



Vysoké učení technické v Brně
Fakulta strojního inženýrství
Ústav konstruování

Brno University of Technology
Faculty of Mechanical Engineering
Institute of Machine and Industrial Design

DESIGN LINEÁRNÍHO URYCHLOVAČE PRO ONKOLOGICKOU LÉČBU

DESIGN OF LINEAR ACCELERATOR
FOR ONCOLOGY TREATMENT

Bc. Jan Zbořil

Autor práce
Author

Ing. David John

Vedoucí práce
Supervisor

Diplomová práce
Master's Thesis

Brno 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav konstruování
Student: **Bc. Jan Zbořil**
Studijní program: Aplikované vědy v inženýrství
Studijní obor: Průmyslový design ve strojírenství
Vedoucí práce: **Ing. David John**
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Design lineárního urychlovače pro onkologickou léčbu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V současné době jsou přístroje řešeny jako harmonické celky. Jejich podoba je určena zejména kinematikou používání a technickým a konstrukčním řešením jednotlivých prvků přístroje. Tento stav otevírá nové možnosti pro návrh moderního a specifického designu.

Typ práce: vývojová – designérská

Projekt: specifický vysokoškolský výzkum

Cíle diplomové práce:

Cílem projektu na návrh designu zařízení, které bude inovativní, nadčasové a bude splňovat estetické, ergonomické a technologické předpoklady.

Dílní cíle diplomové práce:

- analyzovat současný stav a identifikovat vhodné směry pro návrh designu,
- navrhnout design zařízení, který bude respektovat kinematiku při terapii a ergonomii obsluhy,
- navrhnout skladbu, barevnost, materiál a technologii výroby krytování,
- navrhnout ruční ovladač zařízení,
- prokázat funkčnost, ergonomičnost a realizovatelnost návrhu.

Požadované výstupy: funkční vzorek, průvodní zpráva, sumarizační poster, technický poster, ergonomický poster, designérský poster, fotografie modelu, fyzický model.

Rozsah práce: cca 72 000 znaků (40 – 50 stran textu bez obrázků).

Struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2018.pdf

Seznam doporučené literatury:

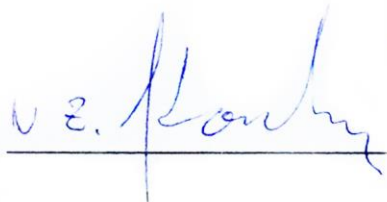
PELCL, Jiří. Design: od myšlenky k realizaci = from idea to realization. V Praze: Vysoká škola uměleckoprůmyslová v Praze, c2012. ISBN 978-80-86863-45-0.

DREYFUSS, Henry. Designing for people. New York: Allworth Press, 2003. ISBN 1581153120.

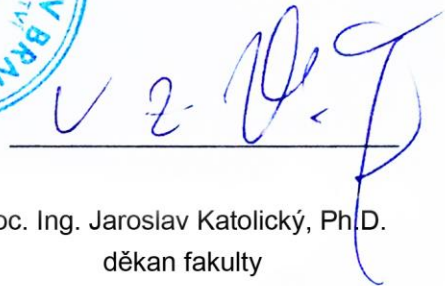
FIELL, Charlotte a Peter FIELL (eds.). Designing the 21st century: design des 21. Jahrhunderts Le design du 21 siècle. Köln: Taschen, c2001. ISBN 3-8228-5883-8.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne 26. 10. 2017



prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

KLÍČOVÁ SLOVA

Lineární urychlovač, ozařování, foton, elektron, radioterapie, design

ABSTRAKT

Tématem této diplomové práce je design lineárního urychlovače pro onkologickou léčbu. Návrh je zaměřen na vylepšení estetické stránky stroje, ale zároveň přichází s invenčním řešením, jak lépe zpřístupnit ozařování onkologicky nemocných pacientů a tím tam zvýšit šance na úspěšnou léčbu rakoviny.

KEYWORDS

Linear accelerator, irradiation, photon, electron, radiotherapy, design

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is the design of linear accelerator for oncology treatment. The design focuses on the improvement of the aesthetical side of the accelerator, but also comes up with inventional solutions how to improve the radiation treatment of oncology patients to higher the chances of successful treatment of cancer.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ZBOŘIL, J. *Lineární urychlovač pro onkologickou léčbu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 94 s. Vedoucí diplomové práce Ing. David John.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Davidu Johnovi za odborné konzultace a věcné připomínky k tématu diplomové práce. Velký dík patří také mé rodině a přítelkyni za psychickou a finanční podporu během celého studia. Rád bych také poděkoval svým spolužákům a kamarádům za konstruktivní kritiku při práci na designu lineárního urychlovače pro onkologickou léčbu.

Speciální poděkování patří panu prof. MUDr. Pavlu Šlampovi, CSc. z Masarykova onkologického ústavu v Brně, který mi poskytl odbornou prohlídku a konzultaci ohledně radioterapie a lineárních urychlovačích. Děkuji také panu MUDr. Vladimíru Rakovi za podněty a nápady k řešení tohoto tématu.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma design lineárního urychlovače pro onkologickou léčbu vypracoval samostatně za použití zdrojů, které jsou citovány na konci tohoto dokumentu v seznamu zdrojů.

V Brně dne

.....
Jan Zbořil

OBSAH

Klíčová slova	3
Abstrakt	3
Keywords	3
Abstract	3
Bibliografická citace	5
Poděkování	7
Prohlášení o původnosti	7
Obsah	9
1 Úvod	11
2 Přehled současného stavu poznání	13
2.1 Designérská analýza	13
2.1.1 Historický vývoj	13
2.1.2 Příklady stávajících produktů	14
2.1.3 Vlastní fotodokumentace a její kritické zhodnocení	20
2.1.4 Shrnutí	22
2.3 Technická analýza	23
2.3.1 Základní rozdělení stroje, princip a jeho kinematika	23
2.3.2 Vnitřní uspořádání lineárního urychlovače	25
2.3.3 Vnější části lineárního urychlovače	28
2.3.4 Použité materiály	33
2.3.5 Ergonomie	34
2.3.6 Shrnutí	34
3 Analýza problému a cíl práce	35
3.1 Analýza problému	35
3.2 Podstata a cíle diplomové práce	36
4 Variantní studie designu	37
4.1 Varianta č. 1	37
4.2 Varianta č. 2	38
4.3 Varianta č. 3	39
5 Tvarové řešení	41
5.1 Proporční a kompoziční řešení	41
5.2 Zadní statická část urychlovače	44
5.3 Gantry	45
5.4 Polohovací stůl	46
5.5 Ruční ovladač	48
6 Konstrukčně – technologické a ergonomické řešení	51
6.1 Konstrukčně-technologické řešení	52
6.1.1 Rám a ukotvení urychlovače	52
6.1.2 Pohonné jednotky	52
6.1.3 Urychlovací ústrojí	54
6.1.4 Kolimátor	55
6.1.5 Výpočetní tomograf, flat panel a zaměřovací lasery	56
6.1.6 Zobrazovací panely	58
6.1.7 Napájecí zdroj	60
6.1.8 Krytování	61
6.1.9 Použité materiály	62

6.2 Ergonomické řešení	62
6.2.1 Polohovací stůl	62
6.2.2 Ovládací panel polohovacího stolu	65
6.2.3 Ruční ovladač	65
7 Barevné a grafické řešení	69
7.1 Barevné řešení	69
7.2 Grafické prvky	71
7.2.1 Piktogramy	71
7.2.2 Rozhraní displejů	72
7.2.3 Logotyp	75
8 Diskuze	77
8.1 Psychologická funkce	77
8.2 Sociální funkce	77
8.3 Ekonomická funkce	78
8.3.1 Podnikatelská strategie	78
8.3.2 Marketingová strategie	79
9 Závěr	81
10 Seznam použitých zdrojů	83
11 Seznam obrázků	87
12 Seznam příloh	89
Náhled sumarizačního plakátu (A4)	90
Náhled ergonomického plakátu (A4)	91
Náhled Technického plakátu (A4)	92
Náhled designérského plakátu (A4)	93
Fotografie rozpracovaného modelu (A4)	94

1 ÚVOD

Tématem této diplomové práce je design lineárního urychlovače pro onkologickou léčbu. Jak již název napovídá, jedná se o přístroje k léčbě rakoviny, konkrétněji k léčbě zhoubných nádorových onemocnění. Metoda, kterou tyto urychlovače využívají, je známá pod pojmem ozařování. Aby byla léčba karcinomů co nejefektivnější a pacient měl tak co největší pravděpodobnost na uzdravení, ozařování se zpravidla používá v kombinaci s další léčbou, jako je chemoterapie, hormonální léčba a chirurgické zákroky.

K ozařování se dá využít typově více přístrojů. Mezi ně patří například Leksellův gama nůž, kobaltový ozařovač, protonový ozařovač nebo již zmíněný lineární urychlovač. Z hlediska názvosloví si pod slovem lineární urychlovač v oblasti medicíny většina lidí představí přístroj určitého typu. Technologicky ale lineární urychlovač využívají i další přístroje používané v radioterapii, které jsou známy pod pojmy Tomotherapy nebo Cyberknife.

Jelikož se jedná o technologicky velmi náročné přístroje, jejichž cena dosahuje několika desítek až stovek milionů korun, objevují se na světě v podstatě jen dva hlavní výrobci těchto medicínských zařízení, kteří mají ve své nabídce větší počet urychlovačů. Jedná se o firmy *Varian* a *Elekta*. Od sebe se liší jak technologickými prvky, tak i designem. V poslední dekádě se na trhu objevily i nové typy urychlovačů od firmy *Vero* a *Viewray*, které tvarově vychází ze základního konceptu řešení CT zařízení či magnetické rezonance.

Při navrhování nového designu lineárního urychlovače je nutné počítat se začleněním polohovatelného lůžka, ve kterém je nemocný pacient určitým způsobem fixován a připraven na absolvování ozařování.



2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

2

2.1 Designérská analýza

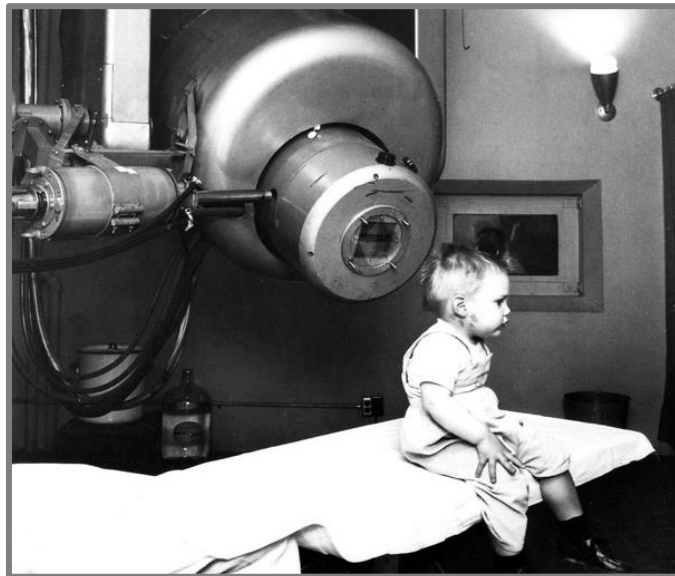
2.1

V designérské analýze bude popsán historický vývoj lineárních urychlovačů a poté budou představeny současní zástupci strojů firem *Varian* a *Electa*, které mají na trhu dominantní postavení. U geneze jednotlivých firem lze pozorovat patrné rozdíly mezi staršími a nejmodernějšími zástupci, nicméně největší rozdíl je znatelný při porovnávání urychlovačů firmy *Elekta* a *Varian*.

2.1.1 Historický vývoj

2.1.1

Historie lineárních urychlovačů je pevně spjatá s objevením X-paprsků roku 1895 německým fyzikem Wilhelmem Conradem Roentgenem. Od tohoto roku se v medicíně začíná využívat fotonová terapie, která přináší zcela nové léčebné postupy. První úspěšná léčba karcinomu pomocí této terapie proběhla roku 1899. Zárodek urychlovačů se datuje až do poloviny dvacátých let minulého století, kdy švédský fyzik Gustav Ising přišel s první myšlenkou. Na základě Isingova nápadu zrealizoval roku 1928 norský fyzik Rolf Wideroe první funkční prototyp lineárního urychlovače. Avšak na první lineární urychlovač přizpůsobený pro radioterapii si lidé museli počkat ještě čtyři roky, do provozu byl uveden v roce 1949. Poté se na vývoji těchto zařízení podílelo mnoho světových společností, jako jsou například *Siemens*, *GE* nebo *Varian*. Důležitým milníkem v historii se stal rok 1956, kdy byl poprvé úspěšně vyléčen dvouletý chlapec s karcinomem oka. [1]



Obr. 2-1 Historický obrázek prvního vyléčeného pacienta v roce 1956 [1]

Mezi lety 1962 – 1982 se objevila druhá generace strojů, které byly izocentrické a výrazně se tak zlepšila přesnost urychlovačů. Od roku 1983 až do současnosti mluvíme o třetí generaci strojů, kdy se společně s pokroky ve výpočetní technologii rapidně zlepšuje přesnost lineárních urychlovačů a s tím i účinnost a snížení nežádoucích účinků ozařování. [2]

I když se na vývoji těchto strojů podílelo více firem, v současné době mají na trhu dominantní zastoupení firmy *Elekta* a *Varian*. Firma *Varian* se spojila se společností *Siemens*, aby společnými silami bojovali proti rakovině co nejúčinněji. [3]

2.1.2 Příklady stávajících produktů

Jak již bylo stručně uvedeno v předešlé kapitole, společnosti, které se v současné době vývojem lineárních urychlovačů a jejich produkcí zabývají, jsou americká firma *Varian* a švédská firma *Elekta*. I když mají obě dvě firmy stejný cíl – léčit rakovinu, jejich výrobky se značně liší nejen po designové stránce.

Nejrozpoznatelnějším rozdílným prvkem je umístění zadní části přístroje. V případě přístrojů *Elekta* je tato část ukryta za umělou zdí. Zástupci *Varian* s touto částí pracují jako s celkem a přístroje tak působí daleko celistvěji, i když robustněji. Mimo tyto dvě dominantní společnosti se v oblasti radiologie angažují i firmy *Brainlab*, *Viewray* nebo *Accuray*. I když ve své nabídce nemají ani zdaleka takové množství urychlovačů, je důležité tyto zástupce zmínit. Oproti firmám *Varian* a *Elekta* vynikají totiž na první pohled velmi odlišným přístupem k řešení těchto zařízení.

Varian Trilogy

První zástupce firmy *Varian* se svým designem řadí spíše ke starším zástupcům. Důvodem je příliš časté pravoúhlé tvarování hlavních částí přístroje. I když autoři návrhu toto rovinné tvarování v přední pohyblivé části přístroje zvané gantry značně omezili a přišli s větším počtem zaoblených a propnutých ploch, výsledný návrh i díky barevné nečlenitosti může stále působit velmi hranatě.

Bílá barva, která je dominantní na celém přístroji, působí velmi čistě a sterilně, což je zcela v souladu s nemocničním prostředím. Na druhou stranu výsledný dojem celého přístroje může působit poněkud chladně a neoriginálně. Prvkem, který přetrvával z předešlých starších modelů, je velký displej umístěný v prostřední části Gantry.

Z pohledu ergonomie obsluhy je design řešen vhodně. Částečně otočný stůl pro pacienta, který lze zároveň polohovat jak v horizontálním, tak ve vertikálním směru, umožňuje snadný přístup i pacientům s omezenou mobilitou. Ruční ovladače zavěšené na konci tohoto stolu jsou laborantům vždy po ruce.



Obr. 2-2 Varian Trilogy [4]

Varian True Beam

Model *TrueBeam* se začal vyrábět roku 2010 a určitý posun oproti předešlému modelu *Trilogy* je z hlediska designu znatelný. Oblá plocha na vnitřní straně gantry zůstala, avšak ostré a kolmé rohy ze zbytku přístroje téměř úplně vymizely. Tvarování přístroje tak vypadá daleko promyšleněji a jednotlivé oblé plochy a rádie spolu hezky ladí. Oblé tvarování je zároveň u medicínských přístrojů velmi důležité, protože nevzbuzuje u pacienta pocit nebezpečí, jako by tomu mohlo být u ostrých hran a špičatých tvarů.

Pozitivním zpestřením je zde grafické zpracování přístroje. Výrazná hrubá linie v odstínu béžové barvy, která zdůrazňuje oblé linie celého přístroje, svým způsobem může přístroj opticky odlehčit, avšak zcela určitě posunout na vyšší úroveň z pohledu propracování. Tento barevný odstín se opakuje i na spodní části polohovacího lůžka pro pacienty, čímž lůžko a přístroj částečně sjednocuje.

Polohovatelný stůl je z funkčního hlediska totožný, jako u předešlého modelu *Trilogy*. Jak u celého přístroje, tak i zde je však tvarování více oblé. Z pohledu ergonomie a bezpečnosti lze právě toto tvarování hodnotit pozitivně. Při případné kolizi s pacientem by totiž nebyly zaoblené hrany a rohy tak nebezpečné, jak ostřejší tvarování u předešlého modelu.



Obr. 2-3 Varian TrueBeam [5]

Varian Edge

Model *Edge* je asi o tři roky novější než model *TrueBeam* a lze na něm pozorovat určité snahy o změnu vizáže stroje. *Varian Edge*, stejně jako model *TrueBeam*, stále disponuje propnutými plochami a oblými hranami, které jsou v tvarování stroje několikrát zopakovány. Nicméně lze zde vidět i ostré zkosené hrany mezi jednotlivými pohledovými rovinami, které bývají populární například u výrobců automobilů.

Výrazné je zde začlenění poněkud tmavší stříbrné barvy, která již nepůsobí jen jako doplňková. Novinkou oproti předchozím zástupcům je začlenění svítících led pásek, které zdůrazňují hlavní linie přístroje. Tento prvek, který je v posledních letech velmi oblíbený nejen v medicínském prostředí, dodává přístrojům zpravidla modernější charakter.

Přístroj je určen zejména k tzv. radiochirurgii. Technologicky odlišný je zde polohovatelný stůl, který nově disponuje sekundárním vertikálním posuvným

zařízením v jeho horní části. Na obrázku níže lze také vidět příhradovou konstrukci umístěnou pod lůžkem, která zajišťuje větší tuhost lůžka.

Zajímavostí je, že produkt byl vyvíjen ve spolupráci se skupinou DesignWorks patřící pod *BMW Group*. Tento design získal několik ocenění včetně Red Dot. [6]



Obr. 2-4 Varian Edge [7]

Elekta Compact

Prvním zástupcem firmy *Elekta* je model *Compact*. Jedná se o základní verzi a lze si tak na první pohled všimnout i absence bočních panelů, které slouží k pořizování CT obrazu. Jednoduché tvarování působí decentně a v případě umístění přístroje v moderní laboratoři může na pacienty působit pozitivně. Nicméně i u základních modelů lze krytování promýšlet daleko sofistikovaněji. U popisovaného modelu lze nabýt dojmu, že boční část je napřímo useknutá a že zde zákonitě něco chybí. To může vyvolávat u pacienta nejistotu a nedůvěru v tento přístroj.

Oproti velmi jednoduchému krytování urychlovače je zde zajímavým prvkem souhra barev středového kruhu gantry a soustředných kružnic na stěně, k níž je urychlovač pomyslně přichycen.

K zajištění pacienta slouží základní verze polohovacího lůžka, která byla použita například i u modelu *Varian Trilogy*.



Obr. 2-5 Elekta Compact [8]

Elekta Synergy

Tvarem gantry je tento model velmi podobný předešlému modelu *Compact*, nicméně navíc zde přibyly boční panely, což je přístroj a detektor pro pořizování 3D CT snímků. Ten má zejména praktický charakter, který je důležitý pro samotnou léčbu. Přístroj tak ale navíc vypadá více centricky vyvážený.

Tak jako u předchozího modelu je zde použita modrá barva umístěná jak v centru urychlovače, tak na plentě za přístrojem. Barevně jsou členěny i části, které jsou přímo funkční – ozařovač, spodní flat panel a již zmiňované boční panely.

Na modelu jsou umístěny přídavné monitory, na kterých bývají zobrazeny informace pro personál, které slouží i jako návod, jak pacienta polohovat na lůžko. Toto umístění je velmi praktické, jelikož zabraňuje tomu, aby se obsluha přístroje musela k pacientovi otáčet zády nebo se od něj příliš vzdalovat.



Obr. 2-6 Elekta Synergy [9]

Elekta Versa HD

Model *Versa HD* je momentálně nejmodernějším lineárním urychlovačem firmy *Elekta*. Oproti předešlým dvěma modelům může působit robustněji a stabilněji. Velmi zajímavým prvkem je zde obruč umístěna pod ozařovačem. Informační panely v podobě monitorů jsou umístěny opět na zdi, ve které se urychlovač otáčí. Instalovány jsou do bílých, plastových krytů, které tvarem přecházejí do spodní části přístroje a dodávají tak celému přístroji zajímavý výraz.

Oproti předešlým verzím je popisovaný model barevně sjednocen. Nepřehlédnutelným prvkem je zde prostřední kruhová část, která vyzařuje lehce namodralé světlo. To posouvá design urychlovače na vyšší úroveň, stejně jako tomu bylo u urychlovače *Varian Edge*.

Stejně jako u předešlého modelu *Synergy* si lze všimnout umístění ručních ovladačů, které nejsou součástí polohovatelného stolu jako u zástupců firmy *Varian*. Zde se nachází přímo pod informačními panely, tedy na stejné úrovni, jako urychlovač.



Obr. 2-7 Elekta Versa HD [10]

Vero SBRT

Zajímavé a zároveň odlišné tvarové řešení přináší model *Vero SBRT*, který realizovala německá firma *Brainlab* ve spolupráci s japonskou *Mitsubishi Heavy Industries*. Řešení v podobě tunelu je již známé z oblasti magnetické rezonance a CT. Zde se jedná o relativně štíhlý prstenec, v němž je umístěn jak lineární urychlovač, tak CT zařízení. Rozdílným prvkem oproti zástupcům firmy *Varian* a *Elekta* je nejen celkový vzhled, ale i rozdíl, jak se sestava urychlovače a lůžka otáčí okolo vertikální osy izocentra. Zatímco doposud tento pohyb zajišťovalo lůžko s pacientem, zde tuto činnost zastává přímo samotný ozařovač.

Poprvé se setkáváme s poměrně křiklavou žlutou barvou, která však v kombinaci s bílou barvou působí velmi příjemně a nikterak rušivě. I když má žlutá barva povzbuzovat, osvobozovat a přinášet uvolnění, může její nadměrné použití působit spíše negativně. Nicméně celkový tvar urychlovače s množstvím oblých hran a tímto

decentním grafickým zásahem by měl na pacienta působit velmi bezpečně a příjemně.[11] [12]



Obr. 2-8 Vero SBRT [13]

Viewray MRIdian

S velmi podobnou tvarovou kompozicí přichází také společnost *Viewray* se svým modelem *MRIdian*. V tomto případě se ale nejedná o štíhlý prstenec, nýbrž o větší a více protáhlý tunel, ve kterém se může pacient cítit poněkud stísněně. Propnuté linie, hra s vrstvením jednotlivých dílů krytování a barevné členění dává přístroji originální a moderní vzhled.

Kvůli rozměrům otvoru, kde je pacient ozařován, však není možné urychlovač ani lůžko otáčet okolo své vertikální osy, což je nevýhodou z důsledku nižšího počtu úhlů, ze kterého je karcinomy možné ozařovat.



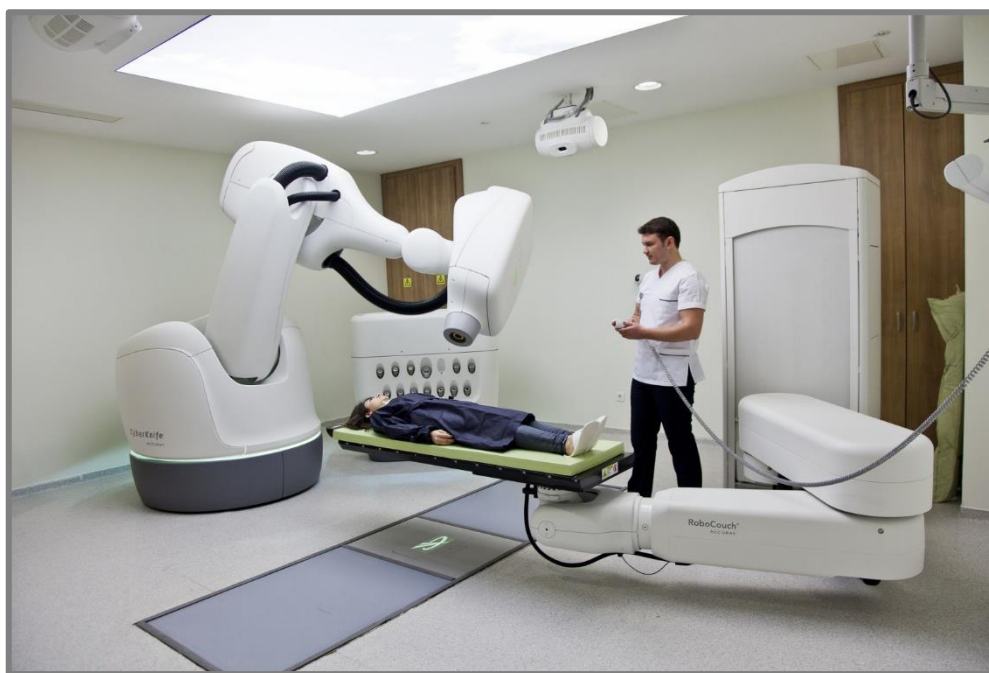
Obr. 2-9 Viewray MRIdian [14]

Accuray Cyberknife

S naprosto odlišným řešením přichází firma *Accuray* se svým modelem *Cyberknife*. Jedná se o robotické rameno, na jehož konci je umístěný lineární urychlovač, z něhož vychází tenký paprsek, jenž pacienta ozařuje. Díky dvěma snímkovacím rentgenům umístěných na stropě místnosti, ve které je *Cyberknife* instalován, a variabilitě pohybu, která umožňuje ozařovat nádory z velkého množství úhlů, je tato metoda ozařování velmi přesná. Odchylna při lehkém pohybu pacienta (například při dýchání) je maximálně dva milimetry. V momentě, kdy je pacient nehybný, je odchylna pouhých půl milimetru. [15][16]

Jelikož se jedná o poměrně tvarově členité zařízení, není potřeba jednotlivé části graficky odlišovat. Jediné barevné odlišení se tak nachází ve spodní části stroje, čímž je zvýrazněno i jeho těžiště. Ledkový pások oddělující jednotlivé barevné části v sobě skrývá zajímavý detail.

