



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ
Katedra biomedicínské techniky

**Klinicko-ekonomické vyhodnocení roboticky řízeného
ozařovacího přístroje z pohledu zdravotnického
zařízení při léčbě karcinomu prostaty**

**Clinical and economic evaluation of robotic
radiosurgery system for prostate cancer treatments
from the perspective of health care provider**

Diplomová práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika
Studijní obor: Systémová integrace procesů ve zdravotnictví
Autor diplomové práce: Bc. Denisa Horáková
Vedoucí diplomové práce: Ing. Gleb Donin

Kladno 2017

Z a d á n í d i p l o m o v é p r á c e

Student: **Bc. Denisa Horáková**
Studijní obor: Systémová integrace procesů ve zdravotnictví
Téma: **Klinicko-ekonomické vyhodnocení roboticky řízeného ozařovacího přístroje z pohledu zdravotnického zařízení při léčbě karcinomu prostaty**
Téma anglicky: Clinical and economic evaluation of robotic radiosurgery system for prostate cancer treatments from the perspective of health care provider

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je klinicko-ekonomické vyhodnocení využití roboticky řízeného ozařovacího přístroje při léčbě karcinomu prostaty z pohledu zdravotnického zařízení. Na základě analýzy odborných publikací vydefinujte kritéria klinické efektivity se zaměřením na vybranou diagnózu a následně vyhodnoťte klinickou efektivitu vybrané technologie. Na základě získaných údajů proveďte porovnání s konvenčně používanou radioterapeutickou léčbou pomocí metody multikriteriálního rozhodování. Vypracujte přehled odborných publikací zabývajících se problematikou ekonomického hodnocení technologie CyberKnife při léčbě karcinomu prostaty v porovnání se zvoleným komparátorem. Dle existujících standardů postupu léčby vybrané diagnózy stanovte průběh terapie a nákladově ohodnoťte jednotlivé etapy dle veřejně dostupných ekonomických údajů pro vybranou technologii i komparátor. Následně proveďte analýzu nákladové efektivity vybraných technologií z pohledu poskytovatele zdravotní péče a doplňte ji senzitivní analýzou.

Seznam odborné literatury:

- [1] Amin, N. P., Sher, D. J., & Konski, A. A., Systematic review of the cost effectiveness of radiation therapy for prostate cancer from 2003 to 2013., Applied Health Economics and Health Policy, ročník 12, číslo 4, 2014
- [2] BRENT, Robert J., Cost-Benefit Analysis and Health Care Evaluations, ed. 1, Edward Elgar Publishing, 2004, ISBN 1-84064-844-9
- [3] Bijlani A, Aguzzi G, Schaal DW, Romanelli P., Stereotactic Radiosurgery and Stereotactic Body Radiation Therapy Cost-Effectiveness Results, Frontiers in Oncology, ročník 3, číslo 77, 2013

Vedoucí: Ing. Gleb Donin

Zadání platné do: 20.08.2018

.....
vedoucí katedry / pracoviště

.....
děkan

V Kladně dne 20.02.2017

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „Klinicko-ekonomické vyhodnocení roboticky řízeného ozařovacího přístroje z pohledu zdravotnického zařízení při léčbě karcinomu prostaty“ vypracovala samostatně a použila 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 19.5.2017

.....

Bc. Denisa Horáková

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala zejména panu Ing. Doninovi za čas, který mi věnoval během vypracování této práce. Také bych chtěla poděkovat panu prof. Rosinovi a prof. Navrátilovi za poskytnutí odborné konzultace. Další dík bych chtěla věnovat všem svým blízkým, kteří mě podporovali během celé doby studia.

ABSTRAKT

Klinicko-ekonomické vyhodnocení roboticky řízeného ozařovacího přístroje z pohledu zdravotnického zařízení při léčbě karcinomu prostaty

Cíle studie: Hlavním cílem této diplomové práce je porovnání nákladové efektivity robotické stereotaktické radioterapie (CyberKnife) a konvenčně používané radioterapie s modulovanou intenzitou (IMRT) při léčbě lokalizovaného karcinomu prostaty.

Metody: Pro stanovení klinického efektu obou technologií byla zvolena metoda multikriteriálního rozhodování (AHP) a hodnocení kvality života (QALY) včetně jednocestné analýzy citlivosti. Náklady na léčbu byly odhadnuty na základě veřejně dostupných zdrojů z pohledu poskytovatele zdravotní péče pro tři varianty (optimistickou, realistickou a pesimistickou). Nákladová efektivita byla stanovena pomocí analýzy nákladové efektivity a analýzy nákladů a užitku.

Výsledky: Nákladová efektivita stanovená pomocí metody AHP byla 133 039 Kč/efekt pro CyberKnife a 132 737 Kč/efekt pro IMRT v rámci realistické varianty. V tomto případě by CyberKnife mohl být efektivnější než IMRT, pokud by jeho pořizovací cena byla menší než 149 mil. Kč. Výsledky analýzy nákladů a užitku pro realistickou variantu byly 8 052 Kč/QALY pro CyberKnife a 5 317 Kč/QALY pro IMRT. Zde by měl CyberKnife větší efektivitu v případě, že by jeho pořizovací cena byla menší než 58 mil. Kč. Za předpokladu rovnosti klinického efektu obou přístrojů byl ve všech variantách nákladově efektivnější IMRT. V případě nákladové efektivity vyjádřené pomocí metody AHP byl efektivnější CyberKnife při počtu pacientů vyšším nebo rovném 700. Nákladová efektivita stanovená pomocí QALY je při každém zkoumaném počtu ozářených pacientů vyšší u IMRT.

Závěr: Dle klinického efektu stanoveného metodou AHP je nákladová efektivita léčby přístrojem CyberKnife oproti IMRT vyšší v optimistické a pesimistické variantě. Na základě klinické efektivity stanovené pomocí QALY je ve všech variantách nákladově efektivnější léčba pomocí IMRT. Výsledky této diplomové práce ukazují, že hodnocení klinicko-ekonomické efektivity je důležitým nástrojem při rozhodování o nákupu radioterapeutických technologií.

Klíčová slova

Analýza nákladové efektivity, radioterapie, cyberknife, stereotaktická radioterapie, radioterapie s modulovanou intenzitou, karcinom prostaty

ABSTRACT

Clinical and economic evaluation of robotic radiosurgery system for prostate cancer treatments from the perspective of health care provider

Purpose: The purpose of this study is to compare the clinical and economic evaluation of robotic stereotactic body radiation therapy (CyberKnife) and conventional intensity-modulated radiation therapy (IMRT) for treatment of localized prostate cancer.

Methods: Multicriterial decision making (analytic hierarchic process) and quality of life evaluation (QALY) were used to determine clinical effect of both interventions. The estimation of three variants of the cost was obtained from publicly available secondary sources. The cost effectiveness analysis was conducted from health care provider perspective for three variants (optimistic, realistic, pessimistic). One-way sensitivity analyses were performed.

Results: The cost-effectiveness determined by analytic hierarchic process was 133 039 Kč/effect for CyberKnife and 132 737 Kč/effect for IMRT for realistic variant. If we want to achieve the same cost-effectiveness of CyberKnife and IMRT, purchase price of CyberKnife would have to be less than 149 mil. Kč. The cost-effectiveness determined by cost utility analysis was 8 052 Kč/QALY for CyberKnife and 5 317 Kč/QALY for IMRT. If we want to achieve the same cost-effectiveness of CyberKnife and IMRT, purchase price of CyberKnife would have to be less than 58 mil. Kč. The sensitivity analysis revealed that equality of CyberKnife and IMRT clinical effects shows IMRT was more cost effective than CyberKnife. The cost-effectiveness determined by analytic hierarchic process was higher for CyberKnife, if the number of treated patients is higher than 700 per year. The cost-effectiveness determined by QALY was higher for IMRT in all cases.

Conclusions: Based on clinical effect determined by analytic hierarchic process, CyberKnife was more cost-effective than IMRT in optimistic and pessimistic variant. Based on clinical effect determined by cost utility analysis, IMRT was more cost-effective than CyberKnife in all variants. The results of this thesis shows the key role of using cost-effectiveness analyses in radiotherapeutic technologies purchasing decisions.

Keywords

Cost-effectiveness analysis, radiotherapy, cyberknife, stereotactic body radiotherapy, intensity-modulated therapy, prostate cancer.

Obsah

Seznam zkratk	9
1 Úvod	10
2 Přehled současného stavu problematiky	11
2.1 Karcinom prostaty	11
2.2 Technologie CyberKnife	14
2.3 Technologie IMRT	16
2.4 Klinická a nákladová efektivita CyberKnife a IMRT	17
3 Metody	20
3.1 Rešerše klinických výstupů	20
3.2 Hodnocení klinické efektivity	22
3.2.1 Metoda AHP – Analytický hierarchický proces	22
3.2.2 Stanovení QALY	25
3.3 Analýza postupu léčby	26
3.4 Nákladová analýza	26
3.5 Analýza nákladové efektivity – CEA	28
3.6 Analýza nákladů a užitku - CUA	28
3.7 Analýza citlivosti	29
4 Výsledky	30
4.1 Rešerše klinických výstupů	30
4.2 Hodnocení klinické efektivity	38
4.2.1 Porovnání CyberKnife a IMRT pomocí metody AHP	38
4.2.2 Porovnání CyberKnife a IMRT pomocí QALY	39
4.3 Analýza postupu léčby	40
4.4 Nákladová analýza	44
4.4.1 Pořizovací ceny radioterapeutických přístrojů	44
4.4.2 Servisní náklady	47
4.4.3 Personální náklady	48
4.4.4 Materiální náklady	51
4.4.5 Náklady na vyšetření MR, CT a simulátorem	53
4.4.6 Celkové náklady na léčbu	55

4.5	Analýza nákladové efektivity.....	57
4.5.1	Stanovení hranic efektivity.....	58
4.6	Analýza nákladů a užitku	61
4.6.1	Stanovení hranic efektivity.....	62
4.7	Analýza citlivosti.....	65
4.7.1	Vliv velikosti klinického efektu na nákladovou efektivitu.....	65
4.7.2	Vliv počtu pacientů na nákladovou efektivitu.....	69
5	Diskuse	71
6	Závěr	78
	Seznam použité literatury	79
	Seznam obrázků.....	88
	Seznam tabulek	89
	Příloha A: Personální náklady – optimistická a pesimistická varianta	91
	Příloha B: Materiální náklady – optimistická a pesimistická varianta	95

Seznam zkratek

Zkratka	Význam
ADT	Androgen-deprivační terapie
AHP	Analytický hierarchický proces
ASTRO	American Society for Radiation Oncology
CEA	Analýza nákladové efektivity
CK	CyberKnife, kybernetický nůž
CT	Výpočetní tomografie/tomograf
CTCAE	Common Terminology Criteria for Adverse Events
CUA	Analýza nákladů a užítku
ČNB	Česká národní banka
EBM	Evidence Based Medicine – medicína založená na důkazech
GI	Gastrointestinální
GS	Gleasonovo skóre
GU	Genitourinární
HV	Hodinový výdělek
IGRT	Radioterapie řízená obrazem
IMRT	Radioterapie s modulovanou intenzitou
ISPV	Informační systém o průměrných výdělcích
MR	Magnetická rezonance
NCCN	National Comprehensive Cancer Network
PSA	Prostatický specifický antigen
Q3	Horní kvartil
QALY	Quality Adjusted Life Years
RTOG	Radiation Therapy Oncology Group
SBRT	Stereotaktická radioterapie
TNM	The Classification of Malignant Tumours
TRUS	Transrektální ultrasonografie
ÚZIS	Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR
VMAT	Objemově modulovaná oblouková terapie
WHO	Světová zdravotnická organizace

1 Úvod

Dnešní doba je charakteristická rychlým rozvojem nových technologií a metod nejen v oblasti medicíny a zdravotnictví. Vše urychlil rozvoj výkonné výpočetní technologie, která je nenahraditelná a prakticky všudypřítomná. Tento rozvoj je finančně náročný nejen pro výrobce, ale také pro spotřebitele, v našem případě zdravotnická zařízení, která chtějí léčit dle postupů lege artis. Veřejné zdroje ale nejsou nevyčerpatelné. Proto je třeba čím dál více hledět nejen na klinickou účinnost, ale i na nákladovou efektivitu léčby. Úkolem každého zdravotnického zařízení je tedy léčit s co nejlepšími klinickými výsledky za co nejnižší cenu.

Hlavním cílem této diplomové práce je klinicko-ekonomické vyhodnocení roboticky řízeného ozařovacího přístroje, konkrétně technologie CyberKnife a jeho srovnání s konvenčně používaným ozařovacím přístrojem. Jako komparátor byla vybrána radioterapie s modulovanou intenzitou (IMRT). Celá práce je zaměřena na léčbu karcinomu prostaty. Dílčími cíli, jejichž splnění je nezbytné pro klinicko-ekonomické vyhodnocení léčby, jsou: stanovení vhodných klinických kritérií a jejich kvantifikace, stanovení velikosti klinického efektu pomocí metody multikriteriálního hodnocení a QALY, definování postupu léčby, stanovení a vyčíslení nákladů na léčbu jednoho pacienta z perspektivy českého poskytovatele zdravotnických služeb a vytvoření přehledu publikací porovnávajících náklady na léčbu přístrojem CyberKnife a IMRT. Závěrem práce je klinicko-ekonomické vyhodnocení léčby doplněno stanovením hranic efektivity dle výše pořizovací ceny technologie CyberKnife a poté vypracování citlivostní analýzy zaměřující se na vliv klinického efektu a počtu ozářených pacientů na výslednou nákladovou efektivitu.

2 Přehled současného stavu problematiky

2.1 Karcinom prostaty

Mechanismus vzniku karcinomu prostaty není známý. Znamé jsou pouze rizikové faktory, mezi které patří například dědičnost nebo strava bohatá na lipidy. Vznik a počáteční průběh karcinomu bývá velmi často asymptomatický. Časem se mohou objevovat potíže se ztíženým močením. Další možností může být utlačování močového měchýře, a naopak vznik problémů s častým nucením k močení, neboli syndrom iritovaného močového měchýře. Ve vážnějších případech může docházet k hematurii, hemospermatu nebo erektilní dysfunkci [1, 2]. Obecné symptomy mohou být únava, nechutenství, hubnutí, přítomnost kostních metastáz, zlomeniny, chudokrevnost atd. [2].

V 95% případů karcinomu prostaty se jedná o adenokarcinom vycházející z lumenárních buněk prostatických acinů. Další formy karcinomu prostaty jsou nádory z endokrinních buněk, mezenchymové nádory nebo lymfomy, jejichž výskyt je spíše vzácný [2]. Nádory jsou rozlišovány dle stupně diferenciaci, a to dle Gleasonova skóre (GS), které rozděluje nádory do čtyř skupin. Po zjištění dvou nejčastějších stupňů diferenciaci nádorových buněk je výsledné Gleasonovo skóre dáno součtem skóre těchto buněk. Výsledné skóre u jednoho pacienta se může pohybovat od 2 do 10 [2]. Adenokarcinomy prostaty jsou dále klasifikovány dle metodiky TNM, tedy dle místa zasažení karcinomu prostaty případně metastáz karcinomu prostaty [3].

Hlavními rizikovými faktory vzniku karcinomu prostaty jsou vysoká koncentrace sérového testosteronu a nízká koncentrace sérového proteinu, který váže testosteron, konkrétně sex hormone-binding protein. Bylo prokázáno, že hormony mají nezpochybnitelný vliv na vznik tohoto typu nádoru. Další rizikový faktor, který byl již zmiňován výše, je strava s vysokým obsahem tuku. Pravděpodobnost vzniku nádoru roste například u konzumace červeného masa, potravou s nízkým obsahem vlákniny, selenu nebo karotenu obsaženého v rajčatech. Významným rizikovým faktorem je také dědičnost. Pokud se u přímých příbuzných objeví tento druh karcinomu, zvyšuje se pravděpodobnost vzniku karcinomu prostaty přibližně dvakrát. Pokud by v přímé linii byly známy dva případy, riziko se zvyšuje pět krát a u třech příbuzných jedenáctkrát. Dokonce byl nalezen gen HPC1 na prvním chromozomu, který je odpovědný za vznik karcinomu prostaty v rodině v nízkém věku. Mezi další důvody vzniku se řadí chronické záněty, není ale jasné, zda za to může infekční agens nebo zánětlivé procesy. Dalšími možnostmi je poté vazektomie, kouření nebo vystavení se účinkům kadmia [4].

Diagnostika tohoto onemocnění probíhá nejčastěji určením hladiny prostatického specifického antigenu PSA v krvi. PSA ale není ideální marker, jeho zvýšená hodnota ještě nemusí ukazovat na karcinom prostaty, i přes to je ale vyšetřován. Hodnota PSA se u zdravých mužů pohybuje do 4 ng/ml. Zvýšení hladiny PSA o 0,75 ng/ml za rok již ukazuje na možný rozvoj karcinomu prostaty. Jsou ale zaznamenány i případy, kdy měl pacient s karcinomem prostaty hodnotu PSA nízkou.

Potvrzení onemocnění karcinomu prostaty se provádí histologicky biopsií prostaty, která je odebrána pomocí transrektální ultrasonografie (TRUS). Počet odebíraných vzorků je individuální. Doporučuje se osm až čtrnáct nebo více. Stádium onemocnění se stanovuje dalším vyšetřením jako scintigrafie skeletu, RTG plic, CT pánve, ultrazvukem nebo magnetickou rezonancí [1, 2, 4].

Karcinom prostaty se rozděluje do čtyř stádií (I-IV). První stádium je u starších mužů pouze pozorováno (aktivní surveillance), u mladších se léčí radikální prostatektomií nebo zevní radioterapií. Stejný typ léčby se uplatňuje i u II. stádia. V případě III. stádia se provádí radioterapie společně s hormonální léčbou. U stádia IV. se provádí například hormonální manipulace spolu s radioterapií. Kritické orgány, které mohou být radioterapií zasaženy jsou zejména rectum, močový měchýř nebo femur [1].

Nežádoucí účinky plynoucí z radioterapie karcinomu prostaty jsou akutní gastrointestinální toxicita, projevující se zánětem tenkého střeva, zánětem konečníku s bolestivým nucením na stolicí, průjmy nebo vylučování stolice s krví. Dalším typem nežádoucích účinků může být genitourinární toxicita. Ta se projevuje akutním zánětem močových cest, dysurií nebo opakovanou evakuací malého množství moči v krátkých časových intervalech. Radioterapie také může poškozovat kožní epitel. Může vznikat červené zbarvení kůže nebo epilace. Chronické nežádoucí účinky, toxicity, se projevují například jako chronický zánět rekta nebo močových cest, patologické zúžení močové trubice nebo fibrotizace močového měchýře. Akutní nežádoucí účinky mizí přibližně do třech měsíců od ozáření. Chronické komplikace se začínají objevovat asi po třech měsících po posledním ozáření. Nežádoucí účinky se hodnotí dle dotazníků, které jsou předkládány pacientovi. Nejčastější dotazníky jsou RTOG (z angl. Radiation Therapy Oncology Group) nebo CTCAE (Common Terminology Criteria for Adverse Events). Dle RTOG se nežádoucí účinky radioterapie dělí do 4 stupňů a také dle zasažené tkáně a orgánu [4].

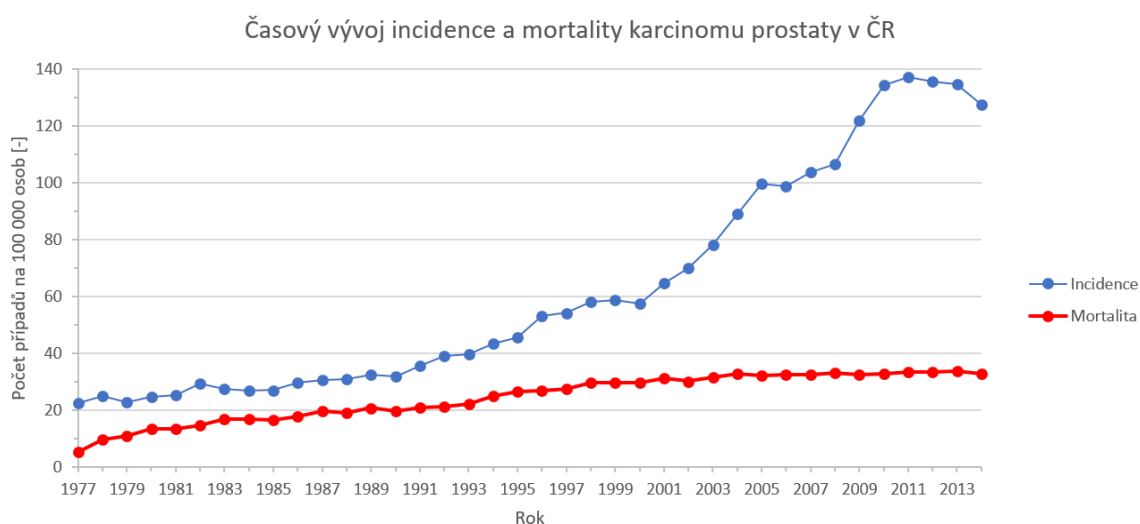
Podle dostupných informací z webového portálu www.svod.cz je incidence karcinomu prostaty v České republice v porovnání se subkontinenty světa v přepočtu na 100 000 osob rovna 113,1. Největší incidence je v západní Evropě a to konkrétně 182,8 [5]. Nejvyšší výskyt karcinomu prostaty je pozorován u Afroameričanů a v socioekonomicky vyspělých zemích. Nejnižší incidence je poté u Asiatů. Prudké zvýšení incidence nádoru prostaty je způsobeno hlavně zavedením pravidelných preventivních vyšetření prostatického specifického antigenu [2].

V porovnání s evropskými zeměmi je Česká republika podle informací www.svod.cz na 18. místě v četnosti incidence karcinomu prostaty. Na prvním místě je Francie s incidencí 218,4 na 100 000 osob [6]. Incidence karcinomu prostaty v České republice byla podle Světové zdravotnické organizace WHO v roce 2012 ze všech nádorů nejvyšší (**Tabulka 1**).

Tabulka 1: Incidence nejčastějších nádorů v ČR za rok 2012 dle informací WHO [7]

Nádor	Počet případů [-]
Karcinom prostaty	6848
Karcinom tlustého střeva	4978
Karcinom plic	4624
Karcinom ledvin	2116
Karcinom močového měchýře	1774
Melanom	1146
Karcinom pankreatu	1086

Dle informací z portálu www.svod.cz má incidence karcinomu prostaty v České republice od roku 1977 do roku 2014 rostoucí trend. Zatímco v roce 1977 byla incidence v přepočtu na 100 000 osob 22,51, v roce 2014 byla již 127,37. Mortalita byla v roce 1977 5,25 a v roce 2014 byla 32,75 na 100 000 osob [8] (**Obrázek 1**). Karcinom prostaty v ČR se vyskytuje u muže asi od 44 let věku, nejvyšší incidence je v 80-84 letech. [9]



Obrázek 1: Incidence a mortalita karcinomu prostaty v ČR [8]

2.2 Technologie CyberKnife

CyberKnife (kybernetický nůž) je neinvazivní robotický stereotaktický radioterapeutický systém (Stereotactic Body Radiation Therapy, SBRT), který je primárně určen k léčbě nádorových onemocnění vyskytujících se v jakýchkoli částech lidského těla. Nejčastěji v oblasti hlavy, míchy, plic, prostaty, jater nebo slinivky břišní. Léčba spočívá ve velmi přesném zacílení dávky radiačního záření přímo do místa tumoru. Minimální působení radiace na zdravé tkáně v blízkém okolí poté příznivě ovlivňuje následné hojivé procesy. Metoda je bezbolestná a není třeba užití anestetika.

Výhodou u technologie CyberKnife je, že ozařované části těla není nutné složitě fixovat do speciálních rámců, které se používají například při ozařování gama nožem. Ani není potřeba zadržovat dech během ozařování. Pacient se tak cítí mnohem pohodlněji a nehrozí mu velké zdravotní komplikace. Jednou z hlavních nevýhod vyplývajících z vysoké přesnosti tohoto systému je doba ozařování jednoho pacienta, která je přibližně 30 – 120 minut.

Kybernetický nůž využívá speciální software, který pomocí kamer, detektorů a markerů kontinuálně sleduje pohyby pacienta v čase. Což je výhodné hlavně při zohledňování dýchacích pohybů, kontrakcí myokardu, pohybu střev či močové trubice. Dávka radiačního záření je tak směřována do nádoru s velmi vysokou přesností [10].

Pomocí robotického ramene/ruky, která vykonává translační i rotační pohyby a lůžka s polohovacím systémem, je přizpůsobován úhel působení radiačního záření. Díky robotické ruce, navíc není nutné výrazně pohybovat s pacientem.

Detektory, umístěné pod polohovacím lůžkem, kontinuálně mapují polohu pacienta a nádoru, kterou porovnávají s pozicí předchozí. Polohu pacienta je nutné stanovovat pomocí chirurgicky umístěných interních markerů v těle pacienta a externích markerů emitujících světlo, které jsou umístěny na kůži pacienta. Systém rozpoznává, jak se mění pozice externích vůči příslušným interním markerům. Na základě těchto informací je nádor ozařován s přesností na 0,5 mm. Tento systém synchronizace je využíván primárně k léčbě tumorů, které jsou v neustálém pohybu, jako například tumorů na plicích, srdci či prostatě.

Kybernetický nůž využívá lineární urychlovač Linac, který je připojen přímo k robotickému rameni přístroje a vysílá rentgenové záření o energii 6 MeV. Kolimátor vytváří paprsek cirkulárního tvaru o průměru od 0,4 do 0,7 mm. Po lokalizaci ložiska urychlovač vyše paprsek rentgenového záření do místa určení. Každý paprsek je cílený nezávisle. Pokud se objekt hýbe, přístroj to detekuje a provede korekci. Paprsek je pak posílán stále do aktuální polohy tumoru [11].

System CyberKnife Robotic Radiosurgery vznikl v srpnu roku 2001. Výrobce je firma Accuray Incorporated z USA [12]. První a zatím jediný kybernetický nůž v České republice je ve Fakultní nemocnici Ostrava. Provoz byl zahájen v srpnu roku 2010 [13]. Dle tiskové zprávy FN Ostrava zde bylo v roce 2013 ozářeno nejvíce pacientů léčených CyberKnifem s extrakraniálními nádory na světě [14].

Ze všech CyberKnifem ozářených pacientů je ve FN Ostrava asi třetina postižena karcinomem prostaty [15]. Navíc hned po dvou letech od zahájení léčby CyberKnifem se ve FN Ostrava léčilo nejvíce pacientů s karcinomem prostaty v Evropě. Na třetím místě v léčbě karcinomu prostaty poté byla FN Ostrava ve světovém měřítku [16].

2.3 Technologie IMRT

Radioterapie s modulovanou intenzitou IMRT (z angl. Intensity Modulated Radiation Therapy) je extrakraniální ozařovací technika, jejíž principem je přesné zacílení dávky radiačního záření do místa tumoru. Díky této technologii dochází k prudkému poklesu dávky záření a tím minimálnímu poškození okolní zdravé tkáně, největší intenzita záření je poté pohlcována nádorem. Tato technologie je používána při léčbě nejruznějších nádorů. Například nádorů centrální nervové soustavy, hlavy, krku, prsu, gastrointestinálního traktu, prostaty a dalších.

Ozařovače využívající technologii IMRT jsou sestaveny ze stovek lamelových kolimátorů, které mají za úkol cílit paprsky radiačního záření různé intenzity přímo do místa nádoru [17, 18]. Systém tedy při léčbě využívá kontrolované kolísání intenzity záření. To vše je zajištěno pohybem kolimátoru. Před samotnou léčbou je třeba řádně naplánovat rozložení intenzity záření v místě určení. To určuje zkušený lékař či fyzik pomocí speciálního softwaru. Nepravidelný tvar nádoru je tímto systémem zacílen v celém svém objemu. Při terapii je nutná fixace či stabilizace pacienta, která zajistí přesné zacílení dávky záření do místa nádoru. V průběhu léčby může docházet k anatomickým změnám pacienta, ty vedou k nepřesnostem při ozařování a před každým zářením je nutná verifikace [4, 19]. První pacient podstoupil IMRT v roce 1994. První myšlenky a teorie na sestavení tohoto radioterapeutického přístroje vznikly již v roce 1982 [20].

