

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZDRAVOTNĚ SOCIÁLNÍ FAKULTA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Měření extinkce moči v závislosti na dávce ionizujícího záření

Vypracovala: Štěpánka Radová

Vedoucí práce: Ing. Jan Singer, CSc.

6. května 2010

Abstract

Urine Extinction Measurement in Dependence on Ionizing Radiation Dose

Radiotherapeutic workplaces use ionizing radiation for treatment of tumorous but also some non-tumorous diseases. Medical staff of these departments is exposed to ionizing radiation on everyday basis and is thus endangered by harmful consequences. On the other hand a patient should be exposed to a neglect volume of ionizing radiation outside the radiated area. The conditions defining the means of protection for medical staff and patients are arranged by the law. So called dosimeters, are used for this purpose by medical staff, and urine might belong among them.

This thesis deals with the issue whether urine could serve as a biological dosimeter that might be used either for continuous monitoring or for instantaneous determination of radiation dose. The next goal was to find out at what doses of ionizing radiation changes in urine extinction occur. The results show that urine provides qualitative but irreproducible values. Namely because of varying composition of urine and for presence of substances which, apart from water radiolysis, causing urine extinction changes, represent inhibitors or activators of these chemical reactions. This is why urine cannot serve as a biological dosimeter of radiation.

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Měření extinkce moči v závislosti na dávce ionizujícího záření vypracovala 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 ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 6. května 2010

Štěpánka Radová

Poděkování:

Ráda bych poděkovala především vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Singerovi, CSc. za metodické vedení práce, užitečné rady a připomínky. Dále děkuji primáři onkologického oddělení Nemocnice České Budějovice, a.s. MUDr. Václavu Janovskému, především však slečně Bc. Janě Rusinové a dalším zdravotnickým pracovníkům, kteří mi umožnili na tomto oddělení ozařovat vzorky. Můj nemalý dík patří také zaměstnancům Zdravotně sociální fakulty za poskytnutí prostor a přístrojů k vyhodnocení dat.

Seznam použitých zkratk:

ECT	extracelulární tekutina
IZ	ionizující záření
STAG	studijní agenda
LPR	Lehké přirozené radionuklidy
SPF	Spektrofotometr
RTG	Rentgenové záření
LET	Linear Energy Transfer (lineární přenos energie)
Gy	Gray
PVI	Portal vision (systém k ověřování přesnosti nastavení)
MLC	Multileaf Collimator (k ochraně okolní zdravé tkáně)
KOC	Komplexní onkologické centrum
IMRT	Radioterapie s modulovanou intenzitou záření
NČB, a.s.	Nemocnice České Budějovice, a.s.
CT	Výpočetní tomografie
MU	Monitorovací jednotka
SSD	Source Skin Distance (vzdálenost zdroje od kůže)

Obsah

Úvod.....	7
1. Současný stav.....	7
1.1 Charakteristika ionizujícího záření	7
1.2 Zdroje ionizujícího záření	8
1.2.1 Přírodní zdroje	8
1.2.2 Umělé zdroje.....	8
1.3 Vznik a vlastnosti RTG záření	9
1.3.1 Vznik fotonového záření.....	9
1.3.2 Vznikající dva typy fotonového záření.....	10
1.3.3 Vlastnosti rentgenového záření.....	10
1.4 Druhy ozáření.....	10
1.5 Účinky IZ	11
1.5.1 Fyzikální účinky IZ.....	11
1.5.2 Chemické účinky IZ.....	12
1.5.3 Biologické účinky IZ	14
1.6 Radioterapie	19
1.6.1 Teleradioterapie	19
1.6.2 Onkologické oddělení NČB, a.s.	20
1.6.3 Přístrojové vybavení na oddělení radioterapie v NČB, a.s.	20
1.6.4 Rozmístění pracovišť v NČB, a.s.	22
1.6.5 Úsek ozařoven.....	22
1.7 Fyziologie vylučování	23
1.7.1 Moč	24
1.7.2 Definitivní moč	25
1.7.3 Přehled vstřebávání jednotlivých látek	26
1.7.4 Vylučování moči.....	27
1.7.5 Vývodné cesty močové.....	28
1.7.6 Močení (mikce).....	28

2.	Cíle práce a hypotéza	29
3.	Metodika	30
3.1	Lineární urychlovač se stojatou vlnou, výrobce Clinac, typ 2100 CD	30
3.2	Optické laboratorní metody	31
3.2.1	Spektrofotometrie	31
3.2.2	Základní veličiny a vztahy používané ve spektrofotometrii	32
3.3	Laboratorní centrifuga CENTRIC 322A.....	33
3.4	Postup ozařování LU a vyhodnocení absorbancí na spektrofotometru.....	34
4.	Výsledky	38
5.	Diskuze	41
6.	Závěr	46
7.	Seznam použité literatury	47
8.	Klíčová slova	49
9.	Přílohy.....	50

Úvod

Radioterapie využívá k léčbě nádorů, ale i některých nenádorových onemocnění IZ. Toto záření nemá jen diagnostický význam, ale může i poškodit organismus. Pro pacienta by daná dávka IZ neměla mít škodlivé účinky na zdravou tkáň. Personál je těmto dávkám vystaven každý den, a proto může být ohrožen negativními následky. Radioterapie je neodmyslitelnou součástí moderní onkologické léčby. Musí se však používat uvážlivě s použitím všech medicínských i fyzikálních znalostí. Asi 65% onkologických pacientů absolvuje v průběhu léčby ozáření, buďto s cílem kurativním (dosažení vyléčení nádoru) nebo paliativním (zmírnění obtíží způsobeným nádorem). Základním problémem v léčbě je dosáhnout maxima absorbované dávky v nádoru, aniž by byla poškozena okolní zdravá tkáň.

Pomocí zákona jsou stanoveny podmínky, které určují, jakými prostředky musí být zabezpečena ochrana pracovníků i samotných pacientů. K těmto účelům se používají tzv. dozimetry, mezi něž by mohla patřit i moč, jako biologický dozimetr, který by mohl sloužit k průběžnému nebo i dlouhodobému sledování pracovníků, například při havárii, ale i pacientů na oddělení radioterapie v NČB, a.s.

Cílem této bakalářské práce je tedy sledovat a posléze zhodnotit, zda by se mohla moč použít jako indikátor (dozimetr) při určité dávce ozáření. Dalším úkolem je zjistit, zda dochází ke změnám barevnosti (extinkce) moči a posléze při jakých dávkách k tomuto dochází.

1. Současný stav

1.1 *Charakteristika ionizujícího záření¹*

IZ je tok hmotných částic nebo fotonů elektromagnetického záření, které mají schopnost ionizovat atomy prostředí nebo excitovat jádra. Vzniká jako původní jev

¹ Kolektiv autorů: Biofyzika v medicíně, vydavatelství MANUS Praha 2003, 248 str., ISBN 80-86571-03-3

jaderných procesů (u rentgenového záření, procesů odehrávajících se v elektronovém obalu atomů). Při těchto procesech se dostává jádro (nebo obal) atomu do excitovaného stavu, stává se energeticky nestabilní. Stabilní stav získá právě vyzářením energie ve formě částic nebo fotonů elektromagnetického záření.

Korpuskulární IZ je charakterizováno elektrickým nábojem, klidovou hmotností a kinetickou energií. Podle hmotnosti dělíme částice na těžké (částice α , protony, neutrony), středně těžké (mezony) a lehké (elektrony a pozitrony).

Fotonové IZ má duální charakter (má vlastnosti jak elektromagnetického vlnění, tak i vlastnosti částic o nulové hmotnosti). Rozeznáváme fotonové záření γ a rentgenové záření. Z fyzikálního hlediska jde v podstatě o stejný typ záření, rozdíl je ve vlnové délce a v tom, že záření γ vzniká v atomovém jádře (přirozená a umělá radioaktivita).

1.2 Zdroje ionizujícího záření²

1.2.1 Přírodní zdroje

- kosmické záření
- sluneční záření
- přírodní radioizotopy

1.2.2 Umělé zdroje

- Urychlovače částic - Cyklotron, Synchrotron, případně lineární urychlovače, mezi něž patří i rentgenky (Rentgen, CT, mamograf) a CRT displeje
- Jaderné zbraně
- Jaderný reaktor
- Uměle vytvořené nestabilní chemické prvky (neptunium, plutonium, americium, kalifornium atd.)

²http://cs.wikipedia.org/wiki/Ionizuj%3ADc%3AD_z%3A1%C5%99en%3AD#Zdroje_ionizuj.C3.ADc.C3.ADho_z.C3.A1.C5.99en.C3.AD, dostupné dne 2. 3. 2010

- Zařízení pro scintilační a stopovací diagnostické metody
- Terapeutická zařízení - cesiové a kobaltové gama ozařovače, Leksellův gama-nůž
- Radiofarmaka



Obrázek č. 1 - Rentgenka³

1.3 Vznik a vlastnosti RTG záření⁴

RTG záření je elektromagnetické vlnění o velmi krátké vlnové délce $10^{-8} - 10^{-12}$ m. V radiodiagnostice se používá vlnová délka 10^{-9} m.

1.3.1 Vznik fotonového záření

Umělým zdrojem RTG záření X je rentgenka. Záření vzniká prudkým zabrzděním velmi rychle letících elektronů o hmotu vysoké hmotnosti (vysokém atomovém čísle). V rentgence musí dojít k nažhavení katody. Přiložíme-li mezi katodu a anodu napětí, dají se elektrony do pohybu směrem k anodě. Při nárazu na anodu se jejich kinetická energie mění přibližně 1 % v záření X a 99 % kinetické energie se mění na teplo. Záření vzniká tak, že 1 % urychlených elektronů pronikne do vrstvy K a L a zde vyrazí elektron. Z vyšší vrstvy přeskočí na volné místo elektron a přebytek energie se vyzáří jako X záření.

³http://cs.wikipedia.org/wiki/Ionizuj%C3%ADc%C3%AD_z%C3%A1l%C5%99en%C3%AD#Zdroje_ionizuj.C3.ADc.C3.ADho_z.C3.A1.C5.99en.C3.AD, dostupné dne 2. 3. 2010

⁴ <http://e-liska.cz/draci/rad1.htm>, dostupné dne 2. 3. 2010

1.3.2 Vznikající dva typy fotonového záření

- 1) Brzdné záření – které vzniká interakcí elektronu a jádra atomu anody, zabrzdění je jednorázové a má nejkratší vlnovou délku (postupným zabrzdováním záření vzniká delší vlnová délka)
- 2) Charakteristické záření – záření je tvořeno některými typy vlnových délek. Vzniká tak, že elektron letící z katody vyrazí ze slupek anody K a L (ze slupek blízkých jádru) jiný elektron. Na uvolněné místo přeskóčí elektron ze vzdálené slupky. Uvolní se přebytek energie ve formě X záření.

1.3.3 Vlastnosti rentgenového záření

RTG záření je neviditelné, prochází hmotou, v níž se částečně absorbuje, přičemž množství absorbovaného záření závisí na složení hmoty (průměrném protonovém čísle, hustotě a tloušťce) a na kvalitě záření (jeho vlnové délce). Ubývá se čtvercem vzdálenosti. Šíří se od zdroje přímočaře.

1.4 Druhy ozáření⁵

I když jsou principy radiační ochrany obecné, je stupeň regulovatelnosti různých druhů ozáření a zásahů rozdílný a může ovlivnit vhodnost použití různých prostředků regulace. Obecně rozlišujeme tři druhy ozáření:

- *Ozáření při práci*, zahrnující všechna ozáření, k nimž došlo při práci a zásadně je důsledkem práce
- *Ozáření lékařské*, které je především ozáření osob jako součásti vyšetřovacích a léčebných postupů na nich prováděných, patří sem i ozáření dobrovolníků neprofesionálů při pomoci při vyšetřování, návštěvníků pacientů a ozáření při lékařských výzkumech

⁵ P. Kuna, L. Navrátil a kol.: Klinická radiobiologie, vydavatelství MANUS Praha 2005, 198 str., ISBN 80-86571-09-2

- *Ozáření obyvatel (obecné)*, kam spadají veškerá ostatní ozáření

1.5 Účinky IZ⁶

1.5.1 Fyzikální účinky IZ

Interakce záření γ s hmotným prostředím se výrazně odlišuje od interakce elektricky nabitých částic. Při průchodu prostředím uvolňují fotony elektricky nabitě částice (elektrony), které tím získají energii dostatečnou k tomu, aby byly schopné prostředí ionizovat a excitovat. Záření γ náleží tedy do kategorie nepřímo IZ. Záření γ interaguje s prostředím:

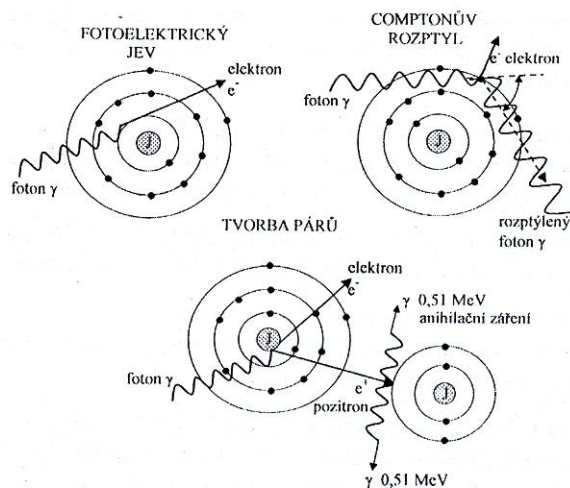
- Fotoefektem
- Comptonovým rozptylem
- Tvorbou párů elektron – pozitron

Při *fotoefektu* předá foton záření γ veškerou svoji energii elektronu na některé z vnitřních slupek atomu. Tento elektron je z atomu uvolněn a jeho místo je zaplněno elektronem z vyšší slupky a přebytek energie je vyzářen v podobě fotonu charakteristického rentgenového záření. Pravděpodobnost fotoefektu se zmenšuje s rostoucí energií záření γ a roste s atomovým číslem materiálu; projevuje se tedy hlavně u fotonů s nižší energií a v látkách s vysokým atomovým číslem (např. ve stínícím materiálu Pb).

Při *Comptonově rozptylu* se jedná o interakci fotonů γ se slabě vázanými elektrony na vnějších slupkách atomů. Foton γ předá část své energie volnému elektronu a uvede jej do pohybu. Rozptýlený foton pak s nižší energií pokračuje v pohybu v odlišném směru. Comptonův rozptyl je převládajícím typem interakce záření gama středních energií s látkami o malém atomovém čísle (voda, tkáň aj.).

⁶http://www.zsf.jcu.cz/struktura/katedry/radio/informace-pro-studenty/ucebni_texty/ochrana-obyvatelstva-se-zamerenim-na-cbrne-aplikovana-radiobiologie-a-toxikologie-krizova-radiobiologie-a-toxikologie/, dostupné dne 1. 4. 2010

Má-li foton γ větší energii než 1,02 MeV, může být zcela pohlcen v elektrickém poli atomového jádra, přičemž vzniká dvojice elektron a pozitron (*elektron-pozitronový pár*).



Obrázek č. 2 - Schématické znázornění procesů interakce záření gama a rentgenového záření s prostředím⁷.

1.5.2 Chemické účinky IZ⁸

1.5.2.1 Vznik volných radikálů po ozáření

Poškození na subcelulární úrovni může být způsobeno přímým radiačním zásahem cílových molekul (jejich excitací a ionizací). Pravděpodobnost zásahu organické molekuly je totiž relativně malá oproti mechanismům spojeným s tvorbou reaktivních metabolitů z vody. Radiolýzou vody zářením vznikají následující metabolity:



⁷ http://www.zsf.jcu.cz/struktura/katedry/radio/informace-pro-studenty/ucebni_texty/ochrana-obyvательства-se-zamerenim-na-cbrne-aplikovana-radiobiologie-a-toxikologie-krizova-radiobiologie-a-toxikologie/, dostupné dne 1. 4. 2010

⁸ P. Kuna, L. Navrátil a kol.: Klinická radiobiologie, vydavatelství MANUS Praha 2005, 34 - 35 str., ISBN 80-86571-09-2

Volné radikály lze definovat jako atomy, molekuly nebo jejich fragmenty, které mají jeden nebo více nepárových elektronů a jsou schopné krátkodobě samostatné existence. Mohou být elektroneutrální, ale mohou mít i charakter kationtu nebo aniontu. Pokud se radikál střetne s neradikálovou molekulou se spárovanými elektrony, může z ní vytvořit nový radikál a reakce se řetězově rozbíhá. Pokud se střetnou dva radikály, mohou své nepárové elektrony spárovat a radikálovou řetězovou reakci tak ukončit.

Volné radikály mohou být odvozené od kyslíku, dusíku nebo od organických sloučenin. Mezi volné kyslíkové radikály řadíme superoxidový radikál $O_2^{\cdot -}$, perhydroxylový radikál HO_2^{\cdot} , peroxid vodíku H_2O_2 , hydroxylový radikál OH^{\cdot} a singletový kyslík 1O_2 . Hydroxylový radikál je nejvíce poškozující substancí pro cílové biomolekuly.

Hydroxylový radikál je extrémně reaktivní oxidační radikál. Je natolik nestabilní, že v podstatě nedifunduje do okolí a všechny jeho reakce probíhají v místě vzniku. Svou vysokou reaktivitou způsobuje velké poškození biomolekul. Vzhledem ke své vysoké reaktivitě totiž s velkou rychlostí reaguje se všemi biomolekulami (sacharidy, aminokyselinami, fosfolipidy, nukleotidy a organickými kyselinami), kdy jim odnímá vodík. Příkladem odnětí vodíku je reakce OH^{\cdot} s lecitinem, který je významným membránovým fosfolipidem. Touto reakcí vzniká lipidový radikál, který spouští další radikálové reakce s výsledným poškozením membrán. Stejným způsobem reaguje OH^{\cdot} s deoxyribózou v DNA a aminokyselinovými zbytky bílkovin. Tento kyslíkový radikál je také schopen adiční reakce s aromatickými kruhy purinových a pyrimidinových zásad, jež jsou součástí DNA a RNA.

Organické radikály vznikají homolytickým štěpením kovalentní vazby nebo v reakcích přenosu elektronu. Tyto radikály vznikají působením IZ nebo ostatními fyzikálními, chemickými a jinými mechanizmy.

1.5.3 Biologické účinky IZ⁹

1.5.3.1 Vliv záření na DNA a RNA

Postradiační změny na molekule DNA jsou závislé na velikosti molekuly, struktury a konformaci a na druhu záření.

IZ vede k poškození bází a vyvolává zlomy, které se mohou týkat obou řetězců dvojšroubovice DNA a které vedou k fragmentaci molekuly na více úseků s menší molekulovou hmotností; vícenásobné zlomy jen na jedné spirále a uvolnění vodíkových vazeb, které je spojují, vedou ke zvýšené ohebnosti molekuly. Následně mohou vznikat nové vazby (retikulace) uvnitř jedné molekuly DNA, anebo mezi dvěma molekulami DNA navzájem. Výsledným efektem, který je iniciován IZ na genomu, jsou chromozomální aberace, např. delece, adice, translokace, atd.

Ultrafialové záření ve slunečním spektru podnítlí kovalentní spojení mezi dvěma sousedními pyrimidinovými bázemi a takto vytvoří pyrimidinový dimer. Pyrimidinový dimer, jako jsou thyminové dimery, jestliže je neopravený, vede k pozastavení DNA replikačního systému.

