



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ**

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

**DESIGN DENTÁLNÍHO PANORAMATICKÉHO  
RENTGENU S 3D ZOBRAZENÍM**

DESIGN OF DENTAL PANORAMIC X-RAY WITH 3D VIEW

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Bc. Martina Ondrová

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

doc. Ing. arch. Jan Rajlich

BRNO 2021



# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav konstruování  
Studentka: **Bc. Martina Ondrová**  
Studijní program: Aplikované vědy v inženýrství  
Studijní obor: Průmyslový design ve strojírenství  
Vedoucí práce: **doc. Ing. arch. Jan Rajlich**  
Akademický rok: 2020/21

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 dentálního panoramatického rentgenu s 3D zobrazením**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Zdravotnická technika se i v dentální oblasti vyvíjí velmi rychle. 3D nebo panoramatické dentální rentgeny jsou poměrně velká zařízení, která mají řídicí jednotku s velínem, a s nejnovějšími technologiemi umožňují i významnou redukci radiační zátěže pacienta a zabezpečují například i obsluhu hendikepovaného pacienta na pojízdném invalidním křesle. V zdravotnické oblasti je významné i takové tvarování, které bude příjemné a bude napomáhat k odbourávání nedůvěry či strachu pacienta.

Typ práce: vývojová – designérská

Výstup práce: aplikovaný výsledek (Fužit, Fprum, Gprot, Gfunk, R)

Projekt: specifický vysokoškolský výzkum

**Cíle diplomové práce:**

Hlavním cílem je navrhnout autorský design 3D CBCT dentálního rentgenu, který bude zajišťovat maximální komfort jak pacienta, tak obsluhy, bude umožňovat přístup i imobilním pacientům a bude působit i příznivě na jejich psychiku.

Díličí cíle diplomové práce:

- analýza současné produkce z hlediska ergonomie, tvarového řešení, konstrukce a marketingu,
- návrh vlastního designu výběrem z variantních řešení,
- technické, ergonomické, barevné a grafické řešení
- výroba designérského modelu v měřítku.

Požadované výstupy: 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).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://ustavkonstruovani.cz/texty/magisterske--studium--ukonceni/>

**Seznam doporučené literatury:**

LIDWELL, William. a Gerry MANACSA. Deconstructing product design: exploring the form, function, usability, sustainability, and commercial success of 100 amazing products. Beverly, Mass.: Rockport Publishers, c2009. ISBN 1592533450.

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

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

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

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

## ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá designem dentálního rentgenu. Na základě designérské a technické analýzy byly zjištěny uživatelské problémy, na které jsou v průběhu práce předložena řešení. Inovativní tvarové a konstrukční řešení ukazuje nový přístup k dentálnímu rentgenu jako celku. Hlavním přínosem návrhu je řešení reálných ergonomických problémů, které vznikají při interakci obsluhy a pacienta s přístrojem, spolu s tvarovým a barevným řešením, která odpovídají současným trendům v rozvíjejícím se oboru designu zdravotnických zařízení.

## KLÍČOVÁ SLOVA

dentální rentgen, panoramatický snímek, 3D snímek, design zdravotnických zařízení, CBCT technologie

## ABSTRACT

The topic of this thesis is design of a dental X-ray. User problems were identified based on the design and technical analysis for which solutions are presented in the work. The innovative shape and design solution shows a new approach to dental X-rays. The main benefit of the design is the solution of real ergonomic problems that can occur during the interaction of operator or patient and the device. Design corresponds to current trends in the evolving design field of medical design.

## KEYWORDS

dental X-ray, panoramic image, 3D image, design of medical devices, CBCT technology



## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ONDROVÁ, Martina. *Design dentálního panoramatického rentgenu s 3D zobrazením*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133027>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Jan Rajlich





## PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu práce panu doc. Ing. arch. Janu Rajlichovi za odborné vedení a cenné rady při zpracování tématu. Také děkuji rodině, příteli a přátelům za inspiraci ke studiu a podporu a trpělivost během celého studia.

## PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracovala samostatně, pod odborným vedením doc. Ing. arch. Jana Rajlicha. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpala, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ</b>	<b>15</b>
2.1	Designérská analýza	15
2.1.1	Vývoj dentální zobrazovací techniky	15
2.1.2	Přehled současného stavu poznání	17
2.2	Technická analýza	28
2.2.1	Dělení přístrojů	28
2.2.2	Komponenty	30
2.2.3	Rozměry	33
2.2.4	Použitá technologie	33
2.2.5	Průběh snímání	38
2.2.6	Ergonomie	41
<b>3</b>	<b>ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE</b>	<b>44</b>
3.1	Analýza a zhodnocení řešerše	44
3.2	Analýza problému	45
3.2.1	Imobilní pacienti	46
3.2.2	Obsluha přístroje a vyšetření pacienta	47
3.2.3	Ovládání	47
3.3	Cíl práce	47
3.4	Cílová skupina	48
3.5	Základní parametry a legislativní omezení	49
3.5.1	Základní parametry	49
3.5.2	Legislativní omezení	50
3.6	Použité výrobní technologie, možný trh, cena	51
<b>4</b>	<b>VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU</b>	<b>52</b>
4.1	Varianta I.	53
4.2	Varianta II.	56
4.3	Varianta III.	59
4.4	Zhodnocení	61
<b>5</b>	<b>TVAROVÉ ŘEŠENÍ</b>	<b>63</b>
5.1	Celková kompozice	63

5.2	Stabilizace hlavy	66
5.3	Sedátko	66
5.4	Madlo	67
5.5	Ovládání	68
5.6	Větrání	69
5.7	Kruhová obruč a umístění loga	69
<b>6</b>	<b>KONSTRUKČNĚ TECHNOLOGICKÉ A ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ</b>	<b>70</b>
6.1	Konstrukčně technologické řešení	70
6.1.1	Základní požadavky na umístění přístroje	70
6.1.2	Popis	71
6.1.3	Rozměrové řešení	72
6.1.4	Vnitřní mechanismy a komponenty	73
6.1.5	Vnější opláštění	79
6.1.6	Použité materiály	80
6.1.7	Technologie výroby	80
6.2	Ergonomické řešení	81
6.2.1	Interakce pacienta a obsluhy s přístrojem	82
6.2.2	Usazení pacienta	83
6.2.3	Výškové nastavení přístroje	85
6.2.4	Uchycení madla	85
6.2.5	Stabilizace hlavy	86
6.3	Bezpečnost a hygiena	89
6.4	Udržitelnost	90
<b>7</b>	<b>BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ</b>	<b>91</b>
7.1	Barevné řešení	91
7.2	Grafické řešení	94
7.2.1	Název a logotyp	94
7.2.2	Aplikace vizuálního stylu	95
7.2.3	Grafický návrh ovladače	95
<b>8</b>	<b>DISKUZE</b>	<b>97</b>
8.1	Psychologická funkce	97
8.2	Sociální funkce	97
8.3	Ekonomická funkce	98

8.3.1	Marketingová analýza	98
8.3.2	Cílová skupina	99
8.3.3	Cenová hladina	99
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>100</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b>	<b>102</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN</b>	<b>106</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ</b>	<b>107</b>
<b>13</b>	<b>SEZNAM TABULEK</b>	<b>111</b>
<b>14</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	<b>112</b>
<b>15</b>	<b>ZMENŠENÉ POSTERY</b>	<b>113</b>
<b>16</b>	<b>FOTOGRAFIE MODELU</b>	<b>117</b>

# 1 ÚVOD

Provedení rentgenového snímku zubů je známé pro většinu z nás, a to jak z běžné kontroly u zubaře, kdy je pacientovi udělán ortopantomogram – panoramatický snímek čelisti nebo případně z většího zubařského zákroku. Právě při této příležitosti přijdeme do styku s panoramatickými rentgeny s 3D zobrazením. Jde o zařízení, které je tím nejlepším, co mohou technologie nabídnout v oblasti dentálních rentgenů, zubní chirurgie a implantologie.

V dnešní době dentální rentgeny nabízí to nejlepší z technologického hlediska. Avšak k designu a k ergonomii se každý výrobce se svými modely staví jinak. Všichni výrobci se svými přístroji snaží dbát na požadavky jak pacientů, tak i obsluhy, ale ne všechna řešení jsou správná. Některé nemají správně vyřešený přístup imobilních pacientů či pacientů se zdravotními komplikacemi. Jiné zase nedbají na četnost použití přístroje obsluhou a tím pádem na pohodlné a správně umístěné ovládání. Dále by přístroje měly působit pozitivně na pacientovu psychiku během vyšetření. A to jak tvarováním, tak barevností přístroje. Design zdravotnických zařízení je důležitou součástí průmyslového designu, která je dnes na vzestupu. Podstatné je pochopení pocitů pacienta před a během rentgenování a snaha zmírnit obavy a negativní emoce z vyšetření. Je třeba reflektovat potřeby pacientů a obsluhy do funkčnosti a tvarování dentálního rentgenu.

Tento typ rentgenů se někdy též nazývá 3D rentgen a to proto, že k běžněji známým ortopantomogramům, které tvoří panoramatické snímky čelistí mají navíc softwarovou funkci k vytvoření 3D obrazu zubů a čelistí. Snímky z 3D rentgenů pak slouží k chirurgickým zákrokům. Lékař je schopný vidět jak tvrdé tkáně, tak například nervy ve všech pohledech. Je tak lépe informovaný před samotnou operací, kterou pak může lépe naplánovat. Dalším stejně důležitým využitím je tvorba implantátů. V tomto případě si lékař či laborant pracující na tvorbě implantátu naskenuje potřebně velkou oblast a v softwaru zpracuje potřebné tvary jednotlivých implantovaných zubů. Výrazně to urychlí čas samotné výroby a kvality implantátů, jelikož všechny rozměrové parametry jsou předem známy.

Tato práce se zabývá designem panoramatického rentgenu s 3D zobrazovací funkcí z technického, ergonomického a estetického hlediska. Bere ohled na všechny pacienty, kteří mohou přijít s přístrojem do kontaktu a zajišťuje snadnou manipulaci s přístrojem pro obsluhu. Nezapomíná také na fakt, že přístroj by měl pozitivně působit na psychickou stránku pacienta během vyšetření. Snaží se vytvořit co nejlepší poměr mezi velikostí přístroje a technologickými možnostmi této doby. A to vše zabalit do designu, který podpoří funkčnost přístroje.

## 2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

### 2.1 Designérská analýza

Část je věnována obecnému přehledu, aby byla lépe pochopena problematika dentálních rentgenů. Zabývá se i historií z hlediska vývoje dentální zobrazovací techniky – mapuje průlomové okamžiky, které měly zásadní vliv na dnešní způsoby dentální diagnostiky. Dále je zmapovaný současný trh produktů doma i ve světě. Ten kriticky shrnuje hlavně tvarové, ergonomické, designérské a barevné řešení, zmiňuje rozměry a základní technické parametry.

#### 2.1.1 Vývoj dentální zobrazovací techniky

Od prvního intraorálního snímku zubů uběhlo již více než 100 let. Dalším průlomem v dentálním 2D zobrazování byl předchůdce dnešních přístrojů – ortopantomogram, který byl zkonstruován v 60. letech minulého století. [1] Dokáže sestavit přehledný obraz obou zubních čelistí do jediného snímku a jednou z nejběžněji používaných technologií.



Obr. 2-1 Panoramatický rentgen z roku 1952 [1]

S postupem času přišla potřeba prostorových snímků. Ty byly dříve nahrazovány více snímky z různých úhlů a dobrými znalostmi anatomie, zkušenostmi a představivostí lékařů. A tak dalším průlomem od rentgenových snímků byl vynález výpočetního tomografu CT rentgenu.

Vývoj CBCT (cone beam computed topography) byl poté přelomovou inovací v dentálním zobrazování. Poskytuje 3D obraz ústní dutiny a dává člověku podstatně menší dávku radiačního záření. Rozmach těchto zařízení je nejvíce zaznamenán s rozvojem osobních počítačů a digitálních fotoaparátů. [2,3] Největší inovací v tomto produktu je způsob zobrazování, kde díky kuželovému tvaru rentgenového záření dokáže vytvořit přesný trojrozměrný model. Z technického hlediska přístroje fungují na stejném principu dodnes.



## 2.1.2 Přehled současného stavu poznání

Přehled současného stavu poznání mapuje produkty dostupné na trhu. CBCT rentgeny lze kategorizovat dle polohy pacienta při snímání – ve stoje, v sedě a v leže. Všechny kategorie jsou zastoupeny v rešerši a je k nim rozepsána kritická analýza.

CBCT pro snímání pacienta ve stoje

### **Kavo OP 3D**



Obr. 2-2 Kavo OP [4]

Z hlediska vzhledu jde o novější moderní přístroj firmy Kavo Kerr. [5] Zdroj a přijímač, který krouží dokola kolem hlavy pacienta, je tvořen křivkami, které tvoří zajímavý hlavně přední pohled na rentgen. Jde o rozměrově malé zařízení, které stojí na podstavci a poměrně tenké polohovatelné noze. Část, která slouží k fixaci hlavy pacienta pak tvarově neladí ke zbytku přístroje a působí jen jako dočasné řešení. Naopak menší rozměry přístroje mohou na pacienta působit pozitivněji.

Z ergonomického hlediska nejde o perfektní řešení, z důvodu, že pacient musí během vyšetření dlouho dobu stát bez hnutí. Přístroj je sice výškově polohovatelný (čímž se přizpůsobí rozdílné výšce pacientů), ale bohužel nemyslí na přístup imobilních pacientů.

Z barevného hlediska jde o bílý přístroj, což je v této oblasti běžným řešením. Je doplněný o černé madlo a černý mechanismus k fixaci hlavy. Logo je umístěné z čelního pohledu v nerušivých odstínech šedé.

Z technického hlediska přístroj zahrnuje možnost snímání 2D i 3D snímků. Má čtyři možnosti nastavení velikosti válce pro různé velikosti pole vidění (FOV – field of view). Doba expozice pacienta je 1,7 – 20 sekund. Přístroj má maximální rozměry (při nejvíce vysunutém snímači) 240 x 80 x 100 cm. [5]

## Vatech – PaX-i3D SMART



Obr. 2-3 PaX-i3D SMART [6]

Přístroj od firmy Vatech dent [6] se jako z jeden z mála produktů na trhu odlišuje svým designem. Proto bych se jím chtěla ve své práci inspirovat. V porovnání s ostatními jde o méně organické tvary, které na sebe více tvarově navazují. Posuvná je v tomto případě celá aktivní část přístroje – snímací hlava i s ovládacím panelem pro obsluhu. Část, která slouží k upevnění hlavy při snímání je příjemně tvarována. Zajímavě je vyřešena i zadní část podstavce. Při vstupu pacienta ze zadní strany k přístroji chybí opěrná část nohy a design sám intuitivně navede pacienta ke správnému použití přístroje.

Ergonomicky přístroj splňuje, jako všechny ostatní rentgeny na trhu, požadované parametry, ale neusnadňuje přístroj imobilním a invalidním pacientům. Držadla, kterými se může pacient přidržet při stání, jsou ze spodní strany přístroje a pacient na ně nevidí, když se polohuje do přístroje. Madla ze spodní strany jsou také problematická pro pacienty na invalidním vozíku, kdy kvůli nim nejde přístroj snížit tak, jak by bylo potřeba.

Z hlediska barevnosti se přístroj odlišuje použitím výrazné černé barvy na vnějších krytech přístroje.

Z technického hlediska přístroj umožňuje vytvoření 2D i 3D snímku najednou. Skenovací čas pacienta je cca 18 vteřin. Umožňuje více FOV. Hlavní rozměry přístroje při maximálním vysunutí jsou 2336 x 942 x 1400 mm.

## Vatech PaX-i3D GREEN



Obr. 2-4 Vatech PaX-i3D GREEN [7]

Další zástupce rentgenů pro snímání pacienta ve stoje je jeden z nejnovějších přístrojů Vatech PaX-i3D Green [7]. Jde o přístroj, který slouží k tvorbě 2D i 3D snímků. K tvorbě statických snímků je k tomuto účelu k přístroji připevněno rameno s kefalem. Kefalo má vlastní přijímač, který funguje se zdrojem rentgenového záření z hlavního těla přístroje. Kefalo je rozšířením přístroje. Tímto rozdělením nepůsobí přístroj celistvě. Také pro pacienta je složitější pochopit, jak přístroj užívat.

Z ergonomického hlediska je přístroj vhodný pro použití člověkem na invalidním vozíku. Jediným problémem, který může nastat je nedostatečná výška přístroje pro vyšetření vyšších a mohutnějších pacientů. Ovládací panel je pro obsluhu dobře přístupný. Ta stojí naproti pacientovi a může si ho tak dobře nasměrovat do potřebné polohy, což je výhodou oproti jiným existujícím produktům.

V barevnosti se přístroj odpoutává od tradiční bílé výraznými červenými funkčními částmi (uchycení hlavy pacienta). Barevné oddělení funkčních částí je zajímavé řešení. Na druhou stranu červená barva budí dojem rychlosti a pohybu, což není u zdravotnického zařízení žádoucí.

Technické parametry jsou jedny z nejlepších, jelikož se jedná o nový přístroj. Nejmenší snímkovací čas může být už 6 vteřin (CBCT – 9 vteřin). Přístroj má 15 různých velikostí FOV. Novinkou technologie by měla být minimální dávka rentgenového záření. Základní rozměry přístroje (včetně kefala) jsou 2345 x 1325 x 1200 mm.

## Carestream Dental CS 9300



Obr. 2-5 Carestream Dental CS 9300 [8]

Dalším produktem běžně používaným v ČR je rentgen od firmy Carestream Dental – model CS 9300. [8] Z hlediska tvarování je hlavním prvkem skenovací hlava. Podstavná noha zabírá jen minimální plochu a zbytečně neupoutává pozornost. Hlava je mohutnější než jiné přístroje, ale působí kompaktním dojmem. Nicméně horní část je tvarově překombinovaná a není tvarově provázaná.

Z ergonomického hlediska je dobře vyřešeno odklopné rameno, které výrazně ulehčuje přístup pacientům na invalidním vozíku. Problematické je však prodloužení spodní části s madlem a umístěním elektronických komponentů. Je příliš vysoká a proto nelze posunout skenovací hlavu tak nízko, aby byla použitelná i pro pacienty na invalidním vozíku.

Barevné provedení odpovídá standartu u těchto přístrojů. Kromě bílé barvy, která je dominantní na celém rentgenu jsou zde světle modré detaily na ovládacím panelu a zdroji laserového ukazatele. Podpěry pro upevnění hlavy jsou v tmavém provedení.

Přístroj z technologického hlediska umožňuje 2D i 3D snímky. Nabízí 3 základní FOV. Rozměry přístroje jsou 1158 x 1595 x 2387 mm. Doba snímání pacienta záleží na daném druhu snímku (4–24 s). [8]

CBCT pro snímání pacienta v sedě

### **Kavo OP 3D Vision**



**Obr. 2-6** Kavo OP 3D Vision [9]

Další produkt firmy Kavo Kerr [10] je přístroj, který umožňuje pacientům snímání v sedě. Přístroj díky orámování působí velmi robustně. Ve tvarování není využit potenciál jako v předchozí kategorii. Jde o čisté provedení bez výrazně tvarovaných křivek či zajímavých pohledů, takže je splněna především funkčnost přístroje.

Ergonomie je přizpůsobena různým typům pacientů. Lidé např. s úrazem dolních končetin, kteří chodí o berlích se mohou pohodlně posadit. Pacient na invalidním vozíku může po sklopení sedátka pohodlně najet. Polohovatelná je v tomto případě právě sedací část a rotační hlava. Právě poloha v sedě zajistí menší chybovost snímků, jelikož se pacient vydrží snadněji nehýbat. Ovládání v tomto případě není pro obsluhu v ideální poloze. Inspirovat bych se chtěla jednoduchostí ovládání, které slouží pouze k výškovému nastavení sedadla.

Výrobce nadále pokračuje ve své jednoduché černobílé barevné variantě, která působí poměrně neutrálně.

Z technického hlediska je možná tvorba pouze 3D snímků. Přístroj dokáže vytvořit model při extrémně krátké expozici a to minimálně za 4.8 sekund až 26 sekund. Přístroj nabízí možnost a 9 různých FOV. Přístroj má rozměry 1830 x 1250 x 1340 mm.



Obr. 2-7 Vatech Green 21 [11]

Přístroj od firmy Vatech – Green 21 [11] se vyznačuje svým výrazným objemem, a podstatně jiným přístupem k tvarování rentgenovací hlavy. Zatímco u ostatních konkurenčních přístrojů je zdroj a přijímač rentgenového záření oddělen, tak v tomto případě se celá horní část snímací hlavy sníží a obklopí pacientovu hlavu ze všech stran. To může na pacienta působit klaustrofobickým dojmem a nepříspěvá to pohodlnému vyšetření.

Hlava a stojan je spíše z organických kulovitých tvarů, zatímco ovládací panel vychází spíše z kubusů. Celý přístroj je rozměrově daleko větší, než je u takového přístroje potřeba. Náročnost na prostor v ordinaci je tak vysoká.

Z pohledu ergonomie je dobře vyřešen panel pro obsluhu před pacientovou hlavou. Židli je případně také možné sklopit a pokud je potřeba, vyšetření může proběhnout i ve stoje. Podstavec přístroje znemožňuje jednoduchý přístup pacienta z vozíku. Poloha v sedě je daleko stabilnější, takže zajišťuje jednodušší průběh snímání. Přístroj existuje pouze v bílé variantě, kterou doplňují šedé detaily. Barevný potenciál celého přístroje tím pádem není využitý.

Jeden sken přístroje dokáže vytvořit až 6 různých snímků naráz. V nabídce jsou čtyři různá FOV s maximálním rozměrem 21 x 19 cm, který dokáže zobrazit skoro celou lebku. Skenovací čas je 18 sekund. Maximální velikost přístroje je 2185 x 1527 x 1575 mm.

## i-CAT – FLT V17



Obr. 2-8 FLT V17 [12]

Produkt firmy i-CAT [13] je dobrým příkladem konstruktérského řešení, které postrádá designérský vzhled. Tvar zařízení reflektuje funkci, ale nedává mu žádnou přidanou hodnotu vybraným tvarováním. Přístroj spíše připomíná stroj do tovární haly. To stejné platí jak pro ovládací panel, tak i pro polohovatelné sedátko. Senzor pro příjem rentgenových paprsků je přímo viditelný a působí jako obrazovka televize. Pacientova hlava je podepřena podložkou pod bradu, což je pro pacienta příznivější než uchycení za spánky či jinou část hlavy. Pohybu hlavy je zabráněno ještě zadní deskou, která hlavu podepírá.

Dle mého názoru přístroj není dobře vyřešen ani ergonomicky. Pacient si musí sednout na polohovatelné sedátko až za zábranu, na které je upevněna část pro upevnění hlavy. To může být pro pacienta složité a zároveň toto řešení vylučuje použití přístroje pacientem na vozíku či přemístění imobilního pacienta.

Barevnost je opět volena velice střídá, běžná až nudná. Na ovládacím panelu zdvihacího systému jsou pak zvolena modrá a žlutá tlačítka.

Z technického hlediska přístroj splňuje požadavky moderních CBCT rentgenů. Je zde možnost 2D i 3D snímkování. Nabízí 9 různých druhů FOV.

CBCT pro snímání pacienta v leže

Tento typ přístrojů již není v dnešní době využíván. Tvarování přístrojů je zcela jiné než v předchozích dvou kategoriích, proto nebude sloužit pro inspiraci k mému návrhu, ale pouze jako doplnění rešerše na trhu.

### **New Tom 5G XL – Extra Vision**



**Obr. 2-9** New Tom 5G XL – Extra Vision [14]

Rentgeny pro snímání pacientů v leže kvůli jejich velikosti nenajdeme v ordinacích. Z tvarového hlediska je přístroj od firmy New Tom velice objemný a robustní. Svými funkcemi jde o CBCT sloužící nejen dentálním účelům. Tvarosloví dnešních CT systémů je řešeno podobným způsobem, avšak nejde zde o nejmodernější pojetí, které můžeme na trhu najít. Neřekla bych, že se nějak výrazně odlišuje od svých konkurentů.

Z ergonomického hlediska by zde neměl nastat problém u žádných pacientů. Poloha pacienta v leže je nejstabilnější pro snímky. Lehátko je v tomto případě vodorovné a posuvné dle potřeby. Pacient si lehne, lehátko se zvedne do požadované výšky a zasune se s pacientem do kruhu s rentgenem.

Z barevného hlediska jde pak o přístroj zcela bílý se světle šedým vnitřním kruhem. Barevnost opět nijak nevyčnívá mezi konkurenčními přístroji.

Z technického hlediska je možná tvorba 2D i 3D snímků. Nabízí 9 různých FOV. [14]



## Clarix XT



Obr. 2-10 Clarix XT [15]

Další z produktů pro snímání pacienta v leže je Clarix XT od firmy iCRco. [16] Z obrázků jde vidět, že pacient si lehne na zdvihací lehátko, které ho poté posune do snímací plochy. Jde o jednoduchý kubusovitý tvar, jehož dominantou je křivka v předním pohledu. Lehátko tvarově neladí k samotnému přístroji.

Z ergonomického hlediska je toto tvarování výhodné, jelikož pacient leží v klidu a snímání proto může proběhnout bez větších problémů.

Přístroj má obvyklou bílou barvu a je doplněn o modrý kruh lemující skenovací otvor.

Z technického hlediska jde o přístroj, který se snaží minimalizovat záření při vyšetření. Má více možností FOV.

## Vlastní průzkum trhu

Při návštěvě dentální kliniky Modec se sídlem v poliklinice v Židenicích v Brně jsem měla možnost si nafotit panoramatický rentgen s 3D zobrazováním – přístroj od firmy New Tom. Jde o jedno z menších zařízení pro snímání pacienta ve stoje.



Obr. 2-11 Dentální rentgen New Tom

Jedná se o prostorově nenáročný přístroj se snadným a intuitivním ovládáním. Na fotografii lze vidět, že přístroj nemá žádnou spodní podstavu, na které by byl schopný samostatně stát. V zadní části je přišroubovaný ke zdi. Toto je výhodou při vyšetření pacientů na invalidním vozíku, se kterými se lékaři v této ordinaci běžně setkávají. Vozíčkář přijede sám a obsluha přístroje s ním může pracovat stejně jako s ostatními pacienty.

Tvarosloví přístroje je průměrné a zapadá tak mezi ostatní běžné přístroje. Jde o podstavnou nohu a skenovací hlavu, která je polohovatelná. Samotná skenovací otočná hlava je opticky oddělena černým pohledem.

Pro zamezení pohybu hlavy má přístroj podložku, o kterou si pacient opře bradu. V horní části je hlava uchycena třemi plastovými podložkami, kterou jsou v místě styku vybaveny měkkou tkaninou pro pohodlí pacienta. Z pohledu způsobu vyšetření se nejedná o polohu face to face pacienta a obsluhy. Obsluha musí pacienta umístit do správné polohy pohledem přes zrcadlo připevněné na noze přístroje. Z mého pohledu nejde o ideální způsob.

Dalším problémem toho přístroje je nedostatečná nastavitelnost přístroje. Pokud je pacient vyšší či robustnější, má problémy se vlézt do rozměrů, pro které je přístroj navržen. I z těchto důvodů by bylo vhodnějším řešením snímání pacientů v sedě.

Poloha v sedě je přirozenější jak pro obsluhu, tak pro pacienta. Zamezí se nežádoucím artefaktům při tvorbě rentgenových snímků a zároveň má obsluha přímý kontakt s pacientem, a tak ho může jednodušeji nastavit do požadované polohy. [17]

Navštívila jsem také dentální kliniku nemocnice u sv. Anny v Brně. Zde jsem měla možnost vyzkoušet jiný přístroj i s modelovým pacientem. Během toho byly zjištěny jisté jak ergonomické, tak i technické nedostatky z hlediska obsluhy i pacienta.

Za asistence radiologické asistentky mi byl vysvětlen průběh celého vyšetření. Vše, jak ze strany pacienta, tak ze strany obsluhy. Od momentu, kdy přijde obsluha s pacientem poprvé do kontaktu přes to, co je třeba pacientovi vysvětlit (např. jak funguje ochrana pacienta) až po samotné vyšetření a softwarové zpracování snímku. V průběhu byl asistentkou subjektivně zhodnocen celý proces a konkrétní typ přístroje Carestream Dental. Zajímavá byla možnost náhledu do softwaru. To však nemá žádný další význam z pohledu designu rentgenu.

Důležitou součástí při další tvorbě byla i osobní možnost si vyzkoušet vyšetření ze strany pacienta a pečlivé pozorování vyšetření ze strany obsluhy u více skutečných pacientů. Na základě této zkušenosti jsem vytvořila dotazník, který jsem rozposlala do dentálních zařízení pro získání více úhlů pohledu na danou problematiku.

Designérská analýza u toho produktu již byla zpracována dříve v této kapitole.



**Obr. 2-12** Dentální RTG Carestream Dental s modelovým pacientem

## 2.2 Technická analýza

Tato podkapitola mapuje současné přístroje na trhu z technického hlediska od základních konstrukčních prvků a součástí až po ergonomii a průběh snímání.

### 2.2.1 Dělení přístrojů

Dělení přístroje dle snímací polohy pacienta

V leže, v sedě a ve stoje – to jsou tři základní polohy pacienta při snímání. Stabilita je klíčový parametr v kvalitě snímků. Přístroje s polohou v leže už se v současné době nevyrábí, jelikož technologie pokročila natolik, že je bylo možné výrazně zmenšit a umožnit umístění i do menších ordinací. Velkou výhodou byla minimalizace pohybu pacienta.