V moderních verzích IMRT se používá již zmiňované inverzní plánování, kdy jsou primárně definovány parametry potřebné k efektivní distribuci záření. Je popisován cílový objem a poloha nádoru nebo poloha kritických orgánů. Jednotlivým strukturám ozařované tkáně jsou poté přiřazovány priority, na základě kterých se stanoví výsledná optimalizovaná intenzita svazku, která by měla být v místě nádoru pohlcena [1].

Pacient může být ozařován statickými poli z více úhlů nebo může docházet k rotaci hlavičky, případně ke změně polohy stolu s pacientem [4]. V České republice se dnes tato konvenčně používaná technologie poprvé nainstalovala na Klinice onkologie a radioterapie v Hradci Králové v roce 2003 [19].

2.4 Klinická a nákladová efektivita CyberKnife a IMRT

Radioterapie jako primární alternativa léčby karcinomu prostaty zaznamenala za poslední dvě desetiletí prudký vzestup. Novými trendy v externí radioterapii jsou protonová léčba a stereotaktická radioterapie. Standardní radioterapeutickou léčbou je v dnešní době radioterapie s modulovanou intenzitou (IMRT). Stereotaktická radioterapie, která využívá hypofrakcionaci ale přináší výhody oproti konvenční frakcionaci IMRT. Příkladem technologie využívající extrémní formu hypofrakcionace je technologie CyberKnife. Tato technologie je více citlivá na zaměření záření a dodává také větší dávky záření do nádorové tkáně pouze ve čtyřech až pěti frakcích. To se jeví jako velká výhoda oproti běžné metodě IMRT, která využívá přibližně 40 frakcí menších dávek záření. Mnoho studií totiž uvádí, že karcinom prostaty je senzitivnější na vyšší dávky radiačního záření. Další nespornou výhodou je také menší časová náročnost léčby pro samotné pacienty, ale i pro ošetřující personál. A z toho plynoucí potenciální snižování nákladů na léčbu [21]. Americká společnost pro radiační onkologii (ASTRO) zahrnuje metodu SBRT jako vhodnou alternativu pro pacienty s nízkým až středním rizikem karcinomem prostaty [22].

Publikované studie zabývající se stereotaktickou radioterapií jsou hlavně klinické studie I a II fáze nebo retrospektivní studie. Ty ukazují na snižování toxicity oproti konvenčně používaným metodám [21]. Největší publikovaná studie je od Kinga [23], která zkoumá biochemickou progresi onemocnění u 1100 pacientů léčených systémem CyberKnife. Naproti tomu Dearnaley vytvořil rozsáhlou randomizovanou kontrolovanou studii na výzkum klinických efektů léčby IMRT [24]. Studie, hodnotící klinickou účinnost léčby přístrojem CyberKnife v porovnání s IMRT, jsou podrobně popsány v kapitole rešerše klinických výstupů.

V současné době probíhají klinické studie zkoumající efekty léčby karcinomu prostaty technologií CyberKnife. Například studie č. NCT01045148, NCT02070952, NCT02016248, NCT00643994, NCT02225262.

Na základě publikovaných studií, které byly nalezeny pomocí systematické rešerše bylo identifikováno 7 studií, které porovnávaly radioterapii s modulovanou intenzitou (IMRT) a stereotaktickou radioterapii (SBRT) z hlediska nákladů na léčbu jednoho pacienta. Ve všech případech se analyzovala metoda SBRT obecně, tedy nebylo rozlišováno, zda se jedná o technologii CyberKnife. Nicméně dle těchto studií je zřetelné, že metoda SBRT je méně nákladná a přináší větší nebo srovnatelný užitek jako metoda IMRT.

Dle Avkshtola [25] je metoda CyberKnife méně nákladná pravděpodobně proto, že využívá hypofrakcionaci. Kalkulační modely, se kterými bylo v této studii pracováno ukazují, že náklady na pořízení přístrojové techniky jsou převýšeny mzdovými náklady. Průměrná cena za léčbu pacienta z pohledu plátce zdravotní péče se u SBRT pohybuje mezi \$19 275 a \$24 873 a u IMRT je \$29 356.

Parthan [26] ve své studii uvádí, že SBRT je vůči IMRT i protonové léčbě méně nákladná a přináší více QALY. Z pohledu plátce byly náklady na SBRT \$24 873, pro IMRT \$33 068 a pro zajímavost protonová terapie vyšla na \$69 412. Metoda SBRT přinesla celkové QALY 8,11, metoda IMRT 8,05 a protonová terapie 8,06. Z pohledu celospolečenského, tedy sociální perspektivy, vyšla léčba pacienta metodou SBRT na \$25 097, metodou IMRT \$35 088 a protonovou terapií \$74 657.

Hodges [27] ve své práci porovnával opět metodu IMRT a SBRT u pacientů s nízkým až středním rizikem. Pomocí simulace Monte Carlo byly vypočteny náklady na léčbu z pohledu plátce zdravotní péče. Pro metodu SBRT byly náklady vyčísleny na \$22 152 a pro IMRT \$35 431. QALY, které přinesla léčba SBRT a IMRT bylo stejné, a to konkrétně 7,9 let. Konkrétní nákladové položky dle Hodgese vyplývají z hlavních procesů, které jsou konzultace, simulace, plánování léčby, tvorba ozařovacího plánu a samotná terapie. Rozdíl mezi IMRT a SBRT je v počtu kontrol. U metody IMRT se uvádí 8 kontrol a u SBRT pouze jedna. Dalším rozdílem je počet frakcí záření. U IMRT je to 44 a u SBRT 5 frakcí.

Yu [28] použil data z informačního systému Medicare a z perspektivy plátce zdravotní péče vypočítal průměrné náklady na léčbu pomocí SBRT na \$13 645 a na IMRT \$21 023. Navíc uvádí, že pacienti léčení metodou SBRT vykazují oproti pacientům léčených metodou IMRT lepší výsledky ve výskytu genito-urinární toxicity.

Sher [29] ve své studii porovnává náklady na IMRT a robotickou SBRT (CyberKnife) z pohledu plátce zdravotní péče. Data převzal ze systému Medicare. QALY bylo stanoveno vytvořením markovových modelů. Léčba přístrojem CyberKnife dle studie vychází na \$19 275,41 a IMRT na \$27 564,21. Dle analýzy nákladů a užítku uvádí, že CyberKnife přináší 9,93 QALY za \$25 561 a IMRT 9,96 QALY za \$34 127. Konkrétní nákladové položky, které tato studie uvádí jsou pro IMRT: vyšetření pacienta, simulace, vyšetření na výpočetní tomografii, plánování léčby a výpočty, simulace ozařovacího plánu, samotná terapie, týdenní kontroly další speciální procedury a vyšetření. Pro robotickou SBRT je schéma nákladových položek stejné. Pouze se liší počet frakcí. U IMRT je to konkrétně 42 frakcí a u SBRT 5. Další odlišnost je v počtu kontrol, u IMRT chodí pacient na kontrolu každý týden terapie, konkrétně 8x a u SBRT je to pouze jednou.

Laviana [30] uvádí náklady na léčbu z pohledu poskytovatele zdravotní péče, které vypočítala podle procesních map. Pro metodu SBRT to je \$11 665 a pro IMRT \$23 565.

Halpern [31] na základě dat ze systému Medicare uvádí, že z perspektivy plátce zdravotní péče je medián nákladů na léčbu SBRT \$27 145 a IMRT \$37 090.

Všechny studie analyzující nákladovou efektivitu léčby IMRT a CyberKnife využívaly k vyjádření klinického efektu jednotku QALY. Žádná studie klinickou účinnost nehodnotila pomocí multikriteriálního rozhodování. K vyjádření nákladů na léčbu pacienta poté byla používána perspektiva plátce zdravotní péče, nikoli poskytovatele.

Byly nalezeny některé zahraniční odborné studie, které se zabývají stanovením nákladů na léčbu pacienta s karcinomem prostaty technologií CyberKnife a IMRT z pohledu poskytovatele zdravotní péče.

První studie hodnotící náklady na léčbu přístrojem CyberKnife a IMRT byla italská studie. Zde byly vyčísleny náklady na léčbu těmito přístroji obecně. Pro karcinom varlat, prostaty, pankreatu a plic. V této studii předpokládali životnost ozařovače 10 let a 500 pacientů ročně pro CyberKnife a pro standardní lineární urychlovač využívající IMRT také 10 let a 400 pacientů ročně. Náklady na léčbu z pohledu poskytovatele byly stanoveny na € 4 099,81 pro CyberKnife a € 3 318,41 pro IMRT [32].

Španělská studie také hodnotila léčbu CyberKnifem obecně. Z pohledu poskytovatele zdravotní péče a při 600 pacientech ročně byla cena na jednoho pacienta vyčíslena na € 5 321 [33].

Další Španělská studie hodnotila náklady na léčbu karcinomu prostaty technologií IMRT z pohledu poskytovatele zdravotní péče. Pro 310 pacientů a životnosti ozařovače 10 let byly náklady na léčbu jednoho pacienta vyčísleny na € 3911,91 [34].

České odborné studie zabývající se náklady na léčbu karcinomu prostaty technologií CyberKnife nebyly nalezeny. Byla nalezena studie zabývající se pouze klinickými výstupy léčby karcinomu prostaty přístrojem CyberKnife. Tato studie byla provedena ve Fakultní nemocnici Ostrava mezi lety 2010-2012. Celkem 261 pacientů s nízkým až středním rizikem onemocnění podstoupilo kurativní léčbu CyberKnifem. Výsledkem této studie bylo procento přežití po léčbě, progresi onemocnění, akutní i chronická urologická a gastrointestinální toxicita. Závěrem této studie bylo konstatování, že stereotaktická radioterapie je účinnou léčebnou modalitou pro léčbu karcinomu prostaty [35].

3 Metody

3.1 Rešerše klinických výstupů

V rámci diplomové práce byla provedena systematická rešerše zabývající se problematikou hodnocení klinických efektů při léčbě karcinomu prostaty technologií CyberKnife (stereotaktické radioterapeutické metody) a IMRT. Rešerše byla provedena pomocí metodiky PRISMA, která popisuje postup provádění systematické rešerše.

Systematická rešerše byla provedena v březnu 2017. Pro vyhledávání odborných studií byly použity databáze ScienceDirect (Elsevier), PubMed, Web of Science a SpringerLink. Do systematické rešerše byly zařazeny pouze takové studie, které byly publikovány v letech 2010-2017 a byly v anglickém jazyce. Použitá klíčová slova byla: ((sbrt) or (stereotactic radio*)) and (prostate cancer) and IMRT. Postup provedení systematické rešerše je zobrazen schematicky (**Obrázek 2**).

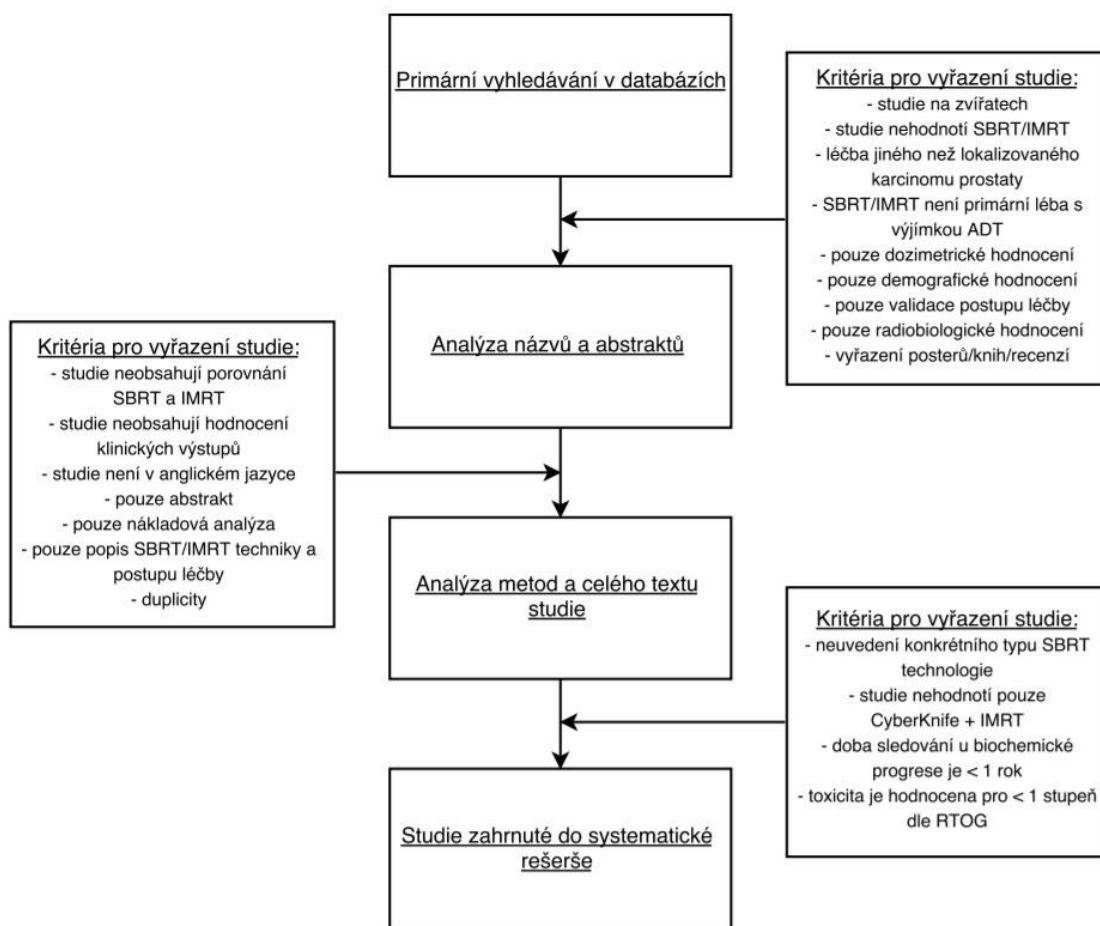
Kritéria, na základě kterých, byly studie zařazovány do analýzy odborných článků:

- Studie se zabývala srovnáním technologie CyberKnife a IMRT
- Vybrané studie nemusely být randomizované a kontrolované
- Léčba byla zaměřena na lokalizovaný karcinom prostaty
- Studie srovnávaly alespoň jeden z klinických výstupů:
 - o Gastro-intestinální toxicitu (počet hodnocených stupňů nežádoucích účinků dle RTOG je >2),
 - o Genito-urinární toxicitu (počet hodnocených stupňů nežádoucích účinků dle RTOG je >2),
 - o Erekttilní dysfunkci, nebo
 - o Biochemickou progresi onemocnění pro období alespoň 1 rok po léčbě

Nalezené studie ze systematické rešerše byly v praktické části využity jako zdroje informací pro kvantifikaci klinických kritérií a pro následné vyjádření klinické efektivity.

Kritéria, na základě kterých, byly studie vyřazovány z analýzy odborných článků:

- Léčba jiného než lokalizovaného karcinomu prostaty
- Skutečnost, že pacient podstoupil jiný druh terapie před samotnou léčbou technologií CyberKnife, s výjimkou hormonální terapie ADT
- Použití jiného druhu stereotaktického radioterapeutického přístroje, než je přístroj CyberKnife
- Neuvedení konkrétního druhu stereotaktického radioterapeutického přístroje
- Nebylo přítomno srovnání s technologií IMRT
- Studie nebyla v anglickém jazyce
- Ve studii bylo pouze dozimetrické, demografické nebo radiobiologické hodnocení léčby
- Studie pojednávala pouze o validaci postupu léčby nebo o technickém hodnocení ozařovacích přístrojů
- Jednalo se pouze o samotný abstrakt, poster, knihu nebo recenzi odborného článku



Obrázek 2: Postup systematické rešerše studií [zdroj vlastní]

3.2 Hodnocení klinické efektivity

Cílem hodnocení klinické efektivity je stanovení klinicky účinnější technologie při léčbě lokalizovaného karcinomu prostaty a kvantifikace této klinické efektivity. Velikost klinické efektivity byla stanovena dvěma způsoby. První metodou bylo aplikování multikriteriálního rozhodování. Konkrétně metody analytický hierarchický proces (AHP). Druhou metodou pro vyjádření velikosti klinického efektu bylo QALY.

3.2.1 Metoda AHP – Analytický hierarchický proces

Metoda stanovení klinicky účinnější technologie by měla být transparentní, strukturovaná a komplexní. Multikriteriální analýza, která je nástrojem pro rozhodování, je používána nejen v oboru zdravotnictví [36]. Hlavně při nákupu nových zdravotnických prostředků, například výběr kardiostimulátorů [37] nebo výběr vhodného výpočetního tomografu CT [38]. Multikriteriální (vícekriteriální) analýza je často popisována jako proces využívající kvalitativní i kvantitativní kroky, pomocí kterých se explicitně a názorně zohledňuje variace faktorů, ovlivňujících rozhodování. Používání multikriteriální analýzy v oboru zdravotnictví rapidně roste. Hlavním důvodem je ona explicitnost, racionálnost a efektivita této metody, která začíná předcházet metody tradiční [36]. Multikriteriální rozhodování má několik kroků. Prvním krokem je definování problému. Druhým krokem je vhodný výběr kritérií, pomocí kterých budou hodnoceny varianty/alternativy (přístroje). Třetím krokem je měření nebo hledání dat, týkajících se kritérií jednotlivých variant. Čtvrtým krokem je přiřazení preferencí variantám stakeholdery. Pátým krokem je stanovení váhy kritérií na základě preferencí stakeholderů. Šestáým krokem je výpočet normovaných vah kritérií a výpočet výsledného skóre. Sedmým krokem je poté interpretace výsledků hodnocení a stanovení pořadí variant [39].

Analytický hierarchický proces (AHP) je nejvíce používanou metodou multikriteriálního rozhodování v oblasti zdravotnictví [36]. Metoda AHP je numerická metoda umožňující posouzení většího množství kritérií. Pomocí této metody můžeme porovnat několik variant, ze kterých bude následně vybrána ta neoptimálnější. AHP spočívá hlavně ve stanovení vah kritérií pomocí párového porovnávání kritérií a variant [40]. Výhoda této metody je uživatelská přívětivost, jednoduchost v provádění párového porovnávání, porovnávání výběru reálných hodnot a absence matematického modelování. Při této metodě by mělo nejprve dojít ke stanovení vhodných kritérií (například parametrů přístroje, klinických efektů atp.), která jsou velmi důležitá pro následné vyhodnocení variant (konkrétní technologie, terapeutického

nebo diagnostického postupu). Po výběru kritérií by mělo ideálně dojít k výběru variant. A to z důvodu objektivnosti při hodnocení. Vybraná kritéria by měla být taková, která nejlépe popisují co nejširší spektrum vlastností dané alternativy. Jedině správným výběrem kritérií může být dosaženo dobrého výsledku a správného rozhodnutí. Porovnávání kritérií můžeme provádět tak, že porovnáme kritéria mezi sebou nebo v případě velkého množství variant je vhodné rozřadit daná kritéria do více hierarchických úrovní (např. technické parametry, patientské výstupy, ekonomické výstupy, obsluhovatelnost) [40]. Proces párového porovnávání kritérií je takový, že nejprve stanovíme míru preferencí mezi dvěma kritérii pomocí přiřazení počtu bodů dle preferencí hodnotitele, experta v daném oboru (**Tabulka 2**). Body přiřazuje každý expert zvlášť.

Výsledky párového porovnávání se obvykle zaznamenávají do Saatyho matice. Hodnoty v této matici znamenají velikost preference kritéria v řádku vůči kritériu ve sloupci. Pokud je například přiřazeno kritériu K_1 oproti K_n 5 bodů (kritérium K_1 má dosti větší význam, než kritérium K_n), poté je do souřadnic $[K_1; K_n]$ vepsána hodnota pět. V souřadnici $[K_2; K_n]$ poté platí, že kritérium K_n má absolutně větší význam, než K_2 (tzn. kritérium K_2 má absolutně menší význam, než kritérium K_n) do této souřadnice se poté napíše převrácená hodnota čísla 9, tedy $1/9$. Druhá polovina matice pod diagonálou se poté vyplní převrácenými hodnotami hodnot z části matice nad diagonálou. Příklad doplněné Saatyho matice je v tabulce níže (**Tabulka 3**).

Tabulka 2: Způsob přiřazování preferencí / bodů kritériím [40]

Body	Význam počtu bodů
1	Obě kritéria mají stejný význam
3	První kritérium má mírně větší význam
5	První kritérium má dosti větší význam
7	První kritérium má prokazatelně větší význam
9	První kritérium má absolutně větší význam

Tabulka 3: Příklad Saatyho matice [zdroj vlastní]

Kritérium	K_1	K_2	...	K_n
K_1	1	1	...	5
K_2	1	1	...	$1/9$
...	1	7
K_n	$1/5$	9	$1/7$	1

Geometrickým průměrem hodnot v řádcích ze Saatyho matic pro kritéria a jednotlivé varianty se vypočtou výsledné váhy kritérií, je použit vztah (2):

$$G(x_1, x_2, \dots, x_n) = \left(\prod_{i=1}^n x_i \right)^{\frac{1}{n}}, \quad (2)$$

kde x_1, x_2, \dots, x_n jsou hodnoty kritérií v řádku a n je počet členů v daném řádku.

Geometrické průměry řádků je potřeba normovat a tím získat normovanou váhu kritéria w . To je provedeno podílem každého řádku x součtem všech geometrických průměrů. To vyjadřuje vztah (3):

$$w = \frac{x}{\sum_{i=1}^n x} \cdot 100. \quad (3)$$

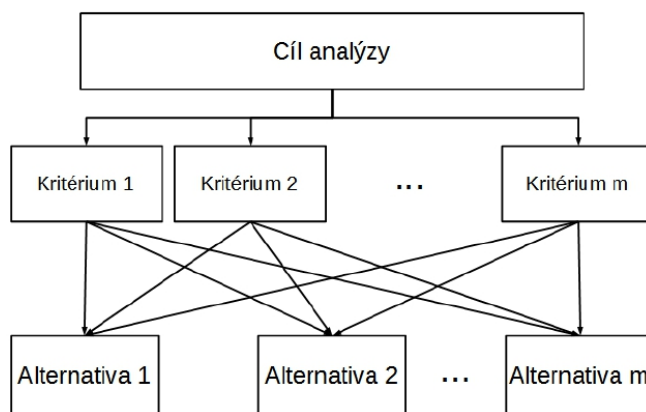
Použitím stejného postupu nám vzniknou Saatyho matice hodnocení daných kritérií u jednotlivých přístrojů. Normované váhy kritérií jsou následně pro každou variantu převedeny do nové matice vah. Matice vah kritérií je poté vynásobena maticí hodnocení variant.

V případě většího počtu expertů bude výsledné pořadí variant spočteno za použití váhy jednotlivých členů expertní skupiny, dle vzorce (4):

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad (4)$$

kde x je vážený průměr, n je počet expertů, w_i je váha experta i a x_i jsou váhy stanovené expertem i . Po provedení tohoto postupu získáme normované váhy jednotlivých variant a kritérií. Vynásobením vah variant vahami jednotlivých kritérií je získána konečná hodnota užítku (klinický efekt) a výsledné pořadí variant (hodnocených intervencí).

Obrázek 3 zobrazuje obecný vztah variant (alternativ), kritérií a cíle multikriteriálního hodnocení. Cílem analýzy této diplomové práce bylo stanovení klinicky efektivnější varianty dle hodnot kritérií stanovených na základě systematické rešerše. Varianty (alternativy) byly technologie CyberKnife a IMRT. Konkrétní kritéria, která byla zahrnuta do hodnocení AHP jsou uvedena v praktické části diplomové práce.



Obrázek 3: Vztah variant (alternativ), kritérií a cíle [41]

3.2.2 Stanovení QALY

QALY („quality adjusted life years“) je parametr, pomocí kterého je standardně vyjadřována velikost klinické účinnosti intervence. Vyjadřuje zároveň kvalitu a očekávanou délku života, kterou použití dané léčby pacientovi přinese. Čím je léčba účinnější, tím přináší více QALY [42]. Dle společnosti EUnetHTA je tento parametr standardně používán pro kvantifikaci klinického efektu v HTA studiích [43]. Hodnota QALY je dále využívána při analýze nákladů a užitku. Tato hodnota byla v rámci této diplomové práce převzata ze studií, které byly vyhledány v rámci systematické rešerše. Byla vybrána pouze ta studie, která porovnávala velikost QALY, které přinese léčba pomocí IMRT a CyberKnife. Studie, které uváděly velikost QALY souhrnně pro stereotaktickou radioterapeutickou léčbu nebyly uvažovány.

3.3 Analýza postupu léčby

Na základě odborných studií, národních radiologických standardů, registračních listů zdravotních výkonů a dalších veřejně dostupných informací byl sestaven obecný postup léčby karcinomu prostaty metodami CyberKnife a IMRT. Tento postup byl dále upraven po konzultaci s radičním onkologem. Byly analyzovány rozdíly mezi oběma typy léčby a také byla sestavena schémata postupů léčby. Jednotlivé procesy postupu byly podrobně specifikovány. Analyzovaný postup léčby byl následně použit k odhadu nákladů na léčbu karcinomu prostaty.

3.4 Nákladová analýza

V rámci diplomové práce byl proveden odhad výše nákladů, které vznikají českému zdravotnickému zařízení velikosti fakultní nemocnice, při léčbě karcinomu prostaty technologií CyberKnife a IMRT. Analýza nákladů byla tedy provedena z perspektivy poskytovatele zdravotnických služeb. Náklady byly stanoveny pro tři varianty: optimistickou, realistickou a pesimistickou. Dle odborných studií, veřejných zakázek, aktuálních tržních cen a dalších zdrojů byly vypočteny náklady na léčbu jednoho pacienta. Peněžní vyjádření identifikovaných zdrojů nákladů bylo provedeno na základě analogie dle veřejně dostupných sazeb jednotlivých zdrojů. Započítané nákladové položky byly náklady na pořízení radioterapeutických přístrojů, personální náklady, materiální náklady, náklady na údržbu a servis ozařovačů, náklady na vyšetření výpočetním tomografem, RTG simulátorem a magnetickou rezonancí a jako poslední režijní náklady. Uvažovaný časový horizont byl 10 let, kdy tato doba je průměrná doba životnosti lineárních urychlovačů a dalších přístrojů [43, 44].

Pořizovací cena přístroje CyberKnife byla stanovena odhadem, jelikož do České republiky byl v této době pořízen pouze jeden kus tohoto přístroje. Pro stanovení třech variant pořizovacích cen byly využity tedy také zahraniční pořizovací ceny. Po analýze pořizovacích cen byly stanoveny reprezentativní hodnoty, kolem kterých se cena CyberKnife pohybovala. Pořizovací cena přístroje IMRT byla převzata pouze z reálně uskutečněných veřejných zakázek na území České republiky. Medián těchto cen byl analyzován Bc. Veronikou Zukalovou v rámci její diplomové práce, a proto byly konečné ceny těchto ozařovačů převzaty. Servisní náklady na údržbu ozařovacích přístrojů byly rovněž odhadnuty. Konkrétně byl stanoven procentuální podíl těchto nákladů na pořizovací ceně přístrojů. U CyberKnife bylo vycházeno dle zahraničních zdrojů a u IMRT bylo vycházeno navíc i z reálně zadaných veřejných zakázek v ČR.

Personální náklady byly stanoveny dle doby trvání jednotlivých procesů ze stanoveného postupu léčby, personálního obsazení a dle výše hodinových výdělků daných pracovníků dle Informačního systému o průměrných výdělcích (ISPV) Ministerstva práce a sociálních věcí České republiky. Následně byly stanoveny celkové personální náklady pro optimistickou, realistickou a pesimistickou variantu ve výši superhrubého platu.

