

**Stanovení prvků pomocí přenosného rentgenově  
fluorescenčního analyzátoru**

pracovní text pro Podzemní výukové středisko JOSEF

---

Oto Mestek



**VYSOKÁ ŠKOLA  
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ  
V PRAZE**

**2010**

# 1 Obecné základy

## Rentgenové záření, jeho vznik a interakce s hmotou

Rentgenové záření (rtg., X-ray) je krátkovlnný, vysoce energetický svazek elektromagnetického spektra. Rtg. svazek si lze představit jako proud energetických částic – fotonů s energií  $E$ , nebo jako elektromagnetické pole definované vlnovou délkou  $\lambda$  a frekvencí  $\nu$ . Vztah mezi energií a vlnovou délkou rtg. záření je definován jako  $E = hc/\lambda$ , po vložení odpovídajících hodnot dostaneme:

$$E = 12398/\lambda,$$

kde energie  $E$  je v eV a vlnová délka  $\lambda$  v Å.

Za rentgenovou oblast v elektromagnetickém spektru se považuje ta část, která leží mezi vlnovými délkami 0,1 a 100 Å. V oblasti krátkých vlnových délek sousedí s oblastí  $\gamma$  záření a v oblasti dlouhých vlnových délek s oblastí ultrafialového záření. Z energetického hlediska se jedná o oblast řádově v jednotkách až stovkách keV.

Rtg. záření vzniká např. při reakcích elementárních částic, při rozpadu radioaktivních prvků a dalších pochodech. Důležitý typ rtg. záření vzniká v situaci, kdy nabitá částice mění dostatečně prudce rychlost. Jedním z příkladů je tzv. *brzdné záření* vznikající při průchodu urychlené nabitě částice hmotným prostředím, které snižuje její energii. Základní charakteristikou brzdného záření je spojité spektrum nezávislé na typu brzdícího prostředí. Má-li však brzděná částice dostatečnou energii, objevují se ve spektru diskrétní spektrální čáry, jejichž charakter a poloha jsou naopak charakteristické pro složení brzdícího prostředí. Studium vlastností diskrétních rtg. spekter prvků je významným prostředkem pro studium struktury atomů. Dalším příkladem je rtg. záření vznikající při pohybu nabitě částice po uzavřené křivce, například po kružnici v kruhovém urychlovači. V současné době se jako zdroje monochromatického rtg. záření konstruuji speciální elektronové synchrotrony; takto vzniklé záření se nazývá *synchrotronové*. Sekundární rtg. záření vzniká rovněž při ozařování látky vhodným (primárním) rtg. zářením. Tento jev se nazývá *rentgenová fluorescence* a je základem kvalitativní a kvantitativní analytické techniky rentgenové fluorescenční spektroskopie (XRF – X-ray fluorescence).

Fluorescenční rtg. spektrum má čárový charakter a vzniká po tzv. vysokoenergetické ionizaci atomu. Ta může probíhat dvěma základními způsoby.

**Primární ionizace** probíhá proudem nabitých částic, elektronů, protonů nebo částic  $\alpha$ , ať již získaných uměle nebo produkovaných radionuklidy. Jestliže omezíme pojem primární excitace pouze na ionizaci proudem elektronů, dochází při srážce elektronů s hmotou k následujícím dějům:

- pružná srážka – při pružné srážce narazí elektron na jádro atomu, prudce změní svůj směr, ale prakticky nezmění svou energii. Množství pružných srážek stoupá se vzrůstem atomového čísla  $Z$ , protože účinný průřez pro pružný rozptyl je funkcí  $Z^2$ .
- nepružná srážka – při nepružné srážce ztrácí elektron část nebo všechnu svou energii a to prostřednictvím následující pochodů:
  1. Dojde k vyražení elektronu z vnitřní energetické hladiny atomu a primární elektron zmenší svou kinetickou energii o součet ionizační energie hladiny, na které vzniká vakance, a kinetické energie vyraženého elektronu. Při relaxačním procesu následně dochází k emisi charakteristického rtg. záření nebo Augerových elektronů.
  2. Elektron ztratí buď část, nebo všechnu svou energii v důsledku brzdění v elektrickém poli atomů. Tímto mechanismem vzniká spojitě záření (brzdné záření).
  3. Může dojít k excitaci valenčních elektronů a následné deexcitaci spojené s emisí záření z ultrafialové a viditelné oblasti spektra. Tento jev se nazývá katodoluminiscence.

Spektrum rtg. záření vybuzeného tímto způsobem bude tedy obsahovat jak čárovou, tak i kontinuální složku.

Druhý typ vysokoenergetické ionizace atomu, tzv. **sekundární ionizace**, nastává vlivem vysokoenergetických fotonů (rtg. fotonů), které opět mohou být získány z umělého (rentgenová trubice) nebo přirozeného (radionuklidy) zdroje. Při průchodu rentgenového záření hmotou dochází k zeslabení záření. Děje, ke kterým přitom dochází, je možné rozdělit podle mechanismu vzniku na:

- *absorpci fotonu* elektronem umístěného ve vnitřní slupce, při kterém nastává uvolnění tohoto elektronu (fotoefekt) a vznik elektronové vakance, která vyvolá výše uvedené relaxační děje zahrnující emisi záření nebo Augerova elektronu.
- *koherentní (Rayleighův rozptyl)*

- *nekoherentní (Comptonův rozptyl)*

Vniklé rentgenové fluorescenční záření obsahuje v tomto případě pouze čárovou složku.

