

KRÁTKÉ OHLÉDNUTÍ ZA VÝVOJEM RADIČNÍCH METOD VE STAVEBNICTVÍ ZA POSLEDNÍCH 25 LET ■ BRIEF REVIEW OF DEVELOPMENT OF THE RADIATION METHODS IN BUILDING INDUSTRY OVER THE PAST 25 YEARS

Leonard Hobst

Stejně jako v ostatních oborech, tak i v radiografii stavebních konstrukcí došlo za poslední čtvrtstoletí k významnému pokroku. Týká se to nejen zdrojů ionizujícího záření, jako jsou rentgenové přístroje, ale i vývoje záznamových prostředků. ■ Significant progress has been achieved not only in other fields but also in radiography of building structures over the past quarter of the century. This concerns not only the sources of ionizing radiation, such as X-ray machines, but also the development of recording devices.

V letošním roce uplyne 120 let od jednoho z největších objevů 19. století – od objevu „paprsků X“, které nazýváme po jejich objeviteli rentgenové záření. Již v té době nazval známý britský lékař Thomas Hunt tento objev za „pravděpodobně největší mezník v dějinách diagnostiky“. S odstupem času se dá vskutku říci, že se nemýlil.

Nejdříve bylo rentgenové záření využíváno v lékařství. Diagnostika s jeho využitím pomohla zachránit množství životů jak v dobách míru, tak v polních lazaretech za I. světové války (obr. 1). Při dalším rozvoji rentgenové diagnostiky bylo úsilí vědců zaměřeno na zvyšování energie rentgenového záření, což umožňovalo zvýšit prozařovanou tloušťku zkoušeného materiálu a využít rentgenového záření při diagnostice průmyslových výrobků a kontrole konstrukcí, a to jak ocelových, tak železobetonových.

Kromě rozvoje zdrojů záření byl výzkum zaměřen i na záznamové prostředky rentgenového obrazu. Téměř po jedno století byl nejrozšířenějším záznamovým prostředkem radiografický film. Rozvoj počítačových technologií a nových způsobů detekce záření však umožnil zhotovit záznamové prostředky, které zaznamenávají vnitřní nehomogenity kontrolovaných objektů v reálném čase (on-line).

Na druhé straně do oblasti diagnostiky vstupují nové metody, které mohou nahradit anebo vhodně doplnit dosud používané radiografické metody. Právě poslední čtvrtstoletí vneslo do oblasti využívání radiografických metod zásadní impuls.

VÝVOJ ZDROJŮ IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

Průmyslové rentgeny se i za posledních 25 let jeví jako nejběžněji používané zdroje ionizujícího záření. Cílem výrobců rentgenů je zvýšit jejich užitnou hodnotu snížením hmotnosti (vyšší frekvence při transformaci elektrického proudu na vysoké napětí) a prodloužením pracovních cyklů až na 100 % (při použití metalkeramických rentgenek). Počítačová technika v ovladačích umožňuje mnohé úkony automatizovat (najíždění na vysoké napětí podle doby odstávky rentgenů) a samozřejmostí již jsou též expoziční kalkulátory. Maximální dosahovaná energie 300 kV u mobilních rentgenů se však za tuto dobu nezměnila (obr. 2).

Ve stavebnictví je však energie i těch nejvýkonnějších rentgenů mnohdy nedostatečná, neboť je nutno prozařovat betonové konstrukce o tloušťce 300 až 400 mm. Jednou z možností je použití výkonných mobilních betatronů. První pozitivní zkušenosti s betatrony byly získány v 70. letech 20. století, kdy k nám byly v několika kusech dovezeny betatrony PMB-6 vyvinuté v Tomském polytechnickém institutu v bývalém So-

větském svazu, které umožňovaly prozařovat beton o tloušťce 500 mm (obr. 3). Tento ústav se stal v podstatě jediným výrobcem přenosných betatronů, stále je zdokonaluje a poslední verze betatronu, označená MIB-7,5 (obr. 4), je úspěšně vyvážena do různých zemí světa. V rámci spolupráce, kterou jsme s tímto ústavem během řešení výzkumného úkolu udržovali, se podařilo bez problému prozářit betatronem vrstvu betonu s ocelovou výztuží o tloušťce 1 m (obr. 5). Betatron je mobilní, dá se převážet osobním autem, a tak se jeví jako výhodný zdroj pro kontrolu masivních konstrukcí (tento betatron však není v ČR dosud certifikován).