Množství potřebného materiálu pro jednotlivé procesy léčby byly vypočteny dle informací z odborných studií, registračních listů a upraveny byly po konzultaci s radiačním onkologem. Ceny materiálu byly stanoveny dle aktuálních tržních cen nebo veřejných zakázek. Tyto náklady byly opět stanoveny pro tři varianty.

Pro výpočet nákladů na léčbu bylo nutné uvažovat i náklady na vyšetření magnetickou rezonancí, výpočetním tomografem a RTG simulátorem. K tomuto odhadu byly použity veřejně dostupné pořizovací ceny o nákupu těchto přístrojů v České republice a procentuální podíl ročních servisních nákladů na této ceně stanovené dle veřejných zakázek. Náklady na vyšetření magnetickou rezonancí, výpočetním tomografem nebo RTG simulátorem $C_{MR/CT/SIM}$ [Kč] byl vypočten dle vztahu (5):

$$C_{MR/CT/SIM} = \frac{P_{MR/CT/SIM} + C_{S(MR/CT/SIM)}}{n_z \cdot \text{životnost}}, \quad (5)$$

kde P_{MR} [Kč] je pořizovací cena magnetické rezonance, P_{CT} [Kč] pořizovací cena výpočetního tomografu, P_{SIM} [Kč] pořizovací cena RTG simulátoru, $C_{S(MR/CT/SIM)}$ [Kč] jsou servisní náklady na magnetickou rezonanci, CT nebo RTG simulátor, n_z [Kč] je počet zákroků za 1 rok a životnost [roky] je udávaná doba životnosti MR, CT nebo RTG simulátoru.

Celkové náklady C_{celk} [Kč] na léčbu jednoho pacienta s lokalizovaným karcinomem prostaty přístrojem CyberKnife nebo IMRT byly vypočteny dle vztahu (6):

$$C_{celk} = \frac{P_o + C_s}{n \cdot \text{životnost}} + C_m + C_p + C_{CT} + C_{SIM} + C_{MR} + C_R, \quad (6)$$

kde P_o [Kč] je pořizovací cena ozařovače (CyberKnife nebo IMRT), C_s [Kč] jsou servisní náklady na ozařovač, n [-] je počet ozářených pacientů, životnost [roky] je udávaná doba životnosti ozařovače, C_m [Kč] jsou materiální náklady, C_p [Kč] personální náklady, C_{CT} [Kč] náklady na vyšetření výpočetním tomografem, C_{SIM} [Kč] náklady na vyšetření RTG simulátorem, C_{MR} [Kč] náklady na vyšetření magnetickou rezonancí a C_R [Kč] režijní náklady.

3.5 Analýza nákladové efektivity – CEA

Analýza nákladové efektivity / efektivity spočívá ve výpočtu poměru nákladů a míry účinku (efektu) dané intervence. Výhoda CEA spočívá v tom, že není nutné převádět účinek (efekt) na monetární jednotky. Díky tomu je tato metoda hojně využívána při hodnocení zdravotnických technologií. Jeden z výpočtů v rámci CEA [Kč/efekt] je výpočet nákladové efektivity C/E , kterou vypočteme dle vzorce (7):

$$C/E = \frac{C}{E}, \quad (7)$$

kde C [Kč] jsou náklady na léčbu jednoho pacienta, E [efekt], který přináší daná intervence [40]. V rámci nákladové analýzy byla stanovena hranice efektivity přístroje CyberKnife. Konkrétně při jaké pořizovací ceně je jeho nákladová efektivita rovna nákladové efektivitě přístroje IMRT u daných variant.

3.6 Analýza nákladů a užítku - CUA

Tato analýza je hojně využívána při hodnocení klinického efektu medicínských intervencí z důvodu toho, že QALY je na rozdíl od efektu vyjádřeného multikriteriálním hodnocením standardizovaná. CUA je speciálním případem CEA, kdy je namísto efektu dosazována hodnota QALY. Nákladovou efektivitu C/U [Kč/QALY] vypočteme dle vztahu (8):

$$C/U = \frac{C}{QALY}, \quad (8)$$

kde C [Kč] jsou náklady na léčbu jednoho pacienta a QALY jsou roky života, které přinese daná intervence pacientovi. V rámci analýzy nákladů a užítku byla stanovena hranice efektivity přístroje CyberKnife. Konkrétně při jaké pořizovací ceně je jeho nákladová efektivita rovna nákladové efektivitě přístroje IMRT u daných variant.

3.7 Analýza citlivosti

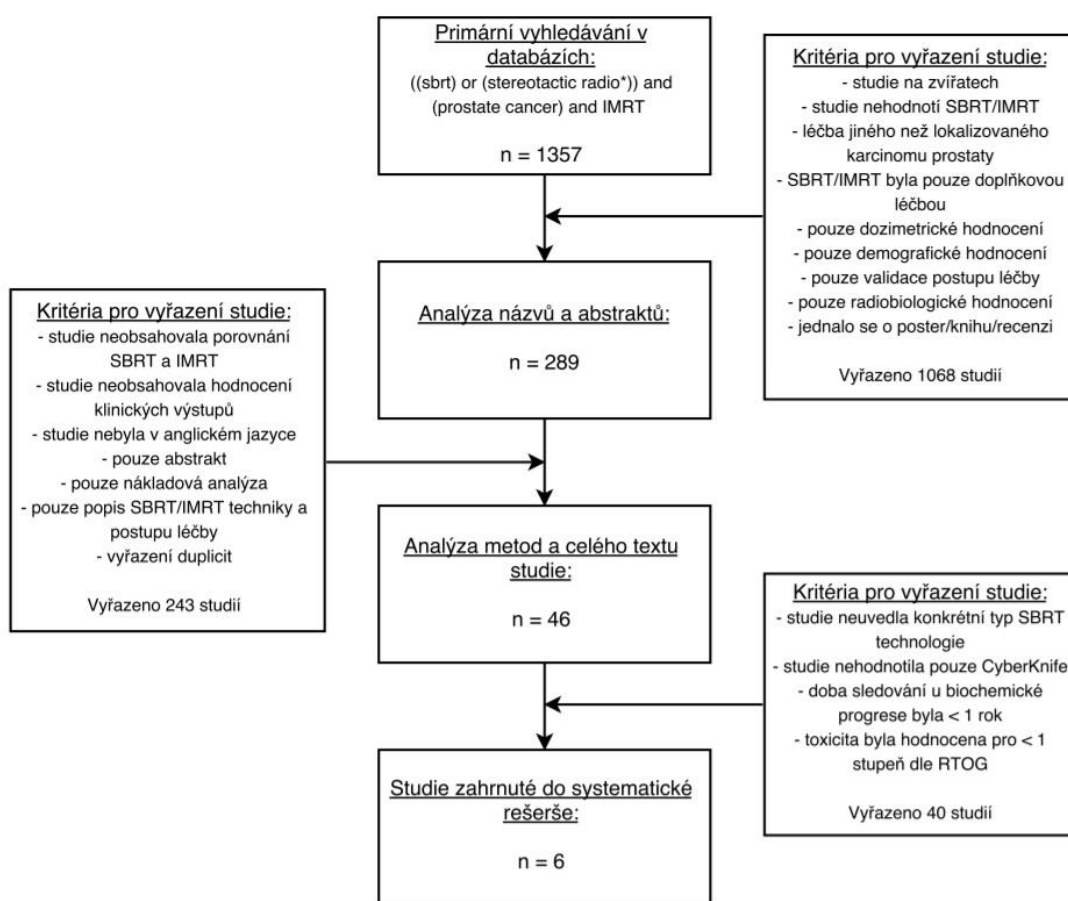
Dva parametry byly použity pro jednocestnou citlivostní analýzu. Konkrétně velikost klinického efektu, který byl stanoven na základě AHP hodnocení experty a druhým parametrem byl počet pacientů. Při citlivostní analýze klinického efektu byla předpokládána nejprve rovnost klinických efektů technologií CyberKnife a IMRT a poté byl zvýšen klinický efekt přístroje CyberKnife. Velikost klinického efektu byla v citlivostní analýze prověřena pro $\pm 0,1$ původní velikost efektu. Vše bylo vypočteno pro optimistickou, realistickou a pesimistickou variantu.

Druhým parametrem byl počet pacientů léčených přístrojem CyberKnife a IMRT. Základní počet byl 600 pacientů, který byl stanoven dle reálných hodnot převzatých z českých zdravotnických zařízení. Bylo testováno, jak se změní náklady na léčbu jednoho pacienta a nákladová efektivita (C/E i C/U) při změně počtu ozářených pacientů o ± 400 . Tato metoda byla aplikována na realistickou variantu.

4 Výsledky

4.1 Rešerše klinických výstupů

V literární rešerši bylo z identifikovaných 1357 článků vyselektováno 46 studií. Z těchto studií bylo do literární rešerše zařazeno celkem 6, které splňovaly kritéria pro zařazování a vyřazování. Schéma postupu při výběru studií je zobrazeno na obrázku níže (**Obrázek 4**). Seznam zařazených studií spolu s podrobnějšími informacemi jsou uvedeny v tabulce (**Tabulka 4**).



Obrázek 4: Schéma postupu systematické rešerše [zdroj vlastní]

Tabulka 4: Seznam studií zařazených do systematické rešerše [zdroj vlastní]

	Název	Autor	Rok	Typ studie	Počet pacientů	Klinické výstupy	Poznámka
1.	The Comparison of Stereotactic Body Radiation therapy and Intensity-Modulated Radiation Therapy for Prostate Cancer by NCCN Risk Groups [45]	Ricco et al.	2016	Retrospektivní studie	CK: 150 IMRT: 120	Erektivní dysfunkce, biochemická progresse GU a GI toxicita	x
2.	Hypofractionated radiotherapy for organ-confined prostate cancer: is less more? [46]	Arcangeli and Greco	2016	Přehled studií (review)	CK: 79-515 IMRT: 40-3216 (1065)	Biochemická progresse, GI a GU toxicita	Výčet 10 IMRT a 7 CK článků
3.	Propensity score matched comparison of SBRT versus IMRT for the treatment of localized prostate cancer [47]	C. Oliai et al.	2016	Retrospektivní studie	CK: 142 IMRT: 121	Biochemická progresse	x
4.	Stereotactic Body Radiotherapy for Prostate Cancer [48]	Henderson et al.	2015	Přehled studií (review)	CK: 51-304 IMRT: 40-84	Urinární, rektální toxicita	Výčet 3 IMRT a 6 CK článků
5.	Dose-escalated robotic SBRT for stage I-II prostate cancer [49]	Meier	2015	Přehled studií (review)	CK: 41-1100 IMRT: 478	Biochemická progresse, GU a GI toxicita	Výčet 1 IMRT a 8 CK článků
6.	Stereotactic body radiation therapy for prostate cancer [50]	Ishiyama et al.	2011	Přehled studií (review)	CK: 15-254; IMRT: 50-770	Biochemická progresse, GU a GI toxicita	Výčet 2 IMRT a 8 CK článků

Mezi vyhledanými studii chyběly kvalitní randomizované kontrolované studie, které by se zabývaly porovnáváním klinických efektů léčby CyberKnife a metody IMRT. Nalezené studie byly pouze prospektivní či retrospektivní povahy, nebo se jednalo o rešerše s výčtem studií.

Klinické výstupy, které zkoumal ve své retrospektivní studii Ricco [45] byla progresse onemocnění, GU, GI toxicita a erektilní dysfunkce pro léčbu lokalizovaného karcinomu prostaty technologií CyberKnife a IMRT. GU i GI toxicita byla rozdělena dle jednotlivých stupňů vážnosti nežádoucích účinků definovaných dle RTOG škály. Pacienti s erektilní dysfunkcí byli rovněž rozděleni dle jednotlivých stupňů závažnosti nežádoucích účinků. Tato studie byla dále použita pro kvantifikaci klinických kritérií. Konkrétně byly použity hodnoty GU, GI toxicity a erektilní dysfunkce. Konkrétní hodnoty hodnocených klinických kritérií jsou uvedeny v tabulce (**Tabulka 5**).

V rešeršní studii dle Arcangeli a Greco [46] se uvádí výčet studií hodnotících klinické výstupy léčbou IMRT a CyberKnife. Největší studie s nejvyšší kvalitou pro metodu IMRT zde byla studie CHHiP (2015) [24] s 3216 pacienty, která byla dále použita pro kvantifikaci kritéria biochemická progresse pro IMRT. Konkrétní hodnoty jsou uvedeny v tabulce (**Tabulka 5**). Největší studie zkoumající klinické efekty pro CyberKnife byla studie od Katze [51] s 515 pacienty. Tato studie hodnotila počet pacientů bez progresse onemocnění u pacientů s nízkým, středním a vysokým rizikem.

Randomizovaná kontrolovaná studie CHHiP od Dearnaley [24] je rozsáhlá studie hodnotící pětiletou biochemickou progresi onemocnění u pacientů léčených přístrojem IMRT. Celkem bylo hodnoceno 3216 pacientů v 71 zdravotnických zařízeních v období mezi rokem 2002-2011. Byly použity 3 typy frakcionace dávky záření. Standardně používanou frakcionaci podstoupilo 1065 mužů. Data od této skupiny pacientů byla následně použita při AHP hodnocení klinických kritérií. Konkrétní hodnoty klinických výstupů jsou uvedeny v tabulce (**Tabulka 5**).

Oliai [47] ve své retrospektivní studii hodnotí biochemickou progresi onemocnění u IMRT a přístroje CyberKnife na vzorku 263 pacientů. Pro přístroj CyberKnife bylo procento pacientů bez progresse onemocnění 88,7% a u IMRT 95,5%.

Henderson [48] vytvořil rešeršní studii s výčtem studií, která je zaměřená na získání klinických dat pro léčbu přístrojem CyberKnife a IMRT. Ve studii odkazuje na 6 studií hodnotících klinický efekt přístroje CyberKnife. Tyto studie mají od 51 do 304 pacientů. Studie hodnotící efekt IMRT jsou uvedeny pouze dvě se 40 a 84 pacienty. Studie se 304 pacienty léčenými přístrojem CyberKnife hodnotila počet pacientů bez progresse, akutní urinární, pozdní urinární toxicitu, akutní rektální toxicitu a pozdní rektální toxicitu.

Rešeršní studie od Meiera [49] uvádí výpis článků hodnotících biochemickou progresi onemocnění mimo jiné pro CyberKnife a IMRT. Největší studii hodnotící účinky CyberKnife na biochemickou progresi identifikoval jako multi-institucionální studii od Kinga [23] s 1100 pacienty. Studie hodnotící technologii IMRT byla v této rešerši

uvedena pouze jedna se 478 pacienty, která hodnotila GU a GI toxicity. Konkrétní hodnoty klinických výstupů jsou uvedeny v tabulce (**Tabulka 5**).

Kingova multicentrická prospektivní studie [23] hodnotila mezi lety 2003-2011 celkem 1100 pacientů s lokalizovaným karcinomem prostaty přístrojem CyberKnife. Hlavním cílem studie bylo získat informace o počtu pacientů s 5-letou biochemickou progresí onemocnění. Byla použita Kaplan Meierova metoda. Tato studie byla rovněž použita při AHP hodnocení.

Poslední studie identifikovaná systematickou rešerší byla studie Ishiyamy [50], která uvedla výpis studií zabývajících se opět léčbou technologiemi CyberKnife a IMRT. Pro technologii CyberKnife bylo vyhledáno 5 studií s 20 až 254 pacienty. Pro technologii IMRT byly uvedeny pouze 2 studie s 50 a 770 pacienty. Všechny tyto studie hodnotily biochemickou progresi onemocnění nebo GI i GU toxicitu.

Následující tabulka (**Tabulka 5**) zachycuje 3 vybrané studie pro expertní ohodnocení klinických kritérií, které bylo provedeno pomocí metody AHP. V následující tabulce (**Tabulka 6**) jsou zaznamenána jednotlivá klinická kritéria s přiřazenými hodnotami. **Tabulka 7** zaznamenává charakteristiky jednotlivých klinických kritérií.

Tabulka 5: Charakteristika vybraných studií ze systematické rešerše [zdroj vlastní]

	Název	Autor, rok	Rok	Typ studie	Počet pacientů [-]	Medián doby sledování [měsíce]	Celková dávka [Gy] (počet frakcí)	Klinické výstupy	Metody
1.	A comparison of Stereotactic Body Radiation Therapy and Intensity-Modulated Radiation Therapy for Prostate Cancer by NCCN Risk Groups [45]	A. Ricco et al.	2016	Retrospektivní studie, data 2007-2012, CK, IMRT	CK: 150 IMRT: 120	CK: 45,53 IMRT: 53,58	CK: 35/36,25/37,5 (5) IMRT: 75,6/72 (42)	GU a GI TOXICITA, EREKTILNÍ DYSFUNKCE, BIOCHEMICKÉ SELHÁNÍ (RECIDIVA)	Popisné statistické metody
2.	Conventional versus hypofractionated high-dose intensity-modulated radiotherapy for prostate cancer: 5-year outcomes of the randomised, non-inferiority, phase 3 CHHiP trial [24]	D. Dearnaley et al.	2016	Randomizovaná kontrolovaná studie (CHHiP trial), data 2002-2011, IMRT	1065	62,2	74 (37)	BIOCHEMICKÉ SELHÁNÍ (RECIDIVA)	Kaplan Meierova metoda
3.	Stereotactic body radiotherapy for localized prostate cancer: Pooled analysis from a multi-institutional consortium of prospective phase II trials [23]	Ch. R. King et al.	2013	Prospektivní klinická studie fáze II - multi-institucionální, data 2003-2011, CK	1100	36	36,25 (4-5)	BIOCHEMICKÉ SELHÁNÍ (RECIDIVA)	

Tabulka 5: Charakteristika vybraných studií ze systematické rešerše (pokračování) [zdroj vlastní]

	Autor	Rok	Charakteristiky pacientů před intervencí					Hormonální terapie (ADT) [%]
			Věk [roky]	Riziko onemocnění dle NCCN	TNM klasifikace před intervencí	Gleasonovo skóre před intervencí	PSA	
1.	A. Ricco et al. [45]	2016	44-89	<u>Velmi nízké:</u> 14,8% <u>Nízké:</u> 16,8% <u>Střední:</u> 32,8% <u>Vysoké:</u> 28,3% <u>Velmi vysoké:</u> 7,3%	<u>T1c:</u> 55,6%, <u>T2a:</u> 15,8% <u>≥T2a:</u> 28,6%	<u>5-6:</u> 42% <u>7:</u> 44% <u>8+:</u> 14%	<u><10 ng/ml:</u> 79% <u>10-20 ng/ml:</u> 12% <u>>20 ng/ml:</u> 9%	50,0
2.	D. Dearnaley et al. [24]	2016	48-85	<u>Nízké:</u> 15% <u>Střední:</u> 73% <u>Vysoké:</u> 12%	<u>T1:</u> 33% <u>T2:</u> 58% <u>T3:</u> 8%	<u>≤6:</u> 35% <u>7:</u> 62% <u>8:</u> 4%	<u><10 ng/ml:</u> 48% <u>10-20 ng/ml:</u> 45% <u>≥20 ng/ml:</u> 6%	89,2
3.	Ch. R. King et al. [23]	2013	44-91	<u>Nízké:</u> 58% <u>Střední:</u> 30% <u>Vysoké:</u> 11%	<u>T1c-T2a:</u> 58% <u>T2b:</u> 30% <u>T2c/T3:</u> 11%	<u>6:</u> 58% <u>7:</u> 30% <u>8+:</u> 11%	<u><10 ng/ml:</u> 58% <u>10-20 ng/ml:</u> 30% <u>>20 ng/ml:</u> 11%	14,0

Tabulka 6: Hodnoty klinických kritérií pro CyberKnife a IMRT [23, 24, 45]

Kritérium		RTOG škála	CyberKnife	IMRT
1.	% PACIENTŮ S POZDNÍ GASTRO-INTESTINÁLNÍ TOXICITOU	0	87,30%	93,30%
		1	11,30%	5,00%
		2	1,30%	1,70%
		3	0,00%	0,00%
2.	% PACIENTŮ S POZDNÍ GENITO-URINÁRNÍ TOXICITOU	RTOG škála	CyberKnife	IMRT
		0	36,00%	29,20%
		1	44,00%	40,80%
		2	20,00%	25,80%
		3	0,00%	4,20%
3.	% PACIENTŮ S EREKTILNÍ DYSFUNKCÍ	Stupeň	CyberKnife	IMRT
		0	49,30%	17,90%
		1	30,70%	12,00%
		2	18,70%	12,00%
		3	1,30%	58,10%
4.	% PACIENTŮ BEZ RECIDIVY V OBDOBÍ 5 LET OD UKONČENÍ TERAPIE	Riziko dle NCCN	CyberKnife	IMRT
		Nízké	95,00%	96,70%
		Střední	84,00%	86,80%
		Vysoké	81,00%	86,50%

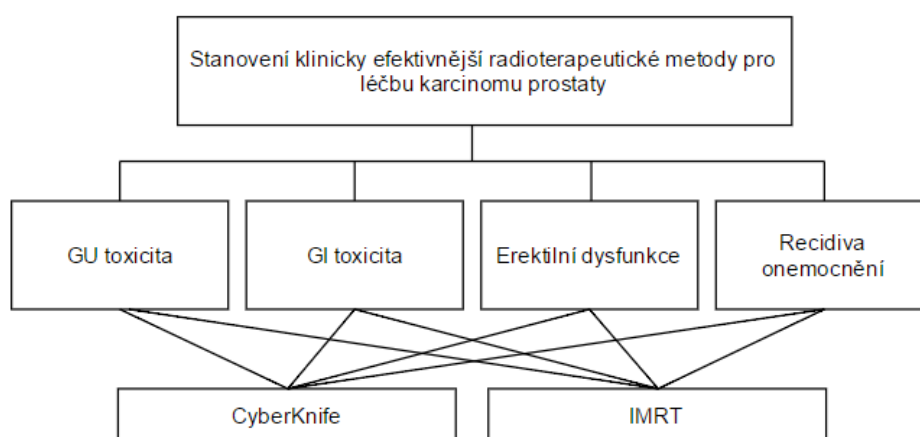
Tabulka 7: Definice vybraných klinických kritérií [23, 24, 45, 52, 53]

Kritérium	Definice
<p>1.</p> <p>POZDNÍ GASTRO-INTESTINÁLNÍ TOXICITA</p>	<p><u>Stupeň 1:</u> Zvýšené nucení na stolici nebo průjmy, lehký rektální výtok či krvácení, mírná proktitida či ulceritida léčitelná do 1 měsíce</p> <p><u>Stupeň 2:</u> potřeba pravidelného užívání antidiarhotik, potřeba užívání léku na proktitidu či ulceritidu déle, než 1 měsíc, hlenovitý výtok, příležitostné užívání léků proti bolesti</p> <p><u>Stupeň 3:</u> nutná hospitalizační léčba dehydratace, podání 1 krevní transfúze či léků proti krvácení, pravidelné užívání narkotik</p> <p>Specifikace dle RTOG</p>
<p>2.</p> <p>POZDNÍ GENITO-URINÁRNÍ TOXICITA</p>	<p><u>Stupeň 1:</u> nykturie, mírná hematurie, dysurie nebo bolest nevyžadující narkotika, inkontinence či mírný výtok;</p> <p><u>Stupeň 2:</u> Časté nucení na močení (častěji než za 1 hodinu), častější nykturie, hematurie vyžadující kauterizaci, bolest vyžadující pravidelné užívání medikamentů, příležitostné užívání narkotik, striktura, rozsáhlejší inkontinence</p> <p><u>Stupeň 3:</u> nykturie je častější, než 1x za hodinu, dysurie, bolest vyžadující pravidelné užívání narkotik, zmenšená kapacita močového měchýře, krevní transfúze, kauterizace krvácení častější, než 2x, hyperbarická oxygenoterapie, nutnost uretrotomie, rozsáhlá inkontinence, nutné zavedení umělého močového sfinkteru</p> <p>Specifikace dle RTOG</p>
<p>3.</p> <p>EREKTILNÍ DYSFUNKCE</p>	<p><u>Stupeň 1:</u> intenzita erekce je snížena, ale ve většině případů je pro pohlavní styk dostačující</p> <p><u>Stupeň 2:</u> pro dosažení erekce je nutné užívat medikamenty</p> <p><u>Stupeň 3:</u> užívání medikamentů je většinou nedostačující, erekce je možná například s penilním implantátem</p> <p>Specifikace dle Ricca</p>
<p>4.</p> <p>BIOCHEMICKÉ SELHÁNÍ (RECIDIVA)</p>	<p>Hladina PSA se během doby sledování zvýší o +2 ng/litr nad nadir (nejnižší naměřenou hodnotu PSA během sledovaného období)</p> <p>Specifikace dle ASTRO Phoenix Nadir +2</p>

4.2 Hodnocení klinické efektivity

4.2.1 Porovnání CyberKnife a IMRT pomocí metody AHP

Pomocí metody AHP byl stanoven klinický efekt léčby karcinomu prostaty technologií CyberKnife a IMRT. Při hodnocení bylo postupováno dle hierarchické struktury (**Obrázek 5**).



Obrázek 5: Hierarchická struktura AHP hodnocení [zdroj vlastní]

Hodnocení prováděli dva oslovení experti, kteří mají mnohaleté zkušenosti v oblasti radiační onkologie a radiobiologie. Každému z těchto expertů měl stejnou váhu názoru. Výsledné váhy kritérií jsou zaznamenány v tabulce níže (**Tabulka 8**).

Tabulka 8: Výsledné váhy kritérií [zdroj vlastní]

	Váhy kritérií:
GI TOXICITA	0,463
GU TOXICITA	0,284
EREKTILNÍ DYSFUNKCE	0,060
RECIDIVA	0,193

Výsledné hodnocení klinických efektů léčby přístroji CyberKnife a IMRT je zaznamenáno v další tabulce (**Tabulka 9**). Celkový klinický efekt přístroje CyberKnife je 0,601 a přístroje IMRT 0,399.

Tabulka 9: Výsledné hodnocení klinických efektů pro CyberKnife a IMRT [zdroj vlastní]

	Klinický efekt přístroje CyberKnife	Klinický efekt přístroje IMRT
Expert 1	0,702	0,298
Expert 2	0,500	0,500
Celkový klinický efekt	0,601	0,399
Pořadí	1	2

4.2.2 Porovnání CyberKnife a IMRT pomocí QALY

Dle nalezených odborných studií identifikovaných během provádění systematické rešerše byly nalezeny celkem tři studie hodnotící velikost QALY (**Tabulka 10**), které přináší léčba karcinomu prostaty technologiemi SBRT a IMRT. Pouze studie od Shera [29] rozlišovala SBRT na robotickou stereotaktickou radioterapii (CyberKnife). Proto byly hodnoty QALY převzaty z této studie.

Tabulka 10: Hodnoty QALY, které přináší SBRT a IMRT technologie [zdroj vlastní]

Autor	Rok	QALY			Zdroj
		SBRT	SBRT - CK	IMRT	
Sher	2014	x	9,93	9,96	[29]
Hodges	2012	7,9	x	7,9	[27]
Parthan	2012	8,11	x	8,05	[26]

4.3 Analýza postupu léčby

Dle odborných studií, veřejně dostupných informací a odborné konzultaci s expertem v oblasti radiační onkologie byl sestaven postup radioterapeutické léčby karcinomu prostaty radioterapeutickou metodou CyberKnife a IMRT. Tento postup je zaznamenán ve schématech níže (**Obrázek 6** a **Obrázek 7**).

Oba typy léčby začínají cíleným vyšetřením pacienta radiačním onkologem. Toto asi 30-ti minutové vyšetření obnáší kontrolu dokumentace daného pacienta a jeho minulých vyšetření, provedení anamnézy, klinické vyšetření prostaty, zápis do dokumentace, vypsání lékařské zprávy, žádanek, receptů a dalších potřebných dokumentů [54].

