

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Zdravotně sociální fakulta

**SROVNÁNÍ ZNALOSTÍ Z RADIOLOGICKÉ FYZIKY U LAICKÉ
A ODBORNÉ VEŘEJNOSTI**

Bakalářská práce

Autorka: Miroslava Bartoňová

Studijní program: Specializace ve zdravotnictví

Studijní obor: Radiologický asistent

Vedoucí práce: Doc.RNDr.Přemysl Záškodný, CSc.

Datum odevzdání práce: 2.5.2012

ABSTRAKT

Srovnání znalostí z radiologické fyziky u laické odborné veřejnosti

Ke splnění základního cíle bakalářské práce bylo zapotřebí nejdříve vytvořit model struktury radiologické fyziky ve vzdělávání radiologických asistentů, na základě modelu vytvořit dotazník, který byl následně aplikován u respondentů laické a odborné veřejnosti. U laické veřejnosti byla pak ověřována existence normální rozdělení znalostí, zatímco u znalostí veřejnosti odborné existence rozdělení Poissonova. Rovněž byl měřen rozdíl mezi znalostmi laiků a odborníků. Nezbytným předpokladem pro uskutečnění popsaného postupu byla analýza přípravy radiologických asistentů v České republice a v zahraničí.

K dosažení vymezeného základního cíle byly vytyčeny 3 hypotézy, jejichž ověřování probíhalo na základě použití metod matematické a deskriptivní statistiky. Formulované hypotézy byly následující:

- H1. Teoretické rozdělení znalostí u laické veřejnosti bude blízké normálnímu rozdělení.
- H2. Teoretické rozdělení znalostí u odborné veřejnosti nebude mít normální rozdělení.
- H3. Srovnání znalostí u obou veřejností pomocí parametrických testů povede k přijetí alternativní hypotézy.

Všechny 3 hypotézy byly ověřeny a pozitivně přijaty. K jejich ověření bylo používáno především testování neparametrických a parametrických hypotéz.

Dobrym východiskem se stalo zjištění, že struktura radiologické fyziky pro radiologické asistenty odpovídá struktuře radiologické fyziky používané v zahraničí při přípravě odborníků Radiologic Technologists, Diagnostic Radiographers, Medical Imaging Technologists, Therapy Radiographers nebo Radiation Therapists. Tento poznatek byl zjištěn především analýzou kurikula univerzit v USA, Velké Británii a australských univerzit, z tohoto hlediska stoupla i validita zkonstruovaného dotazníku.

Je třeba poznamenat, že dotazník byl konstruován z hlediska přípravy radiologických asistentů, v níž má radiologická fyzika pouze podpůrnou roli.

ABSTRACT

Comparision of knowledge from radiological physics at laical and expert community

To accomplish the fundamental goal of the bachelor thesis was needed to create a structure of radiological physics model in education to radiological assistants. Creation of this model questionnaire was then used on respondents of the laic expert public. It was verified as a normal existence of knowledge at the laic public while the existence of the knowledge at expert public was Poisson's separation. There was measured the difference between the laics' and the experts' knowledge. Essential condition for realization and description of the procedure was the analysis of radiological assistants' preparation in the Czech Republic and abroad.

To reach the fundamental goal were set up three hypotheses:

H1. Theoretical division of knowledge at the laic public will be closer to normal division.

H2. Theoretical division of knowledge at the expert public will not have normal division..

H3. Compare of knowledge at both public with the help of parametrical tests will lead to acceptance of alternative hypothesis.

The entire three hypotheses were checked and positively accepted. For their verification it was mainly used, testing non-parametrical and parametrical hypotheses.

The finding that the radiological physics structure for radiological assistants complies with the radiological physics structure used abroad for preparation of experts like radiological technologists, diagnostic radiographers, the medical imaging technologists, the therapy radiographers or the radiation therapists, was a good solution.

This discovery was primarily found out from the analysis of curriculum at universities in the USA, Great Britain and Australian universities. From this point the validity of this constructive questionnaire rose.

It needs to be mentioned that this questionnaire was made in terms to prepare radiological assistants in which the radiological physics has an only supportive role.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem 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 – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných fakultou – elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích, 2.5. 2012

.....

Miroslava Bartoňová

Poděkování:

Na této stránce bych ráda poděkovala Doc.RNDr. Přemyslu Záškodnému, CSc., vedoucímu mé bakalářské práce, za trpělivost, zdroj inspirace, laskavý přístup, ochotu, za cenné rady a připomínky, které mi v průběhu studia i zpracování tématu poskytnul.

Obsah

Úvod.....	8
1. Současný stav.....	12
1.1 Místo fyziky v radiologickém vzdělávání.....	12
1.1.1 Kurikulární proces fyziky.....	12
1.1.2 Model profilu absolventa.....	15
1.1.3 Studium v České republice.....	18
1.1.4 Vzdělávání ve světě – Radiologic technologist.....	20
1.2 Struktura radiologické fyziky.....	25
1.2.1 Elementární částice.....	26
1.2.2 Zdroje ionizujícího záření, interakce ionizujícího záření s prostředím....	27
1.2.3 Fyzikální popis radiodiagnostiky a radioterapie.....	30
1.2.4. Fyzikální popis zobrazovacích postupů.....	32
1.3 Statistika ve výzkumu.....	34
1.3.1 Popis vybraných metod.....	34
1.3.2 Neparametrické testování.....	37
1.3.3 Rozšíření neparametrického testování.....	38
1.3.4 Parametrické testování.....	44
1.3.5 Rozšíření parametrického testování.....	46
2. Cíl práce a hypotézy.....	49
2.1 Cíl práce.....	49
2.2 Hypotézy.....	49
3. Metodika.....	50
3.1 Postup ověřování hypotéz na základě metod deskriptivní statistiky.....	50
3.2 Postup ověřování hypotéz na základě metod matematické statistiky.....	53
3.2.1 Neparametrické testování.....	53
3.2.2 Parametrické testování.....	53
3.3 Konstrukce dotazníku a jeho zpracování.....	54
4. Výsledky.....	55
4.1 Konstrukce dotazníku.....	55

4.2 Výsledky statistického šetření.....	58
4.2.1 <i>Statistické šetření znalostí z radiologické fyziky u laické veřejnosti.....</i>	<i>58</i>
4.2.2 <i>Statistické šetření znalostí z radiologické fyziky u odborné veřejnosti.....</i>	<i>62</i>
4.3 Dvojvýběrové parametrické testování – dvojvýběrový t-test.....	67
5. Diskuze.....	69
5.1 Rozbor jednotlivých otázek dotazníku.....	69
5.2 Diskuse k hypotézám H1 a H2.....	70
5.3 Diskuse k hypotéze H3.....	71
5.4 Diskuse k místu radiologické fyziky v přípravě radiologických asistentů na českých a zahraničních vysokých školách.....	72
6. Závěr.....	73
7. Použitá literatura.....	75
8. Klíčová slova.....	80

Úvod

Bakalářská práce řeší problém srovnání znalostí z radiologické fyziky u laické a odborné veřejnosti. Řešení tohoto problému vyžaduje vymezit několik základních pojmů. Mezi ně především patří:

- a) Vymezit pojem laické veřejnosti a odborné veřejnosti.
- b) Vymezit strukturu radiologické fyziky ve vazbě na vzdělávání radiologických asistentů.
- c) Vybrat komparativní metodu srovnávání znalostí z radiologické fyziky u laické a odborné veřejnosti.

Ad a) Výběr odborné veřejnosti byl spojen se spoluprací se Společností radiologických asistentů – mezi odbornou veřejnost byli zařazeni radiologičtí asistenti, kteří absolvovali kurzy radiologické fyziky organizované Společností radiologických asistentů. Reprezentativní výběr laické veřejnosti přesahoval možnosti autorky bakalářské práce. Proto byl reprezentativní vzorek laické veřejnosti nahrazen respondenty ze sociálního okolí autorky bakalářské práce. Tento nereprezentativní vzorek obsahoval 50 respondentů, jejichž společným rysem byla absence profesionálního vzdělání v radiologické fyzice.

Ad b) Vymezit strukturu radiologické fyziky umožnila analýza místa fyziky a radiologické fyziky ve vzdělávání radiologických asistentů v České republice a ve vzdělávání Radiologic Technologists ve světě. K tomu bylo nezbytné provést hlubší analýzu českých a světových univerzit. Teoretickým východiskem se stala teorie kurikulárního procesu radiologické fyziky, která popisuje zprostředkování vědeckého obsahu radiologické fyziky studentům – budoucím radiologickým asistentům. Kurikulární proces je tvořen posloupností variantních forem kurikula, z těchto variantních forem kurikula bylo vybráno konceptuální a zamýšlené kurikulum jako popis vědeckého obsahu radiologické fyziky ve formě, která je zpřístupněna studentům radiologické fyziky v rámci přípravy radiologických asistentů. Vhodný model vybrané

struktury byl pak vzat jako podklad pro konstrukci dotazníku spojeného s některými vybranými otázkami radiologické fyziky – opět ve vazbě na přípravu radiologických asistentů.

Ad c) Komparativní metoda srovnávání znalostí z radiologické fyziky u laické a odborné veřejnosti byla spojena s metodami deskriptivní a matematické statistiky. Aplikace těchto metod se promítla do konstrukce dotazníkového šetření. Základní ověřovanou domněnkou bylo zkoumání, že znalosti laické veřejnosti by měly mít teoretické rozdělení blízké normálnímu rozdělení. Naopak, znalosti odborné veřejnosti by měly mít teoretické rozdělení vzdálené normálnímu rozdělení – „neznalosti“ by měly být „vzácnými případy“ typickými pro teoretické rozdělení „vzácných případů“, kterým je rozdělení Poissonovo. Kromě této metody ověřování neparametrických hypotéz neparametrickým testováním byla zvolena typická komparativní metoda ověřování parametrických hypotéz – dvojitý t-test. Aplikace tohoto testu předpokládala stejná teoretická rozdělení znalostí laické i odborné veřejnosti – přes domněnku poissonovského rozdělení u odborné veřejnosti bylo možné předpokládat, že v oblasti vysokých počtů bodů u aplikovaných dotazníků je i u odborné veřejnosti předpokládat existenci normálního rozdělení.

Vymezení tří potřebných základních pojmů ad a), ad b) a ad c) umožnilo autorce bakalářské práce promítnout budoucí formulaci cílů a hypotéz práce a budoucí ověřování hypotéz do následujícího postupu dílčích prací:

- Současný stav

V rámci zkoumání současného stavu je řešením zkoumaného problému potvrdit místo radiologické fyziky v systému přípravy radiologických asistentů, charakterizovat toto místo data miningovým modelem struktury radiologické fyziky, popsat používaný stav neparametrického a parametrického testování. Data miningový model by měl být modelem konceptuálního a zamýšleného kurikula (sdělitelného vědeckého systému přizpůsobeného studentům – budoucím radiologickým asistentům) – ve smyslu teorie

edukačního data miningu (data miningem se ve smyslu současných teorií data miningu myslí výběr podstatných faktů, informací a poznatků a jejich uvedení do strukturálních souvislostí). Nezbytnou součástí zkoumání současného stavu je také zjištění, zda komparace laické a odborné veřejnosti již byla prováděna a k jakým výsledkům dospěla.

- Cíle práce, hypotézy práce

Vymezení současného stavu umožní přizpůsobit cíle a hypotézy práce, formulované v podkladech k bakalářské práci, zúženému řešení zkoumaného problému. Bylo by zbytečné opakovat již dosažené výsledky.

- Metodika práce

Metodika práce vymezí postup ověřování znalostí laické veřejnosti z radiologické fyziky prostřednictvím neparametrického testu normality a postup ověřování znalostí odborné veřejnosti z radiologické fyziky prostřednictvím neparametrického testu normality i prostřednictvím neparametrického testu na Poissonovo rozdělení „vzácných případů“. Integrální součástí metodiky práce bude také postup konečného srovnání znalostí laické a odborné veřejnosti z radiologické fyziky prostřednictvím parametrického dvojvýběrového t-testu.

- Výsledky práce

Realizovaná metodika práce umožní charakterizovat přijetí či nepotvrzení ověřovaných hypotéz práce, umožní analýzu jednotlivých otázek dotazníkového šetření z hlediska procentuální úspěšnosti nebo nedostatečnosti.

- Diskuse výsledků práce

Získané výsledky, přehledně uvedené a rozříděné, umožní diskutovat rozdíly ve znalostech laické a odborné veřejnosti z radiologické fyziky, diskutovat rozdíly ve znalostech a také diskutovat, prostřednictvím analýzy jednotlivých otázek slabá a silná místa ve znalostech obou testovaných statistických souborů. Provedená diskuse

umožní navrhnout případná potřebná doplnění v rámci projektového kurikula (v rámci studijních plánů).

· Závěr

Závěry obsahují shrnutí výsledků ověřování hypotéz, přehled přínosů práce a případné návrhy na pokračující práce.

1. Současný stav

1.1 Místo fyziky v radiologickém vzdělávání

1.1.1 Kurikulární proces fyziky

Předmětem didaktiky fyziky v komunikačním pojetí je didaktická komunikace fyziky.

Didaktická komunikace fyziky je proces, spočívající v předávání a zprostředkování fyzikálního poznání do vědomí jednotlivců, kteří se na vzniku daného poznání nepodíleli, tím se dostává i do vědomí společnosti. Tento proces zahrnuje nejen vzdělávání a výuku na všech úrovních školské soustavy, nýbrž i celoživotní vzdělávání v různých institucích a také přenos informace z fyzikálních věd směrem do celé společnosti. (1), (3)

Fyzikální poznatek prodělává během didaktické komunikace několik výrazných transformací. Didaktika fyziky sleduje cestu předávání fyzikálního poznání a prochází tak odlišnými oblastmi myšlení, zkoumání a vyjadřování, které zhruba odpovídají transformacím fyzikálního poznatku a jejich vstupům a výstupům. Jsou to základní problémové oblasti didaktiky fyziky.

Základní problémové oblasti didaktiky fyziky lze uvést v následujícím pořadí: vědecký systém fyziky, didaktický systém fyziky, výukový projekt fyziky, edukační proces – proces výuky fyziky, výsledky výuky fyziky a jejich hodnocení, společenské uplatnění fyzikálního vzdělání. (1)

Součástí každé problémové oblasti je také odpovídající forma pojmově-poznatkového systému.

Fyzikální pojmově-poznatkové systémy procházejí během didaktické komunikace fyziky několika různými tvary a tyto tvary získávají v transformacích T^1 až T^5 didaktické komunikace fyziky.

V rámci teorie didaktické komunikace uvádím pořadí transformací poznatků z vědeckého do didaktického jazyka, který je společný učitelům i studentům.

Přehled transformací:

Transformace T^1 (vstup→výstup) – Komunikační transformace

Vstup T^1 : Vědecký systém fyziky → Výstup T^1 : Sdělitelný vědecký systém fyziky
 Transformace T^2 (vstup→výstup) – Obsahová transformace
 Vstup T^2 : Sdělitelný vědecký systém fyziky → Výstup T^2 : Didaktický systém fyziky a jeho učivo
 Transformace T^3 (vstup→výstup) – Kurikulární transformace
 Vstup T^3 : Didaktický systém fyziky a jeho učivo → Výstup T^3 : Výukový projekt fyziky a jeho učebnice
 Transformace T^4 (vstup→výstup) – Edukační transformace
 Vstup T^4 : Výukový projekt fyziky a jeho učebnice, připravenost učitele na výuku → Výstup T^4 : Výsledky výuky fyziky
 Transformace T^5 (vstup→výstup) – Aplikační transformace
 Vstup T^5 : Výsledky výuky fyziky → Výstup T^5 : Aplikovatelné výsledky výuky fyziky.
 (1), (2)

Pro fyziku jako školní předmět jsou typické tyto variantní formy kurikula:

Konceptuální kurikulum – koncepce toho, co má být ve školách obsahem vzdělávání, je synonymem sdělitelnosti vědeckého systému, tuto formu lze spojit s transformací T^1 .

Zamýšlené kurikulum – plánované cíle a obsah vzdělávání s jasným definováním v kurikulárních dokumentech (učební osnovy, učebnice), tuto formu lze spojit s transformací T^2 .

Projektové kurikulum a implementované kurikulum-1 – projektová a realizační forma, tyto formy lze spojit s výsledky transformace T^3 . Výsledek transformace T^3 „projektové kurikulum“ (nachází se v dobře napsaných učebnicích) lze rozšířit o novou variantní formu kurikula spojenou s přípravou učitele na výuku, tedy „implementované kurikulum-1“ a tím ji odlišit od formy implementovaného kurikula, které je spojené s učivem osvojeným studenty.

Implementované kurikulum-2 – nachází se v mysli studenta, tuto formu lze spojit s transformací T^4 .

Dosažené kurikulum – podoba osvojeného učiva modifikovaná adresáty edukace na základě jejich vlastních i mimoškolních zkušeností a zájmů, provází při profesní kariéře nejen absolventy fyzikální edukace, ale také „žije“ v celé společnosti, tuto formu lze spojit s transformací T^5 . (2)

Pojem kurikulární proces fyziky je pak možno definovat jako posloupnost transformačně na sebe navazujících variantních forem kurikula.