Po ozáření dochází v buňkách ke zpomalení syntézy vlastní DNA, neboť buňka reaguje na poškození genetického kódu tvorbou supresorových proteinů (např. p53), aby zamezila přenosu případných genových defektů do filálních buněčných generací. Značná část radiačního poškození DNA je reverzibilní. Buňky jsou vybaveny enzymovými systémy, které mohou poškození částečně anebo úplně "opravit". Neshodné báze a diméry, jsou opravovány na obou vláknech DNA (nově syntetizovaném i starém). Základní mechanismus opravy DNA zahrnuje tři kroky:

- 1) *excize* pomocí série rozdílných nukleáz, každá je specializována pro odstranění rozdílných typů poškození DNA (glykosyláze, endonukleáze a deoxyribosfodiesteráze);

⁹ http://www.zsf.jcu.cz/struktura/katedry/radio/informace-pro-studenty/ucebni_texty/ochrana-obyvatelstva-se-zamerenim-na-cbrne-aplikovana-radiobiologie-a-toxikologie-krizova-radiobiologie-a-toxikologie/, dostupné dne 1. 4. 2010

2) *resyntéza* pomocí opravné DNA polymerázy, která vyplní mezeru vytvořením komplementární kopie templátu DNA;

3) *ligace* pomocí DNA ligázy, která zacelí zářez v cukr-fosfátové kostře.

System opravující neshody v DNA (mismatch repair system) je skupina spolupracujících proteinů, která rozpoznává a odstraňuje neshody v DNA, které unikly replikačnímu (nebo základnímu reparačnímu) systému, a syntetizuje správné vlákno DNA. Opravuje neshodné báze přednostně na nově syntetizovaném vlákně DNA:

Neshoda v DNA deformuje geometrii DNA dvou-šroubovice a tato deformace je rozpoznávána proteiny opravujícími neshody v DNA. Replikační (nebo základní reparační) systém dělá jednu chybu na 10^7 nukleotidů. System opravující neshody v DNA opravuje 99% replikačních chyb, zvyšujíc celkovou přesnost na jednu chybu na 10^9 nukleotidů.

RNA polymerázy dělají jednu chybu na 10^4 nukleotidů, protože nevlastní nukleolytickou korigující (proofreading) aktivitu (začínají řetězec RNA bez potřeby primeru). Toto chybění korekce (proofreading) odráží skutečnost, že transkripce nemusí být tak přesná jako DNA replikace, protože RNA není používána jako trvalá zásobní forma genetické informace.

Radiační poškození RNA je podstatně menší než u DNA. Rozsah retikulací je malý, neboť jejich molekulová hmotnost je proti DNA podstatně menší.

1.5.3.2 Postradiační změny na úrovni buněčné^{10 11}

Efekt ionizujícího záření v buňkách

Pokud byla DNA buňky poškozena, je několik možností, jak se její osud bude vyvíjet.

- DNA byla úspěšně reparována, buňka přežívá a je schopná se množit.
- DNA byla poškozena, buňka není schopná se množit a umírá.

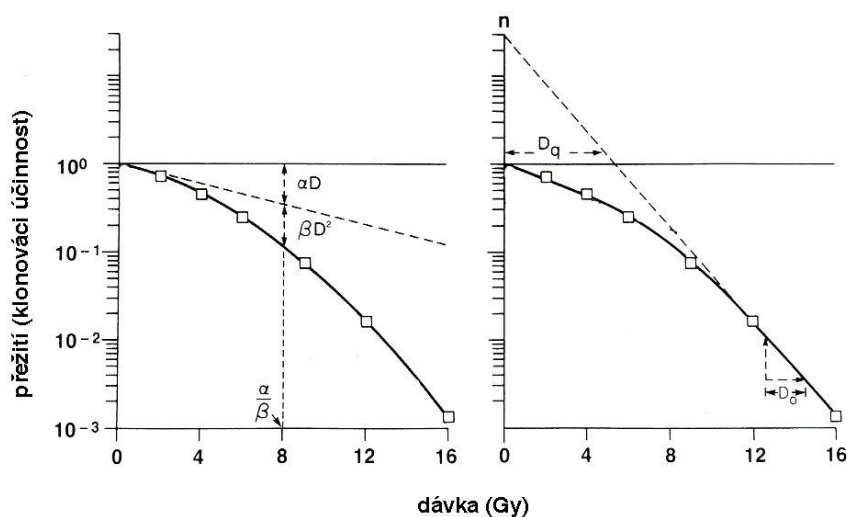
¹⁰ P. Kuna, L. Navrátil a kol.: Klinická radiobiologie, vydavatelství MANUS Praha 2005, 40 - 42 str., ISBN 80-86571-09-2

¹¹http://www.zsf.jcu.cz/struktura/katedry/radio/informace-pro-studenty/ucebni_texty/ochrana-obyvateľstva-se-zamerenim-na-cbne-aplikovana-radiobiologie-a-toxikologie-krizova-radiobiologie-a-toxikologie/, dostupné dne 1. 4. 2010

- DNA byla poškozena, buňka je schopna se dělit a její vlastnosti mohou být pozmeněné. Tyto buňky mohou vést k nádorovému bujení.

Ozářenou buňku může tedy potkat reprodukční smrt. Reprodukční smrt znamená, že buňka se po ozáření není schopna dělit, ale přežívá. S tím souvisí dva pojmy – střední letální dávka a křivka přežití.

Křivku přežití určíme tak, že ozáříme aritmetickou řadou dávek několik zkumavek s namnoženou kulturou buněk. Jejich obsah se pak nechá kultivovat v živném roztoku. Následně se počítá počet vyrostlých kolonií. Do grafu se vynášejí počet kolonií normovaný k počtu kolonií v kontrolním (neozářeném) vzorku v závislosti na dávce, kterou byla zkumavka ozářena.



Obrázek č. 3 – Křivka přežití a její charakterizující parametry¹²

Střední letální dávka je dávka, která odpovídá poklesu přežití na e^{-1} - ve 37% původního počtu ozářených objektů.

Máme-li charakterizovat citlivost buněk k ionizujícímu záření, stále platí základní radiobiologický zákon formulovaný v roce 1906 francouzskými vědci Bergonié

¹²http://www.zsf.jcu.cz/struktura/katedry/radio/informace-pro-studenty/ucebni_texty/ochrana-obyvateilstva-se-zamerenim-na-cbrne-aplikovana-radiobiologie-a-toxikologie-krizova-radiobiologie-a-toxikologie/, dostupné dne 1. 4. 2010

a Tribondeauovou, že radiosenzitivní tkáně jsou tkáně s velkým počtem rychle se dělících málo diferencovaných buněk. Naopak radiorezistentní jsou tkáně s málo se dělícími nebo nedělícími se diferencovanými buňkami.

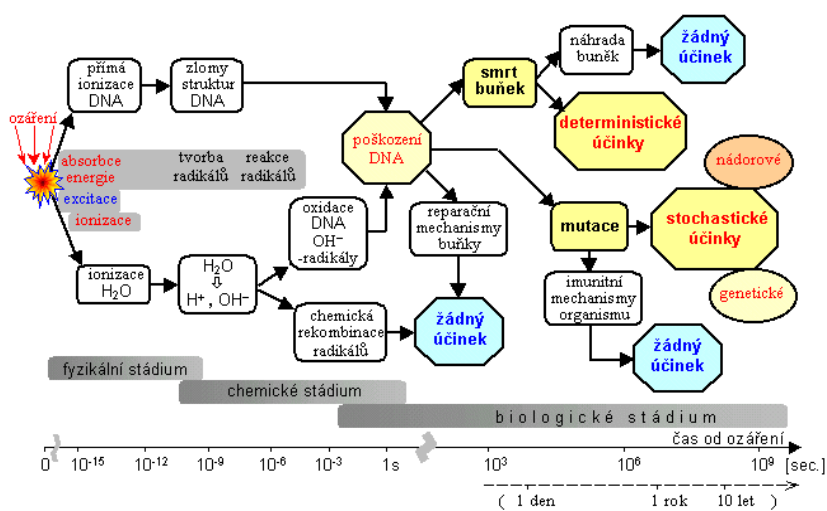
Skutečně, použijeme-li jako kritérium buněčnou smrt, rychle se dělící systémy (kostní dřev, samčí gonády a střevní epitel) jsou více radiosenzitivní než nedělící se systémy (nervové buňky, myokard). Dále platí, že nediferencované buněčné typy (kmenové buňky) jsou více citlivé k ionizujícímu záření než buňky diferencované. Vysoce radiosenzitivní jsou dále všechny typy tkání v průběhu ontogeneze a postnatálně v průběhu růstu. Ozáření tkání v průběhu diferenciaci a růstu má za následek těžké malformace orgánů spojené s vysokou letalitou a karcinogenezi. Periferní lymfocyty představují výjimku i tohoto zákona, přestože jsou buňkami diferencovanými, jsou velmi radiosenzitivní (střední letální dávka = 2 Gy).

Tato radiosenzitivita je vysvětlována způsobem buněčné smrti. Diferencované lymfocyty hynou po malých dávkách záření tzv. programovanou buněčnou smrtí označovanou jako apoptóza. Je dobře známo, že stupeň radiačního poškození záleží jednak na buněčném typu a dále na celkové dávce záření, dávkovém příkonu, typu radiačního poškození (vysoký LET versus nízký LET), způsobu ozáření (jednorázová versus frakcionovaná dávka) a také na růstových podmínkách v mediu.

Vysoké dávky záření (> 100 Gy) vedou k tzv. okamžité (instant) smrti buněk v důsledku koagulace proteinů. Po nižších dávkách hynou nedělící se buňky tzv. *interfázovou smrtí*. Buněčná smrt v G_0 fázi může být způsobena nekrózou nebo apoptózou. Nekróza je spojována s vyššími dávkami záření a jejím důsledkem je zvětšení buněčných organel, dezorganizace buňky a porušení buněčné membrány. Apoptóza je spojována s nižšími dávkami záření a buňky jsou charakterizovány některými změnami zahrnujícími kondenzaci chromatinu, tvorbu apoptotických tělísek, tvorbou „puchýřků“ na membráně a degradaci chromozomální DNA endonukleázami na nukleozomální kusky obsahující asi 180 párů bází. Dělicí se buňky hynou tzv. mitotickou smrtí. V důsledku ozáření dochází k inhibici buněčného dělení. Buňka ozářená v kterékoliv fázi buněčného cyklu pokračuje ve svém metabolismu, ale není schopna průchodu mitózou, která klade vysoké nároky na mechanické podmínky pro

přeskupení subcelulárních struktur. Pokud je poškození menšího stupně, buňka projde jednou či dvěma mitózami, než ztratí schopnost dalšího dělení. Nejnižší dávky vedou k tzv. bloku v určité fázi buněčného cyklu. V této době se buňky nedělí a je jim poskytnut čas pro reparaci poškození. V případě, že je poškození ireparabilní, je iniciována apoptóza. Z prací na buněčných liniích se ukazuje, že celkový čas, který mají buňky k dispozici při reparaci poškození DNA před potenciálním vstupem do apoptózy, je kritickým determinantem radiosenzitivity těchto buněk. Obecně se má za to, že nejcitlivější fází buněčného cyklu je vlastní mitóza, dále pak G₁ fáze, nejnižší je radiosenzitivita v S fázi.

Jevy, které byly popsány v předchozích odstavcích, nepostihují konečný výsledek působení ionizujícího záření na buňku a její komponenty. Ten je spoluurčován teprve uplatněním obnovených mechanismů, reparačních dějů, které v závislosti na časovém faktoru odstraní část důsledků ozáření. V lidském organismu je mechanismus reparace významný především u tzv. pomalu reagujících tkání (plíce, ledviny). Pro obnovu rychle reagujících tkání (kostní dřeň, střevo) je nejdůležitější obnova cestou proliferace, buněčného dělení vycházejícího z přežívající frakce kmenových buněk.



Obrázek 4: Schématické znázornění významných procesů a jejich časové posloupnosti při účincích ionizujícího záření na živou tkáň¹³.

¹³ ULLMANN, V.: Radiační ochrana. [online]. Dostupné ze dne 2.4. 2010 <http://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm#2>

1.6 Radioterapie¹⁴

Radioterapie je fyzikálně-medicínský obor využívající biologické účinky IZ pro léčebné účely. Ve velké většině se jedná o terapii nádorových onemocnění - radiační onkologie, v menší míře se pomocí záření léčí i některá degenerativní a zánětlivá postižení. Nádory, především zhoubné, patří k nejčastějším a nejzávažnějším onemocněním, ohrožujícím zdraví i život pacientů. Prevence a kauzální léčba nádorových onemocnění je obtížná.

1.6.1 Teleradioterapie¹⁵

Léčba vychází z výsledků předchozích vyšetření, která jsou pečlivě zhodnocena a slouží jako podklad pro tvorbu ozařovacího plánu, ve kterém je stanoven optimální rozsah a dávka záření. Cílem radioterapie (ozařování) je aplikovat maximální dávku záření do místa nádoru a současně co nejvíce chránit okolní zdravé tkáně.

Na přípravě ozařování se podílí celý tým pracovníků – lékaři, fyzici, radiologičtí asistenti a proto je i časově náročná.

Příprava k ozařování se provádí na simulátoru, což je rentgenový přístroj, který simuluje ozařovač. Tam bude pacient uložen do ozařovací polohy, provede se zaměření (lokalizace) ozařované oblasti a na kůži se nakreslí zaměřovací značky, které zajistí pacientovu stejnou polohu při každém ozáření. Značky je potřeba po celou dobu ozáření udržovat viditelné. Během záření je budou pacientovi obnovovat radiologičtí asistenti nebo v případě potřeby je možné si je doma obnovit fixem. V některých případech se během záření používají speciální fixační pomůcky – masky, lůžka atd., které pomáhají zajistit neměnnou polohu při ozáření.

Následující den po lokalizaci na simulátoru bude ve stejné poloze provedeno vyšetření na CT, podle kterého bude připravován ozařovací plán. Příprava ozařovacího plánu a pomůcek může trvat i několik dnů.

¹⁴ <http://astronuklfyzika.cz/JadRadMetody.htm#6>, dostupné dne 2. 3. 2010

¹⁵ <http://www.nemcb.cz/cz/departament/49/Onkologicke-oddeleni.html?detail=detail&id=16>, dostupné dne 15. 3. 2010

Při další návštěvě na onkologickém oddělení bude provedeno ověření připraveného ozařovacího plánu na simulátoru a další kontrola bude při prvním nastavení na lineárním urychlovači, což je ozařovací přístroj podobný diagnostickému rentgenu.

Vlastní ozařování trvá několik minut, během nichž bude pacient sám ležet v klidu v ozařovací poloze v zatemnělé místnosti. Radiologický asistent pacienta po celou dobu sleduje na televizní obrazovce a rovněž ho slyší. V případě potřeby ozáření přeruší a urychleně se k pacientovi dostaví.

Ozařování se většinou provádí denně kromě sobot, nedělí a svátků po dobu jednoho až sedmi týdnů dle stanovené dávky záření a záměru. Během radioterapie je pacient pravidelně kontrolován lékařem, včetně opakovaných odběrů krve. Při ozařování se nelze vyhnout vedlejším projevům léčby, jak celkovým (mírná nevolnost nebo slabost), tak místním. Místní vedlejší účinky se mohou objevit postupně se stoupající dávkou záření a většinou za 4 - 6 týdnů po ozáření odezní.

1.6.2 Onkologické oddělení NČB, a.s.¹⁶

Onkologické oddělení je zařazeno do sítě KOC, která jsou garantována Českou onkologickou společností a jsou oprávněna provádět veškerou onkologickou léčbu a léčbu IZ včetně nákladné cytostatické a cílené biologické terapie. Onkologické oddělení má lůžkovou část s 62 lůžky na 2 stanicích a 4 lůžka na jednotce intenzivní péče.

Součástí oddělení je pět ambulancí: příjmová, dispenzární, konziliární, chemoterapeutická a radioterapeutická.

1.6.3 Přístrojové vybavení na oddělení radioterapie v NČB, a.s.

Radioterapeutický úsek má k dispozici simulátor Acuity, který umožňuje provádění simulace a verifikace ozáření, včetně možnosti provádět CT řezy pro plánování radioterapie. Dále 2 lineární urychlovače 2100 C/D se 2 energiemi záření X (6 a 18

¹⁶ <http://www.nemcb.cz/cz/department/49/Onkologicke-oddeleni.html?detail=detail&id=16>, dostupné dne 15. 3. 2010

MV) a 5 energiemi elektronového svazku, s MLC k ochraně okolních zdravých tkání a s PVI systémem k ověřování přesnosti nastavení ozařovacích polí a stínících bloků. Dalším ozařovačem je terapeutický rentgenový přístroj (RTG WH 225) pro povrchovou a hloubkovou rentgenovou radioterapii, určený pro nádory kůže, metastatické procesy a nenádorovou terapii.

Oddělení také disponuje potřebným vybavením pro absolutní a relativní dozimetrii, automatickou vyřezávačkou bloků a mechanickou dílnou. Nedílnou součástí je fyzikálně technický úsek pro plánování léčby zářením.

Přístroj GAMMAMED 12i s vysokým dávkovým příkonem slouží pro aplikaci brachyterapie metodou automatického afterloadingu. Všechny přístroje plně vyhovují podmínkám zákona č. 18/1997Sb., atomový zákon, ve znění pozdějších předpisů.

Pracoviště brachyterapie má k dispozici vlastní operační sál, kde se provádí radiochirurgické výkony zejména v oblasti gynekologické a v oblasti prsů, provádí se zde i výkony v oblasti plic, ORL, stomatologické a urologické.

V rámci radioterapie jsou využívány moderní ozařovací techniky, včetně techniky IMRT (radioterapie s modulovanou intenzitou záření) s možností aplikovat maximální potřebnou dávku záření do nádorového ložiska za maximální ochrany okolních zdravých tkání. Oddělení zajišťuje zevní radioterapii a brachyterapii pro celý Jihočeský kraj a mimo svou spádovou oblast provádí celotělové ozáření elektrony pro některé typy kožních lymfomů. V indikovaných případech je aplikována kombinovaná chemoradioterapie.

V chemoterapii se používají veškeré režimy doporučené u nádorů a lymfomů, včetně kontinuálních, intenzifikovaných a mobilizačních režimů. Vychází přitom z mezinárodních studií a ze standardů České onkologické společnosti. Součástí onkologické terapie je hormonální léčba, imunoterapie a cílená biologická léčba moderními preparáty. Důraz je kladen na prevenci toxicity a veškerou podpůrnou léčbu, včetně psychoterapie.

O strategii léčby onkologických pacientů rozhodují nemocniční pracovní týmy, které mají celokrajskou působnost. Jde o tým pro nádory zažívacího traktu, tým gynekologický, urologický, plicní, mammární, stomatologický, neurochirurgický, tým

pro nemoci ušní, nosní a krční a melanomovou komisi. U hematologických malignit úzce spolupracují s I. interní klinikou Všeobecné fakultní nemocnice Praha a s Oddělením klinické hematologie Fakultní nemocnice Královské Vinohrady v Praze.

Oddělení je akreditováno pro postgraduální specializační vzdělávání v oboru „Radiční onkologie“ a probíhá zde i odborná praxe studentů bakalářského studia oboru radiologický asistent na Zdravotně sociální fakultě Jihočeské univerzity.

