

# **Fizika X-zračenja**

# Šta bi trebalo da znamo:

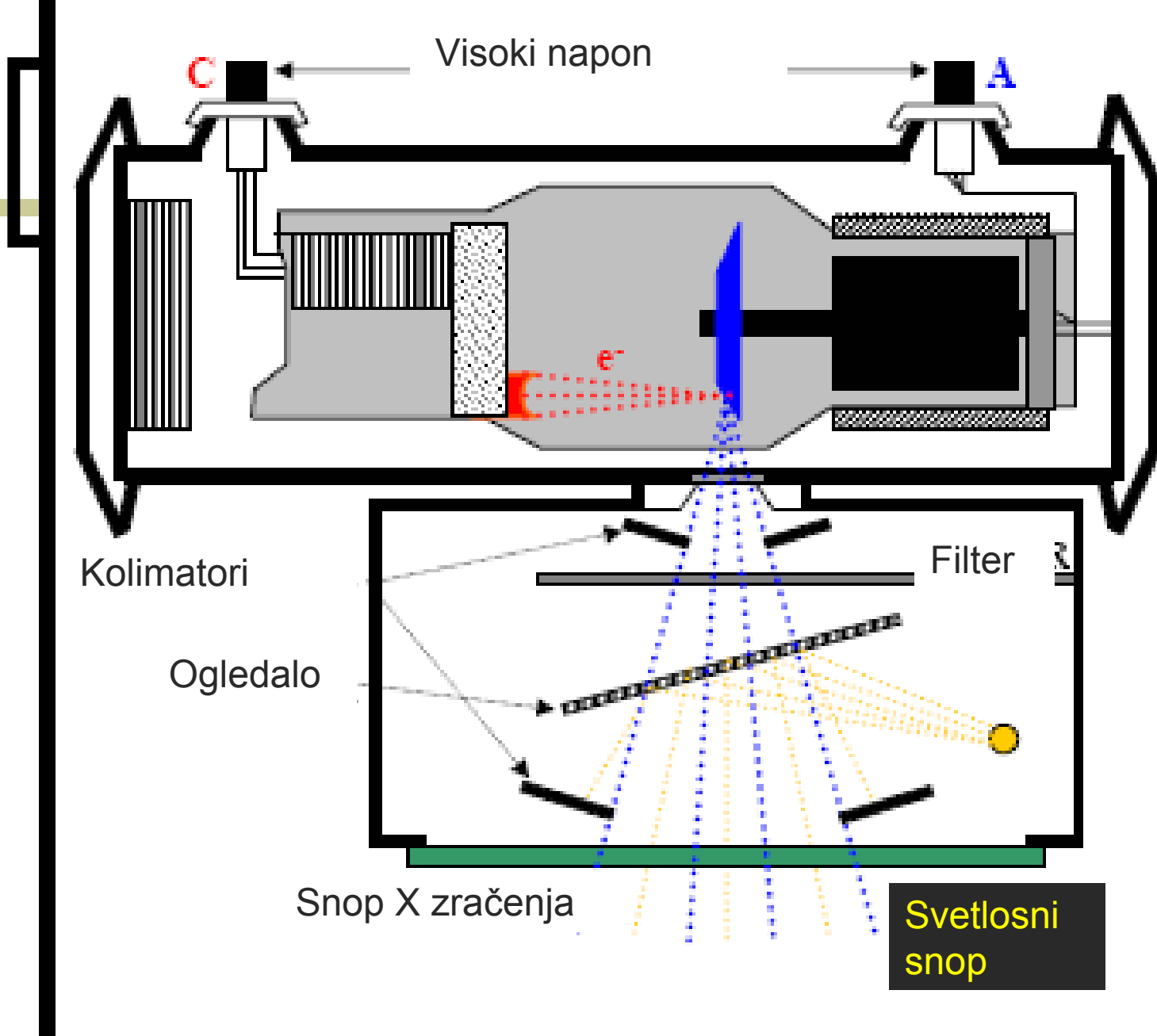
- **Cev – kako se proizvodi X-zračenje**
- Ljudsko telo- kako X zračenje interaguje sa tkivom
- Slika – kako X-zračenje interaguje sa filmom
- Procesiranje filma Ili slike

# [ Definicija X-zračenja ]

- Elektromagnetsko zračenje
- Ponaša se kao foton karakterisan talasnom dužinom i energijom
- Putuje pravolinijskom putanjom brzinom svetlosti
- Nema masu ni naelektrisanje pa se ne može usmeriti u magnetnom polju
- Energije u dijagnostici (20-150)kVp
- Pri interakciji sa materijom proizvode sekundarne i tercijarne elektrone
- Jonizuju sve vrste materijala
- Uzrokuju biološke efekte

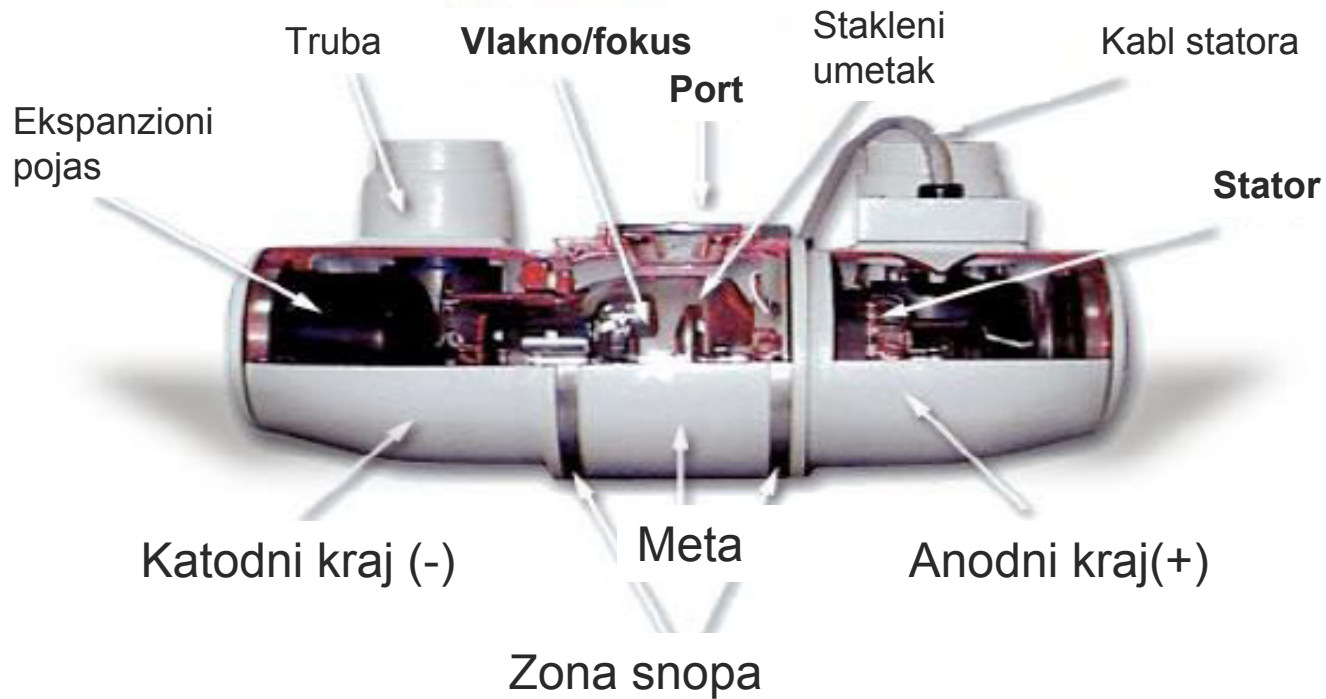
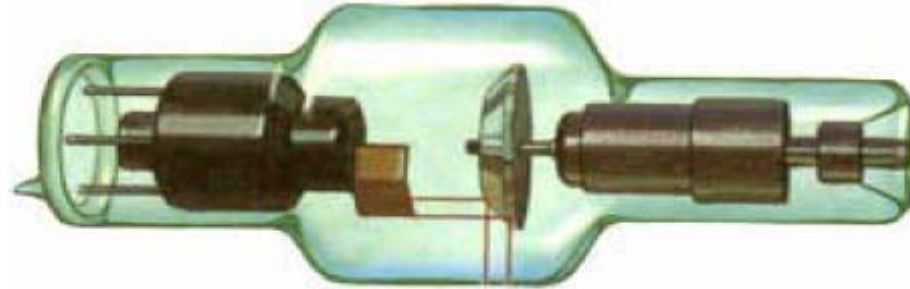
# [ Medicinska primena X-zračenja ]