Řadu jevů spojených s vysokoenergetickou ionizací atomů interakcí rtg. záření s atomy lze využít pro analytické účely:

rentgenfluorescenční spektroskopie - k ionizaci se využívá rtg. záření a detekuje se vzniklé charakteristické fluorescenční rtg. záření,

fotoelektronová spektroskopie - ionizuje se rtg. nebo UV zářením, a detekuje se kinetická energie elektronů vzniklých ionizací (metoda ESCA),

rentgenová mikroanalýza - ionizuje se úzkým svazkem urychlených elektronů a detekuje se vzniklé charakteristické rtg. záření,

Augerova spektrometrie - ionizuje se svazkem urychlených elektronů a detekuje se energie Augerových elektronů,

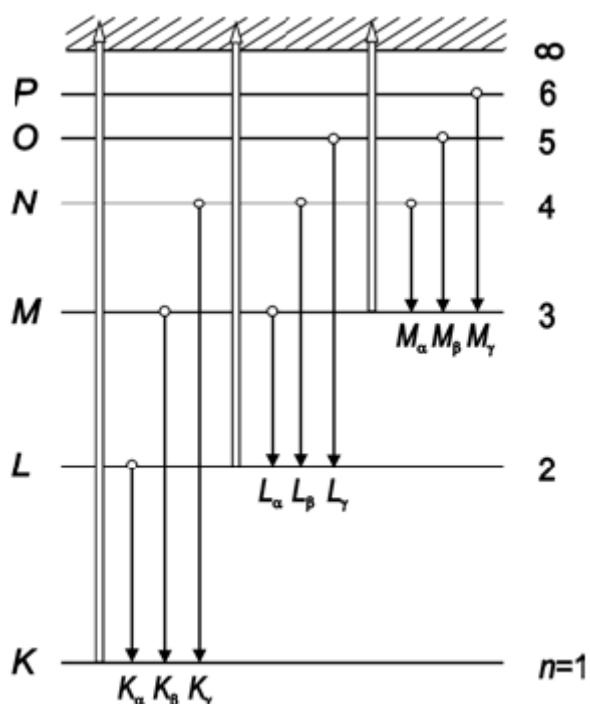
PIXE - ionizuje se proudem urychlených protonů a detekuje se charakteristické rtg. záření,

rentgenová absorpční spektrometrie - měří se spektrum absorbovaného rtg. záření.

rentgenová difrakční analýza – měří se úhly difrakce rtg. záření.

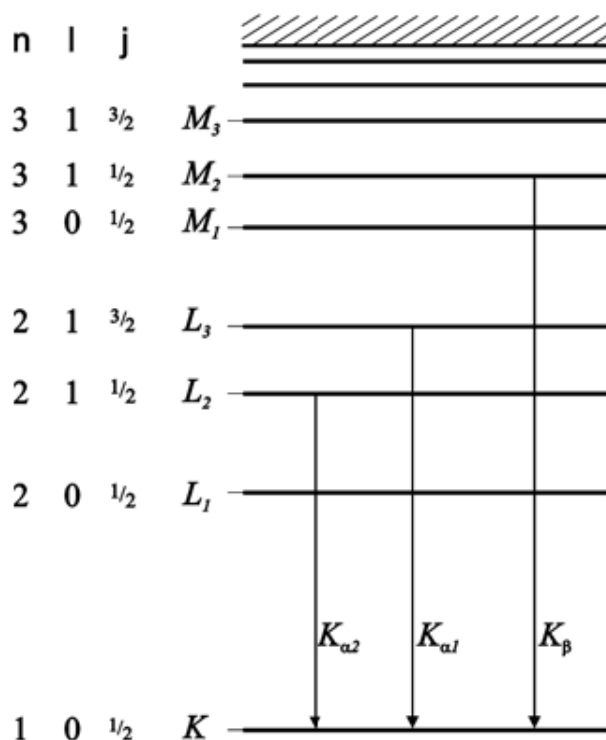
### **Fluorescenční rentgenová spektroskopie**

Rentgenová spektra jsou ve srovnání s optickými spektry jednodušší. Na rozdíl od optických spekter se na vzniku rentgenových spekter podílejí elektrony vnitřních slupek. Při nepružné srážce atomu s dostatečně rychlým elektronem nebo vysokoenergetickým fotonem může dojít k vytržení elektronu například ze slupky  $K$ . Volné místo pak může být zaplněno elektronem z některé ze slupek  $L, M, N, \dots$ , čímž vzniká celá skupina spektrálních čar  $K$  a následně další série  $L, M, \dots$ , jak ukazuje schématický obrázek obr. 1. Skupiny čar příslušející přechodům, které končí na příslušné hladině ( $K, L, M, N, \dots$ ), se nazývají série.



Obr. 1 Schematické zobrazení vzniku rtg. čárového spektra. Dvojitě šipky naznačují vznik vakance, jednoduché šipky naznačují zaplnění vakací.

Pořadí čáry v sérii se označuje řeckým písmenem, které odpovídá změně hlavního kvantového čísla ( $\alpha$ :  $\Delta n=1$ ,  $\beta$ :  $\Delta n=2$ ,  $\gamma$ :  $\Delta n=3$ ). Podobně jako v případě optických spekter atomů, i jednotlivé čáry rentgenových spekter mohou mít jemnou strukturu, kterou lze interpretovat pomocí výběrových pravidel pro přechody mezi jednoelektronovými stavy (nazývanými *rentgenovské termy*), které jsou charakterizovány kvantovými čísly  $n$  (hlavní),  $l$  (magnetické),  $j$  (vnitřní kvantující spin-orbitální interakci). Jemnou strukturu série K ukazuje obr. 2. Jemná struktura spektra se ve značení čar projeví dalším číselným symbolem, který vyjadřuje pořadí čáry. V rentgenových spektrech se vyskytují pouze spektrální čáry odpovídající přechodům, které vyhovují výběrovým pravidlům: vedlejší kvantové číslo  $l$  se snižuje o jednotku a změna vnitřního kvantového čísla  $j$  je nulová nebo jednotková. Nejintenzivnější čáry vznikají přechodem na slupku K (série K) a na slupku L (série L). Tyto čáry jsou v analytické chemii nejvíce využívány.