Spojení kurikulárního procesu fyziky s transformacemi v didaktické komunikaci fyziky je pak následující:

Transformace T^1 (vstup→výstup) – Komunikační transformace

Vstup T^1 : Vědecký systém fyziky → Výstup T^1 : Sdělitelný vědecký systém fyziky jako konceptuální kurikulum

Transformace T^2 (vstup→výstup) – Obsahová transformace

Vstup T^2 : Sdělitelný vědecký systém fyziky jako konceptuální kurikulum → Výstup T^2 : Didaktický systém fyziky a jeho učivo jako zamýšlené kurikulum

Transformace T^3 (vstup→výstup) – Kurikulární transformace

Vstup T^3 : Didaktický systém fyziky a jeho učivo jako zamýšlené kurikulum → Výstup T^3 : Výukový projekt fyziky a jeho učebnice a připravenost učitele na výuku jako projektové kurikulum a implementované kurikulum-1

Transformace T^4 (vstup→výstup) – Edukační transformace

Vstup T^4 : Výukový projekt fyziky a jeho učebnice, připravenost učitele na výuku jako projektové kurikulum a implementované kurikulum-1 → Výstup T^4 : Výsledky výuky fyziky jako implementované kurikulum-2

Transformace T^5 (vstup→výstup) – Aplikační transformace

Vstup T^5 : Výsledky výuky fyziky jako implementované kurikulum-2 → Výstup T^5 : Aplikovatelné výsledky výuky fyziky jako dosažené kurikulum.

(2)

Z hlediska této práce jsou důležité tyto variantní formy kurikula:

Konceptuální kurikulum a zamýšlené kurikulum

Struktura konceptuálního a zamýšleného kurikula je dána jednak strukturou rovin poznávacího procesu, jednak strukturou pojmů na dvou nejvyšších kognitivních úrovních – na strukturální a formální kognitivní úrovni. Z metod modelování strukturálních prvků variantní formy kurikula byly proto používány metody modelování odrážející obě vymezená hlediska – především analyticko-syntetické modelování a úrovněvé modelování struktury pojmů. (1)

Projektové kurikulum (zkonstruovaný dotazník)

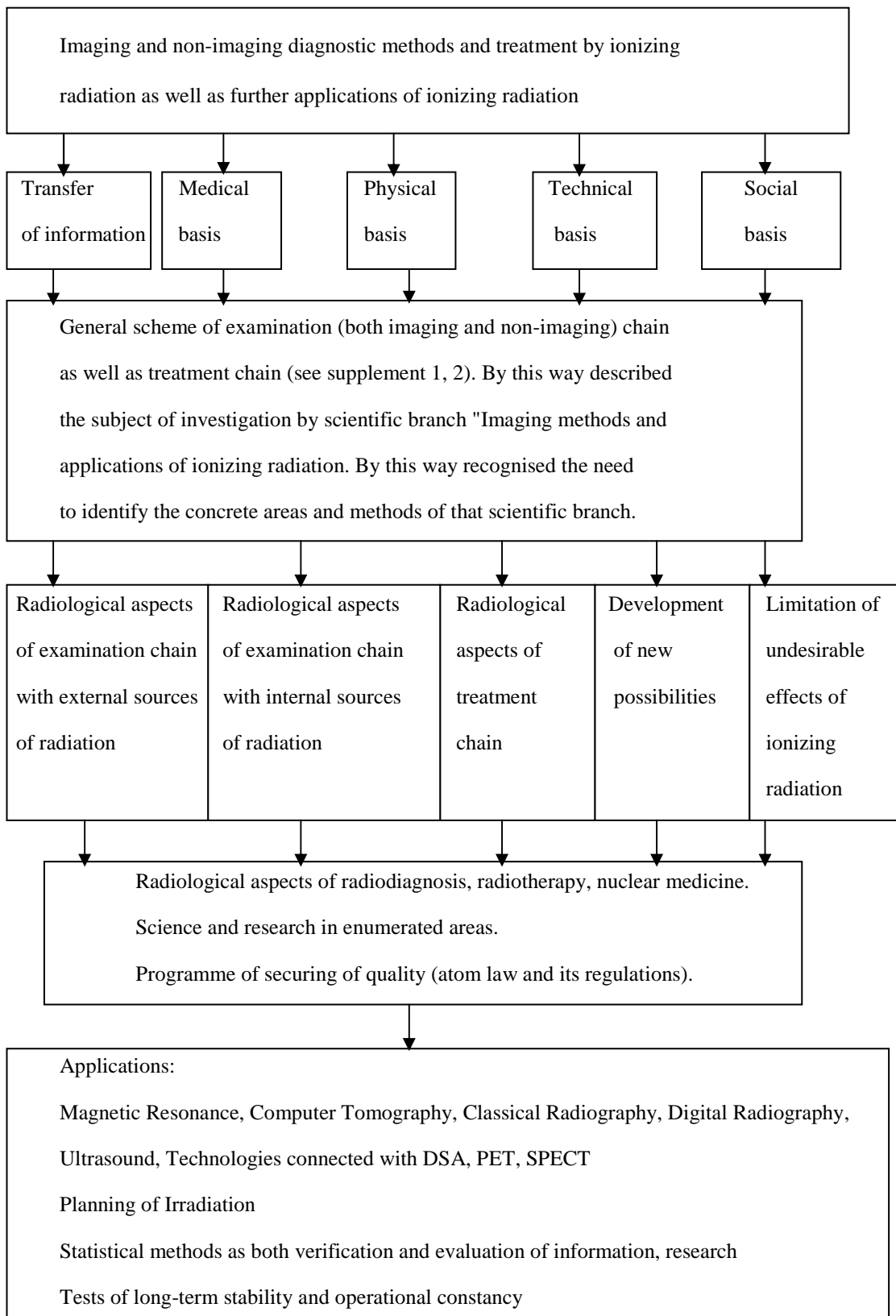
Pro tvorbu projektového kurikula, zvláště pak učebního textu, je potřebné mít k dispozici lineární seřazení kapitol učebního textu a jejich strukturovaný obsah (vazba na zkonstruovaný dotazník). (1)

Implementované kurikulum-2 (výsledku položeného dotazníku respondentům)

Jak výukou zprostředkovávat fyzikální poznatky studentům, aby se staly jejich fyzikálními znalostmi (fyzikálními vědomostmi) – vazba na vyhodnocené výsledky položeného dotazníku. (1)

1.1.2 Model profilu absolventa

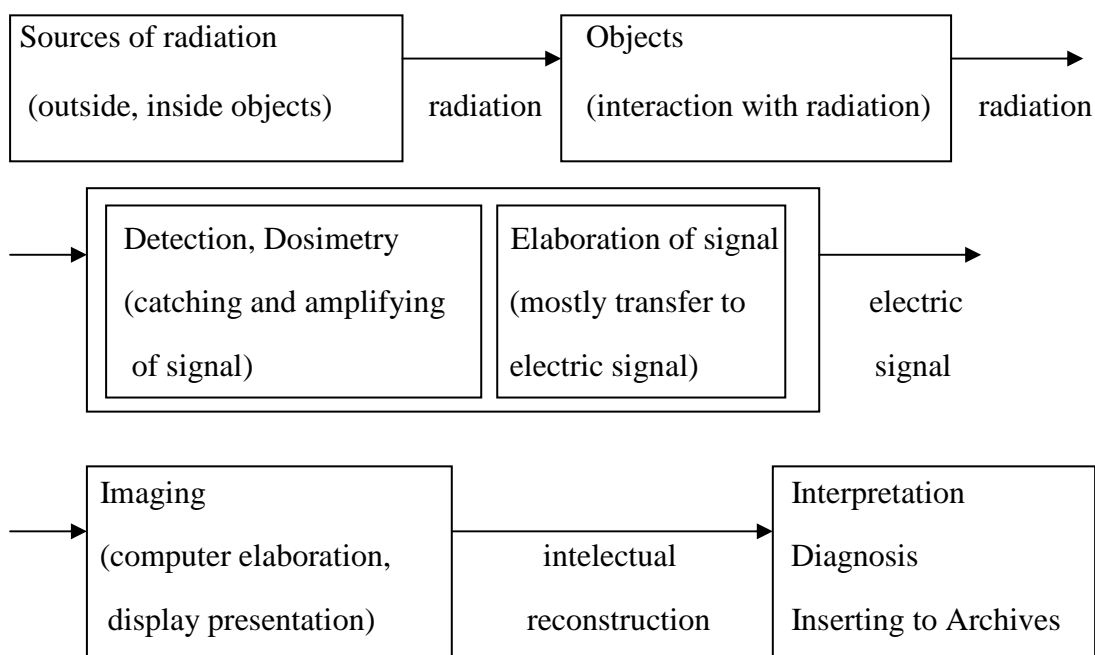
Dále je znázorněn analyticko-syntetický model profilu absolventa kurzu Radiologický asistent, který publikovali P. Haiduwa a J. Nujoma. Analyticko-syntetický model profilu umožňuje zjistit potřebné znalosti v rámci tohoto studijního programu.



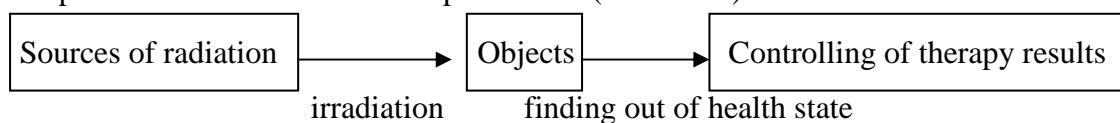
Obr.1 Analyticko-syntetický model profilu absolventa

Legenda k Obr.1

Doplněk 1 – Obecné schéma vyšetřovacího řetězce



Doplněk 2 – Obecné schéma terapeutického (léčebného) řetězce



Podstatné části analyticko-syntetického modelu:

Transfer of information (see supplement 1, 2)

Medical Basis (Anatomy, Physiology, General and Special Pathology etc.)

Physical Basis (General Physics Basis-e.g. Standard Model of Fundamental Particles and Interactions, Radiological Physics-Sources, Interaction, Detection and Dosimetry, Elaboration of Signals)

Technical Basis (Informatics, Electronics, Application of Nuclear and Atomic Physics, Optical Electronics)

Social Basis (Necessary Knowledge from Social Sciences, Psychology, Ethics, Philosophy etc.)

(4), (5)

Předchozí schéma nastiňuje znalosti nutné k výkonu povolání radiologického asistenta. Tento výčet můžeme najít v doporučeních pro edukaci ISRRT. (6)

Je zřejmé, že fyzikální vzdělání, obzvláště v oblasti elementárních částic, jejich interakcí a způsobů využití, je nedílnou součástí profilu absolventa.

1.1.3 Studium v České republice

Právní úprava *zákon č.96/2004 Sb. o nelékařských povoláních* říká:

Odborná způsobilost k výkonu povolání radiologického asistenta se získává absolvováním

- akreditovaného zdravotnického bakalářského studijního oboru pro přípravu radiologických asistentů
- tříletého studia v oboru diplomovaný radiologický asistent na vyšších zdravotnických školách, pokud bylo studium prvního ročníku zahájeno nejpozději ve školním roce 2004/2005, nebo
- střední zdravotnické školy v oboru radiologický laborant, pokud bylo studium prvního ročníku zahájeno nejpozději ve školním roce 1996/1997.

Zdroj: Zák.č. 96/2004 Sb. o podmínkách získávání a uznávání způsobilosti k výkonu nelékařských zdravotnických povolání a k výkonu činností souvisejících s poskytováním zdravotní péče a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o nelékařských zdravotnických povoláních) - §8 Odborná způsobilost k výkonu povolání radiologického asistenta

V rámci vzdělání v České republice je tedy v současné době možné dosáhnout pozice radiologického asistenta nebo laboranta pouze absolvováním kurzu Radiologický asistent bakalářského stupně vzdělání.

Následuje výčet univerzit, na kterých je možné v České republice studovat zmíněný obor:

Univerzita Karlova v Praze

ČVUT v Praze

Masarykova univerzita v Brně

Západočeská univerzita v Plzni

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Univerzita Palackého v Olomouci

Ostravská univerzita v Ostravě

Na všech uvedených vysokých školách je studium radiologické fyziky pro obor Radiologický asistent zapracováno do prvních dvou semestrů studia. (24)

Sylabus předmětu Radiologická fyzika 1 a 2 studijního programu Radiologický asistent na Katedře radiologie a toxikologie Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích bude dobrým příkladem vzdělávací struktury studijního programu ve fyzikální oblasti.

Tabulka 1: Sylabus předmětu Radiologická fyzika 1 a 2

1.semestr studia – Radiologická fyzika 1
1. Některé základy kvantové mechaniky - řešení obalu atomu 2. Vznik brzdného a charakteristického rentgenového záření 3. Některé základy jaderné fyziky - řešení jádra atomu 4. Vznik alfa, beta, gama záření 5. Základy radiologické fyziky 5.1. Potřebné poznatky z atomistiky, jaderné fyziky, kvantové chemie, fyziky pevných látek a statistické fyziky 5.2. Korpuskulární záření a elektromagnetické záření z pohledu aplikací v radiologii, veličiny a jednotky radiologické fyziky 5.3. Zdroje ionizujícího záření - přirozeně radioaktivní prvky, kosmické záření, umělé zdroje ionizujícího záření, zdroje neutronového záření, výroba a využití uměle radioaktivních prvků a látek 5.4. Interakce ionizujícího záření - fyzikální jevy při průchodu prostředím, interakce a absorpce korpuskulárního a elektromagnetického záření, účinky ionizujícího záření 5.5. Detekce a měření ionizujícího záření - plynové detektory, scintilační detektory, detektory pevné fáze, typy měření v radiologii 5.6. Některé důležité úlohy fyzikální praxe z radiologické biofyziky
2. semestr studia – Radiologická fyzika 2
6.1 Přehled ionizujících záření 6.1.1 Spektrum elmg. záření, korpuskulární záření, ionizující a neionizující záření 6.1.2 Přiřazení typů záření složkám profilu RA 6.1.3 Jednotky a veličiny radiologické fyziky 6.1.4 Ionizace, ionizátory a příčiny ionizace, způsoby ionizace

- 6.2. Zdroje ionizujícího záření
 - 6.2.1 Statistický charakter rozpadového zákona
 - 6.2.2 Přehled zdrojů ionizujícího záření
 - 6.2.3 Pohyb elektronu v příčném homogenním el. poli
 - 6.2.4 Pohyb elektronu v podélném homogenním el. poli (urychlovače)
 - 6.2.5 Pohyb elektronu v homogenním mg. poli (urychlovače)
- 6.3 Interakce ionizujícího záření
 - 6.3.1 Vlnově korpuskulární dualismus látkových a polních částic
 - 6.3.2 Interakce alfa, beta, gama částic
 - 6.3.3 Absorpční exponenciální zákon
 - 6.3.4 Interakce neutronů - vznik umělých radionuklidů, štěpení jader
 - 6.3.5 Přehled interakcí
- 6.4 Detekce a měření ionizujícího záření
 - 6.4.1 Pozorování drah nabitých částic
 - 6.4.2 Dozimetrie - měření intenzity ionizujícího záření
 - 6.4.3 Dozimetrie - měření počtu primárních částic
 - 6.4.4 Přehled detektorů, dozimetrů a jejich kombinací s výpočetní technikou

Zdroj: Studijní agenda STAG Jihočeské univerzity

1.1.4 Vzdělávání ve světě - Radiologic technologist

Vzdělávání se po celém světě mírně liší. Pro vstup do studijního programu radiologických technologií je nutné středoškolské vzdělání ukončené maturitou (ve světě diplom z absolvování „high school“), splnění vstupních přijímacích požadavků a čistý trestní rejstřík. Oficiální výukové programy v radiografickém rozsahu vedou k získání certifikátu asistentského (náš stupeň VOŠ) nebo bakalářského stupně. Mezinárodní trend bezpečné péče o pacienty preferuje bakalářské tituly, tedy vyšší vzdělání, proto se od asistentských programů upouští. V mnoha zemích jsou nabízeny i magisterská studia.

Vzdělávací osnovy jsou v podstatě celosvětově obdobné. Obvykle, během oficiální výuky, musí studenti získat znalosti z lidské anatomie a fyziologie, obecné, jaderné

a radiační fyziky, obecné chemie, matematiky, radiofarmakologie, patologie, biologie, lékařského zobrazování a diagnostiky, radiologické instrumentace, postupy lékařské první pomoci, ošetrovatelství, zdravotnické etiky, techniky, počítačového programování a managementu. (6), (7), (25)

USA

Radiografická vyšetření jsou obvykle prováděna radiologickými technikami, kteří v USA podstupují dvouleté studium na asistentský titul nebo čtyřleté studium na titul bakaláře věd (BSc.).

Veterinární radiologové jsou doktoři veterinární, kteří se specializují na užití rentgenového záření, ultrazvuku, magnetické rezonance a nukleární medicíny pro diagnostické zobrazování nebo léčbu zvířat. Jsou certifikováni buď v diagnostické radiologii, nebo radiační onkologii Americkou vysokou školou veterinární radiologie (American College of Veterinary Radiology). (6), (7), (25), (26), (27), (28), (29)

Evropa

Ze 46 zemí Evropy, v 30 z nich lze studovat v různých formách obor radiologického technika. Jedná se o dvou až čtyřleté studijní programy, během kterých se v různé míře studenti věnují základním studijním kurzům diagnostického zobrazování, radioterapie, nukleární medicíny a ultrazvuku a to v různých kombinacích. Např. v České republice se studenti učí všem z uvedených zaměření, ale např. na Islandu studijní program zahrnuje pouze diagnostické zobrazování a nukleární medicínu. (7)

Velká Británie

Ve Spojeném Království jsou radiologičtí technici známí jako "Radiographers". Odvozené termíny "Diagnostic Radiographer" a "Therapy Radiographer" jsou ve Velké Británii chráněnými tituly a nemohou tedy být používány osobami, které nepodstoupily oficiální výuku a nejsou registrovány Radou zdravotnických profesí (Health Professions Council - HPC). Před začátkem provozování lékařského ozařování nebo zobrazování

ve zdravotnických zařízeních musí být absolvent studia, který získal vysokoškolský titul bakaláře věd – BSc. v diagnostickém zobrazování, registrován Radou zdravotnických profesí (HPC). Diplomy jsou nabízeny v rámci univerzit a jejich získání trvá 3 roky v Anglii a Walesu a 4 roky ve Skotsku.