1.6.4 Rozmístění pracovišť v NČB, a.s.

V suterénu jsou umístěny 3 ozařovny se 2 ambulancemi, simulátor a brachyterapie s aplikační místností a ambulancí. Dále je zde mechanická dílna a zařízení pro vyřezávání bloků. V přízemí je recepce, 4 ambulance, místnost pro ředění chemoterapie, kartotéka a centrum klinické onkologie. V 1. patře je fyzikálně-technický úsek a plánuje se zde léčba zářením.

1.6.5 Úsek ozařoven

Je dobře vybaven simulátorem Acuity s možností RTG i CT snímků, 2 vysokofrekvenčními lineárními urychlovači Clinac 2100 C/D s 2 energiemi fotonového (6 a 18 MeV) a 5 energiemi elektronového záření. Skládá se z:

- řídicí jednotky (řídicí počítač, komunikační počítač)
- modulátoru (transformátory pro napájení řídicích obvodů a výkonových částí)
- stativu (mechanický pohon ramene, vnitřní chlazení, klystron, zdroje, pomocné obvody)
- ramene (gantry)
- urychlovací sekci, kolimátor svazku, magnet

- stolu pro uložení pacienta (transparentní deska, úchytky příslušenství).



Obrázek č.5 – Vysokofrekvenční lineární urychlovač Clinac 2100 C/D

A dále je vybaven 1 rentgenovým přístrojem (RTG WH 225) pro povrchovou a hloubkovou terapii, dále zařízením pro aplikaci brachyterapie metodou automatického afterloadingu s vysokým dávkovým příkonem Gammamed.

1.7 Fyziologie vylučování¹⁷

Udržení dynamické homeostázy vnitřního prostředí organismu je v podmínkách ne zcela přesně řízeného příjmu potravy včetně nápojů závislé především na přesně řízeném vylučování těch látek, které v daném momentu homeostázu narušují. Jsou to:

- již dále nevyužitelné zplodiny a zbytky metabolismu,
- látky sice pro organismus potřebné a využitelné, ale v daném okamžiku pro svoji koncentraci nadbytečné,

¹⁷ Stanislav Trojan a kol.: Lékařská fyziologie, vydavatelství Grada Publishing, a.s. Praha 2003, 431 str., ISBN 80-247-0512-5

- nosiče vylučovaných látek,
- látky organismu cizorodé (léčiva, drogy, toxiny, aj.)

Všechny tyto látky jsou předmětem exkrece, která je funkcí různých orgánů a funkčních systémů. Exkrece může být funkcí primární, jako je tomu u ledvin, nebo funkcí sekundární jako u dýchacího aparátu, u kůže nebo u jater a trávicího ústrojí. V tomto smyslu jsou tedy ledviny hlavním efektozem dynamické homeostázy extracelulární tekutiny. Pro splnění této úlohy je u ledvin splněn základní předpoklad: mimořádný kontakt s ECT.

1.7.1 Moč¹⁸

Moč je kapalný odpad vylučovaný ledvinami a po nahromadění v močovém měchýři vyloučený z těla procesem zvaným močení (urinace). Vylučování moči slouží zejména k odstraňování odpadních molekul, filtrovaných z krve ledvinami, a pro udržování homeostázy tělesných kapalin.⁵ⁱ⁾



Obrázek č. 6 - Vzorek moči¹⁹

¹⁸ <http://cs.wikipedia.org/wiki/Mo%C4%8D>, dostupné dne 15. 3. 2010

¹⁹ <http://cs.wikipedia.org/wiki/Mo%C4%8D>, dostupné dne 15. 3. 2010

1.7.2 Definitivní moč²⁰

Konečným produktem činností funkčního renálního parenchymu je definitivní moč. Je to výsledkem zpracování glomerulárního filtrátu v tubulárním aparátu ledvin. Naprostá většina látek v definitivní moči byla obsažena i v krevní plazmě a tedy i v glomerulárním filtrátu. Jsou však látky, obsažené v plazmě a glomerulárním filtrátu, které nejsou v definitivní moči, a naopak látky, které se dostaly do moči z ledvinného parenchymu. To jsou kvalitativní rozdíly vedle velice výrazných rozdílů kvantitativních. Složení definitivní moči (viz. Tabulka 1) je přesvědčivým dokladem toho, jak ledviny splnily svůj základní fyziologický úkol – očistit ECT: vyloučit maximum metabolitů s minimálními ztrátami fyziologicky nezbytných složek ECT, tedy s minimálními výkyvy homeostázy ECT. Obsahuje sodík, draslík, chlor, vápník a kreatinin. Obsahuje rovněž amylázu, kyselinu vanilmandlovou, kyselinu močovou, močovinu a další látky. Přítomnost osmoticky aktivních látek určuje osmolalitu definitivní moči, která na vrcholu koncentrační aktivity ledvin dosáhne až 1400 mosm/l a která se projeví kryoskopickou depresí moči (tj. snížením jejího bodu tuhnutí proti bodu tuhnutí H₂O) od 1,3 do -2,3°C. Podobně se v závislosti na obsahu iontů mění i elektrická vodivost s hlavním podílem chloridových iontů.

²⁰ Stanislav Trojan a kol.: Lékařská fyziologie, vydavatelství Grada Publishing, a.s. Praha 2003, 448 str., ISBN 80-247-0512-5

Tabulka 1 – Průběžná koncentrace některých základních látek v krevní plazmě a v definitivní moči²¹

substance	jednotka	plazma	moč	změna*
H ₂ O	%	90-93	95	-
bílkoviny, tuky a jiné koloidy	g/l	68-84	-	-
glukóza	mmol/l	4,0-6,2	-	-
Na ⁺		136-148	150-170	1
Cl ⁻		95-110	159-170	2
močovina		3,0-7,6	192-365	60
kyselina močová		215-420	2,04-3,96	12
NH ₄ ⁺		12,0-55,0	480-2200	40
Ca ²⁺		2,15-2,61	2,5-5,5	2
Mg ²⁺		0,66-0,94	1,5-2,5	2
anorganický P		0,65-1,40	10,4-25,9	16
kreatinin		μmol/l	65-110	4,35-13,2

*- změna koncentrace po průchodu ledvinami

Při normální diuréze se za 24 hodin vyloučí kolem 55-70 g pevných látek, z čehož je asi 25 g látek anorganických a asi 35 g látek organických.

1.7.3 Přehled vstřebávání jednotlivých látek^{22 23}

Voda je v proximálním tubulu vstřebávána pasivně, v distálním tubulu aktivně v závislosti na stavu ECT. V distálním tubulu a sběracím kanálku je vstřebávání řízeno vazopresinem.

Sodík se vstřebává pasivně i aktivně. Zpětná resorpce Na⁺ je regulována aldosteronem, současně se sodíkem se také vstřebává voda a vylučuje draslík.

Draslík se v proximálním tubulu vstřebává a v distálním tubulu a sběracím kanálku vylučuje výměnou za resorbovaný sodík. Výdej K⁺ v distálním tubulu je řízen

²¹ Stanislav Trojan a kol.: Lékařská fyziologie, vydavatelství Grada Publishing, a.s. Praha 2003, 449 str., ISBN 80-247-0512-5

²² Stanislav Trojan a kol.: Lékařská fyziologie, vydavatelství Grada Publishing, a.s. Praha 2003, 446 – 447, 462 - 463 str., ISBN 80-247-0512-5

²³ <http://www.profmartinik.cz/wp-content/soubory/fyziologie-vylucovani-ledvinami.pdf>, dostupné dne 15. 3. 2010

aldosteronem.

Chloridové ionty se většinou vstřebávají kontratransportem s ionty Na⁺, v proximálním tubulu se vstřebávají i pasivně.

Hydrogenkarbonátové ionty (HCO₃⁻) se vstřebávají pouze aktivně, v závislosti na potřebách homeostázy.

Glukóza je prahová látka. Až do určité koncentrace glukózy v krvi (ledvinový práh pro glukózu) je proximální tubulus schopen všechnu glukózu aktivně vstřebat. Po přesáhnutí ledvinového prahu se glukóza objevuje v definitivní moči (nastává glykosurie).

Proteiny se každý den filtrují z plazmy do glomerulárního filtrátu v množství asi 30 g. Protože jsou příliš velké na to, aby se zpětně vstřebávaly běžnými transportními mechanizmy, jsou rozloženy na aminokyseliny a pak jsou facilitovanou difuzí absorbovány do intersticiální tekutiny.

1.7.4 Vylučování moči²⁴

V moči zdravého člověka nejsou bílkoviny ani glukóza nebo bilirubin.

- Diuréza - množství moči vytvořené za 24 hodin, činí 1,5 – 2 l
- Oligurie - snížení množství moči
- Anurie - zástava tvorby moči
- Polyurie - množství vytvořené moči větší než 2 litry za den

Diuréza je řízena antidiuretickým hormonem, který ovlivňuje propustnost distálního tubulu a sběracího kanálku pro vodu. Diurézou se za 24 hodin vyloučí 55-70 g pevných látek.

²⁴ <http://www.profmartinik.cz/wp-content/soubory/fyziologie-vylucovani-ledvinami.pdf>, dostupné dne 15. 3. 2010

1.7.5 Vývodné cesty močové²⁵

U člověka nemají schopnost měnit množství a složení moči, slouží pouze k odvodu definitivní moči z těla. K močovým cestám patří:

- ledvinné kalichy,
- pánvička, močovody (uretery),
- močový měchýř,
- močová trubice (uretra).

Do ledvinných kalichů, které ústí do ledvinných pánviček, se sbíhají sběrné kanálky a přidávají definitivní moč. Ledvinná pánvička působí jako krátkodobý rezervoár moči. Při určitém objemu se v distální části pánvičky vytvoří cirkulární stah a oddělí tak porci moči – vznikne močové vřeténko. To aktivně postupuje po ureteru, až se moč vypudí do močového měchýře. Močový měchýř je uzavřen dvěma svěrači. Vnitřní je tvořen hladkou svalovinou a zevní svěrač svalovinou příčně pruhovanou.

1.7.6 Močení (mikce)

Močení je proces vyprazdňování močového měchýře. Močový měchýř se postupně naplňuje a až do objemu 200 – 300 ml se v něm nezvyšuje tlak. (max. objem močového měchýře je 750 ml). Náplň 400 ml už vyvolává mikční reflex.

²⁵ Stanislav Trojan a kol.: Lékařská fyziologie, vydavatelství Grada Publishing, a.s. Praha 2003, 462 - 463 str., ISBN 80-247-0512-5

2. Cíle práce a hypotéza

Cílem této bakalářské práce je zhodnotit, zda by se mohla moč použít jako indikátor (dozimetr) při určité dávce ozáření a zjistit, při jakých dávkách záření se mění extinkce (barevnost) moči.

Hypotézou je, že při vyšších dávkách ionizujícího záření se rozkládají některé sloučeniny v moči a na základě toho mění moč svou barvu.

3. Metodika

3.1 Lineární urychlovač se stojatou vlnou, výrobce Clinac, typ 2100 CD

Jedná se o vysokofrekvenční lineární urychlovač. *Princip urychlení* – elektrony vstříkované elektronovou tryskou jsou ve vysokofrekvenčním elektromagnetickém poli urychleny na rychlost cca 99,999% rychlosti světla a jsou pomocí magnetu otočeny o 270° směrem ke stolu pacienta, a jsou přímo použity k povrchovému ozáření, anebo konverzí energie na atomech terčíku vzniká pronikavé fotonové záření, které se používá pro hloubkovou terapii. Svazek je pulzní. Klystron zesiluje vysokofrekvenční signál 2850MHz z pomocného generátoru na hodnotu 5MW. Vysokofrekvenční energie je vlnovodem vedena do urychlovací sekce.

Technické parametry:

- 2 svazky fotonového záření o energii 6MeV a 18MeV
- 5 svazků elektronového záření o energii 6, 9, 12, 16 a 20MeV
- Multileaf kolimátor 120 lamel, 60 párů, 40 šířky 5mm a 20 lamel šířky 10mm v izocentru.
- Dávkový příkon 100 - 600 MU/min pro fotonové svazky a 100 - 500, 700 a 1000 MU/min pro elektronové svazky
- Nastavení dávky 1- 999 MU, s krokem 1MU
- Velikost ozařovacího pole 5 x 5 až 40 x 40 cm v izocentru
- Kalibrace 100MU= 1Gy v referenční hloubce 5cm/SSD 95cm pro 6MeV a 10cm/SSD 90cm 18MeV
- Elektronové svazky jsou kalibrovány na hodnotu 100MU=1Gy v hloubce maxima příslušné energie

3.2 Optické laboratorní metody²⁶

V laboratořích je používána řada přístrojových metod, umožňujících analýzu roztoků na základě jejich interakce se světlem.

3.2.1 Spektrofotometrie

Spektrofotometry jsou přístroje používané pro stanovení koncentrace látek absorbujících nebo vyzařujících infračervené, viditelné a ultrafialové světlo a nepřímo i pro studium chemické struktury těchto látek. Spektrální závislost absorpce světla, která odráží jejich elektronovou strukturu, je měřena pomocí absorpčních spektrofotometrů. Ty se skládají ze zdroje světla, z monochromátoru, jímž získáváme ze světla polychromatického světlo monochromatické, dále z místa pro vkládání zkoumaných vzorků a z detektoru světla. Při absorpční spektrofotometrii dochází k selektivnímu pohlcování některých vlnových délek světla. Podle konstrukce dělíme SPF na jednopaprskové a dvoupraprskové. Dvoupraprskové SPF umožňují porovnávat intenzitu dvou světelných paprsků, z nichž jeden prochází vzorkem měřeným a druhý srovnávacím (referenčním neboli blankem). Poloha vzorků je během měření stabilní. Dvoupraprskové přístroje umožňují rychlejší měření a jsou nákladnější. Dnes používané přístroje jsou vybaveny fotoelektrickými detektory světla, např. fotočlánkem nebo fotonásobičem.

Dvoupraprskové spektrofotometry UVIKON XS jsou plně ovládány pomocí PC s nainstalovaným softwarem. Přístroj je ovládán pomocí software LabPower. Ten umožňuje nastavení a uložení různých metod pro sběr a vyhodnocení dat. Měření při jedné nebo více vlnových délkách. Přístroj se vyznačuje velmi vysokou citlivostí a přesností optiky s minimálním šumem. Speciální optika včetně rotujícího zrcadla (chopper) zaručuje 100% symetrické světelné dráhy pro část měřenou i srovnávací.²⁷

²⁶ I. Hrazdíra, V. Mornstein, J. Škorpíková: Základy biofyziky a zdravotnické technika, vydavatelství Neptun 2006, ISBN 80-86850-01-3

²⁷ <http://www.biotech.cz/cz/eshop/detail/16119-uvikon-xs>, dostupné dne 1. 4. 2010

Technické parametry:

- rozsah: 190 - 1100 nm
- po krocích: 0,05 – 10 nm
- rychlost skenování: 5 – 2000 nm/min.
- šířka štěrbin: fixní 1,8 nm

3.2.2 Základní veličiny a vztahy používané ve spektrofotometrii²⁸

3.2.2.1 Transmittance

Množství světla určité vlnové délky, které prošlo vzorkem, popisuje veličina transmittance. Ta je definována:

$$T = \frac{I}{I_0}$$

kde

T je transmittance

I je intenzita světla, které prošlo vzorkem

I_0 je intenzita světla, které do vzorku vstoupilo.

3.2.2.2 Absorbance

Absorbance je veličina používaná ve fotometrii a spektrofotometrii. Udává, jak mnoho světla bylo pohlceno měřeným vzorkem. V literatuře se můžeme setkat i se starším termínem extinkce E . A je bezrozměrná jednotka.

Absorbanci můžeme definovat na základě transmittance jako

$$A = -\log T$$

kde

A je absorbance

T je transmittance téhož vzorku za stejných podmínek.

²⁸ <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Spektrofotometrie>, dostupné dne 2. 3. 2010

Z definice transmitance vyplývají pro absorbanci vztahy

$$A = -\log T = -\log \frac{I}{I_0} = \log \frac{I_0}{I}$$

Lambert-Beerův zákon $A = \varepsilon \cdot l \cdot c$

kde

A je absorbance

c je koncentrace roztoku

ε je absorpční koeficient

l je optická délka kyvety

3.3 Laboratorní centrifuga CENTRIC 322A²⁹

Laboratorní centrifuga Centric 322A je stolní centrifuga řízená mikroprocesorem. Je ideální pro rutinní separaci vzorků prováděnou v laboratoři. Mikroprocesor sleduje přesnou rychlost rotace, přesné časování, jemnou a bezpečnou změnu brzdění a různé poruchové stavy. Systém aktivního ochlazování vzduchu zajišťuje, že teplota v komoře se výrazně nezvýší ani v případě dlouhodobějšího používání centrifugy.

Technické parametry:

- Rychlost rotace 500–13 000 ot./min.
- Možnost volby v krocích po 100 ot./min.
- Doba odstředování 1–90 min (v krocích po 1 min.)
- Brzdění 0 až 9, 10 různých kroků brzdné síly
- Změna rychlosti rotace v krocích po 100 ot/min.

²⁹ <http://www.unimed.cz/1388-200-349-produkt-Multifunkcni-odstredivka---centrifuga-tyt-CENTRIC-322A>, dostupné dne 22. 4. 2010

3.4 Postup ozařování LU a vyhodnocení absorbancí na spektrofotometru

Před každým pokusem jsem nejprve musela odebrat vzorek vlastní moči nebo destilované vody, do plastových zkumavek o objemu 5 ml. Poté následovalo ozáření určitou dávkou IZ na lineárním urychlovači typu CLINAC 2100C/D v NČB, a.s. Zkumavky jsem umístila na desky z PVC o výšce 4cm a 3 cm po stranách byly umístěny desky o výšce 1 cm a na zkumavky byly položeny 4 desky o celkové tloušťce 4 cm (viz. obrázek č. 7 a obrázek č. 16 a 17 v příloze).



Obrázek č. 7 - lineární urychlovač typu CLINAC 2100C/D s umístěnými vzorky

Nastavení lineárního urychlovače:

- Gautry - 0°
- Colimátor - 0°
- SSD – 95 cm
- Políčko záření 10 x 10 cm
- Příkon 300 MU/min
- Záření – 6 MeV (fotonové)

Po ozáření jsem do zkumavky se vzorkem moči případně destilované vody, přidala 1 ml 1 M roztoku $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Tento roztok jsem připravila navážením 13,901 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ na analytických vahách typu BBC22.



Obrázek č. 8 – Analytické váhy BBC22³⁰

Zkumavky se vzorky byly ozářeny dávkami ionizujícího záření v rozsahu 1 až 20 Gy, kdy 1 Gy odpovídá hodnotě 100 MU. U takto ozářené moči nebo destilované vody, jsem měřila extinkci v laboratoři ZSF J. Boreckého 27, 370 11 České Budějovice, na spektrofotometru typu UVIKON XS se softwarem LAB POWER JUNIOR. Při posledních měřeních jsem před samotným měřením extinkce, použila laboratorní

³⁰ <http://www.boeco.com/sites/index.php?Site=artikelInfo.php&ID=45>, dostupné dne 22. 4. 2010

centrifugu typu CENTRIC 322A. Centrifugu jsem použila k projasnění vzorků. Vzorky byly centrifugovány v centrifugačních zkumavkách. Při 1000 ot./min. po dobu 2 minut.

