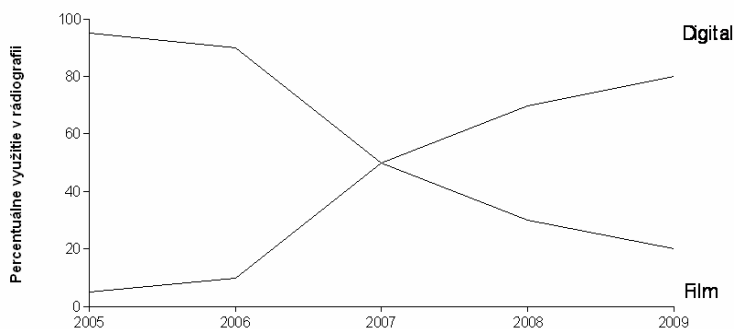


## Digitálna alebo klasická rádiografia ?

Ing. Pavol Kučík, Slovcert s.r.o., Bratislava

Z mesiaca na mesiac pribúdajú v NDT servisné firmy, ktoré sa rozhodujú či prejsť z klasickej filmovej rádiografie s použitím filmov na záznam a spracovanie pomocou digitálnej technológie /najmä pomocou technológie IP – fosforových pamäťových platní/. Je totiž jasný predpoklad, že pamäťové fosforové platne sa stanú dominantnou technológiou v rádiografii v nasledujúcom období. Predtým, než manažment NDT strediska pristúpi k tejto zmene, snaží sa „zdokumentovať“ náklady na novú technológiu, riešiť otázku prínosu tejto techniky, výhodnosti použitia, nájsť dôvody pre a proti k uvedeniu tejto techniky do praxe. Svojím príspevkom chcem priniesť pár zaujímavých informácií, ktoré som získal pri konzultáciách, pri technických aplikáciách našich užívateľov a dodávateľov tejto techniky.



Obr.1 - Trend použitia klasickej a digitálnej rádiografie v nasledujúcom období

Predpokladajme, že firma vykonávajúca kontroly prežarováním je už vybavená zdrojom ionizujúceho žiarenia a nevyhnutným príslušenstvom pre výkon tejto činnosti. Ak vykonáva veľké objemy kontrol, kde sa spracuje niekoľko tisíc rtg filmov, začína uvažovať ekonomicky. Cena filmov, chemikálií, procesu spracovania filmov znamená výrazné položky v nákladoch každý rok. *Klasická filmová rádiografia je známa niekoľko desiatok rokov, je zbytočné ju popisovať ale pre úplnosť informácií, uvediem krátku informáciu o súčasných technikách digitálneho prežarovania.* Existuje niekoľko technológií pre získanie digitálnej formy prežiareného obrazu:

**Fosforová pamäťová platňa** IP platňa pozostáva z ohybnej polymérovej fólie na ktorej je citlivá vrstva fosforu /5  $\mu\text{m}$  až 25  $\mu\text{m}$  kryštály/. Ak je táto platňa vystavená ionizačnému žiareniu, elektróny vo vnútri fosforových zrn sa dostanú do vzbuđeného stavu, kde sú v polo stabilnej polohe na vyššej energetickej hladine. Pri skenovaní laserovým lúčom, energia laserového lúča uvoľní uväznené elektróny z príslušných vyšších energetických hladín, pričom sa uvoľnia fotóny. Svetlo je zachytené optikou a prevedené do bit formy digitálneho obrazu.



Obr.2 – Pamäťová IP platňa fy. GE a pevná PVC kazeta na platňu s Pb fóliou



Obr.3 – Súčasné najnovšie laserové skenery fy. GE typ CR50P a CR50XP

- **Amorfne selénové** panely obsahujú vrstvu amorfného selénu na ploche tenkých filmových tranzistorov (TFT) ktoré zachytia a prevedú rtg žiarenie priamo do formy digitálneho signálu. Panel je pevný, neohybný.
- **Amorfne kremíkové panely** používajú scintilátory ktoré prevádzajú prejdené žiarenie na viditeľné svetlo. Svetlo je potom premenené na elektrické pulzy pomocou veľmi malých plošných amorfných kremíkových panelov. Panel je pevný, neohybný.