Rozdílné řešení potkalo i zpracování lůžka, které je připevněno na výsuvném rameni. Z hlediska konstrukce je tohle řešení velmi náročné na přesnost. Aby nedocházelo k samovolnému kolísání pacienta při procesu ozařování, musí být konstrukce dostatečně tuhá, jelikož zde dochází k obrovské páce.



Obr. 2-10 Accuray Cyberknife [17]

2.1.3 Vlastní fotodokumentace a její kritické zhodnocení

Dne 27. 3. 2017 jsem se setkal s panem profesorem Pavlem Šlampaou v Masarykově onkologickém ústavu v Brně, který mi poskytl odbornou konzultaci a exkurzi. V ústavu jsem měl šanci vidět a vyfotit si přístroje *Varian Clinac 2100*, *Varian Clinac 21iX* a nakonec jeden z nejmodernějších zástupců - *Varian TrueBeam*.



Obr. 2-11 Varian Clinac 2100, Varian Clinac 21iX a Varian TrueBeam [autor]

Při procházení jednotlivými pracovišti jsem nebyl upozorněn na nijak závažné problémy při obsluze přístroje, které by samotnou obsluhu velmi omezovaly. Jednou z poznámek však byla nepřehlednost tlačítek na starším typu ručního ovladače, který nebyl nijak barevně ani graficky členěn. Pochvalu však naopak sklídl nový typ ovladače, který se nacházel u modelu *TrueBeam* a to zejména díky přehledným piktogramům a nižšímu počtu tlačítek.



Obr. 2-12 Starší a novější typ ovladačů [autor]

Dalším poznatkem byla ne úplně šťastně zvolená pozice pro informační panely umístěné v laboratoři před samotným lineárním urychlovačem. Obsluha poznamenala, že při fixování a polohování pacienta se musí k pacientovi otočit zády, aby se mohla podívat na potřebné informace.



Obr. 2-13 Informační panely k urychlovači Varian TrueBeam [autor]

Důležitý byl i poznatek pana profesora Šlumpy, který na můj dotaz, zdali jsou pacienti nervózní při příchodu do laboratoře a při samotném procesu ozařování, odpověděl, že je velmi důležité, aby byl pacient při příchodu do laboratoře v psychické pohodě a přitom plně spolupracoval. Proto se snaží prostředí určené k ozařování co nejvíce zpříjemnit. Konkrétně jde o obrazové tabule s přírodními motivy umístěné jak v předsálí, tak v samotném sále – konkrétně na jeho stropě.



Obr. 2-14 Dekorace s přírodními motivy [autor]

2.1.4 Shrnutí

Na základě rešerše lze konstatovat, že zejména v poslední dekádě dochází v oblasti designu i konstrukce k daleko progresivnějším změnám, než v celé druhé polovině 20. století. To má za důsledek větší diverzitu současných urychlovačů. Velmi kladným prvkem z hlediska bezpečnosti pacienta je tendence zaoblovat hrany a celkově přístroje zakulacovat. Tato protvarování také pomáhají odbourat technicistní vzhled, který doposud měla drtivá většina urychlovačů. I když model *Varian TrueBeam* nepatří mezi ty nejnovější modely, je zde zřejmě nejlépe sladěna zadní statická část a

gantry. Stroj tak působí velmi komplexně. Toho též docílila společnost *Varian* již o několik let dříve u modelu *Trilogy*, nicméně již zmiňované ostré tvarování a technicistní výraz tento urychlovač zařazují na spodní příčky pomyslného žebříčku o nejlepší design urychlovače. Z hlediska polohování urychlovače a s tím spjaté i efektivity léčby však daleko předčil své konkurenty model *Cyberknife* od společnosti *Accuray*.

V poslední řadě je dobré zmínit, že je také kladen velký důraz na okolní prostředí, v němž se urychlovač nachází. To by mělo pacienta při příchodu uklidnit a odbourat případné obavy, které jsou nežádoucí.

2.3 Technická analýza

2.3

Jak již bylo zmíněno výše, jednotlivé firmy se od sebe liší jak designem, tak určitým způsobem i uspořádáním vnitřních komponent uvnitř urychlovače. Princip urychlování částic je však v těchto strojích stejný.

Základním principem je urychlení nabitých částic, většinou elektronů, působením elektrického a magnetického pole. Urychlovač je složen ze zdroje iontů a urychlovacího systému. Podle způsobu technické konstrukce urychlovače a tvaru dráhy, na které urychlení částic probíhá, se rozlišují dva základní typy urychlovačů: lineární a kruhové. [15]

Jelikož tématem této diplomové práce je lineární urychlovač pro onkologickou léčbu, bude v technické analýze detailně popsán právě urychlovač lineární.

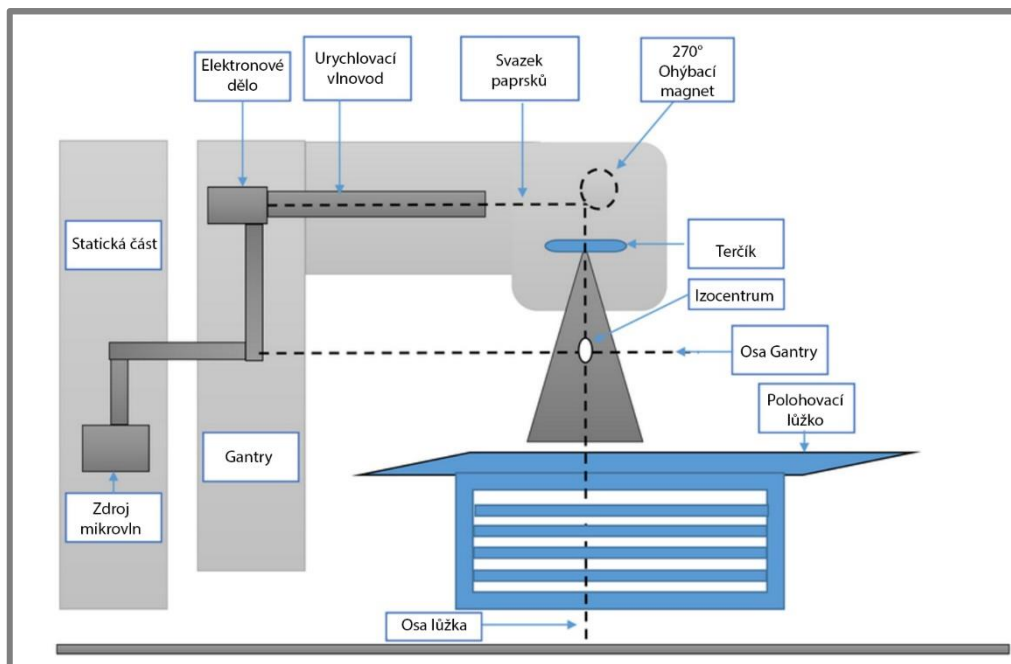
2.3.1 Základní rozdělení stroje, princip a jeho kinematika

2.3.1

Pomineme-li první prototypy, které vznikaly do 60. let minulého století, všechny lineární urychlovače jsou od roku 1962 konstruovány tak, aby byly izocentrické. Přístroj je rozdělen na dvě hlavní části – statickou část přístroje a pohyblivou část nazývanou gantry. Část nazývaná gantry je přichycena k základnímu tělu pomocí rotační vazby tak, aby při rotaci okolo své osy mířil vyzařovaný paprsek stále do jednoho bodu – tzv. izocentra. [2][19]

V tomto izocentru se v praxi zpravidla nachází nádor, který je potřeba zářením zlikvidovat. Jelikož tohle záření má schopnost likvidovat i zdravou tkáň člověka, je nanejvýš žádoucí zasáhnout vždy z co největší části právě postižené místo (nádor) a eliminovat pravděpodobnost zasažení zdravé tkáně. Nádor si lze představit jako těleso nepravidelného tvaru, které má z každého pohledu jiný půdorys. Z tohoto důvodu je potřeba postižené místo zasáhnout z co nejvíce možných úhlů pohledu tak, aby zároveň nebyla zasažena okolní zdravá tkáň pacienta.

K tomu, aby urychlovače mohly ozařovat z co nejvíce možných úhlů pohledu, je potřeba při navrhování konstrukce dbát jednak na požadovanou kinematiku celé sestavy, ale zejména na bezpečnost pacienta při procesu léčby.



Obr. 2-15 Schéma lineárního urychlovače [20]



Obr. 2-16 Znázornění kinematiky gantry a lůžka [21]

Jelikož hmotnost gantry se pohybuje v řádech několika stovek kil, jeho rotace musí být nadměru přesná a jeho zajištění předdimenzované tak, aby nedošlo ke katastrofě v podobě pádu gantry na pacienta. Proto musí být tato rotační vazba dostatečně tuhá. To bývá zpravidla řešeno pomocí silné hřídele o průměru až 300 mm. Pohon této hřídele může být krokovým motorem s převodem skrz ozubená kola spojen řetězem nebo řemenem.

Hlavní hmotnost v gantry je směřována do poloviny, v níž je umístěn ozařovač. Aby při rotaci gantry vznikalo rovnoměrné zatížení, je vhodné mít v protilehlé polovině protizávaží.



Obr. 2-17 Detail otevřeného lineárního urychlovače [22]

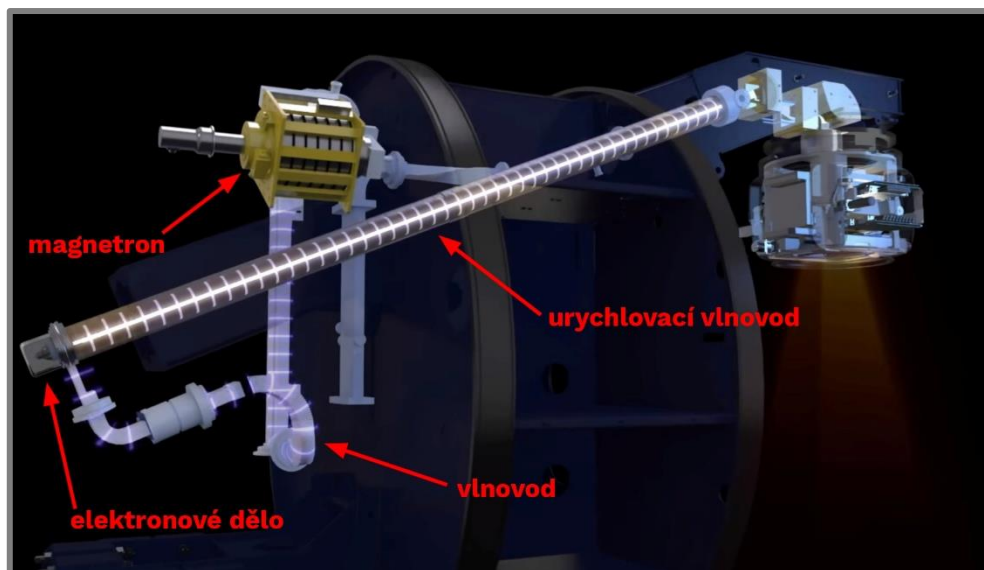
2.3.2 Vnitřní uspořádání lineárního urychlovače

2.3.2

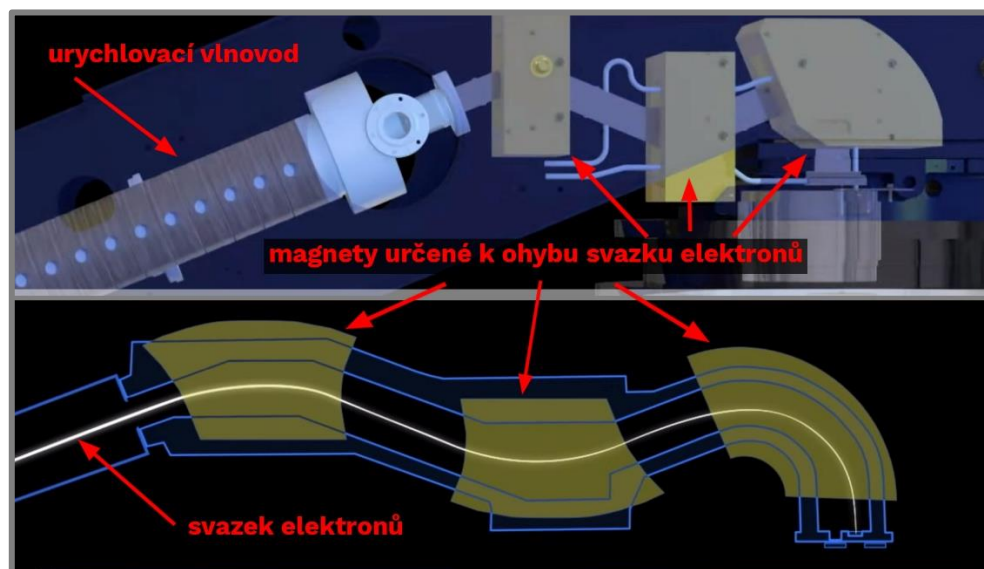
Aby byla vnější silueta stroje a umístění dalších komponentů lépe pochopitelné, je potřeba nastínit, jaké je vnitřní uspořádání jednotlivých součástí.

K tomu, aby lineární urychlovač mohl dosahovat svých výsledků, je potřeba vysoké energie. Vše začíná u klystronu nebo magnetronu. Tyto komponenty jsou důležitým zdrojem mikrovln o vysoké frekvenci. Klystron, který byl vynalezen bratry Varianovými v roce 1937, se používá u vysokoenergetických urychlovačů, jejichž produkované elektrony zpravidla přesahující hodnotu 6MeV^1 . Klystron používá většina urychlovačů firmy *Varian*. Magnetron se používá u přístrojů, jež produkují elektrony o energii mezi $4 - 6\text{MeV}$. Používají jej pak zejména zástupci firmy *Electa*. Tyto mikrovlny dále proudí vlnovodem do elektronového děla. Elektrony vyprodukované elektronovým dělem dále proudí urychlovacím vlnovodem až k magnetům určeným k ohybu svazku elektronů. [2][24]

¹ eV neboli elektronvolt je kinetická energie, kterou získá elektron při průchodu potenciálním rozdílem 1 voltu ve vakuu [23]

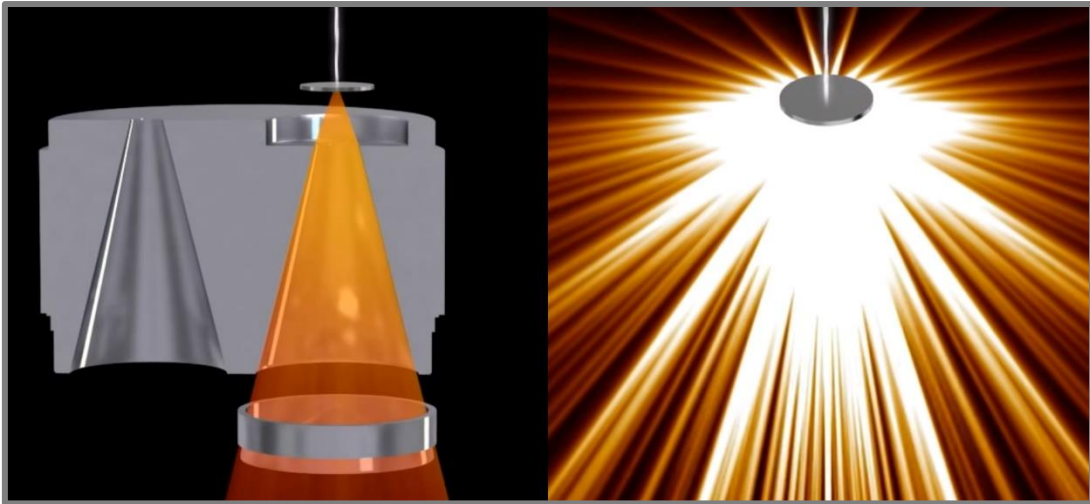


Obr. 2-18 Schéma lineárního urychlovače [25]



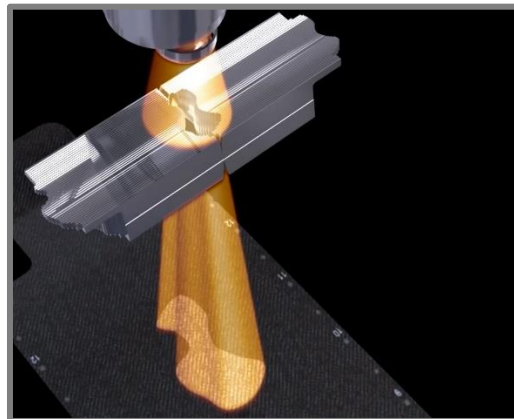
Obr. 2-19 Schéma lineárního urychlovače [25]

Elektronový paprsek je usměrněn na tzv. terčik, o který se zabrzdí a vzniká tak svazek fotonového záření (elektromagnetického záření), které terčikem dále proniká. [18]



Obr. 2-20 Schéma lineárního urychlovače [25]

Tento fotonový svazek je poté ohraničen a tvarován tzv. vícelamelovým kolimátorem, což je systém vykrývacích clon (kolimátorů). Tvar paprsku je v průběhu ozařování měněn podle tvaru ozařovaného objemu, který je z každého úhlu jiný. [18][26]



Obr. 2-21 systém vykrývacích clon [25]



Obr. 2-22 vícelamelový kolimátor [27]

Aby lineární urychlovač pracoval správně, je potřeba, aby proces urychlování částic probíhal ve vakuu, k čemuž slouží vakuová pumpa. Zároveň při procesu vzniká vysoká teplota a je tak zapotřebí, aby měl urychlovač zabudovaný chladicí systém. K ochlazení se používá voda. [28]

2.3.3 Vnější části lineárního urychlovače

Rentgenový detektor / flat panel

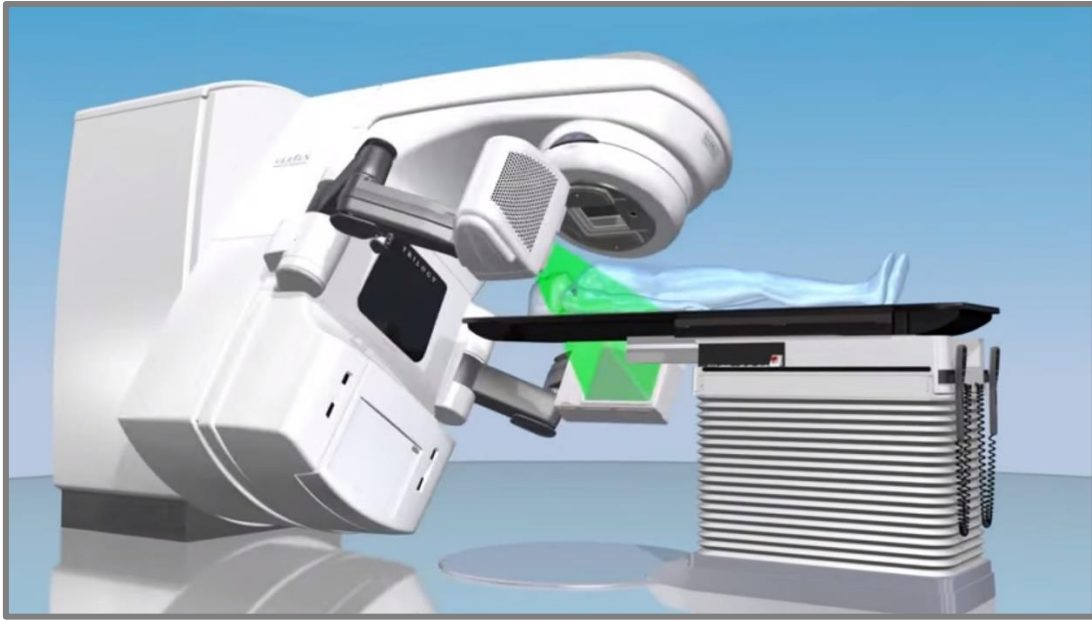
Tento detektor se nachází ve spodní části přístroje a podílí se tak na tvorbě 2D snímků pořizovaných samotným lineárním urychlovačem. Při konzultaci s panem doktorem Vladimírem Rakem z Masarykova onkologického ústavu v Brně vyplynulo, že kvalita těchto snímků není pro lékaře moc vyhovující a dokázali by si přístroj bez této možnosti představit. Tato možnost je však důležitá pro fyziky, kteří mají na starost naplánování celého procesu ozařování. Ten samozřejmě neprobíhá pouze na základě snímků pořízených tímto rentgenem, ale zejména na základě CT obrazu, který se pořizuje před ozařováním pacienta. [29]



Obr. 2-23 Rentgenový detektor u modelu Varian Trilogy [4]

CT

Novější verze urychlovačů mají kromě rentgenového detektoru také své vlastní CT zobrazovací zařízení. Systému, který s tímto CT obrazem pracuje, se říká IGRT - image guided radiotherapy. Oproti lineárnímu urychlovači, který tento přídavný prvek postrádá, je ozařování díky této technologii daleko přesnější. Doktoři jsou schopni získat aktuální 3D obraz, což jim umožňuje kalibrovat směr ozařování tak, aby byl shodný s předem naplánovanými daty. Na obrázku níže lze vidět vysunutá ramena s CT zařízením, které právě provádí snímkování. [18][30][31]



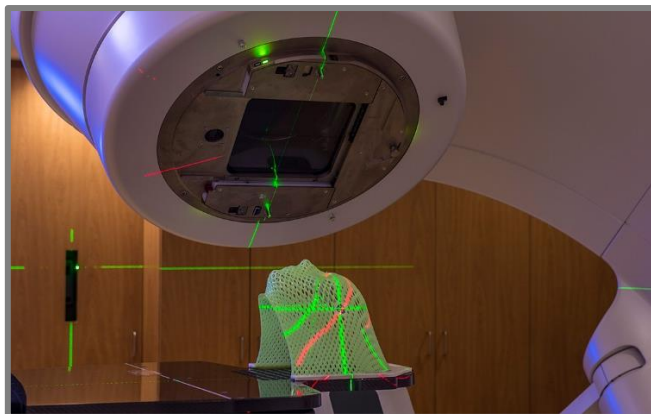
Obr. 2-24 Vytváření CT obrazu urychlovačem Varian v akci [32]

Zaměřovací lasery

K tomu, aby laboranti věděli, jak mají pacienty polohovat na stůl, slouží laserové ukazatele, které jsou umístěny ve zdech laboratoře a v hlavové části gantry urychlovače. Ty se musí po promítnutí na pacientovo tělo zcela shodovat s již předkreslenými značkami, které byly na pacienta zakresleny při plánování ozařovacího procesu. [29]



Obr. 2-25 umístění laserů [autor]



Obr. 2-26 znázornění práce s lasery [33]

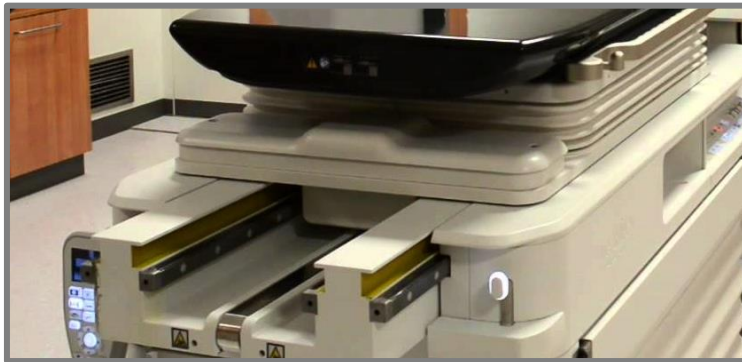
Polohovací stůl / lůžko

Při procesu ozařování i jeho plánování je pacient položen na stůl. Zde ho pomocí laserových ukazatelů a fixačních pomůcek uloží tak, aby během ozařování zůstal v klidu a nehýbal se. K tomu značně napomáhají fixační pomůcky, které mají za úkol pacienta do dané polohy fixovat tak, aby pro něj bylo co nejkomfortnější celou dobu ozařování vydržet. Je to velmi důležité, jelikož sebemenší pohyb by mohl znamenat velkou odchylku ozařovaného objemu a poškodit tak zdravou tkáň v těle pacienta. Stůl je zároveň otočný okolo osy, která prochází izocentrem, kolem kterého se gantry urychlovače otáčí. Při ozařování se tak může stůl otáčet, čímž umožní urychlovači ozařovat danou oblast z více úhlů. Polohovací stůl se může pohybovat jak okolo osy, tak i nahoru a dolů, doleva a doprava, či dopředu a dozadu. Součástí stolu může být ovládací panel a držák na ruční ovladač. [18][34]



Obr. 2-27 Pacient ležící na stole za chodu stroje Elekta Synergy [35]

Pohyb v horizontálních směrech je zajištěn kolejnicemi.

