

# Kvalita 4.0: Robotická nedestruktivní kontrola

Martin Nagy, Martin Josífek

*Otázku, jak zefektivnit výrobní procesy či pracovní postupy v různých odvětvích, si mnozí z nás kladou každý den. Vysoká chybovost, zvyšování nákladů na kvalitu v důsledku rostoucích trendů, plánovaný zisk a následná produkce s negativním výsledkem. Závislost na lidském faktoru u kontrolních pracovišť nebo nutnost spolupráce s externí kontrolní firmou. K tomu zákazník požadující robustní výrobní proces včetně kvalitních kontrolních míst, ideálně Poka-Yoke a záruku dodržení principu „0-chyb“. To vše vyžaduje každodenní úsilí a hledání nových dostupných řešení.*

*Po více než 25 letech působení ve sféře kontroly kvality v automobilovém průmyslu již dobře znám interní problémy mnohých firem právě při hledání řešení optimalizace výrobních procesů, kvality výrobku a uspokojení požadavků zákazníka. Rádi bychom vám proto představili možnosti pomoci nejen s řešením prevence event. problémů, ale hlavně i s ušetřením financí a s přesvědčením zákazníka o robustnosti výrobního procesu.*

*Martin Nagy, COO Radalytica, a.s.*

## Technologie RadalyX

**RadalyX je unikátní zobrazovací technologie v podobě 2D a 3D robotického zobrazovacího systému (RIS). Jedná se o nejmodernější zobrazovací technologii. RIS je modulární s několika zobrazovacími možnostmi, jako je spektrální rentgen, počítačová tomografie, ultrazvuk, termografie atd. Je to výkonná platforma, která kombinuje několik zobrazovacích technik a snadno se přizpůsobuje.**

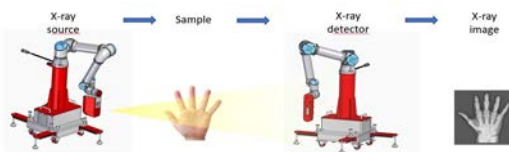
V klasických rentgenových zobrazovacích systémech jsou rentgenová trubice i detektor fixovány nebo mají pouze omezený rozsah pohybu. Není tedy snadné nebo dokonce vůbec možné kontrolovat vybrané oblasti větších struktur, zejména pokud mají složité tvary. Na rozdíl od klasického nastavení rentgenového obrazu poskytuje robotický systém téměř absolutní flexibilitu

pozorovacích úhlů. Roboti tedy umožňují snímat vzorek rentgenovým paprskem z jiné perspektivy, aby lokalizovali defekty snadněji, rychleji a lépe. RIS umožňuje provádět rentgenovou kontrolu stejně snadno jako kontrolu vizuální.

Na rozdíl od konvenčních zařízení, integrace zobrazovacích technologií na šestiosá robotická ramena dává zobrazování možnost velké flexibility, pokud jde o velikost nebo tvar vzorku. Systém může kontrolovat pokročilé kompozitní materiály se složitými zakřiveními pomocí ultrazvukových sond a/nebo rentgenových paprsků. Nová generace rentgenových zobrazovacích detektorů poskytuje bezprecedentní kvalitu obrazu, která pomáhá např. k identifikaci nečistot, bublin a prasklin v materiálech a produktech, detekci cizích objektů, chybné montáže atd. Má širokou škálu aplikací ve výzkumu a laboratořích, v leteckém a automobilovém průmyslu i v mnoha dalších průmyslových odvětvích. A to vše s prostorovým rozlišením až na mikrometrické úrovni ve 2D nebo dokonce 3D obrazu. Radalytica pracuje i na verzi pro medicínu, která má potenciál umožnit například počítačovou tomografii u vyšetření, u kterých se dnes nepoužívá.

Obrázek 1

### Robotický zobrazovací systém (RIS)



Klíčové části skeneru jsou dvě robotická ramena. První rameno drží rentgenovou trubici, druhé rameno zobrazovací detektor. Dvojice rentgenové trubice a detektoru se díky robotům může pohybovat a otáčet volně kolem vzorku. Roboti se pohybují synchronně, takže vzájemná pozice rentgenové trubice a detektoru zůstává za všech okolností stejná.

