

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

*Osiguranje kvalitete pri rukovanju filmovima
za industrijsku radiografiju*

Prof. dr. sc. Josip Stepanić

Filip Cupar

Zagreb, 2011.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Rendgenski fotomaterijal.....	2
3. Izbor filma	8
4. Kemijska obrada filma.....	9
5. Skladištenje filma	15
6. IKR – indikator kvalitete radiograma	16
7. Iluminator.....	19
8. Denzitometar	21
9. Kontrola procesa kemijske obrade filma	23
10. Provjera trajnosti filma (arhiviranje).....	26
11. Pakiranje filmova.....	28
12. Greške pri rukovanju filmovima za industrijsku radiografiju	31
13. Izvještaj o ispitivanju	34
14. Zaključak.....	35
15. Literatura.....	36

1. Uvod

Radiografija je postupak bilježenja unutarnjih i vanjskih grešaka trodimenzionalnih objekata na dvodimenzionalnoj filmskoj ravnini.

Radiogram je trajni zapis u obliku slike na filmu. Da bi nastao radiogram potreban je izvor zračenja, objekt ispitivanja i film na kojem će ostati trajni zapis.

Rendgenski film je najčešći i najjednostavniji medij za pohranjivanje dijagnostičkih informacija, koje dobivamo nakon izlaganja nekog trodimenzionalnog objekta rendgenskim zrakama.

Metoda radiografskog ispitivanja zauzima značajno mjesto među metodama ispitivanja bez razaranja zbog svoje pouzdanosti i trajnosti zapisa.

Uobičajene primjene radiografskog ispitivanja: ispitivanje zavarenih spojeva, ispitivanje otkivaka i odljevaka.

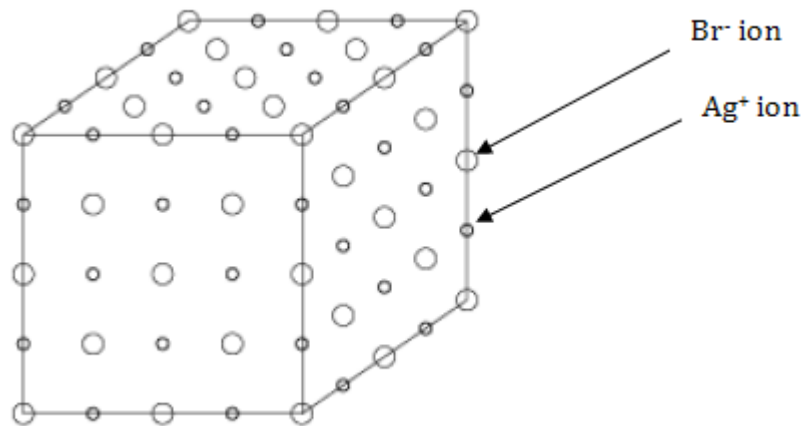
2. Rendgenski fotomaterijal

Fotomaterijal koji je poglavito osjetljiv na rendgensko zračenje zove se rendgenski fotomaterijal. Danas je to rendgenski film.

Rendgenski film može biti jednoslojan ili dvoslojan ovisno o tome ima li jedan ili dva fotosloja.

Rendgenski film je fotografski materijal koji na jednoj ili na objema stranama podloge sadrži fotonanos osjetljiv na djelovanje rendgenskih zraka.

Kristali srebrnog bromida su kubične forme. Ukoliko se kristalizacija odvija u idealnim uvjetima, kristalna je rešetka pravilna, ali je pri tome fotosenzibilnost kristala manja.

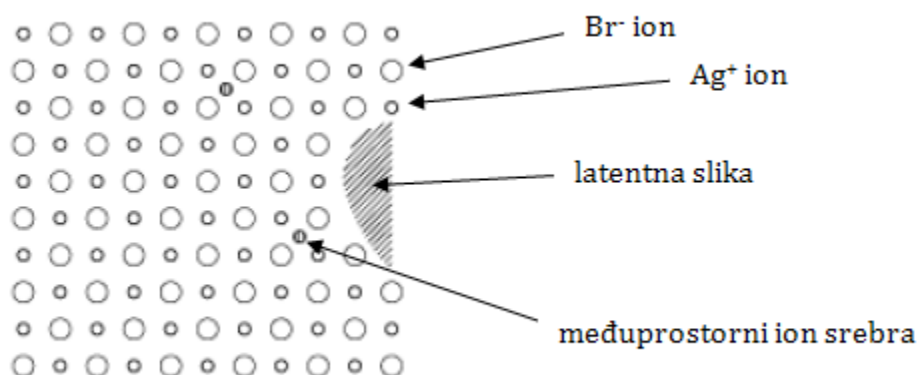


Slika 1: Kristal srebrnog bromida

Stoga se tehnološki kontroliranim poremećajem procesa kristalizacije proizvode defektni kristali (substrukture), što omogućava ulazak nečistoća u kristalnu rešetku. Kristale srebrnog bromida se kontaminira atomima sumpora. Ove nečistoće se nazivaju klice osjetljivosti ili centri onečišćenja kristala. [Medicinski fakultet Rijeka- radiologija]

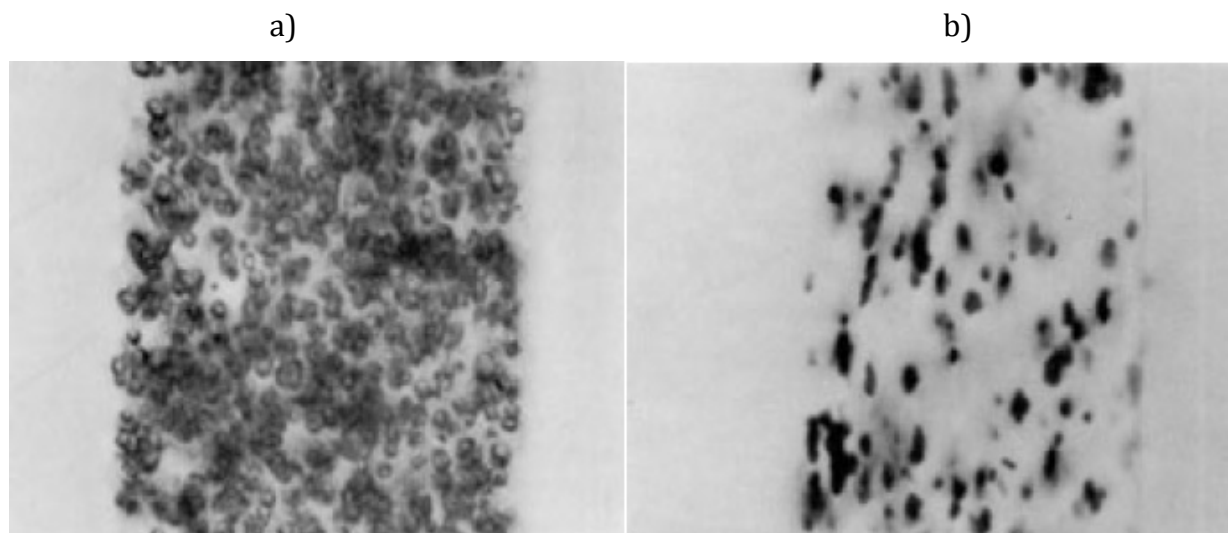
Nastanak latentne slike na rendgenskom filmu se temelji na nakupljanju elementarnog srebra upravo u ovim centrima onečišćenja, budući da se u njima kationi srebra, nakon kemijske obrade, reduciraju u elektroneutralno metalno srebro.