Parametry nastavení:

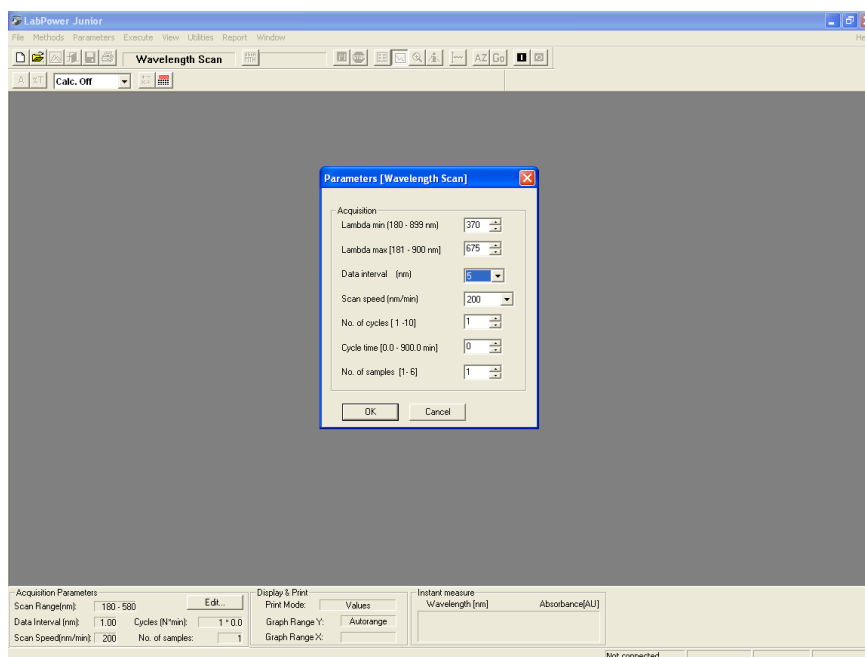
- Otáčky – 1000 ot/min
- Čas – 2 min

Poté následovalo již samotné měření na spektrofotometru UVIKON XS. Ozářené a scentrifugované vzorky moči nebo destilované vody jsem pomocí kapátek přelila do připravených plastových, jednorázových kyvet, které jsem umístila do spektrofotometru. Do levé komory označené písmenem R jsem umístila vzorek neozářené moči nebo destilované vody s přidanou solí jako referenční vzorek. Do pravé komory označené písmenem S jsem umisťovala postupně jednotlivé kyvety se vzorky ozářené různými dávkami IZ. Každý vzorek ozářený jednou dávkou ionizujícího záření jsem měřila ve třech kyvetách a každou kyvetu jsem měřila třikrát, tzn. např. pro vzorek ozářený dávkou 5 Gy jsem měřila 3 kyvety třikrát, měla jsem tedy 9 souborů hodnot.

Parametry nastavení spektrofotometru:

Wavelength Scan:

- Lambda min [nm – min. vlnová délka] – 400 nm
- Lambda max [nm – max. vlnová délka] – 675 nm
- Data interval [nm – posun vlnové délky] – 5 nm
- Scan speed [nm/min – rychlost posunu vlnové délky] – 200 nm/min
- No. of cycles [1-10 – opakované měření ve vybraných intervalech] - 1
- Cycle time [0,0 - 900,0 min – čas jednoho cyklu] – 0
- No. of samples [1-6 – počet vzorků v jednom cyklu] – 1



Obrázek č. 9– Dialogové okno pro metodu skenování vlnovou délkou

Samotné vyhodnocení dat probíhalo v programu Microsoft Excel, kdy byly vypočítány:

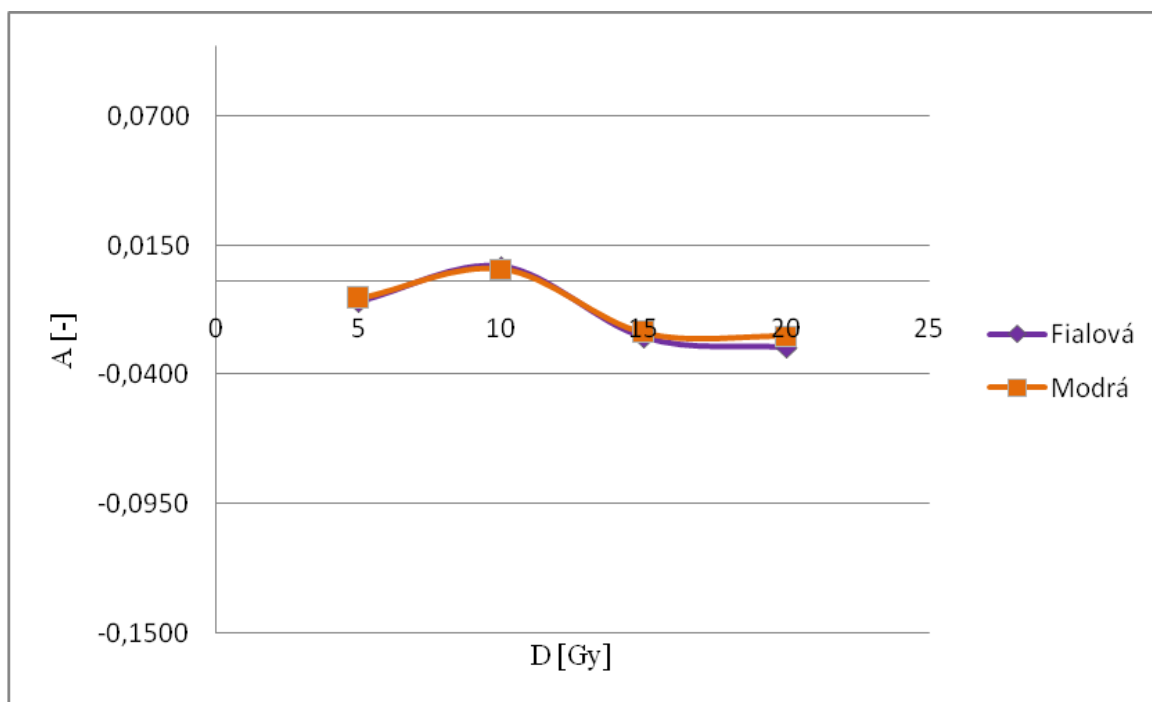
- průměr
$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$
- směrodatné odchylnky výběru
$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - x_i)^2}{n - 1}}$$
- procentuální odchylnky (podíl)
$$\gamma[\%] = \left(\frac{s}{\bar{x}}\right) \cdot 100$$

Poté byly z vypočtených hodnot vytvořeny tabulky a grafy. Sloupce v tabulkách jsou řazeny podle dávky IZ a řádky jsou řazeny podle jednotlivých vlnových délek. Protože soubory hodnot obsahovaly příliš velké množství dat, tak jsem pro usnadnění orientace a zpracování těchto hodnot, zúžila oblast spektrálních barev na vybrané vlnové délky. A to pro: fialovou barvu 410 – 420 nm, modrou 445 – 455 nm, zelenou 510 – 520 nm, žlutou 570 – 580 nm, oranžovou 600 – 610 nm, červenou barvu 660 – 670 nm. V grafech jsou na ose x zobrazeny dávky IZ a na osách y absorbance (závislost absorbance na dávce IZ). Tabulky jsou graficky znázorněny na jednotlivých obrázcích.

4. Výsledky

Tabulka 2: Průměrné hodnoty absorpance v závislosti na dávce ionizujícího záření při různých vlnových délkách pro čistou moč – experiment prosinec 2009

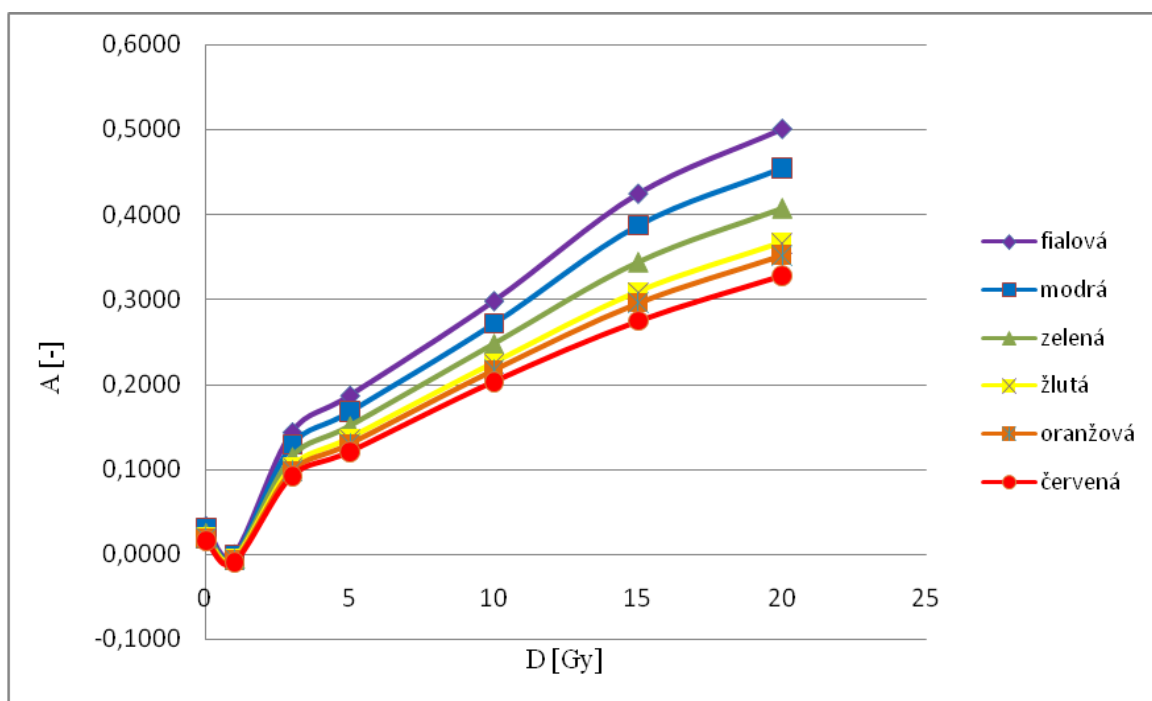
A [-]	D [Gy]			
	5	10	15	20
fialová	-0,0090	0,0062	-0,0243	-0,0283
modrá	-0,0076	0,0050	-0,0222	-0,0235



Obrázek č. 10: Grafické znázornění tabulky 2 - Závislost absorpance na dávce IZ pro čistou moč

Tabulka 3: Průměrné hodnoty absorpance v závislosti na dávce ionizujícího záření při různých vlnových délkách pro destilovanou vodu s barevným indikátorem – experiment leden 2010

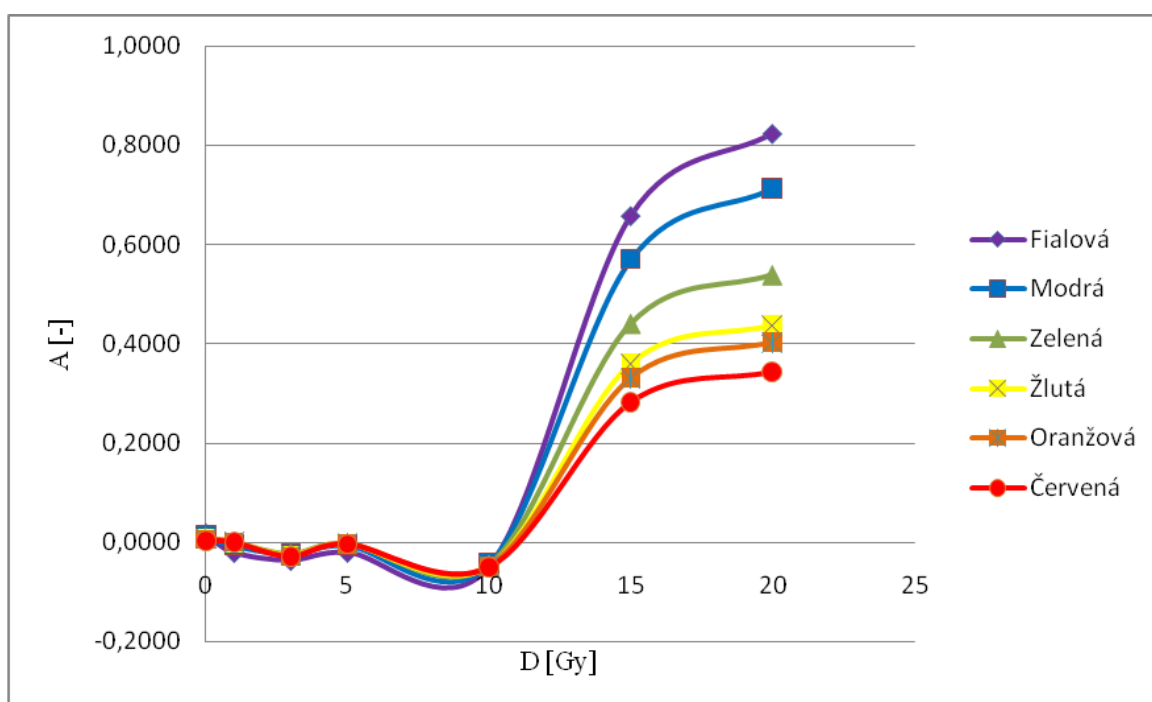
A[-]	D[Gy]						
	0	1	3	5	10	15	20
fialová	0,0335	0,0003	0,1438	0,1870	0,2984	0,4249	0,5012
modrá	0,0293	-0,0023	0,1286	0,1677	0,2715	0,3871	0,4549
zelená	0,0251	-0,0046	0,1143	0,1507	0,2475	0,3437	0,4071
žlutá	0,0203	-0,0060	0,1023	0,1364	0,2249	0,3087	0,3668
oranžová	0,0182	-0,0073	0,0978	0,1300	0,2170	0,2958	0,3521
červená	0,0154	-0,0102	0,0913	0,1202	0,2030	0,2745	0,3282



Obrázek č. 11: Grafické znázornění tabulky 3 - Závislost absorpance na dávce IZ pro destilovanou vodu

Tabulka 4: Průměrné hodnoty absorpance v závislosti na dávce ionizujícího záření při různých vlnových délkách pro moč s barevným indikátorem $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – experiment únor 2010, březen 2010 a duben 2010

A [-]	D [Gy]						
	0	1	3	5	10	15	20
fialová	0,0187	-0,0207	-0,0368	-0,0203	-0,0500	0,6582	0,8239
modrá	0,0130	-0,0063	-0,0233	-0,0057	-0,0438	0,5698	0,7131
zelená	0,0105	0,0011	-0,0227	-0,0011	-0,0447	0,4411	0,5393
žlutá	0,0078	0,0007	-0,0255	-0,0032	-0,0481	0,3608	0,4381
oranžová	0,0060	0,0004	-0,0279	-0,0035	-0,0488	0,3313	0,4034
červená	0,0044	0,0010	-0,0278	-0,0027	-0,0494	0,2834	0,3442



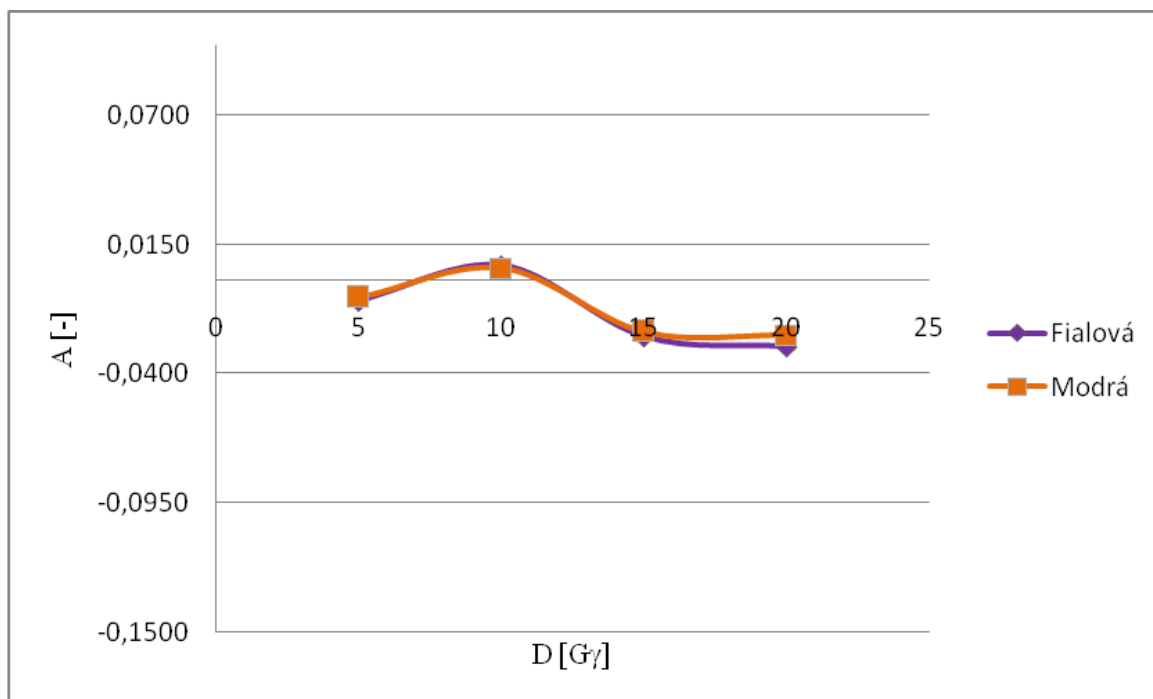
Obrázek č. 12: Grafické znázornění tabulky 4 – Závislost absorpance na dávce IZ pro moč s barevným indikátorem $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

5. Diskuze

Na oddělení radioterapie se užívá ionizující záření pro léčebné účely. Toto záření nemá jen diagnostický význam, ale může mít i negativní následky pro lidský organismus.

Zákon upravuje podmínky, které určují, jakými prostředky musí být zabezpečena ochrana personálu a také pacientů. Jedním z takových nástrojů, které se používají pro monitorování personálů, jsou tzv. osobní dozimetry, mezi něž by mohla patřit i moč jako biologický dozimetr ozáření.

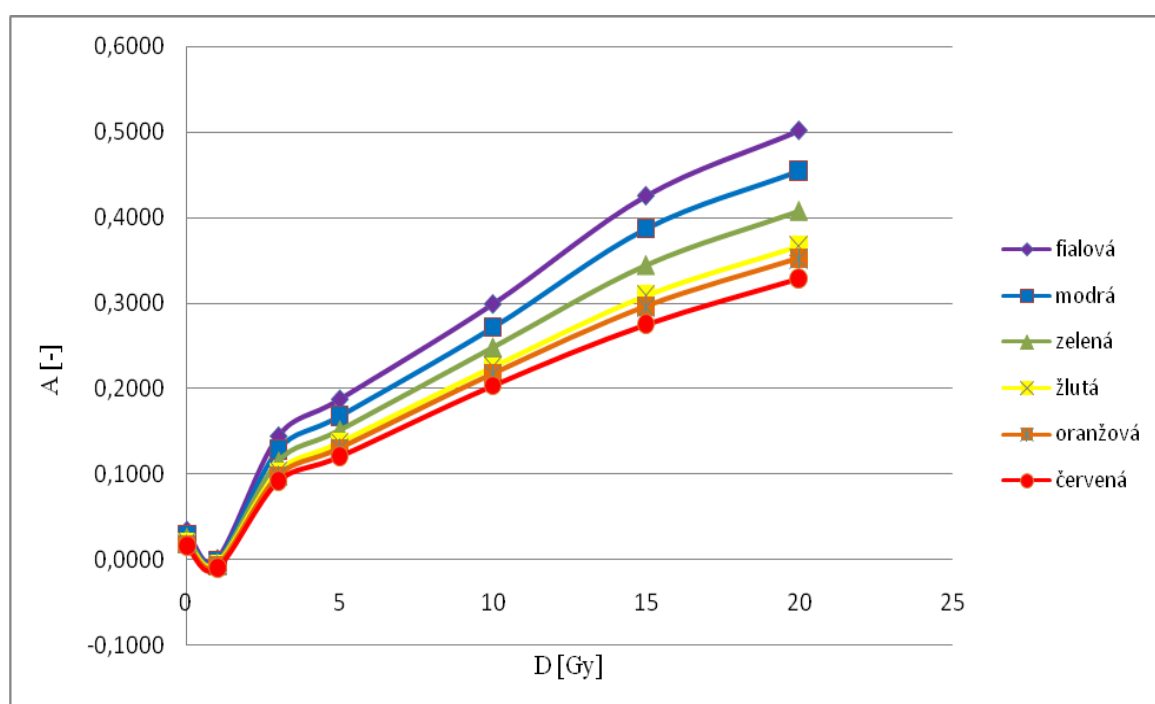
Na začátku mého měření jsem dle hypotézy předpokládala, že v čisté moči po ozáření určitou dávkou ionizujícího záření dojde k rozkladu některých sloučenin, které budou vést ke změně extinkce (barevnosti) moči. Po prvních experimentech, kdy jsem ozařovala čistou moč různými dávkami ionizujícího záření, jsem došla k závěru, že tyto chemické reakce sice probíhají, ale změny jsou velmi malé, řádově v setinách až tisícinách. Viz. Obrázek č. 12.