Obr. 2 Vznik jemné struktury rtg. čárového spektra.

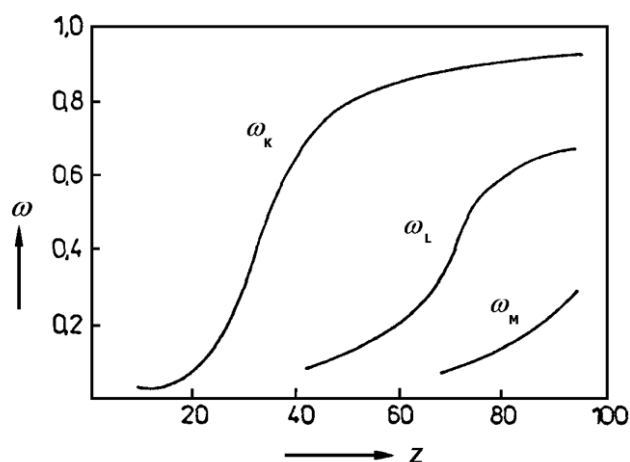
Vzhledem k tomu, že uspořádání vnitřních elektronových slupek je u různých prvků podobné, jsou si navzájem podobná i rtg. spektra. Liší se pouze polohou jednotlivých sérií a vzdáleností jednotlivých čar v sériích. Celé konvenční značení čáry zahrnuje tedy i symbol prvku: například Cu K<sub>α1</sub>. Rozdíly ve spektrech různých prvků jsou dány především velikostí síly, kterou jsou vázány elektrony k různě nabitým jádrům. Polohu čar ve spektrech v závislosti na atomovém čísle prvku (Z) vyjadřuje Moseleyův zákon, pro frekvenci platí:

$$\nu = k(Z-1)^2$$

faktor  $k$  je konstantní pro danou čáru. Poloha čar ve spektru je tedy základem kvalitativní analýzy. Množství emitovaných fotonů (intenzita čar) je přímo úměrné množství jader daného druhu a je tedy mírou koncentrace sledovaného prvku. Hlavní předností rentgenové fluorescenční spektrometrie je nedestruktivní analýza vzorků ve všech skupenstvích. Rozsah analyzovaných koncentrací je od desetitisícin procenta do sta procent, tím je metoda vhodná k současné analýze stopových obsahů i hlavních matričních prvků. Použití metody je univerzální, od metalurgie a strojírenství, přes medicínu až po kontrolu životního prostředí. Pro využití rentgenové spektrální analýzy je důležité to, jak velký počet vakancí se zaplní

zářivým přechodem. To nám udává veličina nazývaná rentgenový fluorescenční výtěžek  $\omega_q$ , který udává pro sérii q počet zářivých přechodů  $n_Z$  z celkového počtu vakancí  $n_q$  na hladině q.

$$\omega_q = n_Z / n_q$$



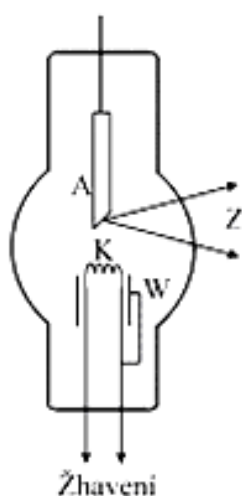
Obr. 3 Hodnoty rentgenového fluorescenčního výtěžku pro některé série.

Jak je patrné z obr. 3, který popisuje závislost  $\omega_q$  na atomovém čísle  $Z$ , je fluorescenční výtěžek pro lehké prvky velmi malý, což je příčinou nízké citlivosti jejich stanovení metodami rentgenové fluorescenční analýzy. Většina vakancí je rušena nezářivými přechody (emise Augerova elektronu). Proto také jednodušší rentgenové spektrometry slouží k analýze prvků s atomovým číslem 20 a více (Ca). Analýza lehčích prvků (od atomového čísla 12 Mg) vyžaduje přístroje vybavené vysoce citlivým detektorem. Analýza ještě lehčích prvků je možná pouze na lépe vybavených laboratorních přístrojích.

## 2 Hlavní konstrukční prvky rentgenově fluorescenčních spektrometrů

Pro registraci rentgenových fluorescenčních spekter se používají dva typy přístrojů. Vlnově disperzní přístroje obsahují zdroj budícího záření, monochromátor rozkládající fluorescenční záření a detektor. Oproti tomu přístroje energiově disperzní neobsahují monochromátor, jsou však vybaveny detektorem, který je schopen nejenom registrovat dopadající rtg. fotony, ale zároveň určovat jejich energii.

Zdrojem budícího rtg. záření je rentgenová trubice tzv. rentgenka. V klasickém provedení je rentgenka tvořena evakuovanou baňkou, v níž jsou umístěny dvě elektrody – katoda **K** a anoda **A** (viz obr. 4). Elektrony emitované z katody žhavené elektrickým proudem jsou urychlovány anodovým napětím  $U_a$  o velikosti řádově desítek až stovek kV. Katoda je obklopena dutým (Wehneltovým) válcem **W**, vodivě spojeným s katodou, který tvoří fokusační elektrodu soustřeďující elektronový svazek do malé oblasti na povrchu anody. V místě dopadu elektronů na anodu vzniká rtg. záření; v daném uspořádání může rentgenka tvořit téměř bodový zdroj spojitého brzdného záření a – při vhodných hodnotách urychlovacího napětí elektronů – také zdroj charakteristického záření s diskrétním spektrem, odpovídajícím materiálu anody, viz obr. 5.