Student, budoucí radiologický technik musí během svých studií strávit spoustu času prací v univerzitní nemocnici (formou klinické praxe). Jakmile získají kvalifikaci, jsou schopni vykonávat zobrazování a práci jako součást diagnostického týmu.

Postgraduální specializace na CT, MRI, ultrazvuk nebo nukleární medicínu s možností získat magisterský titul (MSc.) v daném oboru mohou radiologičtí technici získat studiem doma nebo v univerzitních kurzech. Radiologičtí technici se ve Velké Británii rovněž podílí na práci v úlohách, které v minulosti zastávali pouze radiologové (lékař medicíny, který se specializuje na interpretaci obrazů vzniklých pomocí radiologických metod). Po ukončení studia a uznání Radou zdravotnických profesí (HPC) a Radiologickou společností (Society of Radiology) absolvent smí psát zprávy a diagnostikovat patologie, které jsou na snímcích zřetelné a dále je konzultovat s lékaři. (7), (30), (31), (32), (33), (34), (35)

Austrálie

Studenti australských univerzit o svém zaměření rozhodují už při zápisu do studijního programu. Jako v jiných zemích se toto zaměření týká třech základních oborů radiologie a to nukleární medicíny, radioterapie a diagnostického zobrazování. Navíc je možnost zapsat se do kurzu studia diagnostického ultrazvuku. Všechny tyto zaměření spadají pod kategorii Medical Radiation Sciences, tedy vědy medicínského ozařování. Kurzy spadající pod tyto vědy jsou akreditovány Australským institutem radiografie (Australian Institute of Radiography – AIR). Po ukončení některých akademických kurzů musí absolvent podstoupit jeden rok placené strukturované klinické praxe (National Professional Development Programme – NPDP) a po jejím ukončení bude způsobilý pro udělení akreditace. Ta musí být provedena v Austrálii ve schváleném radiologickém zařízení.

Studium lékařského zobrazování, radioterapie a nukleární medicíny může spočívat v:

- dokončení tříletého bakalářského programu následovaného dokončením NPDP
- dokončení čtyřletého bakalářského programu
- dokončení dvouletého magisterského programu následovaného dokončením NPDP
- dokončení dvouletého magisterského programu

Roční praxe a zápis v oficiálním registru National Professional Development Programme (NPDP) zahrnuje i oficiální registraci radiologického technika a přístup k informacím AIR. (36)

Studium je možné např. na následujících australských univerzitách:

The University of Newcastle

Charles Sturt University

RMIT University

University of South Australia

University of Tasmania

Studium ultrazvuku jako zobrazovací metody je v Austrálii možné formou postgraduální kvalifikace. Pro zápis do tohoto programu musí student dosáhnout kvalifikace v oboru radiologického zobrazování, radioterapie, biomedicínských věd nebo ošetrovatelství. Mnoho univerzit nabízí studium ultrazvuku jako součást studia diagnostické radiografie. Absolvent kurzu zobrazování pomocí ultrazvuku získá od Australian Society for Ultrasound in Medicine diplom, tedy Diploma of Medical Ultrasound.

Odborníci, kteří po absolvování studijních programů pracují v oboru, jsou nazýváni Diagnostic Radiographers nebo Medical Imaging Technologists, Radiation Therapists a Ultrasonographer nebo Sonographer.

Délka výuky radiologické fyziky je různá podle celkové délky studia, v případě čtyřletého studia se fyzika vyučuje většinou 4 semestry, pro tříleté obory je fyzika udána pro 2 semestry. (6), (36), (37), (38), (39), (40), (41)

Dále je uveden příklad struktury předmětů týkajících se radiologické fyziky, jak je uváděna v kurzech australských škol – konkrétně The University of Newcastle Australia. (41)

Tabulka 2: Struktura předmětů Physics for the Life Sciences, Physics and Radiation Protection

1. semestr studia - Physics for the Life Sciences
<p>1. Basic Mechanics - Units of measurement. Laws of Motion and Friction. Mechanical equilibrium, torque, levers and mechanical advantage. Work & Energy.</p> <p>2. Electricity and Magnetism - Electric charges, forces and fields. Electric potential. Capacitance. Electric current and electrical power. DC Circuits. Magnetic Fields. Forces on electric charge and current in magnetic fields, electric motors and generators, ideal transformer.</p> <p>3. Thermal Physics - Temperature. Thermal Expansion. Ideal Gas Law. Heat, Specific Heat and Heat Transfer.</p> <p>4. Medical Radiation Science - Basic Atomic structure, Atomic energy levels, sources of ionizing radiation, radiation dose, Biological effects of radiation, shielding and attenuation, radiation protection.</p> <p>5. Fluid Mechanics - Specific Gravity, Density and Pressure. Archimedes Principle. Equation of Continuity. Bernoulli's Principle. Tubular Flow. Poiseuille's Equation. Surface Tension. Capillarity.</p> <p>6. Waves - Oscillations, SHM, Forced Vibrations and Resonance. Types of Wave Motion. Reflection, Transmission, Superposition and Interference. EM Waves, EM Radiation and EM Spectrum. Sound Waves. Doppler Effect. Ultrasound.</p>
2. semestr studia - Physics and Radiation Protection
<p>1. Production of X-ray beams in diagnostic radiography and radiation therapy</p> <p>2. Production of radiopharmaceuticals</p>

3. Characteristics of radiation
4. Image quality and methods used to improve image quality
5. Radiobiology
6. Principles of Radiation Protection
7. Radiation Protection in Practice
8. Radiation Measurement

Zdroj: Studijní programy The University of Newcastle Australia

1.2 Struktura radiologické fyziky

Radiologie je vědní obor, jehož základy jsou typu medicínského, technického, inženýrského, biologického a také fyzikálního. Z fyziky je pro radiologického asistenta nezbytností umět popsat jednotlivé složky profilu radiologického asistenta (radiodiagnostika, radioterapie a nukleární medicína) z hlediska typů částic a záření užívaných v jeho praxi. Radiologickou fyziku je možno zařadit jako nestatistickou fyziku i s její klasickou, kvantovou a relativistickou dimenzí. Nelze opominout také aplikace statistické fyziky – např. v rentgenologii (zahřívání anody rentgenky).

Místo radiologické fyziky jako nestatistické fyziky s její klasickou, kvantovou a relativistickou dimenzí vyplývá z modelu struktury fyziky jako celku. Tento model konceptuálního kurikula fyziky je uveden v publikacích P.Záškodný, 2005 (recenzováno 4 recenzenty), P.Záškodný, 2006 (recenzováno 8 recenzenty z České republiky, Slovenska, Ruska a Itálie) a P.Záškodný 2009 (recenzováno 4 recenzenty).

Z uvedených publikací a z modelu konceptuálního kurikula fyziky jako celku bylo možné strukturu radiologické fyziky v rámci přípravy radiologických asistentů vystihnout následujícími strukturálními rovinami:

- Druhy záření a jejich elementární částice spojené se složkami profilu radiologického asistenta
- Zdroje ionizujícího záření a jeho interakce s prostředím, detekce a dozimetrie
- Fyzikální podstata nukleární medicíny
- Fyzikální podstata rentgenové diagnostiky a terapie

- Fyzikální podstata termografie
- Fyzikální podstata magnetické rezonance
- Fyzikální podstata sonografie
- Obecná fyzikální podstata radiodiagnostiky a radioterapie (8), (11)

1.2.1 Elementární částice

Všechny atomy (průměr atomu je řádově 10^{-10} m) jsou složeny z elementárních částic hmoty (protonů, neutronů, elektronů) a jsou složeny z atomového jádra a elektronového obalu. Vnější obal je tedy tvořen elektrony nesoucími záporný náboj. Právě tato část atomu je zodpovědná za jeho spektrální a chemické vlastnosti. Atomové jádro je tvořeno protony a neutrony, nese tedy kladný elektrický náboj a je odpovědné za fyzikální vlastnosti látek. (9), (10)

Současná fyzika zastává teorii, že jsou protony a neutrony složeny z kvarků, které jsou zatím nejmenší objevené elementárních částice. Kvarky na rozdíl od všech ostatních běžných částic mají neobvyklou vlastnost – nesou „neceločíselný“ elektrický náboj. Známe různé typy kvarků, např. „u“ nebo „d“. (11)

Stručný popis vybraných základních elementárních částic

Mezi základní elementární patří elektron, který se řadí do skupiny leptonů. Elektron při pohybu nikdy nedosahuje rychlosti světla, jeho klidová hmotnost je přibližně $9,1 \times 10^{-31}$ kg a nese záporný náboj $-1e$ ($e = 1,602 \times 10^{-19}$ C).

Dalšími základními částicemi jsou protony a neutrony. Proton spolu s neutronem patří mezi nukleony a dále spadají pod kategorii hadronů. Oba mají přibližně stejnou klidovou hmotnost $1,67 \times 10^{-27}$ kg a také nikdy nedosahují rychlosti světla. Proton je nositelem kladného elektrického náboje $1e$, neutron je bez elektrického náboje.

Mezi bosony spadající foton je další základní částicí. Fotonem popisujeme kvantum elektromagnetického záření. Jeho elektrický náboj je nulový, stejně tak jeho klidová hmotnost je nulová. Foton existuje pouze v pohybu a pohybuje se rychlostí světla ve vakuu. (8), (9)

1.2.2 Zdroje ionizujícího záření, interakce ionizujícího záření s prostředím

Tabulka 3: Přehled ionizujících a neionizujících záření používaných v radiologii (8)

	Přírodní zdroj	Umělý zdroj	Detekce	Oblast radiologie
Gama záření (nepřímě ionizující záření, ionizace absorpcí fotonu)	Přechody v jádře atomu	Urychlovače, radioizotopy	Plynové, jiskrové, scintilační detektory	Nukleární medicína
Rentgenové záření (nepřímě ionizující záření, ionizace absorpcí fotonu)	Přechody v obalu atomu	Rentgenka	Plynové, krystalové, scintilační, fotochemické detektory	Rentgenová diagnostika, rentgenová terapie
Korpuskulární záření (přímě a nepřímě ionizující záření, ionizace nárazem)	Přirozeně radioaktivní prvky	Uměle radioaktivní prvky, urychlovače	Plynové, jiskrové, krystalové, scintilační detektory	Nukleární medicína, radioterapie
Infračervené záření (neionizující záření)	Vibrace a rotace molekul	Tělesa s teplotou vyšší než 0 K	Radiotermometry, termokamery	Termografie
Rádiové vlny (neionizující záření)	Pohyb téměř volných elektronů	Vysílač vysokofrekvenčního elektromagnetického signálu	Přijímač vysokofrekvenčního elektromagnetického signálu	Nukleární magnetická rezonance
Ultrazvukové vlny (mechanické vlnění - neionizující)	Chvění těles	Magnetostrikční a piezoelektrický oscilátor	Magnetostrikční a piezoelektrický oscilátor	Sonografie

a) Popis zdrojů

a1) Přírodní zdroje

Přírodními zdroji jsou vedle kosmického záření především přirozeně radioaktivní prvky. Jsou to takové atomy, jejichž jádra nejsou v čase stabilní.

Přirozeně radioaktivní prvky lze členit na *lehké přirozeně radioaktivní izotopy* s atomovým číslem $Z \leq 75$, např. ^{14}C , ^{40}K , ^{115}In aj. Tyto izotopy netvoří rozpadové řady, tzn., že jejich transmutací vznikají již stabilní jádra.

Těžké přirozeně radioaktivní izotopy se mění na jiné opět nestabilní izotopy a vytvářejí tak tři rozpadové řady: urano-radiovou, aktiniovou a thoriovou. Radioaktivní

izotop, ze kterého vzniká jiný radioaktivní izotop nazýváme mateřský, vznikající pak nazýváme dceřinný. (10), (12)

a2) Umělé zdroje

Jediné možné ozáření obyvatel umělými zdroji je při vyšetřování nebo léčení pomocí zdrojů ionizujícího záření. Následuje výčet umělých zdrojů ionizujícího záření:

a2.1) Rentgenka

Rentgenka je zdrojem rentgenového záření. Pro diagnostiku je důležitější brzdné rentgenové záření, které má spojité spektrum (charakteristické rentgenové záření je využitelné spíše při rentgenové strukturální analýze). Princip rentgenky je popsán principem vzniku brzdného rentgenového záření prostřednictvím obráceného fotoelektrického jevu a principem vzniku charakteristického rentgenového záření (záření zde vzniká prudkým zabrzděním velmi rychle letících elektronů v hmotě o vysokém atomovém čísle – např. wolfram). (13), (14), (15)

a2.2) Kruhový urychlovač

Cyklotron lze použít jako zdroj kladně nabitých částic s energií řádově desítky MeV a také ho lze použít jako zdroj neutronů. Výhodou jsou přesně definované dávky a také velmi výrazně prostorově ohraničené předání energetického maxima až na konci dráhy i hluboko umístěným nádorům.

Další typ kruhového urychlovače - betatron lze použít jako zdroj záporně nabitých částic. Urychlené elektrony mohou získat energii až 300 MeV. Činnost betatronu je založena na principu urychlení elektronů změnami magnetického pole na kruhové dráze. (12), (17)

a2.3) Lineární urychlovač

Lineární urychlovač se stal základním léčebným přístrojem ve většině radioterapeutických oddělení. Můžeme je rozdělit na elektrostatické a vysokofrekvenční podle zdroje elektrické energie užití k urychlení částic.

Elektrostatické se vyznačují tím, že nabitě částice jsou přímo urychlovány v urychlovací trubici, na jejíž elektrody se přivádí energie ze zdroje vysokého stejnosměrného napětí.

Vysokofrekvenční urychlovače používají k urychlování buď soustavu válcových elektrod nebo dutinových resonátorů. (12), (17)

a2.4) Generátory krátkodobých nuklidů

Generátory krátkodobých nuklidů se používají jako zdroje gama záření. Produkuje radionuklidy s krátkým poločasem rozpadu, ty se pak používají ke značení radiofarmak. Dochází k přeměně mateřského prvku s dlouhým poločasem rozpadu na dceřinný prvek s krátkým poločasem rozpadu. Nejčastěji používaným generátorem je techneciový generátor.

Pokroky ve výrobě umělých radionuklidů jsou tak velké, že lze v podstatě získat každý izotop - fyzikálním základem výroby jsou jaderné reakce. (8), (12)

a2.5) Jaderný reaktor

Používá se jako mohutný zdroj neutronového záření. Pomocí toku neutronů pak vzniká řada radioaktivních izotopů potřebných pro radiodiagnostiku a radioterapii.

b) Popis interakcí ionizujícího záření

Ionizující záření předává svou energii při průchodu absorbujícím prostředím (např. tkáněmi). Ztráty energie závisí na druhu ionizujícího záření a na fyzikálních vlastnostech absorbujícího prostředí.

b1) Interakce elektromagnetického záření:

Interakce s obaly atomů: fotoelektrický jev

Comptonův jev

tvorba elektron-pozitronových párů

Interakce s atomovými jádry: fotojaderná interakce

jaderný rezonanční rozptyl (8), (9), (11)

b2) Interakce nabitých částic:

- nepružné srážky

b3) Interakce nenabitých částic

- pružný rozptyl
- nepružný rozptyl
- emise nabité částice
- radiační záchyt
- jaderné štěpení (11)

Související pojmy:

Excitace

Excitace je přechod energetické hladiny atomu, molekuly nebo iontu do excitovaného (vybuzeného) stavu s návratem do základní úrovně s vyzářením fotonu elektromagnetického záření. (9), (13)

Ionizace

Ionizace spočívá ve vyražení elektronu z obalu atomu; z původně elektroneutrálního atomu vzniká kladně nabitý iont. Při vzniku jednoho iontového páru jde o ionizaci nárazem nebo o pohlcení fotonu. Primární ionizace je počet iontových párů vytvořených ionizující částicí. Některé elektrony uvolněné při primární ionizaci mohou získat tak velkou energii, že dále samy ionizují prostředí. Tuto ionizaci způsobenou sekundárně uvolněnými elektrony nazýváme sekundární ionizací. Celková ionizace je pak součtem primární a sekundární ionizace. (11), (12)

Rozptyl

Pohybující se ionizující částice je odchýlena z původní lineární dráhy vlivem interakcí s prostředím. (11)

Brzdné elektromagnetické záření

Rychle letící nabitá částice ionizujícího záření při dopadu na terč vyzářují brzdné elektromagnetické záření. (11)

1.2.3. Fyzikální popis radiodiagnostiky a radioterapie

Fyzikální základy radiodiagnostiky a radioterapie jsou spojeny s užitečnými účinky ionizujícího záření v biologickém prostředí. Příkladem může být radioterapie s aplikací

vysokoenergetických svazků záření nebo radionuklidová terapie po aplikaci radiofarmaka, kdy užitečné účinky spočívají v poškození nebo v destrukci nádorové tkáně. (8), (14)

a) Popis radiodiagnostiky

a1) Popis rentgenové diagnostiky

Pronikavé elektromagnetické záření vznikající v rentgenové elektronce, prochází přes vyšetřovaný objekt (organismus), přičemž se část záření absorbuje v závislosti na tloušťce a hustotě dané tkáně, zatímco zbylá část prochází tkání a je zobrazována buď fotograficky, nebo na luminiscenčním stínítku, nověji pak pomocí elektronických detektorů. Vzniká obraz odrážející velikosti, tvary a uspořádání tkání a orgánů v organismu, včetně případných změn vyvolaných patologickými procesy.

Elektromagnetické záření interaguje s atomy tkáně především dvěma procesy fotoefekt a Comptonův rozptyl. (14), (15)

a2) Fyzikální popis radionuklidové diagnostiky

Radionuklidová diagnostika se dělí na metody in vivo (otevřený zářič ve formě radiofarmaka je přímo podán do živého organismu), metody in vitro (zpracování vzorku biologického materiálu pomocí radioaktivních látek). Radioaktivita akumulovaná uvnitř organismu nebo radioaktivita biologického vzorku je následně proměřována.

