

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta – Katedra fyziky

Ionizující záření při zkoušení materiálů

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Pavel Kříž, Ph.D.

Autor: Zdeněk Vlna

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá využitím ionizujícího záření v technické praxi. Rozebírá různé možnosti rentgenování v závislosti na technických parametrech a použitého izotopu. Obsahuje popis speciálních druhů rentgenových přístrojů, rentgenek a izotopů používaných v praxi a můžeme zde nalézt podrobný postup práce s gammamatem i rentgenovou lampou. V závěru je zmíněna ochrana před ionizujícím zářením a jsou zde uvedeny i snímače ionizujícího záření používané v terénu.

Abstract

It this bachelor thesis deals with the use of ionizing radiation in engineering practice. Analyzes various options for screening, depending on technical parameters and the isotope used. It contains a description of special types of X-ray equipment, X-ray lamp and isotopes used in practice and we can find a detailed procedure for gammamat and X-ray lamp. The protection against ionizing radiation is mentioned at the end and ionizing radiation sensor used in the field are listed.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě Pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

Datum: 12.4. 2010

Podpis studenta:

Touto formou bych chtěl poděkovat RNDr. Pavlu Křížovi, Ph.D. za věcné připomínky a rady týkající se zadané bakalářské práce.

Obsah

1 Úvod	7
2 Rentgenové a gama záření	8
3 Princip rentgenového a gama záření	9
3.1 Rentgenové záření.....	9
3.2 Gama záření.....	11
3.3 Ionizace a intenzita záření.....	11
4 RTG lampy a jejich typy	12
5 Speciální rentgenové přístroje	15
5.1 Rentgenky s mikroohniskem.....	15
5.2 Urychlovače elektronů na vysoké energie.....	16
5.3 Lineární urychlovače.....	17
5.4 Kruhový urychlovač s proměnným magnetickým polem (Betatron).....	18
6 Druhy používaných izotopů	19
7 Zařízení pro vysunutí izotopových zářičů	21
8 Volba izotopu a správného nastavení RTG lampy	23
9 Důležité parametry pro správné zrentgenování materiálu	25
10 Experiment	28
10.1 Zadání:.....	28
10.2 Přístroje:.....	29
10.3 Postup měření:.....	30
10.3.1 Gammamat – Ir ¹⁹²	30
10.3.2 Práce s RTG lampou.....	32
10.3.3 Parametry zkoušky pro Ir ¹⁹²	34
10.3.4 Parametry zkoušky pro RTG lampu.....	36
10.4 Postup vyvolání radiografického snímku.....	37
10.4.1 Temná komora.....	37
10.4.2 Vyvolávání.....	38
10.4.3 Mezipraní.....	39
10.4.4 Ustalování.....	39
10.4.5 Konečné praní.....	39
10.4.6 Sušení.....	39
10.5 Vyhodnocení radiogramů.....	40
10.5.1 Vyhodnocení.....	42
10.5.2 Závěr.....	42
11 Ochrana před ionizujícím zářením	43

12 Postup při ztrátě kontroly nad zdrojem ionizujícího záření	45
12.1 Postup.....	45
12.2 Dávkové limity.....	45
13 Osobní monitorování – Dozimetrie	48
13.1 Monitorování pracovního prostředí se zdrojem IZ	49
14 Závěr	50
Příloha č.1 - Rozpadová tabulka gama zářiče	51
Příloha č. 2 - Seznam dokumentace	52
Příloha č. 3 - Vady ve vzorku.....	53
Příloha č. 4 - Diagram RTG lampy [10].....	54
Použitá literatura	55

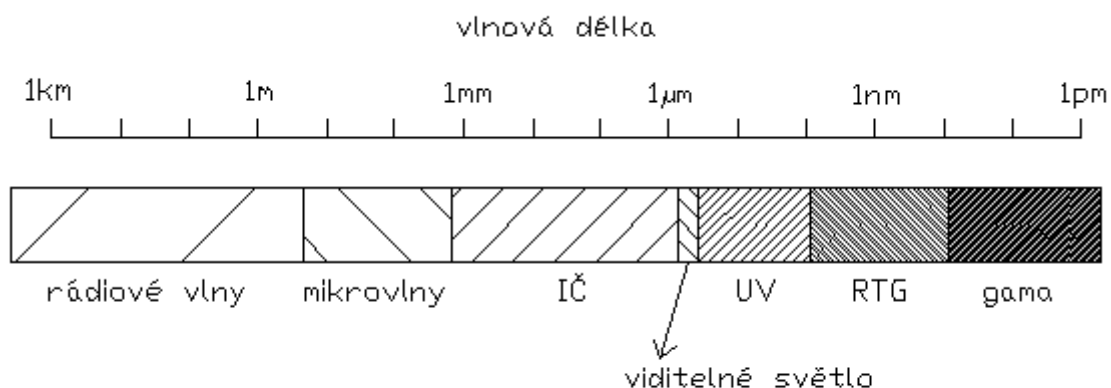
1 Úvod

V roce 1895 V.C. Roentgen objevil dosud lidstvu neznámé neviditelné paprsky, které nazval paprsky X. Schopnost paprsků využívalo lékařství a postupně se jejich využití rozšířilo i do ostatních vědních oborů. Od roku 1915 se začalo využívat rentgenové záření i v průmyslové radiografii. Postupem času se zdokonaloval vývoj zdrojů rentgenového záření a zároveň se zvyšoval jejich výkon. Nedílnou součástí zkoušení materiálů prozařováním je i záření gama, jinak nazývané také jako radioaktivní záření. Toto záření objevil Becquerel v roce 1896, avšak aplikace v průmyslu byla pozdější z důvodu vysoké ceny přirozených radioaktivních látek. V období let 1920 až 1930 se výroba radioizotopů začala projevovat i v praxi. V současné době je rentgenové a gama záření využíváno v oborech jako je lékařství, chemie, geologie, průmysl, zemědělství, stavebnictví a hlavně v oblasti zkoušení materiálu. Touto prací bych se chtěl zaměřit hlavně na zkoušení materiálů rentgenovým a gama zářením, konkrétně na mobilní defektoskopii. V práci se budu soustředit na prozařování RTG lampou, izotopem Ir^{192} a na důležité technické parametry spjatými s prozařováním materiálů.

2 Rentgenové a gama záření

Záření se obecně rozumí šíření energie prostorem. Toto šíření energie není vázáno na prostředí a záření tedy může procházet hmotným i prázdným prostorem. Nositelem záření mohou být hmotné částice nabitě i nenabitě (elektrony, pozitrony, neutrony, částice α). V tomto případě by se jednalo o záření korpuskulární. Jestliže nositelem zářivé energie nejsou hmotné částice, pak se jedná o záření vlnové (záření elektromagnetické).

Rentgenové záření (záření X) je elektromagnetické záření složené z brzdného a z charakteristického záření. Vzniká zejména v rentgence při dopadu urychlených elektronů na látkovou překážku. Záření gama (záření γ) je elektromagnetické vlnění vysílané z buzených atomových jader. Jednotlivé druhy elektromagnetického vlnění vztahované k vlnovým délkám jsou na obr. č. 1.



Obr. č. 1 - Spektrum elektromagnetického vlnění

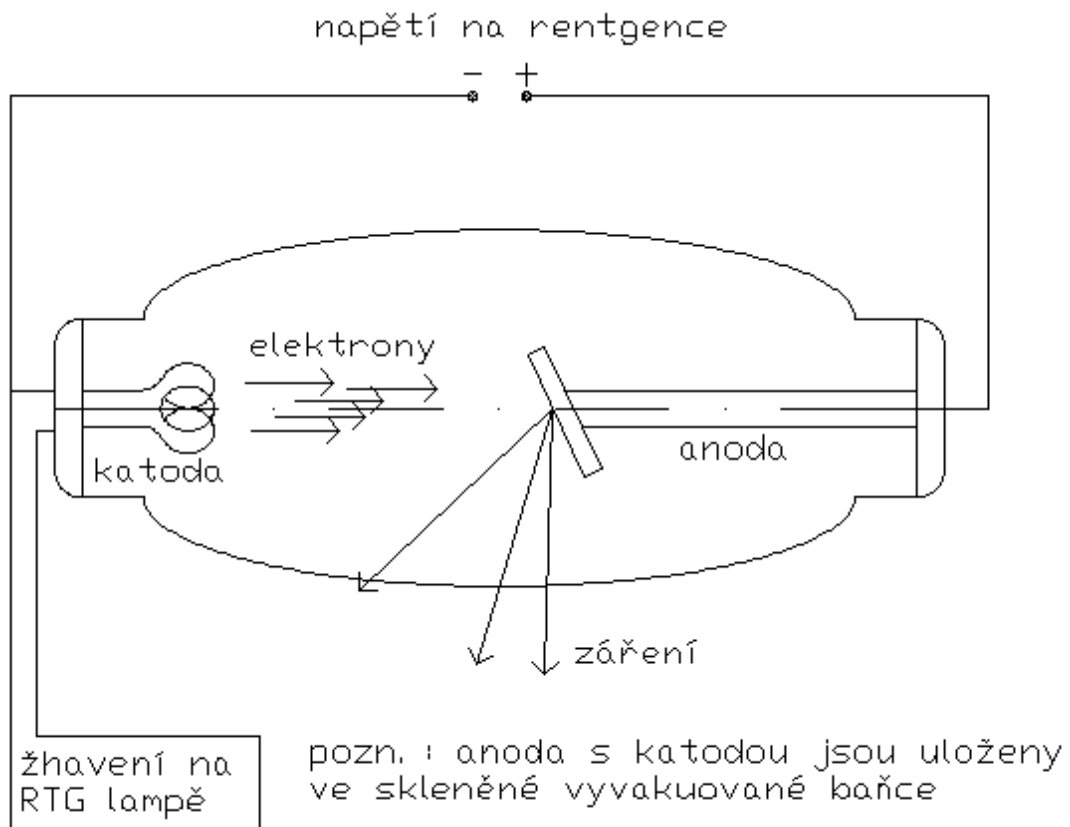
3 Princip rentgenového a gama záření

3.1 Rentgenové záření

K vzniku rentgenového záření je zapotřebí :

- 1) zdroj elektronů
- 2) zařízení k urychlování elektronů
- 3) terčík jako dopadovou plochu pro urychlené elektrony

Rentgenové záření vzniká, když urychlené elektrony předají část své energie materiálu terčíku. Energie rentgenového záření je tím vyšší, čím větší je rychlost elektronů, které budou následně dopadat na terčík. Na obr. č. 2 je princip rentgenky.

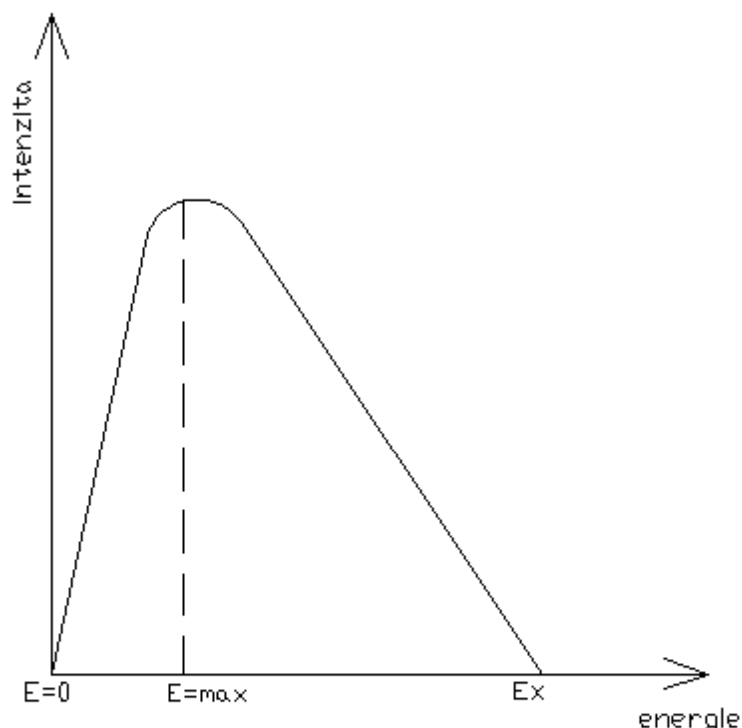


Obr. č. 2 - Princip rentgenky

Katoda slouží jako zdroj elektronů a anodou je zde terčík. K urychlení elektronů musíme připojit na katodu a anodu vysoké napětí. Většinou bývá terčík z wolframu, který je na tělese anody, která je z mědi. Na terčíku, kam dopadají urychlené elektrony se uvolňuje rentgenové záření. Dané elektrody jsou ve skleněné trubici, ve které je vakuum.

Brzdné záření :

Elektrony dopadající na terčík se zabrzdí a ztratí svou pohybovou energii. Většina energie těchto elektronů se přemění na teplo a pouze zhruba 1 % se přemění na rentgenové záření. Tato energie souvisí s rychlostí a počtem dopadajících elektronů na terčík. Záření vycházející z terčíku je složeno z mnoha různých brzdných procesů elektronů. Ne všechny elektrony uvolněné katodou rentgenky dopadají na terčík stejně velkou rychlostí a tudíž nejsou ani stejně zbrzděny. Z tohoto důvodu dostáváme celé spojitě spektrum energií od $E = 0$ do $E = \max$ (viz obrázek č.3). Toto záření pak nazýváme brzdným zářením.



pozn.
 E_x -všechna energie přeměněna na záření
 $E=0$ -všechna energie přeměněna na teplo
 $E=\max$ -nejpravděpodobnější stav, kdy se část energie mění na teplo a část na záření

Obr. č. 3 - Spektrum rentgenového záření

3.2 Gama záření

Gama záření vzniká v souvislosti s přeměnou jader radioaktivních prvků, jejichž jádra jsou nestabilní. K rozpadu dochází samovolně. Záření gama vzniká společně s alfa nebo beta zářením při radioaktivním rozpadu jader. V okamžiku, kdy jádro vyzáří částici α nebo β , tak nové jádro, které tuto částici obdrží může být v excitovaném stavu. Do nižšího energetického stavu přejde vyzářením fotonu gama záření. Jelikož tento děj nastává jen při určité energii, má záření gama čárové spektrum. Toto záření má zhruba stejně velkou energii jako záření rentgenové a tudíž má obdobnou radiografickou schopnost. Z tohoto důvodu se gama záření od rentgenového liší pouze původem.

3.3 Ionizace a intenzita záření

V případě, že atom vydá jeden elektron ze svého obalu, stane se elektricky kladně nabitý, protože jádro bude obsahovat více protonů, nežli je elektronů v obalu atomu. Elektricky nabitý atom nazýváme iont a postup, při kterém se uvolňují elektrony, se nazývá ionizace. Ionizaci může vyvolávat teplo, světlo nebo také rentgenové či gama záření.

