

# Rentgenfluorescenční analýza, pomocník nejen při studiu památek

N. Šimová, Gymnázium Na Zatlance, Praha  
[nikola.simova@student.zatlanka.cz](mailto:nikola.simova@student.zatlanka.cz)

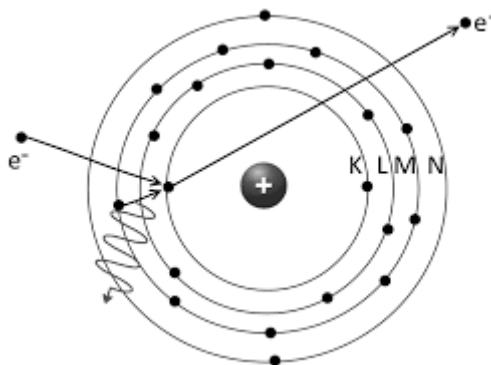
K. Nabiová, Gymnázium Jateční, Ústí nad Labem  
[nabiova.klara@gmail.com](mailto:nabiova.klara@gmail.com)

## Abstrakt:

Cílem naší práce bylo stanovení složení dvacetikoruny na základě rentgenfluorescenční analýzy.

## 1 Úvod

Rentgenfluorescenční analýza využívá ionizujícího záření, které v látce vybuzuje charakteristické záření. Na základě charakteristického záření se stanovuje složení daného vzorku (nejčastěji kovů) a koncentrace prvků obsažených ve vzorku. Při interakci fotonu s elektronem v elektronovém obalu atomu může nastat několik situací. V naší práci jsme se zaměřovaly pouze na fotoelektrický jev. Foton (v našem případě rentgenové záření) předá veškerou energii elektronu, který leží na slupce nejbližší k jádru. Čím větší energii dopadající foton má, tím větší kinetickou energii bude mít vyražený elektron. Atom je bez elektronu na K slupce nestabilní, a proto na jeho původní místo přeskakuje elektron z vyšší hladiny. Při přeskoku z vyšší hladiny na nižší hladinu uvolní emitující elektron energii. Tvoří se tak charakteristické záření, které je pro každý prvek jiné. S rostoucím protonovým číslem prvků roste uvolněná energie.



obr. 1 fotoelektrický jev (viz Reference)

## 2 Aparatura

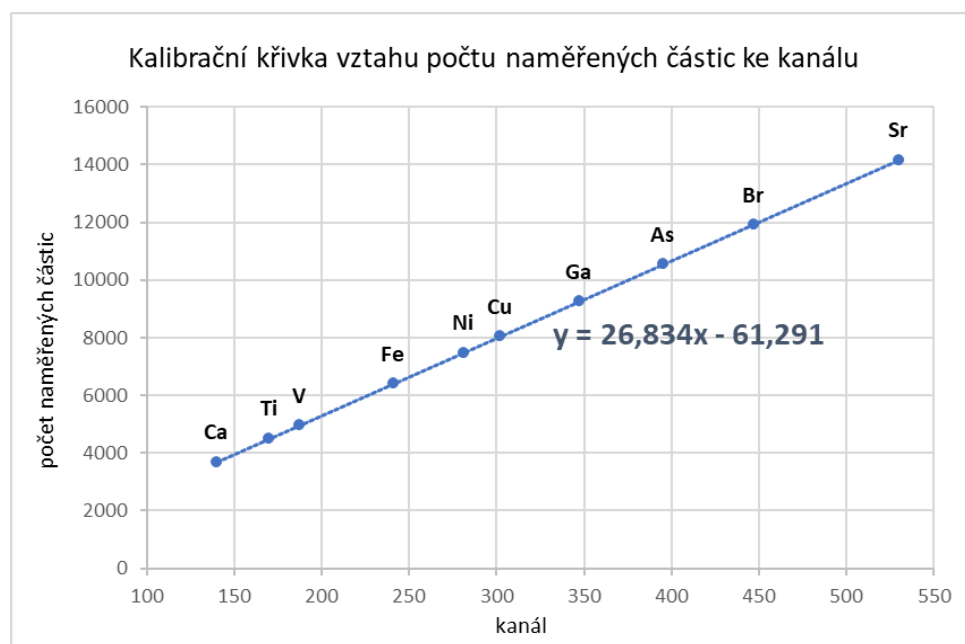
Aparatura byla složena z rentgenky (od firmy AMPTEK), z křemíkového detektoru, který byl pod úhlem 45° od dopadajícího rentgenového záření pro odstínění nežádoucích částic. Tímto způsobem jsme se snažily dosáhnout přesnosti výsledků. Rentgenka ozařovala plochu o obsahu 150  $\mu\text{m}^2$ . Zároveň jsme využily zdroje vysokého napětí - napětí bylo nastaveno na 50 kV a proud na 50 mA.

