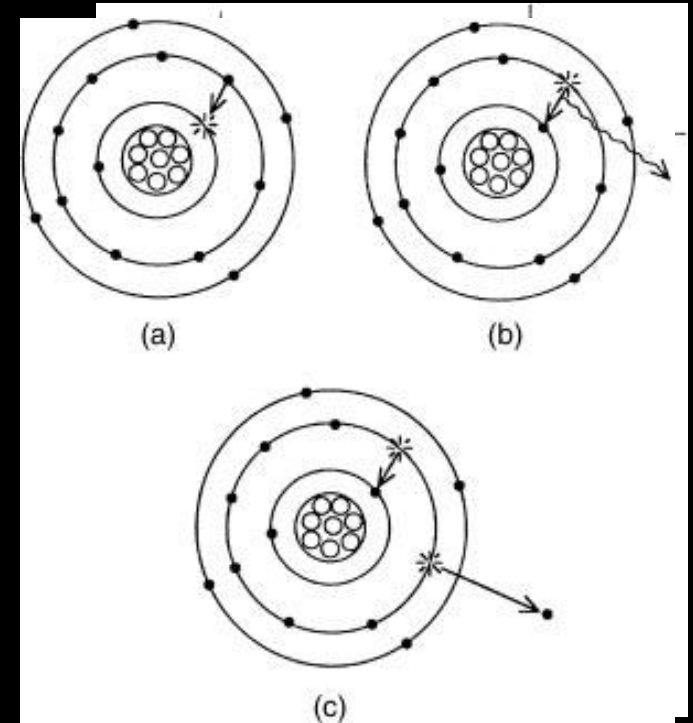




VZNIK RTG ZÁŘENÍ

fyzika atomu

- základní nomenklatura
- struktura hmoty
- problematika atomového jádra a obalu
- energetické vazby a hladiny elektronů
- kvantová mechanika



paprsky X

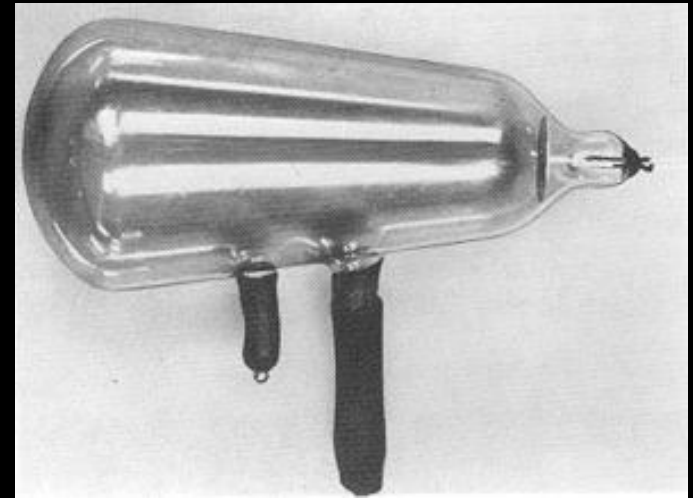
- elektromagnetické záření
- proud fotonů o energii desítek až stovek keV
- vlnová délka 10^{-12} až 10^{-8} m
- přirozené zdroj - hvězdy

vznik rentgenového záření

- dopadající elektrony na anodu mohou vyrazit elektron na vnitřní vrstvě K nebo L
- tím vzniká volné místo v elektronové vrstvě, na které „spadne“ elektron z vyšší vrstvy
- tento jev způsobuje emisi fotonů (energie)

umělá tvorba paprsků X

- katodová trubice
 - např. Crooksova
 - elektrony se uvolňují z plynu a jsou usměrňovány ke katodě



wolframová anoda

- žhavení vysokým napětím (10 - 100 kV)
- 99% energie se změní v teplo
- nutnost masivního chlazení anody

mechanizmy vzniku RTG záření

po dopadu na anodu pronikají elektrony několika vrstvami atomu anody, a interagují s elektrony v hlubokých vrstvách (K, L, M) nebo jádrem

2 základní interakce:

- interakce s polem jádra atomu - vedou k vzniku tzv. *brzdného záření*
- interakce s obalovými elektrony - vedou k vzniku tzv. *charakteristického záření*

vnitřní absorpcí rtg záření v hlubších vrstvách terče anody dochází k tvarování vyzařovací charakteristiky z terče anody, které je označováno jako anodový „heel“ (patka) efekt

brzdné RTG záření

pronikne-li elektron elektronovými obaly atomu až do blízkosti jeho jádra, je ze své dráhy vychýlen v závislosti na počtu protonů v jádře (číslo Z)

následná ztráta E_K vede ke generaci fotonu brzdného záření

čím více se přiblíží elektron k jádru a čím větší je jeho E_K , tím větší bude energie vznikajícího kvanta rtg záření

zabrzdnuté elektrony mají různou rychlost

charakteristické rtg záření

energie urychlených elektronů je natolik vysoká, že excitují atomy anody uvolněním elektronů z obalu ze slupek blízkých jádru (K, L, M, ...)

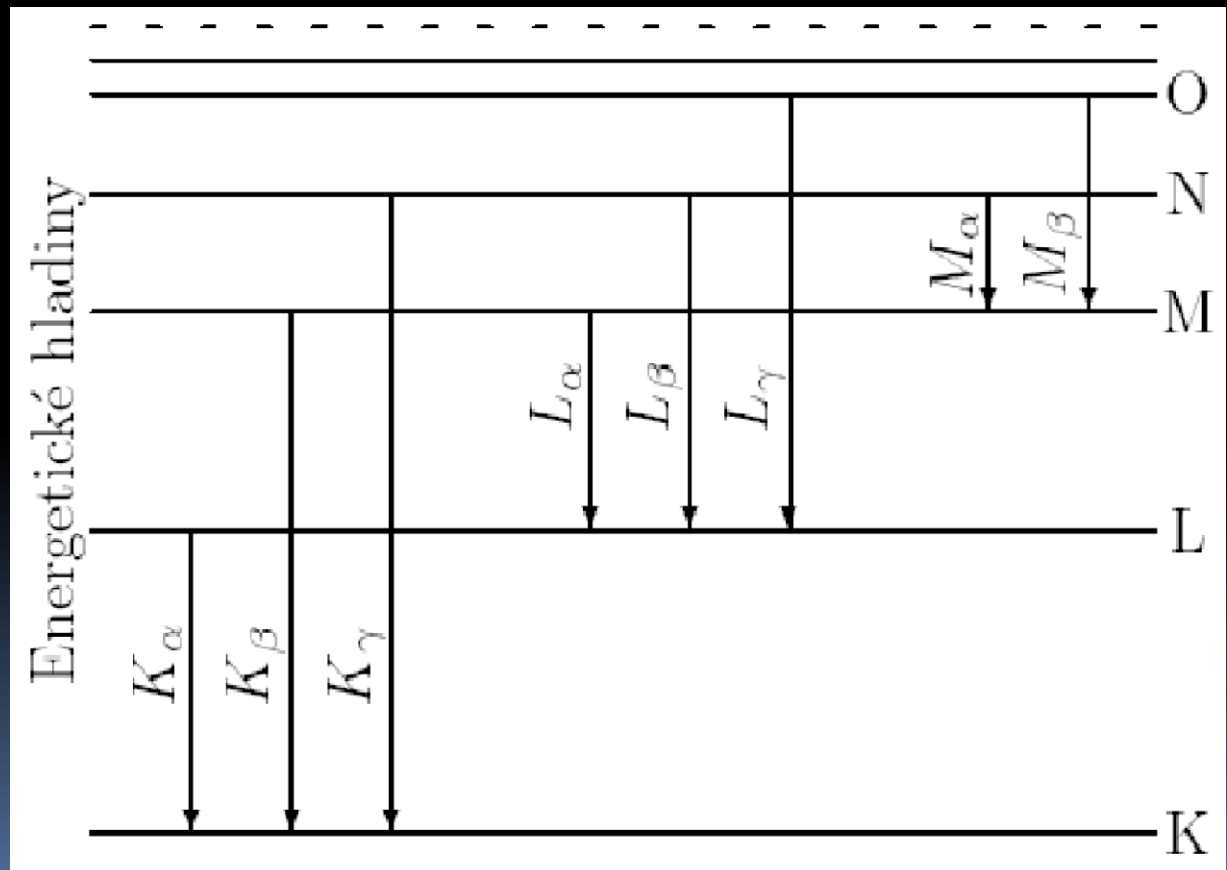
na těchto slupkách vznikají prázdná místa, která se zaplní elektrony z vyšších sfér se současnou emisí fotonu rtg záření

jejich energie je dána rozdílem zainteresovaných energetických hladin

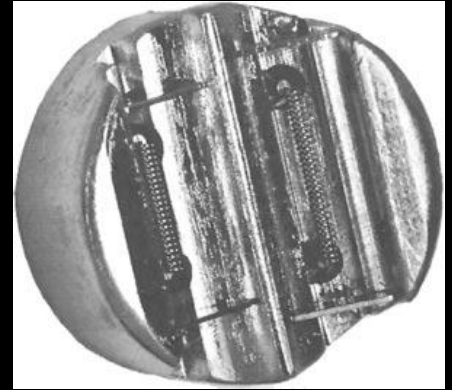
energie fotonu např. $K\alpha$ je dána $h\nu = E_K - E_L$

spektrum rtg záření

... je dáno aditivní superpozicí charakteristického a brzdného záření



zdroj elektronů



kovy s vysokým bodem tání - wolfram (3370 °C)

- pomocí proudu (několik A) dojde ke žhavení vláken a emisi elektronů
- konstrukce Wehneltovy elektrody a potenciální spád mezi anodou a katodou determinují tvar svazku elektronů těsně před dopadem na anodu
- velikost vlákna určuje velikost svazku elektronů a tedy velikost dopadového ohniska
- nejčastěji dvě vlákna různé délky pro dvě různě velká ohniska
 - menší pro vysoký detail - nižší intenzita a delší expozice
 - větší pro menší detail - vyšší intenzita a kratší expozice

napájecí zdroj (generátor)

- **vysokonapětový generátor**
 - přeměna síťového proudu a napětí na hodnoty potřebné pro provoz rentgenky
 - většinou dvoucívkové (primární a sekundární)
- **žhavicí generátor**
 - přivádí na katodu: 4-10 A; 10 V
 - transformuje směrem dolů
- **usměrňovač**
 - usměrňuje střídavý proud ze sítě na stejnosměrný

2 elektrické obvody

- hlavní obvod
 - vysoké napětí 10 - 100 kV
 - síťový vypínač
 - pojistky
 - stabilizátor napětí
 - vysokonapětový transformátor
 - usměrňovač
- pomocný obvod
 - žhaví katodu rentgenky
 - žhavicí odpor
 - žhavicí transformátor
 - katodová vlákna - termoemise

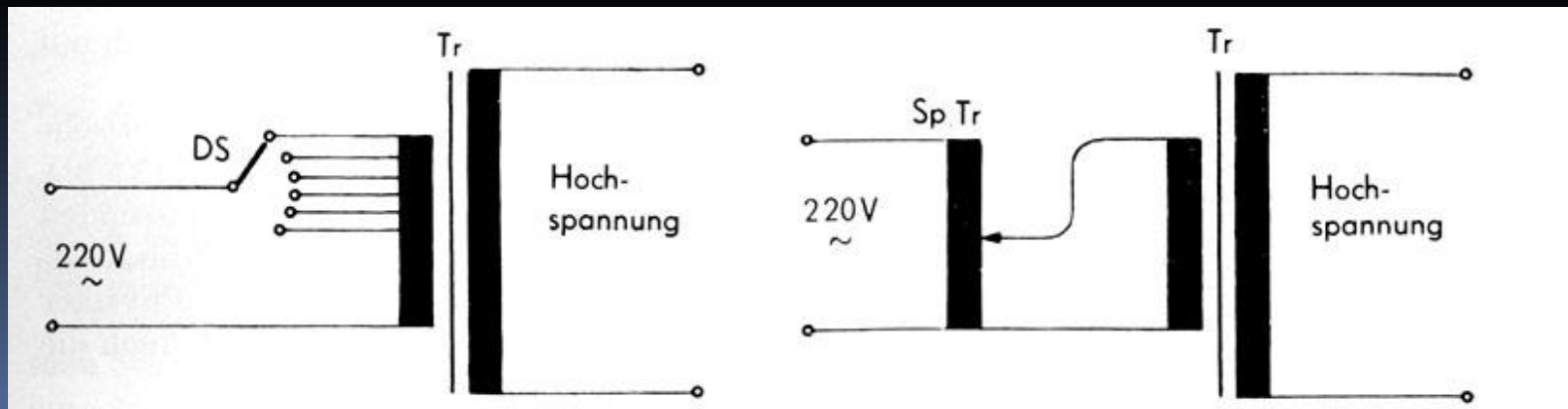
napětí a proud na rentgence (tube voltage and current)

napětí mezi katodou a anodou ovlivňuje rychlost elektronů a energii emitovaných rtg paprsků

běžná elektrická síť - 230V se střídavou polaritou (+ a -)

- RTG přístroje fungují jen s kladnou a stálou polaritou proudu
- elektrony urychlovány pouze jedním směrem

- pro urychlení je nutný zdroj vysokého napětí (40 - 160 kV)
- nutný generátor vysokého napětí (vysokonapěťový transformátor)



napětí a proud na rentgence (tube voltage and current)

2 elektrické obvody

1) mezi katodou a anodou

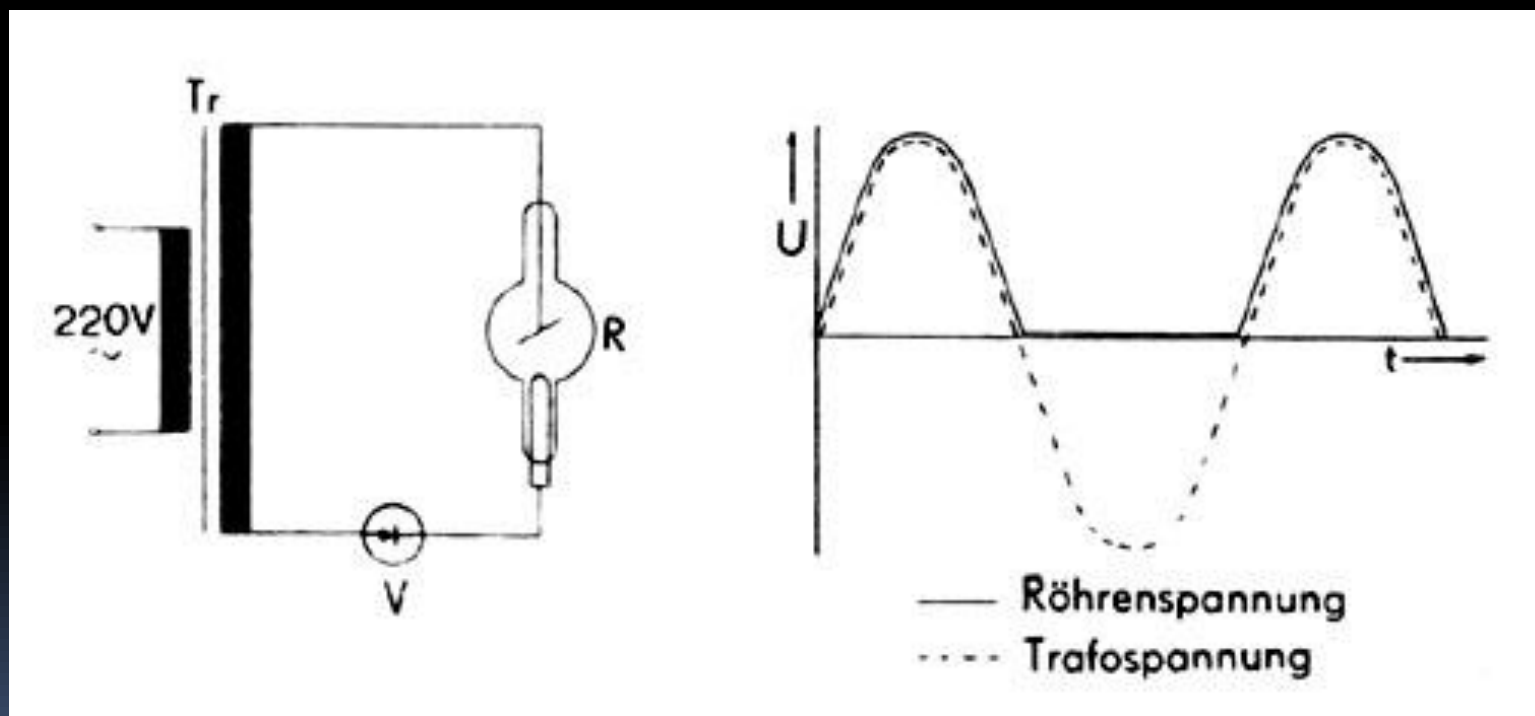
- napětí (*tube voltage*): 40-160 k
 - urychlení elektronů (energie)
 - při 100 kV: 0,6 - 0,8x rychlost světla
- proud (*tube current*): jednotky až desítky mA
 - množství urychlovaných elektronů (intenzita)

2) na katodě

- žhavicí proud (*filament current*): jednotky A

napětí a proud na rentgence (tube voltage and current)

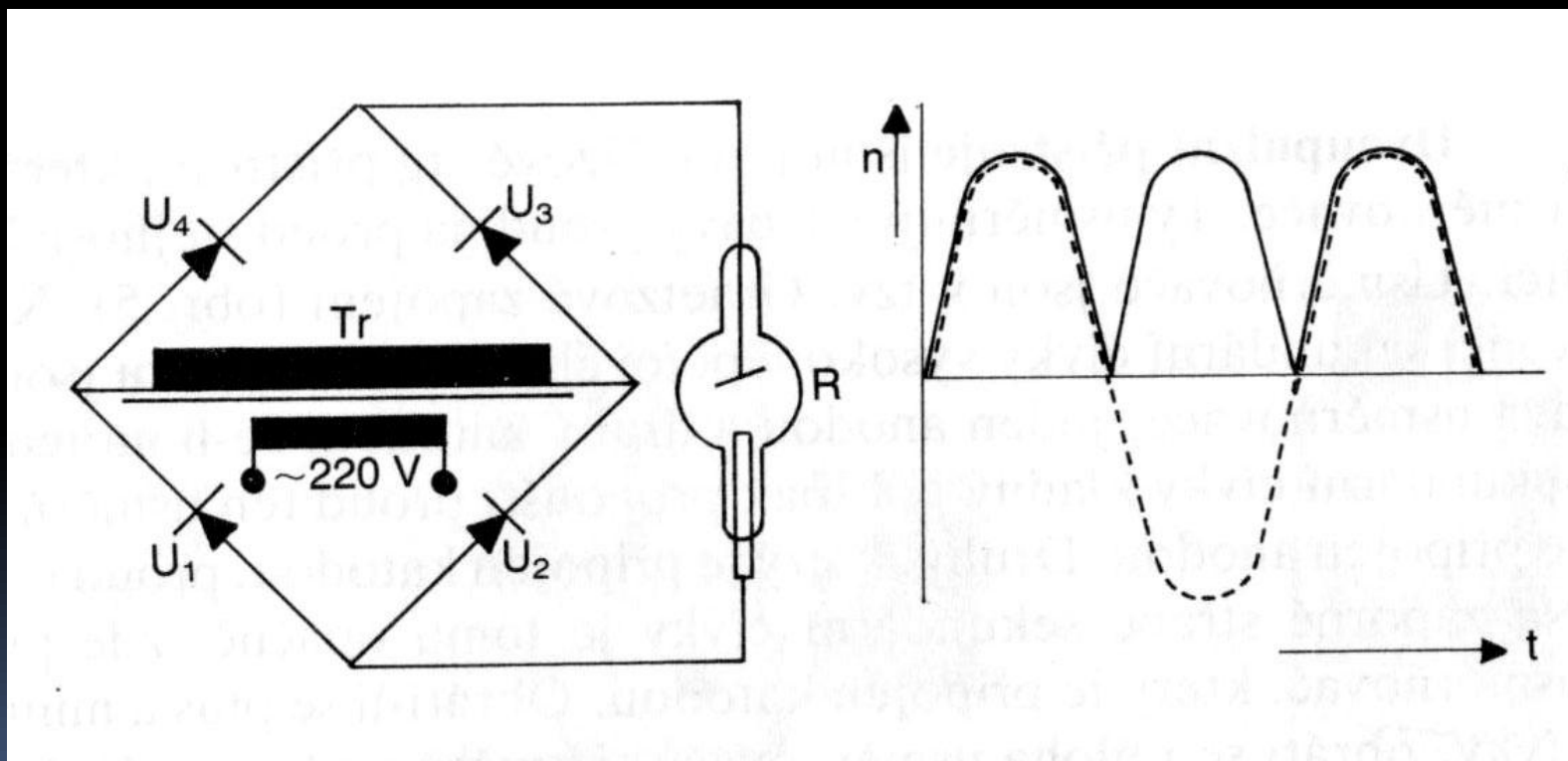
usměrnění polarity napětí - tzv. rektifikace
pomocí diody - „half-wave rectification“



tzv. půlvlnový přístroj

napětí a proud na rentgence (tube voltage and current)