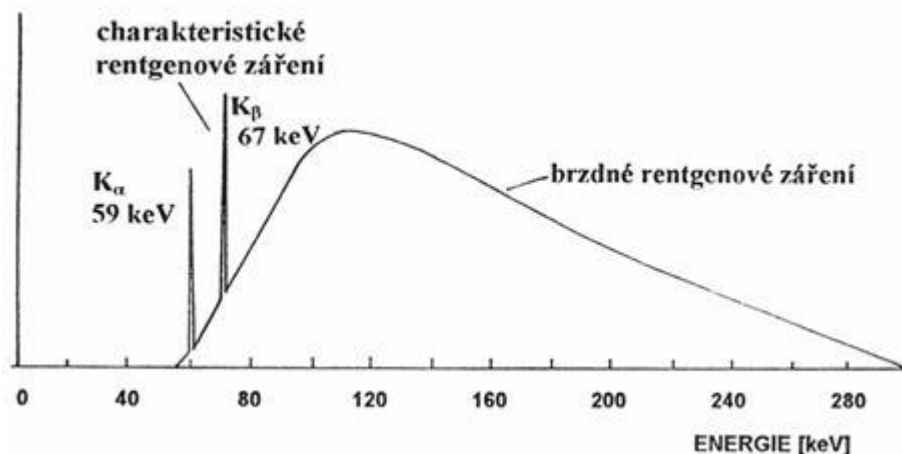


Obr. 4 Schema rentgenky

Brzdné záření vzniká při průchodu urychleného elektronu materiálem anody. Elektron interaguje s lokálními poli v látkovém prostředí a díky této interakci postupně ztrácí kinetickou energii za současné emise fotonů. Jelikož konečným stavem brzdícího procesu jsou volné elektrony se spojitým energetickým spektrem, je i spektrum brzdného záření spojité. Nejvyšší energie fotonů, které mohou při brzdném procesu vzniknout, odpovídá situaci, kdy jediný foton odnáší celou kinetickou energii elektronu  $E_k = eU_a$ , kde  $U_a$  je urychlovací napětí. Z podmínky zachování energie pak pro mezní frekvenci fotonu, respektive pro jeho vlnovou délku platí vztah:

$$\nu_m = \frac{e \cdot U_a}{h} \quad \lambda = \frac{h \cdot c}{e \cdot U_a}$$





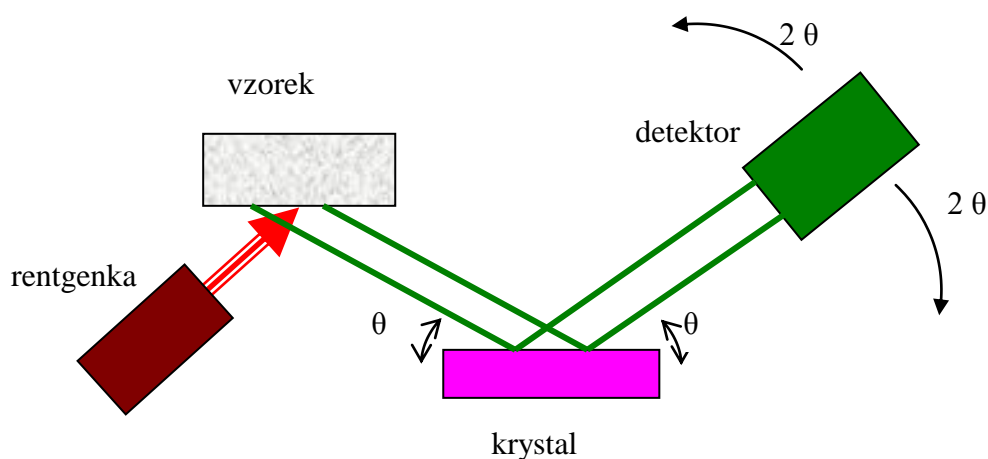
Obr. 5 Spektrum rentgenového spojitého a charakteristického záření, napětí na rentgence 300 kV, wolframový terčík, filtrace 2 mm Al a 3,5 mm Cu).

Po technické stránce prošla rentgenka během posledních desetiletích procesem miniaturizace, což umožnilo z původních sálových rtg. fluorescenčních spektrometrů přejít postupně na stolní a dokonce na přenosné ruční přístroje.

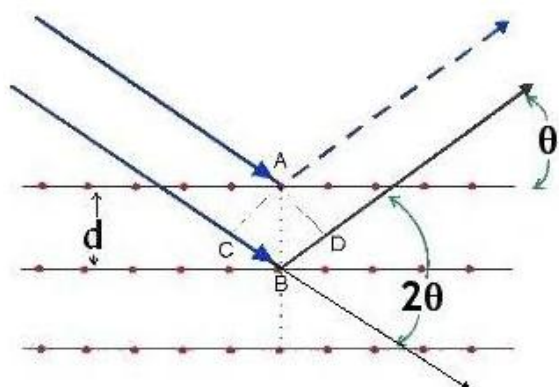
Rozklad fluorescenčního záření ve vlnově disperzních přístrojích (základní schema viz obr. 6) se děje difrakcí na krystalové mřížce. Braggův popis difrakce vychází z představy, že difraktovaný paprsek vzniká odrazem od určité soustavy rovnoběžných rovin, v nichž jsou atomy v krystalu lokalizovány. Dopadající i difraktovaný paprsek svírají s uvažovanou soustavou rovin stejný úhel  $\theta$ , odpovídající zákonu odrazu – jak ukazuje obr. 7. Z obrázku je patrné, že záření difraktované různými atomy dané roviny se superponuje se stejnou fází, podobně jako je tomu při obyčejném odrazu na rovinném rozhraní. Naproti tomu záření difraktované atomy ze sousední roviny ve vzdálenosti  $d$  má dráhový rozdíl  $2d \sin\theta$ . Záření difraktované různými rovinami se tedy superponuje se stejnými fázemi, je-li splněna podmínka

$$2d \sin \theta = n \cdot \lambda$$

nazývaná *Braggova rovnice*, níž  $n$  je celé číslo reprezentující *řád difrakce*. Naopak není-li podmínka splněna, klesá výsledná intenzita záření difraktovaného velkým počtem rovin rychle k nule.

