



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ**

**Katedra biomedicínské techniky**

**Analýza nákladů při léčbě karcinomu prostaty  
-aplikace metody Activity Based Costing**

**Cost Analysis for the Treatment of Prostate Cancer  
– Activity Based Costing Method**

Diplomová práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika  
Studijní obor: Systémová integrace procesů ve zdravotnictví

Vedoucí práce: Ing. Petra Hospodková, MBA  
Konzultant práce: Ing. Barbora Klíčová

**Bc. Tomáš Husár**



# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Husár** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **419298**  
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**  
Garantující katedra: **Katedra biomedicínské techniky**  
Studijní program: **Biomedicínská a klinická technika**  
Studijní obor: **Systémová integrace procesů ve zdravotnictví**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Analýza nákladů při léčbě karcinomu prostaty - aplikace metody Activity Based Costing**

Název diplomové práce anglicky:

**Cost Analysis for the Treatment of Prostate Cancer - Activity Based Costing Method**

Pokyny pro vypracování:

Hlavním cílem diplomové práce je porovnání dvou rozdílných radioterapeutických technik, jež jsou prováděny při léčbě karcinomu prostaty na lineárním urychlovači. Proveďte porovnání léčby pomocí techniky 3D konformní radioterapie (3D-CRT) a pomocí techniky radioterapie s modulovanou intenzitou (IMRT). Vyčíslete skutečné náklady jednotlivých technik pro tuto diagnózu pomocí kalkulace Activity-Based Costing. Diskutujte nákladovost i efektivitu obou těchto léčebných metod v Krajské nemocnici Liberec, a. s. Pro porovnávání použijte dále analýzu nákladové efektivity - CEA. V závěru práce porovnejte nákladovost obou léčebných radioterapeutických technik s platbami od zdravotních pojišťoven za provedené výkony. Diskutujte vlivy na odchylky mezi úhradou a skutečnými náklady.

Seznam doporučené literatury:

[1] MWACHOFI, Ari a AF AL-ASSAF, Health Care Market Deviations from the Ideal Market, Sultan Qaboos: University medical journal , ročník 11, číslo 3, 2011, Srpen, 328-337 s., <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3210041/>

Jméno a příjmení vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Petra Hospodková, MBA**

Jméno a příjmení konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **06.08.2020**

Platnost zadání diplomové práce: **20.09.2020**

Peter Kneppo

Digitálně podepsal Peter Kneppo  
Datum: 2020.08.06 15:09:46  
+02:00

prof. Ing. Peter Kneppo, DrSc., dr.h.c.  
podpis vedoucí(ho) katedry

prof. MUDr. Ivan Dylevský, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „Analýza nákladů při léčbě karcinomu prostaty - aplikace metody Activity Based Costing“ vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k diplomové práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

V Kladně dne 13.8.2020

.....

Bc. Tomáš Husár

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval paní Ing. Petře Hospodkové, MBA za odborné vedení a cenné rady, které mi pomohly práci dokončit.

Poděkování patří rovněž paní Mgr. Ludmile Bobkové za vstřícné poskytnutí všech potřebných podkladů a paní Ing. Barboře Klíčové za připomínky při tvorbě diplomové práce.

## **ABSTRAKT**

### **Analýza nákladů při léčbě karcinomu prostaty – aplikace metody Activity Based Costing:**

Předkládaná diplomová práce se zabývá analýzou nákladů při radioterapeutické léčbě karcinomu prostaty konvenční ozařovací technikou 3D-CRT a pokročilejší ozařovací technikou IMRT na oddělení radiační onkologie v Krajské nemocnici Liberec a. s. Výpočet skutečně vzniklých nákladů na léčbu, byl kalkulován pomocí sofistikované kalkulační metody Activity Based Costing (ABC), která sleduje tok nákladů podle aktivit a je vhodná pro implementaci do oboru radiační onkologie kvůli vysokým nákladům na personál a radioterapeutické vybavení. Z perspektivy zdravotnické organizace stojí léčba 1 pacienta s karcinomem prostaty pomocí techniky 3D-CRT 52 900 Kč zatímco technikou IMRT stojí 37 471 Kč. Výsledky práce dále ukazují, že celkové náklady jsou přímo závislé na délce vykonávaných aktivit v rámci léčebného procesu a potvrzují, že technologicky pokročilejší IMRT dokáže díky zkrácení celkové doby léčby ušetřit až 15 429 Kč. Celkové náklady na léčbu diagnózy C61 jsou následně porovnány s platbami získanými od zdravotních pojišťoven za provedené výkony. V porovnání s 3D-CRT vychází technika IMRT jako nákladově efektivnější. Diplomová práce tak poskytuje detailní pohled na strukturu nákladů a prezentuje kalkulační model, který může být aplikován i na zbytek onkologických diagnóz léčených radioterapeutickou léčbou v Krajské nemocnici Liberec, a. s.

### **Klíčová slova**

Karcinom prostaty, 3D-CRT, IMRT, Activity Based Costing

## **ABSTRACT**

### **Cost Analysis for the Treatment of Prostate Cancer – Activity Based Costing Method:**

The presented diploma thesis deals with the cost analysis in the radiotherapeutic treatment of prostate cancer by conventional 3D-CRT irradiation technique and a more advanced IMRT irradiation technique at the Department of Radiation Oncology at the Regional Hospital Liberec, as. The calculation of the actual cost for the treatment was calculated using the sophisticated Activity Based Costing (ABC) method, which tracks the flow of costs by activity and is suitable for implementation in the field of radiation oncology due to high costs for staff and radiotherapy equipment. From the perspective of a healthcare organization, the treatment of 1 patient with prostate cancer costs in case of a 3D-CRT technique 52,900 CZK, while the IMRT technique costs only CZK 37,471 CZK. The results also show that the total costs are directly dependent on the length of activities performed within the treatment process and confirm that the more technologically advanced IMRT can save up to 15,429 CZK by shortening the total amount of treatment time. The total costs for the treatment of C61 diagnosis are then compared with payments obtained from health insurance companies for the performed services. As a result, IMRT technique comes out to be more cost-efficient than 3D-CRT. This diploma thesis thus provides a detailed overview of the cost structure and presents a calculation model that can be applied to the rest of oncological diagnoses treated with radiotherapy at the Regional Hospital Liberec, as.

### **Keywords**

Prostate carcinoma, 3D-CRT, IMRT, Activity Based Costing

# Obsah

Seznam symbolů a zkratk.....	9
<b>1 Úvod.....</b>	<b>12</b>
<b>2 Přehled současného stavu.....</b>	<b>13</b>
2.1 Přehled současného stavu ve světě.....	13
2.2 Přehled současného stavu v České republice.....	17
2.3 Konformní radioterapie (3D-CRT).....	22
2.4 Radioterapie s modulovanou intenzitou (IMRT).....	23
2.5 Komparace techniky 3D – CRT a techniky IMRT.....	24
2.6 Analýza nákladové efektivity.....	26
<b>3 Metody.....</b>	<b>32</b>
3.1 Micro-costing.....	34
3.2 Activity Based Costing (ABC).....	35
3.3 Time-Driven Activity Based Costing.....	38
<b>4 Postup pro kalkulaci ABC ve zdravotnictví.....</b>	<b>39</b>
4.1 Identifikace nákladů vstupujících do kalkulace.....	39
4.2 Definice struktury aktivit.....	40
4.3 Přřazení nákladů aktivitám.....	41
4.4 Vyčíslení nákladů na jednotku aktivity.....	42
4.5 Přřazení nákladů aktivit nákladovým objektům.....	43
<b>5 Praktická část.....</b>	<b>44</b>
5.1 Cíle práce.....	44
5.2 Metodika práce.....	44
5.3 Sběr dat.....	44
5.4 Krajská nemocnice Liberec, a.s. ....	46
5.5 Struktura radioterapeutického oddělení v KNL.....	47
5.6 Aplikační část kalkulace ABC.....	51
5.6.1 Identifikace nákladů vstupujících do kalkulace.....	52
5.6.2 Definice struktury aktivit.....	54
5.6.3 Přřazení nákladů aktivitám.....	59
5.6.4 Vyčíslení nákladů na jednotku aktivity.....	68

5.6.5	Přiřazení nákladů aktivit nákladovým objektům .....	70
5.7	Srovnání plateb pojišťoven se skutečnými náklady .....	72
5.8	Komparace radioterapeutických technik v KNL.....	74
<b>6</b>	<b>Výsledky.....</b>	<b>80</b>
<b>7</b>	<b>Diskuse .....</b>	<b>85</b>
<b>8</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>93</b>
	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>95</b>
	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>105</b>
	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>106</b>
	<b>Seznam vzorců.....</b>	<b>109</b>



# Seznam symbolů a zkratek

## Seznam zkratek

Zkratka	Význam
3D-CRT	Three dimensional conformal radiation therapy
ABC	Activity based costing
CBCT	Cone-beam computer tomography (CT s kuželovitým svazkem)
CEA	Cost-effectiveness analysis
CNA	Celkové náklady aktivit
CT	Computer tomography (Počítačová tomografie)
CTV	Clinical target volume
ČLK	Česká lékařská komora
DDR	Digitally reconstructed radiogram
DP	Diplomová práce
DPH	Daň z přidané hodnoty
DRG	Diagnosis related group
DVH	Dose volume histogram (Dávkově objemový histogram)
EBRT	External beam radiation therapy
EORTC	European organisation for Research and Treatment of Cancer
EPID	Electronic Portal Imaging Device
EU	Evropská unie
FN	Fakultní nemocnice
GBP	Britská libra
GI	Gastrointestinální
GU	Genitorurinární
Gy	Gray
HART	Hypofrakcionovaná akcelerovaná radioterapie
HF	Hypofrakcionace
ICER	Incremental costs-effectiveness ratio

IGRT	Image guided radiation therapy (Obrazem řízená radioterapie)
IMRT	Intensity modulated radiation therapy
IT	Informační technologie
JNA	Jednotkové náklady aktivit
KČ	Koruna česká
KNL	Krajská nemocnice Liberec
KO	Klinický onkolog
KOC	Komplexní onkologické centrum
KP	Karcinom prostaty
kV	kiloVolt, kilovoltážní
LINAC	Linear accelerator
LU	Lineární urychlovač
MLC	Multi leaf colimator
MR	Magnetická rezonance
MV	megaVolt, megavoltážní
MVA	Míra výkonu aktivit
OaR	Organs at Risk (kritické orgány)
PET/CT	Pozitronová emisní tomografie
POP	Pomocný ošetrovatelský personál
PSA	Prostatický specifický antigen
PTV	Planing target volume
QALY	Quality-adjusted life-year
RA	Radiologický asistent
RATLU	Ambulance radioterapie a lineárních urychlovačů
REF	Referent
RF	Radiologický fyzik
RO	Radiační onkolog
ROI	Region of interest (zájmová oblast v radioterapii)
RT	Radiation therapy
RTG	Rentgen

SIB	Simultánní integrovaný boost
TRUS	Transrektální ultrasonografie
UDS	Americký dolar
USA	Spojené státy americké
VMAT	Volumetric arc therapy (objemově modulovaná rotační terapie)
VZ	Veřejná zakázka
XVI	X-ray view imaging
ZULP	Zvlášť účtované léčivé přípravky
ZUM	Zvlášť účtovaný materiál

---

# 1 Úvod

Zdravotnictví ve všech vyspělých zemích směřuje v posledních dekádách ke stálému zlepšování poskytované zdravotní péče, která je spjata s velice rychlým technologickým vývojem a pokročilejšími klinickými postupy. Největší prioritou samozřejmě zůstává vyléčení nemocného, jemuž je cílem poskytovat kvalitní zdravotní péči vysoké úrovně na základě nejnovějších vědeckých důkazů, poznatků a klinických zkušeností. Ovšem inovace v medicíně představují ve většině případů zvyšování počátečních investic a celkových nákladů na léčbu a otázkou potom zůstává, zda je se stále stárnoucím obyvatelstvem a řadou dalších nepříznivých faktorů veřejného zdraví ekonomicky udržitelné i v budoucnu poskytovat nejmodernější medicínská vyšetření a terapii velkému množství pacientů. Tento problém je důvodem časté diskuse o způsobu využívání a dostatečnosti omezených finančních zdrojů veřejného zdraví. Proto je důležité monitorovat a podávat soustavná ekonomická hodnocení, která podávají přesné informace a jsou užitečné při rozhodování o alokaci omezených finančních zdrojů zdravotního systému.

Diplomová práce je zaměřena na ekonomické zhodnocení radioterapeutické léčby jednoho z nejčastějších onemocnění mužské populace vyššího věku, jímž je karcinom prostaty. Je zde provedena komparace dvou nejpoužívanějších technik radioterapie, které jsou pro svou technickou náročnost vnímány jako nákladné modalitý onkologické léčby.

Celá práce je pomyslně rozdělena na teoretickou a praktickou část, které jsou dále děleny na kapitoly a podkapitoly, jejichž přehledný seznam je k nalezení v obsahu. Zaměření této práce vychází z požadavků radioterapeutického oddělení Krajské nemocnice Liberec a. s. a směřuje v praktické části k nákladové analýze léčby karcinomu prostaty konvenční radioterapeutickou technikou 3D-CRT a pokročilejší technikou radioterapie s modulovanou intenzitou ozařovacího svazku IMRT.

Prostřednictvím sofistikované kalkulační metody Activity based costing jsou zde vyčísleny skutečně vzniklé náklady na radioterapeutickou léčbu jednotlivými ozařovacími technikami radioterapie a výsledky jsou potom srovnány s došlými úhradami od zdravotních pojišťoven za provedené výkony ve sledovaném období. Věrohodné a přesné odhady nákladů na radioterapeutickou léčbu tohoto onemocnění v Libereckém kraji, poukazují na pokřivené financování v oblasti zdravotnictví a upozorňují na potřebu reforem či částečných náprav úhradových mechanismů v rámci systému DRG restart, který by měly na základě reálného oceňování a pravidelné monitorace zajišťovat všem typům zdravotnických organizací efektivní a spravedlivé přerozdělení omezených finančních prostředků veřejného zdravotního pojištění.

## 2 Přehled současného stavu

### 2.1 Přehled současného stavu ve světě

Karcinom prostaty, dále jen KP, je celosvětově druhým nejčastěji diagnostikovaným onkologickým onemocněním u mužů a současně je na pomyslném žebříčku nádorových onemocnění pátým nejčastějším maligním onemocněním, na které muži umírají. Tvoří tak zhruba 6,6 % všech onkologických úmrtí. Globálně představuje karcinom prostaty 15 % všech onkologických onemocnění a je tak značnou zátěží veřejného zdraví. [1]

Incidence karcinomu prostaty se pozoruhodně liší napříč geografickou lokací. Téměř 70 % nově diagnostikovaných nemocných je obyvateli rozvinutých zemí. Nejvyšší četnost tohoto onemocnění je zaznamenána v Austrálii, na Novém Zélandu, Severní Americe a v severní a západní části Evropy. Oblastí s nejnižším výskytem je jižní část Asie, nicméně i zde se četnost výskytu karcinomu prostaty za posledních 20 let rapidně zvýšila. Pozorování stále rostoucí incidence od roku 1990 je silně zapříčiněna zavedením testování prostatického specifického antigenu (PSA), díky kterému je současná onkologie schopna odhalit onemocnění v časných stádiích. Ačkoliv není doposud znám přesný mechanismus vzniku onemocnění, jsou obecně známy ustálené rizikové faktory, které mohou být příčinou jeho vzniku a rozvoje nemoci. Mezi tyto faktory patří stále se zvyšující průměrný věk populace, jelikož jeho výskyt je nejpočetnější u vyšších věkových kategorií s mediánem věku 75 let, dále pozitivní rodinná anamnéza, černošská rasa a genetické predispozice. Určení přesných environmentálních karcinogenů je obtížné, avšak důkazy poukazují na stravovací návyky, obezitu a sexuálně přenosné choroby, které mohou být iniciátorem k zánětu prostaty a pozdějším vzniku onemocnění. Předpokládá se silný potenciál pro snížení mortality onemocnění prostřednictvím screeningu, proto je zásadní sledovat globální epidemiologickou situaci. [2] [3] [4] [5]

Se zavedením screeningového vyšetření za pomoci PSA je možné monitorovat onemocnění velmi brzy a odhalit tak malé a nízkorizikové karcinomy prostaty, které se jinak v běžném životě pacienta klinicky neprojeví. Pacienti mají na výběr zejména tři hlavní možnosti léčby. Terapeutickým postupem u lokalizovaného karcinomu prostaty nízkého a středního rizika je konzervativní metoda aktivního sledování. Tato metoda spočívá v pravidelných kontrolách pacienta, transrektální ultrasonografií (TRUS), půlroční kontrole PSA a opakovaných bioptických odběrech tumorozní tkáně v 18 měsíčních intervalech. Kurativní léčba je takto odložena, dokud pacient nesplňuje kritéria, která, klasifikují progresi onemocnění. [6] [7]

V případě progresu onemocnění, nebo pokud je metoda aktivního sledování nemožná či dokonce nežádoucí nastupují další možnosti kurativní léčby, které jsou přehledně uvedeny v publikaci Radiační onkologie v praxi: Čtvrté aktualizované vydání. [8] V současné onkologické praxi je zevní radioterapie spolu s intersticiální brachyterapií a radikální prostatektomií jednou ze stěžejních metod kurativní léčby u lokalizovaného a lokálně pokročilého karcinomu prostaty. Nejvíce rozšířená je zevní radioterapie fotonovým svazkem záření (EBRT – external beam radiation therapy) a jako ozařovač je nejvíce využíván lineární urychlovač (LU, LINAC – linear accelerator). Celosvětovým trendem je pozvolný přesun většího množství nově diagnostikovaných pacientů právě na zevní ozáření pod radioterapeutický přístroj, neboť se tato neinvazivní léčebná metoda pro svůj neustále trvající technický pokrok stává ekvivalentem chirurgickému zákroku. Celková předepsaná radioterapeutická dávka je zde distribuována do cílového objemu v jednotlivých frakcích. Pro karcinom prostaty je typické, že pacient obdrží jednou denně frakci 2 Gy, na ozáření dochází 5 dní v týdnu, do celkové dávky 74 Gy tzv. normofrakcionace. Nicméně v porovnání s jinými malignitami je karcinom prostaty z radiobiologického hlediska pomalu rostoucím a vcelku atypickým nádorem, díky čemuž je v řadě případů vhodným onemocněním k jiným radioterapeutickým schémátům, než je právě zmíněná normofrakcionace.

Z dosavadních klinických studií bylo prokázáno, že hypofrakcionovaný radioterapeutický režim má pozitivní vliv na zmírnění toxicity léčby se zachováním optimální protinádorové účinnosti. Při léčbě karcinomu prostaty je důležité sledovat zejména gastrointestinální a genitourinární toxicitu. Hypofrakcionovaný režim přispívá ke sníženému výskytu akutních reakcí na radiační záření, které také pozitivně ovlivňují pozdější trvalé následky radioterapie. Relativně dobré výsledky byly publikovány i pro celkovou dávku 66 Gy rozdělenou do 22 frakcí záření 3 x do týdne. [9]

Dále je už dostatečně dobře prokázáno, že eskalace dávky radiačního záření zlepšuje výsledky kurativní léčby lokalizovaného karcinomu prostaty. Eskalace dávky ionizujícího záření má signifikantní vliv na přežití bez biochemického relapsu, dále snižuje riziko PSA relapsu i potenciální riziko rozvoje distančních metastáz. V klinické praxi je zavedeno již několik frakcionačních režimů a silně záleží na stádiu onemocnění, nicméně obecně dobrých výsledků je dosahováno zejména u karcinomů prostaty nízkého a středního rizika, kde se jako efektivní ukazují dávky nad 76 Gy. S vysokými dávkami ionizujících svazků fotonového záření prostřednictvím zevní radioterapie však zůstává zvýšené riziko pozdní gastrointestinální a genitourinární toxicity. Tendence k eskalaci dávky nad 78 Gy pro zlepšení výsledků léčby se zachováním stejné toxicity a plus hypofrakcionací režimy pro zkrácení celkové doby terapie vedou ke stále přísnějším technickým požadavkům. S neustálým technickým pokrokem je možné i v radioterapii dosáhnout vyšší konformity ozáření za současného šetření okolních kritických struktur (OaR – organs at risk), kterými jsou v případě karcinomu prostaty močový měchýř, rektum, kličky tenkého střeva, hlavice femurů a bulbus penisu.

Takových výsledků je radiační onkologie schopna dosáhnout za pomoci moderních radioterapeutických technik jako je konformní radioterapie (3D-CRT – Three dimensional conformal radiation therapy) a radioterapie s modulovanou intenzitou svazku (IMRT – intensity modulated radiation therapy). Současným celosvětovým trendem je rozšíření dalšího vývojového stupně radioterapie s modulovanou intenzitou ozařovacího svazku a tím jsou rotační techniky jako je (VMAT – volumetric arc therapy), které poskytují velice precizní modulaci ozařovacího svazku během jedné rotace gantry a je tak zrychlen celý proces léčby s menším radiačním zatížením pacienta. Při větších dávkových distribucích, které jsou moderní radioterapeutické techniky schopné dodat do cílové oblasti tumoru je kladen velký důraz na jejich přesnost právě kvůli udržení toxicity a minimalizaci bezpečnostních lemů cílového objemu. Přesnost zevní radioterapie fotonovým svazkem záření ovlivňuje celá řada okolností, které způsobují nepřesnosti ve výsledném ozáření. Jedná se hlavně o změnu tělesné hmotnosti pacienta, dýchací pohyby, odlišná svalová tenze během jednotlivých frakcí či možná nepřesnost nastavení ze strany personálu radiologických asistentů. Pro karcinom prostaty jsou typické odchylky v pozici samotné prostaty uvnitř pánve, neboť její pozice je závislá na náplni kritických orgánů, jimiž je močový měchýř a rektum. Tyto nepřesnosti jsou řešeny obrazem řízenou radioterapií (IGRT – image guided radiation therapy), což představuje systematickou verifikaci pozice pacienta před každou frakcí radioterapie pomocí snímkování. Díky snímkům je možná korekce nepřesností nastavení polohy pacienta s polohou referenční. K dispozici je již řada metod pro radioterapii řízenou obrazem (portálové snímkování – megavoltážní zobrazení, kilovoltážní zobrazení, CT kuželovitým svazkem – cone-beam CT). Výhodou hojně využívaného cone-beam CT je přesné zobrazení polohy měkkých tkání v trojrozměrném rozhraní a to tak, že lze zcela bezpečně rozeznat objem prostaty či náplň rekta a močového měchýře před každým ozářením. Obrazem řízená radioterapie zvyšuje spolehlivost, bezpečnost a účinnost léčby. Dalším přínosem konformní radioterapie je získaná přesnost ozáření, jelikož potom lze redukovat bezpečnostní lem kolem prostaty. Důsledkem je potom ozařování menších cílových objemů a lze tak dosáhnout i vyššího šetření rekta a močového měchýře. Denní systematickou verifikací pozice pacienta spolu s možností kontroly implantovaných markerů v prostatě tzv. fiducial markers lze dosáhnout překvapivě nízké akutní toxicity. [10] [11]

Z dosavadních zkušeností se ukázalo, že kombinace zevní radioterapie s dalšími léčebnými metodami má v řadě případů pozitivní kurativní účinek. Benefit kombinované léčby je podložen výsledky prospektivních randomizovaných studií, například studie [12] potvrzuje, že jedna frakce HDR brachyterapie jako tzv. BOOST v kombinaci s hypofractionovaným režimem zevní radioterapie je efektivní možností léčby s maximální konformitou, požadovanou homogenitou a dobrou biochemickou kontrolou. Zevní radioterapie v kombinaci s hormonální terapií je žádoucí u pacientů s vysokým rizikem a případně i středním rizikem onemocnění. Adjuvantní zevní

radioterapii je třeba uvážit v případě pacientů s nepříznivými histopatologickými nebo laboratorními parametry po radikální prostatektomii. Radioterapie v kombinaci s hormonální terapií přináší pacientům s vysoce rizikovým karcinomem prostaty lepší kurativní výsledky. [12] [11]

Většina lineárních urychlovačů je využívána pro standardní externí radioterapii fotonovými svazky a doplňkově stereotaktickou radiochirurgií a elektronové aplikace. Kompletní přístroje včetně jejich systémů a příslušenství jsou většinou dodávány jedním dodavatelem. Toto sjednocování systémů pod jednu dodávající společnost je v posledních letech stále rostoucím trendem na celosvětovém trhu a mnohdy i jedinou dostupnou variantou. Výhodou je kompatibilita systémů a komponent přístroje, snížení výdajů na školení personálu, jednodušší servisní podmínky či slevy na vybavení od dodavatelů.

Institut ECRI (Emergency Care Research Institute) vydal v roce 2015 technický přehled, který je třeba vzít v úvahu při nákupu lineárního urychlovače pro externí radioterapii fotonovými svazky. Je v něm uvažována cena, funkčnost, spolehlivost, uživatelské prostředí, ovládání, využití, prostorové požadavky, podpora dodavatelů a servis. Podle výsledků průzkumu byly z hlediska uživatelského rozhraní, využití, funkčnosti a spolehlivosti vyhodnoceny jako nejlepší lineární urychlovač od společnosti Varian Medical Systems. [13] [14] Současným výrobcem a zároveň dodavatelem radioterapeutických strojů je společnost Elekta, Varian, Accuray, Brainlab a Shinva. Společnost Varian Medical Systems má zdaleka největší zastoupení na americkém i evropském trhu s lineárními urychlovači. Těsně za ním ho následuje společnost Elekta. Lineární urychlovače od společnosti Siemens jsou celosvětově stále široce zastoupeny, prodávány a instalovány nicméně počátkem roku 2011 společnost Siemens ukončila sekci přístrojů pro radiační onkologii a přestala nadobro přístroje vyrábět. To je zároveň i důvodem, proč se přístroje Siemens budou v budoucnu čím dál častěji objevovat na sekundárních trzích.

Průměrný počet lineárních urychlovačů poskytujících vysokoenergetické brzdné RTG záření se v členských státech EU stále zvyšuje. Nicméně průzkum také poukázal, na nerovnovážné rozložení radioterapeuticky vybavených center napříč Evropou. V evropských zemích je k dispozici celkem 3072 urychlovačů pro medicínská využití z toho jich je 2912 lineárních. V severozápadní části Evropy jsou státy s vyššími příjmy, a tak jsou vybaveny i nejmodernější dostupnou technikou. Jiné země jako je například Bulharsko či Makedonie naopak čelí obecně velkému nedostatku přístrojů schopných ozařovat vysoce konformními technikami. [15] Severské země EU včetně Belgie a Švýcarska mají více než osm radioterapeutických strojů na 1 milion obyvatel. Opakem je Albánie, Makedonie a Rumunsko, které prokazatelně čelí velkému nedostatku. Celkem u deseti zemí EU, např. v Polsku, Bělorusku, Maďarsku, Slovinsku, a Portugalsku bylo zjištěno, že mají nedostatečný počet radioterapeutických přístrojů. Pro uspokojení odhadované potřeby své populace a na základě statistických analýz ukázalo,



že v Rakousku, Německu, Itálii, Portugalsku a Velké Británii existuje taktéž zjevný nedostatek radioterapeutických přístrojů. [15] [16] [17] [18]

Prudký technologický vývoj spolu se stále rostoucími požadavky na větší přesnost a šetrnost zevního ozáření se zachováním přijatelné toxicity, zvyšuje i celkové náklady onkologické léčby. Komplexní léčba nádorových onemocnění je hned po léčbě gastrointestinálních, mentálních či kardiovaskulárních chorob hodnocena jako čtvrtá až osmá nejnákladnější. V USA představuje léčba nádorových onemocnění 8 – 10 % z celkových výdajů (3,5 trilionu USD) na zdravotní péči. Ve většině zemí jsou náklady na léčbu nádorových onemocnění o něco nižší přibližně 4,5 – 6 % z celkového rozpočtu na zdravotní péči, ale i tak představují relativně velkou ekonomickou zátěž.

Obecně se u zevní radioterapie, kterou podstoupí až 30 % všech onkologicky nemocných pacientů, očekává vysoké procento nákladů. A to hlavně kvůli vysokým počátečním investicím, stavebním úpravám, nákladnému provozu radioterapeutických strojů či vývoji nových technologií, které poskytují vysoce přesné ozáření. Přesto samotná radioterapie nepřesahuje hranici 5 % z celkových výdajů na léčbu nádorových onemocnění a jeví se jako léčba, která dokáže finanční prostředky spíše ušetřit. V Evropské Unii byly odhadnuty průměrné náklady na zevní ozáření jednoho pacienta přibližně 3000 €, na léčbu chirurgickou potom přibližně 7000 € a na chemoterapii až 17 000 €. Ačkoliv je radioterapie podstatně levnější v porovnání s jinou protinádorovou léčbou, její velkou část tvoří právě nepřímé náklady spojené s jednotlivými kroky radioterapie, a tak jsou pro oblast ekonomického zhodnocení situace kladeny stále přísnější nároky na přesnost výpočtu celkových nákladů, které vyžadují přesná data a sofistikované kalkulační metody. [19]

## 2.2 Přehled současného stavu v České republice

Onkologická onemocnění, v čele s karcinomem prostaty, jež je nejčastějším nádorem mužské populace, představují i v našich podmínkách nejen medicínský, ale také podstatný celospolečenský a ekonomický problém. U zhoubných nádorových onemocnění je v České republice dlouhodobě sledován každoroční nárůst zhruba o 2 % a po kardiovaskulárních chorobách jsou druhou nejčastější příčinou smrti. V současné době jde až o jednu čtvrtinu všech úmrtí na území České republiky. U karcinomu prostaty je zaznamenána stále rostoucí incidence a mírná tendence poklesu mortality, i když lehce překračujeme evropský průměr. V roce 2015 bylo hlášeno 136,1 nových případů na 100 000 mužů. [68] [69] Radioterapie, ačkoliv je považována za nejmladší medicínský obor, vstoupila mezi základní lékařské obory už v 50. letech minulého století a postupem času se díky zakládání onkologicko-radioterapeutických klinik a center přetřemovala na tzv. radiační onkologii, která má v dnešní podobě zastoupení ve vědecké radě České lékařské komory (ČLK) a je důležitou součástí české onkologie. [21] [20]

Na prudký technologický vývoj tohoto oboru v posledních desetiletích reaguje celkem svižně i Česká republika a snaží se kopírovat celosvětové podmínky pro dávkovou eskalaci, nízkou toxicitu, konformitu, zkracování celkové doby terapie a sleduje nejnovější radioterapeutické trendy. Přebírá tak široce uznávané evropské standardy pro zevní ozáření fotonovými svazky záření. Od roku 2007, kdy odstartovala na popud Společnosti radiační onkologie, biologie a fyziky (SROBF) restrukturalizace a tvorba sítě komplexních onkologických center (KOC) došlo k rozsáhlé modernizaci a dovybavení stávajících radioterapeutických pracovišť nejmodernější dostupnou technikou. Byla zvýšena kapacita jednotlivých center poskytující zevní ozáření a současně byl snížen počet kobaltových ozařovačů, které jsou na ústupu a využívají se spíše pro paliativní léčbu. [22] V současné době je standardem k poskytování zevního ozáření na radioterapeutickém pracovišti lineární urychlovač. Česká republika v roce 2018 disponovala celkem 35 radioterapeutickými pracovišti, z nichž je 13 již součástí Komplexního onkologického centra, které centralizují péči o onkologické pacienty napříč Českou republikou. V tomto počtu je zahrnuto i několik pracovišť, které provádějí vysoce specializovanou onkologickou léčbu na špičkové úrovni. Patří sem Fakultní nemocnice Ostrava – Poruba se svým přístrojem Cyberknife, Nemocnice na Homolce s Gama nožem pro stereotaktickou radiochirurgii, dále FNKV a VFN, které poskytují tomoterapii pomocí přístroje Thomotherapy HD. Na území České republiky je v současné době rozmístěno 44 lineárních urychlovačů a 7 kobaltových ozařovačů. Některé ze zmíněných pracovišť poskytují zároveň brachyterapeutické aplikace záření s vysokým dávkovým příkonem, takových pracovišť je celkem 16. [23]

Ve většině radioterapeutických pracovišť jsou minimálně dva za sebe zástupné lineární urychlovače. Je to totiž ekonomicky efektivnější, neboť jeden lineární urychlovač má určitou omezenou denní kapacitu ozářených pacientů a v případě překračování této hranice je zcela na místě očekávat případnou poruchovost. Další výhodou je také dělení nezbytných nákladů spojených s radioterapeutickým výkonem, jako je simulace, plánování a dozimetrie, k nimž je samozřejmě potřeba nezbytného přístrojového a programového vybavení, které je velmi nákladné. [27] Kurativní radioterapeutická léčba je v českých podmínkách již standardně prováděna za pomoci vysoce konformních technik, které dokážou homogenně prozářit cílový objem s maximální redukcí bezpečnostních lemů jako je technika 3D-CRT a IMRT. Není však znám podíl jednotlivých modalit při léčbě KP. Některá pracoviště jsou vybavena velice moderními přístroji a jsou schopna své pacienty ozařovat vysoce přesnými rotačními technikami jako VMAT a RapidArc. K těmto technikám není žádnou novinkou i běžné používání 3D verifikace polohy pacienta a obrazová navigace v podobě IGRT. V klinické praxi je verifikace polohy pacienta s KP každodenní záležitostí. V ČR se již běžně ozařuje technikou IMRT SIB, kdy je současně zářena samotná prostata i semenné vajíčky odlišnou celkovou dávkou, což vede k intenzifikaci a zkrácením celkové doby léčby. [26] Běžná je i metoda hypofrakcionované akcelerované radioterapie (HART),

kdy pacient na samotnou prostatu obdrží jednotlivou frakcionační dávku o velikosti 3 Gy celkem ve 20 návštěvách se zachováním stejné či v některých případech i snížené toxicity. [24] Přesnost a homogenita výsledného ozáření je pevně spjata s vývojem nových diagnostických metod (CT, MR, PET/CT, 4DCT), které poskytují přesnější diagnostické vstupní parametry a následně jejich začlenění do plánovacích algoritmů radioterapeutického ozáření. [25]

V řadě případů je však snížení toxicity či podstatné zlepšení jiných radioterapeutických výsledků spojeno s dražšími postupy a rapidním růstem nákladů. Nejvyššími náklady radiační onkologie jsou v ČR náklady spojené s počáteční investicí na přístrojové vybavení, jelikož radioterapeutické stroje mají doporučenou životnost 8 let a v tomto mezidobí mohou ceny přístrojového vybavení vzrůst až o 50 % původní ceny. V porovnání s jinými evropskými zeměmi, kde vstupní náklady na vybavení představují cca 20 %, z celkových nákladů, ty samé náklady v našich podmínkách činí zhruba 57 % z celkových nákladů. [27] V rámci České republiky je totiž nákup radioterapeutické techniky omezen a výrobci neuvádějí žádnou přehlednou databázi přístrojů a výčet jejich přesných cen. Tyto přístroje jsou nakupovány do onkologických center a nemocnic hlavně prostřednictvím veřejných zakázek a v dokumentech těchto zakázek jsou uvedeny pouze cenové relace a konečná finální cena celé zakázky, která je v mnoha případech cenou individuální pro dané pracoviště, jelikož každý zadavatel zadává zakázku, dle svých aktuálních potřeb což neznamená nutně nákup jednoho lineárního urychlovače (LU) od konkrétní firmy, ale v mnoha případech je zde zahrnuto rovnou několik přístrojů s nejrůznějšími kombinacemi vybavenosti a případně i modernizaci techniky stávající i celkových prostor ozařoven.