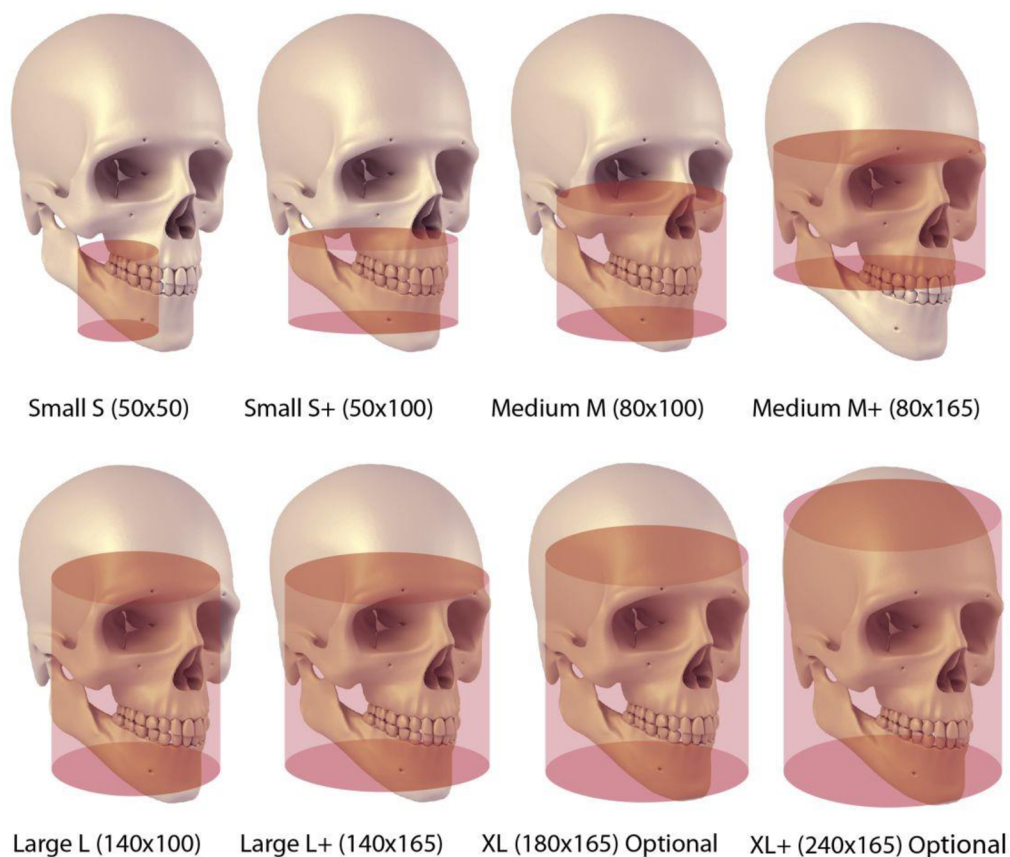
Obr. 2-13 Přístroj pro snímání pacienta ve stoje a v sedě [4] [9]

Přístroje v sedě jsou stále běžně užívané. Nejčastější jsou ale v dnešní době přístroje pro snímání pacienta ve stoje. To však může být někdy nevýhodou hlavně pro obsluhu. Pokud je pacientem dítě, tak obsluha musí dřepět či se neustále ohýbat, což není pohodlné [17]. Dále je potřeba, aby se pacient co nejméně hýbal, jelikož každý pohyb může znehodnotit snímek. Přístroj může běžně používat i osoba na invalidním vozíku. Proto bych se ve své práci chtěla zaměřit na kombinaci přístrojů pro vyšetření pacienta v sedě a ve stoje.

## Dělení dle velikost detektoru FOV

V anglické literatuře FOV – field of view znamená velikost snímané plochy pacientovy hlavy. U soudobých přístrojů je nastavitelná dle potřeby tak, aby radiční dávka byla pro pacienta co nejmenší. Jsou čtyři hlavní skupiny dle využití: 1) malé do 5 cm (vyšetření jednotlivých zubů), 2) střední do 10 cm (horní i dolní čelist v jednom snímku), 3) 10–15 cm (obličejová část lebky), 4) nad 15 cm (zachycení celé obličejové části lebky) [18,19].

Jedná se o jedno z nejdůležitějších kritérií při nákupu přístroje, které zároveň nejvíce ovlivňuje jeho cenu. Běžné přístroje zvládnou FOV o rozměrech medium (viz obrázek 2 -15).



**Obr. 2-14** Příklad druhů FOV [19]

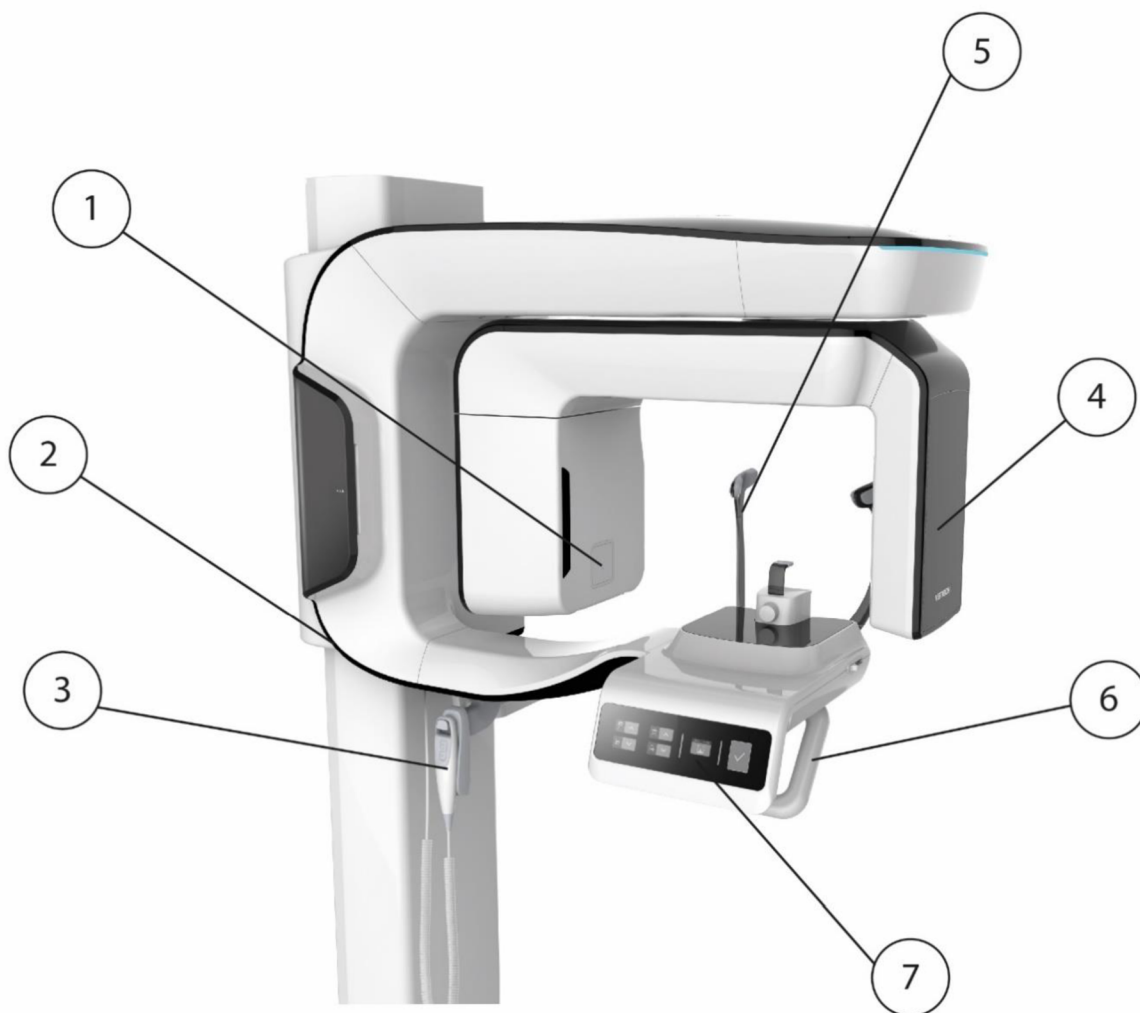
## Dělení dle polohy pacienta a obsluhy

Existují dva hlavní principy, podle kterých přístroje rozdělujeme ve vztahu obsluhy k pacientovi. První je čelem k sobě (anglicky používaný výraz face to face), kdy obsluha přímo vidí pacientovi do tváře a dle laseru nastaví hlavu do ideální polohy. Druhá je taková, že pacient je čelem k podstavné noze přístroje, na které je umístěné zrcadlo. Obsluha je pak zezadu nebo z boku a přes zrcadlo a lasery nastavuje pacienta do správné polohy k vytvoření snímku.

## 2.2.2 Komponenty

Jednotlivé přístroje se mohou lišit svým provedením, avšak základní komponenty přístroje jsou vždy stejné. K rentgenům, kterými je pacient snímán v sedě může být přidána stolička. U přístrojů, které mají přídavné rameno, je možnost tvorby cefalometrických obrázků (statické rentgeny profilu čelisti). Jedná se o přídavnou funkci.

Vnější komponenty:



Obr. 2-15 Vnější komponenty přístroje [6 upr.]

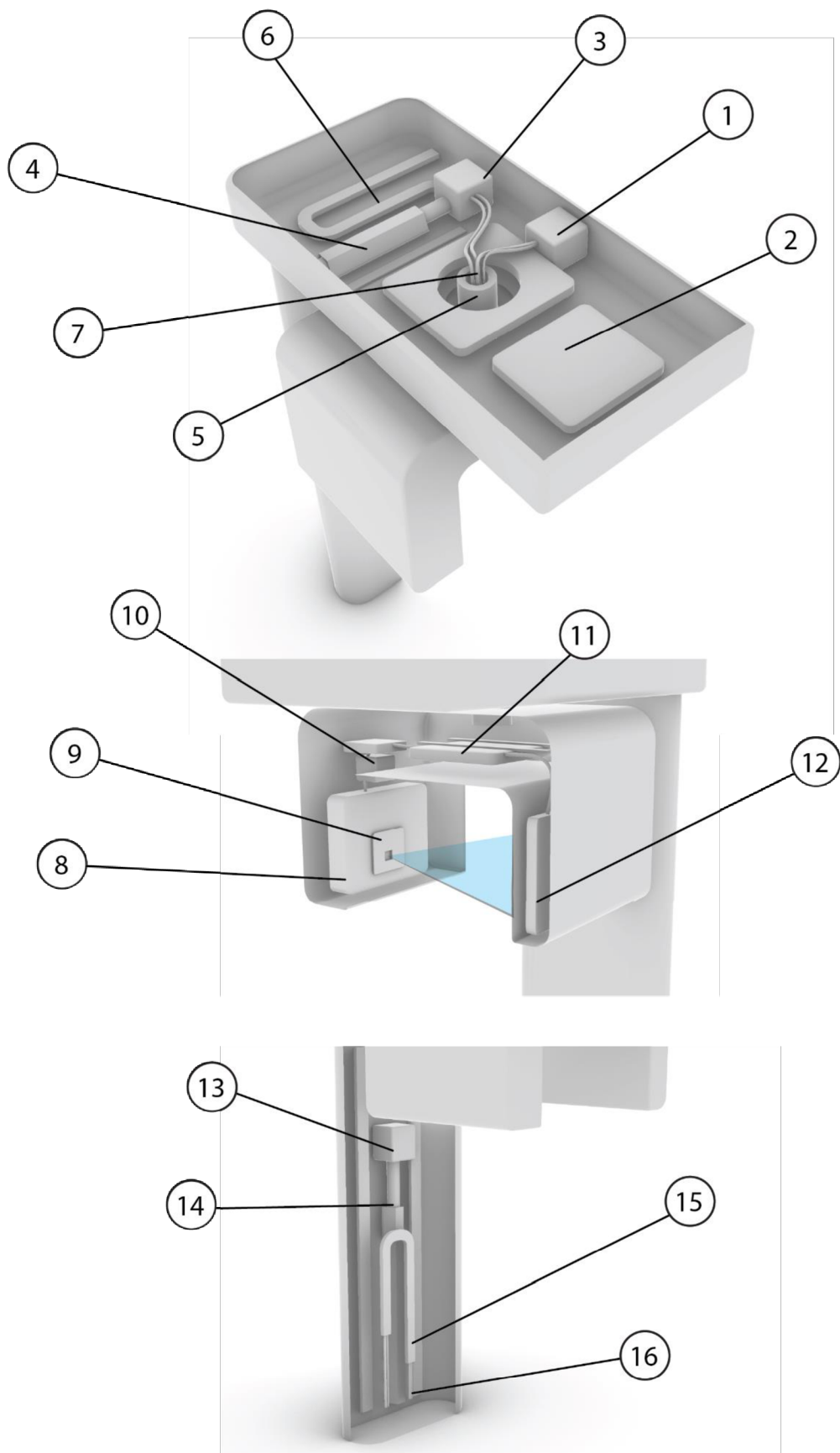
1. Zdroj radiace – nachází se v něm celá konstrukce rentgenky, chlazení a dostatečné stínění pro ochranu obsluhy.
2. Polohovatelná snímací hlavice – celá snímací hlavice je posuvná, aby bylo možné ji nastavit dle výšky pacienta.
3. Dálkový ovladač – dostupný pro obsluhu, aby mohla nastavovat výšku snímací hlavice – duplicitní funkce.

4. Plochý přijímač rentgenového záření – sloužící k tvorbě snímků. Dříve se snímky přenášely na rentgenové filmy, které pak bylo možné vyvolat. Dnes už se vše zobrazuje v softwaru v elektronické podobě. Digitální snímač už se nemusí měnit, pokud potřebuje přejít z 2D snímků na 3D snímky a je velice přesný.
5. Stabilizace hlavy pacienta – podpěra brady a dvě boční podpěry sloužící k maximální možné stabilizaci pacienta a zabránění pohybovým artefaktům.
6. Madlo pro pacienta – pacient se oběma rukama drží za chyty, částečně tím stabilizuje svoji polohu a zároveň slouží k navedení pacienta, jak se k přístroji postavit.
7. Ovládací panel obsluhy – sloužící hlavně k posuvu a nastavení hlavice. [20,21]

Snímací hlavice je pak připevněna na stojanu, který slouží jako nosná konstrukce a zároveň je uchycený jednou či dvěma konzolami ve zdi. Dříve byly v přístrojích pohyblivé protizávaží a výška přístroje se nastavovala ručně. Dnes jsou již obvykle v přístroji motory. V ramenu na podstavci je hlavní elektronika a v rotační části potom rentgenka a přijímač. Vše je podrobněji popsáno na schematicém obrázku (Obr. 2-16).

Upořádání vnitřních komponentů:

1. Krokový motor pro pohyb rentgenové hlavy v horizontálním směru
2. Základní deska, řídicí elektronika
3. Krokový motor pro rotační pohyb rentgenové hlavy
4. Závitnice pro krokový motor sloužící k pohybu rentgenové hlavy v horizontálním směru
5. Dutá hřídel spojující kabeláží rentgenovou hlavu s tělem rentgenu
6. Energetický řetěz k uschování a polohování kabeláže
7. Kabeláž
8. Rentgenka v hermeticky uzavřeném obalu, se 2-3 litry chladícího oleje a odstíněním
9. Kolimátor k odstínění záření – olověný kryt s okénkem
10. Elektromotor k natočení rentgenky a polohování kolimátoru
11. Kolečnice k polohování rotační jednotky do stran
12. Úzký polovodičový detektor ionizujícího záření
13. Elektromotor
14. Závitnice k polohování výšky přístroje
15. Energetický řetěz na kabeláž
16. Krytá kabeláž



Obr. 2-16 Vnitřní uspořádání



## 2.2.3 Rozměry

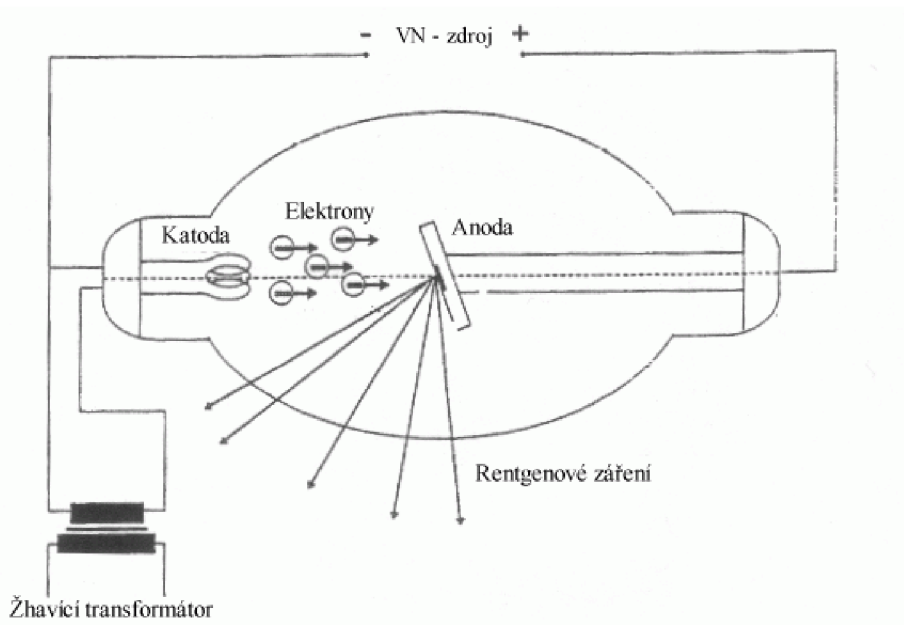
Rozměry záleží hlavně na konfiguraci přístroje (přítomnost cefalometrického ramene). Samotný základ přístroje se vejde na plochu cca 1,5 x 1 m. Při přítomnosti cefalometrického ramene pak 1,5 x 2 m. Průměrné celkové rozměry jsou pak 1,5 x 1 x 1,6–2,3 m. Hmotnost přístroje je do 200 kg včetně cefalometrického ramene. [21]

## 2.2.4 Použitá technologie

### Vznik RTG záření

Rentgenové záření je elektromagnetické vlnění o frekvenci  $10^{17}$ -  $10^{20}$  Hz a o vysoké energii. Charakteristickou vlastností je pronikání látkami a jejich ionizace. Základním zdrojem je rentgenka (dříve iontová lampa). [22] Jde o skleněnou trubici – v níž je zabudována katoda a anoda z wolframu (dobrá tepelná vodivost).

Katoda je žhavená ze žhavicího transformátoru. Termoemisí se elektrony uvolňují z katody a vytvářejí různě hustý mrak. Vlivem napětí jsou elektrony přitahovány k anodě a dopadají na dopadové (termické) ohnisko – to je skloněno a svírá s výstupním oknem rentgenky asi  $19^\circ$ . Ve směru centrálního paprsku je optické ohnisko = projekce termického. Na velikosti optického ohniska závisí kvalita rentgenového obrazu. Čím menší ohnisko, tím větší ostrost (kvalita) obrazu. [23] S ostroستí obrazu klesá zatížitelnost (příkon, který snese za 1s) rentgenky. To je možné řešit rotačními anodami, které se dnes běžněji používají (viz Obr. 2-18).



Obr. 2-17 Schéma rentgenky [24]

Při dopadu elektronů na anodu se uvolňuje velké množství tepla. Anodu proto chladíme vzduchem, vodou nebo olejem, případně kombinací. [25]

Rentgenka je chráněna i mechanicky – kovovým krytem. Ten slouží i pro připojení kabelů vysokého napětí, upevnění clony, ochranu pracovníků před vysokým napětím a před ionizujícím zářením. V krytu rentgenky se nachází výstupní okénko (beryliová destička). Tím nemohou procházet elektrony, ale pouze využitelné rentgenové záření.



Obr. 2-18 Rentgenka s rotační anodou [26]

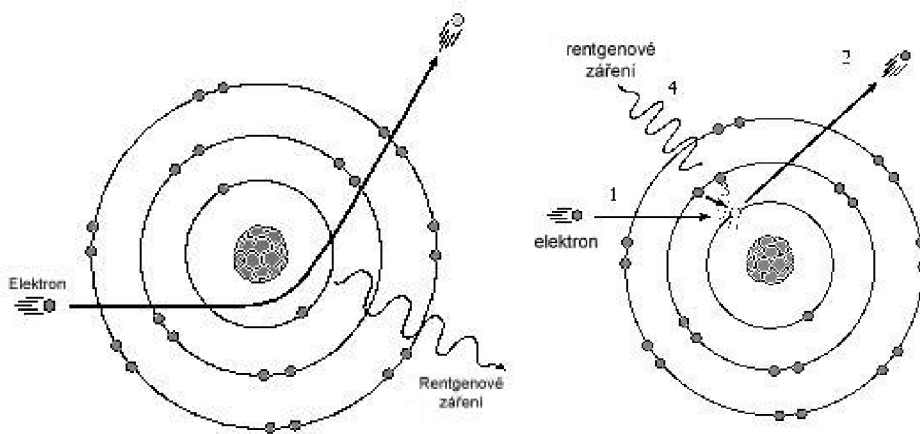
#### Brzdné a charakteristické záření

Dle vzniku dělíme záření na brzdné a charakteristické (viz Obr. 2-20).

Rychle letící elektron se dostane do elektrostatického pole jádra atomu anody, dochází k elektromagnetické interakci. Ta způsobuje prudké snížení rychlosti a zakřivení dráhy elektronu. Zabrzdění způsobí ztrátu kinetické energie, které se přemění na foton rentgenového záření.

Charakteristické záření pak vzniká tak, že elektrony dopadající na anodu mají dostatečnou energii, předají ji elektronům ve vnitřní slupce elektronového obalu. Dochází tak k jejich přemístění (excitaci) do vyšší energetické hladiny nebo k jejich úplnému vyražení z atomu (ionizaci). Na uvolněné místo pak přeskakují elektrony z vyšších energetických hladin atomu (nebo volné elektrony), aby tak atom získal zpět stabilitu. Mezi jednotlivými energetickými hladinami jsou značné rozdíly, a tak je rozdíl energií vyzářen ve formě fotonu rentgenového záření.

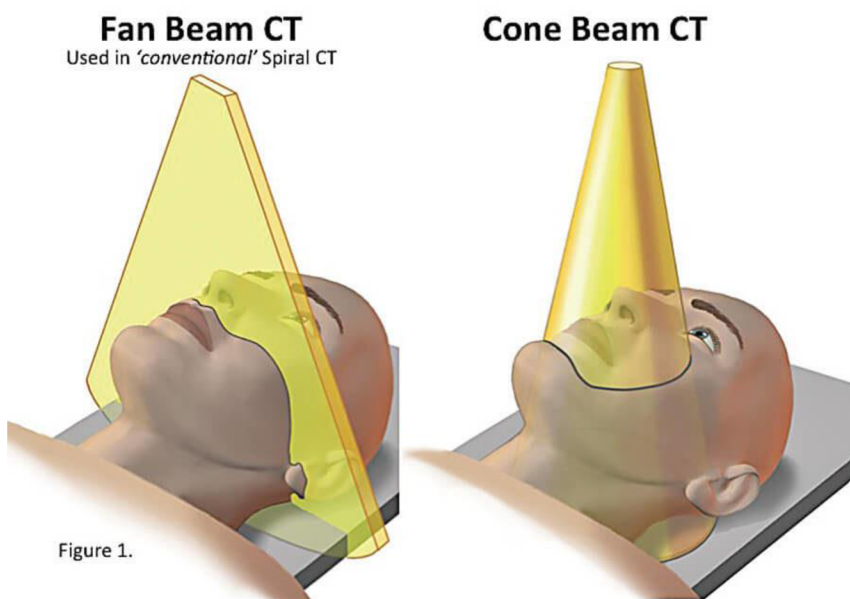
Při zvyšování napětí jsou rentgenkou produkovány oba druhy záření a jejich spektra se skládají. [23,25]



Obr. 2-19 Brzdné a charakteristické záření [27,28]

### Princip Cone Beam Computed Technology (CBCT)

Podstatou CBCT je plochý detektor na jedné straně a zdroj záření na straně druhé. Záření má tvar kužele, který má velikost dle oblasti, kterou je potřeba skenovat. Data jsou získávána v průběhu jedné otáčky (nejedná se o otočení dokola, ale pouze o 270°). [29,30]



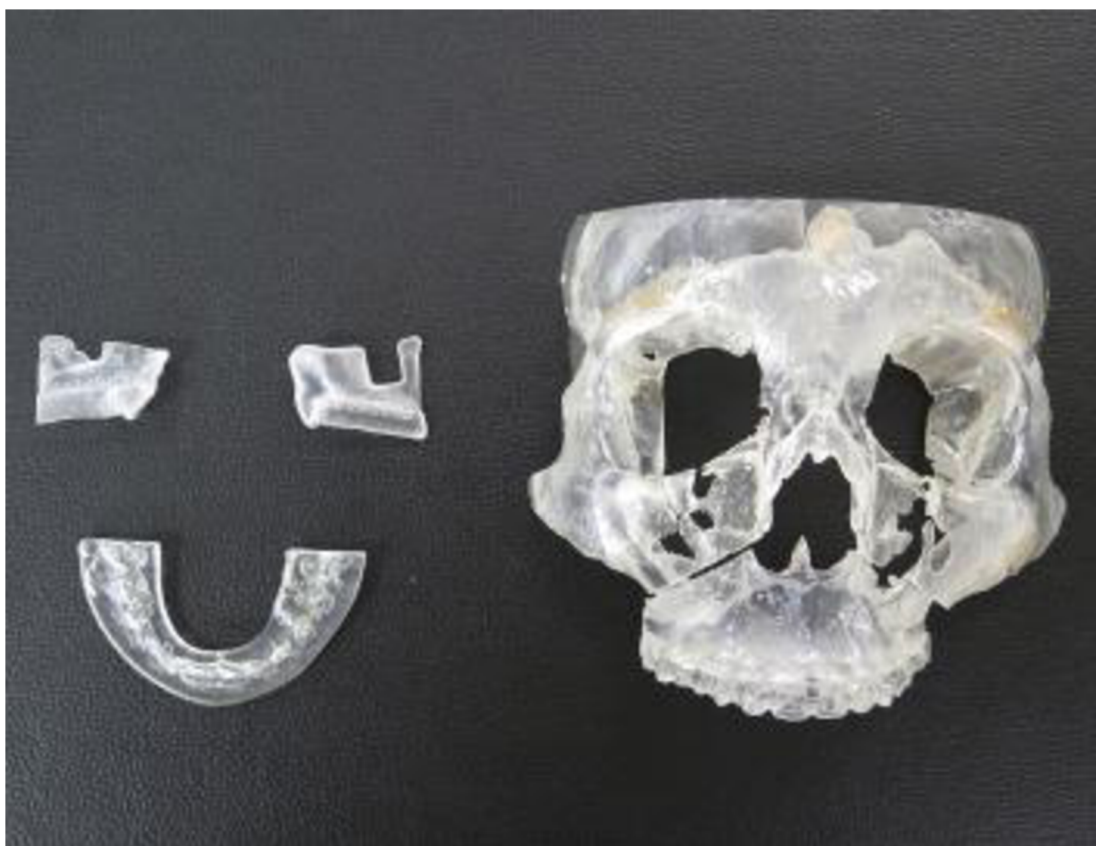
Obr. 2-20 CT vs CBCT [31]

CBCT je daleko rychlejší a pacient získává i menší dávku radiace, jelikož se nevytváří žádné překrývající záběry (jako když byla snaha udělat dva až tři panoramatické pohledy a z nich dle představivosti skládat trojrozměrný obraz).

Novější přístroje pak snižují radiační dávku i tak, že zdroj je synchronizován s detektorem a zapíná se pouze ve chvíli, kdy je detektor připraven k další expozici. Mezi další výhody patří cenová dostupnost a vyšší rozlišení snímků. Výstupy z rentgenů s 3D technologií jsou 1:1, což je důležité v dalším využití jako je implantologie či dentální chirurgie. [22,23]

#### Vývoj do budoucna

Další možnosti využití, které nabízí tato technologie je rapid prototyping a s tím spojený 3D tisk modelů čelistí či velké části lidské lebky, ale i navigační šablony pro zavádění implantátů či posuny čelistí. V dentální chirurgii napomáhá předem odhadnout výsledek operace. Slouží například i k tomu, aby lékař mohl vědět, jak bude vypadat tvář pacienta po zákroku (změna předkusu čelisti apod.) a jak bude celá operace probíhat. Při procesu jsou zapojeny i CAD systémy, které se postupně ze strojařského prostředí přesunuly i do prostředí lékařského. Tyto 3D modely jsou pak užitečné pro komunikaci mezi pacientem a doktorem, také slouží k lepšímu naplánování průběhu operace a celkové informovanosti jak pacienta, tak operujícího lékaře. [32].



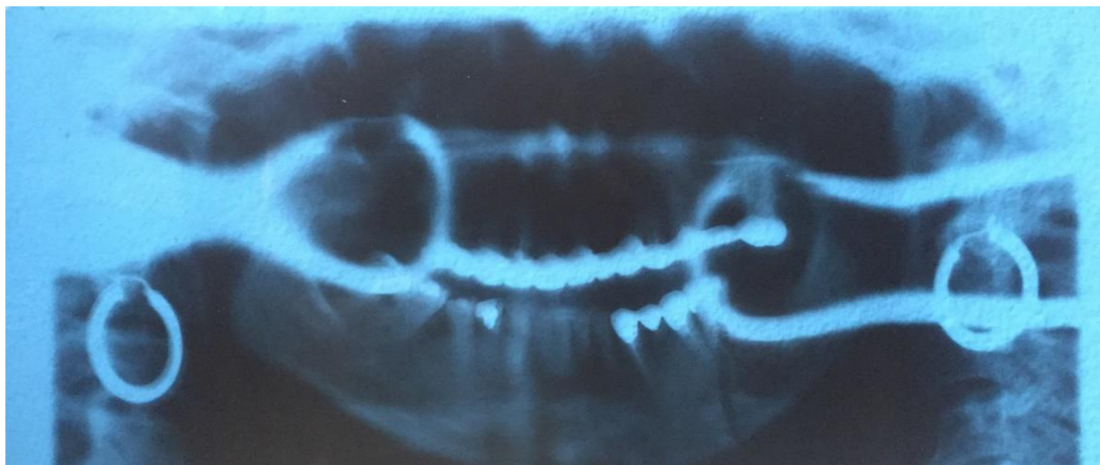
Obr. 2-21 3D vytisklý model čelisti [32]

## Hlavní výhody panoramatických RTG s technologií 3D zobrazení

- Cenová dostupnost -1–2 mil Kč i se softwarem je cena, kterou si mohou dovolit větší stomatologická zařízení
- Prostorová nenáročnost – asi do 2 m<sup>2</sup>
- Rozlišovací schopnost – dobré zobrazování detailů, vždy je dobré potřebovat co nejmenší rozlišení, jelikož čím větší rozlišení, tím větší radiační dávka. Počítač vyhodnotí asi 120 milionů voxelů, ze kterých sestaví výsledný 3D model.
- Rychlost snímání - 5–30 sekund dle požadovaného snímku, s větším časem může nastat vznik pohybových artefaktů. Vytvoření 3D modelu v softwaru pak nezabere více než 3 minuty.
- Přesnost – V současnosti nabízí přístroje přesnost v desetínách až setinách milimetru, což je dostatečné pro všechny požadované zákroky. Největší přesnost je v centrální oblasti a směrem ke koncům snímané oblasti se snižuje.
- Variabilní FOV – ovlivnění radiační dávky. Pokud snímám jen malou potřebnou část čelisti, pacient je vystaven daleko menšímu záření.
- Zobrazování tvrdých tkání – zobrazení zubů a čelistí je pro tento obor daleko důležitější než zobrazení tkání měkkých.
- Radiační dávka – jednotlivé studie zkoumání radiační dávky zkoumají data různými způsoby. Nelze tedy přesně číselně určit, jak špatná radiační dávka pro člověka je. Dle různých interpretací teda dávka radiačního záření odpovídá 3–48 dnům přirozeného záření. Radiační dávka je cca 5x větší při vytvoření 3D obrazu oproti pouze panoramatickému snímku. Ale je asi 50x nižší než při běžném CT snímku.
- Možnosti využití – speciálními funkcemi, které přístroje nabízí jsou možnosti zlepšení chirurgických zákroků – možnost vést virtuální řez čelistí. Dalším běžným využitím je implantologie – lékař má k dispozici škálu používaných implantátů a může tak vybrat správnou velikost. Dalším možným využitím je rapid prototyping. [32]

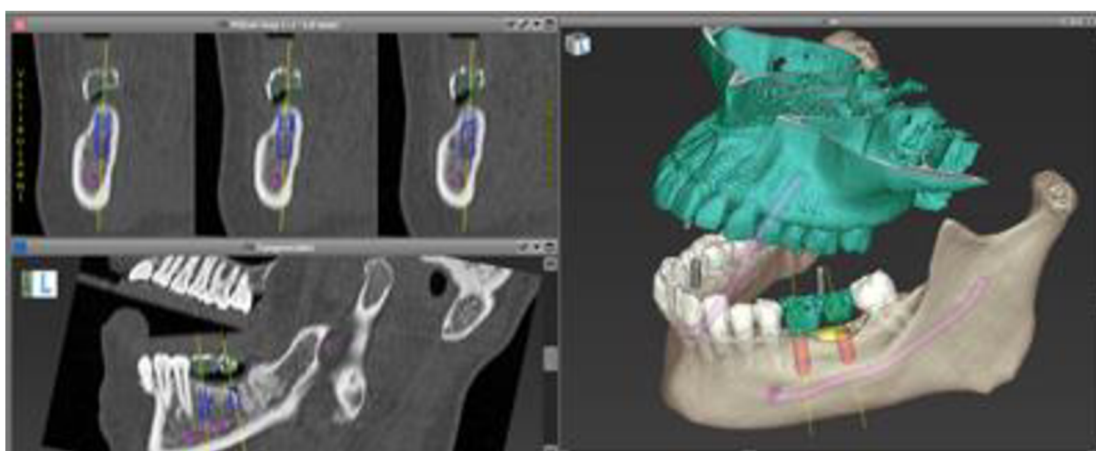
## 2.2.5 Průběh snímání

Je třeba nepodcenit komfort pacienta při snímání, protože jeho stabilita a relaxace jsou jedny z hlavních faktorů při kvalitní tvorbě snímků. [33] Pacient je požádán, aby při vyšetření skousnul plošku, která oddálí čelisti od sebe, aby se na snímku nepřekrývaly (ta na provedeném snímku není vidět).