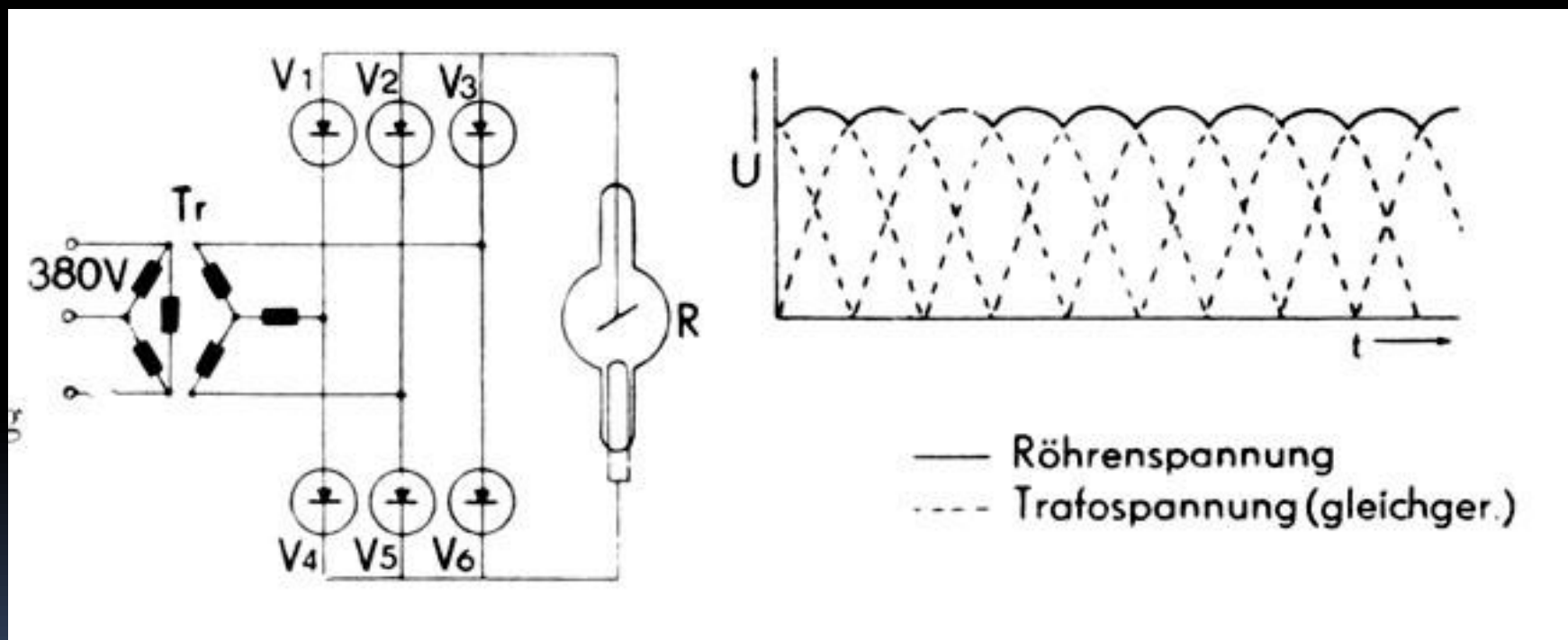
využití původně negativního cyklu polarity
tzv. „full-wave rectification (systém diod)



tzv. dvoupulzní přístroj

napětí a proud na rentgence (tube voltage and current)

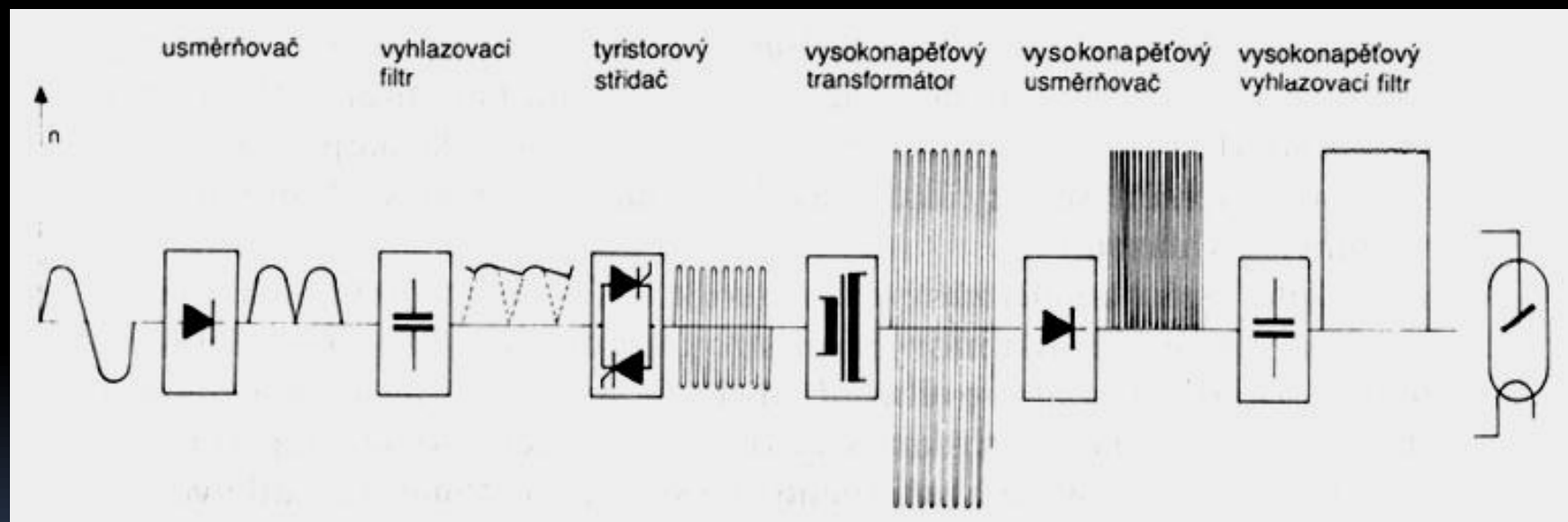
využití tří-fázového proudu



tzv. šestipulzní přístroj

napětí a proud na rentgence (tube voltage and current)

vysokofrekvenční zdroj s vyhlazovacím filtrem
tisíce pulzů za sekundu



tzv. multipulzní přístroj

vznik rtg paprsků

vysokým napěťovým spádem mezi anodou a katodou (10 až 10^3 kV) získají elektrony tak vysokou kinetickou energii, že z anody může být generováno rtg záření

účinnost přeměny energie elektronů na rtg záření je menší než 1% vznikající teplo silně zahřívá anodu, její povrch dosahuje teploty až $2\ 500\ ^\circ\text{C}$

kritická situace je zejména v ohnisku rentgenky, které musí být co nejmenší (prostorová rozlišovací schopnost procesu zobrazení)

ostrost výsledného obrazu (zmenšováním ohniska se však zvyšuje měrné zatížení anody $\text{J} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)

anoda - materiál s vysokým bodem tání (dnes většinou kombinace)
- dopadový materiál - wolfram, molybden

emisní spektrum

distribuce energetických hladin fotonů v pársku RTG záření závisí na 4 faktorech

- 1) brzdné záření má takový rozsah energií, jako je energií jednotlivých dopadajících elektronů
- 2) energie charakteristického záření je nezávislá na energii dopadajícího elektronu, dokud dosahuje energetického prahu pro vznik charakteristického záření
- 3) energie dopadajících elektronů je závislá na hodnotě napětí na rentgence
- 4) rtg paprsky vznikající v hloubce anodu mohou ztratit svoji energii interakcí při průchodu materiálem anody

rotační anoda

moderní anody jsou typu *RTM* (rhenium-wolfram-molybden)

wolframová část anody má průměr 50 až 123mm

grafitová část 90 až 150mm

- vysoká tepelná kapacita, ale malá tepelná vodivost grafitu

rychlost otáčení anody je 3000 až 20 000 ot/min

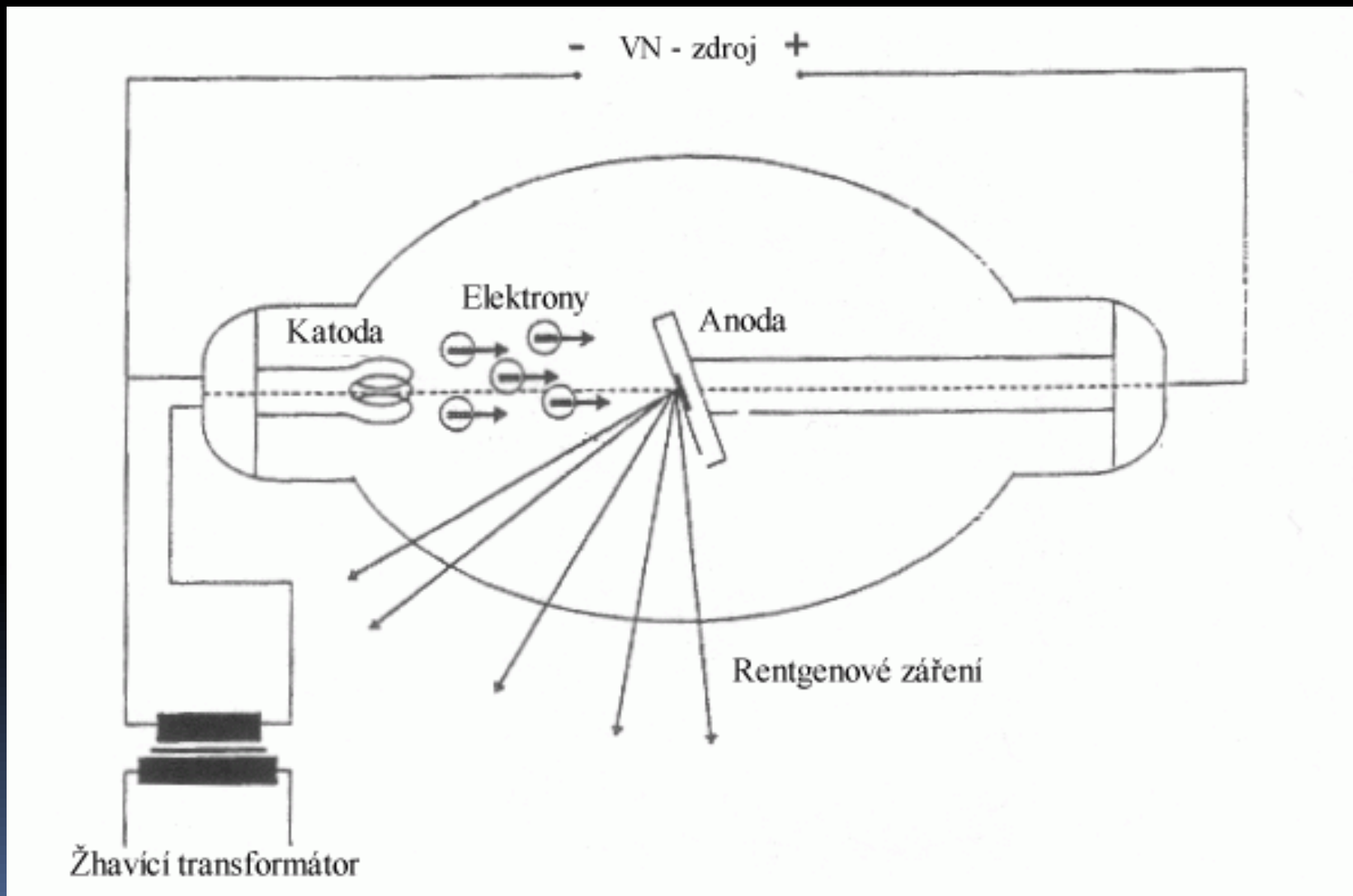
- mění se se změnou frekvence napětí přiváděného na stator elektromotoru

- průměr anody a rychlost jejího otáčení závisí na výkonu

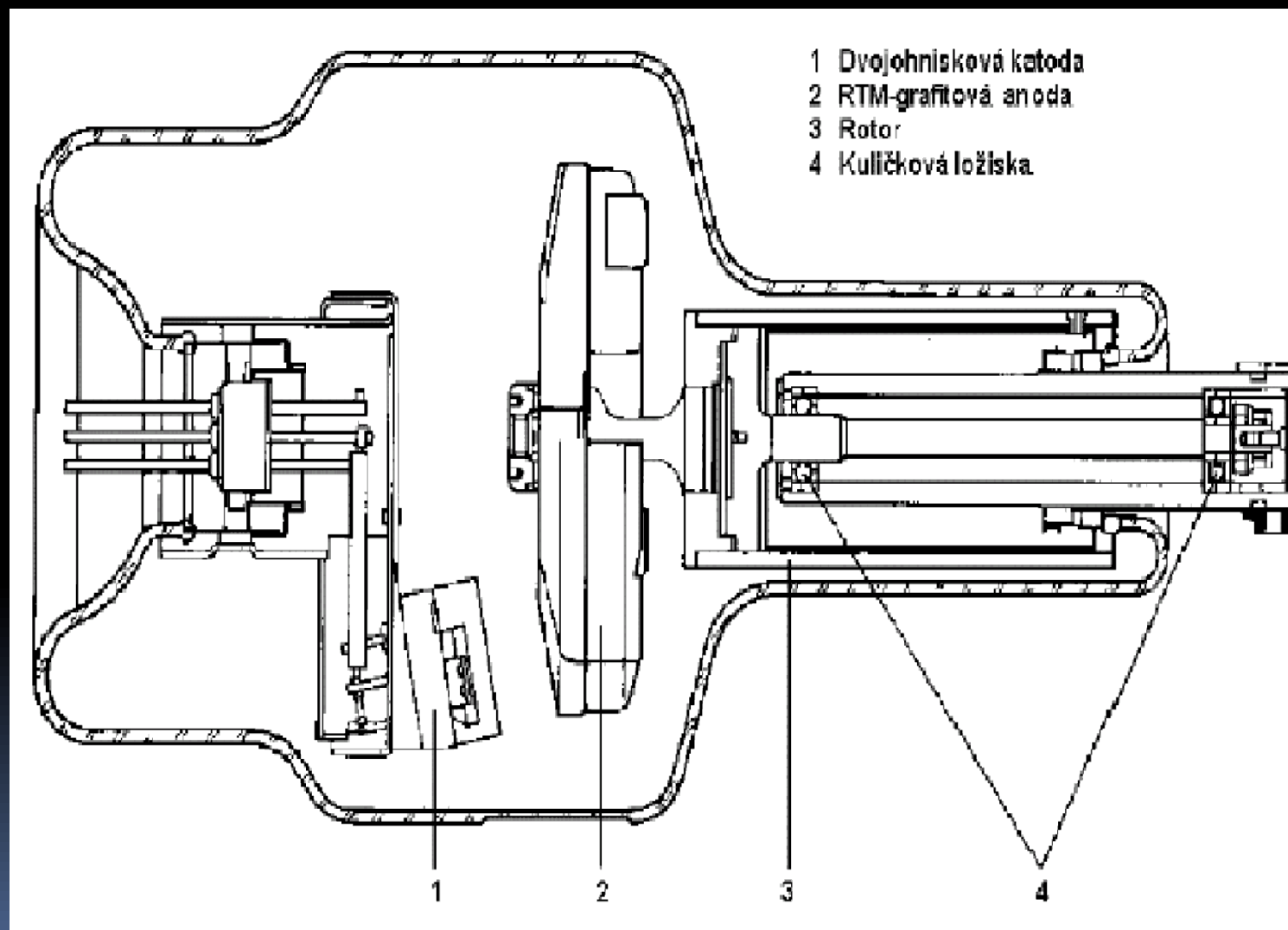
povrch anody je skloněn pod úhlem α od roviny kolmé na svazek elektronů

velikost úhlu ovlivňuje tvar a velikost elektronového a optického ohniska rentgenky

rentgenka se statickou anodou



rentgenka s rotační anodou



rentgenky

při konstrukci lékařských diagnostických RTG je dáována přednost rentgence s rotační anodou, která umožňuje zmenšit optické ohnisko rentgenky až na rozměr cca 0,1 x 0,1 mm

tradiční rentgenky se stacionární anodou se v poslední době používají jen u komorových rentgenů (dentální rentgeny) a rentgenů univerzálních

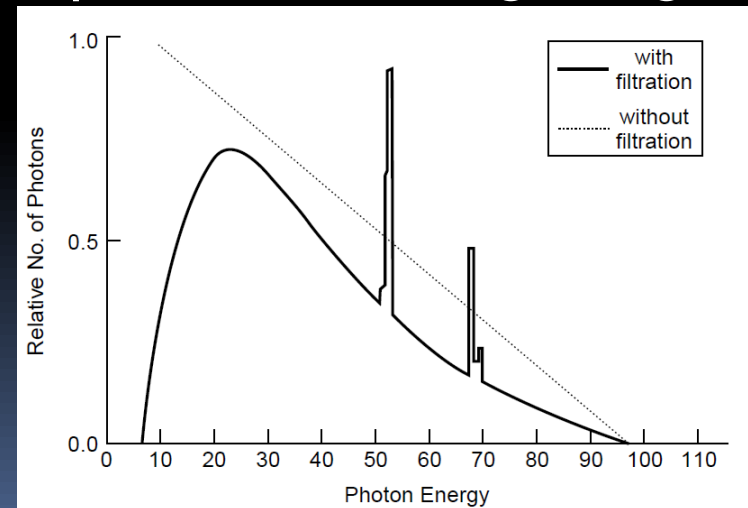
filtrace

pravděpodobnost interakce rtg paprsků závisí na energii

$$1/E^3$$

- ⇒ nízkoenergetické fotony interagují více
- ⇒ po průchodu paprsků hmotou se průměrná energie rtg záření zvýší - je „tvrdší“

„hliníkový ekvivalent“



filtrace

než se rtg paprsky dostanou od okamžiku vzniku až k pacientovi musí projít různými materiály, ve kterých dojde k jejich atenuaci

„základní filtrace“ - sklo, olej, materiál výstupního okna
- cca 1 mm Al

„přídavná filtrace“

„celková filtrace“

⇒ cílem filtrace je snížit počet nízkoenergetických fotonů ve svazku

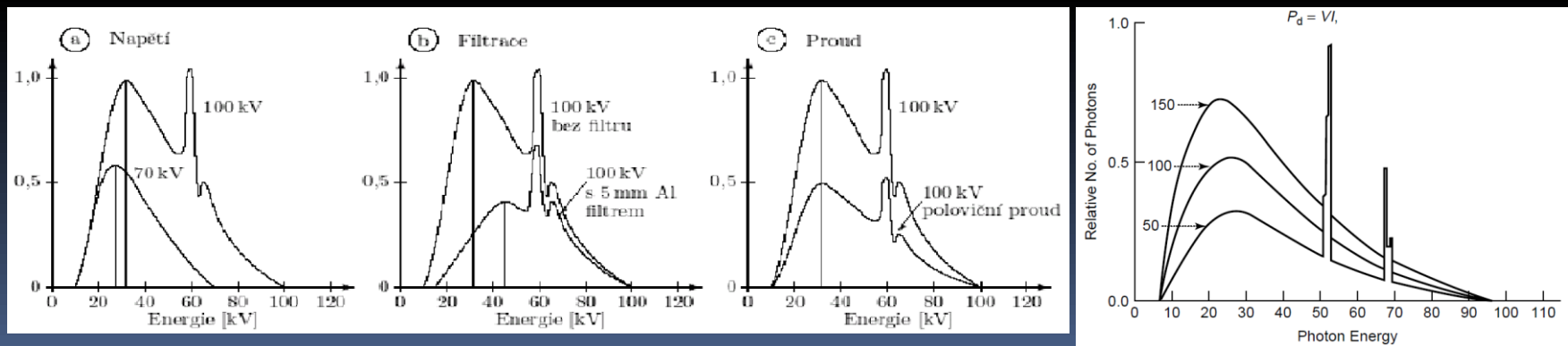
vliv parametrů na rtg paprsky

napětí (kV)