Ime latentna znači da slika postoji, ali se ne vidi već postaje vidljiva tek nakon kemijske obrade.



Slika 2: Shematski prikaz latentne slike

Tehnološka kvaliteta u proizvodnji emulzije ogleda se u prvom redu u sposobnosti jednolikog raspršivanja približno podjednako velikih kristala u emulziji. Postignute tehnološke kvalitete fotosloja su industrijska tajna i opisuju se kao tercijarne senzimetrijske karakteristike nekog filma. U poboljšanje ovih karakteristika danas se investiraju enormna materijalna sredstva jer se upravo s njima postiže prednost na tržištu i iskorak pred konkurentima.



Slika 3: Presjek emulzije na jednoj od strana rendgenskog filma a) prije i b) nakon eksponiranja X-zrakama

Važan sastavni dio fotosloja je želatina u kojoj su raspršeni srebrni halogenidi.

Želatina je polipeptid životinjskog podrijetla koji služi kao nosač fotosenzibilnih kristala zrna emulzije. Želatina ima nekoliko jedinstvenih svojstava koja ju i danas, u doba velikog napretka sintetičke kemije, čine dragocjenom u fotoindustriji.

Osobine želatine su slijedeće:

- a) pod utjecajem vlage tj. uranjanjem filma u tekućinu želatina brzo bubri i povećava debljinu do 10 puta. Pri tome postaje rahla i propusna za procesne kemikalije;
- b) pri bubrenju želatina se strukturalno ne mijenja i ne izobličuje tako da međusobni raspored kristala, a time i latentna slika, tijekom kemijske obrade filma ostaju nepromijenjeni;
- c) otporna je na standardne fotografske kemikalije;
- d) jeftina je i lako dostupna;

- e) izvrsnih je tehnoloških osobina, grijanjem prelazi iz gel u sol stanje tj. iz krutog u polutekuće stanje što omogućava lako i ujednačeno raspoređivanje kristala te nanošenje (nalijevanje) suspenzije na podlogu filma u vrlo tankom sloju;
- f) sušenjem se želatina ujednačeno steže i vraća u čvrstu formu.

Nedostatak želatine je taj što pri naglim promjenama temperature može doći do nepravilnog boranje njezine površine odnosno filma. Zbog tih njezinih mana nastojalo se želatinu zamijeniti drugim materijalima. Tako današnji moderni fotomaterijali ne sadrže više prirodnu želatinu nego umjetne tvari polivinilnog, kazeinskog ili koloidnog sastava.

Podloga filma je samo nosač fotosloja.

Važne osobine podloge su slijedeće:

- a) prozirnost – podloga mora biti prozirna i bez uzorka;
- b) savitljivost i debljina – podloga mora biti što tanja, lako savitljiva i otporna na lomljenje budući da neke tehnologije strojne kemijske obrade filma zahtijevaju jako presavijanje filma;
- c) dimenzionalna stabilnost – podloga se ne smije dimenzionalno mijenjati tj. rastezati i deformirati pod utjecajem vlage, procesnih kemikalija ili povišene temperature (koja kod automatske obrade doseže 34 – 36 ° C). Nestabilna podloga uzrok je izobličenja slike;
- d) bezbojnost – podloge se proizvode bezbojne ili plavo tonirane;
- e) trajnost – procesi dezintegracije ili kemijske interakcije u podlozi ne smiju se pojaviti u roku koji jamči proizvođač;
- f) jednoličnost – podloga mora biti jednolike debljine.

Dvoslojni rendgenski film ima ukupno sedam slojeva.

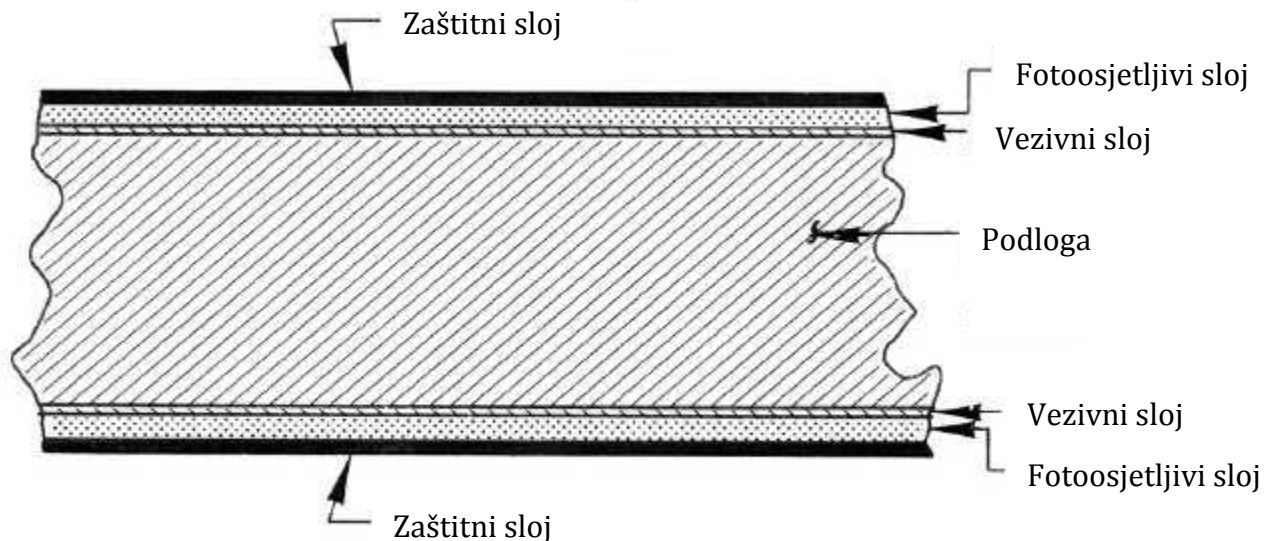
Fotosloj je vezan na podlogu vezivnim ili ljepljivim slojem.

Vezivni ili ljepljivi sloj filma veže fotosenzibilni sloj ili emulziju za podlogu. Građen je od alkoholom omekšane želatine i vrlo je tanak.

