

## DETEKTORI X- ZRAKA U MEDICINSKOJ DIJAGNOSTICI

### X-RAY DETECTORS FOR MEDICAL IMAGING

Vladimir Minić, Siemens Healthcare sector, Sarajevo  
Mirza Salihović, Siemens Healthcare, Sarajevo

**Sadržaj** – Još od samog otkrića 1895. godine (Wilhelm Conrad Roentgen) X-zraci su našli široku primjenu u medicinskoj dijagnostici. Više od 60 godina film je bio osnovni medij koji se koristio za prikaz slika nastalih pomoću x-zraka. Savremeno doba donosi nove tehnologije i neprestalni razvoj detektora X-zraka kojij omogućavaju digitalizaciju i puno veću efikasnost u medicinskoj dijagnostici. Najčešće primjenjivani načini detekcije, CCD i CR sistemi, ravni FD i superbrzi UFC detektori, kao i njihove tehničke karakteristike opširnije su prikazane u ovom radu..

**Abstract** – Since the discovery of the 1895<sup>th</sup> years (Wilhelm Conrad Roentgen) X-rays have found wide application in medical imaging. More than 60 years the film was the main medium used to reproducing images made using X-rays. Modern era brings new technologies and the development of repeatedly X-ray detectors that enable the digitization and much greater efficiency in medical imaging. Most commonly applied methods of detection as CCD and CR systems, Flat panel FD and Ultra fast ceramic UFC detectors as well as their technical characteristics more are presented in this paper.

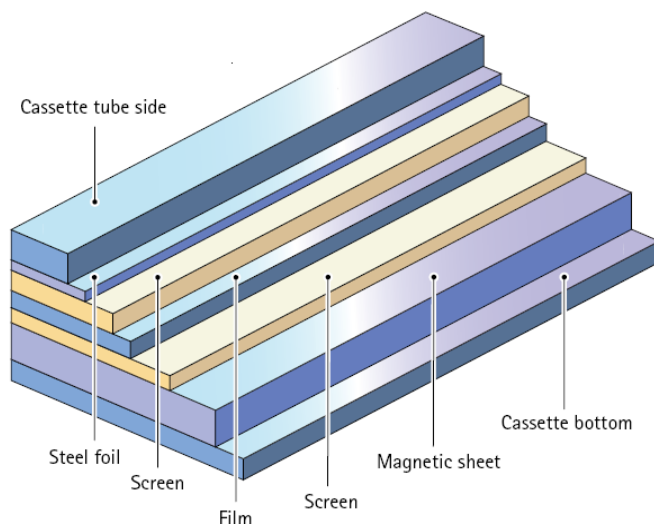
#### 1. UVOD

Rendgenske ili X-zrake su otkrivene gotovo slučajno. Krajem 19. vijeka u mnogim univerzitetskim laboratorijama za fiziku ispitivana je vodljivost elektrona kroz velike djelimično vakumske staklene cijevi. Tako je i Wilhelm Conrad Roentgen u svojoj laboratoriji u Wurzburgu (Njemačka) 8.12.1895. ispitujući osobine elektrona u Crookesovoj vakumskoj cijevi gotovo slučajno primijetio do tada nepoznatu pojavu. Nedaleko od cijevi na stolu nalazila se ploča prekrivena Barijevim platinocijanidom koja je počela da fluorescirati, intezitet fluoresciranja se pojačavao kako se ploča približavala cijevi pa je Roentgen bio gotovo siguran odakle potiču zraci koji proizvode ovaj efekat . Wilhelm Roentgen je ove zrake nazvao X-zrake a kasnije u čast ovom velikom naučniku ovi zraci su nazvani rendgen zraci. Gotovo odmah prepoznata je mogućnost upotrebe ovih zraka u medicinskoj dijagnostici.