Obrázek č. 13 – Grafické zpracování závislosti absorbance na dávce ionizujícího záření pro čistou moč

Z tohoto grafu vyplývá, že závislost absorbance na dávce ionizujícího záření je velmi malá, až v rámci chyby zanedbatelná.

Proto jsem zkusila použít $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ jako barevný indikátor. Nejprve s destilovanou vodou. Destilovanou vodu jsem tedy ozářila různými dávkami ionizujícího záření v rozsahu 1 – 20 Gy. Potom jsem přidala 1 ml 1 M roztoku $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Po porovnání a po korekci výsledků, ozářených vzorků destilované vody s přidavkem 1 ml $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ s neozářenou destilovanou vodou se prokázalo, že tato metoda funguje. Viz obrázek č. 14. Na tomto obrázku vidíme, že se stoupající dávkou ionizujícího záření se zvyšují hodnoty absorbance pro jednotlivé vlnové délky.

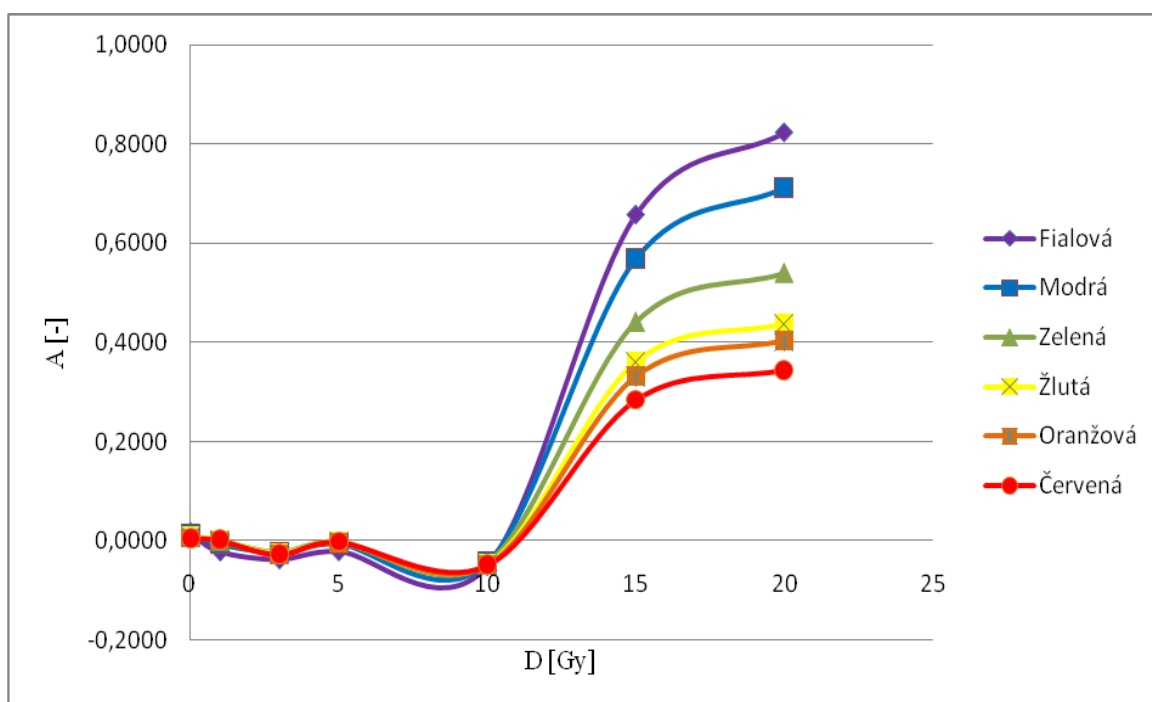
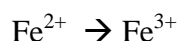


Obrázek č. 14 – Grafické zpracování závislosti absorbance na dávce ionizujícího záření pro H_2O s barevným indikátorem $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

V ozářené destilované vodě vlivem ionizace nastává radiolýza vody a vznikají velmi reaktivní volné radikály H, OH a produkty schopné oxidace (H_2O_2), jejichž doba života přesahuje dobu experimentu.



Za předpokladu, že moč obsahuje 95% vody, jsem předpokládala, že by tato metoda měla fungovat i pro moč. Do ozařované moči různými dávkami ionizujícího záření jsem přidávala 1ml 1M roztoku $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. V moči nastala radiolýza vody, vznikly velmi reaktivní chemické radikály a došlo k oxidaci barevného indikátoru $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, kdy Fe^{2+} se mění na Fe^{3+} .



Obrázek č. 15 – Grafické zpracování závislosti absorpce na dávce ionizujícího záření pro moč s barevným indikátorem $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Tímto jsem dosáhla zintenzivnění barevné změny moči. Takto zbarvená moč se lépe měřila na spektrofotometru. Jednou z částí mého experimentu bylo určit, při jaké dávce ionizujícího záření dochází ke změně extinkce (barevnosti) moči. Při různých experimentech jsem používala různé dávky ionizujícího záření, v rozsahu 1 až 20 Gy. Do moči jsem přidávala 1ml 1 M roztoku $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Podle výsledků měření docházelo ke změně extinkce moči již při dávce 1 Gy ionizujícího záření. Při této dávce byly změny drobné, se stoupající dávkou ionizujícího záření se tyto změny stávaly intenzivnějšími.

Tabulka 5 a 5a nám udává hodnoty průměrných absorbancí v závislosti na dávce ionizujícího záření při různých vlnových délkách. Hodnoty absorpance jsou průměrem ze všech provedených experimentů pro moč s přídavkem indikátoru $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Z obrázku č. 15 a tabulky 5 a 5a nám tedy vyplývá, že změna extinkce moči nastala již při dávce 1 Gy. Se zvyšující dávkou ionizujícího záření se hodnoty absorpance zvyšovaly. Chyby, které zde nastávají, jsou poměrně vysoké a to z důvodu přítomnosti různých látek v moči, které při radiolýze vody, jež způsobuje změnu extinkce, pravděpodobně působí jako aktivátory, tzn. podporují tyto chemické reakce nebo naopak mají povahu inhibitoru, tzn. tlumí tyto reakce. Neméně důležitým faktorem, který ovlivňuje hodnoty absorpance je různé složení moči a zdravotní stav vyšetřovaného. Z tohoto důvodu výsledky vykazují kvalitativní charakter jsou zatíženy velkými chybami.

Tabulka 5 – Průměrné hodnoty absorpance v závislosti na dávce ionizujícího záření při různých vlnových délkách pro moč s přídavkem barevného indikátoru $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

λ [nm]	D [Gy]						
	0	1	3	5	10	15	20
400	0,0229	-0,0462	-0,0683	-0,0449	-0,0739	0,6879	0,8673
405	0,0212	-0,0347	-0,0541	-0,0339	-0,0625	0,7013	0,8633
410	0,0200	-0,0265	-0,0439	-0,0257	-0,0542	0,6745	0,8451
415	0,0187	-0,0200	-0,0358	-0,0197	-0,0488	0,6576	0,8219
420	0,0173	-0,0155	-0,0306	-0,0156	-0,0468	0,6426	0,8046
425	0,0162	-0,0132	-0,0281	-0,0139	-0,0461	0,6293	0,7877
430	0,0154	-0,0122	-0,0277	-0,0138	-0,0476	0,6144	0,7655
435	0,0145	-0,0119	-0,0279	-0,0139	-0,0493	0,6003	0,7475
440	0,0141	-0,0110	-0,0274	-0,0124	-0,0495	0,5890	0,7306
445	0,0134	-0,0086	-0,0251	-0,0089	-0,0463	0,5796	0,7243
450	0,0130	-0,0061	-0,0231	-0,0052	-0,0436	0,5706	0,7146
455	0,0126	-0,0042	-0,0218	-0,0030	-0,0416	0,5592	0,7004
460	0,0123	-0,0030	-0,0210	-0,0017	-0,0407	0,5519	0,6903
465	0,0121	-0,0022	-0,0205	-0,0008	-0,0407	0,5385	0,6731
470	0,0117	-0,0015	-0,0204	-0,0007	-0,0410	0,5298	0,6549
475	0,0115	-0,0011	-0,0204	-0,0006	-0,0416	0,5171	0,6399
480	0,0117	-0,0003	-0,0203	-0,0001	-0,0409	0,5085	0,6279
485	0,0116	0,0000	-0,0204	0,0003	-0,0406	0,5004	0,6147

Tabulka 5a – Průměrné hodnoty absorpance v závislosti na dávce ionizujícího záření při různých vlnových délkách pro moč s přidavkem barevného indikátoru $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

λ [nm]	D [Gy]						
	0	1	3	5	10	15	20
490	0,0115	0,0003	-0,0206	0,0002	-0,0409	0,4896	0,6021
495	0,0114	0,0005	-0,0210	0,0002	-0,0413	0,4799	0,5874
500	0,0112	0,0007	-0,0213	-0,0001	-0,0425	0,4686	0,5747
505	0,0109	0,0009	-0,0218	-0,0005	-0,0434	0,4581	0,5620
510	0,0107	0,0010	-0,0225	-0,0008	-0,0444	0,4493	0,5503
515	0,0105	0,0011	-0,0227	-0,0010	-0,0447	0,4411	0,5396
520	0,0102	0,0011	-0,0230	-0,0013	-0,0450	0,4329	0,5282
525	0,0101	0,0012	-0,0230	-0,0016	-0,0454	0,4256	0,5191
530	0,0099	0,0011	-0,0232	-0,0016	-0,0456	0,4178	0,5093
535	0,0097	0,0011	-0,0236	-0,0017	-0,0459	0,4106	0,5005
540	0,0095	0,0009	-0,0240	-0,0019	-0,0461	0,4040	0,4918
545	0,0093	0,0009	-0,0243	-0,0018	-0,0462	0,3969	0,4825
550	0,0091	0,0008	-0,0247	-0,0020	-0,0465	0,3902	0,4744
555	0,0088	0,0008	-0,0250	-0,0023	-0,0469	0,3842	0,4664
560	0,0085	0,0007	-0,0250	-0,0023	-0,0472	0,3781	0,4589
565	0,0083	0,0006	-0,0252	-0,0024	-0,0475	0,3725	0,4523
570	0,0081	0,0007	-0,0250	-0,0028	-0,0478	0,3664	0,4448
585	0,0072	0,0006	-0,0264	-0,0036	-0,0485	0,3503	0,4255
590	0,0069	0,0004	-0,0270	-0,0036	-0,0487	0,3454	0,4200
595	0,0065	0,0004	-0,0276	-0,0036	-0,0487	0,3404	0,4140
600	0,0062	0,0004	-0,0278	-0,0036	-0,0488	0,3358	0,4088
605	0,0060	0,0004	-0,0279	-0,0035	-0,0488	0,3310	0,4033
610	0,0058	0,0004	-0,0279	-0,0034	-0,0488	0,3270	0,3982
615	0,0055	0,0004	-0,0281	-0,0034	-0,0489	0,3228	0,3932
620	0,0053	0,0005	-0,0281	-0,0033	-0,0487	0,3184	0,3878
625	0,0051	0,0004	-0,0282	-0,0034	-0,0487	0,3144	0,3829
630	0,0050	0,0003	-0,0281	-0,0033	-0,0488	0,3101	0,3780
635	0,0049	0,0003	-0,0281	-0,0030	-0,0490	0,3063	0,3731
640	0,0048	0,0004	-0,0279	-0,0028	-0,0493	0,3025	0,3683
645	0,0047	0,0004	-0,0278	-0,0024	-0,0494	0,2983	0,3635
650	0,0046	0,0005	-0,0277	-0,0026	-0,0495	0,2946	0,3589
655	0,0046	0,0006	-0,0276	-0,0026	-0,0494	0,2907	0,3541
660	0,0045	0,0007	-0,0277	-0,0025	-0,0493	0,2871	0,3492
665	0,0045	0,0010	-0,0278	-0,0026	-0,0494	0,2834	0,3443
670	0,0043	0,0012	-0,0279	-0,0029	-0,0496	0,2797	0,3391
675	0,0042	0,0014	-0,0279	-0,0030	-0,0499	0,2762	0,3340

6. Závěr

Na oddělení radioterapie v NČB, a.s. se lidé denně setkávají s ionizujícím zářením, a to buď jako zdravotnický personál, který obsluhuje lineární urychlovače nebo jako pacienti, kteří podstupují léčbu ionizujícím zářením s cílem kurativním (dosažení vyléčení nádorů) nebo paliativním (zmírnění obtíží způsobené nádorem). Na odděleních se zdroji ionizujícího záření je personál monitorován pomocí tzv. dozimetrů, jež slouží k detekci tohoto záření.

Jedním z důvodů, proč jsem prováděla měření extinkce moči v závislosti na dávce ionizujícího záření, je především skutečnost, že by moč mohla sloužit jako biologický dozimetr, který by sloužil k průběžnému sledování nebo okamžitému určení dávky ozáření personálu i pacientů na oddělení radioterapie. U pacientů by se jednalo spíše o průběžné sledování po léčbě ionizujícím zářením, u zdravotnického personálu by se mohla moč použít jako okamžitý ukazatel ozáření například při havárii.

Cílem této bakalářské práce bylo proto určit, zda může být moč použita jako dozimetr ozáření a dalším úkolem bylo určit, při jakých dávkách ionizujícího záření dochází ke změně extinkce moči. Po šestiměsíčním měření jsem došla k závěru, že moč nelze použít jako biologický dozimetr, ačkoli výsledky vykazují změny. Tyto změny jsou kvalitativního charakteru, jsou zatíženy velkými chybami a to z důvodu různého složení moči a přítomnosti různých látek, které slouží pravděpodobně jako inhibitory nebo aktivátory těchto chemických reakcí. Ke změně barevnosti (extinkce) docházelo již při dávce 1 Gy.

Cíle práce jsem tedy splnila a hypotéza byla potvrzena. Metodu měření extinkce moči v závislosti na dávce ionizujícího záření nelze tedy využít v praxi pro průběžné sledování ani okamžité určení dávky ozáření.

7. Seznam použité literatury

Monografie

Kolektiv autorů: Biofyzika v medicíně, vydavatelství MANUS Praha 2003, ISBN 80-86571-03-3

Stanislav Trojan a kol: Lékařská fyziologie, vydavatelství Grada Publishing, a.s. Praha 2003, ISBN 80-247-0512-5

P. Kuna, L. Navrátil a kol: Klinická radiobiologie, vydavatelství MANUS Praha 2005, ISBN 80-86571-09-2

I. Hrazdára, V. Mornstein, J. Škorpíková: Základy biofyziky a zdravotnické technika, vydavatelství Neptun 2006, ISBN 80-86850-01-3

Kolektiv autorů: Principy a praxe radiační ochrany, vydavatelství Azin CZ, Praha 2000, ISBN 80-238-3703-6

P. Šlampa, J. Petera et al.: Radiační onkologie, vydavatelství Galén, Praha 2007, ISBN 978-80-7262-469-0

Nepublikované texty

Uživatelský manuál: Spektrofotometr UVIKON XS

Uživatelský manuál: Laboratorní centrifuga CENTRIC 322A

Uživatelský manuál: Analytické váhy BBC22

Uživatelský manuál: Software uživatelská manuál LAB POWER JUNIOR pro UVIKON XS

Elektronický zdroj

<http://astronuklfyzika.cz/JadRadMetody.htm#6>

<http://www.nemcb.cz/cz/department/49/Onkologickeoddeleni.html?detail=detail&id=16>

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Mo%C4%8D>
<http://e-liska.cz/draci/rad1.htm>
<http://www.wikiskripta.eu/index.php/Spektrofotometrie>
http://cs.wikipedia.org/wiki/Ionizuj%C3%ADc%C3%AD_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD#Zdroje_ionizuj.C3.ADc.C3.ADho_z.C3.A1.C5.99en.C3.AD
<http://www.profmartinik.cz/wp-content/soubory/fyziologie-vylucovani-ledvinami.pdf>
<http://www.biotech.cz/cz/eshop/detail/16119-uvikon-xs>
<http://www.unimed.cz/1388-200-349-produkt-Multifunkcni-odstredivka---centrifuga-typ-CENTRIC-322A>
<http://www.boeco.com/sites/index.php?Site=artikeInfo.php&ID=45>
http://www.zsf.jcu.cz/struktura/katedry/radio/informace-pro-studenty/ucebni_texty/ochrana-obyvateilstva-se-zamerenim-na-cbrne-aplikovana-radiobiologie-a-toxikologie-krizova-radiobiologie-a-toxikologie/
ULLMANN, V.: *Radiační ochrana*. [online]. Dostupné ze dne 2.4. 2010
<http://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm#2>

8. Klíčová slova

Ionizující záření

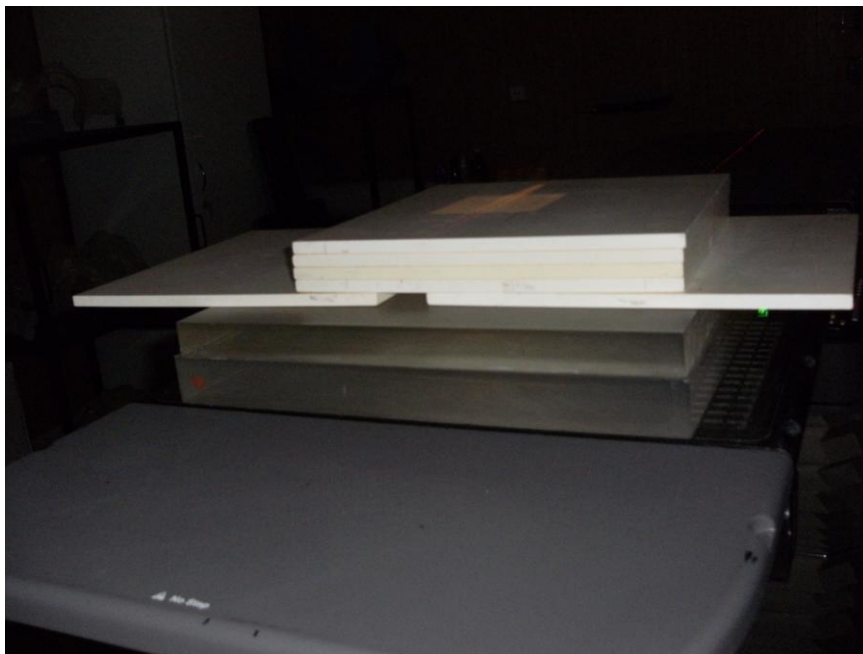
Extinkce

Moč

Dávka ionizujícího záření

Radiologie

9. Přílohy



Obrázek č. 16 – Schéma uspořádání vzorků a pomocných desek z PVC při ozařování na stole lineárního urychlovače