Zdrojem radionuklidů pro značení farmaka (značení farmaka gama nebo pozitivními beta zářiči) jsou např. radionuklidové generátory, jaderné reaktory nebo cyklotrony.

Detekce a dozimetrie je založena na scintilačním principu - zevní detekce nebo režim zobrazující distribuci radioaktivního zářiče. U tomografických systémů je možný přechod od planárního zobrazení k zobrazování prostorovému. (12), (14)

b) Popis radioterapie

b1) Fyzikální popis rentgenové terapie

Radioterapie obecně spočívá v podání dostatečně velkého množství energie do ložiska, aby toto množství bylo biologicky účinné ve smyslu poškození či destrukce tkáně a ve smyslu minimálního poškození okolních zdravých tkání a kritických orgánů.

Zdrojem terapeutického rentgenového záření je rentgenka. Podle parametrů - hloubka umístění a rozsah nádoru, radiosenzitivita (tj. citlivost) okolní tkáně i samotného nádoru - je zvolena energie terapeutického rentgenového záření. Lze použít schémata pro povrchovou, polohlubkovou a vysokovoltážní rentgenovou terapii. (17)

b2) Fyzikální popis radionuklidové terapie

Fyzikální základ radionuklidové terapie je identický s cílem rentgenové terapie.

Zdrojem ionizujícího záření může být zdroj kladně nabitých částic (např. cyklotron), zdroj záporně nabitých částic (např. lineární urychlovač nebo betatron), zdroj nepřímo ionizujících látkových částic (např. radionuklidy vyprodukované jaderným reaktorem), zdroj nepřímo ionizujících gama fotonů (např. generátory radionuklidů nebo vhodné gama zářiče). Volba zdroje záleží také na onkologickém komplexním pojetí léčby. (17)

1.2.4. Fyzikální popis zobrazovacích postupů

a) Nukleární medicína

Fyzikální podstatou nukleární medicíny je umělá radioaktivita - otevřené radioaktivní zářiče vyzařují v důsledku jaderných přeměn a jaderných deexcitací jak korpuskulární záření, tak i záření elektromagnetické.

Cílem nukleární medicíny je využití otevřených radioaktivních zářičů (radioaktivních farmak, která jsou značena vhodnými radionuklidy) při radiodiagnostice, v radioterapii a v lékařském výzkumu. V rámci vyšetřovacích metod jsou vyšetřovanému podávány do organismu radioaktivní farmaka a pak je proměřována radioaktivita přímo v pacientovi (in vivo) nebo radioaktivita odebraných biologických vzorků zpracovaných radioaktivními látkami (in vitro). (12), (13)

b) Rentgen

Fyzikální podstatou rentgenové diagnostiky a terapie je vyzařování brzdného a charakteristického rentgenového záření. V důsledku interakce s atomy anody rentgenky ztratí volný elektron, který se pohybuje v rentgence část své energie a hmotnosti - objeví se fotony brzdného rentgenového záření se spojitým spektrem.

V důsledku předání části energie a hmotnosti volných elektronů dopadajících z rentgenky na vnitřní elektrony obalu atomů anody rentgenky se objeví excitace atomového obalu přechodem vnitřních elektronů do vyšších kvantových energetických stavů - při následující deexcitaci jsou vyzářeny fotony charakteristického rentgenového záření s diskretním čárovým spektrem.

Fotony prochází hmotou, v níž jsou částečně absorbovány, přičemž míra absorbovaného záření závisí na složení hmoty a na kvalitě rentgenového záření. Cílem rentgenové diagnostiky je využít různé míry absorpce a vytvořit diagnosticky využitelné obrazy biologického prostředí, kterým rentgenové záření prošlo. Cíl rentgenové terapie spočívá v destrukci nebo poškození nádorového ložiska prostřednictvím fotonů rentgenového záření. (13), (14), (15)

c) Nukleární magnetická rezonance

Cílem magnetické rezonance je zjišťování změn magnetických momentů jader prvků s lichým protonovým číslem uložených v silném magnetickém poli \vec{B} po aplikaci radiofrekvenčních pulzů.

Zdroje i detektory elektromagnetických impulsů jsou zdroje a detektory elektromagnetických rádiových vln.

Výhodou metody je, že vyšetřovaný není vystaven ionizujícímu záření. V rámci magnetické rezonance lze rozeznat obrazy *T1 vážené*, tedy obrazy vážené relaxačním časem vektoru podélné tkáňové magnetizace, dále pak obrazy *T2 vážené* - obrazy vážené příčným relaxačním časem vektoru příčné tkáňové magnetizace a obrazy *protonové density* - vážené podle hustoty protonů. (14), (16)

d) Sonografie

Fyzikální podstatou sonografie (ultrazvukových zobrazovacích metod) jsou vlastnosti podélných ultrazvukových vln, které jsou typem mechanického vlnění. Ultrazvukové vlny se šíří prakticky přímočaře a odrážejí se podle rovnosti úhlu dopadu a úhlu odrazu. V diagnostice se využívají frekvence 2-15 MHz, které se nejlépe šíří v kapalinách, zatímco v pevných látkách a plynech jsou výrazně tlumeny.

Cílem sonografie je echografické zobrazení struktur měkkých tkání a na principu Dopplerova jevu měření rychlosti pohybujících objektů (nejčastěji erytrocyty v cévách).

Zdrojem i detektorem ultrazvuku je piezoelektrický krystal, který působením střídavého proudu deformuje svůj tvar. Opačný princip je využíván k zachycení odrazů – ech. Intenzita odrazu nás informuje o velikosti rozdílu rozhraní tkání, čas od vyslání k návratu o vzdálenosti a rozhraní od zdroje. (10), (13), (14)

1.3 Statistika ve výzkumu

Matematická statistika vyjadřuje výsledky deskriptivní statistiky různými konstrukty a dále je matematicky zpracovává.

Z teorie pravděpodobnosti je možné odvodit několik konstruktů. Prvním odvozeným konstruktem je teoretické rozdělení. Pro používání různých možností diskrétní matematiky nebo diferenciálního a integrálního počtu je nutné nahrazení empirického rozdělení četností teoretickým rozdělením náhodné veličiny (termín „náhodná veličina“ je užíván jako analogie statistického znaku). Právě toto nahrazování je základní metodou matematické statistiky, která se nazývá „neparametrické testování“. Pokud nelze objevit teoretické rozdělení, nedoporučuje se dále pokračovat v šetření zkoumaného statistického znaku. Jako vhodná varianta teoretického rozdělení se často ukazuje normální rozdělení, a to především v případě populačních charakteristik, jako základního statistického souboru. (18), (21)

Dalším konstruktem také odvozeným z teorie pravděpodobnosti je „parametrické testování“. Toto testování se zakládá na srovnávání teoretických parametrů probíhajícího statistického šetření s jinými dosaženými výsledky, tedy teoretickými nebo empirickými parametry, které byly získány ze statistických šetření jiných. (19), (21)

1.3.1 Popis metod deskriptivní statistiky

a) Formulace statistického šetření

Formulace statistického šetření je založena na vymezení následujících pojmů:

· hromadný náhodný jev

HNJ

· statistická jednotka	SJ
· statistický znak	SZ
· hodnoty statistického znaku	HSZ
· základní statistický soubor a jeho rozsah	ZSS
· náhodný výběr	NV
· výběrový statistický soubor a jeho rozsah	VSS

Hromadný náhodný jev je realizace činností nebo procesů, jejichž výsledek nelze s jistotou předpovědět a které se odehrávají v rozsáhlé množině prvku. Tyto prvky mají určitou skupinu vlastností stejných a další skupinu vlastností odlišných.

Statistická jednotka je elementární jednotka vymezená stejnými vlastnostmi zkoumané množiny.

Statistický znak je společná vlastnost statistických jednotek.

Hodnota statistického znaku je způsob popisu zkoumaného statistického znaku.

Základní statistický soubor je dán všemi statistickými jednotkami, jeho rozsah je roven počtu všech statistických jednotek.

Náhodný výběr je omezení počtu zkoumaných statistických jednotek tak, aby bylo možné přenášet získané výsledky na celý základní statistický soubor ZSS.

Výběrový statistický soubor je spojen s výběrovými charakteristikami a je dán těmi statistickými jednotkami, které byly vybrány procesem náhodného výběru. Rozsah výběrového statistického souboru je roven počtu vybraných statistických jednotek.

(18), (19), (22)

b) Škálování

Škálování spočívá v přenesení reálného jevu na číselnou stupnici a roztřídění hodnot statistického znaku do skupin. Jsou známy různé typy škál, např. tyto čtyři: ordinální, nominální, absolutní metrickou a kvantitativní metrickou.

Právě kvantitativní metrická škála bude použita v této práci. Prvky této škály jsou vyjádřené číselnými velikostmi, což umožňuje stanovit vzdálenost mezi dvěma sousedními statistickými jednotkami. (22)

c) Měření

Při měření je každé statistické jednotce výběrového statistického souboru VSS přiřazen jeden z prvků škály x_1, x_2, \dots, x_k . Výsledkem měření je zjištění, že prvek škály x_i byl naměřen n_i krát. Hodnotám n_i se říká absolutní četnosti a jejich součet je roven rozsahu statistického souboru VSS.

Mezi výsledky měření x_i patří také hodnocení pravděpodobnosti jejich výskytu. Ze statistické pravděpodobnosti $p(x_i)$ výsledku x_i vychází tzv. relativní četností n_i/n . Při sečtení všech relativních četností musí být výsledek roven 1.

Dalším výsledkem měření jsou také kumulativní četnosti. Kumulativní četnost $\sum n_i/n$ značí pravděpodobnost, že výsledek měření bude menší nebo rovný výsledku x_i . (18), (19)

d) Elementární statistické zpracování

Elementární statistické zpracování je užitečné pro zpřehlednění, parametrizování, uspořádání a grafické vyjádření výsledků měření pomocí empirických parametrů. Toto vše je možné třemi základními výsledky elementárního statistického zpracování – tabulkou, empirickými rozděleními a empirickými parametry. (18)

d1) Tabulka

Tabulka obsahuje osm sloupců. První polovina tabulky, tedy čtyři sloupce obsahují zpřehledněné výsledky měření. Dále znázorňují empirická rozdělení. Poslední čtyři sloupce jsou pomocné a využívají se k rychlým a snadným výpočtům empirických parametrů. (21)

d2) Empirická rozdělení četností

Empirická rozdělení četností spočívají v grafickém vyjádření přiřazení odpovídajících absolutních četností n_i prvkům škály x_i a přiřazení odpovídajících kumulativních četností $\sum n_i/n$ prvkům škály x_i . Při použití souřadnicového systému jsou na vodorovnou osu nanášeny prvky škály x_i a na svislou osu odpovídající četnosti. Pokud jsou sousední body vzniklé souřadnicemi prvků škály x_i a odpovídajících četností spojeny, lze získat „polygon“, tedy lomenou čáru. (18)

d3) Empirické parametry

Empirické parametry vystihují povahu zkoumaného statistického souboru.

Jejich členění je možné podle charakteru rysu zkoumaného statistického souboru (statistického znaku):

- parametr polohy
- parametr variability (proměnlivosti)
- parametr šikmosti
- parametr špičatosti

Druhým dělením je dělení podle způsobu jejich výpočtu:

- momentové parametry
- kvantilové parametry

Kvantilové parametry jsou konstruovány odlišně než momentové parametry, ale úzce s nimi souvisí. Patří mezi ně mediány, kvartily, decily a percentily. Nebudou v práci použity, proto nebudou dále zkoumány.

Momentové parametry jsou rozděleny na obecné, centrální a normované momenty. Pomocí obecného momentu 1. řádu lze charakterizovat aritmetický průměr, pomocí centrálního momentu 2. řádu lze charakterizovat empirický rozptyl, pomocí normovaného momentu 3. a 4. řádu parametry šikmosti a špičatosti. (18), (20)

1.3.2 Neparametrické testování

Spočívá v přiřazení teoretického rozdělení rozdělení empirickému. Také se uvádí pod pojmem „testování neparametrických hypotéz“.

Testování neparametrických hypotéz spočívá především v tom, že je výhodné nahradit empirické rozdělení rozdělením teoretickým. Díky teoretickému rozdělení je možné získat informace jinak nedostupné a to pomocí jednoduchého matematického aparátu.

Intervalové rozdělení četností

Někdy je vhodné roztrždit rozpětí prvku metrické škály nebo hodnot statistického znaku u zkoumaného statistického souboru na daný počet intervalů. V každém intervalu jsou pak uvedeny odpovídající hodnoty. Doporučuje se sestavení 5 až 20 intervalů o stejné délce. (18), (21)

Teoretické rozdělení četností

Jedním ze základních pojmů teorie pravděpodobnosti je „teoretické rozdělení“. Hromadný náhodný jev HNJ, je zkoumán prostřednictvím pojmu „náhodná veličina“ a „náhodný pokus“. Náhodný pokus je uskutečnění procesu nebo činnosti, u kterých nelze s jistotou předpovědět jejich výsledek. Hodnota náhodné veličiny je určena výsledkem náhodného pokusu. „Hodnota náhodné veličiny“ je určitou analogií pojmu „hodnota statistického znaku HSZ“, jehož původ lze nalézt v teorii pravděpodobnosti. Náhodné veličiny je možné dělit na spojité (hodnoty na sebe spojitě „navazují“ – nelze nalézt nejbližší sousední hodnotu, hodnoty spojité náhodné veličiny budou značeny x) a diskrétní (hodnoty diskrétní náhodné veličiny budou značeny x_i a „nenavazují“ na sebe). Hodnotám náhodné veličiny jsou přiřazeny pravděpodobnosti, s níž dané hodnoty nastanou při náhodném pokusu. Tyto pravděpodobnosti mohou být definovány klasicky, kdy je počet výsledků náhodných pokusů dané hodnoty dělený počtem všech výsledků náhodných pokusů, nebo např. kolmogorovsky nebo geometricky. Pojem „teoretické rozdělení“ odpovídá statistickému pojmu „empirické rozdělení četností“. Teoretická rozdělení je možné dělit na spojitá a diskrétní. Teoretických rozdělení je užíváno velké množství variant.

Významnou popisnou formou teoretického rozdělení je distribuční funkce F . Ta v případě diskrétní náhodné veličiny znázorňuje pravděpodobnost, že náhodná veličina bude mít menší nebo rovnou hodnotu než zvolená hodnota x_i . Součtem dílčích pravděpodobností bude dána kumulativní pravděpodobnost. Pro spojitou náhodnou veličinu distribuční funkce F bude tato kumulativní pravděpodobnost vyjádřena integrálem, který má dolní mez např. u normálního rozdělení rovnou $-\infty$ a horní mez odpovídá hodnotě x . Pojem „distribuční funkce“ odpovídá statistickému pojmu „kumulativní četnost“. (18), (19), (22)

1.3.3 Rozšíření neparametrického testování

a) Přehled neparametrických testů

- a) Test iterací.
- b) Kruskalův-Wallisův test.

- c) Kolmogorovův-Smirnovův test dobré shody.
- d) Wilcoxonův test.
- e) χ^2 -test dobré shody.
- f) Friedmanův test.
- g) Šaldův-Wolfowitzův iterační test shody rozdělení.
- h) Mannův-Whitneyův test.
- i) McNemarův test významnosti změn.

Bližší budou zkoumány χ^2 -test dobré shody Kolmogorovův-Smirnovův test dobré shody. (18), (20)

b) χ^2 -test dobré shody

χ^2 -test dobré shody patří mezi neparametrické testy, kterými lze ověřit pravděpodobnostní funkce P_i nebo předpoklad o typu hustoty pravděpodobnosti $\rho(x)$.

Základem χ^2 -testu dobré shody je srovnávání teoretického obsazení prvků škály s reálnými empirickými výsledky, to je uskutečnitelné po rozřídění výsledku zkoumání výběrového statistického souboru VSS do prvků škály, které se nepřekrývají. V případě dosažení shody, je možné přijmout nulovou hypotézu H_0 . Pokud shoda není dosažena, je nezbytné zvolit jinou pravděpodobnostní funkci P_i nebo jiný předpoklad o typu hustoty pravděpodobnosti $\rho(x)$ a přijmout alternativní hypotézu H_a .

Kritériem testu je obecný tvar experimentální hodnoty χ_{exp}^2

$$\chi_{exp}^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(n_j - N_j)^2}{N_j}$$

kde n_j jsou obvyklé empirické absolutní četnosti, k je spojeno se zredukovaným počtem prvků škály a N_j je vystižení teoretických absolutních četností vázaných na testované spojité nebo diskrétní teoretické rozdělení.

Počet prvků škály je nutno redukovat v případě, že nejsou empirické absolutní četnosti $n_j > 5$ alespoň v 80% prvcích škály. χ^2 -test lze aplikovat pro jakoukoliv hustotou pravděpodobnosti $\rho(x)$ nebo pravděpodobnostní funkcí P_i jakéhokoliv spojitého nebo diskrétního teoretického rozdělení.

Dále jsou uvedeny speciální tvary experimentální hodnoty χ_{exp}^2 např. pro testování normálního rozdělení či Poissonova rozdělení.

Tvar pro testování normálního rozdělení:

$$\chi_{exp}^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(n_j - np_j)^2}{np_j}$$

kde n je rozsah výběrového statistického souboru VSS, značka p_j je spojena s rozdílem hodnot distribuční funkce $F(x)$ normálního rozdělení.

Pro testování Poissonova rozdělení by mohl být vhodný tvar experimentální hodnoty χ_{exp}^2

$$\chi_{exp}^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(n_j - nP_j)^2}{nP_j}$$

kde n je jako v předchozím výrazu rozsah výběrového statistického souboru VSS, označení P_j je tentokrát spojeno s pravděpodobnostní funkcí P_j Poissonova rozdělení.
(18), (22), (23)

c) Kolmogorovův-Smirnovův test dobré shody pro jeden výběrový statistický soubor

Kolmogorovův-Smirnovův test se používá, když je rozsah n výběrového statistického souboru velmi malé číslo (pak nelze použít χ^2 -test dobré shody).