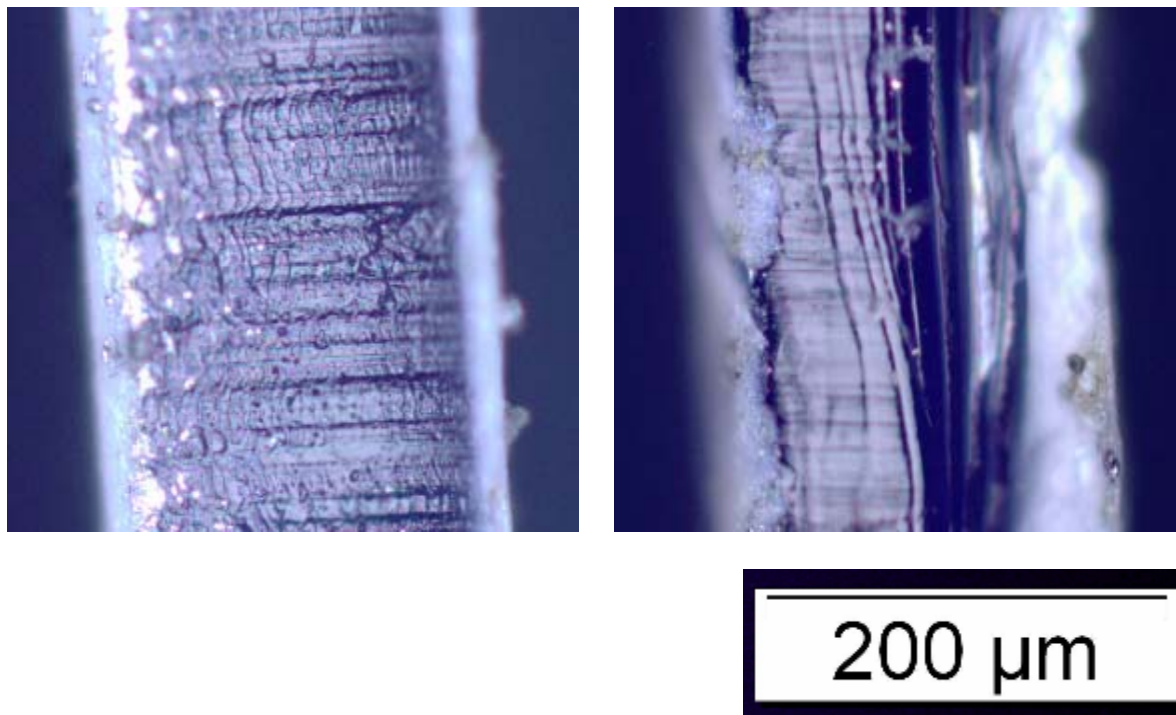
Zaštitni sloj prekriva fotosloj i štiti ga od mehaničkog oštećenja. Građen je od tvrde želatine i vrlo je tanak. [Medicinski fakultet Rijeka- radiologija]

Poredak slojeva dvoslojnog rendgenskog filma:

1. Zaštitni sloj
2. Fotoosjetljivi sloj
3. Vezivni ili ljepljivi sloj
4. Podloga
5. Vezivni ili ljepljivi sloj
6. Fotoosjetljivi sloj
7. Zaštitni sloj



Slika 4: Poredak slojeva dvoslojnog rendgenskog filma



Slika 5: Prikaz presjeka rendgenskog filma dvaju različitih proizvođača
dobiven svjetlosnim mikroskopom

3. Izbor filma

Izbor filma za radiografsku kontrolu ovisi o slijedećem:

- sastav ispitnog materijala, oblik i veličina ispitnog objekta
- vrsta zračenja
- vrsta informacije koja se traži (snimka cijelog objekta ili detalja)
- kvaliteta snimke koja se traži

Gruba podjela filmova u dvije skupine:

1. filmovi za upotrebu s metalnim folijama (Pb) ili bez njih. U ovoj skupini treba još razlikovati finozrnate i grubozrnate filmove.
 2. filmovi za upotrebu sa solnim folijama koji su posebno osjetljivi na vidljivo i ultraljubičasto svjetlo koje pod utjecajem zračenja emitira folija. Filmovi su srednje grube zrnatosti.
- što su zrnca sitnija, vrijeme ekspozicije je duže i veća je osjetljivost filma, a slika je kvalitetnija

4. Kemijska obrada filma

Zadatak kemijske obrade filma je pretvorba latentne slike u stalnu sliku snimljenog objekta.

Osnovni koraci u postupku kemijske obrade filma su:

- razvijanje
- prekidanje razvijanja
- fiksiranje
- ispiranje filma
- sušenje

Prilikom razvijanja se u emulziji filma srebrni halogenidi reduciraju u elementarno srebro, koje je crne boje te zato film na tom mjestu "crni".

Na kvalitetu razvijanja filma utječe:

- vrsta razvijачa i odgovarajuće skladištenje odnosno čuvanje
- vrijeme razvijanja i temperatura razvijачa
- istrošenost odnosno pravilno miješanje u toku razvijanja

Razvijачa ima suhih, kada su kemikalije u kristalima u rinfuzi ili već odvagute u odgovarajućim odnosima tj. pripremljene za otapanje u određenoj količini vode. Postoje također tekućinski koncentraci koji se razređuju običnom vodom.

Osnovni sastavni djelovi razvijачa su:

- kemikalije za razvijanje;
- konzervansi za sprečavanje oksidacije razvijачkih kemikalija sa zrakom;
- alkalija za ubrzavanje procesa razvijanja koji je provodiv samo u alkalnoj (lužnatoj) otopini;

- usporivači za reguliranje razvijanja na takav način da kemikalije najprije djeluju na onaj dio fotografskog sloja koji čini latentnu sliku.



Slika 6: Industrijske kemikalije (fiksir i razvijач)

Proizvođači filmova daju tablično vrijednosti vremena razvijanja u ovisnosti od temperature razvijачa:

T (°C)	18	20	22	24	26	28	30
vrijeme (min)	6	5	4	3,5	3	2,5	2

Tablica 1. Ovisnost vremena razvijanja o temperaturi razvijачa

Standardno vrijeme razvijanja je 5-7 minuta.

Temperatura razvijачa nikad ne bi trebala biti manja od 10 °C, no zbog zadržavanja dobrog kontrasta razvijanje ne treba izvoditi na temperaturi manjoj od 18°C. Previsoka temperatura s druge strane uzrokuje ubrzano oksidiranje razvijачa, čime se znatno skraćuje vijek trajanja otopine.

Povećanjem vremena razvijanja do neke granice gradijent filma raste, a daljnjim povećanjem vremena razvijanja počinje se smanjivati. Uzrok ovome je što se s pretjerano dugim razvijanjem potiče spontano razvijanje svih zrnaca srebrnog halogenida.

Optimalno vrijeme razvijanja ovisi o filmu. Općenito se filmovi finije zrnatosti dulje razvijaju nego grubozrnati.

Što je vrijeme razvijanja kraće to je snimka bolja, ali pri tome treba ipak paziti da se postigne jednoliko razvijeni film i da se ne smanji kontrast.

Na razvijanje također utječe istrošenost razvijача. Za svaki razvijач proizvođač deklarira kolika količina filma se može razviti. Potrebno je voditi evidenciju o količini razvijenih filmova kako bi se znalo kada treba izvršiti regeneraciju razvijача. Regeneracija se provodi dodavanjem svježeg razvijача ili regeneratora. Pri tome treba slijediti uputstvo proizvođača sredstava za kemijsku obradu filma.

Film treba poslije razvijanja staviti u prekidnu kupku, koja osigurava da razvijanje traje točno određeno vrijeme. Kao prekidna kupka se najčešće koristi 2% otopina octene kiseline ili 2% otopina kalijevog metabisulfita. Vrijeme uranjanja filma u prekidnu kupku je oko pola minute pri sobnoj temperaturi.

S povećanjem temperature razvijanje se ubrzava, a gradijent filma se ne mijenja u manjim intervalima promjena. Optimalna temperatura je 20 °C.

Nakon razvijanja i prekidne kupke film se fiksira. Fiksirne soli otapaju halogenide iz emulzije filma koji nisu tokom eksponiranja filma bili aktivirani, pa nisu reagirali s razvijачem i reducirali elementarno srebro.