Pro radiografii železobetonových konstrukcí a konstrukcí z předpjatého betonu se stále s výhodou používají uranové stínící kryty s radionuklidy. Jako optimální se jeví radioaktivní kobalt Co 60 s aktivitou 1 až 3 TBq. Uranové kryty pro tuto aktivitu dosahují hmotnosti 140 až 180 kg, takže jsou s jistými obtížemi „přenosné“, ale umožňují prozařovat železobetonové konstrukce do tloušťky 500 mm. Bohužel je nutno konstatovat, že v této oblasti k žádnému velkému pokroku za minulé čtvrtstoletí nedošlo a stále jsou používány kryty vyrobené před více než třiceti lety a modernější náhrady obdobných parametrů nejsou k dispozici ani od světových výrobců (obr. 6).

VÝVOJ ZÁZNAMOVÝCH PROSTŘEDKŮ RADIOGRAFICKÉHO OBRAZU

Zatímco u zdrojů záření došlo za minulé čtvrtstoletí jen k „mírnému pokroku“, záznamové prostředky se změnily zásadně. Před 25 lety byly nejběžnější radiografické filmy v denním (k přímému použití) nebo komorovém balení (film je nutno dát do kazety v temné komoře). Na mnoha pracovištích se rozvíjela radioskopie, která sice umožňovala zaznamenat analogový obraz z televizní kamery na televizním monitoru, ale další zpracování, jak ho známe nyní pomocí PC, nebylo možné a záznam o kontrole byl archivován na páskách videorekordéru. V této době jsme i tento „rentgen – televizní řetězec“ pokládali za velký pokrok a na pracoviště, která tuto technologii zvládla (Královopolská strojírna v Brně), jsme vodili exkurze studentů.

Zásadní vývoj zobrazovacích prostředků je spojen s rozvojem počítačové techniky v 90. letech 20. století. Prvý takový krok můžeme spatřovat v digitalizaci stávajících radiogramů pomocí speciálních skenerů. To umožňovalo nejen rychlou archivaci snímků, ale i operativní úpravu některých parametrů rentgenového obrazu, např. zvýšení kontrastu.

Další výzkum v oblasti záznamu radiografického obrazu byl zaměřen do dvou oblastí:

Plošné polovodičové detektory

Plošné polovodičové detektory se jeví do budoucna jako nejperspektivnější zobrazovací systémy, které umožňují přímé zobrazení vnitřních nehomogenit materiálu v reálném čase. Dosud je však jejich velkou nevýhodou vysoká cena, vysoké nároky na zacházení a jsou též velmi závislé na teplotě pracovního prostředí. Tyto detektory lze podle způsobu zobrazování rozdělit na systémy s přímou a nepřímou konverzí záření.

Obr. 1 Plnící RTG pracoviště v lazaretu za 1. světové války ■
Fig. 1 Field X-ray department at the hospital during the First World War

Obr. 2 Moderní monoblokový rentgenový přístroj 300 kV ■
Fig. 2 Modern monoblock 300 kV X-ray machine

Obr. 3 Přenosný betatron PMB-6 MeV ze 70. let 20. století ■
Fig. 3 Portable betatron PMB 6-MeV of the 1970s

Obr. 4 Moderní betatron MIB-7,5 MeV ■ Fig. 4 Modern betatron MIB-7.5 MeV

Obr. 5 Úspěšný pokus s prozářením 1 m betonem betatronem MIB-7,5 MeV ■ Fig. 5 Successful experiment with radiography of 1 m concrete with Betatron MIB-7.5 MeV

Obr. 6 Uranový kryt TECH/OPS pro zářič Co 60 o aktivitě 1 TBq ■
Fig. 6 Uranium shielding TECH/OPS for a gamma source Co 60 of activity of 1 TBq



1



4



2



3



5



6

Detektory s nepřímou konverzí jsou založeny na bázi amorfního křemíku. Zachycované ionizující záření vyvolává světelné záblesky v scintilátoru (např. gadolinium). Tyto záblesky jsou následně snímány **fotodiodami**.