Obr. 2-22 Artefakty na RTG snímku z náušnic

Po objasnění procesu pacientovi je nastaven přístroj. Obsluha opustí místnost a sken zahájí dálkovým ovladačem. Celý sken je proveden v jediné otočce. Během rotace dochází k pravidelným expozicím a vytvářejí se základní snímky, kterou jsou následně odeslány do řídicí jednotky a zpracovány rekonstrukčním algoritmem. Celý tento proces je rozdělen do několika částí [29,30]. V první jsou eliminované artefakty, které mohly vzniknout při snímání. V druhé straně je hlavní tvorba sinogramů a jejich následná rekonstrukce dle Feldkampova algoritmu. U CBCT je jsou základními jednotkami voxely vytvářející 3D model. Každému voxelu je přiřazen odstín šedé, který je dán hustotou tkáně v daném místě. Po zpracování vzniknou data, kterou už jsou pro lékaře vhodná k dalšímu postupu.



Obr. 2-23 3D softwareově zrekonstruovaná čelist

## Ochrana pacienta a obsluhy

Základní ochrana před rentgenovým zářením je vzdáleností od rentgenu, časem a stíněním.

Pacient by měl před snímáním vhodně poučen o celé proceduře. Kovové objekty mohou být zdrojem artefaktů při snímání (Obr. 2-22). Je proto nutné odstranit všechny kovové předměty – náušnice, řetízky, piercingy dokonce i kovové zubní náhrady. Těhotné ženy by měly vždy nahlásit lékaři svůj stav a neměly by si nechat vytvořit snímek, pokud to není vyloženě nutné (je to v dnešní době možné, ale doporučeno jen ve vážných případech).

Pacient je po dobu snímání oblečen v olověné vestě (Obr.2-24), která ho chrání od záření. Je nutné, aby byla v zadní části a chránila tak páteř. V přední části potom srdce a jiné důležité orgány. Jelikož paprsky snímají jen oblast čelisti, není potřeba, aby vesta byla příliš dlouhá a tím pádem nepřiměřeně těžká. [33]



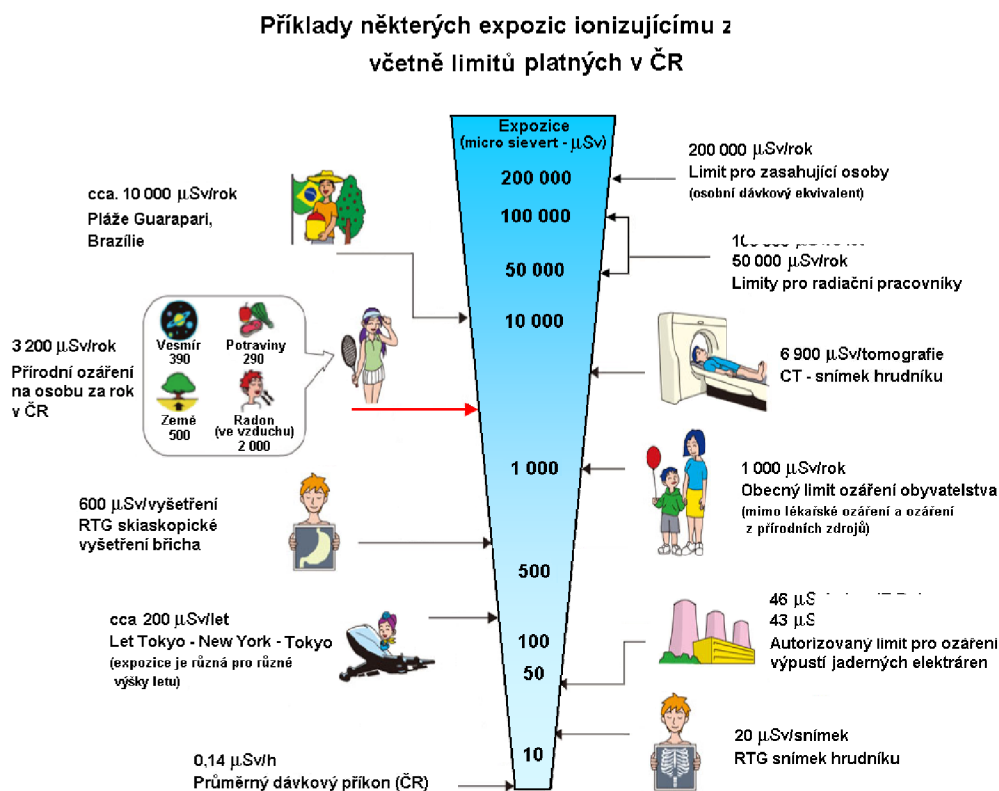
Obr. 2-24 Pacient v olověné vestě

Dále je potřebná ochrana obsluhy, která se nachází v blízkosti několikrát za den. Obsluha vždy zapíná rentgen dálkovým ovladačem až potom, co opustí místnost.

Celá stěna do vedlejší místnosti obsluhy je pokryta barytovou omítkou. Dveře mezi místnostmi jsou olověné a pokud je mezi místnostmi průhled skrz okýnko, to je také vyrobeno tak, aby odstínilo případné záření. [33] V dnešní době se již vesty vyrábějí z bezolovnatých slitin, které poskytují stejnou ochranu jako olovnaté, ale jsou o 37% lehčí.

Všechny přístroje se pravidelně kontrolují vyškolenými odborníky. Zákonně se o problematiku lékařského ozáření zajímá Státní úřad pro jadernou bezpečnost – ten vystavil i tabulku pro pochopení dávky záření při lékařském ozařování. Zároveň uživatelé ochraňují normy, zákony a vyhlášky – př. vyhláška č. 422/2016 Sb., (V 422) o Diagnostické referenční úrovni. Ta mimo jiné říká, že je nutné používat stroj, který prošel zkouškami a je nutné zvolit vhodnou polohu při vyšetření. [34] Každý, kdo chce přístroj používat musí mít povolení od SÚJB.

Pro hodnocení ozáření člověka ionizujícím zářením se používá veličina efektivní dávka s jednotkou Sievert (Sv, mSv,  $\mu$ Sv). Při stanovení velikosti je vychází z absorbované dávky do tkání. [34]



Obr. 2-25 Příklady expozičních ionizujícím zářením v  $\mu$ Sv [34]

V ČR je platná norma pro Zdravotnické elektrické přístroje: ČSN EN 60 601-1-1, která udává všeobecné požadavky na bezpečnost z roku 1994.



## 2.2.6 Ergonomie

Hlavní ergonomickou otázkou, kterou je potřeba se zabývat je pohodlnost jak pacienta při vyšetření, tak obsluhy. U většiny přístrojů se dnes využívá face to face pozice, kdy je pacient otočen čelem k obsluze a ta tak může snadněji pacienta napolohovat a také má dobrou dostupnost k ovládacímu panelu.



**Obr. 2-26** Obsluha a pacient face to face [35]

Panel je buď přímo na rameni, takže obsluha nastavuje přístroj do dané polohy a zároveň se dívá přímo na pacienta. To je ideální řešení. V horším případě je panel ve svislé poloze na boční straně rameně nebo případně na podstavné noze. V tomto případě obsluha nevidí přímo na pacienta, když jej nastavuje do ideální pozice. Další nastavení se provádí přímo u počítače obsluhy v příslušném programu.

Dalším důležitým aspektem je přístup imobilních pacientů, a to zejména pacientů na invalidním vozíku. Některé přístroje mají pouze nohu a jsou připevněné ke zdi, naopak jiné mají podstavec, aby byly schopné samostatně stát. Ve druhém případě je nutné zajistit, aby pacient mohl použít přístroj i na svém invalidním vozíku. Každý přístroj by měl být polohovatelný takovým způsobem, aby zajistil pohodlné vyšetření všem pacientům.



Obr. 2-27 RTG využitelný i pro imobilní pacienty [36]

Dalším problémem je pohodlí obsluhy při vyšetření. Jelikož v dentální ordinaci proběhnou až desítky rentgenů denně, obsluha musí neustále měnit polohu dle výšky pacienta. To je značně nepohodlné například při výrazně nižších pacientech (dětech) nebo naopak při výrazně vyšších. Obsluha si tak musí třeba i vícekrát dřepnout a podobně, což je značně nepohodlné, dokonce složité na nastavení pacienta do správné snímací polohy. [22, 33]

### Ovládání

Ovládací panel se v současnosti vyrábí ve dvou provedeních – tlačítkový nebo dotykový. Hlavní funkce tlačítek je polohování snímací hlavy nahoru a dolů, otáčení a nastavení osy snímání dle polohy pacienta, aby na RTG snímku byly všechny požadované informace. Hlava pacienta je podepřena pod bradou, na spáncích je jemně sevřena konstrukcí, která hlavu vystředí. Obsluha dbá na to, aby hlava byla umístěna symetricky podle středové osy (červené laserové nasvícení) a aby byla ve správně výšce pro snímání.



Obr. 2-28 Správná poloha pacienta

V ukázkovém případě (Obr. 2-29) je ovládání na boční straně. Při nastavení výšky snímací hlavy tak obsluha nevidí přímo na pacienta. Ideální je případ (Obr. 2-28), kdy pacient stojí bokem ke zdi a obsluha ovládá přístroj, když vidí přímo na pacienta.



Obr. 2-29 Tlačítkový panel a dotykový display [37]

### Použité materiály

Hlavním materiálem využitým na nosnou konstrukci jsou litina (šedá nebo tvárná). Nosný sloup je vyztužen litém kovem, aby jeho hmotnost mohla sloužit jako závaží. Upořádání vnitřních částí je zajištěno ocelovými nebo hliníkovými svařenci. Vnitřní části přístroje jsou kompletně obaleny plastovým krytováním. Použité plasty mají technické označení – Plasty pro zdravotnictví – nezávadné, otěruvzdorné, chemicky odolné atd. Například: PE-HMW, PE-UHMW, POM, PA.

Úchop bývá pogumován nebo potažen měkkým materiálem, aby byl pohodlný pro pacienta. Stejně tak podložky pro stabilizaci hlavy. [38]

## 3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

Kapitola analyzuje předchozí rešerši a z ní vyvodí cíle práce včetně dílčích cílů, kterých bude postupně dosaženo ve variantních návrzích. Bude vymezena cílová skupina, možný trh a předpokládaná cena přístroje na trhu.

### 3.1 Analýza a zhodnocení rešerše

Z designérské rešerše vyplývá, že dentální rentgeny jsou běžně rozšířené přístroje využívané v různých odvětvích zubního lékařství. Nejčastější dělení přístrojů je podle polohy snímání pacienta, a to ve stoje, v sedě a v leže – to zcela výjimečně či u starších typů přístrojů. Každý z těchto typů má určité výhody a nevýhody.

Přístroje pro snímání pacienta ve stoje jsou dnes nejrozšířenějšími, zřejmě proto, že zabírají nejméně místa v zubní ordinaci. Prostor je v dnešní době důležitým faktem pro rozhodování, jelikož velikost ordinací je omezená. Typicky jsou i jejich designérská řešení nejvíce propracovaná. Najdeme mnoho různých typů produktů povětšinou s organickým tvarováním. Základním prvkem bývá snímací hlava, která přístroje tvarově odlišuje (Obr. 3-1) – asi nejdůležitější prvek z hlediska designu. Ta je nasazena na podstavci, který může být přišroubovaný ke zdi, tím pádem nemá stabilní spodní podstavu nebo ji naopak má a může tím pádem stát volně v prostoru.



Obr. 3-1 Rentgenovací hlava Kavo OP 3D [9], Vatech pax i3D green [12], Carestream CS 9600 [39]

Přístroje pro snímání pacienta v sedě už nejsou tak časté, jako předchozí typ, ale jsou stále užívané. Dále jsou oproti předchozímu typu podstatně méně pečlivě designérsky řešené. Většinou jsou řešené tak, že základem přístroje je mohutné orámování, které slouží jako nosný prvek pro přístroje. To v dnešní době, kdy technologie dovolují menší rozměry přístrojů (jak lze vidět u přístrojů pro snímání pacienta ve stoje) je nežádoucí. Dalším problémem rámu je i vzhled, kdy přístroj působí spíše jako součást tovární haly než jako zubní rentgen, který má bezbolestně ošetřit pacienta. Přístroje také zapomínají na imobilní pacienty.

Posledním typem přístrojů jsou přístroje pro snímání pacienta v leže. Tímto tvaroslovím se nechci ve své práci zabývat.

Celkově se dá říci, že všechny přístroje jsou barevně stejně bílé maximálně s malými barevnými doplňky. Takže po barevné stránce se přístroje nijak výrazně neodlišují.

## 3.2 Analýza problému

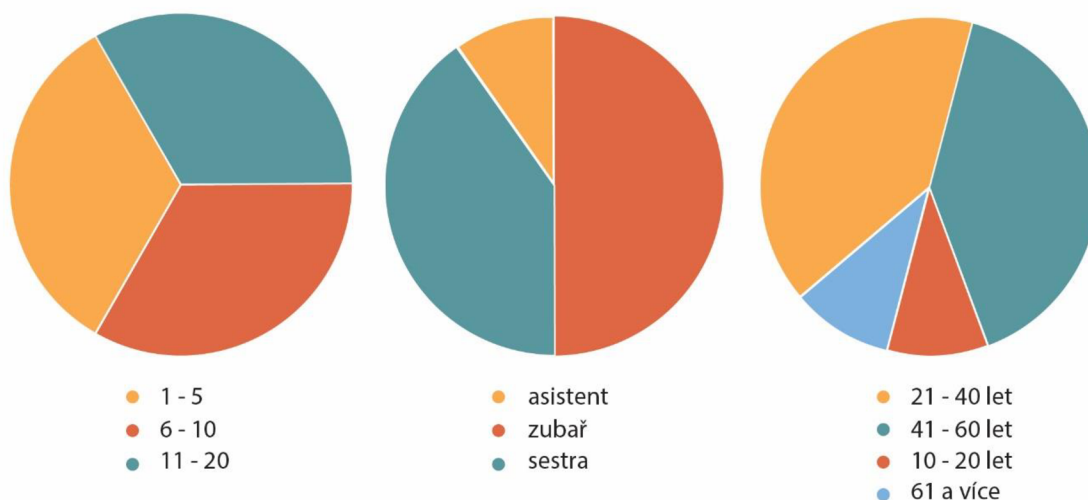
Ke správnému definování problémů pomohla především konzultace s lidmi, kteří přístroj denně obsluhují a mohou tak subjektivně popsat problematiku s obsluhou pacienta při rentgenovém vyšetření. Dále také konzultace s člověkem, který zajišťuje jejich prodej do České republiky a s člověkem zajišťujícím jejich servis.

Byl vytvořen i dotazník. Ten byl rozeslán do vybraných stomatologických zařízení a slouží k přesnějšímu definování složení pacientů v daném zařízení, zlepšení přehledu o obsluze přístroje a subjektivních problémech při průběhu vyšetření. Z dotazovaných odpovědělo deset respondentů, kteří slouží jako dostatečný vzorek pro tuto práci. Z vyhodnocení respondentů vyšlo, že 90 % všech jejich pacientů někdy absolvovalo rentgenový snímek čelisti. Z toho lze usoudit, že jde v této době o běžné vyšetření. Z toho méně než 4 % podstoupí vyšetření na invalidním vozíku.

Další otázky v dotazníku následně graficky zobrazeny:

1. Kolik pacientů denně vyšetří obsluha rentgenu?
2. Kdo rentgen obsluhuje?
3. Jaké je věkové složení pacientů na rentgenu? Popište procentuálně jednotlivé věkové kategorie.

V grafu zaznamenán aritmetický průměr odpovědí.



Obr. 3-2 Grafy složení pacientů

4. Která věková kategorie z předchozí otázky je nejvíce zastoupena na vyšetření? (vyberte pouze jednu)

V tomto případě odpovědělo 62,5 % dotazovaných věkovou kategorií 21–40 let.

5. Jaké problémy související s vyšetřením pacienta jste během své práce zaznamenali?

(vyberte všechny vhodné odpovědi či zadejte vlastní)

- 62,5 % Pacient nevydrží stát bez sebemenšího pohybu během vyšetření
- 32,5 % Pacient je příliš vysoký na rentgen – rentgen nelze nastavit potřebně vysoko a pacient tak musí stát pokrčený v kolenou.
- 12,5 % Pacient má strach z vyšetření / přístroje.
- 12,5 % U starých lidí překáží vyšetření hrb na zádech.
- 12,5 % Pacient má krátký a silný krk – býčí šíji. Přístroji pak překáží ramena pacienta při otáčení.
- 12,5 % Pacient nevidí, kde se nacházejí madla, když je ve snímací poloze.
- 12,5 % U pacientů na vozíčku pro úplně ochrnuté pacienty je problém s opěrkou hlavy.

Vyhodnocení dotazníku vyvrátilo předpoklad, že by se design přístroje měl zaměřit hlavně na starší skupinu obyvatelstva. Většina vyšetřených pacientů je v průměrném věku od 20 do 40 let. Dále z problémů jednotlivých respondentů budou formulovány dílčí cíle práce.

### 3.2.1 Imobilní pacienti

U stabilní spodní podstavy nastává problém, že omezuje přístup imobilních pacientů na vozíku, kteří se musí složitě dostávat jen jednou možnou cestou do správné polohy pro vytvoření rentgenového snímku. Také jim často zavazí celé rameno sloužící k fixaci. Dalším problémem je rentgenování pacientů na vozíku s podpěrkou hlavy. V tomto případě není nijak vyřešena možnost pohodlného snímání, jelikož rentgenovací hlava neprojde dokola kolem opěrky, přes kterou nelze snímek vytvořit.

U některých přístrojů je problematické madlo, kterého se pacient při vyšetření drží, aby lépe stabilizoval svoji polohu. Pokud je madlo dole pod podpěrou hlavy, tak snímací hlavu nelze dát potřebně nízko, kvůli zkrácené páteři sezením a poloze nohou pacienta na vozíku.

### 3.2.2 Obsluha přístroje a vyšetření pacienta

Další komplikací související s obsluhou přístroje a vyšetřením pacienta je problém s většími pacienty, než je ona sama a také naopak s malými, například dětmi. Vždy si musí stoupnout tak, aby viděla pacientovi do tváře a mohla ho tak nastavit do správné polohy pro vytvoření snímku. Při několikanásobném opakování každý den je tak obsluha pacientů pro sestřičku či radiologického asistenta v ordinaci nepřiměřeně namáhavá.

Problematické je i umístění madel, kdy pacient v poloze, kdy má zafixovanou hlavu již nevidí, kde se madla nachází.

Polohování pacienta tzv. přes zrcadlo mi přijde jako nepraktické řešení. Obsluha stojí za pacientem nebo bokem (dle polohy ovládání) a tak se snaží pacienta nastavit do potřebné symetrické polohy, aniž by na něj přímo viděla, ale vidí pouze odraz v zrcadle.

### 3.2.3 Ovládání

Nejdůležitějším prvkem je poloha ovládání, kterou velká část přístrojů nesplňuje. Také přehlednost ovládání bývá složitější. Dalším problémem je nastavování parametrů snímání (velikost FOV, délka rentgenového snímání atd.) přímo na ovládacím panelu u přístroje. To obsluha v daný moment vůbec nepotřebuje a raději si to nastaví přímo u svého počítače. Na přístroji by tak měly být pouze základní ovládací prvky polohování snímací hlavy a podpěr hlavy pacienta.

## 3.3 Cíl práce

Hlavním cílem této diplomové práce je navrhnout design dentálního rentgenu s 3D zobrazením pro snímání pacienta. Přístroj bude zajišťovat komfort jak pacienta, tak obsluhy a zajistí i přístup imobilním pacientům na invalidním vozíku. Dalším bodem je příznivé působení přístroje na pacienta před i během vyšetření.

Do cílů práce budou zahrnuty poznatky z analýzy:

Možnost sezení

- Umožnit snímání pacienta v sedě, sedadlo může být výškově polohovatelné.
- Navrhnout možnost sklápění nebo jiného odnímání sedadla z důvodu přístupu imobilních pacientů.

## Obsluha přístroje

- Zajistit ideální výšku ovládání.
- Interakce obsluhy a pacienta přímá.
- Zvážit možnost částečně automatizované obsluhy přístroje – např. nastavení výšky dle senzorů.

## Pacient

- Umístit madla do viditelné polohy tak, aby nepřekážela.

## Tvarové řešení

- Navrhnout tvarové řešení, které působí příznivě na pacientovu psychiku.
- Zajistit tvarováním intuitivní přístup k přístroji.
- Navrhnout tvarové řešení odpovídající designovým trendům ve zdravotnictví

Práce zahrne všechny dosavadní poznatky do návrhu produktu, bude zpracována z technického, ergonomického a estetického hlediska. Při návrhu budou vytvořeny varianty, ze kterých se postupným vývojem vybere finální produkt.

## 3.4 Cílová skupina

Potencionálním odběratelem a uživatelem dentálních rentgenů jsou soukromé stomatologické ordinace nebo stomatologická zařízení seskupující více zubařů a zubních techniků. Hlavně z důvodu, že zakázky do státních zařízení musí být vybrány soutěží. Často tak hraje významnou roli cena na úkor kvality a možnostem přístroje. Přístroje jsou mnohdy do takových zařízení odkoupeny již použité. Předpokládaná četnost použití je 2–25 provedených snímků denně. Tato skutečnost vychází z pořizovací ceny přístroje a jeho využití. Na místě vždy bude alespoň jedna zaškolená osoba určená k obsluze přístroje. Rentgen si však mohou pořídit i menší zubní ordinace s moderně smýšlejícími zubaři, kteří podporují technologický rozvoj.

Rentgeny budou odebírat prodejci, kteří je mohou představovat na veletrzích a svých showroomech. Tyto organizace zároveň zajišťují pravidelný servis a kontrolu přístrojů a zaškolení obsluhy.



## 3.5 Základní parametry a legislativní omezení

Základní parametry a legislativní omezení pro zjednodušení vycházejí z příručky k dentálnímu rentgenu Carestream dental – CS 9300 [40] a využívají obecné legislativní omezení a konkrétní technické specifikace přístroje. [41] Jelikož je přístroj určený pro použití v České Republice (Evropě) můžeme předpokládat, že normy, které musí splňovat jsou shodné i pro ostatní přístroje.

### 3.5.1 Základní parametry

Tab. 3-1 Základní parametry přístroje

Parametry přístroje	Specifikace
Vstupní napětí	230 V–50/60 Hz
Rozměry přístroje	1160 x 1600 x 2390 mm
Požadavky na prostor	1500 x 2000 x 2400 mm
Hmotnost	160 kg
Napětí / proud / frekvence rentgenky	60–90 kV / 2–15 mA / 140 kHz

Tab. 3-2 Rozdílná specifikace mezi panoramatickým a 3D snímkem [40]

	Panoramatický snímek	3D snímek
Technologie senzoru	TFT (thin film transistor)	TFT (thin film transistor)
Technologie	Panoramatický snímek	DVT (digital volumetric tomography)
Čas expozice	4–16 s	12–28 s

Velikost snímku	5 x 149 mm max (dospělí) 5 x 119 mm max (děti)	5 x 5, 8 x 8, 10 x 5, 10 x 10, 17 x 6, 17 x 11, 17 x 13,5 mm
Velikost voxelu	-	90–500 µm
Čas rekonstrukce	ihned	Do 2 minut

### 3.5.2 Legislativní omezení

**Tab. 3-3** Výčet norem vztahujících se na dentální rentgeny [41]

Označení normy	Obsah normy
ČSN EN 60601–1	Zdravotnické elektrické přístroje – Část 1: Všeobecné požadavky na základní bezpečnost a nezbytnou funkčnost
ČSN EN 60601–1-2	Část 2: Elektromagnetická kompatibilita
ČSN EN 60601–1-3	Část 3: Radiační ochrana
ČSN EN 60601–1-4	Část 4: Programovatelnost zdravot. elektrických systémů
ČSN EN 60601–1-6	Část 6: Použitelnost
ČSN EN 60825	Bezpečnost laserových zařízení
ČSN EN 10993–1	Biologické hodnocení zdravotnických prostředků

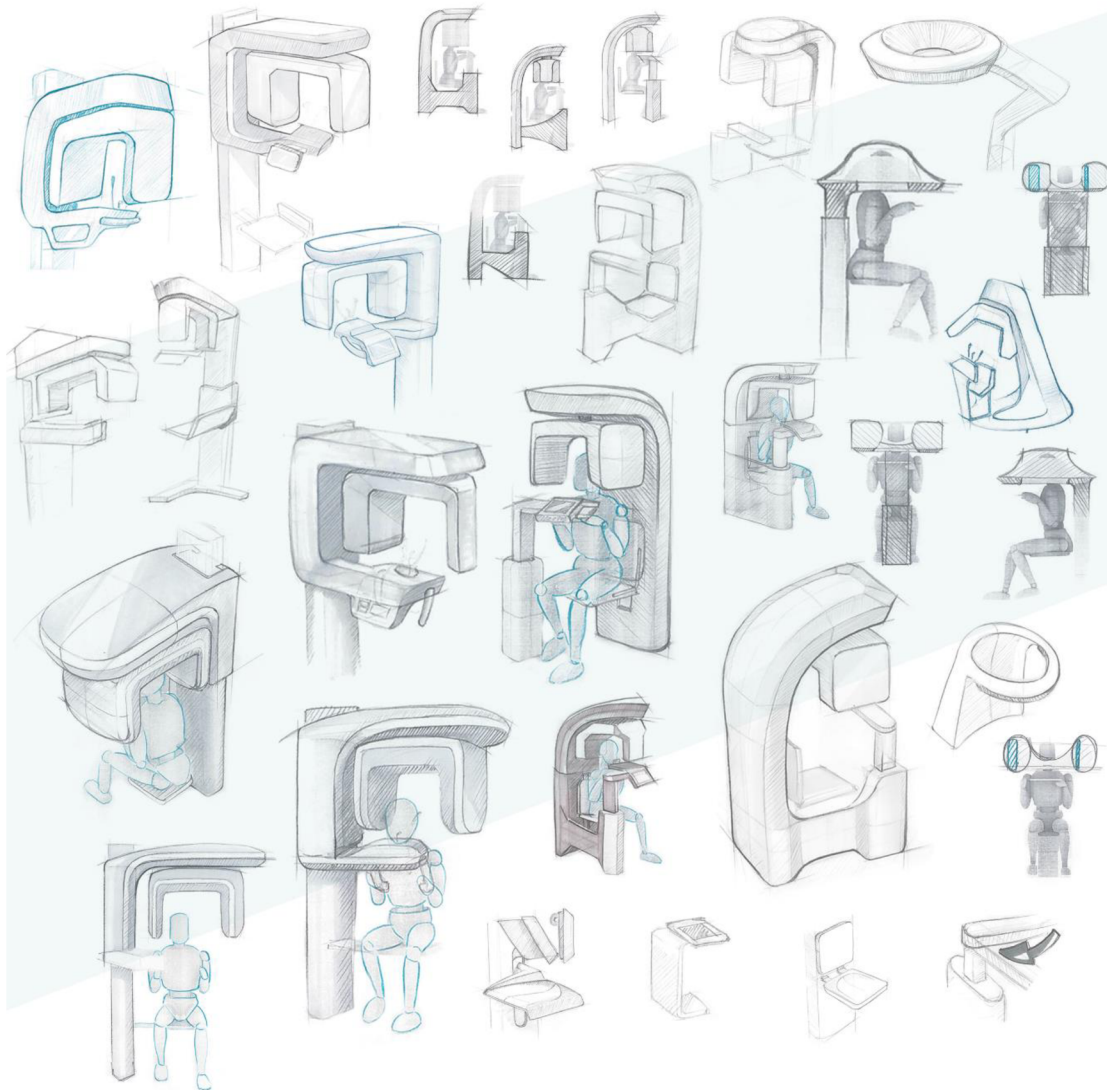
### 3.6 Použité výrobní technologie, možný trh, cena

Předpokládá se sériová výroba rentgenů. Z důvodu ceny bude plastové krytování vyrobeno vakuovým tvarováním do formy. Náklady na formu se vyrovnají v počtu tisíce vyrobených kusů. Všechny použité materiály musí mít certifikát nezávadnosti a plasty musí být vhodné pro zdravotnické přístroje.

Možný trh je hlavně Evropa, jelikož sdílí stejné normativní omezení. V podstatě lze však předpokládat, že záleží na místě působení daného výrobce. Dentální rentgeny tak mohou být použity po celém světě. V úvahu připadá i Severní Amerika, Severní a Východní Asie a země jejichž normativní omezení bude přístroj splňovat. Jako příklad je uvedena situace v ČR. Na českém trhu jsou tři prodejci dentálních rentgenů, kteří odebírají přístroje od 2-3 výrobců (původem z Asie či severní Ameriky). Každý předpokládejme, že prodá cca 100 ks ročně do českých ordinací. Z této modelové situace si lze přestavit sériovou výrobu v množství do 10 000 kusů do všech zemí, pro kterou budou přístroje splňovat certifikaci. Předpokládaná cena těchto přístrojů na trhu je 1 500 000 – 3 000 000 Kč včetně potřebného softwaru.