Pro lepší představu o současném stavu cen při pořizování lineárních urychlovačů v českých podmínkách je zde uvedeno několik nejaktuálnějších nákupů v oboru radiační onkologie. V roce 2018 proběhlo ve FN Motol výběrové řízení na lineární urychlovače včetně příslušenství. Požadovány byly dva identické lineární urychlovače s fotonovými svazky o energiích 6 MV a 18 MV a elektronovými svazky. Dodavatel musí zajistit plánovací systém, verifikační systém a 3D automatický vodní fantom pro dozimetrii lineárních urychlovačů. Předmětem této veřejné zakázky (VZ) bylo také zajištění pozáručního servisu na radioterapeutické přístroje a jejich komponenty dodané touto VZ. Jediným účastníkem zadávacího řízení je společnost Amedis s r.o. a smluvní cena byla stanovena na 326 441 060 Kč s DPH. Velmi podobnou specifikaci měla v roce 2017 i zakázka na nákup 3 ks lineárních urychlovačů ve Fakultní nemocnici Hradec Králové, kde byly součástí veřejné zakázky i stavební úpravy ozařoven a zpětný odběr 2 ks stávajících lineárních urychlovačů Clinac 2100 C/D firmy Varian. Zadávacího řízení se účastnila společnost Elekta Services s. r. o. s nabídkovou cenou 281 442 768 Kč s DPH a společnost Amedis s. r. o. s nabídkovou cenou 239 638 660 Kč včetně DPH. Smluvní cena byla 239 638 660 Kč s DPH a zakázku tedy obdržela společnost Amedis s r.o. Procesem obnovy lineárních urychlovačů prochází

i Masarykův onkologický ústav. V roce 2017 vypsal veřejnou zakázku na servis lineárních urychlovačů a předmětem veřejné zakázky byla dodávka nového, dosud nepoužitého lineárního urychlovače pro ozařovací techniky IMRT, VMAT, SBRT, TBI, včetně technického příslušenství pro IGRT a provedení souvisejících stavebních prací. Jediným uchazečem byla společnost Amedis s.r.o. a smluvní cena zakázky byla 107 628 653 Kč s DPH. [28] [29] [30] [31]

Z uvedených příkladů je zřejmé, že pro podmínky ČR nelze zvažovat nákup od všech 5 zmíněných firem a 15 přístrojů jako je tomu jinde ve světě. O český trh se dělí pouze dvě subdodavatelské společnosti, firma Amedis s.r.o. a konkurenční společnost Elekta Services s. r. o, která ještě nedávno nesla název Transkontakt – Medical s.r.o. Pouze tyto dvě společnosti jsou zcela kompetentní dle Státního úřadu pro jadernou (SÚJB) bezpečnost k distribuci, instalaci i servisu LU pro radioterapii, včetně doplňkových rentgenových zobrazovacích systémů a rentgenových simulátorů určených pro radioterapii. Důvodem je legislativní zařazení LU do kategorie významných zdrojů ionizujícího záření. Společnost Amedis s.r.o. je zástupcem mateřského výrobce ozařovacích přístrojů značky Varian a konkurenční společnost Elekta Services s. r. o, zastupuje švédského výrobce Elekta services s. r. o. Přístrojový park české radioterapie z velké části spočívá na vybavení od těchto dvou hlavních výrobců. [32] [34] [33]

Za nákladným přístrojovým vybavením jsou na druhém místě v oblasti nejvyšších nákladů považovány náklady nepřímě, konkrétně mzdové náklady. Mzdové náklady byly vyčísleny pro evropskou unii jako 50 % z celkových nákladů a v naší zemi to je 30 % z celkových nákladů. Ačkoliv došlo v posledním desetiletí k restrukturalizaci radioterapeutické péče napříč Českou republikou a nesporným pokrokům v léčbě, stále naše země nedosahuje kvůli omezeným finančním prostředkům, které se odrážejí v přístrojovém a personálním vybavení doporučených standardů.

Jelikož jsou investice do budování či rekonstrukcí největším nákladovým elementem české radioterapie je nutné mít představu o veškerých vstupních i provozních nákladech a tato data pravidelně monitorovat a porovnávat s případnou výdělečností. Tato data mohou sloužit jako podklad pro zlepšení odhadů celkové nákladovosti radioterapeutické péče a podmínkou pro zlepšení skutečných úhrad od zdravotních pojišťoven. [27]

Samostatným elementem zevní radioterapie je pražské protonové centrum, které je plně funkční od konce roku 2012 a léčí své pacienty pomocí urychlovače protonů IBA Proteus 235. Karcinom prostaty je jednou z nejčastěji indikovaných diagnózou pro protonovou terapii. Fyzikální charakteristiky protonů předurčují protonové ozáření k distribuci vyšších integrálních dávek do oblasti cílového objemu, je možné aplikovat jednotlivou dávku na frakci až 7,25 Gy. S takovou dávkovou eskalací směřuje protonová léčba k hypofracionovanému režimu a může dosáhnout stejného kurativního výsledku jako fotonová terapie pouze v pěti sezeních. Vysoce precizní modulací dávky

uvnitř cílového objemu během každé frakce lze dosáhnout ještě lepší dávkové distribuce a maximálního šetření kritických struktur. Což se projevuje minimálními pozdními nežádoucími účinky léčby jako je inkontinence či impotence. [35] Na druhou stranu dnešní radioterapie fotonovým svazkem záření dosahuje pětiletého přežití až u 98 % léčených pacientů, což jsou vynikající výsledky. Dalším nesporným benefitem je vysoká přesnost zaměření cílového objemu s možnou korekcí polohy a detailní rozpoznání náplně rekta a močového měchýře, což protonová léčba neumožňuje, neboť neprovádí před každou frakcí CBCT, ale klasický RTG snímek, který kontroluje pouze polohu prostaty pomocí dříve invazivně zavedených zlatých zrn. Jasnou předností radioterapie fotonovým zářením je i to, že dokáže ozářit drtivou většinu onkologicky nemocných pacientů. [36]

Co se týče nákladovosti moderních fotonových technik, jsou v médiích často prezentována neúplná nebo i zkreslená fakta. Jeden bod fotonové terapie v úhradové vyhlášce pro rok 2016 byl hodnocen 0,68 Kč, jeden bod protonové terapie 1 Kč. Celkem 20 frakcí IMRT (VMAT) technikou s využitím IGRT byl proplácen přibližně 120 tis. Kč při jednotlivé denní dávce 3 Gy, což je už standardní postup i u fotonové terapie. U pokročilých stavů onemocnění s podezřením na postižení uzlin, nelze zvyšovat denní dávku záření nad 2 Gy vzhledem k velikosti ozařovaného objemu, ozařuje se celá tzv. malá pánev. V těchto případech se provádí radioterapie zpravidla ve 35 frakcích, což odpovídá 210 tis. Kč (za použití IMRT či VMAT techniky).

Ceny protonové léčby jsou opravdu nepoměrně vyšší než ceny nejmodernější fotonové terapie při obdobných léčebných výsledcích, ne-li lepší pro fotonovou terapii. Cena protonové terapie podle úhradové vyhlášky pro rok 2016: 20 dávek 545 940 Kč, cena 35 dávek 955 395 Kč a cena 5 dávek činí 136 485 Kč. Vysoká cena protonové terapie je v těchto případech neopodstatněná. [36] Randomizované studie porovnávající fotonovou a protonovou radioterapii KP nejsou k dispozici. V přímém porovnání fotonů a protonů jsme odkázáni na retrospektivní srovnání výsledků, což je vždy spojeno se zkreslením dat. Protonová radioterapie KP nemá prokazatelné klinické výhody v porovnání s fotonovou radioterapií. Dokud nebudeme znát dlouhodobé výsledky, nelze tvrdit, že jsou lepší než fotony a naopak. Takové tvrzení odporuje principům medicíny založené na důkazech. [37]

## 2.3 Konformní radioterapie (3D-CRT)

Dnes už překonanou radioterapeutickou technikou konformní radioterapie neboli three dimensional conformal radiation therapy (3D-CRT), je ozařovací technika, při které je fotonový svazek záření individuálně přizpůsobován nepravidelným tvarům cílových objemů. [38]

Ke stanovení integrální dávky v nádoru a kritických orgánech je potřeba v první řadě kvalitní 3D vizualizace jež vychází z diagnostických vyšetření, které poskytují detailní trojrozměrné zobrazení těchto struktur. Jsou jimi (CT, 4DCT, MR, PET/CT či moderní aplikace PET/MR a jejich fúze). Základní podstatou metody 3D-CRT je složení celkové dávky do cílového objemu z několika ozařovaných polí v různém úhlovém rozestavení. Každé pole je individuálně vytvářeno na plánovací konzoli přesně podle tvaru cílového objemu ve dvou rovinách, dle standardů a limitů pro dávkové zatížení. Pro ozáření KP se nejčastěji využívá technika 4 – 7 konvergentních polí s použitím filtračních homogenizačních klínů a motoricky či pneumaticky řízeným vícelamelovým kolimátorem (multi leaf colimator – MLC). Tyto lamely nejčastěji vyrobené z kvalitního wolframu se uplatňují při modulaci ozařovacího fotonového svazku zejména, když jsou nádorová ložiska nepravidelného tvaru a těsně naléhají na okolní tělesné struktury, ze kterých se stávají kritické orgány a tkáně v ozařované oblasti. V tomto případě je celková radiační dávka vykompenzována prostřednictvím silnějšího záření z protilehlého či jiného ozařovacího pole a konečným výsledkem je tak zcela homogenní dávkové rozložení v přesně definovaném cílovém objemu a v požadované kvalitě. Radioterapeutická technika 3D-CRT poskytuje velice přesné zevní ozáření cílového objemu s minimálním lemem a s dostačujícím šetřením okolních zdravých tkání a kritických orgánů. Tím je umožněna eskalace celkové dávky pro pacienta se zachováním stejné toxicity, a to bez překročení tolerančních dávek jednotlivých okolních orgánů a tkání. Při konformní radioterapii se integrální dávka v cílovém objemu pohybuje nejčastěji v rozmezí 72 – 74 Gy. Avšak jedinou nevýhodou této techniky je nemožnost dokonalého vytváření dávky okolo nepravidelných konkávních objemů, kterým je v řadě případů právě i prostata. [38] [39]

Technika 3D-CRT využívá tzv. dopředného plánování (forward planning). U každého z ozařovaných polí jsou zadány ozařovací parametry: úhel gantry a kolimátoru, pozice ozařovacího stolu, velikost pole, pozice lamel MLC a velikost úhlu klínového filtrů. Plánovací konzole potom může provést výpočet prostorové dávkové distribuce v těle pacienta a výpočet počtu monitorovacích jednotek pro každé pole. Pro úpravu pokrytí cílového objemu PTV a homogenní dávkové distribuce v tomto objemu lze ještě upravovat jednotlivé parametry, tak aby bylo dosaženo optimálního a šetrného ozáření pacienta. [40]

## 2.4 Radioterapie s modulovanou intenzitou (IMRT)

Dalším vývojovým stádiem konformní radioterapie je technika s modulovanou intenzitou (Intensity Modulated Radiation Therapy – IMRT). Na rozdíl od 3D-CRT při této technice dochází nejen k vysoce preciznímu tvarování ozařovacích svazků, ale je přizpůsobena i intenzita záření napříč fotonovým svazkem a to pro každé jedno ozařovací pole zvlášť rovnou ve třech rozměrech. Modulace intenzity záření je možná díky inverznímu plánování (inverse planning). Výsledný fotonový svazek je optimálně rozdělen na jednotlivé segmenty pomocí pixelů s neuniformní intenzitou, které se docílí automatickým softwarovým naprogramováním jednotlivých lamel dynamického vícelamelového kolimátoru (dMLC). Pokud je ozařování během jedné frakce přerušováno krátkými pauzami, během nichž se otáčí gantry lineárního urychlovače do předem nastavené pozice, zároveň rotuje kolimátor a jednotlivé lamely MLC tvarují uvnitř ozařovací hlavice ozařované pole. Zůstává intenzita každého segmentu konstantní a jedná se o charakteristický přerušovaný režim pohybu, který je v radiační onkologii nazýván technikou (Step and Shoot). Pokud se jednotlivé lamely kolimátoru však během ozařování pohybují kontinuálně a nezávisle na sobě, jedná se o techniku (Sliding Windows). Synchronizace je řízena softwarově a je možná i změna dávkového příkonu lineárního urychlovače pro jednotlivé segmenty a ozařovat je tak různě dlouhou dobu různě velkou radiační dávkou, která je potřeba k destrukci tumoru v konkrétní oblasti.

Modifikovaná verze techniky IMRT je technika VMAT neboli Volumetric Arc Therapy. Tato technika představuje radioterapii kyvem. Poskytuje vysoce přesné vytvarování fotonového svazku během jedné rotace granty kolem pacienta. Během této jedné rotace je v hlavici lineárního urychlovače kontinuálně modulován svazek záření i jeho intenzita. Je zde možnost redukovat dávkový příkon i rychlost rotace, čímž je celkem přesně pokryt cílový objem za méně než 2 minuty. V porovnání s klasickým režimem je ozáření pacienta technikou VMAT několikanásobně rychlejší, což přispívá k nižší radiační zátěži, tedy k šetření okolních tkání a kritických orgánů a zvyšuje se tak i efektivita léčby. Tato technika se dostává do popředí radiační onkologie, stává se jakýmsi standardem a patří jí zřejmě i budoucnost v léčbě onkologických onemocnění. [42] [41] [43] [40] Ovlivněním intenzity fotonového svazku během záření v kombinaci s různým úhlovým rozmístěním se dosahuje vysoce přesné dávkové distribuce a možnosti další eskalace integrální dávky do cílového objemu. Technika IMRT přesně kopíruje hranici nadefinovaného cílového objemu a optimálně rozkládá radiační dávku i do hůře uložených oblastí a nádorů složitějších tvarů. Dávka se zde pohybuje nejčastěji okolo 80 Gy a zároveň je zajištěna i minimální iradiace okolní zdravé tkáně a kritických orgánů, která odpovídá tolerančním dávkám jednotlivých orgánů a přilehlých tělesných struktur dle radioterapeutických doporučení. Aplikace tak vysokých dávek a homogenní distribuce do cílového objemu se odráží v toxicitě léčby, kterou je nutné sledovat. V případě karcinomu prostaty se tato technika nejdříve

uplatňovala hlavně v případech, kdy bylo nutné ozařovat tzv. malou pánev nebo semenné vajíčky, protože technika IMRT je kompetentní k nehomogennímu ozáření cílového objemu s narůstáním dávky v určitém menším objemu za pomoci simultánního integrovaného boostu (SIB). [44] [39]

U techniky IMRT se používá tzv. inverzního plánování (inverse planning) do plánovacího systému jsou přesně nedefinovány požadavky na pokrytí cílového objemu PTV a na maximální přípustné dávky v tomto objemu i v objemu okolních kritických orgánů. Na základě těchto požadavků provede plánovací systém optimalizaci intenzity záření pro každé pole tak, aby byla optimálně splněna všechna požadovaná kritéria. Korekce plánu se potom provádí modifikací vstupních optimalizačních kritérií pro jednotlivé struktury a stanovením jejich důležitosti. [40]

## 2.5 Komparace techniky 3D – CRT a techniky IMRT

Zevní ozáření podstoupí až 50 % všech pacientů s nově diagnostikovaným karcinomem prostaty. Nejenom u této diagnózy, ale obecně u všech pacientů s nádorovým onemocněním si radikální radioterapie klade za cíl dopravit do cílového objemu optimální destruktivní dávku vysokoenergetického brzděného záření produkovaného z lineárního urychlovače pro absolutní zničení nádorové tkáně bez recidiv a biochemického relapsu s minimálním radiačním poškozením okolních tkání a zachováním dlouhodobé kvality života. Za posledních 20 let je radioterapie oborem, který se tomuto cíli neustále přibližuje a zlepšuje své léčebné výsledky díky enormnímu pokroku v oblasti technologií. Osmdesátá léta minulého století patřila základní konvenční technice radioterapie, kdy ozáření KP sestávalo z kombinace nejčastěji 4 koplanárních polí v rozestavení polí v úhlu 0°, 90°, 180° a 270°.

Průlomovým momentem, kdy radiační onkologie zaznamenala velký úspěch, byl příchod již zmíněné konformní radioterapie. Technika 3D-CRT umožnila onkologům aplikaci vyšších dávek záření, které u KP vzhledem k jeho biologickým vlastnostem vedlo k významně lepším výsledkům. Nicméně tkáňová toxicita okolních orgánů zůstává překážkou pro dávku eskalaci. Během velmi krátkého období se stala 3D-CRT standardní modalitou pro zevní radioterapii karcinomu prostaty. Na přelomu století byla do klinické praxe zavedena další revoluční technika, která je ještě více konformní a umožňuje svými parametry lepší dávkové rozložení s ostrými gradienty, které mohou dále navyšovat dávku i nad 78 Gy se zachováním stejné, možná i lepší genitorurinární (GU) a gastrointestinální (GI) toxicity díky přesnosti ozáření cílového objemu. S aplikací takto vysokých dávek je možné pacienty s KP ozařovat hypofrakcionálním akcelerovaným režimem radioterapie. [45]

Lze tvrdit, že dalším vývojovým stupněm na pomyslném žebříčku radioterapeutických modalit je modifikovaná verze IMRT a VMAT/RapidArc, která je pevně spjata



se současným pokrokem radikální radioterapie. Ačkoliv nebyl proveden dostatečný počet randomizovaných studií na komparaci obou technik a jasné potvrzení či vyvrácení benefitů, byla technika IMRT obecně přijata jako standard pro léčbu KP. Validní výsledky prokazující výhody techniky IMRT jsou dnes již k dispozici v širokém spektru randomizovaných studií, ze kterých vychází i toto porovnání.

Autorem Krzysztofem Slosarekem bylo v roce 2014 dokázáno, že při stejném dávkovém pokrytí cílového objemu, je celková absorbovaná dávka v těle pacienta nejnižší při užití techniky VMAT s energií fotonového svazku 20 MV. [46] [47]

Autorka Shinya Sutani a další (2015) potvrzují skutečnost, že při stejném dávkovém pokrytí cílového objemu, je celková absorbovaná dávka v těle pacienta nejnižší při užití techniky VMAT. [48] IMRT v porovnání s 3D-CRT vykazuje u karcinomu prostaty snížené riziko chronické rektální toxicity. Recentní De-Neveho analýza klinických výsledků potvrdila přínos techniky IMRT v porovnání s 3D-CRT. Ozařování pacientů technikou IMRT vedlo ke snížení 10leté chronické GI toxicity 2. a vyššího stupně z 13 % na 5 % ( $p < 0,001$ ). Incidence chronické GU toxicity byla u obou metod srovnatelná. Je to zapříčiněno tím, že močový měchýř má vyšší odolnost vůči radiačnímu poškození. [11] U IMRT je snížena průměrná dávka na hlavice femurů o 56 %. A technikou 3D-CRT se docílí požadovaného a účinného šetření konečnicku dle stanovených kritérií díky záření z laterálních polí, které však mírně zasahují i hlavice stehenních kostí. [49]

V opozici ukazuje zase studie [50] Mahkamehda Zareho a dalších z roku 2016, že technika 3D-CRT pomocí pěti polí ve vzájemném rozestavení úhlů v pozicích 0°, 60°, 120°, 240° a 300° dokáže šetřit hlavice stehenních kostí, močový měchýř i rektum za současného pokrytí cílového objemu přijatelnou dávkou. [50]

V radioterapii KP lze vysledovat jak technika IMRT pro možnost navyšování dávek kolem 80 Gy s redukcí GI toxicity pozvolna nahrazuje techniku 3D-CRT. V roce 2000 z původního 1% využití IMRT pro léčbu nádorových onemocnění v celé radioterapii vzrostlo během sedmi let na 70 % a naopak u techniky 3D-CRT kleslo její užívání z původních 75 % na 12 %. V ČR není znám podíl jednotlivých technik při léčbě karcinomu prostaty, ale vzhledem k požadovaným komponentám a přesné technické specifikaci jednotlivých radioterapeutických pracovišť, lze předpokládat, že ozařování technikou IMRT je dnes schopné provádět každé z těchto pracovišť. [51]

Zavedení těchto moderních technik jako standard při léčbě nádorových onemocnění je doprovázeno i vyššími náklady. Klinický provoz i technická údržba moderních komponent lineárního urychlovače pro 3D-CRT a IMRT je finančně náročnější, nicméně část z těchto výdajů může být vykompenzována právě lepšími výsledky léčby, nebo zkrácením celkové doby léčby či snížením pozdějších nutných výdajů. Radioterapie je ve velkém zastoupení poskytována jako péče ambulantní a stanovení výše reálně vzniklých nákladů spojených s personálním zajištěním

i samotným provozem LU a dalších nezbytných modalit jako je simulátor, plánovací CT je komplexní a složité zejména kvůli provázanosti systému a velké části nepřímých nákladů. Sedm z devíti studií – zvýšené náklady pro IMRT za jednoho pacienta v rozsahu od 381 UDS do 26 066 UDS. IMRT je v některých případech levnější než 3D-CRT jelikož je brán v úvahu delší časový horizont 10 a 20 let, ve kterém je odhadnut pokles později vynaložených nákladů spojených s dalším léčením pacienta chemoterapií či hormonální léčbou, které jsou nákladné.

Ze studie [45] jejíž autor je Chrocek F. R. et al., z roku 2017 vyplývá, že i když je IMRT ve většině případů z perspektivy zdravotních pojišťoven dražší, je obecně vnímaná jako léčba nákladově efektivnější. [45]

## **2.6 Analýza nákladové efektivity**

U radioterapeutických technik 3D – CRT a IMRT, bylo vhodné pro jejich vzájemnou komparaci provést literární rešerši zabývající se jejich nákladovou efektivitou (CEA - Cost-effectiveness analysis). Jednotlivé studie byly vyhledány v databázi ScienceDirect a PubMed pomocí kombinace klíčových slov: Cost-effectiveness analysis, Intensity modulated Radiotherapy, Three dimensional conformal radiation therapy. Množství článků a studií bylo následně redukováno pomocí specifikace plného textu v anglickém jazyce a sledovaného období od roku 2010 do roku 2018. Byly vyřazeny duplikáty a vyselektovány pouze relevantní studie s plnohodnotným ekonomickým hodnocením léčebných metod.

Cílem systematické rešerše bylo zanalyzovat a porovnat prognózu přežití, získanou kvalitu života, respektive quality-adjusted life-years (QALY) a nákladovou efektivitu obou radioterapeutických technik při léčbě karcinomu prostaty. Pro účely diplomové práce bylo vybráno 8 studií, ze kterých je zpracována následující literární rešerše, a jejich výčet je přehledně vypsán v tabulce č. 1.

Většina studií hodnotí nákladovou efektivitu z perspektivy plátce zdravotní péče a uvažuje skupinu pacientů kolem 65 až 70 let věku, neboť v tomto období je incidence karcinomu prostaty nejvyšší. Rozdílné jsou konkrétní částky kalkulovaných nákladů, počty pacientů, diskontní sazby a časový horizont, který se pohyboval od 10 let až do konce života pacienta po první absolvované radioterapeutické léčbě.

**Tabulka 1 - Výčet literatury pro analýzu současného stavu problematiky (Zdroj: Vlastní zpracování na podkladě studií)**

Název	Autor	Rok
Cost-effectiveness of Intensity-modulated Radiotherapy in Prostate Cancer [52]	J.H.E. Yong, J. Beca, T. McGowan, K.E. Bremner, P. Warde, J.S. Hoch	2012
Estimating the costs of intensity-modulated and 3-dimensional conformal radiotherapy in Ontario [71]	J.H.E. Yong, T. McGowan, R. Redmond-Misner, J. Beca, P. Warde, E. Guterrez, J.S. Hoch	2016
A decision model to estimate the cost-effectiveness of intensity modulated radiation therapy (IMRT) compared to three dimensional conformal radiation therapy (3D-CRT) in patients receiving radiotherapy to the prostate bed [72]	Hannah E. Carter, Andrew Martin, Deborah Schofield, Gillian Duchesne, Annette Haworth, Colin Hornby, Mark Sidhom, Michael Jackson	2014
A Model of the Cost-effectiveness of Intensity-modulated Radiotherapy in Comparison with Three-dimensional Conformal Radiotherapy for the Treatment of Localised Prostate Cancer [73]	S.R. Hummel, M.D. Stevenson, E.L. Simpson, J. Staffurth	2012
Cost-effectiveness of intensity-modulated radiation therapy [74]	Andre Konski	2014
Using decision analysis to determine the cost-effectiveness of intensity-modulated radiation therapy in the treatment of intermediate risk prostate cancer [75]	ANDRE KONSKI, DEBORAH WATKINS-BRUNER, STEVEN FEIGENBERG, ALEXANDRA HANLON, SACHIN KULKARNI, J. ROBERT BECK, ERIC M. HORWITZ, ALAN POLLACK	2006
Primary treatments for clinically localised prostate cancer: a comprehensive lifetime cost-utility analysis [76]	Matthew R. Cooperberg, Naren R. Ramakrishna, Steven B. Duff, Kathleen E. Hughes, Sara Sadownik, Joseph A. Smith, Ashutosh K. Tewari	2013
Cost-effectiveness analysis of intensity-modulated radiation therapy with normal and hypofractionated schemes for the treatment of localised prostate cancer [78]	A.T. ZEMPLÉNYI, Z. KALÓ, G KOVÁCS, R. FARKAS, T. BEŐTHE, D. BÁNYAI, Z. SEBESTYÉN, D. ENDREI, I. BONCZ, L. MANGEL	2018

Ve studii [52] z roku 2012, jejímž autorem je J.H.E Yong a jeho kolegové jsou posuzovány náklady dle kalkulace ABC z pohledu plátce zdravotní péče pro ozařovací techniku IMRT i 3D-CRT při léčbě KP u pacientů ve věku 70 let při normofrakčním režimu 2 Gy na frakci do celkové dávky 78 Gy. Studie uvažuje celoživotní časový horizont a délka cyklu pro porovnání nákladové efektivity byla stanovena na 1 měsíc. Diskontní sazba byla 5 % a předpokládalo se, že studie prokáže u techniky IMRT nižší frekvenci výskytu gastrointestinální toxicity a přibližně stejný biochemický relaps. V onkologickém centru se třemi lineárními urychlovači bylo ozařeno celkem 1260 pacientů za rok. Je zde potvrzeno, že IMRT vyžaduje sofistikovanější dozimetrické vybavení pro zajištění kvality a propracovanější plánovací systém i více lidských zdrojů, respektive pracovní doby zaměstnance k vytvoření

kvalitního ozařovacího plánu. Obě radioterapeutické techniky jsou z hlediska příprava a dodání kurativní radioterapeutické dávky do cílového objemu relativně podobné. Nicméně technika IMRT si žádá větší množství technické podpory ze strany radiačních fyziků a celková cena byla u techniky IMRT o 1019 USD vyšší než u techniky 3D-CRT. Ačkoliv je technika IMRT dražší, nese s sebou nižší míru zatížení rekta a snižuje pozdní GI toxicitu, čímž ušetří 402 USD, které by byly vydány na pozdější léčbu komplikací spojených s touto toxicitou. [52]

Studie [71] z roku 2016 rovněž od autora Young popisuje analýzu nákladů na radioterapii z pohledu plátce zdravotní péče v roce 2009. Na radioterapeutickém oddělení v Ontariu byl léčebný proces rozdělen do 5 hlavních aktivit a náklady byly rozděleny do 3 nákladových kategorií pomocí kalkulační metody Activity based costing (ABC), která ukázala, že největší podíl nákladů tvoří mzdy zaměstnanců, respektive časová spotřeba výkonů při jednotlivých aktivitách. Konvenční technika 3D-CRT stála při radioterapii karcinomu prostaty 12 453 USD za pacienta a technika IMRT byla o 381 USD dražší, tedy celkem 12 834 USD. Přírůstek byl odůvodněn potřebou vyššího zajištění kvality záření ve smyslu dozimetrického měření a tvorby ozařovacího plánu. Výsledky citlivostní analýzy potvrdili závislost časové spotřeby aktivit a přírůstkových nákladů. Ve studii byla ještě technika 3D-CRT porovnávána s modifikovanou rotační technikou IMRT VMAT, u které byl na vzorku 1000 pacientů s lokalizovaným KP, naměřen kratší ozařovací čas o 5 minut na frakci. Díky kratšímu ozařovacímu času je i levnější. Lze tak technikou IMRT docílit úspor u aktuálních i později vynaložených nákladů. Výsledky studie ukazují, že technika IMRT u pacientů s klinicky lokalizovaným KP představuje náklad o 621 USD vyšší v porovnání s konvenční technikou 3D-CRT při tom samém dávkovém pokrytí cílového objemu, ale přináší 0,023 QALY, což je ekvivalentem k 8 dním stráveným v plném zdraví. [71]

Další studie [72] byla provedena v rámci širšího výzkumného projektu Assessment of New Radiation Oncology Treatments and Technologies (ANROTAT), který byl financován ministerstvem zdravotnictví v Austrálii a je tudíž z perspektivy plátce zdravotní péče. V této studii odhadovali autoři Carter a kol. nákladovou efektivitu radioterapeutických metod dle Markovova rozhodovacího modelu v ročních cyklech hodnocení po dobu 20 let. Studie uvažovala léčbu skupiny pacientů věku 65 let s lokalizovaným karcinomem prostaty a již zmíněný časový horizont 20 let. Bylo zjištěno, že při ozařování těchto pacientů technikou IMRT připadá na 1000 ozářených pacientů o 15 případů méně s výskytem pozdní gastrointestinální toxicity. Celkové přežití bylo u obou technik stejné a pacienti se průměrně dožívali 15,22 let. Po diskontaci nákladů a přínosů o 5%, se ukázalo, že, technika IMRT stojí navíc dalších 226 USD za pacienta během prvních 5 let po absolvované léčbě, což vedlo k přírůstkovému poměru nákladů a efektivity ICER ve výši 41 572 USD za QALY. Po 20 letech byl však odhad průměrných nákladů dle modelu pro techniku IMRT celkem 32 816 USD přepočteno na 10 079 USD za QALY a pro techniku 3D-CRT

celkem 33 917 USD, což znamenalo 10 060 USD za QALY. Tyto hodnoty odpovídaly celkové úspoře přibližně 1,1 milionu USD na 1000 pacientů. Pacienti léčení pomocí radioterapeutické techniky IMRT získali ve výsledku více QALY než ti, kteří podstoupili léčbu radioterapeutickou technikou 3D-CRT (10079 a 10060) což odpovídá přibližně 20 získaným QALY na 1000 léčených pacientů. Bylo zjištěno, že IMRT je dominantní radioterapeutickou technikou při léčbě KP a má dlouhodobé výhody ve smyslu zlepšení účinnosti léčby s nižší toxicitou a snížením celkových nákladů. [72]

Studie [73] od autorů Hummel a kol. srovnává nákladovou efektivitu radioterapeutické techniky 3D-CRT a IMRT u pacientů s lokalizovaným karcinomem prostaty ve věku 70 let. Perspektivou analýzy bylo národní zdraví v Anglickém Walesu s celoživotním horizontem. U těchto pacientů byl v rámci studie řešen, po léčebný výskyt zvýšené hladiny PSA, což bývá často jediným průkazem recidivy karcinomu. Počáteční náklady v prvních dvou letech po absolvované radioterapii nebyly uvažovány, neboť se předpokládá, že pro obě ozařovací techniky jsou stejné. Nicméně dodatečné rostoucí náklady jsou vyvolány především kvůli pozdní gastrointestinální toxicitě, s ní je spojena léčba pozdějších komplikací. Hodnoty nákladů pro techniku 3D-CRT i IMRT pocházejí z londýnské nemocnice St Bartholomew's Hospital a ukazují, že při používání techniky IMRT byl přírůstek nákladů o dalších 1 445 USD. Je to zřejmě způsobeno prodloužením času při plánování léčby, kvůli náročnější verifikaci, a i při samotném ozařování byl naměřen delší čas o 2,6 minuty na frakci. Pacienti byli rozděleni do 4 odlišných scénářů, které byly rozdílné nejen počtem pacientů, ale i celkovou radioterapeutickou dávkou včetně rozdílných frakcionačních schémat. Je zde potvrzena biologická ekvivalence metod z hlediska radiobiologické účinnosti léčby.

K technice IMRT při hypofrakcionačním režimu, jež představuje 2,5 Gy denně do celkové dávky 70 Gy je biologicky ekvivalentní u techniky 3D-CRT normofrakcionační režim 2 Gy denně do celkové dávky 78 Gy. Tomuto schématu odpovídá scénář, ve kterém bylo sledováno 100 pacientů po dobu 66 měsíců od absolvované radioterapie technikou IMRT. V případě techniky 3D-CRT se jednalo o skupinu 310 pacientů sledovaných po dobu 71 měsíců po absolvované radioterapii. Celkové přežití pacientů bylo stejné, ale rozdíl ve výskytu pozdní GI toxicity byl 15 %, což představuje v tomto případě 0,023 QALY. Při nákladové analýze byly odhadnuty celkové náklady na techniku 3D-CRT 5 125 USD, což představovalo 7 046 QALY. S použitím techniky IMRT vzrostly celkové náklady o 980 USD, tedy 6 015 USD přepočteno na 7 070 QALY.

V dalším scénáři bylo u obou technik sledováno 188 pacientů po dobu 35 měsíců od absolvované radioterapie, kdy obdrželi přibližně stejnou dávku s mediánem okolo 80 Gy pro 3D-CRT a 81 Gy pro IMRT. Byla prokázána stejná míra progresu PSA a nízký výskyt pozdní GI toxicity u obou technik. Léčba za pomoci IMRT stála 7 508 USD a 3D-CRT 6 305 USD což bylo přepočteno na 6 802 a 6 792 QALY.