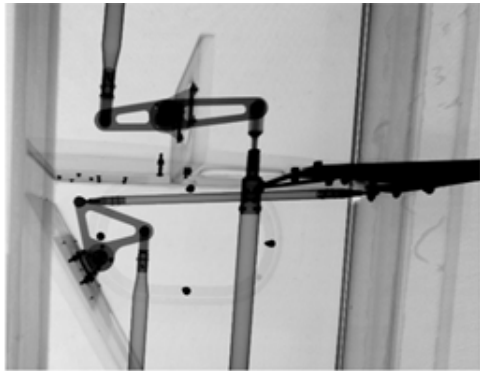
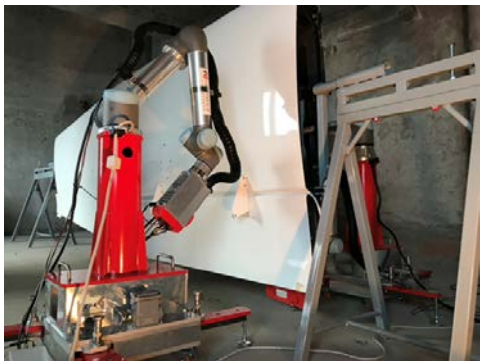
Roboti nabízejí vysoký stupeň flexibility při sledování složitého zakřivení na obou stranách kontrolovaného objektu. Proto je systém vhodný pro tvarované vzorky, jako jsou trup letadla, křídla, vrtulové listy apod. RIS může být také integrován přímo do výrobní linky, kde může sloužit ke 100% kontrole výroby. Robotická ramena se synchronizují s taktem linky a výrobek je možné kontrolovat na několika pozicích a z několika úhlů. RIS tak najde využití například při kontrole výroby elektro komponentů, plastových výlisků, v gumárenství, potravinářství a při kontrole svarů.

Právě automatická nedestruktivní kontrola svarů byla dříve nemyslitelná. Při kontrole je nutné dodržovat normami předepsané vzdálenosti zdroje RTG záření, detektoru a svaru a úhel snímání, a toho u složitějších tvarů nebylo možné dosáhnout. Robotický systém překonává tyto překážky a umožňuje automatickou kontrolu svarů i u dílů složitých tvarů přímo ve výrobní lince. To ocení nejvíce pracovníci zabývající se kontrolou kvality v automobilovém průmyslu, kde kontrola spojů může následovat ihned po robotickém svařování nebo pájení.

Také letecká doprava vyžaduje velmi přísné bezpečnostní standardy. Ty platí hlavně pro nedestruktivní testování kvality materiálů používaných pro výrobu letadel. Kvalita těchto komponentů je rozhodující pro bezpečnost cestujících, palubního personálu i pilotů.

Obrázek 2

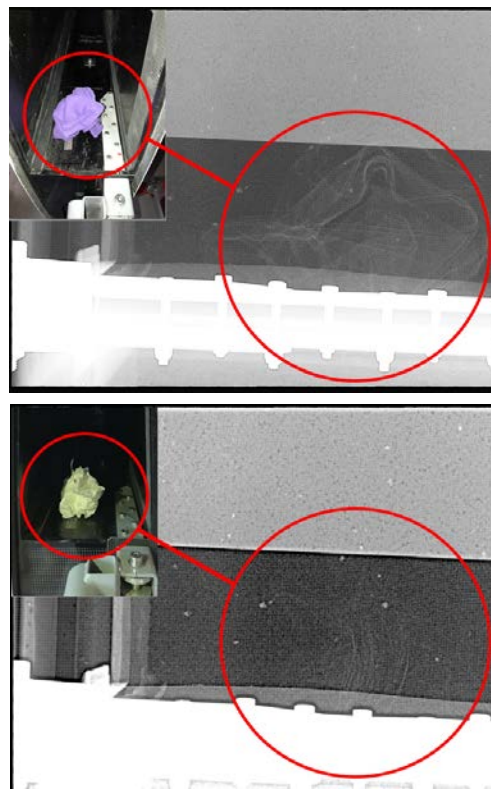
## RTG inspekce kompozitního křídla letadla