## 4 VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU

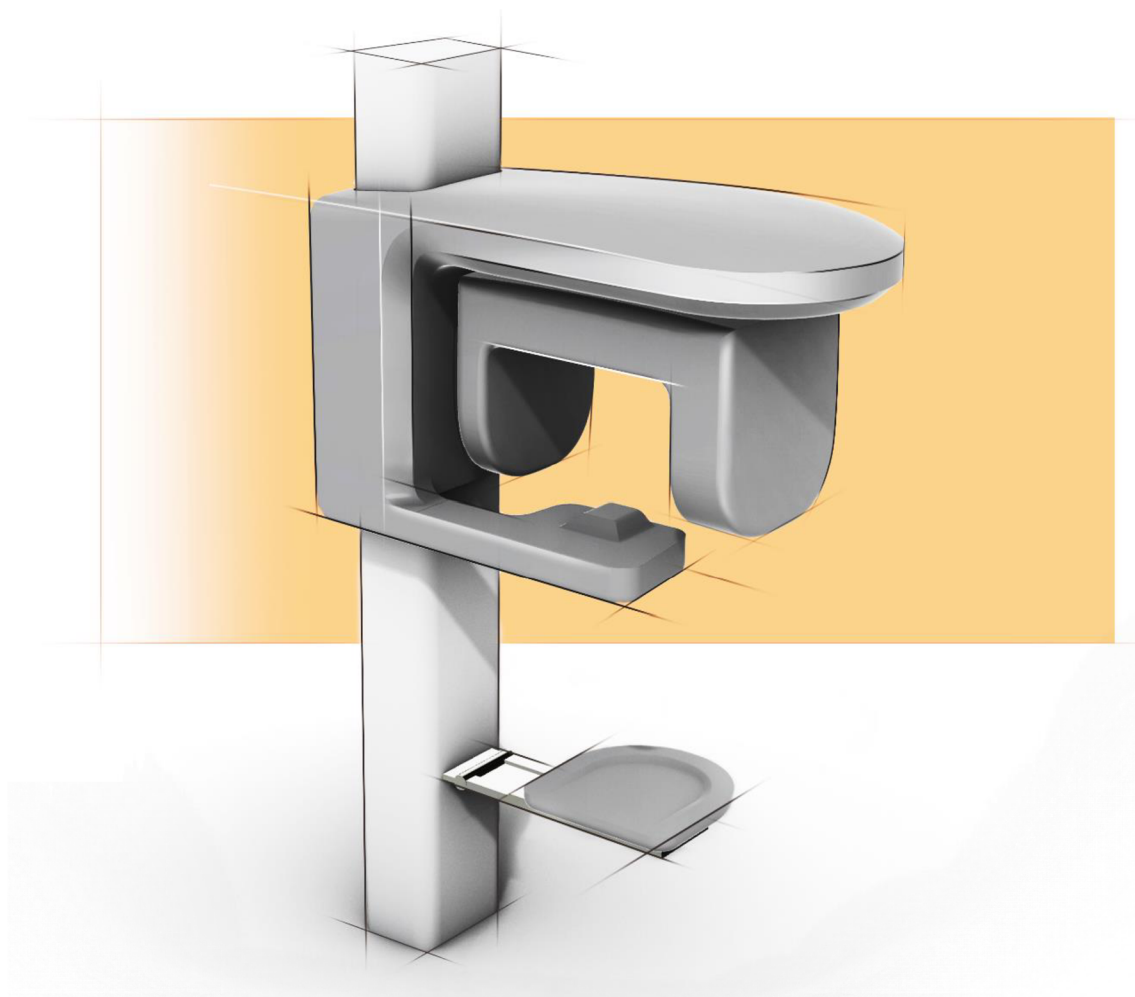
Tato kapitola představuje tři hlavní směry návrhu dentálního rentgenu. Všechny tři jsou zaměřené na základní koncepci vyšetření, tvarové řešení a rozmístění komponent přístroje. V každé variantě je řešena možnost sezení jako hlavní cíl, který vyplynul z rešerše. Na závěr jsou zmíněny její další výhody a nevýhody.



Obr. 4-1 Koncepční skici

## 4.1 Varianta I.

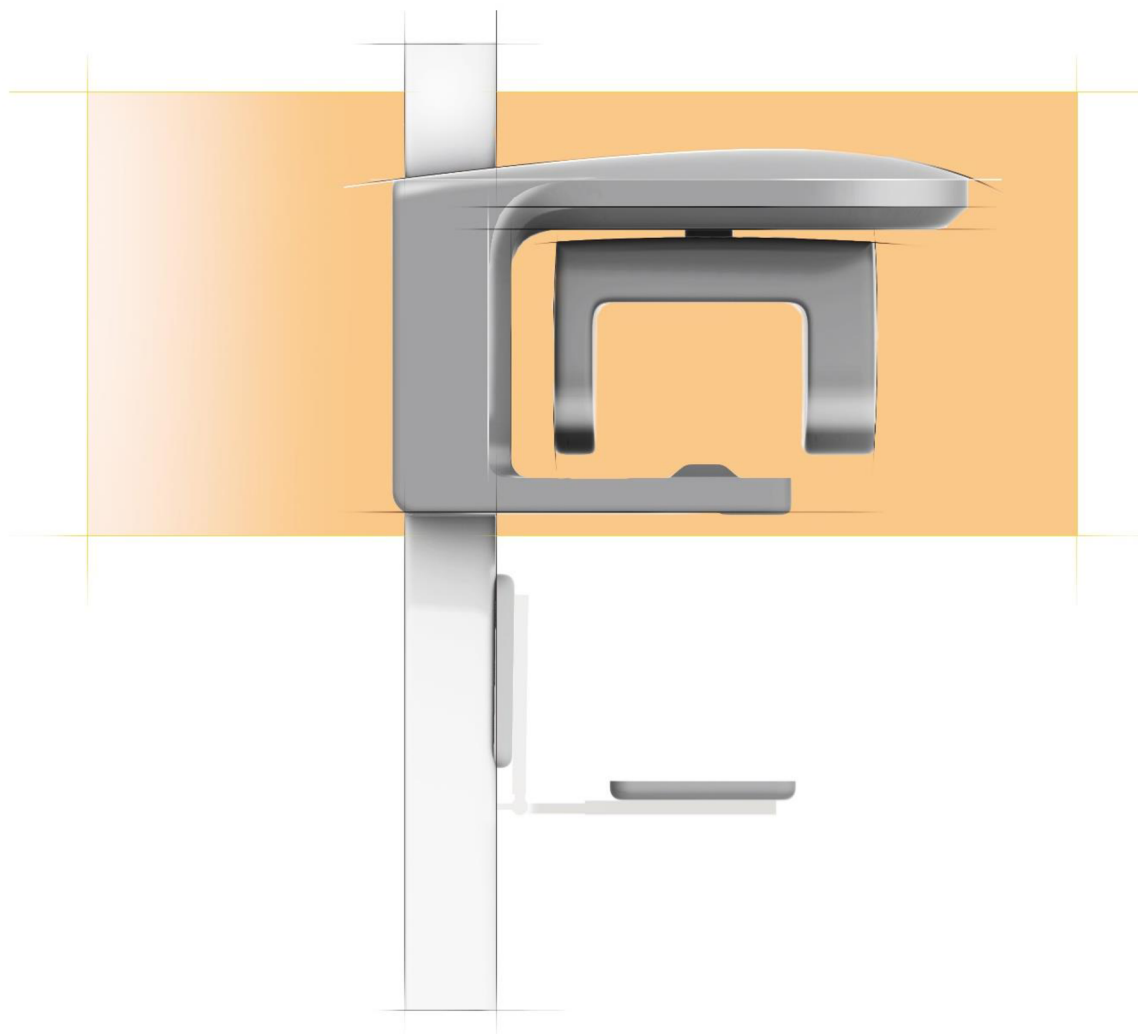
Tato varianta vychází z designově výrazné skenovací hlavy. Podstavný sloup je rozměrově zanedbaný a slouží pouze k nastavení výšky přístroje. Dále je k podstavnému sloupu připevněno sklápěcí sedátko. Rentgen bude připevněn na dvou konzolách ke stěně.



Obr. 4-2 Varianta I. - perspektiva

Z tvarového hlediska tvoří tělo rentgenu spolu s odklopným ramenem výrazné písmeno U z předního pohledu. To je tvarový protipól U, které tvoří rotační jednotka. Celé tělo rentgenu je tvarově propojené a kompaktní díky rádiusům, které spojují horizontální a vertikální část (viz Obr. 4-3) z předního pohledu. Jednotným opakujícím se prvkem, který provází všechny části rentgenu (hlava, rotační část i sedadlo) je obdélník na jedné straně přecházející na druhé straně do kruhu. Výrazným tvarovým prvkem je i zkosená hrana, která prochází celým tělem rentgenu.

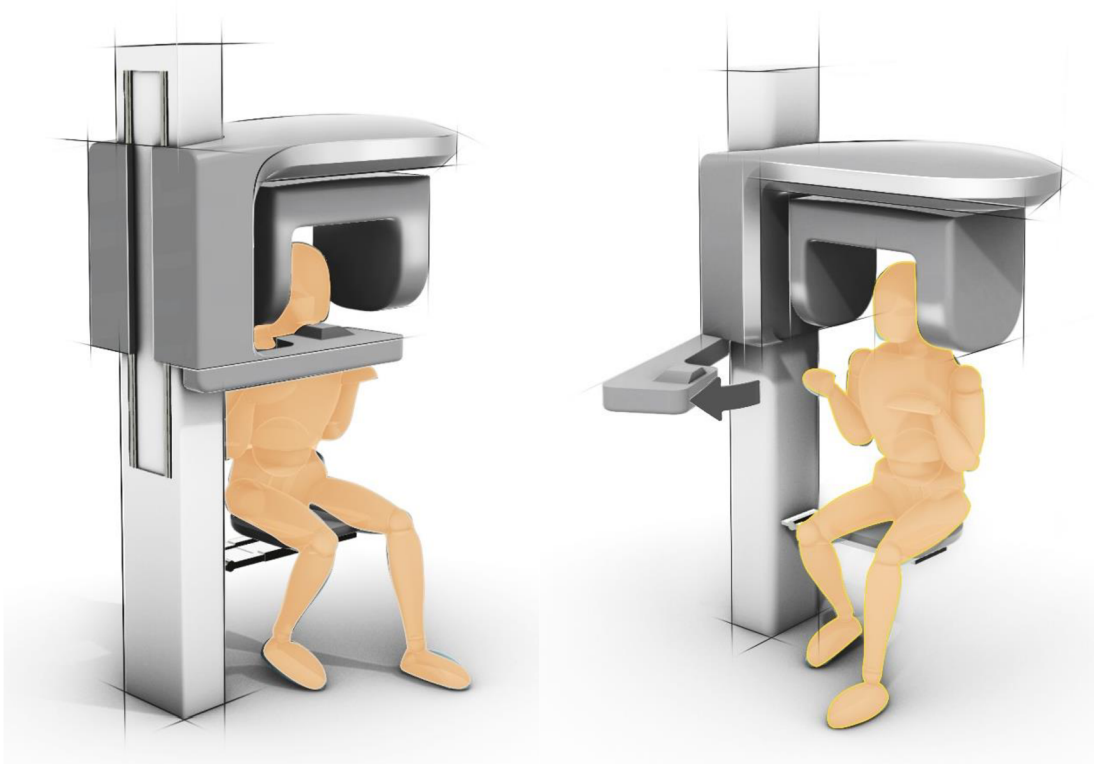
Jde o způsob vyšetření, kdy pacient a obsluha jsou tváří v tvář, což je jeden ze základních cílů práce. Dle cílů také vyšetření probíhá v sedě, aby byl pacient stabilnější. Imobilním pacientům je zajištěn pohodlný přístup na vlastním vozíku po sklopení sedadla.



**Obr. 4-3** Varianta I. - boční pohled

Kvůli pohodlnému přístupu pacienta je spodní rameno s podpěrou hlavy odklopitelné do strany. Pacient si tak může pohodlně sednout na sedadlo. Obsluha vrátí rameno zpět do polohy pro vyšetření a nastaví snímací hlavu do ideální výšky pro daného pacienta. Na odklopitelném rameni by se nacházela i madla. Ta pacienta ještě více stabilizují a intuitivně navedou do lehce předkloněné polohy tak, aby dosáhli bradou na podpěru.

Pokud je potřeba, aby vyšetření absolvoval pacient na invalidním vozíku, sedadlo se sklopí směrem k podstavce noze a vozičkář bez obtíží najede přímo pod rotační část.

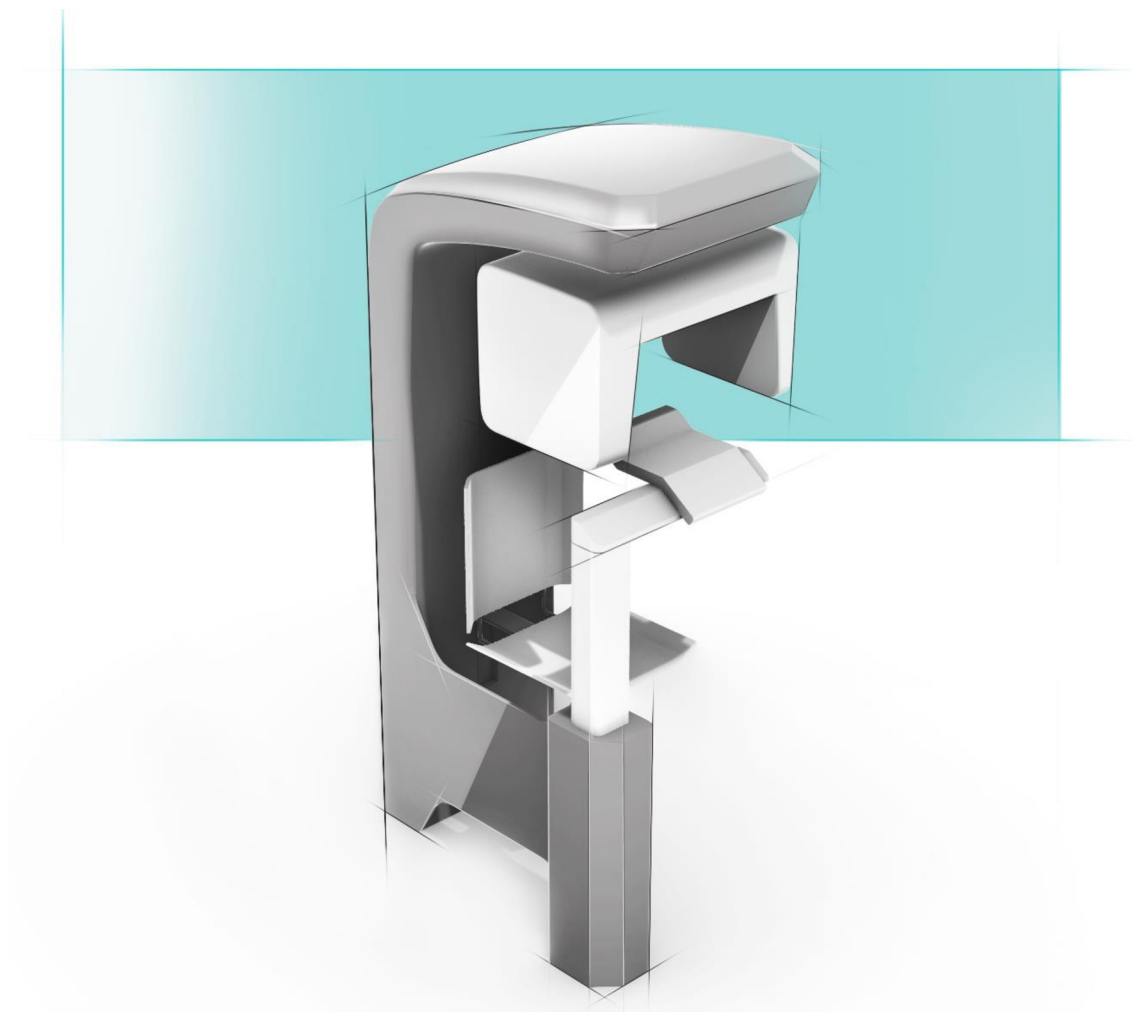


**Obr. 4-4** Varianta I. - polohování přístroje

Výškové rozdíly u sedících pacientů jsou podstatně menší než u stojících. Zároveň je vyšetření proveditelné pro velmi vysoké pacienty, na které často rentgen není dimenzován. Ovládání přístroje bude umístěno na přední straně odklopného ramene tak, aby při ovládání viděla obsluha přímo na pacienta.

## 4.2 Varianta II.

Druhá varianta bere obsluhu, jako hlavního uživatele produktu. Design je tak ergonomicky i tvarováním přizpůsoben obsluze, která ve velkých stomatologických zařízeních přijde s přístrojem do kontaktu i 20x denně. Opět je umožněno snímání v sedě. Tentokrát s polohovacím sezením. Příklad je samonosný a může tak stát v místnosti bez připevnění ke zdi.

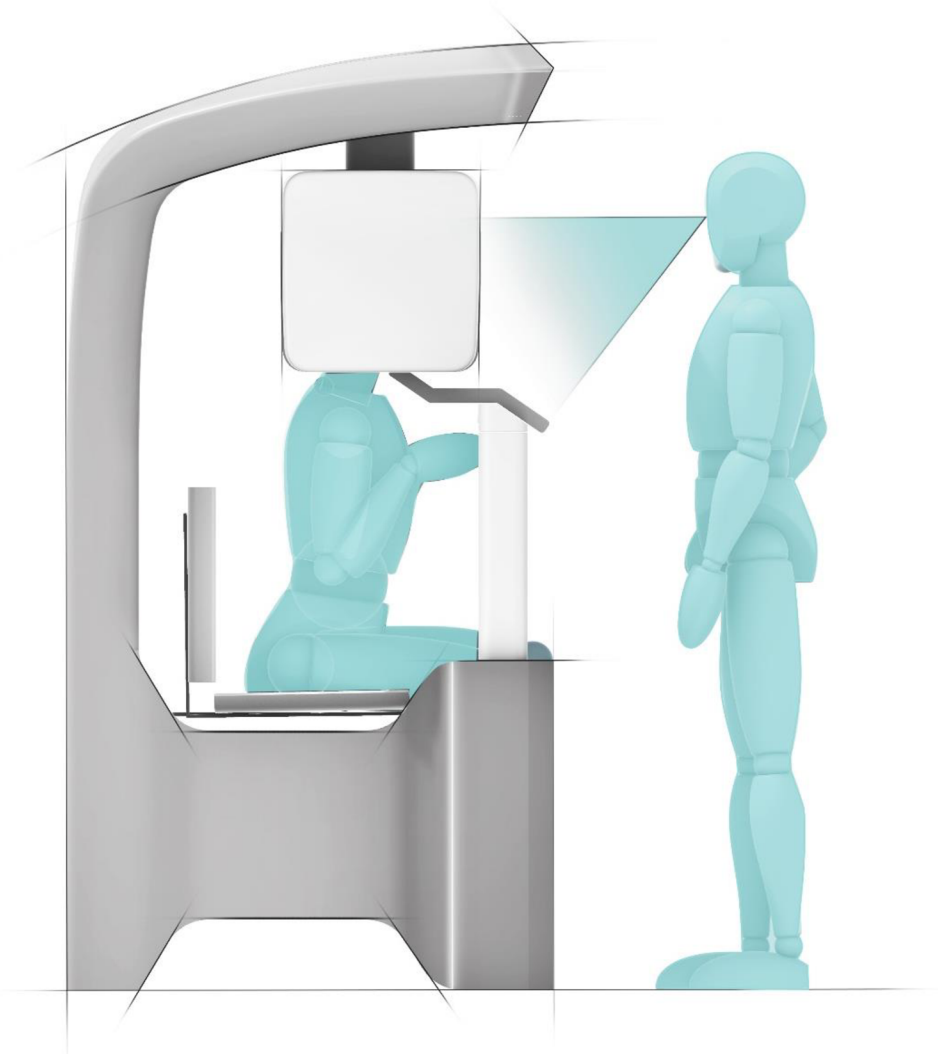


Obr. 4-5 Varianta II. - Perspektiva

Celý přístroj je tvarován tak, aby působil jako jeden kompaktní celek. Podstavný sloup je výrazně širší z předního pohledu, aby působil nosně a stabilně, kvůli polohovacímu sedadlu. To je hlavním polohovacím komponentem v této variantě. Podstavný sloup a horní část, na které je připevněna rotační jednotka jsou propojeny v jeden celek, jelikož obě části mají stejně podstatnou funkci. Sloup s výsuvným ovládním pro obsluhu a podpěrou brady pro pacienta je taktéž propojen se zbytkem přístroje.



Důležitý je boční pohled, kdy jedna strana přístroje je spojena se sloupkem s ovládním. Slouží i jako intuitivní navigace pro pacienta, který tak ví, ze které strany má k přístroji přijít. Pravděpodobně by se pak rentgen vyráběl v pravém i levém provedení. Zároveň je celé rameno důležitý prvek pro samonosnost přístroje. Spodní část ramene je odlehčena, aby vzhled nepůsobil příliš robustně.

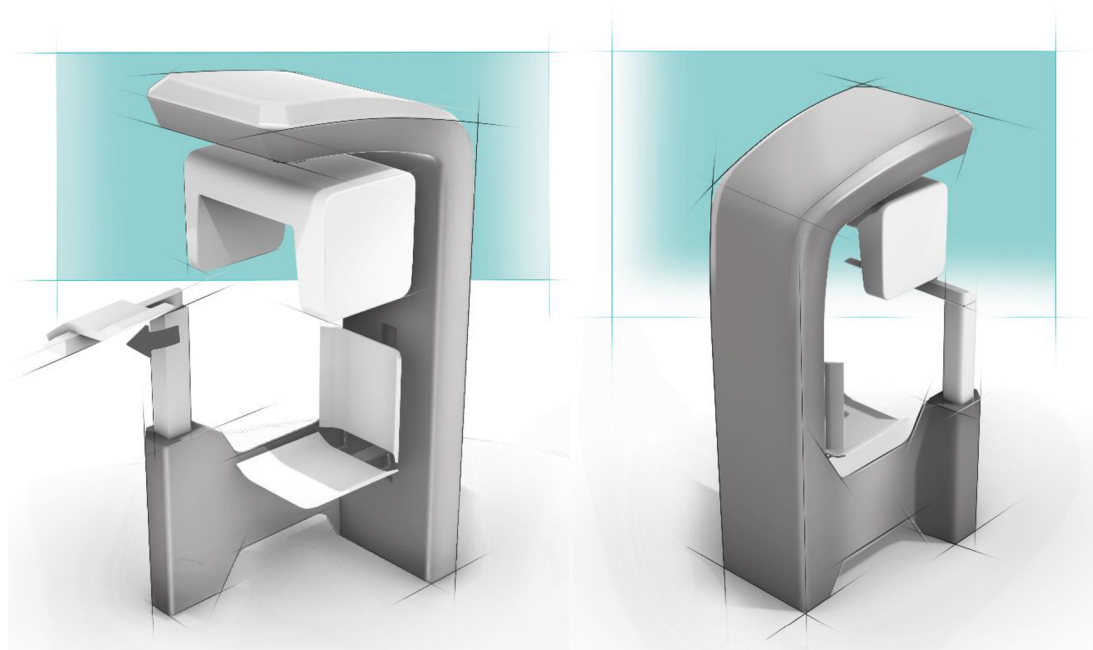


**Obr. 4-6** Varianta II. - boční pohled s ergonomem

Vyšetření opět probíhá v konfiguraci pacient čelem k obsluze. Pacient v tomto případě sedí zády k podstavnému sloupu.

Rameno, na kterém jsou umístěny madla a podpěra brady, je na otočném kloubu. To zajišťuje pohodlný přístup pacienta. Obsluha rameno odklopí do pravého úhlu a pacient si může sednout. Pak vrátí rameno zpět do původní polohy a napolohuje pacienta na židli do potřebné výšky.

Přístup imobilních pacientů není v tomto případě výrazně zjednodušen. Pokud je pacient schopný, přijede na vozíku přímo k sedadlu a přemístí se stejně, jako by to udělal při běžné dentální prohlídce. Jako možnost je i zakomponování zvedací plošiny. Sedadlo by v tomto případě mělo sklápěcí sedák. Dohromady se sedadlem by byla polohovací celá spodní podstava přístroje, která by se zvedala zároveň se sedadlem. Stačilo by pouze, aby na ni pacient na invalidním vozíku najel. Další možností řešení je přídavné polohování skenovací hlavy. Bylo by možné polohovat sedadlo i skenovací hlavu. V případě pacientů na vozíku (kterých je obecně kolem 2–4% pacientů) by se obsluha přizpůsobila. To by však znamenalo další motor a polohovací konstrukci, což by bylo cenově náročnější.

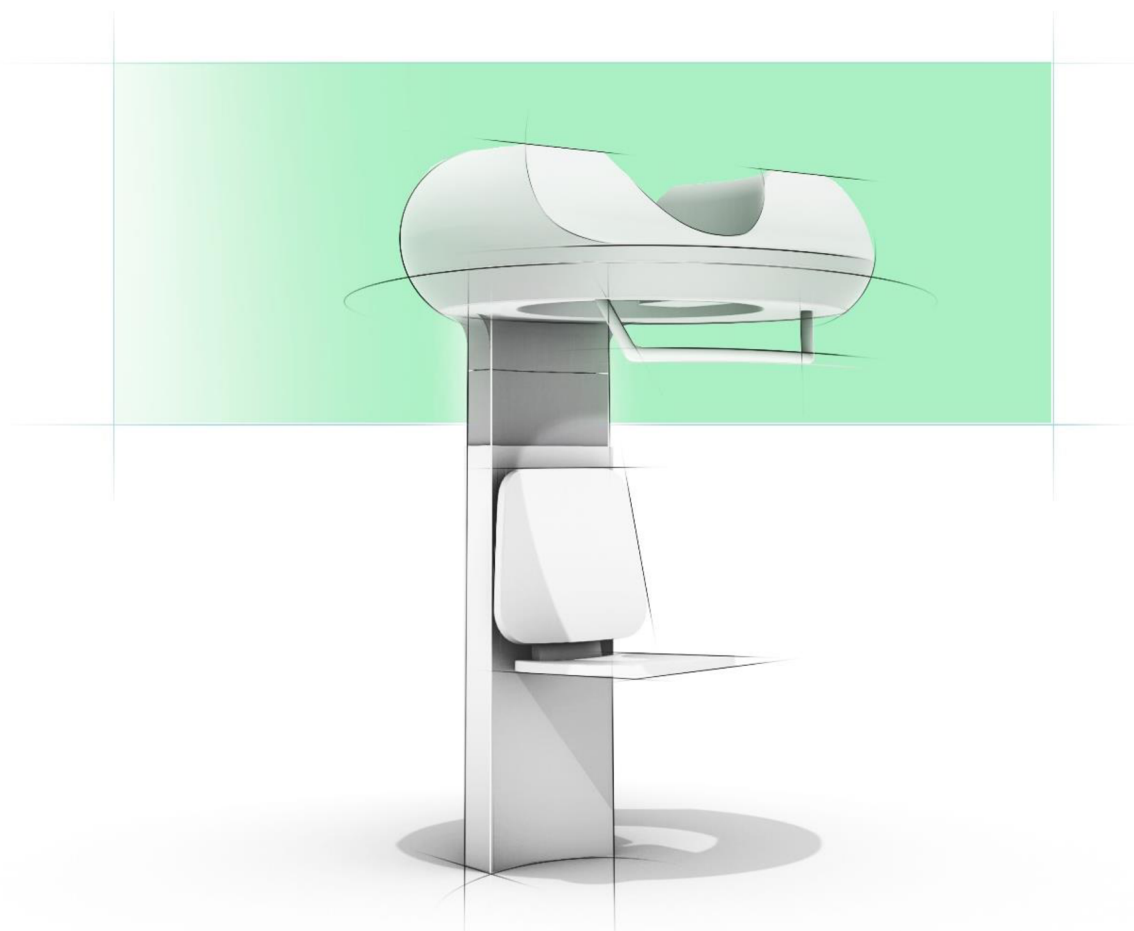


**Obr. 4-7** Varianta II. - polohování přístroje

V této variantě je kladen důraz primárně na pohodlnost používání obsluhou. Ovládání a poloha pacientova obličeje je tak v ideální výšce pro obsluhu. Do tváře je vidět přímo kvůli polohování pomocí laseru. Display s pokročilejším ovládáním má ideální sklon pro pohled obsluhy.

### 4.3 Varianta III.

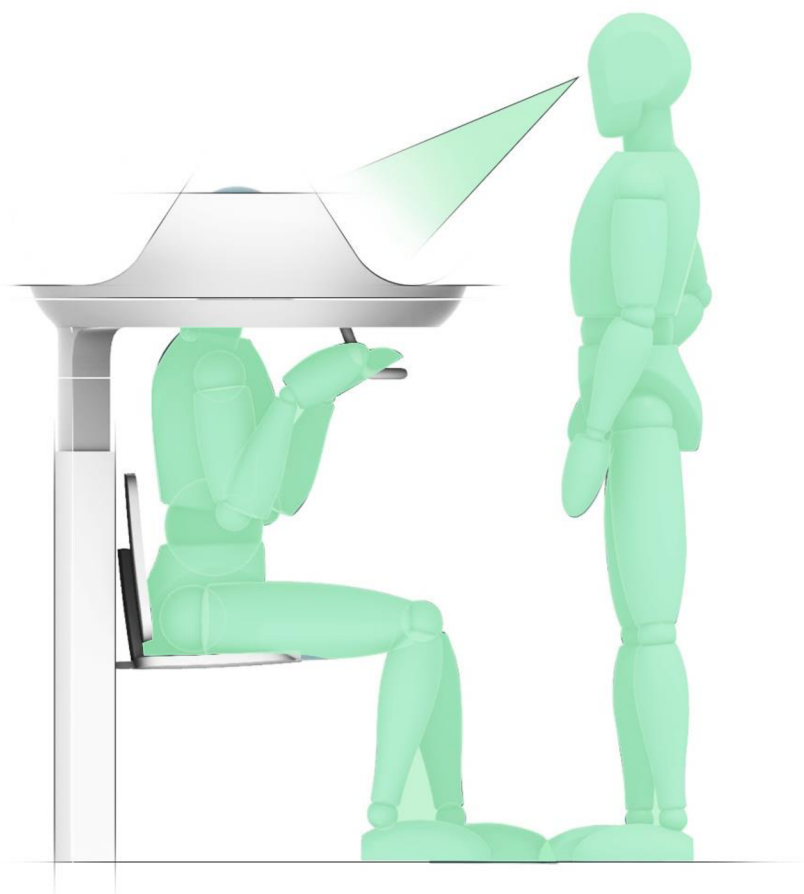
Třetí varianta se svým pojetím výrazně odlišuje od ostatních přístrojů. Rotační jednotka je inspirována kulatým tvarem běžných CT přístrojů a podobným obíháním zdroje a přijímače kolem hlavy pacienta.