V posledním uvažovaném scénáři bylo sledováno celkem 145 pacientů po dobu 60 měsíců od absolvované radioterapie technikou IMRT při dávkové preskripci 75,6 Gy. Pro techniku 3D-CRT byla dávková preskripce stanovena na 68,4 Gy a podstoupilo ji celkem 271 pacientů. Výsledkem bylo prokázání existence menší toxicity při vyšších dávkách radioterapie, což vede obecně ke zlepšení biochemické kontroly, rozdíl v přežití byl 6,6 let. Ve skutečnosti technika IMRT odpovídá při léčbě pokročilého KP nižším nákladům a zvýšení zisku QALY v porovnání s 3D-CRT. Náklady a přínosy byly diskontovány sazbou 3,5 % ročně a při citlivostní analýze byly měněny zásadní parametry, jako věk a množství pacientů, dodatečné náklady či výskyt a trvání pozdní GI toxicity. [73]

V další studii [74] provedl autor KONSKI a kol. v roce 2005 analýzu nákladové efektivity z pohledu plátce zdravotní péče US Medicare a informace o nákladech na léčbu byly získány z Fox Chase Cancer Center. Nákladová analýza ukázala, že technika IMRT je efektivnější při radioterapii karcinomu prostaty nízkého a středního rizika u 70 letých pacientů v časovém horizontu 10 let. Poměr přírůstku nákladové efektivity byl 16,182 USD/QALY u pacientů s KP středního rizika a 17,448 USD/QALY u mužů s KP nízkého rizika. Autoři této studie také provedli analýzu citlivosti a zjistili, že nákladovou efektivitu léčby ovlivňuje poměr delšího časového horizontu a věku léčených pacientů. [74]

Další studie [75] z roku 2006 je opět od autora Koski et al. a také se věnuje analýze nákladové efektivity z pohledu plátce zdravotní péče u 70letých pacientů s karcinomem prostaty nízkého a středního rizika. Rozdílný zde byl časový horizont, který představuje 15 let s ročním cyklem hodnocení Markovova modelu. Byly zjištěny průměrné náklady na radioterapeutickou léčbu technikou IMRT 47 931 USD a pro techniku 3D-CRT 21 865 USD. Odhadovaná částka QALY pro IMRT byla 6,27 a pro 3D-CRT 5,62. Přírůstek nákladové efektivity ve srovnání IMRT s 3D-CRT byla 40 101 USD/QALY. Autoři dospěli k závěru, že technika IMRT je nákladově efektivnější metodu při léčbě karcinomu prostaty. [75]

Cooperberg a kol. ve studii [76] analyzovali nákladovou efektivitu rozdílných léčebných metod včetně radikální prostatektomie a radioterapie z pohledu plátce zdravotní péče. Vzorek pacientů ve věku 65 let byl rozdělen do 3 skupin dle stádia jejich onemocnění. Sledované období bylo od první absolvované léčby do konce života a předpokládá se výskyt remisí, recidiv, metastáz a smrti pacientů v důsledku karcinomu prostaty i jiných příčin. Před začleněním nákladů a přínosů léčby do analýzy citlivosti byly hodnoty diskontovány sazbou 3 % ročně. Průměrné přežití u pacientů s karcinomem prostaty nízkého rizika bylo srovnatelné, ale v případě léčby technikou IMRT představovaly náklady hodnotu 37 718 USD a u techniky 3D-CRT pouze 27 636 USD, což je přidruženo 9,6 a 10,3 QALY. Studie tedy tvrdí, že radioterapeutická technika IMRT je nákladově efektivnější u pacientů s lokalizovaným karcinomem nízkého rizika. [76]

Autoři poslední studie [78] Zemljenyi a kol. provedli porovnání nákladové efektivity u mužů s karcinomem prostaty nízkého, středního a vysokého rizika, kteří byli léčeni konvenční technikou 3D-CRT a technikou IMRT v hypofrakcionačním režimu. Údaje o nákladech pocházejí z velké univerzitní nemocnice v Maďarsku a analýza nákladové efektivity byla provedena z perspektivy plátce zdravotní péče. Náklady a přínosy byly diskontovány roční sazbou 3,7 %. Pomocí Markovového modelu, v časovém horizontu 10 let a délkou pro výpočet přírůstkových QALY 1 měsíc bylo zjištěno, že náklady na techniku 3D-CRT byly 7 730 USD, na techniku IMRT 7 385 USD a HFIMRT 6 499 USD. Očekávané roky života upravené o kvalitu (QALY) byly u techniky 3D-CRT 5,753 pro IMRT 5,956 a pro HFIMRT 5,957. Studie [78] dospěla k závěru, že technika IMRT ve srovnání s 3D-CRT přináší vyšší přínos kvality života za nižší cenu.

Velice důležitým faktorem při radioterapii karcinomu prostaty je rovněž používání IGRT. Při pořízení nového LU jehož součástí je i CBCT je dle katalogových cen vstupní pořízení LU dražší o cca 472 916 USD. Záleží potom, zda je CBCT využíváno k denní nebo týdenní kontrole pozice pacienta. Denní verifikace s cílem šetrnějšího ozáření logicky prodlužuje ozařovací čas a je finančně náročnější až o 43 %. Díky časovému prodloužení celého ozařovacího sezení znamená denní kontrola polohy pacienta s CBCT větší zatížení personálu a zabírá 38 % z celkových mzdových nákladů a k samotné léčbě představuje tak ve finále plus 2 495 USD, kdežto radioterapie s týdenní kontrolou polohy pacienta je odhadována na 1 762 USD. [53]

### 3 Metody

Přehled současného stavu externí radioterapie fotonovým svazkem ve světě i v České republice je směřován k ekonomickým aspektům léčby karcinomu prostaty. Na základě počáteční analýzy šedé literatury a informací z neoficiálních zdrojů bylo zjištěno, že oblast zdravotnictví si žádá kvalitní a přesná nákladová data, která jsou obzvláště potřebné pro přesné kalkulace celkových nákladů komplexních a rychle se rozvíjejících medicínských oborů jako je právě radiační onkologie.

Podkladem pro vypracování analýzy kalkulačních metod vhodných pro oblast radiační onkologie byli studie zabývající se problematikou nákladů v tomto oboru. K vyhledávání dat byla nejdříve použita Brána EIZ ČVUT, kde byl zvolen k vyhledávání SUMMON metavyhledávač. Dále bylo pro vyhledávání využíváno databází ScienceDirect, SpringerLink, PubMed a Web of Science. Jelikož je radiační onkologie dynamicky se rozvíjejícím oborem s neustálým technickým pokrokem, bylo pro zúžení výběru nastaveno sledované období na posledních 8 let, tedy časové rozmezí od roku 2010 do roku 2018. K vyhledávání relevantních studií byly použity kombinace těchto klíčových slov: Costs in Radiotherapy, Cost calculation in Radiotherapy, Costing methods in Healthcare, Activity-Based Costing, Activity-Based Costing in Radiotherapy.

Na základě těchto klíčových slov bylo vyhledáno nepřehledné množství článků, proto bylo nutné výběr dále omezit pouze na vyhledávání plných textů v anglickém jazyce. Byl proveden výběr relevantních studií a vyřazeny duplikáty. Cílem systematické rešerše bylo analyzovat kalkulační metody užívané pro oblast radioterapie. Proto byla další selekce vhodných studií pro tuto DP založena na tom, zda konkrétní článek identifikuje jako oblast zájmu zevní radioterapii fotonovým svazkem a zda je zaměřen ekonomickým směrem. Z výběru optimálních studií pro účel DP jsou v této kapitole popsány nejčastěji využívané kalkulační metody pro vyčíslení a zhodnocení nákladů v radioterapii.

Ekonomická hodnocení jsou stále více důležitá a potřebná při rozhodování o alokaci omezených finančních zdrojů v rámci systému zdravotní péče, která je v současné době značně rozsáhlá a se zvyšováním vstupních nákladů i stále dražší. S rostoucím podílem zemí s velkými výdaji na zdravotní péči a omezenými platbami od zdravotních pojišťoven jakožto plátců je zde i naléhavá potřeba pochopení aktuálních nákladů zdravotnických organizací a nákladů spojených s inovacemi v medicíně, protože právě trh zdravotnictví je náchylný na nákladovou neefektivitu poskytované péče. Na otázku efektivnosti zdravotnického systému by se tak mělo reagovat pravidelným a jednotným hodnocením nákladů poskytovaných léčebných výkonů, neboť státní sféra zdravotnictví potřebuje účinně alokovat omezené finanční zdroje. [79]



Spolu s rostoucí poptávkou po vysoce specializovaném radioterapeutickém vybavení jako je 3D-CRT i IMRT, VMAT či IGRT, ze kterých plyne jasný technický progres a zlepšení celkových výsledků léčby je zde sledován i signifikantní nárůst celkových nákladů. Ovšem, některé ze jmenovaných inovací mohou se svědomitým a efektivním využíváním celkové náklady částečně snižovat. Financování a úhrady radioterapeutických výkonů by měly být, zvláště podloženy spolehlivými a důvěryhodnými informacemi a rovněž i obsáhlými kalkulačními metodami, které poskytují přesnou výpověď o nákladové struktuře. Je proto nutné přesně definovat, které náklady budou, a naopak které nebudou začleněny do jednotlivých kalkulačních metod, neboť začlenění či vyloučení některých z nákladů má zásadní význam v odlišnostech výstupu každého z kalkulačních modelů. V radioterapii je široká škála přímých a hlavně nepřímých nákladů, které mohou být kalkulovány jednak z hlediska celého oddělení či ozařovacího procesu složeného z jednotlivých dílčích kroků, jako je počáteční příprava léčby, plánování, simulace, samotné ozařování pod hlavicí lineárního urychlovače anebo pouze z hlediska jedné frakce či jednoho ozářeného pole. Nejčastěji se však kalkuluje s celkovým ozařovacím procesem jednoho pacienta s důrazem na jednotlivé kroky, které by měly být ideálně kalkulovány zvlášť, neboť se mohou s každou diagnózou značně lišit. A to ve smyslu náročnosti a rozsahu přípravy, tvorbě individuálních fixačních pomůcek, rozdílných diagnostických vyšetření nezbytných k samotné terapii a modifikacích frakcionačních režimů. [54] [55]

Studie [54] od autora Noémie Defrourny (2015), vychází ze systematické rešerše literatury zaměřené na náklady v radioterapii z perspektivy poskytovatele zdravotní péče. Cílem této literární rešerše bylo zanalyzovat typ a kvalitu dat z oblasti radioterapeutických nákladů a dostupných kalkulačních metod používaných ze strany poskytovatele zdravotní péče. Ačkoliv bylo vyhledáno celkem 1300 publikací týkajících se nákladů v radioterapii za posledních 35 let, analýzou bylo vyselektováno pouze 52 příspěvků, které obsahovaly kalkulační metody pro EBRT. Tento soubor studií představuje řadu odlišností, jiné kalkulační metody, jiné vstupní i výstupní charakteristiky. Téměř polovina těchto studií ignorovala nepřímé náklady v zanesení do kalkulačních metod. Právě nepřímé náklady mají podíl ve výši jedné třetiny z celkových nákladů. Až u 60 % z vyhledaných studií bylo zjištěno, že si autoři vytvořili vlastní kalkulační modely pro kalkulaci nákladů v radioterapii. Čtvrtina z nich je charakterizována jako skupina „ad hoc“, která představuje obsáhlé detailní popisy kalkulačních algoritmů a nespécifické vysvětlení přizpůsobení oné metody pro oblast RT. Ve zbylém počtu studií je nedostatečné množství informací pro pochopení, jak byla daná analýza provedena a jsou charakterizovány jako skupina „nespecifické kalkulační metody“. Pouze 40 % z těchto studií obsahuje konvenční kalkulační metody jako Micro-costing (27 % n = 14) a ABC kalkulace (13 %, n = 7), které tvoří samostatné skupiny a poskytují mnohem lepší přehled o využívání finančních zdrojů i případných

výnosů z léčby a zlepšují přesnost při kalkulacích nákladů u nových a finančně náročných technologií.

Tato variabilita odlišného přístupu ke kalkulacím napříč studii prováděných v daném časovém rozmezí zamezuje jejich vzájemnému porovnávání a výsledkem je výzva k rozvoji jednotné, dobře definované a široko aplikovatelné kalkulační metody, která bude přínosem v hodnocení ekonomických studií v radioterapii. [54] [55]

### 3.1 Micro-costing

Micro-costing neboli mikrokalkulace poskytuje spolehlivé posouzení celkových nákladů, jelikož shromažďuje detailní informace o využívaných zdrojích a jejich jednotkových nákladech. Tato metoda zdokonaluje odhad nákladů zdravotnické organizace a je užitečná i při výpočtu nákladů na konkrétní zdravotnický výkon či na jednotlivou část procesu zdravotnického výkonu při komplexně poskytované léčbě. Rovněž se dobře uplatňuje při kalkulacích nákladů u nově zavedených produktů, výkonů či intervencí.

Princip kalkulační metody micro-costing spočívá v tom, že k pobytu pacienta v nemocnici jsou přiřazeny veškeré přímé ale i nepřímé náklady, tedy jsou zde zahrnuty například režijní náklady i platy personálu podílejícího se na léčebném procesu. Při aplikaci kalkulační metody micro-costing na úrovni zdravotnických organizací se většina studií shoduje v tom, že pro odhad nákladů a využívání zdrojů využívá dotazování expertů a vedoucích pracovníků konkrétního pracoviště. Na základě těchto rozhovorů jsou pochopeny jednotlivé kroky jinak komplexního procesu a je možné blíže určit velikost nákladů. Většina nákladových dat je jednoduše zjistitelná z účetního systému, výročních zpráv a databází zdravotnické organizace. Micro-costing je tedy vhodnou metodou pro komplexní zdravotnické výkony. [56]

Aplikaci kalkulační metody micro-costing v oblasti radiační onkologie prezentuje autor studie z roku 2015 Zemplényi, A, který se ve studii zabýval vyčíslením nákladů u metody 3D-CRT, IMRT a hypofracionovaném režimu IMRT u lokalizovaného karcinomu prostaty. Prostřednictvím dotazování představitelů zdravotnické organizace a selekce nákladových dat z účetního systému shromáždil potřebné informace ke kalkulaci a výsledky potom porovnával s došlými úhradami od plátců zdravotnické péče v Maďarsku. [57]

Autorem další studie zabývající se oblastí radiační onkologie a stanovením nákladů prostřednictvím metody micro-costing je Paul Hanly (2015). Studie se zabývá odhadem přímých nákladů v zevní radioterapii karcinomu konečníku, kdy je pacientovi aplikována denní dávka na frakci 2 Gy do celkové dávky 45-50 Gy. Cílem této studie bylo odhalit potencionální možnost úspor v radioterapeutickém procesu a byl zde využit stejný způsob sběru dat i kalkulace jako v předchozím případě [58]

Nevýhodou aplikace kalkulační metody micro-costing její časová náročnost, obzvláště u komplexně poskytované zdravotnické péče a rovněž je i finančně nákladná. Pokud jsou vstupní zjištěná data nepřesná a uvedena jako průměrná, vedou později ke zkresleným výsledkům, což je hlavním rizikem této metody a je potřeba data důkladně ověřovat, zda jsou spolehlivá. Poslední překážkou pro obecné používání micro-costing je to, že pro komparaci výsledků musí mít jednotlivé organizace stejný nebo alespoň obdobný systém nákladového účetnictví. [56]

Microcosting se ve zdravotnických organizacích často využívá v kombinaci s přístupem Bottom-up a Top-down. Top-down microcosting znamená, že kalkulace zahrnuje průměrné náklady každé z nákladových složek, ve kterých je obsažena detailní identifikace všech relevantních nákladových zdrojů pro sledovanou skupinu. Kupříkladu ošetrovatelská péče pacienta je zpoplatněna za každý den strávený v nemocnici bez ohledu na to, jaká je aktuální intenzita ošetrovatelské péče. Je to tedy nevhodný kalkulační přístup, pokud se organizace snaží vysledovat skutečně vynaložené náklady vznikající přímo u konkrétního pacienta léčeného pomocí jedné či více léčebných modalit. [59]

Bottom-up microcosting představuje rozpočtení celkových nákladů na individuální nákladové složky spojené s konkrétním pacientem a případně i jednotlivých léčebných kroků. Tento přístup je mnohem přesnější než přístup Top-down jelikož podává informace o aktuálním využití skutečných zdrojů spojených s léčebným výkonem. Příkladem je operační sál, kterému jsou přiděleny pomocí nákladových nositelů skutečně vynaložené materiální prostředky či je vyčíslená i skutečná délka daného operačního výkonu a časová konzumace pro jednotlivé zaměstnance. Přístup Bottom-up umožňuje díky aktuálním a přesným nákladovým informacím analyzovat jednotlivé nákladové kategorie a faktory, které je ovlivňují, což má zásadní význam pro stanovení jednotlivých podílů na celkových nákladech u konkrétní zdravotnické organizace. Tato metoda vyžaduje podrobný sběr nákladových dat a doporučuje aplikovat zejména u organizací, ve kterých tvoří nepřímé náklady velkou část celkových nákladů. [59]

## **3.2 Activity Based Costing (ABC)**

Evoluce zdravotnických zařízení obnáší už značnou složitost a širokou škálu rozmanitých výkonů, proto je potřeba i přesnějších odhadů o alokaci omezených finančních zdrojů státního zdravotnického systému. V reakci na nedostatky finančního účetnictví a tradičních kalkulačních metod začaly zdravotnické organizace směřovat k vývoji a aplikaci více sofistikovaných metod manažerského účetnictví, která sledují tok nákladů pro danou činnost nebo výsledný produkt. Takovou metodou označili autoři Cooper a Kaplan ve své práci jako kalkulaci ABC, která byla původně vyvinuta pro oblast průmyslu, nicméně se ukázalo, že je velice užitečná v situacích

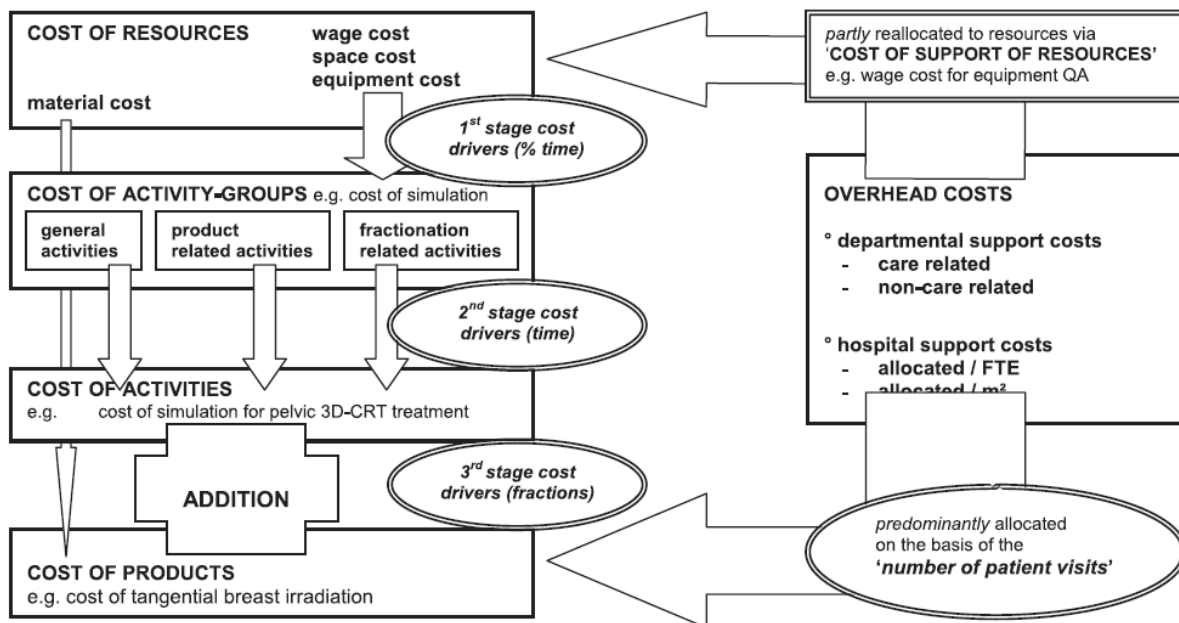
charakterizovaných velkou škálou diverzifikovaných výrobků anebo v situacích, kdy velkou částí celkových nákladů jsou nepřímé náklady. Obě tyto kritéria dokonale splňuje rychle se rozvíjející obor radiační onkologie. Pro výpočet nákladů v širším rozsahu, např. celého oddělení je vhodná spíše kalkulace ABC než micro-costing, i když je pracná a časově náročná.

Kalkulační metoda ABC se stala efektivním účetním nástrojem při alokovaní nepřímých i přímých nákladů pro jednotlivé aktivity, které tyto zdroje spotřebovávají a jsou později přiřazovány jednotlivým nákladovým objektům. Ve zdravotnickém prostředí je tato skutečnost prezentována na poskytování zdravotnické péče prostřednictvím určitých služeb a výkonů, které jsou spojeny s komplexní péčí o konkrétního pacienta a mohou být založeny na segmentovaných procedurách či časovém charakteru. Do výsledného produktu či výkonu jsou začleněny veškeré přímé i nepřímé náklady, jež jsou s tímto subjektem spojeny. To je důvodem, proč lze provést detailní analýzu spotřebovávaných zdrojů a souvisejících činností, které jsou podkladem pro přesný výpočet a spolehlivé odhady nákladů v organizaci. [60] [61] [62] V metodě ABC je obsaženo široké spektrum informací. Lze se dozvědět veškeré podrobnosti o nákladech, činnostech, aktivitách a výkonech, které by měli přispívat svou částí k vytvoření výsledných produktů organizace. Informace slouží nejenom pro samotnou nákladovou kalkulaci, ale i pro řízení činností prováděných v podniku a také pro restrukturalizaci podnikových procesů, a to ve smyslu redukce neefektivity některých činností. [63]

Jako průkopníkem aplikace metody ABC v oblasti radioterapie je považován model z roku 2000, kdy autor Lievens et al., (2003) ve své studii dosáhli díky identifikaci nákladů jednotlivých radioterapeutických kroků s použitím metody ABC velmi přesného odhadu nákladů pro kompletní vyléčení onkologicky nemocného pacienta na oddělení radioterapie v Leuven University Hospital. Tyto odhady byly dále zprůměrovány pro případné změny ve frakcionačních režimech a poskytují i podrobný přehled nákladové struktury radioterapeutického oddělení. [19]

Autor studie [64] Evelyn Van de Werf ve své studii z roku 2011 popisuje evoluci radioterapeutického oddělení v Leuven University Hospital a identifikuje různé činnosti spojené s celým procesem radioterapie. Na základě těchto změn navrhuje nový aktualizovaný model ABC kalkulace, tzv. model 2009, který prezentuje výsledky vypočtených nákladů s použitím nových moderních technologií a maximálním pracovním vytížením zaměstnanců. [64] Obě předchozí studie jsou vhodné ke komparaci. Celkové náklady spotřebované na radioterapeutickém oddělení v Leuven University Hospital vzrostly o 89 % čili z původních 4 914 984 USD v roce 2000 na 9 282 028 USD v roce 2009. Tento růst byl způsoben rozsáhlými investicemi do obnovy a rozšíření radioterapeutických přístrojů spolu s personálním zajištěním pracoviště. [64]

Z obrázku č. Obrázek 1 je patrné, že v radioterapii je vhodné uvažovat třístupňový model ABC kalkulace, který zahrnuje časovou spotřebu jako jeden z faktorů pro přidělování nákladů souvisejících s léčbou. V prvním kroku jsou spotřebované zdroje přiřazeny jednotlivým skupinám výkonu, jako je například simulace. Ve druhém kroku následuje přiřazení jednotlivých nákladů specifickým aktivitám jako je například simulace 3D-CRT pro KP. Ve finálním kroku jsou sečteny veškeré přímé i nepřímé náklady spojené s konkrétním radioterapeutickým výkonem.



Obrázek 1 - Schéma modelu ABC v radioterapii (Zdroj: Van de Werf et al., 2012 [64])

Hlavní výhoda ABC kalkulace spočívá v přesnějších výpočtech nákladů spojených s jednotlivými aktivitami a prezentaci skutečných nákladů, které tyto aktivity spotřebovávají. Kalkulační model tak poskytuje detailní analýzu příčin vzniku nákladů u výsledného produktu či výkonu a objasňuje, zda vynakládané zdroje přinášejí optimální nebo sníženou efektivitu využití dané technologie. S takovým množstvím přesných informací vytváří ABC kalkulace ekonomický model, ze kterého může čerpat management při rozhodování o alokaci omezených finančních zdrojů, neboť poskytuje lepší přehled o nákladové struktuře oddělení. Potencionální nevýhody kalkulační metody ABC v rámci zdravotnické organizace spočívají v nákladovosti a ve spotřebě času, jelikož je nutný proces dotazování se zaměstnanců na jejich skutečnou pracovní efektivitu a také rozsáhlý sběr dat a jejich zpracování. Data mohou být obtížně ověřitelná. A pokud dochází k modernizaci či dokonce restrukturalizaci organizace nelze model aktualizovat, ale vypracovat celý znovu. Jako zásadní problém a riziko při aplikaci ABC ve zdravotnické organizaci je nepřesné přiřazení nákladů aktivitám v konkrétních stupních výkonu a činnostem, jež zdroje v jednotlivých rocích reálně spotřebovávají.

V současné době je sledována zvýšená snaha o aplikaci metody ABC pro zdravotnické organizace a věnuje se jí tak intenzivně řada výzkumů, jelikož dosavadní kalkulace jsou napříč studii variabilní, zahrnují odlišné vstupní náklady dané oblasti a nelze je mezi sebou porovnat. V České republice se problematikou metody ABC na úrovni nejen zdravotnických organizací zabývá zejména pan docent Popesko, proto bude detailně popsána metodika ABC kalkulace právě z jeho studií. [64] [19] [65] [63]

### **3.3 Time-Driven Activity Based Costing**

Time-Driven Activity Based Costing (TD-ABC) je modifikovanou verzí kalkulace ABC. Podnětem k vytvoření této kalkulace byla relativně velká pracnost a časová náročnost u kalkulační metody ABC a tak je tato kalkulační metoda ochuzena například o pracné dotazování zaměstnanců a rozsáhlý sběr dat. Kalkulace přiřazuje náklady nákladovým objektům přímo pomocí zjednodušené konstrukce. Pro vypracování je potřeba pouze dvou druhů informací, jejichž zjištění je relativně nenáročné. Jedná se o kalkulaci podle aktivit s časovým rozlišením, která člení náklady dle spotřeby času, jež vyvolávají jednotlivé aktivity. Časová náročnost je jednou ze zjišťovaných informací u jednotlivých aktivit a se dá lehce změřit nebo odhadnout. Druhou potřebnou informací jsou náklady na kapacitu zdroje. TD ABC je použita ve studii [61] z roku 2018 od autora Rafael J. Vargas Alves, kde slouží jako užitečná kalkulační metoda pro stanovení nákladů komplexní léčby karcinomu prostaty prostřednictvím radioterapie a podporuje stejně jako samotná metoda ABC ekonomické hodnocení ve zdravotnictví. Jelikož je tato metoda pouze modifikací, je vnímána jako velmi užitečný doplněk ke klasické kalkulaci ABC, protože dokáže zachytit velkou míru komplexnosti ve sledovaném souboru bez velkých objemů dat a jejich náročného zpracování. [63] [67] [61] [66]

Pro účel této DP se z analyzovaných kalkulačních metod pro kalkulaci nákladů ve zdravotnických organizacích, konkrétně v radiační onkologii jeví jako ideální zvolení kalkulace ABC.

## 4 Postup pro kalkulaci ABC ve zdravotnictví

Aplikace ABC kalkulace spočívá v základním rozdělení této metody do pěti na sebe navazujících kroků, které budou v následujících podkapitolách stručně popsány. Při samotné aplikaci kalkulační metody v praktické části bude podrobně vysvětlen každý krok zvláště včetně vstupních informací potřebných pro tvorbu. Kalkulační metoda ABC se skládá z následujících kroků:

1. Identifikace nákladů vstupujících do kalkulace
2. Definice struktury aktivit
3. Přiřazení nákladů aktivitám
4. Vyčíslení nákladů na jednotku aktivity
5. Přiřazení nákladů aktivit nákladovým objektům

### 4.1 Identifikace nákladů vstupujících do kalkulace

Identifikace nákladů jako počáteční krok představuje především úpravu účetních dat a přípravu veškerých nákladů vstupujících do nákladového systému, což je zcela nezbytné pro správnou tvorbu a implementaci této kalkulace. Nákladové informace lze čerpat z finančního účetnictví. Konkrétně z manažerského či vnitropodnikového účetnictví a také ze mzdového účetnictví. Porozumění provázanosti zmíněných systémů ve zdravotnické organizaci je základním předpokladem pro správnou alokaci nákladů a zabránění jejich duplicitního započtení. Stěžejní částí této etapy je správné rozdělení celkových nákladů na přímé náklady, které lze adresně přiřadit nákladovému objektu. Přímé náklady tudíž nevstupují dále do kalkulace ABC, ale jsou rovnou přiřazeny nákladovému objektu či pacientovi a jedná se v první řadě o zvláště účtovaný materiál (ZUM) a zvláště účtované léčivé přípravky (ZULP). Za nepřímé náklady se naopak považují náklady, které nelze přiřadit ke konkrétnímu nákladovému objektu, ale vztahují se k celé skupině nákladových objektů. Jedná se o nepřímý materiál, spotřební zdravotnický materiál, mzdové náklady, spotřeba energií či provozní náklady a ostatní služby. Nepřímé náklady ve zdravotnických organizacích převládají a jsou co nejpřesněji pomocí kalkulace ABC poměrově rozpuštěny. [63]

Neméně důležitá je také úprava získaných nákladových dat. Musí být vyřazeny náklady, které nelze přiřadit žádné aktivitě. Jedná se o specifické účetní náklady, které by nesmyslně zkreslovaly výstupy ABC kalkulace. Jsou to především dary, smluvní pokuty a penále, přefakturace nebo opravné položky. Naopak je vhodné započíst náklady, které ve finančním účetnictví evidovány nejsou a je nejprve třeba peněžního ocenění jednotlivých spotřebovaných faktorů pro jejich kvantifikaci. [63] [70]

## 4.2 Definice struktury aktivit

Základním stavebním kamenem kalkulace nákladů podle aktivit jsou právě aktivity, tedy obecné úkony v rámci konkrétního zdravotnického zařízení, které mají jednotný a měřitelný výstup např. příjem pacienta. Tato obecná aktivita však charakterizuje široké spektrum skutečně vykonávaných činností a je bezpodmínečně nutný jejich přesný popis. Velice užitečnou pomůckou v tomto kroku je tvorba procesní mapy aktivit, která ve svém grafickém znázornění poskytuje přehledné informace o vzájemných vztazích mezi jednotlivými činnostmi i do nich vstupujícími náklady. Přesná konstrukce a definice každé aktivity včetně detailního popisu veškerých skutečně vykonávaných činností hraje klíčovou roli v následné alokaci nákladů na jednotlivé aktivity, což je hlavním prvkem pro správné fungování celého kalkulačního systému. Při definici struktury aktivit se vychází zejména z analýzy organizační struktury a pracoviště, kterou poskytují kompetentní zaměstnanci, díky nimž jsou získány přesné informace o vykonávaných činnostech i využití časového fondu pracoviště a personálu. [63]

Je žádoucí rozdělit aktivity do tří základních skupin na **primární**, které jsou spotřebovávány přímo nákladovými objekty, dále na **sekundární**, které nejsou spotřebovávány přímo konkrétní aktivitou, ale představují například komplementární diagnostické, hematologické či biochemické vyšetření na specializovaném oddělení dané zdravotnické organizace. Jsou to v podstatě podpůrné aktivity sloužící aktivitám primárním. Třetí skupinou jsou tzv. **infrastrukturní** aktivity, kam spadají činnosti zabezpečující chod celé zdravotnické organizace, tedy údržba a správa budov, ekonomické, personální a IT oddělení. [63] [70]

Ačkoliv je volba aktivit a jejich celkový počet individuálním parametrem v kalkulačním systému, celá řada publikovaných studií se shoduje, že optimální počet aktivit na jedno oddělení má být zredukován tak, aby při minimálních nákladech podával co nejpřesnější informace. Ačkoliv by kalkulační systém s vysokým počtem aktivit byl zpřesněn a zkvalitněn, náklady na jeho realizaci by podřývali jeho efektivitu, a i samotná práce s modelem by byla velmi složitá. Přes velkou odlišnost poskytované péče a odlišné činnosti v rámci zdravotnického zařízení je vhodné počet aktivit redukovat, aby implementace kalkulačního modelu přinesla objektivní výsledek. [63] [70]



### 4.3 Přiřazení nákladů aktivitám

Nejnáročnější etapou kalkulačního modelu ABC je samotná nákladová alokace, jejímž cílem je spolehlivá kvantifikace nákladů jednotlivých aktivit. Díky přiřazení nákladů jednotlivým aktivitám získává tvůrce kalkulačního modelu jasnější představu o tom, které zdroje a v jakém množství jsou konkrétními činnostmi spotřebovávány. V tomto kroku je důležité pracovat pouze s nepřímými režijními náklady evidovanými v druhovém členění a postupně určovat skutečný podíl jejich vztahu k jednotlivým aktivitám. Jedná se tedy o odpisy majetku, osobní náklady a náklady vynaložené na energie. Přímé náklady jsou totiž přiřazovány přímo jednotlivým pacientům či nákladovému objektu na základě evidovaných nákladových dat ve finančním účetnictví a již vyřazené náklady při úpravě nákladových dat, jako jsou dary, smluvní pokuty, přefakturace nebo opravné položky se taktéž nepřijímají aktivitám pro již zmíněné zbytečné zkreslení výsledků. [63]

Jádrem této etapy je zvolení vhodných **vztahových veličin (cost drivers)**, což jsou měřitelné veličiny (např. počet zaměstnanců podílejících se na aktivitě) podle kterých jsou zjištěné nepřímé režijní náklady alokovány mezi jednotlivé aktivity. Mezi základní vztahové veličiny, které lze pro alokaci nákladů použít patří **časová analýza pracovního výkonu**, která odhaluje, jakým podílem časového fondu se jednotlivý zaměstnanec podílí na činnostech spojených s konkrétní aktivitou a slouží většinou i k přiřazení osobních nákladů. Další užitečnou vztahovou veličinou pro přiřazení nákladů aktivitám je **měrná jednotka**. Lze změřit třeba spotřebu tepelné energie a přiřadit ji aktivitám, které ji spotřebovávají dle rozložení podlahové plochy v m<sup>2</sup>. Avšak nejpřesnější metodou pro přiřazení nákladů aktivitám je **přímé přiřazování**. To je ale zatíženo potřebou znalosti přesných nákladových informací a jejich vztahu k aktivitám. Nejčastěji se tato metoda používá pro odpisování majetku, neboť ten je ve zdravotnických organizacích kontinuálně sledován a dle analýzy pracoviště či po rozhovoru se zaměstnanci je možné lehce určit, jaké vybavení a zařízení je skutečně používáno v rámci dané aktivity. Pokud však nejsou nákladové informace ve zdravotnickém zařízení k dispozici či jsou data nepřesná, jsou na místě **kvalifikované odhady** kompetentních zaměstnanců, kteří dokážou věrohodně popsat strukturu konkrétní nákladové položky a přiřadit její podíl jednotlivým aktivitám na základě své dlouholeté praxe a nabytých zkušeností.

Nákladové informace finančního účetnictví jsou evidovány v druhovém členění dle jednotlivých nákladových středisek. Ve finální fázi této etapy je potřeba výše zmíněnými vztahovými veličinami přetransformovat tyto zjištěné náklady do tzv. **matice nákladů** (Activity Cost Matrix), která schematicky přiřazuje kalkulované hodnoty nákladů k jednotlivým aktivitám a podává tak výsledné informace o jejich nákladové struktuře. Matice nákladů aktivit je informačním médiem kalkulační metody ABC a slouží i k zpětné analýze nákladů pro vykonané aktivity. [63] [70]

## 4.4 Vyčíslení nákladů na jednotku aktivity

Vyčíslení nákladů na jednotku aktivity sestává z následujících čtyř na sebe navazujících kroků popsaných níže v textu.