- přímo úměrně ovlivňuje energii dopadajících elektronů
- ⇒ zvyšuje účinnost brzdného záření
- ⇒ zvyšuje hladinu energetické spektrum

proud a čas (mAs)

- přímo úměrně ovlivňují počet dopadajících elektronů



materiál anody

materiály s vysokým atomovým číslem produkují více rtg paprsků při brzděném procesu

produkce rtg záření je velmi neefektivní proces

- pouze méně než 1% energie předaného elektronu v místě dopadu
- zbytek (99%) je přeměněn v teplo (při nižším napětí je efektivita nižší)

vznik charakteristického záření je závislý na rozdílech vazebných energií vrstev K, L a M

- při změnách ve vrstvách N a dále vznikají nízkoenergetické fotony (filtrace), UV a viditelné záření
- 1 nebo 2 „*peaky*“ (z L do K)

konstrukce rentgenky

vakuum

- omezení interakcí rtg paprsků s molekulami vzduchu
- omezení oxidace rozžhaveného katodového vlákna

skleněná baňka, kovové pouzdro, kabely VN

olej - odvádění vznikajícího tepla

„*off-focus*“ rtg paprsky

- sekundární elektrony z dopadového místa
- omezení kolimátory

fokusace a ohniska

pro dobrou kvalitu rtg obrazu je vhodný, co nejmenší průměr svazku rtg záření

fokusace

- usměrnění a tvarování proudu elektronů
- různé způsoby (např. tzv. Wehneltova trubice)

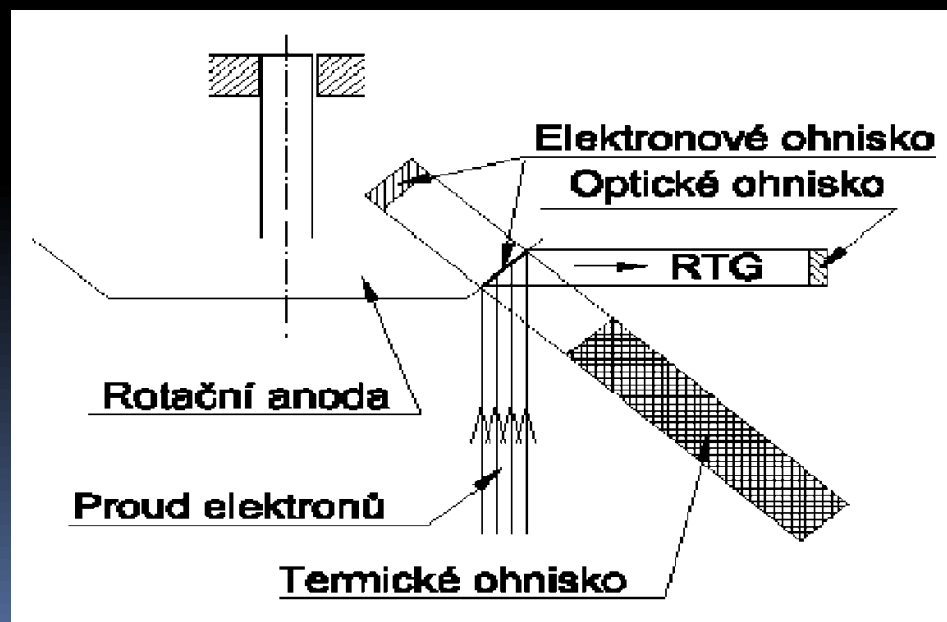
dopadové ohnisko (termické)

- plocha dopadu svazku elektronů
- obdélníkové (tvar žhavicího vlákna)
- jeho plocha určuje velikost měrného zatížení anody
($\text{J} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)

fokusace a ohniska

elektronové ohnisko

- je tvořeno plochou řezu elektronovým svazkem ve směru rovnoběžném s povrchem anody v pozici těsně před jejich dopadem
- u rentgenky se stacionární anodou je elektronové a termické ohnisko totožné
- u rentgenek s rotační anodou je termické ohnisko rozvinuto na celou plochu výseče rotačního kužele



fokusace a ohniska

optické ohnisko (součást parametrů přístroje)

- tvořeno plochou průmětu elektronového ohniska do roviny kolmé k centrálnímu paprsku primárního svazku rtg záření
- pro danou geometrii procesu zobrazení (vzdálenost ohnisko-scéna a scéna-receptor obrazu) určuje limitní dosažitelnou prostorovou rozlišovací schopnost procesu zobrazení, tzv. geometrickou neostrost

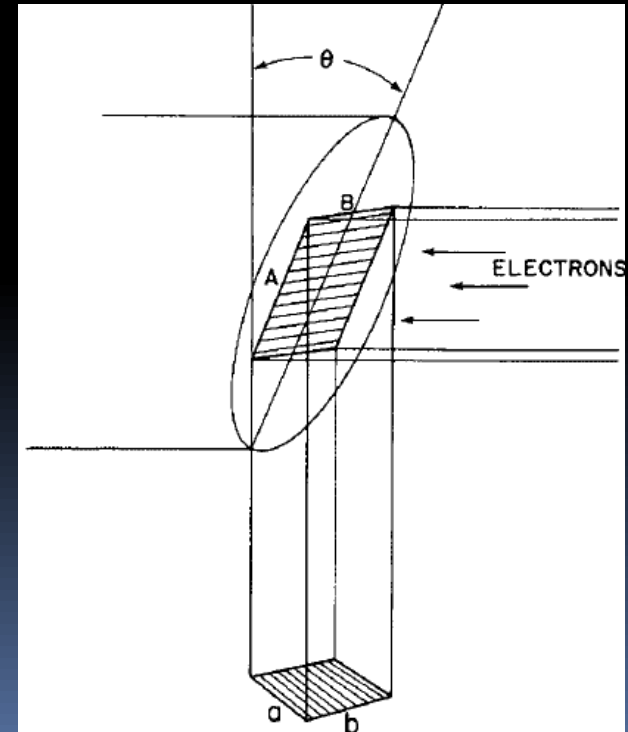
sklon dopadové plochy

⇒ zmenšení optického ohniska

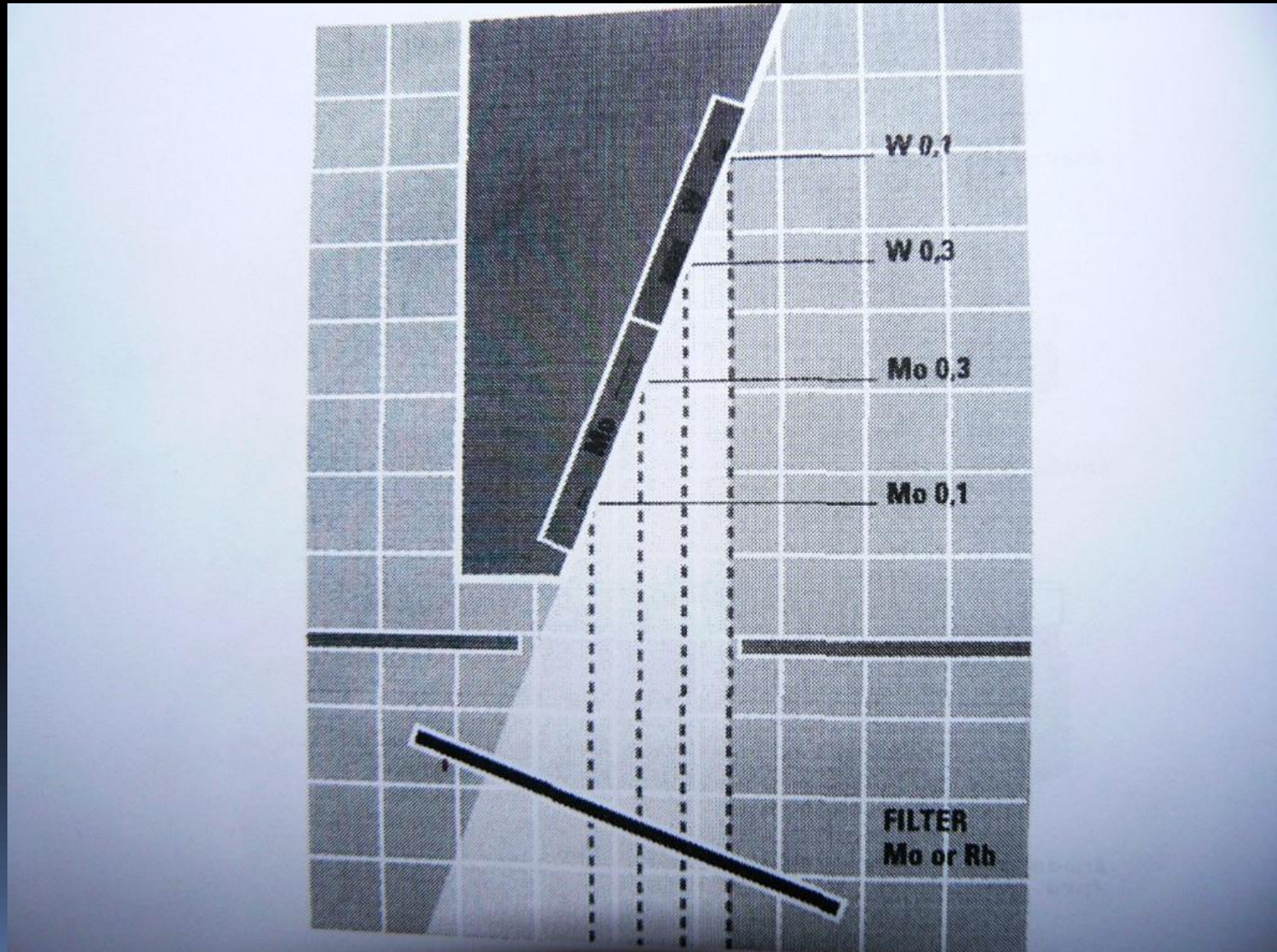
⇒ čtvercová plocha

- většinou $6-17^\circ$

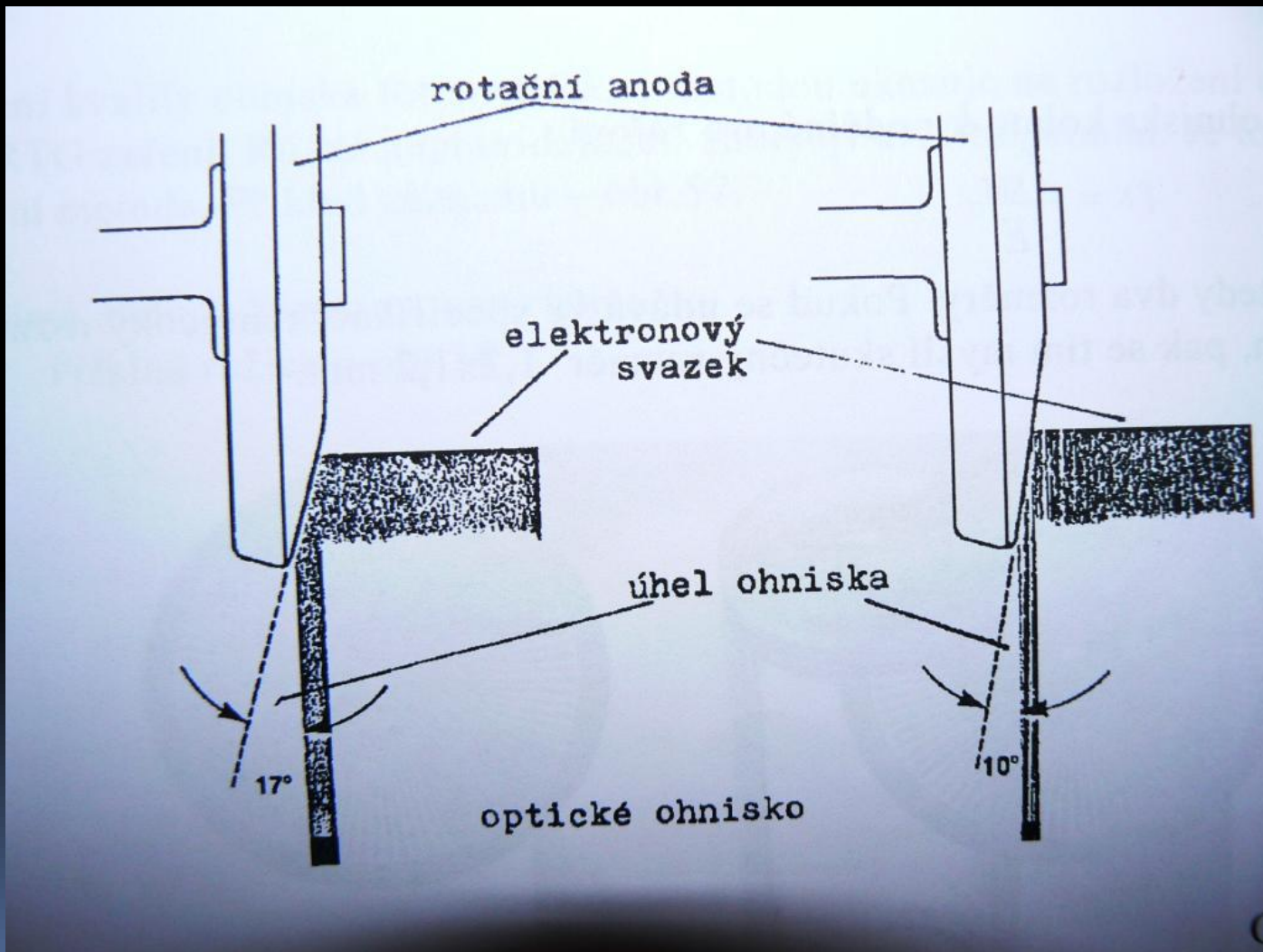
více-ohniskové anody



víceohňisková anoda



vliv sklonu dopadové plochy na optické ohnisko



tepelná zatížitelnost

vysoká energetická zátěž na malé ploše

- materiál s vysokou tepelnou vodivostí
- rotační anoda zvětšuje dopadovou plochu
 - až 10000 ot./min.

tepelná jednotka (HU) = (kV) . (mA) . (ms) . 1,35 (pro 3 fáze)

tepelná kapacita (dopadové plochy, anody, rentgenky)

- počet HU absorbovaných bez poškození (anoda až milion)

tepelná charakteristika anody

- počet HU za čas do dosažení tepelné kapacity

tepelná zatížitelnost - příklad

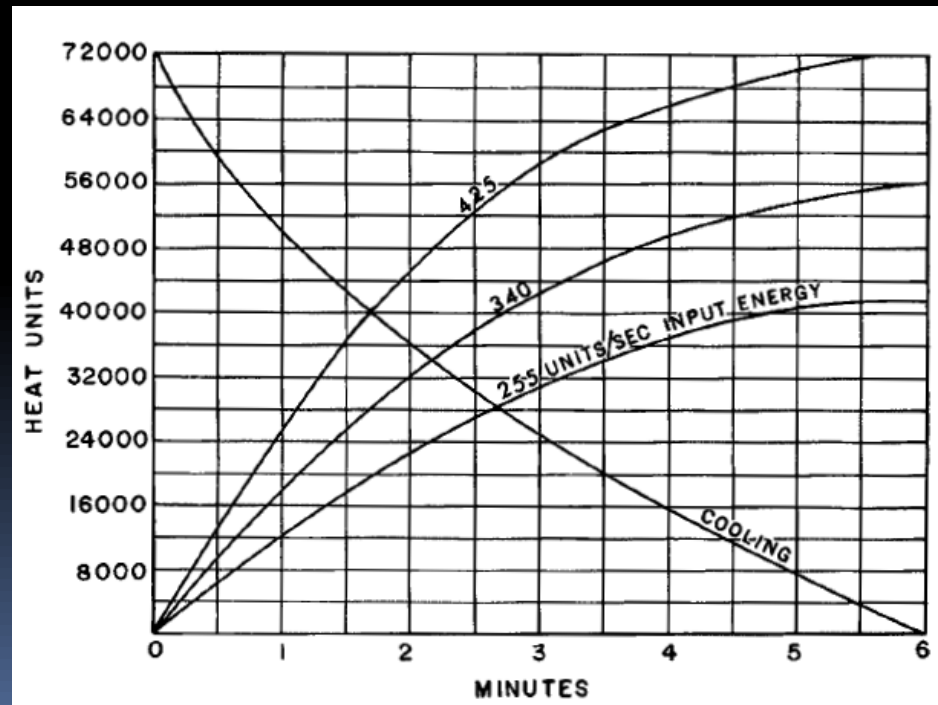
3 minuty skiaskopie (3 mA a 85 kV) + 4 snímky (0,25 s; 85 kV a 150 mA)

Kolik času musí uplynout, aby bylo možné vyšetření opakovat?

skia: $85 \times 3 = 255$ HU/s
 $\Rightarrow 31\ 000$ HU za 3 min.

snímky: $85 \times 150 \times 0,25 \times 4$
 $\Rightarrow 12\ 750$ HU

$72\ 000 - 43\ 750 = 28\ 250$
 $\Rightarrow 2,6 - 1,4 = 1,2$ min



molybdenová anoda

snímkování měkkých částí při nízkém napětí

mamografie

- anody z molybdenu a rhodia
- vznik K-charakteristického záření již při 25 - 45 kV