**Obr. 4-8** Varianta III. - Perspektiva

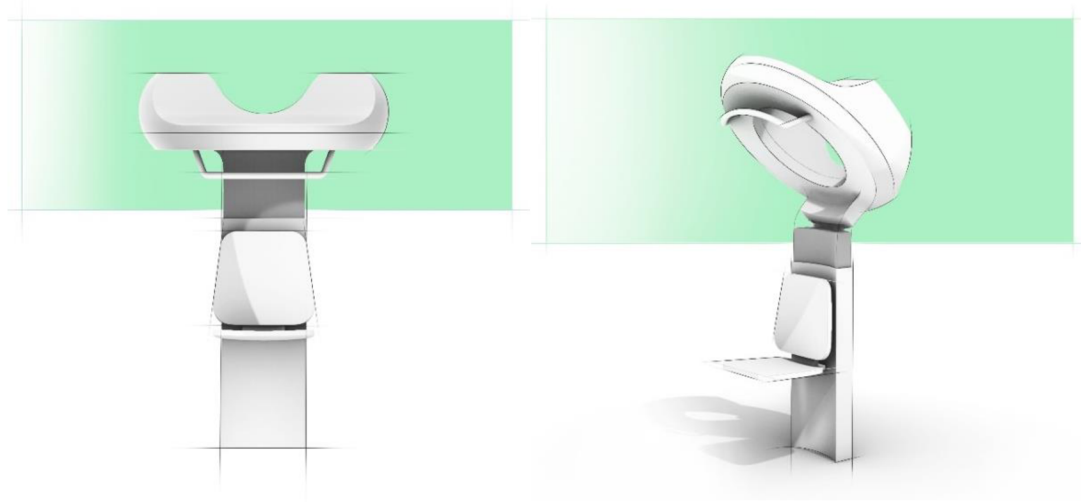
Celé tvarové pojetí je tedy inspirováno kulatou obručí, ve které jsou umístěny hlavní snímací prvky. Rotační část v tomto případě není zavěšena, ale je rozdělena na dvě části. Horní se otáčí na spodní statické obruči. Aby byla splněna podmínka vyšetření, kdy obsluha vidí přímo do tváře pacienta, je celý tvar z předního a zadního pohledu odlehčen výsečí z kruhu (viz Obr. 4-10). To je důležité i z psychického hlediska, kdy na začátku vyšetření pacient vidí ven z obruče. Krytování propojuje funkční části do jednoho celku. Podstavná noha pak tvarově navazuje na statickou část obruče.

Z konstrukčního hlediska má tento způsob obíhání výhodu v tom, že není nutné použít motor pro horizontální posun rotační jednotky. Stálá vzdálenost mezi zdrojem a přijímačem zařízení je dána kruhovým otáčením. Zdroj obíhá ve dvojnásobné vzdálenosti od pacientovy hlavy než přijímač. Toho je dosaženo tak, že zdroj obíhá ve vnější části kruhu a přijímač ve vnitřní. Na statické části uvnitř kruhu je umístěna podpěra hlavy pacienta. Je tak redukován další prvek přístroje, který je jinak samostatná část. Madlo je opět připevněno na statické části tak, že se pacient pohodlně při vyšetření ještě více stabilizuje.



**Obr. 4-9** Varianta III. - boční pohled s ergonem

Polohovací je v tomto případě celá statická i rotační skenovací část. Statická část podstavné nohy je ukotvena na dvou místech do zdi. Případně k ní bude navrhnutá podstava pro možnost samostatného stání. Aby si mohl člověk sednout, musel by se přístroj před každým vyšetřením zdlouhavě vysoko zvedat. Tohle je jednoduše zajištěno odklápěním celé horní části. Potom, co si pacient sedne, obsluha zatáhnutím za madlo vrátí skenovací část do polohy při snímání. Odklápění je zajištěno za pomoci vnitřního pantu a pístů.



**Obr. 4-10** Varianta III. - přední pohled a odklápění

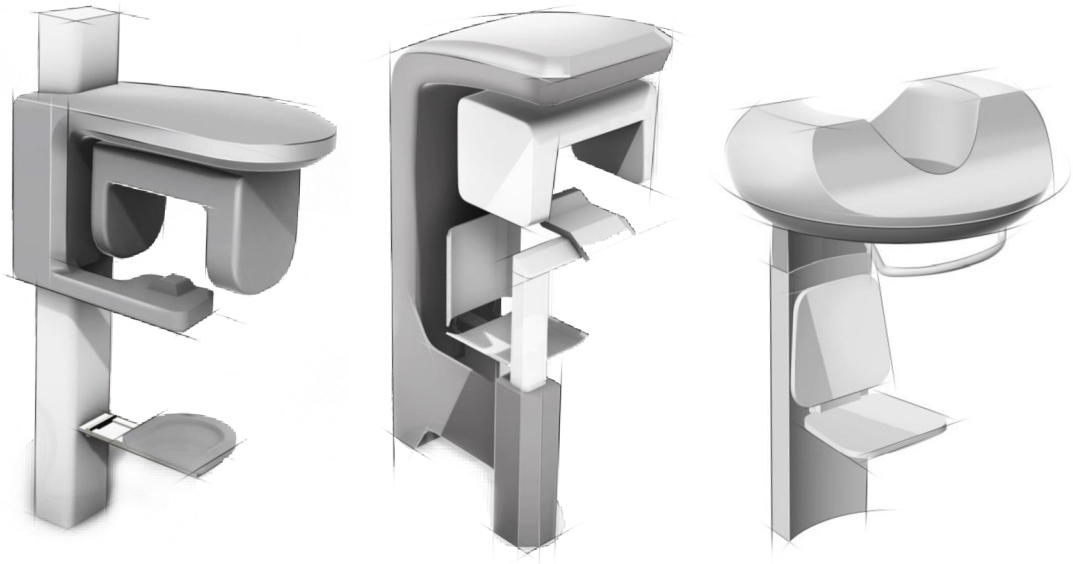
Sedadlo je v tomto případě připevněno na podstavné noze přístroje. V této variantě není sklápěcí, jelikož to vždy působí jako provizorní řešení. Celé sedadlo je možné demontovat, případně celé odsunout na stranu, aby byl umožněn přístup vozíčkářům na vlastním vozíku.

## 4.4 Zhodnocení

Pro finální srovnání jsou zobrazeny návrhy vedle sebe a sepsána tabulka silných a slabých stránek jednotlivých variant.

**Tab. 4-1** Srovnání silných a slabých stránek variant

Varianta	Silné stránky	Slabé stránky
Varianta 1	Funkční řešení Snadný přístup pacientů	Použití stávajících produktů Provizorní sedadlo
Varianta 2	Změření na obsluhu Tvarová provázanost	Nevyhovující pro vozíčkáře Drahá výroba Robustní celek
Varianta 3	Inovativní tvarové řešení Zjednodušené konstrukční řešení Snadný přístup pacientů	Mohutnost skenovací hlavy Tvarové odcizení podstavy

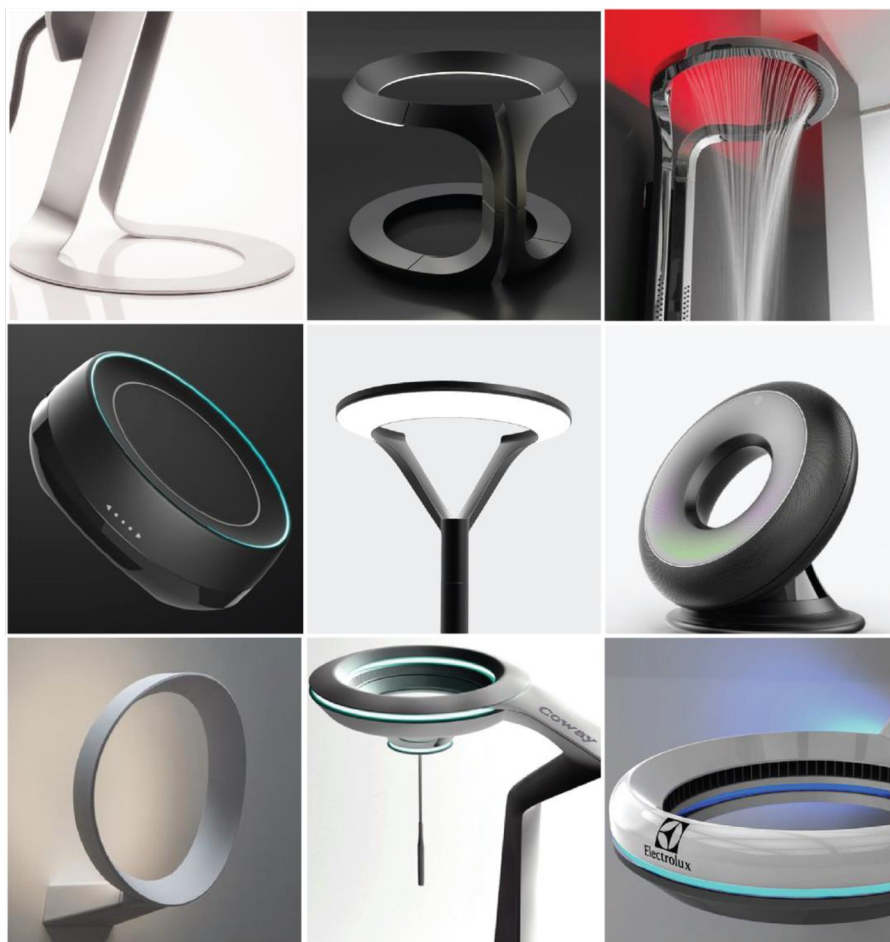


Obr. 4-11 Variantní návrhy – srovnání

## 5 TVAROVÉ ŘEŠENÍ

Tato kapitola se zabývá finálním tvarovým řešením dentálního rentgenu jako celku včetně všech prvků, které jsou součástí přístroje.

Na základě zhodnocení silných a slabých stránek variantních návrhů z předchozí kapitoly (viz Tab. 4–1) byla zvolena Varianta III jako výchozí bod pro finální tvarové řešení.



Obr. 5-1 Moodboard tvarového řešení

### 5.1 Celková kompozice

Tento návrh vychází ze základních požadavků na ergonomii a konstrukci. V celkovém tvaru došlo od variantního návrhu k výraznému odlehčení rotační jednotky. Ta vychází z pravidelného kruhového tvaru viditelného hlavně z horního pohledu případně z podhledu. Podstavná noha je více provázána se zbytkem přístroje výrazným zaobleným přechodem.

Rentgenovací část byla vytvořena z geometricky definovaných a jednoduchých ploch. Naopak přechod rotační jednotky do podstavné nohy je v návrhu výraznější, aby byla zajištěna dostatečná optická pevnost těchto dvou částí. Zároveň tak přístroj působí spolehlivě na pacientovu psychiku. Součástí přístroje je sklápěcí sedátko s výraznou perforací na opěradle, která odhaluje kruhovou konstrukci.



**Obr. 5-2** Perspektivní pohled

Celá horní část přístroje vychází z funkčního tvarování tak, aby do tvaru pasovaly hlavní komponenty. Rotační jednotka má kuželové tvarování, kdy statickou a rotační část dělí změna zkosení směrem ke středu. Krytování boční stany postupně přechází do zadní části podstavné nohy. Přirozeně tak propojuje horizontální a vertikální část rentgenu.



**Obr. 5-3** Propojení rotační jednotky s podstavou



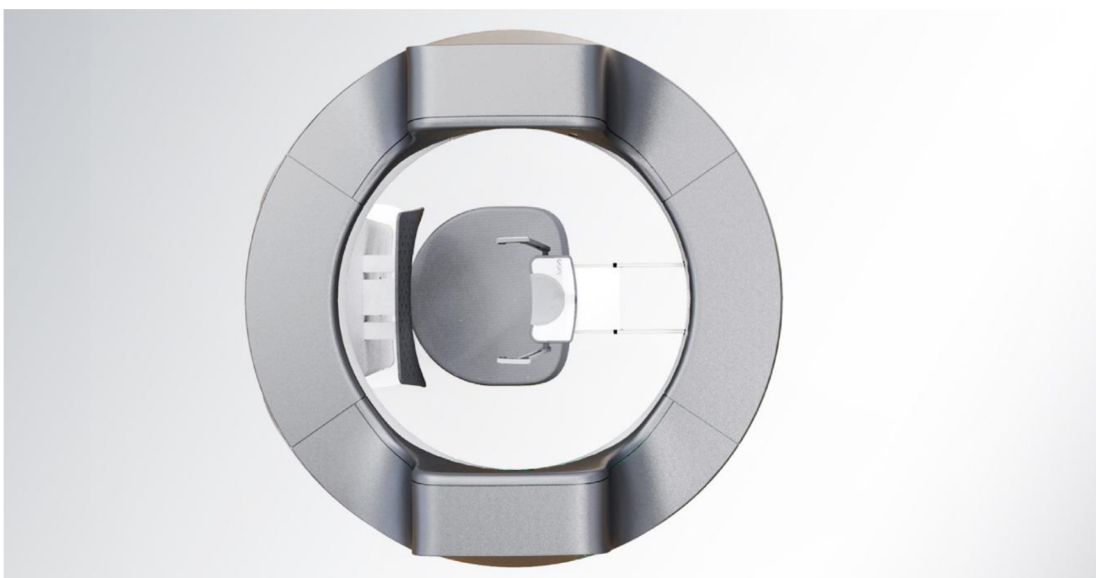
Zkosení hran je výrazným prvkem jinak čisté zadní strany přístroje a zároveň opticky napomáhá k celkovému odlehčení horní části.

Výrazný boční rádius propojuje horizontální a vertikální část přístroje a dává přístroji celistvý výraz. Z bočního pohledu je viditelné umístění zdroje a přijímače záření. Z přístroje je patrné, že tvar nepůsobí staticky a horní část se bude otáčet.



**Obr. 5-4** Přejechod horizontální a vertikální části přístroje

Naopak z horního pohledu je zachován vzhled kruhové obruče. Konstantní šířka pruhu probíhá v celém horním pohledu. V místě uložení zdroje a přijímače je tvar obdélníkový. Lépe tak umožní přiblížení komponentů do vnitřní části kruhu. Je tak dosaženo ideálních vzdáleností od hlavy pacienta.

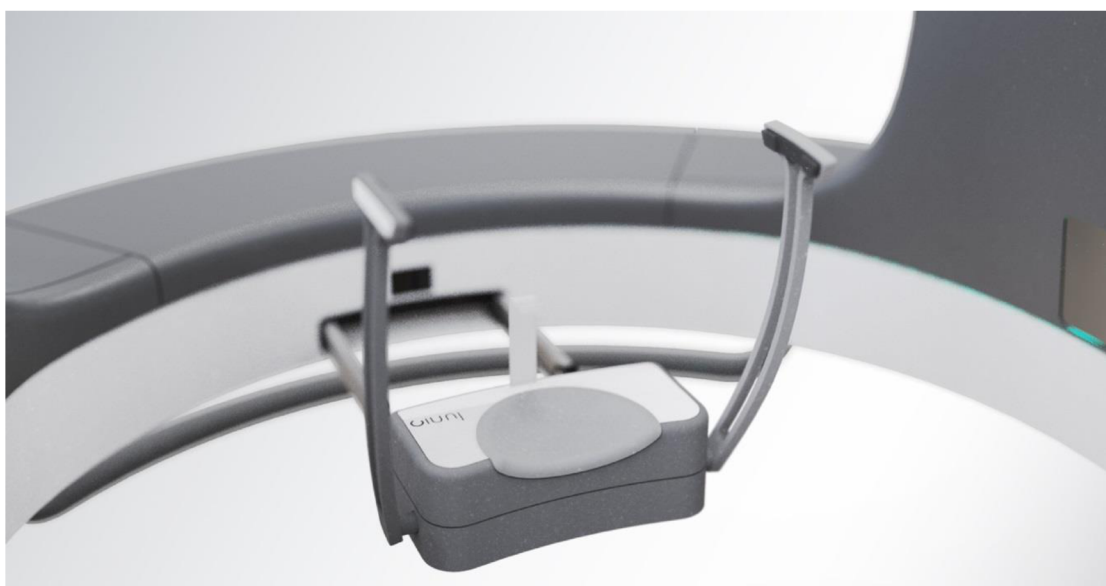


**Obr. 5-5** Pohled shora

## 5.2 Stabilizace hlavy

Základ pro stabilizaci hlavy pacienta tvoří kvádrová vysouvací podpěra brady s výrazně zaoblenými rohy. Ve střední části je výškově nastavitelná podložka pod bradu a před ní se nachází plastové kousátko, které zafixuje zuby a pootevře skus pacienta. Při zasunutí celé podpěry její vnější hrana kopíruje vnitřní hranu kruhu. Zasouvání a nosnost jsou zajištěny pomocí kovových pojezdů.

Součástí podpěry je i stabilizace spánků pacientovy hlavy. Ve vnitřní části je měkkčená výstelka, která jemně dolehne na pacientovi spánky. Obsluha pomocí ovladače sevře nebo rozevře tuto stabilizaci.



Obr. 5-6 Stabilizace hlavy ve vysunutém stavu

## 5.3 Sedátko

Součástí návrhu dentálního rentgenu je sklápěcí sedátko včetně bederní opěrky. Tvarově sedák vychází z poloviny kruhu, která je patrná z horního pohledu. Součástí sedáku je kovová konstrukce, která umožňuje sklápění. Způsob sklápění je dále rozepsán v konstrukčním řešení.

Součástí designu opěráku je výrazná perforace, která zachovává kruh jako základní prvek, který se rovnoměrně ztrácí do stran. Odhaluje tak pohled na konstrukci, která připevňuje opěrák k podstavnému sloupu. Maximální šířka vychází z šířky podstavného sloupu.

Jelikož velikost prostoru, který přístroj zaujímá je pro ordinace důležitá, je sedátko vestavěnou součástí přístroje. Nezabírá tak místo navíc na zemi. Jeho stabilita je zajištěna vzepřenou částí konstrukce o podstavný sloup.



Obr. 5-7 Sedák s bederní opěrkou

## 5.4 Madlo

Další součástí dentálního rentgenu je madlo, které tvarově navazuje na celkový design výseči kruhové obruče. Samotný tvar je zploštělý a nabízí se tak, aby si na něj pacient položil obě ruce a tím se ještě více stabilizoval.



Obr. 5-8 Madlo

## 5.5 Ovládání

Ovládání bylo v návrhu zjednodušeno na absolutní minimum. Místo plného ovládání s displayem byl navrhnout pouze ovladač s funkcemi, které jsou nezbytné pro ovládání přístroje – výškové polohování přístroje je zajištěno pomocí hlavního tlačítka ve středu ovladače. Sevření a uvolnění stabilizace hlavy je zajištěno pomocí posuvníku. Zbytek nastavení provede obsluha u počítače, ke kterému je přístroj připojený. Dochází tak k minimalizaci času stráveného nastavováním.



**Obr. 5-9** Ovládání zavěšené na přístroji

Ovládání je zavěšeno na straně přístroje. Ovladač se bezdrátově nabíjí při umístění do držáku. Snadnější vyjmutí ovladače je zajištěno prohlubní na straně držáku.

## 5.6 Větrání

Jelikož zdroj záření je velice výkonný, je potřeba ho chladit odvětráváním. To zajišťuje perforace na zadní straně rotační hlavice. Vzor je identický s již použitým vzorem na opěradle.



Obr. 5-10 Průduchy pro větrání

## 5.7 Kruhová obruč a umístění loga

Výrazný radius ve spodní části kruhu změkčuje tvarování při kontaktu s pacientem. Logo je umístěno v přední části.



Obr. 5-11 Umístění loga na přední části

## 6 KONSTRUKČNĚ TECHNOLOGICKÉ A ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ

Tato kapitola se zabývá návrhem dentálního rentgenu z konstrukčně technologického a ergonomického hlediska.

### 6.1 Konstrukčně technologické řešení

Detailní podklady uspořádání jednotlivých součástí přístrojů na trhu nejsou od výrobce volně dostupné pro necertifikované osoby. Návrh využívá znalostí obecně známých technologických principů. Navržený koncept kinematického řešení se liší od běžných zástupců na trhu a spolu s návrhem konstrukce je vhodným výchozím bodem k detailnějšímu zpracování.

#### 6.1.1 Základní požadavky na umístění přístroje

Nejdříve jsou zmíněny základní požadavky na umístění přístroje v zubařské ordinaci tak, aby odpovídaly již dříve zmiňované legislativě.

- Dentální rentgen je nutné umístit v ordinaci tak, aby byly dodrženy vzdálenosti radiační ochrany pacienta, obsluhy, případně dalších osob v místnosti.
- Přístroj je třeba ukotvit na zdi dvěma konzolami, pokud to není možné, je nutné zajistit podstavu.
- Externí počítač musí splňovat základní požadavky softwaru a lze jej připojit dálkově (není třeba pomoci kabeláže).
- Rentgen musí být připojen na vlastní, samostatný zdroj napájení. Žádná další zařízení nesmí být připojena na stejný zdroj.
- Nouzové tlačítko musí být v dosahu jak pacienta, tak obsluhy.
- Rentgenka vyžaduje vlastní zdroj napájení, který je součástí rentgenky.
- Dle norem je vyžadováno úplné krytí kabeláže. Ideálně je vést je podél stěn nebo pod lištami či jinou ochranou mimo pěší cesty. [41]

## 6.1.2 Popis

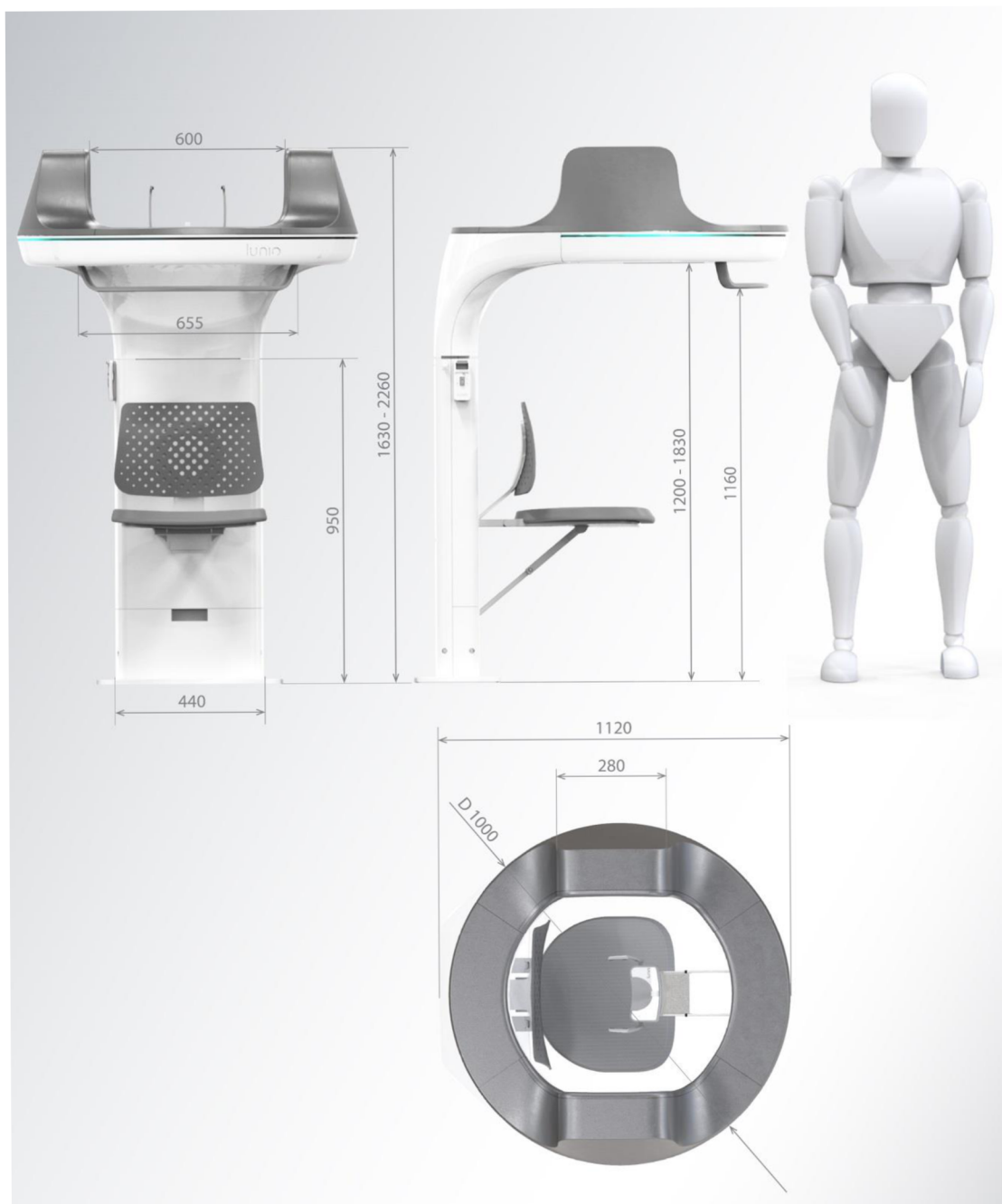
V této kapitole jsou nejprve popsány vnější viditelné komponenty dentálního rentgenu. Součástí **podstavné nohy** je sedadlo s opěradlem a její konstrukce, dvě konzoly pro kotvení přístroje do zdi, kotvení do země a bezdrátové nabíjení ovladačem. Ke **skenovací hlavě** patří podpěra hlavy, stabilizace spánků, lasery pro nastavení pacienta, LED signalizace, madlo a umístění zdroje a přijímače zařízení.



Obr. 6-1 Popis vnějších součástí

### 6.1.3 Rozměrové řešení

Základní rozměry přístroje jsou 1000 x 1120 x 1630 mm. S rozměry vznikají požadavky na manipulační prostor 1200 x 1400 x 2400 mm pro pohodlnou obsluhu přístroje.

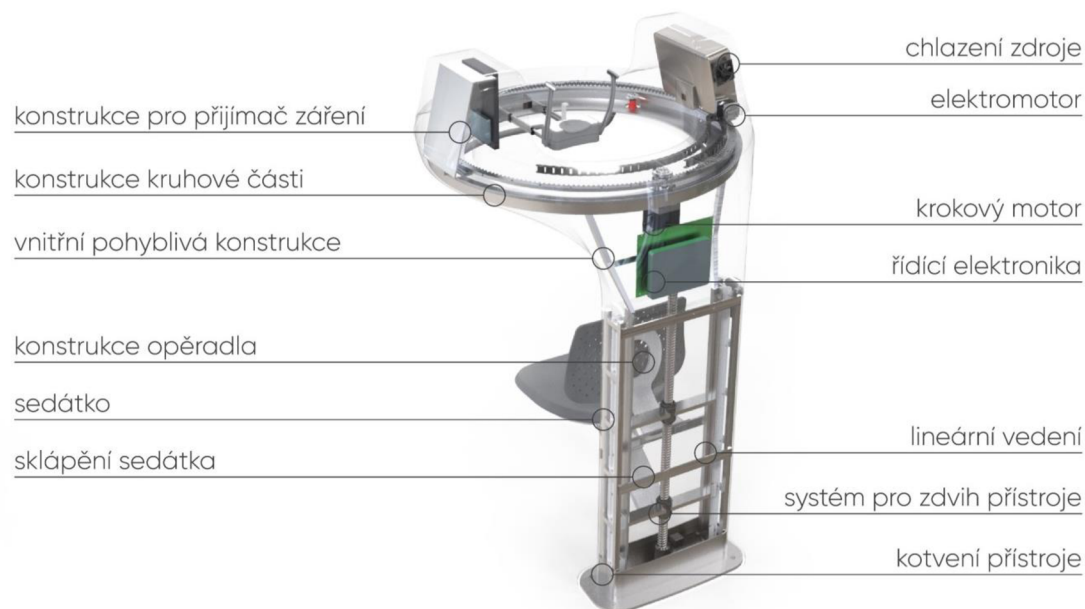


Obr. 6-2 Základní rozměry rentgenu



## 6.1.4 Vnitřní mechanismy a komponenty

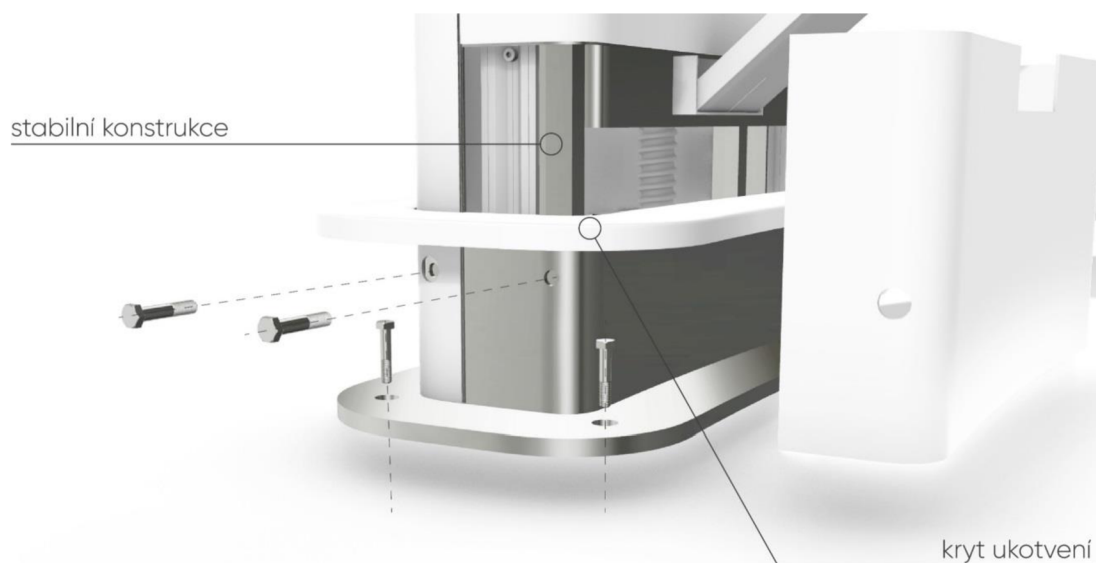
Tato část práce se zabývá podrobným představením vnitřních mechanismů a komponentů použitých v návrhu. Uvnitř přístroje jsou dva základní systémy: lineární pro výškové polohování přístroje a rotační pro otáčení skenovací jednotky.