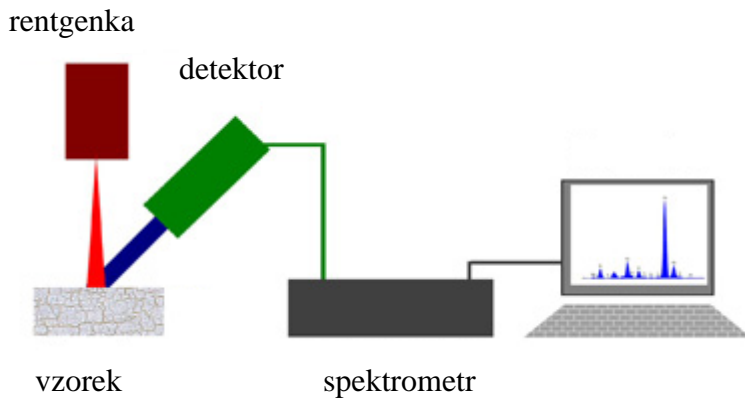


Obr. 6 Schema vlnově disperzního rtg. spektrometru



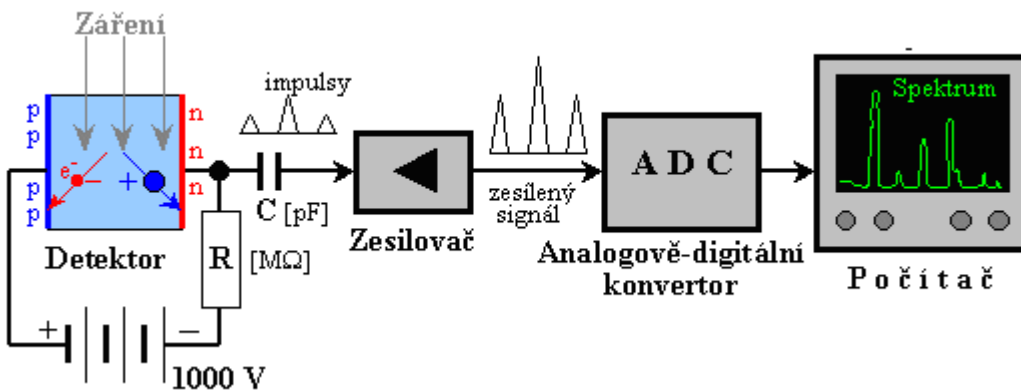
Obr. 7 Difrakce rtg. záření na krystalové mřížce

Energiově disperzní spektrometry ke své činnosti nepotřebují monochromátor, a proto v jejich konstrukci nejsou žádné pohyblivé prvky, viz obr. 8. Vyžadují však použití proporcionálního detektoru rozlišujícího nejen počet fotonů, ale i jejich energii. V současnosti se využívají zejména polovodičové detektory (viz schema 9). Jsou obvykle vyrobeny z velmi čistého germania nebo z křemíku dotovaného lithiem – tzv. Si(Li) detektory. Vnikne-li do aktivní vrstvy detektoru kvantum ionizujícího záření, ionizační energie způsobí v polovodiči přeskok úměrného množství elektronů do vodivého pásma a vznik elektron-děrových párů. Tyto elektrony se v elektrickém poli okamžitě začnou pohybovat ke kladné elektrodě (a díry k záporné) - elektrickým obvodem projde krátký proudový pulz, na pracovním odporu R vznikne napěťový úbytek a přes kondenzátor C se elektrický pulz vede k předzesilovači.



Obr. 8 Schematické zobrazení uspořádání energiově disperzního rtg.

Amplituda (resp. časový integrál) pulzu na výstupu zesilovače je přímo úměrná celkovému sebranému náboji, a tedy energii detekovaného záření. Amplitudovou analýzou výstupních pulzů lze tedy provádět spektrometrickou analýzu energie detekovaného záření. Pro přesnou a citlivou detekci nízkoenergetických fotonů (analýza lehkých prvků) je nutné detektor chladit, aby se omezil jeho šum.



Obr. 9 Schematické zobrazení funkce polovodičového detektoru.

### 3 popis a ovládání přístroje X-Met 5110

#### Charakteristika

Analyzátor X-Met 5100 (obr. 10) firmy Oxford Instruments je ruční bateriově napájený energiově disperzní rtg. fluorescenční spektrometr. Jako zdroj budícího záření používá Rh rentgenku pracující při napětí 45 kV s výkonem cca 2 W. K detekci fluorescenčního záření se používá polovodičový SDD detektor (Silicon Drift Detector) chlazený Peltierovým článkem. Rozlišení detektoru je lepší než 150 eV. Detektor umožňuje detekci lehkých prvků Mg, Al a Si bez nutnosti práce ve vakuu nebo v He atmosféře. Nejčastější použití přístroje je pro analýzu kovových slitin, pro analýzu kontaminovaných zemin, při těžbě nerostných surovin a v elektronickém průmyslu.