## 1. Technické porovnanie

### 1.1. Vhodnosť použitia, technické obmedzenia, pracovné podmienky

Stabilné prežarovacie pracoviská poskytujú v prevažnej väčšine takmer laboratórne podmienky, preto je možné použiť obe techniky prežarovania, tak digitálnu ako aj klasickú.

#### Montážne podmienky:

Vlhké a prašné prostredie neškodí vákuovo baleným rtg filmom, film je chránený dostatočne. Použitie filmov je možné aj pri nízkych /minusových/, resp. vysokých teplotách

Ploché panelové detektory sú vhodné len pre laboratórne podmienky, určené do plusových teplotných rozsahov /5°C - 30 °C/. Nečistoty, vysoká teplota a vlhkosť im škodia.

IP platne majú takmer rovnaký rozsah použitia ako rtg filmy, len je tu obmedzenie teplotného rozsahu -10°C - 40°C. V prípade pružných a tesných obalov s Pb fóliami nehrozí ani ich poškodenie. Avšak pri technike laserového skenovania platí je veľmi dôležité aby sa skenovalo v bezprašnom a suchom prostredí, nakoľko akékoľvek nečistoty môžu znečistiť skener a trvale poškodiť povrchovú vrstvu IP platne pri skenovaní. Preto sa doporučuje, aby skener bol umiestnený na stabilnom bezprašnom, čistom mieste.

Použitelnosť RTG filmov – len 1 expozícia

IP platne: opakovanie 1500 – 3000 expozícií

Panelové detektory: 20 000- 25 000 expozícií

#### Tvarové obmedzenie súčiastok:

Filmy a IP platne poskytujú možnosť prispôsobenia, ohybu podľa tvaru prežarovanej súčiastky. Pri veľmi rozdielnych hrúbkach je však pri jednej expozícii u klasických filmov často nemožné získať obraz na jednu snímku, musia sa použiť filmy s rôznou citlivosťou, alebo rôzne expozície pre určené časti a niekoľko filmov.

IP platne, ktoré poskytujú veľký dynamický rozsah, postačujú na jednu expozíciu.

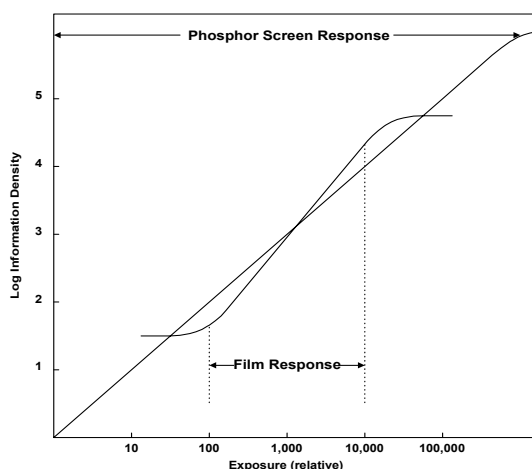
Ploché panelové detektory prispôsobiť tvaru súčiastky nemožno.

## 1.2. Expozičné doby

RTG film má limitovaný rozsah využitia. Vhodný a čitateľný obraz sa získa len pri správnych parametroch expozície – doba prežarovania, vhodnom prežarovacom prúde a napätí. Film pri nesprávnej expozícii poskytuje malý rozsah sčernania pre vyhodnocovanie.

Digitálne detektory alebo IP platne poskytujú možnosť kratšej doby expozície a vyššiu úroveň stupňov šedosti pri vyhodnocovaní. Skrátene expozície predstavuje 25-40% doby oproti klasickým filmom. Aj pri nevhodne zvolenej expozícii je možné snímku hodnotiť vďaka počítačovému spracovaniu, zmenou nastavenia jasu a kontrastu. Z hľadiska hygieny sa znižuje riziko ožiarenia, zvýši sa efektivita a produktivita práce.