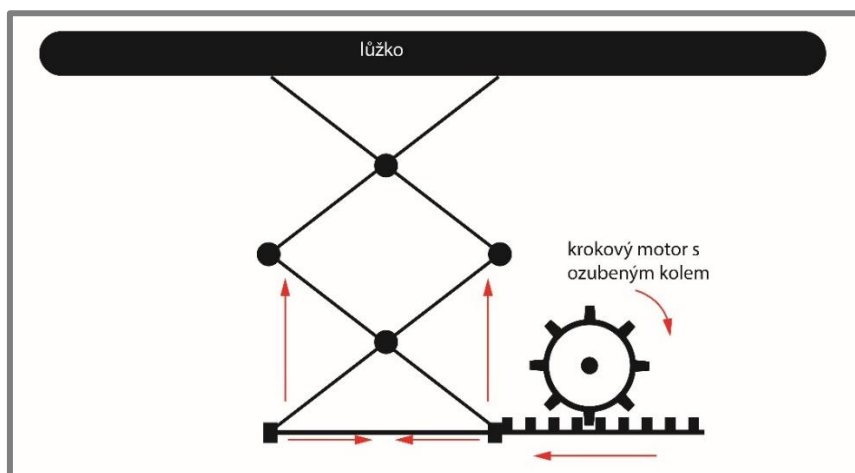


Obr. 2-28 – Detail na kolejnice [36]

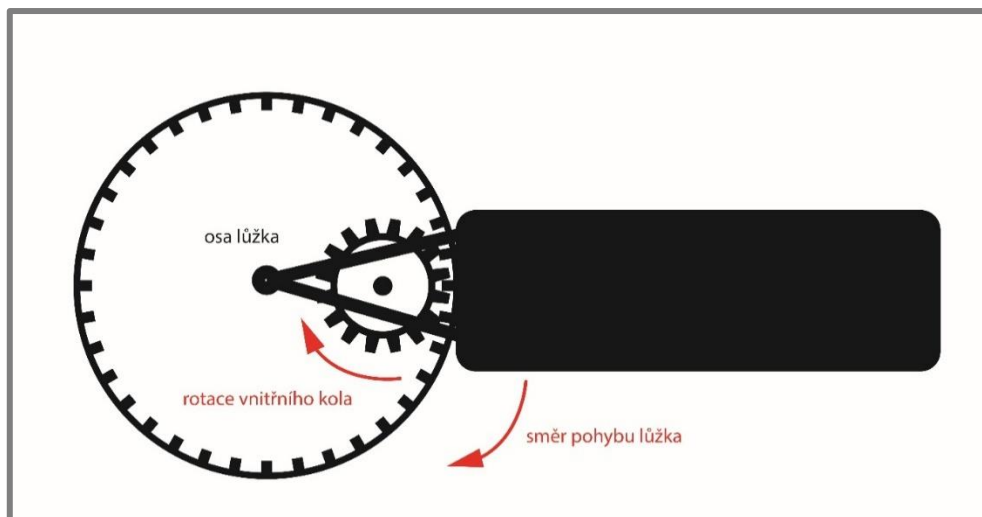
Pohyb ve vertikálním směru je umožněn pomocí pantografu. Ten může být polohován například pomocí krokového motoru s mechanickým převodem - ozubené kolo a hřeben (viz. obr. 2-28). Pohyb lůžka okolo své osy je zajištěn ozubeným soukolím, kdy je lůžko fixované ve středu této osy a zároveň k menšímu hnacímu ozubenému kolu, které se valí po obvodu většího kola. (viz. obr. 2-29)



Obr. 2-29 – Detail na pantograf a základy lůžka [37]



Obr. 2-30 – Schéma pantografu a jeho pohonu [autor]



Obr. 2-31 – Schéma pantografu a jeho pohonu [autor]

Ruční ovladač

Ruční ovladač umístěný na polohovacím stole může být se stolem spojen buď kabelem, nebo i bezdrátově. Obsluze stroje slouží zejména k polohování stolu při manipulaci s pacientem. Oproti starším ovladačům jsou novější typy vybaveny piktogramy, což při osobním setkání s laborantkami operujícími s tímto přístrojem bylo hodnoceno velmi kladně (viz. Obr 2-9 Starší a novější typ ovladačů).

Informační panely

Data o pacientovi a o tom, jak má být pacient polohován a fixován na stole, jsou laborantům k dispozici na monitorech umístěných v místnosti s urychlovačem. Jejich umístění se u jednotlivých přístrojů liší. Z hlediska ergonomie je nejpraktičtější umístění v těsné blízkosti urychlovače za pacientovou hlavou, jako je tomu například u zástupců *Elekta*. U urychlovačů *Varian* jsou tyto monitory často umístěny před pacientem a laboranti se tak při práci musí k pacientům otáčet zády.



Obr. 2-32 Informační panely urychlovače Elekta Infinity [38]

Fixační pomůcky

Jak bylo již v kapitole o polohovacím stole zmíněno, je velmi důležité, aby se pacient při procesu ozařování nehýbal a zamezilo se tak případným odchylkám v porovnání s naplánovanými daty. K tomu napomáhají pomůcky různých tvarů a rozměrů. V případě ozařování hlavy či krku se používají tzv. termoplastické masky, které zamezí pacientovi jakkoliv se pohnout, jelikož při ozařování takto rizikových částí těla je důraz na přesnost o to větší. V případě, že pacient není v úplné pohodě a s obsluhou přístroje plně nespolupracuje, nelze výkon provést. Proto se v případech ozařování malých dětí může aplikovat i celková anestezie, aby měli doktoři a laboranti nad takto mladým pacientem plnou kontrolu a zákrok byl co nejlépe proveditelný. [28]



Obr. 2-33 fixační pomůcky [autor]



Obr. 2-34 Termoplastická maska [39]

2.3.4 Použité materiály

K zakrytí velmi složitého vnitřního uspořádání přístroje jsou použity zejména plastové nebo laminátové kryty, což z hlediska designu skrývá velké možnosti ohledně případné inovace. Při dílech těchto poměrně větších rozměrů lze uvažovat o vakuovém lisování nebo klasickém laminování. Toto krytování může být obohaceno například led osvětlením v podobě led pásků, jak lze názorně vidět na přístroji *Varian Edge*. Konstrukce urychlovače musí být dostatečně tuhá. Proto jsou základem těchto

konstrukcí ocelové profily. Místa, která bývají nejvíce zasažena svazkem záření (např. lůžko), jsou vyrobena z karbonu, který tomuto záření nejlépe odolává.

2.3.5 Ergonomie

Jelikož se nacházíme v medicínském prostředí, je naprosto zásadní, aby přístroje vyhovovaly specifickým ergonomickým požadavkům. Protože jsou lineární urychlovače v dnešní době v podstatě plně automatizované, není potřeba, aby s nimi obsluha nějakým způsobem manipulovala. To znamená, že hlavním aspektem, na který by měl být kladen důraz, je celkový výraz a to, jak působí stroj na pacienta. Příhodné je tak oblejší tvarování, které v pacientech vyvolává větší pocit bezpečí, než ostré a hranaté tvary.

Hlavní důraz na ergonomii by tak měl být kladen na ruční ovladač, rozmístění tlačítek a umístění ovládacího panelu na polohovacím stole. Důležité je také přemýšlet nad umístěním informačních panelů, které by měly být viditelné z co nejvíce možných pohledů laboranta manipulujícího s pacientem.

2.3.6 Shrnutí

Z technologického a konstrukčního hlediska se na současné scéně objevují zpravidla urychlovače klasického typu, jako jsou zástupci firmy *Varian* a *Elekta*. Tyto urychlovače mají obrovskou výhodu v odzkoušené konstrukci, která je již několik dekád v podstatě neměnná. Výhodu mají i modely *Vero SBRT* a *ViewRay MRdian*, které mohou těžit z již odzkoušených a velmi podobných konstrukcí CT zařízení a přístrojů určených na magnetickou rezonanci, či tomoterapii. Toto prstencové či tunelové tvarování bývá často velmi spojitě a design je tak jednotný a celistvý. Nevýhoda těchto řešení se může projevit u pacientů trpících klaustrofobií, protože oproti modelům *Varian* a *Elekta* jsou tyto zástupci poněkud uzavřeni.

Cyberknife je díky své konstrukci spočívající v robotických ramenech jasným favoritem co se týče určování směru paprsku. Velkou nevýhodou je však omezení ozařování tímto ozařovačem na nádory pouze do 50 mm v průměru.

3 ANALÝZA POBLÉMU A CÍL PRÁCE

3

3.1 Analýza problému

3.1

Lineární urychlovač je přístroj využívaný v oboru radioterapie k léčbě onkologicky nemocných pacientů. Vzhledem k velmi složité technologii využívané tímto přístrojem a určitým ergonomickým předpokladům při procesu ozařování pacienta je vnější silueta přístroje takřka po celou dobu od 60. let 20. století neměnná. Jedním z důvodů jsou vysoké náklady na vývoj takovýchto zařízení, s čímž souvisí malá konkurence na trhu.

Klíčovým parametrem při procesu ozařování pacienta je počet úhlů pohledu, ze kterých může urychlovač pacienta ozařovat. V současné době jsou urychlovače konstruovány takovým způsobem, že se gantry otáčí okolo jedné horizontální osy. K tomu lze částečně polohovat lůžko okolo osy vertikální (viz. obr. 2-16). Obě tyto osy se musí protínat v tzv. izocentru. Žádný z urychlovačů, vyjma stroje *Cyberknife*, není možno v současnosti polohovat okolo zbývající třetí osy. Důvodem je pravděpodobně příliš náročná konstrukce. Při navrhování je tak potřeba počítat alespoň s rozměry stávajících urychlovačů. Výchozími rozměry pro statickou část urychlovače by měly být 2500 x 2000 x 2500mm (výška x šířka x hloubka). Nutné jsou taktéž dostatečné základy v podlaze laboratoří – alespoň 400mm. Takto zvolené výchozí rozměry by měly při správném tvarování gantry a statické části umožňovat jisté změny v konstrukci urychlovače a posílit tak jeho kinematické možnosti.

Aby byla léčba úspěšná, je rovněž velmi důležité, aby byl pacient v co největší psychické pohodě. Na to má pochopitelně vliv z velké části samotný design urychlovače, ale také prostředí, ve kterém se urychlovač nachází. I když je v poslední době moderních a dobře vypadajících laboratoří stále více, pořád se pacienti mohou setkat s poněkud zastaralými místnostmi, které nemusí působit na jejich psychiku pozitivně. Proto je při navrhování nového designu urychlovače takřka povinností počítat se zasazením přístroje do nejmodernějších laboratoří, se kterými se dnes lze setkat.

Problémem, který byl již uveden v kapitole 2.1.3 Vlastní fotodokumentace a její kritické zhodnocení, je umístění informačních panelů pro personál obsluhující pacienta na lůžku. To se však nedá považovat přímo za problém jednotlivých typů urychlovačů, jelikož tyto informační panely a jinou doprovodnou techniku častokrát poskytuje jiná společnost, než která vyrábí lineární urychlovače. I když přístroje mezi sebou vzájemně perfektně komunikují a jsou plně kompatibilní, je zřejmě kvůli variabilitě instalací těchto komponent velmi náročné tento problém vyřešit. K jeho úspěšnému řešení by tak bylo potřeba s ním počítat již při navrhování lineárního urychlovače.

Častou otázkou při navrhování nových produktů bývá otázka výroby jednotlivých dílů krytování a konstrukce. Jelikož se jedná o přístroj v přepočtu za desítky až stovky milionů korun a zpravidla se jedná o sériovou výrobu, není potřeba se zabírat počtem forem z hlediska prodražení výroby. Formy se pohybují v rámci desítek až stovek tisíc

korun a případné navýšení celkového rozpočtu na vyšší počet forem by ve výsledných nákladech na výrobu celého lineárního urychlovače nepředstavoval zásadní problém.

3.2 Podstata a cíle diplomové práce

Tématem této diplomové práce je design lineárního urychlovače pro onkologickou léčbu. Cílem je navrhnout unikátní design lineárního urychlovače a ručního ovladače tak, aby svým vzhledem částečně zpříjemnil léčbu těžce nemocným pacientům a zároveň respektoval kinematiku přístroje při terapii a ergonomii obsluhy. Nový návrh bude díky své konstrukci urychlovači umožňovat lepší polohování. Tím se zvětší počet úhlů pohledu na nádor a zefektivní se tak i léčba pacienta. Statická část, gantry a polohovací lůžko budou tvarově i barevně provázány, čímž se docílí vizuálního sjednocení těchto rozdílných částí celého přístroje. Při navrhování je třeba počítat i se zasazením přístroje do prostředí nejmodernějších laboratoří.

4 VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU

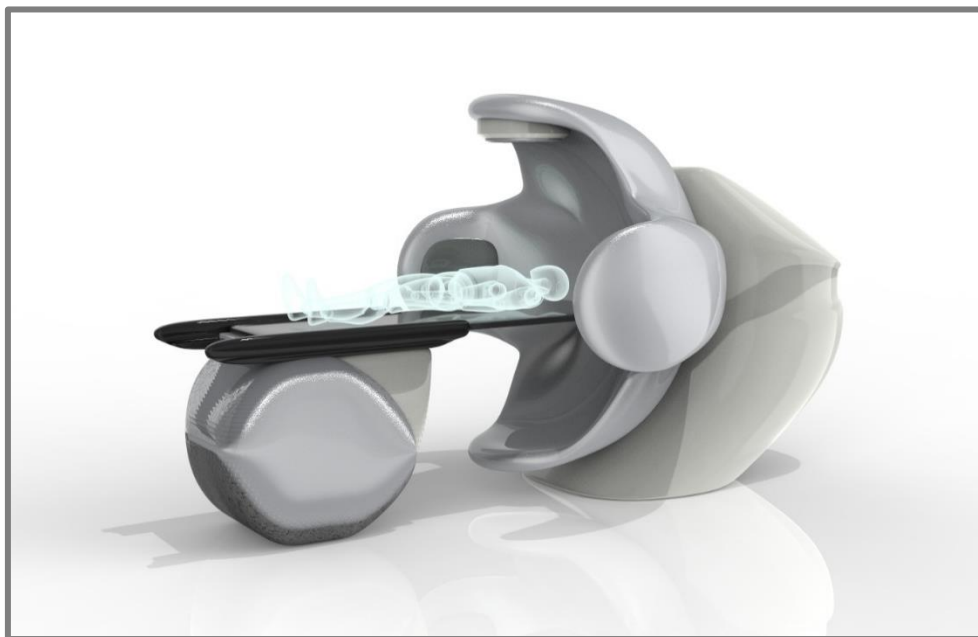
4

Ze současného stavu poznání vyplývá, že se na trhu objevuje několik druhů urychlovačů se specifickým tvarováním, určitou kinematikou pohybu a jistými možnostmi, jak pacienta skenovat a ozařovat. Při navrhování nového designu lineárního urychlovače je důležité všechny tyto poznatky o přístrojích zanalyzovat. Aby byl přínos designu nejen estetický, ale i praktický z hlediska účinnosti léčby, je klíčové návrhy stavět na hlavních přednostech již zavedených přístrojů a pokud možno tyto přednosti kombinovat a realizovat v jednom urychlovači.

4.1 Varianta č. 1

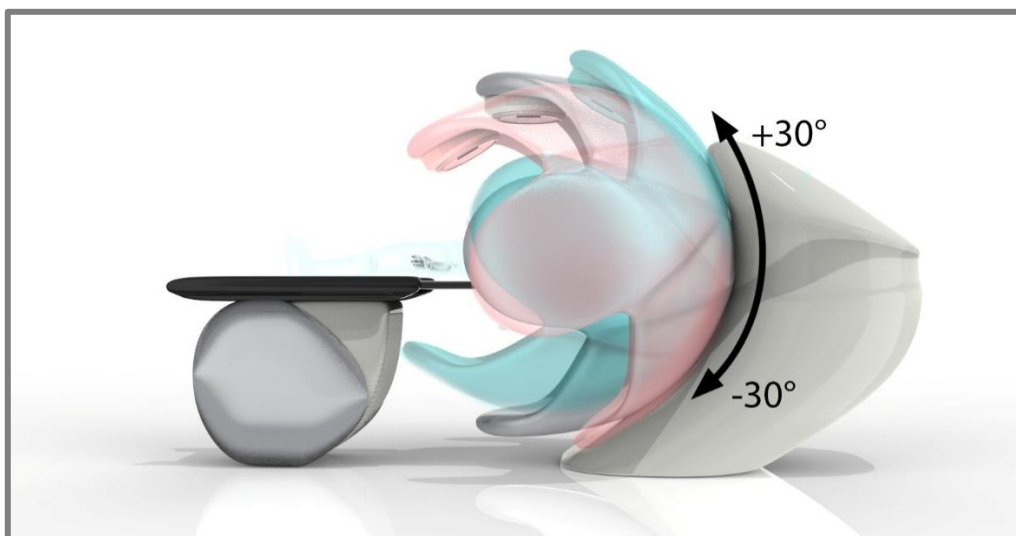
4.1

První varianta tvarově vychází z klasického řešení urychlovačů *Varian*. Koncept je však tvarován tak, aby panely pořizující CT obraz byly fixně spojeny s gantry. Celkový tvar tak není zbytečně rozčleněn a působí jako rozevírající se květ. To by mělo v pacientovi vyvolávat naději na úspěšnou léčbu. Značně tvarovány jsou i statické části lůžka a skříně, v níž je uchyceno gantry. Záměrem bylo se výrazně oprostit od klasického pravoúhlého tvarování, které v současné době stále můžeme vidět u používaných urychlovačů.



Obr. 4-1 Vizualizace varianty č. 1

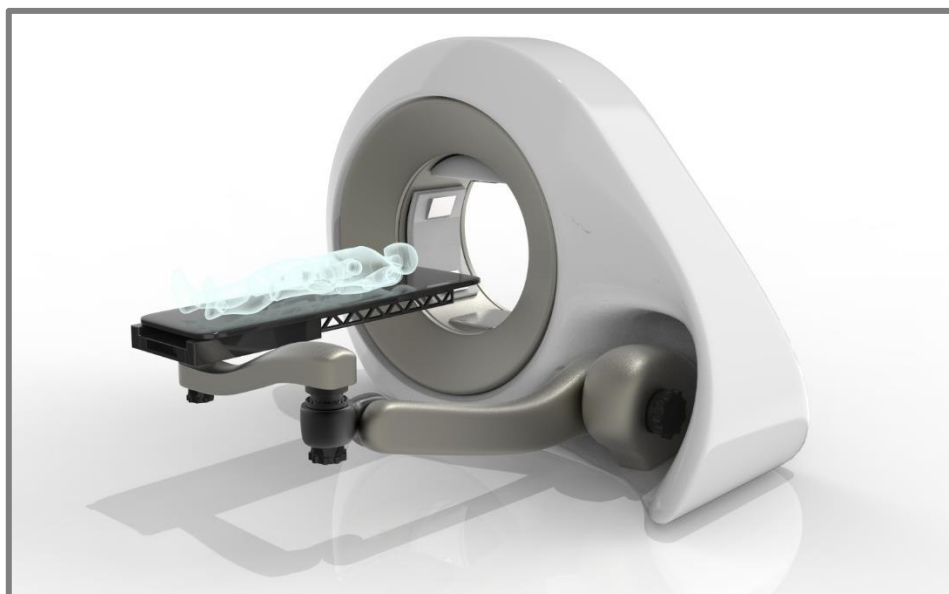
Poněkud pestřejší tvarování má však i praktický význam. Aby léčba byla co nejefektivnější, je bezpochyby důležité nádory ozařovat z co nejvíce možných úhlů pohledu. Gantry je v tomto návrhu obohaceno o částečnou rotaci okolo osy Y. Konkrétně pohyb o 30° v obou směrech umožní pacienta ozařovat o to lépe, než tomu bylo doposud u urychlovačů vycházejících z podobného konstrukčního konceptu. Tvaru gantry a zadní skříně je přizpůsoben i tvar lůžka tak, aby obě části přístroje tvořily harmonický celek.



Obr. 4-2 Vizualizace varianty č. 1 – boční pohled

4.2 Varianta č. 2

I když se v dnešní době objevují odlišná řešení urychlovačů, jako je například model *Vero* (viz. kapitola 2.1.2 Příklady stávajících produktů), jehož hlavním prvkem je otáčející se prstenec, nenajdeme na trhu urychlovač, který je spolu s lůžkem řešen jako jeden celek. Druhá varianta proto vychází z rotujícího prstence, jako tomu bývá u přístrojů CT, který je ukotven k zemi. Stejný výchozí bod jako gantry urychlovače má i lůžko, na němž leží ozařovaný pacient. Zde je konstrukce řešena pomocí robotického ramena, které se v současné době využívá například u *Cyberknife*. U této kompozice řešení se tak objevuje několik možností, jak tvarově a graficky tyto dva prvky do sebe napasovat tak, aby se jednalo o jeden propojený celek.



Obr. 4-3 Vizualizace varianty č. 2

Na první pohled se tak bude jednat pouze o jeden stroj, což by na psychickou stránku pacienta mělo působit kladněji a bezpečněji než souhra dvou strojů.



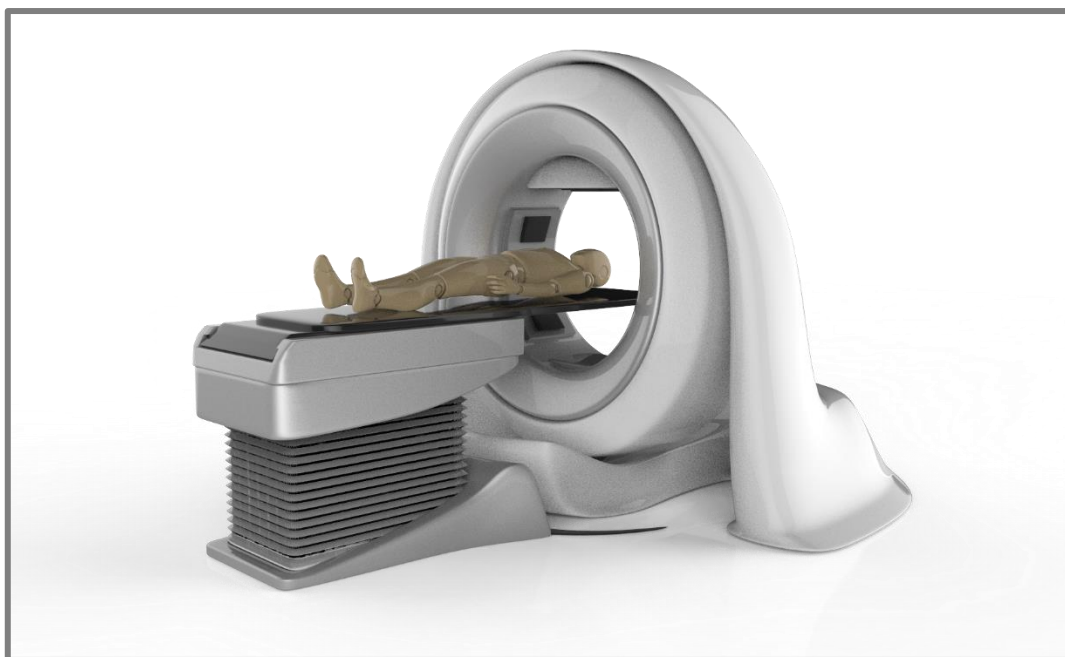
Obr. 4-4 Vizualizace varianty č. 2 – boční pohled

Co je popisováno jako výhoda tohoto návrhu však může být naopak obrovská nevýhoda. I když se robotické rameno uchopující lůžko na podobném principu používá u urychlovačů *Cyberknife*, je toto řešení zbytečně složité. Oproti použití několika kloubů, které by musely být velmi masivní, se klasické řešení v podobě pantografu a lineárních pojezdů lůžka jeví daleko jednodušší a konstrukčně jistější.