1. Stanovení vztahových veličin aktivit
2. Stanovení míry výkonu aktivit
3. Kalkulace jednotkových nákladů aktivit
4. Přiřazení nákladů podpůrných aktivit primárním

Opětovné stanovení vztahové veličiny, která je objektivním měřítkem výkonu samotné aktivity je nutné pro správné stanovení míry výkonu aktivit. Vztahová veličina aktivit musí být stanovena tak, aby ji bylo možné z vnitropodnikových dat získat a podávala zároveň přesnou informaci o kvantitě. Rozlišují se zde tzv. veličiny transakční určené pro stanovení množství provedených výkonů vztažených na konkrétní diagnózu či pacienta. Příkladem může být počet vyšetření. Další možností jsou časové veličiny představující množství celkového spotřebovaného času u konkrétních výkonů potřebných pro realizaci dané aktivity např. operace či vyšetření v minutách. Jejich výhodou je zachycení časových rozdílů u definovaných činností. Transakční metoda, čas potřebný pro jednotlivé činnosti zprůměrovala.

Třetí možností jsou silové veličiny. Pokaždé když je daná aktivita využívána, silová veličina přiřazuje použité zdroje přímo k nákladovému objektu, což usnadňuje přímé měření spotřeby zdrojů. A jako poslední možnost pro změření spotřeby nákladů k realizaci aktivit lze uvést využití kalkulačních listů, ve kterých je zaznamenán počet jednotek práce zdravotnického personálu, spotřeba materiálu, léčiv i potřebné vybavení vztažené k jednomu výkonu. [70]

Druhým krokem při vyčíslení nákladů na jednotku aktivity je stanovení míry výkonu aktivit (MVA). To znamená získat přesný počet vztahových veličin, které aktivita vytvořila v daném sledovaném období.

Potřebné informace vstupující do obou těchto kroků lze čerpat především z nemocničních informačních systémů, kde musejí být evidovány kvůli vykazování výkonů zdravotním pojišťovnám. Dále lze čerpat z vnitropodnikové dokumentace, či z izolovaných záznamů, pokud zaměstnanci daného pracoviště takové záznamy evidují pro vlastní potřeby. V případě absence dat lze uvažovat i kvalifikovaných odhadů kompetentních zaměstnanců, otázkou však zůstává přesnost poskytnutých informací bez dokladovaných záznamů.

Po aplikaci předešlých kroků přichází nyní na řadu kalkulace jednotkových nákladů (JNA), která je jakýmsi mezistupněm přepočtu aktivit na nákladové objekty a je vyjádřena jako podíl celkových nákladů aktivit a míry jejich výkonu.

$$JNA = \frac{CNA_i}{MVA_i}$$

Vzorec 1 – Kalkulace jednotkových nákladů (Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63])

Celkové náklady aktivit ( $CNA_i$ ) vyděleny mírou výkonu aktivit ( $MVA_i$ ) představují požadovanou jednotku nákladu aktivit (JNA).

S hodnotami jednotkových nákladů je možno vypočítat celkové režijní náklady a posuzovat efektivnost prováděných výkonů či systematicky měřit a porovnávat vybrané ukazatele. Na závěr je ještě potřeba přiřadit k primárním aktivitám náklady sekundárních aktivit a to tak, že se vyčíslí počet provedených výkonů sekundárních aktivit vyžádaných aktivitou primární. Pokud je známa hodnota počtu vztahových veličin, lze už následně přiřadit primárním aktivitám náklady ve výši, která je vypočtena součinem jednotkových nákladů aktivity (JNA) a míry výkonu (MVA), kterou spotřebovala primární aktivita. [63] [70]

## 4.5 Přiřazení nákladů aktivit nákladovým objektům

Ve finální části aplikace ABC se odehrává konečné přiřazení jednotkových nákladů aktivit nákladovým objektům. V prvé řadě je ale nutné tyto nákladové objekty definovat, pokud však už před samotnou konstrukcí nákladového modelu nebyl nákladový objekt přesně určen. V oblasti zdravotnictví se nákladovým objektem nejčastěji rozumí konkrétní diagnóza nebo pacient. Cílem je zde vyhodnocení počtu spotřebovaných jednotkových nákladů aktivit konkrétním nákladovým objektem. Přehled spotřebovaných jednotkových nákladů aktivit se provádí na tzv. účtu aktivit, ve kterém lze vysledovat, kolik jednotek konkrétní aktivity spotřeboval nákladový objekt. Posledním krokem kalkulačního modelu je výpočet nákladovosti jednotlivých aktivit pomocí násobení spotřebovaných jednotek a hodnot jednotkových nákladů pro každou aktivitu zvlášť. Co se týče výpočtu celkových nákladů vztažených k definovanému nákladovému objektu, stačí pouze sečíst vykalkulované hodnoty. [63]

## **5 Praktická část**

### **5.1 Cíle práce**

Hlavním cílem diplomové práce je vyčíslit pomocí kalkulačního modelu ABC skutečně vynaložené náklady na léčbu karcinomu prostaty radioterapeutickými technikami 3D – CRT a IMRT v Krajské nemocnici Liberec, a.s. Po aplikaci kalkulačního modelu ABC je dalším cílem provést srovnání skutečně vzniklých nákladů při léčbě karcinomu prostaty v KNL s úhradami od zdravotních pojišťoven za provedené výkony a diskutovat zjištěné odchylky. Dílčím cílem je poté provést porovnání obou radioterapeutických technik nejen z hlediska dávkové eskalace a pokrytí cílového objemu předepsanou dávkou, ale hlavně vzájemná komparace nákladovosti a efektivity radioterapeutické léčby. Diplomová práce by tak měla podat komplexní pohled na strukturu nákladů při radioterapeutické léčbě karcinomu prostaty a může být přínosná při aplikaci kalkulačního modelu ABC pro další onkologické diagnózy ve zdravotnické organizaci.

### **5.2 Metodika práce**

Metodika diplomové práce byla založena na porozumění problematiky z dostupné literatury, analýze kalkulačních metod a následné aplikaci kalkulační metody ABC pro radioterapii karcinomu prostaty. Poté byla provedena komparace radioterapeutických technik 3D-CRT a IMRT na oddělení radiační onkologie v Krajské nemocnici Liberec, a.s.

### **5.3 Sběr dat**

Ve vzájemné spolupráci s komplexním onkologickým centrem v Krajské nemocnici Liberec, a.s. byla shromažďována potřebná data za kalendářní rok 2016 a 2017, neboť právně v tomto období čelilo oddělení radiační onkologie (RATLU) změnám v ozařovacím procesu u pacientů s karcinomem prostaty. Začala se používat u pacientů s lokalizovaným karcinomem prostaty v klinickém provozu ozařovací technika IMRT namísto starší ozařovací techniky 3D-CRT. Vstupním kritériem pro realizaci praktické části diplomové práce byly tedy informace o pacientech s potvrzenou diagnózou C61. Oddělení radiační onkologie autorovi zpřístupnilo veškeré požadované informace o pacientech léčených za pomoci externí radioterapie fotonovým svazkem záření ve sledovaném období. Pro úspěšnou implementaci kalkulačního modelu ABC bylo především nutné shromáždit informace týkající se celkových nákladů Krajské nemocnice Liberec, a.s., dále zvlášť náklady radioterapeutického oddělení za sledované období včetně personálního obsazení a výše mezd jednotlivých zaměstnanců.

A samozřejmě také počty pacientů a objem provedených výkonů za sledované období u obou radioterapeutických technik.

Ekonomická data byla čerpána z výročních zpráv a účetních výkazů nemocnice. Z manažerského účetního systému Oracle Business Intelligence byly selektovány náklady oddělení RATLU evidované ke konci roku 2016 a 2017. Ekonomické oddělení poskytlo údaje o nákladech spojených s provozem LU včetně záznamového formuláře poruch a servisních podmínek. Archy pro evidenci dlouhodobého hmotného majetku a inventarizační rozdíly oddělení sloužily jako přehled používaného majetku. Užitečná byla rovněž účetní kniha odpisů. Mzdové oddělení nemocnice poskytlo Mzdový řád KNL i evidenční stavy o počtu zaměstnanců a výše jejich úvazku. Personální oddělení dodalo popis všech pracovních míst a také soupis kompetencí. Z nemocničního informačního systému Medicalc byl zjištěn počet pacientů s potvrzenou diagnózou C61 za sledované období, souhrn položek a množství bodů, jež byly vykázány zdravotním pojišťovnám za skupinu těchto pacientů včetně výše jejich úhrady. Velká část potřebných informací byla získána prostřednictvím rozhovorů s kompetentními zaměstnanci komplexního onkologického centra.

Z verifikačního onkologického systému Mosaiq bylo možné exportovat další nefinanční ukazatele, jako jsou ozařovací protokoly pacientů pro kontrolu počtu frakcí a celkové zprávy o počtu provedených ozáření za měřený časový úsek či další nezbytné informace související s léčbou pomocí radioterapeutických technik IMRT a 3D-CRT. Další důležité informace byly získány z pracovních postupů oddělení radiační onkologie, jimiž je v první řadě provozní řád oddělení, který definuje personální obsazení či charakteristiku a zaměření pracoviště. Dále obecná část místních radiologických standardů a také pracovní postup při radioterapii KP.

Autorovi bylo také umožněno čerpat informace z vnitropodnikové dokumentace jako je organizační řád KNL či program monitorování KOC. Popis místa a přilehlého okolí, včetně výměr, nákrešů pracoviště a popisu technického vybavení oddělení byl získán z dokumentu: KOC - vymezení sledovaného a kontrolovaného pásma, což je listina schválená Státním úřadem pro jadernou bezpečnost. Technické specifikace zásadních zdravotnických přístrojů sloužila kupříkladu k výpočtu spotřeby energií. Neoddělitelnou součástí léčby jsou ozařovací předpisy na lineárním urychlovači, poučení a obecný informovaný souhlas, záznamové listy o fixaci pacientů, žádanky na komplementární vyšetření a další. Tyto informace jsou rovněž využitelné k pochopení provázanosti vztahů a procesů v rámci oddělení i podpůrných činností prováděných na vyžádání.

Veškerá data pacientů byla pro účely diplomové práce anonymizována. Na základě všech zmíněných informací bylo možné získat ucelený pohled na infrastrukturu pracoviště a jednoznačně definovat procesy probíhající při léčbě

pacientů s onkologickým onemocněním, což bylo nezbytnou podmínkou k pravdivé a správné kalkulaci nákladů dle kalkulačního modelu ABC.

## **5.4 Krajská nemocnice Liberec, a.s.**

Historickým jádrem současné Krajské nemocnice Liberec je pavilon V, který představuje původní Štěpánskou nemocnici, jež sestávala pouze z chirurgického a interního oddělení a byla uvedena do klinického provozu 1. dubna roku 1848. Stala se tak pátým městským ústavem tohoto typu v Čechách. Později v roce 1859 získala tehdejší Štěpánská nemocnice státní podporu a byla ministerstvem vnitra prohlášena za všeobecnou veřejnou nemocnici. Postupně se rozšiřovala o nová oddělení a v roce 1900 patřila se svou kapacitou 310 lůžek mezi největší zdravotnická zařízení v zemi. V roce 1912 vjel do libereckých ulic první sanitární vůz a v průběhu dalších let díky soustavnému budování a rozšiřování zdravotnických oborů dosáhla liberecká nemocnice kapacity 719 lůžek. Ačkoliv tyto historické objekty prošly řadou rozsáhlých rekonstrukcí jejich původní podoba je dodnes patrná. Po roce 1989 přešla liberecká nemocnice ze státního zařízení Okresního ústavu národního zdraví na samostatnou organizaci v různých právních formách až do současného stavu, kdy je spolu s turnovskou nemocnicí pod názvem Krajská nemocnice Liberec, a.s. ve vlastnictví Libereckého kraje, Statutárního města Liberec a města Turnov.

Nyní působí Krajská nemocnice Liberec jako akciová společnost, která vznikla transformací stejnojmenné příspěvkové organizace k 1. červenci 2007. Akciovou společnost založil Liberecký kraj jako jediný akcionář a později v roce 2008 vstoupilo do společnosti majetkově Statutární město Liberec. Na podzim roku 2013 rozhodli oba akcionáři - Liberecký kraj a Statutární město Liberec o fúzi s turnovskou nemocnicí, kterou schválilo také zastupitelstvo Města Turnov a jako jediný akcionář Panochovy nemocnice Turnov. Společně tak zajišťují nadále téměř veškeré široké spektrum zdravotnické péče v Libereckém kraji.

Krajská nemocnice Liberec, a.s. je významným zdravotnickým zařízením v poskytování urgentní, specializované i ostatní zdravotnické péče v působnosti celého Libereckého kraje i jeho rozšířených spadových oblastí. Nemocnice poskytuje ještě vysoce specializovanou péči, a to ve čtyřech akreditovaných centrech. Od roku 2013 mezi ně patří i Komplexní onkologické centrum, které je tak jedním ze třinácti komplexních onkologických center v České republice. Ve svém současném areálu, který je složen z komplexu zdravotnických a hospodářských budov disponuje Krajská nemocnice Liberec, a.s. celkem 46 odděleními s celkovou kapacitou 973 lůžek. Ročně nemocnice ošetří zhruba 460 tisíc pacientů a pracuje v ní 2708 zaměstnanců. Tabulky č. 2 a č. 3 znázorňují náklady a výnosy nemocnice ve sledovaném období.

Tabulka 2 - Struktura nákladů v KNL (Zdroj: Výroční zprávy KNL, a.s. 2016 a 2017)

Struktura nákladů KNL	2016	2017
Materiál	1 043 167 404 Kč	1 029 849 905 Kč
Energie	55 335 107 Kč	40 378 120 Kč
Náklady na prodej zboží	130 274 942 Kč	132 992 191 Kč
Opravy	51 913 387 Kč	61 213 676 Kč
Ostatní služby	136 068 791 Kč	155 776 418 Kč
Osobní náklady	1 403 506 151 Kč	1 507 683 670 Kč
Ostatní náklady	51 825 350 Kč	47 092 838 Kč
Odpisy	132 958 826 Kč	141 852 863 Kč
<b>Náklady celkem</b>	<b>3 005 049 958 Kč</b>	<b>3 116 839 681 Kč</b>

Tabulka 3 - Struktura výnosů KNL (Zdroj: Výroční zprávy KNL, a.s. 2016 a 2017)

Struktura výnosů KNL	2016	2017
Tržby od ZP	2 670 667 329 Kč	2 772 120 712 Kč
Tržby za ostatní služby	125 037 967 Kč	112 357 432 Kč
Tržby za prodej zboží	165 475 992 Kč	172 347 226 Kč
Ostatní výnosy	55 780 965 Kč	68 967 476 Kč
Dary	2 288 535 Kč	4 955 326 Kč
<b>Výnosy celkem</b>	<b>3 019 250 788 Kč</b>	<b>3 130 748 172 Kč</b>

## 5.5 Struktura radioterapeutického oddělení v KNL

Komplexní onkologické centrum (KOC) v Krajské nemocnici Liberec, a.s. (KNL) zajišťuje specializovanou péči o onkologické pacienty z Libereckého kraje a ze spádového regionu. V rámci centra se prolíná péče několika odborností a je rozdělena na oddělení klinické onkologie a na oddělení radiační onkologie. Společný lůžkový fond obou oddělení činí aktuálně 33 lůžek. Nicméně trendem moderní onkologie je převést většinu péče do plně ambulantního provozu.

Počátek samotného oddělení radiační onkologie sahá až k roku 1970, kdy byl zde vůbec poprvé v Severočeském kraji uveden do provozu cesiový a kobaltový ozařovač. Díky těmto těžkým zářičům zde byla na řadu let zajištěna protinádorová léčba. V roce 1983 ještě přibyl ozařovač typu Betatron a pozdějším důležitým historickým milníkem pro radioterapeutické pracoviště byl nákup prvního lineárního urychlovače spolu s 3D plánovacím a verifikačním systémem Theraplan Plus. V roce 2002 byl instalován lineární urychlovač Precise Mk3i od firmy Elekta, který již disponoval vícelamelovým kolimátorem. Oddělení si v tomto roce pořídilo i dozimetrické vybavení, díky kterému mohlo dojít k zavedení konformní fotonové

radioterapie. V roce 2006 byl pořízen druhý lineární urychlovač, který obsahoval kilovoltážní zobrazovací systém a otevřela se možnost obrazem řízené radioterapie.

V roce 2015 byla úspěšně dokončena rozsáhlá rekonstrukce a modernizace celého onkologického centra za více než 132 miliónů korun. Díky evropským dotacím došlo ke kompletní obnově přístrojového vybavení a byla rozšířena kapacita nejenom čekáren, ale také vyšetřoven a ambulantních prostor pro aplikaci chemoterapie, která dnes čítá 15 aplikačních lůžek.

Pracoviště radiační onkologie poskytuje pacientům standardní lékařské ozáření nádorových i nenádorových onemocnění v ambulantním provozu a je nyní vybaveno dvěma vzájemně kompatibilními a za sebe zástupnými lineárními urychlovači od firmy Elekta Services s. r. o. Lineární urychlovače typu Synergy Agility produkují k léčbě nádorových onemocnění fotonové svazky o energii 6 a 15 MV a elektronové svazky záření o energii 6 až 15 MeV. Integrovanou součástí obou lineárních urychlovačů je systém nezávislých vykrývacích clon, multileaf kolimátoru (MLC) a technika IMRT statickými i rotačními poli s možností modulace ozařovacího svazku i rychlosti pohybu gantry. K příslušenství obou lineárních urychlovačů patří sada elektronových aplikátorů, portálový zobrazovací systém Iview, kilovoltový zobrazovací systém XVI, systém BB3 pro automatickou identifikaci pacienta a také veškeré dozimetrické vybavení potřebné ke zkouškám dlouhodobé stability a provozní stálosti. Dále pracoviště disponuje rentgenovým simulátorem Precise SIM, odstaveným lineárním urychlovačem Elekta Synergy Precise Mk3i a terapeutickým rentgenem TH-200, který je v současné době také vyřazen z provozu. Všechny zmíněné přístroje jsou propojeny verifikačním onkologickým systémem Mosaiq a také plánovacím systémem Monaco, který slouží pro plánování zevní radioterapie fotonovými svazky. Pro lokalizaci nádorových ložisek u onkologicky nemocných využívá radiační onkologie CT přístroj sousedního radiodiagnostického oddělení, na kterém je instalován přídatný laserový systém a snímatelná karbonová deska pro radioterapeutické zaměření.

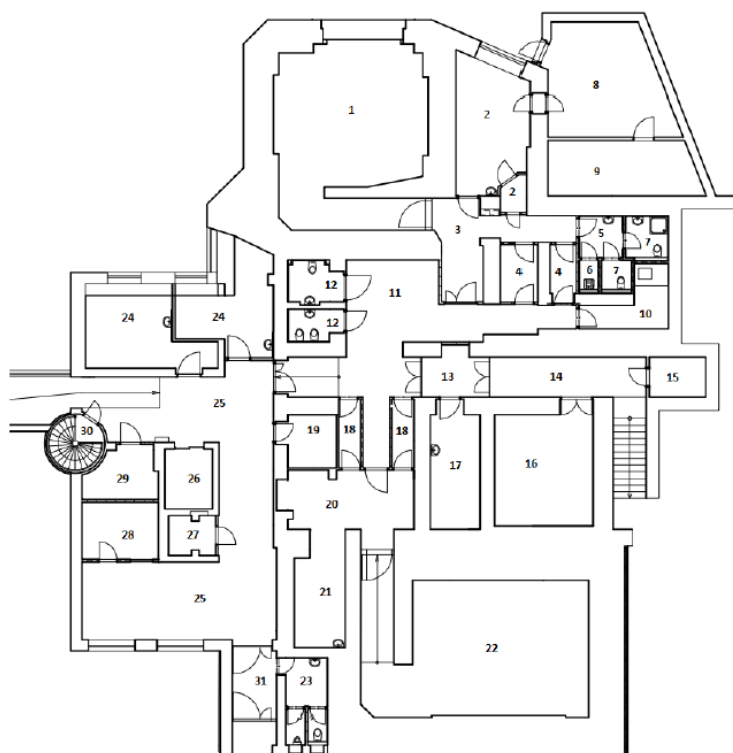
Oddělení radiační onkologie je ambulantní částí komplexního onkologického centra a je umístěno v prvním a druhém suterénu pavilonu C. Ve druhém suterénu se nachází pracoviště odstaveného lineárního urychlovače Elekta Synergy Precise Mk3i a pracoviště simulátoru s rentgenovým simulátorem PreciseSIM. U jednotlivých přístrojů jsou převlékací kabiny pro pacienty. Dále je zde prostorná vyšetřovna, pracovna fyziků a kancelář staničního radiologického asistenta. Kromě toho je zde ještě dílna technika, klimatizační místnost, denní místnost radiologických asistentů, tři šatny personál se sprchovými kouty včetně toalet.

V prvním suterénu je pracoviště LU Synergy Agility I. se třemi převlékacími kabinami pro pacienty, LU Synergy Agility II. se dvěma převlékacími kabinami pro pacienty, RTG pracoviště pro nenádorovou terapii, elektrorozvodna, recepce, tři vyšetřovny, sklad, dvě toalety pro personál, třikrát toaleta pro pacienty z toho jedna



s bezbariérovým přístupem a čistící místnost. Dále se zde nachází místnost pro plánování radioterapie, klimatizační jednotka a tři místnosti pro počítačové servery. Oba suterény jsou propojeny výtahem, schodiště vede pouze přes přílehlé oddělení v budově chirurgie. Je zde vymezeno kontrolované a sledované pásmo a klinický provoz oddělení se řídí národními a místními radiologickými standardy.

Pro lepší představivost o prostorovém uspořádání pracoviště je předkládán na obrázku č.Obrázek 2, situační plán 1. suterénu pracoviště radiační onkologie.



**Obrázek 2: Situační plán 1. suterénu RATLU (Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s.)**

1. Ozařovna a strojovna Synergy - Agility 1, 2. Ovladovna a server Synergy - Agility 1, 3. Chodba, 4. Šatny pacientů  
 5. Umývárna personálu ordinace lékaře, 6. Úklidová komora 7. WC, 8. Strojovna vzduchotechniky, 9. Chladič Elekta Synergy – Agility 1, 10. sklad, 11. Čekárna, 12. WC, 13. Chodba, 14. Chodba, 15. Klimatizace TH-200, 16. Ozařovna TH-200 26. Výtahová šachta, 17. Ovladovna TH-200, 18. Šatny pacientů, 19. El. Rozvodna, 20. Přípravna, 21. Ovladovna Synergy - Agility 2 29. Server, 22. Ozařovna a strojovna Synergy - Agility 2, 23. WC s umyvárnou, 24. Ordinace lékaře, 25. Chodba s čekárnou, 26. Výtahová šachta, 27. Server, 28. Recepce, 29. Server 30. Schodiště, 31. Zádveří

Co se týče personálního obsazení, je počet zdravotnického, ošetrovatelského a pomocného personálu stanoven dle platného personálního plánu. Na oddělení radiační onkologie je 7 lékařů plus další dva specialisté z klinické onkologie, 3 radiologičtí fyzici, 1 technik, 13 radiologických asistentů, 4 zdravotní sestry, 1 uklízečka, 1 pomocný ošetrovatelský personál (POP) a 1 referentka. Všichni v úvazku 1,00.

Nadřízenost a podřízenost zaměstnanců upravuje organizační řád nemocnice. Pro snazší orientaci je uveden přehled personálu oddělení radiační onkologie v tabulce č. 4. Na lineárních urychlovačích pracují radiologičtí asistenti ve dvou směnném provozu jejichž týdenní pracovní doba činí 38,75 hodin a zbytek oddělení funguje v jednosměnném pracovním režimu s týdenní pracovní dobou 40 hodin. Po celou dobu klinického provozu musí být na oddělení přítomný jeden radiologický fyzik.

**Tabulka 4 - Přehled personálu (Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s.)**

Pracovní pozice	Počet zaměstnanců
Lékař - klin. onkolog	2
Lékař - rad. onkolog	7
Staniční sestra odd.	1
Všeobecná sestra	4
Vedoucí RA	1
Radiologický asistent	13
Radiologický fyzik	3
Technik (JOP)	1
Recepční	1
Sanitář (POP)	1
Uklízečka	1

## 5.6 Aplikační část kalkulace ABC

Za sledované období dvou let bylo v roce 2016 na pracovišti radiační onkologie v Krajské nemocnici Liberec, a. s. ozářeno pod hlavicí lineárního urychlovače Synergy Agility celkem 1407 pacientů s nádorovým onemocněním. V následujícím roce 2017 se počet onkologických pacientů snížil na 1211. Strukturu nádorových onemocnění za uvedené období zobrazuje tabulka č. 5. Z celkového počtu nemocných byl karcinom prostaty hned po nádorů prsu u žen druhým nejčastějším onkologickým onemocněním léčeným na radiační onkologii.

Tabulka 5 - Struktura nádorových onemocnění (Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s.)

Klasifikace nádorů	počet pacientů v roce 2016	počet pacientů v roce 2017
Nádory mozku	79	42
Nádory hlavy a krku	114	95
Nádory plic	106	115
Nádory prsu	342	291
Nádory trávicího traktu	164	92
Nádory gynekologické	82	64
Nádory kůže	25	32
Nádory kostí a měkkých tkání	37	28
Nádory prostaty	312	273
Další urologické nádory	82	67
Ostatní nádory	64	112
<b>Celkem</b>	<b>1 407</b>	<b>1 211</b>

Je důležité zmínit, že s využitím novější radioterapeutické techniky IMRT s rotační modulací VMAT, kdy probíhá ozáření pacienta v jednom kyvu, bylo v roce 2017 ozářeno celkem 273 pacientů s lokalizovaným karcinomem. U tohoto vzorku pacientů byla uvažována léčba technikou IMRT simultánním integrovaným boostem (SIB) hypofrakcionovaným akcelerovaným režimem radioterapie, kde je možné aplikovat vyšší jednotlivou dávku a modulovat intenzitu ozařovacího svazku během rotace gantry. Tímto způsobem byla pacientovi aplikována jednotlivá dávka ve výši 2,5 Gy na frakci a celkový počet frakcí byl 28. Celková radioterapeutická dávka pro pacienta tedy činila 70 Gy. O rok dříve se na oddělení radiační onkologie pracovalo pouze s radioterapeutickou technikou 3D-CRT, která poskytovala radiobiologicky ekvivalentní dávku technikou 3D-CRT boostem sekvenčním v normofrakcionačním režimu, kdy pacient obdržel celkovou dávku na prostatu a semenné vajíčky 78 Gy po 2 Gy denně, což odpovídá celkovému počtu 39 ozařovacích frakcí. Takto ozářených pacientů s lokalizovaným karcinomem prostaty bylo v roce 2016 celkem 312. Tyto frakcionační schémata jsou rovněž výchozími parametry při kalkulaci a pozdější

komparaci radioterapeutických technik, neboť ovlivňují samotný proces i dobu trvání radioterapeutické léčby.

### 5.6.1 Identifikace nákladů vstupujících do kalkulace

Oddělení radiační onkologie je zastřešeno nákladovým střediskem 255.1 RATLU, ke kterému jsou za rok 2016 a 2017 evidovány celkové náklady uvedené přehledně v následujících tabulkách č. 6 a č. 7. Náklady vstupující do kalkulace je nutné nejdříve rozdělit na náklady přímé, které lze ke konkrétní aktivitě rovnou přiřadit a dále náklady nepřímé, které přiřadit nelze. Nepřímé náklady budou později alokovány dle vztahových veličin v dalším kroku kalkulačního modelu. Důležité je taky odlišit náklady infrastrukturní, které jsou zapotřebí pro chod pracoviště jako takového a jedná se zejména o zkoušky dlouhodobé stability, zkoušky provozní stálosti, denní zkoušky přístrojů, elektrické a plynové revize, které dohromady činí téměř půl milionu korun.

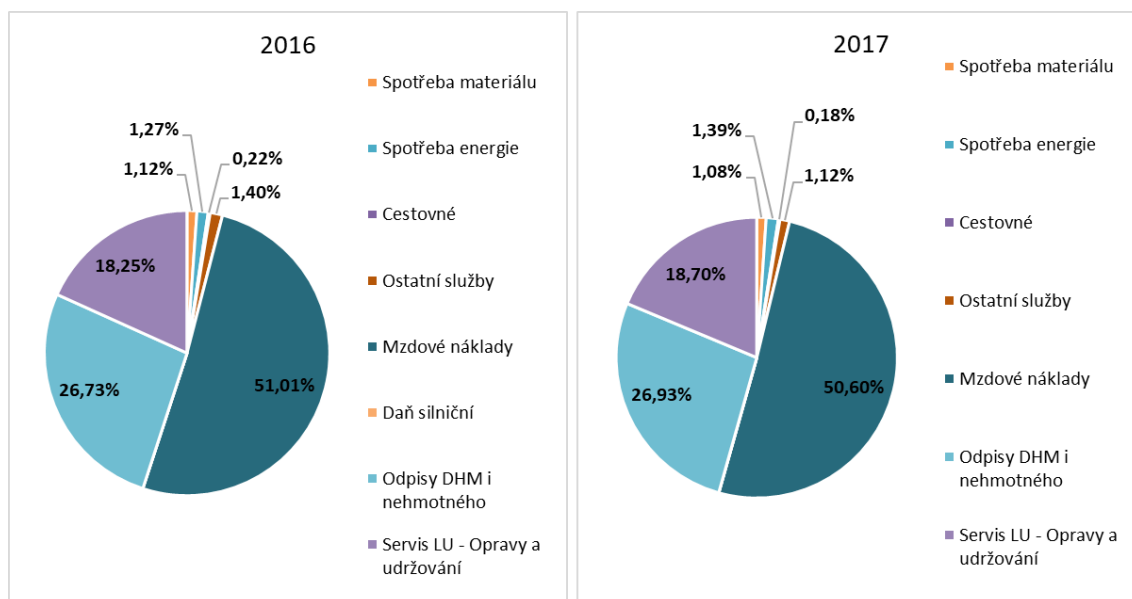
Tabulka 6 - Náklady a výnosy RATLU v roce 2016 (Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s.)

Kategorie	Nákladové položky	Celkové náklady za odd.
501	Spotřeba materiálu	454 185 Kč
502	Spotřeba energie	516 095 Kč
512	Cestovné	87 904 Kč
518	Ostatní služby	568 888 Kč
521	Mzdové náklady	20 700 940 Kč
548	Ostatní provozní náklady	0 Kč
531	Daň silniční	400 Kč
551	Odpisy DHM i nehmotného	10 849 402 Kč
511	Opravy a udržování	7 405 464 Kč
<b>Náklady celkem</b>		<b>40 583 278 Kč</b>
602	Tržby z prodeje služeb	133 385 213 Kč
648	Ostatní provozní výnosy	131 538 Kč
<b>Výnosy celkem</b>		<b>133 516 751 Kč</b>

Tabulka 7 - Náklady a výnosy RATLU v roce 2017 (Zdroj: *Radiační onkologie KNL, a.s.*)

Kategorie	Název účtu	Celkové náklady za odd.
501	Spotřeba materiálu	325 534 Kč
502	Spotřeba energie	419 035 Kč
512	Cestovné	54 697 Kč
518	Ostatní služby	338 999 Kč
521	Mzdové náklady	15 287 347 Kč
548	Ostatní provozní náklady	0 Kč
531	Daň silniční	325 Kč
551	Odpisy DHM i nehmotného	8 137 640 Kč
511	Opravy a udržování	5 650 857 Kč
<b>Náklady celkem</b>		<b>30 214 434 Kč</b>
602	Tržby z prodeje služeb	96 487 321 Kč
648	Ostatní provozní výnosy	131 538 Kč
<b>Výnosy celkem</b>		<b>96 618 859 Kč</b>

Níže uvedený obrázek č. 3 zobrazuje v grafickém vyjádření procentuální zastoupení nákladových položek na oddělení radiační onkologie za rok 2016 a 2017.

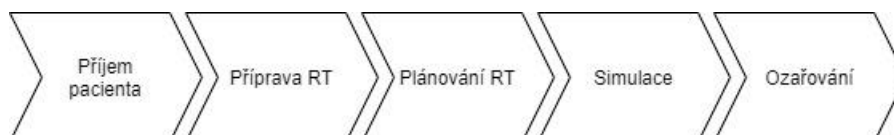


Obrázek 3 – Procentuální vyjádření nákladových položek RATLU (Zdroj: *Vlastní zpracování*)

## 5.6.2 Definice struktury aktivit

Definice struktury aktivit vychází z léčebného procesu a pracovního postupu na pracovišti radiační onkologie.

Pro lepší pochopení radioterapeutického procesu ještě před samotnou definicí jednotlivých aktivit je zde, na obrázku č. 4 k dispozici jednoduchý diagram znázorňující celý proces radioterapeutické léčby, tak jak jím pacient prochází při léčbě karcinomu prostaty na radioterapeutickém oddělení v Krajské nemocnici Liberec, a. s.



Obrázek 4 - Radioterapeutický proces (Zdroj: Vlastní zpracování)

Autor ve spolupráci s vedoucími zaměstnanci oddělení radiační onkologie rozdělil celý radioterapeutický proces do pěti primárních aktivit, které vystihuje tabulka č. 8. Detailní popis jednotlivých aktivit včetně jejich personálního obsazení naleznete popsany v textu níže.