V místě, kde nám dopadá rentgenové nebo gama záření, tedy dochází k ionizaci. Materiály, které mají větší hustotu, více snižují intenzitu záření. U materiálů s vysokou hustotou způsobují i nepatrné rozdíly v tloušťce velké rozdíly v intenzitě prošlého záření. To znamená, že se intenzita záření mění se změnou hustoty materiálu a se změnou tloušťky prozařovaného materiálu. Tyto rozdíly v intenzitě záření se výsledně zobrazují i na rentgenových snímcích, což je podstata rentgenování jako takového.

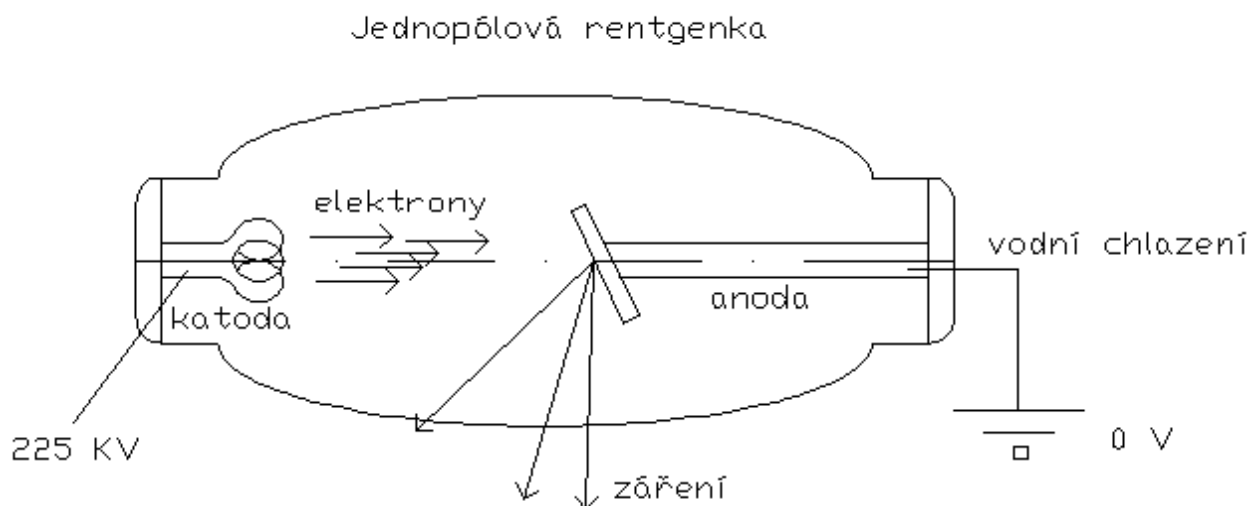
4 RTG lampy a jejich typy

Základní princip rentgenky máme uveden v kapitole 3.1 Rentgenové záření i s názorným obrázkem č. 2. Rentgenky můžeme mít **jednopolové** a **dvupolové**.

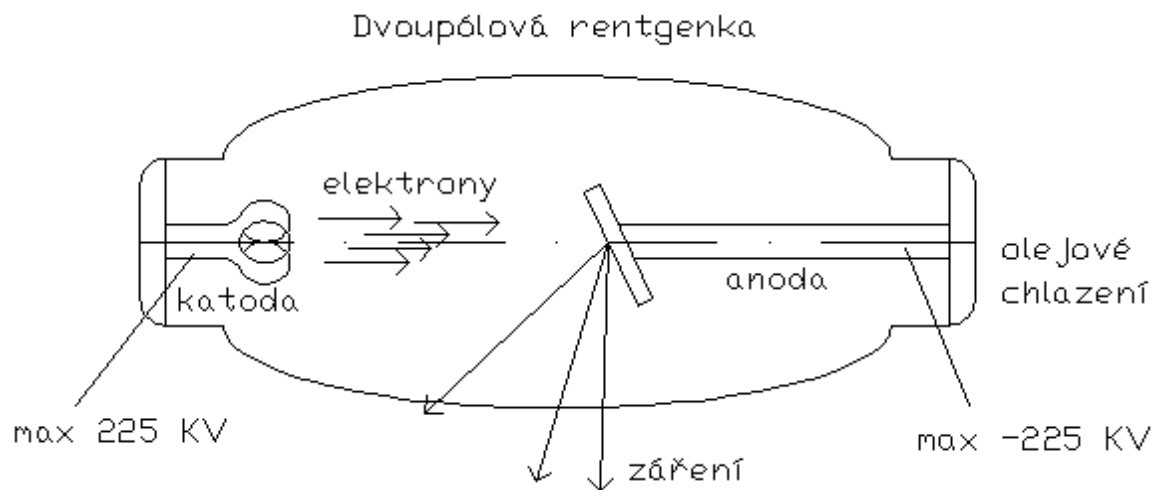
Jednopolová rentgenka (viz obázek č.4) – Vysoké napětí má připojené na katodu a na anodě je 0 V. Zde postačuje pouze jeden vysokonapěťový kabel s jedním zdrojem vysokého napětí. U jednopolových rentgenek můžeme provádět chlazení katody vodou a to do napětí 225 kV. U tohoto chlazení je pak následně možno využívat i vyšší proud.

Dvupolová rentgenka (viz obrázek č.5) – Konstruuji se k využití vyššího napětí. Na anodu máme přivedeno 225 kV a na katodu – 225 kV a tudíž dostáváme maximální napětí 450 kV. Avšak tyto dvupolové rentgenky musíme chladit elektricky nevodivým olejem, který musí být ještě vyveden na nějaký typ výměníku tepla.

Jednopolová i dvupolová rentgenka se dodává v provedení kovo-keramickém. Izolace mezi kovovým pláštěm a součástmi s vysokým napětím se provádí z keramiky. Rentgenové záření pak vychází okénkem, které je z berylia. Tento materiál ovlivňuje procházející záření minimálně.

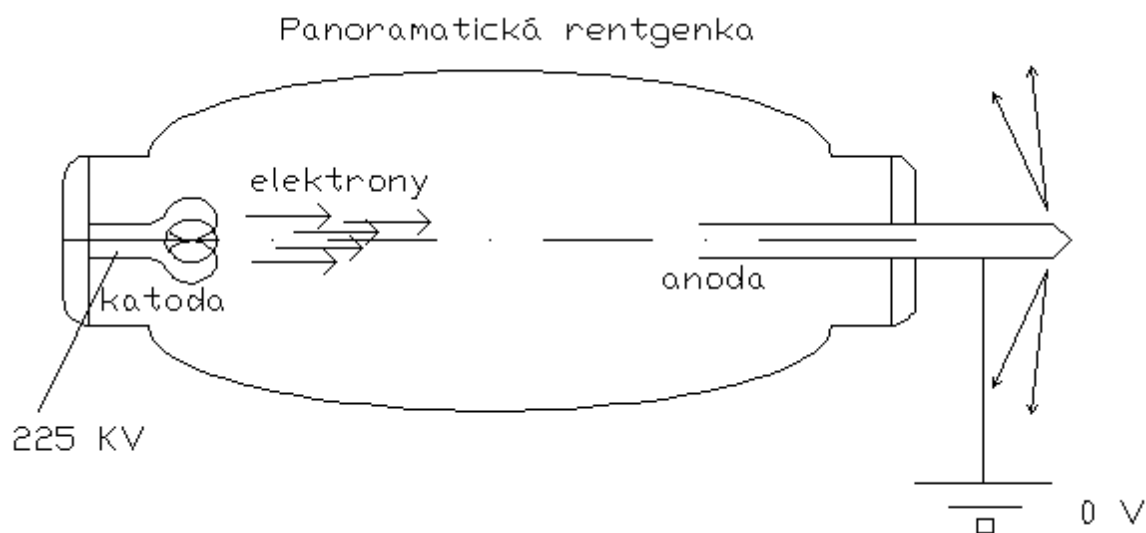


Obr. č. 4 - Jednopolová rentgenka



Obr. č. 5 - Dvoupólová rentgenka

Známe také rentgenky **přímé** a **panoramatické**. Rentgenka přímá vyzařuje jedním přímým směrem a úhel rozevření svazku je orientačně 40° . Panoramatická rentgenka vyzařuje v úhlu 360° a využívá se nejčastěji při zkoušení obvodových svarů centrickou metodou. Schéma panoramatické rentgenky nalezneme na obrázku č. 6.



Obr. č. 6 - Panoramatická rentgenka

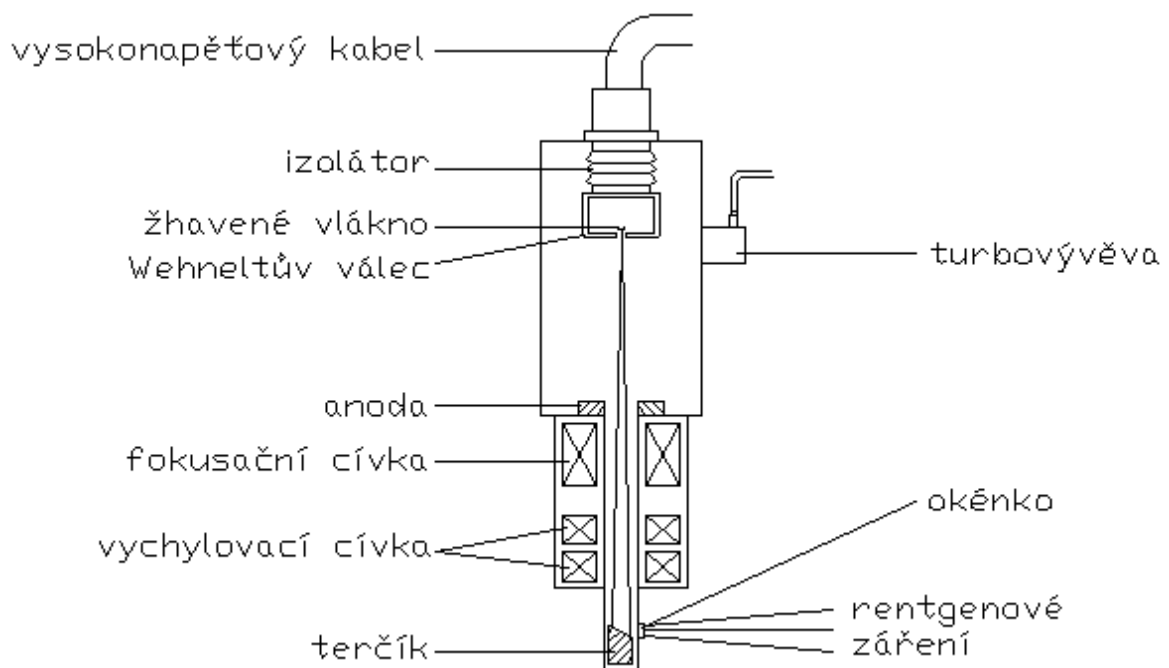
Spektrum rentgenového záření je určeno použitým vysokým napětím. Pracují-li dvě rentgenky se stejným vrcholovým napětím a udržuje-li se expoziční hodnota na neustále stejné velikosti, pak následně vykazuje křivka intenzity v závislosti na délce vln pro konstantní stejnosměrné napětí průběh odlišný od napětí střídavého. Při střídavém napětí nalzáme v každé periodě místa s měkkou částí energie a tzn., že při stejnosměrném napětí budeme mít tvrdší energii záření nežli u střídavého napětí.

5 Speciální rentgenové přístroje

- 1) Rentgenky s mikroohniskem
- 2) Lineární urychlovač
- 3) Kruhový urychlovač s proměnným magnetickým polem (betatron)

5.1 Rentgenky s mikroohniskem

Rentgenky s mikroohniskem jsou oproti klasickým rentgenkám tzv. otevřené. U těchto rentgenek používáme k vyvakuování přidavnou vývěvu a z tohoto důvodu je zde možné dle potřeby vyměňovat jak spirálu žhavení tak i anodu. Rentgenky s tímto ohniskem obsahují fokusační systém, kterým se dá fokusovat svazek elektronů. Nalzáme zde fokusační cívku a tzv. Wehneltův válec sloužící k fokusaci elektronů. Typické rozměry ohniska leží v oblasti kolem 10 μm , ale ovšem jen pro výkon kolem 40 W. Schéma konstrukce rentgenky s mikroohniskem nalezneme na obrázku č.7. Rentgenky s mikroohniskem využíváme především v biologii a lékařství z důvodu malé intenzity energie záření a možnosti dobré fokusace.



Obr. č. 7 - Rentgenka s mikroohniskem

5.2 Urychlovače elektronů na vysoké energie

Urychlovač částic je technické zařízení, používané pro dodání kinetické energie nabitým částicím. Nabité částice (ionty nebo elektrony či pozitrony) jsou v urychlovači jednou nebo opakovaně urychleny rozdílem potenciálů elektrického pole. Urychlovače slouží k výzkumu elementárních částic, ale i v technické praxi. Existují dva základní typy urychlovačů: lineární a kruhový. Urychlovač částic způsobuje čelní srážky mezi dvěma svazky částic stejného druhu, buď protony, nebo různými typy iontů, především iontů olova. Při srážce se tyto částice rozptýlí a když mají dostatečnou energii, vznikají přitom další částice (produkty srážky). Na zaznamenání toho, co se děje při srážce částic slouží částicové detektory.[8]

Složení urychlovačů:

- částicový zdroj elektronů
- vakuová komora, v níž se částice urychlují
- výstupní okénko nebo terčik na který částice na konci své dráhy dopadají
- urychlovací a fokusační struktura

V urychlovací komoře se částice v nepřetržitém proudu urychlují buď stacionárním elektrickým polem (obdobně princip rentgenky) na energii odpovídající rozdílu napětí, nebo časově proměnným střídavým polem, v němž se částice urychlují jen jako shluk. U skupinového urychlování závisí intenzita záření v podstatě na poměru trvání pulzu k době opakování pulzu částic. Například vysokých energií můžeme dosáhnout, necháme-li částice pomocí magnetického pole víckrát proběhnout po kruhové dráze ve stabilním urychlovacím poli.