Robotický systém umožňuje kontrolu struktury kompozitního křídla letadla, odhalení skrytých vad, jako jsou trhliny, póry či chybná distribuce lepidla v kompozitu, inspekci mechanismu uvnitř křídla i detekci nežádoucích objektů, jako může být zapomenuté nářadí apod. Systém nabízí dostatečnou citlivost i pro detekci zapomenutého hadru, nebo dokonce papírového ubrousku uvnitř křídla.

Obrázek 3

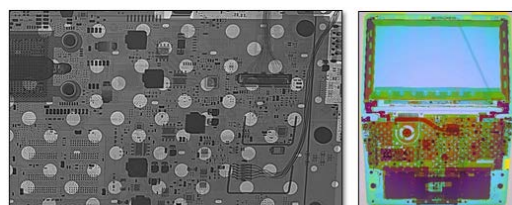
## RTG detekce nežádoucích objektů



Při RTG inspekci výroby elektro komponentů ve vysokém rozlišení umožňuje kontrolovat správné zapojení konektorů, tenkých drátků, chybějící součástky nebo jejich chybné umístění. Různým materiálům lze pomocí spektrálního zobrazení přidělit různé barvy a tím zjednodušit identifikaci materiálů v obrazu na základě rozdílů v jejich chemickém prvkovém složení. To může sloužit k detekci nežádoucích materiálů nebo k lepší vizualizaci objektu pro orientaci obsluhy.

Obrázek 4

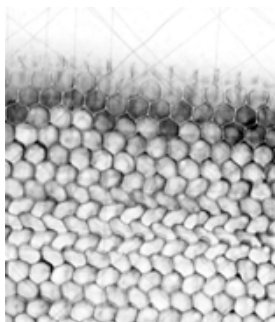
## RTG kontrola přenosného počítače ve vysokém rozlišení



## Kontrola zakřivených ploch

Obrázek 5

RTG snímek  
zaobleného  
dílu z CFRP

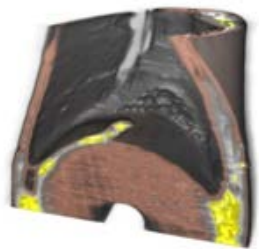


Robotický zobrazovací systém je standardně vybaven laserovým odměřováním vzdálenosti. Pomocí něho si systém před měřením zmapuje tvar vzorku. Tato informace je používána pro navigaci robotů kolem vzorku tak, aby nedocházelo ke kolizím. Lze ji využít i pro automatické řízení trajektorie pohybu robotů tak, aby například udržovali konstantní vzdálenost od povrchu a úhel k němu. To je ilustrováno na zakřiveném voštinovém vzorku, kde všechny buňky voštiny jsou zobrazeny kolmo. Díky tomu lze jednoduše kontrolovat například dostatek lepidla, bubliny atd.

## Počítačová tomografie a laminografie

Obrázek 6

CT snímek  
části vrtule



Roboti navíc umožňují měřit 3D obrazy pomocí počítačové tomografie nebo laminografie ve vybrané oblasti velkého objektu. Toto jsou metody používané při rentgenové inspekci běžně, ale s omezenou použitelností na velké objekty. Roboti překonávají tento limit. Konvenční počítačová tomografie je limitována velikostí a tvarem vzorku (dílu). Vzorek se musí vložit do komory, kde s ním rotační stůl otáčí v jedné ose, a systém zaznamenává snímky z různých úhlů. Poté se ze získaných snímků vytvoří 3D model. Tato operace bývá i kvůli značným limitům velikosti a tvaru vzorku relativně zdoluhavá.

Robotický systém lze v případě potřeby dopravit ke vzorku (dílu) a provádět jeho RTG inspekci z libovolného úhlu.