Pacientům, kteří jsou ozařováni CyberKnifem, je následně implantováno 3-5 zlatých zrn, fiduciárních markerů, pomocí kterých je možné sledovat aktuální polohu prostaty. Implantaci provádí zpravidla urolog. Tato procedura trvá přibližně 15 minut [55].

Metoda IMRT vyžaduje provedení lokalizace cílového objemu na simulátoru. Během lokalizace je nemocný uložen do ozařovací polohy, je zaměřen cílový objem a kritické orgány, jsou zakreslena vstupní pole pro následné přesné určení polohy při ozařování. Následně jsou provedeny skiagrafičké snímky, vyhodnocení a zápis do dokumentace pacienta. Lokalizace je provedena radiačním onkologem a radiologickým asistentem či fyzikem. Tento výkon trvá přibližně 60 minut [59, 60].

U obou typů léčby následuje vyšetření plánovacím CT v oblasti malé pánve. Toto vyšetření provádí radiační onkolog a radiologický asistent celkem asi 30 minut. V rámci tohoto vyšetření se uloží pacient na vyšetřovací stůl, v některých případech je mu intravenózně aplikována kontrastní látka, dále se provede snímkování, archivace snímků, zpracování dokumentace a soupis nálezu lékařem [58]. Horní orientační hranice objemu kontrastní látky je dle České lékařské společnosti J. E. Purkyně u pacientů s normální funkcí ledvin 300 ml jodové kontrastní látky s koncentrací 300 mg jódu/ml [59]. Jedním z cílů plánovacího CT vyšetření je označení polohy izocentra, které se nachází ve středu pánve na úrovni symfýzy asi 5 cm dorzálně. Souřadnice izocentra jsou následně zaslány do laserového zaměřovacího systému, pomocí kterého bude následně polohován pacient. Průsečíky laserových paprsků jsou na tělo pacienta následně zakresleny [60].

U metody CyberKnife se pro plánování léčby navíc standardně provádí vyšetření magnetickou rezonancí, která trvá přibližně 60 minut a provádí ji lékař radiodiagnostik a radiační fyzik. Vyšetření začíná uložením pacienta na lůžko a končí zápisem do dokumentace [61–64]. Pro plánování léčby pomocí IMRT je v některých případech rovněž indikováno vyšetření magnetickou rezonancí [65], dle osloveného experta je to ale ve výjimečných případech.

Následně je u obou typů léčby se prováděno plánování léčby. Plánování léčby spočívá v převodu dat z CT a magnetické rezonance do plánovacího systému ozařovače. Zde je provedena fúze snímků, dále stanovení plánovacích objemů a označení kritických struktur. Následně je vytvořen plán léčby a je provedena jeho optimalizace. Je provedena kontrola plánované dávky do cílového objemu a do kritických struktur. Dále se provede kontrola a optimalizace dávkově objemových histogramů a jsou stanoveny další potřebné parametry. Nakonec dojde ke kontrole ozařovacího plánu radiačním/klinickým fyzikem a radiačním onkologem a poté je vytištěn schválený ozařovací plán a další potřebná dokumentace. Proces plánování radioterapie CyberKnife provádí dva radiační onkologové, každý 120 minut a radiační fyzik 200 minut [66, 67].

Plánování léčby pomocí metody IMRT má stejný průběh jako plánování léčby metodou CyberKnife. Pouze se používá jiný plánovací systém a i dávky. Plánování IMRT léčby se dále liší časově a personálním obsazením. Plánování léčby pomocí IMRT provádí radioterapeut přibližně 90 minut a radiační fyzik také 90 minut [60, 68].

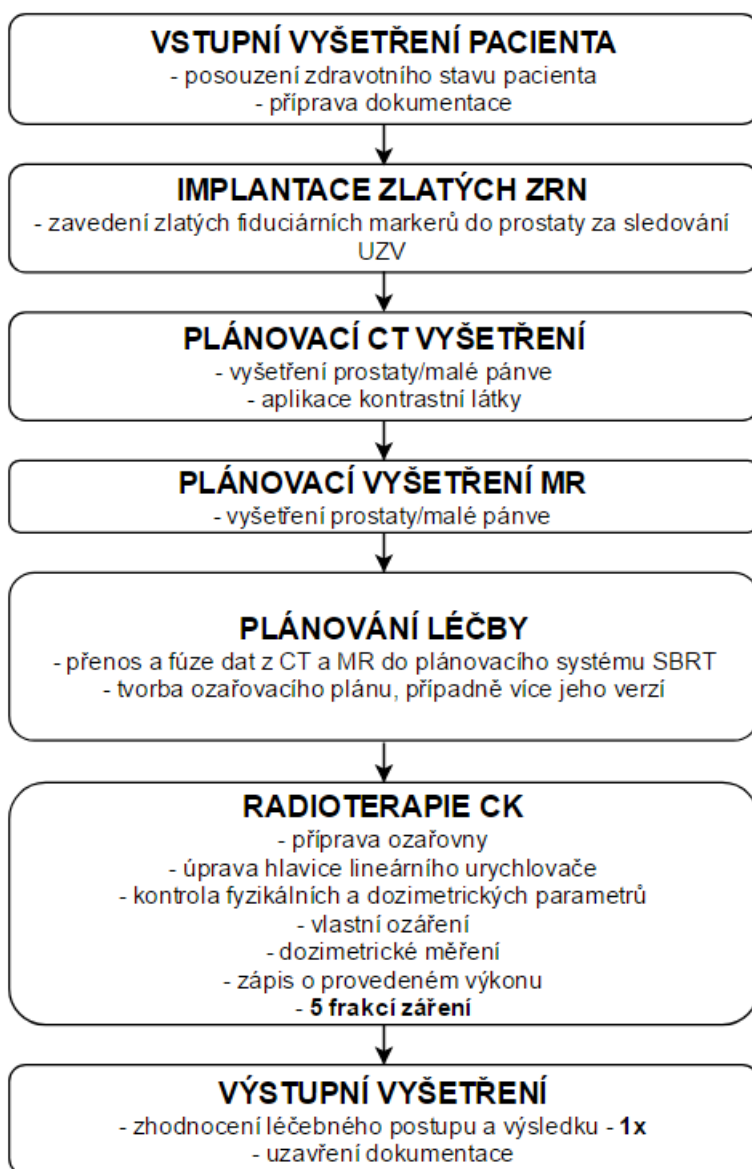
Po plánování radioterapie a před samotnou terapií se v případě IMRT na simulátoru provede simulace ozařovacího plánu. Simulace je prováděna na přístroji, který je imitací radioterapeutického ozařovače, s rozdílem toho, že provádí pouze RTG/CT snímky pacienta. Pacient je uložen na v ozařovací poloze, následně je zaměřen cílový objem a kritické orgány a je provedena kontrola ozařovacího plánu. Vše je zdokumentováno a vyhodnoceno. Simulaci provádí radioterapeut po dobu asi 60-ti minut. Výsledné snímky následně slouží k verifikaci polohy pacienta ve verifikačním systému ozařovače přímo před samotnou terapií. V tomto systému je následně provedena kontrola ozařovacích parametrů. Následně dojde ke schválení provedení ozáření [56, 60].

Po simulaci ozařovacího plánu na simulátoru je v případě obou typů léčby provedena samotná radioterapie. Před každou frakcí se provede kontrola polohy pacienta dle léčebného plánu samotným radioterapeutickým ozařovačem. Případně se provedou korekce uložení pacienta. Po kontrole polohy pacienta se provede ozáření. Kontrolu (verifikaci) polohy provádí vyšetřující radioterapeut a radiologický asistent přibližně 10 minut před každým ozářením. [71-72]. Samotné ozařování přístrojem CyberKnife trvá přibližně 120 minut a vykonává jej radiační onkolog spolu s radiologickým asistentem. Pacient dostává celkem 5 frakcí záření [73-74]. Radioterapie pomocí IMRT se účastní radioterapeut a radiologický asistent celkem 12 minut. Pacient dochází celkem na 37 frakcí záření [72, 75].

Po provedení radioterapeutické léčby následují kontroly zdravotního stavu pacienta. V případě technologie CyberKnife i IMRT je provedena výstupní kontrola na konci celého ozařovacího cyklu. Tato kontrola trvá přibližně 30 minut a provádí ji radiační onkolog. V rámci této kontroly je zhodnocen léčebný postup a léčebný výsledek. Dále je proveden zápis do dokumentace, lékař vystaví zprávu pro praktického lékaře a další potřebné dokumenty jako recepty a tak dále [54].

Při léčbě technologií IMRT navíc pacient dochází na průběžné kontroly během ozařovacího cyklu. Ve většině případech léčba trvá 7 týdnů, pacient tedy dochází na kontrolní vyšetření zpravidla na konci každého týdne. Toto kontrolní vyšetření provádí opět radiační onkolog a trvá přibližně 15 minut. Při tomto vyšetření je zhodnocen zdravotní stav pacienta a průběžně je zhodnocován i léčebný výsledek [74].

Po výstupní kontrole u obou intervencí je zdravotní stav pacienta nadále průběžně sledován. Běžná praxe je taková, že pacient dochází první dva roky po ukončení léčby každou čtvrtinu roku. Od dvou do pěti let po ukončení léčby každý půl rok. Po pěti letech poté dochází jednou za rok [74].



Obrázek 6: Schéma postupu léčby technologií CyberKnife [zdroj vlastní]



Obrázek 7: Schéma postupu léčby technologií IMRT [zdroj vlastní]

4.4 Nákladová analýza

Cílem nákladové analýzy byl odhad nákladů na léčbu jednoho pacienta s lokalizovaným karcinomem prostaty přístroji CyberKnife a IMRT. Náklady na léčbu byly stanoveny pro tři varianty: optimistickou, realistickou a pesimistickou. Do odhadu byly zahrnuty pořizovací a servisní náklady na ozařovače, personální náklady, materiální náklady, náklady na vyšetření magnetickou rezonancí, výpočetním tomografem a simulátorem a dále celkové režijní náklady na obě intervence. Všechny náklady byly počítány z perspektivy poskytovatele zdravotní péče.

4.4.1 Pořizovací ceny radioterapeutických přístrojů

Pořizovací náklady na přístroj CyberKnife dle odborných studií, informačních databází nebo jiných internetových zdrojů jsou spolu s použitými zdroji uvedeny v tabulce (**Tabulka 11**). Zahraniční ceny přístrojů byly vyhledávány z toho důvodu, že do dnešního dne byl do České republiky zakoupen pouze jeden radioterapeutický přístroj CyberKnife. Jelikož k výpočtu nákladů na léčbu je třeba znát více variant pořizovacích cen, byly všechny nalezené pořizovací ceny využity ke stanovení reprezentativních pořizovacích cen tohoto ozařovače pro jednotlivé varianty. Zvolené reprezentativní hodnoty jsou uvedeny v tabulce (**Tabulka 12**).

Tabulka 11: Pořizovací ceny přístroje CyberKnife [zdroj vlastní]

Stát	Rok	Pořizovací cena vč. DPH	Měna	Kurz dle ČNB [Kč] (období)	Cena dle minulého kurzu [Kč]	Zdroj
USA ¹	2017	\$4 150 000,00	USD	25,179 (24.4.2017)	104 492 850	[75]
		\$5 645 000,00	USD	25,179 (24.4.2017)	142 135 455	
Itálie	2013	€ 5 808 000,00	EUR	25,140 (31.12.2012)	146 013 120	[32]
ČR	2009	218 348 624,41 Kč	CZK	x	x	[76]
Španělsko	2006	€ 3 710 938,00	EUR	30,465 (31.12.2004)	113 053 726	[33]
Kanada	2003	\$4 500 000,00	CAD	19,092 (31.12.2002)	85 914 000	[77]

¹ Bez prodejní daně

Požizovací náklady na radioterapeutický přístroj využívající metodu IMRT byly převzaty z diplomové práce Bc. Veroniky Zukalové, která mapovala jednotlivé ceny z reálně uskutečněných veřejných zakázek zadaných českými zdravotnickými zařízeními. Z těchto informací byl převzat medián pořizovacích cen dvou typů přístrojů podporujících funkci IMRT. Konkrétně se jednalo o terapeutický ozařovač pro objemově modulovanou obloukovou radioterapii (VMAT) a kompozitní terapeutický ozařovač s IMRT/IGRT. Konkrétní hodnoty pořizovacích cen včetně DPH jsou uvedeny v tabulce (**Tabulka 12**).

Tabulka 12: Pořizovací ceny přístroje CyberKnife a IMRT (včetně DPH) [zdroj vlastní]

	Optimistická varianta [Kč]	Realistická varianta [Kč]	Pesimistická varianta [Kč]	Zdroj
CyberKnife	110 000 000	150 000 000	200 000 000	[vlastní]
IMRT	71 005 704	88 114 620	100 020 476	[78]

Při výpočtu nákladů na léčbu bylo předpokládáno, že pořizovací ceny obou typů ozařovacích přístrojů zahrnují i náklady na koupi či upgrade plánovacích, verifikačních, dozimetrických a dalších systémů, které jsou nezbytné pro správné provedení radioterapeutického výkonu. Pro systém IMRT tento předpoklad vzešel z reálně zadaných veřejných zakázek na území ČR a jejich kupních smluv. V případě nákupu přístroje CyberKnife byl tento předpoklad proveden na základě odborných studií, které uváděly, že pořizovací cena zahrnuje i tyto součásti (**Tabulka 11**) a také dle údajů uveřejněných na oficiálních stránkách americké vládní organizace Securities and Exchange Commission [75, 79]. Konkrétní položky, které byly součástí pořizovací ceny za CyberKnife zakoupený do českého zdravotnického zařízení nejsou známy.

V textu níže jsou uvedeny příklady konkrétních položek vypsanych z kupních smluv veřejných zakázek týkajících se nákupu lineárních urychlovačů podporující funkci IMRT.

Prvním příkladem veřejné zakázky na dodávku lineárního urychlovače je zakázka s evidenčním číslem 402731, kde zadavatelem je Nemocnice České Budějovice, a.s. Kupní cena byla 106 359 363 Kč včetně DPH. Součástí kupní ceny zde byl samotný urychlovač s příslušenstvím, update stávajícího plánovacího systému, konturovací stanice editační stanice, nová plánovací stanice pro plánování IMRT včetně monitoru, update stávajícího verifikačního systému, připojení urychlovače na stávající verifikační systém, připojení dalších přístrojů k verifikačnímu a dozimetrickému systému, radiorezistentní digitální CCTV kamera pro monitorování pacienta, konzola pro řízení lin. urychlovače, monitor pro zobrazení parametrů nastavení lineárního urychlovače na ozařovně, zaškolení obsluhy, demontáž původního zařízení, montáž a instalace nového zařízení, provedení validace, poskytování servisu a provádění údržby během záruční doby atd. Záruční doba byla pro všechny součásti dodávky 24 měsíců [80].

Další veřejnou zakázkou na koupi lineárního urychlovače je zakázka s evidenčním číslem 509029, kde zadavatelem je Nemocnice České Budějovice, a.s. Kupní cena činila 109 296 880 Kč včetně DPH. Součástí kupní ceny byl lineární urychlovač TrueBeam s příslušenstvím, doplnění stávajícího systému pro plánování a verifikaci o 2 výpočetní stanice pro plánování, konturovací stanice, potřebné prostředky pro dozimetrickou kontrolu, zajištění kompatibility s dalšími lineárními urychlovači na pracovišti, instalace urychlovače do menu simulátoru a dále například bezpečnostně technická kontrola 4x ročně, provádění zkoušek dlouhodobé stability po dobu záruky zdarma a dále záruka na většinu součástí dodávky na dobu 24 měsíců [81].

Obdobná veřejná zakázka je zakázka s evidenčním číslem 519631 z roku 2015, jejímž zadavatelem byla Fakultní nemocnice Ostrava. Předmětem smlouvy byla dodávka radioterapeutického ozařovacího přístroje TrueBeam s příslušenstvím za 88 114 620 Kč včetně DPH. Součástí byla rovněž doprava, uvedení do provozu, zaškolení obsluhy, provádění bezplatného záručního servisu po dobu 24 měsíců a odbornou údržbu. Dále systém pro tvorbu ozařovacího plánu, laserový polohovací systém, portálová dozimetrie, systém pro verifikaci, systém pro absolutní a relativní dozimetrii s fantomy a dále například fixační pomůcky [82].

Dalším příkladem veřejné zakázky na dodávku lineárního urychlovače byla zakázka s evidenčním číslem 480239. Zadavatelem byla Fakultní nemocnice Ostrava v roce 2014. Předmětem byla dodávka radioterapeutického ozařovacího přístroje s příslušenstvím za 64 285 485 Kč včetně DPH. Předmětem smlouvy byl urychlovač TrueBeam Slim, verifikační a informační systém, plánovací systém, portálová dozimetrie, software pro verifikaci shody dávkové distribuce vypočtené plánovacím systémem, dozimetrický systém pro in vivo dozimetrii, bragg peak komora, fantom nebo například fixační pomůcky pro oblast hlavy a krku. Záruka činila 24 měsíců [83].

4.4.2 Servisní náklady

Na základě odborných studií a veřejných zakázek byl stanoven procentuální podíl ročních pozáručních servisních nákladů pro přístroj CyberKnife a IMRT. Tento podíl byl vypočten dle známé pořizovací ceny a ročních nákladů na údržbu daného ozařovače. Tyto informace jsou shrnuty v tabulce (**Tabulka 13**).

Tabulka 13: Náklady na pozáruční servis dle odborných studií [zdroj vlastní]

Roční náklady na údržbu/servis dle odborných studií							
Přístroj	Stát	Rok	Měna	Pořizovací cena	Náklady na údržbu/rok	Procentuální podíl [%]	Zdroj
Cyber-Knife	USA	2017	USD	\$4 150 000,00	\$275 000,00	6,63	[75]
			USD	\$5 645 000,00	\$460 000,00	8,15	
	Itálie	2012	EUR	€ 5 808 000,00	€ 250 000,00	4,30	[32]
	Španělsko	2006	EUR	€ 3 702 508,44	€ 260 000,00	7,02	[33]
	Kanada	2003	CAD	\$4 500 000,00	\$182 943,50	4,07	[77]
IMRT	Kanada	2016	CAD	\$2 850 000,00	\$285 000,00	10,00	[84]
	ČR	2015	CZK	106 359 363,00 Kč	3 932 500 Kč	3,70	[80]
				109 296 880,00 Kč	4 918 650 Kč	4,50	[81]
				88 114 620,00 Kč	4 229 476 Kč	4,80	[82]
				64 285 485,00 Kč	3 242 800 Kč	5,04	[83]
	Španělsko	2014	EUR	€ 2 130 289,00	€ 150 720,00	7,08	[34]
	Itálie	2012	EUR	€ 2 500 000,00	€ 250 000,00	10,00	[32]

Na základě procentuálního podílu servisních nákladů zjištěných z odborných studií byly stanoveny tři reprezentativní hodnoty, které byly využity k odhadu servisních nákladů pro CyberKnife a IMRT pro optimistickou, realistickou a pesimistickou variantu. Pro CyberKnife i IMRT byl stanoven procentuální podíl ročních servisních nákladů k pořizovací ceně ve výši 4, 6 a 8%. Pro IMRT byly tyto podíly 4, 7, 10%. Doba životnosti ozařovačů byla stanovena na 10 let [32, 77] a doba, po kterou byly placeny servisní náklady byla počítána 8 let, z důvodu dvouletého bezplatného záručního servisu, který je pro ozařovače poskytován [80–83]. Celkové servisní náklady zaplacené za 10 let životnosti jsou shrnuty v tabulce (**Tabulka 14**).

Tabulka 14: Celkové servisní náklady pro CyberKnife a IMRT [zdroj vlastní]

Celkové náklady na údržbu/servis po dobu životnosti ozařovače (8 let)			
	Optimistická varianta [Kč]	Realistická varianta [Kč]	Pesimistická varianta [Kč]
CyberKnife	35 200 000,00	72 000 000,00	128 000 000,00
IMRT	22 721 825,28	49 344 187,20	80 016 380,40

4.4.3 Personální náklady

Personální náklady na léčbu jednoho pacienta byly vypočteny dle analýzy postupu léčby, odborných studií a časových dotací na jednotlivé procesy uvedené v registračních listech zdravotních výkonů. Správnost nákladových položek a časových dotací byla konzultována s radiačním onkologem. Výše hodinového výdělku jednotlivých pracovníků byla převzata z Informačního systému o průměrných výdělcích (ISPV) spravovaného Ministerstvem práce a sociálních věcí České republiky [85]. Pro optimistickou variantu byl zvolen medián hodinového výdělku (HV), pro realistickou variantu horní kvartil (Q3), pro pesimistickou variantu poté maximální hodinový výdělek vždy pro danou profesi. Náklady na léčbu karcinomu prostaty jsou v této diplomové práci počítány z pohledu poskytovatele zdravotnických služeb, proto byly použity hrubé výdělky ze sféry platové, nikoli mzdové.

Hodinový výdělek radiačního onkologa a radiologa byl převzat z informací o platu lékaře se specializací v oboru radiační onkologie, výdělek urologa poté z informací o platu lékaře s odbornou specializací v oboru urologie, výdělek zdravotní sestry byl převzat z informací o platu všeobecné sestry se specializací, výdělek radiologického asistenta a fyzika z informací o platu radiologického asistenta.

Celkové personální náklady na léčbu přístrojem CyberKnife a IMRT pro jednotlivé varianty jsou zaznamenány v tabulce (**Tabulka 15**). Podrobný popis nákladů pro realistickou variantu personálních nákladů potřebných pro léčbu CyberKnifem je uveden v tabulce (**Tabulka 16**), pro léčbu technologií IMRT v tabulce (**Tabulka 17**).

Personální náklady pro další varianty jsou podrobně popsány v příloze (**Příloha A: Personální náklady – optimistická a pesimistická varianta**).

Celkové personální náklady jsou vypočteny jako superhrubý plat (tzn. hrubý výdělek + 34%). Neuvažují se příplatky za přesčas, státní svátky ani další příplatky.

Tabulka 15: Personální náklady na léčbu jednoho pacienta [zdroj vlastní]

Varianta	Přístroj	Personální náklady celkem [Kč]
Optimistická	CyberKnife	11 346
	IMRT	14 030
Realistická	CyberKnife	17 473
	IMRT	17 299
Pesimistická	CyberKnife	22 317
	IMRT	22 369

Tabulka 16: Personální náklady na léčbu jednoho pacienta přístrojem CyberKnife - realistická varianta [zdroj vlastní]

Proces	Personální obsazení	Časová dotace [min]	Q3 HV dle ISPV [Kč]	Náklady celkem [Kč]
Vstupní vyšetření	Radiační onkolog	30	440,70	295,27
Implantace zlatých zrn	Urolog	15	440,70	147,63
Plánovací CT vyšetření	Radiační onkolog	30	440,70	295,27
	Radiologický asistent	30	225,20	150,88
Plánovací vyšetření na MR	Radiolog	60	440,70	590,54
	Radiační fyzik	60	225,20	301,77
Plánování léčby	Radiační onkolog 2x	240	881,40	4 724,30
	Radiační fyzik	200	225,20	1 005,89
Radioterapie	Radiační onkolog	5 x 130	440,70	6 397,50
	Radiologický asistent	5 x 130	225,20	3 269,15
Výstupní vyšetření	Radiační onkolog	30	440,70	295,27
Celkem personální náklady (realistická varianta - CyberKnife):				17 473 Kč

Tabulka 17: Personální náklady na léčbu na léčbu jednoho pacienta přístrojem IMRT - realistická varianta [zdroj vlastní]

Proces	Personální obsazení	Časová dotace [min]	Q3 HV dle ISPV [Kč]	Náklady celkem [Kč]
Vstupní vyšetření	Radiační onkolog	30	440,70	295,27
Lokalizace cílového objemu	Radiační onkolog	60	440,70	590,54
	Radiační fyzik/asistent	60	225,20	301,77
Plánovací CT vyšetření	Radiační onkolog	30	440,70	295,27
	Radiologický asistent	30	225,20	150,88
Plánování léčby	Radiační onkolog	90	440,70	885,81
	Radiační fyzik	90	225,20	452,65
Simulace ozařovacího plánu	Radiační onkolog	60	440,70	590,54
	Radiační fyzik	60	225,20	301,77
Radioterapie	Radiační onkolog	37 x 22	440,70	8 011,63
	Radiologický asistent	37 x 22	225,20	4 093,99
Kontrolní vyšetření	Radiační onkolog	7 x 15	440,70	1 033,44
Výstupní vyšetření	Radiační onkolog	30	440,70	295,27
Celkem personální náklady (realistická varianta - IMRT):				17 299 Kč

4.4.4 Materiální náklady

Nákladové položky potřebného materiálu byly stanoveny dle informací z registračních listů, odborných studií a upraveny byly po konzultaci s radiačním onkologem. Materiální náklady byly stanoveny pro optimistickou, realistickou a pesimistickou variantu léčby. Cena materiálu byla stanovena dle aktuálních tržních cen. Neuvažují se množstevní slevy na nákup spotřebního materiálu, které jsou zdravotnickým zařízením od dodavatelů často poskytovány.

Materiální náklady, pro všechny varianty, které vznikají při léčbě přístrojem CyberKnife a IMRT jsou zaznamenány v tabulce (**Tabulka 18**). Konkrétní nákladové položky pro realistickou variantu při léčbě přístrojem CyberKnife jsou shrnuty v tabulce (**Tabulka 19**) a při léčbě přístrojem IMRT v tabulce (**Tabulka 20**). Nákladové položky pro ostatní varianty jsou uvedeny v příloze (**Příloha B: Materiální náklady – optimistická a pesimistická varianta**).

Tabulka 18: Personální náklady na léčbu jednoho pacienta [zdroj vlastní]

Varianta	Přístroj	Materiální náklady celkem vč. DPH [Kč]
Optimistická	CyberKnife	6 370
	IMRT	15
Realistická	CyberKnife	8 470
	IMRT	15
Pesimistická	CyberKnife	12 722
	IMRT	2 167

Tabulka 19: Materiální náklady na léčbu jednoho pacienta přístrojem CyberKnife - realistická varianta [zdroj vlastní]

Proces	Potřebný materiál	Cena za jednotku	Množství [ks]	Cena celkem s DPH [Kč]	Zdroj
Vstupní vyšetření	Rukavice - nesterilní	92 Kč/100 ks	2	1,84	[86]
Implantace zlatých zrn	Operační rouška	592 Kč/35 ks	2	16,91	[87]
	Prezervativ	149 Kč/12 ks	1	12,42	[88]
	Rukavice chirurgické sterilní	789,5 Kč/100 ks	2	15,79	[89]
	Tampón z gázy stočený vejc. 12/8 100 ks	144 Kč/100 ks	6	8,64	[90]
	Jehla inj luer 2,0x200	940 Kč/100 ks	1	9,40	[55]
	Stříkačka inj luer ph 10 ml	166 Kč/100 ks	1	1,66	[91]
	Zlatý válcový značkovač s aplikátorem	2100 Kč/ks	4	8 400,00	[92]
Kontrolní vyšetření	Rukavice - nesterilní	92 Kč/100 ks	2	1,84	[86]
Výstupní vyšetření	Rukavice - nesterilní	92 Kč/100 ks	2	1,84	
Celkem materiální náklady (realistická varianta - CyberKnife):				8 470 Kč	

Tabulka 20: Materiální náklady na léčbu jednoho pacienta přístrojem IMRT - realistická varianta [zdroj vlastní]

Proces	Potřebný materiál	Cena za jednotku	Množství [ks]	Cena celkem s DPH [Kč]	Zdroj
Vstupní vyšetření	Rukavice - nesterilní	80,70 Kč/100 ks	2	1,84	[86]
Kontrolní vyšetření			14	11,30	
Výstupní vyšetření			2	1,84	
Celkem materiální náklady (realistická varianta – IMRT):				15 Kč	

4.4.5 Náklady na vyšetření MR, CT a simulátorem

Pro stanovení nákladů na léčbu pacienta s karcinomem prostaty bylo potřeba započítat i náklady na vyšetření, které je nutné pro úspěšné provedení léčby (konkrétně jeho plánování) absolvovat. Tyto náklady byly odhadnuty dle pořizovacích cen jednotlivých přístrojů, servisních nákladů, životnosti přístrojů a dále dle počtu zákroků na jeden přístroj za rok. Pořizovací ceny RTG simulátoru byly převzaty z diplomové práce Bc. Veroniky Zukalové [78], která monitorovala ceny radioterapeutických přístrojů v ČR. Pořizovací ceny výpočetního tomografu a magnetické rezonance byly převzaty z číselníku ÚZIS [93]. Převzaté pořizovací ceny těchto přístrojů jsou uvedeny v tabulce (**Tabulka 21**).