Osnovni sastavni djelovi fiksira za ručnu kemijsku obradu filma su vodena otopina natrijevog tiosulfata $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ i kalijevog metabisulfita $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_3$, a za automatsku obradu je češća vodena otopina amonijevog tiosulfata $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$.

Vrijeme fiksiranja filma u procesu ručne kemijske obrade filma i automatske obrade je približno 10-15 minuta pri temperaturi od 20 °C.

Načelno je dobro fiksirati film dvostruko duže vrijeme od onog koje je potrebno da se film razbistri u fiksiru, tj. da postane proziran na mjestima niskog zacrnjenja.

Vrijeme fiksiranja određuje i potreba da se iz srebrnog bromida emulzije stvore takvi kemijski spojevi koji će biti topivi u vodi i neosjetljivi na djelovanje svjetla.

Fiksir se na tržištu pojavljuje također u suhom obliku ili tekućem, odvagnutom i pripremljenom za otapanje u vodi.

Uvijek je u pripremi sredstava za kemijsku obradu filma potrebno slijediti pravila i uputstva proizvođača.

Nakon fiksiranja film se ispiru da bi se odstranilo spojeve koji su nastali fiksiranjem, a koji bi u slučaju da zaostanu u emulziji filma uzrokovali kvarenje slike na filmu.

Za istrošenost i regeneraciju fiksira vrijede ista pravila kao za razvijlač.

Ispiranje se vrši uranjanjem filma u tekuću vodovodnu vodu temperature iznad 15 °C u trajanju od 30 minuta ili stajaću vodu u trajanju od 60 minuta temperature iznad 15 °C. Pri tome treba vodu barem dva puta izmjeniti.

Fiksiranje u automatskoj obradi filma traje kraće, a fiksiru se dodaje otvrđivača da ne bi došlo do oštećenja filma u obradi.

Ispiranje filma nakon kemijske obrade ne smije trajati duže od 10 minuta jer se dužim ispiranjem gubi djelovanje otvrđivača. U zadnju tekućinu za ispiranje dodaje se tekući deterdžent u maloj količini tek toliko da se izbjegne nastajanje mrlja ili tragova kapljica pri sušenju filma.

Zadnji korak kemijske obrade filma je sušenje. Sušenje je također važan korak u postizanju dobrog radiograma.

Sušenje radiograma nakon ispiranja može se provesti u prostoriji bez prašine slobodno na zraku ili u sušionicama sa strujom toplog zraka.

U slučaju obrade u istrošenim kupkama doći će do žute mreže, smanjenja kontrasta i obojene mreže kada je istrošen fiksir.

U slučaju stvaranja oksidnog skorupa na razvijaju doći će do svjetlucajućih ploha na radiogramu ili svjetlucanja cijelog radiograma što ometa interpretaciju.

Za potrebe kemijske obrade filma, film se ulaže u ramice za razvijanje. Ramice se jedna za drugom uranjaju u razvijaju u vremenskom razmaku koji je potreban da se nakon razvijanja i prekidne kupke urone u fiksir.

Pri stavljanju ramica u kadu s razvijajem potrebno je osigurati dovoljan razmak između filmova za pravilno miješanje razvijaja i pristizanje svježeg razvijaja u toku razvijanja kako bi se sloj istrošenog razvijaja tik uz površinu filma obnavljao. Ukoliko nije predviđeno automatsko miješanje razvijaja u kadi za razvijanje potrebno je češće ručno potresati film. Potresanje filma uvijek je dobro činiti jer se na taj način odstranjuju mjehurići zraka s površine filma koji mogu biti uzrok lažne greške na radiogramu. Slični postupak dobro je provesti i u tijeku fiksiranja. Ramice se smiju pomicati samo okomito kako se ne bi oštetilo susjedni film.

U postupku prenošenja filma uložnog u ramicu iz razvijaja u prekidnu kupku i fiksir potrebno je paziti na redosljed prenošenja ramica jer se time održava jednoliko vrijeme razvijanja i fiksiranja za svaki pojedini film. Drugo potrebno upozorenje u vezi ove radnje je da se svaka ramica pri premještanju iz kupke u drugu kupku dobro ocijedi nad kadom iz

koje je izvučena jer se time čuva aktivnost kemikalija za obradu tj. ne zagađuje se jedna kemikalija drugom što može djelovati na njenu brzu istrošenost.

Ovi praktični detalji postupka kemijske obrade filma su navedeni radi toga što je poznata činjenica i iskustvo da se kvaliteta radiograma koji je snimljen pažljivo odabranom tehnikom i kvalitetnom opremom te s izvrsno određenim parametrima snimanja, u tijeku kemijske obrade može degradirati, tj. neodgovarajućom kemijskom obradom filma vrlo se lako može poništiti sav prethodni rad. Posljedica degradacije kvalitete radiograma je slabo uočavanje grešaka i dodatno ponavljanje snimanja istog objekta.

Usljed neispravnog rukovanja filmom može doći do oštećenja filma i to prije eksponiranja u tijeku pripreme i poslije eksponiranja u tijeku kemijske obrade filma.

Najčešći uzroci lošeg rukovanja filmom su loša organizacija rada, nečistoća u laboratoriju i nepažnja pri radu.

Usljed loše organizacije rada i nepažnje može doći do ogrebotina na filmu i gnječenja filma, prljanja filma prašinom ili drugim nečistoćama, masnih područja ili otisaka prstiju na filmu.

Ogrebotine će uzrokovati svjetli trag ako je oštećena emulzija, a tamni trag ako je oštećen samo zaštitni sloj.

Gnječenje filma će se na radiogramu vidjeti kao svjetli trag ako se je dogodilo prije eksponiranja, a ako je do gnječenja odnosno bilo kakvog oštećenja emulzije došlo nakon eksponiranja, na radiogramu će se pojaviti u vidu lažne greške, tj. kao veće zacrnjenje.

Osvjetljenje filma uslijed loše zaštite vidjet će se kao zacrnjenje neoštrih rubova poput oblaka ili dima, odnosno zraka sa centrom najčešće na rubovima radiograma.

[Oprema i pribor za radiografsku kontrolu]

5. Skladištenje filma

Pri lošem skladištenju filma može doći do oštećenja filma. Oštećenja filma mogu izazvati različite posljedice. Uzroci oštećenja su najčešće toplina, vlaga i ionizirajuće zračenje. Ionizirajuće zračenje je prisutno kada se filmovi skladište blizu ili u laboratoriju u kojem se odvija snimanje, a pri tome nije osigurana dobra zaštita od zračenja.

Skladište za ne eksponirane rendgenske filmove trebalo bi omogućiti odgovarajuću zaštitu od bilo koje vrste zračenja. Ako su filmovi uskladišteni dulje od 3 mjeseca, zračenje u okruženju ne smije prelaziti 90 nGy/h. Filmovi bi trebali biti skladišteni na način da filmovi stoje u bočnom položaju, kad god je to moguće. Temperatura skladištenja bi trebala biti između 4 °C i 24 °C uz relativnu vlažnost zraka od 30% do 60 %.

[GE – Inspection Technologies]

Potrebno je osim toga paziti da u skladište ne ulaze razni plinovi koji se javljaju uslijed proizvodnje u neposrednoj blizini (npr. zavarivanje, lijevanje i slično).