## 3 Peak - co to je?

Peak (z angličtiny nejvyšší vrchol, maximum) je nejvyšší četnost částic dosahujících určité energie. Peaky se označují různě: index  $\alpha$  označuje stav, kdy na volné místo po vyraženém elektronu přeskóčí elektron ze slupky L (viz obrázek 1), index  $\beta$  označuje naopak stav, kdy na volné místo přeskóčí elektron ze slupky M (viz obrázek 1). Elektronů ze slupky M přeskakují na volné místo sedmkrát méně než elektrony ze slupky L. V grafu poté vidíme dva peaky pro jeden prvek. Hrubou zkouškou přesnosti našeho měření pak může být šířka peaku. Platí totiž, že čím užší je peak, tím přesněji bylo měření provedeno (viz Diskuze).

## 4 Kvalitativní analýza

Kvalitativní analýzu jsme si vyzkoušely na kalibraci využitého programu s tabulkovými hodnotami. Využily jsme čisté vzorky prvků, které jsme po dobu třiceti sekund ozařovaly rentgenovým zářením. Prvky začaly vyzařovat charakteristické záření. Využitý program nám připravil graf, ve kterém jsme zjistily nejvyšší hodnotu peaku, a k hodnotě jsme přiřadily číslo kanálu z intervalu <1; 1024>. V tabulce energií jsme našly hodnotu pro právě studovaný prvek a tuto hodnotu jsme přiřadily k číslu kanálu. Měření jsme provedly pro deset různých chemických prvků. Z připravených hodnot jsme vytvořily graf, který jsme proložily křivkou.



graf 1

## 5 Kvantitativní analýza

V kvantitativní analýze jsme se věnovaly koncentraci jednotlivých prvků zastoupených ve zkoumaném předmětu. Naším zkoumaným předmětem byla dvacetikoruna vyrobená v roce 2003.

### Matricový efekt

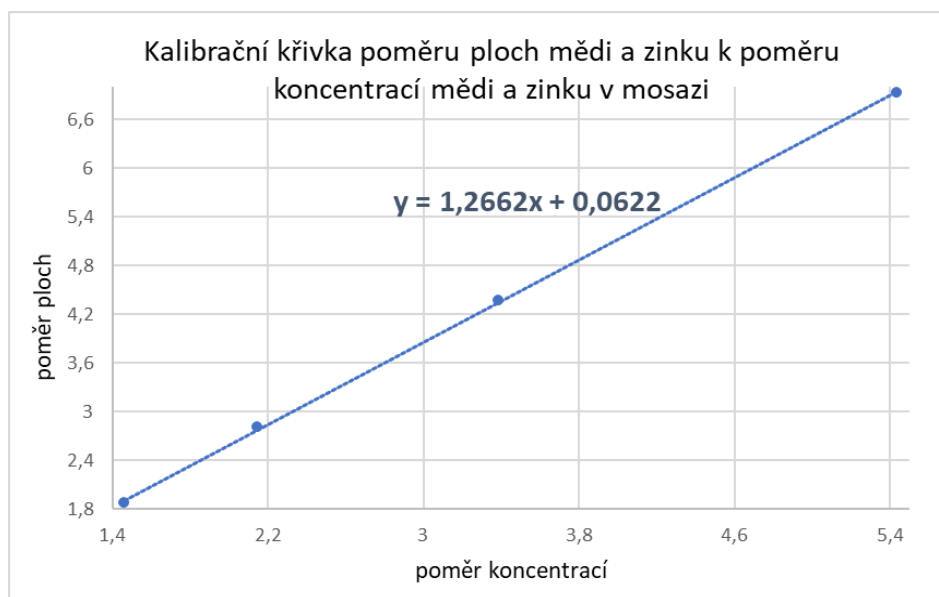
Problém kvantitativní analýzy spočívá v existenci Matricového efektu. Záření emitované ze vzorku je totiž ovlivněno koncentrací složek zastoupených ve zkoumaném předmětu.