Nulovou hypotézu H_0 je pak možné formulovat jako předpoklad, že náhodný výběr vychází z daného teoretického rozdělení se specifikovanou spojitou distribuční funkcí $F(x)$. Alternativní hypotéza H_a je protikladná.

Požadavek spojitosti je možné alespoň částečně splnit zavedením schodovité křivky, to lze v případě, že má teoretická distribuční funkce $F(x)$ diskrétní charakter F_i . Body nespojitosti má schodovitá křivka v místech, kde na vrchol schodu navazuje sedlo schodu. Do aplikace testového kritéria spojeného s Kolmogorovovým-Smirnovovým testem je nutné s mírou teoretické přiblížnosti promítnout zavedení schodovité křivky v případě diskrétního charakteru teoretické distribuční funkce $F(x)$.

Kritériem testu je největší zjištěná vzdálenost empirické distribuční funkce od teoretické distribuční funkce $F(x)$ teoretického rozdělení. Pojem empirické distribuční funkce je možné zavést symbolem $F_j(x = j)$. V případě, kdy není použito škálování, lze empirickou distribuční funkci formulovat vztahem $F_j(x = j) = j/n$. Pokud je použito škálování, pak lze empirickou distribuční funkci $F_j(x = j)$ ztotožnit s běžnou kumulativní četností

$$F_j(x = j) = \sum_{i=0 \text{ nebo } 1}^j \frac{n_i}{n} \quad (n_i \text{ jsou absolutní četnosti})$$

Opětovným zavedením schodovité křivky, která má body nespojitosti v místech navazování sedla schodu na vrchol schodu lze ke spojitosti nasměrovat diskrétní charakter empirické distribuční funkce $F_j(x = j)$.

Pokud je použito škálování, pak je v Kolmogorovově-Smirnovově testu experimentální hodnota d_{exp}

$$d_{exp} = \sup d_j \left| \sum_{i=0 \text{ nebo } 1}^j \frac{n_i}{n} - F(x) \right| = \sup d_j |F_j(x = j) - F(x)| = \sup d_j$$

Experimentální hodnota d_{exp} Kolmogorovova-Smirnovova testu je bez použití škálování

$$d_{exp} = \sup d_j \left| \frac{j}{n} - F(x) \right| = \sup d_j |F_j(x = j) - F(x)| = \sup d_j$$

Je nutné absolutní odchylky d_j hledat v bodech nespojitosti jak ve vazbě na sedlo schodu, tak i ve vazbě na vrchol schodu. S příslušnou hodnotou teoretické distribuční funkce $F(x)$ bude potřebné v rámci absolutní odchylky d_j srovnávat jak hodnotu empirické distribuční funkce $F_j(x = j)$, tak i hodnotu $F_{j+1}(x = j + 1)$. Počet absolutních odchylek d_j se tím téměř zdvojnásobí – z tohoto počtu lze poté vybrat maximální absolutní odchylku d_{exp} , tedy $\sup d_j$.

Teoretická (kritická) hodnota $d_{teor} = d_{n,1-\alpha}$ je uvedena ve statistických tabulkách. Nulovou hypotézu H_0 lze přijmout v případě, že teoretická hodnota převažuje nad hodnotou experimentální, tj. experimentální hodnota d_{exp} není prvkem kritického oboru $W = \langle d_{teor} = d_{n,1-\alpha} ; \infty \rangle$. Při přijetí nulové hypotézy H_0 je potvrzena možnost,

že empirické rozdělení četností je možné nahradit předpokládaným teoretickým rozdělením. Alternativní hypotézu H_a lze připustit v opačném případě. (18), (22), (23)

d) Kolmogorovův-Smirnovův test dobré shody pro dva výběrové statistické soubory

Kolmogorovův-Smirnovův test dobré shody testovaných teoretických rozdělení dvou nezávislých výběrových statistických souborů umožňuje ověřit hypotézu, že tyto dva výběrové statistické soubory s rozsahy n_1, n_2 mají podle nulové hypotézy H_0 stejná spojitá teoretická rozdělení a tím i stejné distribuční funkce.

Distribuční funkce těchto teoretických rozdělení jsou označeny $F_1(x), F_2(x)$ a podle testované nulové hypotézy H_0 vycházejí ze stejného teoretického rozdělení.

Pak je experimentální hodnota d_{exp} dvojvýběrového Kolmogorovova-Smirnovova testu dána následovně

$$d_{exp} = d_{n_1, n_2} = \max |F_1(x) - F_2(x)|$$

Kritickou hodnotu $d_{n_1, n_2, 1-\alpha}$ lze nalézt ve statistických tabulkách. Pokud je kritická hodnota Kolmogorovova-Smirnovova testu je větší než jeho experimentální hodnota, pak platí nulová hypotéza H_0 . (18), (19), (22)

e) Rozšíření teoretických rozdělení

e1) Spojité teoretické rozdělení - Normální a normované normální rozdělení

e1.1) Hustoty pravděpodobnosti, teoretické parametry

Normální rozdělení $N(\mu, \sigma)$ náhodné veličiny X (ta je označována x a má hodnotu $x \in (-\infty; \infty)$) má dva teoretické parametry μ, σ . U normovaného normálního rozdělení $N(0, 1)$ náhodné veličiny U (ta je označována u a má hodnotu $u \in (-\infty; \infty)$) jsou parametry μ, σ normovány na hodnoty 0, 1 a to kvůli nahrazení náhodné veličiny X novou náhodnou veličinou U .

$$u = \frac{x - \mu}{\sigma}, E\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right) = \frac{E(x) - \mu}{\sigma} = 0, D\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right) = \frac{D(x)}{\sigma^2} = 1$$

Hustoty pravděpodobnosti $\rho(x)$, $\rho(u)$ (které odpovídají relativní četnosti), distribuční funkce $F(x)$, $F(u)$ (které odpovídají kumulativní četnosti) a normovací podmínky (které odpovídají empirické normovací podmínce) mají tvary

$$\rho(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \rho(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}}$$

$$F(t) = \int_{-\infty}^t \rho(x) dx, F(t) = \int_{-\infty}^t \rho(u) du$$

$$F(\infty) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho(x) dx = 1, F(\infty) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho(u) du = 1$$

Teoretické parametry O_1 , C_2 lze vypočítat ve tvarech

$$O_1 = E(x) = \int_{-\infty}^{\infty} x\rho(x) dx = \mu, O_1 = E(u) = \int_{-\infty}^{\infty} u\rho(u) du = 0$$

$$C_2 = D(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - O_1)^2 \rho(x) dx = \sigma^2, C_2 = D(u) = \int_{-\infty}^{\infty} u^2 \rho(u) du = 1$$

(18), (20), (21), (22)

e1.2) Momentová vytvořující funkce

Obecná definice momentové vytvořující funkce $m_x(z)$ pro nespojitou náhodnou veličinu X a spojitou náhodnou veličinu X je následující

$$m_j(z) = \sum_M e^{z_i} P_i$$

$$m_x(z) = \int_M e^{zx} \rho(x) dx$$

Tato funkce je užitečná k výpočtu teoretických momentů v případě, kdy je klasický způsob výpočtu pracný.

$$O_j = \frac{d^j m_x(z)}{dz^j}$$

$$C_j = \frac{d^j m_y(z)}{dz^j}$$

oba výrazy platí pro bod $z = 0$ (21), (22), (23)

e2) Spojité teoretické rozdělení – χ^2 rozdělení

Speciálním typem gama rozdělení $\text{Ga}(a = 1/2, p = v/2)$ je χ^2 rozdělení. Gama rozdělení má jeden teoretický parametr v , čemuž odpovídá i tvar hustoty pravděpodobnosti (hustota pravděpodobnosti je analogií relativní četnosti).

Pro získání teoretického centrálního momentu 2.řádu C_2 je nutné dělit výpočet, který je proveden podle momentové vytvořující funkce počtem v nezávislých náhodných veličin U_i^2 . Toto vše je nutné pro získání teoretických parametrů χ^2 rozdělení.

Momentovou vytvořující funkci a teoretické parametry obecný moment 1. řádu O_1 a centrální moment 2. řádu C_2 lze zapsat následovně:

$$\begin{aligned}m_x(z) &= (1 - 2z)^{-v/2} \\O_1 = E(x) &= v \\C_2 = D(x) &= 2v\end{aligned}\tag{18}, (19), (22)$$

e3) Diskrétní Poissonovo rozdělení

Poissonovo rozdělení je diskrétní teoretické rozdělení $\text{Po}(\lambda)$. Má jeden teoretický parametre λ náhodné veličiny X (náhodná veličina má hodnoty $x_i = i = 0, 1, \dots, \infty$).

Analogie empirické relativní a kumulativní četnosti - pravděpodobnostní a distribuční funkce P_i a F_i , momentová vytvořující funkce a teoretické momenty O_j, C_j vypadají pro Poissonovo rozdělení $\text{Po}(\lambda)$ následovně:

$$P_i = e^{-\lambda} \frac{\lambda^i}{i!}, \text{ kde } i = 0, 1, \dots, \infty, F_i = \sum_{j=0}^i P_j, \text{ kde } i \leq \infty$$

momentová vytvořující funkce $m_i(z) = e^{\lambda(e^z - 1)}$

teoretické momenty O_1, C_2, C_3, C_4

$$O_1 = E_i = \lambda, C_2 = D_i = \lambda, C_3 = \lambda, C_4 = 3\lambda^2 + \lambda\tag{22}$$

1.3.4 Parametrické testování

Parametrické testování vychází z aparátu dvou základních hypotéz - nulové hypotézy H_0 (parametru populace) a alternativní hypotézy H_a (v případě, že neplatí H_0 pak H_a vymezuje nastalou situaci). Tento aparát se obvykle doplňuje aparátem pro kritický obor W .

Testování parametrických hypotéz je možné členit na jednovýběrové testování hypotézy, tedy testování o rozptylu nebo o střední hodnotě a na dvojbvýběrové testování o rozptylu nebo rovnosti středních hodnot. (18)

a) Jednovýběrové parametrické testování

Jednovýběrové parametrické testování se zakládá na srovnávání empirického parametru $\mu_1 = O_1$ nebo empirického parametru $\sigma_1 = S_x$ (O_1, S_x jsou výsledky elementárního statistického zpracování výběrového statistického souboru VSS, prostřednictvím těchto parametrů byly odhadnuty teoretické parametry μ_1, σ_1 normálního rozdělení) s vnějšími teoretickými údaji μ_0, σ_0 , které mohou mít rozmanitý původ.

Postup při tomto testování je obdobný jako při testování neparametrickém. Jako první krok je nutné definovat nulovou a alternativní hypotézu a vybrat hladinu statistické významnosti α . V dalším kroku je nutné zvolit vhodné testové kritérium (jednovýběrový t-test, jednovýběrový u-test, jednovýběrový χ^2 -test) a nalézt jeho kritickou hodnotu a kritický obor W . Dále je potřebné vypočítat empirické hodnoty a určit, zda je nebo není prvkem kritického oboru W . Pokud je prvkem tohoto kritického oboru, pak je nutné přijetí alternativní hypotézy H_a . v případě opačného výsledku nulovou hypotézu H_0 . (18), (21), (22)

b) Dvojbvýběrové parametrické testování

Dvojbvýběrové parametrické testování vychází ze srovnávání empirických parametrů $\mu_1 = O_1$ nebo $\sigma_1 = S_x$ (O_1, S_x jsou výsledky elementárního statistického zpracování, které vycházejí z výběrového statistického souboru VSS_1 , jejich prostřednictvím byly odhadnuty příslušné teoretické parametry μ_1, σ_1 odpovídajícího normálního rozdělení) s vnějšími teoretickými údaji μ_2, σ_2 . Původ těchto parametrů lze nalézt ve výsledcích zkoumání druhého výběrového statistického souboru VSS_2 .

Postup při dvojbvýběrovém parametrickém testování je opět obdobný jako při testování neparametrickém. (18), (21), (22)

1.3.5 Rozšíření parametrického testování

a) Statistická hypotéza a její test

Statistickou hypotézou je obvykle tvrzení o neznámém teoretickém parametru TP (parametrické testování při ověřování tvrzení) nebo tvrzení o teoretickém rozdělení náhodné veličiny (neparametrické testování při ověřování tvrzení). Teoretický parametr TP bude brán za parametrickou funkci $\gamma(\text{TP})$.

„Testem parametrické hypotézy“ se nazývá postup ověřování statistické hypotézy parametrickou nebo neparametrickou cestou. Alternativní hypotéza H_a je postavena proti ověřované nulové hypotéze H_0 .

Možnost, že zamítneme nulovou hypotézu H_0 , ač platí, značí statistická chyba 1. druhu (pravděpodobnost této chyby je označena α). Druhá varianta, tedy že nezamítneme H_0 , ač neplatí, odráží statistická chyba 2. druhu (pravděpodobnost této chyby se značí β).

Velikost tzv. kritického oboru W je určena volbou α (α jako koeficient spolehlivosti nebo hladina statistické významnosti). „Silou testu“ se nazývá pravděpodobnost správného zamítnutí nulové hypotézy H_0 ($1 - \beta$). Nejsilnější test a nejsilnější kritický obor W lze získat tak, že na základě výběrového statistického souboru VSS s rozsahem n je provedena volba hladiny statistické významnosti α a hledání testu maximalizující sílu testu, které umožňují ověření nulové hypotézy H_0 proti alternativní hypotéze H_a . (18), (21), (22)

b) Nejsilnější parametrické testy

Při testování nulové hypotézy $H_0: \text{TP} = \text{TP}_0$ proti alternativní hypotéze $H_a: \text{TP} = \text{TP}_a$ je srovnáván teoretický parametr TP s teoretickým parametrem TP_0 nebo s jeho alternativní hodnotou TP_a . Toto testování je založeno na nalezení nejsilnějšího kritického oboru W a nejsilnějšího testu.

V tomto případě se využívá Neymanova-Pearsonova věta k nalezení nejsilnějšího kritického oboru W a nejsilnějšího testu. Neymanova-Pearsonova věta vyžaduje splnění následujících dvou podmínek:

Nejsilnější kritický obor W_α je určen takovou statistikou $t(x_1, \dots, x_n)$, pro kterou platí

1. Pravděpodobnost, že pro nulovou hypotézu H_0 , je rovna pravděpodobnosti α , s níž je statistika $t \in W_\alpha$ pro nulovou hypotézu H_0 . Pravděpodobnost α se obvykle volí 0,05.

2. Poměr věrohodností $\frac{L(TP_0)}{L(TP_\alpha)} \leq k_\alpha$, kde k_α je konstanta závisající na α .

(18), (20), (21)

c) Parametrický test teoretických parametrů normálního rozdělení

Normální rozdělení $N(\mu, \sigma)$ má dva teoretické parametry, kterými jsou teoretický obecný moment 1. řádu $O_1 = \mu = E(x)$ a teoretický centrální moment 2. řádu $C_2 = \sigma^2 = D(x)$.

Parametrické testy týkající se těchto teoretických parametrů je možné uvést v následujícím přehledu (u každého parametrického testu jsou zapsány tvar testového kritéria, nulová a alternativní hypotéza, jednostranné a dvojstranné kritické obory, $\alpha = 0,05$):

a) u-test (teoretický parametr σ je znám)

$$u = \frac{O_1 - \mu_0}{\sigma} \sqrt{n}, H_0: \mu = \mu_0$$

levostranná alternativa $W = (-\infty; -u(0,05))$ při $H_a: \mu$ je menší než μ_0

pravostranná alternativa $W = (u(0,05); \infty)$ při $H_a: \mu$ je větší než μ_0

dvojstranná alternativa $W = (-\infty; -t_{n-1}(0,025)) \cup (t_{n-1}(0,025); \infty)$ při $H_a: \mu \neq \mu_0$

b) t-test (teoretický parametr σ je neznám)

$$t = \frac{O_1 - \mu_0}{S_x} \sqrt{n}, H_0: \mu = \mu_0$$

levostranná alternativa $W = (-\infty; -t_{n-1}(0,05))$ při $H_a: \mu$ je menší než μ_0

pravostranná alternativa $W = (t_{n-1}(0,05); \infty)$ při $H_a: \mu$ je větší než μ_0

dvojstranná alternativa $W = (-\infty; -t_{n-1}(0,025)) \cup (t_{n-1}(0,025); \infty)$ při $H_a: \mu \neq \mu_0$

c) χ^2 -test

$$\chi^2 = \frac{(n-1)\sigma^2}{\sigma_0} \sqrt{n}, H_0: \mu = \mu_0$$

levostranná alternativa $W = \langle 0; \chi_{n-1}^2(1-0,05) \rangle$ při $H_a: \sigma$ je menší než σ_0

pravostranná alternativa $W = \langle \chi_{n-1}^2(0,05); \infty \rangle$ při $H_a: \sigma$ je větší než σ_0

dvojstranná alternativa $W = \langle 0; \chi_{n-1}^2(1-0,025) \rangle \cup \langle \chi_{n-1}^2(0,025); \infty \rangle$ při $H_a: \sigma \neq \sigma_0$

(18), (21), (22), (23)

d) Parametrický test teoretických parametrů libovolného teoretického rozdělení

V situaci statistického šetření s velkými rozsahy n výběrového statistického souboru je možné použít libovolné teoretické rozdělení. Pro případ velkého rozsahu n je možno pracovat při testování např. teoretického parametru $E(x)$ pouze s u-testem. Testové kritérium a nulovou a alternativní hypotézu zapsat ve tvarech

$$u = \frac{E(x) - E_0(x)}{\sqrt{D(x)}} \sqrt{n}, H_0: E(x) = E_0(x), H_a: E(x) \neq E_0(x)$$

kde $E_0(x)$ je vnější parametr, který je srovnávaný s parametrem $E(x)$ zkoumaného výběrového statistického souboru.