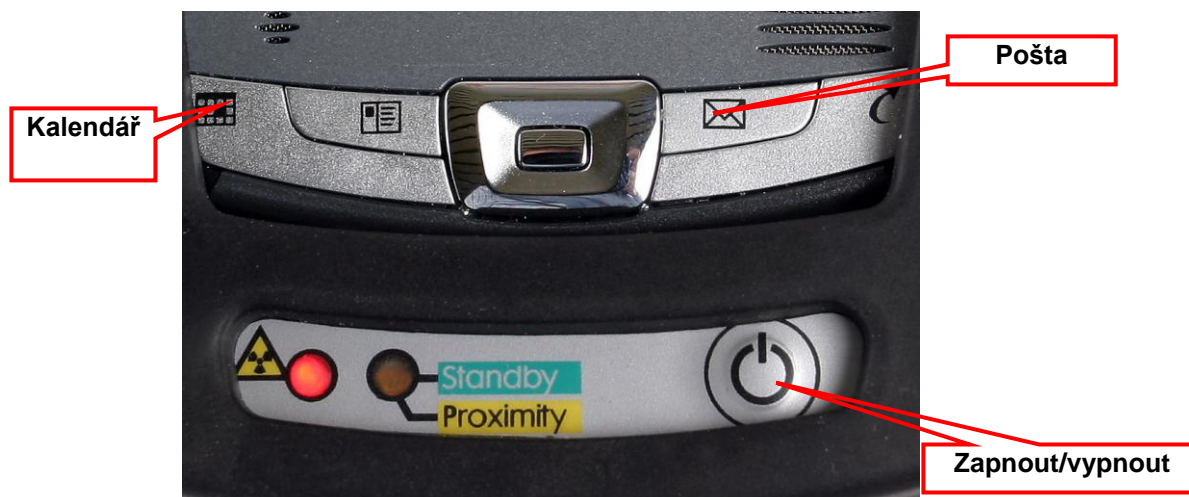


Obr. 10 Spektrometr X-Met 5100

#### Ovládání

##### *Zapnutí přístroje a spuštění ovládacího programu*

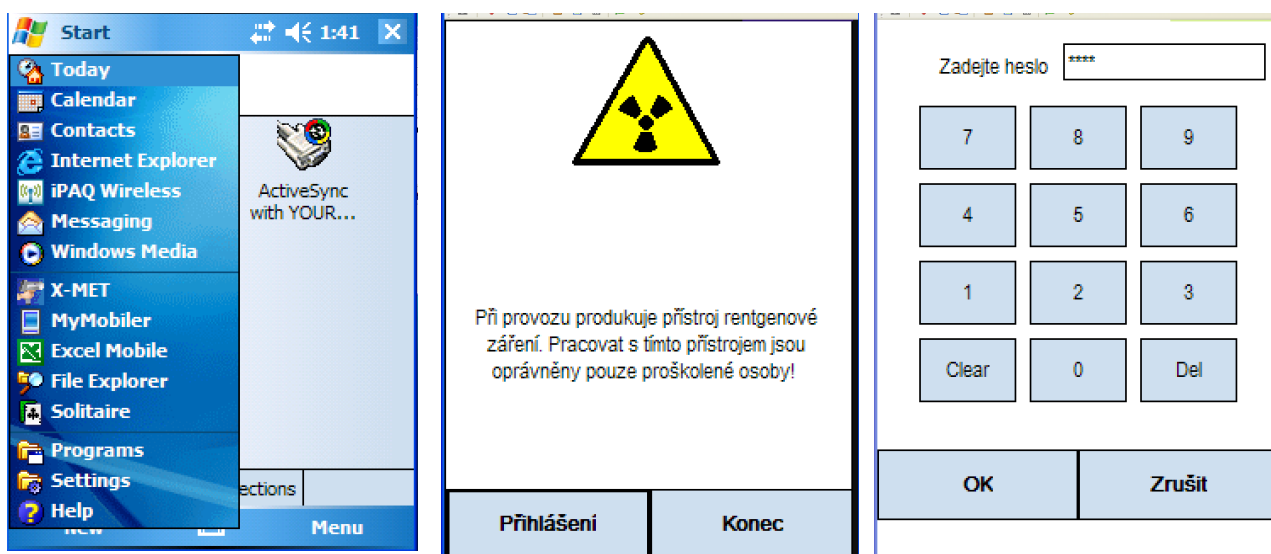
Přístroj se zapne stiskem vypínače, viz obrázek. Vypínač musí být stisknutý do té doby, dokud se nerozsvítí kontrolka „Standby“. Poté se poklepáním na symbol kalendáře na počítači PDA spustí ovládací software X-MET. Pokud nedojde k automatickému spuštění programu, na obrazovce PDA se zvolí příkaz Start a z nabídky se vybere příkaz X-MET.