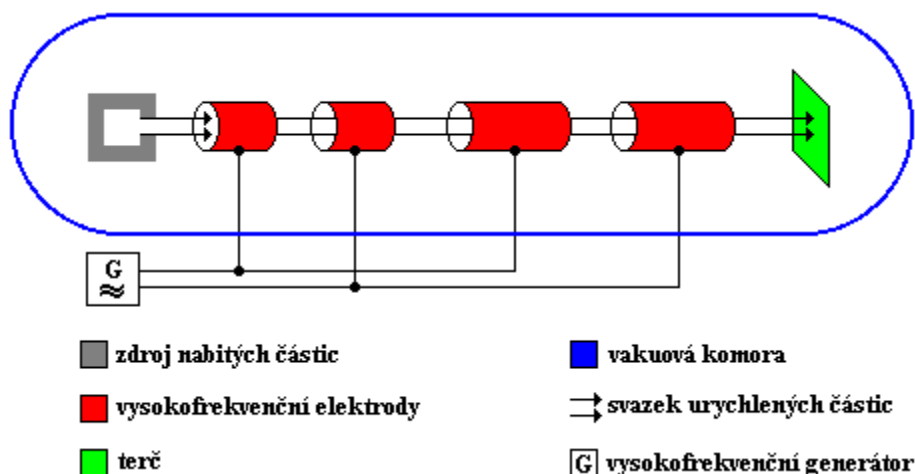
Dělení urychlovačů:

- s lineární drahou částic
- s kruhovou drahou částic
- s urychlujícím polem elektrickým
- s urychlujícím polem magnetickým

5.3 Lineární urychlovače

V urychlovači s putující vlnou se částice pohybují synchronně s elektronickou vlnou běžící urychlovací komorou. Rychlost vlny se prostřednictvím soustavy vhodně uspořádaných mezikruží přizpůsobí zvyšující se rychlosti částic tak, že se částice neustále pohybují v urychlovací fázi vlny.[2]

Lineární urychlovač je tvořen dlouhou přímou urychlovací trubicí obsahující řadu válcových elektrod (viz obrázek č.8). Částice je urychlována elektrostatickým polem mezi elektrodami. Ty jsou přepólovány v okamžiku, kdy je částice uvnitř elektrody a tudíž na ní elektrostatické pole nepůsobí. Délka jednotlivých elektrod je volena tak, aby se při průletu částice vnitřkem elektrod stihla změnit jejich polarita. S nárůstem velikosti rychlosti částice tedy roste i délka elektrod. Přepólování elektrod je nutné - částice se mají urychlit. Proto musí být částice neustále přitahována k opačně nabitě elektrodě. Kdyby se polarita elektrod neměnila, částice by byla na části své dráhy i brzděna, což je nežádoucí. [6]



Obr. č. 8 - Lineární urychlovač částic [6]

Průletem mezi jednotlivými elektrodami získá částice energii dle vztahu č. 1, kde q je náboj částice a U je rozdíl potenciálů mezi danými elektrodami. Po průletu celým urychlovačem, který obsahuje n elektrod, má tedy částice energii dle vztahu č. 2.

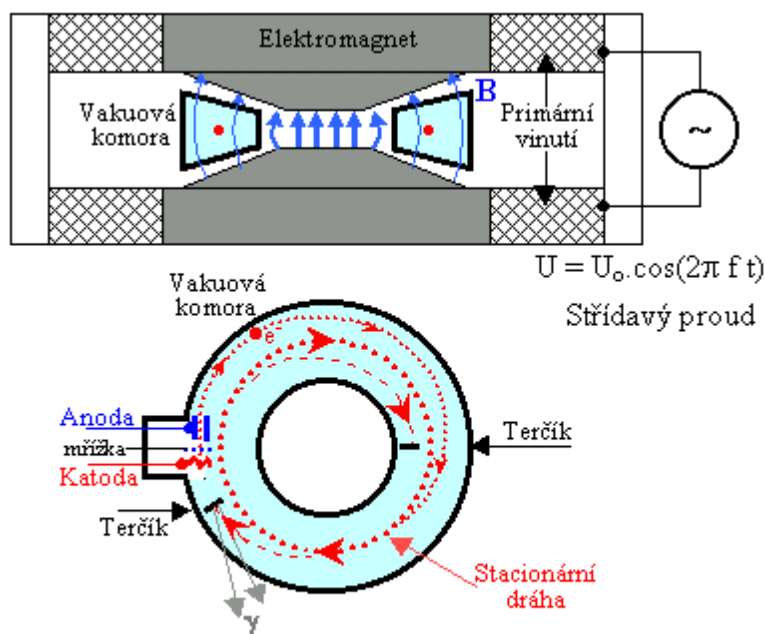
$$E_1 = q \cdot U \quad (1)$$

$$E = n \cdot q \cdot U \quad (2)$$

5.4 Kruhový urychlovač s proměnným magnetickým polem (Betatron)

V betatronu se elektrony urychlují kruhovým elektrickým polem, které automaticky vzniká kolem časově rostoucího magnetického pole, jenž zároveň udržuje elektrony na kruhové dráze. Vhodnou konstrukcí a rozměry magnetických pólových nástavců se dá oblast urychlujícího pole pro dráhu částic vytvořit tak, že se elektrony pohybují během celého urychlovacího cyklu na dráze nacházející se uvnitř urychlovací komory. V tomto případě se jedná o kruhovou vakuovanou trubici. Ke konci vzestupu magnetického pole se elektrony vyvedou tenkým okénkem jako fokusovaný svazek a nebo se přivedou na terčík jako zdroj brzdného záření. Používané betatrony mívají maximální energii záření mezi 15 MeV až 100 MeV. Na obrázku č. 9 nalezneme schéma konstrukce betatronu.

Urychlovací trubice betatronu má tvar prstence (toroidu) zhotoveného z elektricky nevodivého materiálu (sklo, porcelán) s vysokým vakuem uvnitř. Trubice je umístěna ("navléknuta") mezi pólovými nástavci elektromagnetu, napájeného střídavým proudem. Elektrony jsou ve vhodném okamžiku (vhodné fázi periody střídavého proudu) vstříkovány do urychlovací trubice elektronovou tryskou, tvořenou žhavenou katodou, mřížkou a urychlující a fokusující anodou - je to pobobné "elektronové dělo" jako je u obrazovky. Časově proměnné magnetické pole indukuje v trubici vířivé elektrické pole, jehož elektromotorická síla, směřující podél kruhové dráhy, tyto elektrony urychluje. [7]



Obr. č. 9 - Schéma betatronu [7]

6 Druhy používaných izotopů

Izotopy jsou nuklidy téhož chemického prvku se stejným počtem protonů, avšak různým počtem neutronů v atomu. Jsou charakterizovány tím, že mají :

- stejné atomové číslo
- stejný počet protonů
- stejný počet nábojů jádra
- stejný počet obalových elektronů
- stejné chemické vlastnosti

&

- nestejný počet neutronů
- různé hmotové číslo
- odlišné fyzikální vlastnosti

Pro defektoskopii se využívá pouze několik nestabilních izotopů používaných jako uzavřené zářiče.[1]

Tabulka 1 - Technické údaje nejpoužívanějších zářičů v defektoskopii

Zářič	Poločas rozpadu	Typ rozpadu	Polovrstva Pb (mm)
Co ⁶⁰	5,2 roků	β -	13
Cs ¹³⁷	30,1 roků	β -	8
Ir ¹⁹²	74,37 dní	β -	2,8
Tm ¹⁷⁰	129 dní	β -	0,2
Ra ²²⁶	1 620 roků	α	13
Yb ¹⁶⁹	32 dní	K.e	-
Se ⁷⁵	122 dní	K.e	-

Legenda:

Zářič - typ používaného izotopu

Poločas rozpadu - doba, za kterou klesne aktivita daného zářiče na polovinu – je možno stanovit

dle vztahu č. 3 kde N_0 - počet nepřeměněných atomů v čase $t = 0$

N - počet nepřeměněných atomů v čase t

e - základ přirozených logaritmů

λ - přeměnová konstanta

T - poločas rozpadu

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \Rightarrow T = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (3)$$

Typ rozpadu – jedná se o druh rozpadu např. (β -) *elektrony*

(α) *alfa částice*

Polovrstva Pb – jedná se o takovou sílu stěny olova, která dané záření zeslabí na jednu polovinu

Z udaných izotopů je nejpoužívanější Ir^{192} z důvodu dobré dostupnosti a relativně dobré ceny. V ohledu, že je umístěn v krytu gammamat, tak je velice mobilní. Jedinou nevýhodou je poločas rozpadu. Co^{60} je pro změnu vhodný na stálejší pracoviště z důvodu velkých krytů a taktéž je vhodný pro prozařování velkých tlouštěk odlitků a výkovků. Pro změnu Se^{75} je vhodný pro prozařování materiálů o slabé síle stěny. Toto škálování vlastně vypovídá o charakteru energie záření, tzn. jestli se jedná o záření měkké nebo tvrdé.

7 Zařízení pro vysunutí izotopových zářičů

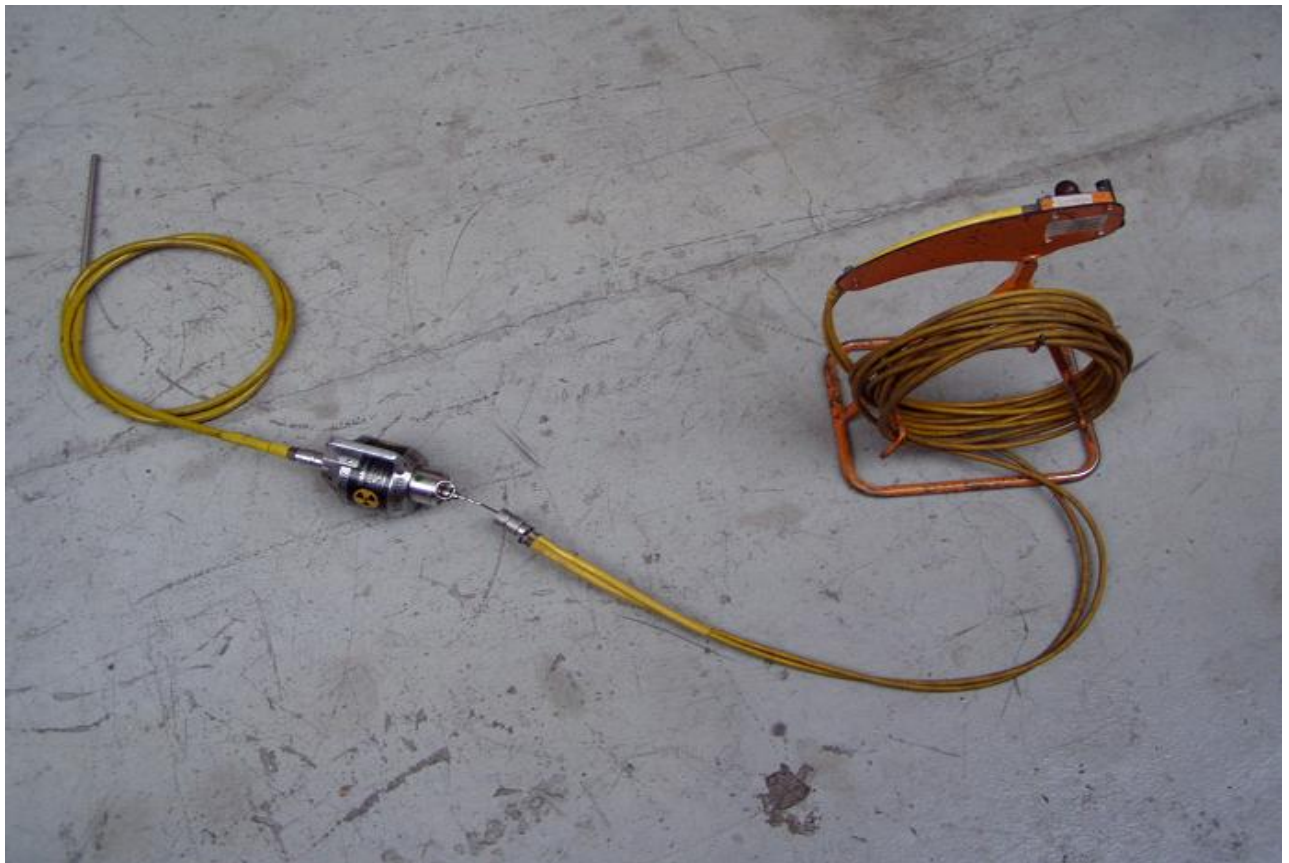
Rentgenka, aby emitovala rentgenové záření, tak na ní musí být připojeno vysoké napětí. Izotopový zdroj však emituje gama záření trvale, a proto musí být daný izotop uschovaný v ochranném krytu. Každý takový ochranný kryt musí konstrukčně vyhovovat danému zářiči, na který je konstruován. Nejrozšířenější ochranný kryt je gammamat.

Tento dálkově ovládaný manipulační kryt má pouzdro zářiče připevněno nosičem k ocelovému lanku, na němž je řídce navinuta ocelová struna a které prochází jak manipulační tak výsuvnou hadicí. Mezery mezi závity struny tvoří ozubený hřeben, který je poháněn hnacím kotoučem. Tento kotouč je ovládán ručně nebo elektricky. Tímto způsobem lze vysunout zářič i do vzdálenosti několika metrů od krytu a po ukončení expozice jej opět bezpečně vrátit do krytu. Kryt je uzamykatelný a to již před odpojením ovládací a výsuvné hadice. Gammamaty tohoto typu se používají pro defektoskopické zářiče do aktivity až 3700 GBq. Zářiče s vyšší aktivitou jsou většinou trvale umístěny v ochranném krytu a manipulace s nimi se provádí dálkovým natočením ovládacího pouzdra se zářičem proti výstupnímu okénku, které zároveň kolimuje užitečný svazek záření na požadovanou hodnotu.[1]

Na obrázku č.10 se nalézá gammamat a na obrázku č.11 je spojení zářiče s dálkovým ovládním a výsuvnou hadicí.



Obr. č. 10 - Gamadefektoskopický přístroj gammamat



Obr. č. 11- Spojení zářiče s dálkovým ovládáním a výjezdovou hadicí

8 Volba izotopu a správného nastavení RTG lampy

Pro zkoušení materiálů prozařováním je možno použít i více izotopů. Volba izotopu, máme-li tedy možnost volby izotopu, je závislá na prozařované síle stěny. To znamená, že pro slabé tloušťky budu volit zářič se slabší energií a pro silné tloušťky zase zářič s energií silnější. Kdybych zvolil nevhodnou kombinaci, jako např. zářič o slabé energii a chtěl bych s ním prozařovat např. tloušťku oceli 40 mm, tak by to za prvé trvalo velice dlouho a za druhé bych nedocílil velkého kontrastu na snímku. Naopak když stejný izotop použiji na slabou sílu stěny např. 2 mm, tak zde dostanu velký kontrast a vysokou kvalitu a ostrost snímku. To samé, ale obráceně platí o izotopech s energií silnější.