Tabulka 8 – Rozdělení aktivit (Zdroj: vlastní zpracování)

Kód aktivity	Název aktivity	Vykonávané činnosti v rámci aktivity
A1	Příjem pacienta	identifikace, zhodnocení klinického stavu onemocnění, poučení pacienta, podpis IS se zákrokem, tvorba RT dokumentace, objednání pacienta na RT, zápis do Medicalc a zdravotnické dokumentace
A2	Příprava RT	identifikace pacienta, pořízení fotografie, poučení o zákroku, tvorba fixačních pomůcek, RTG pánve, stanovení nulového bodu, zakreslení lokalizačních značek, tvorba RT protokolu, lokalizace a CT akvizice, export dat do systému Monaco, tisk RT protokolu, dezinfekce ploch, kompletace zdravotnické dokumentace
A3	Plánování RT	identifikace, 3D rekonstrukce, definice cílových objemů, konturace, zakreslení ROI, dávková preskripce, stanovení izocentra, tvorba ozařovacího plánu, optimalizace, schválení RT plánu, verifikace, export RT plánu na SIM a LU, kontrola dozimetrických parametrů, tisk RT plánu
A4	Simulace	identifikace, přiřazení ID čipu, poučení o zákroku, fixace a zaměření pacienta, zakreslení pomocných struktur v DDR, nastavení SIM, pořízení RTG snímků, korekce odchylek polohy, výpočet nulové polohy stolu, zakreslení lokalizačních značek, tisk RT protokolu, kontrola, verifikace plánu, export hodnot do LU, dezinfekce ploch
A5	Ozařování	identifikace, poučení pacienta, načtení RT plánu, fixace pacienta, zaměření nulové polohy, nastavení odjezdů, XVI akvizice, online korekce polohy, ozáření, záznam do RT protokolu, kontrola, dezinfekce ploch, vykázání kódu zdravotním pojišťovám

## **Aktivita 1 - Příjem pacienta.**

Pacient s diagnostikovaným karcinomem prostaty různého stádia je po histologickém ověření doporučen na plánované konzilium k radiačnímu onkologovi. V průvodní dokumentaci vyžaduje ošetřující lékař obligatorní stagingová vyšetření jako je fyzikální vyšetření per rectum (DRE, digital rectal examination), odběr prostatického specifického antigenu (PSA), transrektální sonografie (TRUS) s biopsií prostaty, CT vyšetření pánve, MR vyšetření břicha a pánve, či fúze obou modalit. Dále RTG plic a UZ jater. U operovaných pacientů je vyžadován i operační protokol. U pacientů s podezřením na vzdálené metastázy ještě kostní scintigrafie. V případě absence některého z vyšetření jej radiační onkolog doplní a zkompletuje anamnézu pacienta. Potom seznámí pacienta s rozsahem a prognózou jeho onemocnění. Na základě kompletního vyšetření stanoví radiační onkolog klinický stav pacienta a vyhodnotí dostupné možnosti léčby a jejich léčebný přínos, který s pacientem konzultuje. Dále pacienta řádně poučí o průběhu léčby na radiační onkologii a rovněž i s možnostmi výskytu vedlejších účinků. Pokud pacient souhlasí s léčbou na lineárním urychlovači, podepisuje informovaný souhlas se zákrokem. Závěrem radiační onkolog objednává pacienta na tzv. přípravu radioterapie a upozorní ho na dietní a edikamentózní opatření spojená s výkonem. Získaná data radiační onkolog ukládá do zdravotnické dokumentace a provádí zápis i v nemocničním systému Medicalc.

## **Aktivita 2 - Příprava RT.**

První etapou přípravy radioterapeutického procesu je lokalizace před CT vyšetřením. Pacient s karcinomem prostaty přichází s plným močovým měchýřem a vyprázdněným konečníkem na pracoviště simulátoru, kde si v převlékací kabině odloží oblečení dolní poloviny těla. Radiologický asistent provede identifikaci pacienta včetně jeho poučení o zákroku a zhotoví fotografický portrét, který společně s identifikačními údaji pacienta vkládá do systému Mosaiq a BB3 pro pozdější jednoznačnou identifikaci pacienta. Následně pacienta uloží na stůl do ozařovací pozice, ve které nemocný leží v supinaci s horními končetinami položeným na hrudi. Dále radiologický asistent vytvoří individuální fixační pomůcku Vaclock pro omezení pohybu v oblasti pánve a dolních končetin. Radiologický asistent pořídí snímek pacienta v oblasti pánve ve skiaskopickém režimu a zaměří předpokládanou oblast tumoru. Radiační onkolog sdělí radiologickému asistentovi nulový bod pacienta, který odpovídá střední linii kraniokaudálně na spojnici vrcholů kyčelních kloubů a je zadán do simulační konzole. Za pomoci laserového zaměření v ozařovně zakreslí RA černou fixou na kůži pacienta tři lokalizační značky, které určují polohu souřadnic nulového bodu pacienta a veškeré hodnoty i použité fixační pomůcky zaznamená, tiskne a vkládá do ozařovacího předpisu ve zdravotnické dokumentaci pacienta. Lékař zapíše údaje o lokalizaci a fixaci do systému Medicalc i do ozařovacího předpisu pacienta a předá radiologickému asistentovi tištěnou žádanku na vyšetření CT. RA odchází společně s pacientem na sousední radiodiagnostické CT, kde po opětovném uložení a fixaci

pacienta zhotoví CT topogram v rozsahu od obratle L4 po dolní okraj sedacích hrbolů. Ještě na pacienta nalepí kontrastní markery, které přesně odpovídají pozici souřadnic nulového bodu, a provede plánovací CT vyšetření pánve s tloušťkou řezu 3 mm. Pořízený CT scan s expozičním záznamem dále exportuje na tzv. plánovací oddělení radiační onkologie, kam ještě odnáší kompletní zdravotnickou dokumentaci včetně CT topogramu pro tvorbu ozařovacího plánu. Radiologický asistent po pacientovi na obou pracovištích vydesinfikuje použité pomůcky a ozařovací stůl.

### **Aktivita 3 – Plánování.**

Plánování léčby provádí radiologický asistent, radiologický fyzik, který je odpovědný za správné technické provedení a radiační onkolog odpovědný za klinickou část lékařského ozáření. Importovaný vstupní CT scan nahraje radiologický asistent do databáze Monaco a překontroluje rodné číslo pacienta i rozsah požadovaného vyšetření a náplň močového měchýře i konečníku. Samotnému trojrozměrnému plánování léčby v externí radioterapii předchází 3D rekonstrukce a konturace. V jednotlivých transverzálních řezech zakresluje radiační onkolog obrys těla pacienta a cílové objemy i kritické struktury v zájmové oblasti (ROI). U radioterapie KP se konturuje klinický (Clinical target volume - CTV) a plánovací (Planning target volume - PTV) cílový objem prostaty, semenné vajíčky a spádové lymfatické uzliny. Rovněž musí být zakresleny kritické orgány (Organ at Risk - OaR), které jsou v tomto případě rektum, močový měchýř, bulbus penisu a hlavice femurů. Velikost CTV lemů je závislá na stupni rizika onemocnění a pohybuje se, od 0,3 cm do 1,5 cm. Dále stanoví lékař energii záření, frakcionační režim, denní a celkovou radioterapeutickou dávku. Radiologický fyzik překontroluje, zda jsou zakresleny všechny potřebné struktury pro tvorbu plánu. Radiologický asistent zadává souřadnice nulového bodu a předpokládaného izocentra se zaokrouhlením a tiskne referenční body. Následuje tvorba ozařovacího plánu v programu New Monaco Plan, kam radiologický asistent do přednastaveného template doplní frakcionační režim, celkovou a denní dávku záření, minimální šířka segmentů, maximální počet kyvů v jednom svazku, velikost a počet ozařovacích polí včetně energií, úhel gantry, kolimátoru a pozici ozařovacího stolu. S nastavenými parametry postupuje radiologický asistent při tvorbě ozařovacího plánu dopředným plánováním pro techniku 3D-CRT anebo inverzním plánováním pro techniku IMRT. Po vyhotovení plánu zkontroluje normalizační bod a celkovou dávkou distribuci v ozařované oblasti. Radiační fyzik potom provede detailní kontrolu ozařovací plánu, zhodnotí jeho kvalitu dle dávkově objemového histogramu (DVH). Společně s radiačním onkologem posoudí klinickou přijatelnost a po schválení plánu vytvoří simulační plán, který je exportován na simulátor a celý ozařovací plán se nahraje do verifikačního systému.



#### **Aktivita 4 – Simulace.**

Před samotnou simulací lékař sdělí radiologickému asistentovi jméno, příjmení, rodné číslo, kód diagnózy, polohu a fixaci pacienta. Radiologický asistent připraví a zkompletuje zdravotnickou dokumentaci pacienta a importuje data z plánovacího systému Monaco do simulační konzole rentgenového terapeutického simulátoru. Dále zkontroluje, zda byl výpočet plánu ověřen měřením a zda byl vyexportován plán včetně digitálně rekonstruovaného radiogramu (DDR) a simulačních polí. Potom zkontroluje schválení ozařovacího plánu PTV ze strany radiačního onkologa a radiačního fyzika. Pacient s karcinomem prostaty přichází v termínu obvykle v den, kdy začíná jeho léčba na lineárním urychlovači a opět s plným močovým měchýřem a vyprázdněným konečníkem na pracoviště simulátoru, kde si v převlékací kabině odloží oblečení dolní poloviny těla. Radiologický asistent identifikuje pacienta a přiřadí mu identifikační čip, na kterém je nahrána fotografie a další identifikátory pacienta, jež slouží pro bezpečnější identifikaci při ozařování na lineárním urychlovači. Pacient je radiologickým asistentem řádně poučen o používání identifikačního čipu i o průběhu plánovaného zákroku na rentgenovém radioterapeutickém simulátoru. Radiologický asistent uloží pacienta do reprodukovatelné ozařovací polohy včetně jeho fixace dle formuláře o poloze a fixace pacienta, který zároveň slouží jako stranový protokol. Potom nastaví radioterapeutický simulátor i ozařovací stůl do pozice odpovídající ve fázi lokalizace před CT a samotného pacienta nastaví tak, aby průsečíky značek na jeho kůži souhlasily s laserovými značkami promítanými na pacientovo tělo. RA vybere simulovaný plán a pole, do kterého ručně zadá prostřednictvím ovládací konzole přesné odjezdové souřadnice cílového objemu a pořídí AP a LL snímek pacienta ve skiaskopickém režimu. Zakreslí do DDR pomocné struktury a porovná aktuální polohu izocentra s DRR. Ve spolupráci s radiačním onkologem upravuje polohu stolu a pacienta, dokud nejsou odchylky kontur aktuálního snímku a DRR minimální. Ručně vypočítá novou absolutní polohu stolu, která aktuálně odpovídá izocentru a tyto hodnoty doplní do simulátoru. Tiskne simulační protokol a vkládá jej do ozařovacího předpisu. Během simulace RA odhalí případné kolize a získané snímky jsou použity jako referenční pro pravidelné kontroly polohy pacienta na lineárním urychlovači. Po zkontrolování všech parametrů a doplnění nových hodnot do verifikačního systému radiačním technikem je ozáření schváleno. Závěrečným úkonem je dezinfekce všech použitých ploch.

#### **Aktivita 5 – Ozařování.**

První ozáření probíhá na lineárním urychlovači v režii tří radiologických asistentů a jednoho lékaře s radiologickým fyzikem. Po simulaci je pacient zhruba za hodinu zavolán personálem lineárního urychlovače do kabinky, kde si odloží oblečení dolní poloviny těla. Jeden radiologický asistent překontroluje identifikační údaje včetně fotografie pacienta a aktivuje jeho identifikační čip v systému BB3 pro celou ozařovací sérii, která čítá při radioterapii karcinomu prostaty 28 až 39 frakcí dle

ozařovací techniky. Pacienta seznámí s chodem pracoviště a zásadami, které je nutné při léčbě dodržovat. Tím je míněna péče o zakreslené značky na těle, dodržování dietních a medikamentózních opatření, správná reprodukce náplně močového měchýře a konečníku. Další RA mezitím vyselektuje ve verifikačním systému správného pacienta, provede kontrolu ozařovacích parametrů a připraví lineární urychlovač na konkrétní ozařovací výkon, který zároveň vykazuje kódem zdravotní pojišťovně. Na vyzvání pacient vstupuje do ozařovny lineárního urychlovače. Radiologičtí asistenti uloží pacienta do ozařovací polohy včetně fixační pomůcky Vaclock dle ozařovacího protokolu. Za pomoci laserového zaměřovacího systému a výchozích značek na kůži pacienta zacílí izocentrum. Následuje kontrola ozařovací polohy prostřednictvím 3D kV CBCT. Snímek je v ovladovně lineárního urychlovače ihned vyhodnocen ve spolupráci s radiačním onkologem a radiologický asistent sedící u konzole přístroje provede on-line korekci odchylek polohy stolu automatizovaným odjezdem a kontroluje jeho správnost. V případě ozařování technikou IMRT se kontroluje správné nastavení pacienta denně, a to bez přítomnosti radiačního onkologa. Následuje samotné ozáření, během kterého radiologický asistent ovládá gantry lineárního urychlovače a po celou dobu sleduje na obrazovce kamery léčeného pacienta. Po absolvované frakci radiologický asistent propouští pacienta z ozařovny, kontroluje denní obdrženou dávku a počet monitorovacích jednotek v systému Mosaiq a také provádí zápis do ozařovacího předpisu konkrétního pacienta.

Během ozařovací série je pacient průběžně sledován a dochází na pravidelné kontroly do ambulance radiačního onkologa, kde je kontrolován jeho celkový klinický stav, subjektivní potíže a objektivní nález dle topiky radioterapie. Jsou zaznamenávány akutní nežádoucí efekty léčby a akutní toxicita je hodnocena podle EORTC-RTOG stupnice. Lékař z každé kontroly podává průběžnou zprávu, která se také vkládá do ozařovacího předpisu na lineárním urychlovači a do informačního systému Medicalc. Při absolvování poslední plánované frakce je provedena kontrola lékařem, při které léčený obdrží lékařskou zprávu o radioterapii, ve které je uvedeno jako minimum souhrn onkologické diagnózy pro indikaci radioterapie, dávka radioterapie, její průběh a doporučení dalšího postupu, včetně termínu kontroly na pracovišti.

Z popisu primárních aktivit je zřejmé, že do léčebného procesu karcinomu prostaty vstupují také sekundární aktivity, které nejsou spotřebovávány přímo konkrétní aktivitou, ale mají podobu nákladů na komplementární vyšetření ve specializovaných odděleních nemocnice. Jedná se o náklady na lokalizační CT vyšetření na radiodiagnostickém oddělení nemocnice, které je základním prvkem při aktivitě Příprava radioterapie. Dále hematologická vyšetření, biochemická vyšetření moči, která pacient podstupuje pravidelně během ozařování a také sem patří pravidelné kontroly klinického stavu pacienta radiačním onkologem.

### 5.6.3 Přiřazení nákladů aktivitám

V tomto kroku jako první přiřazujeme již zmíněné přímé náklady rovnou odpovídající aktivitě, při které vznikají. Jediným přímým nákladem, který vzniká při radioterapeutické léčbě karcinomu prostaty je spotřeba individuální fixační pomůcky nazývané Vaclock. Jedná se o vakuovou matraci pro fixaci nohou a pánve pacienta. Je vyráběna při druhé aktivitě (Příprava RT) a cena za kus je 5 900 Kč. Jedná o tzv. zvlášť účtovaný materiál (ZUM) a spotřeba této položky je přirozeně závislá u obou radioterapeutických technik na počtu léčených pacientů. V roce 2016 tedy celková částka za 312 kusů fixační pomůcky pro muže s KP odpovídala 1 840 800 Kč. V roce 2017 byla tato částka celkem 1 610 700 Kč za 273 kusů fixačních pomůcek Vaclock.

Dále je nutné ze zjištěných celkových nákladů vyčlenit specifické náklady, které nelze přiřadit žádné aktivitě. V našem případě budou vyřazeny nákladové položky: **512 Cestovné** a **531 Silniční daň**, neboť hodnoty těchto nákladových položek by zbytečně zkreslovaly výstup kalkulačního modelu ABC.

Zbývá přiřadit nepřímé náklady vstupující do léčebného procesu. Jedná se o nákladové položky **501 Spotřeba materiálu**, **502 Spotřeba energie**, **518 Ostatní služby**, **521 Mzdové náklady**, **548 Ostatní provozní náklady**, **551 Odpisy**, **511 Opravy a udržování**.

Nepřímé náklady musí být při kalkulaci ABC přiřazovány jednotlivým aktivitám, na základě skutečného podílu spotřeby při konkrétních činnostech.

Proto jsou nákladové položky **518 Ostatní služby** a **501 Spotřeba materiálu**, kam spadá i spotřební zdravotnický materiál, jako jsou dezinfekční prostředky, ochranné pomůcky apod. rozděleny na základě konzultace se skupinou expertů na pracovišti (přednostou komplexního onkologického centra, vedoucí ekonomického oddělení, radiologickými fyziky a vedoucím radiologickým asistentem), kteří určili procentuální rozdělení nákladových položek dle jejich skutečného využití mezi jednotlivé aktivity (Tabulka 9).

Tabulka 9 - Procentuální rozdělení nákladových položek 501 a 518 (Zdroj: *Radiační onkologie KNL, a.s.*)

Nákladová položka	Příjem pacienta	Příprava RT	Plánování RT	Simulace	Ozařování
501 Spotřeba materiálu	5%	30%	3%	20%	42%
518 Ostatní služby	4%	11%	5%	10%	70%
Spotřební zdrav. mat.	5%	20%	0%	20%	55%

Nákladová položka **551 Odpisy dlouhodobého hmotného a nehmotného majetku**, byla taktéž rozdělena na základě odhadů vedoucích zaměstnanců oddělení radiační onkologie dle skutečného využívání evidovaného majetku jednotlivými aktivitami. Uvažován byl horizont 15 let odepisování dle účetního odpisového plánu. Tabulka č. 10 prezentuje procentuální rozdělení odpisů mezi jednotlivé aktivity.

**Tabulka 10- Procentuální rozdělení nákladové položky 551 (Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s.)**

Nákladová položka	Příjem pacienta	Příprava RT	Plánování RT	Simulace	Ozařování
551 Odpisy	1%	12%	31%	12%	45%

Výše nákladů evidovaných u nákladové položky **502 Spotřeba energie**, byla rozdělena dle metrů čtverečních s přihlédnutím k umístění zdravotnických přístrojů a jejich energetické spotřebě viz. tabulka č.11.

**Tabulka 11 - Procentuální rozdělení nákladové položky 502 (Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s.)**

Nákladová položka	Příjem pacienta	Příprava RT	Plánování RT	Simulace	Ozařování
502 Spotřeba energie	3%	10%	7%	10%	70%

Nákladovou položku **548 Ostatní provozní náklady** nebylo nutné rozdělovat mezi jednotlivé aktivity vzhledem k její nulové hodnotě v obou letech. Největší část nepřímých nákladů tvoří nákladová položka **521 Mzdové náklady**, která v sobě zahrnuje i nákladové položky **524 Zákonné sociální pojištění a 257 Zákonné sociální náklady**. Pro výpočet mzdových nákladů vztažených k léčbě karcinomu prostaty je nutné znát počet zaměstnanců vykonávajících danou aktivitu a výši jejich mezd. Mzdové a personální informace byly čerpány z evidenčních stavů a mzdového řádu KNL, a.s. a zůstávají stejné pro obě radioterapeutické techniky. Průměrné hrubé a superhrubé mzdy zaměstnanců podílejících se radioterapeutické léčbě karcinomu procesu jsou názorně vypsány v tabulce č. 12.

**Tabulka 12 – Průměrné hrubé a superhrubé mzdy zaměstnanců (Zdroj: Mzdový řád KNL, a.s.)**

Pracovní pozice	Hrubá mzda/měsíc	Superhrubá mzda/měsíc
Lékař - klinický onkolog	80 000 Kč	107 200 Kč
Lékař - radiační onkolog	83 000 Kč	111 220 Kč
Staniční sestra odd.	33 500 Kč	44 890 Kč
Všeobecná sestra	26 000 Kč	34 840 Kč
Vedoucí RA	35 500 Kč	47 570 Kč
Radiologický asistent	28 590 Kč	38 311 Kč
Radiologický fyzik	62 000 Kč	83 080 Kč
Technik (JOP)	31 500 Kč	42 210 Kč
Recepční	22 330 Kč	29 922 Kč
Sanitář (POP)	18 200 Kč	24 388 Kč
Uklízečka	16 400 Kč	21 976 Kč

Samotné alokaci mzdových nákladů předcházela časová analýza pracovního výkonu, která jasně definuje počet zaměstnanců a čas strávený konkrétními činnostmi, které jsou potřeba k vykonání dané aktivity. Přehled personálního zajištění jednotlivých aktivit, včetně časové spotřeby výkonu konkrétního zaměstnance vstupujícího do procesu radioterapie karcinomu prostaty je znázorněn pro obě radioterapeutické techniky v následujících tabulkách č. 13 a č. 14.

**Tabulka 13 – Časová analýza aktivit u techniky 3D-CRT (Zdroj: Vlastní zpracování)**

Aktivita	Pracovní pozice	Počet zaměstnanců	Doba výkonu (min)
Příjem pacienta	Lékař - klinický onkolog	1	35
	Staniční sestra odd.	1	20
	Všeobecná sestra	1	15
	Recepční	1	7
Příprava RT	Lékař - radiační onkolog	1	35
	Radiologický asistent	1	15
	Radiologický asistent CT	1	10
Plánování RT	Lékař - radiační onkolog	1	90
	Radiologický fyzik	1	120
	Radiologický asistent	1	390
	JOP - verifikace	1	10
	Kontrola druhým RF	1	20
Simulace	Lékař - radiační onkolog	1	25
	Radiologický asistent	1	25
	JOP (Technik) - kontrola	1	15
Ozařování	Lékař - radiační onkolog	1	16
	Radiologický asistent	3	19
	Sanitář (POP)	1	5

Tabulka 14 - Časová analýza aktivit u techniky IMRT (Zdroj: Vlastní zpracování)

Aktivita	Pracovní pozice	Počet zaměstnanců	Doba výkonu (min)
Příjem pacienta	Lékař - klinický onkolog	1	35
	Staniční sestra odd.	1	20
	Všeobecná sestra	1	15
	Recepční	1	10
Příprava RT	Lékař - radiační onkolog	1	35
	Radiologický asistent	1	15
	Radiologický asistent CT	2	5
Plánování RT	Lékař - radiační onkolog	1	80
	Radiologický fyzik	1	80
	Radiologický asistent	1	210
	Kontrola druhým RF	1	45
Simulace	Lékař - radiační onkolog	1	25
	Radiologický asistent	1	25
	JOP (Technik) - kontrola	1	15
Ozařování	Lékař - radiační onkolog	1	20
	Radiologický asistent	3	15
	Sanitář (POP)	1	5

Délka jednotlivých aktivit při léčbě karcinomu prostaty byla měřena přímo na pracovišti radiační onkologie. Pracovní fond radioterapeutického oddělení je pro dvousměnný provoz na lineárních urychlovačích 38,75 hodin a pro zbytek oddělení v jednosměnném režimu činí týdenní pracovní doba 40 hodin.

Se znalostí všech výše zmíněných personálních charakteristik, bylo možné provést výpočet mzdových nákladů zdravotnického personálu na oddělení radiační onkologie. Výchozí byla položka superhrubé mzdy za minutu násobená počtem zaměstnanců a dobou výkonu, který byl přiřazen jednotlivým aktivitám na základě předchozí časové analýzy a po vynásobení počtem pacientů je získán celkový mzdový náklad za konkrétní aktivitu.

Níže uvedené vzorce lze aplikovat pro výpočet mzdových nákladů u jednotlivých aktivit.

#### Příjem pacienta (A1)

$Náklady\ na\ profesi = Počet\ zaměstnanců \times Superhrubá\ mzda\ (min) \times Délka\ příjmu\ pacienta\ (min) \times Počet\ pacientů$

**Vzorec 2 – Mzdové náklady aktivity A1 (Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63])**

#### Příprava RT (A2)

$Náklady\ na\ profesi = Počet\ zaměstnanců \times Superhrubá\ mzda\ (min) \times Délka\ přípravy\ RT\ (min) \times Počet\ pacientů$

**Vzorec 3 - Mzdové náklady aktivity A2 (Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63])**

#### Plánování RT (A3)

$Náklady\ na\ profesi = Počet\ zaměstnanců \times Superhrubá\ mzda\ (min) \times Délka\ výkonu\ (min) \times Počet\ pacientů$

**Vzorec 4 - Mzdové náklady aktivity A3 (Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63])**

#### Simulace (A4)

$Náklady\ na\ profesi = Počet\ zaměstnanců \times Superhrubá\ mzda\ (min) \times Délka\ simulace\ (min) \times Počet\ pacientů$

**Vzorec 5 - Mzdové náklady aktivity A4 (Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63])**

#### Ozařování (A5)

$Náklady\ na\ profesi = Počet\ zaměstnanců \times Superhrubá\ mzda\ (min) \times Délka\ ozařování\ (min) \times Počet\ pacientů$

**Vzorec 6 – Mzdové náklady aktivity A5 (Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63])**

Provedení tohoto kroku je zaznamenáno do nákladové matice, kterou zde představuje pro techniku 3D - CRT tabulka č. 15 a pro techniku IMRT tabulka č. 16.

**Tabulka 15 – Matice mzdových nákladů pro techniku 3D-CRT (Zdroj: Vlastní zpracování)**

Pracovní pozice	Příjem pacienta	Příprava RT	Plánování RT	Simulace	Ozařování
Lékař - klin. onkolog	355 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč
Lékař - rad. onkolog	0 Kč	369 Kč	948 Kč	263 Kč	3 012 Kč
Staniční sestra odd.	85 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč
Všeobecná sestra	49 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč
Vrchní RA	94 Kč	94 Kč	94 Kč	94 Kč	94 Kč
Radiologický asistent	0 Kč	145 Kč	1 415 Kč	91 Kč	8 065 Kč
Radiologický fyzik	0 Kč	0 Kč	1 101 Kč	0 Kč	0 Kč
Technik (JOP)	0 Kč	0 Kč	40 Kč	60 Kč	0 Kč
Recepční	20 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč
Sanitář (POP)	12 Kč	23 Kč	0 Kč	12 Kč	711 Kč
Uklízečka	75 Kč	18 Kč	57 Kč	18 Kč	51 Kč
<b>Celkem za pacienta</b>	<b>690 Kč</b>	<b>648 Kč</b>	<b>3 654 Kč</b>	<b>537 Kč</b>	<b>11 933 Kč</b>
<b>Celkem za diagnózu C61</b>	<b>215 237 Kč</b>	<b>202 144 Kč</b>	<b>1 140 118 Kč</b>	<b>167 409 Kč</b>	<b>3 723 031 Kč</b>

**Tabulka 16 – Matice mzdových nákladů pro techniku IMRT (Zdroj: Vlastní zpracování)**

Pracovní pozice	Příjem pacienta	Příprava RT	Plánování	Simulace	Ozařování
Lékař - klin. onkolog	355 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč
Lékař - rad. onkolog	0 Kč	579 Kč	843 Kč	263 Kč	1 790 Kč
Staniční sestra odd.	85 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč
Všeobecná sestra	49 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč
Vedoucí RA	94 Kč	94 Kč	94 Kč	94 Kč	94 Kč
Radiologický asistent	0 Kč	200 Kč	762 Kč	91 Kč	4 571 Kč
Radiologický fyzik	0 Kč	0 Kč	983 Kč	0 Kč	0 Kč
Technik (JOP)	0 Kč	0 Kč	0 Kč	60 Kč	0 Kč
Recepční	28 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč
Sanitář (POP)	12 Kč	23 Kč	0 Kč	12 Kč	711 Kč
Uklízečka	75 Kč	18 Kč	57 Kč	18 Kč	51 Kč
<b>Celkem za pacienta</b>	<b>698 Kč</b>	<b>913 Kč</b>	<b>2 738 Kč</b>	<b>537 Kč</b>	<b>7 217 Kč</b>
<b>Celkem za diagnózu C61</b>	<b>190 653 Kč</b>	<b>249 238 Kč</b>	<b>747 446 Kč</b>	<b>146 483 Kč</b>	<b>1 970 348 Kč</b>



Zbývá alokovat nákladovou položku **511 Opravy a udržování**, která představuje z velké části náklady na servis lineárních urychlovačů, respektive paušální cenu za servis a údržbu lineárních urychlovačů firmě Elekta Services s. r. o. Celková částka servisu po dobu 7 let činí dle servisní smlouvy z roku 2015 přesně 39 555 999 Kč bez DPH, tedy 5 650 857 Kč ročně. Nejsou zde započítávány servisní pokuty, neboť by zkreslovali výstup kalkulační metody. Samotnou skupinou nepřímých nákladů, které se nesmí opominout, jsou **infrastrukturní náklady** v podobě zkoušek dlouhodobé stability, zkoušek provozní stálosti, denních zkoušek přístrojů, elektrické a plynové revize. Všechny tyto náklady bylo možné rozdělovat mezi jednotlivé aktivity díky kvalifikovaným odhadům radiologických fyziků, kteří se pravidelně podílejí svou prací na jejich výkonu s přihlédnutím k periodickým záznamům o provedených zkouškách a měřeních, které jsou na oddělení vedeny. Tabulka 17 prezentuje procentuální rozdělení infrastrukturních nákladů mezi jednotlivé aktivity dle jejich reálného využití a následně je v tabulkách č. 18 a č. 19 ukázka jejich reálného rozdělení.

**Tabulka 17 - Procentuální rozdělení infrastrukturních nákladů (Zdroj: *Radiační onkologie KNL, a.s.*)**

Nákladová položka	Příjem pacienta	Příprava RT	Plánování RT	Simulace	Ozařování
Opravy a udržování – Servis LU	0%	0%	2%	0%	98%
ZDS/ZPS/Denní ZK	0%	11%	0%	11%	78%

**Tabulka 18 - Přehled infrastrukturních nákladů u techniky 3D-CRT (Zdroj: *Vlastní zpracování*)**

Nákladové položky	Příjem pacienta	Příprava RT	Plánování	Simulace	Ozařování
Opravy a udržování - Servis LU	0 Kč	0 Kč	32 843 Kč	0 Kč	1 609 307 Kč
ZDS/ZPS/Denní ZK	0 Kč	11 488 Kč	0 Kč	11 488 Kč	81 463 Kč

**Tabulka 19 - Přehled infrastrukturních nákladů u techniky IMRT (Zdroj: *Vlastní zpracování*)**

Nákladové položky	Příjem pacienta	Příprava RT	Plánování	Simulace	Ozařování
Opravy a udržování - Servis LU	0 Kč	0 Kč	25 478 Kč	0 Kč	1 248 415 Kč
ZDS/ZPS/Denní ZK	0 Kč	11 679 Kč	0 Kč	11 679 Kč	82 816 Kč

Závěrem je ještě potřeba započíst do kalkulačního modelu náklady sekundárních, respektive **podpůrných aktivit**, které byly nadefinované v předešlé kapitole. Výše nákladů sekundárních aktivit byla stanovena díky vystaveným fakturám a počtu provedených vyšetření, které si vyžádalo oddělení radiační onkologie u specializovaných pracovišť Krajské nemocnice Liberec a.s. za časový úsek dvou let. Byly tak vyčísleny celkové náklady za všechna komplementární vyšetření pro pacienta s karcinomem prostaty a v tabulkách č. 21 a č. 22, jsou již náklady rozpuštěny mezi jednotlivé primární aktivity podle jejich odpovídající spotřeby. Tato spotřeba je pro lepší přehlednost taktéž procentuálně vyjádřena v tabulce č. 20.

**Tabulka 20 - Procentuální rozložení komplementárních vyšetření (Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s.)**

Nákladová položka	Příjem pacienta	Příprava RT	Plánování RT	Simulace	Ozařování
Lokalizační CT	0%	100%	0%	0%	0%
Krevní obraz	10%	10%	0%	0%	80%
Biochemické vyšetření moči	10%	10%	0%	0%	80%

**Tabulka 21 – Přehled nákladů sekundárních aktivit u techniky 3D-CRT (Zdroj: Vlastní zpracování)**

Nákladové položky	Příjem pacienta	Příprava RT	Plánování	Simulace	Ozařování
Lokalizační CT	0 Kč	1 622 400 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč
Krevní obraz	26 770 Kč	26 770 Kč	0 Kč	0 Kč	214 157 Kč
Biochemické vyšetření moči	90 948 Kč	90 948 Kč	0 Kč	0 Kč	727 584 Kč

**Tabulka 22 - Přehled nákladů sekundárních aktivit u IMRT (Zdroj: Vlastní zpracování)**

Nákladové položky	Příjem pacienta	Příprava RT	Plánování	Simulace	Ozařování
Lokalizační CT	0 Kč	1 419 600 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč
Krevní obraz	0 Kč	21 294 Kč	0 Kč	0 Kč	85 176 Kč
Biochemické vyšetření moči	0 Kč	99 645 Kč	0 Kč	0 Kč	398 580 Kč

Všechny alokované nákladové položky byly pomocí vztahových veličin schematicky zaneseny do tzv. matice nákladů a aktivit. Pro konstrukci této matice autor vychází z literární rešerše. Tabulky č. 23 a č. 24 na následující straně jsou ukázkou matic nákladů a aktivit pro jednotlivé radioterapeutické techniky. Sečteny jsou zde náklady přímé, nepřímé, infrastrukturní a náklady podpůrných aktivit. Matice tak podává přehledné informace o nákladové struktuře celého procesu zevní radioterapie karcinomu prostaty a slouží i k zpětné analýze nákladů pro vykonané aktivity.

**Tabulka 23 – Matice nákladů pro techniku 3D-CRT (Zdroj: Vlastní zpracování)**

Nákladové položky	Příjem pacienta	Příprava RT	Plánování	Simulace	Ozařování
Spotřeba materiálu	5 036	30 214	3 021	20 143	42 300
Spotřeba energie	3 433	11 444	8 011	11 444	80 110
Ostatní služby	5 046	13 877	6 308	12 615	88 305
Mzdové náklady	451 035	437 941	1 375 916	403 206	3 958 829
Odpisy	16 119	281 724	743644	281724	1 082 627
Spotřební zdravotnický materiál	129	518	0	518	1424
Opravy a udržování - Servis LU	0	0	32843	0	1 609 307
ZDS/ZPS/Denní ZK	0	11 488	0	11 488	81 463
Lokalizační CT	0	1 622 400	0	0	0
Krevní obraz	26 770	26 770	0	0	214 157
Biochemické vyšetření moči	90 948	90 948	0	0	727 584
ZUM/ZULP - Vaclock	0	1 840 800	0	0	0
<b>Náklady na aktivitu celkem</b>	<b>598 516</b>	<b>4 368 124</b>	<b>2 169 743</b>	<b>741 139</b>	<b>7 886 106</b>

**Tabulka 24 – Matice nákladů pro techniku IMRT (Zdroj: Vlastní zpracování)**

Nákladové položky	Příjem pacienta	Příprava RT	Plánování	Simulace	Ozařování
Spotřeba materiálu	3 669	22 016	2 202	14 677	30 822
Spotřeba energie	2 834	9 446	6 613	9 446	66 125
Ostatní služby	3 057	8 406	3 821	7 642	53 495
Mzdové náklady	187 743	243 418	747 446	143 573	1 791 096
Odpisy	12 291	214 820	567 043	214 820	825 524
Spotřební zdravotnický materiál	1 206	4 823	0	4 823	13 263
Opravy a udržování - Servis LU	0	0	25 478	0	1 248 415
ZDS/ZPS/Denní ZK	0	11 679	0	11 679	82 816
Lokalizační CT	0	1 419 600	0	0	0
Krevní obraz	0	21 294	0	0	85 176
Biochemické vyšetření moči	0	99 645	0	0	398 580
ZUM/ZULP - Vaclock	0	1 610 700	0	0	0
<b>Náklady na aktivitu celkem</b>	<b>210 800</b>	<b>366 5848</b>	<b>1 352 603</b>	<b>406 661</b>	<b>4 595 313</b>

## 5.6.4 Vyčíslení nákladů na jednotku aktivity

V předposlední fázi kalkulačního modelu ABC byl proveden výpočet nákladů na jednotku aktivity. Samotnému výpočtu, však předcházela opětovná definice vhodných vztahových veličin aktivit, které slouží jako měřítko výkonu dané aktivity a jsou uvedené v tabulce č. 25. Důležité, je rovněž pozdější stanovení míry výkonu aktivit, tedy určit přesný počet vztahových veličin, které konkrétní aktivita vytvořila.