Detektory s přímou konverzí jsou založeny na bázi amorfního selenu. Ionizující záření vyvolá náboj ve fotovodivém materiálu (amorfní selen). Náboj je pak urychlen vysokým napětím 1 až 5 kV k **tranzistorovému poli**, které funguje jako snímač.

Obecně platí, že polovodičové detektory na bázi amorfního křemíku mají větší rozlišení, naproti tomu vzhledem k detektorům na bázi amorfního selenu mají menší dynamiku (dynamikou se rozumí citlivost v široké oblasti spektra energií záření).

Paměťové folie

Paměťové folie jsou folie na bázi fosforu, které se vkládají do kazet, obdobně jako rentgenové filmy, avšak při normálním osvětlení, nikoliv v temné komoře. Při dopadu rentgenového nebo gama záření na tyto folie jsou vybudeny elektrony v krystalické struktuře folie, kde zůstávají v kvazistabilním stavu. Ve speciálním skeneru, do kterého se exponovaná folie vkládá, se pomocí laserového svazku tyto elektrony uvol-

ňují a ve fluorescenční vrstvě vznikne viditelný obraz, který je sejmut fotonásobičem a digitalizován (obr. 7). Velkou výhodou paměťových folií je to, že mají velkou dynamiku, což se využívá při prozařování materiálů o různých tloušťkách. Právě tato vlastnost dává předpoklad, že právě paměťové folie by byly v současné době vhodnou náhradou radiografických filmů při zkouškách stavebních konstrukcí.

Další rozvoj radiačních metod ve stavebnictví

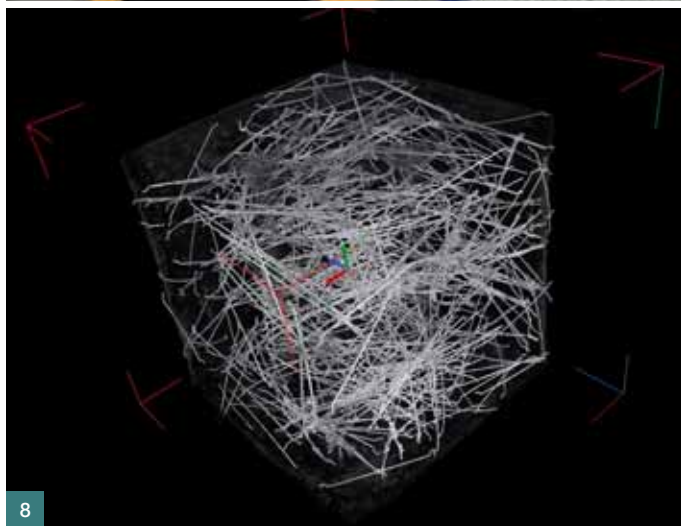
Je zřejmé, že radiografie se stavebnictvím bude mít stále své pevné místo. Bude využívat nejnovějších poznatků vývoje, kdy vyhodnocení snímků bude realizováno buď přímo v reálném čase (použití plošných detektorů) nebo jen s mírným zpožděním (paměťové folie). Na základě využívání rentgenů a rentgenového záření jsou však založeny i další metody, které ve stavebnictví nachází stále většího uplatnění. Je to především počítačová tomografie, která byla dosud používána převážně při diagnostice v lékařství (rentgen a detektor obíhal kolem ležícího pacienta), ale v posledních letech se začíná využívat v průmyslu (vyšetřovaný předmět rotuje mezi zdrojem a detektory). Počítačová tomografie umožňuje trojrozměrně rekonstruovat kontrolovaný objekt bez jeho porušení, což je používáno pře-



7



10



8

Obr. 7 Skener DURR pro vyhodnocování paměťových folií ■ Fig. 7 Scanner DURR for evaluating the Image Plate

