FIRE PROTECTION & SAFETY Scientific Journal
13(2): 70–74, 2019
DOI: 10.17423/delta.2019.13.2.71

Non-destructive Examination using X-ray Radiation for Fire Investigation Expertise

Nedestruktivní zkoumání (RTG) pro účely zjišťování příčin vzniku požárů

Miroslava Nejtková[1,*]

[1] Miroslava Nejtková, Ministry of the Interior – Directorate General Fire Rescue Service Czech republic, Population Protection Institute, Czech republic, e-mail: miroslava.nejtkova@ioolb.izscr.cz

[*] Corresponding author: miroslava.nejtkova@ioolb.izscr.cz

Short Report

Received: October 18, 2019; Accepted: December 02, 2019; Published: December 31, 2019

Abstract

This paper is focusing the description of the X-ray radiation for fire investigation purposes. The advantage of the X-ray radiation technology involvement arises from the fact that the objects can be studied from various aspects through the selection of the power output and suitable information recording mechanisms, including subsequent processing and interpretation. The most important properties of X-ray radiation include the ability to penetrate any matter, in which radiation is attenuated to a greater or lesser extent. During 2017-2018 a study was conducted at the Population Protection Institute to verify the applicability of X-ray methods for examination of evidence of electrical appliances damaged by fire. The use of a stationary X-ray station in which the evidence is placed was assessed as the best option after also considering a portable X-ray instrument that would be used at the fire site.

Keywords: Fire Danger; Fire Statistics; Exhaust Gas Temperature; Agricultural Crops

1 Introduction

More than one hundred years have passed since the discovery of ionizing radiation. In the ensuing years the effects of radiation on irradiated objects were first studied, and subsequently, as technology developed, ionizing radiation began to be applied to a variety of fields. Using X-ray radiography, examined objects can be studied from various aspects through the selection of the power output and suitable information recording mechanisms, including subsequent processing and interpretation. This variability puts ionizing radiation in a unique position among all other physical examination principles for examining the inner volume as well as the surface of analyzed objects.

1 Úvod

Od objevu ionizujícího záření uplynulo již více jak sto let, během kterých se nejprve zkoumaly účinky záření na ozařované objekty, a následně s rozvojem techniky se mohlo ionizující záření uplatnit v různých oblastech lidské činnosti. Vlastní RTG prozařování dovoluje zkoumat různé aspekty zkoumaných objektů nejen volbou generovaného výkonu, ale i vhodným způsobem záznamu informace včetně jejího následné zpracování a interpretace. Tato variabilita dává použití ionizujícího záření unikátní postavení mezi všemi ostatními fyzikálními principy zkoumání nejen objemu, ale i povrchů zkoumaných objektů.

FIRE PROTECTION & SAFETY Scientific Journal
13(2): 70–74, 2019
DOI: 10.17423/delta.2019.13.2.71

X-ray radiation is generated through a reversed photoelectric effect, where the kinetic energy of a moving electron is converted into photon energy. This occurs inside a special electronic device, the x-ray tube. The process that transforms electrical energy into photon energy is relatively inefficient, as only 1–2% of the electrical energy is converted into radiation energy. The remaining 98–99% is dissipated as thermal energy.

The cathode is heated to a temperature of about 2,000 °C as the electric current passes through it. This causes free electrons to be emitted from the cathode. The quantity of emitted electrons depends on the amount of the filament voltage. High voltage ranging from tens to thousands of kilovolts is applied to an anode, which creates a huge potential difference between the anode and cathode. The electrons emitted by the cathode are thus accelerated and obtain significant kinetic energy. These accelerated electrons hit the anode at high speeds and 3 types of radiation are generated through sharp braking. The anode voltage can be used to control the penetration of the resultant radiation. [1]

The most important properties of X-ray radiation include the ability to penetrate any matter, in which radiation is attenuated to a greater or lesser extent. The attenuation of radiation depends primarily on three factors.

The first is the quality of the radiation. In general, the shorter the radiation wavelength, the greater its energy and penetration, which means less attenuation.

The second factor includes the atomic characteristics and the thickness of the irradiated material.

The third factor is the fact that the some of the rays are scattered as they pass through the material and are deflected from their original direction.

During absorption, all the energy from the X-ray quantum is transferred to the atoms or molecules of the irradiated material as excitation or ionization energy. The intensity of the transmitted radiation decreases exponentially depending on the material thickness x. As mentioned above, absorption takes place mainly due to ionization or excitation. The greater the wavelength, the greater the absorption co-efficient. Attenuation of X-rays as they pass through a material has a

Samotný vznik rentgenového záření je důsledkem obráceného fotoelektrického jevu, kdy se kinetická energie pohybujícího se elektronu přeměňuje na energii fotonu. Tento děj probíhá ve speciální elektronce tzv. rentgence. Samotný proces přeměny elektrické energie na energii fotonů je poměrně nehospodárný, jelikož pouze 1-2 % elektrické energie se přemění v energii záření.