⇒ rtg svazek s vysokou intenzitou v nízkoenergetické části spektra

schéma 1

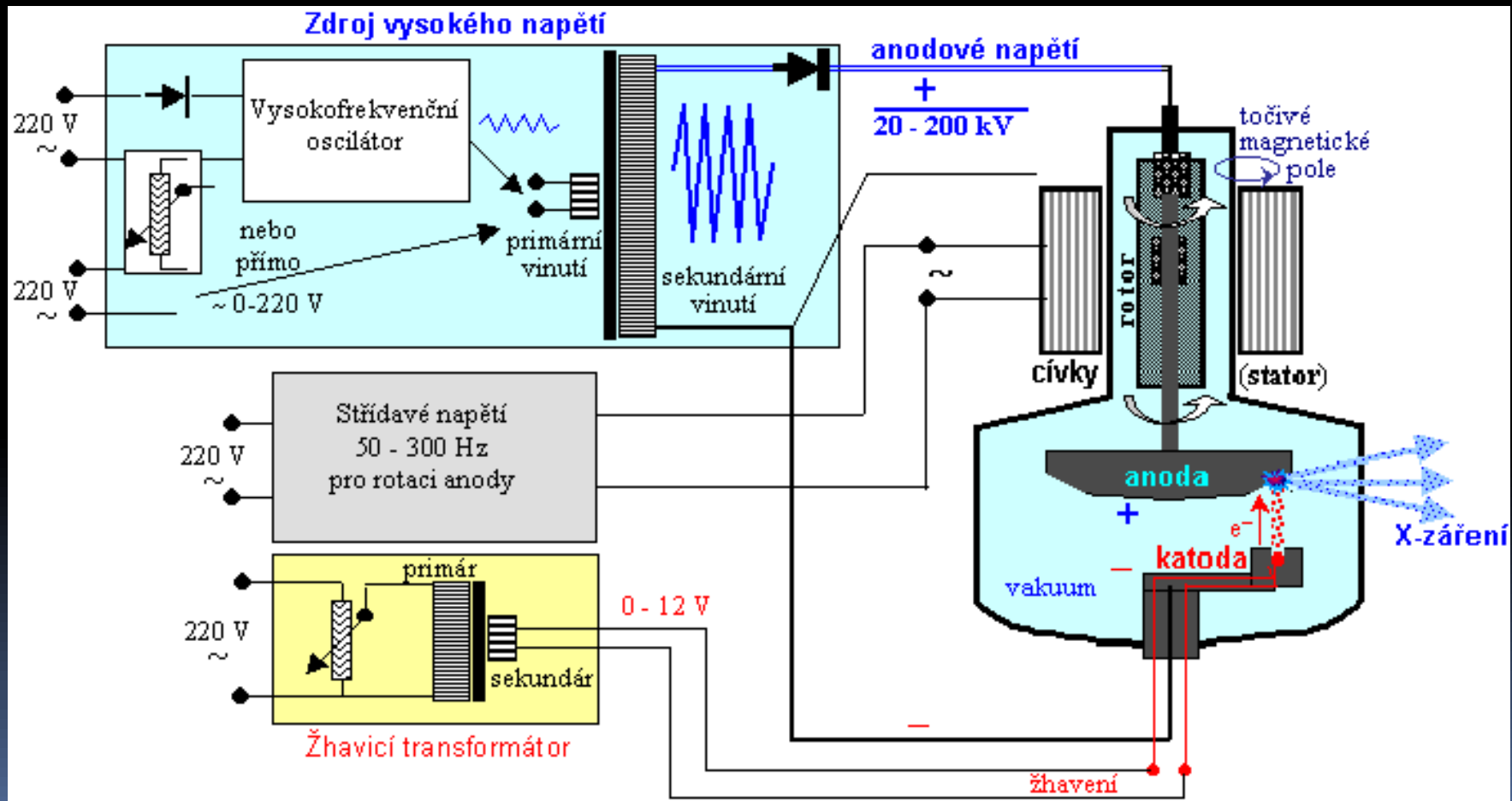
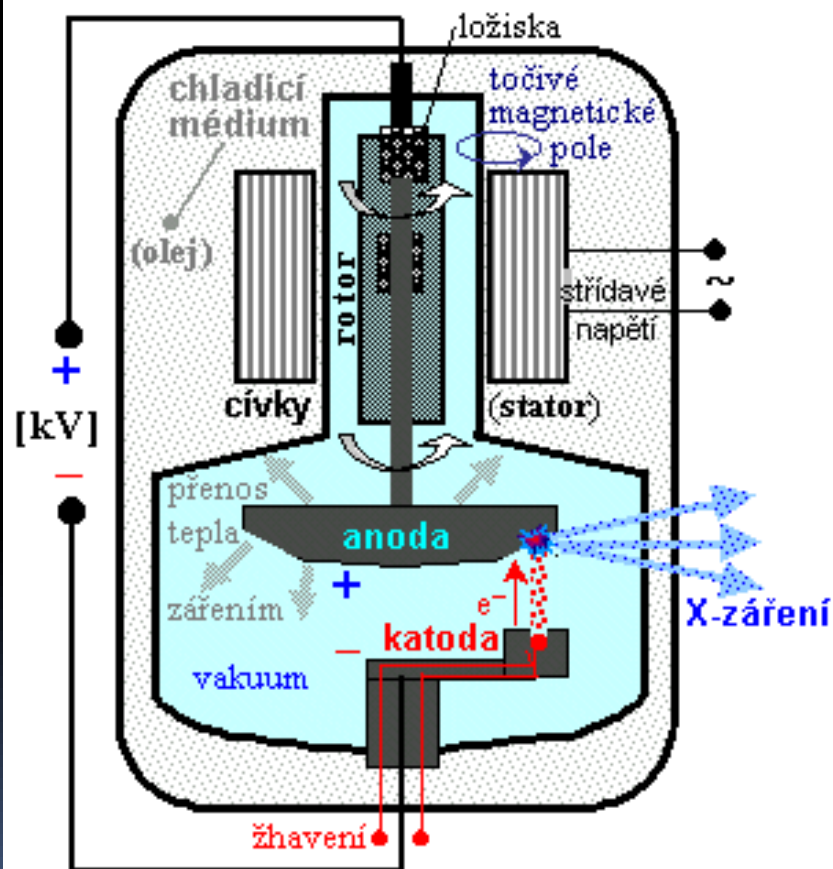
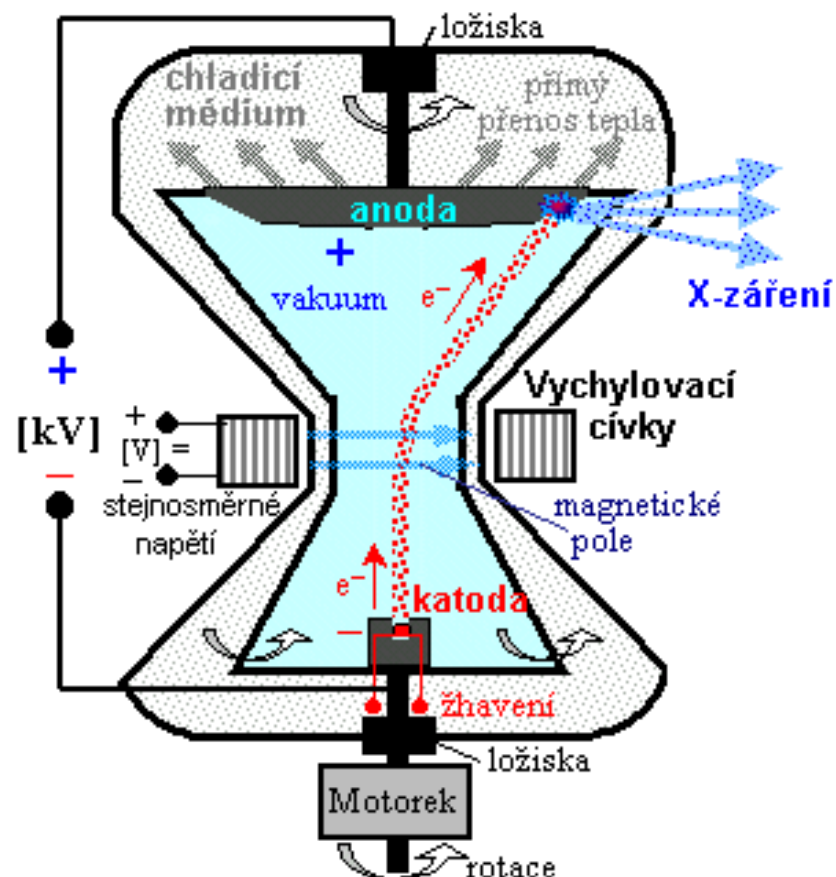


schéma 2



Rentgenka s excetrickou katodou a s anodou rotující uvnitř vakuové trubice



Rentgenka rotující jako celek s čelní anodou a magnetickým vychylováním elektronového svazku

části RTG přístroje

RTG přístroj

- souhrn elektrických, elektronických a počítačových prvků nutných k provozu

RTG zářič

- vložka - rentgenka
- kryt - kovové pouzdro

kryt rentgenky

- nepropustí nežádoucí záření + ochrana okolí
- obsahuje olej (chlazení)

výstupní okénko (Be filtr)





VLASTNOSTI A INTERAKCE RTG PAPRSKŮ

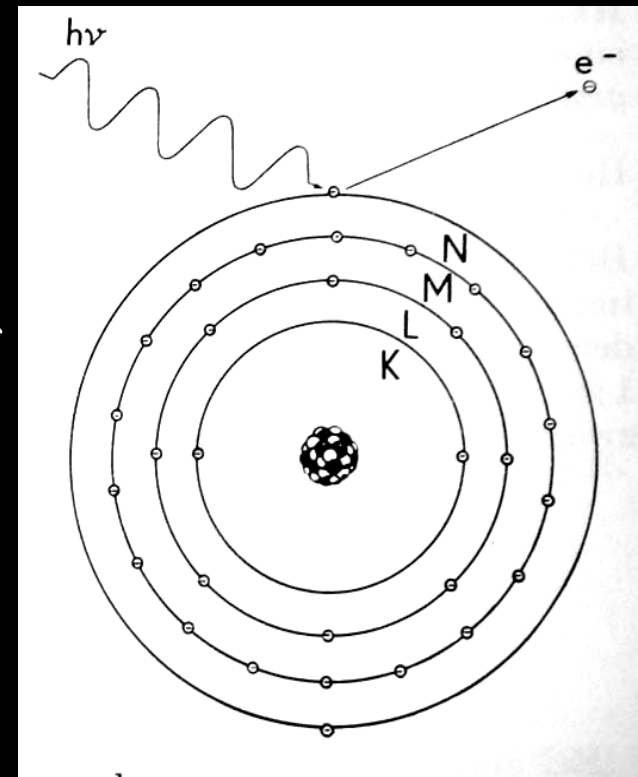
vlastnosti RTG záření

- neviditelné
- prochází hmotou (atenuace, absorpce, rozptyl)
- luminiscenční efekt (ZnS, CdS, CaWO, LaBrO, GdSO)
- fotochemický efekt (reakce AgBr, fotografická emulze)
- ionizace
- biologický efekt

ionizace

pokud atom „opustí elektron“, dostává se do *ionizovaného stavu*

pokud elektron „přeskočí“ do vyšší vrstvy, jedná se o *excitaci*

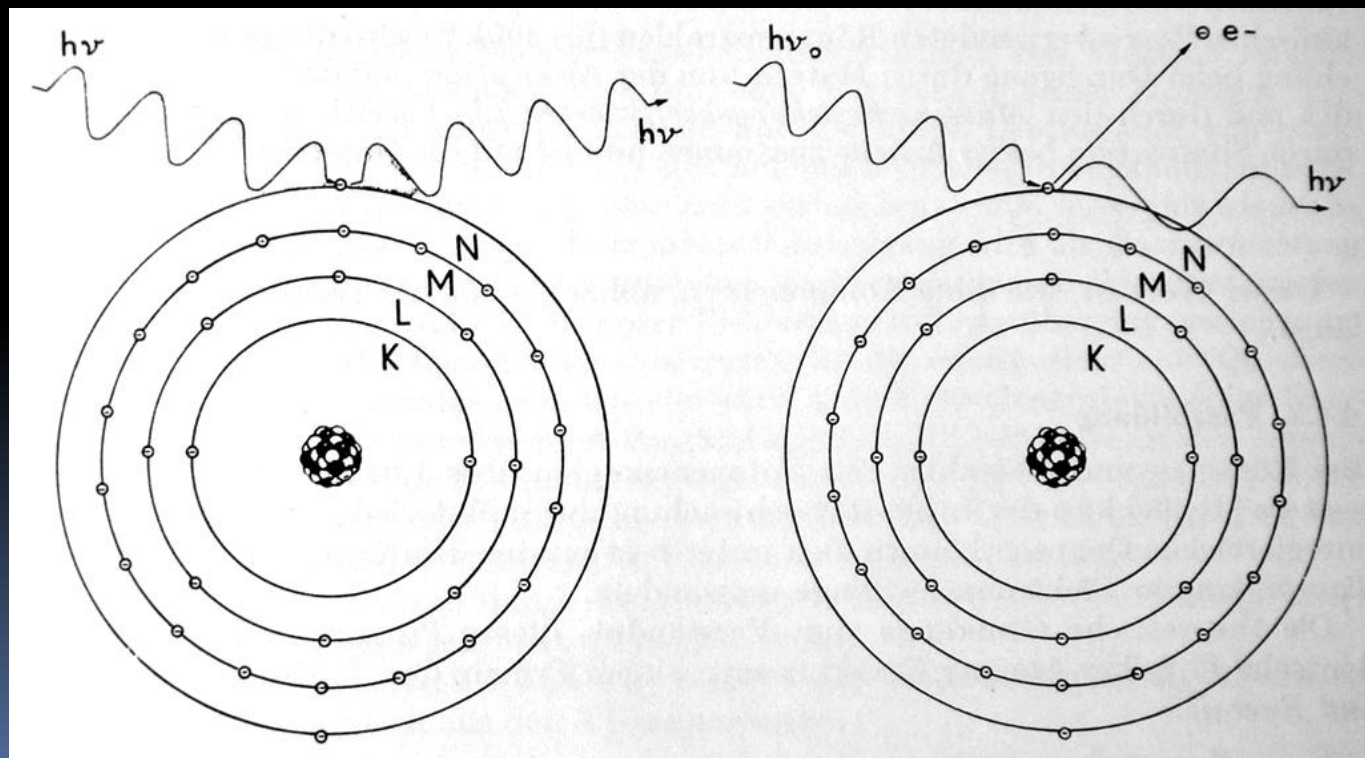


13,6 eV - min. energie k ionizaci atomu H (protium)

také všechny nabité částice mohou „*ionizovat*“

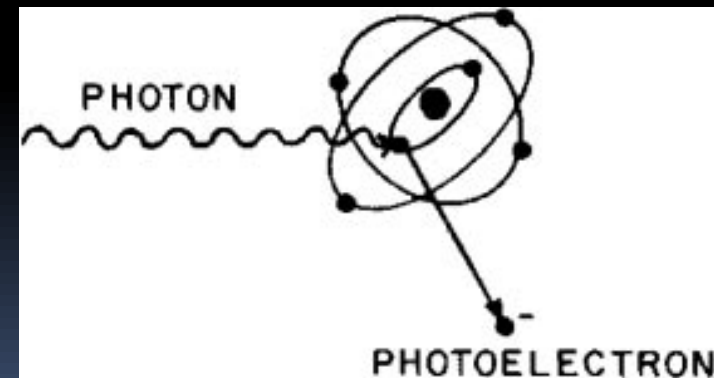
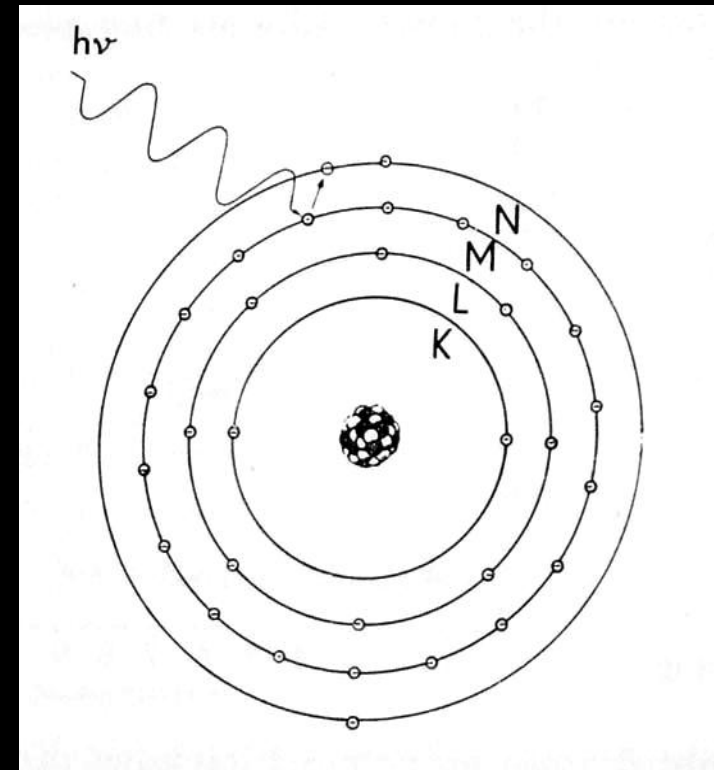
průchod X záření hmotou

- projde beze změny
 - dojde k absorpci (předá energii a zanikne)
 - dojde k některé z interakcí
- } atenuace



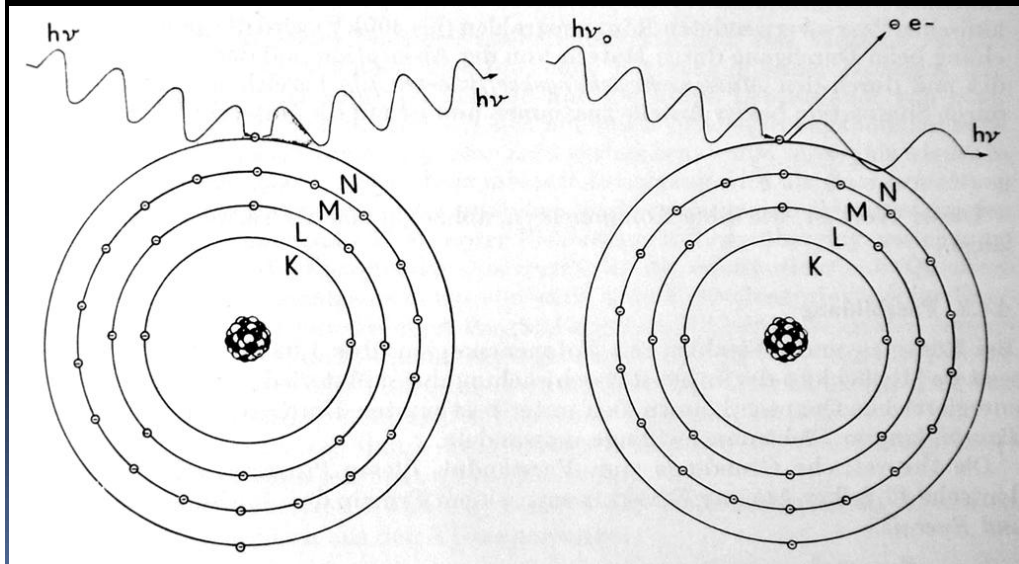
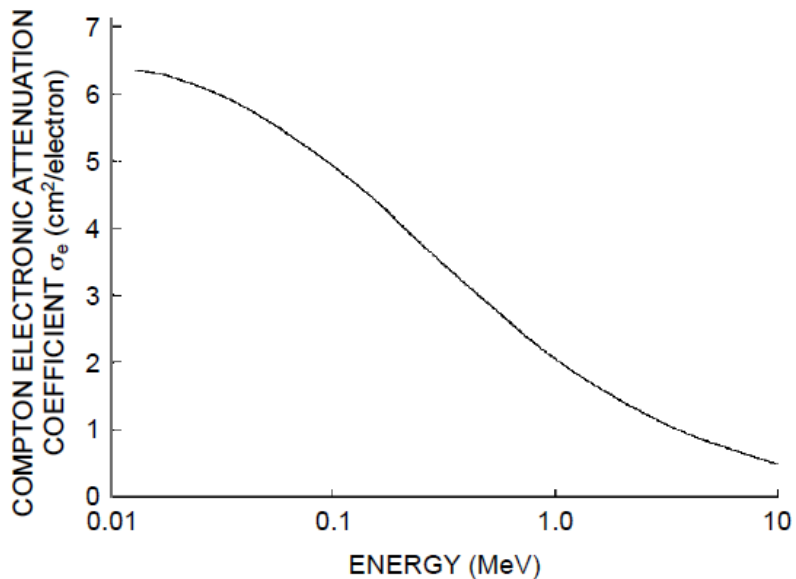
absorpce

- absorpce
 - foton předá veškerou energii elektronům na slupkách či jádru a zanikne
- fotoelektrický jev
 - foton předá veškerou energii elektronu, který opustí obal (fotoelektron)
 - častější při nízkých energiích
 - pravděpodobnost klesá se zvyšující se energií fotonů



rozptyl

- konvenční (koherentní) rozptyl
 - reakce fotonu s obalem jako celkem
- Comptonův (inkoherentní) rozptyl
 - hlavní interakce v měkkých částech (30 keV - 30 MeV)



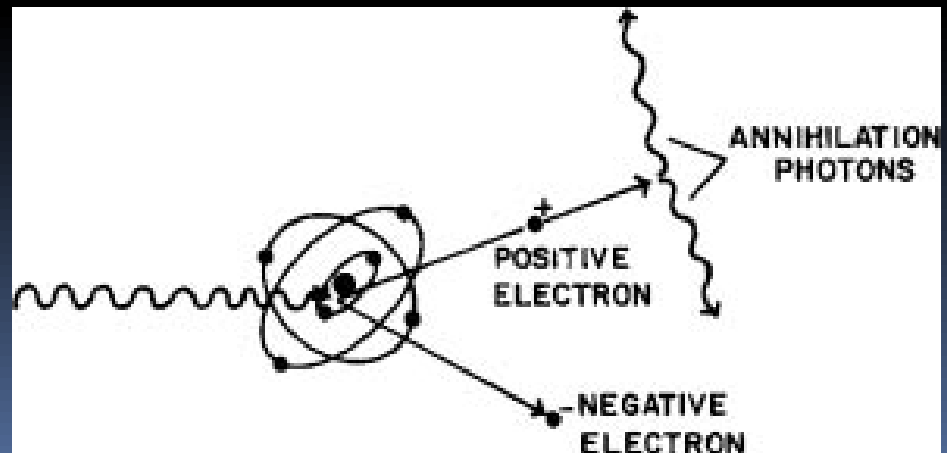
vznik páru

- v případě, že se foton dostane do blízkosti jádra
 - ⇒ vznikne pár elektronů (1 negativní a 1 pozitivní)