4.3 Varianta č. 3

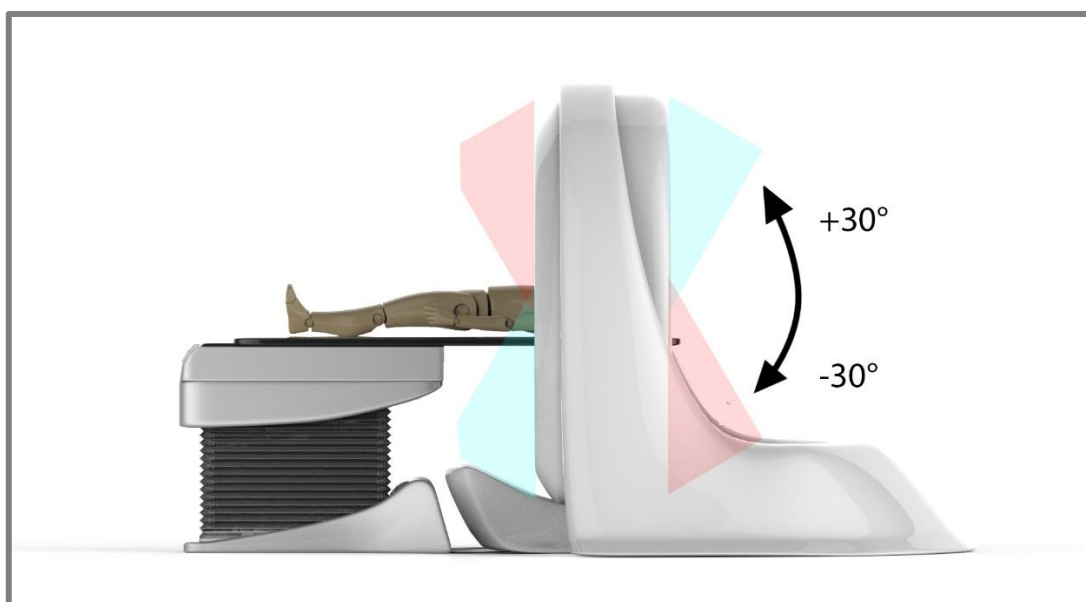
4.3

Třetí varianta je založena na ideji vytvořit alespoň vizuálně vyvážený celek urychlovače s lůžkem. Jelikož část s gantry je mnohonásobně těžší než lůžko s pacientem, lze vizuálně a pomocí vhodné konstrukce tuto primární část odlehčit. Zvolená konstrukce navíc stejně jako u první varianty přináší možnost rotace okolo osy Y, což přináší další možnosti úhlování ozařovače, tudíž lze karcinomy ozařovat z několika dalších úhlů, čímž se zvyšuje účinnost léčby. Základní tvar je složen ze dvou prstenců. Vnitřní rotuje okolo osy X tak, že se odvaluje po vnějším prstenci. Vnější prstenec je pak pomocí hřídele na každé straně přichycen k zakrytované konstrukci, která rovněž tvoří z velké části siluetu přístroje.



Obr. 4-5 Vizualizace varianty č. 3

I přesto, že vnitřní prstence mohou působit velmi těžkým dojmem, zbylá konstrukce je značně odlehčená a otevřená a měla by tak celkový dojem z urychlovače odlehčit. Tvarově je ve spodní části navázán i polohovatelný stůl, který je zde řešen klasickým způsobem, jako tomu bývá u současných urychlovačů – pantograf k vertikálnímu posunu a kolejnice k horizontálnímu posunu lůžka.



Obr. 4-6 Vizualizace varianty č. 3 – boční pohled

5 TVAROVÉ ŘEŠENÍ

Jako výchozí směr pro finální tvarové řešení byla zvolena koncepce varianty č. 1, která je založena primárně na klasickém kompozičním řešení urychlovačů *Varian* – tedy polohovací stůl, gantry a statický prvek urychlovače jsou plně zakrytovány v místnosti pro ozařování. Oproti výchozí variantě je však výsledek umírněnější a tvarově vyvážený. Polohovací stůl a statická část za gantry dostaly méně dynamický výraz.

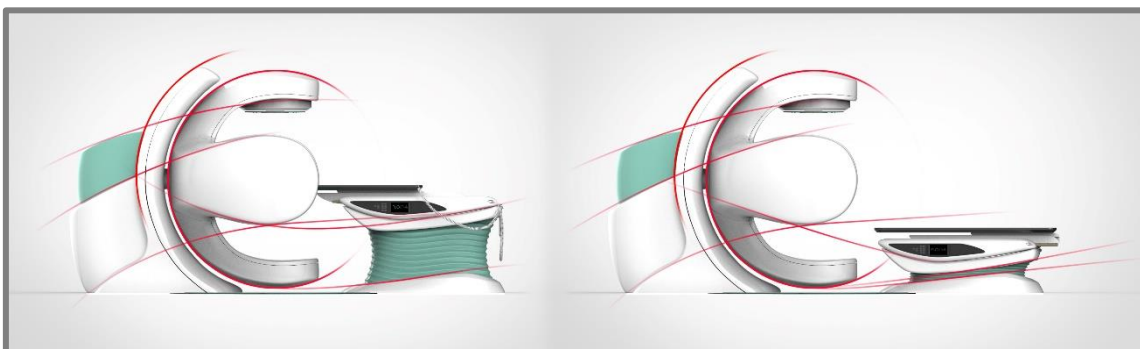


Obr. 5-1 Vizualizace finálního řešení – boční pohled

5.1 Proporční a kompoziční řešení

5.1

Jednoznačně nejdůležitějším předpokladem při určení výsledného tvaru celé sestavy bylo správné fungování přístroje, který je obohacen o klíčový kinematický prvek celého návrhu. Pro splnění tohoto předpokladu se při navrhování ukázalo, že kružnice je dominantní křivkou určující výslednou podobu přístroje. Gantry tak získalo dosud nevídanou podobu, jenž může připomínat květ rostlin. Hlavní linie polohovacího stolu a statické části za urychlovačem pak navazují na výše zmíněnou kružnici. To platí jak pro maximální zdvih lůžka, tak minimální krajní polohu. Jelikož se jedná o medicínský přístroj, bylo zvoleno oblé tvarování a eliminování co nejvíce ostrých hran.



Obr. 5-2 Křivky definující tvar



Obr. 5-3 Pohled na urychlovač při krajní horní poloze

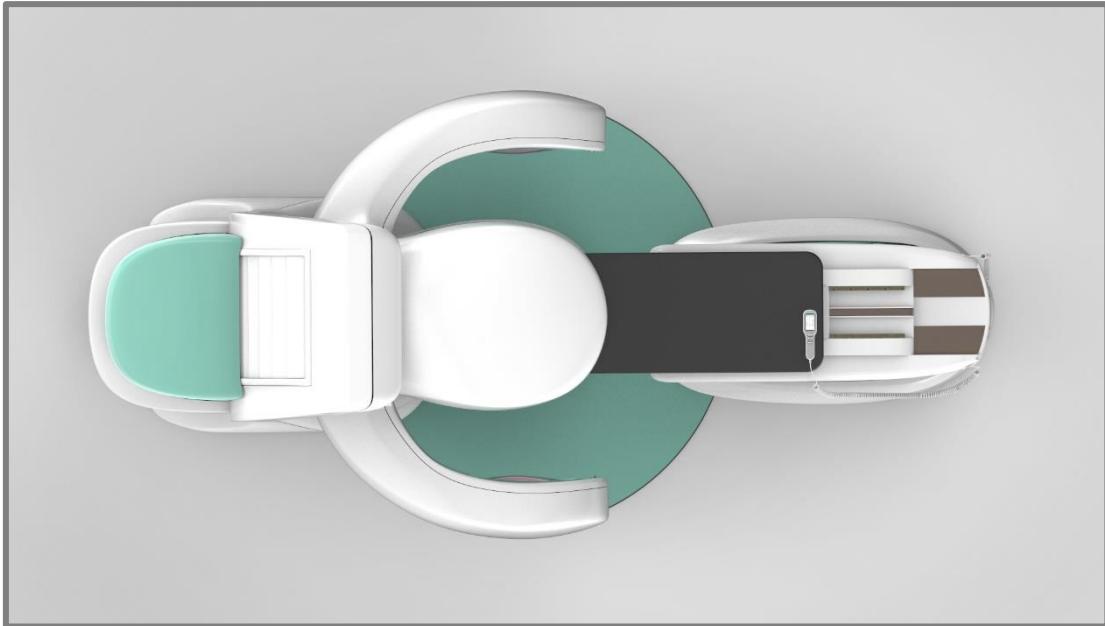
Z funkčního hlediska je stroj rozdělen na tři hlavní části, které však svým tvarováním a zvolenou barevnou kombinací působí jako jeden spolupracující celek. Cílem bylo tvarosloví jednotlivých částí sjednotit a vyhnout se výraznějšímu členění jednotlivých částí. Zadní část urychlovače je tvarově definována pohybem po kružnici, který gantry může vykonávat. Zadní kryty pak kopírují vnější linie těchto dvou dominantních objemů. Jelikož se pod hlavními kryty nachází velké množství komponentů nutných pro správný chod urychlovacího ústrojí, pohonných jednotek apod., bylo potřeba objemy těchto tvarů daným požadavkům přizpůsobit. Zvolenou konstrukcí a předpokladem, že hlavní zdroj napájení není umístěn pod stejnými kryty, se však podařilo docílit tvaru, který nepůsobí tak mohutným dojmem jako například některé modely společnosti *Varian*.



Obr. 5-4 Porovnání urychlovače s ergonomem

Při porovnání celé soustavy s člověkem získáváme skutečnou představu o tom, jak je přístroj rozměrný. To je zapříčiněno jednak již zmíněnými technologickými požadavky, ale také ergonomickými předpoklady.

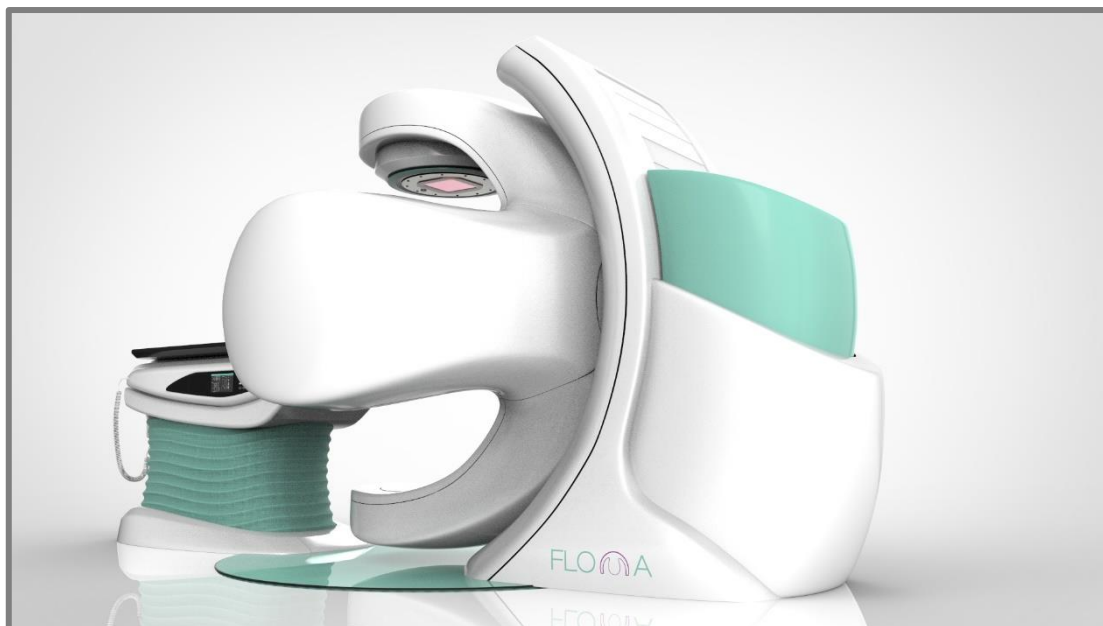
Koncept je díky svému tvarování vhodný do otevřeného prostoru laboratoře. Pokud by měl být postaven u zdi, vznikal by zejména v dolní části skříně slepý prostor, kde by se kulminoval prach a jiné nečistoty, což je v sterilních prostředích nemocnic zcela nežádoucí. Pohled shora nám ukazuje, že celá sestava je osově symetrická a tvarově velmi jednoduchá.



Obr. 5-5 Pohled shora

5.2 Zadní statická část urychlovače

Zadní část přístroje, která kopíruje vnější linii gantry, se skládá ze třech hlavních krytů. Ty mají za úkol krytovat zejména nosnou konstrukci celého urychlovače, vedení, potřebnou instalaci a také pohon samotného gantry.



Obr. 5-6 Pohled na zadní část urychlovače

Jelikož barevně odlišený kryt opisuje stejný pohyb po kružnici jako gantry, je potřeba, aby v největším zadním krytu byla dutina, kudy bude procházet instalace a hřídel motoru. Tento prostor je zakrytý zasouvacími lamelami, které zajišťují prachovou a částečně i hlukovou clonu.



Obr. 5-7 Lamelový posuvný kryt pohonu

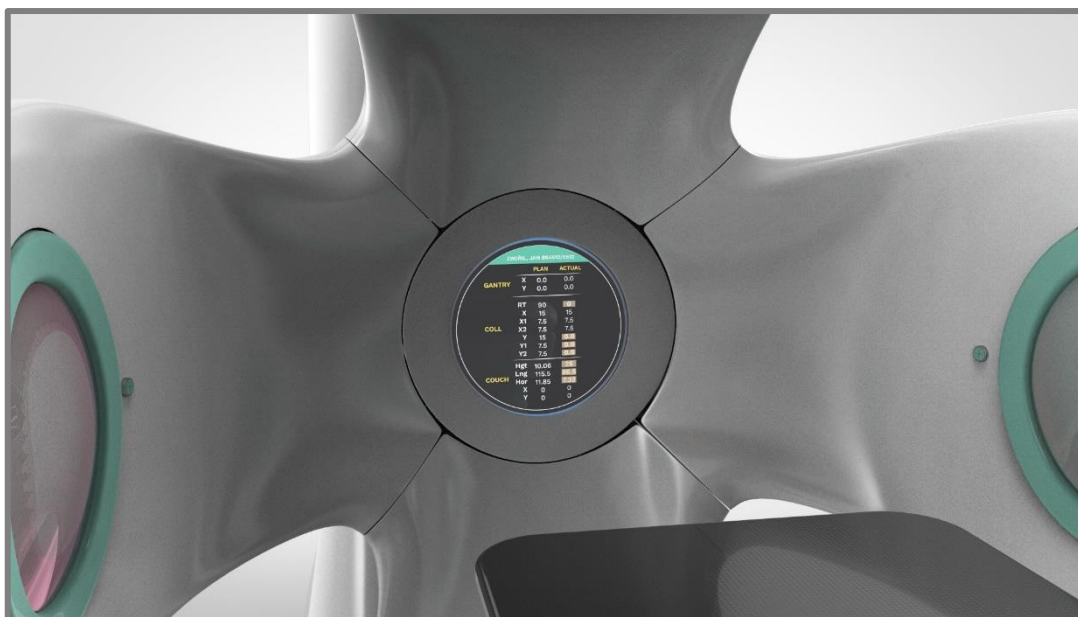
5.3 Gantry

Jak již bylo výše zmíněno, tvar gantry může připomínat rozevírající se květ rostlin. To je způsobeno mimo jiné záměrem udělat tvar symetrický podle dvou os. Navzdory tomu, jak složité ústrojí se vevnitř nachází, bylo cílem vytvořit velmi jednoduchý a prostý tvar, který bude počítat jak se začleněním urychlovače samotného, tak rovněž se začleněním zjednodušeného výpočetního tomografu (CT) a rentgenu, což bývá u dnešních urychlovačů již dlouhodobým standardem.



Obr. 5-8 Samotný tvar gantry

Osově symetrický tvar v sobě skýtá také výhodu při výrobě forem a krytů (viz. kapitola 6.1.8 Krytování). Horní část objemu květu zabírá samotný urychlovač a kolimátor. Naproti němu je umístěn flat panel. Horizontální elementy tohoto květu pak zabírají potřebné komponenty na funkci výpočetního tomografu a zaměřovací lasery. V samotném středu gantry se nachází sdělovací panel, na němž jsou promítány informace důležité k polohování pacienta před samotným startem procesu ozařování. Aby bylo i zde dodrženo oblé tvarování, všechny zmíněné elementy jsou kruhového půdorysu a vyjma objemnějšího kolimátoru ani jeden z nich tak výrazněji nevyčnívá svým zpracováním.



Obr. 5-9 Detail na nitro gantry

5.4 Polohovací stůl

Oproti současným podobám polohovacích stolů se i zde návrh liší svým zpracováním. Přispívá tomu organičtější tvarování, které však i přesto vychází z předpokladu správné funkce a zajištění stejné polohovatelnosti, jako je tomu při dnešních typech stolů. Výchozí tvar stolu je dán plynulou návazností na tvar gantry, jak je znázorněno na *Obr. 5-2 Křivky definující tvar*. Vrchní část stolu zabírá odolná karbonová deska, která slouží jako lůžko pro pacienta. Na boku se nachází velký ovládací panel, jehož součástí jsou dotykový displej, servisní přístup a mechanická tlačítka k ovládní pohybu lůžka. Tvar tohoto panelu kopíruje vnější linie horního dílu stolu, kde je tento panel zabudován.



Obr. 5-10 Boční pohled na polohovací stůl



Obr. 5-11 Pohled na ovládací panel stolu

Standartním a ideálním řešením pro uchycení ručních ovladačů je umístění v zadní části stolu. Zde je vložený samostatný plastový díl, na který jsou ovladače zavěšovány. Umístěním ovladačů do této zadní části se předchází kolizi pacienta při nastupování a sestupování z lůžka, což bývá zpravidla z boku stolu.

Charakteristickému výrazu dopomohlo i zvolení materiálu použitého na zakrytí pantografu, který zajišťuje vertikální pohon. V dnešní době se používají zejména měchy obdélníkového průřezu. To však nekoresponduje s oblým tvarováním celé soustavy. Inspirací při tvorbě nového typu měchu byla společnost *Foldcore GmbH*, která se zabývá vytvářením různých tvarových struktur pomocí ohýbacích technik. Díky aplikaci správně zvolené techniky by neměl být problém dosáhnout nepravidelného tvaru měchu bez nutnosti vnitřních výztuh.



Obr. 5-12 Detail na zadní část stolu a nové zpracování měchu

Spodní část stolu je pevně přichycena ke konstrukci ukryté pod středovým kruhem na podlaze. Zde se nachází pohybové ústrojí, jenž zajišťuje pohyb lůžka okolo svislé osy izocentra.



Obr. 5-13 Pohled na lůžko a středový kruhový kryt

5.5 Ruční ovladač

Neoddělitelnou součástí polohovacího stolu jsou dva ruční ovladače. Těmito ovladači může příslušná obsluha polohovat nejen polohovací stůl, ale v případě potřeby i gantry. Je to tak bezpochyby nejdůležitější nástroj pro obsluhu, která musí dokázat pacienta co nejpřesněji připravit do předem stanovené polohy. Jak již bylo zmíněno výše, ovladače jsou umístěny v zadní části stolu, s kterou jsou propojeny točeným kabelem zajišťujícím bezpečný a úplný přenos informací z ovladače do stolu a gantry. Točený kabel má také velkou výhodu ve své flexibilitě.



Obr. 5-14 Pohled na dvojici ovladačů

Vnější obrys ovladače byl přizpůsoben ergonomickým předpokladům a ovládacím prvkům, které se na ovladači musí nacházet. Dominantním prvkem, stejně jako u polohovacího stolu, je zde dotykový displej, který zabírá většinu horní části ovladače. Spodní část je pak přizpůsobena pohodlnému uchycení do rukou obsluhy. Po celém obvodu je ovladač značně zaoblený a drží se tak tvarové filozofie zbytku přístroje. Tvar a navržení hlavních plastových výlisků umožňuje přehození bočního spínače zprava doleva a naopak, aby se u lůžka nacházela verze jak pro praváky, tak pro leváky. Zmíněný boční spínač totiž slouží jako pojistka při manipulaci s ovladačem a při jakémkoliv úkonu je potřeba mít jej stlačený.

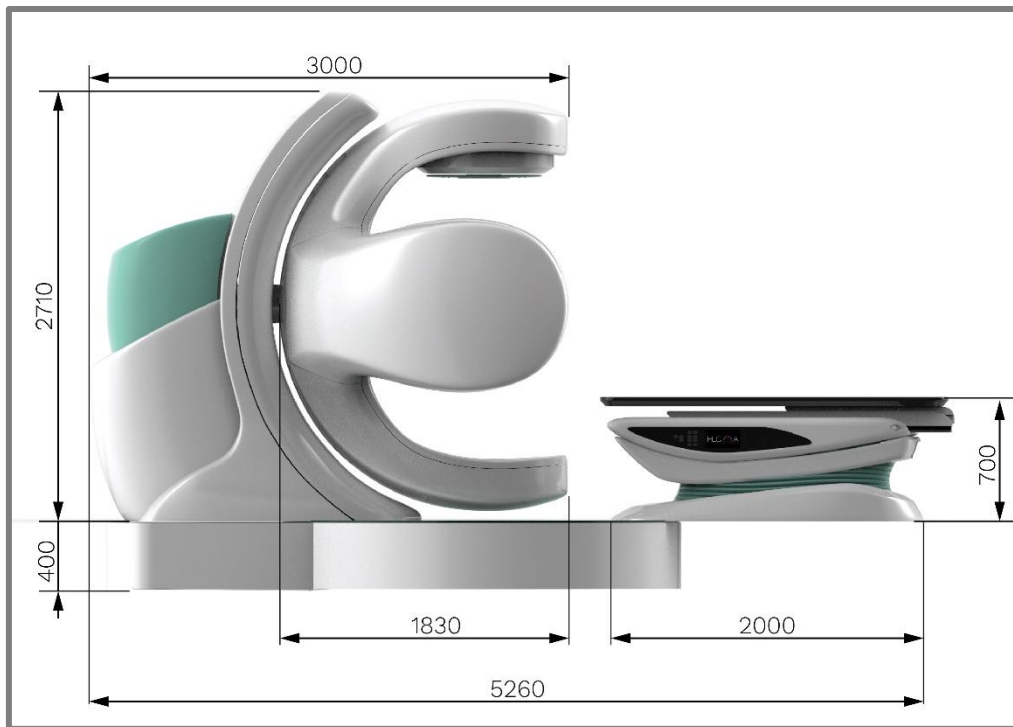


Obr. 5-15 Detail na pravou i levou stranu ovladače

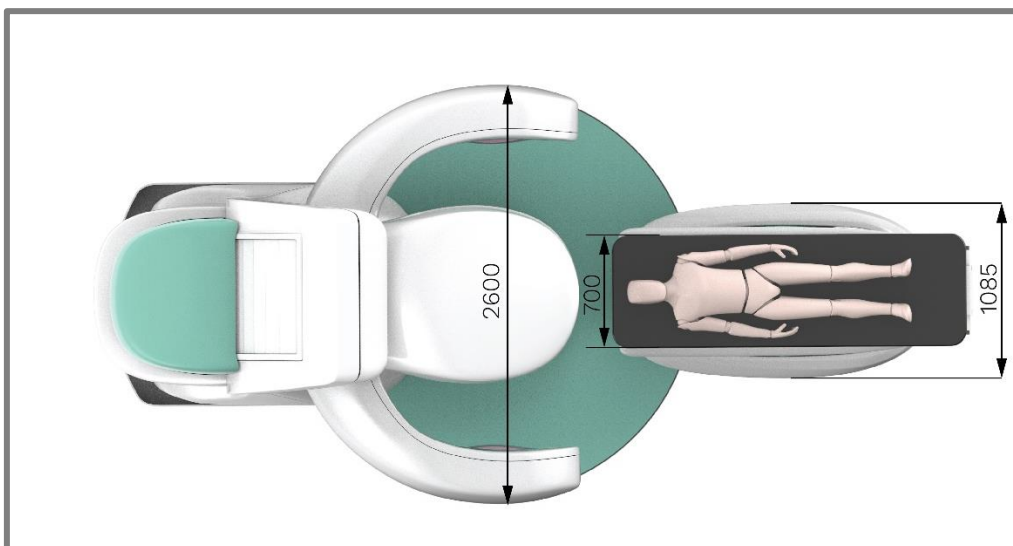
6 KONSTRUKČNĚ – TECHNOLOGICKÉ A ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ

6

Před detailnějším popisování celé sestavy je vhodné zmínit, že hlavní rozměry urychlovače a polohovacího stolu jsou větší než současné lineární urychlovače na trhu. Zdaleka se však nejedná o něco abnormálního. Protonové urychlovače svou konstrukcí a potřebným technickým zázemím zabírají několikanásobný prostor než tento koncept.



Obr. 6-1 Hlavní rozměry urychlovače – boční pohled



Obr. 6-2 Hlavní rozměry urychlovače – horní pohled

6.1 Konstrukčně-technologické řešení

Aby urychlovač fungoval správně i s novým konceptem kinematického řešení, bylo potřeba navrhnout vhodnou konstrukci, která by toto kinematické řešení umožňovala a byla tak alespoň vhodným výchozím bodem k případnému detailnějšímu řešení v oblasti konstrukce. Toto detailní řešení však není obsahem a cílem této diplomové práce, proto některé konstrukční aspekty popisovány níže budou znázorňovány pouze schematicky.