Obrázek č. 17 – Jiný pohled na schéma uspořádání vzorků a pomocných desek z PVC při ozařování na stole lineárního urychlovače

Tabulka 6:

Měření absorbance v závislosti na dávce IZ při různých vlnových délkách pro čistou moč - experiment prosinec 2009

λ [nm]	D [Gy]			
	5	10	15	20
365	-0,0039	0,0128	-0,0233	-0,0284
370	-0,0038	0,0108	-0,0237	-0,0283
375	-0,0064	0,0090	-0,0234	-0,0287
380	-0,0081	0,0083	-0,0238	-0,0288
385	-0,0089	0,0076	-0,0236	-0,0290
390	-0,0092	0,0068	-0,0238	-0,0288
395	-0,0096	0,0065	-0,0240	-0,0289
400	-0,0094	0,0064	-0,0241	-0,0287
405	-0,0093	0,0063	-0,0242	-0,0285
410	-0,0088	0,0062	-0,0243	-0,0283
415	-0,0088	0,0061	-0,0244	-0,0282
420	-0,0086	0,0058	-0,0243	-0,0279
425	-0,0082	0,0057	-0,0241	-0,0275
430	-0,0075	0,0058	-0,0240	-0,0269
435	-0,0072	0,0057	-0,0240	-0,0264
440	-0,0076	0,0053	-0,0236	-0,0256
445	-0,0075	0,0051	-0,0229	-0,0245
450	-0,0076	0,0050	-0,0222	-0,0235
455	-0,0075	0,0049	-0,0214	-0,0225
460	-0,0077	0,0048	-0,0210	-0,0220
465	-0,0079	0,0046	-0,0206	-0,0214
470	-0,0083	0,0044	-0,0204	-0,0209
475	-0,0085	0,0044	-0,0203	-0,0207
480	-0,0089	0,0040	-0,0201	-0,0206

Tabulka 7: Měření absorbance v závislosti na dávce IZ při různých vlnových délkách pro destilovanou vodu s přídavkem barevného indikátoru FeSO₄ · 7 H₂O - experiment leden 2010

λ [nm]	D [Gy]											
	0	0	0	1	1	1	3	3	3	5	5	5
400	0,0576	-0,0222	0,0680	-0,0240	-0,0225	0,0461	0,1135	0,1443	0,1946	0,1504	0,1961	0,2397
405	0,0568	-0,0212	0,0672	-0,0237	-0,0217	0,0457	0,1125	0,1419	0,1915	0,1482	0,1927	0,2366
410	0,0563	-0,0204	0,0669	-0,0239	-0,0210	0,0457	0,1108	0,1392	0,1882	0,1456	0,1900	0,2342
415	0,0548	-0,0199	0,0655	-0,0240	-0,0205	0,0455	0,1096	0,1364	0,1857	0,1434	0,1870	0,2311
420	0,0538	-0,0196	0,0645	-0,0242	-0,0199	0,0451	0,1077	0,1339	0,1827	0,1405	0,1839	0,2270
425	0,0525	-0,0192	0,0637	-0,0253	-0,0200	0,0450	0,1062	0,1313	0,1804	0,1380	0,1813	0,2240
430	0,0509	-0,0192	0,0623	-0,0259	-0,0201	0,0446	0,1047	0,1286	0,1769	0,1356	0,1782	0,2203
435	0,0499	-0,0189	0,0614	-0,0264	-0,0200	0,0441	0,1028	0,1260	0,1744	0,1325	0,1754	0,2169
440	0,0490	-0,0191	0,0603	-0,0269	-0,0200	0,0432	0,1010	0,1235	0,1720	0,1293	0,1730	0,2137
445	0,0488	-0,0194	0,0597	-0,0277	-0,0202	0,0423	0,0988	0,1216	0,1702	0,1269	0,1710	0,2116
450	0,0483	-0,0198	0,0593	-0,0281	-0,0205	0,0417	0,0974	0,1200	0,1683	0,1245	0,1691	0,2093
455	0,0481	-0,0198	0,0585	-0,0280	-0,0211	0,0409	0,0960	0,1179	0,1673	0,1222	0,1671	0,2074
460	0,0479	-0,0199	0,0583	-0,0281	-0,0209	0,0405	0,0954	0,1170	0,1657	0,1209	0,1658	0,2056
465	0,0475	-0,0201	0,0579	-0,0277	-0,0211	0,0404	0,0946	0,1154	0,1642	0,1200	0,1647	0,2043
470	0,0472	-0,0200	0,0577	-0,0273	-0,0213	0,0400	0,0939	0,1141	0,1623	0,1190	0,1634	0,2028
475	0,0467	-0,0204	0,0569	-0,0266	-0,0215	0,0405	0,0934	0,1131	0,1602	0,1183	0,1617	0,2009
480	0,0463	-0,0196	0,0571	-0,0264	-0,0216	0,0402	0,0925	0,1117	0,1588	0,1160	0,1606	0,2020
485	0,0457	-0,0198	0,0569	-0,0264	-0,0219	0,0393	0,0922	0,1111	0,1569	0,1145	0,1596	0,2018
490	0,0450	-0,0194	0,0566	-0,0265	-0,0219	0,0391	0,0918	0,1100	0,1558	0,1133	0,1582	0,2010
495	0,0442	-0,0192	0,0560	-0,0267	-0,0225	0,0389	0,0909	0,1096	0,1543	0,1124	0,1565	0,1999
500	0,0433	-0,0190	0,0553	-0,0270	-0,0227	0,0383	0,0907	0,1090	0,1527	0,1118	0,1547	0,1982
505	0,0423	-0,0190	0,0548	-0,0271	-0,0229	0,0380	0,0901	0,1082	0,1509	0,1108	0,1528	0,1962
510	0,0413	-0,0192	0,0542	-0,0272	-0,0231	0,0374	0,0895	0,1078	0,1490	0,1102	0,1510	0,1943
515	0,0406	-0,0189	0,0540	-0,0272	-0,0233	0,0368	0,0889	0,1070	0,1471	0,1103	0,1495	0,1921
520	0,0395	-0,0191	0,0536	-0,0275	-0,0235	0,0364	0,0880	0,1057	0,1454	0,1102	0,1482	0,1901
525	0,0389	-0,0190	0,0532	-0,0281	-0,0237	0,0359	0,0870	0,1046	0,1436	0,1100	0,1466	0,1884
530	0,0380	-0,0190	0,0533	-0,0286	-0,0240	0,0355	0,0864	0,1038	0,1419	0,1093	0,1455	0,1870
535	0,0371	-0,0189	0,0529	-0,0284	-0,0243	0,0348	0,0857	0,1030	0,1403	0,1093	0,1438	0,1863
540	0,0363	-0,0188	0,0527	-0,0278	-0,0247	0,0345	0,0853	0,1019	0,1387	0,1094	0,1426	0,1854
545	0,0356	-0,0190	0,0521	-0,0275	-0,0250	0,0341	0,0846	0,1010	0,1372	0,1088	0,1415	0,1839
550	0,0347	-0,0190	0,0517	-0,0267	-0,0250	0,0335	0,0841	0,1002	0,1358	0,1082	0,1401	0,1821
555	0,0340	-0,0192	0,0514	-0,0258	-0,0252	0,0331	0,0835	0,0991	0,1343	0,1077	0,1389	0,1805
560	0,0336	-0,0196	0,0512	-0,0256	-0,0256	0,0329	0,0833	0,0980	0,1331	0,1069	0,1373	0,1793
565	0,0328	-0,0197	0,0508	-0,0252	-0,0262	0,0329	0,0826	0,0968	0,1318	0,1060	0,1358	0,1774
570	0,0320	-0,0204	0,0505	-0,0245	-0,0268	0,0332	0,0828	0,0958	0,1308	0,1044	0,1336	0,1750
575	0,0312	-0,0207	0,0503	-0,0243	-0,0270	0,0333	0,0823	0,0948	0,1297	0,1033	0,1326	0,1735
580	0,0305	-0,0209	0,0505	-0,0241	-0,0272	0,0332	0,0818	0,0941	0,1286	0,1021	0,1311	0,1719
585	0,0298	-0,0212	0,0502	-0,0239	-0,0276	0,0334	0,0812	0,0933	0,1276	0,1014	0,1303	0,1708
590	0,0292	-0,0214	0,0502	-0,0241	-0,0281	0,0334	0,0808	0,0926	0,1267	0,1005	0,1292	0,1692
595	0,0283	-0,0215	0,0501	-0,0242	-0,0287	0,0335	0,0803	0,0918	0,1252	0,1001	0,1279	0,1681
600	0,0276	-0,0218	0,0500	-0,0241	-0,0292	0,0330	0,0799	0,0910	0,1243	0,0992	0,1271	0,1666
605	0,0269	-0,0219	0,0497	-0,0238	-0,0298	0,0321	0,0796	0,0900	0,1237	0,0986	0,1265	0,1649
610	0,0265	-0,0222	0,0492	-0,0240	-0,0307	0,0312	0,0793	0,0890	0,1231	0,0982	0,1253	0,1632
615	0,0261	-0,0223	0,0488	-0,0242	-0,0313	0,0301	0,0790	0,0881	0,1222	0,0975	0,1247	0,1611
620	0,0258	-0,0225	0,0484	-0,0244	-0,0316	0,0291	0,0786	0,0872	0,1212	0,0964	0,1240	0,1590
625	0,0254	-0,0228	0,0480	-0,0245	-0,0319	0,0284	0,0782	0,0867	0,1204	0,0957	0,1233	0,1572
630	0,0252	-0,0229	0,0474	-0,0248	-0,0321	0,0278	0,0776	0,0866	0,1196	0,0954	0,1227	0,1555
635	0,0248	-0,0232	0,0469	-0,0247	-0,0324	0,0274	0,0773	0,0868	0,1192	0,0951	0,1221	0,1538
640	0,0248	-0,0234	0,0464	-0,0247	-0,0326	0,0271	0,0769	0,0866	0,1184	0,0939	0,1218	0,1523
645	0,0248	-0,0236	0,0461	-0,0246	-0,0329	0,0274	0,0765	0,0860	0,1178	0,0937	0,1217	0,1515
650	0,0248	-0,0238	0,0460	-0,0247	-0,0332	0,0280	0,0759	0,0853	0,1170	0,0932	0,1216	0,1504
655	0,0249	-0,0239	0,0459	-0,0247	-0,0331	0,0280	0,0754	0,0847	0,1165	0,0933	0,1209	0,1498
660	0,0248	-0,0240	0,0457	-0,0248	-0,0334	0,0280	0,0752	0,0844	0,1158	0,0928	0,1209	0,1488
665	0,0247	-0,0241	0,0456	-0,0250	-0,0335	0,0277	0,0748	0,0842	0,1150	0,0926	0,1203	0,1482
670	0,0246	-0,0242	0,0456	-0,0251	-0,0338	0,0278	0,0743	0,0840	0,1143	0,0922	0,1193	0,1470
675	0,0246	-0,0241	0,0455	-0,0250	-0,0343	0,0283	0,0740	0,0836	0,1139	0,0918	0,1186	0,1461

Tabulka 7a: Měření absorbance v závislosti na dávce IZ při různých vlnových délkách pro destilovanou vodu s přídatkem barevného indikátoru FeSO₄ · 7 H₂O - experiment leden 2010

λ [nm]	D [Gy]								
	10	10	10	15	15	15	20	20	20
400	0,3107	0,2876	0,3367	0,4340	0,4228	0,4742	0,5049	0,5096	0,5595
405	0,3063	0,2836	0,3325	0,4289	0,4161	0,4675	0,4971	0,5021	0,5508
410	0,3014	0,2787	0,3287	0,4235	0,4102	0,4606	0,4899	0,4943	0,5428
415	0,2968	0,2735	0,3252	0,4174	0,4034	0,4537	0,4826	0,4866	0,5345
420	0,2922	0,2686	0,3204	0,4113	0,3973	0,4467	0,4752	0,4787	0,5263
425	0,2882	0,2641	0,3162	0,4053	0,3915	0,4414	0,4683	0,4717	0,5191
430	0,2839	0,2597	0,3121	0,3995	0,3864	0,4350	0,4614	0,4643	0,5111
435	0,2791	0,2553	0,3089	0,3941	0,3811	0,4287	0,4553	0,4575	0,5040
440	0,2751	0,2516	0,3051	0,3888	0,3765	0,4228	0,4490	0,4507	0,4971
445	0,2717	0,2487	0,3017	0,3842	0,3723	0,4171	0,4435	0,4448	0,4905
450	0,2690	0,2460	0,2992	0,3804	0,3688	0,4122	0,4390	0,4396	0,4862
455	0,2669	0,2439	0,2963	0,3769	0,3650	0,4075	0,4345	0,4348	0,4812
460	0,2657	0,2419	0,2942	0,3733	0,3619	0,4039	0,4307	0,4304	0,4779
465	0,2647	0,2402	0,2923	0,3699	0,3592	0,4004	0,4272	0,4265	0,4737
470	0,2633	0,2388	0,2907	0,3672	0,3555	0,3973	0,4239	0,4226	0,4696
475	0,2622	0,2367	0,2897	0,3640	0,3525	0,3949	0,4197	0,4198	0,4673
480	0,2617	0,2342	0,2880	0,3606	0,3483	0,3922	0,4166	0,4164	0,4637
485	0,2609	0,2318	0,2867	0,3572	0,3459	0,3890	0,4137	0,4132	0,4608
490	0,2596	0,2293	0,2854	0,3539	0,3435	0,3862	0,4102	0,4096	0,4572
495	0,2580	0,2270	0,2834	0,3508	0,3404	0,3825	0,4070	0,4065	0,4536
500	0,2566	0,2248	0,2814	0,3473	0,3374	0,3795	0,4036	0,4029	0,4500
505	0,2547	0,2225	0,2793	0,3432	0,3344	0,3757	0,3998	0,3988	0,4460
510	0,2522	0,2205	0,2764	0,3389	0,3315	0,3718	0,3958	0,3954	0,4421
515	0,2500	0,2188	0,2734	0,3349	0,3282	0,3680	0,3916	0,3917	0,4380
520	0,2475	0,2175	0,2709	0,3313	0,3249	0,3641	0,3876	0,3873	0,4340
525	0,2453	0,2164	0,2684	0,3280	0,3222	0,3607	0,3838	0,3836	0,4302
530	0,2430	0,2150	0,2657	0,3252	0,3192	0,3574	0,3796	0,3806	0,4262
535	0,2410	0,2132	0,2641	0,3226	0,3160	0,3543	0,3758	0,3773	0,4223
540	0,2385	0,2114	0,2614	0,3199	0,3129	0,3512	0,3732	0,3738	0,4186
545	0,2367	0,2095	0,2594	0,3172	0,3103	0,3485	0,3696	0,3702	0,4148
550	0,2346	0,2080	0,2571	0,3148	0,3075	0,3454	0,3665	0,3670	0,4111
555	0,2329	0,2067	0,2550	0,3125	0,3038	0,3424	0,3636	0,3639	0,4078
560	0,2310	0,2052	0,2529	0,3103	0,3008	0,3400	0,3609	0,3613	0,4047
565	0,2297	0,2037	0,2513	0,3084	0,2979	0,3374	0,3583	0,3586	0,4017
570	0,2272	0,2023	0,2498	0,3063	0,2937	0,3339	0,3544	0,3554	0,3990
575	0,2254	0,2014	0,2477	0,3040	0,2904	0,3312	0,3516	0,3525	0,3964
580	0,2236	0,2010	0,2456	0,3021	0,2875	0,3289	0,3490	0,3495	0,3939
585	0,2217	0,2010	0,2440	0,3006	0,2847	0,3268	0,3469	0,3465	0,3914
590	0,2199	0,2011	0,2423	0,2990	0,2818	0,3249	0,3446	0,3438	0,3885
595	0,2175	0,2012	0,2406	0,2972	0,2786	0,3230	0,3429	0,3412	0,3855
600	0,2154	0,2008	0,2394	0,2956	0,2762	0,3213	0,3407	0,3389	0,3832
605	0,2131	0,1999	0,2378	0,2941	0,2738	0,3195	0,3391	0,3364	0,3811
610	0,2113	0,1990	0,2363	0,2924	0,2717	0,3179	0,3373	0,3341	0,3787
615	0,2095	0,1979	0,2354	0,2906	0,2690	0,3160	0,3352	0,3317	0,3767
620	0,2076	0,1973	0,2342	0,2891	0,2666	0,3136	0,3330	0,3293	0,3744
625	0,2061	0,1970	0,2330	0,2875	0,2645	0,3120	0,3311	0,3269	0,3724
630	0,2052	0,1965	0,2318	0,2857	0,2625	0,3101	0,3292	0,3247	0,3704
635	0,2042	0,1961	0,2308	0,2840	0,2605	0,3082	0,3273	0,3224	0,3682
640	0,2030	0,1954	0,2293	0,2825	0,2586	0,3064	0,3256	0,3204	0,3666
645	0,2015	0,1941	0,2281	0,2811	0,2564	0,3047	0,3240	0,3181	0,3645
650	0,2004	0,1925	0,2276	0,2796	0,2552	0,3026	0,3223	0,3164	0,3627
655	0,1995	0,1907	0,2269	0,2778	0,2537	0,3007	0,3205	0,3146	0,3606
660	0,1981	0,1891	0,2255	0,2760	0,2525	0,2992	0,3189	0,3127	0,3585
665	0,1967	0,1878	0,2245	0,2744	0,2514	0,2977	0,3174	0,3111	0,3565
670	0,1954	0,1867	0,2234	0,2730	0,2502	0,2960	0,3149	0,3095	0,3544
675	0,1941	0,1862	0,2223	0,2723	0,2492	0,2943	0,3130	0,3082	0,3524

Tabulka 8: Měření absorbance v závislosti na dávce IZ při různých vlnových délkách pro moč s přidavkem barevného indikátoru FeSO₄ · 7 H₂O - experiment únor 2010