- Dobijanje radiografskog filma (klasična i interventna dijagnostika)
- Dinamička radiografija-fluoroskopija
- Mamografija
- Tomografija
- Kompjuterska radiografija
- Kompjuterska tomografija



- Broj elektrona zavisi od temperature vlakna
- Intenzitet snopa X-zračenja zavisi od materijala anode (veće Z, veća temperatura, veći intenzitet snopa)
- $Z_W=74$ ,  $T_{\text{topljenja}}=3400\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Struja elektrona koji udaraju u metu je reda (100 – 500) mA
- Gubitak el.snage:  
 $P=UI=100\times 10^3[\text{V}]\times 500\times 10^{-3}[\text{A}]=50\text{ kW}$  (99 % toplota)

# [ Proizvodnja X-zraka ]



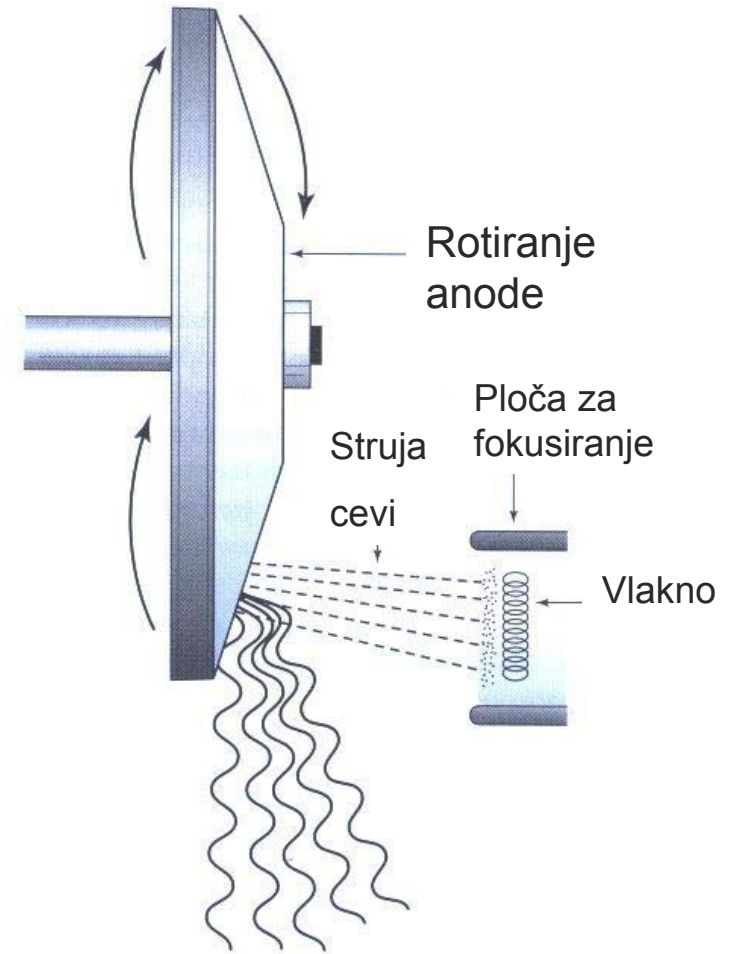
# Komponente Rtg cevi

- **Katoda**: užareno vlakno koje predstavlja izvor elektrona koji se kreću u pravcu anode
  - **Vlakno od volframa**
- **Anoda** (**stacionarna ili rotirajuća**): udarena snopom elektrona emizuje X-zrake
- Metalno **kućište cevi** okruženo staklom (electroni putuju u vakuumu)
- **Zaštitni oklop** (zaštita od rasejanog zračenja)



# Proizvodnja X-zraka

- Kada se pokrene rotor
  - Naelektriše se vlakno i izaziva termojonsku emisiju (e- oblak)
  - Započinje rotacija anode.
- Elektroni na meti proizvode X-zračenje



# Zagrevanje mete

- e-udaraju u metu i stvaraju X zrake na dva načina:
  - Karakteristično X-zračenje na materijalu mete (W), za napone cevi preko 70 kVp
  - Bremsstrahlung (zakočno) X-zračenje nastaje usporavanjem elektronskog snopa na meti
    - < 70 kVp – 100% zz
    - > 70 kVp – 85% zz

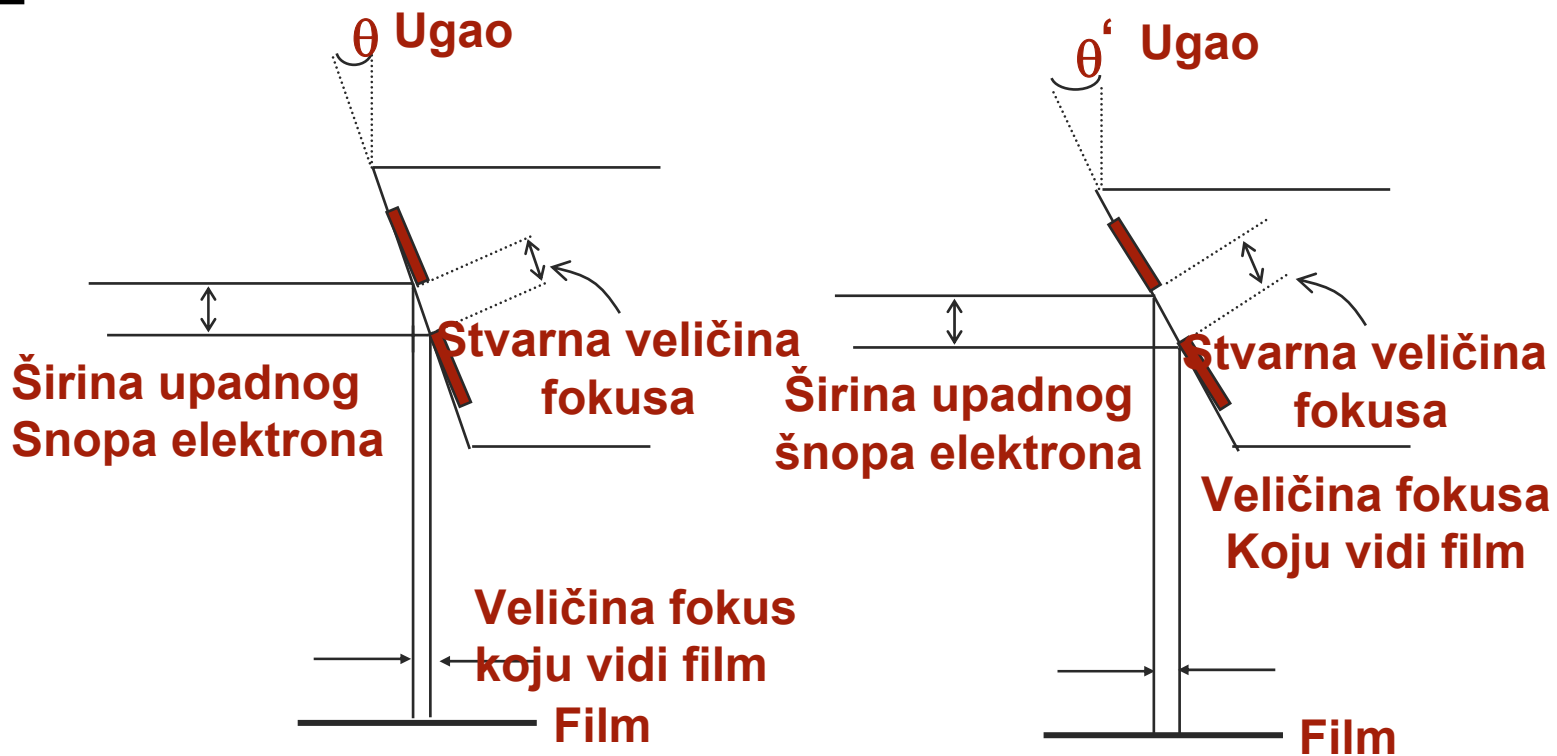
# [ Struktura katode (I) ]

