál k výkladu a prezentacím zmíněných témat (např. princip orloje a slunečních hodin, časové rovnice). Na fotografiích lze demonstrovat např. stín ukazatele slunečních hodin v různých částech roku (v době zimního slunovratu a jarní rovnodennosti). Součástí práce je i fotografie originálu Fabriciova planetária, která je ve vlastnictví Vlastivědného muzea v Olomouci (VMOL). Smlouva s VMOL o zveřejnění fotografie je uvedena v příloze. Spolu s fotografiemi jsou také volně k dispozici zvukové soubory nahrávek, na nichž lze ukázat spektra zvuků varhan a zvonů.

I když se kvůli zpracování poměrně rozsáhlého množství informací nepodařilo v praxi vyzkoušet všechny vycházky s žáky ZŠ nebo SŠ, obsah první kapitoly věnované olomouckému orloji byl použit při jednom setkání Klubu mladých debrojarů při Gymnáziu Olomouc-Hejčín. Vycházky v délce asi 60 minut (bez přesunu ze školy a zpět) se zúčastnilo celkem 14 žáků ve věkovém rozmezí prima – tercie víceletého gymnázia. Lze konstatovat, že se zájmem sledovali výklad týkající se historie i současnosti orloje, zapojovali se do diskuze a bez větších problémů zvládli vyplnit připravený pracovní list. Podmínkou absolvování vycházky tak nemusí být probrání učiva astronomie (typicky v kvartě nebo 9 ročníku ZŠ). Dva příklady vyplněných žakovských pracovních listů a fotodokumentace zastávky před orlojem jsou uvedeny v příloze práce.

Lze tedy konstatovat, že výstup práce je prakticky použitelný a připravené materiály by mohly najít využití ve školní praxi.

Použité prameny

Knihy a časopisy

- BEDNAŘÍK, Milan a Miroslava ŠIROKÁ, 2000. *Fyzika pro gymnázia Mechanika*. Praha: Prometheus. ISBN 80-7196-176-0.
- ČERMÁK, Miloslav, 2005. *Olomoucký orloj*. Olomouc: Memoria Olomouc. ISBN 80-85807-26-2.
- JAKUBEC, Ondřej a Marek PERŮTKA, 2010. *OLOMOUCKÉ BAROKO. Výtvarná kultura let 1620-1780 2/katalog*, Muzeum umění Olomouc. ISBN 978-80-87149-39-3.
- MACHÁČEK, Martin a kol., 2003. *Fyzika pro gymnázia Astrofyzika*. Praha: Prometheus. ISBN 80-7196-277-5.
- MANOUŠEK, Petr Rudolf, 2006. *Zvonařství*. Praha: Grada. ISBN 80-247-1294-6
- SCHULZ, Jindřich, 2009. *Dějiny Olomouce 2. svazek*. Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-2369-2.
- SEHNAL, Jiří, 2004. *Barokní varhanářství na Moravě Díl 2. Varhany*. Muzejní a vlastivědná společnost v Brně, Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 80-7275-052-06, ISBN 80-244-0887-2.
- SOUŠKOVÁ, Dana, 2014. *Základy hudební teorie a akustiky*. Hradec Králové: Gaudeamus. ISBN 978-80-7435-580-6.
- SYROVÝ, Václav, 2013. *Hudební akustika*. Akademie múzických umění v Praze. ISBN 978-80-7331-297-8.
- ŠIMKOVÁ, Anežka a Zdeněk HORSKÝ, 1985. *Olomoucký orloj*.
- VOGT, patrik, Lutz KASPER a Jan-Philipp BURDE, 2015. *The sound of church bells: Tracking down the secret of a traditional arts and crafts trade*. The Physics Teacher, 53(7), 438 – 439. DOI:10.1119/1.4931015.