Katoda je průchodem elektrického proudu žhavena na teplotu přibližně 2 000 °C. Tím dochází k emisi volných elektronů z katody. Množství emitovaných elektronů závisí na hodnotě žhavícího napětí. Vysoké napětí, které se může pohybovat v řádech desítek až stovek kilovoltů, přivedené na anodu vyvolá velký potenciálový rozdíl mezi anodou a katodou. Katodou emitované elektrony jsou tak urychlovány a získávají značnou kinetickou energii. Takto urychlené elektrony dopadají velkou rychlostí na anodu, kde prudkým zbrzděním vznikají 3 druhy záření. Anodovým napětím lze regulovat pronikavost výsledného záření. [1]

Mezi nejdůležitější vlastnost RTG záření patří schopnost pronikat jakoukoli hmotou, ve které je záření více či méně zeslabováno. Míra zeslabení záření závisí zejména na třech faktorech.

Prvním z nich je kvalita záření. Obecně platí, že čím je kratší vlnová délka záření, tím má větší energii, tím je pronikavější, a je tedy nejméně zeslabováno.

Druhým faktorem jsou atomární vlastnosti a tloušťka prozařovaného materiálu.

Třetím pak fakt, že průchodem hmotou je část paprsků rozptylována a dochází tak k jejich odchylování od původního směru. Při rozptylu se uplatňuje jak klasický rozptyl, tak Comptonův jev. Při Comptonově rozptylu dochází k energetickým změnám. Letící foton paprsku X dopadá na nehybný elektron ve sféře atomu, přičemž dojde k vychýlení fotonu od jeho původního směru. Foton při interakci předá část své energie elektronu, který se následně začne pohybovat. Tím se sníží energie rozptýleného záření, a tedy dojde ke zvětšení vlnové délky záření.

Při absorpci je všechna energie rentgenového kvanta předána atomům či molekulám prozařovaného materiálu jako excitační nebo ionizační energie. Intenzita prošlého záření klesá exponenciálně s tloušťkou

FIRE PROTECTION & SAFETY Scientific Journal
13(2): 70–74, 2019
DOI: 10.17423/delta.2019.13.2.71

broad spectrum of applications. The most well-known areas of application include medicine, security X-rays and material composition analysis.

Laboratory tests help to take an accurate assessment of the condition of the appliances or wiring and of other circumstances that may have contributed to the fire. Laboratory tests can focus on examination of the wiring using optical microscopy, electron microscopy, energy dispersive X-ray spectroscopy, X-ray diffractometry, infrared spectroscopy and Raman spectroscopy.

Correct evidence handling during the entire duration of laboratory tests is important. Care must be taken to avoid further damage to the evidence. The evidence must be examined using available methods and it is necessary to proceed from non-destructive to destructive methods. However, destructive methods are most used in laboratories to separate the burned parts of the evidence so that only the connecting elements of the appliances remain.

Non-destructive investigation plays an important role. Non-destructive methods of laboratory examination include X-ray analysis, which can help identify important areas for further examination without damaging the evidence.

Two basic methods of irradiation are distinguished today, namely radiography and radioscopy. Radioscopy operates in real time. The examined object is placed between the X-ray lamp and the image sensor (which converts X-rays into the visible range, vacuum image amplifiers, flat panels). The object is manipula- by the handling device and thus the object may be evaluated immediately in real time. The image is magnified. If the object is located halfway between the X-ray source and the image converter, the magnification ratio is 1: 2. The magnification increases as the object is moved closer to the X-ray lamp. Specialized X-ray devices have a magnification factor in the order of thousands.

During 2017-2018 a study was conducted at the Population Protection Institute to verify the applicability of X-ray methods for examination of evidence of electrical appliances damaged by fire. The use of a stationary X-ray station in which the evidence is placed was assessed as the best option after also considering a portable X-ray instrument that would be used at the fire site.

vrstvy x. Absorpce nastává zejména díky ionizaci nebo excitaci. Se vzrůstající vlnovou délkou roste i součinitel absorpce. Zeslabování rentgenových paprsků při průchodu hmotou má velmi širokou škálu využití. K nejznámějším aplikacím patří medicína, bezpečnostní rentgeny, analýza složení materiálu.

Laboratorní testy pomohou provést přesné posouzení stavu spotřebičů nebo elektroinstalace, zda mohly způsobit požáru. Laboratorní zkoumání je možné provádět zkoumáním vodičů elektroinstalace pomocí různých metod: optické mikroskopie, elektronové mikroskopie, energeticky disperzní rentgenová spektrometrie, difrakční rentgenová analýza, infračervené spektroskopie a Ramanovy spektroskopie.