- ✉ Savremene katode imaju 2 vlakna
  - 📄 dugačko : veća struja/manja rezolucija
  - 📄 kratko : niža struja/veća rezolucija
- ✉ Kulonova interakcija divergira elektronski snop na putu ka anodi
  - 📄 Manjak elektrona koji će proizvesti X-zrak
  - 📄 Koristi se veća površina
  - 📄 Raste veličina fokus ⇒ slabija rezolucija slike
- ✉ Krucijalno je fokusiranje elektrona

# [ Anoda ]

- Materijal : volfram, renijum, molibden, grafit
  - Fokalna tačka(fokus): površina anode u koju udaraju elektroni
  - Brzina rotacije: (3000-12000)obrtaja u minuti
  - **Debljina ⇒ mase i materijala (zapremina) ⇒ toplotni kapacitet**
- Termalne karakteristike anode
- Vreme zagrevanja
  - Kriva vremena zagrevanja
  - Kriva vremena hlađenja

# [ Ugao anode ]



**MANJI UGAO  
BOLJA REZOLUCIJA**

# [ Hil efekt anode ]

- Ugao anode od  $7^\circ$  do  $20^\circ$  indukuje razliku u profilu polja levo i desno od ose snopa
- Veličina uticaja zavisi od :
  - **Ugla anode**
  - **Veličine filma**
  - **Rastojanja fokus-film**
- Starenje anode pojačava hil efekt
- Hil efekt može da bude pozitivan (kod mamografije, snimanja torokalne kičme..)

# Veličina fokusa i geometrija slike

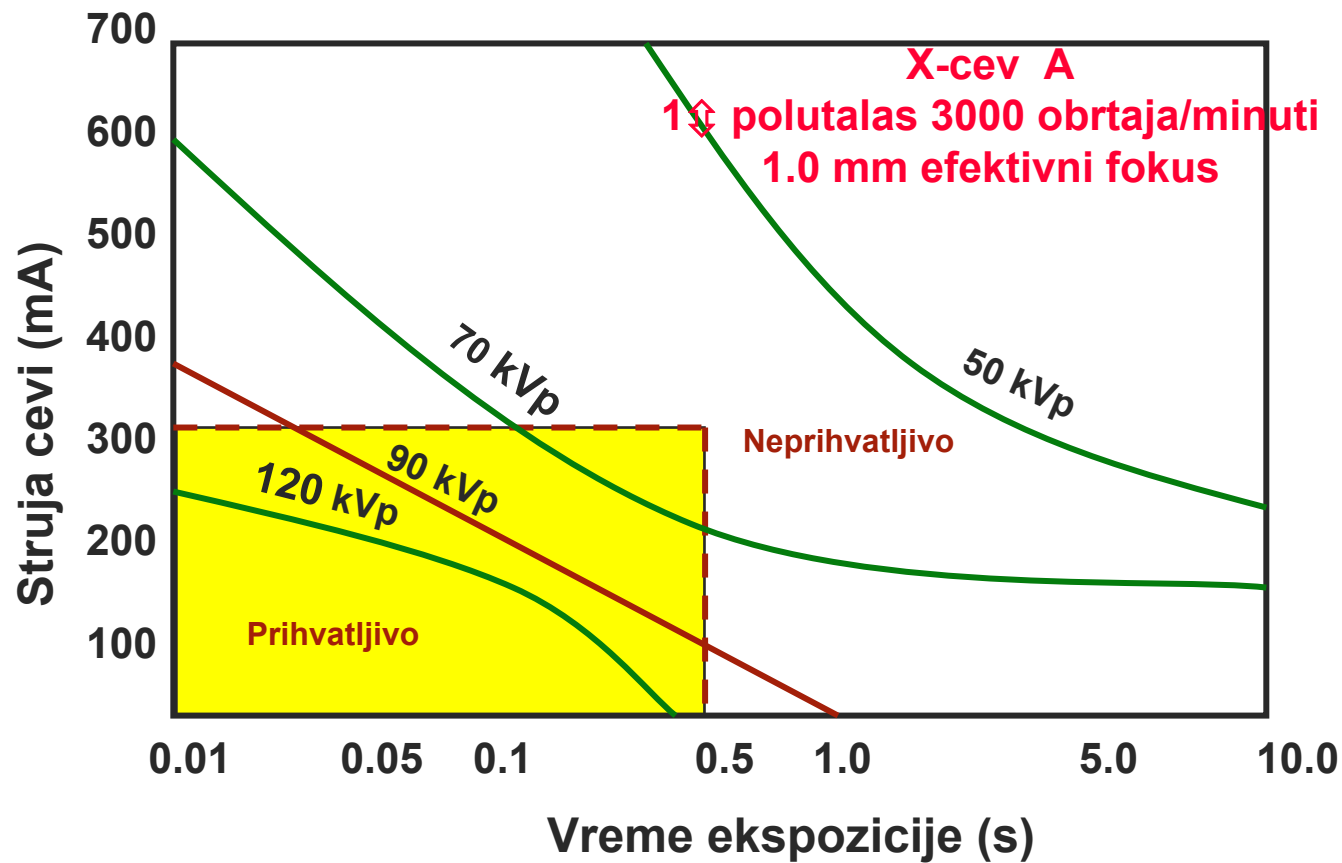
- Veći fokus  $\Rightarrow$  nejasna slika
- Poboljšanje oštrote slike  $\Rightarrow$  smanjenjem veličine fokusa
- Veličina fokusa u mamografiji  $\leq 0.4$  cm
- Mali fokus  $\Rightarrow$  smanjuje radijacioni izlaz cevi (potrebna duža ekspozicija)
- Veći fokus – kraća ekspozicija
- Veći fokus za organe koji se “pomeraju”