λ [nm]	D [Gy]										
	0	0	0	1	1	1	3	3	3	5	5
400	0,0210	0,0333	-0,0016	-0,0876	-0,0909	-0,1697	-0,2769	-0,2621	-0,2389	-0,3413	-0,2868
405	0,0199	0,0285	-0,0007	-0,0677	-0,0725	-0,1466	-0,2409	-0,2271	-0,2058	-0,3061	-0,2587
410	0,0194	0,0259	0,0005	-0,0527	-0,0610	-0,1276	-0,2150	-0,2026	-0,1794	-0,2773	-0,2340
415	0,0183	0,0233	0,0008	-0,0415	-0,0504	-0,1124	-0,1946	-0,1831	-0,1583	-0,2556	-0,2163
420	0,0170	0,0211	0,0003	-0,0328	-0,0429	-0,1017	-0,1806	-0,1689	-0,1434	-0,2387	-0,2028
425	0,0167	0,0192	-0,0002	-0,0278	-0,0392	-0,0953	-0,1740	-0,1613	-0,1343	-0,2292	-0,1953
430	0,0160	0,0180	-0,0005	-0,0257	-0,0370	-0,0914	-0,1714	-0,1581	-0,1301	-0,2232	-0,1909
435	0,0151	0,0171	-0,0010	-0,0248	-0,0359	-0,0888	-0,1699	-0,1559	-0,1280	-0,2191	-0,1873
440	0,0156	0,0161	-0,0007	-0,0223	-0,0341	-0,0855	-0,1680	-0,1522	-0,1240	-0,2115	-0,1806
445	0,0154	0,0147	-0,0007	-0,0178	-0,0298	-0,0796	-0,1616	-0,1448	-0,1168	-0,1998	-0,1690
450	0,0155	0,0134	0,0003	-0,0129	-0,0254	-0,0743	-0,1548	-0,1390	-0,1109	-0,1889	-0,1578
455	0,0159	0,0120	0,0007	-0,0093	-0,0220	-0,0696	-0,1494	-0,1345	-0,1063	-0,1792	-0,1495
460	0,0160	0,0116	0,0010	-0,0071	-0,0197	-0,0663	-0,1457	-0,1310	-0,1037	-0,1728	-0,1441
465	0,0163	0,0112	0,0016	-0,0052	-0,0181	-0,0635	-0,1432	-0,1281	-0,1009	-0,1681	-0,1397
470	0,0162	0,0105	0,0016	-0,0034	-0,0165	-0,0612	-0,1413	-0,1256	-0,0988	-0,1653	-0,1362
475	0,0162	0,0102	0,0019	-0,0031	-0,0151	-0,0592	-0,1391	-0,1243	-0,0979	-0,1619	-0,1332
480	0,0172	0,0106	0,0024	-0,0019	-0,0143	-0,0559	-0,1377	-0,1227	-0,0956	-0,1572	-0,1310
485	0,0174	0,0105	0,0025	-0,0006	-0,0131	-0,0548	-0,1375	-0,1213	-0,0944	-0,1536	-0,1274
490	0,0174	0,0109	0,0026	0,0000	-0,0124	-0,0534	-0,1362	-0,1204	-0,0938	-0,1518	-0,1242
495	0,0172	0,0110	0,0027	0,0009	-0,0113	-0,0526	-0,1357	-0,1197	-0,0935	-0,1495	-0,1221
500	0,0169	0,0105	0,0032	0,0018	-0,0109	-0,0516	-0,1344	-0,1196	-0,0933	-0,1475	-0,1205
505	0,0166	0,0104	0,0031	0,0024	-0,0101	-0,0508	-0,1335	-0,1201	-0,0932	-0,1456	-0,1194
510	0,0163	0,0103	0,0031	0,0029	-0,0098	-0,0496	-0,1335	-0,1212	-0,0930	-0,1445	-0,1179
515	0,0159	0,0101	0,0034	0,0032	-0,0096	-0,0485	-0,1327	-0,1208	-0,0926	-0,1427	-0,1165
520	0,0153	0,0100	0,0033	0,0033	-0,0092	-0,0477	-0,1322	-0,1206	-0,0919	-0,1411	-0,1152
525	0,0151	0,0098	0,0034	0,0036	-0,0089	-0,0464	-0,1312	-0,1197	-0,0907	-0,1402	-0,1126
530	0,0147	0,0094	0,0038	0,0035	-0,0088	-0,0456	-0,1303	-0,1189	-0,0904	-0,1384	-0,1105
535	0,0144	0,0094	0,0039	0,0036	-0,0087	-0,0450	-0,1300	-0,1186	-0,0914	-0,1366	-0,1087
540	0,0137	0,0093	0,0042	0,0036	-0,0087	-0,0444	-0,1283	-0,1192	-0,0921	-0,1349	-0,1074
545	0,0130	0,0092	0,0043	0,0040	-0,0089	-0,0436	-0,1281	-0,1185	-0,0919	-0,1329	-0,1050
550	0,0123	0,0089	0,0045	0,0040	-0,0087	-0,0431	-0,1275	-0,1188	-0,0923	-0,1320	-0,1039
555	0,0115	0,0089	0,0043	0,0037	-0,0085	-0,0423	-0,1271	-0,1185	-0,0924	-0,1309	-0,1022
560	0,0104	0,0088	0,0043	0,0034	-0,0084	-0,0416	-0,1261	-0,1177	-0,0919	-0,1290	-0,0998
565	0,0096	0,0088	0,0047	0,0036	-0,0083	-0,0413	-0,1257	-0,1171	-0,0909	-0,1281	-0,0982
570	0,0085	0,0090	0,0045	0,0042	-0,0085	-0,0404	-0,1255	-0,1145	-0,0909	-0,1264	-0,0965
575	0,0076	0,0088	0,0044	0,0049	-0,0086	-0,0398	-0,1257	-0,1139	-0,0911	-0,1255	-0,0961
580	0,0069	0,0089	0,0044	0,0056	-0,0088	-0,0391	-0,1252	-0,1139	-0,0910	-0,1244	-0,0948
585	0,0061	0,0088	0,0042	0,0055	-0,0088	-0,0386	-0,1254	-0,1141	-0,0920	-0,1226	-0,0936
590	0,0053	0,0086	0,0038	0,0051	-0,0089	-0,0382	-0,1252	-0,1158	-0,0924	-0,1214	-0,0926
595	0,0047	0,0082	0,0036	0,0051	-0,0086	-0,0377	-0,1248	-0,1164	-0,0934	-0,1201	-0,0908
600	0,0041	0,0080	0,0033	0,0053	-0,0083	-0,0373	-0,1248	-0,1160	-0,0930	-0,1188	-0,0892
605	0,0039	0,0079	0,0030	0,0055	-0,0082	-0,0368	-0,1245	-0,1156	-0,0922	-0,1172	-0,0883
610	0,0035	0,0078	0,0029	0,0059	-0,0082	-0,0365	-0,1248	-0,1144	-0,0910	-0,1156	-0,0868
615	0,0033	0,0074	0,0028	0,0059	-0,0080	-0,0357	-0,1248	-0,1142	-0,0900	-0,1150	-0,0852
620	0,0032	0,0072	0,0027	0,0060	-0,0079	-0,0346	-0,1244	-0,1131	-0,0891	-0,1135	-0,0846
625	0,0032	0,0071	0,0026	0,0059	-0,0080	-0,0345	-0,1242	-0,1123	-0,0881	-0,1129	-0,0837
630	0,0033	0,0072	0,0025	0,0061	-0,0080	-0,0343	-0,1243	-0,1112	-0,0866	-0,1120	-0,0822
635	0,0032	0,0071	0,0023	0,0063	-0,0082	-0,0339	-0,1240	-0,1105	-0,0849	-0,1109	-0,0807
640	0,0033	0,0071	0,0021	0,0064	-0,0082	-0,0329	-0,1227	-0,1091	-0,0839	-0,1101	-0,0793
645	0,0032	0,0073	0,0022	0,0066	-0,0083	-0,0321	-0,1215	-0,1079	-0,0835	-0,1082	-0,0777
650	0,0033	0,0073	0,0019	0,0069	-0,0085	-0,0314	-0,1208	-0,1074	-0,0831	-0,1072	-0,0773
655	0,0034	0,0074	0,0019	0,0071	-0,0085	-0,0303	-0,1195	-0,1070	-0,0824	-0,1059	-0,0762
660	0,0034	0,0078	0,0017	0,0074	-0,0087	-0,0293	-0,1190	-0,1067	-0,0824	-0,1046	-0,0753
665	0,0032	0,0078	0,0018	0,0079	-0,0084	-0,0283	-0,1179	-0,1068	-0,0822	-0,1040	-0,0748
670	0,0032	0,0076	0,0017	0,0085	-0,0081	-0,0276	-0,1177	-0,1066	-0,0812	-0,1040	-0,0748
675	0,0031	0,0073	0,0015	0,0088	-0,0078	-0,0268	-0,1160	-0,1062	-0,0820	-0,1033	-0,0741

Tabulka 8a: Měření absorbance v závislosti na dávce IZ při různých vlnových délkách pro moč s přidavkem barevného indikátoru FeSO₄ · 7 H₂O - experiment únor 2010

λ [nm]	D [Gy]									
	5	10	10	10	15	15	15	20	20	20
400	-0,2751	-0,3066	-0,3489	-0,3486	1,4178	1,6001	1,5811	1,3881	1,2949	1,3727
405	-0,2415	-0,2741	-0,3144	-0,3111	1,4167	1,5000	1,7372	1,3604	1,2743	1,3834
410	-0,2178	-0,2490	-0,2862	-0,2831	1,3490	1,4896	1,6024	1,3544	1,2317	1,3281
415	-0,1973	-0,2298	-0,2650	-0,2603	1,3303	1,4506	1,5243	1,2926	1,2085	1,2869
420	-0,1819	-0,2179	-0,2492	-0,2463	1,2979	1,3949	1,4990	1,2543	1,1940	1,2467
425	-0,1734	-0,2097	-0,2401	-0,2363	1,2489	1,3705	1,4804	1,2403	1,1511	1,2185
430	-0,1710	-0,2077	-0,2357	-0,2312	1,2236	1,3516	1,4285	1,1961	1,1196	1,1855
435	-0,1687	-0,2068	-0,2321	-0,2276	1,1951	1,3079	1,4143	1,1700	1,0848	1,1629
440	-0,1627	-0,2016	-0,2265	-0,2227	1,1824	1,2921	1,3729	1,1460	1,0624	1,1332
445	-0,1504	-0,1908	-0,2157	-0,2112	1,1614	1,2656	1,3573	1,1392	1,0554	1,1235
450	-0,1387	-0,1812	-0,2058	-0,2004	1,1399	1,2513	1,3328	1,1211	1,0452	1,1099
455	-0,1310	-0,1727	-0,1976	-0,1918	1,1219	1,2216	1,3048	1,0944	1,0292	1,0884
460	-0,1249	-0,1667	-0,1917	-0,1860	1,1036	1,2038	1,2936	1,0755	1,0102	1,0803
465	-0,1204	-0,1632	-0,1873	-0,1820	1,0815	1,1717	1,2587	1,0556	0,9819	1,0450
470	-0,1167	-0,1603	-0,1847	-0,1784	1,0633	1,1605	1,2327	1,0202	0,9544	1,0198
475	-0,1143	-0,1567	-0,1826	-0,1769	1,0327	1,1247	1,2168	0,9910	0,9384	0,9934
480	-0,1096	-0,1531	-0,1785	-0,1735	1,0159	1,1048	1,1979	0,9790	0,9107	0,9761
485	-0,1074	-0,1504	-0,1750	-0,1711	0,9998	1,0899	1,1766	0,9557	0,8929	0,9543
490	-0,1050	-0,1485	-0,1726	-0,1691	0,9777	1,0663	1,1536	0,9352	0,8734	0,9351
495	-0,1037	-0,1465	-0,1704	-0,1673	0,9602	1,0462	1,1321	0,9130	0,8502	0,9106
500	-0,1020	-0,1457	-0,1692	-0,1661	0,9391	1,0252	1,1070	0,8934	0,8285	0,8914
505	-0,1007	-0,1444	-0,1681	-0,1644	0,9225	1,0025	1,0841	0,8728	0,8110	0,8689
510	-0,0987	-0,1429	-0,1673	-0,1633	0,9071	0,9864	1,0639	0,8536	0,7909	0,8530
515	-0,0967	-0,1417	-0,1657	-0,1614	0,8914	0,9707	1,0453	0,8363	0,7756	0,8345
520	-0,0950	-0,1399	-0,1637	-0,1594	0,8759	0,9547	1,0276	0,8180	0,7572	0,8172
525	-0,0937	-0,1394	-0,1628	-0,1578	0,8615	0,9376	1,0137	0,8032	0,7436	0,8033
530	-0,0917	-0,1383	-0,1613	-0,1554	0,8483	0,9226	0,9944	0,7877	0,7291	0,7865
535	-0,0901	-0,1371	-0,1597	-0,1542	0,8347	0,9075	0,9789	0,7734	0,7155	0,7733
540	-0,0887	-0,1357	-0,1582	-0,1522	0,8226	0,8957	0,9637	0,7598	0,7025	0,7592
545	-0,0868	-0,1338	-0,1575	-0,1495	0,8096	0,8813	0,9474	0,7448	0,6888	0,7443
550	-0,0855	-0,1328	-0,1568	-0,1471	0,7982	0,8679	0,9322	0,7323	0,6764	0,7313
555	-0,0847	-0,1320	-0,1554	-0,1460	0,7854	0,8554	0,9218	0,7198	0,6643	0,7190
560	-0,0840	-0,1307	-0,1547	-0,1454	0,7745	0,8438	0,9074	0,7079	0,6531	0,7069
565	-0,0829	-0,1293	-0,1544	-0,1451	0,7649	0,8326	0,8948	0,6979	0,6425	0,6974
570	-0,0831	-0,1288	-0,1530	-0,1447	0,7535	0,8199	0,8819	0,6859	0,6319	0,6850
575	-0,0820	-0,1283	-0,1518	-0,1443	0,7425	0,8086	0,8703	0,6754	0,6217	0,6746
580	-0,0815	-0,1274	-0,1511	-0,1435	0,7325	0,7959	0,8587	0,6655	0,6113	0,6648
585	-0,0805	-0,1264	-0,1499	-0,1424	0,7233	0,7848	0,8478	0,6556	0,6032	0,6554
590	-0,0790	-0,1257	-0,1492	-0,1421	0,7138	0,7750	0,8367	0,6474	0,5951	0,6468
595	-0,0766	-0,1246	-0,1487	-0,1404	0,7045	0,7640	0,8250	0,6381	0,5863	0,6375
600	-0,0750	-0,1244	-0,1476	-0,1389	0,6957	0,7538	0,8143	0,6304	0,5781	0,6296
605	-0,0728	-0,1237	-0,1466	-0,1380	0,6867	0,7428	0,8034	0,6220	0,5701	0,6207
610	-0,0715	-0,1226	-0,1451	-0,1370	0,6784	0,7346	0,7942	0,6144	0,5629	0,6124
615	-0,0702	-0,1221	-0,1445	-0,1356	0,6706	0,7251	0,7842	0,6069	0,5557	0,6042
620	-0,0686	-0,1210	-0,1425	-0,1341	0,6616	0,7167	0,7741	0,5986	0,5477	0,5954
625	-0,0677	-0,1204	-0,1413	-0,1326	0,6538	0,7089	0,7640	0,5911	0,5406	0,5876
630	-0,0665	-0,1195	-0,1404	-0,1319	0,6454	0,7000	0,7543	0,5837	0,5335	0,5791
635	-0,0647	-0,1188	-0,1387	-0,1327	0,6376	0,6924	0,7447	0,5761	0,5268	0,5711
640	-0,0631	-0,1180	-0,1377	-0,1321	0,6298	0,6842	0,7359	0,5684	0,5203	0,5631
645	-0,0617	-0,1172	-0,1369	-0,1317	0,6214	0,6753	0,7269	0,5604	0,5140	0,5553
650	-0,0612	-0,1166	-0,1355	-0,1318	0,6139	0,6671	0,7182	0,5535	0,5072	0,5476
655	-0,0608	-0,1155	-0,1338	-0,1301	0,6066	0,6590	0,7084	0,5462	0,5000	0,5398
660	-0,0600	-0,1151	-0,1325	-0,1286	0,5996	0,6513	0,6993	0,5382	0,4929	0,5321
665	-0,0591	-0,1143	-0,1315	-0,1281	0,5932	0,6426	0,6906	0,5301	0,4855	0,5247
670	-0,0584	-0,1137	-0,1302	-0,1271	0,5870	0,6342	0,6812	0,5216	0,4782	0,5162
675	-0,0577	-0,1129	-0,1302	-0,1260	0,5822	0,6257	0,6719	0,5133	0,4705	0,5083

Tabulka 9: Měření absorpance v závislosti na dávce IZ při různých vlnových délkách pro moč s přidavkem barevného indikátoru FeSO₄ · 7 H₂O - experiment březen 2010

λ [nm]	D [Gy]							
	0	0	1	1	3	3	5	5
400	0,0060	0,0323	0,1306	-0,0131	0,0201	0,3414	0,2857	0,3299
405	0,0071	0,0296	0,1241	-0,0109	0,0260	0,3294	0,2801	0,3224
410	0,0080	0,0271	0,1181	-0,0092	0,0308	0,3184	0,2731	0,3147
415	0,0084	0,0245	0,1123	-0,0080	0,0348	0,3081	0,2669	0,3076
420	0,0083	0,0226	0,1069	-0,0070	0,0381	0,2980	0,2599	0,2999
425	0,0080	0,0208	0,1029	-0,0067	0,0395	0,2893	0,2539	0,2928
430	0,0073	0,0195	0,0991	-0,0063	0,0394	0,2815	0,2475	0,2856
435	0,0063	0,0186	0,0960	-0,0062	0,0385	0,2747	0,2417	0,2791
440	0,0056	0,0177	0,0933	-0,0065	0,0377	0,2684	0,2362	0,2729
445	0,0053	0,0168	0,0910	-0,0068	0,0371	0,2621	0,2309	0,2670
450	0,0051	0,0161	0,0889	-0,0069	0,0367	0,2567	0,2263	0,2619
455	0,0051	0,0153	0,0869	-0,0071	0,0363	0,2509	0,2215	0,2565
460	0,0051	0,0145	0,0848	-0,0069	0,0364	0,2458	0,2171	0,2515
465	0,0050	0,0136	0,0827	-0,0069	0,0367	0,2406	0,2131	0,2466
470	0,0049	0,0128	0,0804	-0,0066	0,0369	0,2352	0,2086	0,2416
475	0,0048	0,0121	0,0784	-0,0067	0,0368	0,2304	0,2050	0,2371
480	0,0051	0,0120	0,0766	-0,0061	0,0368	0,2259	0,2007	0,2324
485	0,0049	0,0115	0,0748	-0,0060	0,0366	0,2221	0,1975	0,2284
490	0,0049	0,0112	0,0730	-0,0059	0,0364	0,2178	0,1938	0,2240
495	0,0049	0,0109	0,0713	-0,0057	0,0361	0,2138	0,1903	0,2200
500	0,0049	0,0106	0,0698	-0,0055	0,0360	0,2104	0,1872	0,2165
505	0,0050	0,0104	0,0683	-0,0053	0,0358	0,2069	0,1840	0,2129
510	0,0050	0,0103	0,0669	-0,0052	0,0357	0,2038	0,1812	0,2095
515	0,0050	0,0100	0,0655	-0,0051	0,0355	0,2005	0,1784	0,2062
520	0,0050	0,0097	0,0641	-0,0051	0,0353	0,1972	0,1755	0,2030
525	0,0050	0,0094	0,0628	-0,0050	0,0351	0,1942	0,1728	0,1999
530	0,0049	0,0091	0,0615	-0,0051	0,0349	0,1912	0,1701	0,1969
535	0,0048	0,0088	0,0604	-0,0050	0,0347	0,1884	0,1676	0,1941
540	0,0048	0,0086	0,0591	-0,0050	0,0344	0,1857	0,1650	0,1913
545	0,0047	0,0084	0,0580	-0,0050	0,0341	0,1827	0,1624	0,1884
550	0,0046	0,0081	0,0570	-0,0050	0,0338	0,1801	0,1601	0,1859
555	0,0045	0,0079	0,0559	-0,0050	0,0334	0,1774	0,1576	0,1833
560	0,0044	0,0078	0,0550	-0,0050	0,0331	0,1750	0,1555	0,1810
565	0,0043	0,0076	0,0540	-0,0050	0,0327	0,1726	0,1534	0,1785
570	0,0042	0,0073	0,0531	-0,0050	0,0323	0,1700	0,1513	0,1761
575	0,0040	0,0070	0,0520	-0,0051	0,0318	0,1673	0,1491	0,1736
580	0,0039	0,0067	0,0511	-0,0052	0,0315	0,1648	0,1471	0,1712
585	0,0038	0,0065	0,0503	-0,0052	0,0311	0,1627	0,1454	0,1690
590	0,0037	0,0063	0,0494	-0,0053	0,0306	0,1603	0,1437	0,1668
595	0,0034	0,0061	0,0486	-0,0053	0,0302	0,1580	0,1419	0,1645
600	0,0033	0,0060	0,0478	-0,0053	0,0298	0,1559	0,1402	0,1623
605	0,0031	0,0057	0,0469	-0,0054	0,0294	0,1538	0,1383	0,1602
610	0,0030	0,0055	0,0461	-0,0054	0,0291	0,1519	0,1366	0,1581
615	0,0028	0,0053	0,0454	-0,0054	0,0287	0,1499	0,1350	0,1560
620	0,0026	0,0051	0,0446	-0,0055	0,0283	0,1479	0,1333	0,1540
625	0,0024	0,0050	0,0439	-0,0055	0,0280	0,1460	0,1317	0,1521
630	0,0023	0,0048	0,0432	-0,0055	0,0276	0,1441	0,1299	0,1502
635	0,0022	0,0046	0,0425	-0,0054	0,0273	0,1424	0,1280	0,1485
640	0,0021	0,0045	0,0419	-0,0054	0,0270	0,1406	0,1265	0,1468
645	0,0020	0,0044	0,0412	-0,0053	0,0266	0,1389	0,1249	0,1451
650	0,0019	0,0043	0,0406	-0,0053	0,0264	0,1373	0,1234	0,1435
655	0,0018	0,0042	0,0401	-0,0053	0,0261	0,1358	0,1221	0,1418
660	0,0018	0,0041	0,0395	-0,0052	0,0259	0,1343	0,1205	0,1401
665	0,0018	0,0041	0,0390	-0,0051	0,0256	0,1328	0,1190	0,1386
670	0,0017	0,0040	0,0384	-0,0051	0,0254	0,1312	0,1175	0,1368
675	0,0017	0,0039	0,0379	-0,0050	0,0251	0,1298	0,1162	0,1354