- **IPC2 Standard :**
  - Expozičný čas: 10 až 30% z D7
- **IPS Premium :**
  - Expozičný čas: 50 až 100% z D7
  - Kvalita rozlíšenia D5/D4 film



Obr.4 – Grafické porovnanie rozsahu sčernania a expozičnej doby u filmov a IP platniach

## 1.3. Rozlíšenie

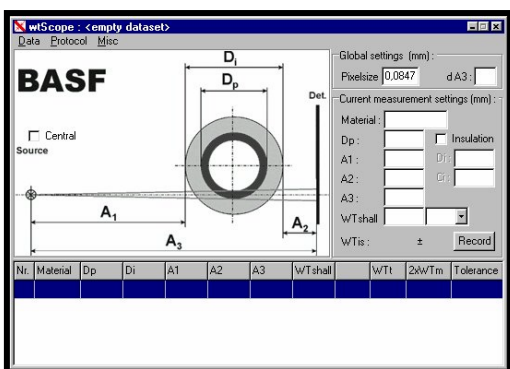
RTG film poskytuje klasický spôsob vyhodnocovania po presvietení filmu na negatoskope. Ideálne je sčernanie min od 2,0 do 3,5 D. Pre každé ľudské oko je hodnotenie subjektívne, pretože ľudský zrak je schopný rozlíšiť niekoľkonásobne menej stupňov šedosti / 256 úrovní/. Pri nízkom zčernaní filmu je veľmi malý kontrast, pri vysokom zčernaní záleží od kvality negatoskopu aby sa daný film dal spoľahlivo presvietiť a následne vyhodnotiť.

Digitálna technika poskytuje vysoký dynamický rozsah, vysoký počet úrovní šedosti na zaznamenananej snímke, čo pri počítačovom spracovaní umožňuje spoľahlivé rozlíšenie 2 bodov s minimálnym rozdielom úrovní šedosti. PC technika umožňuje použiť funkcie zoomovania, filtrovania, zmeny kontrastu a jasu, čím sa presnosť hodnotenia výrazne zvýši a to aj napriek nie najvhodnejším podmienkam expozície. Prezeranie detailov, resp. automatický proces hodnotenia, farebného odlíšenia miest s necelistvosťami je výrazným prínosom najmä pri vyhodnocovaní. Tak ako u klasických rtg filmov je nevyhnutné pre hodnotenie použiť negatoskopy s dostatočným jasom /pre presvietenie filmov do sčernania 4.0/, pri digitálnej technike je nevyhnutnosťou mať monitor s vysokou rozlíšiteľnosťou. PC technika totiž dokáže pracovať so získanými informáciami ale obsluha musí hodnotiť na základe dosiahnutého obrazu zloženého z určitého počtu pixelov. Ak nemá obrazovka dostatočné rozlíšenie / minimálne doporučené je 19" monitor s rozlíšením

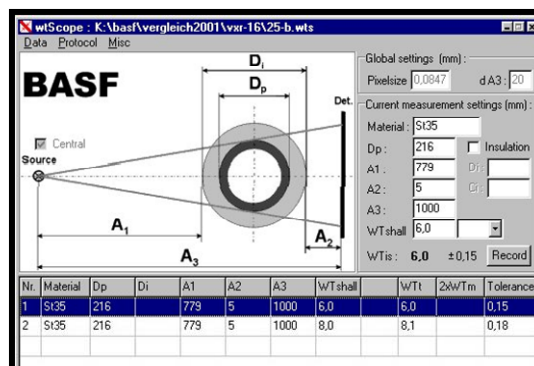
1280x1024 pixelov /. V opačnom prípade sa efekt vyhodnocovania degraduje a je to v podstate akoby ste pozerali cez veľmi špinavé okuliare veľmi kvalitnú snímku.  
 Digitálna rádiografia má podľa súčasných informácií maximálnu rozlíšiteľnosť od 50 $\mu$ m/mm alebo 20 pixelov/mm. Pre oblasť prežarovania je to už vo veľa prípadoch postačujúca kvalita.

#### 1.4. Vyhodnocovanie chýb

Klasické rtg filmy majú možnosť pri použití vhodných mierok stanoviť minimálnu rozlíšiteľnosť chýb, ich veľkosť alebo približnú hodnotu hrúbky steny.  
 Digitálna rádiografia túto možnosť posunula oveľa ďalej. Najmä pri prežarovaní potrubí, je schopná s oveľa vyššou presnosťou zistiť dĺžkové rozmery chýb, hrúbku steny a to aj cez izoláciu. Stanovený rozsah presnosti merania hrúbky potrubí z ocele pomocou CR je pri zdrojoch ionizujúceho žiarenia Ir-192 alebo rtg lampy s presnosťou  $\pm 0,5$  mm. Veľmi záleží, či je izolácia na potrubí a či potrubie je naplnené médiom. Ďalej táto technika dovoľuje ľahké a presné plošné zmeranie korózie a veľmi dobré hodnotenie pittingov - bodovej korózie.