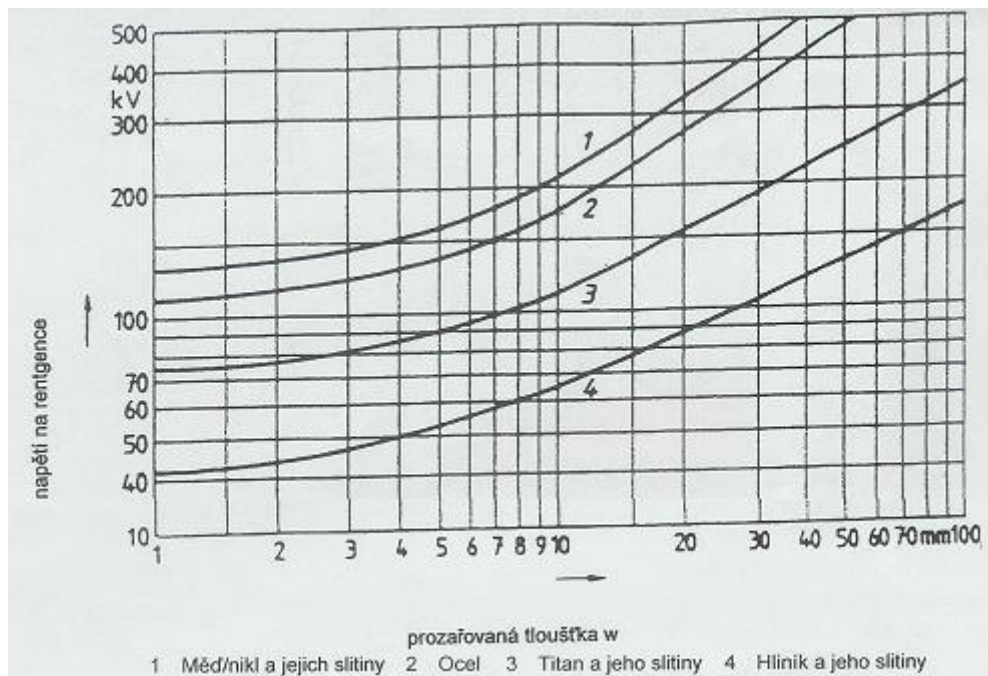
Co se týče energie na RTG lampě, tak i zde platí, že pro malou sílu stěny se volí malá energie a pro velkou sílu stěny se volí větší energie. Jakým izotopem a jakým maximálním napětím můžeme prozařovat danou sílu stěny je dáno v prováděcí normě ČSN EN 1435 [4] (viz obrázek č.12 a č.13). Mohu však potvrdit, že dané rozmezí je pouze orientační a doporučené, vyhovující maximální ostrosti a kontrastu snímku. V mnohých případech se převážně rentgenuje Ir¹⁹², který je v krytu gammamat (viz obrázek č.10) a to hlavně z důvodu mobility v terénu a přístupnosti k rentgenovanému materiálu.

Tabulka 1 - Rozsah prozařovaných tlouštěk pro gama záření a rentgenové zařízení s energií od 1 MeV a výše, pro ocel, měď a nikl a jejich slitiny

Zdroj záření	Prozařovaná tloušťka, w mm	
	Třída A	Třída B
Tm 170	$w \leq 5$	$w \leq 5$
Yb 169 ¹⁾	$1 \leq w \leq 15$	$2 \leq w \leq 12$
Se 75 ²⁾	$10 \leq w \leq 40$	$14 \leq w \leq 40$
Ir 192	$20 \leq w \leq 100$	$20 \leq w \leq 90$
Co 60	$40 \leq w \leq 200$	$60 \leq w \leq 150$
Rentgenové zařízení s energií 1 MeV až 4 MeV	$30 \leq w \leq 200$	$50 \leq w \leq 180$
Rentgenové zařízení s energií 4 MeV až 12 MeV	$w \geq 50$	$w \geq 80$
Rentgenové zařízení s energií nad 12 MeV	$w \geq 80$	$w \geq 100$

¹⁾ Prozařovaná tloušťka pro hliník a titan, je pro třídu A $10 \text{ mm} < w < 70 \text{ mm}$, a $25 \text{ mm} < w < 55 \text{ mm}$ pro třídu B
²⁾ Prozařovaná tloušťka pro hliník a titan, je pro třídu A $35 \text{ mm} \leq w \leq 120 \text{ mm}$

Obr. č. 12 - Rozsah prozařovaných tlouštěk [4]



Obr. č. 13 - Rozsah prozařovaných tloušťek [4]

9 Důležité parametry pro správné zrentgenování materiálu

Aktivita zářiče A

- udává počet atomových jader, které se rozpadnou za jednu sekundu

Napětí na rentgence U

- ovlivňuje tvorbu volných elektronů

Ohnisková vzdálenost f

- je potřebná vzdálenost ohniska zdroje záření od použitého detektoru záření (radiografický film)

určuje se dostatečně velká, aby nenastala velká **geometrická neostrost** U_G

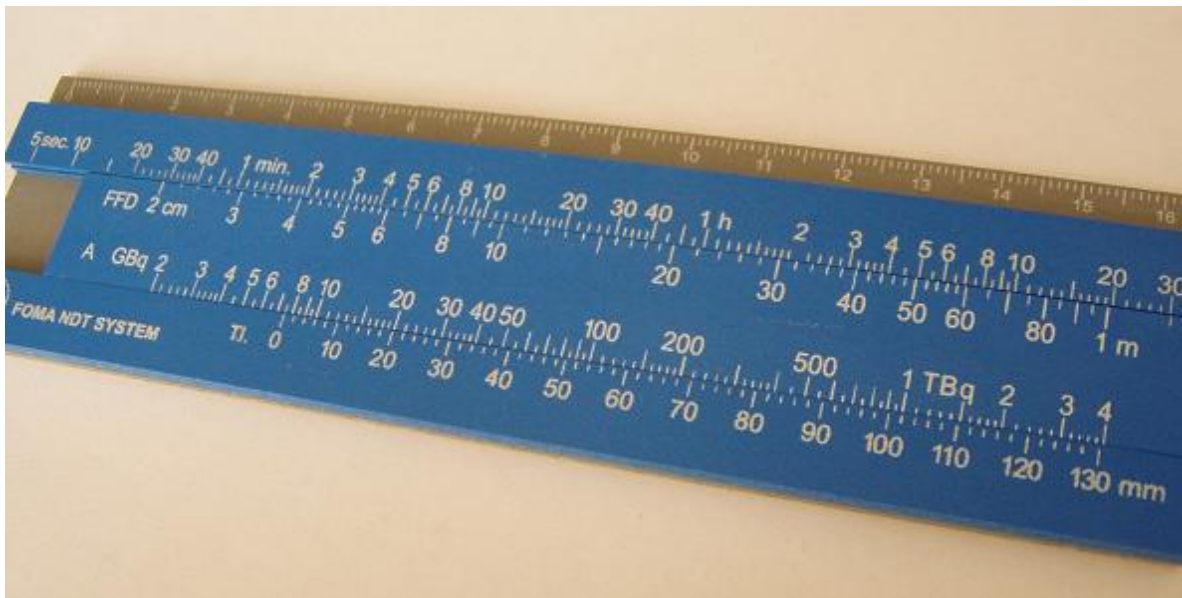
Dle vztahu (4) určíme geometrickou neostrost snímku. V případě, že bychom měli stanovenou určitou geometrickou neostrost, pro získání požadované jakosti, můžeme i z daného vztahu určit minimální ohniskovou vzdálenost, abychom tuto jakost docílili. Ve vztahu (4) je U_G geometrická neostrost snímku, d rozměr ohniska zdroje záření, s tloušťka stěny předmětu a f ohnisková vzdálenost. V normálním případě se však minimální ohnisková vzdálenost určuje dle normy ČSN EN 1435 [4].

$$U_G = \frac{d \cdot s}{f} \quad (4)$$

Prozařovaná síla stěny s

- je jeden z důležitých parametrů pro výpočet **expozičního času** t pro získání správného **zčernání rentgenového snímku** D

Expozici je možno stanovit dle logaritmického pravítka (viz obrázek č. 14), kde je nutno brát v ohled i **druh použitého radiografického snímku** (např. D4, D5, D7). V případě prozařování rentgenkou má každá rentgenka svůj expoziční graf (viz příloha č. 4). V daném grafu vyčteme potřebné napětí i proud na rentgence a dle prozařované síly stěny a použitého filmu i daný expoziční čas.



Obr. č. 14 - Expoziční logaritmické pravítko

Každý typ rentgenového filmu má určitou zrnitost, která je přímo závislá na vnitřní neostrosti snímku a zároveň i důležitá pro stanovení expozice prozařování. Jaký rentgenový snímek se použije při prozařování je stanoveno v normě ČSN EN 1435 [4], případně je nutno zvolit i větší zrnitost snímku z důvodu zkrácení expozičního času, hlavně v prostředích, kde se obsluha zářiče nemá možnost chránit před zářením. Zčernání snímku je stanoveno dle normy ČSN EN 1435 [4] mezi 2 – 4 a je měřeno na negatoskopu denzitometrem (viz obrázek č. 15).



Obr. č. 15 - Denzitometr

Zčernání můžeme stanovit vztahem (5), kde D je zčernání filmu, L_0 světelná hustota negatoskopu bez filmu a L_F světelná hustota negatoskopu s filmem.

$$D = \log \frac{L_0}{L_F} \quad (5)$$

10 Experiment

10.1 Zadání:

Provedeme RTG kontrolu daného zkušebního vzorku (viz obrázek č. 16) o tloušťce 8 mm na zjištění vnitřních vad v materiálu. Postup práce provedeme dle normy ČSN EN 1435 [4], třída zkoušení A. Vyhodnotíme vnitřní vady v materiálu dle ČSN EN 12 517 [5] do kategorie č.1. Výsledkem kontroly bude zjištění vad v materiálu a porovnání jakosti RTG snímků provedených RTG lampou a Ir¹⁹².



Obr. č. 16 - RTG vzorek

10.2 Přístroje:

Používané zdroje záření:

- 1) Ir¹⁹²
- 2) RTG lampa

Používaný film:

- 1) D5 - velikost 10 x 24 cm

Typ filmu D5 odpovídá určité zrnitosti a tudíž i kvalitě. Volbu snímku nám určuje buď dodavatel kontroly popř. prováděcí norma a daná třída zkoušení.

Příslušenství ke gammamatu:

- 1) Výjezdová hadice pro vysunutí zářiče do pracovní polohy
- 2) Dálkové ovládání pro posuv zářiče v hadici
- 3) Kolimátor – pro odstínění záření mimo prac. polohu
- 4) Klíč – k odemknutí gammamatu
- 5) Expoziční pravítko
- 6) Rozpadová tabulka daného izotopu – pro zjištění aktivity

Příslušenství k RTG lampě:

- 1) Ovládací pult
- 2) Expoziční diagram pro danou RTG lampu

Ostatní příslušenství:

- 1) Metr
- 2) Stopky
- 3) Olověná písmena – pro popisky na snímek
- 4) RTG měrky – pro stanovení jakosti snímku (každý drátek na měrce odpovídá určité prozařované tloušťce stěny a dle toho volíme i typ měrky)