6.1.1 Rám a ukotvení urychlovače

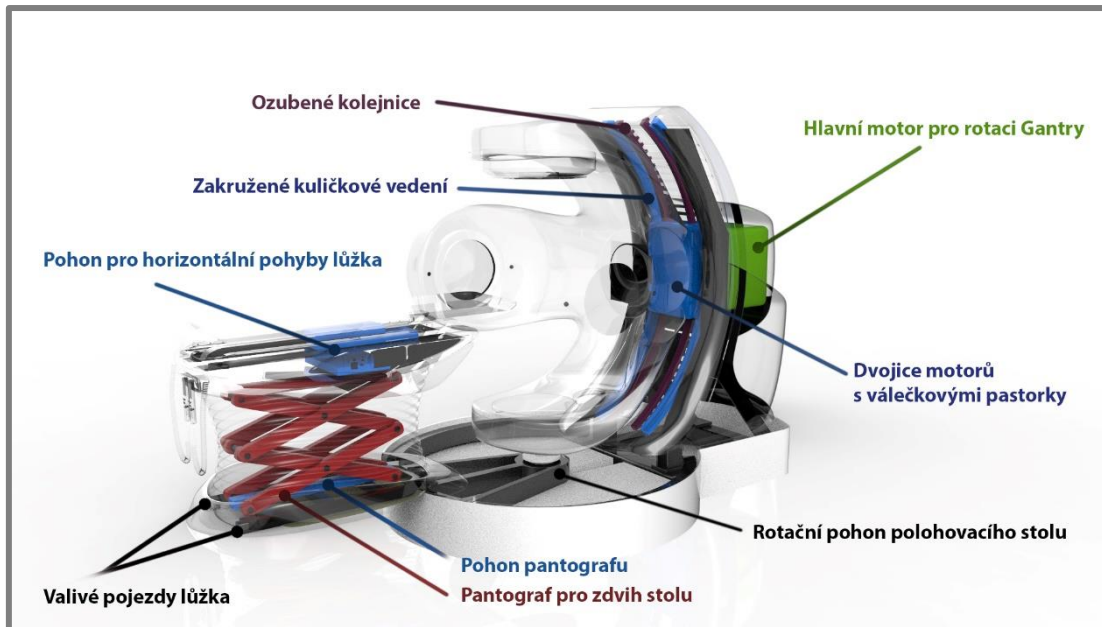
Jelikož samotné ústrojí urychlovače, kolimátor, výpočetní tomograf a pohonné jednotky gantry mají velkou hmotnost, která se v součtu může vyšplhat až přes hodnotu 1000 kg, je důležité počítat s tuhou konstrukcí, která celé soustrojí bude držet. Hlavní rám je proto volený ze silného H-profilu, který je navařen k jeklovému svařenci umístěnému v podlaze laboratoře, kde je urychlovač postaven. Minimální hloubka základů by měla dosahovat 400 mm. Tyto základy jsou společné jak pro urychlovač, tak pro pohybové ústrojí polohovacího stolu zajišťující jeho rotační pohyb.



Obr. 6-3 Nosná konstrukce a základy urychlovače

6.1.2 Pohonné jednotky

Soustava gantry a polohovacího stolu vykonává celkem dva rotační a čtyři posuvné pohyby. Je tak důležité brát v úvahu začlenění všech typů pohonů, které tyto pohyby budou schopny realizovat. Hlavním inovativním prvkem celého návrhu je nový typ pohybu gantry po kružnici. Proto bylo potřeba na výše zmíněnou konstrukci fixovat zakružené kuličkové vedení, které by umožňovalo přesné polohování gantry. Pohon pro tento typ pohybu zajišťuje dvojice motorů, kdy je každý z nich pomocí válečkového pastorku umístěn na vlastní ozubenou kolejnici.



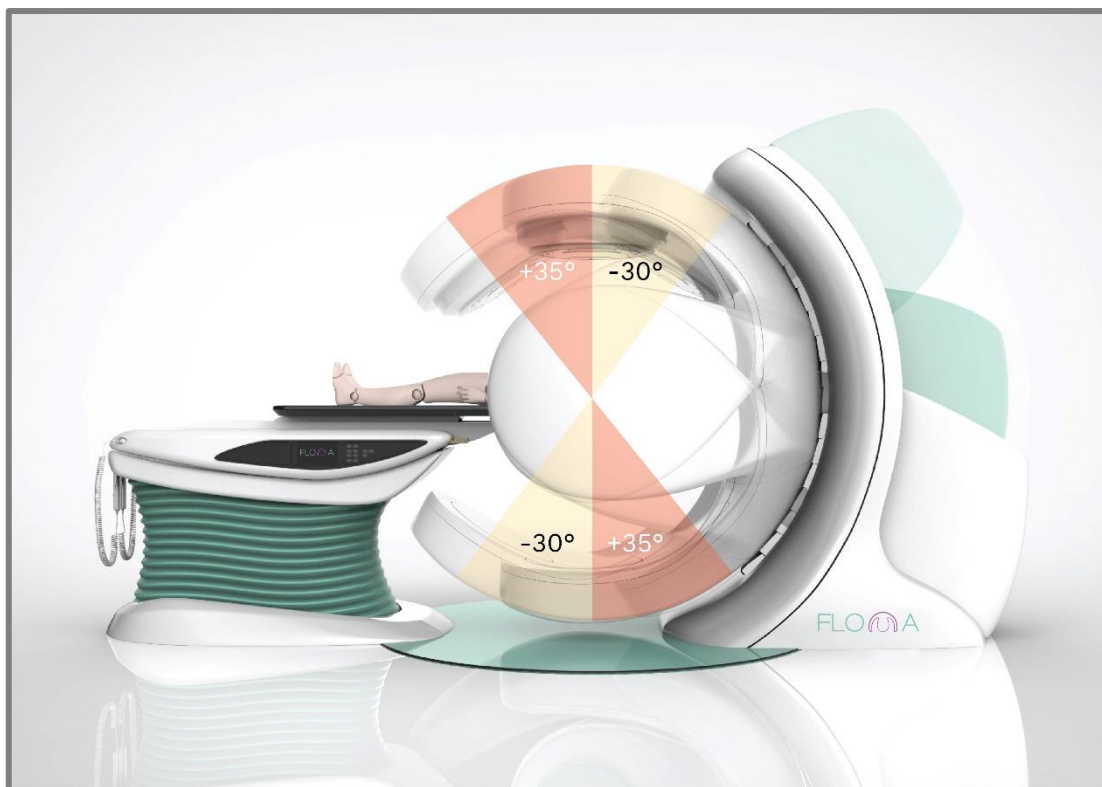
Obr. 6-4 Schéma pohybových ústrojí navrhované sestavy



Obr. 6-5 Příklad válečkového pastorku na zakruženém ozubeném vedení[40]

Neméně důležitý je motor, který umožňuje rotaci gantry okolo vlastní osy. Ten je ukotven k pevnému rámu gantry tak, aby se mohlo gantry současně pohybovat a pohánět jej tak i v krajních polohách. Uschován je pod krytem, který je barevně odlišen od zbytku urychlovače právě proto, že vykonává pohyb vůči zbytku statické části urychlovače, do které je tento motor jinak situován.

Krajní polohy urychlovače činí $+35^\circ$ a -30° . V obou těchto polohách je urychlovač schopen plné rotace okolo vlastní osy. A právě nové úhly pohledu na ozařovaný nádor jsou největší devízou tohoto návrhu. To by mělo napomáhat ke zvýšení přesnosti ozařování, s čímž je spojena i vyšší účinnost léčby, jelikož při všech těchto polohách je urychlovač schopen neustále upravovat intenzitu a tvar paprsku na základě snímání tumoru v reálném čase. K tomuto snímání slouží již několikrát zmíněné CT zařízení umístěné v horizontálních elementech gantry.

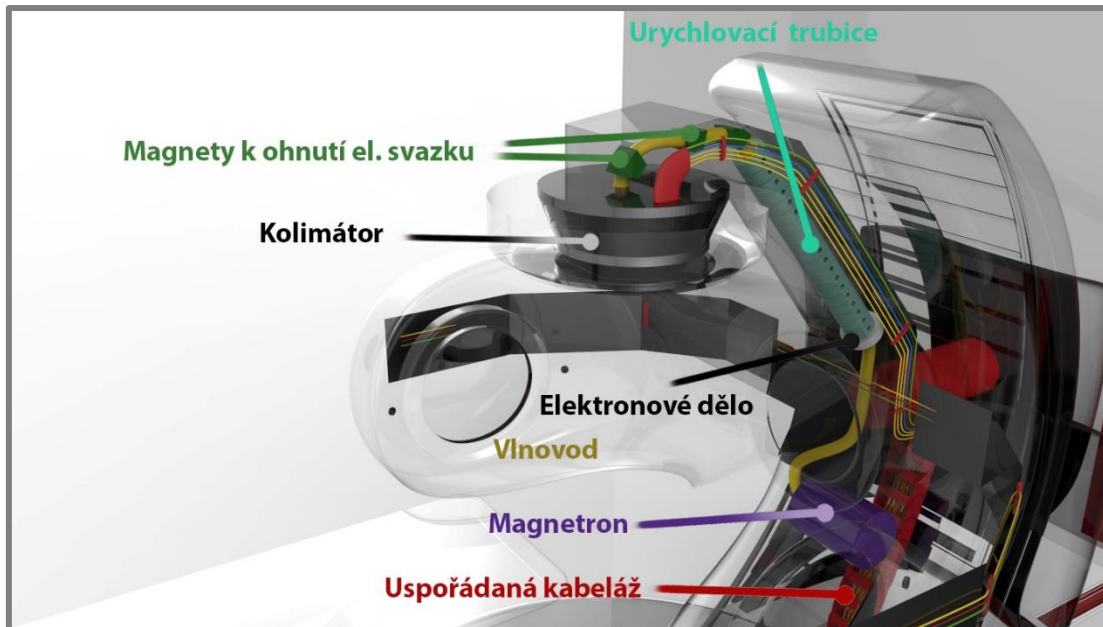


Obr. 6-6 Zobrazení krajních poloh gantry

Kromě tvarové diverzity nebyly v oblasti polohovacího stolu z technologického hlediska provedeny žádné změny oproti stávajícím produktům, které vykonávají svůj účel spolehlivě. Klasickým řešením pro zdvih stolu je pantograf umístěný pod krycími měchy. V horní části stolu jsou poté ukryty lineární pohony umožňující pohyb lůžka v horizontálních směrech. Rotační pohyb pak zajišťuje pohonná jednotka, která je umístěna pod středovým kruhem v základech přístroje. K tomu je v přední části lůžka pevně přikotveno. V zadní části jsou pak umístěny valivé pojezdy, pomocí kterých může celý stůl jezdit po podlaze.

6.1.3 Urychlovací ústrojí

Jak již bylo v technické analýze detailněji popsáno, hlavními komponenty pro samotný proces ozařování jsou výkonný zdroj, klystron/magnetron, vlnovod, elektronové dělo, urychlovací trubice a kolimátor. Protože gantry vykonává rotační pohyb a je se statickou částí pojeno jen mohutnou hřídelí, je vhodné veškeré potřebné napájení gantry umístit co nejbližší samotnému středu, aby kabely nebyly ještě více namáhány než při samotné rotaci. Proto je magnetron umístěn těsně pod tímto středem. V této části je dostatečný prostor pro samotný magnetron a z něj ústící vlnovod do elektronového děla. Odtud jsou elektrony v 1000 mm dlouhé urychlovací trubici urychlovány na hodnotu blízkou rychlosti světla. Těsně před vyústěním paprsku do kolimátoru je svazek elektronů postupně ohnut skrze systém ohýbacích magnetů. Následuje náraz svazku do kobaltového terčiku a tvarování paprsku v kolimátoru, kterému bude věnována následující kapitola.



Obr. 6-7 Vnitřní uspořádání komponent urychlovače

Vedle hlavních ergonomických předpokladů bylo pro výsledné tvarové řešení a rozměry gantry stěžejní také umístění urychlovací trubice a s ní spojených komponent.

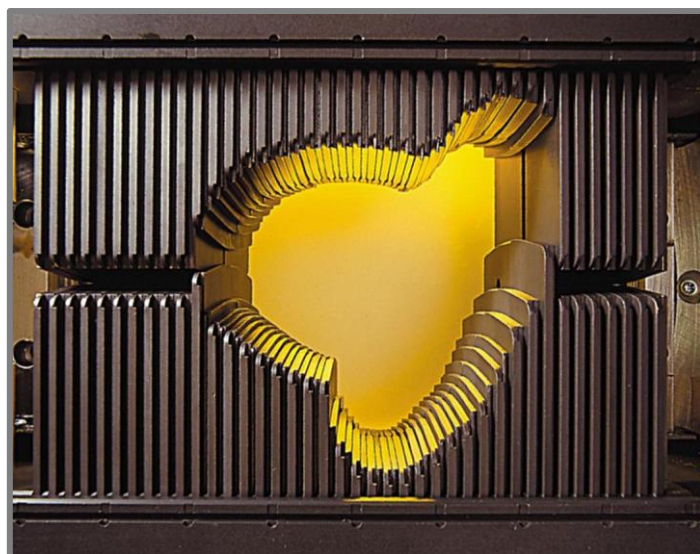
6.1.4 Kolimátor

Stejně jako u polohovacího stolu, i v oblasti kolimátoru nedošlo k žádným technologickým změnám, protože v současné době je tato část urychlovače na vysoké úrovni a případné změny v této oblasti by přesahovaly rámec zadání této diplomové práce. Proto návrh počítá se začleněním kolimátorů, které používají firmy *Varian* nebo *Elekta* (viz. Obr.22-Vícemelový kolimátor).

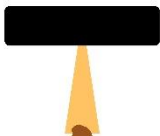

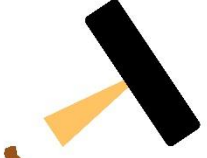
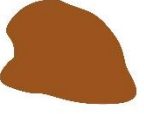


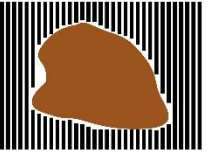

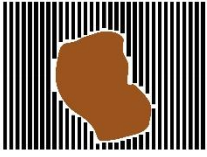
6.1.4



Obr. 6-8 Hlavice urychlovače s kolimátorem



Obr. 6-9 Detail na lamely kolimátoru [41]

poloha kolimátoru			
pohled na nádor z kolimátoru			
tvarování otvoru podle lamel			

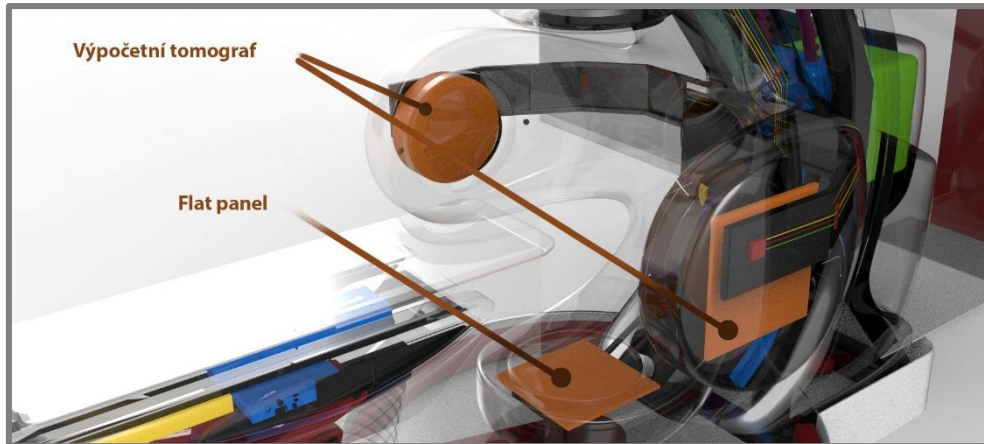
Obr. 6-10 schéma funkce lamel

6.1.5 Výpočetní tomograf, flat panel a zaměřovací lasery

Výpočetní tomograf neboli CT, je umístěn v horizontálně situovaných elementech gantry, jak tomu u většiny současných urychlovačů bývá. Některé současné typy, zejména pak od firmy *Varian*, mají tyto panely polohovací, aby při mezním polohování gantry nepřekážely při jeho rotaci. Nicméně díky nové kinematice přístroje mohly být tyto panely fixně připevněny k tělu gantry, aniž by omezovaly jeho pohyb při ozařování.

Nutno podotknout, že se jedná pouze o zjednodušenou verzi výpočetního tomografu. Pořízená data se plně nevyrovnají datům získaných z přístroje, který je primárně určen pouze pro výpočetní tomografii. Před samotným ozařováním je nádor lokalizován právě pomocí profesionálních tomografů či magnetických rezonancí a na základě

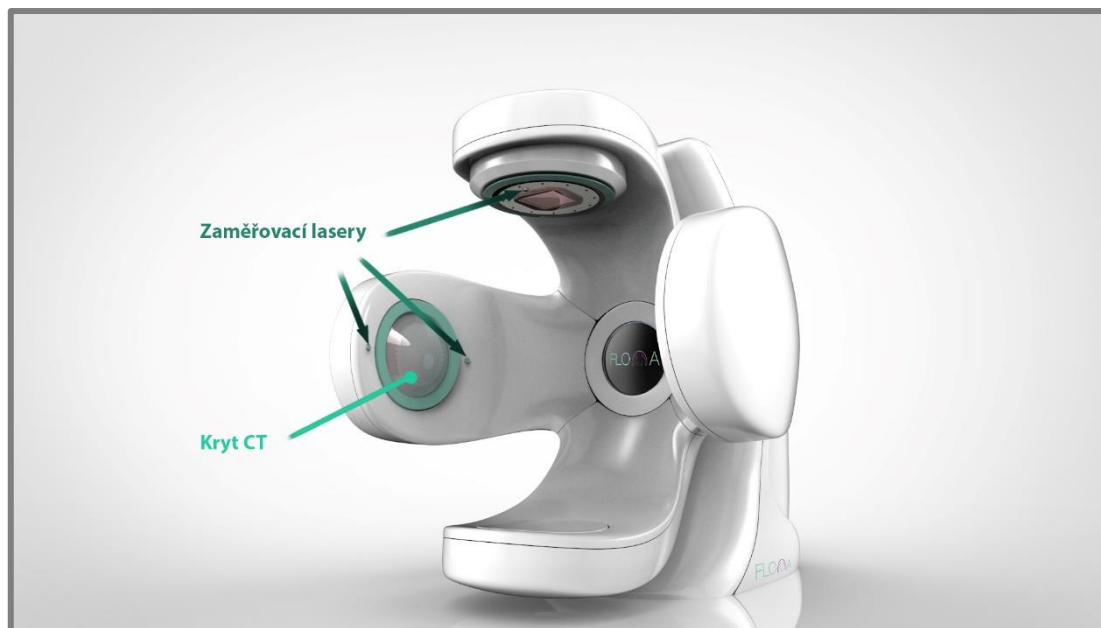
těchto výsledků je stanovena přesná poloha tumorů. Zjednodušená verze CT umístěného na urychlovači pak slouží pouze ke kalibraci s předem získanými daty. A právě proto, že se jedná o zjednodušenou verzi tohoto přístroje, není potřeba k jeho uchycení ke gantry výraznějších výztuh.



Obr. 6-11 Schéma uložení CT a Flat panelu

Flat panel, který zachycuje promítané záření vycházející z nitra kolimátoru, je pak schopen vykreslovat rentgenové snímky horší kvality. Na základě diskuze s MUDr. Vladimírem Rakem z MOU v Brně jsou však tyto snímky pro doktory nevhodné. Používají se pouze při plánování léčby anebo stejně jako u CT pro kalibraci.

Z venku jsou tyto instalované systémy zakryty kryty, které jsou totožné jak na pravé, tak na levé straně. Pokud by ve velmi nepravděpodobné situaci mělo dojít ke kolizi s pacientem, jsou tyto kryty částečně vyboulené a při kolizi spustí mechanické čidlo, které celý urychlovač zastaví. Tato čidla jsou umístěná také na barevně zvýrazněné části hlavičky s kolimátorem. Vedle vyboulených krytů se pak nachází směrovací lasery, které jsou namířeny do izocentra celé soustavy. To je provedeno z důvodu, že horizontální elementy gantry jsou fixní a stínily by tak laserům, které jsou v současné době umístěvány ve zdech laboratoře (viz. kapitola 2.3.3 Vnější části urychlovače). To však napomáhá i určité soběstačnosti přístroje a eliminaci zásahu do vnějších prostor ozařovny. Jeden zaměřovací laser se pak objevuje i na samotné hlavičce s kolimátorem. Toto řešení je dnes standardní.



Obr. 6-12 Rozmístění zaměřovacích laserů

6.1.6 Zobrazovací panely

Zobrazovací panely jsou pro personál velmi důležité, jelikož se na nich nachází údaje o jednotlivých pacientech, kteří podstupují terapii ozařování daným urychlovačem. Údaji jsou myšleny zejména souřadnice určující správnou polohu pacienta před zahájením ozařování.

Klíčovým byl vhodný výběr obrazovky, která bude umístěna v samotném středu květu gantry, který je kruhový. I když se v současné době na trhu používají kruhové displeje, jejich použití je omezeno zejména na menší produkty, jako jsou např. hodinky. Proto koncept vycházel z předpokladu umístit do středu klasický panel obdélníkového průřezu. Aby byla plocha sdělovače co nejvíce využita, bylo klíčové najít displej s poměrem 4:3 nebo dokonce nižším. Na základě průzkumu nabídky bylo zjištěno, že tyto poměry stran nejsou v dnešní době standardní, a tak populární, jako například poměry 16:9 a 16:10.

Firma *Eizo* má však ve své nabídce stále model s označením *FlexScan*, který disponuje poměrem stran 1:1. Jedná se o 26,5 palcový IPS panel s rozlišením 1920x1920 pixelů. Výhodou IPS technologie jsou výborné pozorovací úhly, což je při tomto použití výhodou. Panel je přichycen na konstrukci gantry a krytý plexisklem. Kulatý tvar znázorňující se na obrazovce je pak umožněn správným naprogramováním grafiky uživatelského prostředí. [43][44]



Obr. 6-13 IPS panel v nitru gantry

Sdělovač implementovaný do polohovacího stolu je desetipalcový dotykový displej, který se běžně používá u dnešních tabletů. Dotykový panel byl zvolen proto, aby bylo možné eliminovat některá tlačítka, která personál používá velmi zřídka.



Obr. 6-14 Dotykový 10" displej na bocích polohovacího stolu

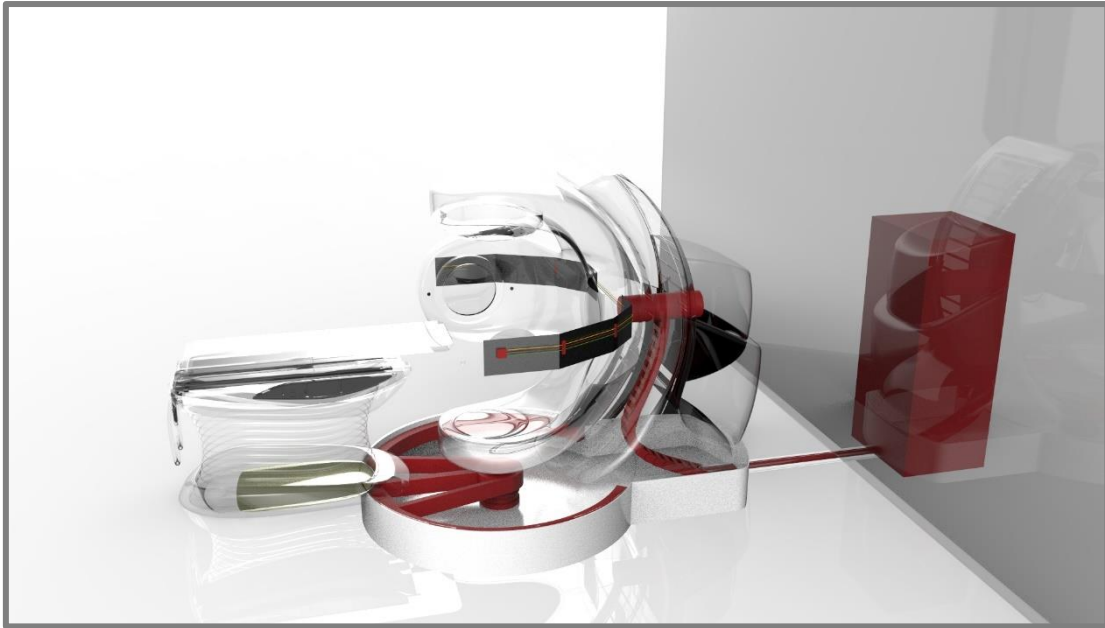
Poslední zobrazovací panel se nachází na ručním ovladači, kde byl zvolen čtyřpalcový dotykový displej. I zde má personál přístup ke všem potřebným datům a není tak pouze odkázán na hlavní sdělovač ve středu gantry nebo na boku stolu. Zároveň v sobě zaštituje (stejně jako u stolu) tlačítka, která personál běžně nepoužívá.



Obr. 6-15 Dotykový 4' na ručním ovladači

6.1.7 Napájecí zdroj

Pro správný chod urychlovače je bezpochyby zapotřebí velké množství elektrické energie (viz. Technická analýza). Protože cílem práce bylo částečně odlehčit objem urychlovače a zvýraznit tak samotné tvarosloví gantry, nezbylo již mnoho prostoru pro vsazení zdrojové jednotky do těla statické části urychlovače. Proto je potřeba počítat se samostatnou oddělenou místností pro toto technické zázemí. Veškeré napájení urychlovače je pak z této místnosti vedeno pod podlahou v místnosti. To se může na první pohled jevit neprakticky, nicméně pro komfort pacienta je to jistým způsobem zásadní. Zdrojová jednotka vydává poměrně značný hluk, což by nemuselo působit na pacienta kladným dojmem. Na trhu by toto řešení nebylo výjimkou – společnost *Elekta* ukrývá do vedlejší místnosti veškeré technické zázemí urychlovače a pacient je ve vizuálním kontaktu pouze s panely pro CT a samotným ozařovačem.