Servisní náklady pro jednotlivé přístroje byly odhadnuty na základě zadaných veřejných zakázek, kdy byl stanoven procentuální podíl na pořizovací ceně daného přístroje. Pro RTG simulátor byly roční servisní náklady odhadnuty na 3,1%, u výpočetního tomografu CT na 13% a u magnetické rezonance na 6% z pořizovací ceny. Výsledné náklady na diagnostické přístroje na celou dobu životnosti jsou zaznamenány v tabulce (**Tabulka 22**). Doba životnosti je předpokládána 10 let a doba, po kterou bylo uvažováno placení servisních nákladů je 8 let.

Tabulka 21: Pořizovací ceny diagnostických přístrojů [zdroj vlastní]

Pořizovací ceny vč. DPH [Kč]				
	Optimistická varianta	Realistická varianta	Pesimistická varianta	Zdroj
Simulátor RTG	18 634 000,00	20 933 000,00	22 820 600,00	[78]
Plánovací CT	10 648 000,00	22 022 000,00	35 937 000,00	[93]
MR	21 780 000,00	35 090 000,00	58 080 000,00	

Tabulka 22: Servisní náklady na diagnostické přístroje [zdroj vlastní]

Servisní náklady na údržbu/ servis po dobu životnosti přístroje [Kč]				
	Optimistická varianta	Realistická varianta	Pesimistická varianta	Zdroj
Simulátor RTG	4 621 232,00	5 191 384,00	5 659 508,80	[vlastní]
Plánovací CT	11 073 920,00	22 902 880,00	37 374 480,00	
MR	10 454 400,00	16 843 200,00	27 878 400,00	

Počet výkonů, které jsou vykonány na RTG simulátoru v České republice byly převzaty ze Zdravotnické ročenky České republiky 2015 vytvořené Ústavem zdravotnických informací a statistiky ČR [94]. Roční počet zákroků na CT a magnetické rezonanci byl převzat z informací fakultní nemocnice Ostrava [95, 96]. Počet zákroků na CT a MR byl převzat z údajů FN Ostrava z důvodu snahy zachovat stejné měřítko v počtu pacientů jako u přístroje CyberKnife. Informace o využitosti potřebných diagnostických přístrojů je uveden v tabulce (**Tabulka 23**).

Tabulka 23: Využitost diagnostických přístrojů [zdroj vlastní]

	Životnost	Počet zákroků/rok	Zdroj
Simulátor RTG	10	3 273	[94]
CT	10	6 250	[95]
MR	10	1 750	[96]

Odhad třech variant nákladů na jedno vyšetření RTG simulátorem, CT a magnetickou rezonancí je zaznamenán v tabulce (**Tabulka 24**).

Tabulka 24: Odhad nákladů na jedno vyšetření RTG simulátorem, CT a magnetickou rezonancí [zdroj vlastní]

Náklady na 1 vyšetření [Kč]			
	Optimistická varianta	Realistická varianta	Pesimistická varianta
Simulátor RTG	1 421	1 596	1 740
CT	348	719	666
MR	1 842	2 968	4 912

4.4.6 Celkové náklady na léčbu

Do celkových nákladů na léčbu jednoho pacienta byly započteny náklady na nákup ozařovacího přístroje, servisní náklady, náklady materiální, personální, náklady na vyšetření RTG simulátorem, plánovacím CT a magnetickou rezonancí. Poslední položkou byly režijní náklady, které byly stanoveny procentuálně. Konkrétně byly vypočteny jako 20% z celkových nákladů [32].

Náklady na nákup ozařovacího přístroje a servisní náklady byly rozpočítány na jednoho pacienta na základě znalosti doby životnosti ozařovače a počtu ozářených pacientů za toto období. Tyto údaje shrnuje tabulka (**Tabulka 25**). Roční počet ozářených pacientů byl převzat z oficiálních webových stránek Fakultní nemocnice Ostrava [97]. Roční počet ozářených pacientů na lineárním urychlovači IMRT byl převzat ze Zdravotnické ročenky 2015 ÚZIS [94], kde se uvádí počet výkonů na jednom lineárním urychlovači za rok. Dle tohoto dokumentu to je konkrétně 23 082 výkonů. Pokud budeme předpokládat 37 frakcí, které jsou potřebné pro radioterapii jednoho pacienta s karcinomem prostaty, vychází nám přibližně 600 pacientů za rok. V této diplomové práci je tedy předpokládáno stejné vytížení ozařovače CyberKnife a IMRT. Stejným způsobem byly rozpočítány i servisní náklady na každý radioterapeutický přístroj.

Tabulka 25: Počet pacientů za dobu životnosti ozařovače [zdroj vlastní]

	Doba životnosti [roky]	Počet pacientů/rok [-]	Celkový počet pacientů [-]	Zdroj
CyberKnife	10	600	6 000	[97]
IMRT				[94]

Celkové náklady na léčbu jednoho pacienta s lokalizovaným karcinomem prostaty přístroji CyberKnife a IMRT jsou zaznamenány ve shrnující tabulce (Tabulka 26).

Tabulka 26: Celkové náklady na léčbu pacienta přístrojem CyberKnife a IMRT
[zdroj vlastní]

CyberKnife			IMRT		
Optimistická varianta	Realistická varianta	Pesimistická varianta	Optimistická varianta	Realistická varianta	Pesimistická varianta
Náklady na ozařovač					
18 333 Kč	25 000 Kč	33 333 Kč	11 834 Kč	14 686 Kč	16 670 Kč
Servisní náklady na dobu životnosti ozařovače					
5 867 Kč	12 000 Kč	21 333 Kč	3 787 Kč	8 224 Kč	13 336 Kč
Náklady na spotřebovaný materiál					
6 370 Kč	8 470 Kč	12 722 Kč	15 Kč	15 Kč	2 167 Kč
Personální náklady					
11 346 Kč	17 473 Kč	22 317 Kč	14 030 Kč	17 299 Kč	22 369 Kč
Náklady na vyšetření simulátorem					
x	x	x	2 842 Kč	3 193 Kč	3 481 Kč
Náklady na CT vyšetření					
348 Kč	719 Kč	666 Kč	348 Kč	719 Kč	666 Kč
Náklady na MR vyšetření					
1 842 Kč	2 968 Kč	4 912 Kč	x	x	4 912 Kč
Režijní náklady					
8 821 Kč	13 326 Kč	19 057 Kč	6 950 Kč	9 062 Kč	12 720 Kč
CELKOVÉ NÁKLADY NA LÉČBU 1 PACIENTA					
52 927 Kč	79 956 Kč	114 339 Kč	41 699 Kč	54 372 Kč	76 320 Kč

4.5 Analýza nákladové efektivity

V rámci analýzy nákladové efektivity byla stanovena nákladová efektivita přístrojů CyberKnife a IMRT (poměr nákladů na léčbu jednoho pacienta a klinického efektu C/E). Tento poměr byl stanoven pro optimistickou, realistickou a pesimistickou variantu nákladů. Výsledné poměry jsou zaznamenány v tabulce (**Tabulka 27**).

V případě optimistické varianty byla nákladová efektivita CK a IMRT 88 066 Kč/efekt a 98 814 Kč/efekt. Při realistické variantě 133 039 a 132 737 Kč/efekt. V případě pesimistické varianty 190 248 a 191 279 Kč/efekt.

Tabulka 27: Výpočet nákladové efektivity přístroje CyberKnife a IMRT [zdroj vlastní]

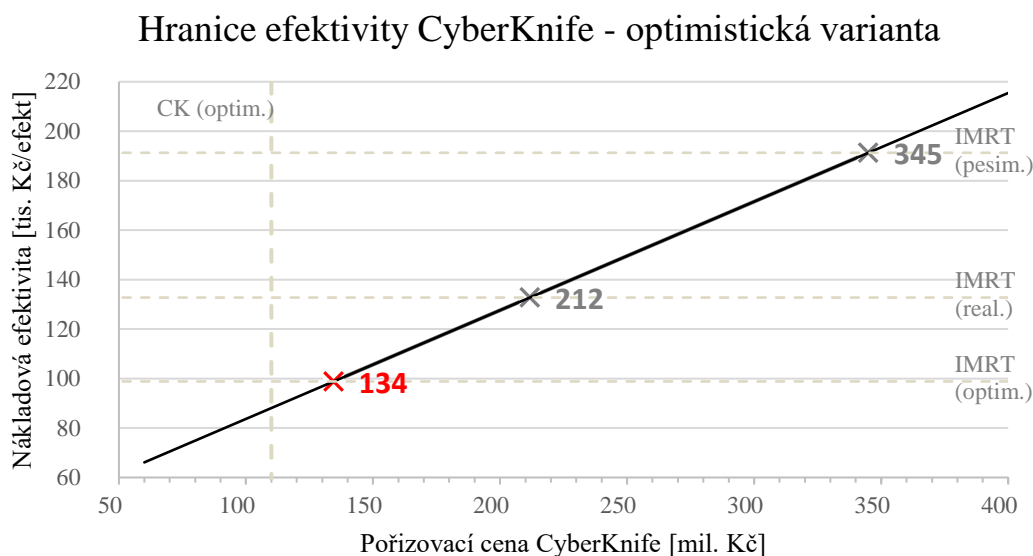
	CyberKnife			IMRT		
	Náklady na léčbu 1 pacienta [Kč]	Klinický efekt [-]	C/E [Kč/efekt]	Náklady na léčbu 1 pacienta [Kč]	Klinický efekt [-]	C/E [Kč/efekt]
Optimistická varianta	52 927	0,601	88 066	39 427	0,399	98 814
Realistická varianta	79 956		133 039	52 962		132 737
Pesimistická varianta	114 339		190 248	76 320		191 279

4.5.1 Stanovení hranic efektivity

Jedním z cílů diplomové práce bylo stanovit hranice nákladové efektivity přístroje CyberKnife vůči komparátoru IMRT. Konkrétně, při jaké pořizovací ceně přístroje CyberKnife je nákladová efektivita přístroje CyberKnife rovna nákladové efektivitě IMRT. Hranice efektivity byly stanoveny pro optimistickou, realistickou a pesimistickou variantu nákladové efektivity obou přístrojů.

Grafy vyjadřující hranice efektivity jsou zobrazeny v obrázcích (**Obrázek 8**, **Obrázek 9** a **Obrázek 10**). Na grafu (**Obrázek 8**) je znázorněna černá křivka závislosti optimistické varianty nákladové efektivity přístroje CyberKnife na jeho pořizovací ceně. Tři vodorovné čárkované přímky zobrazují nákladovou efektivitu technologie IMRT pro všechny tři varianty. Svislá čárkovaná čára vyjadřuje výchozí pořizovací cenu CyberKnife (110 mil. Kč) při optimistické variantě. Čísla na černé přímce poté označují hranice efektivity. Pokud by měl být CyberKnife nákladově efektivnější než optimistická varianta IMRT, musela by být jeho pořizovací cena nižší, než 134 mil. Kč.

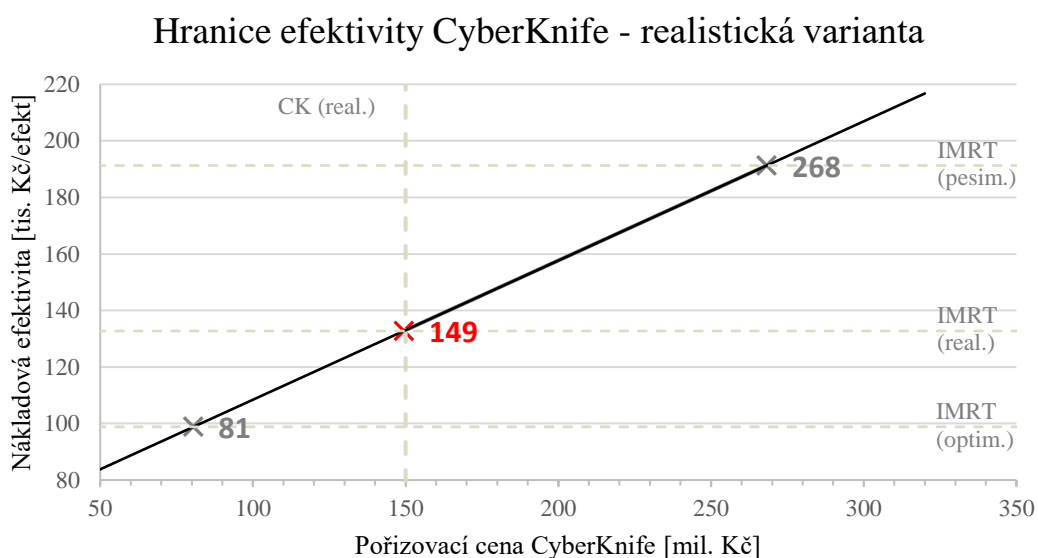
V případě realistické varianty IMRT by musel být CyberKnife levnější, než 212 mil. Kč a v případě pesimistické varianty IMRT by musela být pořizovací cena CyberKnife nižší, než 345 mil. Kč.



Obrázek 8: Hranice efektivity (C/E) – optimistická varianta [zdroj vlastní]

Na grafu (**Obrázek 9**) je znázorněna černá křivka závislosti realistické varianty nákladové efektivity přístroje CyberKnife na jeho pořizovací ceně. Tři vodorovné čárkované přímky zobrazují nákladovou efektivitu technologie IMRT pro všechny tři varianty. Svislá čárkovaná čára vyjadřuje výchozí pořizovací cenu CyberKnife (150 mil. Kč) při realistické. Čísla na černé přímce poté označují hranice efektivity. V případě realistické varianty IMRT by musel být CyberKnife levnější, než 149 mil. Kč, aby byl nákladově efektivnější.

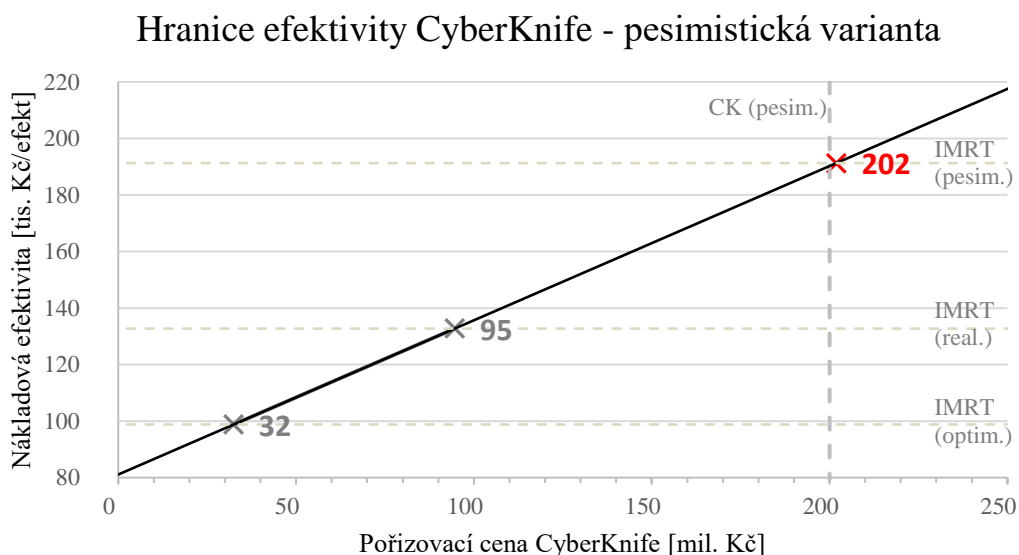
Pokud by měl být CyberKnife nákladově efektivnější než optimistická varianta IMRT, musela by být jeho pořizovací cena nižší, než 81 mil. Kč a v případě pesimistické varianty IMRT by musela být pořizovací cena CyberKnife nižší, než 268 mil. Kč.



Obrázek 9: Hranice efektivity (C/E) - realistická varianta [zdroj vlastní]

Na grafu (**Obrázek 10**) je znázorněna černá křivka závislosti pesimistické varianty nákladové efektivity přístroje CyberKnife na jeho pořizovací ceně. Tři vodorovné čárkované přímky zobrazují nákladovou efektivitu technologie IMRT pro všechny tři varianty. Svislá čárkovaná čára vyjadřuje výchozí pořizovací cenu CyberKnife (200 mil. Kč) při pesimistické variantě. Čísla na černé přímce poté označují hranice efektivity. Pokud by měl být CyberKnife nákladově efektivnější než pesimistická varianta IMRT, musela by být pořizovací cena CyberKnife nižší, než 202 mil. Kč.

Pokud by měl být CyberKnife nákladově efektivnější než optimistická varianta IMRT, musela by být jeho pořizovací cena nižší, než 32 mil. Kč. V případě realistické varianty IMRT by musel být CyberKnife levnější, než 95 mil. Kč.



Obrázek 10: Hranice efektivity (C/E) - pesimistická varianta [zdroj vlastní]

4.6 Analýza nákladů a užitku

Při analýze nákladů a užitku byla použita hodnota QALY převzatá z odborné studie zabývající se porovnáním nákladové efektivity robotického stereotaktického ozařovacího přístroje (CyberKnife) a IMRT. Dle této studie byl stanoven užitek léčby karcinomu prostaty technologií CyberKnife na 9,93 QALY a technologií IMRT na 9,96 QALY. V rámci systematické rešerše byly identifikovány i další studie, které stanovovaly QALY, nicméně pouze studie od Shera odlišovala robotickou stereotaktickou radioterapii od celkové stereotaktické radioterapie, do které nepatří pouze CyberKnife [29].

Výsledky analýzy nákladů a užitku jsou zaznamenány v tabulce (**Tabulka 28**). Z tabulky je patrné, že nákladová efektivity pro optimistickou, realistickou a pesimistickou variantu CyberKnife byla 5 330, 8 052 a 11 515 Kč/QALY. Pro IMRT byla 3 959, 5 317 a 7 663 Kč/QALY.

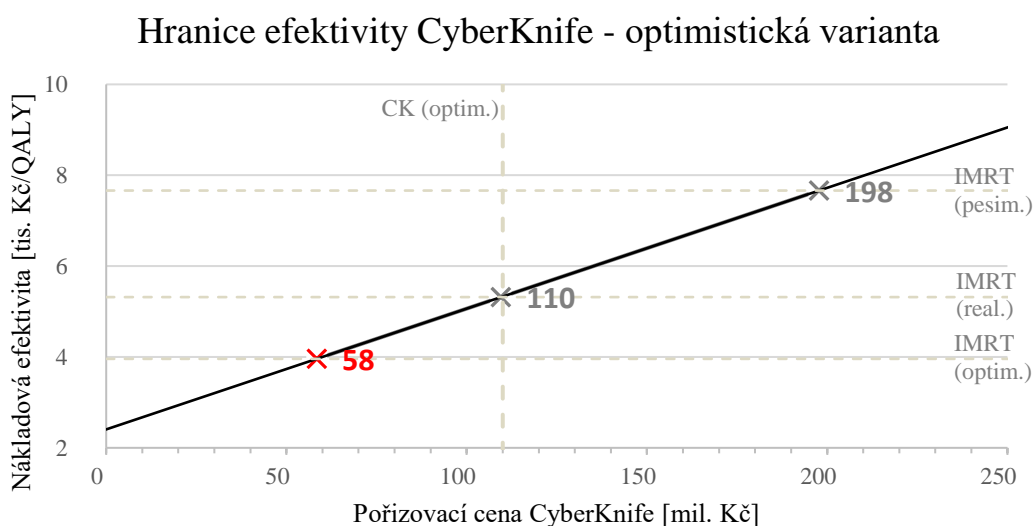
Tabulka 28: Výsledky analýzy nákladů a užitku pro technologii CyberKnife a IMRT
[zdroj vlastní]

	CyberKnife			IMRT		
	Náklady na léčbu 1 pacienta [Kč]	Klinický efekt [QALY]	C/U [Kč/QALY]	Náklady na léčbu 1 pacienta [Kč]	Klinický efekt [QALY]	C/U [Kč/QALY]
Optimistická varianta	52 927	9,930	5 330	41 699	9,960	3 959
Realistická varianta	79 956		8 052	54 372		5 317
Pesimistická varianta	114 339		11 515	76 320		7 663

4.6.1 Stanovení hranic efektivity

Na grafu (**Obrázek 11**) je znázorněna černá křivka závislosti optimistické varianty nákladové efektivity přístroje CyberKnife na jeho pořizovací ceně. Nákladová efektivita je zde vyjádřena analýzou nákladů a užitku (náklady na léčbu jednoho pacienta/QALY). Tři vodorovné čárkované přímky zobrazují nákladovou efektivitu technologie IMRT pro všechny tři varianty. Svislá čárkovaná čára vyjadřuje výchozí pořizovací cenu CyberKnife (110 mil. Kč) při optimistické variantě. Čísla na černé přímce poté označují hranice efektivity. Pokud by měl být CyberKnife nákladově efektivnější než optimistická varianta IMRT, musela by být jeho pořizovací cena nižší, než 58 mil. Kč.

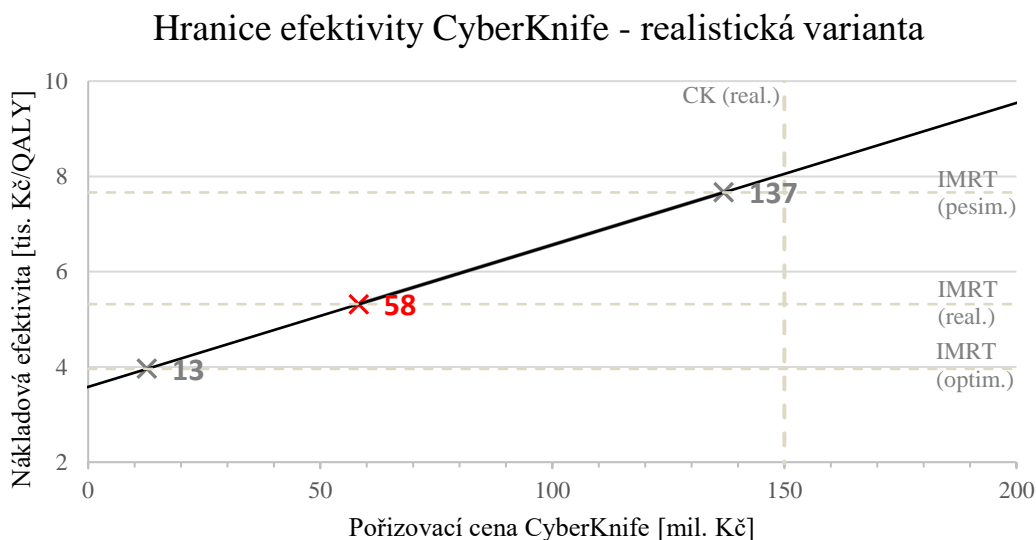
V případě realistické varianty IMRT by musel být CyberKnife levnější, než 110 mil. Kč a v případě pesimistické varianty IMRT by musela být pořizovací cena CyberKnife nižší, než 198 mil. Kč.



Obrázek 11: Hranice efektivity (C/U) – optimistická varianta [zdroj vlastní]

Na grafu (**Obrázek 12**) je znázorněna černá křivka závislosti realistické varianty nákladové efektivity přístroje CyberKnife na jeho pořizovací ceně. Nákladová efektivita je zde vyjádřena analýzou nákladů a užitku (náklady na léčbu jednoho pacienta/QALY). Tři vodorovné čárkované přímky zobrazují nákladovou efektivitu technologie IMRT pro všechny tři varianty. Svislá čárkovaná čára vyjadřuje výchozí pořizovací cenu CyberKnife (150 mil. Kč) při realistické variantě. Čísla na černé přímce poté označují hranice efektivity. Pokud by měl být CyberKnife nákladově efektivnější než realistická varianta IMRT, musel by být levnější, než 58 mil. Kč

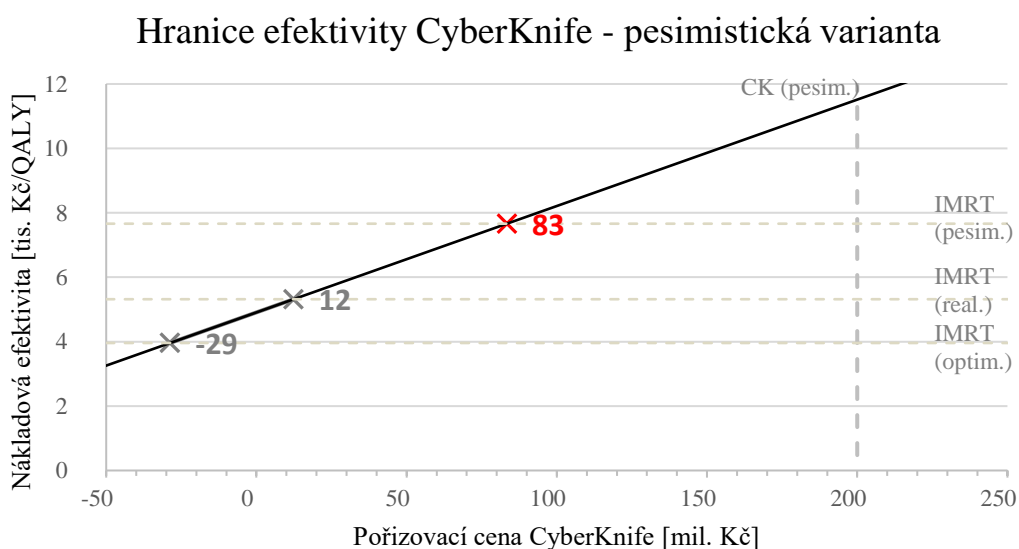
Pokud by měl být CyberKnife nákladově efektivnější než optimistická varianta IMRT, musela by být jeho pořizovací cena nižší, než 13 mil. Kč a v případě pesimistické varianty IMRT by musela být pořizovací cena CyberKnife nižší, než 137 mil. Kč.



Obrázek 12: Hranice efektivity (C/U) - realistická varianta [zdroj vlastní]

Na grafu (**Obrázek 13**) je znázorněna černá křivka závislosti pesimistické varianty nákladové efektivity přístroje CyberKnife na jeho pořizovací ceně. Nákladová efektivita je zde vyjádřena analýzou nákladů a užitku (náklady na léčbu jednoho pacienta/QALY). Tři vodorovné čárkované přímky zobrazují nákladovou efektivitu technologie IMRT pro všechny tři varianty. Svislá čárkovaná čára vyjadřuje výchozí pořizovací cenu CyberKnife (200 mil. Kč) při pesimistické variantě. Čísla na černé přímce poté označují hranice efektivity. Pokud by měl být CyberKnife nákladově efektivnější než pesimistická varianta IMRT, pořizovací cena by musela být nižší, než 83 mil. Kč

V případě optimistické varianty by musel být levnější, než -29 mil. Kč. Reálně tedy nebude CyberKnife v této variantě nikdy nákladově efektivnější než optimistická varianta IMRT. V případě realistické varianty IMRT by musel být CyberKnife levnější, než 12 mil. Kč.