10.3 Postup měření:

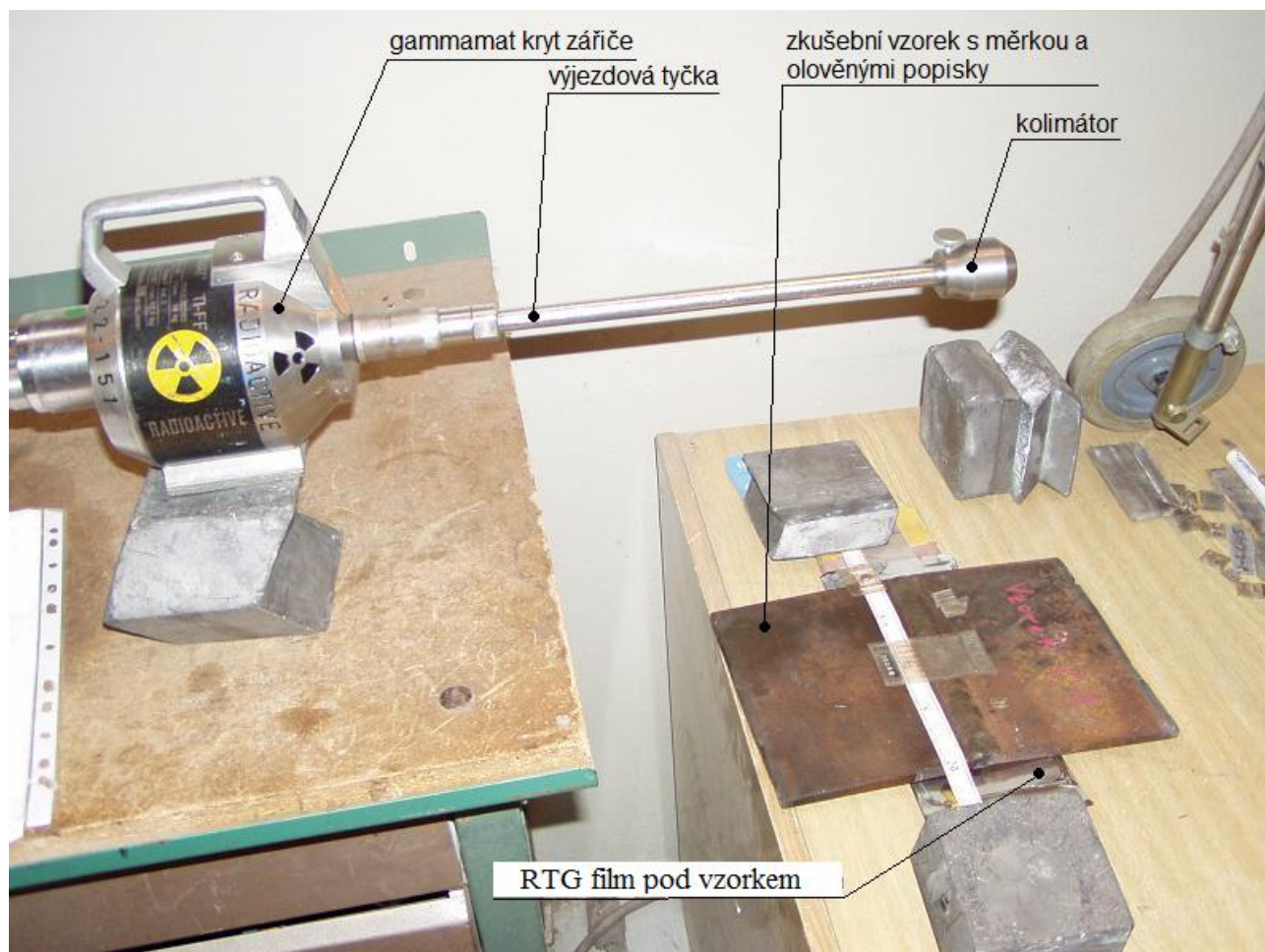
10.3.1 Gammamat – Ir¹⁹²

- 1) Gammamat spojíme s výjezdovými opratěmi (viz obrázek č. 18) a následně z přední strany gammamatu nasadíme výjezdovou tyčku.
- 2) Kolmo pod špičku výjezdové tyčky umístíme střed zkoušeného svaru (viz obrázek č. 17).
- 3) Pod svar umístíme radiografický film který je zabalen ve folii z důvodu pronikání světla na snímek.
- 4) Na zkušební vzorek umístíme olovená písmena, která nám budou popisovat označení vzorku a také popřípadný rozměr.
- 5) Dále na zkušební vzorek umístíme radiografickou měрку, kterou jsme zvolili dle normy a která nám později bude vypovídat o jakosti snímku.
- 6) Veškeré popisky a měřky umístíme na zkušební vzorek s ohledem na to, aby nám nic nezasahovalo do zkoušené části, tudíž svaru a jeho tepelně ovlivněné oblasti.
- 7) Dle normy ČSN EN 1435 zjistíme, jakou musíme dodržet minimální ohniskovou vzdálenost mezi zářičem a zkoušeným objektem a dle toho si zářič podložíme do požadované výše, tak aby kraj špičky byl kolmo nad zkoušeným svarem v dané minimální výši.
- 8) Na tyčku umístíme kolimátor, abychom zabránili zbytečnému šíření záření do okolí.
- 9) Z ohniskové vzdálenosti, tloušťky materiálu, aktivity zářiče a použitého radiografického filmu zjistíme dobu prozařování na expozičním pravítku.
- 10) Před samotným zahájením prozařování se ubezpečíme, že je zajištěné okolí a že v žádném případě nikdo nemůže přijít k otevřenému zářiči.
- 11) Otevřeme gammamat (viz obrázek č. 18) do polohy „ auf “ a od této chvíle se můžeme pohybovat pouze za zářičem, nikoliv z přední strany.
- 12) Odejeme ke „kolotoči“, který je na konci výjezdových opratí a zároveň je v dostatečné vzdálenosti a krytí od samotného zářiče.
- 13) Dle délky opratí a výjezdové hadice točíme klikou na doraz, kdy se dostane zářič do pracovní polohy, tudíž kolmo nad svar.
- 14) Stiskneme stopky neprodleně po dotočení klikou na doraz a vyčkáme expozičního času.

15) Po uplynutí expozičního času točíme klikou zpět a opět na doraz.

16) Po té můžeme přijít ke gammamatu ale pouze ze zadní strany do té chvíle, dokud zářič opět nezavřeme do polohy „ein“.

17) Nyní můžeme vzít exponovaný snímek a uložit ho na bezpečné místo, kde nebude již vystaven záření a bude uschován pro pozdější vyvolání.



Obr. č. 17 - Práce s gammamatem

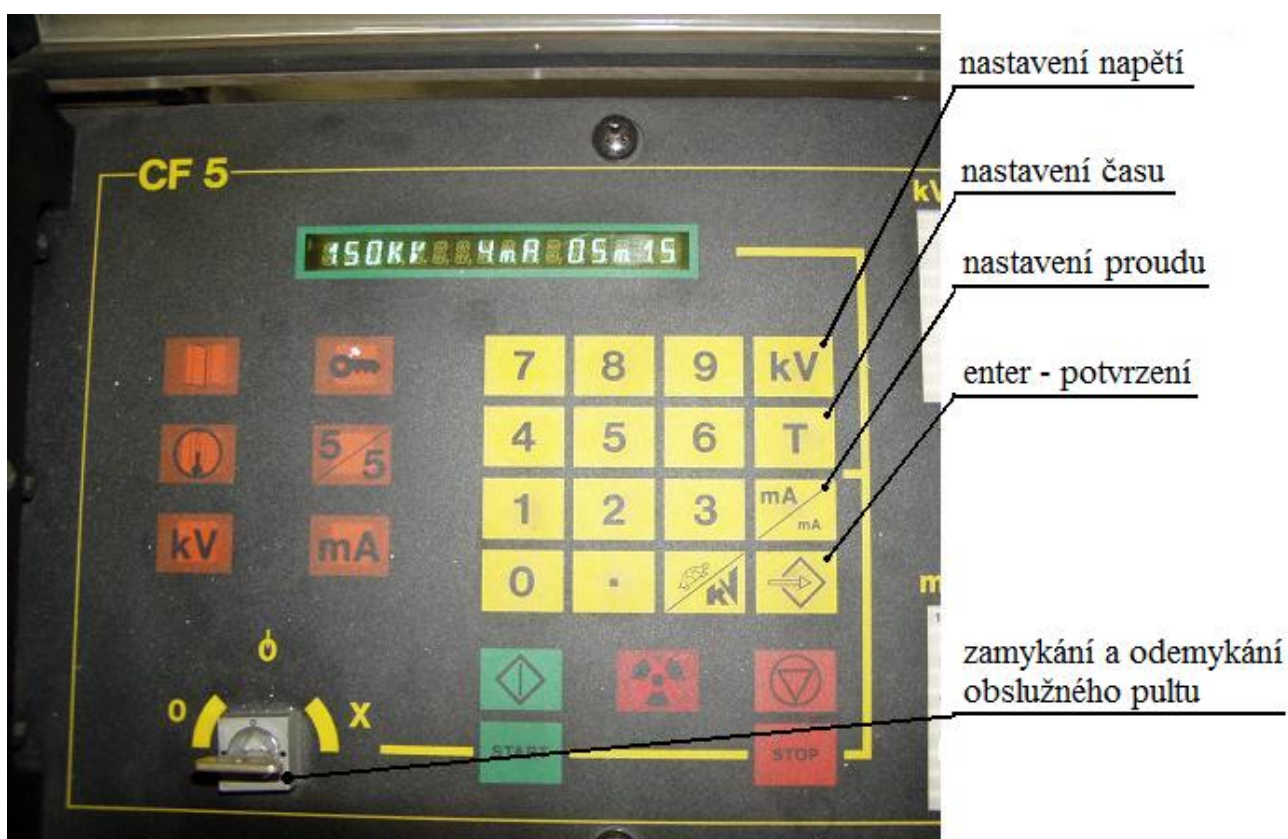


Obr. č. 18 - Spojení zářiče

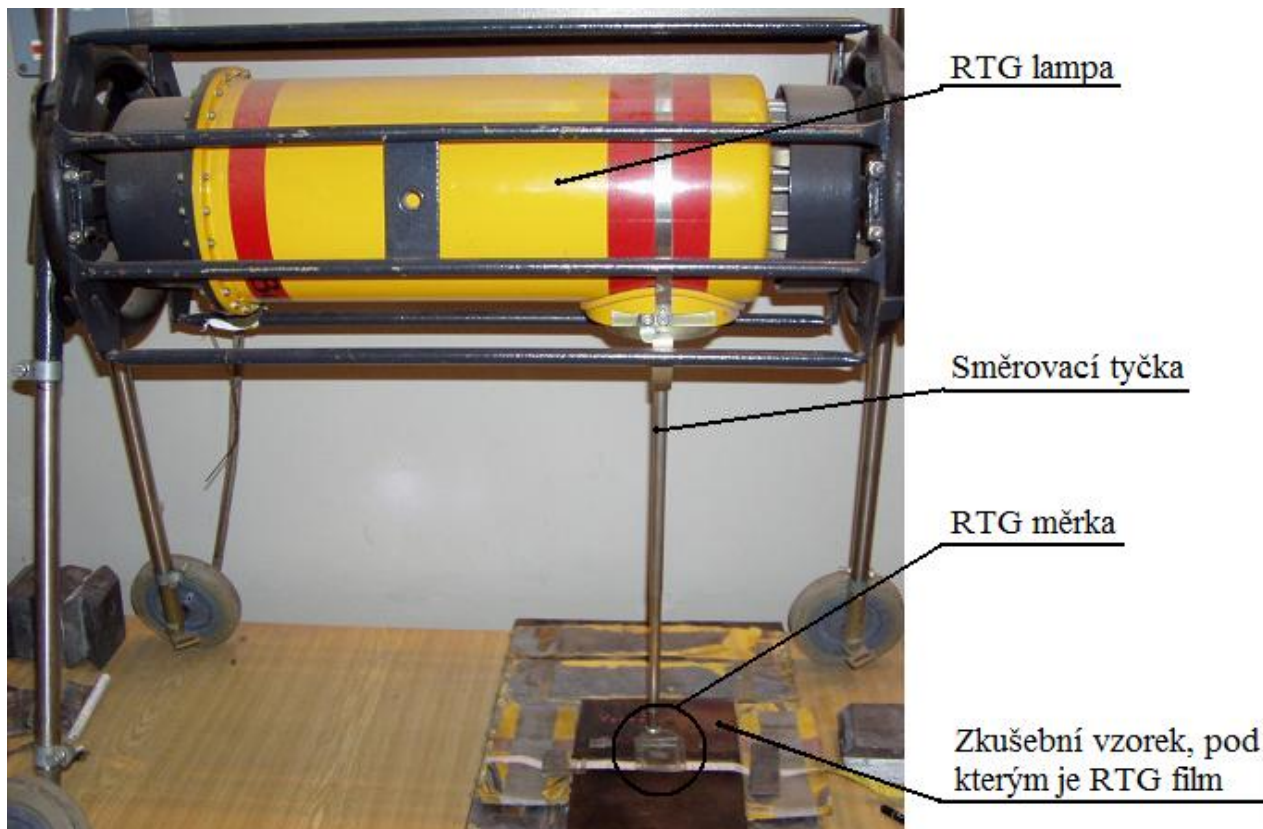
10.3.2 Práce s RTG lampou

- 1) Rentgenku umístíme do pracovní polohy a směrovací tyčku vztyčíme kolmo k rentgence (viz obrázek č. 20).
- 2) Kolmo pod směrovací tyčku položíme radiografický film, na který umístíme zkušební vzorek.
- 3) Na zkušební vzorek umístíme olověná písmena, která nám budou popisovat označení vzorku a také případný rozměr.
- 4) Dále na zkušební vzorek umístíme radiografickou měрку, kterou jsme zvolili dle normy a která nám později bude vypovídat o jakosti snímku.
- 5) Veškeré popisky a měřky umístíme na zkušební vzorek s ohledem na to, aby nám nic nezasahovalo do zkoušené části, tudíž svaru a jeho tepelně ovlivněné oblasti.
- 6) Přeměříme si ohniskovou vzdálenost mezi středem terčíku (horizontální osa rentgenky) a zkoušeným vzorkem. Musíme mít nastavenou vzdálenost 700 mm, jelikož máme k dispozici diagram k rentgence (viz příloha č. 4). odpovídající ohniskové vzdálenosti 700 mm a zároveň víme z normy ČSN EN 1435 [4], že nám tato ohnisková vzdálenost dostačuje pro zajištění jakosti.

- 7) Z diagramu pro stanovení expozice na RTG lampě určíme expozici ze známé tloušťky prozařované síly materiálu a ohniskové vzdálenosti. Musíme brát ohled na normu a zvolit vhodné napětí a proud, abychom nerentgenovali zbytečně tvrdým zářením.
- 8) Před samotným zahájením prozařování se ubezpečíme, že je zajištěné okolí a že v žádném případě nikdo nemůže přijít ke spuštěné RTG lampě.
- 9) Zdvihneme směrovací tyčku a odebereme se k ovládacímu pultu, který je na bezpečném a stíněném místě.
- 10) Dle diagramu nastavíme hodnoty na RTG lampě (napětí, proud, čas) a spustíme prozařování.
- 11) Po dokončení expozice vypneme RTG lampu a exponovaný film uložíme na bezpečné místo pro pozdější vyvolání.



Obr. č. 19 - Ovládací pult RTG lampy



Obr. č. 20 - RTG lampa

10.3.3 Parametry zkoušky pro Ir¹⁹²

FFA (ohnisková vzdálenost) -	400 mm
použitý radiografický film -	D5
použitá měrka -	W10
aktivita zářiče -	9 Ci nebo 333 GBq
expoziční čas -	360 s
zčernání snímku D (2-4) -	2,8
kvalita snímku -	Jak je uvedeno v postupu práce a zároveň je názorně vidět na obrázku č. 20, je na zkoušeném vzorku umístěna RTG měrka, která se skládá ze 7 drátků. Pro určitou předepsanou jakost je předepsaná určitá viditelnost těchto drátků. Ze snímku je patrné, že je mdlý, neostrý a tento typ zkoušení spíše vyhovuje pro větší prozařované tloušťky. Na tomto snímku rozlišujeme

ještě 4. drátek (viz obrázek č. 22), neboli dle normy značený W14, který odpovídá tloušťce drátku 0,160 mm.



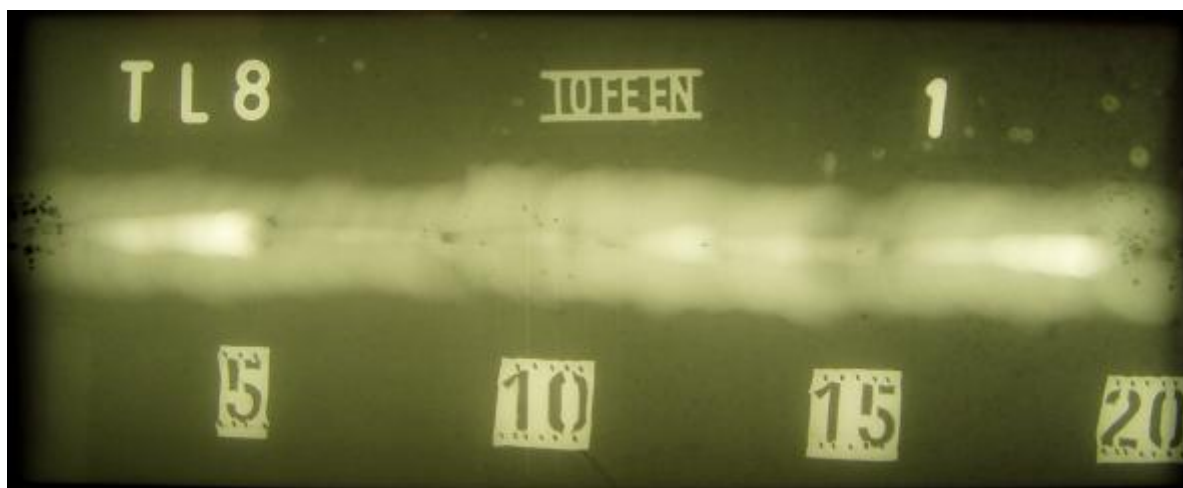
Obr. č. 21 - Ir¹⁹² snímek - vzorek



Obr. č. 22 - Ir¹⁹² snímek, detail vzorku

10.3.4 Parametry zkoušky pro RTG lampu

FFA (ohnisková vzdálenost) -	700 mm
použitý radiografický film -	D5
použitá měrka -	W10
napětí -	150 kV
proud -	4 mA
expoziční čas -	330 s
zčernání snímku D (2-4) -	3,1
kvalita snímku -	Ze snímku je patrné, že je snímek ostrý a tento typ zkoušení vyhovuje menším prozařovaným tloušťkám. Na tomto snímku rozlišujeme ještě 5. drátek (viz. obrázek č. 24), neboli W15 odpovídající tloušťce 0,100 mm.