Tabulka 25 - Přehled vztahových veličin (Zdroj: Vlastní zpracování)

Aktivita	Vztahová veličina	Jednotka
Příjem pacienta	počet pacientů	pacient
Příprava RT	počet vyšetření	vyšetření
Plánování	počet plánů	pacient
Simulace	počet simulací	simulace
Ozařování	počet frakcí	frakce

Vyčíslení nákladů na jednotku aktivity pro obě radioterapeutické techniky je možné díky níže uvedenému vzorci č. 7 a provádí se z vykalkulovaných celkových nákladů na aktivity, které byly vypočteny v rámci předchozího kroku při konstrukci nákladových matic v tabulkách č. 23 a č. 24.

$$JNA_i = \frac{CNA_i}{MVA_i}$$

Vzorec 7 - Kalkulace jednotkových nákladů (Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63])

Ve vzorci č. 3 jsou celkové náklady aktivit ( $CNA_i$ ) vyděleny mírou výkonu aktivit ( $MVA_i$ ) čímž dostaneme požadovanou jednotku nákladu aktivit (JNA). To znamená, že pro výpočet nákladů na jednotlivé nákladové položky aktivity **Příjem pacienta (A1)** byl využit následující poměrový vzorec.

$$JNA_x = \frac{\text{Celkový náklad A1}}{\text{Počet pacientů}}$$

Vzorec 8 - Kalkulace jednotkových nákladů aktivity A1 (Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63])

Pro vyčíslení nákladů na jednotku aktivity **Příprava RT (A2)** byl použit poměrový vzorec č. 9.

$$JNA_x = \frac{\text{Celkový náklad A2}}{\text{Počet vyšetření}}$$

Vzorec 9 - Kalkulace jednotkových nákladů aktivity A2 (Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63])

Pro vyčíslení nákladů na jednotku aktivity **Plánování (A3)** byl využit poměrový vzorec č. 10.

$$JNA_x = \frac{\text{Celkový náklad A3}}{\text{Počet plánů}}$$

Vzorec 10 - Kalkulace jednotkových nákladů aktivity A3 (Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63])

Pro vyčíslení nákladů na jednotku aktivity **Simulace (A4)** byl použit poměrový vzorec č. 11.

$$JNAx = \frac{\text{Celkový náklad A4}}{\text{Počet simulací}}$$

**Vzorec 11 - Kalkulace jednotkových nákladů aktivity A4 (Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63])**

Pro vyčíslení nákladů na jednotku aktivity **Ozařování (A5)** byl použit poměrový vzorec č. 12.

$$JNAx = \frac{\text{Celkový náklad A5}}{\text{Počet frakcí}}$$

**Vzorec 12 - Kalkulace jednotkových nákladů aktivity A5 (Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63])**

Tabulky č. 26 a č. 27 představují u techniky 3D – CRT a IMRT stanovené hodnoty míry výkonu aktivit a zároveň i výpočet jednotkových nákladů těchto aktivit dle výše popsaných vzorců.

**Tabulka 26 - Jednotkové náklady aktivit 3D - CRT (Zdroj: Vlastní zpracování)**

Aktivita	Náklady na aktivitu (Kč)	Vztahová veličina	Míra výkonu	Jednotkové náklady aktivity (Kč)
Příjem pacienta	598 516 Kč	počet pacientů	312	1 918 Kč
Příprava RT	4 368 124 Kč	počet vyšetření	312	14 000 Kč
Plánování	2 169 743 Kč	počet plánů	624	3 477 Kč
Simulace	741 139 Kč	počet simulací	312	2 375 Kč
RT	7 886 106 Kč	počet frakcí	12168	648 Kč
<b>Celkem</b>				<b>22 419 Kč</b>

**Tabulka 27 - Jednotkové náklady aktivit IMRT (Zdroj: Vlastní zpracování)**

Aktivita	Náklady na aktivitu (Kč)	Vztahová veličina	Míra výkonu	Jednotkové náklady aktivity (Kč)
Příjem pacienta	210 800 Kč	počet pacientů	273	772 Kč
Příprava RT	3 665 848 Kč	počet vyšetření	273	13 428 Kč
Plánování	1 352 602 Kč	počet plánů	410	3 299 Kč
Simulace	406 661 Kč	počet simulací	273	1 490 Kč
RT	4 595 313 Kč	počet frakcí	7644	601 Kč
<b>Celkem</b>				<b>19 590 Kč</b>

## 5.6.5 Přiřazení nákladů aktivit nákladovým objektům

Pro účely pozdější komparace radioterapeutických technik v této diplomové práci byla za nákladový objekt zvolena radioterapeutická ozařovací technika. Jedním nákladovým objektem je tedy starší radioterapeutická technika 3D-CRT používaná v roce 2016 a jako druhý nákladový objekt byla zvolena radioterapeutická technika IMRT v modulaci VMAT, která se používá od roku 2017 do dnes. Finálním krokem při aplikaci kalkulačního modelu ABC bylo určení celkových nákladů u obou zmíněných ozařovacích technik nejdříve pro jednoho pacienta s lokalizovaným karcinomem prostaty a následně pro celou skupinu pacientů s potvrzenou diagnózou C61 léčených radioterapeutickou léčbou na oddělení radiační onkologie, která v roce 2016 dosahovala počtu 312 pacientů a roce 2017 potom 273 pacientů. Výsledkem kalkulačního modelu ABC jsou kalkulační listy prezentované prostřednictvím tabulek č. 28 a č. 29.

Pro výpočet celkových nákladů na aktivitu z hlediska nákladového objektu bylo potřeba vzorce č. 13.

$$\text{Celkový náklad na aktivitu } x = NJAx \times MVAx$$

**Vzorec 13 – Celkové náklady aktivity (Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63])**

Vynásobením jednotkového nákladu aktivity mírou výkonu aktivity získáme celkový náklad na aktivitu a po jejich sečtení je známa částka reálně vynaložených nákladů na kompletní radioterapeutickou léčbu jednoho pacienta léčeného radioterapeutickou technikou 3D – CRT v tabulce č. 28 a na jednoho pacienta léčeného technikou radioterapie s modulovanou intenzitou IMRT v tabulce č. 29.

**Tabulka 28 - Kalkulační list 3D - CRT - 1 pacient (Zdroj: Vlastní zpracování)**

Aktivita	Jednotkové náklady aktivity (Kč)	Vztahová veličina	Míra výkonu	Celkové náklady (Kč)
Příjem pacienta	1 918 Kč	počet pacientů	1	1 918 Kč
Příprava RT	14 000 Kč	počet vyšetření	1	14 000 Kč
Plánování	3 477 Kč	počet plánů	2	6 954 Kč
Simulace	2 375 Kč	počet simulací	2	4 751 Kč
RT	648 Kč	ozařovací série	39	25 276 Kč
<b>Celkem</b>				<b>52 900 Kč</b>

Tabulka 29 - Kalkulační list IMRT - 1 pacient (Zdroj: Vlastní zpracování)

Aktivita	Jednotkové náklady aktivity (Kč)	Vztahová veličina	Míra výkonu	Celkové náklady (Kč)
Příjem pacienta	772 Kč	počet pacientů	1	772 Kč
Příprava RT	13 428 Kč	počet vyšetření	1	13 428 Kč
Plánování	3 299 Kč	počet plánů	1,5	4 949 Kč
Simulace	1 490 Kč	počet simulací	1	1 490 Kč
RT	601 Kč	počet frakcí	28	16 833 Kč
<b>Celkem</b>				<b>37 471 Kč</b>

Tabulka č. 30 ukazuje celkové náklady při léčbě radioterapeutickou technikou 3D – CRT za vzorek 312 pacientů a tabulka č. 31 ukazuje celkové náklady za vzorek 273 pacientů léčených technikou IMRT.

Tabulka 30 - Kalkulační list 3D - CRT - 312 pacientů (Zdroj: Vlastní zpracování)

Aktivita	Jednotkové náklady aktivity (Kč)	Vztahová veličina	Míra výkonu	Celkové náklady (Kč)
Příjem pacienta	1 918 Kč	počet pacientů	312	598 516 Kč
Příprava RT	14 000 Kč	počet vyšetření	312	4 368 124 Kč
Plánování	3 477 Kč	počet plánů	624	2 169 743 Kč
Simulace	2 375 Kč	počet simulací	624	1 482 277 Kč
RT	648 Kč	ozařovací série	12168	7 886 106 Kč
<b>Celkem</b>				<b>16 504 766 Kč</b>

Tabulka 31 - Kalkulační list IMRT - 273 pacientů (Zdroj: Vlastní zpracování)

Aktivita	Jednotkové náklady aktivity (Kč)	Vztahová veličina	Míra výkonu	Celkové náklady (Kč)
Příjem pacienta	772 Kč	počet pacientů	273	210 800 Kč
Příprava RT	13 428 Kč	počet vyšetření	273	3 665 848 Kč
Plánování	3 299 Kč	počet plánů	409,5	1 350 953 Kč
Simulace	1 490 Kč	počet simulací	273	406 661 Kč
RT	601 Kč	počet frakcí	7644	4 595 313 Kč
<b>Celkem</b>				<b>10 229 575 Kč</b>

## 5.7 Srovnání plateb pojišťoven se skutečnými náklady

Dalším cílem, jež vychází ze zadání diplomové práce bylo vykalkulované hodnoty skutečných nákladů radioterapeutické léčby karcinomu prostaty porovnat s úhradami od zdravotních pojišťoven za provedené výkony ve sledovaném období dvou let, tedy pro ozařovací techniku 3D-CRT v roce 2016 a potom pro IMRT v roce 2017. Z nemocničního informačního systému Medicalc byla vyselektována data v podobě souhrnu vykázaných kódů zdravotním pojišťovnám za uvedené období a následně byly získány přesné informace o došlých platbách za provedené výkony u skupiny pacientů s diagnózu C61.

S použitím ozařovací techniky 3D-CRT v roce 2016 byla hodnota jednoho bodu 1,03 Kč a o rok později, kdy se pro ozařování KP používala už technika IMRT byla hodnota jednoho bodu zvýšena na 1,12 Kč. V tabulkách č. 32 a č. 33 jsou znázorněny celkové úhrady za léčbu KP při použití jednotlivých radioterapeutických ozařovacích technik. Úhrady za provedené výkony odpovídají počtu vykázaných bodů.

Tabulka 32 – Úhrady za provedené výkony pro 3D-CRT v roce 2016 (Zdroj: *Radiační onkologie KNL, a.s.*)

Kód	Množství	Body	Body v Kč	Název výkonu
9511	346	12 802	13 186	Minimální kontakt lékaře s pacientem
9543	1 511	0	0	Signální výkon klinického vyšetření
43021	95	66 687	68 688	Komplexní vyšetření radiačním onkologem
43022	142	50 410	51 922	Cílené vyšetření radiačním onkologem
43023	1 274	226 717	233 519	Kontrolní vyšetření radiačním onkologem
43219	2	2 485	2 560	Plánování radioterapie CO 60 nebo urychlovač
43315	38	27 170	27 985	Radioterapie lineárním urychlovačem
43619	2	258	266	Verifikační snímek na ozařovači
43621	548	1 065 810	1 097 784	Lokalizace cílového objemu, nebo simulace
43629	254	183 728	189 240	Výroba individuálních fixačních pomůcek
43631	247	946 448	974 841	Plánování radioterapie technikou 3D-CRT
43633	69 032	60 705 458	62 526 622	Radioterapie pomocí urychlovače částic
43641	6 354	3 306 600	3 405 798	Radioterapie řízená obrazem (IGRT)
<b>CELKEM</b>	<b>79 845</b>	<b>66 594 573</b>	<b>68 592 410</b>	<b>Součet za skupinu</b>



Tabulka 33 – Úhrady za provedené výkony pro IMRT v roce 2017 (Zdroj: *Radiační onkologie KNL, a.s.*)

Kód	Množství	Body	Body v Kč	Název výkonu
9511	267	9 879	11 061	Minimální kontakt lékaře s pacientem
9543	1 177	0	0	Signální výkon klinického vyšetření
43021	195	136 695	153 035	Komplexní vyšetření radiačním onkologem
43022	196	69 579	77 897	Cílené vyšetření radiačním onkologem
43023	786	139 122	155 753	Kontrolní vyšetření radiačním onkologem
43219	0	0	0	Plánování radioterapie CO 60 nebo urychlovačem
43315	0	0	0	Radioterapie lineárním urychlovačem
43619	0	0	0	Verifikační snímek na ozařovači
43621	223	433 512	485 358	Lokalizace cílového objemu, nebo simulace
43629	142	102 382	114 668	Výroba individuálních fixačních pomůcek
43631	219	838 769	939 077	Plánování radioterapie technikou IMRT
43633	53 000	46 587 000	52 149 672	Radioterapie pomocí urychlovače částic
43641	3 604	1 874 080	2 097 940	Radioterapie řízená obrazem (IGRT)
<b>CELKEM</b>	<b>59 809</b>	<b>50 191 018</b>	<b>56 184 461</b>	<b>Součet za skupinu</b>

Pokud dojde ke srovnání zjištěných celkových úhrad od zdravotních pojišťoven za provedené výkony se skutečnými náklady, které autor za tyto výkony vykalkuloval pomocí metody ABC. Z tabulky č. 34 je zřejmé, že oddělení radiační onkologie generovalo v roce 2016 za léčbu 312 pacientů s karcinomem prostaty technikou 3D – CRT zisk ve výši 52 087 645 Kč. Další tabulka č. 35 ukazuje zisk ve výši 45 954 886 Kč za rok 2017, kdy bylo léčeno celkem 273 pacientů s karcinomem prostaty technikou IMRT. Tyto částky představují významnou část z celkových výnosů Krajské nemocnice Liberec a.s. Výnosy jsou v rámci zdravotnické organizace jako celku samozřejmě přerozdělovány, nicméně zůstává k zamyšlení, zda by takto pokrivené financování radioterapeutické péče obecně nemělo být podkladem k diskuzi a upozornění na případné disproporce úhrad této diagnózy v systému DRG restart.

Tabulka 34 - Porovnání skutečných nákladů 3D – CRT s úhradami od ZP (Zdroj: *Vlastní zpracování*)

Celkové náklady 3D - CRT	16 504 766 Kč
Úhrada od ZP celkem	68 592 410 Kč
<b>Výsledek</b>	<b>52 087 645 Kč</b>

Tabulka 35 - Porovnání skutečných nákladů IMRT s úhradami od ZP (Zdroj: *Vlastní zpracování*)

Celkové náklady IMRT	10 229 575 Kč
Úhrada od ZP celkem	56 184 461 Kč
<b>Výsledek</b>	<b>45 954 886 Kč</b>

## 5.8 Komparace radioterapeutických technik v KNL

Postup radioterapeutické léčby karcinomu prostaty byl již popsán v kapitole č. 5.6.2 v rámci definice struktury jednotlivých aktivit, ze kterých se celý léčebný proces skládá. Z předešlého popisu je možné konstatovat, že průběh radioterapie je u obou radioterapeutických technik identický pro personál i pro pacienta a mění v momentě, kdy radiační onkolog provede dávkovou preskripci a stanoví ve spolupráci s radiologickým fyzikem vhodný frakcionační režim včetně volby dopředného plánování pro techniku 3D-CRT anebo inverzního plánování pro techniku IMRT. Tím je ovlivněna časová spotřeba všech navazujících činností v rámci léčebného procesu, která nepochybně ovlivňuje výši mzdových nákladů, jež jsou největší nákladovou položkou oddělení radiační onkologie.

Hlavní rozdíly mezi technikou 3D-CRT a IMRT jsou přehledně vypsány dále v tabulkách č. 36, 37, 38, 44 a 39.

**Tabulka 36 - Výchozí situace na oddělení Radiační onkologie (Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s.)**

Ukazatelé	3D-CRT	IMRT
Rok	2016	2017
Pracovních dní	252	250
Celkový počet pacientů	1211	1407
Počet pacientů s C61	312	273
Riziko nádoru	nízké, střední, vysoké	nízké, střední, vysoké

**Tabulka 37 - Technické rozdíly u ozařovacích technik (Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s.)**

Parametry	3D-CRT	IMRT
Energie fotonového záření na LU	15 MV	6 MV
Technické vybavení	RTG SIM, CT, LU, IGRT	RTG SIM, CT, LU, IGRT
Frakcionační režim	normofrakcionace	HART
Boost	sekvenční	simultnání integrovaný
Počet frakcí	39	28
Jednotlivá dávka	2	2,5
Celková dávka	78	70
Počet ozařovacích segmentů	7	10
Technika plánování RT	dopředné (forward planning)	inverzní (inverse planning)
Pohyb MLC lamel	step and shoot	sliding windows
Rotační technika	NE	VMAT
IGRT	XVI 1 x týdně	XVI denně
CT scan	oblast páve/ řez 3 mm	oblast páve/ řez 3 mm
Poloha pacienta	supinační s fixací pánve	supinační s fixací pánve
Fixační pomůcka	Vaclock	Vaclock
Personální zabezpečení	1 KO, 3 RO, 2 RF, 6 RA, 1 JOP, 1 POP, 1 REF	1 KO, 3 RO, 2 RF, 6 RA, 1 JOP, 1 POP, 1 REF

**Tabulka 38 - Naměřené hodnoty délky časů jednotlivých aktivit (Zdroj: Vlastní zpracování)**

	<b>3D-CRT</b>	<b>IMRT</b>
Celkový čas Aktivity 1 (min)	77	80
Celkový čas Aktivity 2 (min)	95	95
Celkový čas Aktivity 3 (min)	630	415
Celkový čas Aktivity 4 (min)	65	65
Celkový čas Aktivity 5 (min)	1282	790
Ozařovací čas na frakci (min)	19	15

**Tabulka 39 - Porovnání celkových nákladů (Zdroj: Vlastní zpracování)**

Celkové náklady		
<b>Počet pacientů s C61</b>	<b>3D-CRT</b>	<b>IMRT</b>
1	52 900 Kč	37 471 Kč
312	16 504 766 Kč	-
273	-	10 229 575 Kč

Z vybraných ukazatelů, které ovlivňují výslednou cenu jednotlivých radioterapeutických technik, je nejvýznamnější rozdíl spatřován v použitých frakcionačních režimech včetně dávkové distribuce a délky časů potřebných k výkonu konkrétních aktivit. Nicméně musíme přihlédnout k počtu ozařených pacientů, který je u jednotlivých ozařovacích technik odlišný. Nositelem největší časové spotřeby tudíž i velkého procenta mzdových nákladů je bezpochyby Aktivita 5 – Ozařování a Aktivita 3 – Plánování. Na obou těchto aktivitách se podílejí z velké části radiologičtí asistenti, jejichž čas strávený na určitém výkonu je předem vymezen. Může se ale vyskytnout celá řada nepredikovatelných faktorů, které zásadně ovlivňují proveditelnost daného výkonu, a časová spotřeba výrazně stoupá. Míněny jsou chyby vedoucí ke vzniku radiologické události, kterou je nutné eliminovat a neprodleně řešit. Jedná se především o problémy se softwarovým a hardwarovým vybavením lineárních urychlovačů. Další jsou potom chybné parametry ozařovače a stolu, chyba přídavných zařízení pro IGRT, záměna pacienta či ozařovacího plánu, špatná lokalizace ze strany personálu, opětovné značení pacienta, náročné korekce nepřesností polohování pacienta. Ze strany pacienta se jedná často o neadekvátní náplň močového měchýře a konečníku, která je nutností pro správné ozáření a nežádoucí pohyby při ozařování. Dále problémy v komunikaci a různé stresové situace. V případě velkého úbytku váhy či zhoršení klinického stavu pacienta s nutností pauzy během ozařovací série je na místě resimulace popřípadě zhotovení nového ozařovacího plánu včetně lokalizačního CT. Podíl jednotlivých faktorů není na pracovišti znám, ale jejich výskyt je rutinní záležitostí.

Za účelem zjištění, jak časová spotřeba dvou nejnáročnějších aktivit ovlivní náklady na celou radioterapii, byla provedena analýza citlivosti, kdy jako vstupní parametr byl

měněn čas potřebný k jedné frakci pacienta na lineárním urychlovači a tvorbě jednoho kompletního ozařovacího plánu radiologickým asistentem při plánování radioterapie. Výsledky analýzy jsou znázorněny v tabulkách č. 40, 41, 42, 43.

**Tabulka 40 – Citlivostní analýza - ozařování technikou 3D-CRT**  
(Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s. - Vlastní zpracování)

Délka jedné frakce (min)	Za ozařovací sérii 1 pacienta (Kč)	Za ozáření 312 pacientů (Kč)	Rozdíl oproti průměrnému času 19 minut (Kč)	Status
15	6 367	1 986 492	529 731	Levnější
16	6 791	2 118 924	397 298	Levnější
17	7 216	2 251 357	264 866	Levnější
18	7 640	2 383 790	132 433	Levnější
<b>19</b>	<b>8 065</b>	<b>2 516 223</b>	<b>0</b>	-
20	8 489	2 648 656	132 433	Dražší
21	8 914	2 781 088	264 866	Dražší
22	9 338	2 913 521	397 298	Dražší
23	9 763	3 045 954	529 731	Dražší
24	10 187	3 178 387	662 164	Dražší

**Tabulka 41 - Citlivostní analýza - ozařování technikou IMRT**  
(Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s. - Vlastní zpracování)

Délka jedné frakce (min)	Za ozařovací sérii 1 pacienta (Kč)	Za ozáření 273 pacientů (Kč)	Rozdíl oproti průměrnému času 15 minut (Kč)	Status
12	3 657	998 339	249 585	Levnější
13	3 962	1 081 534	166 390	Levnější
14	4 266	1 164 729	83 195	Levnější
<b>15</b>	<b>4 571</b>	<b>1 247 924</b>	<b>0</b>	-
16	4 876	1 331 119	83 195	Dražší
17	5 181	1 414 314	166 390	Dražší
18	5 485	1 497 509	249 585	Dražší
19	5 790	1 580 704	332 780	Dražší
20	6 095	1 663 899	415 975	Dražší
21	6 400	1 747 094	499 170	Dražší

**Tabulka 42 - Citlivostní analýza - plánování technikou 3D-CRT**  
(Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s. - Vlastní zpracování)

Délka tvorby RT plánu (min)	Náklady na tvorbu RT plánu pro 1 pacienta (Kč)	Náklady na tvorbu RT plánu pro 312 pacientů (Kč)	Rozdíl oproti průměrnému času 390 min (Kč)	Status
350	1 270	396 166	45 276	Levnější
360	1 306	407 485	33 957	Levnější
370	1 342	418 805	22 638	Levnější
380	1 379	430 124	11 319	Levnější
<b>390</b>	<b>1 415</b>	<b>441 443</b>	<b>0</b>	-
400	1 451	452 762	11 319	Dražší
410	1 487	464 081	22 638	Dražší
420	1 524	475 400	33 957	Dražší
430	1 560	486 719	45 276	Dražší
440	1 596	498 038	56 595	Dražší

**Tabulka 43 - Citlivostní analýza - plánování technikou IMRT**  
(Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s. - Vlastní zpracování)

Délka tvorby RT plánu (min)	Náklady na tvorbu RT plánu pro 1 pacienta (Kč)	Náklady na tvorbu RT plánu pro 273 pacientů (Kč)	Rozdíl oproti průměrnému času 210 min (Kč)	Status
200	726	198 083	9 904	Levnější
205	744	203 035	4 952	Levnější
<b>210</b>	<b>762</b>	<b>207 987</b>	<b>0</b>	-
215	780	212 939	4 952	Dražší
220	798	217 892	9 904	Dražší
225	816	222 844	14 856	Dražší
230	834	227 796	19 808	Dražší

Pokud by došlo k prodloužení či zkrácení všech ozařovacích frakcí o pouhou jednu minutu byly by mzdové náklady při Aktivitě 5 – Ozařování vyšší/nížší o 424 Kč což ve výsledku představuje přírůstek/pokles nákladů o 132 433 Kč za cílovou skupinu 312 pacientů léčených v roce 2016 technikou 3D-CRT. S použitím techniky IMRT v roce 2017 by toto prodloužení či zkrácení ozařovacího času znamenalo 305 Kč za jednu ozařovací sérii, což ve výsledku představuje léčbu pro skupinu 273 pacientů s karcinomem prostaty o 83 195 Kč nákladnější či lacinější. Aktivita 3 – Plánování je na tom při regulaci časové spotřeby výkonu podobně a zjištěný přírůstek či úbytek nákladů zobrazují tabulky č. 42 a 43. Tyto hodnoty jsou samozřejmě závislé na počtu zdravotnického personálu a na počtu léčených pacientů za sledované období.

Dalším důležitým a obecně uznávaným faktorem pro komparaci jednotlivých radioterapeutických technik je incidence akutní a chronické toxicity léčby. Akutní toxicita léčby se může vyskytnout již v průběhu radioterapeutického ozařování nebo až po skončení léčby v tzv. po léčebném sledování pacienta (follow up), kdy první kontrola po skončené radioterapii se uskuteční obvykle za 1 měsíc, pokud lékař neurčí jinak. Pacient je ke kontrolám zván do dispenzární ambulance Komplexního onkologického centra, nebo k ošetřujícímu urologovi a je mu v prvních dvou letech soustavně kontrolován klinický stav a hodnota PSA.

**Tabulka 44 - Odlišnosti klinického zhodnocení techniky 3D-CRT a IMRT**  
(Zdroj: *Radiační onkologie KNL, a.s. - Vlastní zpracování*)

	<b>3D-CRT</b>	<b>IMRT-VMAT</b>
Kritické orgány (OaR)	rektum, močový měchýř, močová trubice, bulbus penisu, hlavice femurů	rektum, močový měchýř, močová trubice, bulbus penisu, hlavice femurů
Předpoklad komplikací v průběhu RT	časté močení, inkontinence, průjmy, nadýmání, kožní reakce	časté močení, inkontinence, průjmy, nadýmání, kožní reakce
Výskyt akutní GI toxicity	25	17
Výskyt akutní GU toxicity	10	6
Výskyt akutní kožní reakce	3	5

V roce 2016 z celkových 312 pacientů léčených technikou 3D-CRT se vyskytlo 25 případů s akutní gastrointestinální toxicitou. Akutní genitourinární toxicita byla pozorována u 10 pacientů a akutní kožní reakce pouze u 3 pacientů. V případě léčby technikou IMRT v roce 2017 se projevila akutní gastrointestinální toxicita u 17 pacientů, akutní genitourinární toxicita u 6 pacientů a akutní kožní reakce u 5 pacientů z celkového počtu 273 pacientů. Pozdní chronickou toxicitu léčby hodnotí radiační onkolog dle škály RTOG s odstupem minimálně 2 let od skončení radioterapie a kontroly probíhají v šesti měsíčních cyklech ve spolupráci s ošetřujícím urologickým pracovištěm.

Vzhledem k nedávné realizaci výpočtů pro rok 2016 a 2017 zatím není možné hodnotit pozdní toxicitu léčby, se kterou je spojována i nákladová efektivita léčby. Pro účely porovnání incidence pozdní toxicity léčby se autor přiklání k výsledkům studií z literární rešerše. Z literární rešerše autor zjistil, že IMRT jakožto pokročilejší technika radioterapie umožňuje dávkovou eskalaci a úpravu frakcionačních režimů za současného šetření kritických orgánů, což vykazuje u karcinomu prostaty snížené riziko incidence chronické gastrointestinální toxicity. Redukce pozdní GI toxicity se projevuje snížením později vynaložených nákladů na léčbu komplikací spojených s touto toxicitou. Jelikož je močový měchýř méně radiosenzitivním orgánem byla incidence

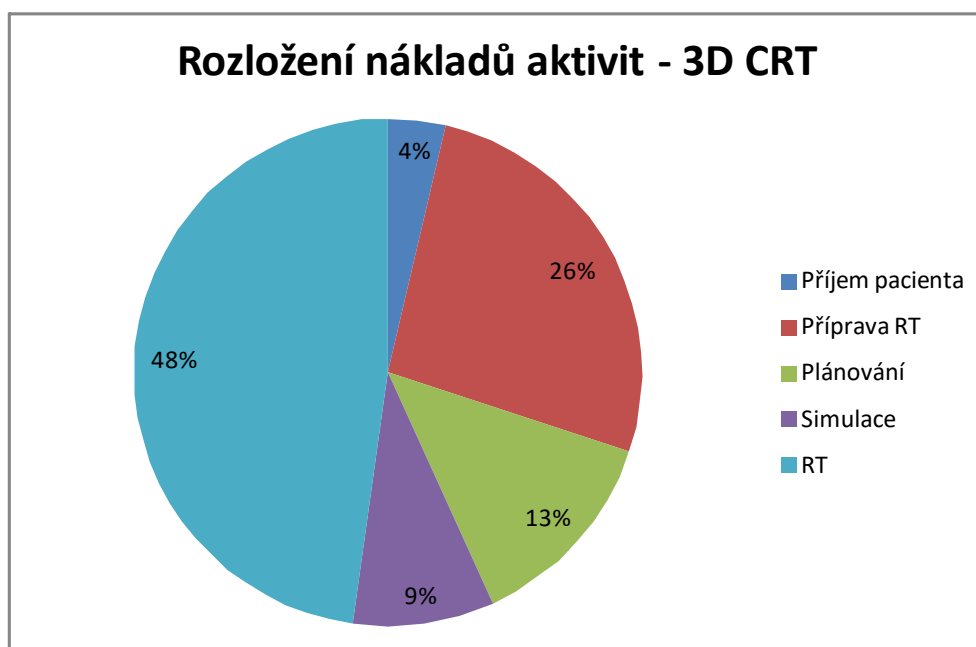
genitourinární toxicity v porovnání s technikou 3D-CRT srovnatelná. Rovněž jsou obě modalities srovnatelné v celkovém přežití pacientů. Dále je evidentní, že s použitím techniky IMRT dochází zkracování celkové doby léčby a tím i k úspoře mzdových nákladů. Na druhé straně si technika IMRT žádá sofistikovanější dozimetrické vybavení a větší technickou podporu pro zajištění kvality radioterapie. Dle nákladové analýzy je technika IMRT ve srovnání s technikou 3D-CRT nákladově efektivnější a zvyšuje kvalitu života pacientů s lokalizovaným karcinomem nízkého a středního rizika.

## 6 Výsledky

V této kapitole jsou tabelárně a graficky shrnuty výsledky praktické části diplomové práce. Kalkulace nákladů byla provedena kalkulační metodou ABC. Vykalkulované skutečné náklady za ozařování pacienta s karcinomem prostaty radioterapeutickou technikou 3D – CRT a technikou radioterapie s modulovanou intenzitou IMRT jsou znázorněny ve formě kalkulačních listů (Tabulka 45 a Tabulka 46) a grafů (Obrázek 5 a Obrázek 6), které prezentují procentuální rozložení celkových nákladů dle jednotlivých aktivit.

Tabulka 45 - Kalkulační list 3D - CRT - 1 pacient (Zdroj: Vlastní zpracování)

Aktivita	Jednotkové náklady aktivity (Kč)	Vztahová veličina	Míra výkonu	Celkové náklady (Kč)
Příjem pacienta	1 918 Kč	počet pacientů	1	1 918 Kč
Příprava RT	14 000 Kč	počet vyšetření	1	14 000 Kč
Plánování	3 477 Kč	počet plánů	2	6 954 Kč
Simulace	2 375 Kč	počet simulací	2	4 751 Kč
RT	648 Kč	ozařovací série	39	25 276 Kč
<b>Celkem</b>				<b>52 900 Kč</b>

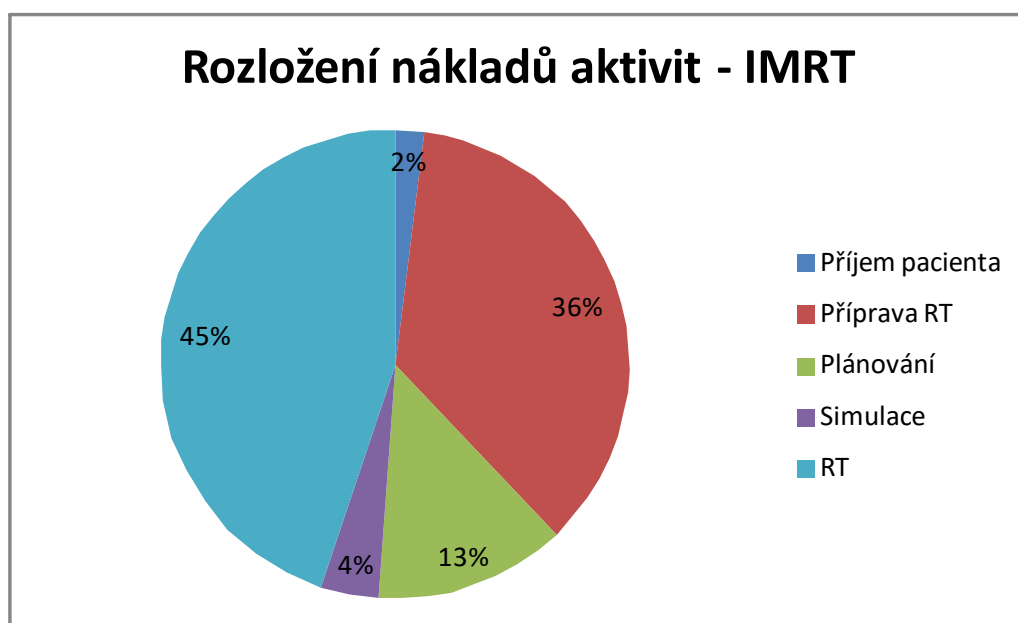


Obrázek 5 - Rozložení nákladů jednotlivých aktivit 3D - CRT (Zdroj: Vlastní zpracování)



Tabulka 46 - Kalkulační list IMRT - 1 pacient (Zdroj: Vlastní zpracování)

Aktivita	Jednotkové náklady aktivity (Kč)	Vztahová veličina	Míra výkonu	Celkové náklady (Kč)
Příjem pacienta	772 Kč	počet pacientů	1	772 Kč
Příprava RT	13 428 Kč	počet vyšetření	1	13 428 Kč
Plánování	3 299 Kč	počet plánů	1,5	4 949 Kč
Simulace	1 490 Kč	počet simulací	1	1 490 Kč
RT	601 Kč	počet frakcí	28	16 833 Kč
<b>Celkem</b>				<b>37 471 Kč</b>



Obrázek 6 - Rozložení nákladů jednotlivých aktivit IMRT (Zdroj: Vlastní zpracování)

Pro přehlednější porovnání celkových nákladů vzniklých při léčbě 1 pacienta s karcinomem prostaty ozařovaného jednotlivými ozařovacími technikami v KNL je zde vytvořena tabulka č. 47, která zobrazuje rozdělení nákladů a dokladuje, že pokročilejší technika IMRT je díky úspoře času levnější o 15 429 Kč.