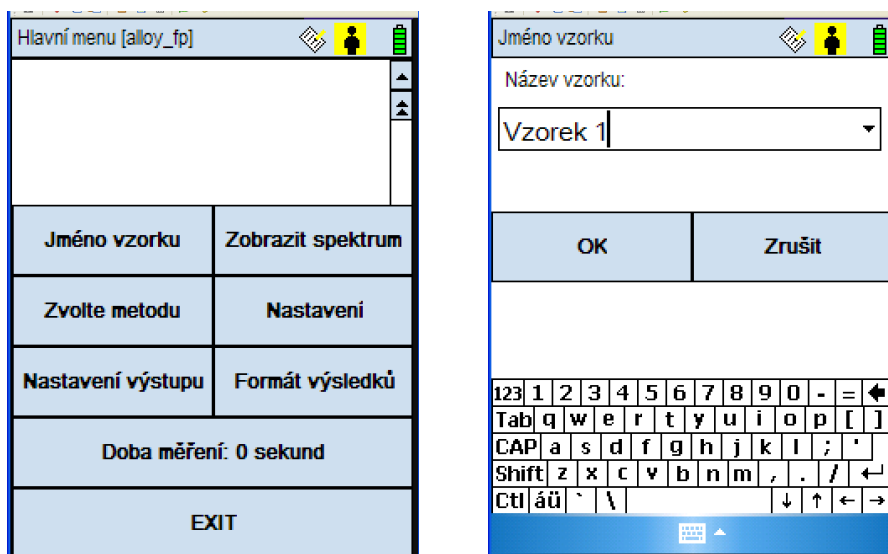
Program X-MET lze také ovládat z externího počítače pomocí spojení Bluetooth. Postupuje se tak, že po zapnutí analyzátoru se na počítači PDA stiskne tlačítko se symbolem pošty, poté se vpravo dole na obrazovce PDA klikne na ikonu bezdrátového spojení, zapne se spojení Bluetooth, stiskne se tlačítko Manager a na nové obrazovce se vybere počítač, se kterým má být navázáno spojení. Po navázání spojení se v externím počítači stornuje vytvoření profilu a synchronizace (pokud je vyžadováno) a spustí se program My Mobiler, který v samostatném okně zobrazuje přenesenou obrazovku počítače PDA. V tomto okně se zvolí příkaz Start a z nabídky se vybere příkaz X-MET.

#### *Práce se softwarem X-MET*

Po startu programu X-MET je potřeba se přihlásit. Stiskne se tlačítko Přihlášení. Heslo pro přihlášení je „0000“.



Po přihlášení se objeví obrazovka měření a analyzátor je připraven k použití. Poklepnutím na této obrazovce se aktivuje hlavní menu:



Jméno vzorku: zadá se jméno vzorku. Jméno může být max. 20 znaků dlouhé. Pokud jméno končí znaky „\_1“ (mezera, jednička), pak při každém dalším měření je použito totéž jméno se zvyšujícím se číselným indexem (např., Test 1, Test 2, Test 3 . . . ).

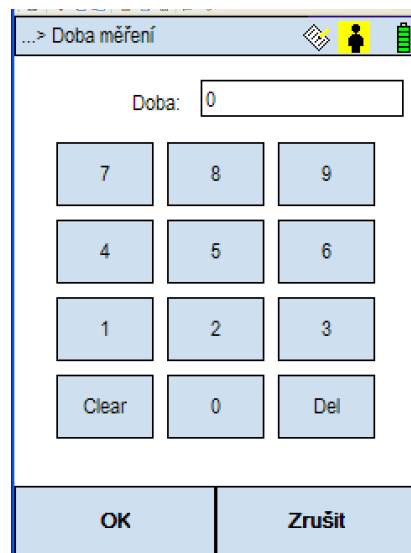
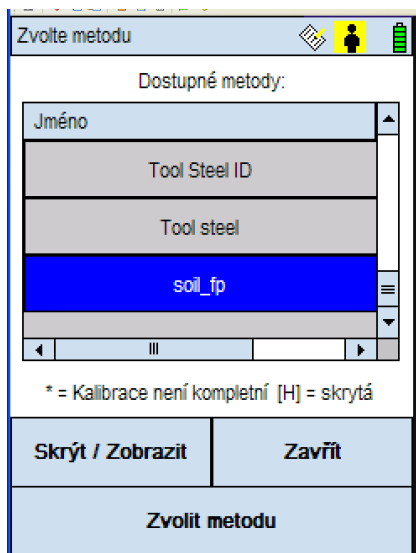
Výběr metody: pro vybrání požadované měřicí metody se v hlavním menu zvolí příkaz Výběr metody, poté se zobrazí tabulka se seznamem dostupných metod. Vlastní výběr se provede kliknutím na požadovanou metodu a na tlačítko Zvolit metodu. K dispozici jsou tři druhy metod odlišující se druhem kalibrace:

Screeningové metody („mode“) detekují automaticky typ vzorku a vyberou nejvhodnější metodu s empirickou kalibrací nebo kalibrací fundamentálními parametry (FP).

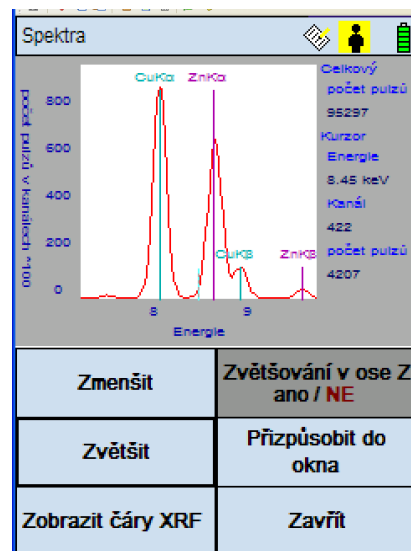
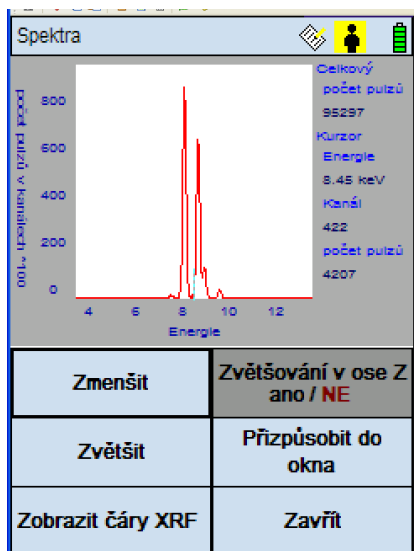
Empirické metody jsou specifické pro daný typ vzorků, kalibrace byla provedena analýzou vhodných standardů.

FP metody jsou bezkalibrační metody vhodné pro široký rozsah materiálů.