Obr. č. 23 - RTG snímek - vzorek



Obr. č. 24 - RTG snímek, vzorek - detail

10.4 Postup vyvolání radiografického snímku

Náš vzorek jsme zpracovávali ručně, nikoliv automatem, a proto následně nalezneme podrobný popis ručního vyvolání snímků.

10.4.1 Temná komora

Snímky vyvoláváme v temné komoře, která se dělí na část suchou a na část mokrou.

V suché části se filmy rozbalují a v mokré části se exponované filmy vyvolávají v následujících roztocích:

Vývojka – vyvolání	doba 5 min
Mezipraní – oplach od vývojky	doba 5 min
Ustalovač – ustálení bromidu stříbra na snímku	doba 10 min

Pozn. uvedené časy u vývojky a ustalovače jsou zvoleny dle doporučení výrobce.

Osvětlení v temné komoře je zabezpečeno prostřednictvím filtrovaného světla, které zabrání dodatečné expozici rentgenových filmů.

10.4.2 Vyvolávání

Vrstva emulze rentgenového filmu obsahuje drobná zrnka bromidu stříbra (maximální velikost je 1 μm). V případě, že bychom tato zrnka osvětlili a vyvolali, stala by se pro lidské oko viditelná, jelikož po zpracování filmu budou černá.

Po expozici, kterou provedeme na snímek se nám vytvoří tzv. latentní obraz, který je tvořen ionizovanými zrnky bromidu stříbra, na která dopadly elektrony ze záření. Latentní obraz se změní na viditelný tím, že vývojka přemění ionizovaná zrnka bromidu stříbra na černé kovové stříbro. Tyto změny se týkají vždy celého zrna. Z toho nám i plyne, že tmavá místa na filmu jsou místa s větším počtem exponovaných zrněk a tudíž jsou to místa, kde se buď zkoušený materiál nevyskytuje nebo se jedná o taková místa, kde se v materiálu vyskytují dutiny, bubliny či jiné vady.

Vývojka se skládá z více chemikálií. Akcelerátor odstraňuje z emulze ochrannou vrstvu, vytváří zásaditou vlastnost roztoku a přeměňuje bromid stříbra na kovové stříbro. Vývojka nám působí odlišně na ionizovaná a neionizovaná zrnka bromidu stříbra a to tím způsobem, že na ionizovaná zrnka působí rychleji. Z tohoto důvodu je neprodleně nutné hlídat čas a neponechat snímky ve vývojce déle nežli je stanoveno, jinak by byla zasažena i zrnka neionizovaná. Typická vyvolávací doba je 5 min při teplotě 20 °C.

Při vyšší teplotě bude také vyšší rychlost pronikání alkalického roztoku. To znamená, že film vyvolaný při teplotě 25 °C a době 5 min bude tmavší narozdíl od filmu vyvolaného při teplotě 20 °C a době 5 min. Z toho nám plyne, že stupeň zčernání je určen počtem vyvolaných zrněk bromidu stříbra.

Vývojka se nám může také vyčerpávat. To znamená, že snímek vyvolaný v čerstvé vývojce je kontrastnější nežli ve vyčerpané. Vývojku můžeme taktéž oživit přidávkem tzv. regenerátoru. V případě nevyhovující kvality vývojky musíme roztok obměnit za nový.

10.4.3 Mezipraní

V okamžiku, kdy vytáhneme snímky z vývojky, následuje další krok: mezipraní. Mezipraní má za účel dvě vlastnosti:

- 1) přerušit působení vývojky (kyseliny a zásady se neutralizují)
- 2) odstraní jejich alkálie před jejich zanesením do ustalovače, aby nedošlo k jeho poškození

Ideální doba mezipraní je 5 minut a nejlépe v protékající lázni.

10.4.4 Ustalování

Ustalovač ustaluje (upevňuje) obraz na snímku. Ve vývojce se exponovaný bromid stříbra přemění na stříbro a neexponovaná zrnka bromidu stříbra vytvářejí na filmu tzv. mléčný závoj. V ustalovači nastane rozpuštění zrněk bromidu stříbra.

Ustalování má také dvě vlastnosti:

- 1) vyjasnění snímku (po rozpuštění neosvětlených zrněk se film stane průhlednějším a jasnějším)
- 2) vytvrzení snímku (dochází k vytvrzování vrstvy želatiny - proti vzniku škrábanců)

V případě, že bychom měli dobu vyjasnění snímku delší než 3 minuty, měli bychom roztok ustalovače obměnit za nový. Ideální doba ustalování je 10 minut.

10.4.5 Konečné praní

Po ustalování přichází na řadu konečné praní, které má za účel vymytí zbytku bromidu stříbra. Ideální doba konečného praní je 20 minut a v době konečného praní je možné už běžné osvětlení temné komory.

10.4.6 Sušení

Filmy sušíme za běžné pokojové teploty v dobře větrané místnosti. Je důležité, aby v místnosti nebylo moc prachu, jelikož prach, který se usadí na vlhkém snímku a následně uschne

nelze již odstranit. Filmy není vhodné sušit např. u přímotopů či na přímém slunci. K urychlení usušení filmů využíváme horkovzdušné skříně či sušičky filmů. U sušení v horkovzdušné skříně je taktéž nutné, aby vzduch proudil od shora směrem dolů, aby se snímky sušily rovnoměrně. Ale v jakékoliv používané technice sušení musíme dbát na to, aby se nám snímky neslepily k sobě. V případě, že nám snímky už k sobě přilnou, musíme je znovu ponořit do vodní lázně, aby se oddělily a po té se musí opět usušit.

10.5 Vyhodnocení radiogramů

Vyhodnocení provádíme na negatoskopech, které mají regulovatelný zdroj světla a matné mléčné sklo. Před samotným hodnocením snímků změříme zčernání, abychom zjistili, zda nám odpovídá dle normy rozmezí 2 až 4.

Nyní můžeme vyhodnotit snímky zda odpovídají normě ČSN EN 12 517 [5], stupeň přípustnosti č.1. Vyhodnocovací tabulku nalezneme na obrázku č. 25.

Vysvětlivky k obrázku č. 25 :

l – délka indikace v mm

s – jmenovitá tloušťka tupého svaru v mm

t – tloušťka materiálu v mm

L - jakákoliv zkoušená délka 100 mm

w_p - šířka svaru nebo příčný řez vadou v mm

h - šířka indikace, šířka nebo výška povrchové vady v mm

d - průměr póru v mm

b - šířka převýšení kořene svaru v mm

A - součet promítnutých ploch indikací vztažených na $L \times w_p$ v %;

Σl - součet délek vad na úseku L v mm

Poznámka: Indikace nesmí být rozděleny do různých úseků L .

Číslo	Druhy vnitřních vad podle EN ISO 6520-1	Stupeň přípustnosti 3 ^a	Stupeň přípustnosti 2 ^a	Stupeň přípustnosti 1
1	Trhlina (100)	Nepřípustné	Nepřípustné	Nepřípustné
2a	Rovnoměrná párovitost a bublina (2012, 2011) Jedna vrstva	$A \leq 2,5 \%$ $d \leq 0,4 s$, max. 5 mm $L = 100$ mm	$A \leq 1,5 \%$ $d \leq 0,3 s$, max. 4 mm $L = 100$ mm	$A \leq 1 \%$ $d \leq 0,2 s$, max. 3 mm $L = 100$ mm, $\Sigma l \leq s$
2b	Rovnoměrná párovitost a bublina (2012, 2011) Více vrstev	$A \leq 5 \%$ $d \leq 0,4 s$, max. 5 mm $L = 100$ mm	$A \leq 3 \%$ $d \leq 0,3 s$, max. 4 mm $L = 100$ mm	$A \leq 2 \%$ $d \leq 0,2 s$, max. 3 mm $L = 100$ mm
3 ^b	Shluk pórů (2013)	$A \leq 16 \%$ $d \leq 0,4 s$, max. 4 mm $L = 100$ mm	$A \leq 8 \%$ $d \leq 0,3 s$, max. 3 mm $L = 100$ mm	$A \leq 4 \%$ $d \leq 0,2 s$, max. 2 mm $L = 100$ mm
4a ^c	Řádek pórů (2014) Jedna vrstva	$A \leq 8 \%$ $d \leq 0,4 s$, max. 4 mm $L = 100$ mm	$A \leq 4 \%$ $d \leq 0,3 s$, max. 3 mm $L = 100$ mm	$A \leq 2 \%$ $d \leq 0,2 s$, max. 2 mm $L = 100$ mm
4b ^c	Řádek pórů (2014) Více vrstev	$A \leq 16 \%$ $d \leq 0,4 s$, max. 4 mm $L = 100$ mm	$A \leq 8 \%$ $d \leq 0,3 s$, max. 3 mm $L = 100$ mm	$A \leq 4 \%$ $d \leq 0,2 s$, max. 2 mm $L = 100$ mm
5 ^d	Profáhly pór (2015) a červavý pór (2016)	$h < 0,4 s$, max. 4 mm $\Sigma l \leq s$, max. 75 mm $L = 100$ mm	$h < 0,3 s$, max. 3 mm $\Sigma l \leq s$, max. 50 mm $L = 100$ mm	$h < 0,2 s$, max. 2 mm $\Sigma l \leq s$, max. 25 mm $L = 100$ mm
6 ^e	Staženina (202) {kromě kráterové staženiny}	$h < 0,4 s$, max. 4 mm $l \leq 25$ mm	Nepřípustné	Nepřípustné
7	Kráterová staženina (2024)	$h < 0,2 t$, max. 2 mm $l \leq 0,2 t$, max. 2 mm	Nepřípustné	Nepřípustné
8 ^d	Struskový vměstek (301) tavidlový vměstek (302) a oxidický vměstek (303)	$h < 0,4 s$, max. 4 mm $\Sigma l \leq s$, max. 75 mm $L = 100$ mm	$h < 0,3 s$, max. 3 mm $\Sigma l \leq s$, max. 50 mm $L = 100$ mm	$h < 0,2 s$, max. 2 mm $\Sigma l \leq s$, max. 25 mm $L = 100$ mm
9	Kovové vměstky (304) (kromě mědi)	$l \leq 0,4 s$, max. 4 mm	$l \leq 0,3 s$, max. 3 mm	$l \leq 0,2 s$, max. 2 mm
10	Měděný vměstek (3042)	Nepřípustné	Nepřípustné	Nepřípustné
11 ^e	Studený spoj (401)	Přípustné, ale jen přerušovaný a nevystupující na povrch $\Sigma l \leq 25$ mm, $L = 100$ mm	Nepřípustné	Nepřípustné
12 ^e	Neprůvar (402)	$\Sigma l \leq 25$ mm, $L = 100$ mm	Nepřípustné	Nepřípustné

^a Stupeň přípustnosti 3 a 2 může být označen připojeným znakem X, který udává, že všechny indikace přesahující 25 mm jsou nepřípustné.

^e Pokud je délka svaru menší než 100 mm, nesmí maximální délka indikace překročit 25 % délky svaru.

Obr. č. 25 - Vyhodnocovací tabulka [5]

10.5.1 Vyhodnocení

Tabulka 2 - Vyhodnocení vzorku [5]

Název vady	Označení vady	Dovolená velikost	Skutečná velikost	Umístění vady	Vyhovuje ano/ne
Bublina	2011	1,6 mm $\Sigma l < 8 \text{ mm}$	$\Sigma l \pm 15 \text{ mm}$	80 – 110	<u>ne</u>
Shluk pórů	2013	1,6 mm $\Sigma l < 8 \text{ mm}$	15 mm 20 mm	0 – 15 mm 180 - 200 mm	<u>ne</u>
Studený spoj	401	nepřípustný	2 x 5 mm 1 x 7 mm	50 – 60 mm 105 -115 mm	<u>ne</u>
Neprovařený kořen	402	nepřípustný	5 mm 10 mm	75 – 85 mm 190 – 200 mm	<u>ne</u>

Uvedené vady v tabulce č. 2 jsou znázorněny na příloze č. 3.

Z vyhodnocení je patrné, že daný zkušební vzorek nám nevyhovuje dle zadaných kritérií do stupně přípustnosti č. 1 podle normy ČSN EN 12 517 [5]. Ani do stupně přípustnosti č. 2 a č. 3 by nám vzorek nevyhovoval hlavně z důvodu velikosti shluku pórů.

10.5.2 Závěr

Závěrem k danému měření je nutné zmínit, že v praxi se většina zkušebního materiálu vyhodnocuje do stupně přípustnosti č. 1 a nejčastějšími vadami, kvůli kterým se musí daný materiál znovu opravit jsou neprůvazy a studené spoje. Často se hodnotí snímky pouze na zjištění stavu a nebo se vyhodnocují dle starých ČSN norem či vnitřních předpisů firmy, která si danou zkoušku objednává.