Internetové zdroje

- Analema*. [online]. [cit. 2. 1. 2016]. Dostupné z WWW: <http://mat.fsv.cvut.cz/solc/wwwpages/analema2/default.html>.
- Astronomický symbol* [online]. [cit. 28. 3. 2015]. Wikipedie. Dostupné z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Astronomick%C3%BD_symbol.
- Hvězdárna a planetárium Plzeň | Minislovníček: Ekliptika* [online]. [cit. 6. 5. 2016]. Dostupné z WWW: <http://www.hvezdarnaplzen.cz/2010/10/18/minislovnicek-ekliptika/>.
- Jupiter (mytologie) – Wikipedie* [online]. [cit. 24. 1. 2016]. Wikipedie. Dostupné z WWW: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Jupiter_\(mytologie\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Jupiter_(mytologie)).
- Osobní stránky Ing.Petra BERNATA – ANATOMIE VARHAN* [online]. [cit. 18. 4. 2016]. Dostupné z WWW: <http://www.anatomie-varhan.cz/>.
- Saturn (bůh) - Wikipedie* [online]. [cit. 24. 1. 2016]. Wikipedie. Dostupné z WWW: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Saturn_\(b%C5%AFh\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Saturn_(b%C5%AFh)).
- Princip slunečních hodin* [online]. [cit. 11. 12. 2015]. Dostupné z WWW: <http://www.slunecni-hodiny.webzdarma.cz/princip.html>.
- Prosinec 2012 – Velké galaktické seřazení?* [online]. [cit. 6. 5. 2016]. Dostupné z WWW: <http://www.astro.cz/clanky/ostatni/prosinec-2012-velke-galakticke-serazeni.html>.
- Resonance – Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. [cit. 27. 3. 2016]. Dostupné z WWW: <https://en.wikipedia.org/wiki/Resonance>.

Ruční.pdf [online]. [cit. 8. 1. 2016]. Dostupné z WWW: <http://rkfzabreh.rps.cz/zvony/rucni.pdf>
Sluneční hodiny - Olomouc, Blažejské náměstí 3 [online]. [cit. 12. 12. 2015]. Dostupné z WWW: <http://astro.mff.cuni.cz/mira/sh/sh.php?rec=19769>.
Sluneční hodiny a archeoastronomie [online]. [cit. 2. 1. 2016]. Dostupné z WWW: <http://slunecnihodiny.wz.cz/sh/sh.html>.
Vypočtete si hvězdný čas|Ostatní|Články|Astronomický informační server astro.cz [online]. [cit. 29. 1. 2016]. Dostupné z WWW: <http://www.astro.cz/clanky/ostatni/vypoctete-si-hvezdny-cas.html>.
Základní Definice:: MEF [online]. [cit. 20. 3. 2016]. Dostupné z WWW: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/208-zakladni-definice>.

Bakalářské a diplomové práce

KUČERA, Antonín. 2015. *Zvony*. Bakalářská práce. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. Cyrilometodějská teologická fakulta. Vedoucí práce Vít HLINKA. s. 7.
JANDOVÁ, Marie., 2006. *Zvon jako hudební nástroj*. Bakalářská práce. Brno: Masarykova univerzita. Filozofická fakulta. Vedoucí práce Vladimír Maňas.

Seznam příloh

Příloha A – Vypracovaný pracovní list 1.1

Příloha B – Vypracovaný pracovní list 1.2

Příloha C – Fotodokumentace zastávky před orlojem

Příloha D – Dohoda o povolení reprodukce díla s VMO

Příloha E – Frekvenční a tónový rozsah jednotlivých hudebních nástrojů

(<http://www.bwmmusic.com/goodies/range0.html>)

1 Orloj

1.1 Expozice orloje v budově radnice

1. Z kterých ozubených kol se skládalo ukazovací soukolí astronomického číselníku?

domovní, sluneční, kolo rovnoběžná

2. Konstrukce orloje vychází z heliocentrické soustavy, nebo geocentrické soustavy?

~~heliocentrické~~ geocentrické

3. Bylo možné z uspořádání orloje vyčíst, v jaké fázi se nacházel Měsíc?

Ano

4. Z jakého kovu byla vyrobena dochovaná síť astrolábu?

měď / ~~stříbro~~

5. Jak se jmenoval astronom a hodinář, kteří se podíleli na přestavbě orloje v letech 1570 – 1575?

~~Paul Fabricius~~ Hans Loh

6. Jaká byla v porovnání s ostatními astroláby v Evropě velikost astrolábu olomouckého orloje po přestavbě z konce 16. století?