Obr. 8 Tomografický snímek krychle z drátkobetonu ■ Fig. 8 Tomography image of a cube made of steel fibre concrete

Obr. 9 Rentgenový spektrometr pro kvalitativní i kvantitativní analýzu materiálu ■ Fig. 9 X-ray spectrometer for qualitative and quantitative analysis of materials

Obr. 10 Využití georadaru pro kontrolu výztuže v železobetonové konstrukci ■ Fig. 10 Application of a ground penetrating radar to check reinforcement in concrete structure



9

devším při kontrole kompozitních materiálů (obr. 8). Je však nutno si uvědomit, že počítačová tomografie je nesmírně finančně náročná jak na investice přístrojového vybavení, tak na provoz, a tak její rozšíření nebude masové.

Další využití rentgenů můžeme nalézt v „rentgenové spektrometrii“. Rentgenové přenosné spektrometry (XRF spektrometry) umožňují velmi rychle stanovit kvalitativní i kvantitativní analýzu neznámých vzorků, což se dá ve stavebnictví opět s výhodou využít (obr. 9). Spektrometry se dají použít při stanovení vlastností ocelové výztuže a úspěšně také probíhají zkoušky pro stanovení „hlinitanových betonů“ pomocí rentgenové spektrometrie.

Kromě příznivých faktorů, které se během 25 let ve využívání radiačních metod objevovaly, je nutno si uvědomit, že existují i nepříznivé faktory, které využívání radiačních metod omezují. Jsou to především zpřisňující se bezpečnostní opatření pro činnost pracovišť s ionizujícím zářením. Přebujelá, mnohdy těžko zdůvodnitelná administrativa odráží subjektivity, které by do této oblasti chtěly vstoupit a zabývat se radiačními metodami. Obdobně se to týká i přepravy krytů se zdroji záření, kdy je třeba zachovávat velmi přísná bezpečnostní opatření.

Dalším faktorem, který do jisté míry snižuje význam využívání radiografie ve stavebnictví, je rozvoj ostatních nedestruktivních metod kontroly. Tak, jak je počítačová technika používána při rozvoji radiografie, tak pomáhá rozvíjet i ostatní nedestruktivní metody. Ty jsou založeny většinou na dávno známých principech, ale využití počítačové technologie umožňuje zvýšit jejich citlivost, operativnost a lepší interpretaci naměřených hodnot. Jako příklad lze uvést využívání georadaru v kombinaci s moderním magnetickým indikátorem výztuže, které do jisté míry mohou při kontrole výztu-

Literatura:

- [1] HOBST, L. Vývojové směry v radiografii stavebních konstrukcí. In *Jakost a zkušebnictví ve stavebnictví*. Brno: ČSVTS, 1989, s. 89–96
- [2] HOBST, L. Vývojové trendy radiografie ve stavebnictví. In *6th Workshop NDT 2008*. Brno: VUT v Brně, 2008, s. 22–25. ISBN 978-80-7204-610-2

že v železobetonových konstrukcích nahrazovat radiografii (obr. 10).

ZÁVĚR

Diagnostické metody založené na využívání účinku ionizujícího záření neztratily ani po 120 letech od objevu rentgenového záření svůj význam. Jsou využívány jak v diagnostice v lékařství, tak v průmyslu a stavebnictví. Je však skutečností, že v mnoha oblastech jsou doplňovány diagnostickými metodami založenými na jiných fyzikálních principech jako je ultrazvuk, mikrovlny, infračervené záření, terahertzové vlny aj. Je nutno si uvědomit, že tyto metody by si neměly konkurovat, ale výsledky jimi zjištěné by se měly vhodně doplňovat.

Článek byl vytvořen v rámci řešení projektu č. LO1408 „AdMaS UP – Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie“ podporovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu „Národní program udržitelnosti I“.

Příspěvek na toto téma zazněl na konferenci Sanace 2015 v Brně.

prof. Ing. Leonard Hobst, CSc.
 Fakulta stavební VUT v Brně
 tel: 541 147 836
 e-mail: hobst.l@fce.vutbr.cz