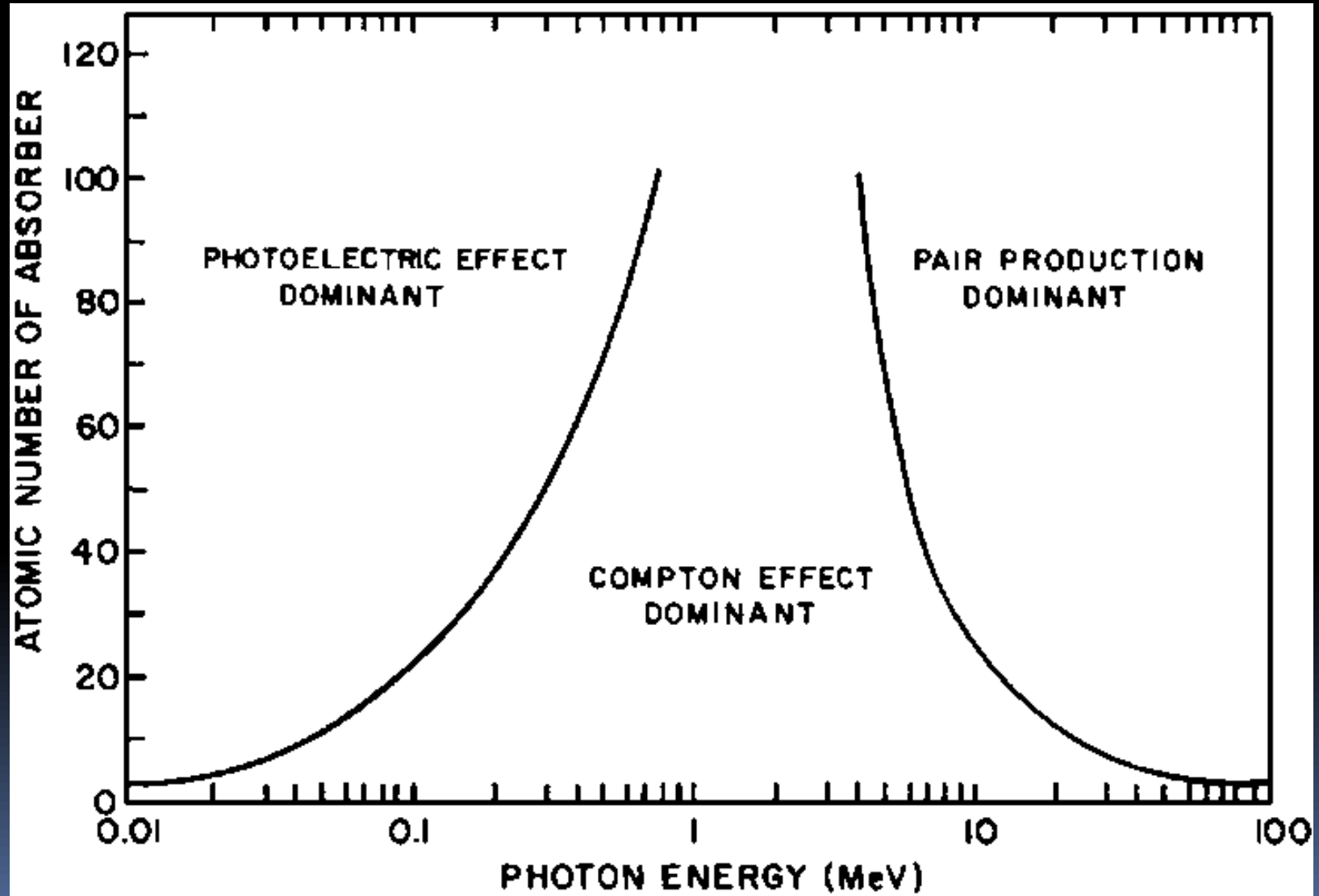
energie potřebná pro vznik elektronu je 0,51 MeV

⇒ foton by musel mít energii 1,02 MeV

⇒ v běžné konvenční radiologii nepřichází v úvahu



pravděpodobnost interakcí

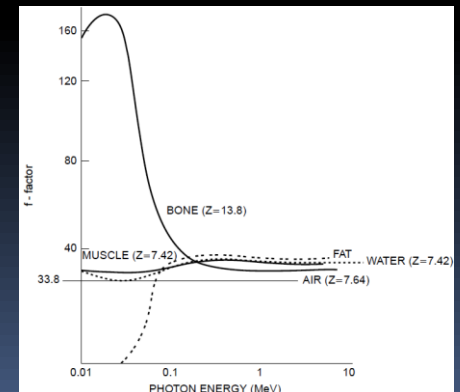


atenuace rtg paprsků

- energie fotonů
- atomové číslo a elektronová denzita hmoty
 - tuk, měkké části, kosti a vzduch (např. dutiny)

f-faktor

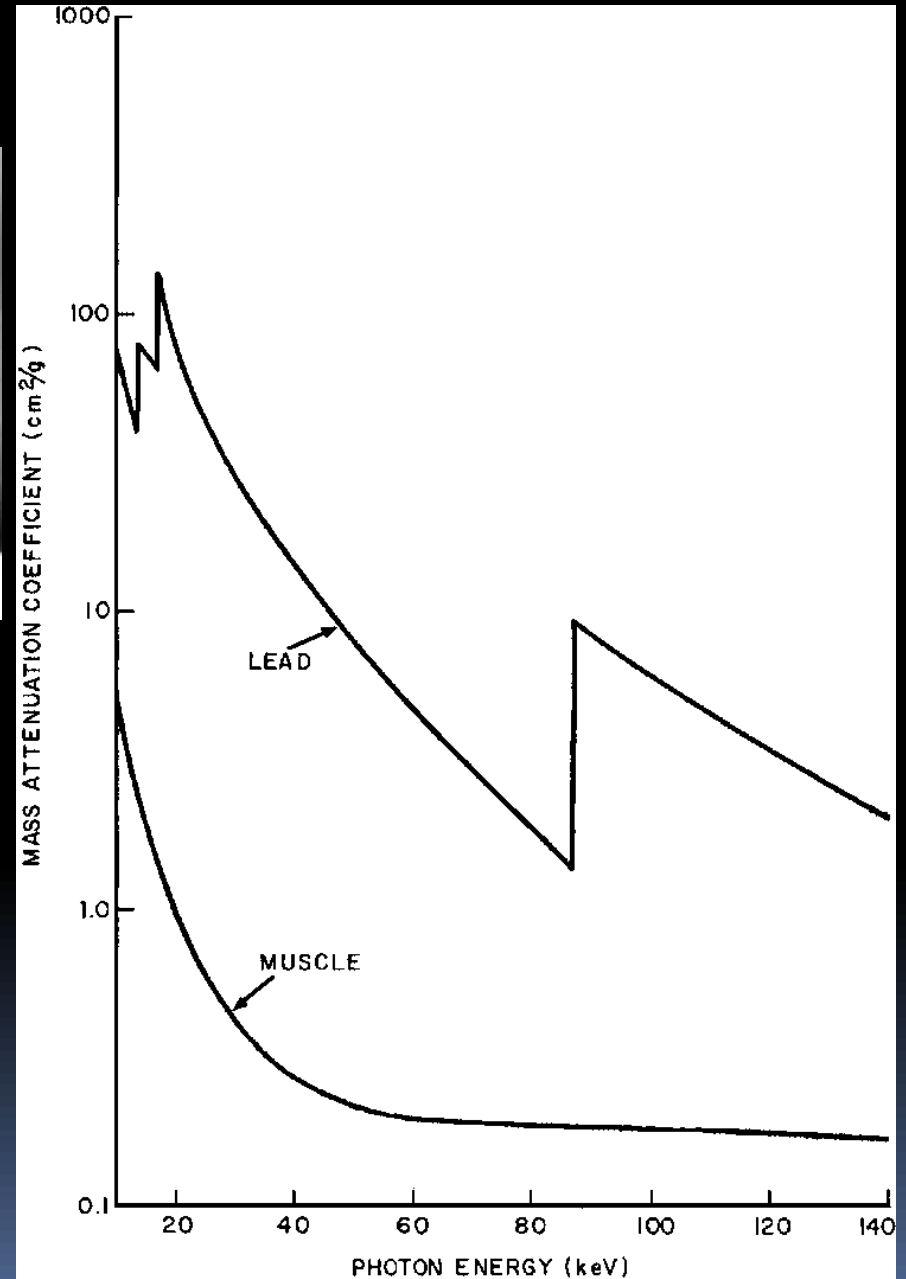
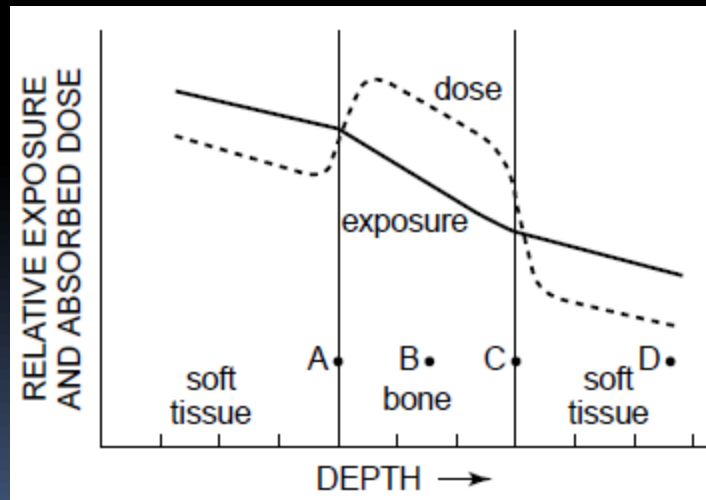
- množství absorbované dávky [Gy] ve hmotě při ozáření rtg paprsky [$C \cdot kg^{-1}$]
- pro různé tkáně



atenuace rtg paprsků

- měkké tkáně obsahují velké množství vody
 - jejich atenuace je prakticky stejná
- tuková tkáň má vyšší obsah atomů s nízkým Z (vodík)
 - ⇒ tuk má nižší denzitu
- měkké části
 - nízko-energetické záření (35 kV) - fotoelektrická absorpce
 - závisí na atomovém čísle
 - více-energetické záření - Comptonův rozptyl
 - nezávisí na atomovém čísle
- kosti
 - větší denzita, větší absorpce, větší atenuace

interakce těle

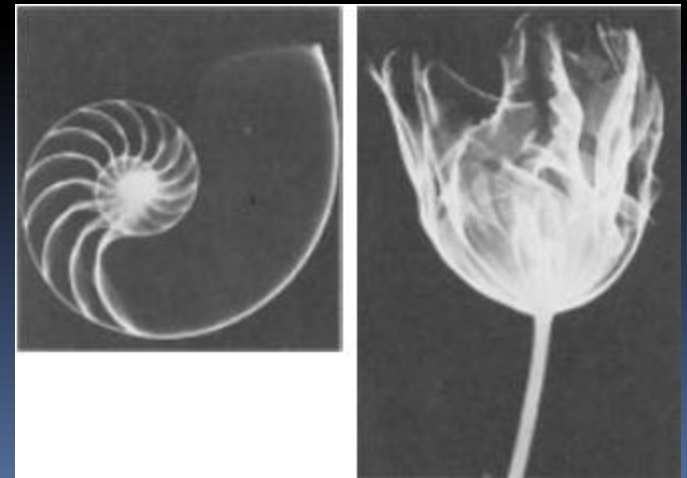


měkká technika

- materiály s malými rozdíly denzit
 - horší efektivita využití
 - vyšší absorpce v měkkých částech
 - nízká penetrance

⇒ vyšší radiační zátěž povrchových částí

mamografie a snímkování dětí

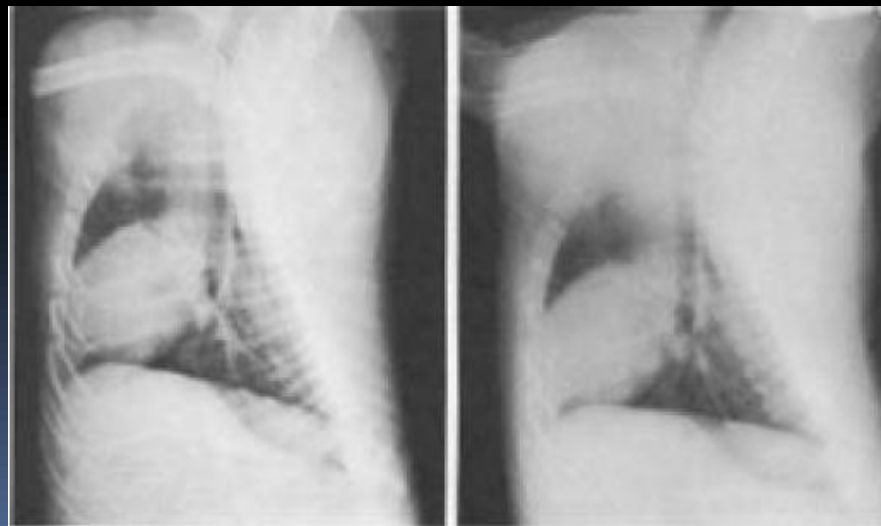


tvrdá technika

- 80 - 140 kV
- doporučený postup u většiny studií

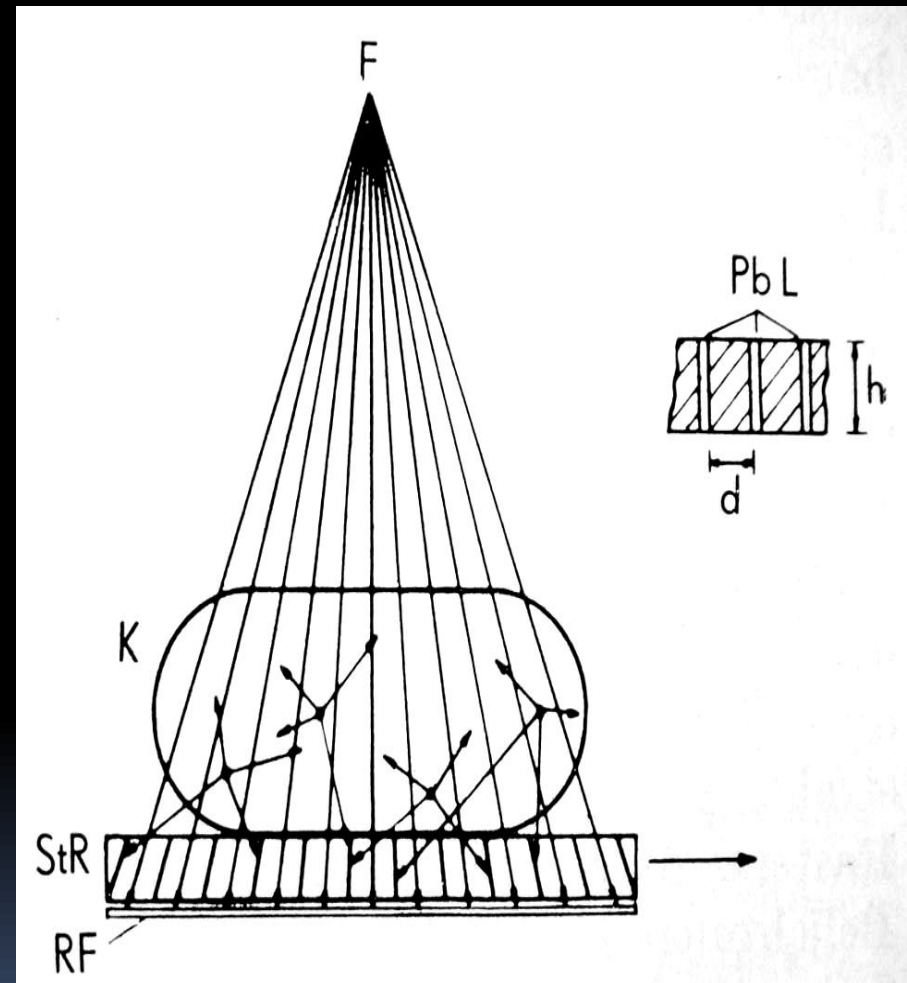
nevýhody

- nižší kontrast měkkých částí
- horší detail díky většímu množství sekundárního záření



průchod rtg záření hmotou

- vzniklý neviditelný obraz za objektem je rušen rozptýleným sekundárním zářením
- lze částečně eliminovat sekundární clonou



neviditelný rtg obraz

sekundární clona

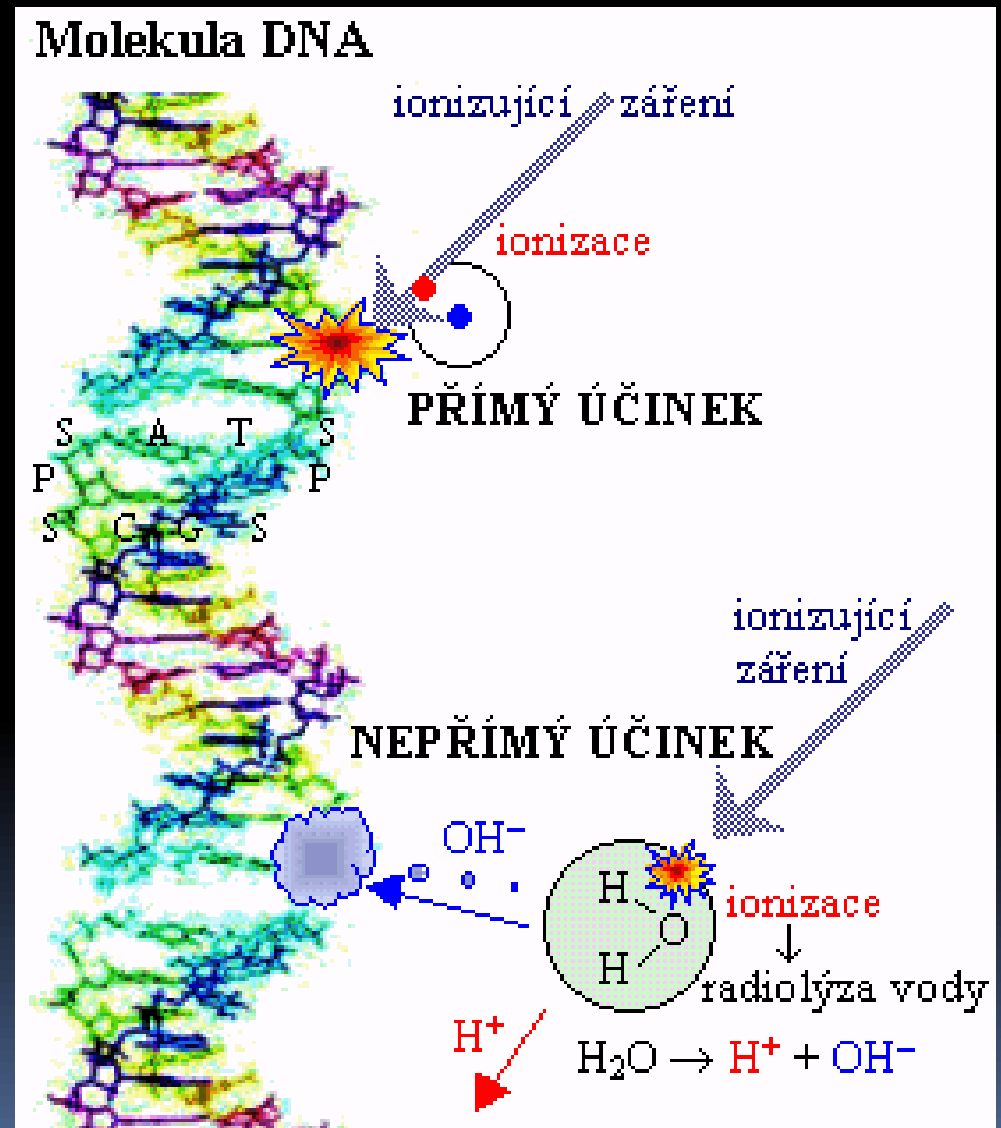
- jedná se o kolimátor
 - mezi pacientem a filmem
 - mřížka tvořená rovnoběžnými absorpčními lamelami (olověné pásy)
 - propouštějí pouze primární X-záření ve směru původního svazku, zatímco sekundární rozptýlené fotony (pohybující se jinými směry) pohlcuje
- ⇒ potlačení sekundárního rozptýleného záření podstatně zlepšuje kontrast rentgenového obrazu

biologický efekt

buňka - DNA (jádro)