Doba měření: typická doba měření pro slitiny je 2-20 s, analýza plastů a půd vyžaduje měření alespoň 60 s dlouhé. Pokud se zadá doba měření 0 s, měření potrvá od stisknutí spouště až do jejího uvolnění, v opačném případě se měření zastaví po uplynutí stanovené doby.



Zobrazit spektrum: uživatel si může prohlédnout spektrum posledního měřeného vzorku. Zobrazené spektrum lze upravovat (Zmenšit, Zvětšit, Přizpůsobit do okna) a lze do něho umístit identifikační čáry prvků (Zobrazit čáry XRF).



## Hlavní zásady bezpečnosti práce

**Přístroj při provozu produkuje rentgenové záření!** Analyzátořem v provozu nemiřte na žádné osoby, a pokud svítí červené LED kontrolky, tak nepřikládejte analyzátoř k žádným částem svého těla, zejména ne očím, ve snaze nastavit polohu analyzátořu vůči vzorku při měření.

Přístroj je vybaven infračerveným senzorem blízkosti vzorku umístěným vedle aktivní části analyzátořu (rentgenky a detektoru fluorescenčního záření) na tzv. nose analyzátořu. Pokud není senzor zakryt, nelze aktivovat měření. Zakrytí senzoru je indikováno žlutou barvou kontrolky na spodní části ovládacího panelu.



Aktivace měření a produkce rentgenova záření je indikováno červenými kontrolkami na obou stranách analyzátořu a na spodní části ovládacího panelu.





## Měření vzorků

Měření se provádí tak, že se přitiskne nos analyzátoru na vzorek nebo opačně a stiskne se měřicí spoušť. Pro minimalizaci rozptýleného záření by měl být analyzátor přiložen ke vzorku pod pravým úhlem. Měření je ukončeno po uvolnění spouště nebo po uplynutí nastavené doby měření. Pokud je vyžadována dlouhá doba měření, je možné zvolit jednodotkové ovládání: prvním stiskem a uvolněním spouští se měření aktivuje, dalším stiskem a uvolněním spouští se měření ukončí. Sekvence příkazů je: **Nastavení** → **Konfigurace** → **Timed Assay mod ANO**.

Bezpečnostní infračervený senzor musí být vzorkem překryt. Pokud je vzorek příliš malý, použije se k překrytí senzoru bezpečnostní kryt pro malé vzorky.

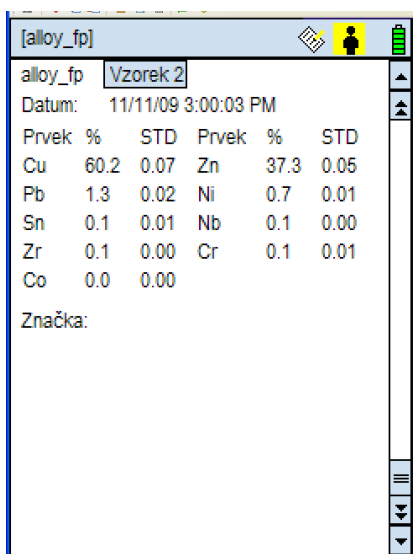


Při práci v laboratoři je možné analyzátor umístit do stojanu. Pozor: stojan překrývá obrazovku počítače PDA, je proto nutné analyzátor řídit z externího počítače připojeného pomocí Bluetooth.

Práškové vzorky se analyzují vždy v PE sáčku a pro jejich analýzu je možné použít speciální pouzdro na sypké vzorky



Výsledky analýz spolu s použitou metodou měření, jménem vzorku a datem a hodinou měření se zobrazí na obrazovce měření:



[alloy_fp]					
alloy_fp Vzorek 2					
Datum: 11/11/09 3:00:03 PM					
Prvek	%	STD	Prvek	%	STD
Cu	60.2	0.07	Zn	37.3	0.05
Pb	1.3	0.02	Ni	0.7	0.01
Sn	0.1	0.01	Nb	0.1	0.00
Zr	0.1	0.00	Cr	0.1	0.01
Co	0.0	0.00			
Značka:					

## 4 Úlohy

### Základní funkce přístroje

- a) seznámte se s funkcí a s ovládáním ručního rtg. analyzátoru X-Met 5100,
- b) ověřte jeho správnou kalibraci analýzou dostupných certifikovaných referenčních materiálů různých slitin a hornin, aplikujte různé typy měřících metod a výsledky porovnejte.

### Analýza vrtného jádra z průzkumného geologického vrtu ve štole Josef

- a) sledujte rozložení prvků podél vrtného jádra v cca 50 cm intervalech (podélný profil). Data zpracujte graficky a vyhledejte případné trendy a korelace mezi různými prvky.
- b) test homogenity I: pomocí analýzy rozptylu porovnejte variabilitu dat naměřených na různých místech řezu z vrtného jádra (příčný profil) s variabilitou měření (opakovaná měření na jednom místě řezu)
- c) test homogenity II: pomocí analýzy rozptylu porovnejte podélnou variabilitu podélného a příčného příčný profil vrtného jádra.

### Jiné analýzy

- c) ověřte složení svých osobních šperků,
- d) ověřte, zda elektrospotřebiče v laboratoři (chladnička apod.) vyhovují obsahem Pb, Hg, Cr a Cd směrnici RoHS. Případnou nepřítomnost těchto prvků ověřte v naměřeném spektru. Vložte do spektra čáry těchto prvků a překontrolujte, zda se kryjí s píky spektra vzorku.

Při práci postupujte podle pokynů vyučujícího asistenta. Tam kde je to možné, výsledky získané pomocí analyzátoru X-Met 5100 porovnejte s výsledky získanými pomocí stolního rtg. fluorescenčního spektrometru Spectroscan U.