Obrázek 13: Hranice efektivity (C/U) - pesimistická varianta [zdroj vlastní]

4.7 Analýza citlivosti

V rámci této diplomové práce byla provedena jednocestná citlivostní analýza pro dva parametry: velikost klinického efektu získaného z AHP hodnocení a počet léčených pacientů. Při citlivostní analýze aplikované na klinický efekt byla v první verzi předpokládána rovnost efektů a v druhé verzi byla velikost klinického efektu technologie CyberKnife zvýšena na 0,7. Celkem byl parametr klinický efekt testován o $\pm 0,1$ oproti původní velikosti efektu. Toto bylo aplikováno na všechny tři varianty nákladů: optimistickou, realistickou a pesimistickou.

Druhá citlivostní analýza spočívala ve změně parametru počet léčených pacientů. Při této analýze byl sledován vliv na celkové náklady na léčbu 1 pacienta a také na nákladovou efektivitu pro realistickou variantu. Toto bylo sledováno jak u nákladové efektivity vyjádřené pomocí AHP, tak QALY.

4.7.1 Vliv velikosti klinického efektu na nákladovou efektivitu

Rovnost klinických efektů

V rámci této diplomové práce byla provedena jednocestná citlivostní analýza, která spočívá ve změně klinického efektu, jehož původní hodnota byla vyvozena v rámci multikriteriálního hodnocení klinických efektů. Expertní skupina stanovila výsledný klinický efekt pro CyberKnife 0,601 a pro IMRT 0,399. První část citlivostní analýzy je zaměřena na změnu tohoto efektu. Klinický efekt pro IMRT i CyberKnife je rovný 0,5. Výsledné hodnoty nákladové efektivity pro všechny tři varianty jsou zobrazeny v tabulce (**Tabulka 29**).

Výsledná klinická efektivita pro optimistickou, realistickou a pesimistickou variantu a efekt 0,5 pro CyberKnife je rovna 105 855, 159 913 a 228 679 Kč/efekt. Pro IMRT je poté rovna 83 398, 105 924 a 152 641 Kč/efekt.

Tabulka 29: Výsledky analýzy nákladové efektivity pro technologii CyberKnife a IMRT při rovnosti klinických efektů [zdroj vlastní]

	CyberKnife			IMRT		
	Náklady na léčbu 1 pacienta [Kč]	Klinický efekt [-]	C/E [Kč/efekt]	Náklady na léčbu 1 pacienta [Kč]	Klinický efekt [-]	C/E [Kč/efekt]
Optimistická varianta	52 927	0,500	105 855	41 699	0,500	78 853
Realistická varianta	79 956		159 913	54 372		105 924
Pesimistická varianta	114 339		228 679	76 320		152 641

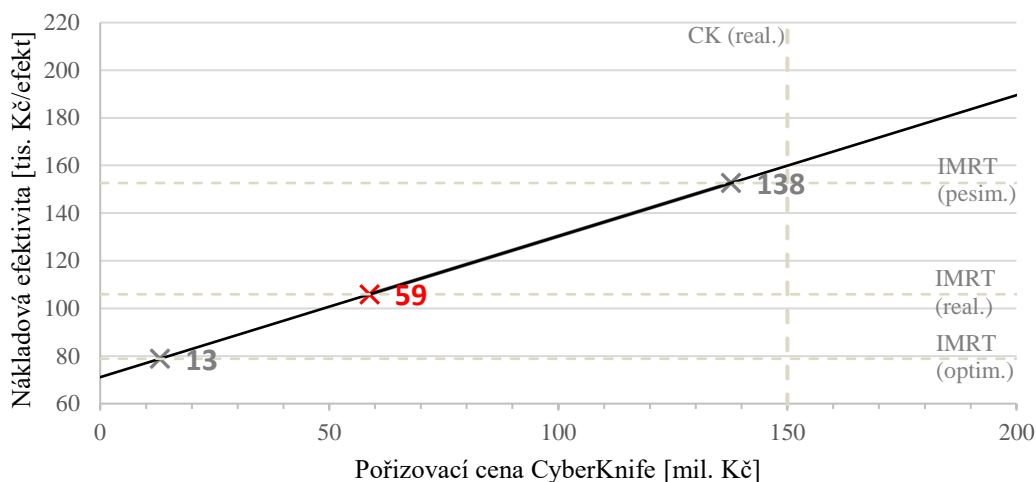
V tabulce (**Tabulka 30**) jsou zaznamenány hranice efektivity pro jednotlivé varianty nákladů na léčbu přístrojem CyberKnife a IMRT při rovnosti klinických efektů, které by oba přístroje pacientovi přinášely.

Tabulka 30: Hranice efektivity - citlivostní analýza (rovnost klinických efektů) [zdroj vlastní]

Požizovací cena CK [mil. Kč]	Optimistická varianta CK	Realistická varianta CK	Pesimistická varianta CK
Optimistická varianta IMRT	59	13	-28
Realistická varianta IMRT	110	59	13
Pesimistická varianta IMRT	199	138	84

V grafu (**Obrázek 14**) je znázorněna černá křivka závislosti realistické varianty nákladové efektivity přístroje CyberKnife na jeho pořizovací ceně. Tři vodorovné čárkované přímky zobrazují nákladovou efektivitu technologie IMRT pro všechny tři varianty. Svislá čárkovaná čára vyjadřuje výchozí pořizovací cenu CyberKnife (150 mil. Kč) při realistické variantě. Čísla na černé přímce poté označují hranice efektivity.

Hranice efektivity CyberKnife - realistická varianta



Obrázek 14: Hranice efektivity (C/E) při rovnosti klinických efektů – realistická varianta [zdroj vlastní]

Navýšení klinické efektivity přístroje CyberKnife

Druhá část citlivostní analýzy spočívá v navýšení velikosti klinického efektu přístroje CyberKnife. Klinický efekt pro CyberKnife je tedy roven 0,7 a IMRT roven 0,3. Výsledné hodnoty nákladové efektivity pro všechny tři varianty jsou shrnuty v tabulce (**Tabulka 31**).

Výsledná klinická efektivita pro optimistickou, realistickou a pesimistickou variantu pro CyberKnife je rovna 75 611, 114 223 a 163 342 Kč/efekt. Pro IMRT je poté rovna 138 996, 181 240 a 254 401 Kč/efekt.

Tabulka 31: Výsledky analýzy nákladové efektivity pro technologii CyberKnife a IMRT při navýšení klinické efektivity přístroje CyberKnife [zdroj vlastní]

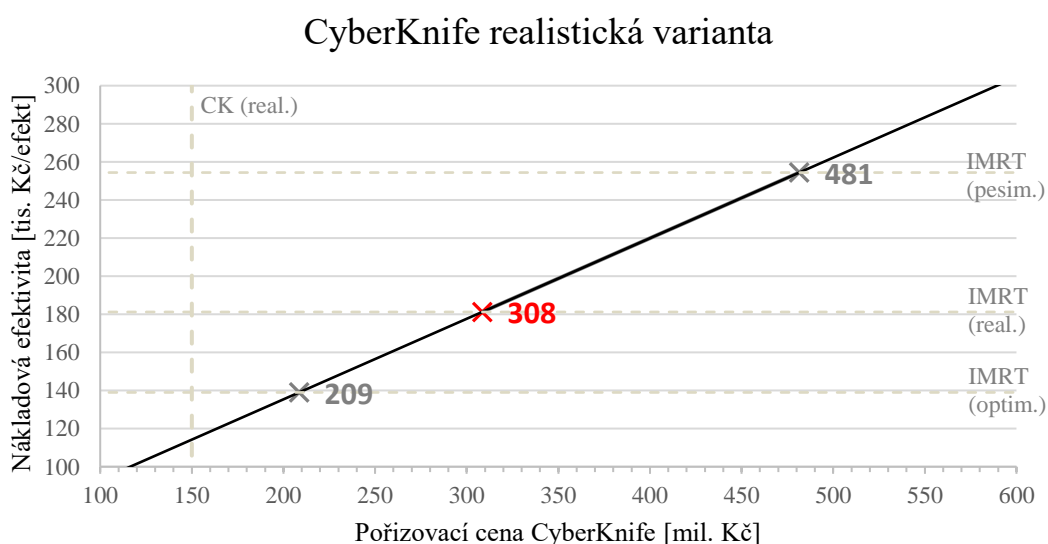
	CyberKnife			IMRT		
	Náklady na léčbu 1 pacienta [Kč]	Efekt [-]	C/E [Kč/efekt]	Náklady na léčbu 1 pacienta [Kč]	Efekt [-]	C/E [Kč/efekt]
Optimistická varianta	52 927	0,7	75 611	41 699	0,3	138 996
Realistická varianta	79 956		114 223	54 372		181 240
Pesimistická varianta	114 339		163 342	76 320		254 401

V tabulce (**Tabulka 32**) jsou zaznamenány hranice efektivity pro jednotlivé varianty nákladů na léčbu přístrojem CyberKnife a IMRT při navýšení klinického efektu přístroje CyberKnife, oproti základní variantě.

Tabulka 32: Hranice efektivity - citlivostní analýza (navýšení velikosti klinického efektu přístroje CyberKnife) [zdroj vlastní]

Požizovací cena CK [mil. Kč]	Optimistická varianta CK	Realistická varianta CK	Pesimistická varianta CK
Optimistická varianta IMRT	210	209	278
Realistická varianta IMRT	322	308	390
Pesimistická varianta IMRT	516	481	584

V grafu (**Obrázek 15**) je znázorněna černá křivka závislosti realistické varianty nákladové efektivity přístroje CyberKnife na jeho pořizovací ceně. Tři vodorovné čárkované přímky zobrazují nákladovou efektivitu technologie IMRT pro všechny tři varianty. Svislá čárkovaná čára vyjadřuje výchozí pořizovací cenu CyberKnife (150 mil. Kč) při realistické variantě. Čísla na černé přímce poté označují hranice efektivity.



Obrázek 15. Hranice efektivity (C/E) při navýšení velikosti klinického efektu přístroje CyberKnife - realistická varianta [zdroj vlastní]

4.7.2 Vliv počtu pacientů na nákladovou efektivitu

V rámci této jednocestné citlivostní analýzy byl jako parametr zvolen počet pacientů, kteří podstoupili léčbu na přístroji CyberKnife a IMRT. Byly sledovány změny v nákladech na léčbu jednoho pacienta, nákladová efektivita a pořizovací cena přístroje CyberKnife, která by byla potřebná pro to, aby tato efektivita byla stejná jako při léčbě IMRT. Tato citlivostní analýza byla aplikována na realistickou variantu klinické efektivity vypočtené metodou AHP i vyjádřenou pomocí QALY.

Nákladová efektivita stanovená pomocí AHP

V tabulce (**Tabulka 33**) jsou uvedeny výsledky citlivostní analýzy s počtem pacientů 600 ± 400 . Změna parametru počet pacientů byla pozorována u výše nákladů na léčbu jednoho pacienta, klinické efektivity (C/E) a u výše pořizovací ceny přístroje CyberKnife, při které by nastala rovnost nákladových efektivit obou přístrojů.

Tabulka 33: Citlivostní analýza - nákladová efektivita stanovená pomocí AHP (změna počtu pacientů) – realistická varianta [zdroj vlastní]

		CyberKnife		IMRT		Pořizovací cena přístroje CyberKnife pro hranici efektivity [mil. Kč]
		Náklady na léčbu 1 pacienta [Kč]	C/E [Kč/efekt]	Náklady na léčbu 1 pacienta [Kč]	C/E [Kč/efekt]	
Počet pacientů [-]	200	168 756	280 792	76 918	192 776	143
	300	124 356	206 916	80 454	201 639	145
	400	102 156	169 977	66 708	167 188	146
	500	88 836	147 814	58 460	146 518	148
	600	79 956	133 039	52 962	132 737	149
	700	73 613	122 485	49 035	122 894	151
	800	68 856	114 569	46 089	115 512	153
	900	65 156	108 413	43 798	109 770	154
	1000	62 196	103 488	41 965	105 177	156

Nákladová efektivita stanovená pomocí QALY

V tabulce (**Tabulka 34**) jsou uvedeny výsledky citlivostní analýzy s počtem pacientů 600 ± 400 . Změna parametru počet pacientů byla pozorována u výše nákladů na léčbu jednoho pacienta, klinické efektivity (C/U) a u výše pořizovací ceny přístroje CyberKnife, při které by nastala rovnost nákladových efektivit obou přístrojů.

Tabulka 34: Citlivostní analýza - nákladová efektivita stanovená pomocí QALY (změna počtu pacientů) – realistická varianta [zdroj vlastní]

		CyberKnife		IMRT		Pořizovací cena přístroje CyberKnife pro hranici efektivity [mil. Kč]
		Náklady na léčbu 1 pacienta [Kč]	C/U [Kč/QALY]	Náklady na léčbu 1 pacienta [Kč]	C/U [Kč/QALY]	
Počet pacientů [-]	200	168 756	16 995	76 918	10 838	81
	300	124 356	12 523	80 454	8 078	75
	400	102 156	10 288	66 708	6 698	70
	500	88 836	8 946	58 460	5 870	64
	600	79 956	8 052	52 962	5 317	58
	700	73 613	7 413	49 035	7 413	53
	800	68 856	6 934	46 089	4 627	47
	900	65 156	6 562	43 798	4 397	41
	1000	62 196	6 263	41 965	4 213	35

5 Diskuse

Incidence karcinomu prostaty má v České republice stoupající trend. Kurativní léčba karcinomu prostaty spočívá v aktivní surveillanci, radikální prostatektomii, radioterapii či hormonální terapii [98]. V posledních letech je velká pozornost věnována radioterapeutické léčbě. Jedním ze zástupců této metody je technologie CyberKnife [21]. Hlavním argumentem pro použití stereotaktické radioterapie je nízký počet větších dávek radiačního záření. Vystávající otázkou je klinická efektivita a nákladnost léčby. V této diplomové práci byl tento problém zkoumán ve třech krocích. Nejprve byla vyčíslena klinická účinnost léčby CyberKnifem a IMRT. Poté byl proveden odhad nákladů na léčbu. A jako třetí krok byla vypracována analýza nákladové efektivity. V rámci této analýzy byly stanoveny hranice efektivity obou intervencí v závislosti na pořizovací ceně přístroje CyberKnife. A nakonec byl v jednocestné citlivostní analýze zkoumán vliv velikosti klinického efektu a počtu pacientů na celkovou klinickou efektivnost intervencí.

Stanovení klinické efektivity

Klinická účinnost byla kvantitativně stanovena pomocí QALY a také pomocí multikriteriálního vyhodnocení klinických efektů léčby expertním týmem. Konkrétně byla využita metoda AHP. Pomocí systematické rešerše klinických výstupů byly analyzovány nejčastěji hodnocené klinické parametry. Těmto parametrům byly následně přiřazeny konkrétní hodnoty, které byly převzaty ze studií zařazených do systematické rešerše. Pro vyjádření velikosti klinických výstupů byly použity celkem tři studie. Jedna randomizovaná kontrolovaná studie CHHiP hodnotící biochemickou progresi onemocnění pro IMRT s 1065 pacienty [24]. Dále prospektivní multicentrická klinická studie II fáze s 1100 pacienty, která hodnotila biochemickou progresi onemocnění u technologie CyberKnife [23]. A dále jedna retrospektivní studie hodnotící genitourinární toxicitu, gastrointestinální toxicitu a erektilní dysfunkci u obou metod a 270 pacientů [45]. V rámci systematické rešerše nebyla nalezená žádná kvalitní randomizovaná kontrolovaná studie porovnávající klinické efekty léčby přístrojem IMRT a CyberKnife, případně stereotaktické radioterapie obecně. Existence takovéto studie by jistě byla přínosná pro hodnocení klinické efektivity v rámci této práce. Důsledkem chybějící kvalitní randomizované kontrolované studie bylo to, že byly použity hodnoty vybraných klinických efektů z několika různých studií s menší úrovní důvěryhodnosti v souladu s hierarchií důkazu v EBM.

Multikriteriální hodnocení jako nástroj pro vyjádření klinického efektu léčby karcinomu prostaty CyberKnifem a IMRT nebyl identifikován v žádné vyhledané odborné studii. Tato metoda byla zvolena z důvodu jejího častého využívání

při rozhodování o koupi nových zdravotnických prostředků zdravotnickými zařízeními, kdy bývají hodnoceny zejména technické parametry těchto prostředků [99, 100]. Využití metody AHP pro stanovení klinického efektu lze v určitých podmínkách považovat za limitace této práce, jelikož tento postup není ve světě hojně využíván. Z tohoto důvodu byl klinický efekt vyjádřen rovněž v jednotkách, které se v praxi hodnocení radioterapeutických technologií běžně využívají, a to konkrétně pomocí QALY.

Dle výsledků metody AHP vykazoval lepší klinickou efektivitu přístroj CyberKnife, která byla konkrétně 0,601 a u IMRT 0,399. Dle studie, ze které byla převzata hodnota QALY, mají obě metody srovnatelný klinický efekt. Konkrétně CyberKnife přináší 9,93 QALY a IMRT 9,96 QALY. Odlišnost klinického efektu stanoveného AHP metodou může být způsoben malou expertní skupinou, malým počtem hodnocených klinických výstupů nebo převzatými hodnotami klinických výstupů z několika různých studií. Dalším důvodem může být to, že studie hodnotící QALY počítala se sedmiletým modelem sledování pacienta. A studie, které byly použity pro AHP hodnocení měly medián doby sledování v rozmezí od 3 do 5 let.

Postup léčby

Druhým krokem této práce bylo stanovení nákladů na léčbu jednoho pacienta z pohledu českého poskytovatele zdravotní péče, a to pro tři varianty: optimistickou, realistickou a pesimistickou. Aby bylo možné tyto náklady určit, bylo potřeba analyzovat postup léčby u obou technologií. Tento postup byl stanoven na základě odborných studií, národních radiologických standardů, mezinárodních léčebných standardů, registračních listů zdravotních výkonů a výukových videí popisujících postup léčby v konkrétních zdravotnických zařízeních v ČR i ve světě. Postup léčby pro metodu IMRT byl navíc upraven po konzultaci s odborníkem v oblasti radiační onkologie. Tento odborník ale neměl zkušenosti s léčbou přístrojem CyberKnife. To by mohlo být příčinou opomenutí některých méně důležitých podprocesů při léčbě tímto méně často používaným radioterapeutickým přístrojem. Dá se ale předpokládat, že tato skutečnost by případně nemohla zásadně ovlivnit výsledky hodnocení.

Postup léčby přístrojem CyberKnife a IMRT je dle zjištěných informací podobný. V některých krocích se ale výrazně liší. Odlišnost je například v lokalizaci cílového objemu. Pro léčbu CyberKnifem je standardně využívána implantace zlatých zrn. U metody IMRT je cílový objem lokalizován pomocí zakreslení speciálních značek na tělo pacienta. Žádná zmínka o používání zlatých zrn při sledování polohy prostaty u IMRT nebyla nalezena. Dalším rozdílem je plánování léčby pomocí snímků z magnetické rezonance. Dle doc. Feltla se tato zobrazovací metoda standardně při plánování radioterapie CyberKnifem využívá [62]. Dle osloveného radiačního onkologa je to u metody IMRT spíše výjimečná záležitost.

Další výraznou odlišností při procesu léčby pacienta je počet frakcí a doba ozařování pacienta. U metody CyberKnife je standardem pouze 5 frakcí a u IMRT 37 frakcí. Doba, kterou stráví pacient v ozařovací místnosti je u CyberKnife přibližně 130 minut a u IMRT 22 minut na jedno sezení. Ozařovací čas u přístroje CyberKnife je ale velmi individuální. Záleží na tom, jak moc se ozařovaná oblast pohybuje. Pokud dochází k větším pohybům CyberKnife musí neustále přepočítávat polohu ozařované oblasti a tím pádem se prodlužuje čas ozáření.

Nákladová analýza

Po stanovení postupu léčby byly vyčísleny náklady na léčbu. Započítány byly náklady na pořízení radioterapeutického přístroje a jeho servis, dále personální a materiální náklady, náklady na vyšetření RTG simulátorem, plánovacím CT nebo magnetickou rezonancí a také režijní náklady. Náklady byly stanoveny pro tři varianty: optimistickou, realistickou a pesimistickou. Je nutné uvést, že nebylo počítáno s náklady na výstavbu, rekonstrukci či s jinými stavebními náklady, které mohou vznikat při instalaci nového ozařovače.

Nákup přístroje CyberKnife byl v České republice uskutečněn pouze jeden. Jelikož byly náklady na léčbu počítány pro tři varianty, bylo nutné stanovit hranice, mezi kterými se běžně ceny tohoto přístroje ve světě pohybují. S ohledem na široké časové rozmezí nákupů přístrojů CyberKnife ve světě, byly reprezentativní pořizovací ceny přístroje stanoveny na 110, 150 a 200 mil. Kč. Oproti tomu použité pořizovací ceny IMRT přístrojů odráží jejich cenu na území České republiky. Tyto ceny byly zjištěny ze zadaných veřejných zakázek českých zdravotnických zařízení. Je nutné předpokládat, že každá smlouva o nákupu ozařovače zahrnuje do celkové ceny jiné příslušenství, doplňkové systémy, softwary a další služby. Některé kupní ceny ozařovačů v sobě obsahují například i verifikační, plánovací a dozimetrické systémy. V jiných kupních cenách je zahrnuto pouze rozšíření, obnova či aktualizace již používaných systémů.

Po stanovení pořizovacích cen ozařovačů bylo nutné vypočítat servisní náklady, které vznikají zdravotnickým zařízením po uplynutí záruční doby. Zde je nutné uvést, že některá zdravotnická zařízení platí fixní roční náklady na full servis. Jiná platí servisní náklady dle hodinové sazby kvalifikovaného servisního technika. V této práci bylo počítáno s placením fixních servisních nákladů po dobu 8 let, což je obvyklou praxí v případě radioterapeutických přístrojů. Náklady byly stanoveny procentuálně dle odborných studií a zveřejněných servisních smluv. Je nutné počítat s tím, že každá smlouva o full servisu může mít v ceně různé služby a komponenty nebo se může vztahovat na více zdravotnických prostředků než pouze na jeden ozařovač.

Personální náklady byly stanoveny z veřejně dostupných hodinových sazeb zdravotnických pracovníků. Konkrétně z Informačního systému o průměrných výdělcích

Ministerstva práce a sociálních věcí. Zde je třeba konstatovat, že hodinové výdělký pracovníků onkologických klinik nemusí přesně odpovídat informacím z ISPV. Onkologické kliniky jsou vysoce specializovaná pracoviště a je nutné předpokládat, že platy těchto pracovníků budou odpovídat spíše vyšším cenovým hladinám.

Co se týče materiálních nákladů, je třeba poznamenat, že každá onkologická klinika může používat jiný zdravotnický materiál, jiné množství s jinými cenami. V této práci bylo počítáno s materiálem, který byl oceněn dle veřejně dostupných cen. Většina cen spotřebního materiálu zahrnutých v této práci je pravděpodobně vyšší, než kterou zdravotnické zařízení skutečně zaplatí. Spotřební materiál je zdravotnickými zařízeními velice často nakupován ve větších množstvích, která s sebou přinášejí i nejruznější množstevní slevy, což nemohlo být v této diplomové práci uvažováno.

Náklady na vyšetření magnetickou rezonancí, výpočetním tomografem a RTG simulátorem byly vypočteny pouze hrubým odhadem na základě veřejně dostupných pořizovacích cen těchto prostředků a dle zveřejněných servisních smluv. Náklady na tato vyšetření jsou určitě nezanedbatelné, proto bylo nutné je do nákladové analýzy zahrnout. Na konečných nákladech na léčbu ale přispívají pouze malým dílem, proto lze předpokládat, že tato nejistota by nijak významně neovlivnila výsledky této diplomové práce.

Celkové náklady na léčbu jednoho pacienta byly spolu s režijními náklady pro optimistickou, realistickou a pesimistickou variantu při předpokladu vytížení 600 pacientů ročně u přístroje CyberKnife odhadnuty na 52 927 Kč, 79 956 Kč a 114 339 Kč a u přístroje IMRT na 41 699 Kč, 54 372 Kč a 76 320 Kč. To přibližně odpovídá výši nákladů udávaných dle nalezených studií ze současného stavu problematiky. V italské studii z roku 2013 (500 pacientů/rok) léčených CyberKnifem a IMRT (400 pacientů/rok) [32], byly náklady na léčbu z pohledu poskytovatele péče odhadnuty na € 4 099,81 a pro IMRT € 3 318,41 (dle jednoduchého přepočtu CyberKnife - 108 952 Kč a IMRT - 88 187 Kč). Španělská studie z roku 2006 (600 pacientů/rok) [33] uvádí, že cena vyšetření přístrojem CyberKnife vychází pro zdravotnické zařízení na € 5 321, což v přepočtu vychází přibližně na 141 406 Kč. Druhá španělská studie z roku 2014 hodnotila náklady na léčbu přístrojem IMRT (310 pacientů/rok) [34], které byly odhadnuty na € 3 911,91 (v přepočtu 103 959 Kč). Po porovnání nákladů na léčbu vyčíslených v této diplomové práci s náklady ze zahraničních studií je možné konstatovat, že léčba pomocí metody IMRT je ve většině případů méně nákladná než léčba přístrojem CyberKnife, záleží ale na vytíženosti ozařovacího přístroje, jeho pořizovací ceně nebo na výši personálních nákladů, jejichž výše je pro každý stát rozdílná.

Nákladová efektivita

Při hodnocení nákladové efektivitě z efektů stanovených metodou AHP bylo zjištěno, že nákladová efektivita je pro optimistickou, realistickou a pesimistickou variantu u CyberKnife rovna 88 066 Kč/efekt, 133 039 Kč/efekt a 190 248 Kč/efekt a u IMRT 98 814 Kč/efekt, 132 737 Kč/efekt a 191 279 Kč/efekt. Z těchto výsledků můžeme říci, že CyberKnife je nákladově efektivnější ve dvou případech ze tří, konkrétně v optimistické a pesimistické variantě, kdy je potřeba méně nákladů na jednotku efektu než u IMRT. V případě optimistické varianty by musela být pořizovací cena přístroje CyberKnife přibližně 134 mil. Kč, aby byla nákladová efektivita obou přístrojů při optimistické variantě shodná. V našem modelu byla cena CyberKnife pro optimistickou variantu 110 mil. Kč, proto je CyberKnife nákladově efektivnější než IMRT. V případě realistické varianty, by musela být pořizovací cena přístroje CyberKnife přibližně 149 mil. Kč, aby byla nákladová efektivita obou přístrojů při realistické variantě shodná. V našem modelu byla cena CyberKnife pro realistickou variantu 150 mil. Kč, což je nad hranicí efektivitě a v tomto případě je nákladově efektivnější přístroj IMRT. V případě pesimistické varianty by musela být pořizovací cena přístroje CyberKnife přibližně 202 mil. Kč, aby byla nákladová efektivita obou přístrojů při pesimistické variantě shodná. V našem modelu byla cena CyberKnife pro pesimistickou variantu 200 mil. Kč, proto je CyberKnife nákladově efektivnější než IMRT.

Při hodnocení nákladové efektivitě dle klinického efektu vyjádřeného velikostí QALY bylo zjištěno, že nákladová efektivita je pro optimistickou, realistickou a pesimistickou variantu u CyberKnife rovna 5 330 Kč/QALY, 8 052 Kč/QALY a 11 515 Kč/QALY a u IMRT 3 959 Kč/QALY, 5 317 Kč/QALY a 7 663 Kč/QALY. Z těchto výsledků můžeme říci, IMRT je ve všech případech nákladově efektivnější než CyberKnife. V případě optimistické varianty by musela být pořizovací cena přístroje CyberKnife přibližně 58 mil. Kč, aby byla nákladová efektivita obou přístrojů při optimistické variantě stejná. V našem modelu byla cena CyberKnife pro optimistickou variantu 110 mil. Kč, proto je CyberKnife méně nákladově efektivnější, než IMRT. V případě realistické varianty, by musela být pořizovací cena přístroje CyberKnife přibližně 58 mil. Kč, aby byla nákladová efektivita obou přístrojů při realistické variantě shodná. V našem modelu byla cena CyberKnife pro realistickou variantu 150 mil. Kč. V případě pesimistické varianty by musela být pořizovací cena přístroje CyberKnife přibližně 83 mil. Kč, aby byla nákladová efektivita obou přístrojů při pesimistické variantě shodná. V našem modelu byla cena CyberKnife pro pesimistickou variantu 200 mil. Kč. Na základě těchto výsledků je možné říci, že CyberKnife je výrazně méně nákladově efektivní než metoda IMRT.