Gornji neodgovarajući uvjeti skladištenja na filmu dovode do oštećenja emulzije i razvoja bakterija u emulziji. Kada je prisutno ionizirajuće zračenje tada dolazi do eksponiranja koje se nakon kemijske obrade javlja kao siva mrena na filmu. Eksponiranje može unijeti i lažne greške ovisno o mediju i homogenosti medija kroz koji se je probilo do filma.

Toplina i vlaga oštećuju emulziju na takav način da se pri kemijskoj obradi ljušti ili hrapavi. Bakterije će na radiogramu ostaviti trag u obliku crnih točkica koje se ne smiju zamijeniti s eventualnom poroznošću materijala.

Starenjem, film dobiva sivu mrenu i povećano zacrnjenje.

Uzrok slabljenja kvalitete filma je također predugo skladištenje odnosno starost filma. Radi toga je potrebno voditi evidenciju o starosti filma i za svaku istovjetnu količinu osigurati atestni radiogram kojim se dokazuje zahtjevana kvaliteta filma.

6. IKR – indikator kvalitete radiograma

Norme definiraju način određivanja stupnja kvalitete radiograma i uvjete za njegovu interpretaciju. U skladu s Europskim normama, kvaliteta se ocjenjuje pomoću etalona od kojih je najčešće u uporabi u Europi žičani indikator kvalitete radiograma (IKR). Etalon IKR ima 7 međusobno paralelnih žica duljine 50 mm ili 25 mm, međusobne udaljenosti 5 mm, smještenih u kućište od slabo apsorbirajućeg materijala. Promjer žica se mijenja geometrijskom progresijom. Svakom promjeru žice pripada odgovarajući redni broj od 1-19 oznake W, u skladu s prikazom u tablici 2.

Indikator kvalitete radiograma se izrađuje iz materijala koji je identičan ili, s obzirom na apsorpciju rendgenskih zraka, ekvivalentan materijalu predmeta koji se ispituje.

Indikator kvalitete radiograma se stavlja na predmet koji se snima i na stranu okrenutu izvoru zračenja, na krajevima radiograma. Samo u slučaju ako pristup nije moguć strani okrenutoj izvoru zračenja, smije se IKR postaviti na stranu filma. Ali, u tom slučaju, mora se položaj IKR posebno naglasiti u izvještaju o snimanju. Tada se preporuča snimiti i dodatni radiogram na pristupačnom mjestu i to sa IKR smještenim na obje strane predmeta koji se snima.

Svaki indikator kvalitete radiograma nosi oznaku broja najtanje pripadajuće žice i oznaku materijala za čije grupe je namijenjen, prikazano u tablici 3.



Slika 7: Indikatori kvalitete radiograma

w1	IKR			Promjer žica			Razmak žica
	w6	w10	w13	BZ	∅, mm	tolerancija	a, mm
X				W 1	3,20	± 0,03	9,6 ^{+1,0}
X				W 2	2,50		7,5 ^{+1,0}
X				W 3	2,00		6 ^{+1,0}
X				W 4	1,60	± 0,02	5 ^{+1,0}
X				W 5	1,25		
X	X			W 6	1,00		
X	X			W 7	0,80		
	X			W 8	0,63		
	X			W 9	0,50	± 0,01	
	X	X		W 10	0,40		
	X	X		W 11	0,32		
	X	X		W 12	0,25		
		X	X	W 13	0,20		
		X	X	W 14	0,16	± 0,005	
		X	X	W 15	0,125		
		X	X	W 16	0,100		
			X	W 17	0,080		
			X	W 18	0,063		
			X	W 19	0,050		

Tablica 2. Indikatori kvalitete radiograma (IKR)

IKR	IKR prema tablici 1	Materijal	Za ispitivanje mat.
W1CU W6CU W10CU W13CU	W1 – W7 W6 – W12 W10 – W16 W13 – W19	BAKAR	bakar, cink i legure cinka
W1FE W6FE W10FE W13FE	W1 – W7 W6 – W12 W10 – W16 W13 – W19	ČELIK	čelični materijali
W1TI W6TI W10TI W13TI	W1 – W7 W6 – W12 W10 – W16 W13 – W19	TITAN	titan i njegove legure
W1AL W6AL W10AL W13AL	W1 – W7 W6 – W12 W10 – W16 W13 – W19	ALUMINIJ	aluminij i njegove legure

Tablica 3. IKR za razne materijale

Stupanj kvalitete radiograma utvrđuje se prema najtanjoj vidljivoj žici u zoni od interesa.

Za ocjenu kvalitete radiograma potrebno je također izmjeriti zacrnjenje radiograma na određenim dijelovima radiograma i ustanoviti druge parametre kojima se jedan radiogram smatra zadovoljavajućim za interpretaciju. Za određivanje zacrnjenja i pregled radiograma potrebni su uređaji iluminator i denzitometar.

7. Iluminator

Iluminator je izvor svjetlosti koji služi za pregled radiograma. Svjetlost dobivena iluminatorom koja služi za potrebe pregleda mora biti:

- jednolika, dakle vremenski konstantnog inteziteta
- difuzna, dakle jednoliko raspršena unutar prostora
- definirane jačine

Osim toga iluminator mora imati mogućnost promjene rasvjete i mogućnost trenutnog prekida jake rasvjete u trenutku promjene radiograma kako bi se spriječio prolaz intenzivne svjetlosti u oko kontrolora. Također, iluminator mora biti opremljen dovoljnim i prikladnim maskama koje omogućuju da pri pregledu radiograma svjetlost ne prolazi pored radiograma već samo kroz površinu radiograma koja se interpretira. Konstrukcija i karakteristike iluminatora definirane su normama. Luminancija iluminatora značajno utječe na dobro uočavanje što znači pouzdanu interpretaciju radiograma.

D	1	1.5	2	3	3,5	4
J_{\min} (cd/m ²)	300	1000	3000	10000	30000	100000

Tablica 4. Minimalna vrijednost luminancije J_{\min} iluminatora za razne stupnjeve zacrnjenja

Svjetlost iluminatora u principu treba biti bijela. Dozvoljeni interval valnih duljina je od 520 nm do 600 nm. Raspršenost svjetlosti mora biti takva da oba oka promatrača primaju svjetlost sa svakog mjesta osvijetljene površine.

Hlađenje u iluminatoru sprječava povišenje temperature kućišta i svjetleće površine iluminatora iznad 60 °C. Norme propisuju da radiogram određenog zacrnljenja nakon potrebnog vremena za interpretaciju ne smije pokazivati znakove deformacije ili oštećenja uslijed zagrijavanja jakim svjetlošću iz iluminatora. Boljim odvodom topline osigurava se i dulji radni vijek iluminatora. Definirana je i gornja granica buke koju smije doseći iluminator u radu, npr. 40 dB. [Oprema i pribor za radiografsku kontrolu]



Slika 8: Iluminator

8. Denzitometar

Denzitometar je uređaj koji služi za mjerenje zacrnljenja bilo koje točke na radiogramu. Tipovi denzitometra koji se najčešće koriste mjere područja površine 1mm^2 . Raspon mjerenja zacrnljenja kreće se od 0 do 4.