S hloubkou počet částic vybuzených zářením exponenciálně klesá. U předmětů potažených lehkou vrstvou, např. kovů nebo jejich oxidů, může detektor vyhodnotit, že koncentrace kovu ve vrchní vrstvě je větší než koncentrace zbylé látky ve zkoumaném předmětu.

### Provedení

K realizaci našeho cíle bylo zapotřebí sestavit kalibrační křivku poměru koncentrace mědi a zinku k poměru ploch mědi a zinku. K dispozici jsme měly mosazné standardy ve tvaru válečků, které jsme ozařovaly rentgenovým paprskem po dobu pěti minut. Koncentrace mědi a zinku byla v každém válečku jiná, nám byly jednotlivé koncentrace známy. Počítačový program nám změřil obsahy jednotlivých peaků, které jsme zapsaly do tabulky. Následně jsme z nich vypočítaly poměry ploch a poměry koncentrací.

Výsledné poměry koncentrací a ploch jsme vložily do grafu, který jsme proložily křivkou.



graf 2

### Dvacetikoruna

Dvacetikoruna byla ozařována po dobu pěti minut podobně jako mosazné standardy. Díky ozáření jsme zjistily plochy Cu a Zn, které byly nutné k následnému dopočítání koncentrace Cu a Zn ve dvacetikoruně. Poměr koncentrace Cu a koncentrace Zn jsme vypočítaly dosazením do vzorce  $y = 1,2662x + 0,0622$  (viz graf 2), kde y je poměr ploch Cu a Zn a x je poměr koncentrací Cu a Zn (viz tabulka 1). Koncentrace Cu v naší dvacetikoruně tedy po zaokrouhlení vyšla 82,65 % a koncentrace Zn 17,35 %.

vzorek	Cu koncentrace	Zn koncentrace	Cu plocha	Zn plocha	Cu/Zn koncentrace	Cu/Zn plocha
20 Kč	82,6501732 %	17,3498268 %	2707403	729146	4,7637463 %	3,7131151

tabulka 1

## 6 Diskuze

Náš výsledek koncentrace Cu a Zn ve dvacetikoruně (viz tabulka 1) jsme porovnali s technickými parametry od České národní banky (viz obrázek 2). Koncentrace Cu se lišila přibližně o 15 % a koncentrace Zn přibližně o 40 %. Myslíme si, že jeden z možných důvodů nepřesnosti výsledků, je znečištění povrchu, např. rezi, nečistotou. Dále také mohly být nepřesnosti způsobeny členitým reliéfem mince nebo chybou měření či výpočtu.

» **technické parametry** – materiál ocel plátovaná slitinou mědi a zinku v poměru 75:25 a galvanicky pokovená slitinou mědi a zinku v poměru 72:28, magnetická, třináctihran, hmotnost 8,43 g, průměr 26 mm, síla 2,55 mm, hrany zaoblené a hladké; tolerance ve složení slitin  $\pm 1$  %, v hmotnosti  $\pm 0,25$  g, v průměru  $\pm 0,1$  mm a v síle  $\pm 0,05$  mm.

obr. 2 (viz Reference)

## 7 Shrnutí

Splnily jsme cíl, který jsme si stanovily. Poznaly jsme, jak se zjišťuje koncentrace prvků ve vzorcích pomocí rentgenfluorescenční analýzy a vyzkoušely jsme práci vědce na vlastní kůži.

## Poděkování

Děkujeme organizátorům Týdne vědy na Jaderce za možnost seznámit se s prací vědce a ochotu věnovat nám svůj volný čas. Dále bychom chtěly poděkovat Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT za poskytnutí prostor školy. Velké díky patří panu Jiřímu Martinčíkovi za zasvěcení do základu problému, pomoci při realizaci našeho miniprojektu a za ochotné zodpovídání našich zvědavých dotazů.

## Reference

- [1] obr. 1 Pánková, I. O. Zobrazovací\_systemy\_-\_RTG.pdf, 2020. Rengenové zobrazovací systémy.  
[https://is.muni.cz/el/med/jaro2021/BRPR0422p/Zobrazovací\\_systemy\\_-\\_RTG.pdf](https://is.muni.cz/el/med/jaro2021/BRPR0422p/Zobrazovací_systemy_-_RTG.pdf)  
(citováno červen 20. 2023).
- [2] obr. 2 20 Kč [online]. Praha: Česká národní banka, ©2023,[cit. 2023-06-20].  
Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/bankovky-a-mince/mince/20-kc/>