Obrázek 7

RTG inspekce trupu letadla



Robotický systém je možno dovybavit sedmou osou (kolejnicemi) a tím rozšířit dosah robotického ramene téměř bez limitu. Např. pro kontrolu listů vrtulí větrné elektrárny o délce 98 m. V případě potřeby lze pořídit i 3D snímek vybrané oblasti u velkého objektu.

Obrázek 8

Inspekce listů větrné elektrárny



### RTG zobrazení v reálném čase

Zobracování v reálném čase pomocí 3D myši umožňuje plnou kontrolu nad polohou a úhlem zobrazení rentgenového obrazu. RTG obraz dané oblasti vzorku je zobrazen v reálném čase na obrazovce. Jednoduché ruční ovládání pomocí živého zobrazení vytváří perfektní nástroj pro lokalizaci defektů v kontrolované struktuře ve 3D. Okamžitá zpětná vazba mezi ručním ovládním směru pohledu a rentgenovým obrazem je to, co ze systému dělá velmi intuitivní nástroj. Díky propojení obrázku s naší akcí je mozek schopen vytvořit velmi jasnou představu o 3D struktuře vzorku bez potřeby pomalých a komplikovaných měření, jako je počítačová tomografie (CT), která vyžaduje podobný přístup v analýze získaného 3D objemu. Proto je kontrola s roboty ve srovnání s CT rychlejší, méně náročná na zpracování dat a lze ji použít na vybrané oblasti většího objektu.

Obrázek 9

Použití 3D myši



### Rentgenové zobrazení nové generace s detektory od společnosti ADVACAM

V porovnání s rozšířenými technologiemi RTG zobrazení, jako jsou filmy nebo flat panely, využíváme RTG detektory nové generace dceřiné společnosti Advacam, které pro jejich unikátní vlastnosti využívá i americká NASA ve vesmíru na mezinárodní stanici ISS. Tyto zobrazovací detektory se vyznačují vysokým rozlišením, téměř neomezeným rozsahem úrovní šedi a vysokou citlivostí.

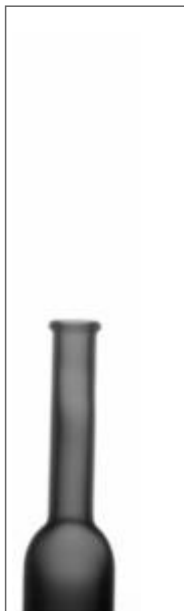
Další výhodou využití těchto pokročilých detektorů je fakt, že díky jejich citlivosti jsme schopni snížit energii rentgenového záření v porovnání se stávajícími technologiemi až na polovinu. To s sebou nese vyšší rozlišení obrazu, ale i nižší nároky na stínění proti úniku RTG záření. To zjednodušuje, zlevňuje a odlehčuje konstrukci stínících komor.

Snímky níže demonstrují bezprecedentní kvalitu rentgenového zobrazení, které využíváme pro kontrolu kvality různých materiálů v různých odvětvích, a rozšiřují možnosti využití RTG technologie do nových oborů, kde do nedávna bylo nemyšlitelné. Obzvláště pak pro kontrolu kompozitních materiálů, jejichž využití díky jejich lehkosti a mechanickým vlastnostem neustále roste.

Obrázek 10

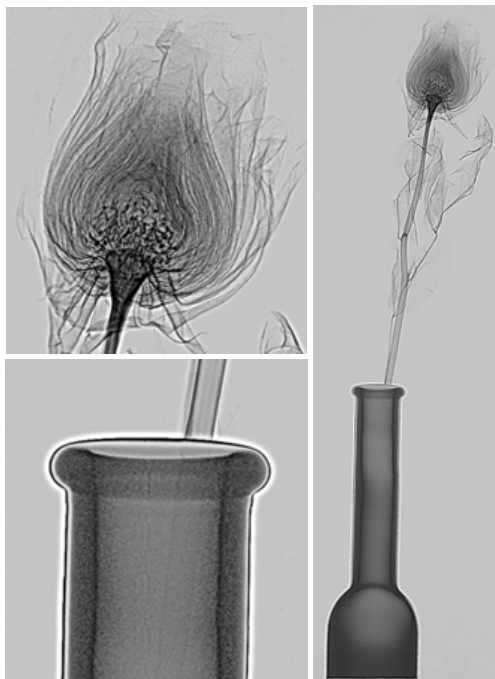
RTG snímek suché růže

Takto zobrazí  
suchou růži ve váze  
standartní  
RTG zařízení.  
Růži nelze zobrazit