**Tabulka 47 - Komparace nákladů aktivit 3D - CRT a IMRT (Zdroj: Vlastní zpracování)**

Aktivita	3D-CRT	IMRT	Rozdíl
Příjem pacienta	1 918 Kč	772 Kč	1 146 Kč
Příprava RT	14 000 Kč	13 428 Kč	572 Kč
Plánování	6 954 Kč	4 949 Kč	2 006 Kč
Simulace	4 751 Kč	1 490 Kč	3 261 Kč
RT	25 276 Kč	16 833 Kč	8 443 Kč
<b>Náklady celkem</b>	<b>52 900 Kč</b>	<b>37 471 Kč</b>	<b>15 429 Kč</b>

**Tabulka 48 - Porovnání celkových nákladů (Zdroj: Vlastní zpracování)**

Celkové náklady		
Počet pacientů s C61	3D-CRT	IMRT-VMAT
1	52 900 Kč	37 471 Kč
312	16 504 766 Kč	-
273	-	10 229 575 Kč

Pro splnění dalšího cíle diplomové práce byla záměrně porovnána skutečná nákladovost obou radioterapeutických technik při léčbě karcinomu prostaty s úhradami od zdravotních pojišťoven za provedené výkony. Úhrady za provedené výkony odpovídají počtu vykázaných bodů a jsou zaneseny do tabulky č. 49 a 50, které zároveň demonstřují hodnoty výnosů oddělení radiační onkologie za léčbu pacientů s karcinomem prostaty ve sledovaném období pro jednotlivé radioterapeutické techniky.

**Tabulka 49 – Porovnání skutečných nákladů 3D – CRT s úhradami od ZP (Zdroj: Vlastní zpracování)**

Celkové náklady RT	16 504 766 Kč
Úhrada od ZP celkem	68 592 410 Kč
<b>Výsledek</b>	<b>52 087 645 Kč</b>

**Tabulka 50 - Porovnání skutečných nákladů IMRT s úhradami od ZP (Zdroj: Vlastní zpracování)**

Celkové náklady	10 229 575 Kč
Úhrada od ZP celkem	56 184 461 Kč
<b>Výsledek</b>	<b>45 954 886 Kč</b>

Komparace radioterapeutických technik vychází ze skutečností, které nastali na pracovišti ve sledovaném období a jsou vypsané v tabulce č. 51.

**Tabulka 51 – Výchozí situace na oddělení Radiační onkologie**  
(Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s. - Vlastní zpracování)

	<b>3D-CRT</b>	<b>IMRT-VMAT</b>
Rok	2016	2017
Pracovních dní	252	250
Celkový počet pacientů	1211	1407
Počet pacientů s C61	312	273
Riziko nádoru	nízké, střední, vysoké	nízké, střední, vysoké

Následující tabulky č. 52 a 53 slouží k naplnění dílčího cíle, kterým bylo provést neekonomické porovnání radioterapeutických léčebných modalit v KNL pomocí předem vybraných ukazatelů. Pro konkrétnost porovnání autor vychází z literární rešerše, která byla zaměřena na nákladovou efektivitu.

**Tabulka 52 - Technické rozdíly u ozařovacích technik 3D-CRT a IMRT**  
(Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s. - Vlastní zpracování)

	<b>3D-CRT</b>	<b>IMRT-VMAT</b>
Energie fotonového záření na LU	15 MV	6 MV
Technické vybavení	RTG SIM, CT, LU, IGRT	RTG SIM, CT, LU, IGRT
Frakcionační režim	normofrakcionace	HART
Boost	sekvenční	simultnání integrovaný
Počet frakcí	39	28
Jednotlivá dávka	2	2,5
Celková dávka	78	70
Počet ozařovacích segmentů	7	10
Technika plánování RT	dopředné (forward planning)	inverzní (inverse planning)
Pohyb MLC lamel	step and shoot	sliding windows
Rotační technika	NE	VMAT
IGRT	XVI 1 krát týdně	XVI denně
CT scan	oblast páve/ řez 3 mm	oblast páve/ řez 3 mm
Poloha pacienta	supinační s fixací pánve	supinační s fixací pánve
Fixační pomůcka	Vaclock	Vaclock
Personální zabezpečení	1 KO, 3 RO, 2 RF, 6 RA, 1 JOP, 1 POP, 1 REF	1 KO, 3 RO, 2 RF, 6 RA, 1 JOP, 1 POP, 1 REF

**Tabulka 53 - klinického zhodnocení techniky 3D-CRT a IMRT**  
*(Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s. - Vlastní zpracování)*

	<b>3D-CRT</b>	<b>IMRT-VMAT</b>
Kritické orgány (OaR)	rektum, močový měchýř, močová trubice, bulbus penisu, hlavice femurů	rektum, močový měchýř, močová trubice, bulbus penisu, hlavice femurů
Předpoklad komplikací v průběhu RT	časté močení, inkontinence, průjmy, nadýmání, kožní reakce	časté močení, inkontinence, průjmy, nadýmání, kožní reakce
Výskyt akutní GI toxicity	25	17
Výskyt akutní GU toxicity	10	6
Výskyt akutní kožní reakce	3	5

## 7 Diskuse

Přestože je díky prevenci a včasné diagnostice pozorována dlouhodobě rostoucí incidence zhoubných i nezhooubných nádorů prostaty se stabilní nízkou úmrtností, představuje onkologická léčba značnou část spotřeby veřejných financí vzhledem k masivním počtům nově nemocných. Rostoucí incidenci karcinomu prostaty můžeme spojovat především se zavedením screeningových vyšetření, včasnou diagnostikou a také se stárnutím populace, neboť vysoký věk patří mimo jiné mezi hlavní rizikové faktory ve výskytu onkologického onemocnění. Nicméně se zlepšující se kvalitou diagnostických i léčebně terapeutických metod rostou neodmyslitelně i celkové výdaje na zdravotní péči, se kterými se v současnosti potýká řada vyspělých zemí. Citelný nárůst nákladů se projevuje i v oboru radiační onkologie, kde je zevní radioterapie fotonovým svazkem vnímána jako velmi drahá modalita onkologické léčby. Je to zřejmě zapříčiněno vysokými počátečními investicemi, přísnými provozními požadavky ve smyslu zajištění kvality ozáření nemocného pacienta a velkým objemem nepřímých nákladů, které jsou spojeny s jednotlivými činnostmi v rámci celého radioterapeutického procesu. Díky intenzivnímu technickému pokroku došlo i v oboru radiační onkologie za poslední dekády k výraznému posunu v přesnosti a šetrnosti ozáření cílového objemu, se zachováním přijatelné toxicity léčby s minimálním poškozením okolních kritických orgánů. To je důvodem, proč je radioterapeutické ozáření na lineárním urychlovači v současné době ekvivalentní k léčbě chirurgické a pacienti s lokalizovaným karcinomem prostaty jsou spíše indikováni k zevní radioterapii pro neinvazivitu přístupu a zároveň vysoce kurativní léčebný efekt. Otázkou ale zůstává, zda je dlouhodobě udržitelné a nákladově efektivní poskytovat onkologicky nemocným pacientům radioterapeutickou léčbu s využitím nejmodernějších dostupných metod a principů s neustále stoupajícími náklady na zdravotní péči. Vysoké náklady na radioterapeutickou léčbu způsobené technickým pokrokem si žádají i kontinuální ekonomické hodnocení s odpovídající kvalitou zpracování, proto je zapotřebí důkladný sběr nákladových dat a přesných výpočtů celkových nákladů na konkrétní léčbu. Diplomová práce se tak zabývá neustále diskutovaným tématem stoupajících nákladů radioterapeutické léčby, které není jednoduché rozklíčovat zejména v rozsáhlých zdravotnických organizacích, jakými jsou i komplexní onkologická centra na území České republiky kvůli vzájemné provázanosti procesů a velké části nepřímých nákladů.

Ve spolupráci s oddělením radiační onkologie, která je součástí Komplexního onkologického centra v Krajské nemocnici Liberec a.s. byly definovány požadavky na zpracování diplomové práce. Byly vybrány dvě ozařovací techniky zevní fotonové radioterapie užívané v klinické praxi pro léčbu karcinomu prostaty. Starší technika konformní radioterapie 3D-CRT používaná do konce roku 2016 v porovnání s novější technikou radioterapie s modulovanou intenzitou IMRT, která se díky přesnějšímu

tvárování radioterapeutické dávky kolem nepravidelných objemů stala velice rychle uznávaným standardem v naprosté většině radioterapeutických pracovišť. Liberecké oddělení radiační onkologie (RATLU) počátkem roku 2017 zcela přešlo k využívání této novější modalitě v klinické praxi pro léčbu pacientů s karcinomem prostaty a mělo zájem se podílet na vyčíslení skutečně vynaložených nákladů na obě zmíněné radioterapeutické techniky a také na jejich vzájemné komparaci z hlediska nákladovosti.

Pro lepší pochopení obou radioterapeutických technik byl napřed v rámci teoretické části diplomové práce vypracován současný stav problematiky, který je dle dosavadních studií zpočátku zaměřen celosvětově a později se zabývá podmínkami radioterapie karcinomu prostaty v České republice. Následně se diplomová práce zabývá vzájemnou komparací obou zmíněných radioterapeutických technik z ekonomického a klinického hlediska. Ze studií [71] [72] [73] [74] [78] publikovaných v posledních letech, které byly vybrány k analýze současného stavu problematiky, a k analýze nákladové efektivity radioterapie karcinomu prostaty dospěl autor k závěru, že vývoj radioterapeutických technik s sebou přinesl vyšší konformitu ozáření nepravidelného cílového objemu a možnostmi dávkové eskalace, která prokazatelně ovlivňuje léčebné výsledky. V radioterapii karcinomu prostaty docházelo v současnosti spíše ke změnám frakcionačních režimů směrem k hypofrakcionované akcelerované radioterapii, kterou lze pacientům poskytnout pouze prostřednictvím techniky IMRT jakožto pokročilejší formy konformní radioterapie. Technika 3D-CRT je u toho onemocnění povolna na ústupu, protože déle trvá a nevykazuje takový benefit pro pacienta, jako ozařovací technika IMRT VMAT.

Hypofrakcionační režimy přispívají nejen ke zkrácení celkové doby radioterapie, ale i ke zmírnění toxicity léčby karcinomu prostaty a nižšímu výskytu akutních i pozdních nežádoucích reakcí na radiační ozáření. Validní výsledky prokazující výhody techniky IMRT jsou již k dispozici v širokém spektru randomizovaných studií, a z některých z nich vychází porovnání provedené v diplomové práci v kapitole 2.5 Komparace 3D – CRT a IMRT.

Obě radioterapeutické techniky jsou vysoce konformní a umožňují aplikaci vysokých radioterapeutických dávek za současného šetření okolních kritických orgánů, kterými jsou v případě ozařování prostaty hlavně močový měchýř, rektum, kličky tenkého střeva a hlavice femurů. Nicméně technika IMRT vykazuje při vysoké dávkové distribuci snížené riziko výskytu pozdní gastrointestinální toxicity. Je to způsobeno zřejmě lepším rozložením dávky v prostoru, protože s modulací intenzity ozařovacího svazku během záření dovoluje technika IMRT přesné kopírování tvaru cílového objemu vysokou dávkou s minimálním dávkovým zatížením rekta. Radioterapie karcinomu prostaty technikou 3D-CRT nabízí dostačující šetření kritických orgánů, ovšem je po technické stránce limitována ve tvarování dávky okolo konkávního tvaru prostaty čímž dochází při aplikaci vysokých dávek záření do cílového objemu i k vyššímu zatížení

rekta a části tenkého střeva, neboť tyto tělesné struktury těsně naléhají na ozařovanou oblast. Nižší frekvenci výskytu gastrointestinální toxicity dokládá dobře studie [52] detailně rozebrání v kapitole 2.6 Analýza nákladové efektivity.

Při porovnání výskytu pozdní GU toxicity jsou výsledky u obou metod srovnatelné díky vyšší radiorezistenci močového měchýře, nicméně je velmi důležité, aby pacient během celé radioterapie dodržoval zvýšený objem náplně močového měchýře. Tím dochází k oddálení těsně přilehajících orgánů (OaR) od ozařovaného objemu (PTV).

Se zlepšením výsledků léčby spolu se zachováním stejné toxicity a zavedením hypofrakcionačních režimů do klinické praxe pro zkrácení celkové doby terapie je kladen i větší důraz na technickou podporu a zabezpečení kvality ozáření. Po prozkoumání publikovaných článků v rámci analýzy nákladové efektivity autor zjistil, že v řadě případů je radioterapeutická technika IMRT jakožto pokročilejší forma radioterapie karcinomu prostaty z perspektivy plátců zdravotní péče dražší a to v rozmezí od 226 až do 1364 USD za jednoho pacienta, protože v porovnání s konvenční technikou 3D-CRT vyžaduje sofistikovanější dozimetrické i softwarové vybavení a více erudovaný personál. Ačkoliv hodnoty nákladů potvrdili u techniky IMRT přírůstek, velká část z těchto výdajů může být vykompenzována lepšími výsledky léčby ve smyslu zlepšení účinnosti a nižší frekvence výskytu pozdní gastrointestinální toxicity, se kterou jsou spojeny vysoké náklady vynaložené na pozdější léčbu komplikací spojených s touto toxicitou.

Ve výsledku je tak radioterapeutická technika IMRT z pohledu plátců zdravotní péče vnímána jako léčba nákladově efektivnější metoda, jelikož v dlouhodobém časovém horizontu vede u pacientů s lokalizovaným karcinomu prostaty nízkého a středního rizika ke snížení celkových nákladů léčby při nižší pozdní gastrointestinální toxicitě, která je v oblasti vysoko dávkové distribuce v pánevní oblasti neodlučitelnou součástí kurativní radioterapie.

Cílem diplomové práce bylo vyčíslit skutečně vzniklé náklady na radioterapii karcinomu prostaty na oddělení radiační onkologie v KNL. Nejdříve pro ozařovací techniku 3D-CRT a potom pro techniku IMRT za pomoci kalkulační metody ABC tak, aby mohlo dojít k vzájemnému porovnání nákladové náročnosti obou metod. Výsledky všech výpočtů byly předloženy ve finálním zhodnocení nákladů a výnosů po aplikaci kalkulační modelu. Použití kalkulační metody ABC pro účely diplomové práce je odůvodněno nejenom stále častější implementací této metody ve zdravotnických organizacích, ale také analýzou kalkulačních metod, která podala autorovi cenné informace o výhodách a nevýhodách kalkulačních metod pro oblast radiační onkologie. Pod samotným pojmem radioterapie je skryto široké spektrum provázaných výkonů, k jejichž rozklíčování je zapotřebí úspěšného sledování nákladů a pravidelnému ekonomickému hodnocení léčby. V radioterapii je za potřebí vysokých investic při

koupi i provozu LU a další důležitou skutečností je, že velkou část z celkových nákladů na léčbu tvoří mzdové náklady u obou radioterapeutických metod. V podmínkách liberecké onkologie se jednalo téměř o 51 % z celkových nákladů.

Pro přesný odhad celkových nákladů radioterapeutické léčby pacientů s diagnózou C61, jakožto druhým nejčastějším onkologickým onemocněním hned po národu prsu u žen bylo žádoucí sledovat tok přímých i nepřímých nákladů napříč vykonávanými aktivitami v rámci celého radioterapeutického procesu pro obě ozařovací techniky. Při aplikaci kalkulační metody bylo postupováno dle dříve popsaného postupu kalkulace ABC ve zdravotnictví.

Výsledky kalkulovaných nákladů metodou ABC prokazují, že v případě radioterapie karcinomu prostaty ozařovací technikou IMRT dochází ke snížení celkových nákladů na jednoho pacienta až o 15 429 Kč. Ačkoliv je technika IMRT technicky náročnější modalitou radioterapie, dosahuje úspor vynaložených nákladů především díky zkrácení celkové doby terapie. Čas strávený výkonem jednotlivých aktivit je velice důležitý, protože, jak už bylo zmíněno velkou část z celkových nákladů na léčbu, tvoří mzdové náklady na personál vykonávající konkrétní aktivity.

Na oddělení radiační onkologie v KNL se pro léčbu karcinomu prostaty používá od počátku roku 2017 ozařovací technika IMRT vždy v modulaci VMAT, která poskytuje pacientům radioterapeutické ozáření akcelerovaným hypofrakcionačním režimem s aplikací celkové dávky 70 Gy ve 28 frakcích po 2,5 Gy namísto dříve používané normofrakcionace technikou 3D-CRT. S použitím techniky IMRT ve srovnání s technikou 3D-CRT tak došlo k ušetření 11 ozařovacích dnů. Pokud se zaměříme na délku ozařovacího času, který tvoří největší část v léčebném procesu, byl naměřen průměrný čas jednoho ozáření technikou IMRT 15 minut a technikou 3D-CRT 19 minut. Technikou IMRT se tak ušetří 4 minuty při každé frakci, což snižuje rovněž i náklady na provoz přístroje včetně personálního zabezpečení. Tato pozorování jsou důležitá, protože pokud vezmeme v úvahu dosavadní velice rychlý vývoj technologií v oboru radioterapie, je možné v budou předpokládat další zkrácování léčby díky přesnějšímu ozáření cílového objemu s ještě vyšší dávkovou distribucí a upravenými frakcionačními schématy.

Kromě zkrácení celkové doby léčby autor poukazuje na shodné tvrzení ve studiích [46] [47] [48], které dokladují, že při stejném dávkovém pokrytí cílového objemu technikou IMRT VMAT je celková absorbovaná dávka v těle pacienta v komparaci s 3D-CRT i samotném IMRT nejnižší. Nicméně prezentované výsledky diplomové práce vychází ze zmíněných průměrných časů jednotlivých technik, které byly na radiační onkologii naměřeny ve sledovaném období. Autor v práci uvádí na základě vlastních zkušeností v klinické praxi, že ozařovací čas není jednoduché normovat a průměrné hodnoty mohou zkreslovat výstupy kalkulačního modelu, jelikož rutinní záležitostí na ozařovacích lineárních urychlovačů je výskyt nepredikovatelných



faktorů, které prodlužují délku ozáření pacienta. Jedná se zejména o nežádoucí pohyby během ozařování, neadekvátní náplň močového měchýře a konečníku, při které musí dojít k jejich nápravě a k opakování verifikačního snímku pozice polohy pacienta, což ve výsledku navyšuje ozařovací čas zhruba o dalších 10 minut. Velmi časté jsou vzhledem ke složitosti systému problémy se softwarovým a hardwarovým vybavením lineárních urychlovačů.

Pokud dojde například k poruše kilovoltážního zobrazovací systému XVI a nelze provést kontrolu ozařovací polohy pacienta před samotným ozářením dochází naopak ke zkrácení ozařovacího času o 5 minut u obou radioterapeutických technik na úkor přesnosti ozáření. Za účelem lepšího pochopení, jak časová spotřeba aktivit ovlivní náklady na celou radioterapii, byla provedena analýza citlivosti, kdy jako vstupní parametr byl měněn čas potřebný k jedné frakci pacienta na lineárním urychlovači a tvorbě jednoho kompletního ozařovacího plánu radiologickým asistentem při plánování radioterapie. Autor vybral tyto dvě aktivity, protože jsou největším konzumentem času v celém radioterapeutickém procesu, což bylo potvrzeno při časové analýze pracovního výkonu. Byla pro lepší představu provedena citlivostní analýza, která dokladuje vliv časové spotřeby na vynaložené náklady. Z výpočtu je patrné, že s každou minutou, která vede k prodloužení či zkrácení všech ozařovacích frakcí technikou 3D-CRT jsou ovlivněny mzdové náklady při Aktivitě 5 – Ozařování přírůstkem či úbytkem 424 Kč. S použitím techniky IMRT v roce 2017 by toto prodloužení či zkrácení ozařovacího času znamenalo 305 Kč za jednu ozařovací sérii. Po vynásobení počtem pacientů zjistíme, že tyto hodnoty jsou samozřejmě závislé na počtu zdravotnického personálu a léčených pacientů za sledované období. Pokud se zamyslíme nad současnou situací, kdy je nedostatek kvalifikovaných radiologických asistentů v oboru radioterapie bylo by zajímavé pro citlivostní analýzu uvažovat i snížení počtu personálu obsluhujícího lineární urychlovač ze 3 radiologických asistentů na 2, což se s nedostatkem personálu běžně děje, ačkoliv je to v rozporu s legislativou a místními radiologickými standardy pracoviště. Opět by se jednalo o snížení nákladů, které je náročné dohledat.

V diplomové práci byly vykalkulované skutečné náklady následně porovnány s došlými platbami od zdravotních pojišťoven za provedené výkony ve sledovaném období dvou let za celou skupinu pacientů s lokalizovaným karcinomem prostaty léčených pod hlavicí lineárního urychlovače. Hodnoty celkových nákladů ozařování technikou 3D-CRT a IMRT odpovídaly 16 504 766 Kč a 10 229 575 Kč. Pro korektnost srovnání skutečných nákladů radioterapeutické léčby karcinomu prostaty s úhradami od zdravotních pojišťoven za provedené výkony bylo zjištěno, že s použitím techniky 3D-CRT v roce 2016 činila hodnota jednoho bodu 1,03 Kč a o rok později, kdy se pro ozařování KP používala už technika IMRT byla hodnota jednoho bodu 1,12 Kč. Úhrady za provedené výkony za diagnózu C61 odpovídají počtu vykázaných bodů a odpovídají částkám 68 592 410 Kč při ozařování technikou 3D-CRT a 56 184 461 Kč při ozařování technikou IMRT. Rozdíly v úhradách jsou způsobeny hlavně odlišným počtem léčených

pacientů, tudíž i odlišným množstvím bodů vykázaných za poskytovanou péči a také již zmíněnými odchylkami v hodnotách jednoho bodu ve sledovaném období. Zajímavostí je také odlišné vykazování kódů zdravotním pojišťovně mezi jednotlivými technikami. Za radioterapii technikou 3D-CRT na lineárním urychlovači byl vykazován kód 43633 za jedno ozáření pacienta 7krát, což odpovídá i počtu reálně ozařovaných polí. S příchodem pokročilejší techniky IMRT v modulaci VMAT se dle dohody odborné onkologické společnosti začal na pracovišti vykazovat kód 43633 za jedno ozáření pacienta celkem 10krát s vysvětlením, že se jedná o nesčetně polí s modulovanou intenzitou svazku záření v jednom kyvu ozařovací hlavičky lineárního urychlovače.

Ze srovnání je zřejmé, že oddělení radiační onkologie mělo pouze za léčbu diagnózy C61 v roce 2016 zisk ve výši 52 087 645 Kč. V roce 2017 byl zisk celkem 45 954 886 Kč. Takto obrovské částky představují významnou část z celkových výnosů Krajské nemocnice Liberec a.s. Zájem zdravotnické organizace je samozřejmě udržet vysoké výnosy radioterapeutického oddělení, kde je úhrada ambulantní péče hrazena výkonovým způsobem, jelikož v rámci nemocnice jako celku musí docházet k přerozdělování zdrojů mezi diagnózy, které jsou v rámci úhrad formou případového paušálu výrazně podhodnocené a vykazují v organizaci finanční ztráty. Zůstává však k zamyšlení, zda by takto pokřivené financování radioterapeutické péče nemělo být podkladem k diskusi o optimální úhradě zdravotnických výkonů v rámci systému DRG restart, který by měl ve finální verzi na základě reálného oceňování a pravidelné monitorace poskytovat zdravotnickým organizacím efektivní a spravedlivé přerozdělení finančních prostředků veřejného zdravotního pojištění.

Pro kompletní naplnění cílů diplomové práce došlo na závěr ještě ke vzájemné komparaci radioterapeutických technik za sledované období na oddělení radiační onkologie v KNL. Jestliže opomineme rozdílnou situaci pro komparaci jako je odlišný počet pacientů či počet pracovních dní v roce je možné z předchozího popisu aktivit konstatovat, že průběh radioterapie se zdá u obou technik stejný. První rozdíl se objevuje při tvorbě ozařovacího plánu, kdy se postupuje buďto dopředným plánováním pro techniku 3D-CRT anebo inverzním plánováním pro techniku IMRT, jejichž podstata byla vysvětlena v kapitolách 2.4 Konformní radioterapie (3D-CRT) a 2.4 Radioterapie s modulovanou intenzitou (IMRT)

Technikou 3D-CRT se ozařuje karcinom prostaty v rozestavění sedmi polí, kdy hlavička lineárního urychlovače pracuje v režimu step and shoot a podává celkovou radioterapeutickou dávku 78 Gy. Kdežto ozařování technikou IMRT v modulaci VMAT probíhá v jednom kyvu, během kterého je kontinuálně modulována intenzita ozařovacího svazku z radiobiologického hlediska umožňuje eskalaci celkové dávky na 78 Gy. Tyto technické možnosti se logicky odrážejí i ve frakcionačních schématech, kdy je u IMRT používáno režimu HART v podobě 28 frakcí rozložených do 28

ozařovacích dní. U techniky 3D-CRT je takové ozáření neproveditelné kvůli technickému omezení ve tvarování dávky kolem cílového objemu, proto se užívalo především normofrakcionačního režimu radioterapie, kdy pacient musel dodržet 39 frakcí, což odpovídá více než 7 týdnům radioterapie.

Důležitým rozdílem, který se projevuje později ve vynaložených nákladech na léčbu jednotlivými technikami je délka časových intervalů potřebných pro tvorbu ozařovacího plánu, a hlavně později i samotné dodávání radioterapeutické dávky pacientovi, neboť se jedná o opakovanou činnost. Jak již bylo zmíněno průměrný čas jednoho ozáření, naměřený na oddělení radiační onkologie v KNL při léčbě pacienta s KP technikou IMRT je 15 minut a technikou 3D-CRT byl měřen čas 19 minut.

Dle radiologických standardů se v KNL pro přesné ozáření cílového objemu provádí kontrola ozařovací polohy pacienta, při technice IMRT vzhledem k vyšší dávkové distribuci denně a při technice 3D-CRT pouze 1krát až 3krát do týdne v závislosti na velikosti odchylek ozařovací polohy.

Dále u pacientů léčených technikou IMRT bylo hlášeno méně případů akutní GI i GU toxicity léčby, nicméně u těchto počtů je nutné mít na zřeteli celkové množství léčených pacientů konkrétní technikou, odlišnost frakcionačních schémat, délku ozařování a individuální faktory ovlivňující dané pacienty. Při komparaci radioterapeutických technik je třeba hodnotit i pozdní radiační reakce okolích tkání a orgánů. Aby bylo porovnání věrohodné muselo by dojít k tvorbě dvou ekvivalentních plánů pro každou techniku ozařování se stejnou radiobiologickou účinností a následně k jejich sumaci s dávkově objemovými histogramy. Nehledě na to, že pozdní gartrointestinální a genitourinární toxicita se v případě radioterapie karcinomu objevuje s odstupem několika let a pro účely diplomové práce není klinické hodnocení zatím k dispozici. Je na místě konstatovat, že k zachycení všech relevantních nákladů léčby by bylo vhodné analyzovat náklady v dlouhodobém období s přihlédnutím k výskytu pozdních komplikací. Proto autor při porovnání pozdní toxicity léčby u jednotlivých technik radioterapie vychází z validních výsledků publikovaných ve studiích [46] [47] [48] [51]. Bylo v nich dokázáno, na různě velkých vzorcích pacientů, že při vysokých dávkách potřebných pro eliminaci tumorózní tkáně je technika IMRT díky lepší dávkové distribuci účinnější, ale také šetrnější k nežádoucímu ozáření rekta a močového měchýře pacienta, čímž snižuje riziko výskytu pozdní gastrointestinální toxicity.

Důležitým poznatkem, který stojí za připomenutí je, že obě techniky radioterapie jsou z pohledu personálního obsazení jednotlivých aktivit naprosto identické. K celému léčebnému procesu pacienta přispívají svou prací na radioterapeutickém pracovišti 2 lékaři, 2 radiologičtí fyzici, 1 technik, 5 radiologických asistentů, 4 zdravotní sestry, 1 uklízečka, 1 pomocný ošetrovatelský personál (POP) a 1 referentka.

Přístrojové vybavení je také identické, jelikož je zapotřebí u obou technik pouze lokalizačního CT, rentgenový simulátor a lineární urychlovač s kilovoltážním

zobrazovacím systémem. Hlavní rozdíl se spatřován v časové spotřebě jednotlivých aktivit a technologických odlišnostech jednotlivých technik, které se potom zobrazují ve výsledných nákladech za radioterapeutickou léčbu.

Na závěr lze doplnit, že radioterapeutický proces sestává z 5 aktivit, které na sebe navazují, jsou na sobě závislé a odehrává se během nich řada rozmanitých činností detailně rozepsaných v kapitole č. 5.6.2 Definice struktury aktivit. Nejvýznamnější rozdíly radioterapeutických technik 3D - CRT a IMRT jsou spatřovány ve frakcionačních režimech včetně dávkové distribuce, které ovlivňují délky časů potřebných k výkonu konkrétních aktivit. Zároveň dochází díky zkrácení celkové doby radioterapeutické léčby k zásadní úspoře nákladů a složitost technik nehraje tak velkou roli, jelikož moderní systémy dosahují optimálních výsledků při stejné nákladovosti za stejný či dokonce kratší čas. Navzdory tomu můžeme spekulovat nad tím, zda je úspora při takto vysokých hospodářských výsledcích v relativně malém oddělení radiační onkologie potřebná a zda je úhrada od zdravotních pojišťoven objektivní a spravedlivá.

## 8 Závěr

Bez ohledu na dosavadní vývoj v prevenci si bude KP i nadále držet přední pozici v onkologických onemocnění mužů středního a vysokého věku, jelikož současné dietní návyky populace a různé faktory životního prostředí nasvědčují potřebám efektivní radioterapeutické léčby z pohledu poskytovatelů i plátců zdravotní péče. Proto byly vyčísleny skutečně vynaložené náklady radioterapie karcinomu prostaty na oddělení radiační onkologie KNL prostřednictvím kalkulační metody ABC, která poskytuje přesné odhady celkových nákladů a podává detailní informace o struktuře nákladů i procesů v této zdravotnické organizaci, která je součástí komplexního onkologického centra.

V minulosti prováděná léčba karcinomu prostaty konvenční radioterapeutickou technikou 3D-CRT znamenala pro oddělení radiační onkologie výdaj 52 900 Kč za 1 pacienta. Z výsledků diplomové práce vyplývá, že při radioterapii technikou IMRT dochází ke snížení celkových nákladů za léčbu 1 pacienta o 15 429 Kč, tudíž celkové výdaje za léčbu sofistikovanější modalitou IMRT představují celkem 37 471 Kč za 1 pacienta s karcinomem prostaty.

Při srovnání kalkulovaných nákladů s úhradami za provedené výkony od zdravotních pojišťoven byl zjištěn velký nepoměr. Za diagnózu C61 odpovídala úhrada péče počtu vykázaných bodů a odpovídala v roce 2016 za léčbu 312 pacientů technikou 3D-CRT celkové částce 68 592 410 Kč. V roce 2017 při ozařování 273 pacientů technikou IMRT dosahovala úhrada na částku 56 184 461 Kč. Rozdíly v úhradách mezi jednotlivými technikami byly způsobeny hlavně odlišným počtem léčených pacientů. Dále v odlišném množství vykázaných bodů za poskytovanou péči a také odchylkami v hodnotách jednoho bodu ve sledovaném období. Srovnání skutečných nákladů s úhradami od zdravotních pojišťoven dokládá, že léčba diagnózy C61 technikou 3D-CRT přinesla oddělení radiační onkologie v roce 2016 zisk ve výši 52 087 645 Kč. Radioterapeutická léčba technikou IMRT v roce 2017 generovala zisk 45 954 886 Kč. Tyto částky představují 1,73 % a 1,47 % z celkových výnosů Krajské nemocnice Liberec a.s.

Na základě pozorování výsledků diplomové práce, jež vycházejí zejména z analýzy nákladů kalkulační metodou ABC, a vzájemné komparace radioterapeutických technik z dosavadní literatury lze tvrdit, že s použitím pokročilejší radioterapeutické techniky IMRT, při které se aplikoval k léčbě pacienta s lokalizovaným karcinomem prostaty hypofrakcionační akcelerovaný režim, dochází ve výsledku k intenzifikaci radioterapie a zkrácení ozařovacího času o 4 minuty při každé frakci a celková doba terapie je pouze 28 pracovních dní. V porovnání

s technikou 3D - CRT tato skutečnost přináší úsporu 11 frakcí pacienta, což ovlivňuje aktuálně i později vynaložených nákladů na kompletní léčbu.

Diplomová práce poskytuje detailnější pohled na strukturu nákladů vznikajících při radioterapii karcinomu prostaty a přináší přesnější nákladové odhady, které mohou být použity jako podpůrný nástroj při rozhodování, vedení, či diskuzi s odborníky ze strany zdravotních pojišťoven pro zajištění optimální úhrady za poskytované výkony. Kalkulační model ABC lze aplikovat i na zbytek onkologických diagnóz léčených radioterapeutickou léčbou v Krajské nemocnici Liberec. Presentovaný model však kriticky závisí na úrovni detailů a podrobné definici činností, které jsou již dostatečně popsány a vysvětleny v praktické části a diplomová práce může případně pomoci dalším pokusům o implementaci kalkulační metody ABC do podmínek české radiační onkologie.

## Seznam použité literatury

- [1] *Karcinom prostaty: Rozšíření karcinomu prostaty (epidemiologie)* [online]. 2016 [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: <https://www.cus.cz/pro-pacienty/diagnozy/karcinom-prostaty/?print=print>  
Zkopírovat citaci
- [2] ZHANG, Kai, Chris H. BANGMA a Monique J. ROOBOL. Prostatecancer screening in Europe and Asia. *Asian Journal of Urology* [online]. 2017, **4**(2), 86-95 [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1016/j.ajur.2016.08.010. ISSN 22143882. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214388216300558>
- [3] SZYMAŃSKA, Katarzyna a Pierre HAINAUT. ProstateCancer: Diagnosis and Treatment. *Reference Module in Biomedical Sciences* [online]. Elsevier, 2018, 2018 [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1016/B978-0-12-801238-3.65828-2. ISBN 9780128012383. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128012383658282>
- [4] WONG, Martin C.S., William B. GOGGINS, Harry H.X. WANG, Franklin D.H. FUNG, Colette LEUNG, Samuel Y.S. WONG, ChiFai NG a Joseph J.Y. SUNG. Global Incidence and Mortality for Prostate Cancer: Analysis of Temporal Patterns and Trends in 36 Countries. *European Urology* [online]. 2016, **70**(5), 862-874 [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1016/j.eururo.2016.05.043. ISSN 03022838. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0302283816302512>
- [5] LEWIS, Ryan. Prostate Cancer Screening. *Physician Assistant Clinics* [online]. 2018, **3**(1), 1-9 [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1016/j.cpha.2017.08.005. ISSN 24057991. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405799117301159>  
2018, **32**(04), 182-186 [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1055/s-0038-1672208. ISSN 1535-2188. Dostupné z: <http://www.thieme-connect.de/DOI/DOI?10.1055/s-0038-1672208>
- [6] KLIMENT, Ján. Praktický postup v diagnostice a léčbě karcinomu prostaty. *Via practica*. 2012, **9**(5), s. 209-213. ISSN 1336-4790.
- [7] JIANG, Ping, Katja KROCKENBERGER, Reinhard VONTHEIN, et al. Hypofractionated SBRT for localized prostate cancer: a German bi-center single treatment group feasibility trial. *Radiation Oncology* [online]. 2017, **12**(1) [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1186/s13014-017-0872-2. ISSN 1748-717X. Dostupné z: <http://ro-journal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13014-017-0872-2>
- [8] ŠLAMPÁ, Pavel. Radiační onkologie v praxi: Čtvrté aktualizované vydání. 4. Brno: Masarykův onkologický ústav, 2009. 353 s. ISBN 978-80-86793-34-4.