Obr. 6-3 Vnitřní komponenty – průhledové schéma

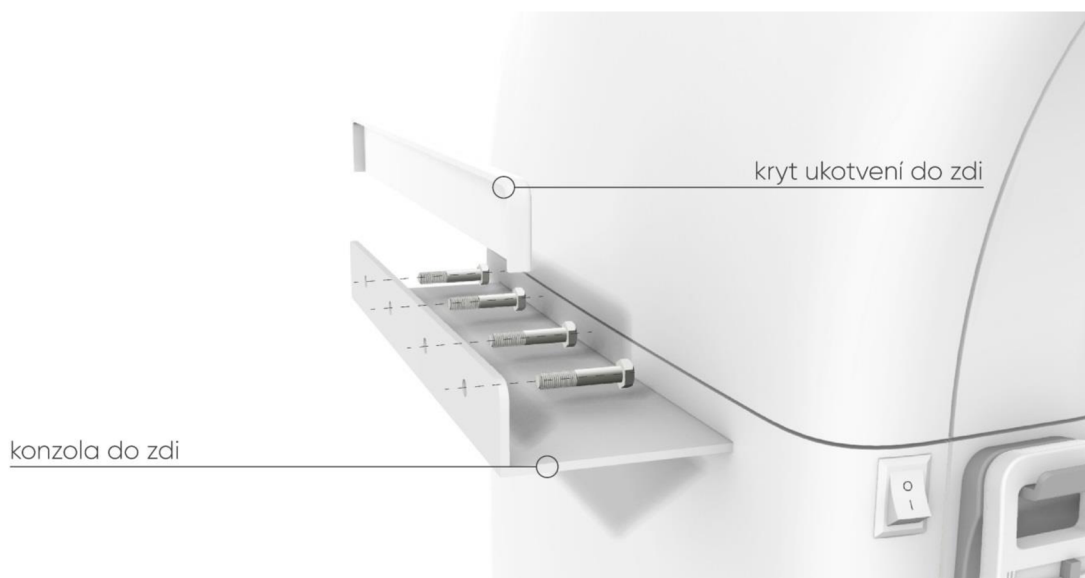
### Kotvení přístroje

V podstavné noze je tuhá konstrukce, která podpírá celou váhu přístroje. Konstrukce z jeklových svařenců je přivařená ke spodní části, která je přišroubovaná k podlaze a zároveň k vnitřní konstrukci. Tento spoj je po montáži schovaný pod krytovaním.



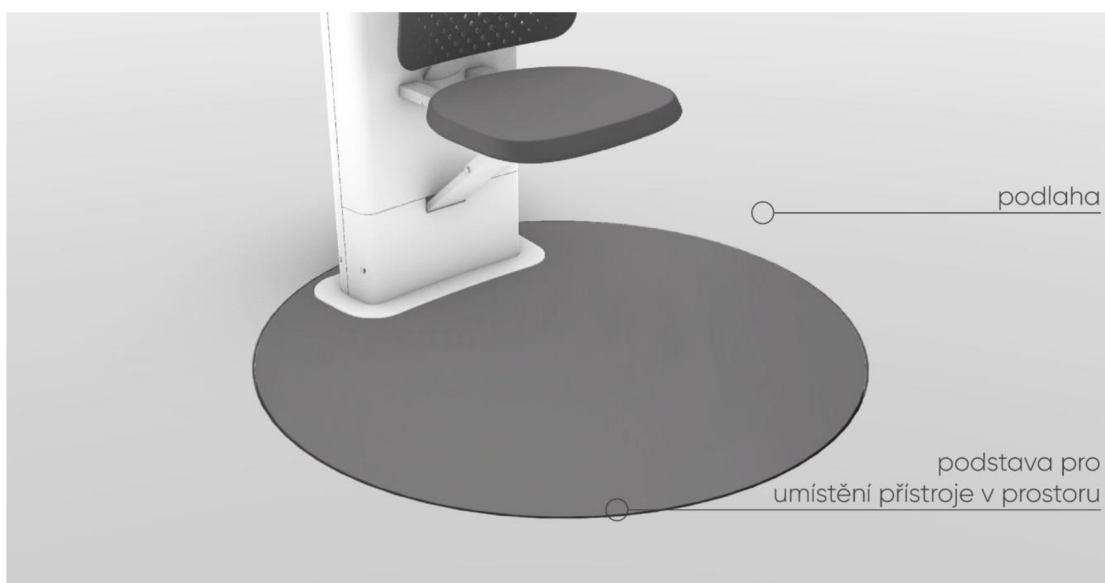
Obr. 6-4 Kotvení přístroje do země

Další nutné kotvení je do zdi. Na dvou místech ve stabilní části sloupu je nosná konstrukce přišroubovaná do zdi pomocí dvou konzol. Místo spojení je opět krytováno.



**Obr. 6-5** Kotvení přístroje do zdi

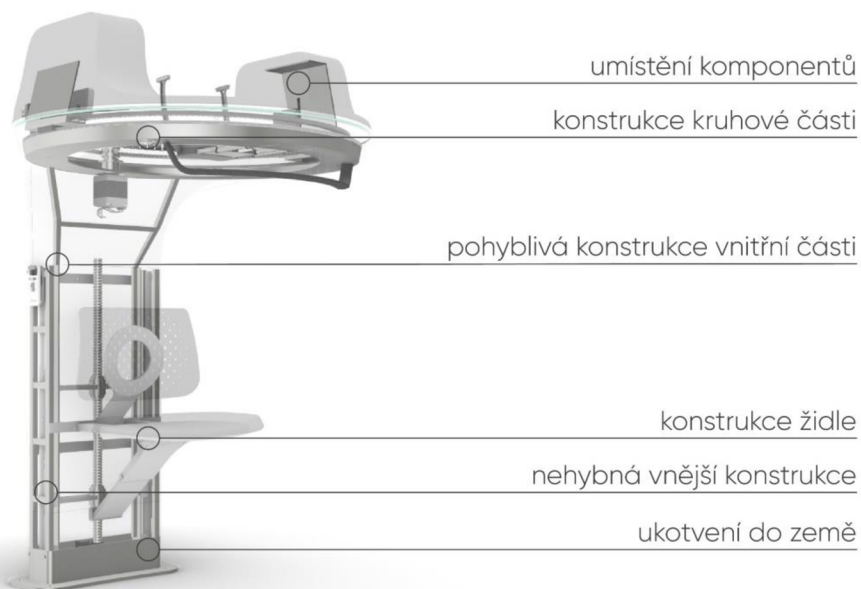
V případě nemožnosti kotvit přístroj do země je základna přišroubovaná k podstavě z litiny, která svojí výraznou váhou a tvarováním přispívá ke stabilizaci přístroje. Tento kus je opět zakrytý plastovým krytováním. V tomto případě je třeba vyhloubit základy o hloubce 50 mm, aby byla podstava zarovnána s podlahou. Může tím pádem stát samostatně v ordinacích, kde na to jsou k dispozici dostatečné prostory a zároveň nijak nekomplikuje přístup pacientům.



**Obr. 6-6** Upevnění přístroje – samostatná podstava

## Vnitřní konstrukce

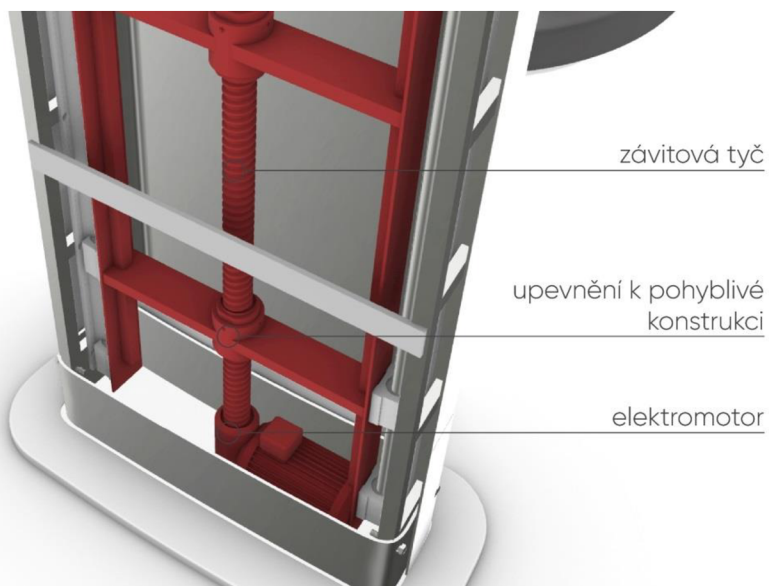
Celá vnitřní konstrukce se skládá z ocelového svařence. Základ stabilní i pohyblivé konstrukce je z jeklových svařenců, které jsou vetknuty do spodní části přišroubované k podlaze. Konstrukce je vyztužená také v kritickém místě v přechodu sloupu do rotační části. Dále slouží pro umístění jednotlivých vnitřních komponentů.



Obr. 6-7 Vnitřní konstrukce

## Výškové nastavení přístroje

Ve spodní části je umístěn lineární elektromotor, který slouží k vertikálnímu posuvu celé skenovací jednotky. Součástí motoru je ocelová závitová tyč DIN 975 30 x 6 x 1200 mm. Ten přenáší kruhový pohyb na pohyb přímočarý.



Obr. 6-8 Elektromotor a přenos rotačního pohybu na lineární

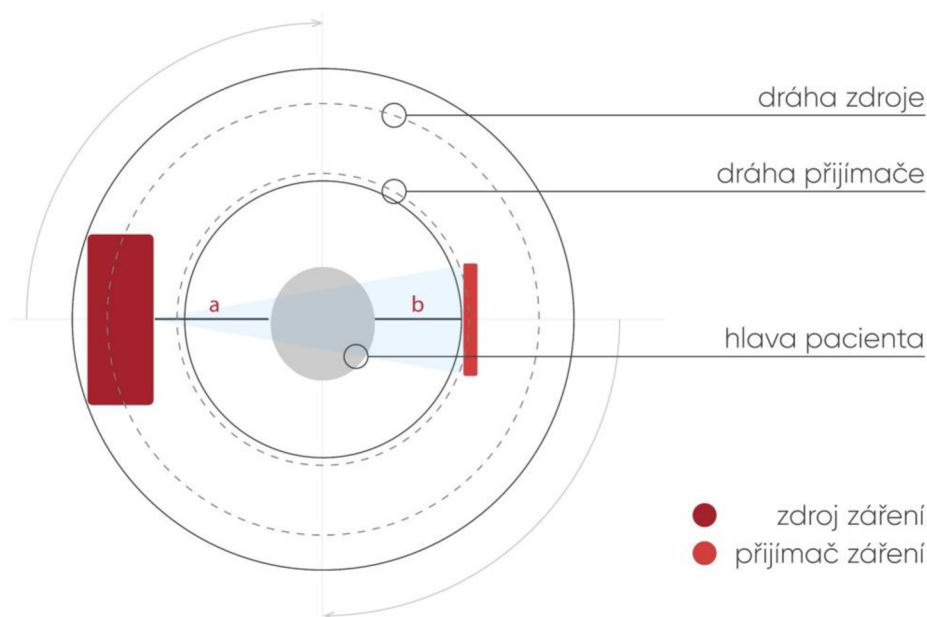
Plynulý pohyb vnitřní části zajišťují dvě kolejnice s vozíky na stranách. Vozíky jsou připevněny na pohyblivou konstrukci uvnitř a pohybují se po tyčovém vedení, které je přišroubované na vnější stabilní konstrukci.



Obr. 6-9 Lineární vedení

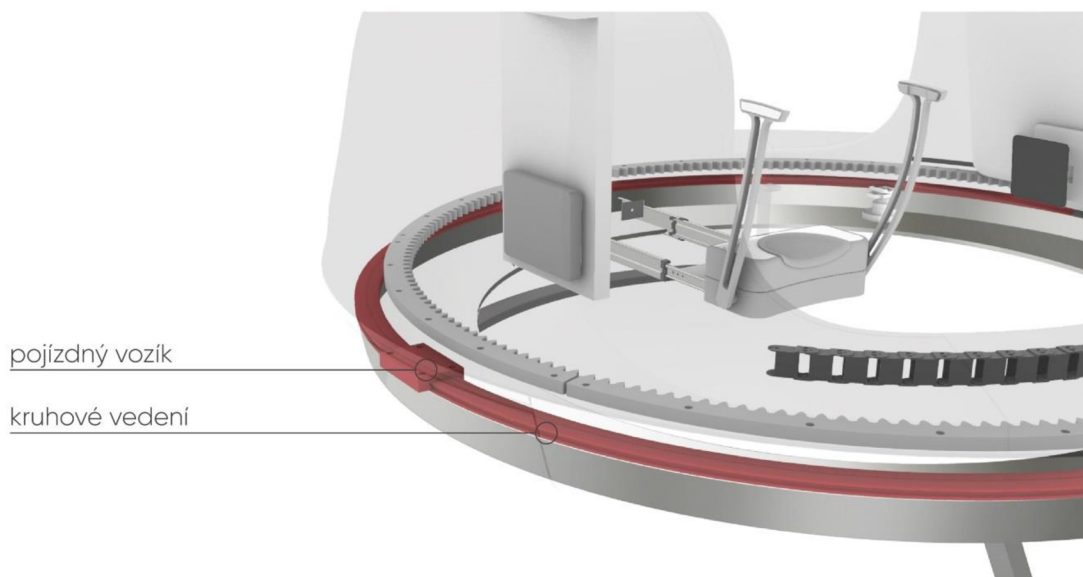
#### Rotační pohyb skenovací jednotky

Hlavním prvkem inovace návrhu je nový typ rotace po kružnici. Zdroj a přijímač záření rotují naproti sobě ve fixní vzdálenosti 660 mm. Zdroj je umístěn na vnější straně kružnice a přijímač na vnitřní, aby byly dodrženy správné poměry vzdálenosti (a, b) od pacientovy hlavy (viz Obr. 6-6). Dochází tak k eliminaci jednoho elektromotoru, který zajišťuje horizontální pohyb pro zachování konstantní vzdálenosti zdroje a přijímače od hlavy pacienta.



Obr. 6-10 Schéma rotačního pohybu

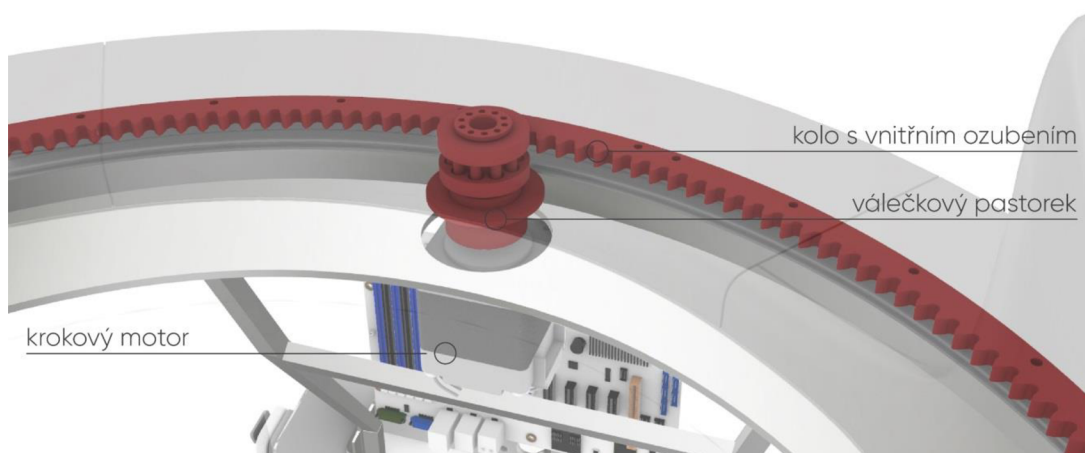
Skenovací část přístroje se dělí na spodní statickou část a horní pohyblivou. Rotační část se po statické pohybuje po valivém kruhovém vedení typu HCR. To je připevněno na pevné konstrukci ve spodní části. S tímto typem lze realizovat větší rotační pohyb než u rotačního ložiska. Kuličky obíhají ve čtyřech řadách mezi kolejnicí a vozíkem a umožňují tak hladký rotační pohyb skenovací hlavy. [42]



**Obr. 6-11** Valivé kruhové vedení

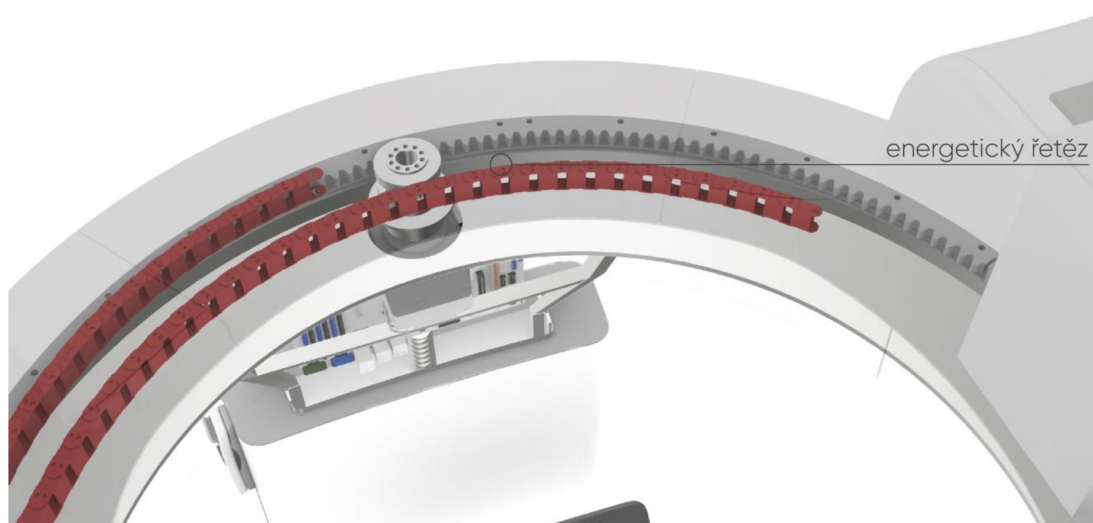
Ve statické části je ukotven krokový elektromotor s krokem  $0,18^\circ$ . Ten zajišťuje rotaci skenovací jednotky vůči zbytku statické části o  $270^\circ$  okolo vlastní osy. Pro oko plynulý rotační pohyb je ve skutečnosti rozdělen do cca do 600 kroků, kdy v každém kroku přístroj zastaví a provede jeden snímek z daného úhlu. Takto je zajištěn dostatek snímků pro vytvoření celého 3D modelu čelisti. Pacient tímto způsobem dostává do těla menší dávku záření než při plynulém snímání.

Na krokový motor je připevněný válečkový pastorek, který přes ozubenou kolejnici přenáší kroutící moment na rotační část. Místo kovových zubů jsou součástí válečku valivé čepy, které eliminují tření. Systém tak má 99% účinnost přenosu rotačního pohybu. V návrhu je uvažováno kolo s vnitřním ozubením. [43]



**Obr. 6-12** Ozubené kolo a válečkový pastorek

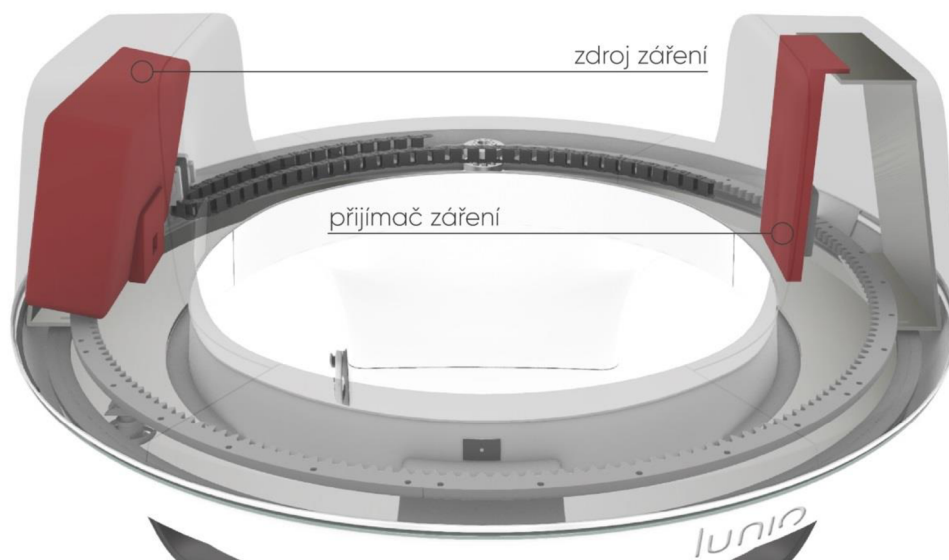
V rotační části je kabeláž opět uschována v energetickém řetězu a dovedena do rentgenky a přijímače záření. Kvůli kabeláži se rentgen se nastaví do výchozí polohy na začátku snímání a otočí se o  $270^\circ$  (potřebný úhel po snímání –  $\frac{1}{4}$  kruhu kolem páteře pacienta je vynechána). Po ukončení snímání se rotační část vrátí zpět. Není možné, aby jednotka obíhala jednosměrně dokola kvůli kabeláži.



**Obr. 6-13** Schematické uspořádání rotační jednotky

### Rentgenka a plošný přijímač záření

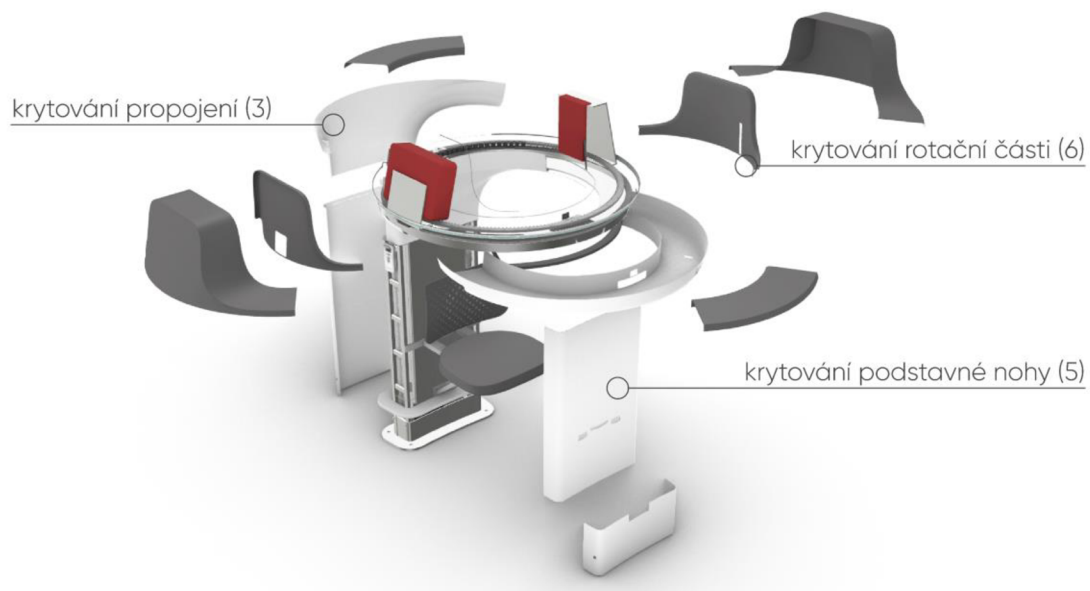
Hlavním zdrojem rentgenového záření je rentgenová lampa neboli rentgenka. Záření dopadá na plochý polovodičový přijímač. Celý princip technologie rentgenového záření byl již zmíněn v kapitole Technická analýza. V návrhu se předpokládá externí dodání těchto částí. Z technologického hlediska nedošlo v návrhu k žádným změnám, jelikož by tato část výrazně přesahovala nad rámec diplomové práce.



Obr. 6-14 Zdroj a přijímač záření

### 6.1.5 Vnější opláštění

Vnější krytování se skládá z 14 hlavních krytů a z šesti kusů rotační části rentgenu jsou tři symetrické a snižují počet forem použitých na výrobu. Zbylé krytování je vnitřní a vnější podstané nohy propojení mezi rotační a stabilní částí rentgenu.



Obr. 6-15 Krytování

### 6.1.6 Použité materiály

Vnější krytování je vyrobeno z vysokomolekulárního PE o tloušťce 3 mm. Tento materiál splňuje podmínky plastů pro zdravotnictví – nezávadnost, chemická odolnost, otěruvzdornost atd. Další plastový prvek v návrhu je tyčinka na zakousnutí. Ta je vyrobena z PEEK – polyetereterketonu pro lékařské použití. Jedná se o opětovně použitelný materiál a musí snést častou sterilizaci (autoklávování párou). Plasty použité jako stabilizace hlavy propouští RTG záření a nezobrazují se tak na snímcích.

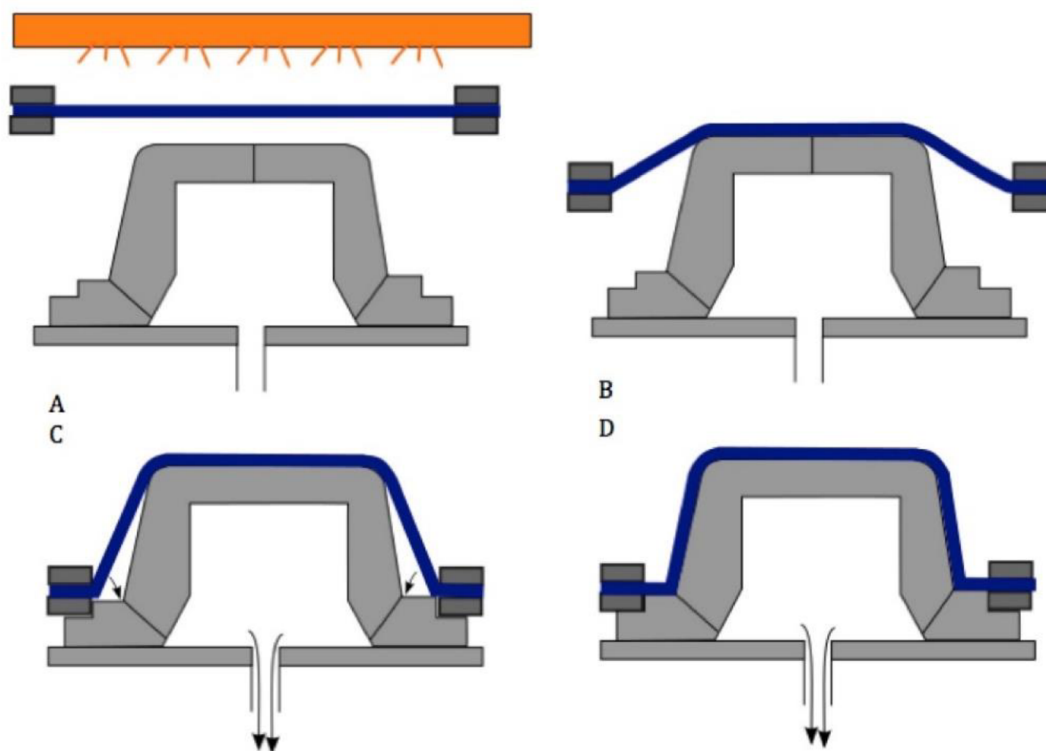
Nosná konstrukce je tvořena ocelovým svařencem. Svojí vysokou pevností zajistí podporu v tvarově kritických a namáhaných místech. Součástí je i vnitřní konstrukce, která slouží k umístění jednotlivých vnitřních komponent.

### 6.1.7 Technologie výroby

#### Krytování

Plastové krytování je vyrobeno pomocí vakuového tvarování termoplastů do forem. Vybrán byl typ pozitivního tvarování. Formy jsou levnější než negativní a vnější povrch výlisku je vzhledově dokonalý. Tento způsob je vhodný při výrobě pevných plastových předmětů. Vybrané druhy materiálů se dodávají v celé barevné škále a s různými druhy povrchů. Samotné formy jsou vyráběny na 3D frézách podle 3D modelu. [44] V návrhu designu je snaha o symetrii výrobku, což by vedlo ke snížení počtu forem.





Obr. 6-16 Vakuové tvarování termoplastů [44]

Plasty budou spojovány tvarovým spojem – pružný háčkový spoj typu T, případně šroubovým spojením v místech, kde je potřeba jejich časté rozebírání z důvodu každoroční revize přístroje.

### Konstrukce

Nosná konstrukce je svařována z ocelových jeleků a silných plechů. Vytváří tak stabilní základnu přístroje a prostory pro přesně umístění a upevnění vnitřních komponentů. Ty jsou připojeny šroubovým spojením na konstrukci.

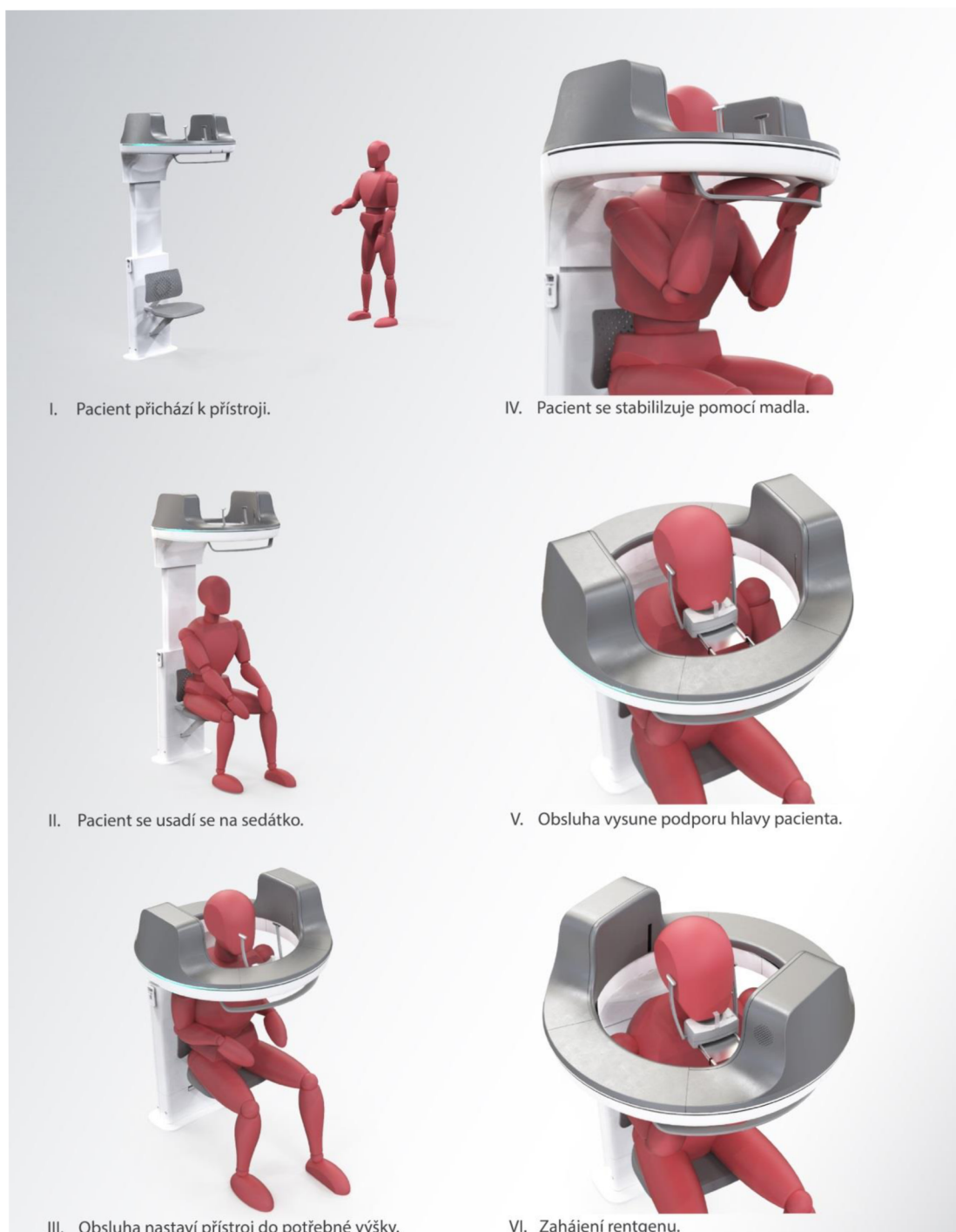
Předpokládá se sériová výroba o počtu 5000 – 10 000 kusů. Sériovost výroby také zajistí návratnost ceny forem. Díly rotační části přístroje jsou symetrické, což zajistí menší počet forem a tím sníží celkovou cenu výroby.