Obrázek 11

RTG snímek robotického systému za použití  
detektorů společnosti Advacam ve vysokém  
rozlíšení a kontrastu.



## Modularita

Rentgenové zobrazování není jedinou dostupnou zobrazovací modalitou. Zařízení je standardně vybaveno laserovým měřením vzdálenosti. To lze, mimo řízení trajektorie robota podél objektů, použít k vytváření 3D map povrchů objektů, například pro metrologické účely. Radalytica také vyvíjí řadu dalších zobrazovacích technik. Tyto zobrazovací sondy jsou snadno zaměnitelné na robotických pažích. Stejná robotická platforma proto může plnit řadu zobrazovacích úkolů a může být v budoucnu rozšířena, jakmile budou k dispozici nové zobrazovací technologie.

## Vzduchem vázaný ultrazvuk

Radalytica ve spolupráci se společností SONOTEC GmbH integruje vzduchem vázané ultrazvukové sondy. Jsou zvláště účinné pro detekci delaminací v kompozitních materiálech, které jsou rentgenovými paprsky prakticky neviditelné. Vzduchem vázaný ultrazvuk najde také další využití v materiálovém, leteckém a dalších výzkumných oborech.

## Kombinace metod (RTG a UT)

Různé metody zobrazování mají různé využití podle požadované aplikace. V mnoha případech je vhodné využít více metod najednou a tím získat lepší přehled o daném vzorku. Dobrým příkladem je poškozené kompozitní křídlo letadla po nárazu do cizího objektu. RTG snímek odhalí strukturu kompozitu a její případné poškození jemnými trhlinami v místě nárazu. Delaminaci v okolí však pomocí RTG detekovat nelze. Pro detekci delaminace je vhodný ultrazvuk, který ale jemné trhliny ve vysokém rozlišení zobrazit neumožňuje. Řešením je kombinace těchto metod. Robotický systém má záznam souřadnicového systému, a tak lze přesně kombinovat obrazový výstup jednotlivých metod a tím získat lepší přehled o situaci a celkovém poškození.