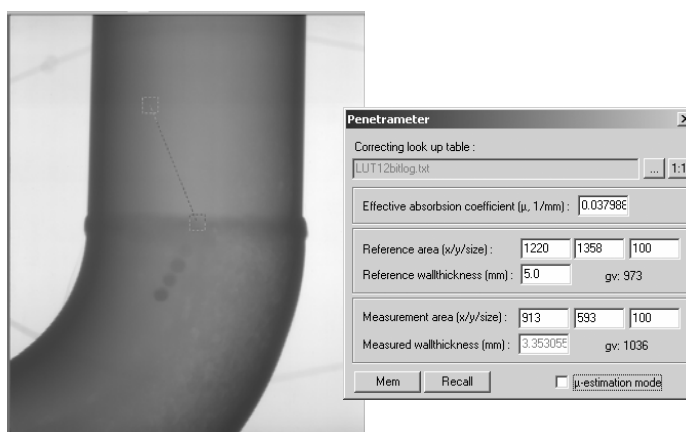


a)



b)

Obr. 5 -Meranie hrúbky stien potrubí – a) tangenciálne meranie z centrálnej pozície – automatický prepočet zostávajúcej hrúbky, b) tangenciálne meranie – meranie líniového profilu



Obr. 6 - Meranie hrúbky stien potrubí– meranie podľa referenčného bodu so stanoveným absorpčným koeficientom

## 1.5. Doba a miesto spracovania

Klasické filmy vyžadujú vybavenie tmavej komory/resp. vyvolávací automat pre ich následné vyvolanie, pranie, ustálenie a vysušenie. Pri vyvolávaní sa nesmie s filmami manipulovať pri dennom svetle a treba dbať na regeneráciu vyvolávacích roztokov, tak aby sa snímky neznehodnotili a nezhoršila ich doba archivácie. Pri auto matovom spracovaní je snímka hotová do cca 12 min. Ručné spracovanie filmov vyžaduje dobu 2x dlhšiu.

IP platne nie sú veľmi citlivé na denné svetlo, to znamená, že vkladanie do kaziet a obalov, vkladanie do skenera nie je nutné vykonávať v zatemnenom priestore. Doba ich spracovania závisí od nastaveného rozlíšenia skenera / 50, 80, 100 resp. 120  $\mu\text{m}$ /. Nepresiahne však dobu niekoľkých minút /2 – 3 min./.. Ak započítame do celkového spracovania IP platní aj ich vymazanie po naskenovaní, aj tak táto doba spracovania predstavuje max. 50-80% času ako je to v prípade ručného spracovania filmov. IP platne sa zmazávajú osvetlením bielym svetlom po dobu max. 1-3. min. Po tejto dobe sú platne pripravené k opätovnému použitiu.

## 1.6. Archivácia, skladovanie

O archivácii filmov, skenovaných záznamov pomocou CR by sa dalo veľmi dlho polemizovať, preto len stručne.

RTG filmové snímky sú častokrát skladované na dobu 10-25 rokov, resp. v prípade jadrovej energetickej zariadení až po celú dobu životnosti elektrární. Z toho vyplýva, že filmy musia byť spracované správnym postupom vyvolávania, pretože by mohlo dôjsť po niekoľkých mesiacoch alebo rokoch k znehodnoteniu snímky vplyvom nevratných chemických zmien /žltý závoj a pod./.. Výrobcovia k filmom dodávajú testovacie chemické príslušenstvá, ktoré spoľahlivo odhalia dobu minimálnej doby archivácie.



Obr. 7 - Thio-test – chemický roztok a mierka pre určenie archivačnej doby filmu

Oveľa väčším problémom je, že pri skladovaní niekoľkých desiatok tisícov filmov sa vyžadujú zriadiť špeciálne skladovacie regály, miestnosti so stálou teplotou a vlhkosťou. Tieto zaberajú veľa miesta a nie je jednoduché sa tu orientovať a dostať sa rýchlo k určitej archivovanej snímke.