#### 2. KLASIČNA FILM - TEHNIKA

Više od 60 godina film (folija osjetljiva na svjetlost) je bio osnovni medij korišten za prikazivanje medicinskih slika u dijagnostici nastalih pomoću X-zraka. Ova klasična analogna metoda sastoji se iz dva osnovna dijela. Izlaganja filma dejstvu X-zraka (eksponiranju) i razvijanju filma (hemijski proces) da bi se dobila vidljiva slika na filmu. Rendgenski film se sastoji iz više čvrsto povezanih slojeva prikazanih na

sl. 1 smještenih u kasetu za film. Kasetu ili kućište za film omogućava da se film sačuva od uticaja spoljašnje svjetlosti (*cassette tube and bottom side*). Film se sastoji od dvije pojačavačke folije (*screen*) koje imaju sposobnost da veoma efikasno prihvate X-zrake i pretvore ih u svjetlost na koju emulzija filma puno bolje reaguje i film sa osjetljivom emulzijom (*film*). Intezitet X-zraka se smanjuje u zavisnosti kroz kakav materijal prolaze (mekano tkivo ili kosti). Ostatak koji prođe kroz pacijenta ostaje registrovan na emulziji filma koja je sačinjena od kristalnih soli nekih teških metala koje fluoresciraju.



Slika 1. Struktura izrade rendgenskog filma

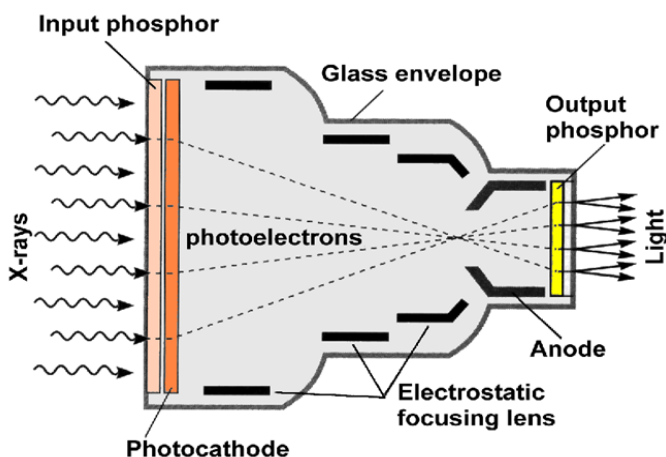
Nakon ovog procesa na filmu nastaje latentna slika. Razvijanje filma se obavlja u mračnoj komori određenim hemijski procesom. Razvijatelj je vodeni rastvor četiri sastojka redukativne supstance, alkalija, zaštitnog sredstva i usporavača. Na kraju slika postaje vidljiva i korisna za dijagnostiku dijela tijela na kojem se vrše pretrage. [1]

Ovakav način detekcije nije veoma efikasan, međutim zbog jedinstvene prostorne rezolucije ova tehnika se još uvijek koristi kako u klasičnoj radiografiji tako i kod stomatoloških rendgenskih aparata.

Digitalizacija ovako nastalih slika moguća je pomoću CR (*Computed Radiography*) sistema. Kod ovakvih sistema film je sačinjen od foto stimulativnih materijala, npr. fosfora i čitača koji analognu sliku skenira i pretvara u digitalnu formu. Ovakvi sistemi omogućavaju arhiviranje i lakšu upotrebu slika.

### 3. CCD-SISTEMI SA POJAČAVAČEM SLIKE

Jedan od sistema koji se veoma često koristi za detekciju X-zraka kod fluoroskopije, standardne radiografije kao i angio- i kardiografije jest sistem sa pojačavačem slike. Pojačavač slike je složeni elektronski uređaj koji prihvata X-zrake i pretvara ih u svjetlost pojačavajući joj intenzitet. Tehnički to je staklena cijev ispunjena vakuumom, smještena u metalno kućište.

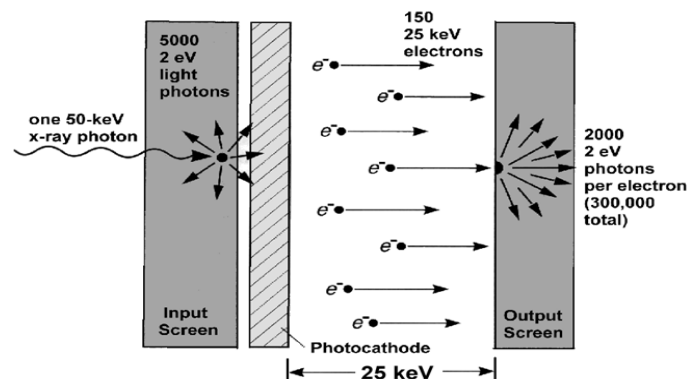


Slika 2 Pojačavač slike

Snop X-zraka koji prođu kroz pacijenta pada na površinu prekrivenu kristalima cezijum-joda (Sintilator)<sup>2</sup> koji X-zrake pretvara u svjetlost. Foto-katoda stvara snop elektrona "elektronsku sliku", koji se pomoću sistema elektrostatičkih sočiva usmjerava prema izlaznom dijelu.