Na základě odborných studií, porovnávající nákladovou efektivitu přístroje CyberKnife a IMRT můžeme říci, že žádná studie nehodnotila nákladovou efektivitu z pohledu poskytovatele zdravotnických služeb. Většina studií ji hodnotila z perspektivy

plátce zdravotní péče. Dalším problémem je, že všechny nalezené studie, až na jednu výjimku, hodnotily nákladovou efektivitu stereotaktické radioterapeutické léčby obecně, ne konkrétně nákladovou efektivitu přístroje CyberKnife. Jediná studie, která ve svých analýzách hodnotila zvlášť CyberKnife (robotická stereotaktická radioterapie) byla studie od Shera a kol. [29], která uvádí, že klinická efektivita CyberKnife je \$ 2574/QALY a pro IMRT \$ 3426/QALY. Dle těchto výsledků je metoda CyberKnife z pohledu plátce zdravotní péče nákladově efektivnější, než IMRT. Tento rozdíl v efektivitě je pravděpodobně způsoben jinou perspektivou a odlišným způsobem stanovení nákladů na léčbu, kdy náklady na léčbu nejsou v této studii nijak podrobně popsány, pouze se uvádí, že byly převzaty z informačního systému Medicare. Ostatní studie, které hodnotily stereotaktickou radioterapii oproti IMRT také uvedly, že CyberKnife je z pohledu plátce nákladově efektivnější. Důvodem je opět jiná perspektiva a také stanovení nákladů pouze dle informací z Medicare [26, 27].

Citlivostní analýza

Výsledky citlivostní analýzy, při které byla testována rovnost klinických efektů ($CK = IMRT = 0,5$), říkají, že léčba přístrojem IMRT je ve všech případech nákladově efektivnější než přístrojem CyberKnife. Aby byla velikost nákladové efektivity obou přístrojů stejná, musela by být cena přístroje CyberKnife při optimistické i realistické variantě menší nebo rovna 59 mil. Kč a při pesimistické variantě 84 mil. Kč. Oproti nalezeným reálným pořizovacím cenám přístroje Cyberknife jsou tyto částky nerealistické.

Výsledky citlivostní analýzy, při které byla navýšena velikost klinického efektu léčby přístrojem CyberKnife na 0,7, říkají, že léčba přístrojem CyberKnife je ve všech případech nákladově efektivnější než IMRT. Aby se velikost nákladové efektivity přístroje CyberKnife vyrovnala efektivitě přístroje IMRT mohla by cena přístroje CyberKnife vyšplhat při optimistické variantě až na 210 mil. Kč, při realistické variantě na 308 mil. Kč a pesimistické variantě 584 mil. Kč. Přitom maximální vyhledaná pořizovací cena přístroje CyberKnife byla přibližně 218 mil. Kč, proto je možné říci, že cena 308 a 584 mil. Kč je nerealisticky vysoká. CyberKnife by proto byl při této velikosti klinického efektu vždy nákladově efektivnější než IMRT.

V další části citlivostní analýzy byl prověřen vliv počtu léčených pacientů na velikost nákladové efektivity (stanovené pomocí AHP i QALY) pro realistickou variantu. Tato analýza byla aplikována na vytíženost 200 až 1000 pacientů za rok.

Nákladová efektivita stanovená pomocí metody AHP je pro léčbu přístrojem CyberKnife vyšší než u IMRT pouze za předpokladu vytíženosti 700 pacientů/rok a více. Pokud by byla předpokládána modelová situace, kdy pacient léčený pomocí CyberKnife obdrží 5 frakcí záření po 130 minutách a pacient léčený pomocí IMRT obdrží 37 frakcí

po 22 minutách a dále by bylo předpokládáno, že ozařovač bude v činnosti 260 pracovních dní ročně při jednosměnném provozu (1 směna = 8 hodin), tak je počet 700 pacientů za rok nedosažitelný pro obě z těchto dvou léčebných metod. CyberKnife by byl konkrétně schopen ideálně ozářit přibližně 193 pacientů/rok a IMRT 154 pacientů/rok. Při dvousměnném provozu by byl tento počet rovněž nedosažitelný. Dle této modelové situace je možné říci, že léčba pomocí IMRT by při klinickém efektu rovném 0,399 byla jednoznačně nákladově efektivnější než léčba pomocí CyberKnife. Je ale třeba dodat, že roční počet ozářených pacientů na jednom ozařovači je obvykle vyšší, protože mnoho diagnóz vyžaduje méně léčebných frakcí případně kratší čas ozáření.

Nákladová efektivita přístroje IMRT, stanovená pomocí QALY, je dle citlivostní analýzy nákladově efektivnější při každém analyzovaném počtu pacientů. Za předpokladu, že QALY je nejlepší možný způsob vyjádření velikosti klinického efektu radioterapeutické léčby je možné tvrdit, že nákladová efektivita léčby karcinomu prostaty metodou IMRT bude v každé situaci nákladově efektivnější než CyberKnife.

Celkově můžeme říci, že nákladová efektivita léčby karcinomu prostaty přístrojem CyberKnife je méně nákladově efektivní než metoda IMRT za předpokladu, stejné velikosti klinických efektů. Pokud bychom předpokládali, že CyberKnife přináší vyšší klinický efekt (konkrétně dle této diplomové práce: CK = 0,601 a IMRT = 0,399), nákladová efektivita CyberKnife začíná převyšovat nákladovou efektivitu IMRT. Aby bylo možné jednoznačně stanovit, který ozařovací přístroj je při léčbě karcinomu prostaty nákladově efektivnější, bylo by třeba se v budoucím výzkumu zaměřit na vypracování kvalitních randomizovaných kontrolovaných studií, které by jednoznačně určily velikost klinického efektu a dalších studií hodnotících nákladovou efektivitu této léčby z pohledu poskytovatele zdravotnických služeb.

6 Závěr

V rámci této diplomové práce bylo hlavním cílem klinicko-ekonomické vyhodnocení roboticky řízeného ozařovacího přístroje (technologie CyberKnife) a jeho porovnání s konvenčně používanou metodou (IMRT) z pohledu českého poskytovatele zdravotních služeb při léčbě karcinomu prostaty. Dle klinického efektu stanoveného multikriteriálním vyhodnocením je nákladová efektivita léčby přístrojem CyberKnife oproti IMRT vyšší v optimistické a pesimistické variantě. Dle nákladové efektivity stanovené pomocí QALY je ve všech případech nákladově efektivnější léčba pomocí IMRT.

Citlivostní analýza ukazuje na to, že pokud jsou klinické efekty léčby oběma technologiemi stejné, nákladově efektivnější je ve všech případech metoda IMRT. CyberKnife začíná být nákladově efektivnější při klinickém efektu přibližně 0,601. Druhá část citlivostní analýzy ukazuje na to, že při nákladové efektivitě stanovené pomocí metody AHP, je CyberKnife nákladově efektivnější pouze v případě, že je na něm ročně ozářeno 700 a více pacientů. Při nákladové efektivitě stanovené pomocí QALY (klinický efekt je srovnatelný) není CyberKnife efektivnější při žádném reálném ročním počtu ozářených pacientů.

Výsledky této diplomové práce by mohly být v budoucnu využity managementem zdravotnického zařízení jako podklad při plánování minimálního počtu pacientů, kteří ročně podstoupí léčbu přístrojem CyberKnife, Případně jako rozhodovací nástroj pro tvorbu strategických investic jiným českým zdravotnickým zařízením plánujícím zakoupení technologie CyberKnife.

Na základě poznatků z této diplomové práce o současném stavu problematiky klinického a nákladového hodnocení technologie CyberKnife a IMRT můžeme říci, že tato problematika by měla být i nadále předmětem výzkumu dalších odborných studií.

Seznam použité literatury

- [1] ŠLAMPA, Pavel a Jiří PETERA. *Radiační onkologie*. B.m.: Galén, Karolinum Praha, 2007. ISBN 978-80-7262-469-0.
- [2] DOLEŽEL, Martin. *Cílená radioterapie karcinomu prostaty*. 1.vyd. B.m.: Nucleus HK, Hradec Králové, 2011. ISBN 978-80-87009-81-9.
- [3] CH. WITTEKIND, R. HUTTER, F. L. GREENE, M. KLIMPFINGER, L. H. Sobin. *TNM Atlas: Illustrated Guide to the TNM Classification of Malignant Tumours*. 5. vyd. 2005. ISBN 3-540-44234-0.
- [4] ŠLAMPA, Pavel. *Základy radiační onkologie*. 1. vyd. B.m.: Brno, Masarykova univerzita, 2012. ISBN 978-80-210-6061-6.
- [5] WWW.SVOD.CZ. *www.svod.cz, C61 - Předstojná žláza - prostata, muži (srovnání se subkontinenty světa)* [online]. 2008 [vid. 2016-05-29]. Dostupné z: http://www.svod.cz/graph/?sessid=gqcjnsunpb8labgilo71ef2bb0&typ=zahranici_2008&diag=C61&pohl=m&kraj=k&vek_od=0&vek_do=18&zobrazeni=graph&incmor=inc&vypocet=c&obdobi_od=1977&obdobi_do=2013&stadium=&t=&n=&m=&pt=&pn=&pm=&t=&n=&zije=&umrti=&lecba=&ref=
- [6] WWW.SVOD.CZ. *www.svod.cz, C61 - Předstojná žláza - prostata, muži (srovnání se zeměmi Evropy)* [online]. 2008 [vid. 2016-05-29]. Dostupné z: http://www.svod.cz/graph/?sessid=gqcjnsunpb8labgilo71ef2bb0&typ=zahranici_2008&diag=C61&pohl=m&kraj=e&vek_od=0&vek_do=18&zobrazeni=graph&incmor=inc&vypocet=c&obdobi_od=1977&obdobi_do=2013&stadium=&t=&n=&m=&pt=&pn=&pm=&t=&n=&zije=&umrti=&lecba=&ref=
- [7] WHO. *Czech Republic (2012), Estimated Cancer Incidence, all ages: male* [online]. 2012 [vid. 2016-01-01]. Dostupné z: http://globocan.iarc.fr/old/summary_table_pop.html.asp?selection=49203&title=Czech+Republic&sex=1&type=0&>window=1&sort=0&submit=Execute
- [8] WWW.SVOD.CZ. *C61 - ZN předstojné žlázy - prostaty, muži (počet případů na 100 000 osob)* [online]. Dostupné z: http://www.svod.cz/graph/?sessid=gqcjnsunpb8labgilo71ef2bb0&typ=incmor&diag=C61&pohl=m&kraj=&vek_od=1&vek_do=18&zobrazeni=graph&incidence=1&mortalita=1&mi=0&vypocet=c&obdobi_od=1977&obdobi_do=2013&stadium=&t=&n=&m=&pt=&pn=&pm=&t=&n=&zije=&umrti=&lecba=#
- [9] WWW.SVOD.CZ. *C61 - ZN předstojné žlázy - prostaty - Incidence, muži (dle věkové kategorie)* [online]. Dostupné z: http://www.svod.cz/graph/?sessid=gqcjnsunpb8labgilo71ef2bb0&typ=vek&diag=C61&zobrazeni=graph&pohl=m&kraj=&incmor=inc&vypocet=c&obdobi_od=1977&obdobi_do=2013&stadium=&t=&n=&m=&pt=&pn=&pm=&t=&n=&zije=&umrti=&lecba=#
- [10] ACCURAY INC. *CyberKnife Robotic Radiosurgery system Patient Brochure* [online]. 2012. Dostupné z: http://www.cyberknife.com/uploadedFiles/CyberKnife_Overview/500929.A_CyberKnife_Patient_Brochure_FINAL.pdf

- [11] DR KHANDPUR, R.S. *HandBook of Biomedical Instrumentation* [online]. third. B.m.: McGraw Hill Education (India) Private Limited: New York, Chicago, San Francisco, Athens, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, Singapore, Sydney, Toronto, 2014. ISBN 9789339205430. Dostupné z: <http://80.accessengineeringlibrary.com/dialog.cvut.cz/browse/handbook-of-biomedical-instrumentation-third-edition#fullDetails>
- [12] ACCURAY INC. *Reimbursement Information* [online]. [vid. 2016-05-29]. Dostupné z: <http://www.cyberknife.com/reimbursement-insurance/index.aspx>
- [13] OSTRAVA, Fakultní nemocnice. *Výroční zpráva FN Ostrava 2010* [online]. 2010. Dostupné z: http://www.fno.cz/documents/FNO_VZ_2010_WEB.pdf
- [14] FN OSTRAVA. *CyberKnife slaví 5 let* [online]. 2015 [vid. 2016-05-29]. Dostupné z: <http://www.fno.cz/tiskove-zpravy/cyberknife-slavi-5-let>
- [15] ČTK. *Ostravský CyberKnife za pět let ozářil 2500 pacientů* [online]. 2015 [vid. 2016-05-29]. Dostupné z: <http://www.tribune.cz/clanek/36490-ostravsky-cyberknife-za-pet-let-ozaril-pacientu>
- [16] FN OSTRAVA. *Výroční zpráva FN Ostrava 2012* [online]. 2012. Dostupné z: http://www.fno.cz/documents/kongresy-a-seminare/VZ_2012_NO1_final_oprava_WWW.pdf
- [17] CLARK EDGAR E., et al. *Intensity Modulated Radiation Therapy Final Evidence Report* [online]. 2012. Dostupné z: [http://www.hca.wa.gov/assets/program/09062012_imrt_final_report\[1\].pdf](http://www.hca.wa.gov/assets/program/09062012_imrt_final_report[1].pdf)
- [18] BINAROVÁ, Andrea. *Radioterapie*. 1. vyd. B.m.: Ostravská univerzita v Ostravě, 2010. ISBN 978-80-7368-701-4.
- [19] VOŠMIK, Milan. Radioterapie s modulovanou intenzitou v léčbě karcinomů hlavy a krku. *Onkologie* [online]. 2008, **2**(2), 82–84. Dostupné z: <http://www.solen.cz/pdfs/xon/2008/02/04.pdf>
- [20] BORTFELD, Thomas. IMRT: a review and preview. *Physics in Medicine and Biology* [online]. 2006, **51**(13), R363. Dostupné z: <http://stacks.iop.org/0031-9155/51/i=13/a=R21>
- [21] MOON, Dominic H, Jason A EFSTATHIOU a Ronald C CHEN. What is the best way to radiate the prostate in 2016? *Urologic oncology* [online]. 2017, **35**(2), 59–68. ISSN 1873-2496 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1016/j.urolonc.2016.06.002
- [22] AMERICAN MEDICAL ASSOCIATION. *ASTRO Model Policies - Stereotactic Body Radiation Therapy (SBRT)* [online]. 2014. Dostupné z: https://www.astro.org/uploadedFiles/_MAIN_SITE/Daily_Practice/Reimbursement/Model_Policies/Content_Pieces/ASTROSBRTModelPolicy.pdf
- [23] KING, Christopher R, Debra FREEMAN, Irving KAPLAN, Donald FULLER, Giampaolo BOLZICCO, Sean COLLINS, Robert MEIER, Jason WANG, Patrick KUPELIAN, Michael STEINBERG a Alan KATZ. Stereotactic body radiotherapy for localized prostate cancer: pooled analysis from a multi-institutional consortium of prospective phase II trials. *Radiotherapy and oncology : journal of the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology* [online]. 2013, **109**(2), 217–221. ISSN 1879-0887 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1016/j.radonc.2013.08.030

- [24] DEARNALEY, David, Isabel SYNDIKUS, Helen MOSSOP, Vincent KHOO, Alison BIRTLE, David BLOOMFIELD, John GRAHAM, Peter KIRKBRIDE, John LOGUE, Zafar MALIK, Julian MONEY-KYRLE, Joe M O'SULLIVAN, Miguel PANADES, Chris PARKER, Helen PATTERSON, Christopher SCRASE, John STAFFURTH, Andrew STOCKDALE, Jean TREMLETT, Margaret BIDMEAD, Helen MAYLES, Olivia NAISMITH, Chris SOUTH, Annie GAO, Clare CRUICKSHANK, Shama HASSAN, Julia PUGH, Clare GRIFFIN a Emma HALL. Conventional versus hypofractionated high-dose intensity-modulated radiotherapy for prostate cancer: 5-year outcomes of the randomised, non-inferiority, phase 3 CHHiP trial. *The Lancet. Oncology* [online]. 2016, **17**(8), 1047–1060. ISSN 1474-5488 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1016/S1470-2045(16)30102-4
- [25] AVKSHTOL, Vladimir, Yanqun DONG, Shelly B HAYES, Mark A HALLMAN, Robert A PRICE, Mark L SOBCZAK, Eric M HORWITZ a Nicholas G ZAORSKY. A comparison of robotic arm versus gantry linear accelerator stereotactic body radiation therapy for prostate cancer. *Research and reports in urology* [online]. 2016, **8**, 145–158. ISSN 2253-2447 (Linking). Dostupné z: doi:10.2147/RRU.S58262
- [26] PARTHAN, Anju, Narin PRUTTIVARASIN, Diane DAVIES, Douglas C A TAYLOR, Vivek PAWAR, Akash BIJLANI, Kristen Hassmiller LICH a Ronald C CHEN. Comparative cost-effectiveness of stereotactic body radiation therapy versus intensity-modulated and proton radiation therapy for localized prostate cancer. *Frontiers in oncology* [online]. 2012, **2**, 81. ISSN 2234-943X (Electronic). Dostupné z: doi:10.3389/fonc.2012.00081
- [27] HODGES, Joseph C, Yair LOTAN, Thomas P BOIKE, Rhonda BENTON, Alyson BARRIER a Robert D TIMMERMAN. Cost-effectiveness analysis of stereotactic body radiation therapy versus intensity-modulated radiation therapy: an emerging initial radiation treatment option for organ-confined prostate cancer. *Journal of oncology practice* [online]. 2012, **8**(3 Suppl), e31s–7s. ISSN 1935-469X (Electronic). Dostupné z: doi:10.1200/JOP.2012.000548
- [28] YU, James B, Laura D CRAMER, Jeph HERRIN, Pamela R SOULOS, Arnold L POTOSKY a Cary P GROSS. Stereotactic body radiation therapy versus intensity-modulated radiation therapy for prostate cancer: comparison of toxicity. *Journal of clinical oncology : official journal of the American Society of Clinical Oncology* [online]. 2014, **32**(12), 1195–1201. ISSN 1527-7755 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1200/JCO.2013.53.8652
- [29] SHER, David J, Ravi B PARIKH, Shawnda MAYS-JACKSON a Rinaa S PUNGLIA. Cost-effectiveness analysis of SBRT versus IMRT for low-risk prostate cancer. *American journal of clinical oncology* [online]. 2014, **37**(3), 215–221. ISSN 1537-453X (Electronic). Dostupné z: doi:10.1097/COC.0b013e31827a7d2a
- [30] LAVIANA, Aaron A, Annette M ILG, Darlene VERUTTIPONG, Hung-Jui TAN, Michael A BURKE, Douglas R NIEDZWIECKI, Patrick A KUPELIAN, Chris R KING, Michael L STEINBERG, Chandan R KUNDAVARAM, Mitchell KAMRAVA, Alan L KAPLAN, Andrew K MORIARITY, William HSU, Daniel J A MARGOLIS, Jim C HU a Christopher S SAIGAL. Utilizing time-driven activity-based costing to understand the short- and long-term costs of treating localized, low-risk prostate cancer. *Cancer* [online]. 2016, **122**(3), 447–455. ISSN 1097-0142 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1002/cncr.29743
- [31] HALPERN, Joshua A, Art SEDRAKYAN, Wei-Chun HSU, Jialin MAO, Timothy J DASKIVICH, Paul L NGUYEN, Encouse B GOLDEN, Josephine KANG a Jim C HU. Use, complications, and costs of stereotactic body radiotherapy for localized prostate cancer. *Cancer* [online]. 2016, **122**(16), 2496–2504. ISSN 1097-0142 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1002/cncr.30101

- [32] FOGLIA, Emanuela, Maddalena BRANCHI, Silvia GOGLIO a Marcello SOTTOCORNO. *Innovazione Nei Trattamenti Radioterapici* [online]. nedatováno. Dostupné z: <http://docplayer.it/11882083-Innovazione-nei-trattamenti-radioterapici.html>
- [33] ANDRADA ARAGONÉS, Elena, Nieves CALCERRADA DÍAZ-SANTOS a Ramón SABÉS FIGUERA. *Efectividad, seguridad y estimación de costes del sistema de radiocirugía CyberKnife* [online]. Madrid: Agencia Laín Entralgo, 2006. ISBN 84-451-2864-7. Dostupné z: <http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application/pdf&blobheadername1=Content-Disposition&blobheadervalue1=filename=Cyberknife.pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1158607783771&ssbinary=true>
- [34] GUTIÉRREZ-IBARLUZEA, Inaki, Asun GUTIÉRREZ IGLESIAS, Juan Carlos BAYÓN YUSTA a Liana SHENGELIA SHAPIRO. *Evaluación de radioterapia conformada con haces de intensidad modulada. IMRT* [online]. B.m., 2014. Informes de Evaluación de Tecnologías Sanitarias, Osteba. Dostupné z: https://www.osakidetza.euskadi.eus/contenidos/informacion/2014_osteba_publicacion/es_def/adjuntos/radioterapiaIMRT.pdf
- [35] SKACELIKOVA, E, D FELTL, J CVEK, T JELENOVA, L KNYBEL a H TOMASKOVA. [Stereotactic Body Radiotherapy of Prostate Cancer - Effectiveness and Toxicity]. *Klinicka onkologie : casopis Ceske a Slovenske onkologicke spolecnosti* [online]. 2017, **30**(2), 121–127. ISSN 0862-495X (Print). Dostupné z: [doi:10.14735/amko2017121](https://doi.org/10.14735/amko2017121)
- [36] ADUNLIN, Georges, Vakaramoko DIABY a Hong XIAO. Application of multicriteria decision analysis in health care: a systematic review and bibliometric analysis. *Health expectations : an international journal of public participation in health care and health policy* [online]. 2015, **18**(6), 1894–1905. ISSN 1369-7625 (Electronic). Dostupné z: [doi:10.1111/hex.12287](https://doi.org/10.1111/hex.12287)
- [37] BALESTRA, G, M KNAFLITZ, R MASSA a M SICURO. *AHP for the acquisition of biomedical instrumentation* [online]. 2007. ISBN 1094-687X VO - . Dostupné z: [doi:10.1109/IEMBS.2007.4353105](https://doi.org/10.1109/IEMBS.2007.4353105)
- [38] PECCHIA, Leandro, Jennifer L MARTIN, Angela RAGOZZINO, Carmela VANZANELLA, Arturo SCOGNAMIGLIO, Luciano MIRARCHI a Stephen P MORGAN. User needs elicitation via analytic hierarchy process (AHP). A case study on a Computed Tomography (CT) scanner. *BMC Medical Informatics and Decision Making* [online]. 2013, **13**(1), 2. ISSN 1472-6947. Dostupné z: [doi:10.1186/1472-6947-13-2](https://doi.org/10.1186/1472-6947-13-2)
- [39] THOKALA, Praveen, Nancy DEVLIN, Kevin MARSH, Rob BALTUSSEN, Meindert BOYSEN, Zoltan KALO, Thomas LONGRENN, Filip MUSSEN, Stuart PEACOCK, John WATKINS a Maarten IJZERMAN. Multiple Criteria Decision Analysis for Health Care Decision Making—An Introduction: Report 1 of the {ISPOR} {MCDA} Emerging Good Practices Task Force. *Value in Health* [online]. 2016, **19**(1), 1–13. ISSN 1098-3015. Dostupné z: [doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jval.2015.12.003](http://dx.doi.org/10.1016/j.jval.2015.12.003)
- [40] KNEPPO, Peter, Vladimír ROGALEWICZ a ET AL. *Hodnocení zdravotnických přístrojů. Vybrané kapitoly pro praxi.: České vysoké učení technické v Praze*, 2013. ISBN 978-80-01-05430-7.
- [41] ŠUBRT, Tomáš. *Ekonomické-matematické metody*. 1. vyd. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2011. ISBN 978-80-7380-345-2.