Kod denzitometra je važno periodičko podešavanje. Posebno se treba obratiti pozornost u rasponu od 2 - 2,3 pošto to odgovara vrijednostima minimalnog zacrnljenja (ovisno o kojoj klasi kvalitete radiograma se radi - A ili B klasa) koju radiogram mora imati s obzirom na standard EN 444. Zadovoljavanjem navedenih uvjeta radiogram će se pravilno interpretirati.

Klasa	Zacrnljenje
A	$\geq 2,0$
B	$\geq 2,3$
Dozvoljeno odstupanje u mjerenju $\pm 0,1$	

Tablica 5. Zahtijevano zacrnljenje radiograma

Uz denzitometre dobivamo i "trakice osjetljivosti" koje služe za podešavanje uređaja. Podešavanje nužno mora biti izvršeno barem jedanput godišnje. Trakice osjetljivosti najviše se troše kada dolazi do pmicanja unutar prozirne kutije u kojoj se čuvaju. Rok upotrebe nikad nije duži od 6 mjeseci. AGFA je razvila "Denstep" klinasti film zacrnljenja, koji se isporučuje u posebnom pakiranju koje znatno produžuje vijek trajanja. Te trakice su certificirane i imaju garantni rok upotrebe od 4 godine. "Denstep" ima ukupno 15 koraka koji sadrže raspon zacrnljenja od 0,3 – 4. [AGFA- NDT]



Slika 9: "Denstep"

Postoje komercijalni i industrijski (profesionalni) denzitometri. Kod industrijskih denzitometara se očekuje konstantna eksploatacija pa su izrađeni po standardima visoke kvalitete (24 satna eksploatacija).



Slika 10: Postoje različite izvedbe denzitometara

9. Kontrola procesa kemijske obrade filma

Kontrola procesa kemijske obrade filma pomoću referentnih vrijednosti provodi se u svrhu kontrole postupka kemijske obrade filma kod izvođača ispitivanja.

Potrebna oprema:

- iluminator za industrijsku radiografiju
- tamna komora
- kade i kemikalije za obradu filma
- kontaktni termometar
- zaporna ura (štoperica)
- denzitometar

Osim navedene opreme još su potrebni:

- certificirani pred-eksponirani filmovi (s certifikatom proizvođača, certified PMC-strips, 6x24 cm)
- pred-eksponirani filmovi za određivanje referentnih indeksa (6x24 cm)
- otopina tio-test reagensa
- usporedni karton sa referentnim stupnjevima obojanja, dobavljen od proizvođača filma

Provođenje postupka:

Vrši se izmjerama gustoće zacrnljenja na propisanim mjernim mjestima na pred-eksponiranim filmovima razvijenim po uputama proizvođača, izračunavanjem propisanih značajki, te njihovom usporedbom sa značajkama iz certifikata proizvođača. Potrebno je razdvojiti tzv. obavezne provjere i kontrolne provjere.

Obavezna provjera:

Obavezna provjera se vrši nakon svake promjene kemikalija, prije početka kemijske obrade filma. Kemikalije u kadi za kemijsku obradu filma potrebno je zagrijati na temperaturu

navedenu na certifikatu proizvođača pred-eksponiranog filma i promiješati kemikalije radi izjednačavanja temperature te sačekat da se otopina umiri. Nakon toga potrebno je kontaktnim termometrom provjeriti temperaturu otopine i po potrebi izvršiti dogrijavanje ili hlađenje. Zatim treba uključiti sigurnu rasvjetu i zatvoriti tamnu komoru te pažljivo otvoriti pred-eksponirani film za obaveznu provjeru i izvršiti kemijsku obradu filma u skladu s podacima navedenim u certifikatu proizvođača. Na suhom filmu potrebno je korištenjem iluminatora i denzitometra odrediti sljedeće gustoće zacrnljenja:

- D_0 – gustoća zacrnljenja mreine filma (podloga + emulzija) na stepenici 0
- D_x – gustoća zacrnljenja na stepenici X, čija je gustoća zacrnljenja najbliža vrijednosti 2,0 bez zacrnljenja mreine filma (uobičajeno stepenica 3)
- D_{x+4} – gustoća zacrnljenja na 4. stepenici od stepenice X, gledano u smjeru porasta gustoće zacrnljanja (uobičajeno stepenica 7)



Slika 11: Certificirani pred-eksponirani film (certified PMC-strip)

Na svakoj stepenici potrebno je izvršiti tri mjerenja na tri mjesta, a za proračune je potrebno koristiti srednju vrijednost. Značajke koje se određuju su zacrnljenje mreine filma D_0 , indeks brzine S_x i indeks kontrasta C_x .

Vrijednost zacrnljenja mreine filma D_0 mjerena na stepenici 0 treba biti manja od 0,3. Indeks brzine filma S_x računa se po formuli:

$$S_x = D_x - D_0$$

Izračunati indeks brzine filma ne smije odstupati od vrijednosti za referentni indeks brzine S_r naveden u certifikatu za više od $\pm 10\%$. Indeks kontrasta C_x računa se po formuli:

$$C_x = (D_{x+4} - D_x) \cdot \frac{S_r}{S_x}$$

Izračunati indeks kontrasta ne smije odstupati za više od -10% ili $+15\%$ od vrijednosti za referentni indeks kontrasta C_r naveden u certifikatu.

Kontrolnim provjerama prati se kvaliteta kemijske obrade filma kroz određeno vrijeme, te su pripremne radnje u tamnoj komori iste kao i kod obavezne provjere. Prvi korak je određivanje referentnih vrijednosti. Nakon izmjene kemikalija potrebno je po specificiranom postupku proizvođača kemijski obraditi tri pred-eksponirana filma (PMC strip, bez certifikata) za kontrolne provjere.

Kontrolna provjera – referentne vrijednosti:

Na svakom filmu nakon sušenja potrebno je korištenjem iluminatora i denzitometra odrediti:

- D_0 – gustoća zacrnjenja mreine, stepenica A
- indikator brzine filma – gustoća zacrnjenja $D \approx 2,0$, stepenica B
- indikator kontrasta – gustoća zacrnjenja stepenice C ($D \approx 3,5$) $D_C - D_B$

Na svakoj stepenici potrebno je izvršiti tri mjerenja na tri različita mjesta. Za proračun se koristi srednja vrijednost, a dobivene vrijednosti smiju imati odstupanja od $\pm 0,1$. Postupak se ponavlja 3 puta, s vremenskom zadržkom od 24 sata između pojedinih postupaka. Za svaki parametar potrebno je odrediti srednju vrijednost od ukupno 9 izmjera dobivenih na prethodno opisan način i te vrijednosti predstavljaju referentne vrijednosti za praćenje kvalitete kemijske obrade filma.

Radne provjere:

Nakon određene količine razvijenih filmova potrebno je kemijski obraditi jedan pred-eksponirani film za kontrolne provjere i odrediti parametre. Postupak kemijske obrade filma smatra se zadovoljavajućim ako su dobiveni parametri slijedeći:

- gustoća zacrnljenja stepenice A nije veća od 0,3
- indikator brzine filma ne odstupa više od $\pm 0,3$ od referentnog indikatora
- indikator kontrasta ne odstupa više od + 15% i - 10% od referentnog indikatora

Ako se obaveznom ili kontrolnom provjerom utvrde odstupanja parametara veća od navedenih bez obzira na osvježavanje – nadoljevanje kemikalija, potrebno je izvršiti izmjenu kemikalija. Bez obzira na rezultate provjera kemikalije se moraju izmjeniti nakon određene količine razvijenih filmova ili nakon isteka roka trajanja, u skladu s preporukama proizvođača kemikalija.