Po celou dobu laboratorního zkoumání je důležité, jakým způsobem je se vzorkem manipulováno. Musí se dbát na to, aby nedošlo k dalšímu poškození vzorku. Je třeba zkoumat vzorek dostupnými metodami a při jejich kombinaci postupovat od nedestruktivních k destruktivním metodám. Nejčastěji se však v laboratořích používají destruktivní metody, kterými se oddělují spálené části, tak aby zůstaly pouze samotné spojovací prvky spotřebičů.

Významnou roli má nedestruktivní zkoumání. Mezi nedestruktivní metody laboratorního zkoumání patří RTG analýza, která nám může odhalit důležitá místa pro další zkoumání bez množného poškození dodaného vzorku.

Podle způsobu použití se dnes rozlišují dva základní způsoby prozařování, a to radiografie a radioskopie. Při radioskopii se pracuje v reálném čase. Mezi rentgenovou lampou a převaděčem obrazu (který převádí rentgenové záření do oblasti viditelného světla, vakuové zesilovače obrazu, ploché panely) je umístěn zkoumaný objekt. S objektem manipulátor natáčí a tím je možné okamžitě v reálním čase objekt vyhodnocovat. Zde se pracuje se zvětšením. V případě, že je zkoumaný objekt v polovině mezi zdrojem záření a převaděčem obrazu, je zvětšení 1:2. Při posunu objektu směrem k lampě je zvětšení větší. U speciálních rentgenů je zvětšení až v řádu tisíců.

Na pracovišti Institutu ochrany obyvatelstva byla provedena v letech 2017 -2018 studie k ověření využitelnosti RTG záření pro účely zkoumání odebraných vzorků el. spotřebičů ted

FIRE PROTECTION & SAFETY Scientific Journal
13(2): 70–74, 2019
DOI: 10.17423/delta.2019.13.2.71

More accurate results are obtained with the X-ray station and the X-ray equipment is classified as a minor source of ionizing radiation according to the Atomic Law [2].

The station is designed in such a way that the examined object is located between the X-ray lamp and the image sensor (which converts X-rays into the visible range, vacuum image amplifiers, flat panels). The dimensions of the detector are 41 × 41 cm. The investigators work with the projected image of the examined object on the screen of the detector. The evidence can also be geometrically enlarged. The examined evidence is moved around with a handling device operated outside the X-ray system. The handling device supports shifting, tilting and rotation.

The projection of the examined object can be recorded on several imaging devices. Selection of imaging devices depends on system requirements and the funds available for acquisition. The imaging devices can be classified into systems providing only a single image from one scan (radiography) or images transmitted in real time (radioscopy). The described X-ray station ensures a scanning rate of at least 1 frame per second.

High energy is not required for analysing small objects, objects composed of light elements or thin metal objects. An X-ray source that achieves a power output in the order of dozens of kVs, usually between 40 and 60 kV, is sufficient. For examining objects made of light metals or bulky objects made of plastics or similar materials, X-ray acceleration voltage in the range of 80 to 120 kV is typically used. X-rays with a micro or mini focus are used depending on the sensitivity of the detector.

The two sources of ionizing radiation used at the Population Protection Institute are: a primary X-ray source of 7.5–160 ekV with a lamp current of 5–11 mA and focal spot of 0.4 mm / 1 mm.

As a secondary X-ray source, we use a 40–120 ekV source with a lamp current of 0.05–0.3 µA and focal spot of 0.05 mm.

poškozených požárem. Jako nejlepší varianta byla vyhodnocena varianta pořízení stacionární RTG kabiny, do které se umístí odebraný vzorek, oproti variantě přenosného RTG přístroje, který by se použil na požářišti. Při použití RTG kabiny jsou dosaženy přesnější výsledky zkoumání a rentgen je označován dle atomového zákona jako drobný zdroj [2]. Kabina je navržena tak, že zkoumaný objekt je umístěn mezi rentgenovou lampou (zdroj) a převaděčem obrazu (který převádí rentgenové záření do oblasti viditelného světla, vakuové zesilovače obrazu, ploché panely). Tento detektor je o velkosti 41 x 41 cm. Při zkoumání pracujeme s projekcí zkoumaného objektu na stínítko detektoru. Zkoumaný vzorek lze i geometricky zvětšit. Se zkoumaným vzorkem se pohybuje pomocí manipulátoru ovládaného mimo rentgenový systém. Manipulátor umožňuje posun, naklápění a rotaci.

Projekci objektu je možné zaznamenat na větší množství médií. Tato volba souvisí s požadavky na systém a finance na pořízení záznamových prvků. Podle záznamových prvků dělíme na systémy poskytující pouze jeden snímek z jednoho prozařování (radiografie) nebo snímky přenášené v reálném čase (radioskopie). V případě této popisované kabiny je zabezpečena rychlost snímání minimálně 1 snímek za sekundu.