- [42] WEINSTEIN, Milton C, George TORRANCE a Alistair MCGUIRE. QALYs: the basics. *Value in health: the journal of the International Society for Pharmacoeconomics and Outcomes Research* [online]. 2009, **12 Suppl 1**, S5-9. ISSN 1524-4733 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1111/j.1524-4733.2009.00515.x
- [43] EUROPEAN NETWORK FOR HEALTH TECHNOLOGY ASSESSMENT. *EUnetHTA JA2 WP8 DELIVERABLE, HTA Core Model Version 3.0* [online]. 2016. Dostupné z: <http://eunetha.eu/sites/5026.fedimbo.belgium.be/files/HTACoreModel3.0.pdf>
- [44] JAMES, Sarah. A guide to modern radiotherapy. In: [online]. B.m.: Society of Radiographers, 2013. ISBN 1-871101-94-8. Dostupné z: <http://www.sor.org/printpdf/book/export/html/9341>
- [45] RICCO, Anthony, Genevieve MANAHAN, Rachele LANCIANO, Alexandra HANLON, Jun YANG, Stephen ARRIGO, John LAMOND, Jing FENG, Michael MOOREVILLE, Bruce GARBER a Luther BRADY. The Comparison of Stereotactic Body Radiation Therapy and Intensity-Modulated Radiation Therapy for Prostate Cancer by NCCN Risk Groups. *Frontiers in oncology* [online]. 2016, **6**, 184. ISSN 2234-943X (Linking). Dostupné z: doi:10.3389/fonc.2016.00184
- [46] ARCANGELI, Stefano a Carlo GRECO. Hypofractionated radiotherapy for organ-confined prostate cancer: is less more? *Nature reviews. Urology* [online]. 2016, **13**(7), 400–408. ISSN 1759-4820 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1038/nrurol.2016.106
- [47] OLIAI, Caspian, Matthew BERNETICH, Luther BRADY, Jun YANG, Alexandra HANLON, John LAMOND, Steven ARRIGO, Michael GOOD, Michael MOOREVILLE, Bruce GARBER a Rachele LANCIANO. Propensity score matched comparison of SBRT versus IMRT for the treatment of localized prostate cancer. *Journal of radiation oncology* [online]. 2016, **5**, 187–195. ISSN 1948-7894 (Print). Dostupné z: doi:10.1007/s13566-015-0237-0
- [48] HENDERSON, D R, A C TREE a N J VAN AS. Stereotactic body radiotherapy for prostate cancer. *Clinical oncology (Royal College of Radiologists (Great Britain))* [online]. 2015, **27**(5), 270–279. ISSN 1433-2981 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1016/j.clon.2015.01.011
- [49] MEIER, Robert. Dose-Escalated Robotic SBRT for Stage I–II Prostate Cancer. *Frontiers in Oncology* [online]. 2015, **5**, 48. ISSN 2234-943X. Dostupné z: doi:10.3389/fonc.2015.00048
- [50] ISHIYAMA, Hiromichi, Bin S TEH, Simon S LO, Thomas MATHEWS, Angel BLANCO, Robert AMATO, Rodney J ELLIS, Nina A MAYR, Arnold C PAULINO, Bo XU a Brian E BUTLER. Stereotactic body radiation therapy for prostate cancer. *Future oncology (London, England)* [online]. 2011, **7**(9), 1077–1086. ISSN 1744-8301 (Electronic). Dostupné z: doi:10.2217/fon.11.86
- [51] KATZ, Alan Jay a Josephine KANG. Quality of Life and Toxicity after SBRT for Organ-Confined Prostate Cancer, a 7-Year Study. *Frontiers in Oncology* [online]. 2014, **4**, 301. ISSN 2234-943X. Dostupné z: doi:10.3389/fonc.2014.00301
- [52] THAMES, Howard, Deborah KUBAN, Larry LEVY, Eric M HORWITZ, Patrick KUPELIAN, Alvaro MARTINEZ, Jeffrey MICHALSKI, Thomas PISANSKY, Howard SANDLER, William SHIPLEY, Michael ZELEFSKY a Anthony ZIETMAN. *Comparison of alternative biochemical failure definitions based on clinical outcome in 4839 prostate cancer patients treated by external beam radiotherapy between 1986 and 1995*. listopad 2003. ISSN 0360-3016 (Print)

- [53] EADE, Thomas N, Eric M HORWITZ, Karen RUTH, Mark K BUYOUNOUSKI, David J D'AMBROSIO, Steven J FEIGENBERG, David Y T CHEN a Alan POLLACK. A comparison of acute and chronic toxicity for men with low-risk prostate cancer treated with intensity-modulated radiation therapy or (125)I permanent implant. *International journal of radiation oncology, biology, physics* [online]. 2008, **71**(2), 338–345. ISSN 0360-3016 (Print). Dostupné z: doi:10.1016/j.ijrobp.2007.10.019
- [54] MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČR. *Seznam zdravotních výkonů* [online]. 2017. Dostupné z: http://szv.mzcr.cz/detail_vykonu.aspx?vykon=43022
- [55] MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČR. *Seznam zdravotních výkonů* [online]. 2017. Dostupné z: http://szv.mzcr.cz/detail_vykonu.aspx?vykon=89335
- [56] MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČR. *Seznam zdravotních výkonů* [online]. 2017. Dostupné z: http://szv.mzcr.cz/detail_vykonu.aspx?vykon=43621
- [57] *Edukační film Kliniky radiační onkologie Masarykova onkologického ústavu* [online]. 2016. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ydOh2W9O81o>
- [58] MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČR. *Seznam zdravotních výkonů* [online]. 2017. Dostupné z: http://szv.mzcr.cz/detail_vykonu.aspx?vykon=89617
- [59] RAUPACH, Jan, Antonín KRAJINA a Jan ŽIŽKA. Radiologická společnost České lékařské společnosti J. E. Purkyně. 2016 [online]. Dostupné z: <http://www.crs.cz/cs/dokumenty/doporuceni-prehled/metodicky-list-intravaskularniho-podani-jodovych-kontrastnich-latek-jkl.html>
- [60] HUSÁR, Tomáš. *Porovnání různých technik radioterapie v léčbě karcinomu prostaty* [online]. B.m., 2016. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/67426>
- [61] SHARIEFF, Waseem, Jeffrey N GREENSPOON, Ian DAYES, Tom CHOW, James WRIGHT a Himu LUKKA. The Technique, Resources and Costs of Stereotactic Body Radiotherapy of Prostate Cancer: A Comparison of Dose Regimens and Delivery Systems. *Technology in cancer research & treatment* [online]. 2016, **15**(1), 171–178. ISSN 1533-0338 (Electronic). Dostupné z: doi:10.7785/tcrt.2012.500431
- [62] FELTL, David. CyberKnife po měsíci ostrého provozu. *Medical Tribune* [online]. nedatováno. Dostupné z: <https://www.tribune.cz/clanek/19113-cyberknife-po-mesici-ostreho-provozu>
- [63] MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČR. *Seznam zdravotních výkonů* [online]. 2017. Dostupné z: http://szv.mzcr.cz/detail_vykonu.aspx?vykon=89715
- [64] MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČR. *Věstník Ministerstva zdravotnictví České republiky, Národní radiologické standardy radiační onkologie* [online]. 2016. Dostupné z: <http://www.mzcr.cz/Legislativa/Soubor.ashx?souborID=26278&typ=application/pdf&nazev=ZDRAVOTNICTVI05-16.pdf>
- [65] KRUPA, Pavel a Pavel ŠLAMPA. Moderní radikální radioterapie karcinomu prostaty a její možná rizika. *Postgraduální medicína* [online]. nedatováno. Dostupné z: <http://zdravi.euro.cz/clanek/postgradualni-medicina/moderni-radikalni-radioterapie-karcinomu-prostaty-a-jeji-mozna-rizika-481953>
- [66] MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČR. *Seznam zdravotních výkonů* [online]. 2017. Dostupné z: http://szv.mzcr.cz/detail_vykonu.aspx?vykon=43635
- [67] CVEK, Jakub, Lukáš KNYBEL, Břetislav OTÁHAL a David FELTL. Možnosti stereotaktického ozáření páteře a míchy přístrojem CyberKnife. *Onkologie* [online]. 2011, **5**(2), 83–86. Dostupné z: <http://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2011/02/06.pdf>

- [68] MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČR. *Seznam zdravotních výkonů* [online]. 2017. Dostupné z: http://szv.mzcr.cz/detail_vykonu.aspx?vykon=43631
- [69] MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČR. *Seznam zdravotních výkonů* [online]. 2017. Dostupné z: http://szv.mzcr.cz/detail_vykonu.aspx?vykon=43619
- [70] DIALOGJESSENIUS. *Průvodce onemocněním zhoubným nádorem* [online]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=rQBQ4WBQdiE&index=32&list=PL2Zj-LAoH5nBFZIJUteIJvLhuTZnItTlb>
- [71] MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČR. *Seznam zdravotních výkonů* [online]. 2017. Dostupné z: http://szv.mzcr.cz/detail_vykonu.aspx?vykon=43637
- [72] PEŠINA, Jiří a David FELTL. *CyberKnife* [online]. 2017. Dostupné z: https://www.mojemedicina.cz/cs_cz/pruvodce-pacienta/lecebne-metody/cyberknife-1.html
- [73] MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČR. *Seznam zdravotních výkonů* [online]. 2017. Dostupné z: http://szv.mzcr.cz/detail_vykonu.aspx?vykon=43633
- [74] MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČR. *Seznam zdravotních výkonů* [online]. 2017. Dostupné z: http://szv.mzcr.cz/detail_vykonu.aspx?vykon=43023
- [75] U.S. SECURITIES AND EXCHANGE COMMISSION. *Accuray CyberKnife® Shared Ownership Agreement* [online]. 2017. Dostupné z: https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1138723/000104746906015260/a2175163zex-10_30.htm
- [76] FN OSTRAVA. Věstník veřejných zakázek. *Evidenční číslo zakázky: 60033765* [online]. 2009. Dostupné z: <https://old.vestnikverejnychzakazek.cz/cs/Form/Display/96699>
- [77] OHINMAA, Arto. *Cost estimation of stereotactic radiosurgery: application to Alberta* [online]. 2003. ISBN 1-896956 55 6. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.579.7295&rep=rep1&type=pdf>
- [78] ZUKALOVÁ, Veronika. *Klasifikace a oceňování radioterapeutických zdravotnických přístrojů - Diplomová práce*, 2017. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta Biomedicínského inženýrství.
- [79] U.S. SECURITIES AND EXCHANGE COMMISSION. *Accuray Incorporated International Sales Agent Agreement* [online]. 2006. Dostupné z: https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1138723/000104746906014026/a2174221zex-10_29.htm#toc_dc1271_1
- [80] NEMOCNICE ČESKÉ BUDĚJOVICE A.S. *Veřejné zakázky nemocnice České Budějovice, a.s. - ev. č. ve VZZ: 402731* [online]. 2014 [vid. 2017-04-30]. Dostupné z: https://ezak.nemcb.cz/contract_display_79.html
- [81] NEMOCNICE ČESKÉ BUDĚJOVICE A.S. *Veřejné zakázky nemocnice České Budějovice, a.s. - ev. č. ve VZZ: 509029* [online]. 2015 [vid. 2017-04-30]. Dostupné z: https://ezak.nemcb.cz/contract_display_119.html
- [82] FAKULTNÍ NEMOCNICE OSTRAVA. *Tender arena - Veřejné zakázky, ev. č. ve VZZ: 519631* [online]. 2015 [vid. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://www.tenderarena.cz/profil/zakazka/detail.jsf?id=30845>
- [83] FAKULTNÍ NEMOCNICE OSTRAVA. *Tender arena - Veřejné zakázky, ev. č. ve VZZ: 480239* [online]. 2017 [vid. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://www.tenderarena.cz/profil/zakazka/detail.jsf?id=13760>

- [84] 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), e228–e238. ISSN 1198-0052. Dostupné z: doi:10.3747/co.23.2998
- [85] MINISTERSTVO PRÁCE A SOCIÁLNÍCH VĚCÍ ČESKÉ REPUBLIKY. *Informační systém o průměrných výdělcích (ISPV)* [online]. 2017 [vid. 2017-03-30]. Dostupné z: <http://www.mpsv.cz/ISPV.php?sfera=2&sz=2&txt=&ok=Najdi&szp=3>
- [86] MEDIPOS P&P S.R.O. *Pomůcky pro zdraví* [online]. [vid. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.pomuckyprozdravi.cz/rukavice-sempercure-xl-vys-pudr.html?listtype=search&searchparam=rukavice>
- [87] PEARS HEALTH CYBER S.R.O. *Lekarna.cz* [online]. [vid. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://www.lekarna.cz/rouska-foliodrape-protect-sterilni-75x90cm-35ks/?gclid=Cj0KEQjw8tbHBRC6rLS024qYjtEBEiQA7wIDeXvx7Md6WuRgfps0sUjrhse05LSaFIOV-hpEjZm0r0oaAvVs8P8HAQ>
- [88] INTERNET MALL A.S. *Mall.cz* [online]. [vid. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://www.mall.cz/zdravotni-doplňky/durex-extra-safe-12-ks?gclid=Cj0KEQjwxPbHBRCdxJLF3qen3dYBEiQAMRyxSyKTln9SRmWRUuqh65Rfwzte2y0lGn0fwBiyvQOGltYaAqLf8P8HAQ&dclid=CO-Oi8i4vdMCFUGoUQodxAgM1A>
- [89] MEDIPOS P&P S.R.O. *Pomůcky pro zdraví* [online]. [vid. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.pomuckyprozdravi.cz/rukavice-supreme-steril-bez-pudru-6.html?listtype=search&searchparam=rukavice>
- [90] PEARS HEALTH CYBER S.R.O. *Lekarna.cz* [online]. [vid. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://www.lekarna.cz/matocomp-10x10cm-100ks-komprese-z-gazy/>
- [91] PEARS HEALTH CYBER S.R.O. *Lekarna.cz* [online]. [vid. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://www.lekarna.cz/injekcni-strikacky-10ml-braun-100ks/#productMenu>
- [92] FAKULTNÍ NEMOCNICE OSTRAVA. *Tender arena - zakázka 31/11* [online]. 2012 [vid. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://www.tenderarena.cz/profil/zakazka/detail.jsf?id=11691>
- [93] ÚSTAV ZDRAVOTNICKÝCH INFORMACÍ A STATISTIKY ČR. *Kategorizace zdravotnické techniky a zdravotnických prostředků - základní číselník kategorií a cenových hladin ZT* [online]. 2017. Dostupné z: <http://www.uzis.cz/node/7717>
- [94] ÚSTAV ZDRAVOTNICKÝCH INFORMACÍ A STATISTIKY ČR. *Zdravotnická ročenka České republiky* [online]. 2015. Dostupné z: <http://www.uzis.cz/katalog/rocenky/zdravotnicka-rocenka-ceske-republiky-1961-az-2013>
- [95] ÚSTAV RADIODIAGNOSTICKÝ. *Fakultní nemocnice Ostrava* [online]. [vid. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.fno.cz/ustav-radiodiagnosticky/vypocetni-tomografie>
- [96] ÚSTAV RADIODIAGNOSTICKÝ. *Fakultní nemocnice Ostrava* [online]. [vid. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.fno.cz/ustav-radiodiagnosticky/magneticka-rezonance>
- [97] FAKULTNÍ NEMOCNICE OSTRAVA. *CyberKnife Ostrava - Aktuality* [online]. 2017. Dostupné z: <http://cyberknife.fno.cz/cs/clanky/aktuality>

- [98] MOTTET, N, J BELLMUNT, E BRIERS, M BOLLA, P CORNFORD a M SANTIS. *EAU - ESTRO - SIOG Guidelines on Prostate Cancer* [online]. 2016. Dostupné z: <https://uroweb.org/wp-content/uploads/EAU-Guidelines-Prostate-Cancer-2016.pdf>
- [99] IVLEV, Ilya, Peter KNEPPO a Miroslav BARTAK. Multicriteria decision analysis: a multifaceted approach to medical equipment management. *Technological and Economic Development of Economy* [online]. 2014, **20**(3), 576–589. Dostupné z: doi:10.3846/20294913.2014.943333
- [100] IVLEV, Ilya. *The System of Selection of Equipment for Biomedical Application - Doctoral Thesis* [online]. B.m., 2014. Czech Technical University in Prague, faculty of Biomedical Engineering. Dostupné z: http://www.fbmi.cvut.cz/files/nodes/5223/public/Dissertation_Ilya_Ivlev_konečná_varianta.pdf
- [101] PEARS HEALTH CYBER S.R.O. *Lekarna.cz* [online]. [vid. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://www.lekarna.cz/inj-jehla-0-8x40-zelena-chirana-100ks-jednorazova/>
- [102] *Státní ústav pro kontrolu léčiv - SÚKL, databáze léků* [online]. [vid. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.sukl.cz/modules/medication/detail.php?code=0200422&tab=texts>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Incidence a mortalita karcinomu prostaty v ČR.....	13
Obrázek 2: Postup systematické rešerše studií	21
Obrázek 3: Vztah variant (alternativ), kritérií a cíle	25
Obrázek 4: Schéma postupu systematické rešerše.....	30
Obrázek 5: Hierarchická struktura AHP hodnocení	38
Obrázek 6: Schéma postupu léčby technologií CyberKnife	42
Obrázek 7: Schéma postupu léčby technologií IMRT	43
Obrázek 8: Hranice efektivity (C/E) – optimistická varianta	58
Obrázek 9: Hranice efektivity (C/E) - realistická varianta	59
Obrázek 10: Hranice efektivity (C/E) - pesimistická varianta.....	60
Obrázek 11: Hranice efektivity (C/U) – optimistická varianta.....	62
Obrázek 12: Hranice efektivity (C/U) - realistická varianta.....	63
Obrázek 13: Hranice efektivity (C/U) - pesimistická varianta	64
Obrázek 14: Hranice efektivity (C/E) při rovnosti klinických efektů – realistická varianta	67
Obrázek 15. Hranice efektivity (C/E) při navýšení velikosti klinického efektu přístroje CyberKnife - realistická varianta.....	68

Seznam tabulek

Tabulka 1: Incidence nejčastějších nádorů v ČR za rok 2012 dle informací WHO.....	13
Tabulka 2: Způsob přiřazování preferencí / bodů kritériím.....	23
Tabulka 3: Příklad Saatyho matice	23
Tabulka 4: Seznam studií zařazených do systematické rešerše	31
Tabulka 5: Charakteristika vybraných studií ze systematické rešerše.....	34
Tabulka 6: Hodnoty klinických kritérií pro CyberKnife a IMRT	36
Tabulka 7: Definice vybraných klinických kritérií.....	37
Tabulka 8: Výsledné váhy kritérií	38
Tabulka 9: Výsledné hodnocení klinických efektů pro CyberKnife a IMRT.....	39
Tabulka 10: Hodnoty QALY, které přináší SBRT a IMRT technologie.....	39
Tabulka 11: Pořizovací ceny přístroje CyberKnife	44
Tabulka 12: Pořizovací ceny přístroje CyberKnife a IMRT (včetně DPH)	45
Tabulka 13: Náklady na pozáruční servis dle odborných studií.....	47
Tabulka 14: Celkové servisní náklady pro CyberKnife a IMRT	47
Tabulka 15: Personální náklady na léčbu jednoho pacienta	48
Tabulka 16: Personální náklady na léčbu jednoho pacienta přístrojem CyberKnife - realistická varianta.....	49
Tabulka 17: Personální náklady na léčbu na léčbu jednoho pacienta přístrojem IMRT - realistická varianta.....	50
Tabulka 18: Personální náklady na léčbu jednoho pacienta	51
Tabulka 19: Materiální náklady na léčbu jednoho pacienta přístrojem CyberKnife - realistická varianta.....	52
Tabulka 20: Materiální náklady na léčbu jednoho pacienta přístrojem IMRT - realistická varianta.....	52
Tabulka 21: Pořizovací ceny diagnostických přístrojů.....	53
Tabulka 22: Servisní náklady na diagnostické přístroje	53
Tabulka 23: Vytíženost diagnostických přístrojů	54
Tabulka 24: Odhad nákladů na jedno vyšetření RTG simulátorem, CT a magnetickou rezonancí	54
Tabulka 25: Počet pacientů za dobu životnosti ozařovače	55

Tabulka 26: Celkové náklady na léčbu pacienta přístrojem CyberKnife a IMRT	56
Tabulka 27: Výpočet nákladové efektivity přístroje CyberKnife a IMRT	57
Tabulka 28: Výsledky analýzy nákladů a užítku pro technologii CyberKnife a IMRT	61
Tabulka 29: Výsledky analýzy nákladové efektivity pro technologii CyberKnife a IMRT při rovnosti klinických efektů	66
Tabulka 30: Hranice efektivity - citlivostní analýza (rovnost klinických efektů)	66
Tabulka 31: Výsledky analýzy nákladové efektivity pro technologii CyberKnife a IMRT při navýšení klinické efektivity přístroje CyberKnife.....	67
Tabulka 32: Hranice efektivity - citlivostní analýza (navýšení velikosti klinického efektu přístroje CyberKnife)	68
Tabulka 33: Citlivostní analýza - nákladová efektivita stanovená pomocí AHP (změna počtu pacientů) – realistická varianta.....	69
Tabulka 34: Citlivostní analýza - nákladová efektivita stanovená pomocí QALY (změna počtu pacientů) – realistická varianta.....	70

Příloha A: Personální náklady – optimistická a pesimistická varianta

Tabulka A 1: Personální náklady na léčbu jednoho pacienta přístrojem CyberKnife - optimistická varianta [zdroj vlastní]

Proces	Personální obsazení	Časová dotace [min]	Medián HV dle ISPV [Kč]	Náklady celkem [Kč]
Vstupní vyšetření	Radiační onkolog	30	343,10	229,88
Implantace zlatých zrn	Urolog	15	343,10	114,94
Plánovací CT vyšetření	Radiační onkolog	30	343,10	229,88
	Radiologický asistent	30	199,20	133,46
Plánovací vyšetření na MR	Radiolog	60	343,10	459,75
	Radiační fyzik	60	199,20	266,93
Plánování léčby	Radiační onkolog	120	343,10	919,51
	Radiační fyzik	200	199,20	889,76
Radioterapie	Radiační onkolog	5 x 130	343,10	4 980,67
	Radiologický asistent	5 x 130	199,20	2 891,72
Výstupní vyšetření	Radiační onkolog	30	343,10	229,88
Celkem personální náklady (optimistická varianta - CyberKnife):				11 346 Kč

Tabulka A 2: Personální náklady na léčbu jednoho pacienta přístrojem CyberKnife - pesimistická varianta [zdroj vlastní]

Proces	Personální obsazení	Časová dotace [min]	Maximální HV dle ISPV [Kč]	Náklady celkem [Kč]
Vstupní vyšetření	Radiační onkolog	30	540,70	362,27
Implantace zlatých zrn	Urolog	15	540,70	181,13
	Zdravotní sestra	15	268,10	67,03
Plánovací CT vyšetření	Radiační onkolog	30	540,70	362,27
	Radiologický asistent	30	263,60	176,61
Plánovací vyšetření na MR	Radiolog	60	540,70	724,54
	Radiační fyzik	60	263,60	353,22
Plánování léčby	Radiační onkolog 2x	240	1 081,40	5 796,30
	Radiační fyzik	200	263,60	1 177,41
Kontrolní plánovací CT vyšetření	Radiační onkolog	60	540,70	724,54
	Radiační fyzik	60	263,60	353,22
Radioterapie	Radiační onkolog	5 x 130	540,70	7 849,16
	Radiologický asistent	5 x 130	263,60	3 826,59
Výstupní vyšetření	Radiační onkolog	30	540,70	362,27
Celkem personální náklady (pesimistická varianta - CyberKnife):				22 317 Kč

Tabulka A 3: Personální náklady na léčbu jednoho pacienta přístrojem IMRT - optimistická varianta [zdroj vlastní]

Proces	Personální obsazení	Časová dotace [min]	Medián HV dle ISPV [Kč]	Náklady celkem [Kč]
Vstupní vyšetření	Radiační onkolog	30	343,10	229,88
Lokalizace cílového objemu	Radiační onkolog	60	343,10	459,75
	Radiační fyzik/asistent	60	199,20	266,93
Plánovací CT vyšetření	Radiační onkolog	30	343,10	229,88
	Radiologický asistent	30	199,20	133,46
Plánování léčby	Radiační onkolog	90	343,10	689,63
	Radiační fyzik	90	199,20	400,39
Simulace ozařovacího plánu	Radiační onkolog	60	343,10	459,75
	Radiační fyzik	60	199,20	266,93
Radioterapie	Radiační onkolog	37 x 22	343,10	6237,33
	Radiologický asistent	37 x 22	199,20	3621,32
Kontrolní vyšetření	Radiační onkolog	7 x 15	343,10	804,57
Výstupní vyšetření	Radiační onkolog	30	343,10	229,88
Celkem personální náklady (optimistická varianta - IMRT):				14 030 Kč

Tabulka A 4: Personální náklady na léčbu jednoho pacienta přístrojem IMRT - pesimistická varianta [zdroj vlastní]

Proces	Personální obsazení	Časová dotace [min]	Maximální HV dle ISPV [Kč]	Náklady celkem [Kč]
Vstupní vyšetření	Radiační onkolog	30	540,70	362,27
Lokalizace cílového objemu	Radiační onkolog	60	540,70	724,54
	Radiační fyzik/asistent	60	263,60	353,22
Plánovací CT vyšetření	Radiační onkolog	30	540,70	362,27
	Radiologický asistent	30	263,60	176,61
Plánovací vyšetření na MR	Radiolog	60	540,70	970,88
	Radiační fyzik	60	263,60	473,32
Plánování léčby	Radiační onkolog	90	540,70	1 086,81
	Radiační fyzik	90	263,60	529,84
Simulace ozařovacího plánu	Radiační onkolog	60	540,70	724,54
	Radiační fyzik	60	263,60	353,22
Radioterapie	Radiační onkolog	37 x 22	540,70	9 829,57
	Radiologický asistent	37 x 22	263,60	4 792,07
Kontrolní vyšetření	Radiační onkolog	7 x 15	540,70	1 267,94
Výstupní vyšetření	Radiační onkolog	30	540,70	362,27
Celkem personální náklady (pesimistická varianta - IMRT):				22 369 Kč

Příloha B: Materiální náklady – optimistická a pesimistická varianta

Tabulka B 1: Materiální náklady na léčbu 1 pacienta přístrojem CyberKnife - optimistická varianta [zdroj vlastní]

Proces	Potřebný materiál	Cena za jednotku	Množství [ks]	Cena celkem s DPH [Kč]	Zdroj
Vstupní vyšetření	Rukavice - nesterilní	92 Kč/ 100 ks	2	1,84	[86]
Implantace zlatých zrn	Operační rouška	592 Kč/ 35 ks	2	16,91	[87]
	Prezervativ	149 Kč/12 ks	1	12,42	[88]
	Rukavice chirurgické sterilní	789,5 Kč/100 ks	2	15,79	[89]
	Tampón z gázy stočený vejc. 12/8 100 ks	144 Kč/100 ks	6	8,64	[90]
	Jehla inj luer 2,0x200	940 Kč/100 ks	1	9,40	[55]
	Stříkačka inj luer ph 10 ml	166 Kč/100 ks	1	1,66	[91]
	Zlatý válcový značkovač s aplikátorem	2100 Kč/ks	3	6 300,00	[92]
Kontrolní vyšetření	Rukavice - nesterilní	92 Kč/100 ks	2	1,84	[86]
Výstupní vyšetření	Rukavice - nesterilní	92 Kč/100 ks	2	1,84	
Celkem materiální náklady (optimistická varianta – CyberKnife):				6 370 Kč	

Tabulka B 2: Materiální náklady na léčbu jednoho pacienta přístrojem CyberKnife - pesimistická varianta [zdroj vlastní]

Proces	Potřebný materiál	Cena za jednotku	Množství [ks]	Cena celkem s DPH [Kč]	Zdroj
Vstupní vyšetření	Rukavice - nesterilní	92 Kč/100 ks	2	1,84	[86]
Implantace zlatých zrn	Operační rouška	592 Kč/35 ks	2	16,91	[87]
	Prezervativ	149 Kč/12 ks	1	12,42	[88]
	Rukavice chirurgické sterilní	789,5 Kč/100 ks	2	15,79	[89]
	Tampón z gázy stočený vejc. 12/8 100 ks	144 Kč/100 ks	6	8,64	[90]
	Jehla inj luer 2,0x200	940 Kč/100 ks	1	9,40	[55]
	Stříkačka inj luer ph 10 ml	166 Kč/100 ks	1	1,66	[91]
	Zlatý válcový značkovač s aplikátorem	2100 Kč/ks	5	10 500,00	[92]
Plánovací CT vyšetření	Rukavice chirurgické sterilní	789,5 Kč/100 ks	2	15,79	[89]
	Jehla inj luer 0,8X 40	69 Kč/100 ks	2	1,38	[101]
	Stříkačka inj luer ph 10 ml	166 Kč/100 ks	2	3,32	[91]
	Kontrastní látka	3540,08 Kč/500 ml	300 ml	2 124,05	[102]
	Tampón z gázy stočený vejc. 12/8 100 ks	144 Kč/100 ks	5	7,20	[90]
Kontrolní vyšetření	Rukavice - nesterilní	92 Kč/100 ks	2	1,84	[86]
Výstupní vyšetření	Rukavice - nesterilní	92 Kč/100 ks	2	1,84	
Celkem materiální náklady (pesimistická varianta – CyberKnife):				12 722 Kč	

Tabulka B 3: Materiální náklady na léčbu jednoho pacienta přístrojem IMRT - optimistická varianta [zdroj vlastní]

Proces	Potřebný materiál	Cena za jednotku	Množství [ks]	Cena celkem s DPH [Kč]	Zdroj
Vstupní vyšetření	Rukavice - nesterilní	80,70 Kč/100 ks	2	1,84	[86]
Kontrolní vyšetření	Rukavice - nesterilní	80,70 Kč/100 ks	14	11,30	
Výstupní vyšetření	Rukavice - nesterilní	80,70 Kč/100 ks	2	1,84	
Celkem materiální náklady (optimistická varianta – IMRT):				15 Kč	

Tabulka B 4: Materiální náklady na léčbu jednoho pacienta přístrojem IMRT - pesimistická varianta [zdroj vlastní]

Proces	Potřebný materiál	Cena za jednotku	Množství [ks]	Cena celkem s DPH [Kč]	Zdroj
Vstupní vyšetření	Rukavice - nesterilní	80,70 Kč/100 ks	2	1,84	[86]
Plánovací CT vyšetření	Rukavice chirurgické sterilní	789,5 Kč/100 ks	2	15,79	[89]
	Jehla inj luer 0,8X 40	69 Kč/100 ks	2	1,38	[101]
	Stříkačka inj luer ph 10 ml	166 Kč/100 ks	2	3,32	[91]
	Kontrastní látka	3540,08 Kč/500 ml	300 ml	2 124,05	[102]
	Tampón z gázy stočený vejc. 12/8 100 ks	144 Kč/100 ks	5	7,20	[90]
Kontrolní vyšetření	Rukavice - nesterilní	80,70 Kč/100 ks	14	11,30	[86]
Výstupní vyšetření	Rukavice - nesterilní	80,70 Kč/100 ks	2	1,84	
Celkem materiální náklady (pesimistická varianta – IMRT):				2 167 Kč	