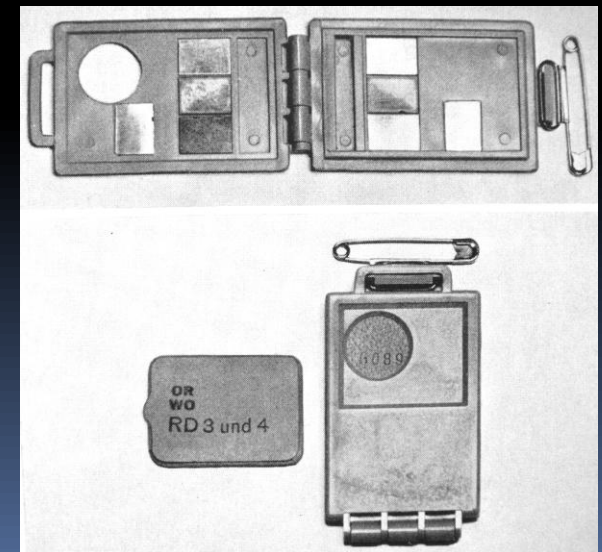
- 1) smrt buňky
- 2) mutace

reparační procesy



biologický efekt

- působí škodlivě na biologický organizmus
 - somatické a genetické účinky záření
- přínos použití rtg záření v diagnostice musí vždy převážit rizika nežádoucích účinků
- dozimetrie: pacient x personál

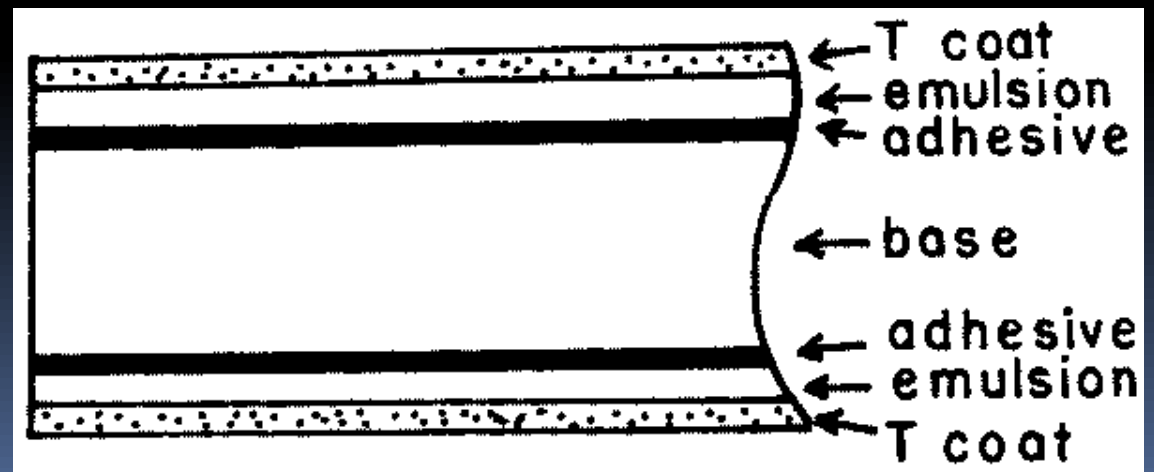




VZNIK A ZPRACOVÁNÍ RTG OBRAZU

rtg film

- základ - celulóza či polyester
- emulze - AgBr rozpuštěný v želatinové matrix
- protektivní vrstva
- jednostranný/oboustranný



fotchemická reakce

- fotografická emulze - želatinová vrstva
 - halogenidy stříbra (10^9 na 1 cm^2)
 - Ag^+ a Br^- , I^-
 - radiolýza - uvolněné elektrony primárním svazkem neutralizují Ag^+ a vznikají malá depozita kovového stříbra
- ⇒ vznik tzv. latentního obrazu
- následuje vyvolávací proces

vyvolávací proces

- vývojka
 - vazba dalších atomů stříbra
 - latentní obraz po primárním ozáření slouží jako katalyzátor
 - ustalovač (thiosulfát sodný)
 - dojde k vymytí halogenových granulí, které nebyly ozářeny
- ⇒ stupeň zčernání je závislý na množství vyredukovaného stříbra, resp. množství záření, které dopadlo na emulzi.

vývojka

- zviditelnění latentního obrazu, zaznamenaného na světlocitlivou vrstvu fotografických desek, filmů a papírů
- vývojka redukuje senzibilizovaný AgBr a AgI zářením na amorfnní stříbro zůstávající v emulzi a brom odcházející do vývojky jako KBr a NaBr
- chemicky vývojka zajišťuje redukci bezbarvých halogenidů stříbra na viditelný černý kov

teplota vývojky ve vyvol. automatu je 34°C (ruční 20°C)

- pH: 10 - 11

ustalovač

- fixace latentního obrazu zviditelněného vývojkou
- principem ustalovače je rozpuštění a odstranění (absorbování) látek, které by na výsledném produktu mohly způsobit pokračování procesů vyvolání (obvykle tmavnutí vrstvy) v místech, kde to není žádoucí
- odstraňuje nesenzibilizovaný (neozářený) AgBr z emulze
- účinná látka - **sirnatan sodný** a **kyselý siřičitan Na, nebo K** - (zastavuje vyvolávání)
- vyčeření - zmizení bělavého zákalu emulze
- pH: 4 - 6,5

temná komora

- 10 m² s mokrým pracovištěm, výška 3 m
- 6 m² s vyvolávacím automatem (2-4 m² zubní)
- osvětlení - červenohnědé světlo nad mokrým pracovištěm 24 V
- manipulační stůl se světlotěsným zásobníkem filmů a omyvatelným povrchem desky
- vhozy kazet

světlná komora

- 10 m² (s vyvol. automatem být nemusí)
- identifikační zařízení (signafot)
- negatoskop
- vyvolávací automat
- zásoba regeneračních roztoků
- sběrné tanky chemikálií

vyvolávací automat

- 4 sekce: vývojka, ustalovač, voda, sušení
- regenerace vývojky a ustalovače
- speciální filmy
- vyvolávací cyklus 1,5 - 2 min (pro mammo 4 min.)
- sběr chemikálií

systemy pro zpracování filmů za denního světla („daylight system“)

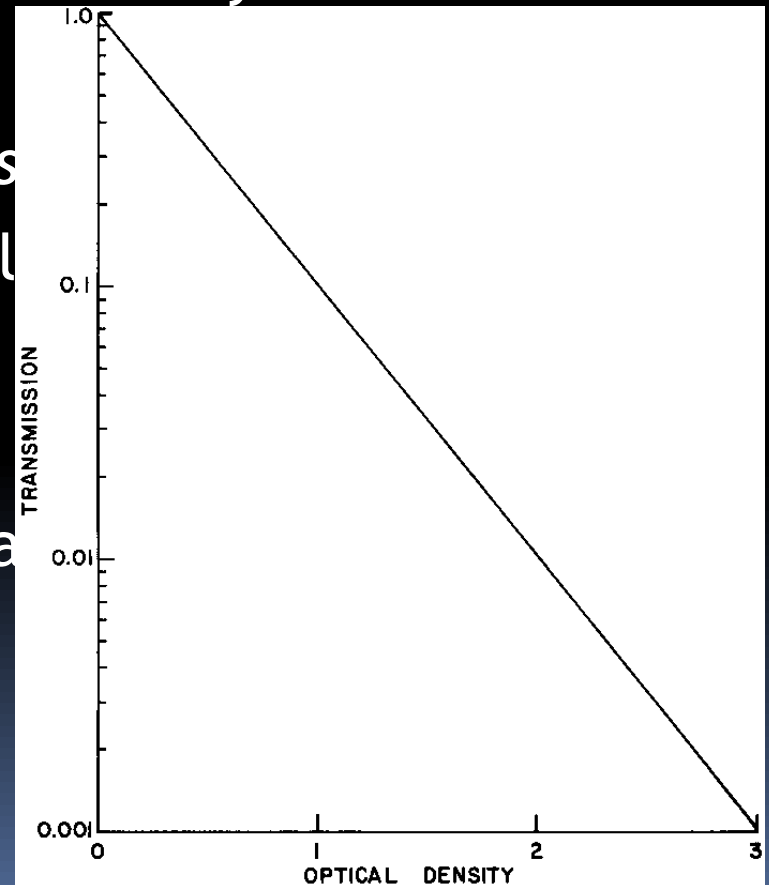
- zařízení pro „vybíjení“ a „nabíjení“ kazet
- sběrný zásobník filmů
- vyvolávací automat
- musí mít klimatizaci - odsávání par chemikálií a tepla ze sušící části
- umístění v „centru“ procesu

rtg film – optická denzita

- *světelná propustnost („transmittance“ - T)*
 - kolik světla propustí určitá oblast vyvolaného filmu

- *optická denzita („optical density“ - OD)*
 - stupeň zčernání v určité oblasti
$$OD = \log(T^{-1})$$

⇒ OD je často běžně označována



stupeň zčernání snímku

- průměrná celoplošná hustota snímku
- vnější vlivy
 - citlivost filmu a zesilovací fólie
 - koeficient absorpce v sekundární cloně a v objektu
 - vlastní a přídavná filtrace
 - správná metoda práce v TK (čas, teplota, roztoky...)
- hlavní činitele
 - anodový proud
 - expoziční čas - mAs
 - anodové napětí a vzdálenost ohnisko - film (OF)

charakteristická křivka

- *charakteristická (senzitivní) křivka*
 - závislost OD na expozici

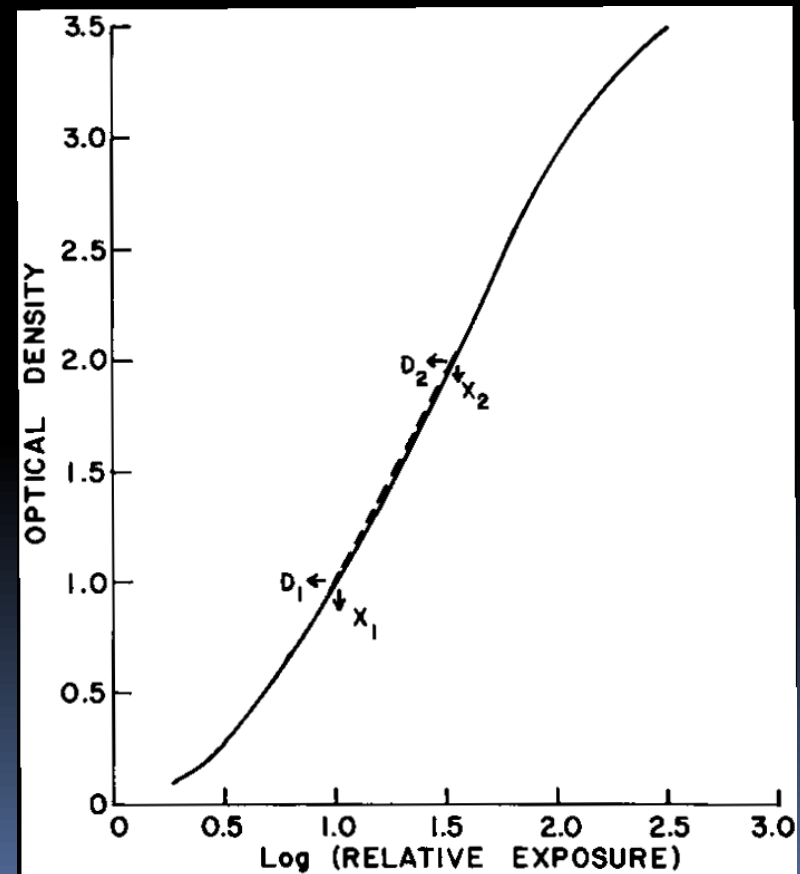
$$\text{Average gradient} = \frac{D_2 - D_1}{\log X_2 - \log X_1}$$

tvar a sklon

průměrný gradient

základní závoj

- stupeň minimálního zčernání
- kvalita filmu a vyvolávacího procesu



rozlišovací schopnost

- tzv. ostrost (*detail, definition, sharpness*)

*„minimální vzdálenost pro vizuální odlišení 2 bodů
nebo čar“*

⇒ schopnost kvalitně zobrazit co nejmenší anatomické
či patologické struktury

- neostrost - geometrická a pohybová
- velikost zrna folie a filmu

kontrast snímku

- poměr mezi nejsvětlejším a nejtmavším místem snímku
- vliv
 - materiál a zesilovací fólie
 - expozice - čím je záření tvrdší, tím je snímek méně kontrastní, vyrovnanější
- tzv. tvrdé a měkké snímky
 - přeexponované a podexponované

technické vady rentgenogramů

- černé body
 - prach, kovové piliny, bakterie, postříkání filmu vývojkou
- černé skvrny
 - nepravidelné fleky při okrajích - pronikání světla do kazety nebo krabice
- tmavé pŕlměsíčky
 - tlak nehtů na film
- tmavé čárky
 - zlomení filmu
- tmavé blesky
 - statický výboj
- tzv. rastr (špatný pohyb sekundární clony)
- tmavé mramorování (skladování ve vlhku)

technické vady rentgenogramů

- bílé body
 - cizí těleso mezi folií a filmem, bakterie
- bílé skvrny
 - skvrny na fóliích, potřísnění nemocného nebo náradí kontrastní látkou, otisky mastných prstů na fólii, potřísnění filmu ustalovačem, slepení filmů
- šedý závoj
 - prošlé filmy, ozáření mírným světlem či rtg zářením
- dichroitický závoj
 - znečištěná vývojka či ustalovač vzájemně, vyčerpaný ustalovač

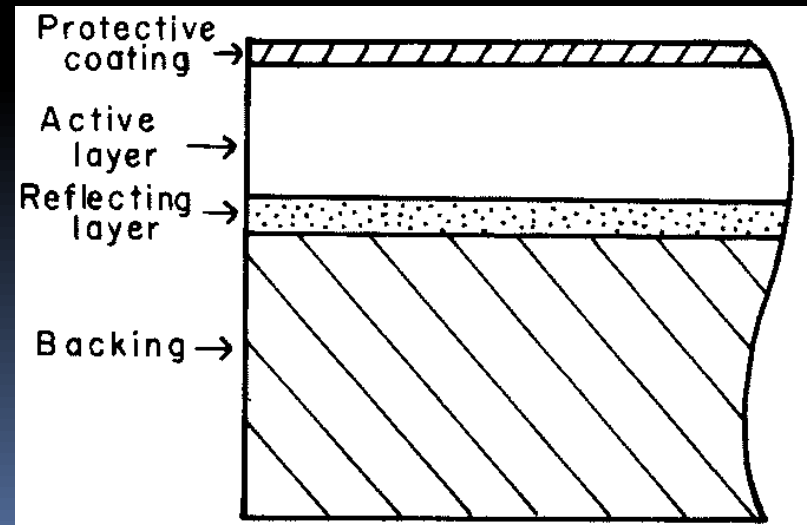
zesilovací techniky

- jen 2-6% energie paprsku je absorbována emulzí filmu
 - je vždy menší při vyšší energii fotonů
- ⇒ přímé ozáření filmu jen při potřebě vysokého detailu
- *zesilovací folie*
 - zvýšení efektivity
 - snížení radiační zátěže
 - zachování kvality obrazu při nižší expozici
- luminiscenční efekt

zesilovací folie

- kazeta - 2 folie a 1 film s oboustrannou emulzí
- při dopadu latentního RTG obrazu se folie „rozsvítí“ a objeví se na ní reálný obraz, který exponuje film
 - těsné naléhání filmu a folií bez nečistot
- granule fluorescentního materiálu

70. léta - CaWO_4 (4-8 μm)
dnes na bázi tzv. vzácných
zemí (pod 1 μm)
- lanthan, yttrium...



zesilovací folie

- lépe exponuje film než samotné RTG paprsky
- kratší expozice ⇒ redukce pohybových artefaktů
⇒ menší neostrost
- zhorší rozlišovací schopnost
 - zrno folie
 - celkové uspořádání kazety (tloušťka)
⇒ větší geometrická neostrost
- různé citlivosti folie - 100, 200, 400, 800
- čím je folie citlivější, tím potřebuje menší dávku
- snížení radiační zátěže

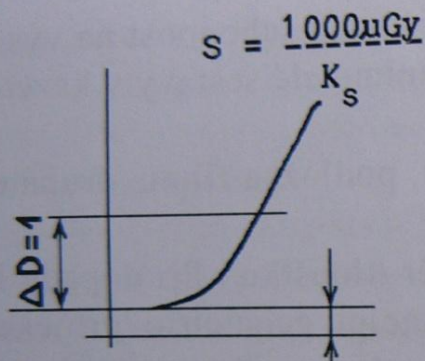
zesilovací folie - citlivost

- film s menším sklonem sensitometrické charakteristiky umožňuje větší expoziční šíři
- ⇒ na film se vejde více obrazových informací jak v bílé, tak i v černé oblasti
- podíl folie na zčernání filmu je cca 97%
- *intenzifikační faktor*

$$\text{Intensification factor} = \frac{\text{Exposure required to produce OD 1.0 without screen}}{\text{Exposure required to produce OD 1.0 with screen}}$$

zesilovací folie - citlivost

67



a to tak, aby při dávce K_s bylo dosaženo zčernání 1 nad závojem filmu, přesně: densita závoje filmu + 1

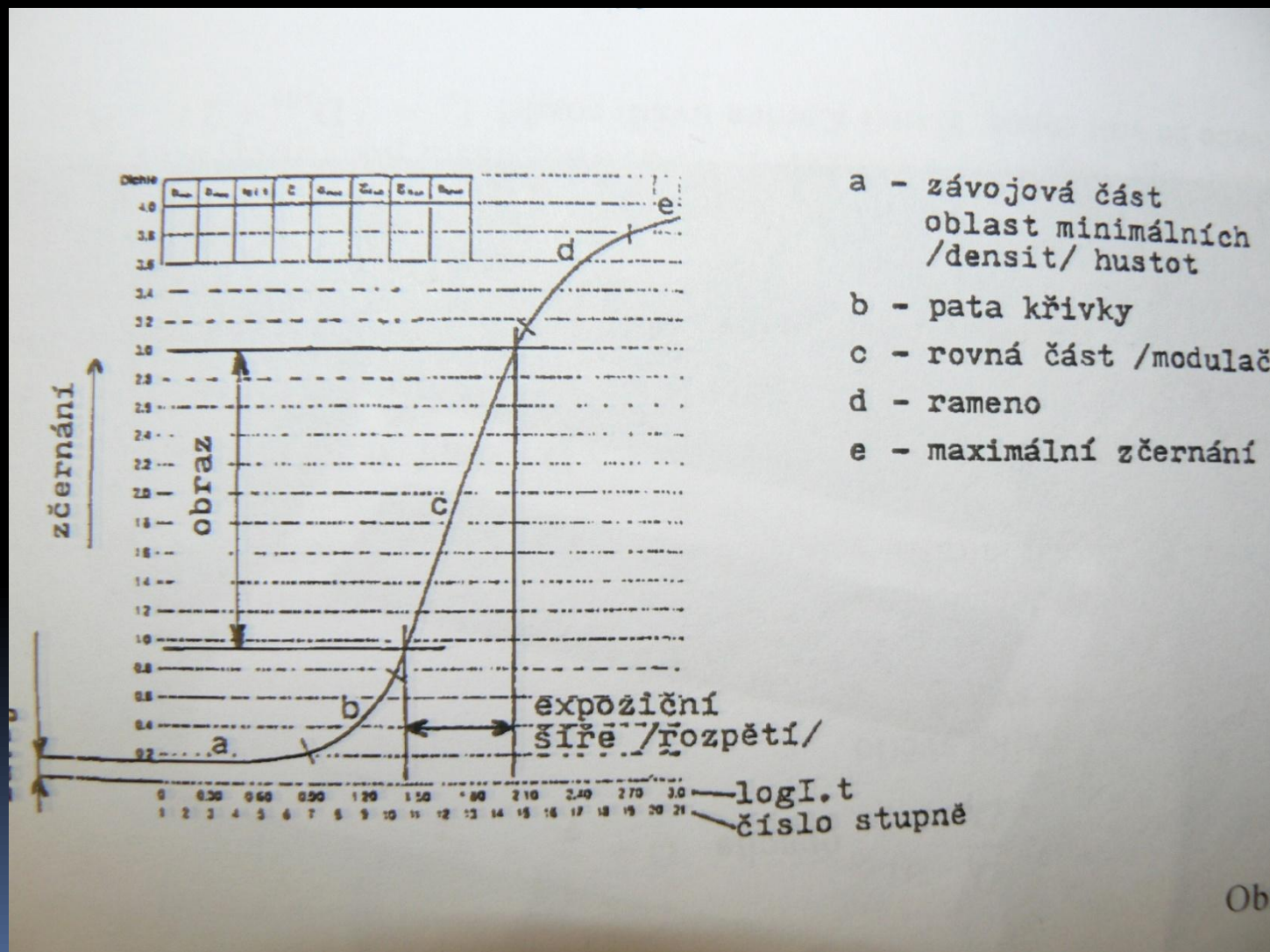
Obr.79

kde S je citlivost /Speed/ film-foliové kombinace, vyjádřené řadou 100, 200, 400, 800. Pak bude pro