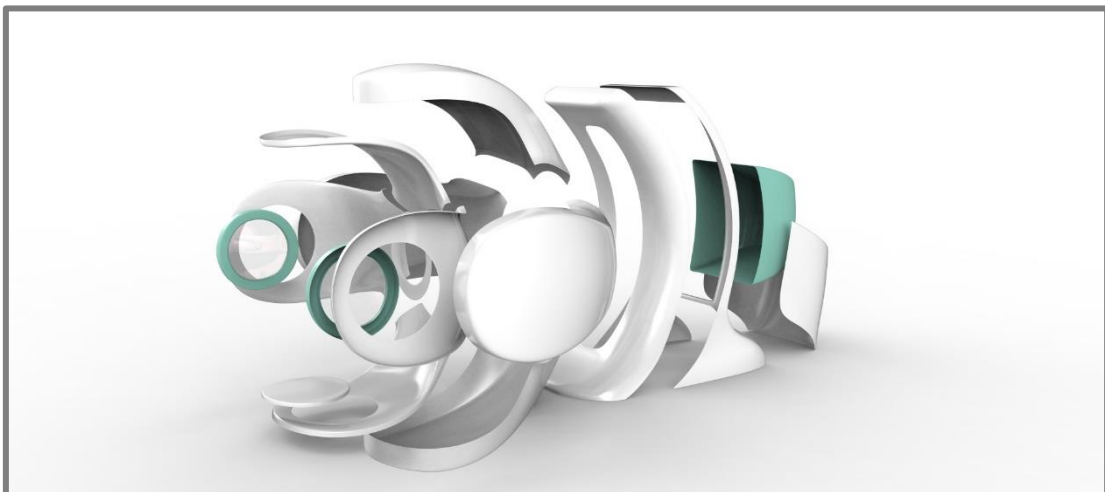


Obr. 6-16 Schématické znázornění napájení sestavy urychlovače

6.1.8 Krytování

6.1.8

Lineární urychlovač pro onkologickou léčbu je značně finančně náročné zařízení a počet vyrobených strojů ročně se pohybuje řádově v desítkách kusů. Proto bylo laminátové krytování zvoleno jako adekvátní pro tento typ stroje. Tvar gantry, který je symetrický podle dvou os, představuje značnou výhodu z hlediska výroby forem. Na zakrytí 90 % gantry postačí osm krytů. Díky symetrii je na výrobu těchto krytů zapotřebí pouze dvou forem. Vnitřní kryty jednotlivých segmentů květovitého tvaru jsou totiž totožné. Disponují rozměrným otvorem, do kterého se zasadí další kryt na základě předpokladu, jaký druh systému nebo jaké komponenty se pod daným krytem právě nachází (hlavice, CT, flat panel). Vnější kryty jsou pak plně uzavřené.



Obr. 6-17 Rozdělení hlavních krytů urychlovače

Zadní statická část urychlovače je rozdělena na čtyři hlavní kryty. Největší jsou dva kryty, které zakrývají hlavní rám a vedení celého urychlovače. Další je kryt vymežující

prostor pro zasunutí hnacího motoru gantry. Nejmenší (a barevně odlišený) kryt pak zakrývá zmíněnou hnací sílu. Jak u gantry, tak u zadní části stroje, byly dělicí spáry zvoleny tak, aby bylo potřeba pouze jednoduchých jednodílných forem.

Pouze u polohovacího stolu, který se skládá ze třech laminátových krytů, bude zapotřebí dvou dvoudílných forem pro dvě horní části tohoto stolu.

6.1.9 Použité materiály

Jak bylo v předešlé kapitole zmíněno, koncept počítá s výrobou laminátových krytů o tloušťce 3-4 mm. Pokud by se razantním způsobem měla zvýšit produkce urychlovačů, lze uvažovat o použití např. ABS plastu a hlavní kryty urychlovače vyrábět vakuovým lisováním.

U otvoru pro hlavní sdělovací panel v samotném středu gantry je vhodné použití plexiskla díky jeho dobrým odolným vlastnostem. V porovnání se sklem je i jeho implementace vhodnější z hlediska bezpečnosti.

Samotný rám je tvořen převážně z H-profilu. Konkrétně se jedná o profil HEB vyrobeného z oceli s označením S355J2 EN.

Část přístroje, která přichází nejvíce do styku s radioaktivním paprskem, je beze sporu lůžko, na kterém pacient leží. Běžně se pro výrobu tohoto lůžka proto používá karbon, který díky svým vlastnostem nejlépe odolává zmíněnému radioaktivnímu záření. Jelikož lze urychlovač využít pro téměř všechny věkové kategorie lidí, nosnost lůžka musí být dimenzována i pro urostlé jedince nebo pacienty trpící nadváhou. Zároveň je důležité, aby nedocházelo k prohýbání lůžka, což v případě použití právě karbonu nehrozí díky jeho vysoké pevnosti.

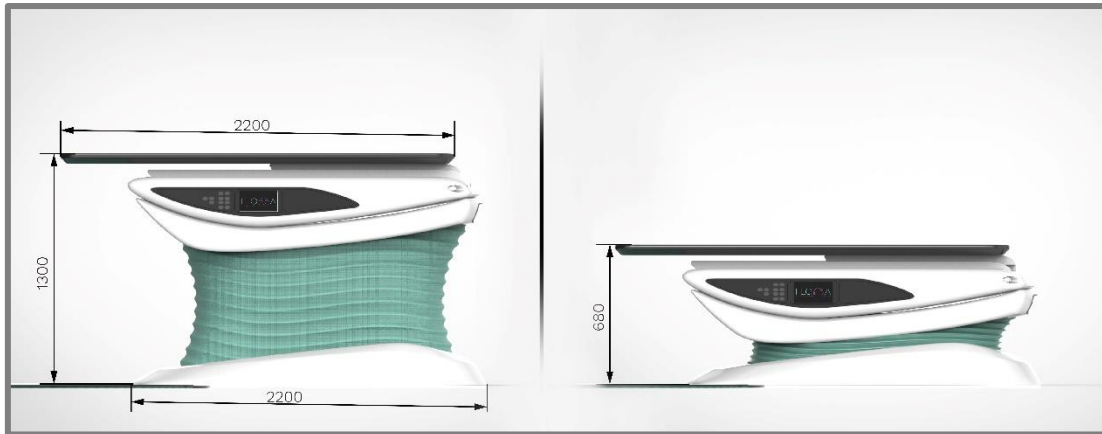
U nového typu měchů nelze předpokládat jeden konkrétní materiál pro jeho výrobu. Jedná se o koncept a materiál by měl být dostatečně tvárný, hydrofobní a chemicky odolný. Tvárný proto, aby bylo možné docílit požadované vlnité struktury. Hydrofobní a chemicky odolný kvůli snadné omyvatelnosti čisticími prostředky. Lze tak předpokládat použití tkaniny v kombinaci se silikonem.

6.2 Ergonomické řešení

U medicínských přístrojů a zařízení se obecně klade velký důraz na ergonomickou stránku designu s ohledem na bezpečnost a komfort pacienta, s čímž je spojena i efektivita léčby.

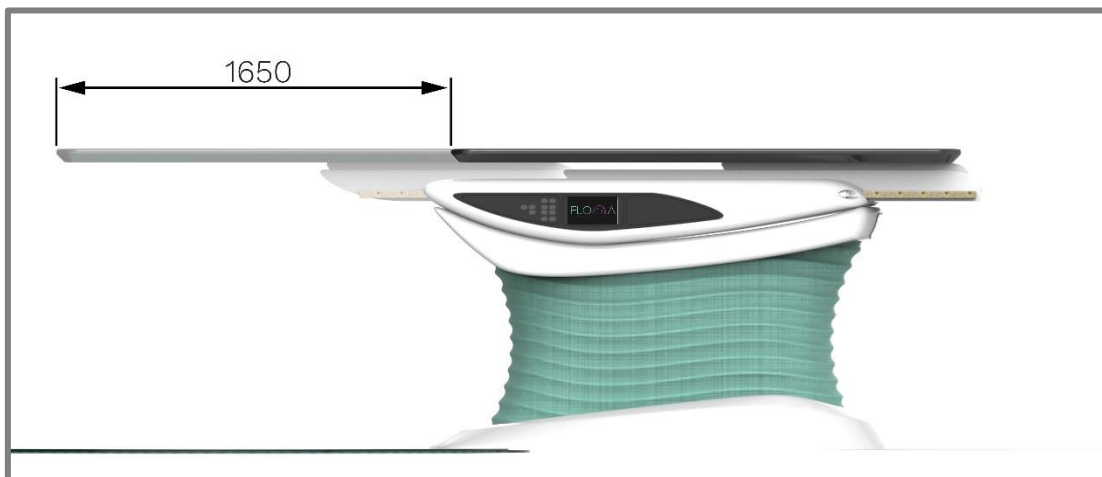
6.2.1 Polohovací stůl

Minimální výška, do které je schopno lůžko dostat, je 680 mm. Lze konstatovat, že pro osoby s omezenou mobilitou nebo osoby nízkého vzrůstu by bylo lepší tuto výšku ještě snížit, nicméně funkce lůžka je omezena zakomponováním veškerých pohonů a řídicích jednotek. Co je však potřeba zdůraznit, je to, že v ozařovací místnosti se většinou nachází více než jeden ze zástupců příslušného personálu, který pacientům pomáhá nejen se správným polohováním, ale také s případnými potížemi při nasedání a sesedání z lůžka.

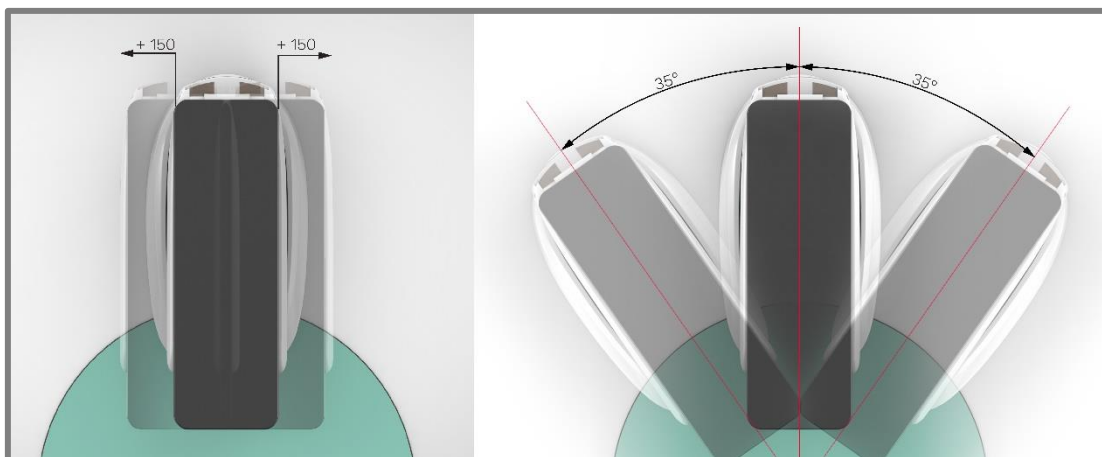


Obr. 6-18 Hlavní rozměry lůžka

Lůžko je schopné pojmout rozdíl až 1650 mm v horizontálním směru pohybu od a do centra gantry. V kolmém směru je to potom 300 mm. Pokud je potřeba lůžko natočit, lze dosáhnout maxima 35° doprava i doleva.

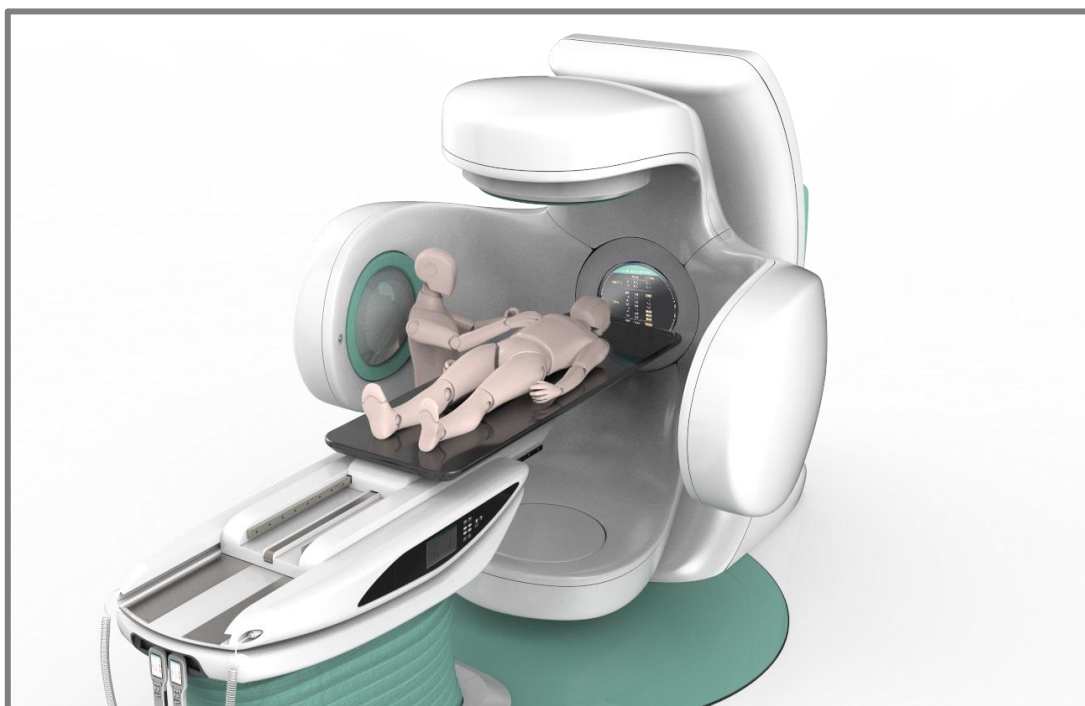


Obr. 6-19 Rozdíl vzdáleností minimálního a maximálního posuvu



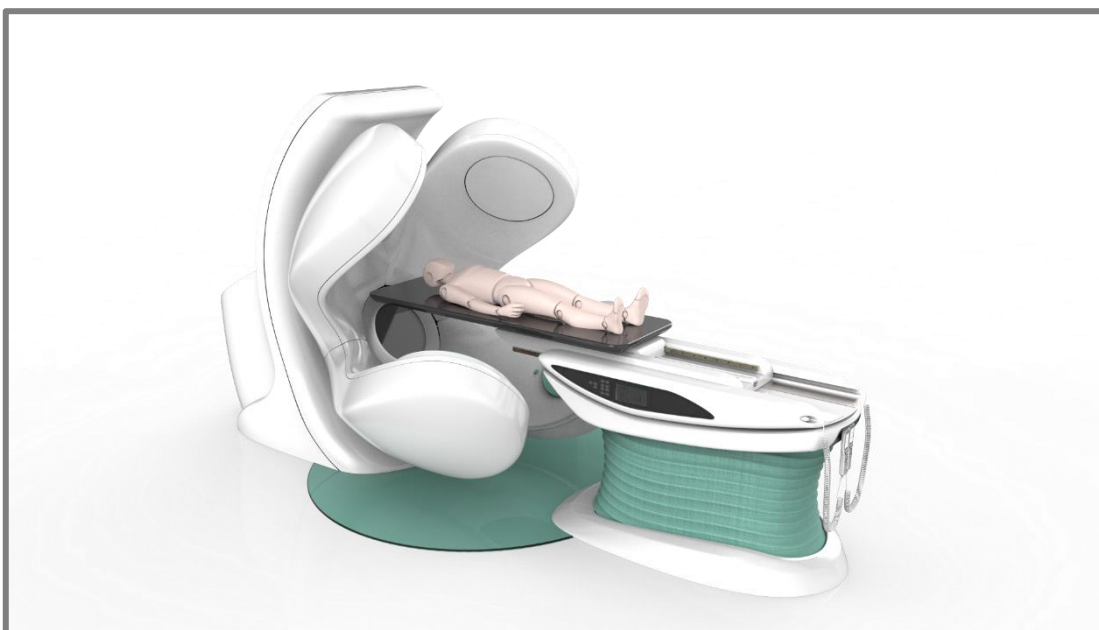
Obr. 6-20 Maximální posuvy v kolmém směru na osu lůžka

Vzhledem k rozměrům lůžka i gantry není problém, aby obsluha byla schopna dojít a manipulovat s pacientem při jeho zasunutí směrem k centru gantry.



Obr. 6-21 Maximální posuvy v kolmém směru na osu lůžka

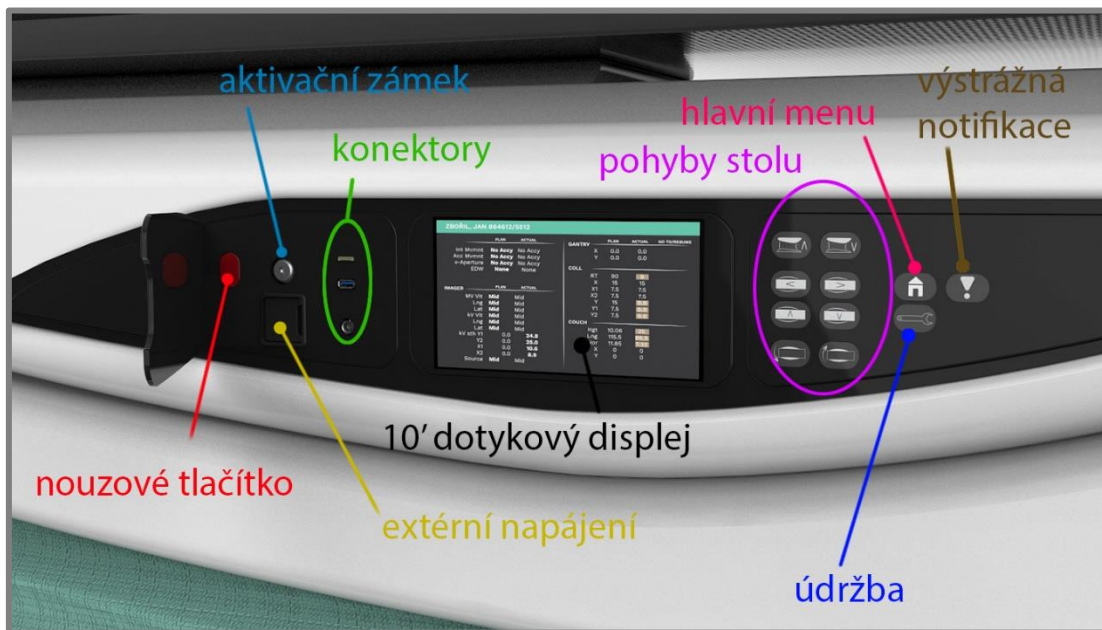
Z hygienického hlediska může být povrch lůžka před ulehnutím každého pacienta potažen antibakteriálním textilem, případně má pacient k dispozici ručník, jenž s sebou na terapie nosí.



Obr. 6-22 Pohled na urychlovač při rotaci v krajní poloze -30°

6.2.2 Ovládací panel polohovacího stolu

Ovládací panel polohovacího stolu je umístěn z obou stran vrchního dílu stolu. I když je tento panel používán obsluhou velmi zřídka, nachází se na něm mechanická tlačítka k ovládní stolu a další tři k vyvolání sekundárních akcí. Těmito tlačítky jsou hlavní menu, údržba a výstražné notifikační tlačítko. Vrchní strana těchto tlačítek je zarovnána s okolním panelem, aby nevyčnívala a předešlo se tak nechtěným stlačením, když pacient ulehá na stůl.



Obr. 6-23 Panel polohovacího stolu

Pomocí osmice tlačítek určených k ovládní pohybů stolu lze lůžko zvedat, pohybovat s ním v horizontálních směrech a také rotovat. Hlavní menu vyvolá akci, kde se nachází všechny možné funkce spojené s polohovacím stolem, stav ručních ovladačů a gantry nebo také veškeré údaje o pacientech. Tlačítko údržby odkáže uživatele do servisního módu. Výstražní notifikační tlačítko začne blikat v případě jakéhokoliv problému jakékoliv části urychlovače či stolu. Po jeho stlačení vyběhne hláška s konkrétní specifikací problému a případný návrh k jeho řešení.

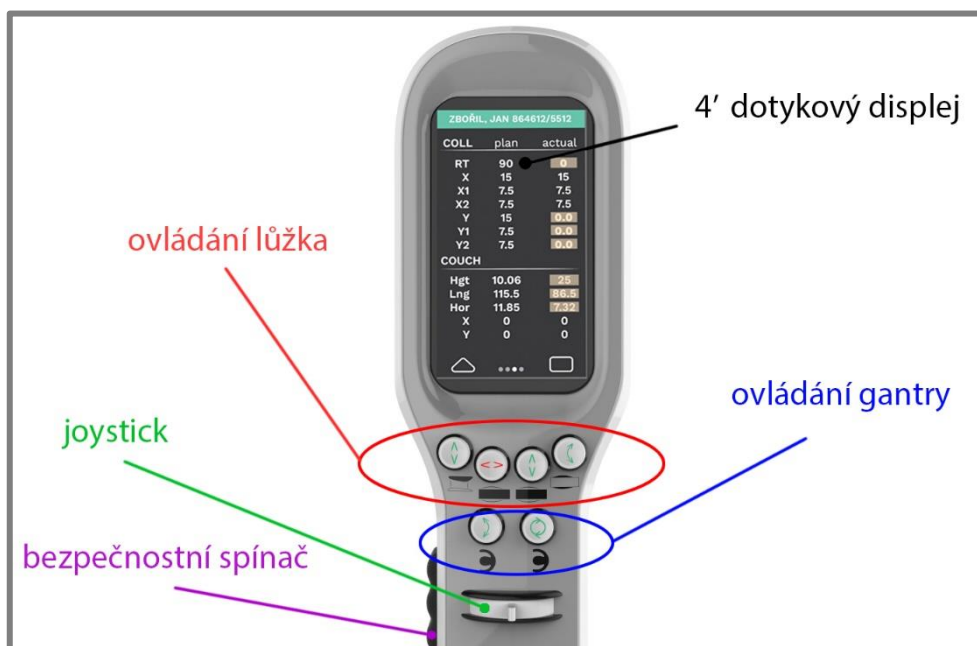
Část schovaná pod krytem nalevo od displeje je určená k servisním účelům. Aby bylo možné polohovací stůl servisovat, je potřeba aktivovat servisní režim zasunutím potřebného klíče do aktivačního zámku. Dále se zde nachází hlavní nouzové tlačítko, trojice konektorů a zakrytý otvor pro zásuvku v případě potřeby externího napájení.

6.2.3 Ruční ovladač

Koncepce tvaru ručního ovladače je odvozena od klasického řešení, které se používá dnes. Užší spodní část, která slouží jako madlo a širší horní část, kde je umístěn displej a mechanická tlačítka. Na boku se pak nachází bezpečnostní spínač, který je potřeba mít sepnutý, chce-li příslušná obsluha polohovat lůžko nebo gantry.



Obr. 6-24 Ruční ovladač



Obr. 6-25 Ovládací prvky ručního ovladače

Jak již bylo zmíněno v kapitole 5.5 Ruční ovladač, hlavní kryt ovladače je navržen tak, aby bylo možné bezpečnostní spínač přehodit zleva doprava a vyhovoval tak plně i lidem, kteří preferují uchopení ovladače do levé ruky. Pro lepší přilnavost je spínač pogumovaný.

Tlačítka na ovladači slouží k aktivaci jednoho z možných pohybů polohovacího stolu nebo samotného gantry urychlovače. Po aktivaci jednoho z těchto tlačítek se prosvítil červenou barvou a aktivuje se tak zvolený typ pohybu. Samotný pohyb je pak umožněn ovládním joysticku. Ten je umístěn v ideální poloze pro jeho ovládní (viz. Obr. 6-22 Ruční ovladač).

7 BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ

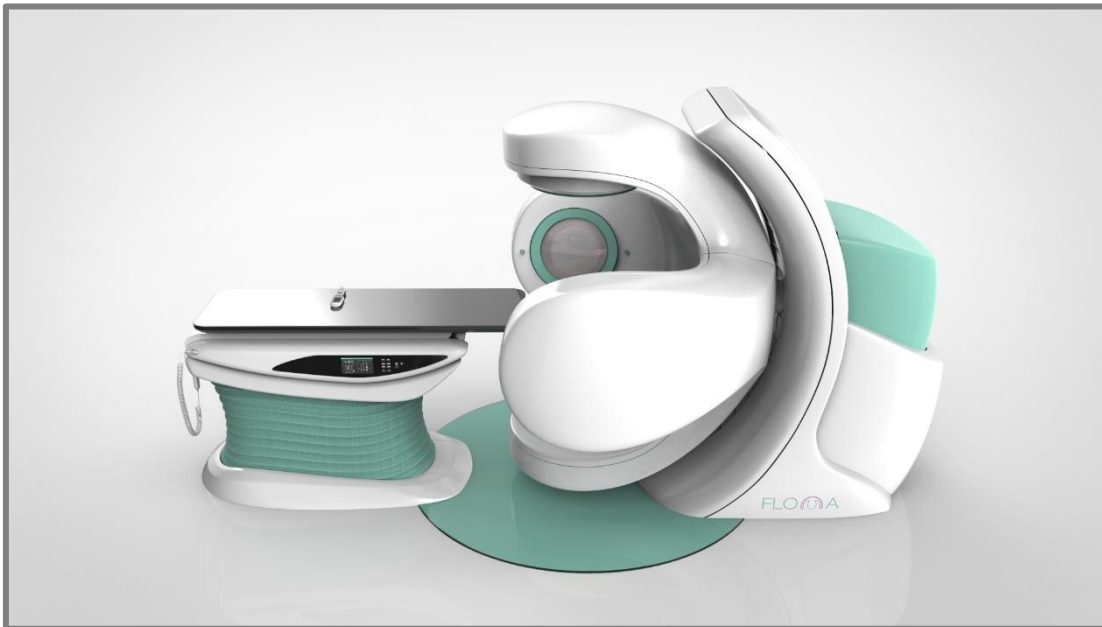
7

Lineární urychlovač pro onkologickou léčbu je velmi složité medicínské zařízení, které pomáhá pacientům bojovat se smrtelnými onemocněními. Na první pohled by tato skutečnost ale neměla být znát a přístroj by měl na pacienty působit velmi klidným dojmem. Je totiž velmi důležité, aby pacient přicházel do místnosti v klidu a plně spolupracoval s personálem. Na to může mít do velké míry vliv nejen tvar, ale také správně zvolená barevnost a použitá grafika přístroje.