## 6.2 Ergonomické řešení

V této kapitole bude design blíže rozebrán z ergonomického hlediska. Nejprve je podrobně popsána interakce pacienta a obsluhy s přístrojem, později vysvětlena problematika nastavování přístroje a jednotlivé prvky související s ergonomií.

## 6.2.1 Interakce pacienta a obsluhy s přístrojem

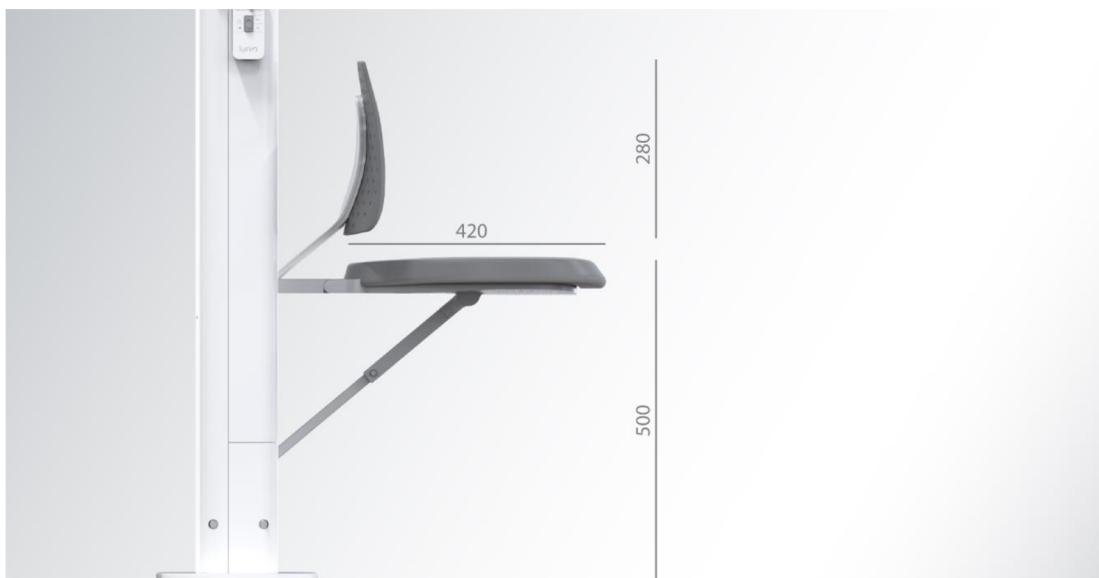
Nejprve je potřeba popsat, v jakých jednotlivých krocích se pacient a obsluha dostanou do kontaktu s přístrojem. Následující kroky jsou dále rozepsány.



Obr. 6-17 Storyboard

## 6.2.2 Usazení pacienta

Součástí přístroje je integrované sedátko. To z ergonomického hlediska odpovídá požadavkům. Základní rozměry sedáku jsou 455 x 420 mm.



Obr. 6-18 Základní ergonomie sezení

### Přístup pacientů na invalidním vozíku

Kvůli přístupu pacientů na invalidním vozíku či kvůli jiné situaci, kdy je potřeba, aby pacient při snímání stál je zajištěno sklápění sedátka. To lze sklopit tak, že obsluha mírně nadzvedne sedák, tím se vysune západku z podstavného sloupu. Dále je třeba uvolnit aretační čep a vzpěrná noha tak lze zasunout a zkrátit. Pak už se jen volně spustí dolů. Opěrátko zůstává na svém místě.



Obr. 6-19 Sklápění sedátka

Jelikož sezení je navrženo jako hlavní poloha při snímání pacienta, předpokládá se, že se sklápění sedátka nebude provádět příliš často.

Tím, že opěrátko zůstává na svém místě, slouží jako zarážka pro pacienty na vozíku. Ty obsluha přiveze do místnosti případně mohou přijet i sami. Dostanou se do pozice, kdy jsou zády ke sloupu a nacouvají až těsně k opěrátku.



Obr. 6-20 Obsluha a pacient na invalidním vozíku

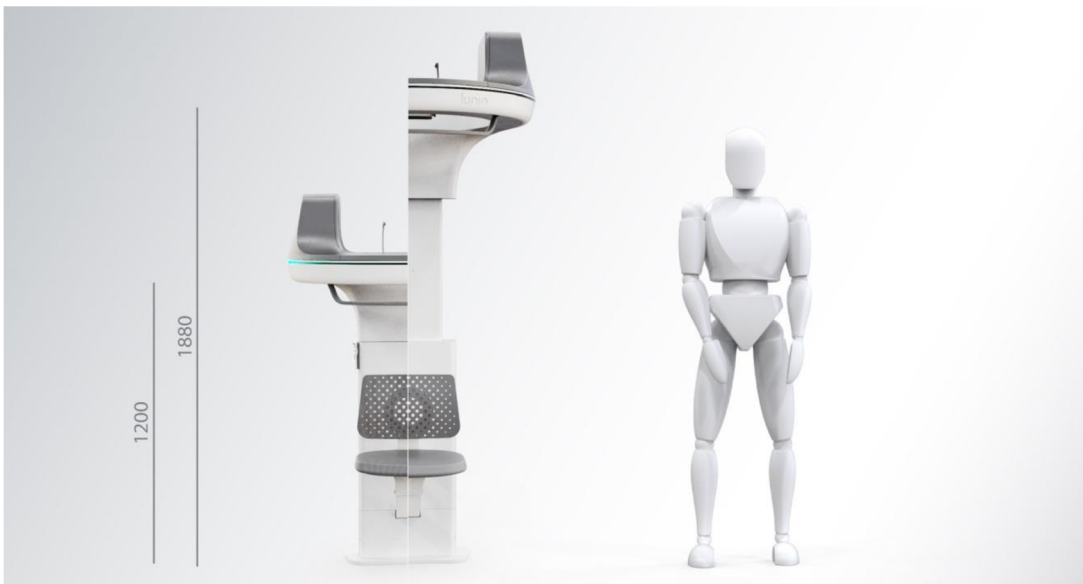
Zároveň je šířka sloupu menší než rozpětí kol a madel vozíku, takže se pacient s vozíkem intuitivně vmístí do správné polohy.



Obr. 6-21 Pacient na invalidním vozíku

### 6.2.3 Výškové nastavení přístroje

Základní funkcí přístroje je výškové nastavování. To zajišťuje přístup všech pacientů (počítáme s dětmi až od cca 15 let, jelikož již dříve vyšlo z průzkumu, že mladší pacienti na tyto rentgeny nechodí). Výškové nastavení ovládá obsluha pomocí ovladače.



Obr. 6-22 Výškové polohování přístroje

Vysunutý přístroj umožňuje i snímání pacienta ve stoje, pokud je třeba, a to do maximální výšky pacienta 190 cm. U velmi vysokých pacientů tato poloha není vhodná pro menší obsluhu.

### 6.2.4 Uchycení madla

Ve chvíli, kdy se přístroj sníží do potřebné výšky, pacient položí ruce na madlo. Přidrží se ho a zároveň se tak stabilizuje. Mezera mezi madlem a přístrojem je 80 mm.

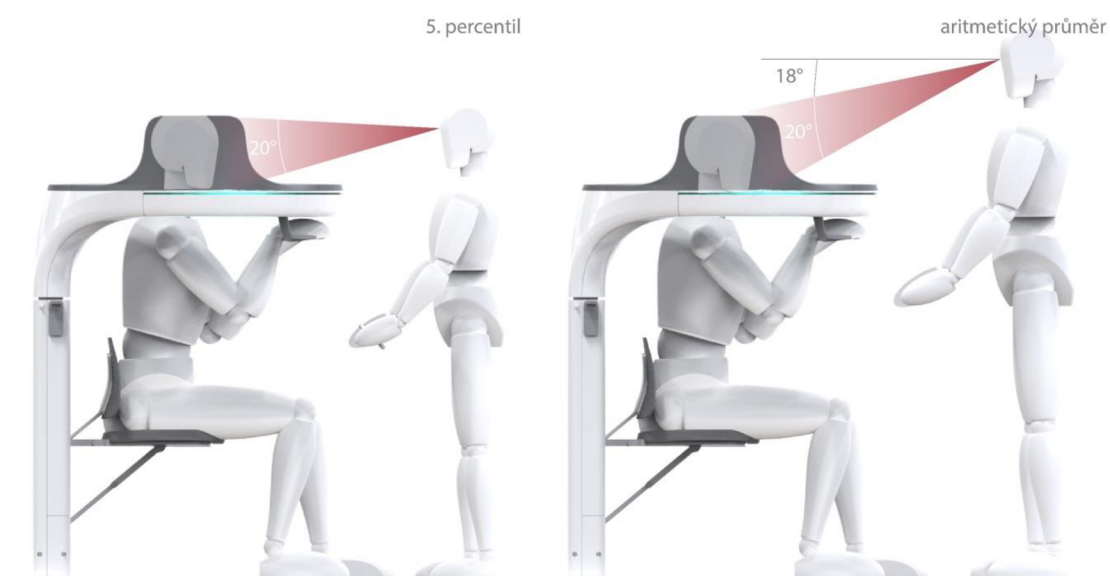


Obr. 6-23 Stabilizace pacienta pomocí madla

## 6.2.5 Stabilizace hlavy

### Úloha obsluhy

Obsluha stojí při nastavování přístroje naproti pacientovi. Pomocí ovladače nastaví přístroj do správné výšky, případně upraví výšku podpěry brady. Jemně sevře pacientovi spánky a pomocí laserů jej navede do správné polohy. Při celém procesu stojí obsluha čelem k pacientovi – je tedy zachována přímá poloha pacienta a obsluhy, což je jedním z hlavních cílů práce. Díky tomu, že pacient při vyšetření sedí, vidí i obsluha menšího vzrůstu dobře do tváře pacienta.



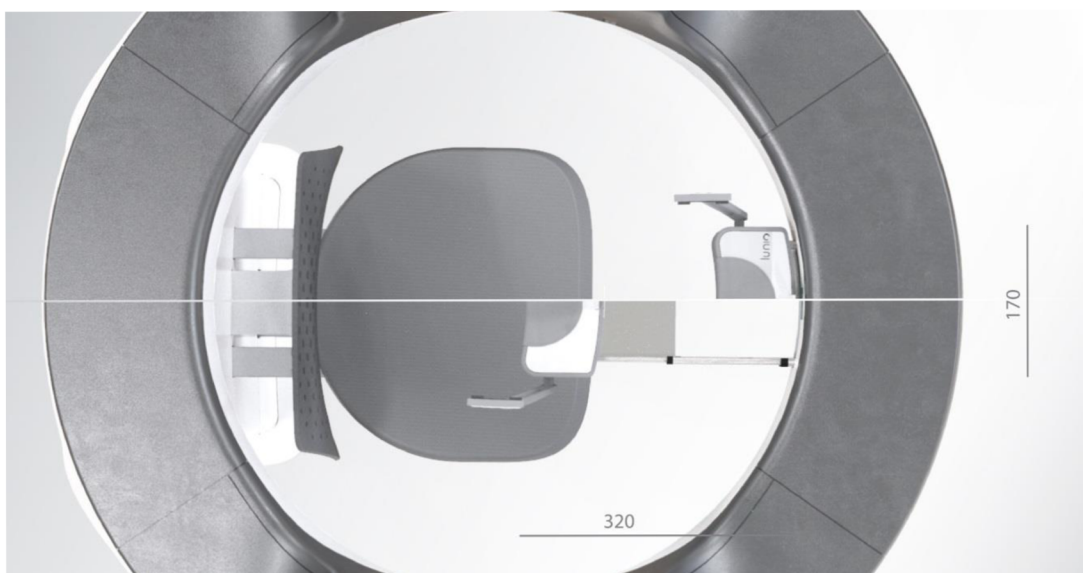
Obr. 6-24 Ergonomie – pacient a obsluha

Stabilizace hlavy se skládá z podpěry brady, stabilizace spánků a kousátka. Všechny tyto části odpovídají ergonomickým nárokům jak pacienta, tak obsluhy. Pacient si položí bradu na měkčenou podložku, zakousne se do plastové části, která slouží k rozevření čelistí od sebe. Dále potom obsluha jemně stabilizuje hlavu pacienta za spánky.



Obr. 6-25 Stabilizace hlavy

V tomto případě je podpora vysunutelná z kruhové obruče tak, aby pacientova brada byla ve středu snímání. Samotná podpora pak nepřekáží a vzniká dostatek prostoru při výškovém polohování přístroje.



Obr. 6-26 Výsuv stabilizace hlavy

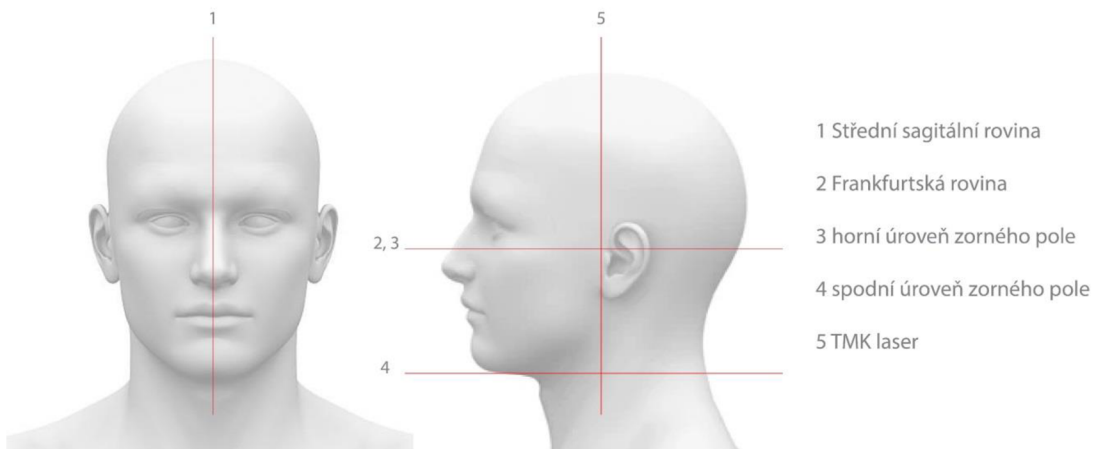
V případě pacientů na invalidním vozíku je užití podpěry brady naprosto identické.



**Obr. 6-27** Pacient na vozíku – užívání podpěry brady

### Nastavování laserů

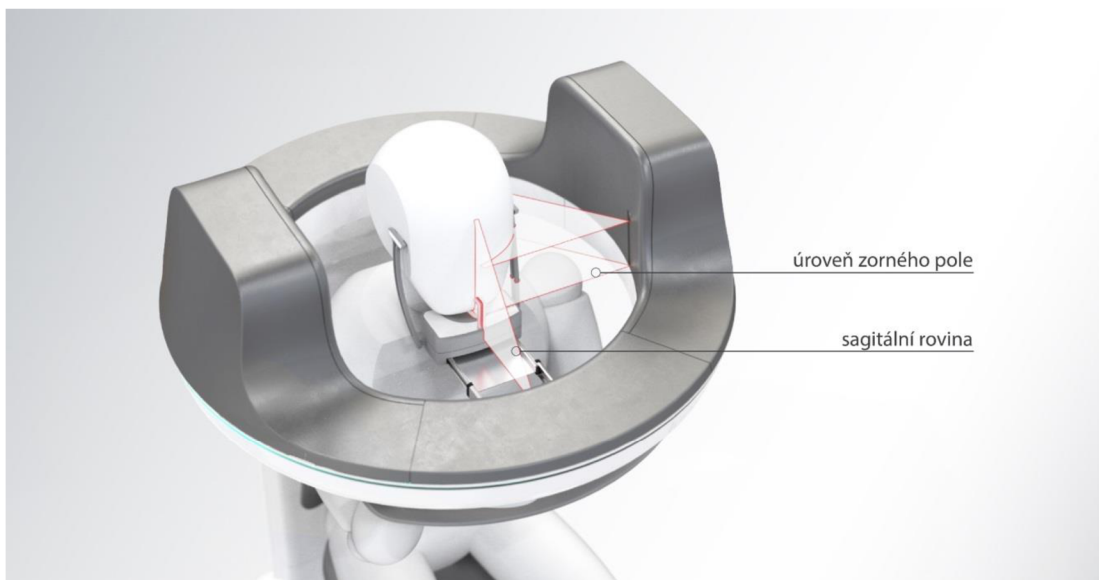
Další funkcí podpěry hlavy je umístit pacienta do polohy, která je dokonale vystředěná a ve výškovém rozmezí záběru rentgenu. K tomu slouží lasery.



**Obr. 6-28** Označení laserů

Před pacientem na vnitřní straně kruhové obruče je laser střední sagitální roviny – ten slouží k vystředění pacienta. Při tvorbě 3D snímku jsou na boku dva horizontální lasery, které určují horní a spodní úroveň zorného pole. Při tvorbě panoramatického snímku je ještě důležitý laser Frankfurtské roviny, který je horizontální spojnicí dolního okraje očníce s horním okrajem zevního zvukovodu.





Obr. 6-29 Pacient při užívání podpěry brady

### 6.3 Bezpečnost a hygiena

Ve stabilním kruhu přístroje je umístěna světelný LED pásek. Ten informuje o průběhu rentgenového snímku a zároveň signalizuje, že je přístroj zapnutý a v provozu. Pro bezpečnost provozu je využito rozdílných barev signalizace, kdy se v případě problému změní světelná signalizace na výstražnou – červenou. Tato signalizace je důležitá hlavně pro obsluhu.



Obr. 6-30 Světelná signalizace

Dle norem je nutné, aby součástí rentgenu bylo nouzové tlačítko, které přístroj zastaví. To musí být příslušně označeno a musí být v dosahu obsluhy i pacienta. Tlačítko je na spodní straně kruhu a pomocí otočení se odblokuje, vysune a je připraveno k použití. Obsluha na něj vidí z vnější strany přístroje. V případě pacienta je značení z vnitřní strany kruhu tak, aby na něj viděl.



Obr. 6-31 Nouzové tlačítko – značení pro obsluhu a pacienta

Tvarování krytování je z hlediska bezpečnosti navrženo tak, že v každém místě, kde by pacient mohl potenciálně přijít do kontaktu s přístrojem, jsou oblé rohy. Zároveň je dbáno na jednoduché a intuitivní použití přístroje obsluhou i pacientem.

Z hlediska hygieny je důležité zajistit materiál, který je omyvatelný a je možnost jej sterilizovat párou. To zajišťuje volba zdravotnického PE. Zároveň navržené tvarování nemá žádná místa, kde by se zbytečně držela nečistota nebo by na ně nebylo možné dosáhnout a vyčistit je.

## 6.4 Udržitelnost

Dentální rentgen je navržen s požadavkem na životní cyklus v řádu až nižších desítek let. Vzhledem k vysoké pořizovací ceně a v této době již velice vyspělé technologii nedochází k obměně přístrojů v ordinacích v kratších časových intervalech. Zároveň je často pravidlem, že pokud například velká soukromá ordinace mění rentgen za novější model, nabídne jej k dalšímu použití někomu, kdo má nižší nároky na zobrazovací technologie nebo si jej nemůže díky vysoké ceně dovolit.

Z hlediska ekologie jsou dnešní přístroje přívětivější volbou než dříve. Důležité je zejména, že dávka rentgenového záření, kterou člověk přijme, se neustále snižuje. Je však důležité nadále počítat s likvidací radioaktivního odpadu (i oleje, který rentgenku chladí), který z přístrojů vzniká. Tuto skutečnost nelze v dnešní době nijak eliminovat či nahradit.

## 7 BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ

V této kapitole je nejprve popsáno barevné řešení zdravotnických zařízení a barevné varianty finálního návrhu a dále rozebrány grafické prvky včetně loga, návrhu ovládání a aplikace zvoleného vizuálního stylu přímo na dentálním rentgenu.

### 7.1 Barevné řešení

V této kapitole bude návrh představen z pohledu barevného řešení. Většina zdravotnických zařízení je běžně navrhována ve světlých barvách bez výraznějších akcentů. V poslední době si však můžeme všimnout, že i do této kategorie se dostává více barev. Většinou se zde objevují pastelové či jiné světlejší odstíny kromě tradičnější zelené a modré, aby bylo sterilní bílé prostředí narušeno.

Před začátkem samotného návrhu barevného řešení si je třeba uvědomit, jaké parametry hrají roli při výběru nového dentálního rentgenu. Prvním bodem je, kdo si rentgen kupuje, k jakému účelu a kde přesně bude umístěný. Poměrně často si zubaři kupují nový přístroj do své již zařízené ordinace. Ta je již často nějak barevně řešena, a proto by výrazná netradiční barevnost mohla negativně ovlivnit počet prodaných zařízení.

Dalším bodem je psychologická funkce barevnosti z pohledu pacienta. Jelikož pacient může mít před vyšetřením obavy, barva nesmí působit nijak agresivně (jako například červená). Barva by měla odrážet kvalitu přístroje, a proto působit spolehlivě, čistě a napovídat, k jakému účelu zařízení je. Jemné odstíny všech barev by mohly pozitivně ovlivnit pacientovu psychiku.

Posledním stylem barevnosti může být zdůraznění funkce. V případě průmyslových strojů jde často o varovné barvy typu oranžová nebo červená, které jasně signalizují nebezpečí. V případě návrhu by bylo přínosné označit barevně funkční či jiné pohyblivé části v barvě s akcentem.

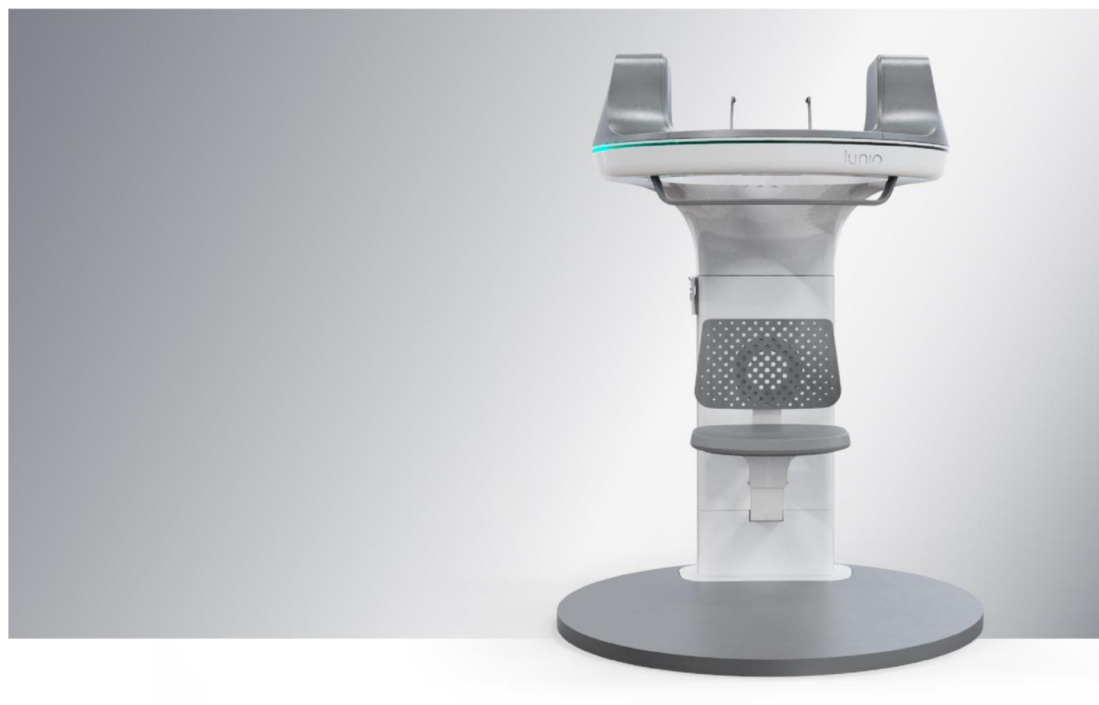
Na základě těchto poznatků byly navrženy tři barevné varianty. U primárního řešení byla zvolena bílá jako dominantní barva, která je opodstatněně u těchto přístrojů využívána. Přístroj tak působí čistě, kvalitně a je možné jej použít v jakémkoliv prostředí. Doplnkovou barvou je tmavě šedá, která zdůrazňuje funkčnost horní části. Napovídá tak, že část je pohyblivá a oddělená od zbytku rentgenu.

Další varianta návrhu je světle šedá, kde je celé tělo rentgenu v hlavní barvě a k ní je použit akcent šedé barvy u prvků, které nejsou základním tělem (sedátko a podpěra brady). Třetí barevná varianta využívá pastelovou modrou jako doplňkovou barvu u funkční rotační části. Ta odkazuje na zdravotnické prostředí a díky velkému podílu bílé působí stále čistě, spolehlivě a minimalisticky.



Obr. 7-1 Barevné varianty RAL

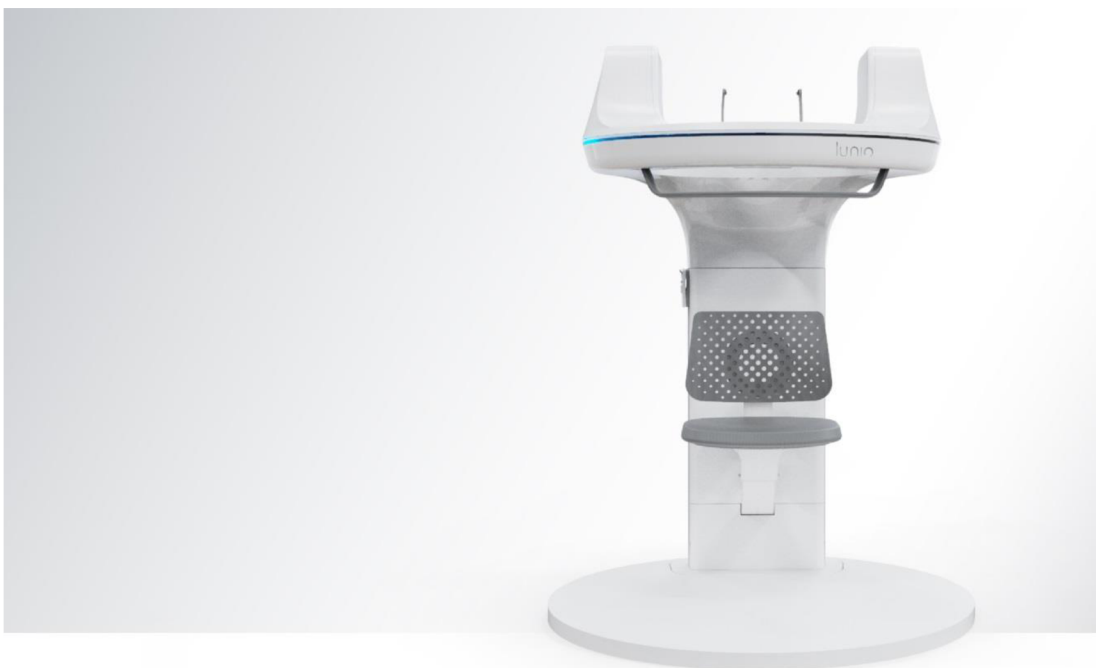
Výrazným barevným akcentem je návrh LED osvětlení, které je přizpůsobeno každé barevné variantě. Zároveň má u návrhu informativní funkci, jelikož se osvětlení pohybuje po přední části kruhu, a tak graficky znázorňuje průběh vytvoření rentgenového snímku.



Obr. 7-2 Barevná varianta šedá



**Obr. 7-3** Barevná varianta modrá



**Obr. 7-4** Barevná varianta světle šedá

## 7.2 Grafické řešení

V grafickém řešení ovládání byl kladen důraz na podpoření intuitivnosti a jednoduchosti ovládání a sjednocení všech grafických prvků a samozřejmě návrh vizuálního stylu loga a logotypu.

### 7.2.1 Název a logotyp

Název konceptu, lunio, pochází z velšského slova, která znamená formulovat. Jde tak o připodobnění k tomu, že by designér dosáhl co nejlepšího výsledku, musí umět své myšlenky a nápady správně formulovat. A to nejen slovně, ale umět své nápady formulovat i ve skicách, 3D modelech či vizualizacích.



**Obr. 7-5** Barevná a monochromatická verze loga

Při tvorbě loga bylo snahou navázat na jednoduchost a jemnost tvarování pomocí fontu s oblými rohy. Logo je zakončeno výraznou kruhovou výsečí, která představuje písmeno O. Jde o 270° z kruhu, který symbolizuje stejný úhel, který je potřebný k vytvoření kompletního rentgenu pacienta.

## 7.2.2 Aplikace vizuálního stylu

Logo je umístěno na přední straně samotného těla jako prolis v materiálu. Je tak dobře viditelné a propaguje samotný produkt. Dále je potom umístěno také na podpěře brady a na ovladači.