Dále je nutno nahradit teoretický parametr $D(x)$ vhodným konzistentním odhadem, např. takto

$$C_2 = \frac{1}{n} \sum (x_i - O_{1x})^2, \text{ případně } S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - O_{1x})^2$$

(18), (22)

(Pozn.: všechny matematické vzorce uvedené v této kapitole byly z převzaty z literárního zdroje č.18)

2. Cíle práce a hypotézy

2.1 Cíle práce:

1. Data miningová vizualizace složek profilu radiologického asistenta a modelů struktury fyziky a radiologické fyziky.

2. Vytvoření dotazníku odpovídajícího data miningovému modelu.

3. Získání představy o teoretickém rozdělení znalostí z radiologické fyziky u laické a odborné veřejnosti.

4. Srovnáním teoretických rozdělení vytvoření metodické pomůcky

2.2 Hypotézy:

H1. Teoretické rozdělení znalostí u laické veřejnosti bude blízké normálnímu rozdělení.

H2. Teoretické rozdělení znalostí u odborné veřejnosti nebude mít normální rozdělení.

H3. Srovnání znalostí u obou veřejností pomocí parametrických testů povede k přijetí alternativní hypotézy.

3. Metodika

Pro zpracování bakalářské práce byla data získána metodami kvantitativního výzkumu. Konstrukce dotazníku byla provedena reflexí struktury radiologické fyziky uvedené v kapitole 1.2 bakalářské práce. Dotazník byl vytvořen formou alternativního testu skládajícího se z 20 otázek. Odborná veřejnost byla vybrána ve spolupráci se Společností radiologických asistentů. Společnost radiologických asistentů organizovala kurzy z radiologické fyziky pro své radiologické asistenty. Rozeslané dotazníky vyplnilo 54 respondentů. Laická veřejnost nebyla vybírána náhodným výběrem. Dotazník byl položen nereprezentativního vzorku 50 respondentům ze sociálního okolí autorky bakalářské práce.

Vymezené hypotézy H1, H2 a H3 budou ověřovány prostřednictvím metod deskriptivní a matematické statistiky.

3.1 Postup ověřování hypotéz na základě metod deskriptivní statistiky

Formulace statistického šetření

Formulace statistického šetření je založena na vymezení následujících pojmů:

- | | |
|---|-----|
| · hromadný náhodný jev | HNJ |
| · statistická jednotka | SJ |
| · statistický znak | SZ |
| · hodnoty statistického znaku | HSZ |
| · základní statistický soubor a jeho rozsah | ZSS |
| · náhodný výběr | NV |
| · výběrový statistický soubor a jeho rozsah | VSS |

Škálování

Bude provedeno pomocí kvantitativní metrické škály.

Měření

Měření bude spočívat v zobrazení množiny statistických jednotek do množiny reálných čísel. Bude splňovat podmínky validity, objektivnosti a reliability. Výsledky

měření budou udány v údajích o hodnotách statistického znaku – údaji o jednotlivých prvcích škály, absolutních, relativních a kumulativních četnostech.

Elementární statistické zpracování

Tabulka

Sloupce tabulky budou obsahovat:

- sloupec označený x_i prvky škály
- sloupec označený n_i absolutní četnosti prvků škály
- sloupec označený n_i/n relativní četnosti prvků škály
- sloupec označený $\sum n_i/n$ kumulativní četnosti

Sloupce tabulky potřebné pro výpočet empirických parametrů budou obsahovat:

- sloupec obsahující součiny $x_i n_i$
- sloupec obsahující součiny $x_i^2 n_i$
- sloupec obsahující součiny $x_i^3 n_i$
- sloupec obsahující součiny $x_i^4 n_i$

V posledním řádku tabulky budou uvedeny součty údajů jednotlivých sloupců.

Empirická rozdělení četností

Budou použity dva základní druhy empirického rozdělení četností. První druh přiřazuje prvkům škály x_i odpovídající absolutní četnosti n_i nebo relativní četnosti n_i/n . Druhý druh přiřazuje prvkům škály x_i odpovídající kumulativní četnosti $\sum n_i/n$.

Empirické parametry

Dále jsou vyjádřeny použité vztahy pro obecné a centrální momenty, vyjádření centrálních momentů pomocí obecných momentů a vyjádření normovaných momentů pomocí momentů centrálních.

(Písmenem x bude označen zkoumaný statistický znak, prvky škály statistického znaku budou označeny x_i , absolutní četnosti n_i a rozsah výběrového statistického souboru n .)

a) Obecné vztahy pro obecné a centrální parametry

$$\text{Obecný moment } r\text{-tého řádu: } O_r(x) = \frac{1}{n} \sum n_i \cdot (x_i)^r$$

$$\text{Obecný moment 1. řádu: } O_1(x) = \bar{x} \text{ (aritmetický průměr)}$$

$$\text{Centrální moment } r\text{-tého řádu: } C_r(x) = \frac{1}{n} \sum n_i \cdot (x_i - \bar{x})^r$$

$$\text{Centrální moment 2. řádu: } C_2(x) = S_x^2 \text{ (empirický rozptyl)}$$

$$\text{Směrodatná odchylka: } S_x = \sqrt{C_2(x)}$$

b) Vyjádření potřebných centrálních momentů pomocí momentů obecných

$$C_2(x) = O_2(x) - [O_1(x)]^2$$

$$C_3(x) = O_3(x) - 3 \cdot O_2(x) \cdot O_1(x) + 2 \cdot [O_1(x)]^3$$

$$C_4(x) = O_4(x) - 4 \cdot O_3(x) \cdot O_1(x) + 6 \cdot O_2(x) \cdot [O_1(x)]^2 - 3 \cdot [O_1(x)]^4$$

c) Vyjádření potřebných normovaných momentů pomocí momentů centrálních

$$N_3(x) = \frac{C_3(x)}{C_2(x) \sqrt{C_2(x)}}$$

$$N_4(x) = \frac{C_4(x)}{[C_2(x)]^2}$$

Parametr polohy je určen obecným momentem 1. řádu O_1 a nese název aritmetický průměr.

Parametr variability je určen centrálním momentem 2. řádu C_2 a nese název empirický rozptyl. Odmocnina rozptylu je pak směrodatná odchylka.

Parametr šikmosti je určen normovaným momentem 3. řádu N_3 a má název koeficient šikmosti.

Parametr špičatosti je určen normovaným momentem 4. řádu N_4 a nese název koeficient špičatosti. Rovněž se používá veličina zvaná exces, ta je definována vztahem $\text{exces} = N_4 - 3$.

3.2 Postup ověřování hypotéz na základě metod matematické statistiky

3.2.1 *Neparametrické testování*

Nejprve bude provedeno intervalové rozdělení četností, bude použito 5 stejně dlouhých intervalů.

Dále bude zvolen vhodný test neparametrického testování pro zpracování dat – χ^2 -test dobré shody.

Následuje testování normality – postup je následující:

1. Výpočet integrálů - jednotlivých ploch pomocí zavedení proměnné u .
2. Využití primitivní funkce $F(u_i)$ ze statistických tabulek.
3. Použití χ^2 -testu dobré shody – výpočet χ^2_{exp} a χ^2_{teor} .
4. Ověření nebo vyvrácení hypotéz.

3.2.2 *Parametrické testování*

Z kapitoly parametrické testování bude použito dvojitý výběrové testování hypotézy - dvojitý výběrový t-test.

Dvojitý výběrové parametrické testování

Dvojitý výběrové parametrické testování bude založeno na srovnávání empirického parametru $\mu_1 = O_1$ nebo empirického parametru $\sigma_1 = S_x$ (symboly O_1, S_x uvádí výsledky elementárního statistického zpracování výběrového statistického souboru VSS_1 , pomocí nichž byly odhadnuty náležité teoretické parametry μ_1, σ_1 odpovídajícího normálního rozdělení) s vnějšími teoretickými údaji μ_2, σ_2 . Původ těchto údajů lze nalézt ve výsledcích zkoumání výběrového statistického souboru VSS_2 .

Pro výpočet dvojitý výběrového parametrického t-testu bude použit vzorec

$$t_{\text{exp}} = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{(n_1 - 1)S_{x1}^2 + (n_2 - 1)S_{x2}^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}},$$
$$W = (-\infty; -t_{n_1+n_2-2}(\alpha/2)) \cup (t_{n_1+n_2-2}(\alpha/2); \infty)$$

3.3 Konstrukce dotazníku a jeho zpracování

Autorkou vytvořený dotazník odráží strukturu vybraných otázek radiologické fyziky, které jsou potřebné pro vysokoškolskou přípravu radiologických asistentů. Zkonstruovaný dotazník není tedy strukturálním obrazem odborné radiologické fyziky, je odrazem konceptuálního a zamýšleného kurikula radiologické fyziky ve vazbě na potřeby vysokoškolské edukace radiologických asistentů.

Stejný dotazník byl položen respondentům laické i odborné veřejnosti. Komparace znalostí z radiologické fyziky těchto dvou skupin bude provedena pomocí parametrického dvojvýběrového t-testu.

4. Výsledky

4.1 Konstrukce dotazníku

Přehled 20 otázek dotazníku:

1. Co je foton?

- a) Částice
- b) Vlna
- c) Někdy částice, někdy vlna
- d) Fotonka

2. Jaká je rychlost fotonu?

- a) Větší než rychlost světla
- b) Rovna rychlosti světla
- c) Menší než rychlost světla
- d) Rovna rychlosti zvuku

3. Co je elektron?

- a) Částice
- b) Vlna
- c) Elektronka
- d) Někdy částice, někdy vlna

4. Jaká je rychlost elektronu?

- a) Rovna rychlosti zvuku
- b) Menší než rychlost světla
- c) Větší než rychlost světla
- d) Rovna rychlosti světla

5. Co je to vlnově korpuskulární dualismus elektronu?

- a) Elektron má vlnové i korpuskulární vlastnosti
- b) Elektron je pouze částice
- c) Elektron je pouze vlna
- d) Elektron jako mikroobjekt neexistuje

6. Jaká je rychlost protonu?

- a) Větší než rychlost světla
- b) Rovna rychlosti světla
- c) Menší než rychlost světla
- d) Vždy menší než rychlost zvuku

7. Co je elektromagnetické záření (je-li bráno jako tok částic)?

- a) Tok elektronů
- b) Tok částic s rychlostí větší než rychlost světla
- c) Tok částic s rychlostí rovnou rychlosti světla
- d) Tok částic s rychlostí menší než rychlost světla

8. Jaký je rozdíl mezi elektromagnetickým a korpuskulárním zářením?

- a) Jeden druh se pohybuje rychlostí světla, druhý rychlostí zvuku
- b) Žádný
- c) Jeden druh je tvořen elektrony, druhý korpuskulami
- d) Odlišná klidová hmotnost

9. Co je ionizace prostředí?

- a) Vznik iontů v kovech jako důsledek kvantově mechanických přechodů
- b) Vznik iontů v elektrolytech jako důsledek disociace molekul
- c) Vznik iontů a elektronů v prostředí z původně elektricky neutrálních mikroobjektů
- d) Vznik ionizátorů

10. Který typ elektromagnetického záření patří mezi ionizující?

- a) Rentgenové záření
- b) Ultrafialové světlo
- c) Tepelné záření
- d) Rádiové vlny

11. Fyzikální jev, při kterém dochází k přeměně energetického stavu atomu, molekuly či iontu na vyšší energetickou hladinu se nazývá:

- a) anihilace
- b) fotoefekt
- c) excitace
- d) rozptyl

12. Mezi interakce ionizujícího záření s obalem atomů nepatří:

- a) ionizace
- b) excitace
- c) jaderná reakce
- d) rozptyl

13. Co je fyzikálním základem nukleární medicíny?

- a) umělá radioaktivita
- b) přirozená radioaktivita
- c) absorpční zákon
- d) rozpadový zákon

14. Co je cílem nukleární medicíny z hlediska radiologické fyziky?

- a) využití rentgenu při diagnostice, v radioterapii a v lékařském výzkumu
- b) využití ultrazvuku při diagnostice, v radioterapii a v lékařském výzkumu
- c) využití magnetické rezonance při diagnostice, v radioterapii a v lékařském výzkumu
- d) využití otevřených radioaktivních zářičů (radioaktivních farmak značených vhodnými radionuklidy) při diagnostice, v radioterapii a v lékařském výzkumu

15. Co je fyzikálním základem rentgenu?

- a) vyzařování brzdného rentgenového záření a charakteristického rentgenového záření
- b) vyzařování měkkého gama záření
- c) vyzařování tvrdého gama záření
- d) vyzařování ultrazvukových vln

16. Jaké jsou zdroje a detektory rentgenového záření z hlediska radiologické fyziky?

- a) Zdroj - rentgenka
Detektory - např. rentgenový prosvěcovací štít a rentgenový film
- b) Zdroj - rentgenový prosvěcovací štít
Detektory - např. rentgenka a rentgenový film
- c) Zdroj - rentgenový film
Detektory - např. rentgenový prosvěcovací štít a rentgenka
- d) Zdroj - rentgenka
Detektory - např. piezoelektrický oscilátor a magnetostrikční oscilátor

17. Co je cílem magnetické rezonance z hlediska radiologické fyziky?

- a) sledování chování buněk různých tkání při působení silného elektrického pole
- b) sledování chování buněk různých tkání při působení silného gravitačního pole
- c) sledování chování buněk různých tkání při působení slabé a silné interakce
- d) sledování chování buněk různých tkání při působení silného magnetického pole

18. Jaké jsou zdroje a detektory používané při magnetické rezonanci z hlediska radiologické fyziky?

- a) obvyklé zdroje a detektory rentgenového záření
- b) obvyklé zdroje a detektory gama záření
- c) obvyklé zdroje a detektory ultrazvukových vln
- d) obvyklé zdroje a detektory elektromagnetických rádiových vln

19. Sonografie z hlediska fyziky může využívat principu

- a) Comptonova jevu
- b) Dopplerova jevu
- c) absorpčního zákona
- d) rozpadového zákona

20. Jaké jsou zdroje a detektory používané při sonografii z hlediska fyziky?

- a) magnetostrikční oscilátory
- b) vysokofrekvenční elektromagnetické oscilátory
- c) nízkofrekvenční elektromagnetické oscilátory
- d) piezoelektrické oscilátory

4.2 Výsledky statistického šetření

4.2.1 Statistické šetření znalostí z radiologické fyziky u laické veřejnosti

a) Formulace statistického šetření:

Statistická jednotka – respondent laické veřejnosti

Statistický znak – počet chyb v testu z radiologické fyziky

Hodnoty statistického znaku – 0-20 chyb

Základní statistický soubor – 50 osob laické veřejnosti

Náhodný výběr - nebyl prováděn

Výběrový statistický soubor = ZSS

b) Škálování a měření

Tabulka 4: Škálování výsledků testování znalostí laické veřejnosti

skupiny	počet chyb	počet laiků
1.	6 a méně	5
2.	7-9	9
3.	10-12	18
4.	13-15	12
5.	16 a více	6

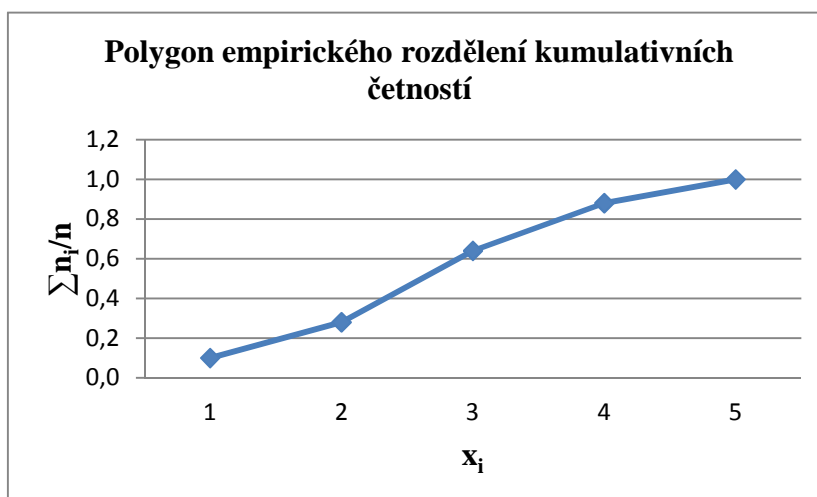
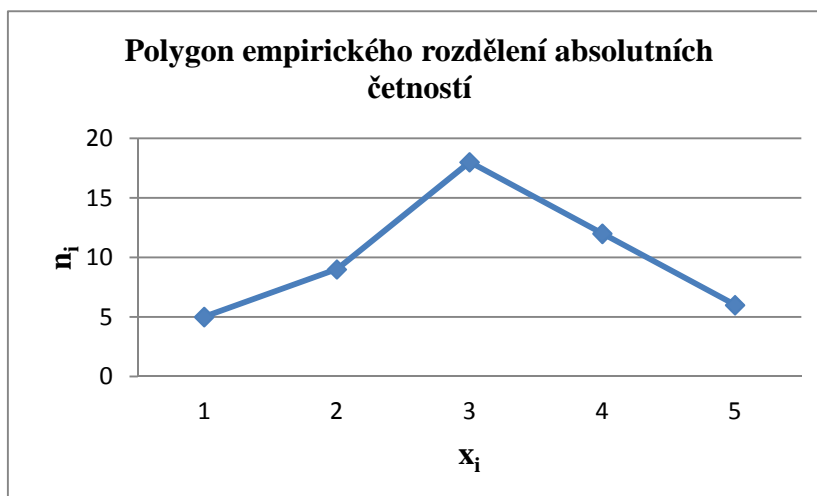
c) Elementární statistické zpracování