7.1 Barevné řešení

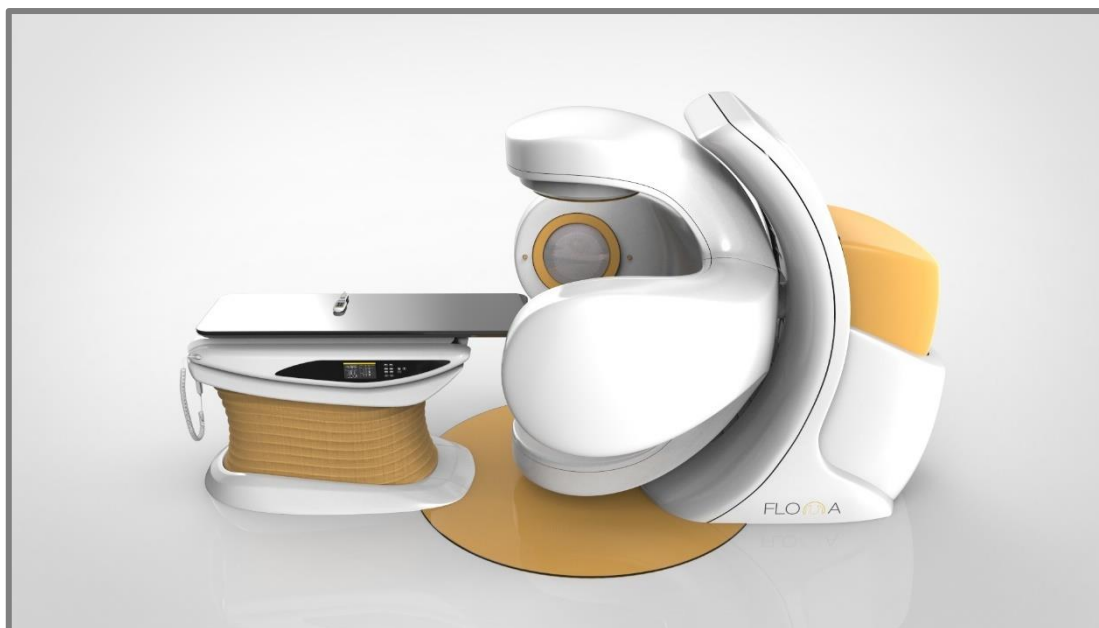
7.1

V prvním zvoleném barevném řešení je dominantní bílá barva, která se v lékařském prostředí používá nejvíce. Tuto primární barvu doplňuje další hojně používaná barva – zelenomodrá. Touto barvou jsou označeny zejména menší kryty, a to z důvodu, aby vynikla primární bílá barva. Doplnkovými barvami jsou také černá a šedá, které jsou použity na ovládacích prvcích.



Obr. 7-1 První barevná varianta

Druhá varianta je obdobou té první. Zelenomodrou barvu však nahradil teplý odstín žlutooranžové barvy. Správné použití žluté barvy totiž dokáže pozitivně ovlivnit sebevědomí a náladu člověka. Oranžová barva by měla vzbuzovat fyzické pohodlí. Ta by měla z pacientů lehce odbourat pocit, že se jedná o klasický medicínský přístroj, kterých se na trhu objevuje v kombinaci bílé a zelenomodré barvy opravdu hodně.[45]



Obr. 7-2 Druhá barevná varianta

Třetí barevné zpracování počítá se zasazením do luxusního prostředí ozařovací místnosti. Vychází z předpokladu, že se pacienti v nemocničním prostředí necítí tak pohodlně, jako například doma v obývacím pokoji. Proto se už i dnes můžeme v praxi setkat s urychlovači, které jsou zasazovány do velmi moderních interiérů ozařoven, které mohou být osazovány různobarevnými dřevěnými nebo kamennými obklady. Proto je na této variantě zvolen tmavší akcent šedé barvy, která se používá např. u reprosoustav, televizorů apod. Navíc šedá barva je jednou z barev, jejíž pozitivem je psychologická neutralita.[45]



Obr. 7-3 Třetí barevná varianta



Obr. 7-4 Třetí barevná varianta v luxusnějším prostředí ozařovny

7.2 Grafické prvky

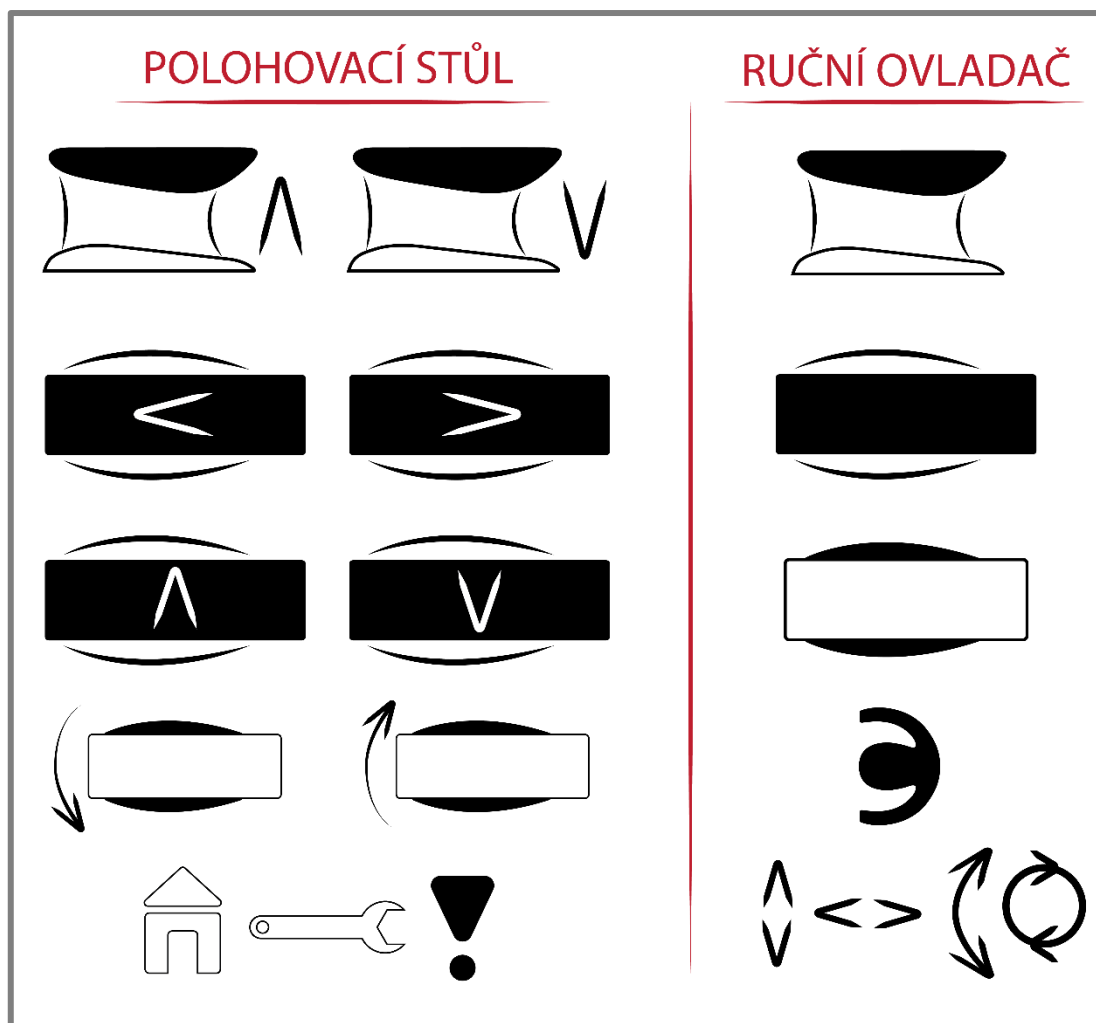
7.2

Grafické prvky jsou nepostradatelnou součástí při řešení komplexního návrhu jakéhokoliv výrobku.

7.2.1 Piktogramy

7.2.1

Společně s inovací v ohledu zpracování ovládacího panelu na polohovacím stole a ručním ovladači bylo nutné navrhnout i piktogramy znázorňující požadované funkce všech ovládacích prvků, se kterými přichází obsluha do styku nejčastěji. Nejdůležitějšími tlačítky jsou zcela jistě ty, pomocí kterých se ovládají pohyby lůžka a gantry. Vedle nich jsou nepostradatelné i sekundární funkce, jako je hlavní menu, údržba a tlačítko upozorňující na problém se stolem.



Obr. 7-5 Piktogramy použité na ovládacích panelech

7.2.2 Rozhraní displejů

V celé sestavě se objevují celkem tři typy různě velkých displejů. Proto bylo potřeba upravit uživatelské rozhraní tak, aby byl zobrazovaný obsah vždy plně čitelný. Obsahem se rozumí zejména tabulka, kde jsou sepsány všechny důležité souřadnice o požadovaném polohování pacienta nebo případně informace o pacientovi. Samozřejmostí u dotykových displejů je také funkce návratu na hlavní stránku nebo u ručního ovladače pak také listování mezi jednotlivými zobrazovanými stránkami s obsahem. Podle zvoleného typu barevné kombinace urychlovače je možno měnit i barevnost záhlaví na displeji, kde bývá uvedeno jméno pacienta a jeho identifikační číslo.

ZBOŘIL, JAN 864612/5512

		PLAN	ACTUAL
GANTRY	X	0.0	0.0
	Y	0.0	0.0
COLL	RT	90	0
	X	15	15
	X1	7.5	7.5
	X2	7.5	7.5
	Y	15	0.0
	Y1	7.5	0.0
	Y2	7.5	0.0
COUCH	Hgt	10.06	25
	Lng	115.5	86.5
	Hor	11.85	7.32
	X	0	0
	Y	0	0

Obr. 7-6 Grafické rozhraní na panelu ve středu gantry

ZBOŘIL, JAN 864612/5512			
	PLAN	ACTUAL	
Int Mvmnt	No Accy	No Accy	
Acc Mvmnt	No Accy	No Accy	
x-Aperture	No Accy	No Accy	
EDW	None	None	
IMAGER			
	PLAN	ACTUAL	
MV Vit	Mid	Mid	
Lng	Mid	Mid	
Lat	Mid	Mid	
kV Vit	Mid	Mid	
Lng	Mid	Mid	
Lat	Mid	Mid	
kV sth Y1	0.0	24.8	
Y2	0.0	25.0	
X1	0.0	10.6	
X2	0.0	8.9	
Source	Mid	Mid	
GANTRY			
	PLAN	ACTUAL	GO TO/RESUME
X	0.0	0.0	
Y	0.0	0.0	
COLL			
RT	90	0	
X	15	15	
X1	7.5	7.5	
X2	7.5	7.5	
Y	15	0.0	
Y1	7.5	0.0	
Y2	7.5	0.0	
COUCH			
Hgt	10.06	25	
Lng	115.5	86.5	
Hor	11.85	7.32	
X	0	0	
Y	0	0	

Obr. 7-7 Grafické rozhraní na panelu v polohovacím stole s barevnou alternativou hlavičky

ZBOŘIL, JAN 864612/5512		
COLL	plan	actual
RT	90	0
X	15	15
X1	7.5	7.5
X2	7.5	7.5
Y	15	0.0
Y1	7.5	0.0
Y2	7.5	0.0
COUCH		
Hgt	10.06	25
Lng	115.5	86.5
Hor	11.85	7.32
X	0	0
Y	0	0

Obr. 7-8 Grafické rozhraní na panelu na ručním ovladači

7.2.3 Logotyp

Jak už bylo v této práci několikrát zmíněno, hlavní tvar gantry připomíná rozevírající se květ. Proto bylo záměrem tuto skutečnost podtrhnout i v samotném názvu urychlovače. Ten získal spojením počátečních písmen anglického sousloví *Flower medical assistant* výchozí název FLOMA. Každá barevná koncepce má přidělenou barevnou verzi logotypu, aby mezi sebou všechny použité barvy ladily.



Obr. 7-9 Logotyp



Obr. 7-10 Logotyp s alternativním barevným provedením

V logotypu je místo písmene *M* použita obrysová linie samotného tvaru gantry a celý logotyp tak získává další rozměr a odkaz na přímou souvislost s urychlovačem. Alternativou k hlavnímu logotypu je také verze, pod níž je napsán původní význam vzniklého názvu *Flower medical assistant*.



Obr. 7-11 Logotyp s odkazovaným původním významem

8 DISKUZE

Lineární urychlovač pro onkologickou léčbu je svým zpracováním, konstrukcí a použitou technologií jeden ze složitějších medicínských zařízení používaný od 50. let 20. století. Od té doby prošel několika generačními obměnami jak z pohledu technologií a konstrukce, tak i designu. V dnešní moderní společnosti se pacienti setkávají se stále modernějšími zařízeními, u kterých je na design kladen stále větší důraz. Výsledný koncept by tak měl splňovat požadavky dnešní doby a zároveň ukázat pohled na problematiku v tomto odvětví.

8.1 Psychologická funkce

8.1

Při léčbě pacientů je klíčové dbát na komfort pacientů a jejich psychickou pohodu. Pokud se jedná o závažná onemocnění jako je rakovina, je potřeba na tuto skutečnost myslet o to více. Faktorů, které mohou ovlivnit psychickou stránku člověka při léčbě rakoviny je samozřejmě několik. V nemocničním prostředí jsou to pak zejména dva hlavní: profesionální přístup personálu a vizuální kvalita nemocničního prostředí včetně vybavení nemocnice. Práce designéra v tomto případě může ovlivnit druhý faktor. Z osobního pohledu lze konstatovat, že navrhování tohoto druhu medicínského přístroje je určitě snazší po absolvování prohlídky onkologického centra, možnosti vidět urychlovač při práci a diskutovat s lidmi, kteří s urychlovači pracují.

Před zahájením procesu ozařování je nezbytně nutné, aby byl pacient v naprosté pohodě a plně s personálem spolupracoval. Pokud tomu tak není, termín se musí odložit. Proto je výsledný design navržen tak, aby se pacient při prvním vizuálním kontaktu s urychlovačem nezalekl a přístroji plně důvěřoval.

U dětských pacientů se dá uvažovat o využití velkých ploch urychlovače k případné doplňkové grafice v podobě známých pohádkových postav, roztomilých zvířat apod. Stejně tak lze dětským pacientům přizpůsobit i případnou ozdobu ozařovny. S náklady spojenými na pořízení nového urychlovače se ale nepředpokládá, že by nemocnice či onkologické ústavy kupovaly urychlovače určené pouze pro léčbu dětí. Proto je celkový design navržen tak, aby působil pozitivně na pacienty všech věkových kategorií.

8.2 Sociální funkce

8.2

V posledních letech představili hlavní světoví producenti urychlovačů návrhy, které vycházejí z konstrukční koncepce výpočetních tomografů a zařízení určených pro magnetickou rezonanci. Avšak cílem této práce bylo navázat na doposud klasické řešení urychlovačů a zanechat jim tak specifický výraz, jako tomu je u modelů *Varian Truebeam*, *Elekta Synergy* apod. Zároveň ale bylo také cílem zpracováním designu posunout úroveň urychlovačů na vyšší úroveň. Tomu by měly zejména přispět prvky, jako je nová kinematika přístroje, oblé komplexní tvarování všech částí sestavy a vhodné barevné rozčlenění.

Nový design by také mohl zlepšit pohled médií a široké veřejnosti na léčbu rakoviny pomocí lineárních urychlovačů. Ty jsou někdy zbytečně zastiňovány protonovými urychlovači, které jsou často prezentovány jako nejlepší možná volba na ozařování nádorů. V některých ohledech tomu tak ale není a šance na úspěšnou eliminaci nádorů

pomocí lineárních urychlovačů je vyšší než při použití zmíněných protonových urychlovačů.



Obr. 8-1 Vizualizace urychlovače v reálném prostředí moderní ozařovny

8.3 Ekonomická funkce

I když se jedná o diplomovou práci, která není vypracovávána s žádnou firmou se záměrem realizace, je dobré uvažovat o nově vytvořeném návrhu lineárního urychlovače jako o produktu, který by mohl potencionálně v budoucnu prorazit na trh. Je tedy výhodou mít ponětí o základní podnikatelské a marketingové strategii.

8.3.1 Podnikatelská strategie

Kvůli všem technologiím a zařízením, které se pod kryty urychlovače nachází, se z tohoto přístroje stává velmi nákladné medicínské zařízení. Výsledný návrh obsahuje všechny potřebné prvky, kterými disponují současné typy urychlovačů na trhu. Nicméně je obohacen o nový systém natáčení gantry, který doposud nikdo nevyužívá. Na jeho realizaci by tak bylo zapotřebí týmu konstruktérů, kteří by dokázali tento koncept plně realizovat a uvést do provozu. To by pochopitelně zabralo jistý čas na výzkum a s tím i spojené investice do nového typu urychlovače. Zároveň je ale tvar gantry řešen s ohledem na realizaci výroby potřebných krytů. Díky zvolenému typu krytování je zapotřebí pouze dvou hlavních forem k pokrytí zhruba 85 % celého gantry, což oproti novému konstrukčnímu řešení naopak náklady na realizaci nového designu snižjí.

Jelikož se jedná o velmi sofistikované a finančně náročné zařízení, pro uvedení na trh pod zcela novou značkou by bylo potřeba velkého počátečního kapitálu. Alternativním řešením pro realizaci tohoto konceptu a celkovou propagaci je spojení se s jedním ze

světových producentů v této oblasti. Jelikož se tvarovou kompozicí návrh odkazuje spíše na výrobce *Varian*, byla by tato volba nejschůdnější. Firma by poté disponovala nabídkou urychlovačů s klasickým konstrukčním řešením neměnným po několik desetiletí, urychlovačem tunelovitého charakteru představeného minulý rok, i urychlovačem s novým kinematickým řešením.

Prognózy ohledně počtu lidí, kteří onemocní rakovinou, nejsou příliš pozitivní. Předpokládá se, že celosvětově v roce 2030 bude na světě 21 milionů onkologicky nemocných pacientů. To je o sedm milionů více než v roce 2012. Z toho lze konstatovat, že i nadále bude potřeba přístrojů, jako je lineární urychlovač, které budou při léčbě rakoviny nezbytně asistovat.[46]

8.3.2 Marketingová strategie

8.3.2

Segmentace trhu

Rakovina je nádorové onemocnění, kterým trpí lidé po celém světě. S tím je spojená i nutnost tato onemocnění léčit na všech kontinentech. Nejedná se o typ onemocnění, který by postihovalo jen určitou skupinu lidí, nicméně statistické prognózy světové zdravotnické organizace WHO ukazují, že v roce 2030 budou 2/3 z celkově onemocněných pacientů pocházet z méně vyspělých zemí.[47]

Z hlediska demografie se tak o jisté marketingové strategii dá uvažovat. Jelikož se nejedná o nový typ zařízení, dá se předpokládat, že i v rozvojových zemích se nachází vždy alespoň jedna nemocnice, kde je onkologické oddělení s technickým zázemím, jako jsou právě lineární urychlovače. Proto není vyloučeno, že i v rozvojových zemích by nový typ urychlovače mohl mít odbyt. Nicméně hlavní odbytiště nového typu lineárních urychlovačů pro onkologickou léčbu by mělo být směřováno na ekonomicky silnější státy, které mají větší finanční prostředky na podporu zdravotnictví. Případně na onkologické ústavy a kliniky, které mají možnost čerpat z fondů vymezených pro zdravotnictví. Zároveň je i předpokladem větší možnost medializace uvedení nového produktu na trh a tím i ovlivnění nových potenciálních zájemců.

Konkurenční faktory

Mezi hlavní výrobce lineárních urychlovačů pro onkologickou léčbu se řadí zejména již několikrát zmiňované firmy *Varian* a *Elekta*. Obě firmy mají osobitý styl při řešení designu a konstrukce. Jedním z cílů této práce bylo produkty jednotlivých firem analyzovat a na základě této analýzy přijít s novým návrhem, který se bude alespoň z části lišit od stávajících produktů. A právě jednotlivé rozdílné prvky v návrhu by měly být zároveň hlavními konkurenčními faktory.

Mezi hlavní konkurenční prvky zcela jednoznačně patří nová kinematika gantry, se kterou zatím nepřišel nikdo na trh. Tento prvek zajišťuje natáčení, při kterých je gantry v jakékoliv ozařovací poloze schopno zároveň pořizovat 3D obraz nádoru. Tato kinematika také zaručuje nové úhlování gantry a s tím i lepší ozařování nádorů.

Polohovací stůl, který je daleko více protvarovaný a doplněný o nové řešení krycích měchů, by také mohl být výrazným prvkem, který bude ovlivňovat finální úsudek při rozhodování potenciálního zákazníka.

Cenová úroveň

Použitá technologie, která se skrývá pod kryty urychlovače, předurčuje tento medicínský přístroj do opravdu vysokých cenových hladin. Žádný online ceník zákazník bohužel na internetových stránkách výrobců nenajde. Nicméně portál www.oncologysystems.com má ve své nabídce použitá zařízení určená pro léčbu rakoviny. V nejvyšší cenové relaci, která činí 750 000\$ - 1 500 000 \$ se objevují například modely *Varian Truebeam* nebo *Elekta Versa HD*, které stále patří k novějším modelům urychlovačů (2010 a novější).[48][49]

Proto lze předpokládat, že cena nejnovějších modelů se může pohybovat okolo vysoké sumy 100 000 000,- Kč. Cena nového návrhu s implementovaným novým konstrukčním řešením kinematiky by tak rozhodně atakovala ty nejvyšší cenové úrovně. S tím také souvisí segmentace trhu, a jak již bylo zmíněno, hlavní produkce by měla být směřována do zemí se silnější ekonomikou.

Distribuce a podpora prodeje

Lineární urychlovače jsou v medicíně používány již více než 60 let. Proto na trhu mají své místo a jsou již dávno celosvětově rozšířené. Jelikož se jedná o opravdu nákladné zařízení, je důležité, aby případného kupce přesvědčilo na základě svých kvalit. K tomu mohou posloužit kvalitní prezentace na různých světových veletrzích medicínských zařízení. Pokud by toto zařízení bylo navíc prezentováno některými ze zástupců světových gigantů v tomto oboru, bylo by to velkou výhodou, jelikož se většina z nich může opřít o výsledky ze své historie.

Tyto firmy mají navíc velmi rozšířené působení po celém světě. Například firma *Varian* má pobočky ve 26 státech světa a společnost *Elekta* dokonce ve 28 státech. S distribucí nového typu urychlovače by tak pod záštitou zmíněných firem neměl být problém. [50][51]

9 ZÁVĚR

Diplomová práce se v celém svém rozsahu věnuje medicínskému přístroji, který je používán v oboru radioterapie. Konkrétně se jedná o lineární urychlovač pro onkologickou léčbu, jehož úkolem je eliminovat nádory v těle pacienta pomocí radioaktivního záření. Samotná léčba ozařováním je častokrát doprovázena i jinými způsoby léčby, jako je chemoterapie nebo hormonální léčba.

V úvodu se práce věnuje současnému stavu poznání, kde ukazuje současné produkty, s nimiž se mohou pacienti při terapiích setkat. Dále obecně přibližuje fungování tohoto přístroje a poukazuje na jednotlivé funkční prvky současných lineárních urychlovačů. Poté byly tyto analýzy vyhodnoceny a určen směr, kterým se budou nové návrhy urychlovače ubírat. Hlavním cílem práce bylo přijít s unikátním designem, který bude svým tvarováním a grafickým zpracováním přispívat k dobré psychické pohodě pacientů absolvující terapie. Stejně tak bylo snahou přijít s novým kinematickým řešením, které by zvyšovalo efektivitu léčby. Součástí návrhu je také návrh ručního ovladače pro lineární urychlovač.

Variantské studie designu ukázaly různé pohledy na řešení při snaze dosáhnout zmíněných cílů práce. Odkazují se na klasickou koncepci tvarového řešení, která je neměnná po několik desetiletí, ale také uvažuje o nových směrech, kterými se začali ubírat přední světoví výrobci v posledních letech. Výsledný návrh vychází z varianty klasického tvarového řešení současných urychlovačů s cílem uchovat tuto charakteristickou podobu a posunout ji na další úroveň.

Dominantním prvkem pro výsledný design je zcela nové inovativní kinematické řešení gantry urychlovače. To přichází s novými úhly pohledu kolimátoru na ozařovaný nádor. Při všech možných ozařovacích úhlech je zároveň urychlovač schopen snímkovat nádor v těle pacienta pomocí implementovaného zjednodušeného CT zařízení a použití systému IGRT - image guided radiotherapy. Gantry přístroje i zadní statická část urychlovače se tak oproti současným urychlovačům výrazněji tvarově změnila. Gantry dostalo zcela charakteristický vzhled připomínající rozevírající se květ, který se později objevuje i v samotném názvu přístroje. Výraznou tvarovou obměnou prošel také polohovací stůl, který nabyl organičtějšího tvarování, aby podpořil celkově oblé tvarování gantry a zadní části přístroje. Součástí je i návrh nového typu krycích měchů v prostřední části stolu. Nový design ručního ovladače přispěl ke zjednodušení ovládacích prvků. Umístění zobrazovacích panelů do středu gantry, ručních ovladačů a boků polohovacích stolů přispělo ke zlepšení z ergonomického pohledu obsluhy.