# [ Toplotni kapacitet ]

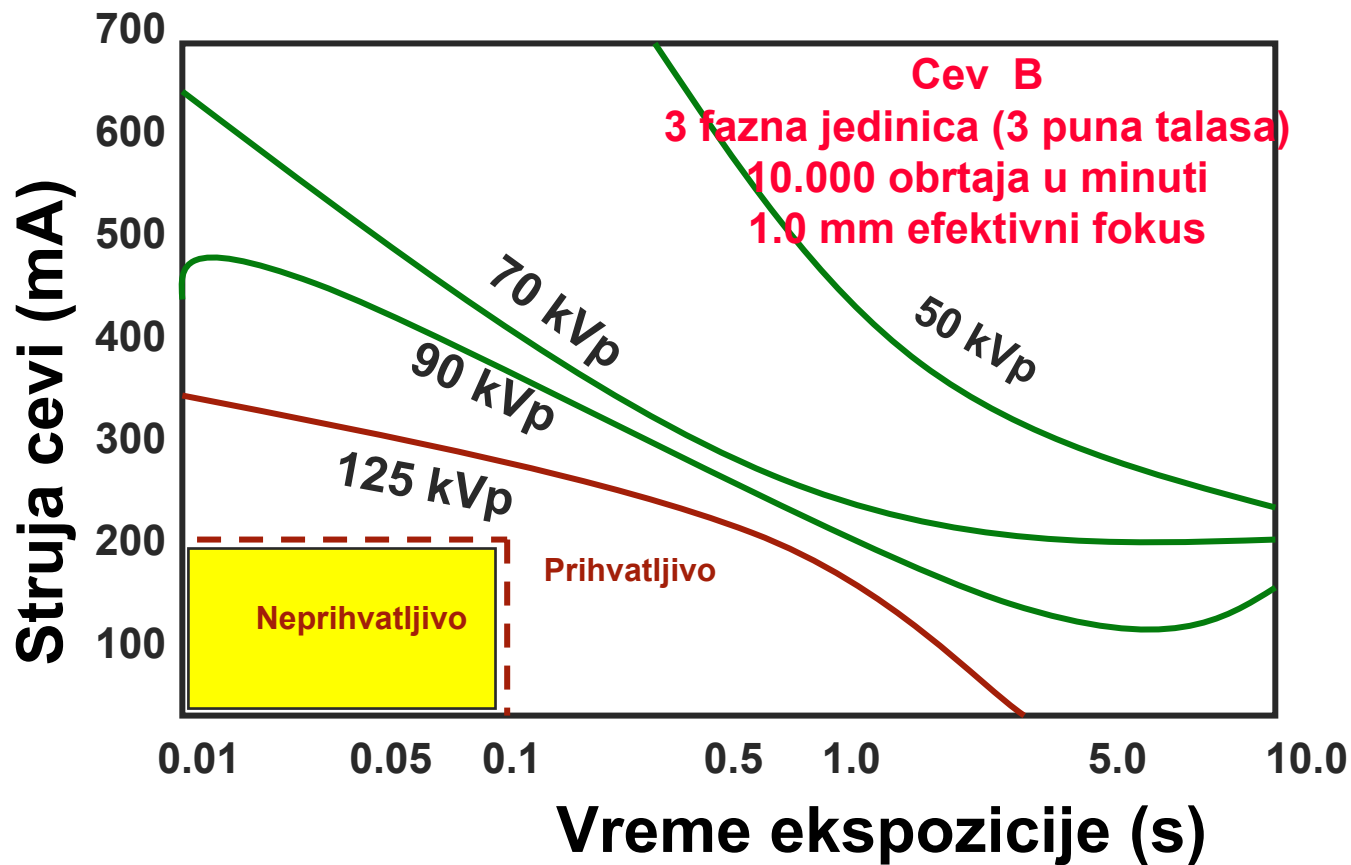
- Procedura generisanja toplote zavisi od:
  - kV , struje cevi (mA) i dužine ekspozicije
  - Talasnog oblika napona
  - Broja ekspozicija napravljenih u nizu
- Heat Unit (HU) [joule] :  
**Jedinice napona x jedinica struje x jedinica vremena = [kV] x [mA] x [s]**
- Tip cevi:
  - 1 –fazna jedinica (zabranjena)       $HU = kV \times mA \times s$
  - 3 fazna jedinica, 6 pulse :       $HU = 1.35 kV \times mA \times s$
  - 3 fazna jedinica, 12 pulse:       $HU = 1.41 kV \times mA \times s$



# [ Karta jačine anode ]



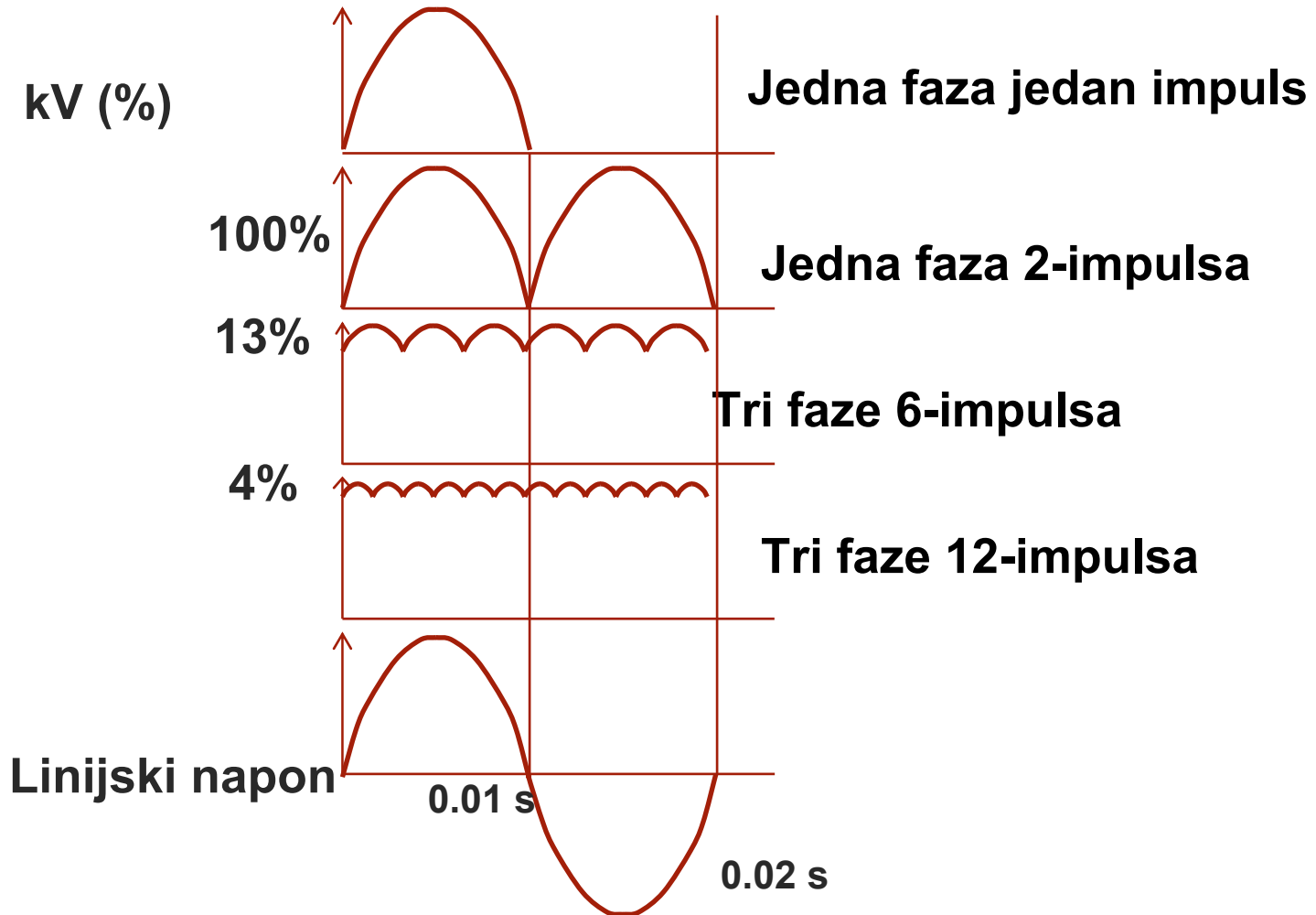
# [ Karta jačine anode ]



# Talasni oblik izlaza generatora

- Konvencionalni generatori
  - Jednofazni 1- $\phi$  1-pulsni (zubni i mobilni sistemi)
  - jedno  $\phi$  2-pulsni (duplo pojačanje )
  - Tro- $\phi$  6-pulsni
  - tro  $\phi$  12-pulsni
- Generatori konstantnog potebcijala (CP)
- HF generatori (koriste DC čopere da konvertuju 50 Hz u kHz opseg- “ tehnologija pretvarača”)

# Talasni oblik cevi



# Zračenje emitovano iz cevi

- **Primarno** zračenje : pre interakcije fotona
- **Rasejano** zračenje : posle najmanje jedne interakcije
- **Curenje** zračenja : zračenje koje nije apsorbovao štit (kućište)cevi
- **Transmitovano** zračenje : ono koje stiže posle prolaska kroz materiju → **Protivrasejavajuća rešetka**

# [ Doza zračenja na filmu ]

$$D = k_0 \cdot U^n \cdot I \cdot T$$

- **U** : napon pika (kV)
- **I** : struja cevi (mA)
- **T** : vreme ekspozicije (ms)
- **n** : konstanta u opsegu od **3** za 150 kV  
do **5** za 50 kV