c1) Tabulka

Tabulka 5: Výsledky měření, empirické parametry

x_i	n_i	n_i/n	$\sum n_i/n$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	5	0,1	0,1	5	5	5	5
2	9	0,18	0,28	18	36	72	144
3	18	0,36	0,64	54	162	486	1458
4	12	0,24	0,88	48	192	768	3072
5	6	0,12	1	30	150	750	3750
\sum	$\sum 50$			$\sum 155$	$\sum 545$	$\sum 2081$	$\sum 8429$

c2) Empirické rozdělení četností



c3) Empirické parametry

Ilustrace výpočtu empirických parametrů:

$$O_1(x) = 3,1$$

$$O_2(x) = 10,9$$

$$O_3(x) = 41,62$$

$$O_4(x) = 168,58$$

$$C_2(x) = 1,29 \quad (S_x = 1,14)$$

$$C_3(x) = -0,168$$

$$C_4(x) = 3,93$$

$$N_3(x) = -0,1$$

$$N_4(x) = 2,36$$

$$\text{exces} = N_4(x) - 3 = -0,6$$

d) Intervalové rozdělení četností, přechod k normovanému normálnímu rozdělení

Tabulka 6: Intervalové rozdělení četností výsledků testování znalostí laické veřejnosti

x_i	intervaly	n_i	n_i/n	$\sum n_i/n$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	$(-\infty; 1,5>$	5	0,1	0,1	5	5	5	5
2	$(1,5; 2,5>$	9	0,18	0,28	18	36	72	144
3	$(2,5; 3,5>$	18	0,36	0,64	54	162	486	1458
4	$(3,5; 4,5>$	12	0,24	0,88	48	192	768	3072
5	$(4,5; \infty)$	6	0,12	1	30	150	750	3750
Σ		$\Sigma 50$			$\Sigma 155$	$\Sigma 545$	$\Sigma 2081$	$\Sigma 8429$

d1) Výpočet jednotlivých integrálů – jednotlivých ploch

d1.1) Zavedení proměnné u

$$u = \frac{x - O_1}{S_x}$$

$$u_1 = -1,409$$

$$u_2 = -0,528$$

$$u_3 = 0,352$$

$$u_4 = 1,233$$

$$u_5 = \infty$$

d1.2) Primitivní funkce – užití statistických tabulek

$$F(u_1 = -1,409) = 0,079\ 27$$

$$F(u_2 = -0,528) = 0,298\ 06$$

$$F(u_3 = 0,352) = 0,636\ 83$$

$$F(u_4 = 1,233) = 0,890\ 65$$

$$F(u_5 = \infty) = 1$$

d1.3) Hodnoty jednotlivých ploch

Tabulka 7: Hodnoty jednotlivých integrálů pro testování znalostí laické veřejnosti

x_i	intervaly	n_i	u_i	$\Phi(u_i)$	p_i	np_i
1	$(-\infty; 1,5>$	5	-1,409	0,079	0,079	3,964
2	$(1,5; 2,5>$	9	-0,528	0,298	0,219	10,940
3	$(2,5; 3,5>$	18	0,352	0,637	0,339	16,939
4	$(3,5; 4,5>$	12	1,233	0,891	0,254	12,691
5	$(4,5; \infty)$	6			0,109	5,468

e) Použití χ^2 -testu dobré shody $\frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$

Tabulka 8: Výsledky použití χ^2 -testu dobré shody pro testování znalostí laické veřejnosti

x_i	n_i	np_i	$\frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$
1	5	3,964	0,271
2	9	10,940	0,344
3	18	16,939	0,067
4	12	12,691	0,038
5	6	5,468	0,052

e1) χ^2_{exp} - výpočet

$$\Sigma = 0,771 = \chi^2_{\text{exp}}$$

e2) $\chi^2_{\text{teor}} (\alpha = 0,05)$ - výpočet

$$\chi^2_{\text{teor}} = \chi^2_{\nu} = \chi^2_{k-r-1}$$

počet stupňů volnosti $\nu = k-r-1 = 5-2-1 = 2$

$$\chi^2(0,05) = 5,99$$

e3) Výsledek aplikace χ^2 -testu dobré shody

$$\chi^2_{\text{exp}} < \chi^2_{\text{teor}}$$

$$0,771 < 5,99$$

Na hladině statistické významnosti $\alpha=0.05$ lze potvrdit hypotézu H_1 - teoretické rozdělení znalostí u laické veřejnosti má normální rozdělení.

4.2.2 Statistické šetření znalostí z radiologické fyziky u odborné veřejnosti

a) Formulace statistického šetření:

Statistická jednotka – odborník, radiologický asistent

Statistický znak – počet chyb v testu z radiologické fyziky

Hodnoty statistického znaku – 0-20 chyb

Základní statistický soubor – 54 radiologických asistentů

Náhodný výběr - nebyl prováděn

Výběrový statistický soubor = ZSS

b) Škálování a měření

Tabulka 9: Škálování výsledků testování znalostí odborné veřejnosti

skupiny	počet chyb	počet RA
1.	3 a méně	23
2.	4-7	26
3.	8-11	5
4.	12-15	0
5.	16 a více	0

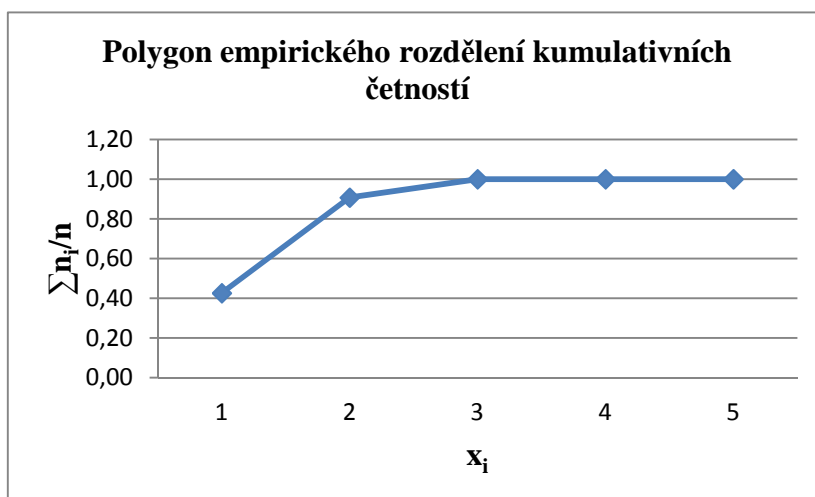
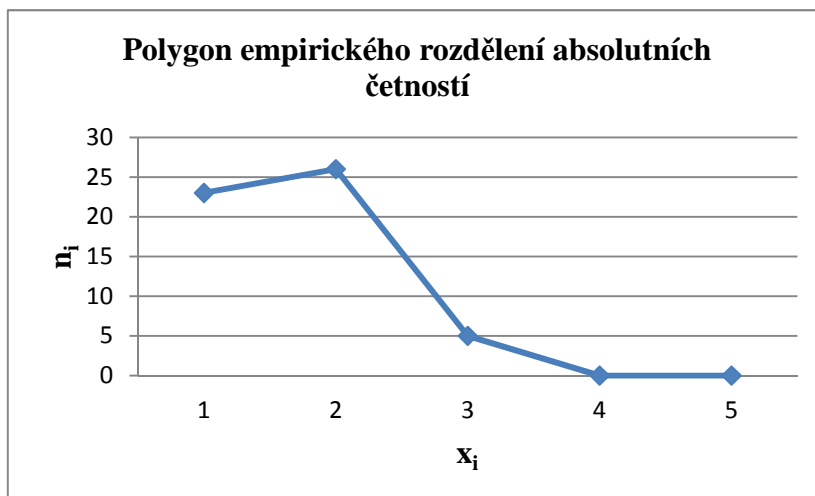
c) Elementární statistické zpracování

c1) Tabulka

Tabulka 10: Výsledky měření, empirické parametry

x_i	n_i	n_i/n	$\sum n_i/n$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	23	0,43	0,43	23	23	23	23
2	26	0,48	0,91	52	104	208	416
3	5	0,09	1	15	45	135	405
4	0	0	1	0	0	0	0
5	0	0	1	0	0	0	0
\sum	$\sum 54$			$\sum 90$	$\sum 172$	$\sum 366$	$\sum 844$

c2) Empirické rozdělení četností



c3) Empirické parametry

Ilustrace výpočtu empirických parametrů:

$$O_1(x) = 1,67$$

$$O_2(x) = 3,19$$

$$O_3(x) = 6,78$$

$$O_4(x) = 15,6$$

$$C_2(x) = 0,41 \quad (S_x = 0,64)$$

$$C_3(x) = 0,11$$

$$C_4(x) = 0,38$$

$$N_3(x) = 0,43$$

$$N_4(x) = 2,31$$

$$\text{exces} = N_4(x) - 3 = -0,7$$

d) Intervalové rozdělení četností

Tabulka 11: Intervalové rozdělení četností výsledků testování znalostí odborné veřejnosti

x_i	intervaly	n_i	n_i/n	$\sum n_i/n$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
1	$(-\infty; 1,5>$	23	0,43	0,43	23	23	23	23
2	$(1,5; 2,5>$	26	0,48	0,91	52	104	208	416
3	$(2,5; 3,5>$	5	0,09	1	15	45	135	405
4	$(3,5; 4,5>$	0	0	1	0	0	0	0
5	$(4,5; \infty)$	0	0	1	0	0	0	0
Σ		$\Sigma 54$			$\Sigma 90$	$\Sigma 172$	$\Sigma 366$	$\Sigma 844$

d1) Výpočet jednotlivých integrálů – jednotlivých ploch

d1.1) Zavedení proměnné u

$$u = \frac{x - O_1}{S_x}$$

$$u_1 = -0,26112$$

$$u_2 = 1,305582$$

$$u_3 = 2,872281$$

$$u_4 = 4,43898$$

$$u_5 = \infty$$

d1.2) Primitivní funkce – užití statistických tabulek

$$F(u_1 = -0,26112) = 0,397 43$$

$$F(u_2 = 1,305582) = 0,904 90$$

$$F(u_3 = 2,872281) = 0,998 01$$

$$F(u_4 = 4,43898) = 0,999 99$$

$$F(u_5 = \infty) = 1$$

d1.3) Hodnoty jednotlivých ploch

Tabulka 12: Hodnoty jednotlivých integrálů pro testování znalostí laické veřejnosti

x_i	intervaly	n_i	u_i	$\Phi(u_i)$	p_i	np_i
1	$(-\infty; 1,5>$	23	-0,26	0,397	0,397	21,438
2	$(1,5; 2,5>$	26	1,31	0,905	0,508	27,432
3	$(2,5; 3,5>$	5	2,87	0,998	0,093	5,022
4	$(3,5; 4,5>$	0	4,44	0,999	0,001	0,054
5	$(4,5; \infty)$	0			0,001	0,054

χ^2 -test nebylo možno aplikovat pro malý počet stupňů volnosti na provedení testu normality. Bude proto přikročeno k aplikaci χ^2 -testu na Poissonovo rozdělení.

e) Škálování a měření – vazba na Poissonovo rozdělení

Tabulka 13: Škálování výsledků testování znalostí odborné veřejnosti pomocí

Poissonova rozdělení

skupiny	počet chyb	počet RA
0.	3 a méně	23
1.	4-7	26
2.	8-11	5
3.	12-15	0
4.	16 a více	0

f) Elementární statistické zpracování – vazba na Poissonovo rozdělení

f1) Tabulka

Tabulka 14: Výsledky měření, empirické parametry

x_i	n_i	n_i/n	$\sum n_i/n$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
0	23	0,43	0,43	0	0	0	0
1	26	0,48	0,91	26	26	26	26
2	5	0,09	1	10	20	40	80
3	0	0	1	0	0	0	0
4	0	0	1	0	0	0	0
\sum	$\sum 54$			$\sum 36$	$\sum 46$	$\sum 66$	$\sum 106$

f2) Ilustrace výpočtu empirických parametrů

$$O_1 = \lambda = 0,66$$

$$P_0 = 0,514$$

$$P_1 = 0,343$$

$$P_2 = 0,114$$

$$P_3 = 0,025$$

$$P_4 = 0,004$$

g) Použití χ^2 -testu pro Poissonovo rozdělení $\frac{(n_i - nP_i)^2}{nP_i}$

Tabulka 15: Výsledky použití χ^2 -testu dobré shody pro Poissonovo rozdělení

x_i	n_i	P_i	nP_i	$\frac{(n_i - nP_i)^2}{nP_i}$
0	23	0,514	27,756	0,815
1	26	0,343	18,522	3,019
2	5	0,114	6,156	0,217
3	0	0,025	1,35	0
4	0	0,004	0,216	0

g1) Výpočet χ^2_{exp}

$$\Sigma = 4 = \chi^2_{\text{exp}}$$

g2) Výpočet χ^2_{teor} ($\alpha = 0,05$) - výpočet

$$\chi^2_{\text{teor}} = \chi^2_{\nu} = \chi^2_{k-r-1}$$

$$\text{počet stupňů volnosti } \nu = k-r-1 = 5-1-1 = 3$$

$$\chi^2(0,05) = 7,81$$

g3) Výsledek aplikace χ^2 -testu dobré shody

$$\chi^2_{\text{exp}} < \chi^2_{\text{teor}}$$

$$4 < 7,81$$

Na hladině statistické významnosti $\alpha=0.05$ lze potvrdit hypotézu H_2 - teoretické rozdělení znalostí u odborné veřejnosti nelze testovat na normalitu. Ukázalo se, že teoretické rozdělení znalostí u odborné veřejnosti je rozdělením Poissonovým, tj. rozdělením „vzácných případů“ z hlediska počtu chyb v položeném dotazníku.

4.3 Dvojvýběrové parametrické testování – dvojvýběrový t-test

Budou srovnány empirické parametry z předchozích výpočtů obou statistických šetření. U laické veřejnosti neparametrické testování znalostí prokázalo normalitu. U odborné veřejnosti lze přijmout obvyklý předpoklad, že nižší počty chyb v dotazníkovém šetření (tj. dosažení vysokého počtu bodů při testování znalostí z radiologické fyziky) budou mít rovněž normální rozdělení.

Na základě uvedených vstupních údajů lze pro statistické soubory spojené s laickou veřejností označit hodnoty empirických parametrů indexem 1, u odborné veřejnosti indexem 2. Pak lze na základě výsledků uvedených v kapitolách 4.2.1 a 4.2.2 napsat následující přehled hodnot empirických parametrů:

Pro VSS_1 platí:

$$\mu_1 = O_1 = 3,1$$

$$\sigma_1 = S_{x1} = 1,14$$

Pro VSS_2 platí:

$$\mu_2 = O_2 = 1,67$$

$$\sigma_2 = S_{x2} = 0,64$$

Tabulka 16: Znázornění empirických parametrů použitých pro dvojvýběrový t-test

μ_1	3,1
μ_2	1,67
n_1	50
n_2	54
σ_1	1,14
σ_2	0,64

Hypotéza H3 bude ověřována pomocí nulové a alternativní hypotézy při použití dvojvýběrového parametrického t-testu a na hladině statistické $\alpha=0,05$. Hypotéza H3 vytýčila předpoklad, že bude přijata alternativní hypotéza, tj. že mezi znalostmi z radiologické fyziky u laické a odborné veřejnosti je na uvedené hladině $\alpha=0,05$ statisticky významný rozdíl.

Pro dosažení do dvojvýběrového parametrického t-testu

$$t_{\text{exp}} = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{(n_1 - 1)S_{x1}^2 + (n_2 - 1)S_{x2}^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}},$$

$$W = (-\infty; -t_{n_1+n_2-2}(\alpha/2)) \cup (t_{n_1+n_2-2}(\alpha/2); \infty)$$

vychází $t_{\text{exp}} = 7,9$, $t_{102}(0,025) = 1,96$, kritický obor má tvar

$$W = (-\infty; -1,96) \cup (1,96; \infty).$$

Hodnota $t_{\text{exp}} = 7,9$ je prvkem kritického oboru W , je tedy nutno přijmout alternativní hypotézu. Mezi znalostmi laické a odborné veřejnosti je na hladině $\alpha=0,05$ statisticky významný rozdíl. Hypotéza H3 je potvrzena.

5. Diskuse

5.1 Rozbor jednotlivých otázek dotazníku

Byl proveden rozbor výsledků skupiny otázek 1-12 (zkoumající spíše obecné fyzikální základy znalostí z radiologické fyziky v rámci přípravy radiologických asistentů) a otázek 13-20 (zkoumající fyzikální základy složek profilu radiologického asistenta). Byl získán závěr, že laičtí respondenti měli lepší znalosti u skupiny otázek 1-12 a slabší znalosti u skupiny otázek 13-20. U odborných respondentů byly znalosti u otázek 1-12 lepší než u respondentů laických, ale ještě výrazněji byly lepší u skupiny otázek 13-20.

Základní změny v přípravě radiologických asistentů by měly spočívat v posílení obecného fyzikálního základu studia radiologické fyziky v následujících parametrech:

- a) Klást důraz na klasickou dimenzi nestatistické fyziky ve smyslu používání pohybových rovnic a pohybových zákonů.
- b) Klást důraz na standardní model elementárních částic a jejich interakcí, za který byl udělena Nobelova cena za fyziku v nedávných letech. Odtud pramení funkční popis složek profilu radiologického asistenta pomocí typologie elementárních částic a pomocí typologie interakcí.
- c) Klást důraz na kvantovou dimenzi nestatistické fyziky v tom smyslu, že všechny objekty mikrosvěta jsou podstoupeny vlnově korpuskulárnímu dualismu. Někdy lze proto při radioterapii a radiodiagnostice pohlížet na elementární mikroobjekty a jejich uspořádané pohyby jako na částice, někdy jako na vlny, ať již vlny elektromagnetické nebo de Broglieovy.
- d) Klást důraz na relativistickou dimenzi nestatistické fyziky v tom smyslu, že hmotnost fotonů lze zvyšovat jen zvyšováním jejich frekvence (volbou ozařování s vyššími frekvencemi) a že hmotnost např. elektronů lze zvyšovat zvětšováním jejich rychlosti při jejich produkci urychlovači.