Diplomová práce ve výsledku přináší nový pohled na řešení v oblasti lineárních urychlovačů pro onkologickou léčbu. Respektuje konstrukční, technologické a ergonomické aspekty současných zařízení a zároveň přichází s novým tvarovým řešením, barevnými kombinacemi a začleněním do reálného prostředí moderní ozařovny. Všechny tyto skutečnosti by měly výsledný návrh předurčovat k tomu, aby předčil současné produkty na trhu.



10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BAKER, MITZI, 2007. Medical linear accelerator celebrates 50 years of treating cancer. In: Stanford News [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://news.stanford.edu/news/2007/april18/med-accelerator-041807.html>
- [2] TELLO, Victor M., Medical linear accelerators and how they work. In: *Florida Chapter of the Health Physics Society* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://hpschapters.org/florida/13PPT.pdf>
- [3] Siemens-Varian Strategic Partnership: EnVision better cancer care, In: *Siemens healthineers* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <https://www.healthcare.siemens.cz/radiotherapy/varian-partnership>
- [4] Trilogy® System, In: Varian [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: https://www.varian.com/sites/default/files/Tx_Delivery_Triology_004_960x500.jpg
- [5] TrueBeam™ Radiotherapy System, In: *Varian* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: https://www.varian.com/sites/default/files/Tx_Delivery_Truebeam_004_960x500.jpg
- [6] DISRUPTIVE TECHNOLOGY AND DESIGN: DESIGNWORKS PARTNERS WITH VARIAN MEDICAL SYSTEMS TO DESIGN A RADIOSURGERY SUITE, In: Designworks [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.bmwgroupdesignworks.com/work/varian/>
- [7] Edge™ Radiosurgery System, In: Varian [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: https://www.varian.com/sites/default/files/Tx_Delivery_EDGE_004_960x500.jpg
- [8] Elekta Compact™: Starting small, but thinking big, In: *Elekta* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: https://www.elekta.com/.imaging/mte/elekta-theme/isotopeBig/dam/gallery/elekta-compact/Compact_08_RKP_new-logo.jpg/jcr:content/Compact_08_RKP_new%20logo.jpg.jpg
- [9] Elekta Synergy®: Digital accelerator for advanced IGRT, In: *Elekta* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <https://www.elekta.com/dam/jcr:b6ee634b-9faa-4400-851d-97d9bb2312ac/Elekta-Synergy.png>
- [10] Versa HD™: Versatile, all-in-one system from classic radiotherapy to advanced stereotactic precision, In: *Elekta* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: https://www.elekta.com/.imaging/mte/elekta-theme/isotopeBig/dam/gallery/versa-hd/Elekta_VersaHD_74_RKP.jpg/jcr:content/Elekta_VersaHD_74_RKP.jpg.jpg
- [11] Vero SBRT system installed in Texas, In: *AuntMinnie* [online]. [cit. 2017-11-10]. Dostupné z: http://www.auntminnie.com/index.aspx?sec=nws&sub=rad&pag=dis&ItemID=98442#_=_

- [12] FRÁŇOVÁ, Veronika, Psychologie barev - Symbolika barev.
In: *Onlio* [online]. [cit. 2017-12-17]. Dostupné z:
<http://www.onlio.com/clanky/psychologie-barev-2.html>
- [13] In: *Institute of Physics* [online]. [cit. 2017-11-10]. Dostupné z:
<http://images.iop.org/objects/med/news/9/9/43/pic1.jpg>
- [14] ViewRay, In: *ViewRay* [online]. [cit. 2017-11-10]. Dostupné z:
http://www.viewray.com/images_press/ViewRay_System_Vertical_Print.jpg
- [15] Radioterapie: CyberKnife, In: *Stargen EU* [online]. [cit. 2017-11-10]. Dostupné z:
www.stargen-eu.cz/radioterapie/cyberknife/
- [16] CyberKnife Ostrava: Výhody a omezení léčby, indikace, In: *Fakultní Nemocnice Ostrava* [online]. [cit. 2017-11-10]. Dostupné z:
<http://cyberknife.fno.cz/cs/clanky/vyhody-a-omezeni-lecby-indikace>
- [17] Cyber Knife, In: *Internationalmedipol* [online]. [cit. 2017-11-10]. Dostupné z:
<http://www.internationalmedipol.com/Files/Technology/5783db90-d8b5-41ff-ba01-162a45e15def.JPG>
- [18] HYNKOVÁ, Ludmila a Pavel ŠLAMPA. *Základy radiační onkologie*. Brno: Masarykova univerzita, 2012. ISBN 9788021060616.
- [19] SABOL, Jozef a Petr VLČEK. *Radiační ochrana v radioterapii*. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 9788001047576.
- [20] The Schematic Diagram of a Linear Accelerator, In: ResearchGate [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z:
https://www.researchgate.net/profile/Saad_Saeed4/publication/297806150/figure/fig2/AS:338674811195398@1457757775898/Figure-21-The-schematic-diagram-of-a-linear-accelerator.ppm
- [21] Clinac® iX System, In: Varian [online]. [cit. 2018-02-01]. Dostupné z:
https://www.varian.com/sites/default/files/Tx_Delivery_Clinac_iX_002_960x500.jpg
- [22] Searcy TrueBeam, In: *Searcy-Truebeam* [online]. [cit. 2017-12-17]. Dostupné z:
<http://searcy-truebeam.blogspot.cz/2011/>
- [23] *Vyhláška 264/2000 Sb. o základních měřicích jednotkách a ostatních jednotkách a o jejich označování*, 2000. In: . Ministerstvo průmyslu a obchodu.
- [24] Linear accelerators: PRE-OWNED, HIGH-QUALITY LINEAR ACCELERATORS, In: *Radiology oncology systems* [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z:
<https://www.oncologysystems.com/radiation-therapy/linear-accelerators/#>
- [25] How a Linear Accelerator Works - HD, In: Youtube [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z:
<https://www.youtube.com/watch?v=jSgnWfbEx1A&t>
- [26] ADAM, Zdeněk, Marta KREJČÍ a Jiří VORLÍČEK. *Obecná onkologie*. Praha: Galén, c2011. ISBN 978-80-7262-715-8.
- [27] Clinac® iX System, In: Varian [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z:
https://www.varian.com/sites/default/files/Tx_Delivery_Clinac_iX_004_960x500.jpg

- [28] RAMSAY, Mark, The Linear Accelerator (LINAC) - (Part 1) - Radiation Protection. In: *Youtube* [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=hy9atKAqAf4>
- [29] ŠLAMPA, Pavel a Pavel SMILEK. Nádory hlavy a krku: přehled diagnostiky a léčby maligních nádorů horních dýchacích a polykacích cest, hrtanu, slinných žláz a kůže. Praha: Mladá fronta, 2016. Edice postgraduální medicíny. ISBN 978-80-204-3743-3.
- [30] IGRT: Precise and Powerful Radiation Therapy -- Sloan-Kettering, In: *Youtube* [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=D4JaUzMORmU>
- [31] ŠLAMPA, Pavel, Nové techniky radioterapie. In: *Masarykův onkologický ústav* [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <https://www.mou.cz/nove-techniky-radioterapie/t4762>
- [32] How does Proton Therapy work?, In: *Youtube* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=mjZarAt83o>
- [33] BIDMC Linear Accelerator 3, In: BOND [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.bondbrothers.com/wp-content/uploads/BIDMC-Linear-Accelerator-3.jpg>
- [34] TrueBeam Beam Geometry, In: *Youtube* [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=QTLT81TyETE>
- [35] Synergy 328 Rotating Flat, In: Elekta [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: https://www.elekta.com/.imaging/mte/elekta-theme/isotopeBig/dam/gallery/elekta-synergy/Synergy_328-rotating-flat.jpg/jcr:content/Synergy_328%20rotating%20flat.jpg.jpg
- [36] PerfectPitch on TrueBeam, In: *Youtube* [online]. [cit. 2017-12-17]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=MjzOwS8_goQ
- [37] TrueBeam gantry and treatment couch, In: *Curt Wilgenbusch, BS, CMD, RT(T)(CT)(QM)* [online]. [cit. 2017-12-17]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/curtwilgenbusch/varian-truebeam>
- [38] Infinity 415-062, In: Elekta [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: https://www.elekta.com/.imaging/mte/elekta-theme/isotopeBig/dam/gallery/elekta-infinity/Infinity_415-062_med-res.jpg/jcr:content/Infinity_415-062_med%20res.jpg.jpg
- [39] Thermoplastic Mask - S-Shaped Head-Neck-Shoulders Mask, In: *Medical Physical web* [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://medicalphysicsweb.org/cws/product/P000023464>
- [40] Roller Pinions, Another Way to Roll Down the Line, In: *Design World* [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.designworldonline.com/roller-pinions-another-way-roll-line/>
- [41] Multileaf collimators: modern beam shaping, In: *Medphys365* [online]. [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <http://medphys365.blogspot.cz/2012/04/multileaf-collimators.html>

- [42] Průvodce plochými panely: TN, IPS, MVA, který je lepší?, 2005. In: Pctuning [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://pctuning.tyden.cz/component/content/4509?task=view>
- [43] Wide All Around, In: Eizoglobal [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.eizoglobal.com/products/flexscan/ev2730q/index.html>
- [44] Wide All Around, In: Eizoglobal [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.eizoglobal.com/products/flexscan/ev2730q/index.html>
- [45] Psychologické vlastnosti barev, In: Biorise [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://biorise.cz/biorytmus/psychologicke-vlastnosti-barev/>
- [46] In: Globocan2012: Cancer Incidence, Mortality and Prevalence Worldwide [online]. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: http://globocan.iarc.fr/old/burden.asp?selection_pop=212981&Text-p=Very+High+Human+Development&selection_cancer=290&Text-c=All+cancers+excl.+non-melanoma+skin+cancer&pYear=18&type=0&window=1&submit=%C2%A0Execute
- [47] In: Globocan2012: Cancer Incidence, Mortality and Prevalence Worldwide [online]. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: http://globocan.iarc.fr/old/burden.asp?selection_pop=110902&Text-p=Less+developed+regions&selection_cancer=290&Text-c=All+cancers+excl.+non-melanoma+skin+cancer&pYear=18&type=0&window=1&submit=%C2%A0Execute
- [48] How much will a linear accelerator cost me, installed at my clinic?, In: Radiology oncology systems: Cancer Incidence, Mortality and Prevalence Worldwide [online]. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://info.oncologysystems.com/pricing/>
- [49] About Varian: Our History, In: Varian [online]. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://www.varian.com/about-varian>
- [50] Contact Us, In: Varian [online]. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://www.varian.com/about-varian/contacts>
- [51] About Elekta: Our Offices, In: Elekta [online]. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://www.elekta.com/company#our-offices>

11 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2-1 Historický obrázek prvního vyléčeného pacienta v roce 1956 [1]	13
Obr. 2-2 Varian Trilogy [4]	14
Obr. 2-3 Varian TrueBeam [5]	15
Obr. 2-4 Varian Edge [7]	16
Obr. 2-5 Elekta Compact [8]	17
Obr. 2-6 Elekta Synergy [9]	17
Obr. 2-7 Elekta Versa HD [10]	18
Obr. 2-8 Vero SBRT [13]	19
Obr. 2-9 Viewray MRIdian [14]	19
Obr. 2-10 Accuray Cyberknife [17]	20
Obr. 2-11 Varian Clinac 2100, Varian Clinac 21iX a Varian TrueBeam [autor]	21
Obr. 2-12 Starší a novější typ ovladačů [autor]	21
Obr. 2-13 Informační panely k urychlovači Varian TrueBeam [autor]	22
Obr. 2-14 Dekorace s přírodními motivy [autor]	22
Obr. 2-15 Schéma lineárního urychlovače [20]	24
Obr. 2-16 Znázornění kinematiky gantry a lůžka [21]	24
Obr. 2-17 Detail otevřeného lineárního urychlovače [22]	25
Obr. 2-18 Schéma lineárního urychlovače [25]	26
Obr. 2-19 Schéma lineárního urychlovače [25]	26
Obr. 2-20 Schéma lineárního urychlovače [25]	27
Obr. 2-21 systém vykrývacích clon [25]	27
Obr. 2-22 vícelamelový kolimátor [27]	27
Obr. 2-23 Rentgenový detektor u modelu Varian Trilogy [4]	28
Obr. 2-24 Vytváření CT obrazu urychlovačem Varian v akci [32]	29
Obr. 2-25 umístění laserů [autor]	29
Obr. 2-26 znázornění práce s lasery [33]	30
Obr. 2-27 Pacient ležící na stole za chodu stroje Elekta Synergy [35]	30
Obr. 2-28 – Detail na kolejnice [36]	31
Obr. 2-29 – Detail na pantograf a základy lůžka [37]	31
Obr. 2-30 – Schéma pantografu a jeho pohonu [autor]	31
Obr. 2-31 – Schéma pantografu a jeho pohonu [autor]	32
Obr. 2-32 Informační panely urychlovače Elekta Infinity [38]	32
Obr. 2-33 fixační pomůcky [autor]	33
Obr. 2-34 Termoplastická maska [39]	33
Obr. 4-1 Vizualizace varianty č. 1	37
Obr. 4-2 Vizualizace varianty č. 1 – boční pohled	38
Obr. 4-3 Vizualizace varianty č. 2	38
Obr. 4-4 Vizualizace varianty č. 2 – boční pohled	39
Obr. 4-5 Vizualizace varianty č. 3	40
Obr. 4-6 Vizualizace varianty č. 3 – boční pohled	40
Obr. 5-1 Vizualizace finálního řešení – boční pohled [autor]	41
Obr. 5-2 Křivky definující tvar	41
Obr. 5-3 Pohled na urychlovač při krajní horní poloze	42
Obr. 5-4 Porovnání urychlovače s ergonomem	42
Obr. 5-5 Pohled shora	43
Obr. 5-6 Pohled na zadní část urychlovače	44

Obr. 5-7 Lamelový posuvný kryt pohonu	44
Obr. 5-8 Samotný tvar gantry	45
Obr. 5-9 Detail na nitro gantry	46
Obr. 5-10 Boční pohled na polohovací stůl	46
Obr. 5-11 Pohled na ovládací panel stolu	47
Obr. 5-12 Detail na zadní část stolu a nové zpracování měchu	47
Obr. 5-13 Pohled na lůžko a středový kruhový kryt	48
Obr. 5-14 Pohled na dvojici ovladačů	48
Obr. 5-15 Detail na pravou i levou stranu ovladače	49
Obr. 6-1 Hlavní rozměry urychlovače – boční pohled	51
Obr. 6-2 Hlavní rozměry urychlovače – horní pohled	51
Obr. 6-3 Nosná konstrukce a základy urychlovače	52
Obr. 6-4 Schéma pohybových ústrojí navrhované sestavy	53
Obr. 6-5 Příklad válečkového pastorku na zakruženém ozubeném vedení[40]	53
Obr. 6-6 Zobrazení krajních poloh gantry	54
Obr. 6-7 Vnitřní uspořádání komponent urychlovače	55
Obr. 6-8 Hlavice urychlovače s kolimátorem	55
Obr. 6-9 Detail na lamely kolimátoru [41]	56
Obr. 6-10 schéma funkce lamel	56
Obr. 6-11 Schéma uložení CT a Flat panelu	57
Obr. 6-12 Rozmístění zaměřovacích laserů	58
Obr. 6-13 IPS panel v nitru gantry	59
Obr. 6-14 Dotykový 10' displej na bocích polohovacího stolu	59
Obr. 6-15 Dotykový 4' na ručním ovladači	60
Obr. 6-16 Schématické znázornění napájení sestavy urychlovače	61
Obr. 6-17 Rozdělení hlavních krytů urychlovače	61
Obr. 6-18 Hlavní rozměry lůžka	63
Obr. 6-19 Rozdíl vzdáleností minimálního a maximálního posuvu	63
Obr. 6-20 Maximální posuvy v kolmém směru na osu lůžka	63
Obr. 6-21 Maximální posuvy v kolmém směru na osu lůžka	64
Obr. 6-22 Pohled na urychlovač při rotaci v krajní poloze -30°	64
Obr. 6-23 Panel polohovacího stolu	65
Obr. 6-24 Ruční ovladač	66
Obr. 6-25 Ovládací prvky ručního ovladače	66
Obr. 7-1 První barevná varianta	69
Obr. 7-2 Druhá barevná varianta	70
Obr. 7-3 Třetí barevná varianta	70
Obr. 7-4 Třetí barevná varianta v luxusnějším prostředí ozařovny	71
Obr. 7-4 Piktogramy použité na ovládacích panelech	72
Obr. 7-5 Grafické rozhraní na panelu ve středu gantry	73
Obr. 7-6 Grafické rozhraní na panelu v polohovacím stole s barevnou alternativou hlavičky	74
Obr. 7-7 Grafické rozhraní na panelu na ručním ovladači	74
Obr. 7-8 Logotyp	75
Obr. 7-9 Logotyp s alternativním barevným provedením	75
Obr. 7-10 Logotyp s odkazovaným původním významem	75
Obr. 8-1 Vizualizace urychlovače v reálném prostředí moderní ozařovny	78

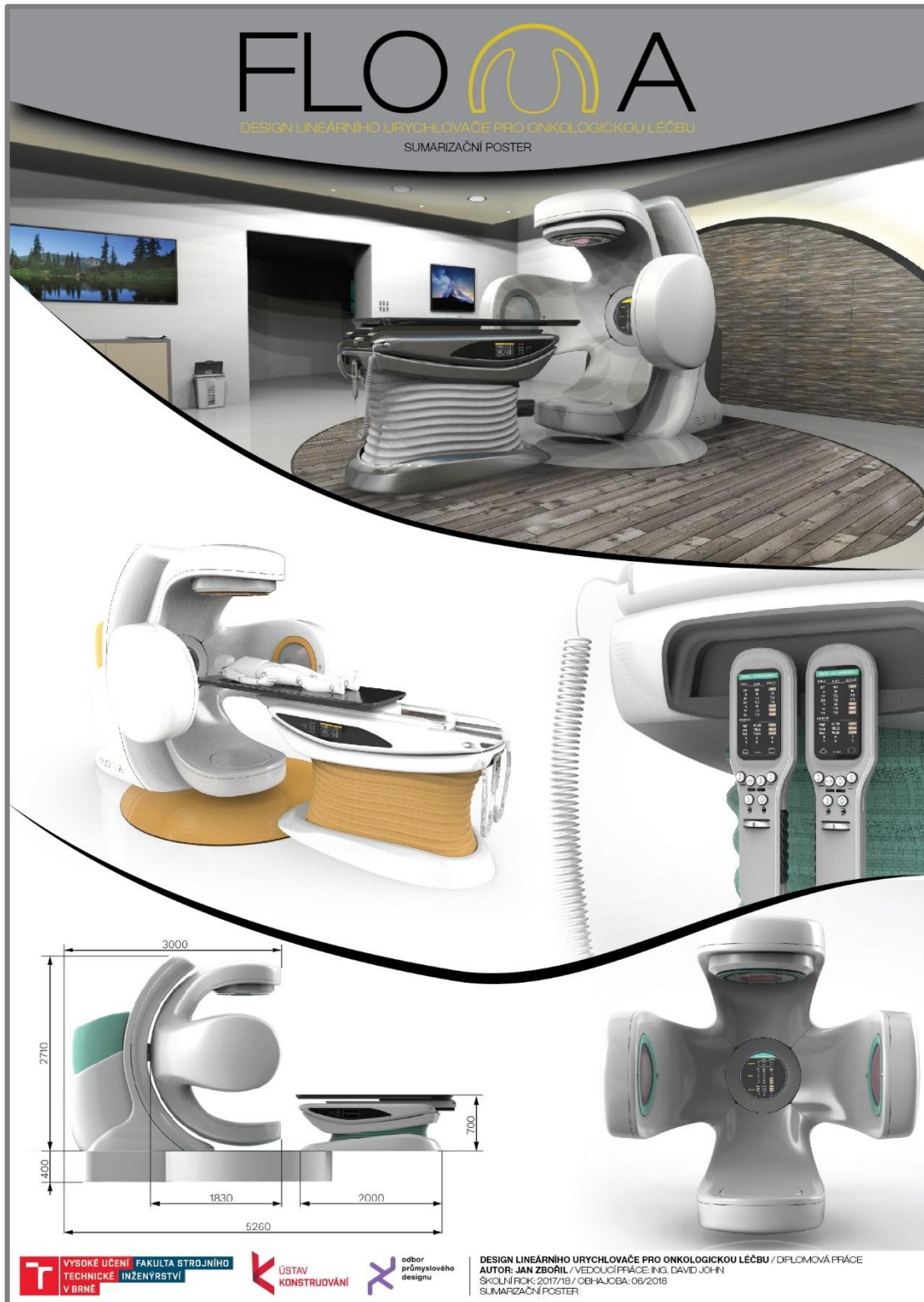
12 SEZNAM PŘÍLOH

12

Náhled na předběžný sumarizační poster (A4)
Náhled na předběžný ergonomický poster (A4)
Náhled na předběžný technický poster (A4)
Náhled na předběžný designérský poster (A4)
Fotografie rozpracovaného modelu (A4)

Sumarizační poster (A1)
Designérský poster (A1)
Technický poster (A1)
Ergonomický poster (A1)
Model v měřítku 1:10
Portfolio

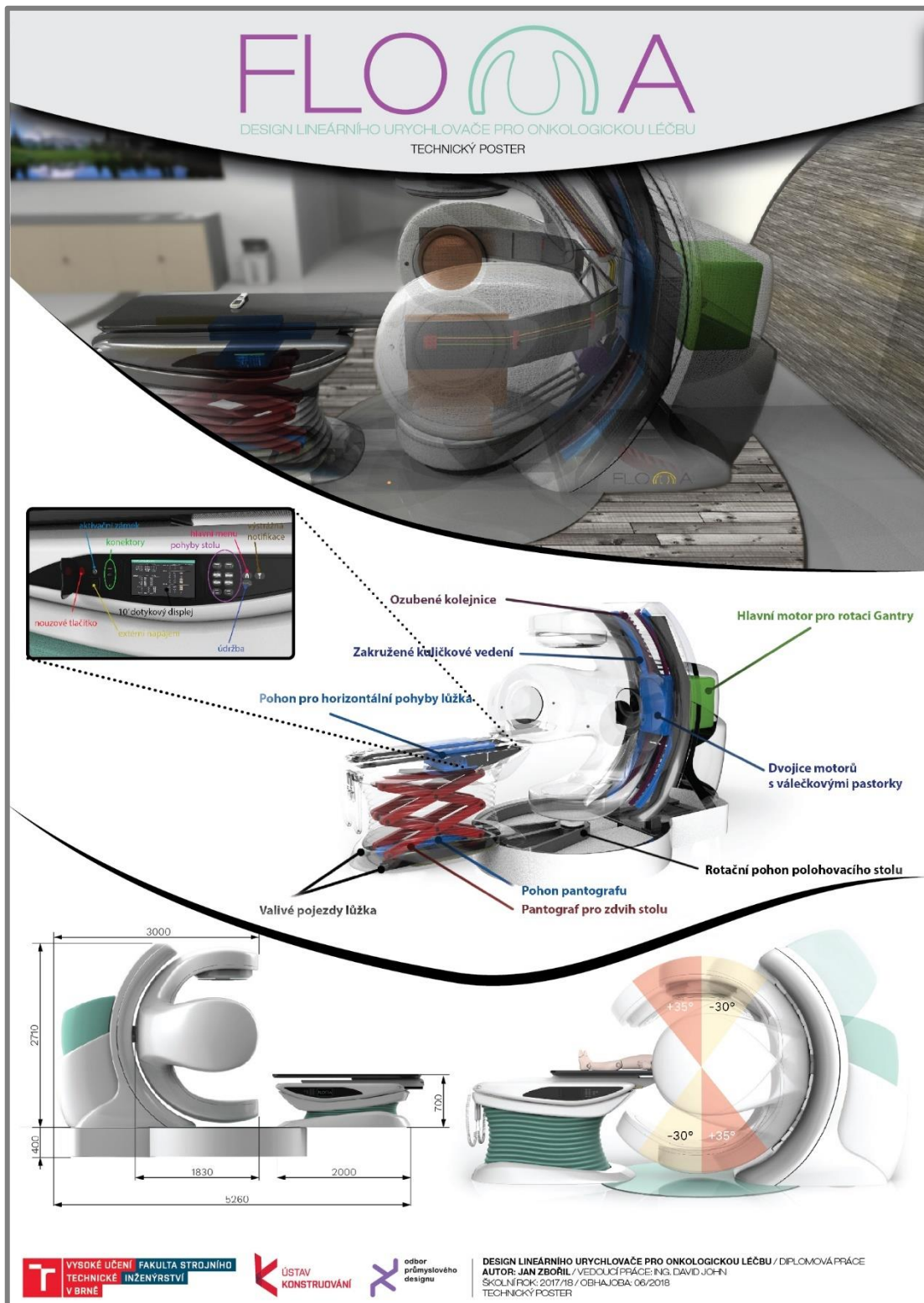
NÁHLED SUMARIZAČNÍHO PLAKÁTU (A4)



NÁHLED ERGONOMICKÉHO PLAKÁTU (A4)



NÁHLED TECHNICKÉHO PLAKÁTU (A4)



NÁHLED DESIGNÉRSKÉHO PLAKÁTU (A4)



FOTOGRAFIE ROZPRACOVANÉHO MODELU (A4)