[CeNI – Hrvatski centar za nerazorna ispitivanja – predavanja RT]

10. Provjera trajnosti filma (arhiviranje)

Postupak se u literaturi skraćeno naziva TIO-TEST.

U postupku se provjerava količina preostalih tiosulfata u filmu koji izravno utječu na stabilnost slike i sposobnost arhiviranja, što znači da se posredno kontrolira kvaliteta fiksiranja i ispiranja filmova.

Oprema potrebna za izvođenje testa:

- pred-eksponirani film (s certifikatom proizvođača)
- standardna oprema za kemijsku obradu filma

- zaporna ura (štoperica)
- otopina 10 g srebrnog nitrata (AgNO_3) i 30 g octene kiseline (CH_3COOH) u 1 l destilirane vode (ispitna otopina)
- usporedni karton s referentnim stupnjevima obojanja, dobavljen od proizvođača filma

Provođenje postupka:

U ovom postupku koristi se pred-eksponirani film upotrebljen za obaveznu provjeru. Zatim se na neozračeni, prazan dio filma kapne 1 kapljica ispitne otopine, te se nakon dvije minute ukloni suvišak preostale tekućine upijajućim papirom, bez trljanja i brisanja. Postupak je potrebno ponoviti i na drugoj strani filma, na mjesu nasuprot prvog testa. Nastala mrlja se uspoređuje s prikazima na karti dobavljenoj od proizvođača filma, te se ovisno o boji mrlje određuje rok arhiviranja filma.

[CeNI – Hrvatski centar za nerazorna ispitivanja – predavanja RT]



Slika 12: Thio test

11. Pakiranje filmova

Pojedinačni filmovi- nekada su rendgenski filmovi bili dostupni samo kao pojedinačni filmovi tako da je takva vrsta pakiranja i dalje ostala najviše u upotrebi.

Umetnuti: Svaki film je isporučen umetnut pojedinačno u papir za dodatnu zaštitu za vrijeme postupka rukovanja. Za većinu dimenzija, jedinično pakiranje je 100 listova podijeljeno u 2 x 50 listova. Film se ulaže u metalne ili plastične kazete ili u držače za ekspoziciju, sa ili bez olovnih folija.

Ne-umetnuti: Ovaj način pakiranja se obično isporučuje u paketu od 100 listova i koristi se za upotrebu kad se film umeće u metalne ili plastične kazete ili u držače za ekspoziciju, sa ili bez olovnih folija.

Pb Contactpack (KODAK): Ovaj način pakiranja sadrži filmove smještene između olovnih folija debljine 27 μm u svjetlosno nepropusnu, vodootpornu savitljivu kazetu. Vakuum unutar kazete osigurava kontakt film/folija. Kazeta je laserski pripremljena za lakše otvaranje. Oznaka vrste filma naznačena je na kazeti, ali i na samom filmu. Kazeta nema suvišak na kraju te je takva izvedba vrlo korisna kada u otežanim uvjetima slika mora doći točno na rub filma. Ovako pakirani proizvod je spreman za uporabu, otporan na vodu i ulje te je pogodan za eksponiranje u bilo kojem trenutku.

READY-PAC II film (KODAK): Ovi filmovi su pojedinačno vakumirani u svjetlosno nepropusne, vodootporne savitljive kazete. Kazeta je laserski pripremljena za lakše otvaranje. Oznaka vrste filma naznačena je na kazeti, ali i na samom filmu. Kazeta nema suvišak na kraju te je takva izvedba vrlo korisna u otežanim uvjetima, kada slika mora doći točno na rub filma.

Rol film:- vrsta pakiranja pogodna za snimanje zavara na cilindričnim uzorcima kao što je npr. ispitivanje trupa aviona pri čemu je moguće ispitivanje cijelog opsega pri jednoj eksponaži na način da se izvor zračenja stavi u centar tog opsega (panoramska tehnika). To se može napraviti i s pojedinačnim filmovima, ali s ovom vrstom pakiranja postupak je puno jednostavniji.

READY PACK (KODAK): Ovaj film se isporučuje pakiran kao dugi, između dva svjetlosno nepropusna žuto-crna papira polietilenske zaštite. Role su duljine 60- ili 100 metara različitih širina. Film se isporučuje u kutiji i reže se na zahtijevane dimenzije u tamnoj komori.

LEAD-PACK (KODAK): Ovaj način pakiranja sadrži film između olovnih folija debljine 27 μm unutar duge svjetlosno nepropusne polietilenske košuljice. Role su duge 100 metara i reže se na zahtijevane dimenzije u tamnoj komori.

NIF bulk roll (KODAK): Ovaj način pakiranja sadrži film namotan na kolut duljine 150 metara dostupan u tri širine: 60 mm, 70 mm i 100 mm. Ovaj film mora biti umetnut u kazete u tamnoj komori. [www.nawoo.com]



Slika 13: Prikaz nekih od mogućih vrsta pakiranja filmova

Na tržištu postoje različiti proizvođači filmova za industrijsku radiografiju. U tablici 6. prikazani su proizvodi tvrtke KODAK i pripadajuće zamjene drugih proizvođača filmova sa istim karakteristikama.

KODAK INDUSTREX film	Klasifikacija			Zamjena		Dostupni formati						
	EN	ASTM	ISO	Agfa	Fuji	Pojedinačno			Rola			
						Ne - umetnuti	READY - PACK	Pb contactpack	NIF Rolls (bulk)	LEAD PACK	READY - PACK	
DR50	C1	Special	T1	D2	IX25	x						
M100	C2	Klasa I	T1	D3	IX50	x	x	x				x
MX125	C3	Klasa I	T2	D4	IX50	x	x	x	x	x	x	x
T200	C4	Klasa I	T2	D5	IX80	x					x	
AA400	C5	Klasa II	T3	D7	IX100	x	x	x	x	x	x	x
HS800	-	-	-	D8/F8	IX150	x				x		

Tablica 6. KODAK INDUSTREX filmovi za industrijsku radiografiju

12. Greške pri rukovanju filmovima za industrijsku radiografiju

Greške na filmu uzrokovane pritiskom



Slika 14: Greška na filmu uzrokovana pritiskom

Uzrok ove greške je, kao što je i iz naziva vidljivo, sam pritisak. Mjesto na kojem je film, na bilo koji način, bio pritisnut ocrta se na filmu kao svjetlije područje od ostatka radiograma što znači da je to područje slabijeg zacrnljenja.