# [ Naponski broj generatora ]

- Treba da je što manji

$$r = [(U - U_{\min})/U] \times 100\%$$

# Karakteristike generatota X-zračenja

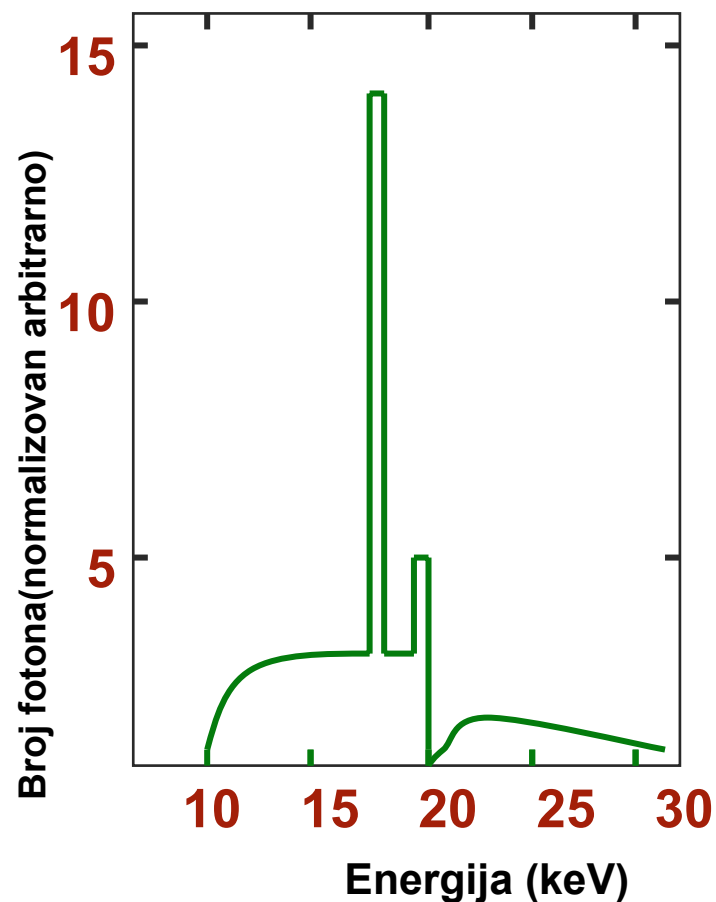
	Radiografija	Mamografija	Terapija
<b>Veličina fokusa</b>	Manje od 1 mm	(0,1-0,3)mm	(2-3) mm
<b>Ugao mete</b>	10 <sup>0</sup> - 20 <sup>0</sup>		30 <sup>0</sup>
<b>Struja</b>	(100-500) mA		20 mA
<b>Napon</b>	(40-150) kVp	(25-28) kVp	240 kVp
<b>Vreme</b>	1 ms – 10 s	Dugačka ekspozicija	(1-60) minuta
<b>HVL</b>	0.3 mm Al	2.8 mm Al	
<b>Anoda</b>	W	Mo, Rh	W
<b>Filter</b>	Al	Mo, Rh	
<b>Port</b>	Staklo ili Al	Be	



# Faktori koji utiču na spektar X-zračenja

- Napon cevi
  - kVp vrednost
- talasni oblik napona cevi
- Materijal anode
  - W, Mo, Rh etc.
- Filtracija inherent + dodatna

Spektar X-zračenja 30 kV cevi sa Mo metom i 0.03 mm Mo filter



# Spektar X-zračenja

- Spektar karakterističnog X-zračenja zavisi od materijala mete

$$\Delta E = E_m - E_n = (13.6 \text{ eV}) \times Z_{\text{eff}}^2 (1/m - 1/n)$$

META	K $\alpha$ (keV)
Molibden	17.5
Volfram	59
Olovo	75

# Filtracija cevi

- Inherentna filtracija (uvek postoji)
  - $\Rightarrow$  smanjuje ulaznu (kožnu) dozu na pacijentu (cut off za niske energije X-zračenja koje su šum za sliku)
- Dodatna filtracija (uklonjivi filter)
  - Dslje smanjenje doze bez gubitka kvaliteta slike
- Ukupna filtracija (inherent + dodatna)
- Mora biti  $> 2.5 \text{ mm Al}$  za  $> 110 \text{ kV}$  generator
- Merenje filtracije  $\Rightarrow$  merenjem HVL

# Rasejano zračenje

- Uticaj na kvalitete slike
  - Povećava nejasnoću
  - Gubitak kontrasta
- Uticaj na pacijentne doze
  - Povećava površinsku i dubinsku dozu

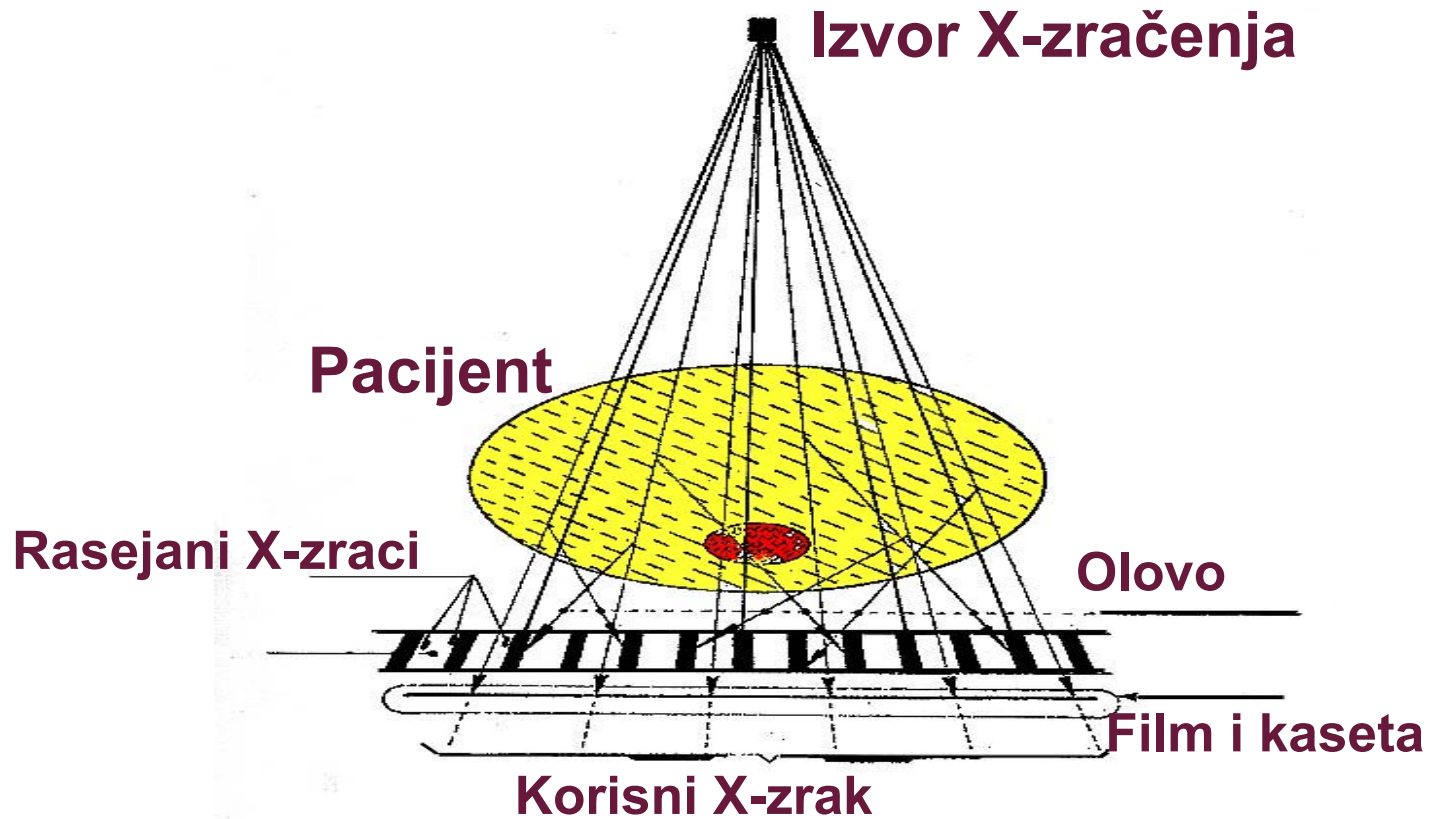
Mohuća redukcija :