Napon, unutar pojačavača, reda 25-35 kV kontroliše veličinu i rasipanje snopa elektrona tako da ga usmjerava prema izlaznom dijelu. Na izlazu se nalazi sloj uglavnom sačinjen od kristala cink-kadmijuma koji ponovo pretvara elektrone u fotone. Tako nastala svjetlost se optičkim vlaknima i kroz

sistem sočiva preko ogledala za razdvajanje snopa prenosi do TV lanca sa kamerom i CCD čipom. Na kraju složenog procesa dobijamo medicinsku sliku prikazanu na ekranu.

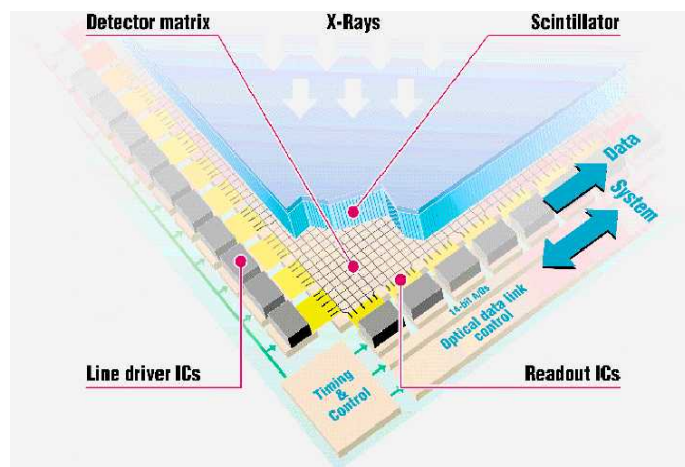


Slika 3. Pojačavački efekat unutar II uređaja

Noviji sistemi sa ovakvim tipom detekcije X-zraka uz računarsku nadogradnju omogućavaju potpunu digitalizaciju, arhiviranje, brzu i jednostavnu obradu i upotrebu slika, što je i konačan cilj savremene medicinske dijagnostike.

### 4. RAVNI FD DETEKTORI

Digitalna radiografija i savremeni sistemi detekcije danas u velikoj mjeri zamjenjuje klasičnu analognu tehniku izrade medicinskih slika nastalih pomoću X-zraka. Nove tehnologije i materijali omogućili su razvoj novih tipova detektora X-zraka, a među njima su i ravni detektori (*Flat Panel Detector*) FPD. Osnovni princip rada i način izrade prikazan je na slici 4.



Slika 4 Ravni detektor (FPD)

Kod ovog tipa detektora sintilator se najčešće izrađuje od kristala cezijuma ili gadolinijuma veličine reda 6-10 $\mu$ m.

Osnovna uloga sintilatora je prihvatanje i pretvaranje X-zraka u vidljivu svjetlost (proces varničenja ili iskrenja). Ispod sintilatora nalazi se sloj koji čine nizovi TFT tranzistora (a-Si *thin-film-transistors*). Tačnije svaki pixel matrice detektora sastoji se od fotodiode povezane sa TFT prekidačem. I kod ovog detektora proces sintilacije se odvija na isti način kao kod prethodnog detektora. Kristali cezijuma pretvaraju X-zrake u svjetlost. Ovako nastalu svjetlost sistem fotodiode pretvara u električni signal koji se pojačava i analogno-digitalnim pretvaračem pretvara u digitalnu vrijednost za svaki pixel posebno. Tipična veličina pixela je 200x200 μm.[2]

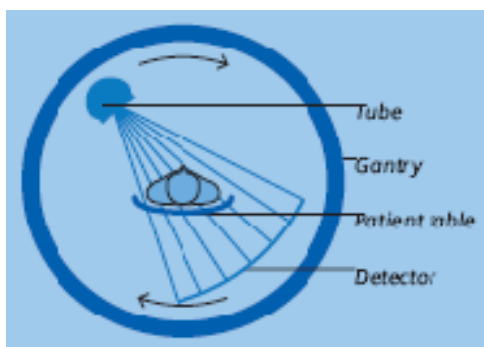
U zavisnosti od toga za koji tip medicinske pretrage se koriste, ravni detektori se izrađuju u različitim veličinama. Korištenje ovog tipa detektora donosi mnoge prednosti. Brža dijagnostika, kraće vrijeme ispitivanja, smanjeni troškovi i najvažnija prednost mogućnost obrade digitalnih slika naprednim računarskim metodama.