- [9] HASHIMOTO, Yaichiro, Atsushi MOTEGI, Tetsuo AKIMOTO, et al. The 5-year outcomes of moderately hypofractionated radiotherapy (66 Gy in 22 fractions, 3 fractions per week) for localized prostate cancer: a retrospective study. *International Journal of Clinical Oncology* [online]. 2018, **23**(1), 165-172 [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1007/s10147-017-1175-1. ISSN 1341-9625. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10147-017-1175-1>
- [10] RUDAT, Volker, A. NOUR, M. HAMMOUD, A. ALARADI a A. MOHAMMED. Image-guided intensity-modulated radiotherapy of prostate cancer. *Strahlentherapie und Onkologie* [online]. 2016, **192**(2), 109-117 [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1007/s00066-015-0919-y. ISSN 0179-7158. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00066-015-0919-y>
- [11] ODRÁŽKA, Karel. *Radioterapie karcinomu prostaty: Genitourinární nádory* [online]. 28.2.2014 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.linkos.cz/lekar-a-multidisciplinari-tym/kongresy/po-kongresu/databaze-tuzemskych-onkologickych-konferencnich-abstrakt/radioterapie-karcinomu-prostaty-1/>
- [12] JOSEPH, Nuradh, Cathy TAYLOR, Catherine O'HARA, Ananya CHOUDHURY, Tony ELLIOTT, John LOGUE a James WYLIE. A combined single high-dose rate brachytherapy boost with hypofractionated external beam radiotherapy results in a high rate of biochemical disease free survival in localised intermediate and high risk prostate cancer patients. *Radiotherapy and Oncology* [online]. 2016, **121**(2), 299-303 [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1016/j.radonc.2016.09.016. ISSN 01678140. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167814016343444>
- [13] Imaging Technology News: ECRI Institute Offers Guidance on Choosing a Linear Accelerator [online]. 2015 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.itnonline.com/content/ecri-institute-offers-guidance-choosing-linear-accelerator>
- [14] Acceletronics: Radiation Oncology Systems [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.acceletronics.com/medical/medical-radiation-oncology-equipment.php>
- [15] Health-care Development: Radiotherapy capacity in European countries: an analysis of the Directory of Radiotherapy Centres. *Lancet Oncol* [online]. 24.1.2013, , 79 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://globalrt.org/wp-content/uploads/2014/09/rosenblatt-et-al-DIRAC-europe-lancet-oncol-2013.pdf>
- [16] Medical physics: IAEA analyses European radiotherapy [online]. 2013 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://medicalphysicsweb.org/cws/article/research/52202>
- [17] GRAU, Cai a spol. Radiotherapy and Oncology: Radiotherapy equipment and departments in the European countries: Final results from the ESTRO-HERO survey. [online]. 19.8.2014 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://ac.els->



[cdn.com/S0167814014003594/1-s2.0-S0167814014003594-main.pdf?\\_tid=2366737c-25ae-4ea5-abad-268e56ad9b92&acdnat=1527155121\\_021ba7f545d26a8853d98a20e325409e](https://cdn.com/S0167814014003594/1-s2.0-S0167814014003594-main.pdf?_tid=2366737c-25ae-4ea5-abad-268e56ad9b92&acdnat=1527155121_021ba7f545d26a8853d98a20e325409e)

- [18] ESTRO: HealthEconomics in RadiationOncology [online]. 2017 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.estro.org/about/health-economics-in-radiation-oncology---hero/hero>
- [19] LIEVENS, Yolande, Walter VAN DEN BOGAERT a Katrien KESTELOOT. Activity-basedcosting: a practical model forcostcalculation in radiotherapy. *International JournalofRadiationOncology\*Biology\*Physics* [online]. 2003, **57**(2), 522-535 [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1016/S0360-3016(03)00579-0. ISSN 03603016. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360301603005790>
- [20] MACHÁČEK, Jindřich. *Z HISTORIE RADIOTERAPIE - ČESKÉ RADIAČNÍ ONKOLOGIE: 2016 XL. Brněnské onkologické dny a XXX. Konference pro nelékařské zdravotnické pracovníky* [online]. In: . 28. 4. 2016 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.linkos.cz/lekar-a-multidisciplinari-tym/kongresy/po-kongresu/databaze-tuzemskych-onkologickych-konferencnich-abstrakt/z-historie-radioterapie-ceske-radiacni-onkologie/>
- [21] MACHÁČEK, Jindřich a Pavel ŠLAMPA. *CURRICULUM VITAE ČESKÉ RADIOTERAPIE: 2015 XXXIX. Brněnské onkologické dny a XXIX. Konference pro nelékařské zdravotnické pracovníky* [online]. In: . 4.9.2015 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.linkos.cz/lekar-a-multidisciplinari-tym/kongresy/po-kongresu/databaze-tuzemskych-onkologickych-konferencnich-abstrakt/curriculum-vitae-ceske-radioterapie/>
- [22] *Společnost Radiační Onkologie, Biologie a Fyziky: Koncepce oboru radiační onkologie* [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.srobf.cz/cs/o-spolecnosti/koncepce>
- [23] *Společnost Radiační Onkologie, Biologie a Fyziky: Seznam pracovišť a vybavení* [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.srobf.cz/cs/pro-odborniky/radiacni-onkologie-v-cr/seznam-pracovist-a-vybaveni>
- [24] KRUPA, Pavel, Aleš KUDLÁČEK, Libor KLOMÍNEK a Pavel ŠLAMPA. *MOŽNOSTI AKCELERACE RADIOTERAPIE KARCINOMU PROSTATY: 2015 XXXIX. Brněnské onkologické dny a XXIX. Konference pro nelékařské zdravotnické pracovníky* [online]. In: . 9.4.2015 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.linkos.cz/lekar-a-multidisciplinari-tym/kongresy/po-kongresu/databaze-tuzemskych-onkologickych-konferencnich-abstrakt/moznosti-akcelerace-radioterapie-karcinomu-prostaty/>

- [25] ŠLAMPA, Pavel. *Pohled na protonovou terapii: Současný stav radioterapie v ČR* [online]. In: . 2012 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.tribune.cz/clanek/27581-pohled-na-protonovou-terapii>
- [26] KINDLOVÁ, Eva, Pavla BUŘIČOVÁ a Martina KUBECOVÁ. *NAŠE ZKUŠENOSTI S RADIOTERAPIÍ KARCINOMU PROSTATY METODOU SIMULTÁNNÍHO INTEGROVANÉHO BOOSTU: 2013 XXXVII. Brněnské onkologické dny a XXVII. Konference pro nelékařské zdravotnické pracovníky* [online]. In: . 18.4.2013 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.linkos.cz/lekar-a-multidisciplinari-tym/kongresy/po-kongresu/databaze-tuzemskych-onkologickych-konferencnich-abstrakt/nase-zkusenosti-s-radioterapii-karcinomu-prostaty-metodou-simultanniho-integrova/>
- [27] SOUMAROVÁ, Renata, Jiří PETERA, Hana STANKUŠOVÁ a Ladislav DUŠEK. *Nákladová struktura optimálně vybaveného pracoviště radiační onkologie v ČR* [online]. In: . 8.1.2010 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.linkos.cz/lekar-a-multidisciplinari-tym/kongresy/po-kongresu/databaze-tuzemskych-onkologickych-konferencnich-abstrakt/nakladova-struktura-optimalne-vybaveneho-pracoviste-radiacni-onkologie-v-cr/>
- [28] Tender arena: FN Hradec Králové - nákup 3 ks lineárních urychlovačů včetně zajištění jejich servisu a provedení úprav stávajících ozařoven [online]. 2017 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.tenderarena.cz/profil/zakazka/detail.jsf?id=85884>
- [29] Tender arena: MOÚ Brno – obměna lineárních urychlovačů – 1. část: Dodávka lineárního urychlovače [online]. 2017 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.tenderarena.cz/profil/zakazka/detail.jsf?id=86138>
- [30] Tender arena: Servisní služby pro lineární urychlovače VarianTrueBeam [online]. 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.tenderarena.cz/profil/zakazka/detail.jsf?id=183081>
- [31] Tender arena: VZ0036400: FN Motol – Obměna lineárních urychlovačů – 3 ks [online]. 2017 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.tenderarena.cz/profil/zakazka/detail.jsf?id=168006>
- [32] Státní úřad pro jadernou bezpečnost: Subjekty s povolením k dovozu, distribuci, vývozu a výrobě zdrojů ionizujícího záření [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: [https://www.sujb.cz/aplikace/radon/?action=show&table=tab\\_g&lang=cz](https://www.sujb.cz/aplikace/radon/?action=show&table=tab_g&lang=cz)
- [33] Státní úřad pro jadernou bezpečnost: Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon [online]. 2016 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.sjb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/263-2016.pdf>
- [34] Amedis: Lineární urychlovače [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <http://www.amedis.cz/zdravotnicka-technika/linearni-urychlovace/>

- [35] Proton Therapy Center [online]. [cit. 2018-12-03].
- [36] ŠLAMPA, Pavel. *Léčba nádorů prostaty moderní fotonovou terapií je značně efektivní* [online]. In: . 3.2.2016 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.linkos.cz/lekar-a-multidisciplinari-tym/diagnostika-a-lecba/radioterapie-lekar/lecba-nadoru-prostaty-moderni-fotonovou-terapii-je-znacne-efektivni/>
- [37] Klinická onkologie. Praha: Ambit Media. ISSN 0862-495X.
- [38] HYNKOVÁ, Ludmila a Pavel ŠLAMPA. *Základy radiační onkologie*. Brno: Masarykův onkologický ústav, 2012. 247 s. ISBN 978-80-210-6061-6
- [39] SOUMAROVÁ, Renata, PERKOVÁ, Hana, BLAŽEK, Tomáš, HOMOLA, Luboš, MACHALA, Stanislav, RICHTEROVÁ, Halina. Možnosti radioterapie karcinomu prostaty. *Urologie pro praxi*. 2012, 13(5), s. 192-198. ISSN 1213-1768.
- [40] WASHINGTON, Charles M a Dennis T LEAVER. *Principles and practice of radiation therapy*. Fourth edition. St. Louis, Missouri: Elsevier Mosby, [2016]. ISBN 978-0-323-28752-4.
- [41] VARIAN Medical Systems: VMAT/RapidArc [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.varian.com/oncology/treatment-techniques/external-beam-radiation/vmat>
- [42] RADIATION ONCOLOGY: Weill Cornell Medical College [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <http://www.cornellradiationoncology.org/clinical-services-and-technologies/external-beam-radiation-therapy/vmat>
- [43] Cleveland Clinic: RapidArc Radiation Therapy [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://my.clevelandclinic.org/services/cancer/treatments-procedures/radiation-therapy/rapid-arc-radiation-therapy>
- [44] KUBEŠ, Jiří. Moderní trendy v radioterapii karcinomu prostaty. *Onkologie*. 2010, 4(2), s. 79-83. ISSN 1802-4475. Dostupné z: <http://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2010/02/06.pdf>
- [45] SCHROECK, Florian Rudolf, Bruce L. JACOBS, Sam B. BHAYANI, Paul L. NGUYEN, David PENSON a Jim HU. Cost of New Technologies in Prostate Cancer Treatment: Systematic Review of Costs and Cost Effectiveness of Robotic-assisted Laparoscopic Prostatectomy, Intensity-modulated Radiotherapy, and Proton Beam Therapy. *European Urology* [online]. 2017, 72(5), 712-735 [cit. 2018-12-03].
- [46] ŚLOSAREK, Krzysztof, Wojciech OSEWSKI, Aleksandra GRZAÐZIEL, Michał RADWAN, Łukasz DOLLA, Marta SZLAG a Małgorzata STĄPÓR-FUDZIŃSKA. Integral dose: Comparison between four techniques for prostate radiotherapy. *Reports of Practical Onc*

- ology&Radiotherapy*[online]. 2015, **20**(2), 99-103 [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1016/j.rpor.2014.10.010. ISSN 15071367. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1507136714001758>
- [47] BAUMAN, G., R.B. RUMBLE, J. CHEN, A. LOBLAW a P. WARDE. Intensity-modulated Radiotherapy in the Treatment of Prostate Cancer. *Clinical Oncology* [online]. 2012, **24**(7), 461-473 [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1016/j.clon.2012.05.002. ISSN 09366555. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0936655512001318>
- [48] SUTANI, Shinya, Toshio OHASHI, Masanori SAKAYORI, et al. Comparison of genitourinary and gastrointestinal toxicity among four radiotherapy modalities for prostate cancer: Conventional radiotherapy, intensity-modulated radiotherapy, and permanent iodine-125 implantation with or without external beam radiotherapy. *Radiotherapy and Oncology* [online]. 2015, **117**(2), 270-276 [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1016/j.radonc.2015.08.019. ISSN 01678140. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167814015004442>
- [49] LUXTON, Gary, Steven L. HANCOCK a Arthur L. BOYER. Dosimetry and radiobiologic model comparison of IMRT and 3D conformal radiotherapy in treatment of carcinoma of the prostate. *International Journal of Radiation Oncology\* Biology\* Physics* [online]. 2004, **59**(1), 267-284 [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2004.01.024. ISSN 03603016. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360301604001270>
- DOI: 10.1016/j.eururo.2017.03.028. ISSN 03022838. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0302283817302397>
- [50] ZARE, Mahkameh, Marzieh LASHKARI, Reza GHALEHTAKI, Arash GHASEMI, Hamidreza DEHGHAN MANSADI, Ali MIR, Somayeh NOOROLLAHI a Mahboobeh ALAMOLHODA. The comparison of 5-field conformal radiotherapy techniques for the treatment of prostate cancer: The best for femoral head sparing. *Medical Dosimetry* [online]. 2016, **41**(4), 296-299 [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1016/j.meddos.2016.06.008. ISSN 09583947. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0958394716300589>
- [51] ELLIOTT, Sean P., Oluwakayode O. ADEJORO, Badrinath R. KONETY, Stephanie L. JAROSEK, Kathryn E. DUSENBERY a Beth A. VIRNIG. Intensity Modulated Radiation Therapy Replaces 3-Dimensional Conformal Radiotherapy as Prostate Cancer Treatment. *The Journal of Urology* [online]. 2012, **187**(4), 1253-1258 [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1016/j.juro.2011.11.088. ISSN 00225347. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022534711057661>

- [52] YONG, J.H.E., J. BECA, T. MCGOWAN, K.E. BREMNER, P. WARDE a J.S. HOCH. Cost-effectiveness of Intensity-modulated Radiotherapy in Prostate Cancer. *Clinical Oncology* [online]. 2012, **24**(7), 521-531 [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1016/j.clon.2012.05.004. ISSN 09366555. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0936655512001331>
- [53] PERRIER, Lionel, Magali MORELLE, Pascal POMMIER, et al. Cost of prostate image-guided radiation therapy: Results of a randomized trial. *Radiotherapy and Oncology* [online]. 2013, 106(1), 50-58 [cit. 2018-12-04]. DOI: 10.1016/j.radonc.2012.11.011. ISSN 01678140. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167814012005336>
- [54] DEFOURNY, Noémie, Peter DUNSCOMBE, Lionel PERRIER, Cai GRAU a Yolande LIEVENS. Cost evaluation of radiotherapy: What do we know? An ESTRO-HERO analysis. *Radiotherapy and Oncology* [online]. 2016, **121**(3), 468-474 [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1016/j.radonc.2016.12.002. ISSN 01678140. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167814016344188>
- [55] RAHMAN, F., S.J. SEUNG, S.Y. CHENG, H. SAHERAWALA, C.C. EARLE a N. MITTMANN. Radiation costing methods: a systematic review. *Current Oncology* [online]. 2016, **23**(4), 392-408 [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.3747/co.23.3073. ISSN 1718-7729. Dostupné z: <http://www.current-oncology.com/index.php/oncology/article/view/3073>
- [56] XU, Xiao, Holly K GROSSETTA NARDINI a Jennifer Prah RUGER. Micro-costing studies in the health and medical literature: protocol for a systematic review. *Systematic Reviews* [online]. 2014, **3**(1) [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1186/2046-4053-3-47. ISSN 2046-4053. Dostupné z: <http://systematicreviewsjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/2046-4053-3-47>
- [57] ZEMPLÉNYI, A, Z KALÓ, I BONCZ, D ENDREI a L MANGEL. A Microcosting Study Of Radiation Therapy In Localized Prostate Cancer Patients In A Hungarian Tertiary Oncology Center. *Value in Health* [online]. 2015, **18**(7) [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1016/j.jval.2015.09.656. ISSN 10983015. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1098301515027321>
- [58] HANLY, Paul, Alan Ó CÉILLEACHAIR, Máiréad SKALLY, Ciaran O'NEILL a Linda SHARP. Direct costs of radiotherapy for rectal cancer: a microcosting study. *BMC Health Services Research* [online]. 2015, **15**(1) [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1186/s12913-015-0845-9. ISSN 1472-6963. Dostupné z: <http://bmchealthservres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12913-015-0845-9>
- [59] RAULINAJTYS-GRZYBEK, Monika. Cost accounting models used for price-setting of health services: An international review. *Health Policy* [online].

- 2014, **118**(3), 341-353 [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1016/j.healthpol.2014.07.007. ISSN 01688510. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168851014001729>
- [60] JALALABADI, Faryan, Allen MILEWICZ, Sohail SHAH, Larry HOLLIER a Edward REECE. Activity-Based Costing. *Seminars in Plastic Surgery* [online].
- [61] ALVES, Rafael J. Vargas, Ana P. Beck da Silva ETGES, Giacomo Balbinotto NETO a Carisi Anne POLANCZYK. Activity-Based Costing and Time-Driven Activity-Based Costing for Assessing the Cost of Cancer Prevention, Diagnosis, and Treatment: A Systematic Review of the Literature. *Value in Health Regional Issues* [online]. 2018, **17**, 142-147 [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1016/j.vhri.2018.06.001. ISSN 22121099. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212109918301092>
- [62] LIEVENS, Yolande a Berend Jan SLOTMAN. Radiotherapy cost-calculation and its impact on capacity planning. *Expert Review of Pharmacoeconomics & Outcomes Research* [online]. 2014, **3**(4), 497-507 [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1586/14737167.3.4.497. ISSN 1473-7167. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1586/14737167.3.4.497>
- [63] POPESKO, Boris, Petr NOVÁK, Zuzana TUČKOVÁ, Šárka FIALOVÁ a Jiří STROUHAL. Kalkulace nákladů ve zdravotnických organizacích. Praha: WoltersKluwer, 2014. ISBN 978-80-7478-509-2.
- [64] VAN DE WERF, Evelyn, Jan VERSTRAETE a Yolande LIEVENS. The cost of radiotherapy in a decade of technology evolution. *Radiotherapy and Oncology* [online]. 2012, **102**(1), 148-153 [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1016/j.radonc.2011.07.033. ISSN 01678140. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167814011004191>
- [65] BOROVSKEÝ, Juraj a Věra DYNTAROVÁ. Ekonomika zdravotnických zařízení. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04485-8.
- [66] VAN DYK, Jacob, Eduardo ZUBIZARRETA a Yolande LIEVENS. Cost evaluation to optimise radiation therapy implementation in different income settings: A time-driven activity-based analysis. *Radiotherapy and Oncology* [online]. 2017, **125**(2), 178-185 [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1016/j.radonc.2017.08.021. ISSN 01678140. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167814017325446>
- [67] BARNETT, Paul G. An Improved Set of Standards for Finding Cost for Cost-Effectiveness Analysis. *Medical Care* [online]. 2009, (47), 7 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/dd9c/143d23c778b0e0ce7222e093dea89de1a0e1.pdf>

- [68] Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR: Zdravotnická ročenka České republiky 2016 [online]. 2016 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.uzis.cz/publikace/zdravotnicka-rocenka-ceske-republiky-2016>
- [69] VALENTOVÁ, Eva a Jaroslav VAŇÁSEK. *RADIOTERAPIE KARCINOMU PROSTATY: 2014 5. pražské mezioborové onkologické kolokvium Prague ONCO* [online]. In: . 24.1.2014 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.linkos.cz/lekar-a-multidisciplinari-tym/kongresy/po-kongresu/databaze-tuzemskych-onkologickych-konferencnich-abstrakt/radioterapie-karcinomu-prostaty/>
- [70] POPESKO, Boris. *Moderní metody řízení nákladů: jak dosáhnout efektivního vynakládání nákladů a jejich snížení*. Praha: Grada, 2009. Prosperita firmy. ISBN 978-80-247-2974-9.
- [71] YONG, J.H.E, T. MCGOWAN, R. REDMOND-MISNER, J. BECA, P. WARDE, E. GUTIERREZ a J.S. HOCH. Estimating the costs of intensity-modulated and 3-dimensional conformal radiotherapy in Ontario. *Current Oncology* [online]. 2016, **23**(3), 228-238 [cit. 2020-05-21]. DOI: 10.3747/co.23.2998. ISSN 1718-7729. Dostupné z: <http://www.current-oncology.com/index.php/oncology/article/view/2998>
- [72] CARTER, Hannah E., Andrew MARTIN, Deborah SCHOFIELD, Gillian DUCHESNE, Annette HAWORTH, Colin HORNBLY, Mark SIDHOM a Michael JACKSON. A decision model to estimate the cost-effectiveness of intensity modulated radiation therapy (IMRT) compared to three dimensional conformal radiation therapy (3DCRT) in patients receiving radiotherapy to the prostate bed. *Radiotherapy and Oncology* [online]. 2014, **112**(2), 187-193 [cit. 2020-05-21]. DOI: 10.1016/j.radonc.2014.03.020. ISSN 01678140. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167814014001637>
- [73] HUMMEL, S.R., M.D. STEVENSON, E.L. SIMPSON a J. STAFFURTH. A Model of the Cost-effectiveness of Intensity-modulated Radiotherapy in Comparison with Three-dimensional Conformal Radiotherapy for the Treatment of Localised Prostate Cancer. *Clinical Oncology* [online]. 2012, **24**(10), e159-e167 [cit. 2020-05-21]. DOI: 10.1016/j.clon.2012.09.003. ISSN 09366555. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S093665551200285>
- [74] KONSKI, Andre. Cost-effectiveness of intensity-modulated radiation therapy. *Expert Review of Pharmacoeconomics & Outcomes Research* [online]. 2014, **5**(2), 137-140 [cit. 2020-05-21]. DOI: 10.1586/14737167.5.2.137. ISSN 1473-7167. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1586/14737167.5.2.137>
- [75] KONSKI, Andre, Deborah WATKINS-BRUNER, Steven FEIGENBERG, Alexandra HANLON, Sachin KULKARNI, J. Robert BECK, Eric M. HORWITZ a

Alan POLLACK. Using decision analysis to determine the cost-effectiveness of intensity-modulated radiation therapy in the treatment of intermediate risk prostate cancer. *International Journal of Radiation Oncology\*Biophysics* [online]. 2006, **66**(2), 408-415 [cit. 2020-05-21]. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2006.04.049. ISSN 03603016. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360301606008571>

- [76] COOPERBERG, Matthew R., Naren R. RAMAKRISHNA, Steven B. DUFF, Kathleen E. HUGHES, Sara SADOWNIK, Joseph A. SMITH a Ashutosh K. TEWARI. Primary treatments for clinically localised prostate cancer: a comprehensive lifetime cost-utility analysis. *BJU International* [online]. 2013, 111(3), 437-450 [cit. 2020-05-21]. DOI: 10.1111/j.1464-410X.2012.11597.x. ISSN 14644096. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1464-410X.2012.11597.x>
- [78] ZEMPLÉNYI, A.T., Z. KALÓ, G. KOVÁCS, et al. Cost-effectiveness analysis of intensity-modulated radiation therapy with normal and hypofractionated schemes for the treatment of localised prostate cancer. *European Journal of Cancer Care* [online]. 2018, **27**(1) [cit. 2020-05-21]. DOI: 10.1111/ecc.12430. ISSN 09615423. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/ecc.12430>
- [79] MWACHOFI A, Al-Assaf AF. Health care market deviations from the ideal market. *Sultan Qaboos Univ Med J*. 2011 Aug;11(3):328-37. Epub 2011 Aug 15. PMID: 22087373; PMCID: PMC3210041.
- [78] Interview s MUDr. Jiří Bartoš MBA, MUDr. Igor Richter Ph.D, Ing. Vít Richter, Ing. Eva Plačková, Ing. Jaroslav Dvořák, Mgr. Ludmila Bobková, Mgr. Dana Hrstková, Ing. Zdenka Javorská, Ing. Jan Rais MBA, Ing. Dana Draslarová, Struktura nákladů radioterapie karcinomu prostaty v KOC, Krajská nemocnice Liberec, a.s. 2019
- [79] Radiační onkologie, Krajská nemocnice Liberec, a.s., 2018 - 2019
- [80] Výroční práva, Krajská nemocnice Liberec, a.s 2016, Dostupné z: <https://www.nemlib.cz/assets/uploads/2015/06/Vyrocní-Zprava-2016-web.pdf>
- [81] Výroční zpráva Krajská nemocnice Liberec, a.s 2017, Dostupné z: <https://www.nemlib.cz/assets/uploads/2015/06/VZ-2017-web.pdf>



## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Schéma modelu ABC v radioterapii (Zdroj: Van de Werf et al., 2012 [64]).....	37
Obrázek 2: Situační plán 1. suterénu RATLU (Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s.).....	49
Obrázek 3 – Procentuální vyjádření nákladových položek RATLU (Zdroj: Vlastní zpracování) .....	53
Obrázek 4 - Radioterapeutický proces (Zdroj: Vlastní zpracování) .....	54
Obrázek 5 - Rozložení nákladů jednotlivých aktivit 3D - CRT (Zdroj: Vlastní zpracování) .....	80
Obrázek 6 - Rozložení nákladů jednotlivých aktivit IMRT (Zdroj: Vlastní zpracování) .....	81

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Výčet literatury pro analýzu současného stavu problematiky (Zdroj: <i>Vlastní zpracování na podkladě studií</i> ) .....	27
Tabulka 2 - Struktura nákladů v KNL (Zdroj: <i>Výroční zprávy KNL, a.s. 2016 a 2017</i> ).....	47
Tabulka 3 - Struktura výnosů KNL (Zdroj: <i>Výroční zprávy KNL, a.s. 2016 a 2017</i> ) .....	47
Tabulka 4 - Přehled personálu (Zdroj: <i>Radiační onkologie KNL, a.s.</i> ).....	50
Tabulka 5 - Struktura nádorových onemocnění (Zdroj: <i>Radiační onkologie KNL, a.s.</i> ) .....	51
Tabulka 6 - Náklady a výnosy RATLU v roce 2016 (Zdroj: <i>Radiační onkologie KNL, a.s.</i> ).....	52
Tabulka 7 - Náklady a výnosy RATLU v roce 2017 (Zdroj: <i>Radiační onkologie KNL, a.s.</i> ).....	53
Tabulka 8 – Rozdělení aktivit (Zdroj: <i>vlastní zpracování</i> ) .....	54
Tabulka 9 - Procentuální rozdělení nákladových položek 501 a 518 (Zdroj: <i>Radiační onkologie KNL, a.s.</i> ).....	59
Tabulka 10- Procentuální rozdělení nákladové položky 551 (Zdroj: <i>Radiační onkologie KNL, a.s.</i> ).....	60
Tabulka 11 - Procentuální rozdělení nákladové položky 502 (Zdroj: <i>Radiační onkologie KNL, a.s.</i> ).....	60
Tabulka 12 – Průměrné hrubé a superhrubé mzdy zaměstnanců (Zdroj: <i>Mzdový řád KNL, a.s.</i> ).....	60
Tabulka 13 – Časová analýza aktivit u techniky 3D-CRT (Zdroj: <i>Vlastní zpracování</i> ) .....	61
Tabulka 14 - Časová analýza aktivit u techniky IMRT (Zdroj: <i>Vlastní zpracování</i> ).....	62
Tabulka 15 – Matice mzdových nákladů pro techniku 3D-CRT (Zdroj: <i>Vlastní zpracování</i> ) .....	64
Tabulka 16 – Matice mzdových nákladů pro techniku IMRT (Zdroj: <i>Vlastní zpracování</i> ) .....	64
Tabulka 17 - Procentuální rozdělení infrastrukturních nákladů (Zdroj: <i>Radiační onkologie KNL, a.s.</i> ).....	65

Tabulka 18 - Přehled infrastrukturních nákladů u techniky 3D-CRT (Zdroj: <i>Vlastní zpracování</i> ) .....	65
Tabulka 19 - Přehled infrastrukturních nákladů u techniky IMRT (Zdroj: <i>Vlastní zpracování</i> ) .....	65
Tabulka 20 - Procentuální rozložení komplementárních vyšetření (Zdroj: <i>Radiační onkologie KNL, a.s.</i> ).....	66
Tabulka 21 – Přehled nákladů sekundárních aktivit u techniky 3D-CRT (Zdroj: <i>Vlastní zpracování</i> ) .....	66
Tabulka 22 - Přehled nákladů sekundárních aktivit u IMRT (Zdroj: <i>Vlastní zpracování</i> ) .....	66
Tabulka 23 – Matice nákladů pro techniku 3D-CRT (Zdroj: <i>Vlastní zpracování</i> ) ..	67
Tabulka 24 – Matice nákladů pro techniku IMRT (Zdroj: <i>Vlastní zpracování</i> ) .....	67
Tabulka 25 - Přehled vztahových veličin (Zdroj: <i>Vlastní zpracování</i> ) .....	68
Tabulka 26 - Jednotkové náklady aktivit 3D - CRT (Zdroj: <i>Vlastní zpracování</i> ) ...	69
Tabulka 27 - Jednotkové náklady aktivit IMRT (Zdroj: <i>Vlastní zpracování</i> ) .....	69
Tabulka 28 - Kalkulační list 3D - CRT - 1 pacient (Zdroj: <i>Vlastní zpracování</i> ) .....	70
Tabulka 29 - Kalkulační list IMRT - 1 pacient (Zdroj: <i>Vlastní zpracování</i> ) .....	71
Tabulka 30 - Kalkulační list 3D - CRT - 312 pacientů (Zdroj: <i>Vlastní zpracování</i> ) .....	71
Tabulka 31 - Kalkulační list IMRT - 273 pacientů (Zdroj: <i>Vlastní zpracování</i> ) .....	71
Tabulka 32 – Úhrady za provedené výkony pro 3D-CRT v roce 2016 (Zdroj: <i>Radiační onkologie KNL, a.s.</i> ) .....	72
Tabulka 33 – Úhrady za provedené výkony pro IMRT v roce 2017 (Zdroj: <i>Radiační onkologie KNL, a.s.</i> ).....	73
Tabulka 34 - Porovnání skutečných nákladů 3D – CRT s úhradami od ZP (Zdroj: <i>Vlastní zpracování</i> ) .....	73
Tabulka 35 - Porovnání skutečných nákladů IMRT s úhradami od ZP (Zdroj: <i>Vlastní zpracování</i> ) .....	73
Tabulka 36 - Výchozí situace na oddělení Radiační onkologie (Zdroj: <i>Radiační onkologie KNL, a.s.</i> ).....	74
Tabulka 37 - Technické rozdíly u ozařovacích technik (Zdroj: <i>Radiační onkologie KNL, a.s.</i> ).....	74
Tabulka 38 - Naměřené hodnoty délky časů jednotlivých aktivit (Zdroj: <i>Vlastní zpracování</i> ) .....	75

Tabulka 39 - Porovnání celkových nákladů ( <i>Zdroj: Vlastní zpracování</i> ) .....	75
Tabulka 40 – Citlivostní analýza - ozařování technikou 3D-CRT ( <i>Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s. - Vlastní zpracování</i> ).....	76
Tabulka 41 - Citlivostní analýza - ozařování technikou IMRT ( <i>Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s. - Vlastní zpracování</i> ).....	76
Tabulka 42 - Citlivostní analýza - plánování technikou 3D-CRT ( <i>Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s. - Vlastní zpracování</i> ).....	77
Tabulka 43 - Citlivostní analýza - plánování technikou IMRT ( <i>Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s. - Vlastní zpracování</i> ).....	77
Tabulka 44 - Odlišnosti klinického zhodnocení techniky 3D-CRT a IMRT ( <i>Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s. - Vlastní zpracování</i> ).....	78
Tabulka 45 - Kalkulační list 3D - CRT - 1 pacient ( <i>Zdroj: Vlastní zpracování</i> ) .....	80
Tabulka 46 - Kalkulační list IMRT - 1 pacient ( <i>Zdroj: Vlastní zpracování</i> ).....	81
Tabulka 47 - Komparace nákladů aktivit 3D - CRT a IMRT ( <i>Zdroj: Vlastní zpracování</i> ) .....	82
Tabulka 48 - Porovnání celkových nákladů ( <i>Zdroj: Vlastní zpracování</i> ) .....	82
Tabulka 49 – Porovnání skutečných nákladů 3D – CRT s úhradami od ZP ( <i>Zdroj: Vlastní zpracování</i> ) .....	82
Tabulka 50 - Porovnání skutečných nákladů IMRT s úhradami od ZP ( <i>Zdroj: Vlastní zpracování</i> ) .....	82
Tabulka 51 – Výchozí situace na oddělení Radiační onkologie ( <i>Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s. - Vlastní zpracování</i> ).....	83
Tabulka 52 - Technické rozdíly u ozařovacích technik 3D-CRT a IMRT ( <i>Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s. - Vlastní zpracování</i> ).....	83
Tabulka 53 - klinického zhodnocení techniky 3D-CRT a IMRT ( <i>Zdroj: Radiační onkologie KNL, a.s. - Vlastní zpracování</i> ).....	84

## Seznam vzorců

Vzorec 1 – Kalkulace jednotkových nákladů ( <i>Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63]</i> ) ..43	43
Vzorec 2 – Mzdové náklady aktivity A1 ( <i>Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63]</i> ).....63	63
Vzorec 3 - Mzdové náklady aktivity A2 ( <i>Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63]</i> ) .....63	63
Vzorec 4 - Mzdové náklady aktivity A3 ( <i>Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63]</i> ) .....63	63
Vzorec 5 - Mzdové náklady aktivity A4 ( <i>Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63]</i> ) .....63	63
Vzorec 6 – Mzdové náklady aktivity A5 ( <i>Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63]</i> ).....63	63
Vzorec 7 - Kalkulace jednotkových nákladů ( <i>Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63]</i> )...68	68
Vzorec 8 - Kalkulace jednotkových nákladů aktivity A1 ( <i>Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63]</i> ).....68	68
Vzorec 9 - Kalkulace jednotkových nákladů aktivity A2 ( <i>Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63]</i> ).....68	68
Vzorec 10 - Kalkulace jednotkových nákladů aktivity A3 ( <i>Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63]</i> ).....68	68
Vzorec 11 - Kalkulace jednotkových nákladů aktivity A4 ( <i>Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63]</i> ).....69	69
Vzorec 12 - Kalkulace jednotkových nákladů aktivity A5 ( <i>Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63]</i> ).....69	69
Vzorec 13 – Celkové náklady aktivity ( <i>Zdroj: Popesko, Boris 2014 [63]</i> ) .....70	70