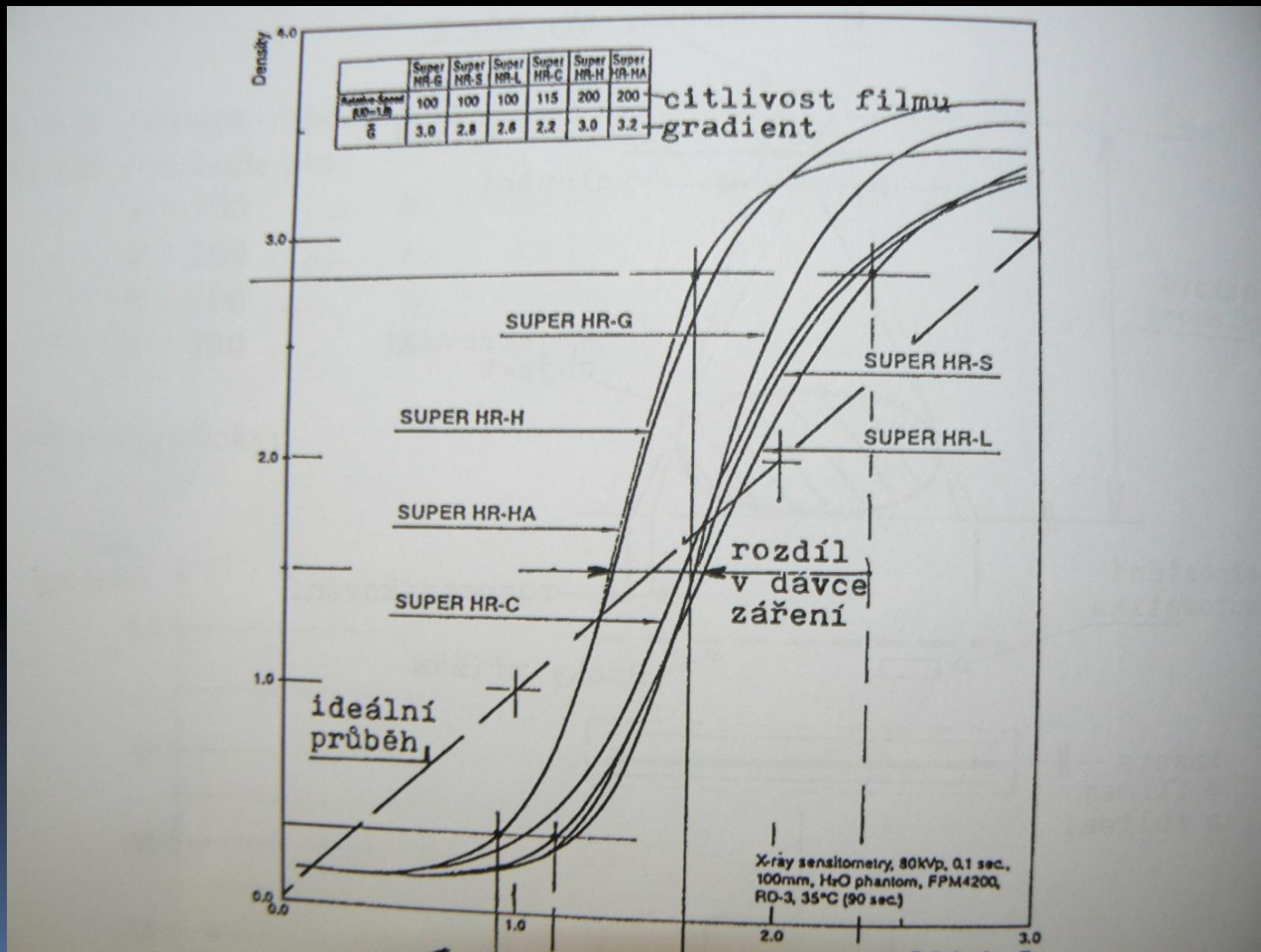
$S = 100$	.....	$K_s = 10 \mu Gy$	$100 = \frac{1000}{10}$
$S = 200$	.....	$K_s = 5 \mu Gy$	
$S = 400$	.....	$K_s = 2,5 \mu Gy$	
$S = 800$	.....	$K_s = 1,25 \mu Gy$	$800 = \frac{1000}{1,25}$

Vyjádřeno graficky:

zesilovací folie - citlivost



zesilovací folie - citlivost

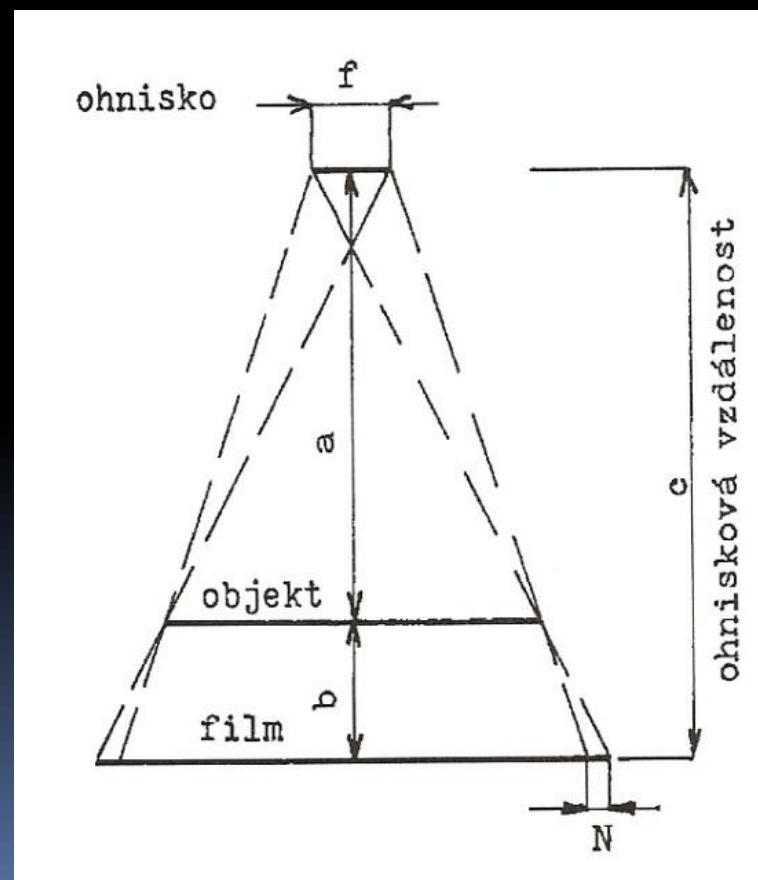




SKIAGRAFIE A ZÁKLADNÍ KONSTRUKCE RTG PŘÍSTROJŮ

základní geometrické uspořádání

- ohnisko
- ohnisková vzdálenost - FFA
- „Film Focus Abstand“
- vzdálenost objektu od filmu
- geometrická neostrost (N)

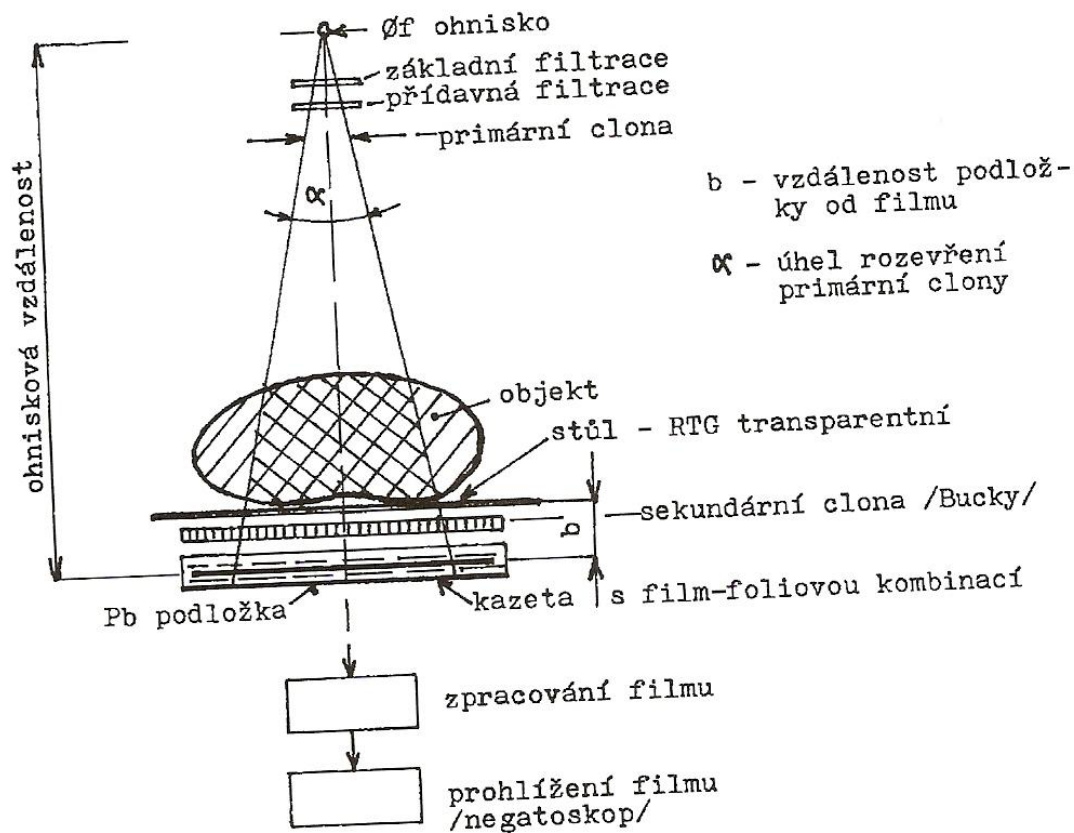


zdroj \Rightarrow receptor

- filtrace (základní a přídatná)
 - zvyšuje homogenitu záření
 - odstraňuje měkké záření
 - utvrzuje záření
- primární clona
- vzduch
- snímkový objekt
- (stůl)
- sekundární clona

obrazový řetězec

57



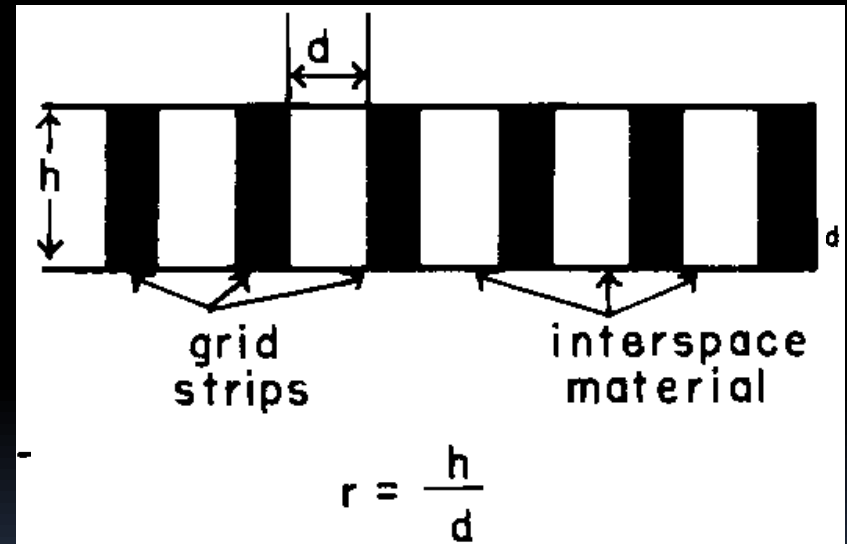
Obr.63

sekundární clona - konstrukce

- tloušťka lamel
 - ...tak malá, aby nebyly vidět na snímku
 - ...tak velká, aby absorbovala sekundární fotony
- ⇒ cca 0,05 mm

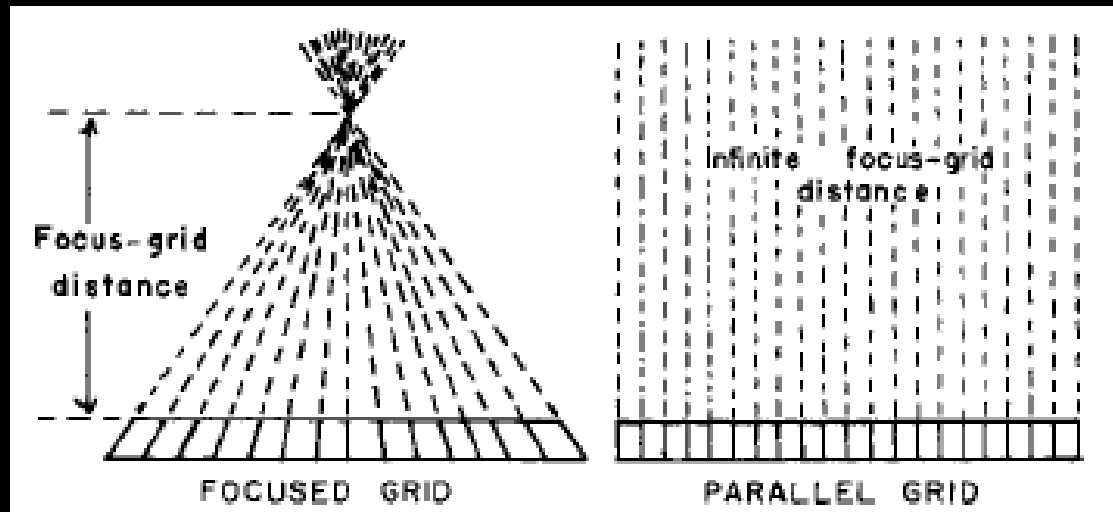
- interlamelární prostor
 - plast nebo hliník

- kvalita
 - nemělo by docházet ke vzniku charakteristického záření



sekundární clona - typy

- paralelní a „focused“

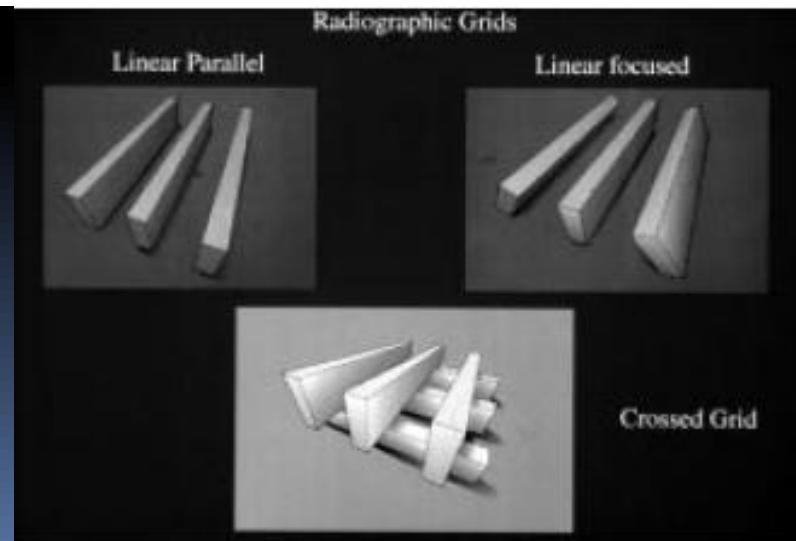


„focused“ typ

- správná vzdálenost

paralelní typ

- OD klesá k periferii



sekundární clona - charakteristika

- poměr výšky a šíře lamel (*grid ratio*)

$$\text{Grid ratio} = \frac{\text{Height of grid strips}}{\text{Distance between grid strips}}$$
$$r = \frac{h}{d}$$

- počet lamel (např. na 1 cm)
- faktor zlepšení kontrastu (*contrast improvement factor*)
 - závisí na velikosti pacienta a energii záření
 - měří se na vodním fantomu
- selektivita (*selectivity*)
 - poměr primárního a sekundárního záření za clonou

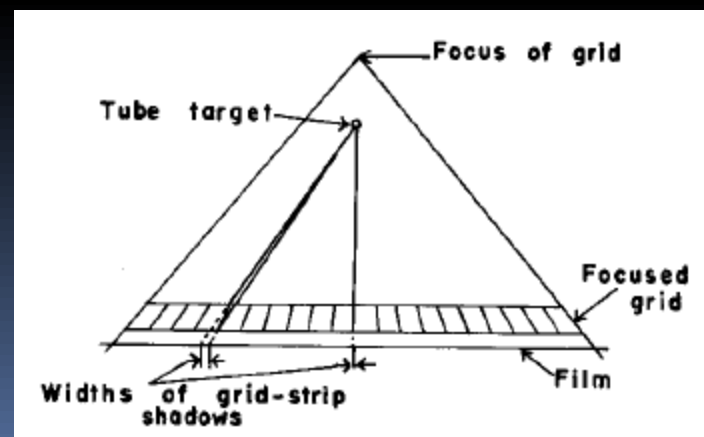
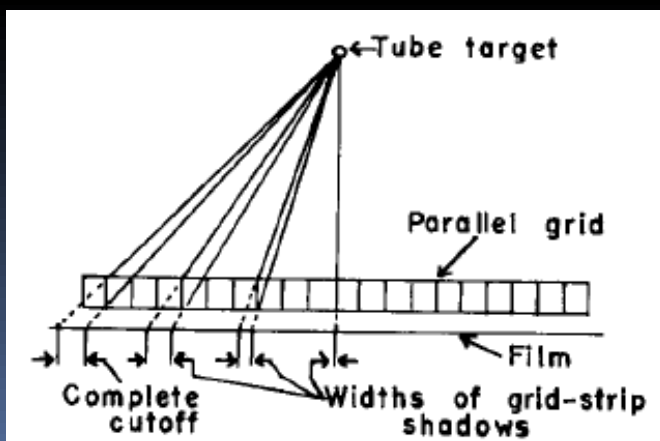
sekundární clona - pohyblivá

- 1915 - G.Bucky (vylepšena 1919 - H.E.Potter)

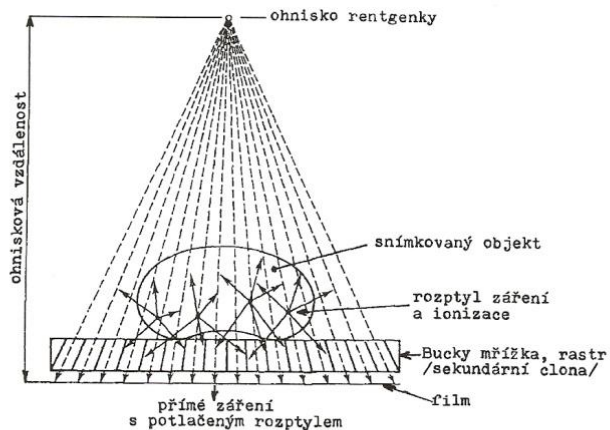
lineární pohyb v rámci 1-5 cm

„focused“ clona - úprava vzdálenosti clona-detektor

- grid cutoff*
 - ztráta primárního záření po zařazení sekundární clony

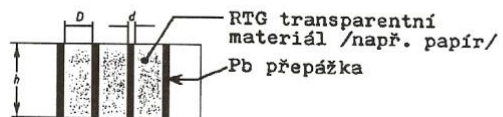


sekundární clona vs. „moving-slits“

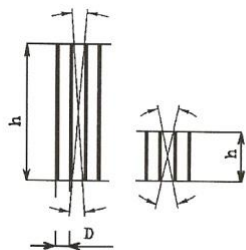


Obr.72

Mechanické údaje Bucky clony:

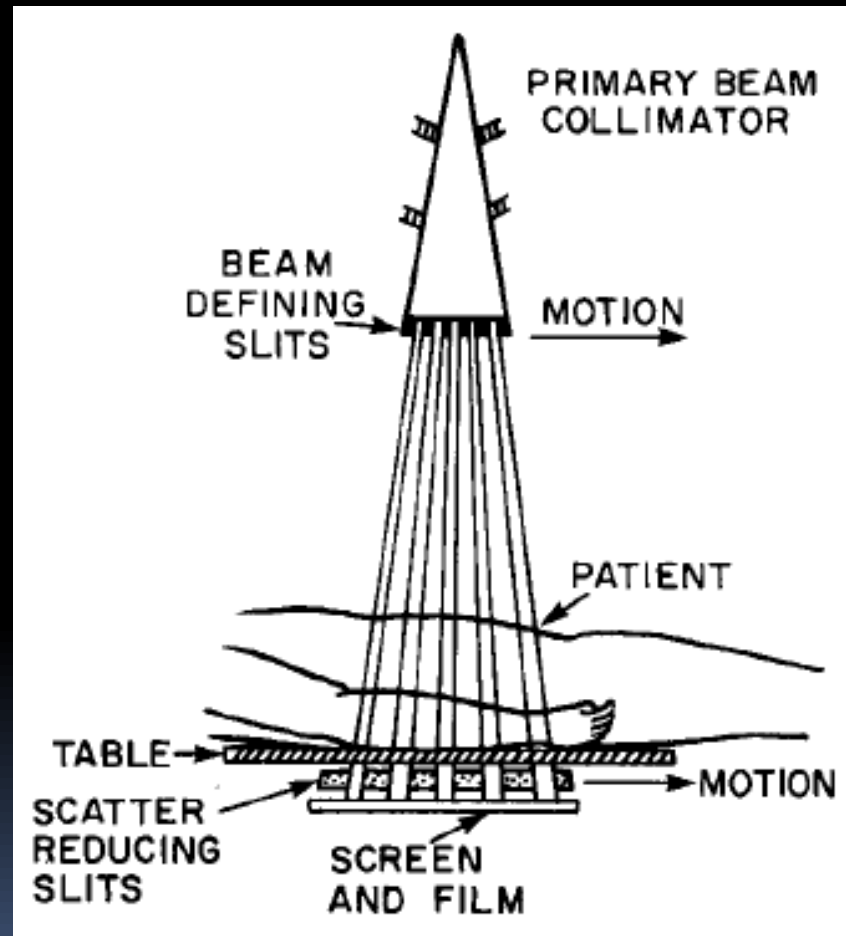


Obr.73



Obr.74

poměr $r = \frac{h}{D}$ ukazuje na propustnost rozptýleného záření

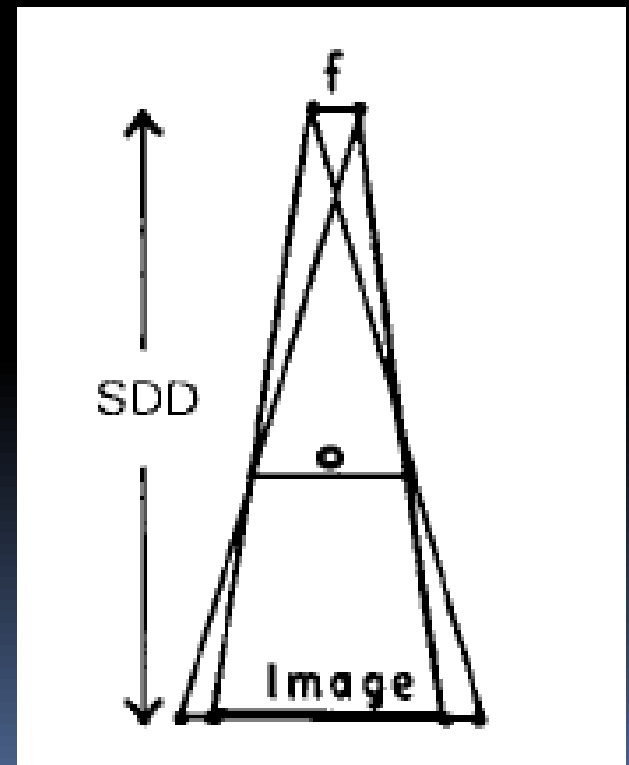


zvětšovací radiografie

- konstantní vzdálenost rentgenka-detektor

$$\text{Magnification} = \frac{\text{Image size}}{\text{Object size}} = \frac{\text{Target - film distance}}{\text{Target - object distance}}$$

- ⇒ záleží na pohybu objektu
- ⇒ co nejmenší vzdálenost objektu a detektoru (filmu)



expoziční automat

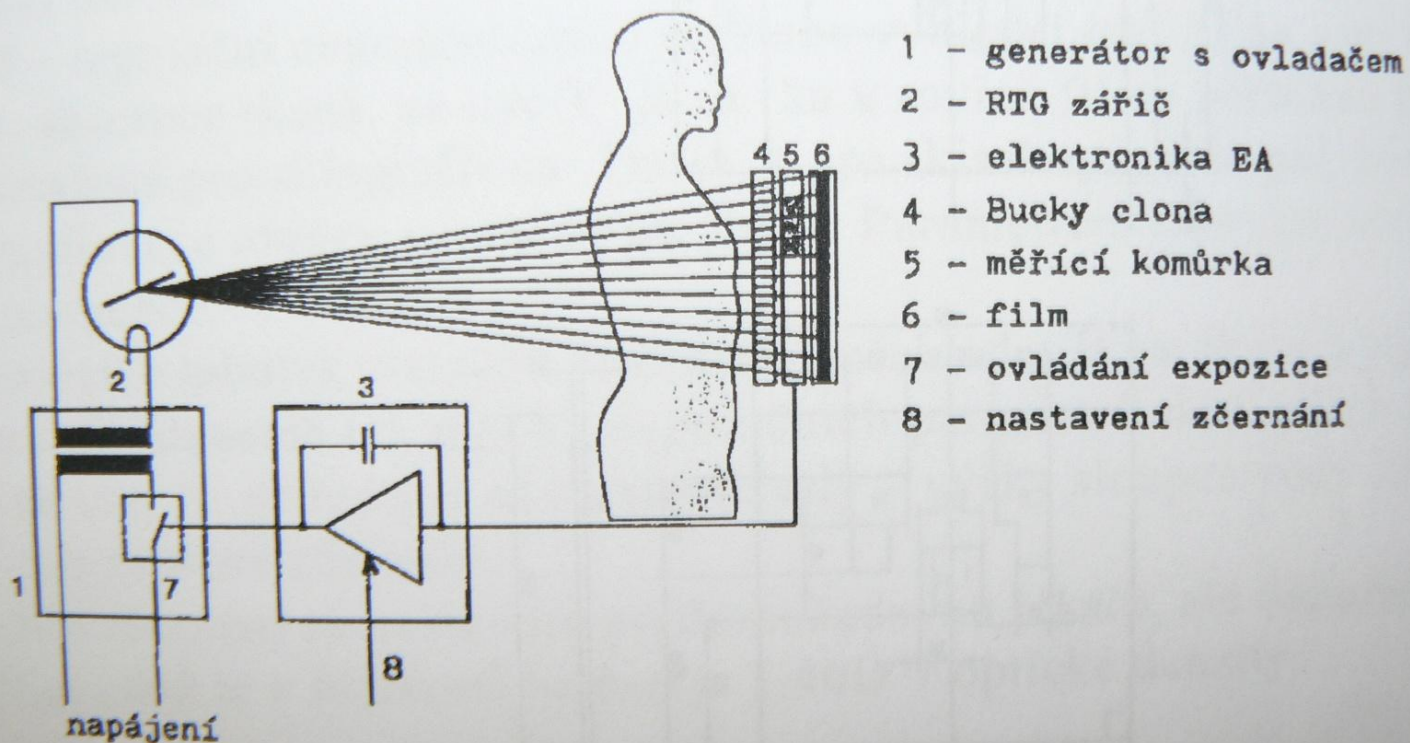
- ukončí expozici podle výše dávky při průchodu RTG záření objektem
- latentní obraz musí obsahovat maximum obrazové informace
- nastavení citlivosti EA podle kvality filmu a folie
- čidlo fotonové energie
- elektronika automatiky

expoziční automat

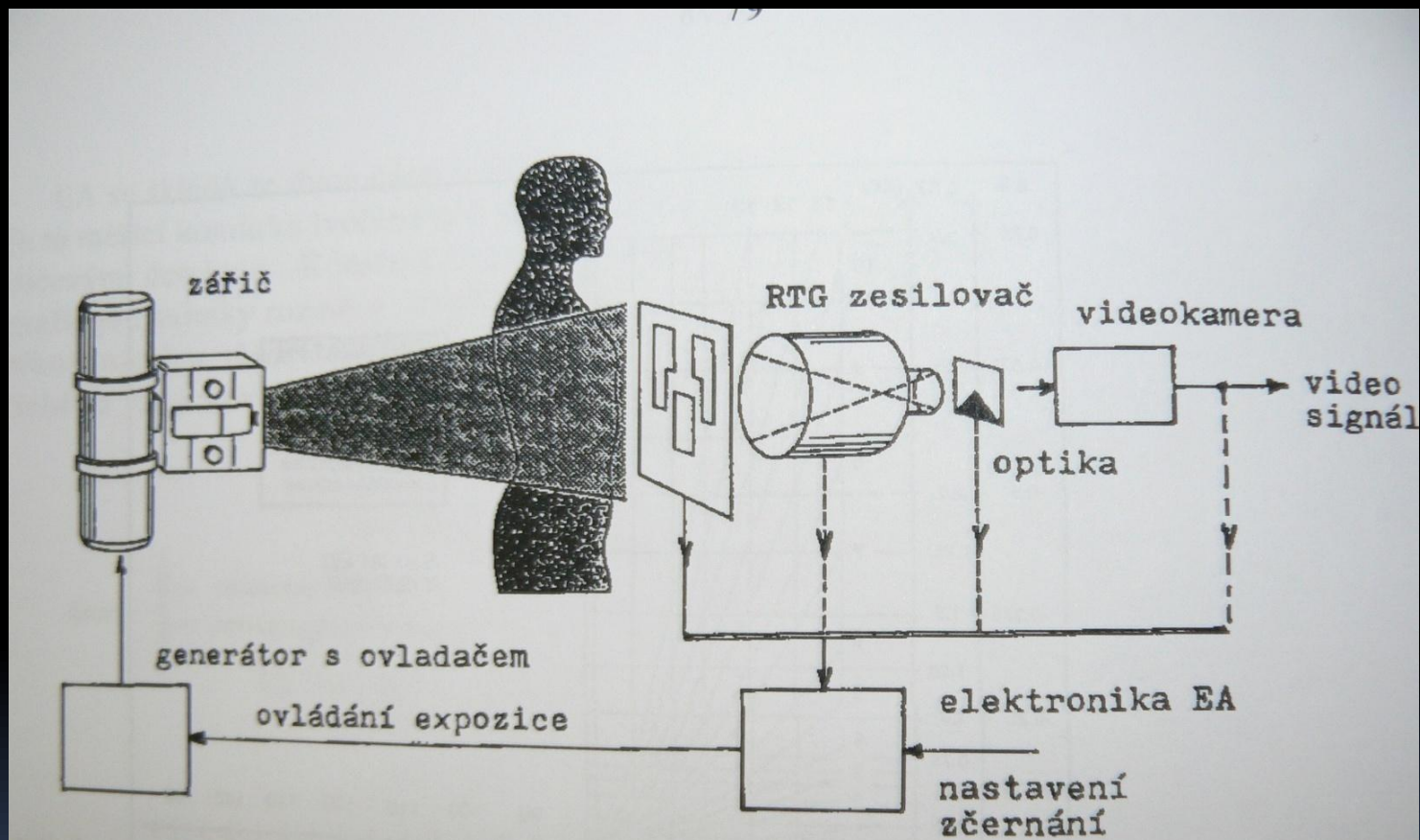
- skiografie
 - měřicí komůrka (plochý vzduchový kondenzátor) nebo polovodičový detektor
- různá konstrukce (např. součást kazety)

expoziční automat

uspořádání pro skiografii s filmem ukazuje obr.91 :



expoziční automat



Obr. 5
Funkce EA je také využito u tzv. orgánové automatiky, která umožňuje programov
přednastavení parametrů kV a mA
blokové



SKIASKOPIE



skiaskopie (*fluoroscopy*)

- potřeba sledování dynamických procesů
 - zejména GIT
- kontrola invazivních výkonů
- historie - fluoroskopická stěna
 - temná místnost
 - adaptace očí
 - vysoká radiační zátěž
 - velmi malá kvalita obrazu
- rtg obrazový zesilovač

rtg obrazový zesilovač

- zmenšení výstupní plochy
- akcelerace elektronů s vyšší produkcí světla

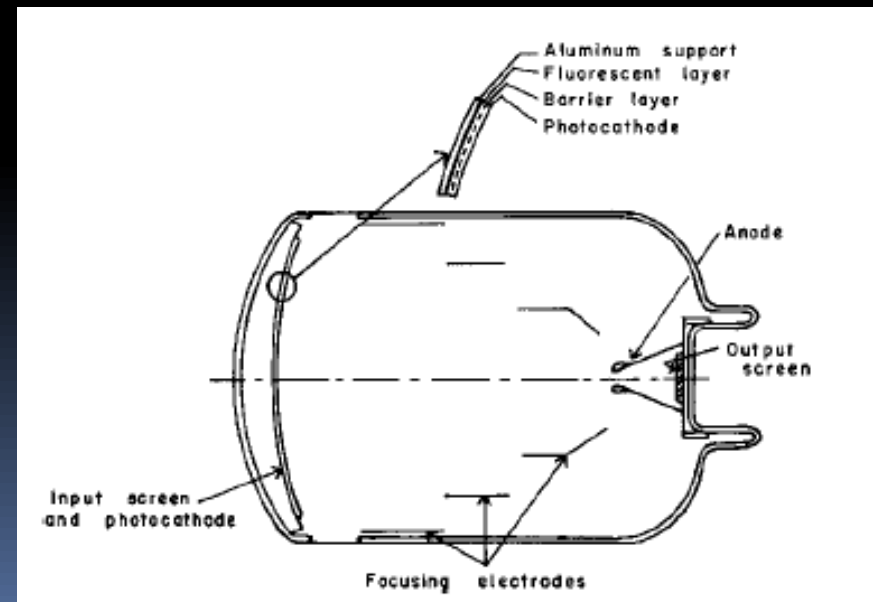
fluorescentní vrstva (*input*) - CsI

- 1 foton (rtg) \Rightarrow 2000-3000 fotonů (viditelné světlo)

fotokatoda - $(\text{Sb-CsO})^3$

- 100 fotonů \Rightarrow 20 elektronů

odrazová Al vrstva



rtg obrazový zesilovač

potenciál mezi anodou a katodou + přídatné katody

- akcelerace a usměrnění elektronů (25 - 35 kV)

fluorescentní vrstva (*output*)

- menší velikost a menší granule

skleněné a metalické pouzdro

- vzniká magnetické pole



rtg obrazový zesilovač

- zesilovací činitel
 - poměr světelnosti obrazu na výstupu / na vstupu
 - cd/m²
- konverzní faktor
 - vztah mezi dávkou RTG ke světelnosti na výstupu
- rozlišovací schopnost (vstupní a výstupní fluorescenční vrstva)
- zkreslení obrazu (každý optický přístroj)
 - nejvíce v periferii („*vignetting*“)
 - typické zaoblení obrazu v periferii („*pincushing distortion*“)
 - zaoblení vstupní části

$$G_r = \frac{\text{Luminance of output screen (candela/m}^2\text{)}}{\text{Exposure rate at input screen (mR/sec)}}$$

rtg obrazový zesilovač

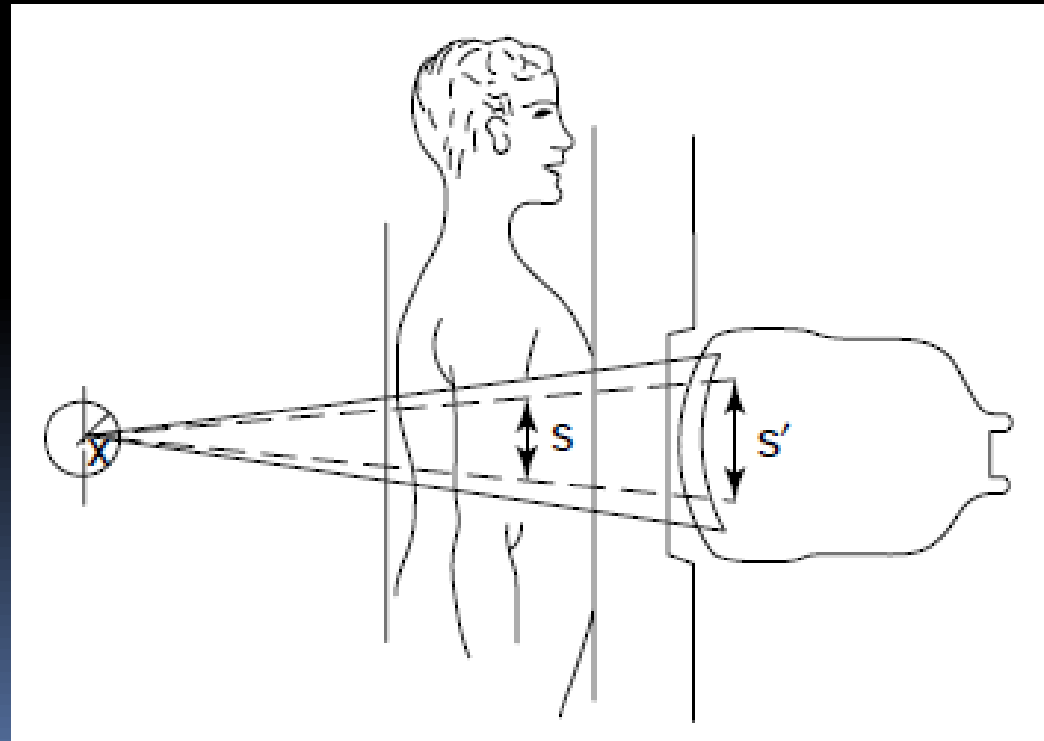
- velikost zesilovače
 - od 10 do 40 cm

menší - levnější s jednodušší obsluhou
- lehce lepší rozlišení

větší - FoV
- možnost zvětšení

$$s' = s \left(\frac{d'}{d} \right)$$

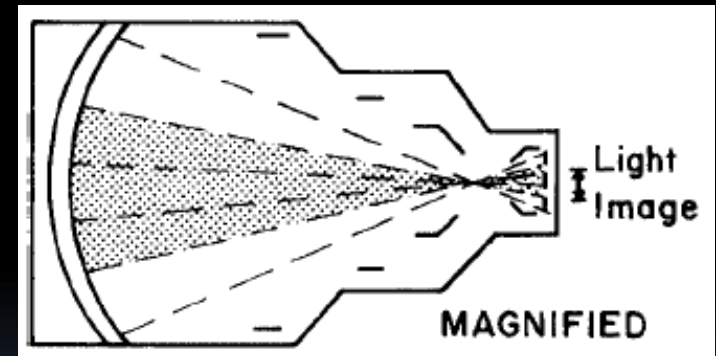
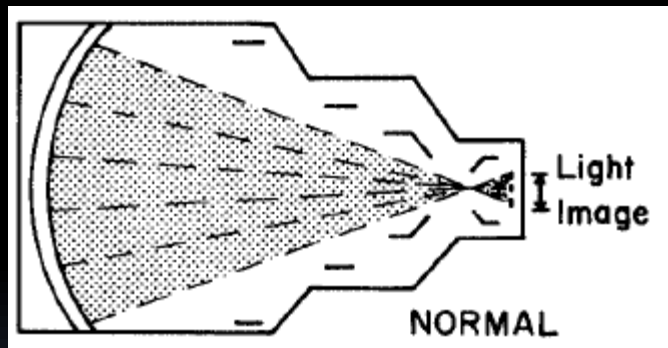
$$M = \frac{s'}{s} = \frac{d'}{d}$$



rtg obrazový zesilovač

- zoom (*dual- and triple-field*)
 - změnou napětí usměrňovacích katod
 - při zvýšení napětí, fotony z periferie výstupní části směřují mimo TV kameru

22,5 cm - 15 cm - 11 cm



- skioskopie, angiografie, C ramena
- TV obvod, CCD kamera
- Flat panel - zpracování ohromného množství dat v krátkém čase
 - 2048x2048 - 25 až 50 obr./sek. - trvání skioskopie (až desítky minut)

rtg obrazový zesilovač

- převod latentního RTG obrazu do světelného (viditelného) spektra
- snížení dávky záření (závisí na době skiaskopie)