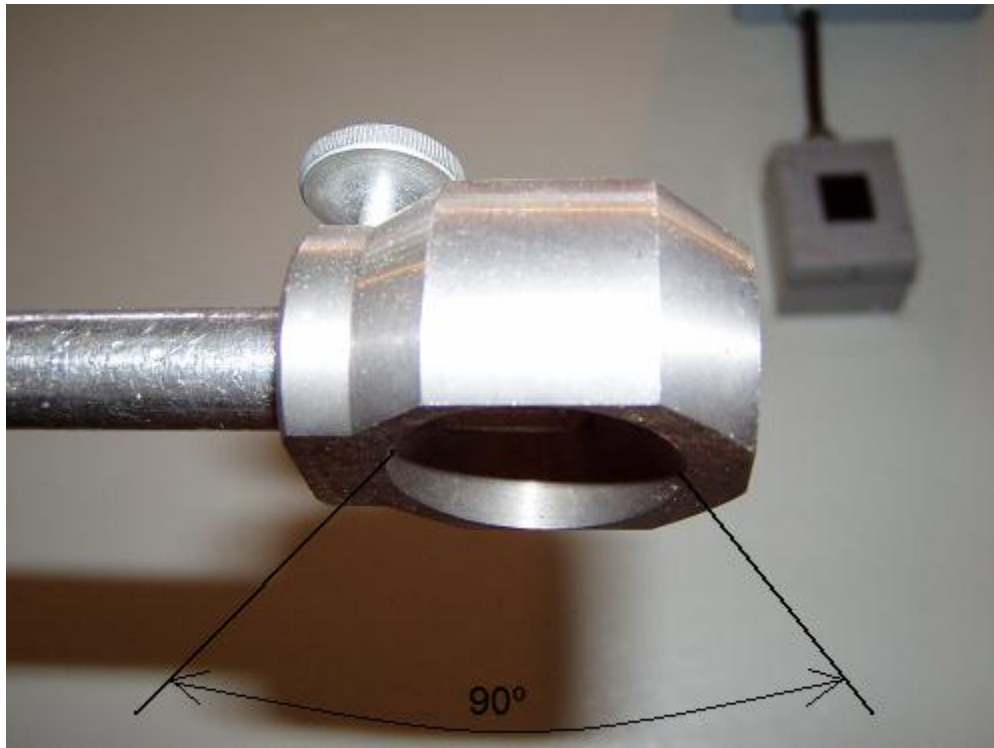
11 Ochrana před ionizujícím zářením

Defektoskopický technik přichází do styku hlavně se zářením rentgenovým a zářením gama, tudíž má velkou zodpovědnost za zdraví své a zdraví a bezpečí svého okolí. V ochraně před ionizujícím zářením známe tři hlavní faktory:

1) **Ochrana vzdáleností** – Se vzdáleností nám exponenciálně klesá dávkový příkon od zářiče a tudíž bych ochranu vzdáleností zařadil na první místo.

2) **Ochrana časem** – Ochrana časem je lineární, tudíž v případě, že se zkrátí expozice záření na polovinu, sníží se na polovinu taktéž obdržená dávka od zářiče. Avšak ochranu časem málokdy ovlivníme, jelikož parametry jsou vždy dané. Např. aktivita zářiče se neovlivní a kdybychom měli možnost volby vzít si zářič s vyšší aktivitou, pak se sice zkrátí expoziční čas, avšak zase bude větší dávkový příkon. V praxi je tato ochrana využitelná jen v případě, že se bude prozařovat materiál na bezpečném místě, kde není žádný výskyt osob a po vysunutí zářiče je možnost odběhnout na vzdálenější místo. Tímto způsobem se zkrátí čas, kdy jsme vystaveni ionizujícímu záření i když v tomto případě se jedná o nedílnou součást ochrany vzdáleností.

3) **Ochrana stíněním** – Tuto ochranu bych zařadil na stejnou pozici jako je ochrana vzdáleností. Ochrana stíněním je sice taktéž lineární, ale ve většině případů jediná, kterou můžeme využít, protože mnohdy čas ani vzdálenost neovlivníme. V terénu je vhodné mít výsuvné zařízení uschované za vhodným stíněním jako jsou silné zdi. Pokud to dovolí okolnosti, tak je vhodné používat kolimátor. Kolimátor nám fokusuje směr paprsků jen potřebným směrem a zbytek záření z převážné části odstíní. Kolimátor je vyroben nejčastěji z olova. Na obrázku č. 26 můžeme vidět použití kolimátoru na výjezdové tyčce.



Obr. č. 26 - Kolimátor

12 Postup při ztrátě kontroly nad zdrojem ionizujícího záření

Ztrátou kontroly nad zdrojem ionizujícího záření rozumíme radiační nehodu, která by měla za následek překročení ročních dávkových limitů.

12.1 Postup

- 1) V případě ztráty kontroly na zdrojem ionizujícího záření je nutno neprodleně informovat vedoucího pracoviště a dohlízejícího pracovníka.
- 2) Musíme ohradit dané pracoviště, aby nikdo nemohl vstoupit do oblasti, kde je zdroj záření.
- 3) Dohlízející pracovník provede okamžité šetření, jak k nehodě došlo, kdo byl přítomen a v jaké vzdálenosti od zdroje ionizujícího záření. Musí se určit, zda nebyl někdo exponován a v případě, že ano, tak odečíst obdrženou dávku z elektronického dozimetru. V případě používání pouze filmového dozimetru, kde jeho vyvolání trvá určitou dobu, je možné stanovit obdrženou dávku z aktivity zářiče, vzdálenosti pracovníka od zdroje záření a času expozice.
- 4) V případě, že byli překročeny limitní dávky pro pracovníka, je nutné vyhledat lékaře a to v takovém čase, v závislosti na dávce, kterou pracovník obdržel.
- 5) Neznáme-li přesně dobu a místo ztráty zdroje záření, musíme informovat Policii ČR.
- 6) V případě likvidace otevřeného zdroje záření se na této likvidaci podílíme. Jednotlivé akce a časy spojené s likvidací zářiče musí být spočteny, aby nedošlo k ohrožení osob.
- 7) O všem se pořídí podrobný záznam a celá situace se prošetří.

12.2 Dávkové limity

Každý, kdo pracuje se zdroji ionizujícího záření je povinen sledovat ozáření osob takovým způsobem, aby nebyly překročeny stanovené limity.

Limity ozáření jsou rozděleny do tří skupin: **obecné limity (obyvatelstvo)**

limity pro radiační pracovníky

limity pro učně a studenty

$$\text{Efektivní dávka } E = \sum w_T \cdot H_T \quad (6)$$

H_T -ekvivalentní dávka v daném orgánu

w_T -tkáňový váhový faktor v daném orgánu

Efektivní dávka je součet ekvivalentních dávek v jednotlivých orgánech vynásobených jednotlivými váhovými faktory. **Tkáňový váhový faktor** je relativní hodnota koeficientu rizika stochastických účinků pro danou tkáň nebo orgán. Vyjadřuje tedy citlivost dané tkáně nebo orgánu na stochastické účinky. [3]

$$\text{Ekvivalentní dávka } H_T = w_R \cdot D_T \quad (7)$$

D_T -střední dávka v orgánu způsobená daným druhem záření

w_R -radiační váhový faktor pro daný druh záření

Radiační váhový faktor je konstanta, která vyjadřuje relativní biologickou účinnost daného druhu ionizujícího záření vzhledem k elektromagnetickému záření. [3]

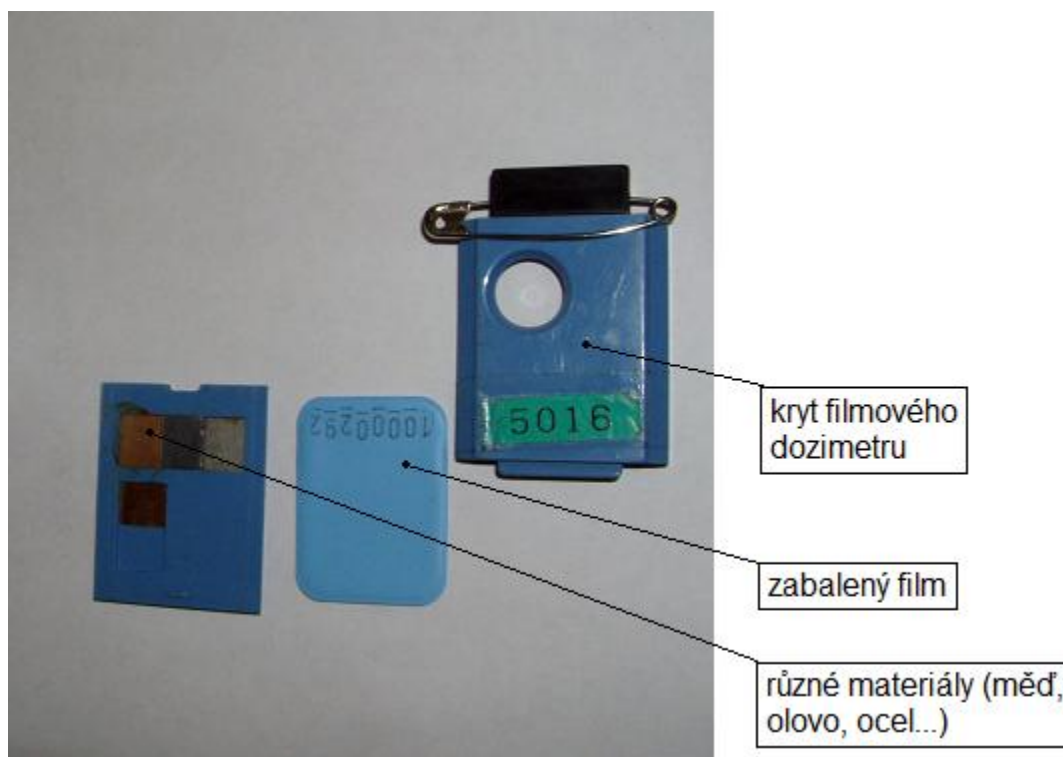
Tabulka 3 - Dávkové limity[3]

Jednotlivé dávky	Hodnota limitu [mSv]
Obecné limity	
Efektivní dávka za kalendářní rok	1
Ekvivalentní dávka v oční čočce za kalendářní rok	15
Ekvivalentní dávka v 1 cm ² kůže za kalendářní rok	50
Limity pro radiační pracovníky	
Efektivní dávka za dobu 5ti let	100
Efektivní dávka za kalendářní rok	50
Ekvivalentní dávka v oční čočce za kalendářní rok	150
Ekvivalentní dávka v 1 cm ² kůže za kalendářní rok	500
Ekvivalentní dávka na končetiny za kalendářní rok	500
Limity pro učně a studenty	
Efektivní dávka za kalendářní rok	6
Ekvivalentní dávka v oční čočce za kalendářní rok	50
Ekvivalentní dávka v 1 cm ² kůže za kalendářní rok	150
Ekvivalentní dávka na končetiny za kalendářní rok	150

Jednotlivé dávky	Hodnota limitu [mSv]
Zvláštní limity	
Ozáření plodu u těhotných žen pracujících se zdroji IZ po dobu těhotenství	1
Vyjimečné jednorázové ozáření radiačních pracovníků za dobu 5ti let	500
Vyjimečné jednorázové ozáření jedince z obyvatelstva za dobu 5ti let	5
Ozáření osob podílejících se na zásazích v případě radiační nehody	500

13 Osobní monitorování – Dozimetrie

Při práci s ionizujícím zářením jsou pracovníci povinni používat dozimetry z důvodu monitorování dávek. Pro okamžitou obdrženou dávku se využívají elektronické dozimetry a k nim se používají ještě filmové dozimetry, které jsou z hlediska důležitosti na první pozici (viz obrázek č. 27).



Obr. č. 27 - Filmový dozimetr

Filmový dozimetr naruší od elektronického je mnohem odolnější, ale má velkou nevýhodu, jelikož na něm nemůžeme odečítat okamžitou obdrženou dávku. Elektronický dozimetr naopak zobrazuje přímo obdrženou dávku, ale také i dávkový příkon. Na elektronickém dozimetru můžeme také nastavit například limitní dávkový příkon, který když se převýší, tak elektronický dozimetr začne zvukově upozorňovat svého uživatele. Do budoucna každopádně elektronické dozimetry nahradí současně upřednostňované filmové dozimetry. Radiační pracovník v žádném případě nesmí odkládat dozimetr, musí ho mít neustále při sobě!

13.1 Monitorování pracovního prostředí se zdrojem IZ

Pro monitorování pracovního prostředí se používá přístroj na měření dávkového příkonu. Tyto přístroje jsou nezbytné k vytyčení kontrolovaného pásma, hlavně co se týče mobilní defektoskopie. V případě radiační nehody, nám tyto přístroje umožňují dohledat zářič. Jeden z takovýchto přístrojů je například RDS-30, který nalezneme na obrázku č. 28. Tento přístroj má rozsah dávkového příkonu od $0,01 \mu\text{Sv}/\text{h}$ do $100 \text{mSv}/\text{h}$ a obdrženou dávku od $0,01 \mu\text{Sv}$ do 1Sv . Prochází-li takovéto přístroje pravidelnou kalibrací a revizí, je s nimi možno kontrolovat dočasně vytyčená kontrolovaná pásma při mobilním rentgenování.



Obr. č. 28 - RDS-30 [9]

14 Závěr

Tato práce měla za účel oboznámit s mobilní defektoskopií a principem rentgenování. Veškeré poznatky zmíněné v bakalářské práci jsem se snažil uvést z vlastních praktických zkušeností. Účelem bylo zamyslet se nad důležitostí ionizujícího záření v praxi a zároveň byly porovnány určité způsoby prozařování. Porovnali jsme výsledné kvality snímků a různorodost technického provedení. V praxi sice využíváme nejčastěji Ir¹⁹², ale hlavně z důvodu rychlosti a mobility. Osobně bych ale dal přednost mobilní rentgence, alespoň v situacích, kdy je to možné. Kvalita snímků je lepší a jedná se o „způsob bezpečného rentgenování“.

Zároveň tuto práci můžeme pojmut jako návod na prozařování a na práci s gammamatem a rentgenkou. Hodnotili jsme snímky podle norem a z prozařovaného vzorku je zřejmé, jak vypadají vady v materiálu zobrazené na rentgenovém filmu.

Nahlédli jsme také do problematiky vyvolávání filmů, kde jsme se seznámili s podrobným postupem vyvolávání rentgenových filmů. Na závěr této práce jsou mimo jiné zmíněny principy ochrany před ionizujícím zářením a princip monitorování ionizujícího záření.