Tabulka 9a: Měření absorbance v závislosti na dávce IZ při různých vlnových délkách pro moč s přidavkem barevného indikátoru FeSO₄ · 7 H₂O - experiment březen 2010

λ [nm]	D [Gy]					
	10	10	15	15	20	20
400	0,2647	0,2796	0,1556	0,2125	0,1312	0,1497
405	0,2588	0,2731	0,1601	0,2183	0,1400	0,1583
410	0,2527	0,2664	0,1637	0,2211	0,1465	0,1647
415	0,2471	0,2596	0,1662	0,2233	0,1520	0,1697
420	0,2406	0,2527	0,1673	0,2236	0,1551	0,1728
425	0,2353	0,2464	0,1665	0,2221	0,1555	0,1733
430	0,2291	0,2402	0,1638	0,2187	0,1544	0,1719
435	0,2232	0,2347	0,1601	0,2139	0,1513	0,1685
440	0,2180	0,2289	0,1564	0,2089	0,1473	0,1642
445	0,2126	0,2233	0,1532	0,2044	0,1435	0,1601
450	0,2082	0,2185	0,1499	0,2002	0,1400	0,1565
455	0,2033	0,2133	0,1469	0,1961	0,1368	0,1530
460	0,1991	0,2087	0,1449	0,1931	0,1350	0,1508
465	0,1951	0,2042	0,1431	0,1907	0,1338	0,1492
470	0,1909	0,1998	0,1412	0,1882	0,1328	0,1475
475	0,1870	0,1954	0,1394	0,1854	0,1312	0,1457
480	0,1837	0,1913	0,1379	0,1825	0,1301	0,1438
485	0,1804	0,1877	0,1359	0,1801	0,1284	0,1421
490	0,1768	0,1840	0,1340	0,1772	0,1267	0,1400
495	0,1735	0,1805	0,1320	0,1747	0,1251	0,1381
500	0,1707	0,1774	0,1304	0,1722	0,1236	0,1365
505	0,1679	0,1742	0,1289	0,1699	0,1221	0,1349
510	0,1654	0,1712	0,1274	0,1677	0,1209	0,1333
515	0,1627	0,1684	0,1258	0,1655	0,1196	0,1318
520	0,1601	0,1655	0,1242	0,1633	0,1181	0,1302
525	0,1577	0,1628	0,1228	0,1612	0,1168	0,1289
530	0,1554	0,1601	0,1213	0,1590	0,1155	0,1275
535	0,1530	0,1576	0,1200	0,1571	0,1142	0,1262
540	0,1507	0,1551	0,1187	0,1552	0,1129	0,1248
545	0,1485	0,1527	0,1172	0,1533	0,1114	0,1233
550	0,1465	0,1505	0,1159	0,1514	0,1102	0,1220
555	0,1444	0,1482	0,1146	0,1494	0,1088	0,1204
560	0,1424	0,1461	0,1133	0,1476	0,1075	0,1191
565	0,1403	0,1442	0,1121	0,1459	0,1063	0,1176
570	0,1382	0,1420	0,1106	0,1438	0,1050	0,1162
575	0,1361	0,1399	0,1092	0,1420	0,1037	0,1147
580	0,1341	0,1379	0,1077	0,1402	0,1023	0,1134
585	0,1324	0,1361	0,1065	0,1384	0,1011	0,1122
590	0,1306	0,1342	0,1052	0,1367	0,0998	0,1109
595	0,1288	0,1323	0,1038	0,1350	0,0987	0,1096
600	0,1271	0,1307	0,1027	0,1332	0,0976	0,1084
605	0,1256	0,1289	0,1013	0,1318	0,0964	0,1071
610	0,1240	0,1274	0,1001	0,1304	0,0955	0,1060
615	0,1224	0,1258	0,0989	0,1290	0,0945	0,1049
620	0,1206	0,1242	0,0977	0,1275	0,0935	0,1037
625	0,1188	0,1227	0,0966	0,1263	0,0926	0,1027
630	0,1172	0,1212	0,0955	0,1249	0,0917	0,1018
635	0,1156	0,1197	0,0945	0,1236	0,0909	0,1008
640	0,1140	0,1183	0,0935	0,1223	0,0899	0,0998
645	0,1126	0,1169	0,0923	0,1210	0,0890	0,0989
650	0,1115	0,1157	0,0913	0,1197	0,0883	0,0980
655	0,1101	0,1144	0,0903	0,1186	0,0875	0,0971
660	0,1088	0,1132	0,0893	0,1174	0,0866	0,0962
665	0,1076	0,1120	0,0884	0,1163	0,0858	0,0952
670	0,1063	0,1107	0,0873	0,1151	0,0851	0,0944
675	0,1052	0,1095	0,0864	0,1138	0,0843	0,0936

Tabulka 10: Měření absorbance v závislosti na dávce IZ při různých vlnových délkách pro moč s přidavkem barevného indikátoru FeSO₄ · 7 H₂O - experiment duben 2010

λ [nm]	D [Gy]							
	0	0	3	3	5	5	7	7
400	0,0245	0,0447	-0,0170	-0,0444	0,0314	-0,0584	-0,0127	-0,0900
405	0,0232	0,0412	-0,0154	-0,0449	0,0279	-0,0613	-0,0170	-0,0932
410	0,0219	0,0374	-0,0153	-0,0441	0,0245	-0,0630	-0,0190	-0,0955
415	0,0208	0,0349	-0,0142	-0,0435	0,0214	-0,0646	-0,0215	-0,0995
420	0,0195	0,0323	-0,0135	-0,0435	0,0202	-0,0656	-0,0221	-0,1028
425	0,0183	0,0309	-0,0133	-0,0424	0,0191	-0,0653	-0,0227	-0,1052
430	0,0176	0,0300	-0,0133	-0,0418	0,0197	-0,0642	-0,0220	-0,1076
435	0,0167	0,0290	-0,0135	-0,0410	0,0200	-0,0632	-0,0211	-0,1082
440	0,0156	0,0286	-0,0130	-0,0404	0,0207	-0,0621	-0,0201	-0,1087
445	0,0144	0,0279	-0,0120	-0,0397	0,0210	-0,0619	-0,0195	-0,1083
450	0,0132	0,0274	-0,0111	-0,0393	0,0215	-0,0609	-0,0191	-0,1083
455	0,0124	0,0269	-0,0105	-0,0390	0,0213	-0,0604	-0,0184	-0,1088
460	0,0116	0,0263	-0,0100	-0,0388	0,0214	-0,0597	-0,0177	-0,1092
465	0,0111	0,0259	-0,0098	-0,0388	0,0217	-0,0591	-0,0163	-0,1096
470	0,0107	0,0254	-0,0098	-0,0390	0,0218	-0,0589	-0,0155	-0,1094
475	0,0103	0,0248	-0,0098	-0,0392	0,0220	-0,0592	-0,0142	-0,1095
480	0,0101	0,0246	-0,0094	-0,0394	0,0230	-0,0588	-0,0137	-0,1091
485	0,0100	0,0246	-0,0092	-0,0392	0,0228	-0,0580	-0,0129	-0,1083
490	0,0097	0,0241	-0,0092	-0,0390	0,0229	-0,0580	-0,0124	-0,1080
495	0,0094	0,0236	-0,0092	-0,0388	0,0236	-0,0575	-0,0124	-0,1075
500	0,0091	0,0229	-0,0092	-0,0391	0,0231	-0,0577	-0,0118	-0,1085
505	0,0087	0,0221	-0,0093	-0,0394	0,0232	-0,0578	-0,0117	-0,1087
510	0,0084	0,0216	-0,0092	-0,0397	0,0228	-0,0582	-0,0121	-0,1090
515	0,0081	0,0211	-0,0093	-0,0396	0,0225	-0,0586	-0,0125	-0,1089
520	0,0079	0,0206	-0,0092	-0,0396	0,0222	-0,0586	-0,0126	-0,1092
525	0,0077	0,0201	-0,0092	-0,0395	0,0218	-0,0591	-0,0127	-0,1090
530	0,0075	0,0198	-0,0091	-0,0395	0,0217	-0,0592	-0,0128	-0,1092
535	0,0073	0,0194	-0,0091	-0,0394	0,0215	-0,0593	-0,0132	-0,1093
540	0,0071	0,0191	-0,0090	-0,0393	0,0207	-0,0595	-0,0135	-0,1100
545	0,0069	0,0187	-0,0090	-0,0393	0,0205	-0,0594	-0,0133	-0,1102
550	0,0067	0,0185	-0,0089	-0,0389	0,0207	-0,0593	-0,0131	-0,1105
555	0,0064	0,0181	-0,0090	-0,0387	0,0203	-0,0592	-0,0134	-0,1106
560	0,0064	0,0177	-0,0091	-0,0386	0,0198	-0,0595	-0,0134	-0,1108
565	0,0060	0,0174	-0,0091	-0,0386	0,0192	-0,0591	-0,0133	-0,1108
570	0,0060	0,0169	-0,0090	-0,0377	0,0178	-0,0589	-0,0142	-0,1104
575	0,0058	0,0165	-0,0092	-0,0381	0,0166	-0,0587	-0,0145	-0,1109
580	0,0056	0,0161	-0,0092	-0,0378	0,0162	-0,0582	-0,0147	-0,1108
585	0,0054	0,0157	-0,0093	-0,0375	0,0158	-0,0584	-0,0156	-0,1109
590	0,0052	0,0152	-0,0093	-0,0374	0,0155	-0,0583	-0,0155	-0,1103
595	0,0049	0,0148	-0,0093	-0,0374	0,0148	-0,0587	-0,0149	-0,1103
600	0,0046	0,0144	-0,0094	-0,0370	0,0142	-0,0588	-0,0143	-0,1100
605	0,0044	0,0140	-0,0094	-0,0369	0,0140	-0,0584	-0,0141	-0,1093
610	0,0042	0,0136	-0,0094	-0,0369	0,0138	-0,0581	-0,0131	-0,1087
615	0,0040	0,0132	-0,0095	-0,0368	0,0133	-0,0575	-0,0117	-0,1081
620	0,0037	0,0127	-0,0095	-0,0369	0,0132	-0,0572	-0,0110	-0,1076
625	0,0035	0,0123	-0,0096	-0,0370	0,0133	-0,0568	-0,0102	-0,1072
630	0,0033	0,0119	-0,0096	-0,0370	0,0138	-0,0565	-0,0094	-0,1070
635	0,0032	0,0115	-0,0097	-0,0373	0,0147	-0,0560	-0,0094	-0,1066
640	0,0031	0,0112	-0,0097	-0,0374	0,0151	-0,0554	-0,0090	-0,1063
645	0,0029	0,0110	-0,0097	-0,0372	0,0154	-0,0548	-0,0094	-0,1053
650	0,0030	0,0107	-0,0097	-0,0369	0,0154	-0,0545	-0,0095	-0,1055
655	0,0029	0,0104	-0,0097	-0,0367	0,0154	-0,0543	-0,0094	-0,1054
660	0,0029	0,0100	-0,0097	-0,0366	0,0157	-0,0538	-0,0091	-0,1062
665	0,0029	0,0097	-0,0097	-0,0365	0,0158	-0,0534	-0,0091	-0,1063
670	0,0027	0,0093	-0,0097	-0,0366	0,0160	-0,0537	-0,0092	-0,1067
675	0,0026	0,0090	-0,0098	-0,0365	0,0160	-0,0536	-0,0086	-0,1073

Tabulka 10a: Měření absorbance v závislosti na dávce IZ při různých vlnových délkách pro moč s přidavkem barevného indikátoru FeSO₄ · 7 H₂O - experiment duben 2010

λ [nm]	D [Gy]					
	10	10	13	13	15	15
400	-0,0243	-0,0334	-0,1527	-0,2412	-0,0638	-0,0880
405	-0,0290	-0,0407	-0,1314	-0,2065	-0,0506	-0,0728
410	-0,0335	-0,0470	-0,1158	-0,1807	-0,0412	-0,0633
415	-0,0396	-0,0538	-0,1044	-0,1612	-0,0347	-0,0571
420	-0,0481	-0,0597	-0,0958	-0,1466	-0,0312	-0,0537
425	-0,0541	-0,0640	-0,0916	-0,1386	-0,0304	-0,0527
430	-0,0600	-0,0682	-0,0899	-0,1336	-0,0318	-0,0540
435	-0,0656	-0,0710	-0,0890	-0,1312	-0,0333	-0,0561
440	-0,0692	-0,0730	-0,0877	-0,1280	-0,0334	-0,0566
445	-0,0696	-0,0730	-0,0825	-0,1198	-0,0309	-0,0540
450	-0,0710	-0,0733	-0,0760	-0,1119	-0,0285	-0,0510
455	-0,0719	-0,0736	-0,0720	-0,1059	-0,0270	-0,0497
460	-0,0742	-0,0744	-0,0693	-0,1018	-0,0262	-0,0493
465	-0,0763	-0,0756	-0,0677	-0,0996	-0,0263	-0,0499
470	-0,0783	-0,0761	-0,0668	-0,0977	-0,0270	-0,0505
475	-0,0807	-0,0769	-0,0656	-0,0972	-0,0276	-0,0515
480	-0,0798	-0,0766	-0,0629	-0,0963	-0,0279	-0,0515
485	-0,0802	-0,0758	-0,0612	-0,0948	-0,0283	-0,0514
490	-0,0813	-0,0752	-0,0604	-0,0936	-0,0297	-0,0518
495	-0,0832	-0,0755	-0,0622	-0,0940	-0,0325	-0,0535
500	-0,0883	-0,0761	-0,0649	-0,0952	-0,0363	-0,0571
505	-0,0922	-0,0770	-0,0675	-0,0972	-0,0403	-0,0612
510	-0,0957	-0,0778	-0,0699	-0,0982	-0,0433	-0,0639
515	-0,0978	-0,0776	-0,0719	-0,0989	-0,0454	-0,0656
520	-0,0998	-0,0779	-0,0737	-0,0995	-0,0479	-0,0672
525	-0,1004	-0,0777	-0,0753	-0,0998	-0,0497	-0,0683
530	-0,1015	-0,0778	-0,0764	-0,1012	-0,0512	-0,0696
535	-0,1029	-0,0783	-0,0769	-0,1013	-0,0532	-0,0708
540	-0,1031	-0,0793	-0,0781	-0,1018	-0,0554	-0,0724
545	-0,1039	-0,0800	-0,0801	-0,1027	-0,0569	-0,0736
550	-0,1050	-0,0810	-0,0814	-0,1032	-0,0590	-0,0750
555	-0,1053	-0,0823	-0,0824	-0,1031	-0,0604	-0,0769
560	-0,1048	-0,0829	-0,0837	-0,1037	-0,0616	-0,0783
565	-0,1051	-0,0830	-0,0837	-0,1044	-0,0630	-0,0798
570	-0,1042	-0,0839	-0,0848	-0,1055	-0,0641	-0,0809
575	-0,1040	-0,0844	-0,0858	-0,1055	-0,0656	-0,0814
580	-0,1039	-0,0851	-0,0866	-0,1058	-0,0663	-0,0819
585	-0,1037	-0,0858	-0,0873	-0,1059	-0,0668	-0,0822
590	-0,1028	-0,0861	-0,0884	-0,1063	-0,0673	-0,0824
595	-0,1019	-0,0867	-0,0886	-0,1060	-0,0674	-0,0821
600	-0,1013	-0,0870	-0,0892	-0,1059	-0,0674	-0,0818
605	-0,1010	-0,0866	-0,0893	-0,1053	-0,0676	-0,0814
610	-0,1013	-0,0871	-0,0893	-0,1048	-0,0679	-0,0810
615	-0,1012	-0,0874	-0,0891	-0,1046	-0,0678	-0,0805
620	-0,1011	-0,0872	-0,0888	-0,1037	-0,0684	-0,0806
625	-0,1010	-0,0869	-0,0883	-0,1034	-0,0685	-0,0804
630	-0,1006	-0,0877	-0,0878	-0,1033	-0,0686	-0,0804
635	-0,1002	-0,0879	-0,0880	-0,1025	-0,0684	-0,0805
640	-0,1009	-0,0884	-0,0887	-0,1025	-0,0684	-0,0801
645	-0,1011	-0,0887	-0,0895	-0,1023	-0,0687	-0,0800
650	-0,1008	-0,0891	-0,0899	-0,1022	-0,0684	-0,0794
655	-0,1017	-0,0893	-0,0904	-0,1020	-0,0684	-0,0793
660	-0,1014	-0,0895	-0,0906	-0,1017	-0,0681	-0,0791
665	-0,1018	-0,0897	-0,0904	-0,1017	-0,0679	-0,0796
670	-0,1032	-0,0903	-0,0901	-0,1017	-0,0675	-0,0796
675	-0,1046	-0,0901	-0,0897	-0,1015	-0,0671	-0,0796