⇒ upotreba rešetke

⇒ ograničenje polja

⇒ ograničenje zapremine koja se ozračuje  
(npr. Kompresija dojke u mamografiji)

# Antirasejavajuća rešetka



# Automatska kontrola ekspozicije

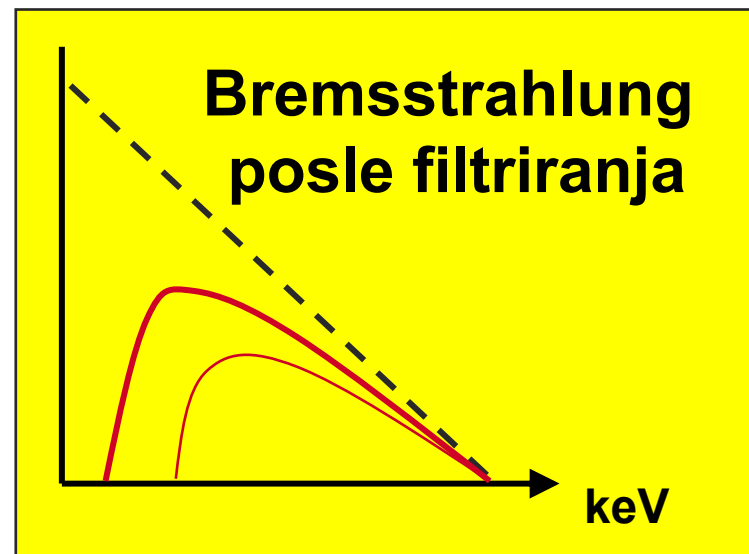
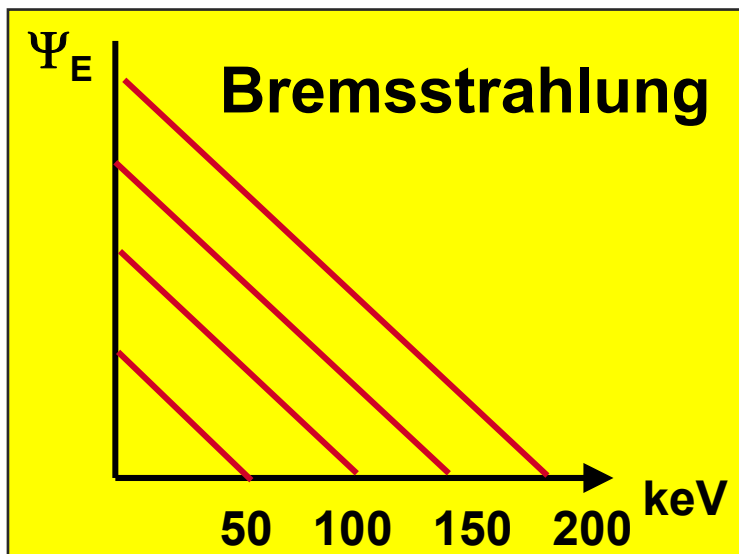
- Optimalni izbor tehničkih parametara u cilju izbegavanja ponovljenih ekspozicija (kV, mA)
- Detektor zračenja iza ili ispred kasete sa filmom
- Ekspozicija se prekida kada se integrira podešena vrednost doze
- Kompenzacija kVp za debljinu detektora

# Interakcija zračenja sa materijom (5 vrsta interakcije)

- Fotoelektrični efekat (dijagnostička radiologija)
- Komptonovo nekoherentno rasejanje (dijagnostička radiologija)
- Koherentno rasejanje (nema značaja za medicinsku primenu)
- Proizvodnja parova (terapija)
- Fotodisintegracija (terapija)

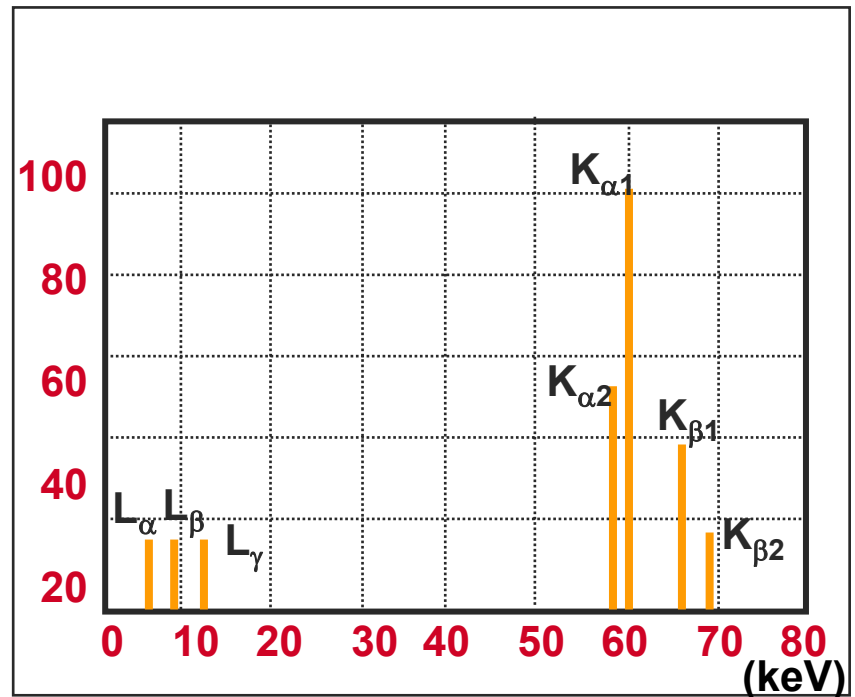
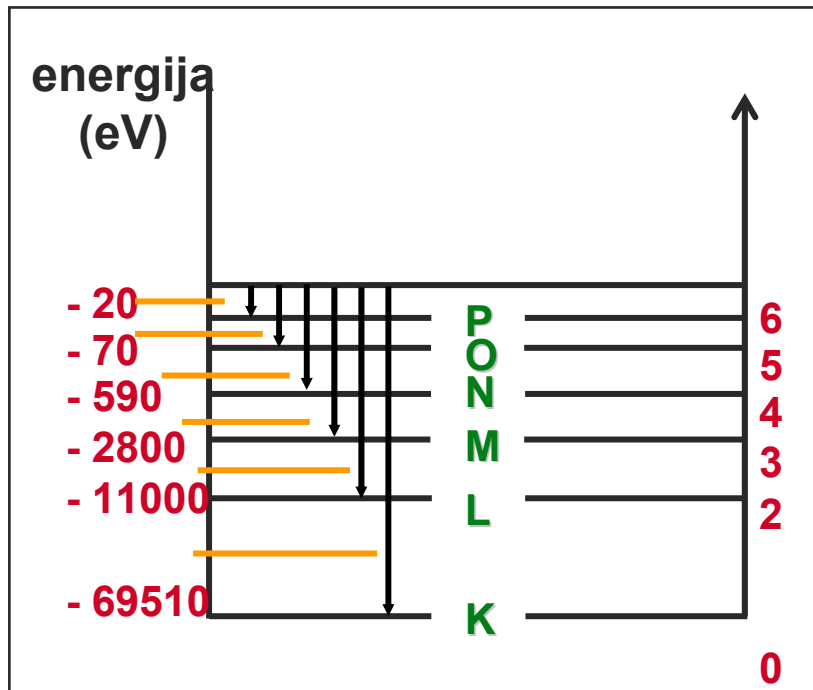
# Spektar X-zračenja sa filtracijom