## 5. SUPER BRZI DETEKTORI (UFC)

Najveću ekspanziju u medicinskoj dijagnostici proteklih nekoliko godina doživjela je kompjuterizovana tomografija (CT). CT- aparati postaju nezamjenjivi dijagnostički alat koji svakodnevno spašava živote ljudi širom svijeta. Zahvaljujući tehničkim poboljšanjima razvijaju se mnoge savremene metode koje doprinose bržoj i kvalitetnijoj dijagnostici.

Princip rada ovih skenera zasnovan je na veoma brzom i efikasnoj rekonstrukciji digitalnih slika nastalih pomoću X-zraka.

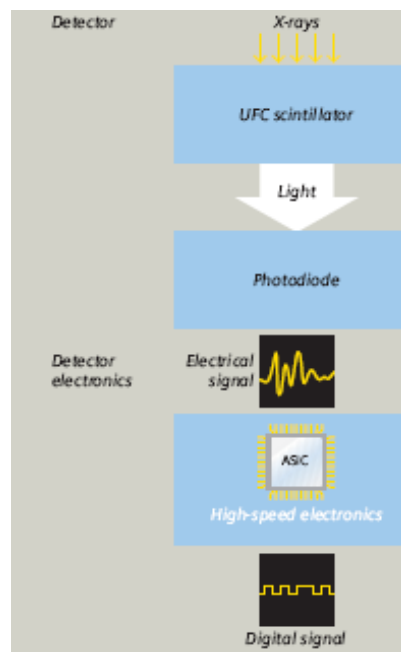
Tokom CT skeniranja rendgenska cijev se nalazi na suprotnoj strani od detektora i tako pozicionirani sinhrono se okreću oko tijela pacijenta (slika 5).



Slika 5. Princip CT- skeniranja

Energija X-zraka koji prođu kroz tijelo selektivno se smanjuje u zavisnosti od debljine tkiva kroz koje prolaze. Princip pretvaranja X-zraka u vidljivu svjetlost je opisan u prethodnim slučajevima. I kod ovog tipa detektora sintilator je zadužen za prijem i pretvaranje fotona X-zraka u fotone vidljive svjetlosti. Fotodiode pretvaraju vidljivu svjetlost u električni signal, a detektorska elektronika pretvara slabo

mjerljivi električni signal u digitalni signal sa visokom preciznošću. Nakon toga ovakav signal se kroz optička vlakna velikom brzinom prenosi do procesora slike. Složeni računarski sistem obrađuje podatke i generiše sliku visoke rezolucije u realnom vremenu. Ovaj superbrzi proces moguće je ostvariti samo uz idealnu geometriju snopa zraka, velikog broja precizno izrađenih detektora (uobičajeno između 512 i 768 detektora) i detektorskom elektronikom koja radi ekstremno velikom brzinom (10Gb/s, ASICs).



Slika 6. Proces pretvaranja X-zraka u digitalnu sliku

CT dijagnostika je veoma zahtjevna pa je zbog toga od velike važnosti kvalitet detektora koji se ugrađuje u ove uređaje. Iz tog razloga malo više pažnje posvetio sam ovom tipu detektora.

### Definicije kvalitetnog detektora :

- Visoka efikasnost

Keramički sintilator mora istovremeno prihvatiti X-zrake smanjene energije i pretvarati ih u vidljivu svjetlost.

-Velika brzina odziva

Tokom pretvaranja X-zraka u svjetlost sintilator iskri (počinje da sjaji), što prije dođe u prvobitno stanje to je prije u mogućnosti da obradi novu dozu zračenja koja u našem slučaju predstavlja nove informacije o pacijentu.