byl největší

7. Která hodinářská rodina se nyní stará o orloj?

Schubert

8. Jak často se musí ručně natahovat současný stroj orloje?

každý den o půl

9. Jaké sféry bylo možné na orloji nalézt?

nebeská, zeměpisná, zemědělská

1.2 Před orlojem

1. Vypiš všechny časové údaje, které můžeš vyčíst z orloje.

- Kolikátý je den v měsíci? 27
- Kolikátý je měsíc v roce? 4
- Který máme den v týdnu? středa
- Kdo má dnes svátek? Jakoslav
- Jaký je aktuální rok? 2016
- Kolik hodin ukazuje orloj? Uveď oba údaje. III 15
- Kolik minut ukazuje orloj? 14
- Jaké máme roční období? Jaro

2. Kolik nebeských těles je znázorněno na heliocentrickém planetáriu? Vypiš je pod sebe do prvního sloupce tabulky.

Merkur	♀	Vodňář
Venuše	♀ ♀	Lev
Země	♂	střelec
Mars	♂	Střelec
Jupiter	♃	panna
Saturn	♄	střelec
Měsíc		
Slunce	☉	

3. Načrtni astronomické symboly, které jsou uvedeny na planetáriu.

4. K načrtnutým symbolům se pokus přiřadit názvy planet. Nápověda: poloha planet na planisféře je zachovává pořadí planet od Slunce.

5. K vyjmenovaným planetám přiřaď zvířetníkové souhvězdí, ve kterém se nacházejí.

6. Na bývalém orloji bylo možné zjistit, v jaké fázi se nacházel Měsíc. Lze to vyčíst i ze současného orloje? Pokud ano, kde tuto informaci zjistíme?

Ano v ukazatele dnů, měsíců
svítí v bílé kouti

Příloha H – Fotodokumentace zastávky před orlojem





VLASTIVĚDNÉ MUZEUM V OLOMOUCI
náměstí Republiky 5, 771 73 Olomouc
tel.: 585 515 111

DOHODA O POVOLENÍ REPRODUKCE DÍLA č. 05/2016/FO

Půjčitel: **Vlastivědné muzeum v Olomouci**
sídlo: náměstí Republiky 823/5, 779 00 Olomouc
IČO: 00100609

Vypůjčitel: Bc. Jaroslav Šustek
Kontakt (telefon, e-mail): sustek.jar@gmail.com
Instituce, pro kterou práce vzniká: UP PFF Olomouc
sídlo: tř. 17. listopadu 12, 771 46
IČ:
DIČ:

Vlastivědné muzeum v Olomouci povoluje jednorázovou reprodukci digitálních snímků z fotoarchivu VMO:

digitální snímek č. CH000936, Fabriciovo planisferium, podsbírka Chronometrie, inv.č. CH 936, foto Pavel Rozsival

digitální snímek č. CF004075 Olomouc, orloj, 2010, fotoarchiv VMO, foto Pavel Rozsival

Účel použití: **studijní – diplomová práce**
autor: *Bc. Šustek Jaroslav*
název: Fyzikální procházky po Olomouci

Smluvní cena za poskytnutá reprodukční práva: 0,-

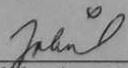
Vypůjčitel se zavazuje:

1. Použít reprodukci pouze a výhradně k výše uvedenému účelu.
2. V textu i při reprodukci uvést řádnou citaci, tzn. název muzea, podsbírky a inv. č. a jméno fotografa
3. Reprodukci neposkytovat třetí osobě nebo znovu použít k publikaci bez souhlasu Vlastivědného muzea v Olomouci. **Dohoda se vztahuje pouze na právo jediného reprodukování!**

Tato dohoda je vyhotovena ve dvou provedeních, po jednom pro obě smluvní strany.
Dohoda nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Olomouci dne *14.2.2016*

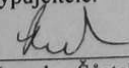
Za půjčitele:


Mgr. Hana Jakubková

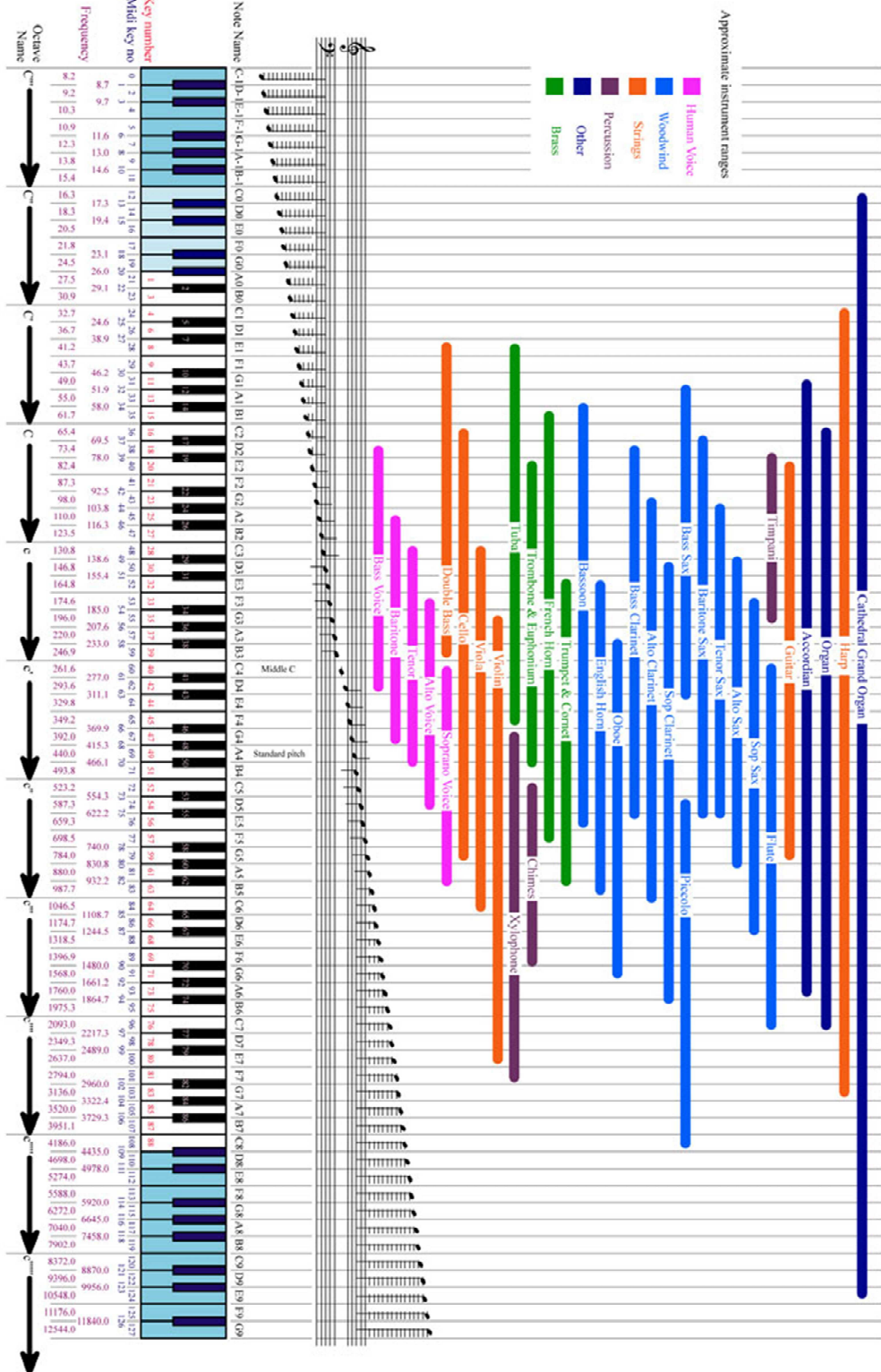
fotoarchiv Vlastivědného muzea v Olomouci

VLASTIVĚDNÉ MUZEUM V OLOMOUCI
nám. Republiky č. 5
771 73 OLOMOUC
4 IČ 00100609

Za vypůjčitele:


Bc. Jaroslav Šustek

Příloha J – Frekvenční a tónový rozsah jednotlivých hudebních nástrojů
 (http://www.bwmusic.com/goodies/range0.html)



N.B. The information contained herein is correct as far as can be ascertained, but its exactitude cannot be guaranteed.
 This document is intended for general use and for technical reproduction for commercial use or distribution. Should the system contain information that is not a product of
 © 2001 Charles Hooghton, Webb & BW Music
 www.bwmusic.com