Digitálne záznamy – z IP platne, panelového detektora a pod. majú výhodu v tom, že zaberajú podstatne menej priestoru / pamäťové médium - CD, DVD, harddisk, zipp jednotky a pod. môžu mať obsah pamäte niekoľko tisícok rtg snímok/. PC programy veľmi rýchlo dokážu triediť záznamy v databáze, tieto sú prístupné okamžite a je možné ich viacnásobne kopírovať, prenášať prostredníctvom LAN siete do externých pracovísk, hodnotiacich laboratórií, resp. pracovať len s určitým výrezom- časťou záznamu.

Dôležité je poznamenať, že ani pamäťové médium ako sú CD, DVD, harddisky, zipp jednotky, HW disky a pod. majú svoju životnosť a preto je nutné dbať na ich prepisovanie, obnovu po niekoľkých rokoch, aby sa zaznamenané snímky po určitom počte rokov nevymazali.

Existujúce normy DICONDE zabraňujú zasa aby sa archivovali len „dokonale upravené“ snímky, ukladaný súbor nesie informácie o všetkých zmenách vykonaných na pôvodne nasnímanom obrázku.

### **1.8. Reprodukovateľnosť**

Reprodukovanie filmových snímok je nákladné, ak sa majú skenovať na vysokorozlišiteľných skeneroch. Exponovanie viacerých filmov naraz nie je tiež najvhodnejšie riešenie. Digitálna rádiografia umožňuje duplikáciu snímok bez straty kvality zobrazenia a ľahkú archiváciu, prenos cez elektronické médiá.

## **2. Ekonomické porovnanie**

Medzi spracovávaním IP platní a vyvolávaním filmov je skrytých mnoho nákladov, s ktorými väčšina NDT pracovísk nepočíta, považuje ich za nevyhnutné a preto ich jednoducho akceptujú. Častokrát sa ale nespočítavajú nákladové položky spolu a tak nemajú celkovú predstavu o nákladoch spojených s jednotlivými metodikami. Niektoré najdôležitejšie poznatky o nákladoch sú:

### **2.1. Počiatočné náklady**

Digitálna rádiografia predstavuje vždy vysoké prvotné náklady na zakúpenie skenera, detektora - IP platní alebo plochého platňového detektora. Investičné náklady sa pohybujú od cca 70.000,- Eur až do 110.000,- Eur, čo závisí od typu a kvality systému, množstva detektorov.

Klasická filmová technika naproti tomu vyžaduje len nákup filmov a príslušných chemikálií na vyvolávanie filmov.

### **2.2. Prevádzkové náklady**

#### Klasická rádiografia s použitím filmov

- Chemikálie pre vyvolávací proces filmov môžu predstavovať až 30% z cenových nákladov za filmy a dodatočné náklady môžu celkové náklady ešte ďalej zvyšovať. Ide o náklady na údržbu a čistenie vyvolávacieho automatu, jeho kontrola a stabilita, likvidácia chemikálií a údržba skladu.
- Veľa NDT pracovísk (ak nie väčšina) podceňuje celkové náklady na chemikálie, vyvolávanie a údržbu vyvolávacích automatov.
- Nič nie je zadarmo. Nízke náklady na filmy majú zväčša za následok vyššie náklady na chémiu. Nižšia spotreba chémie súvisí s vyššími cenami filmov.

Ak sumarizujeme jednotlivé náklady tak sú v súhrne takéto:

- Náklady na nákup filmov
- Prepravné náklady – najmä ak nie sú pracoviská vybavené ako mobilné laboratóriá alebo ak sa prežaruje na viacerých prevádzkach a filmy treba sústrediť na jedno vyvolávacie pracovisko
- Spotreba chemikálií
- Tmavá komora – vybavenie, údržba
- Čistenie a servis vyvolávacieho automatu / ročne sa pohybujú v rozsahu 3-6% z nadobúdacej ceny automatu/ , resp. údržba, servis vyvolávacích tankov
- Skladovanie filmov a chemikálií
- Likvidácia odpadov
- Spotreba vody – pre prací roztok
- Náklady na opakovanie - opravné filmy. Skúsenosti z praxe hovoria o nevyhnutnom opakovaní niektorých snímok a predstavuje cca 4-5% z celkového objemu používaných filmov / dôvody – chyby pri expozícii, pri vyvolávaní, poškodenie povrchu/