Greške zbog savijanja filma (prije eksponiranja i nakon eksponiranja)

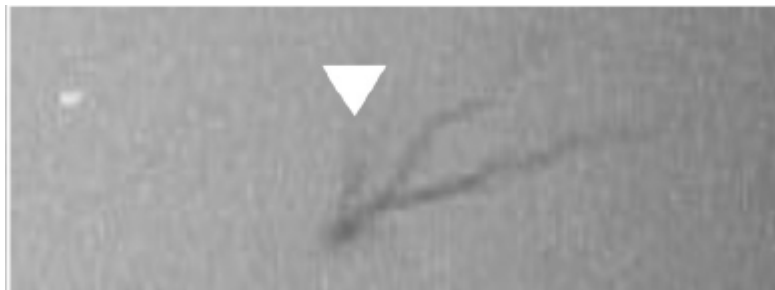


Slika 15: Greška uzrokovana savijanjem filma a) prije i b) nakon eksponiranja

Uzrok ove greške je savijanje filma. Do ovakve pogreške dolazi zbog nestručnog rukovanja filmom kao što je primanje filma noktima. Ispravno prenošenje filma treba izvesti na način da ne dolazi do prevelikog savijanja. Na filmu se ta pogreška vidi kao "polumjesec". Ukoliko

je do savijanja došlo prije eksponiranja taj otisak ocrtava se kao svjetliji polumjesec što znači da je zacrtnjenje manje nego na ostatku filma, dok se nakon eksponiranja ta ista greška ocrtava kao tamniji polumjesec što znači da je zacrtnjenje veće.

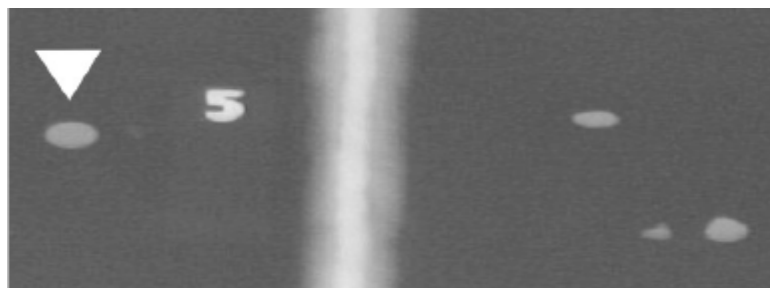
Greške na filmu zbog pojave statičkog elektriciteta



Slika 16: Greška na filmu zbog pojave statičkog elektriciteta

Zbog pojave statičkog elektriciteta dolazi do greške na filmu koja se ocrtava kao zvjezdasta pukotina. Ti nepravilni zvjezdasti oblici su većeg zacrtnjenja od ostatka filma. Do pojave statičkog elektriciteta dolazi zbog prebrzog izvlačenja filma iz kasete. Statički elektricitet se može spriječiti na način da se filmovi pohranjuju u prostorije gdje relativna vlažnost zraka ne prelazi 40%.

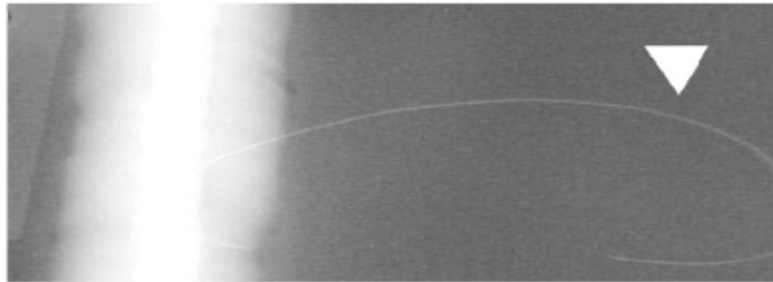
Greška uzrokovana kontaktom filma s fiksirom prije razvijanja



Slika 17: Greška uzrokovana kontaktom filma s fiksirom prije razvijanja

Kada film dolazi u kontakt s fiksirom prije razvijanja pojavljuju se greške na istom u obliku svijetlih mrlja koje su slabijeg zacrnjenja od preostalog dijela filma. Do toga kontakta dolazi slučajnim prskanjem fiksira. Do pojave takvih svijetlih mrlja može doći i zbog korištenja mokrih ramica u koje se ulažu filmovi kako bi se izvršila kemijska obrada filma.

Greške vidljive kao tanka svijetla linija



Slika 18: Greška vidljiva kao tanka svijetla linija

Uzrok ovoj pogrešci može biti vlas kose ili prašina koja uspije ući u kasetu s filmom prilikom pripremanja filma na željenu dimenziju, u tamnoj komori, za korištenje. Može se spriječiti na način da se radno mjesto drži čistim i urednim.

Kako bi se smanjio broj grešaka s filmovima treba oprezno rukovati i držati se propisanih uputa. [NDT Images-KODAK]

13. Izvještaj o ispitivanju

Za svaki radiogram ili seriju radiograma mora biti sastavljen izvještaj o ispitivanju u kojem su navedeni podaci o primijenjenoj radiografskoj tehnici i o bilo kojoj posebnoj okolnosti, potrebnoj za bolje razumijevanje rezultata. Pojediniosti o obliku i sadržaju izvještaja bi trebale biti utvrđene posebnom normom za primjenu ili bi trebale biti odobrene od ugovornih partnera. Ako se ispitivanje provodi isključivo po normi EN 444, izvještaj o ispitivanju mora sadržavati najmanje slijedeće podatke:

- a) naziv mjesta ispitivanja
- b) jasno označen broj izvještaja
- c) predmet ispitivanja
- d) materijal
- e) faza proizvodnje
- f) nazivna debljina
- g) tehnika prozračavanja i klasa
- h) uporabljeni sustav označivanja
- i) plan položaja filma, ako se traži
- j) izvor zračenja, vrsta i veličina žarišta i uporabljeni uređaji
- k) odabrani film-sustavi, folije i filtri
- l) napon i struja cijevi, ili aktivnost izvora zračenja
- m) vrijeme ozračavanja i razmak izvor zračenja-film
- n) vrsta i položaj indikatora kvalitete radiograma
- o) podatak o stupnju kvalitete radiograma i minimalnom zacrtnjenju filma
- p) usuglašenost s EN 444
- q) odstupanje od primijenjene norme
- r) ime, certifikacija i potpis odgovorne osobe (-a)
- s) datum snimanja i datum sastavljanja izvještaja [EN 444]

14. Zaključak

Postoje razni proizvođači filmova za industrijsku radiografiju. Filmovi mogu biti raznih karakteristika ovisno o kvaliteti koju zahtjeva naručitelj ispitivanja ili je propisana nekom od normi.

Potrebno je oprezno rukovati filmovima, prema uputama proizvođača, da ne bi došlo do mehaničkog oštećenja filma, kako prije tako i nakon eksponiranja. Nastala oštećenja mogu prouzročiti pogrešnu interpretaciju radiograma.

Pogrešna interpretacija radiograma znači da ispitivani objekt može biti dobro zavaren, a operater kontrole bez razaranja ga protumači lošim, što uzrokuje nepotrebni dodatni trošak u vidu radnih sati zavarivača, elektroda, reznih ploča i sl. Kada je film oštećen baš na kritičnom mjestu (mjestu zavara) tada je potrebno ponoviti radiografsko ispitivanje čime se operateri KBR-a nepotrebno ponovno izlažu zračenju.

Potrebno je osigurati i dobro skladištenje radiograma kako bi se on mogao ispravno interpretirati i nakon više godina, u svrhu vještačenja, ako bi se dogodila havarija.

15. Literatura

Radiography in modern industry

AGFA NDT priručnik

NDT Images – KODAK

GE – Inspection Tehnologies

Oprema i pribor za radiografsku kontrolu

CeNI – Hrvatski centar za nerazorna ispitivanja – predavanja RT

Norma EN 444

Medicinski fakultet Rijeka- radiologija-predavanja

Internet materijali