-Visoka rezolucija

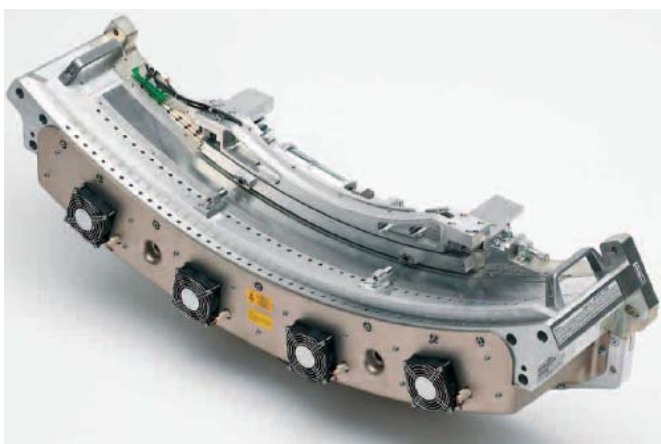
Visoka rezolucija slike kod CT- skeniranja omogućava nam prepoznavanja više detalja na tijelu pacijenta. Ova karakteristika je u direktnoj zavisnosti od broja detektora i detektor linija.

-Kvalitet slike

Pored visoko kvalitetne geometrije snopa zraka sistem detektora je od presudnog značaja za dobar kvalitet slike.

Samo dobra efikasnost materijala od kojeg je izrađen detektor i visoka preciznost obrade podataka omogućuju dobar kvalitet slike u realnom vremenu sa minimalnom dozom zračenja na pacijenta, što je i glavni cilj.[3]

Složeni proces izrade superbrzih detektora započinje proizvodnjom keramičkog praha od kojeg se izrađuje sintilator. Veoma precizno prah se presuje i siječe u tanke listiće u čije proreze se postavljaju trake reflektujuće folije i pločice koje smanjuju rasipajuće zračenje. Nakon toga pločice sintilatora se povezuju sa fotodiodom. U završnoj fazi nizovi ovako izrađenih elemenata detaljno se testiraju i ugrađuju u kućište zajedno sa detektorskom elektronikom. Testiranje svakog elementa pojedinačno i njihovo precizno pozicioniranje garantuju dobar kvalitet slike.



Slika 7. Detektorski sistem Siemensovih CT- skenera

## 6. ZAKLJUČAK

Tehnološki razvoj i nova informatička dostignuća dovela su do razvoja nove ere savremene medicinske dijagnostike. Svaki moderni odjel radiologije danas je nezamisliv bez novih digitalnih aparata koji obezbjeđuju potpunu digitalizaciju, uvođenje RIS, PACS, HIS sistema, evaluaciju i arhiviranje slika. Polako, ali sigurno stari analogni sistemi zamjenjuju se novim digitalnim koji omogućuju kvalitetniju obradu dijagnostičkih slika uz znatno manje doze zračenja pacijenta. Ovaj proces ne bi bio moguć bez razvoja novih tipova detektora. Upotrebom (UFC) superbrzih detektora Siemensovi CT- skeneri sa 30 % manjom dozom zračenja na pacijenta ostvaraju bolji kvalitet slike nego ranije. Takođe, prednosti upotrebe ravnih detektora (FPD), koji se primjenjuju u Siemensovim sistemima klasične radiografije i mamografije jesu : više dijagnostičkih informacija na slici, primjena manjih doza zračenja, što je veoma bitno za zaštitu pacijenta, tehničara i doktora, konstantniji kvalitet slike, napuštanje klasične film-tehnike i jednostavno arhiviranje i prezentovanje slika.

## LITERATURA

- [1] Zlatko Merkeš, *Radiologija*, 1983.
- [2] [www.siemens.com/medical](http://www.siemens.com/medical)
- [3] Dr. Xiaofeng Zhang, Prof. Nadine Smith i Prof. Andrew Webb, Penn State University, *Medical Imaging*, 2008.

## POJMOVI

- 1 Fluoresciranje - vrsta luminescencije pojave hladnog zračenja svjetlosti (fotona)
- 2 Sintilator - materijali koji pod dejstvom X-zraka imaju sposobnost da iskre, tj. stvaraju vidljivu svjetlost