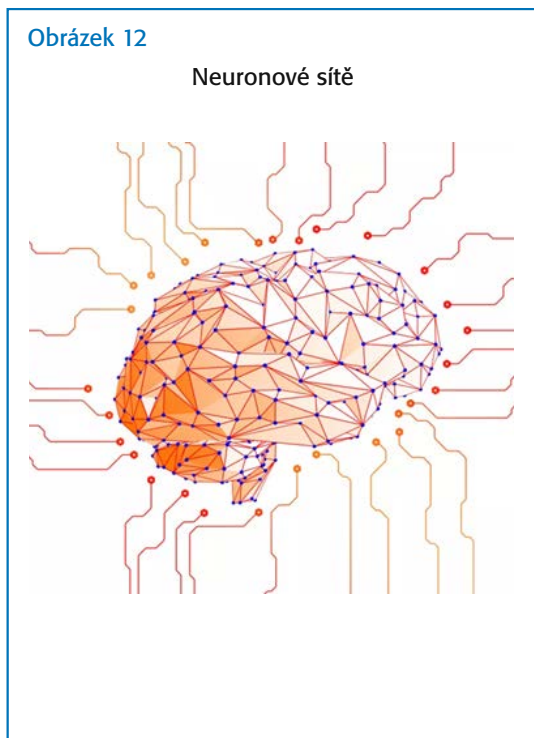
## Rentgenová difrakce

Rentgenová difrakce (XRD) umožňuje určovat krystalickou strukturu materiálů, případně směr vláken v kompozitech apod. Nové typy energeticky citlivých zobrazovacích detektorů mají významný dopad také na tuto metodu. Měření spektra difrakčních fotonů znamená, že lze vyloučit monochromátor na straně zdroje rentgenového záření. To významně snižuje složitost systému XRD a umožňuje jeho integraci s robotickými rameny. Radalytica nyní zahajuje společně s partnery další projekt Eurostar na vývoj takových modulů. XRD skenování na velké ploše a analýza krystalických struktur tedy budou možné. Tato technologie umožní například přesnější RTG kontrolu svarů a měření jejich geometrie, popřípadě nedestruktivní kontrolu dílů po tepelném zpracování a měření tloušťky prokalené vrstvy. Systém XRD lze navíc snadno kombinovat s rentgenovou fluorescencí (XRF) pro přesnou analýzu chemického prvkového složení.

## Makrofotografie, hyperspektrální zobrazení, UV, infračervené zobrazování

Další zobrazovací metody, které jsou ve vývoji nebo na plánu výzkumu a vývoje, jsou fotografie povrchu objektů s vysokým rozlišením, hyperspektrální zobrazování, UV a infračervené zobrazování. Mnoho z těchto metod je zvláště zajímavých pro analýzu kulturního dědictví.

### Neuronové sítě



Pro automatické vyhodnocení obrazu používáme nejpokročilejší technologii umělých neuronových sítí. V technologii jsou neuronové sítě často označovány jako umělé neuronové sítě (NN) nebo neuronové sítě, aby se odlišily od biologických neuronových sítí, po nichž jsou modelovány.

Hlavní myšlenkou NN je, že lidský mozek je nejsložitější a nejméně inteligentnější „počítač“, který existuje. Modelováním zpracování informací používaného mozkem je možné se přiblížit lidské inteligenci při zpracování obrazu. Tuto vyspělou technologii využíváme k nastavení systému pro automatické vyhodnocení OK a NOK dílu.

Tento systém se lze naučit vyhodnocení dílů s téměř 100 % spolehlivostí a vylučují faktor lidské chyby způsobené nedbalostí, únavou, nedostatečnou kvalifikací atd.

### Závěr

Využitím nejmodernějších technologií uvedených v tomto příspěvku lze nejen docílit zlepšení kontroly kvality a tím předejít nepříjemným situacím, ale zároveň i dosáhnout snížení nákladů. Ono pro manažera kvality kouzelné POKA-YOKE splňuje právě toto zařízení díky možnosti kontroly kvality přímo ve výrobní lince a nalezení neshody rychleji, čímž se zabrání výrobě zmetků. Nedestruktivní testování umožňuje použít díly i po kontrole a automatické vyhodnocení zajistí vyšší opakovatelnost a přesnost bez faktoru lidské chyby, nemluvě o personálních otázkách a dalších nákladech za kvalifikované pracovníky.

### Autoři:

**Martin Nagy** je provozním ředitelem společnosti Radalytica, a.s.

**Martin Josífek** pracuje jako obchodní manažer ve stejné společnosti.

### Kontakty:

*[martin.nagy@radalytica.com](mailto:martin.nagy@radalytica.com)*,

*[martin.josifek@radalytica.com](mailto:martin.josifek@radalytica.com)*

**Společnost Radalytica, a.s.**, se orientuje na vývoj a výrobu robotického zařízení pro nedestruktivní testování napříč výrobní sférou. Díky velmi úzké spolupráci se společností Advacam, která vyvíjí a vyrábí unikátní detektory rentgenového záření (mimo jiné používané agenturou NASA), se čistě české firmě podařilo vytvořit možnost poskytnout zákazníkům nejlepší kvalitu rentgenového zobrazení v nejrůznějších případech. Radalytica je poskytovatelem unikátních robotických zobrazovacích řešení pro nedestruktivní kontrolu. Dodává unikátní, snadno použitelný 2D a 3D robotický zobrazovací systém (RIS) nabízený pod obchodní značkou RadalyX.