- Maksimalna energija fotona zakočnog zračenja
  - Kinetička energija upadnog elektrona
- U spektru X-zračenja radiološke instalacije:
  - Max (energija) = pik napon cevi, kVp





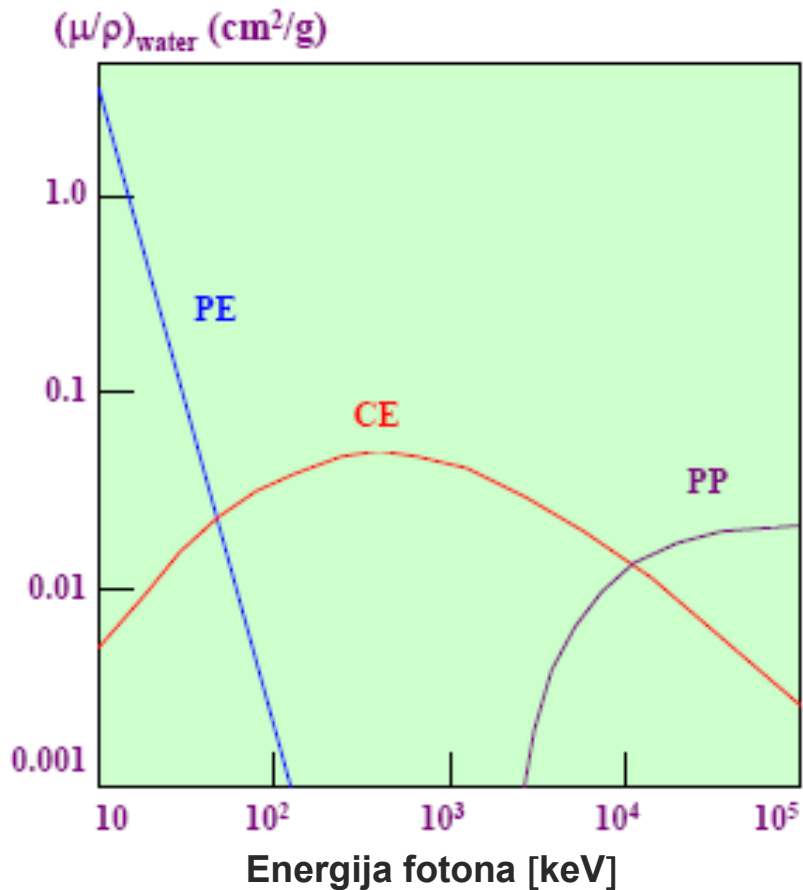
# Spektralna raspodela karakterističnog X-zračenja



# Karakteristično X-zračenje

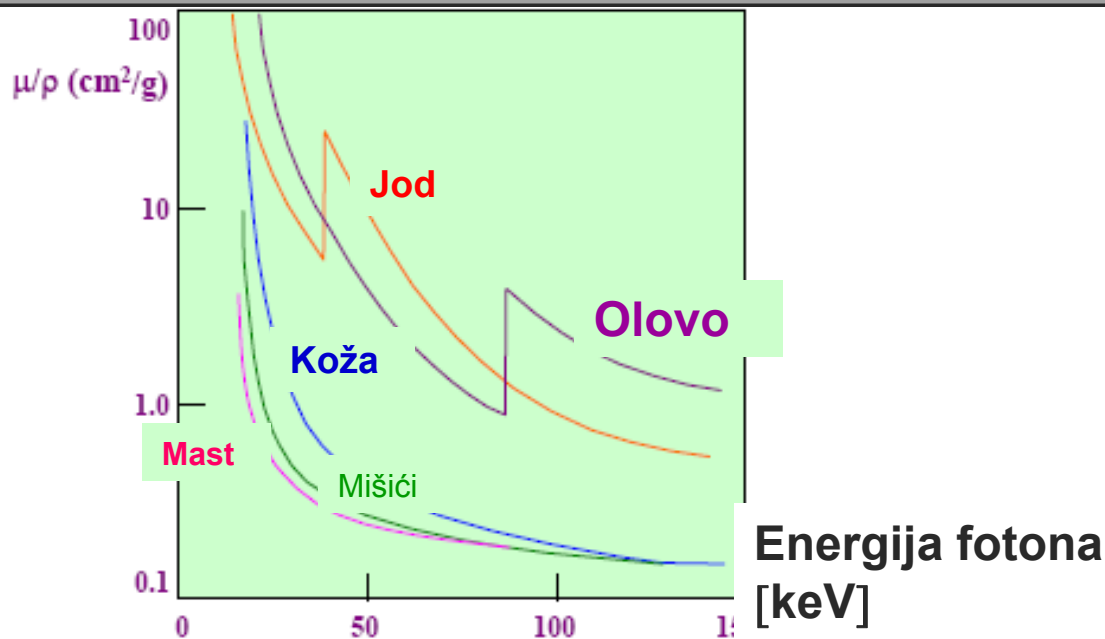
- Jonizacijom se izbacuje elektron iz omotača (obično iz K ljuske, ali je moguće i iz L,M..)
- $e^-$  iz L ili M ljuske upada u šupljinu nastalu u K ljusci
- Energetska razlika se emituje kao foton karakterističan za atom

# Interakcija zračenja sa tkivom



Energija	10 keV	30 keV	1 MeV	100 MeV
Fotoelektrična apsorpcija	93 %	39 %		
Koherentno i Nekoherentno rasejanje	7 %	12 % 49 %	99 %	16 %
Proizvodnja parova				84 %

Tkivo	SASTAV	Gustina (kg m <sup>-3</sup> )
Meko tkivo	H, <b>C(64.00%)</b> , N, <b>O(22.90%)</b> , Na, P, S, Cl, K	920
Dojke	H, <b>C(38.04%)</b> , <b>O(50.26%)</b>	960
Mozak	H, C, N, <b>O(71.40%)</b> , Na, P, S, Cl, K	1030
Kosti	H, C, N, <b>O(44.10%)</b> , Na, Mg, P, S, <b>Ca(22.20%)</b>	<b>1850</b>
Pluća	H, C, N, <b>O(74.00%)</b> , Na, Mg, P, S, O, K, Ca, Fe	260-1050
Mišići	H, C, N, <b>O(72.81%)</b> , Na, Mg, P, S, O, K, Ca	1000-1040
Koža	H, N, <b>O(61.50%)</b> , Na, Mg, P, S, O, K, Ca	1100



# [ Parametri ekspozicije: ]

- kVp – pik napona cevi
- mA – struja cevi
- s – trajanje ekspozicije u sekundama
- mAs – proizvod mA i s

Parametre ekspozicije postavlja RTg tehničar

# [ Film ]

## 1. Fotografski film ima nekoliko slojeva:

- superomotač – zaštitni omotač
- emulzija – osetljiva na svetlost i jonizujuće zračenje (granule srebro-oksida)
- baza – plastika

## 2. Formiranje slike

- Latentna slika – nevidljiva slika dobijena ozračivanjem filma
- Prava slika – dobijena razvijanjem filma



# [ Ekran za intenziviranje

- Lociran u kaseti u koju se stavlja film
- Ekran sadrži fluorescentni fosfor koji emituje fluorescencije kada se izloži X-zračenju
- Namena: ekran pojačava X-zrak koji upada na film pa je potrebno manje mAs da se slika proizvede
- Mana: gube se neki detalji slike