## Počítačová - digitálna rádiografia s použitím IP platní

- Nie je nutný nákup IP platní – opakovateľnosť expozícií na jednu platňu
- Čistenie a servis skenera
- Údržba hardware a software

### **2.3. Ekológia**

Chemický proces vyvolávania filmov produkuje odpad vo forme zostatkového striebra v pracom vodnom roztoku. Objem alebo množstvo striebra obsahujúceho vo vode, ktorá je vypúšťaná do kanalizácie sa udáva (g/l alebo jednotkách ppm). Odpadová voda podľa súčasných európskych noriem nesmie prekročiť hodnoty 50mg Ag/m<sup>2</sup> resp. koncentráciu zodpovedajúcu 3ppm. Katióny striebra (Ag<sup>+</sup>) môžu byť totiž veľmi nebezpečné najmä v pitnej vode. Doporučuje sa, že užívateľ musí zabezpečiť odber chemického odpadu, respektíve zakúpiť zariadenia, ktoré odbúrajú zostatkové striebro z vody na úroveň nižšiu ako je doporučená / niektoré vyvolávacie automaty produkujú takýto odpad niekoľkonásobne vyššie. Tieto náklady sú pri súčasných ekologických normách a zákonoch nevyhnutné a nemožno ich prehladať . V opačnom prípade vedú k veľmi vysokým pokutám.

Recyklácia kovov je v porovnaní s plastmi ekonomicky oveľa výhodnejšia a bude mať svojich užívateľov. Čím je kov drahší, ako napríklad zlato a striebro, tým viac sa ho oplatí recyklovať.

### **2.4. Návratnosť nákladov**

Z viacerých zdrojov sme čerpali informáciu, že návratnosť investície do digitálneho systému je pri zhodnotení len ekonomických faktorov do cca 3 rokov pri firmách spracovávajúcich cca 20.000 rtg snímok ročne. Je vždy ale nutné podotknúť, že cenová nižšia cenová relácia pri nákupe filmov ovplyvní dobu návratnosti max. 5-6 mesiacov.

Návratnosť investície do digitálneho systému pokiaľ firma spracováva cca 30.000 – 40.000 rtg snímok ročne je oveľa kratšia, cca do 1,5-2 rokov.

Ak sa zoberie do úvahy, že sa zvýši produktivita, systém centrálného hodnotenia archivovania dát, odbúra sa práca s vyvolávaním filmov, nakladaním chemických odpadov, môžeme uvažovať o návratnosti aj ďaleko kratšej.

Toto ekonomické zhodnotenie som spracoval z dostupných informácií a majú predovšetkým informatívny charakter nákladov, nedotýkajú vôbec spôsobu vyhodnocovania a archivácie záznamov, resp. iných výhod/ nevýhod digitálnej rádiografie.

## **3. Existujúce normy o CR**

### Európske normy:

EN 14784-1 : Industrial CR with storage phosphor imaging plates / priemyselná počítačová rádiografia s pamäťovými fosforovými platňami/

Part 1 : Classification of systems / klasifikácia systémov/

EN 14784-2 : Industrial CR with storage phosphor imaging plates / priemyselná počítačová rádiografia s pamäťovými fosforovými platňami/

Part 2 : General principles for examination of metals using X-rays and gamma rays / všeobecné princípy pre skúšanie kovov pomocou rtg a gama žiarenia/

ASTM normy:

ASTM 2007-00 : Standard Guide for Computed Radiography (Štandardná informácia o počítačovej rádiografii)

ASTM 2033-99 : Standard Practice for Computed Radiography (Metódy pre CR)

ASTM 2445-05 : Standard Practice for Qualification and Long-Term Stability of CR systems (Postup pre kvalifikáciu a dlhodobú stabilitu CR systémov)

ASTM 2446-05 : Standard Practice for Classification of CR systems (Klasifikácia CR systémov)

ASTM 2339-04 : Digital Imaging and Communication in NDE (DICONDE) – (digitálne zobrazenie a komunikácia v NDE (DICONDE))

ASME kód:

ASME Code Case 2476 : Radiography using phosphor imaging plates (Rádiografia s použitím fosforových zobrazovacích platní)