Při analýze drobnějších předmětů nebo předmětů složených z lehkých prvků a tenkých kovových předmětů není třeba vysokých energií. U rentgenového zdroje nám postačí energie v desítkách kV, běžně od 40 do 60 kV.

Pro zkoumání objektů z lehkých kovů nebo objemnějších předmětů z plastů a podobných materiálů se většinou používají už urychlovací napětí na rentgence v rozsahu 80 až 120 kV. V závislosti na citlivosti detektoru používáme rentgeny s mikro nebo mini ohniskem.

V Institutu ochrany obyvatelstva jsou konkrétně používány dva zdroje záření, a to primárná zdroj záření 7,5 -160 kV, proud lampy 5-11 mA, ohnisko 0,4mm/1 mm. A dále sekundární zdroj záření 40-120 kV, proud lampy 0,05-0,3 µA a ohniskem 0,05 mm.

FIRE PROTECTION & SAFETY Scientific Journal
13(2): 70–74, 2019
DOI: 10.17423/delta.2019.13.2.71

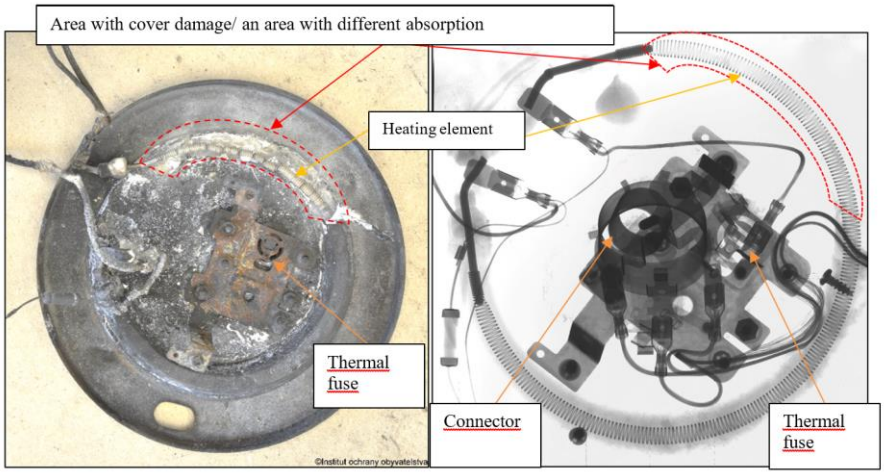

Figure 1. Evidence of fire scene – X ray [3]

Obrázek 1. RTG snímek vzorku z požářiště

Conclusion

The described X-ray station has been used since January 2019 at the workplace of the Population Protection Institute for non-destructive examination of evidence from fire sites. The still images or video sequences taken during the laboratory examination are part of fire investigation expertise (Figure 1 [3]). Samples taken from the origin area do not need to be removed from the sealed safety packaging and can be placed directly in the X-ray station. The evidence is imaged in real time, so it is possible to study the evidence in different positions or tilt and from different sides. For better contrast, the image can be colorized for easier identification of different materials. After calibration to adjust for the distance between the evidence and the lamp, the system enables measurements in the order of tenths of millimetres. This system is a unique device available to the FRS CR and continues to push the boundaries of physical and technical investigations.

Závěr

Popisovaná RTG kabina je využívána od ledna 2019 na pracovišti Institutu ochrany obyvatelstva za účelem nedestruktivního zkoumání vzorků z požářišť. Snímky, případně video pořízené během laboratorního zkoumání jsou součástí požárně technických expertiz (obrázek 1). Odebrané vzorky z požářiště nemusí být vyjmuty ze zapečetěného bezpečnostního obalu a je možné je ihned umístit do RTG kabiny. Na snímaný vzorek se zobrazuje v reálném čase, tedy je možné sledovat vzorek v jednotlivých polohách či naklonění a z jednotlivých stran. Pro lepší kontrast je možné získané snímky „obarvit“, a tím zvýraznit i různé materiály. Tento systém umožňuje po provedené kalibraci pro danou vzdálenost vzorku od zdroje provádět měření rozměrů s přesností na desetiny milimetru. Tento systém je unikátní u Hasičského záchranného sboru a nadále posouvá hranice možností fyzikálně technických zkoumání.

References / Literatúra

[1] Halliday, D., Walker, J., Resnick. R. FYZIKA 1,2 VUTIUM. 2013. ISBN 978-80-214-4123-1

[2] Act no 18/1997 Moderate use of nuclear energy and ionizing radiation

[3] Nejtková, M.: Fire technical expertise, ECUD 5319006138, GFRS, PPI, 2019