# [ Razvijanje filma



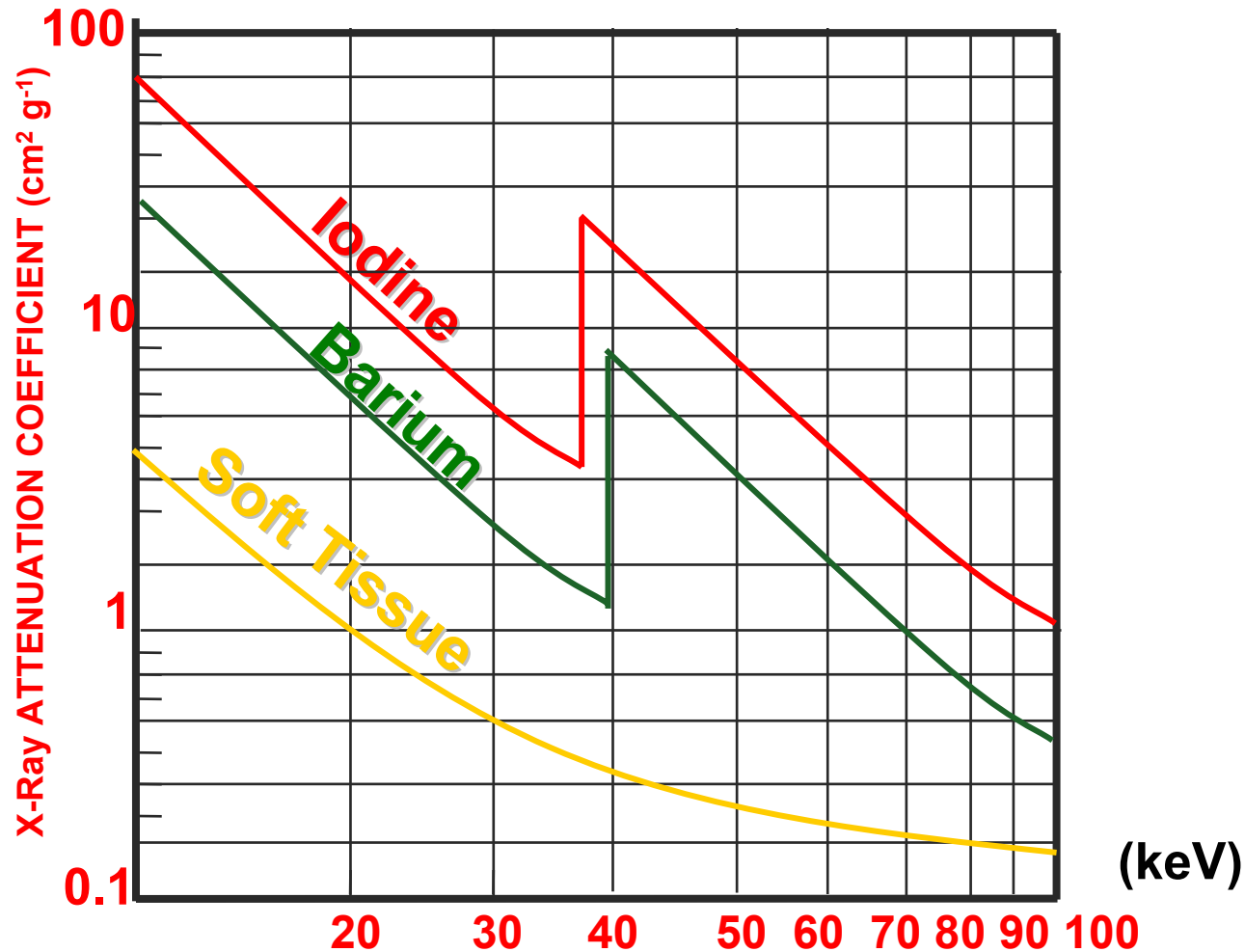
- Pravo razvijanje ili digitalna slika
- Procesni pritup (automatski)
  - Razvijač – konvertuje latentnu sliku u pravu (22 s)
  - Fiksir – acetatna kiselina
  - Ispiranje – voda uklanja preostale hemikalije
  - Sušenje – uduvavanje toplog vazduha u automatski razvijač slike



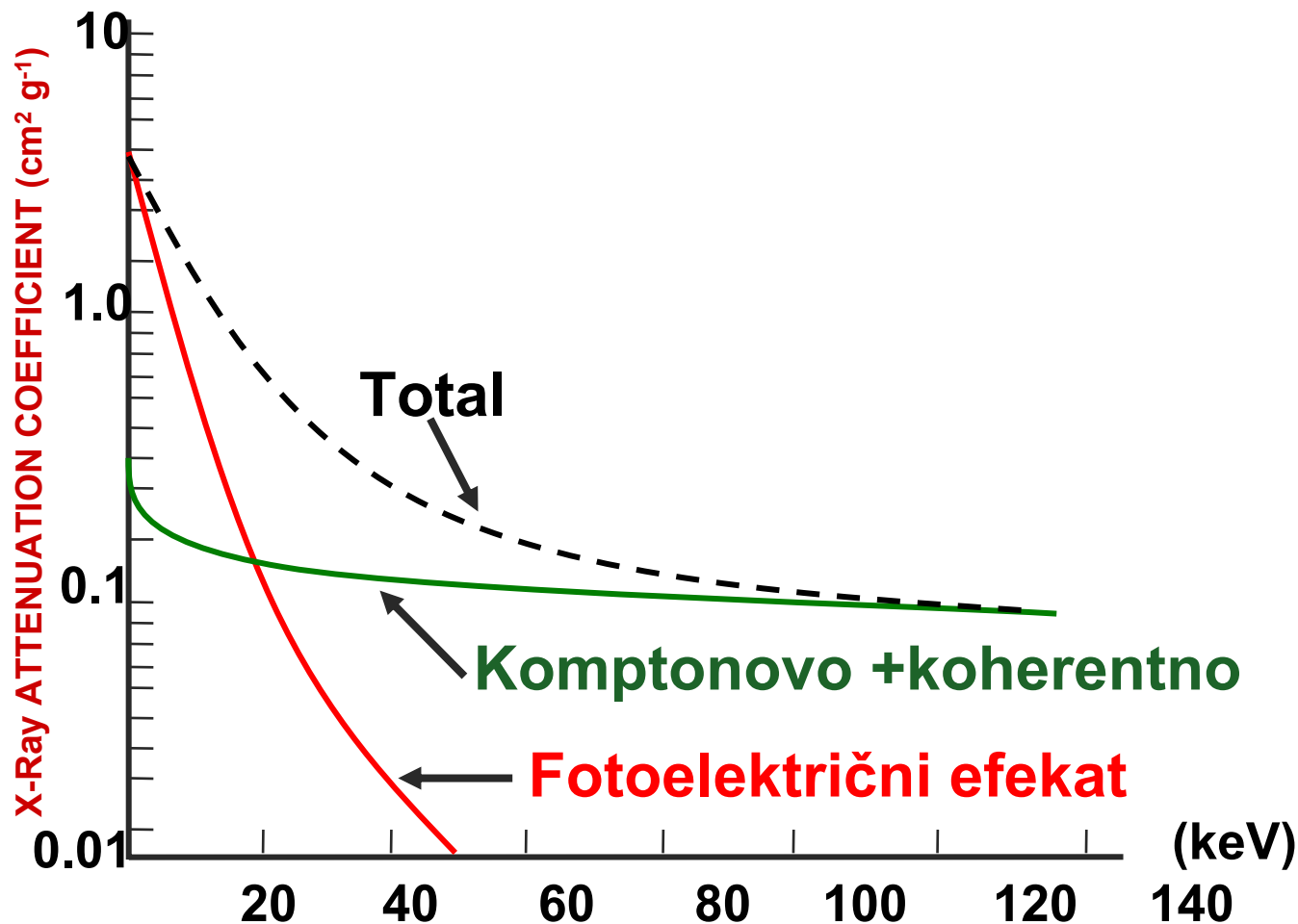
# Svrha korišćenja kontrasnog medijuma

- Da učini vidljivim meka tkiva normalno transparentna na Rtg snimku
- Da istakne određeni organ
- Poboljša kvalitet slike
- Najčešće korišćeni
  - Barium : abdominalni delovi
  - Iod : urografija, angiografija, etc.

# X- apsorpcione karakteristike joda, barijuma i mekog tkiva



Doprinos vrsta interakcije na ukupno slabljenje  
šnopa zračenja u vodi (mekom tkivu)



Doprinos vrsta interakcije na ukupno slabljenje snopa  
zračenja u kostima