5.2 Diskuse k hypotézám H1 a H2

Hypotéza H1 (znalosti z radiologické fyziky u laické veřejnosti mají normální rozdělení) byla ověřena a přijata. Přijetí hypotézy znamená, že u laických respondentů existuje střední počet chyb z 20 možných chyb, který má největší pravděpodobnost. Menší a větší počty chyb než je existující střední počet chyb klesají na obě strany od středního počtu s gaussovsky se zmenšující pravděpodobností. Při převodu obecného momentu 1.řádu jako aritmetického průměru z prvků škály na hodnoty statistického znaku vychází tento střední počet chyb u průměrného laického respondenta v hodnotě 11 chyb z 20 možných chyb.

Vzhledem k tomu, že dotazník pro zkoumání znalostí z radiologické fyziky byl u laické veřejnosti konstruován z hlediska potřeb přípravy radiologických asistentů (nikoliv z hlediska potřeb pilotně studované radiologické fyziky) a že tedy bylo možné očekávat i použití některých všeobecně vzdělávacích znalostí laických respondentů, je tento výsledek poměrně dobrou vizitkou laické veřejnosti. Vzhledem k rozboru jednotlivých otázek je zřejmé, že znalosti o elementárních částicích a např. o jaderném záření v jisté míře u laické veřejnosti existují.

Hypotéza H2 (znalosti z radiologické fyziky u odborné veřejnosti nemají normální rozdělení) byla ověřena a přijata dokonce dvěma způsoby. Testování normality vedlo k negativnímu závěru (příliš velký počet respondentů měl jen malý počet chyb) a muselo být nahrazeno neparametrickým testováním na Poissonovo rozdělení. Tento přechod se ukázal být užitečným – Poissonovo rozdělení jako rozdělení „vzácných případů“ bylo pozitivně ověřeno. Větší počty chyb u profesionálních radiologických asistentů, kteří prošli kurzy Společnosti radiologických asistentů, se ukázaly být skutečně jen vzácnými případy. Přijetí hypotézy H2 znamená, že u odborných respondentů existuje střední počet chyb z 20 možných chyb, který má největší pravděpodobnost. Větší počty chyb než je existující střední počet chyb klesají od středního počtu s poissonovsky se zmenšující pravděpodobností. Při převodu obecného momentu 1.řádu jako aritmetického průměru z prvků škály na hodnoty statistického znaku vychází tento střední počet chyb u průměrného odborného respondenta v hodnotě 3 chyby z 20 možných chyb. Profesionální radiologičtí asistenti

prokázali zvláště u otázek týkajících se fyzikální podstaty jednotlivých složek profilu radiologického asistenta velmi dobré znalosti – kurzy pořádané Společností radiologických asistentů v tomto směru přinesly dobré výsledky.

Tento výsledek ukazuje, že profesionální radiologičtí asistenti chybovali v průměru téměř 4x méně než laičtí respondenti. O poměrné stabilitě znalosti profesionálních respondentů svědčí také malá směrodatná odchylka, která dosáhla méně než 40% váženého aritmetického průměru (obecného momentu 1.řádu). Obdobná směrodatná odchylka vyšla i u průměrného laického respondenta, zde je ovšem zapotřebí 40% počítat z průměrného počtu chyb 11.

Diskuse vázaná na hypotézy H1 a H2 může být také potvrzena analýzou empirických hodnot parametrů šikmosti (normovaných momentů 3.řádu). Zatímco u laické veřejnosti má parametr šikmosti znalostí z radiologické fyziky téměř nulovou hodnotu, u profesionálních radiologických asistentů má hodnotu 0,5 – jde tedy o zešikmení doleva. Nižší prvky škály (tj. prvky škály s malým počtem chyb) mají podstatně vyšší četnosti (tj. počty respondentů) než vyšší prvky škály. Obdobnou informaci lze také získat z pohledu na grafy empirických rozdělení absolutních a relativních četností.

5.3 Diskuse k hypotéze H3

Hypotéza H3 zkoumala komparaci znalostí z radiologické fyziky u laické a odborné veřejnosti. Ukázalo se, že experimentální hodnota použitého testového kritéria (dvojvýběrového t-testu) leží hluboko uvnitř kritického oboru. Hodnota experimentální testového kritéria (7,9) byla zhruba 4x větší než kritická hodnota testového kritéria (1,96). Hypotéza H3 tím byla ověřena a přijata – na hladině statistické významnosti 0,05 jsou znalosti profesionálních radiologických asistentů podstatně vyšší než u veřejnosti laické.

Tento závěr je v souladu se závěry dosaženými při ověřování hypotéz H1 a H2 – profesionální radiologičtí asistenti chybovali v průměru téměř 4x méně než laičtí respondenti.

Jelikož dotazník těžil z části obecně fyzikálního základu radiologické fyziky a z části týkající se fyzikálního základu složek profilu radiologického asistenta bylo by v budoucnosti dobré provést oddělené parametrické testování těchto dvou částí.

5.4 Diskuse k místu radiologické fyziky v přípravě radiologických asistentů na českých a zahraničních vysokých školách

V České republice se absolvent studia aplikací ionizujícího záření nazývá radiologický asistent. V zahraničí jsou absolventi tohoto studia nazýváni Radiologic Technologists, Diagnostic Radiographers Medical Imaging Technologists, Therapy Radiographers nebo Radiation Therapists , Ultrasonographers nebo Sonographers.

Obecný fyzikální základ ve studijním plánu (viz kapitola 1.1.3) v podstatě odpovídá zahraničním studijním strukturám (viz kapitola 1.1.4). Odlišnosti lze nalézt ve struktuře fyzikálního základu složek profilu radiologického asistenta. Tato odlišnost zřejmě souvisí s možnostmi užší specializací studia (př. Medical Imaging Technologist/Therapy Radiographer).

Byly analyzovány 3 univerzity v USA, 5 australských univerzit a 4 univerzity ve Velké Británii. V tomto počtu byly nalezeny studijní obory související s aplikacemi ionizujícího záření v medicíně.

Je zřejmé, že v zahraničí se studijní obory příbuzné s naší přípravou radiologických asistentů nazývají spíše Aplikace ionizujícího záření.

6. Závěr

Souhrnně lze konstatovat, že hypotézy H1, H2 a H3 byly ověřeny a potvrzeny. Znalosti laických respondentů z radiologické fyziky mají normální rozdělení, znalosti profesionálních radiologických asistentů z radiologické fyziky mají Poissonovo rozdělení. Znalosti profesionálních radiologických asistentů a laických respondentů lze charakterizovat zhruba číslem 4 – počty chyb v dotazníkovém šetření byly u průměrného laického respondenta 4x vyšší než u průměrného profesionálního radiologického asistenta. Přitom maximální počet chyb byl 20. Číslo 4 vyplynulo jak z ověření neparametricky ověřovaných hypotéz H1 a H2, tak i z parametrického ověření hypotézy H3.

Na základě rozboru současného stavu zkoumání znalostí z radiologické fyziky se ukázalo, že obsahy kurzů z radiologické fyziky na českých a zahraničních vysokých školách se sobě přibližují. Jen různorodost specializací (viz rozmanité názvy absolventů přípravy radiologických asistentů v zahraničí) ukazují na bohatší spektrum orientací v zahraničních plánech. Lze také nabýt dojmu, že povolání např. „Radiologic Technologist“ má v zahraničí značnou společenskou váhu.

Cíle práce lze považovat za splněné. Byly použity data miningové modely složek studia radiologických asistentů a také převzaty data miningové modely struktury fyziky jako celku (recenzované řadou českých i zahraničních recenzentů), které umožnily nalézt místo radiologické fyziky ve fyzice jako celku i v rámci přípravy radiologických asistentů. Prostřednictvím těchto modelů bylo možné vymezit položky radiologické fyziky v rámci přípravy radiologických asistentů a zkonstruovat dotazník. Položením dotazníků a jejich statistickým vyhodnocením bylo možné kvantifikovat znalosti laických respondentů i profesionálních radiologických asistentů a tyto znalosti srovnat.

Mezi teoretické přínosy práce patří návrh metodiky, jak obecně srovnávat znalosti laické a odborné veřejnosti. Teoretický přínos lze také spatřovat v syntéze postupů deskriptivní a matematické statistiky v rámci navržené metodiky.

Mezi praktické přínosy práce patří uskutečnění navržené metodiky v oblasti znalostí z radiologické fyziky u laické a odborné veřejnosti. Dalším praktickým přínosem může být na základě provedené analýzy jednotlivých otázek dotazníku

vymezení potřeby prohloubit přípravu radiologických asistentů v oblasti radiologické fyziky v zhruba 4 směrech.

Bakalářská práce rovněž poukázala na potřebu navázat některými dalšími pracemi – např. odděleným parametrickým testováním znalostí laické a odborné veřejnosti na poli obecného fyzikálního základu radiologické fyziky a na poli fyzikálního základu jednotlivých složek profilu radiologického asistenta.

7. Použitá literatura

- 1) ZÁŠKODNÝ, Přemysl. *Kurikulární proces fyziky (s přehledem základů teoretické fyziky)*. Ostrava: Algoritmus, 2009. ISBN 978-80-902491-0-3.
- 2) BROCKMEYEROVÁ, J., P.Tarábek (2007) Teoretická koncepce didaktiky fyziky. In: *Educational and Didactic Communication 2007, Vol. 1. – Theory*. Bratislava: Educational Publisher Didaktis
- 3) PASCH, Marvin. *Od vzdělávacího programu k vyučovací hodině: Jak pracovat s kurikulem*. Praha: Portál, 2005. ISBN 80-736-7054-2.
- 4) HAIDUWA, P. a J. Nujoma. *National Office for Radiation Protection - Namibia, Radiological Physics Teaching, in OEDM-SERM'11, Proceedings*. Praha: Curriculum, ISBN 978-80-904948-1-7
- 5) HAIDUWA P. Master Thesis
- 6) Guidelines for the Education: Of Entry-level Professional Practice In Medical Radiation Sciences, The International Society of Radiographers and Radiological Technologists, November 2004
- 7) Conditions for the Education of Radiographers Within Europe, The International Society of Radiographers and Radiological Technologists, European Committee of Radiographers and Radiological Technologists, December 2004
- 8) ZÁŠKODNÝ, Přemysl. *Přehled základů teoretické fyziky (s aplikací na radiologii)*. Bratislava: Didaktis, 2005. ISBN 80-89160-25-5.
- 9) JOHNS, Harold Elford a John Robert CUNNINGHAM. *The Physics of Radiology*. Fourth Edition. Springfield, Illinois, USA: Thomas Books, 1983. ISBN 0-398-04669-7.

- 10) ROSINA, Doc. MUDr. Jozef, Doc. RNDr. Hana KOLÁŘOVÁ, CSC. a MUDr. Jiří STANEK, CSC., MSC. *Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2006. ISBN 80-247-1383-7.
- 11) JAVORSKIJ, B.M. a JU.A. SELEZNĚV. *Přehled elementární fyziky*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989. ISBN 04-018-89.
- 12) BENEŠ, Jiří, Pravoslav STRÁNSKÝ a František VÍTEK. *Základy lékařské biofyziky*. Praha: Karolinum, 2007. ISBN 978-80-246-1386-4.
- 13) HRAZDIRA, Ivo. *Biofyzika: Učebnice pro lékařské fakulty*. Praha: Avicenum, 1990. ISBN 08-044-90.
- 14) NEKULA, Josef, Miroslav HEŘMAN, Jaroslav VOMÁČKA a Martin KÖCHLER. *Radiologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2001. ISBN 80-244-0259-9.
- 15) CHUDÁČEK, Zdeněk. *Radiodiagnostika I.část*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1995. ISBN 80-7013-114-4.
- 16) VÁLEK, Vlastimil a Jan ŽIŽKA. *Moderní diagnostické metody: III.díl Magnetická rezonance*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1996. ISBN 80-7013-225-6.
- 17) SPURNÝ, Vladimír a Pavel ŠLAMPA. *Moderní radioterapeutické metody: VI.díl Základy radioterapie*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1999. ISBN 80-7013-267-1.
- 18) ZÁŠKODNÝ, Přemysl, Renata HAVRÁNKOVÁ, Jiří HAVRÁNEK a Vladimír VURM. *Základy statistiky (s aplikací na zdravotnictví)*. Praha: CURRICULUM, 2011. ISBN 978-80-904948-2-4.

19) JARUŠKOVÁ, Daniela. *Pravděpodobnost a matematická statistika 12*. Praha: České vysoké učení technické v Praze Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2009. ISBN 978-80-01-03427-9.

20) KUNDEROVÁ, Pavla. *Základy pravděpodobnosti a matematické statistiky*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2004. ISBN 80-244-0813-9.

21) CYHELSKÝ, L., J. Kahounová a R. Hindls. *Elementární statistická analýza*. Praha: Management Press, 2001. ISBN 80-7261-003-1.

22) BÍLKOVÁ, D., P. Budínský a V. Vohánka. *Pravděpodobnost a statistika*. Plzeň: Vydavatelství Aleš Čeněk, 2009. ISBN 978-1-936338-20-7.

23) ANDĚL, Jiří. *Základy matematické statistiky*. Praha: MATFYZPRESS, 2007. ISBN 80-7378-001-1.

Internetové zdroje:

24) *Porovnání oborů Radiologický asistent* [online]. 2010-2012 [cit. 2012-04-7].

Dostupné z: <http://www.vysokeskoly.cz/clanek/porovnani-oboru-radiologicky-asistent>

25) *Education Standards* [online]. 2012 [cit. 2012-03-20]. Dostupné z:

http://www.isrrt.org/isrrt/Education_Standards_EN.asp?SnID=686521266

26) *Registered Radiologist Assistants* [online]. American Society of Radiologic Technologists, 2012 [cit. 2012-03-22]. Dostupné z:

https://www.asrt.org/content/RadiologistAssistants/_radiologistassistant.aspx

27) *Diagnostic Radiology* [online]. Yale University, 2012 [cit. 2012-03-22]. Dostupné

z: <http://medicine.yale.edu/diagnosticradiology/index.aspx>

- 28) *Radiography* [online]. Sanford-Brown University, 2012 [cit. 2012-03-22]. Dostupné z: <http://www.sanfordbrown.edu/Areas-Of-Study/Allied-Health-Diagnostic/Radiography>
- 29) *Master of Arts in Bioimaging* [online]. Boston University, 2011 [cit. 2012-03-22]. Dostupné z: <http://www.bumc.bu.edu/mbi/>
- 30) *Learning* [online]. Society of Radiographers, 2012 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://www.sor.org/learning>
- 31) *The British Institute of Radiology* [online]. 2012 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://www.bir.org.uk/bir-about-us-home.aspx>
- 32) *Undergraduate Course Finder: School of Health Sciences* [online]. City University London, 2012 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: http://www.city.ac.uk/courses/undergraduate#query=&collection=courses&form=undergraduateresults&meta_E_phrase_or sand=%22School+of+Community+and+Health+Sciences%22
- 33) *Diagnostic Radiography* [online]. Canterbury Christ Church University, 2010 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://www.canterbury.ac.uk/StudyHere/Undergraduate/courses/c.asp?courseUrl=medical-imaging>
- 34) *Diagnostic Radiography and Imaging BSc (Hons) degree* [online]. Bangor University, 2001-2012 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://www.bangor.ac.uk/courses/undergrad/index.php.en?view=course&prospectustype=undergraduate&courseid=24&subjectarea=8>
- 35) *Medical Imaging (Radiography)* [online]. University of Exeter, 2012 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://www.exeter.ac.uk/undergraduate/degrees/medical-imaging/>

36) *Career in Medical Radiation Sciences* [online]. Australian Institute of Radiography, 2012 [cit. 2012-03-18]. Dostupné z: <http://www.air.asn.au/career.php>

37) *Bachelor of Health Science / Medical Radiation Science (Medical Imaging) - Course Overview* [online]. University of Tasmania, Australia, 2009 [cit. 2012-03-18]. Dostupné z:

http://www.futurestudents.utas.edu.au/courses?sq_content_src=%2BdXJsPWh0dHAIM0EIMkYIMkZ3d3cuc3R1ZGVudGNlbnRyZS51dGFzLmVkdS5hdSUyRmNvdXJzZXNhdHV0YXMIMkZEZXRhaWxzLmFzcHglM0Zjb3Vyc2VfaWQIM0RNM0wmYWxsPTE%3D

38) *Bachelor of Medical Radiation Science (Radiation Therapy)* [online]. University of South Australia, 2012 [cit. 2012-03-18]. Dostupné z:

<http://programs.unisa.edu.au/public/pcms/program.aspx?pageid=181&sid=296>

39) *Bachelor of Applied Science (Medical Radiations)* [online]. RMIT University, 2012 [cit. 2012-03-18]. Dostupné z: <http://www.rmit.edu.au/browse;ID=BP148>

40) *Bachelor of Medical Radiation Science* [online]. Charles Sturt University, 2012 [cit. 2012-03-18]. Dostupné z:

http://www.csu.edu.au/courses/undergraduate/medical_radiation_science/course-overview

41) *Introductory Physics for the Life Sciences* [online]. University of Newcastle Australia, 2012 [cit. 2012-03-18]. Dostupné z:

<http://www.newcastle.edu.au/course/PHYS1200.html>

MRS Physics & Radiation Protection [online]. University of Newcastle Australia, 2012 [cit. 2012-03-18]. Dostupné z: <http://www.newcastle.edu.au/course/PHYS1250.html>

8. Klíčová slova

- Radiologická fyzika
- Obecný fyzikální základ radiologické fyziky
- Kurikulární proces fyziky
- Laická veřejnost
- Odborná veřejnost jako skupina profesionálních radiologických asistentů
- Komparace znalostí z radiologické fyziky
- Test neparametrických hypotéz
- Test parametrických hypotéz