Příloha č.1 - Rozpadová tabulka gama zářiče

Rozpadová tabulka pro přepočítání aktivity								
Číslo osvědčení	.0900645			Číslo zářiče	3-266	TIF 1685		
Počáteční aktivita	1,582 TBq	42,77 Ci		Ke dni	15.1.2009			
DATUM	Aktivita		DATUM	Aktivita		DATUM	Aktivita	
	TBq	Ci		TBq	Ci		TBq	Ci
16.6.2009	0,380	10,27	26.7.2009	0,261	7,05	4.9.2009	0,179	4,85
17.6.2009	0,376	10,17	27.7.2009	0,259	6,99	5.9.2009	0,178	4,80
18.6.2009	0,373	10,08	28.7.2009	0,256	6,92	6.9.2009	0,176	4,76
19.6.2009	0,369	9,99	29.7.2009	0,254	6,86	7.9.2009	0,174	4,71
20.6.2009	0,366	9,89	30.7.2009	0,251	6,79	8.9.2009	0,173	4,67
21.6.2009	0,363	9,80	31.7.2009	0,249	6,73	9.9.2009	0,171	4,62
22.6.2009	0,359	9,71	1.8.2009	0,247	6,67	10.9.2009	0,169	4,58
23.6.2009	0,356	9,62	2.8.2009	0,244	6,61	11.9.2009	0,168	4,54
24.6.2009	0,353	9,53	3.8.2009	0,242	6,54	12.9.2009	0,166	4,50
25.6.2009	0,349	9,44	4.8.2009	0,240	6,48	13.9.2009	0,165	4,45
26.6.2009	0,346	9,35	5.8.2009	0,238	6,42	14.9.2009	0,163	4,41
27.6.2009	0,343	9,26	6.8.2009	0,235	6,36	15.9.2009	0,162	4,37
28.6.2009	0,340	9,18	7.8.2009	0,233	6,30	16.9.2009	0,160	4,33
29.6.2009	0,336	9,09	8.8.2009	0,231	6,24	17.9.2009	0,159	4,29
30.6.2009	0,333	9,01	9.8.2009	0,229	6,19	18.9.2009	0,157	4,25
1.7.2009	0,330	8,92	10.8.2009	0,227	6,13	19.9.2009	0,156	4,21
2.7.2009	0,327	8,84	11.8.2009	0,225	6,07	20.9.2009	0,154	4,17
3.7.2009	0,324	8,76	12.8.2009	0,223	6,01	21.9.2009	0,153	4,13
4.7.2009	0,321	8,67	13.8.2009	0,220	5,96	22.9.2009	0,151	4,09
5.7.2009	0,318	8,59	14.8.2009	0,218	5,90	23.9.2009	0,150	4,05
6.7.2009	0,315	8,51	15.8.2009	0,216	5,85	24.9.2009	0,149	4,02
7.7.2009	0,312	8,43	16.8.2009	0,214	5,79	25.9.2009	0,147	3,98
8.7.2009	0,309	8,35	17.8.2009	0,212	5,74	26.9.2009	0,146	3,94
9.7.2009	0,306	8,28	18.8.2009	0,210	5,68	27.9.2009	0,144	3,90
10.7.2009	0,303	8,20	19.8.2009	0,208	5,63	28.9.2009	0,143	3,87
11.7.2009	0,301	8,12	20.8.2009	0,206	5,58	29.9.2009	0,142	3,83
12.7.2009	0,298	8,05	21.8.2009	0,204	5,53	30.9.2009	0,140	3,80
13.7.2009	0,295	7,97	22.8.2009	0,203	5,48	1.10.2009	0,139	3,76
14.7.2009	0,292	7,90	23.8.2009	0,201	5,42	2.10.2009	0,138	3,73
15.7.2009	0,289	7,82	24.8.2009	0,199	5,37	3.10.2009	0,137	3,69
16.7.2009	0,287	7,75	25.8.2009	0,197	5,32	4.10.2009	0,135	3,66
17.7.2009	0,284	7,68	26.8.2009	0,195	5,27	5.10.2009	0,134	3,62
18.7.2009	0,281	7,61	27.8.2009	0,193	5,22	6.10.2009	0,133	3,59
19.7.2009	0,279	7,53	28.8.2009	0,191	5,18	7.10.2009	0,132	3,56
20.7.2009	0,276	7,46	29.8.2009	0,190	5,13	8.10.2009	0,130	3,52
21.7.2009	0,274	7,39	30.8.2009	0,188	5,08	9.10.2009	0,129	3,49
22.7.2009	0,271	7,32	31.8.2009	0,186	5,03	10.10.2009	0,128	3,46
23.7.2009	0,268	7,26	1.9.2009	0,184	4,98	11.10.2009	0,127	3,42
24.7.2009	0,266	7,19	2.9.2009	0,183	4,94	12.10.2009	0,126	3,39
25.7.2009	0,263	7,12	3.9.2009	0,181	4,89	13.10.2009	0,124	3,36

Pozn. - rozpadovou tabulku utvoříme dle vztahu č. 8

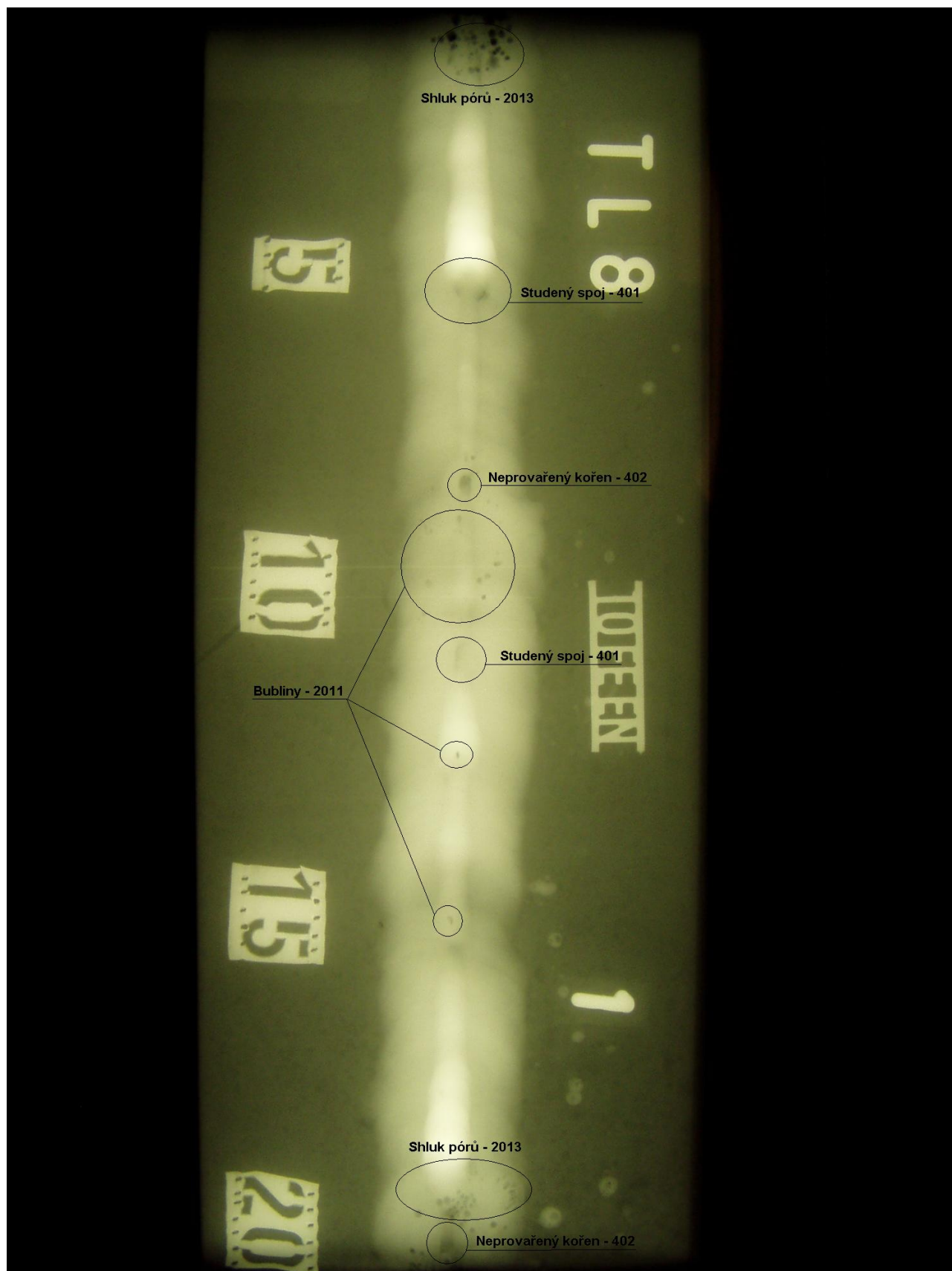
$$A_t = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (8)$$

A_t – Aktivita v čase t ; A_0 – aktivita v čase $t = 0$; e – zákl. př. log.; λ – přeměnová konstanta; t - čas

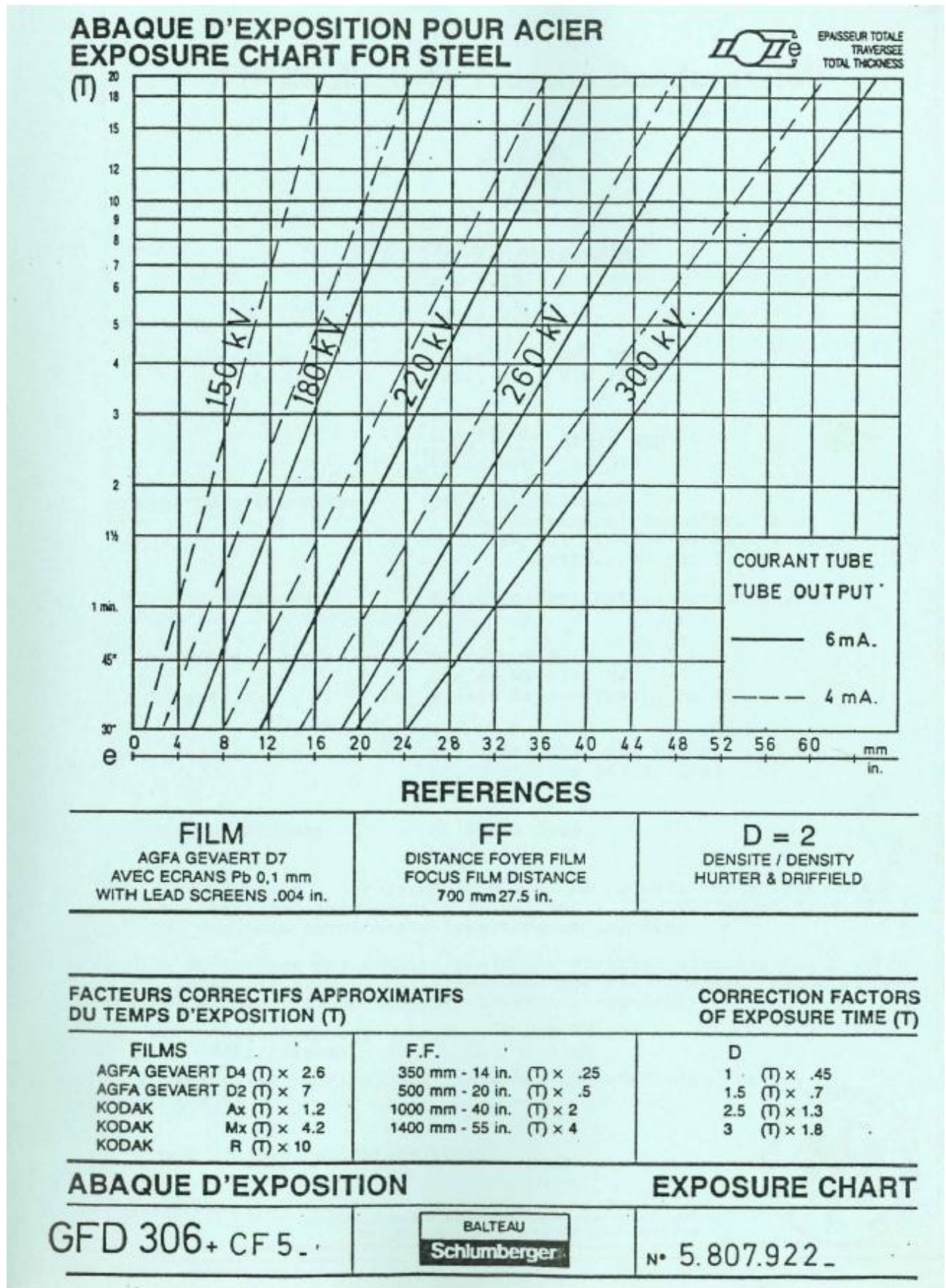
Příloha č. 2 - Seznam dokumentace

Obr. č. 1 - Spektrum elektromagnetického vlnění	8
Obr. č. 2 - Princip rentgenky	9
Obr. č. 3 - Spektrum rentgenového záření	10
Obr. č. 4 - Jednopolová rentgenka.....	12
Obr. č. 5 - Dvoupolová rentgenka	13
Obr. č. 6 - Panoramatická rentgenka	13
Obr. č. 7 - Rentgenka s mikroohniskem.....	15
Obr. č. 8 - Lineární urychlovač částic [6]	17
Obr. č. 9 - Schéma betatronu [7]	18
Obr. č. 10 - Gamadefektoskopický přístroj gammamat	22
Obr. č. 11- Spojení zářiče s dálkovým ovládním a výjezdovou hadicí	22
Obr. č. 12 - Rozsah prozařovaných tlouštěk [4].....	23
Obr. č. 13 - Rozsah prozařovaných tlouštěk [4].....	24
Obr. č. 14 - Expoziční, logaritmické pravítko.....	26
Obr. č. 15 - Denzitometr.....	26
Obr. č. 16 - RTG vzorek.....	28
Obr. č. 17 - Práce s gammamatem	31
Obr. č. 18 - Spojení zářiče.....	32
Obr. č. 19 - Ovládací pult RTG lampy	33
Obr. č. 20 - RTG lampa.....	34
Obr. č. 21 - Ir ¹⁹² snímek - vzorek	35
Obr. č. 22 - Ir ¹⁹² snímek, detail vzorku	35
Obr. č. 23 - RTG snímek - vzorek.....	36
Obr. č. 24 - RTG snímek, vzorek - detail	37
Obr. č. 25 - Vyhodnocovací tabulka [5].....	41
Obr. č. 26 - Kolimátor	44
Obr. č. 27 - Filmový dozimetr.....	48
Obr. č. 28 - RDS-30 [9]	49
Tabulka 1 - Technické údaje nejpoužívanějších zářičů v defektoskopii.....	19
Tabulka 2 - Vyhodnocení vzorku [5]	42
Tabulka 3 - Dávkové limity[3].....	46

Příloha č. 3 - Vady ve vzorku



Příloha č. 4 - Diagram RTG lampy [10]



Použitá literatura

[1] Defektoskopie v otázkách a odpovědích:

STNL - Nakladatelství technické literatury- M. Věchet, J.Kesl, L. Špika, V. Eder- Praha 1989

[2] Firemní materiály Tediko s.r.o.:

Zkušební prozařování stupeň 1, stupeň 2;

[3] Radiační ochrana pro vybrané pracovníky s významnými průmyslovými zdroji

[4] ČSN EN 1435

Nedestruktivní zkoušení svarů - Radiografické zkoušení svarových spojů

Vydána: 1999-06

[5] ČSN EN 12 517

Nedestruktivní zkoušení svarů - Radiografické zkoušení svarových spojů - Stupně přípustnosti

Vydána: 1999-11

[6] Zdroje z internetu - <http://fyzika.jreichl.com>

Čerpáno: 08/2009

[7] Zdroje z internetu - <http://astronuklfyzika.cz>

Čerpáno: 09/2009

[8] Zdroje z internetu - http://cs.wikipedia.org/wiki/Urychlovač_částic

Čerpáno: 02/2010

[9] Zdroje z internetu - <http://www.rdsys.cz>

Čerpáno: 03/2010

[10] Baltospot GF series with CF5 control panel – Instruction manual – Use and Maintenance

Čerpáno: 03/2010