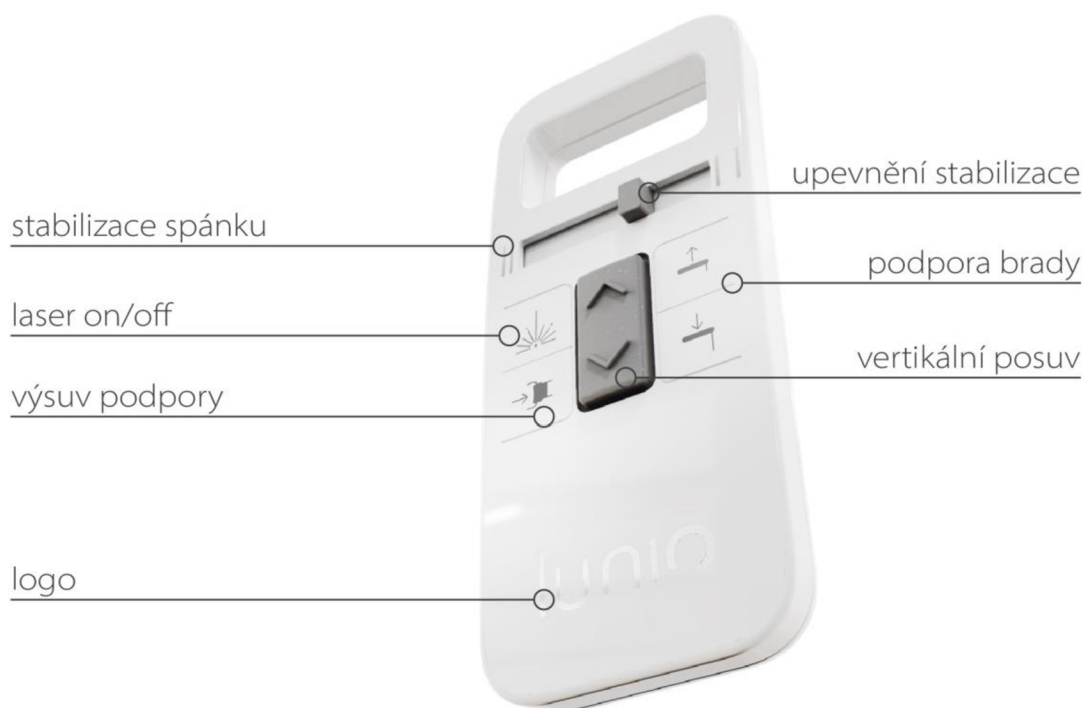


Obr. 7-6 Aplikace vizuálního stylu

## 7.2.3 Grafický návrh ovladače

Důležitou změnu oproti stávajícímu stavu dentálních rentgenů je potlačení ovládacího displaye, který je nahrazen ručním ovladačem. Je zde snaha o naprostou intuitivnost ovládání, aby bylo snadné i pro nového uživatele.

Díky minimalizaci počtu ovládacích prvků a jejich vhodné volbě tvarového rozlišení není nutné velké množství značení. Zároveň jsou ovládací prvky navrženy dle jejich důležitosti. Nastavení přístroje, které není nutné provádět přímo u přístroje při manipulaci s pacientem provede obsluha u svého stolního počítače.



**Obr. 7-7** Grafický návrh ovládacích prvků

Základní ovládací prvky jsou navrženy od nevyšší intenzity používání. Tlačítko pro vertikální polohování přístroje nahoru a dolů je umístěné uprostřed a je výrazně barevně odděleno šedou barvou. Dále je nahoře umístěn posuvník pro pohyb stabilizátoru spánků, na pravé straně výškové nastavení podpěry brady, vlevo vysunutí podpory brady a zapnutí/vypnutí laserů.



## 8 DISKUZE

Navržený koncept se na trhu odlišuje nekonvenčním tvarováním. Přichází s novým návrhem konstrukce založeným na znalostech základních konstrukčních principů. Dále návrh respektuje nezbytné ergonomické parametry a reaguje na nedostatky současných přístrojů zjištěných v analytické části práce.

### 8.1 Psychologická funkce

Při jakékoliv léčbě či vyšetření je třeba dbát na komfort a psychologickou pohodu pacienta. Zvolené tvarování vnějšího krytování omezilo množství tvarových elementů a samostatných částí a vytvořilo tak jednotný solidní celek. Hlavními prvky návrhu jsou podstavná noha a kruhová horní část adekvátní velikosti. Tvar kruhu působí na pacienta bezpečně, jelikož se nikde nenachází ostré hrany nebo náhlé přechody. Zároveň sám o sobě vysvětluje, že okolo pacienta se bude něco dít. Díky umístění zdroje a přijímače záření po stranách má pacient před začátkem vyšetření přímý výhled ven z přístroje. Výhled ven z přístroje má i při více než polovině času průběhu otočky rentgenu.

Sedátko je umístěno tak, že pacient sedí zády ke stěně, což psychologicky vyvolává větší pocit bezpečí. Zároveň poloha v sedě je pro člověka stabilnější a může se během vyšetření uvolnit. Zvolené barevné řešení také podporuje praktický, čistý a funkční dojem z přístroje.

### 8.2 Sociální funkce

S dentálním rentgenem přijde to styku většina pacientů, která pravidelně navštěvuje svého zubaře. Kromě nich je také třeba myslet na obsluhu rentgenu. Ta je často v kontaktu s přístrojem několikrát denně, oproti pacientovi, který podstoupí takové vyšetření jednou za rok. Návrh se proto snaží proces co nejvíce ulehčit oběma skupinám uživatelů. Obsluze tak, že celý přístroj bude pro pacienta intuitivní a sám o sobě bude naznačovat, kam si má pacient sednout a co se kolem něj bude dít. Zároveň byl v návrhu minimalizován počet ovládacích prvků, aby bylo ovládání pochopitelné i pro nového uživatele. Druhé skupině se návrh snaží vyjít vstříc tím, že umožňuje snímání v poloze v sedě i ve stoje a zajišťuje bezproblémový přístup pacientům na invalidním vozíku.

Z ekologického hlediska zůstává otázkou likvidace radioaktivního materiálu. K té je nutno přistupovat nanejvýš zodpovědně ze strany výrobce i uživatele.

## 8.3 Ekonomická funkce

Vzhledem k narůstající nezbytnosti dentálních rentgenů v zubařských ordinacích lze předpokládat sériovou výrobu přístroje v množství 5 000 – 10 000 kusů. K počtu vyrobených kusů přispívá také fakt, že samotná technologie uvnitř přístroje se stále vyvíjí a zlepšuje a konkurence na dnešním trhu postrádá více kvalitních výrobců, kteří berou v potaz i estetickou stránku.

Samotné krytování je vyráběno vakuovým tvarováním plastů. Poměrně vysoká počáteční investice spojená s výrobou forem se výrobcí postupně vrací v počtu prodaných kusů.

### 8.3.1 Marketingová analýza

Ze zpracované SWOT analýzy (viz Obr. 8–1), vyplývají hlavní přednosti, které vedou k odlišení návrhu na současném trhu. Zároveň jsou zde zmíněny i potenciální hrozby.

<p><b>SILNÉ STRÁNKY</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Tvarová odlišnost od konkurence</li><li>▪ Celistvost tvaru</li><li>▪ Minimalizace ovládacích prvků</li><li>▪ Úspora prostoru</li><li>▪ LED indikace průběhu snímání</li></ul>	<p><b>SLABÉ STRÁNKY</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Nutnost výroby nové konstrukce</li><li>▪ Otázka radioaktivního odpadu</li><li>▪ Cenová nedostupnost malým zdravotnickým zařízením</li></ul>
<p><b>PŘÍLEŽITOSTI</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Propojení technologie softwaru s dalšími odvětvími (výroba zubní protézy, 3D tisk, prototypování)</li><li>▪ Lepší služby pro pacienty</li><li>▪ Digitalizace ve zdravotnictví</li></ul>	<p><b>HROZBY</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Zavedená konkurence na trhu</li><li>▪ Nízká míra výměny přístrojů a s tím spojená poptávka</li></ul>

Obr. 8-1 SWOT analýza

### 8.3.2 Cílová skupina

Na cílovou skupinu lze pohlížet ze dvou hledisek. Zaprvé, kdo rozhoduje o nákupu přístroje a jaké faktory jej ovlivňují a za druhé lze na cílovou skupinu pohlížet jako na uživatele produktu, tedy obsluhu a pacienta.

Předpokládaným odběratelem dentálních rentgenů jsou soukromé zubařské ordinace nebo velká stomatologická zařízení. Ty si totiž mohou nový přístroj finančně dovolit. Zástupcům těchto organizací přístroje představí třetí strana – firmy, které mají smlouvu s výrobcem a zajišťují provoz, prodej a servis v dané zemi. Rozhodujícím faktorem pro tuto skupinu je cena a životnost.

Budoucí uživatel produktu většinou nemá vliv na výběr přístroje. Alespoň jedna zaškolená osoba (sestra, zubař, radiologický asistent) potom přístroj obsluhuje s četností 2–20 použití denně. Pro tuto skupinu je důležitým faktorem jednoduchost ovládání, snadná interakce s pacientem, intuitivní použití přístroje pacientem a jeho dobrá stabilizace pro kvalitu snímků.

Druhým uživatelem produktu jsou pacienti od 15 do 80 let, pro které je důležitá psychická pohoda, rychlost a pohodlnost vyšetření a důvěryhodný vzhled přístroje. Návrh tak propojuje potřeby všech zúčastněných cílových skupin.

### 8.3.3 Cenová hladina

Ve srovnání se současnými přístroji na trhu lze očekávat stejnou cenovou hladinu, jakou mají vybrané konkurenční přístroje lídrů na současném trhu – například korejská značka Vatech nebo severoamerický Carestream Dental. Předpokládá se konkurenceschopnost díky inovativnímu přístupu ke konstrukci a tvarování.

Výraznou položkou na ceně přístroje je samotný software a cena zdroje a přijímače zařízení. V ideálním případě se výrobní firma specializuje pouze na výrobu dentálních rentgenů. Zajišťuje tak vývoj v oblasti technologie a softwaru a zároveň vyrábí a kompletuje celé přístroje způsobem in house production neboli vnitropodnikovou výrobou. V opačném případě je potřeba zajistit dodání zmiňovaných dílů externí společnostmi.

## 9 ZÁVĚR

Hlavním cílem diplomové práce bylo přijít s inovativním řešením designu panoramatického dentálního rentgenu s funkcí 3D zobrazení, které zohledňuje ergonomické a technické požadavky a zohledňuje fakta zjištěná v analytické části práce. Navržený koncept přístroje se naprosto odlišuje od stávajících rentgenů na současném trhu, a to jak svoji konstrukční, tak tvarovou stránkou. Zároveň umožňuje pohodlný přístup všem pacientům, včetně těch na invalidním vozíku a zjednodušuje interakci s přístrojem jak pacientovi, tak i obsluze.

V rámci analytické části diplomové práce byla nejprve provedena rešerše dentálních rentgenů na současném trhu. Byly kriticky zhodnocena jejich technická, ergonomická, tvarová a barevná řešení. Součástí analýzy vybraných zástupců na trhu byla osobní zkušenost s použitím tří dentálních rentgenů v zubařských ordinacích. V druhé rešeršní části byla provedena technická analýza ze všech dostupných zdrojů (web, knižní manuál k přístroji, rozhovor s vyučujícím radiologie), aby byla správe pochopena použitá technologie a komponenty přístroje.

V další části byla na základě dosavadních poznatků z rešerše zpracována analýza problému. Aby analýza měla odpovídající hodnotu, její součástí byl i dotazník rozeslaný do 10 zdravotnických zařízení a detailní rozhovor s obsluhou přístroje (radiologická asistentka v nemocnici u sv. Anny v Brně). Zjištěné problémy byly následně pro přehlednost kategorizovány. Tyto kategorie pak sloužily k definování hlavního a všech vedlejších cílů práce.

Následující kapitola se věnovala již vlastnímu koncepčnímu návrhu dentálního rentgenu. Byly vypracovány tři variantní studie designu, každá s jiným přístupem, aby byly v procesu pokryty všechny možné cesty řešení. Všechny varianty byly předloženy ke konzultaci zubaři, se zkušeností s používáním rentgenu, aby zhodnotil jejich funkčnost v praxi. Po zhodnocení všech kladů a záporů navržených řešení bylo vybráno jedno, které nejvíce vyhovovalo všem požadavkům a zároveň předkládalo inovativní přístup k dentálnímu rentgenu jako celku.

Práce se v této fázi zaměřila na finalizaci tvarového, konstrukčního, ergonomického a barevného řešení s ohledem na všechna předchozí zjištěná fakta. Docházelo k neustálým opravám a vylepšením na základě konzultací. Ve svém průběhu práce zahrnuje všechny stanovené cíle, a to od hlavního – možnosti snímání pacienta v sedě, tak i všechny vedlejší cíle včetně: navržení sklápěcího systému sedátka, který umožní pohodlný přístup pacientům na vozíku a zajistí v případě potřeby možnost snímání ve stoje, navržení pohodlného ovládání přístroje obsluhou, zajištění intuitivního přístupu pacienta k přístroji a navržení tvarového řešení, které bude působit příznivě na pacientovi psychiku.

Jelikož je přístup k designu odlišný od stávajících řešení na trhu, vzniká zde otázka použitelnosti návrhu konstrukčního řešení. To vychází ze znalosti základních principů a do určité míry se inspiroje konstrukcí kruhových tomografií, kterými se vzdáleně inspiroje i samotný tvar. Jelikož se běžný člověk dostane k informacím o vnitřní konstrukci a komponentech dentálních rentgenů pouze ve schematické formě, návrh celého vnitřního uspořádání komponent a vnitřní konstrukce je pouze teoretický koncept.

Závěrem lze však říct, že návrh přichází s inovativním přístupem, který odliší přístroj na současném trhu. Dále návrh splňuje již dříve vytyčené cíle a předkládá je adekvátně zpracované na závěrečnou práci v oboru průmyslového designu. Hlavním přínosem návrhu je řešení reálných povětšinou ergonomických problémů, které vznikají při interakci přístroje s pacientem nebo obsluhou spolu s tvarovým a barevným řešením, které odpovídá současným trendům v rozvíjejícím se oboru designu zdravotnických zařízení.

## 10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. NIST Timeline: Panoramic dental X-ray machine [online]. [cit. 2020-09-29]. Dostupné z: <https://www.nist.gov/timeline#event-774311>
2. HANZELKA, Tomáš. *Cone Beam CT ve stomatologii: Pohybové artefakty a jejich redukce*. Praha, 2013. Disertační práce. Univerzita Karlova v Praze, 1. Lékařská fakulta. Vedoucí práce Prof. MUDr. RNDr. Jiří Beneš, CSc.
3. Products. *Products | NewTom* [online]. [cit. 2019-02-26]. Dostupné z: <https://www.newtom.it/en/products>
4. OP 3D. *OP 3D™ Nejefektivnější vstup do rentgenového světa KaVo 3D. | KaVo Dental* [online]. [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://www.kavo.com/cs-cz/rtg-technika-diagnostika/op-3d-extraoralni-rentgeny#%C3%A9Avod>
5. Kavo OP 3D. *OP 3D™ Nejefektivnější vstup do rentgenového světa KaVo 3D. | KaVo Dental* [online]. [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://www.kavo.com/cs-cz/rtg-technika-diagnostika/op-3d-extraoralni-rentgeny#technick%C3%A9-specifikace>
6. Vatech – PaX-i3D SMART. *PaX-i3D Smart - 3D Imaging Systems - VATECH* [online]. [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: [http://www.vatechglobal.com/product\\_3d/313](http://www.vatechglobal.com/product_3d/313)
7. PaX-i 3D Green. *PaX-i3D Green - 3D Imaging Systems - VATECH* [online]. [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: [http://www.vatechglobal.com/product\\_3d/312](http://www.vatechglobal.com/product_3d/312)
8. In: *CS 9300* [online]. [cit. 2020-10-15]. Dostupné z: <https://www.carestreamdental.com/en-us/csd-products/extraoral-imaging/cs-9300/>
9. OP 3D™ Vision. *OP 3D™ Vision The upgradable 3D X-ray system for the strictest demands | KaVo Dental* [online]. [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <https://www.kavo.com/dental-x-ray-machines-and-diagnostics/op-3d-vision-extraoral-x-ray>
10. OP 3D™ Vision. *KAVO ORTHOPANTOMOGRAPH OP 3D Vision - Smrček Z-Con - eshop* [online]. [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <https://eshop.smrcek-dental.cz/2d-a-3d-opg/kavo-orthopantomograph-op-3d-vision/>
11. Vatech Green 21. *PaX-i3D Green - 3D Imaging Systems - VATECH* [online]. [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: [http://www.vatechglobal.com/product\\_3d/312](http://www.vatechglobal.com/product_3d/312)
12. I-CAT FLX V17. *I-CAT FLX V17 | I-CAT<* [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://www.i-cat.com/products/i-cat-flx-v-series/i-cat-flx-v17>

13. I-CAT FLX. *Indications for Use* | *I-CAT* [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: [https://p.widencdn.net/kqedba/IC-0129\\_i-CAT\\_FLX\\_V-Series\\_Brochure](https://p.widencdn.net/kqedba/IC-0129_i-CAT_FLX_V-Series_Brochure)
14. Xray CBCT - NewTom 5G XL. *Xray CBCT - NewTom 5G XL - Inline Systems* [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://inline.com.au/shop/dental/dental-radiology/5g-xl-ddr/>
15. NEWTOM 5G XL – EXTRA.VISION. *5G XL* | *NewTom* [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://www.newtom.it/en/products/detail/5g-xl>
16. Cone Beam CT System. *Cone Beam CT System* | *Claris XT* | *Medical Equipment and devices for hospitals or institutions.* | *TradeMed* [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://www.trademed.com/products/5602/Cone-Beam-CT-System.html>
17. Peroutková BA, [ústní sdělení] Modec Klinika – Stomatologické zařízení ,23. 3. 2019
18. Department of Nuclear Medicine, Vrije Universiteit Brussel, AZ-VUB, B-1090 Brussels, Belgium. *The cone-beam algorithm of Feldkamp, Davis, and Kress preserves oblique line integrals.* [online]. , 1-1 [cit. 2019-03-27]. DOI: 10.1118/1.1759828. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15305448>
19. EQUIPMENT. *Scanora 3Dx - Zubní rentgen dr. Lau* [online]. [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <https://lauc.net/rtg/en/technology/equipment/scanora-3dx/>
20. Panoramatické rentgeny | Dental Choice: Dental Choice – interaktivní srovnávací přehledy produktů dentálního trhu pro vaši stomatologickou ordinaci či zubní laboratoř [online]. [cit. 2020-10-15]. Dostupné z: <https://www.dentalchoice.cz/cz/problematika/panoramaticke-rentgeny>
21. *Schafferova - E-shop* [online]. [cit. 2020-10-01]. Dostupné z: <https://www.schafferova.cz/userdata/editor/files/K06.pdf>
22. NAVRÁTIL, Leoš a Josef ROSINA, et al. *Medicínská biofyzika*. 1. vydání. Praha : Garda, 2005. 524 s. ISBN 80-24-1152-4
23. Rtg záření - mechanismus vzniku. *Rtg záření - mechanismus vzniku* – *WikiSkripta* [online]. [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Rtg\\_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD\\_-\\_mechanismus\\_vzniku](https://www.wikiskripta.eu/w/Rtg_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD_-_mechanismus_vzniku)
24. Fyzika v moderním lékařství - Rentgenové záření. *Fyzika v moderním lékařství* [online]. [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <http://cz7asm.wz.cz/fyz/index.php?page=renzar>

25. BENEŠ, Jiří, et al. *Základy lékařské biofyziky* . 1. vydání. Praha : Karolinum, 2005. 196 s [ISBN 80-246-1009-4](#).
26. *Rentgenka – Wikipedie: Druhy anod* [online]. [cit. 2020-09-29]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Rentgenka#/media/Soubor:Rontgenbuis-draaianode.jpg>
27. Fyzika v moderním lékařství - Rentgenové záření. *Fyzika v moderním lékařství* [online]. [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <http://cz7asm.wz.cz/fyz/index.php?page=renzar>
28. Produkce rentgenového záření – brzdné záření. *Produkce rentgenového záření – brzdné záření | Lucie Šukupová* [online]. [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <http://www.sukupova.cz/produkce-rentgenoveho-zareni-brzdne-zareni/>
29. Cone Beam CT vs Traditional CT. *Cone Beam CT vs Traditional CT - Amber USA Blog* [online]. [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <https://www.amberusa.com/blog/cone-beam-ct-vs-traditional-ct>
30. CBCT a hybridní zobrazovací systémy. *CBCT a hybridní zobrazovací systémy | Dental Choice* [online]. [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <https://www.dentalchoice.cz/cz/problematika/cbct-a-hybridni-zobrazovaci-systemy>
31. *ICRA labels: Figure 1. Beam types.* (<https://www.drkorwin.com/blog/cone-beam-ct>) [online]. [cit. 2020-10-01]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Beam-types-https-wwwdrkorwincom-blog-cone-beam-ct\\_fig1\\_319388203](https://www.researchgate.net/figure/Beam-types-https-wwwdrkorwincom-blog-cone-beam-ct_fig1_319388203)
32. LIN, Hsiu-Hsia, Daniel LONIC a Lun-Jou LO. 3D printing in orthognathic surgery – A literature review. *Journal of the Formosan Medical Association* [online]. 2018, **117**(7), 547-558 [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929664617304138#!>
33. STRACHOŇOVÁ, Ivana, DiS. [ústní sdělení] Radiologický asistent – Stomatologická klinika ve Fakultní nemocnici u Sv. Anny v Brně 17.9.2020
34. *Problematika hodnocení ozáření a jeho účinků na člověka* [online]. [cit. 2020-09-30]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/aktualne/detail/clanek/problematika-hodnoceni-ozareni-a-jeho-ucinku-na-cloveka/>
35. X-rays & Imaging. *Laser + Holistic Dental* [online]. [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: <https://laserandholisticdental.com/patient-information/treatments/xrays-and-imaging/>



36. OPG/CBCT - NewTom GiANO. *OPG/CBCT - NewTom GiANO - Inline Systems* [online]. [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: <https://inline.com.au/shop/dental/dental-radiology/giano-ddr/#prettyPhoto/0/>
37. *CS 9600 for ENT Professionals | Carestream Dental* [online]. [cit. 2020-10-01]. Dostupné z: <https://www.carestreamdental.com/en-emea/csd-products/ent-imaging/cs-9600-ent/>
38. User Guide for Dental and Maxillofacial Cone Beam Computed Tomography (CBCT). *ECR 2014 / C-0756* [online]. [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: [https://posterng.netkey.at/esr/viewing/index.php?module=viewing\\_poster&task=viewsection&pi=122065&ti=404370&searchkey=](https://posterng.netkey.at/esr/viewing/index.php?module=viewing_poster&task=viewsection&pi=122065&ti=404370&searchkey=)
39. In: *Carestream Dental announces the CS 9600 CBCT system | Dental Products Report* [online]. [cit. 2020-10-02]. Dostupné z: <https://www.dentalproductsreport.com/view/carestream-dental-announces-cs-9600-cbct-system>
40. *CS 9300 Family Safety, Regulatory and Technical Specifications User Guide: SM747*. 5. 2013.
41. *Zdravotnické elektrické přístroje: Část 1: Všeobecné požadavky na základní bezpečnost a nezbytnou funkčnost*. Třetí vydání. 2007.
42. Kruhové vedení: Typ HCR. In: *Typ HCR: špičková kvalita HENNLICH* [online]. [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/produkty/linearni-vedeni-valiva-motory-a-pohony-linearni-vedeni-valive-kruhove-vedeni-1186/typ-hcr.html>
43. CONWAY, Allan. In: *Roller Pinions, Another Way to Roll Down the Line* [online]. Nexen Group, 2014 [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <https://www.designworldonline.com/roller-pinions-another-way-roll-line/>
44. TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ. In: *Tvarování* [online]. [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/07.html>

## 11 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

kg	Kilogram
mm	Milimetr
°	Stupeň
s	sekunda
%	Procento
W	Watt
Hz	Herz
A	Amper
Kč	Koruna česká
V	Volt
Hz	Hertz
LED	Light Emitting Diode (světlo-vyzařující dioda)
CT	Computed Tomography (výpočetní tomografie)
CBCT	Cone Beam Computed Tomography (výpočetní tomografie s kuželovým paprskem)
FOV	Field of View (zorné pole)
Sv	Sievert (jednotka dávky radiačního záření)
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost

## 12 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

<b>Obr. 2-1</b>	Panoramatický rentgen z roku 1952 [1] .....	15
<b>Obr. 2-2</b>	Kavo OP [4] .....	17
<b>Obr. 2-3</b>	PaX-i3D SMART [6].....	18
<b>Obr. 2-4</b>	Vatech PaX-i3D GREEN [7] .....	19
<b>Obr. 2-5</b>	Carestream Dental CS 9300 [8].....	20
<b>Obr. 2-6</b>	Kavo OP 3D Vision [9].....	21
<b>Obr. 2-7</b>	Vatech Green 21 [11].....	22
<b>Obr. 2-8</b>	FLT V17 [12] .....	23
<b>Obr. 2-9</b>	New Tom 5G XL – Extra Vision [14].....	24
<b>Obr. 2-10</b>	Claris XT [15].....	25
<b>Obr. 2-11</b>	Dentální rentgen New Tom .....	26
<b>Obr. 2-12</b>	Dentální RTG Carestream Dental s modelovým pacientem .....	27
<b>Obr. 2-13</b>	Přístroj pro snímání pacienta ve stoje a v sedě [4] [9] .....	28
<b>Obr. 2-14</b>	Příklad druhů FOV [19] .....	29
<b>Obr. 2-15</b>	Vnější komponenty přístroje [6 upr.] .....	30
<b>Obr. 2-16</b>	Vnitřní uspořádání .....	32
<b>Obr. 2-17</b>	Schéma rentgenky [24] .....	33
<b>Obr. 2-18</b>	Rentgenka s rotační anodou [26] .....	34
<b>Obr. 2-19</b>	Brzdné a charakteristické záření [27,28] .....	35
<b>Obr. 2-20</b>	CT vs CBCT [31] .....	35
<b>Obr. 2-21</b>	3D vytisklý model čelisti [32].....	36
<b>Obr. 2-22</b>	Artefakty na RTG snímku z náušnic.....	38
<b>Obr. 2-23</b>	3D softwarově zrekonstruovaná čelist .....	38
<b>Obr. 2-24</b>	Pacient v olověné vestě.....	39
<b>Obr. 2-25</b>	Příklady expozic ionizujícím zářením v $\mu\text{Sv}$ [34].....	40
<b>Obr. 2-26</b>	Obsluha a pacient face to face [35] .....	41
<b>Obr. 2-27</b>	RTG využitelný i pro imobilní pacienty [36] .....	42
<b>Obr. 2-28</b>	Správná poloha pacienta .....	43

<b>Obr. 2-29</b> Tlačítkový panel a dotykový display [37] .....	43
<b>Obr. 3-1</b> Rentgenovací hlava Kavo OP 3D [9], Vatech pax i3D green [12], Carestream CS 9600 [39].....	44
<b>Obr. 3-2</b> Grafy složení pacientů .....	45
<b>Obr. 4-1</b> Koncepční skici .....	52
<b>Obr. 4-2</b> Varianta I. - perspektiva.....	53
<b>Obr. 4-3</b> Varianta I. - boční pohled .....	54
<b>Obr. 4-4</b> Varianta I. - polohování přístroje .....	55
<b>Obr. 4-5</b> Varianta II. - Perspektiva .....	56
<b>Obr. 4-6</b> Varianta II. - boční pohled s ergonem.....	57
<b>Obr. 4-7</b> Varianta II. - polohování přístroje .....	58
<b>Obr. 4-8</b> Varianta III. - Perspektiva .....	59
<b>Obr. 4-9</b> Varianta III. - boční pohled s ergonem .....	60
<b>Obr. 4-10</b> Varianta III. - přední pohled a odklápění.....	61
<b>Obr. 4-11</b> Variantní návrhy – srovnání .....	62
<b>Obr. 5-1</b> Moodboard tvarového řešení .....	63
<b>Obr. 5-2</b> Perspektivní pohled.....	64
<b>Obr. 5-3</b> Propojení rotační jednotky s podstavou .....	64
<b>Obr. 5-4</b> Přejchod horizontální a vertikální části přístroje .....	65
<b>Obr. 5-5</b> Pohled shora.....	65
<b>Obr. 5-6</b> Stabilizace hlavy ve vysunutém stavu .....	66
<b>Obr. 5-7</b> Sedák s bederní opěrkou .....	67
<b>Obr. 5-8</b> Madlo .....	67
<b>Obr. 5-9</b> Ovládání zavěšené na přístroji .....	68
<b>Obr. 5-10</b> Průduchy pro větrání .....	69
<b>Obr. 5-11</b> Umístění loga na přední části.....	69
<b>Obr. 6-1</b> Popis vnějších součástí .....	71
<b>Obr. 6-2</b> Základní rozměry rentgenu .....	72
<b>Obr. 6-3</b> Vnitřní komponenty – průhledové schéma .....	73
<b>Obr. 6-4</b> Kotvení přístroje do země .....	73

<b>Obr. 6-5</b> Kotvení přístroje do zdi .....	74
<b>Obr. 6-6</b> Upevnění přístroje – samostatná podstava.....	74
<b>Obr. 6-7</b> Vnitřní konstrukce.....	75
<b>Obr. 6-8</b> Elektromotor a přenos rotačního pohybu na lineární .....	75
<b>Obr. 6-9</b> Lineární vedení .....	76
<b>Obr. 6-10</b> Schéma rotačního pohybu .....	76
<b>Obr. 6-11</b> Valivé kruhové vedení .....	77
<b>Obr. 6-12</b> Ozubené kolo a válečkový pastorek.....	78
<b>Obr. 6-13</b> Schematické uspořádání rotační jednotky .....	78
<b>Obr. 6-14</b> Zdroj a přijímač záření .....	79
<b>Obr. 6-15</b> Krytování .....	79
<b>Obr. 6-16</b> Vakuové tvarování termoplastů [44].....	81
<b>Obr. 6-17</b> Storyboard.....	82
<b>Obr. 6-18</b> Základní ergonomie sezení .....	83
<b>Obr. 6-19</b> Sklápění sedátka.....	83
<b>Obr. 6-20</b> Obsluha a pacient na invalidním vozíku.....	84
<b>Obr. 6-21</b> Pacient na invalidním vozíku .....	84
<b>Obr. 6-22</b> Výškové polohování přístroje .....	85
<b>Obr. 6-23</b> Stabilizace pacienta pomocí madla .....	86
<b>Obr. 6-24</b> Ergonomie – pacient a obsluha .....	86
<b>Obr. 6-25</b> Stabilizace hlavy .....	87
<b>Obr. 6-26</b> Výsuv stabilizace hlavy.....	87
<b>Obr. 6-27</b> Pacient na vozíku – užívání podpěry brady.....	88
<b>Obr. 6-28</b> Označení laserů.....	88
<b>Obr. 6-29</b> Pacient při užívání podpěry brady .....	89
<b>Obr. 6-30</b> Světelná signalizace.....	89
<b>Obr. 6-31</b> Nouzové tlačítko – značení pro obsluhu a pacienta.....	90
<b>Obr. 7-1</b> Barevné varianty RAL .....	92
<b>Obr. 7-2</b> Barevná varianta šedá .....	92
<b>Obr. 7-3</b> Barevná varianta modrá .....	93

<b>Obr. 7-4</b> Barevná varianta světle šedá .....	93
<b>Obr. 7-5</b> Barevná a monochromatická verze loga.....	94
<b>Obr. 7-6</b> Aplikace vizuálního stylu.....	95
<b>Obr. 7-7</b> Grafický návrh ovládacích prvků .....	96
<b>Obr. 8-1</b> SWOT analýza .....	98

## 13 SEZNAM TABULEK

<b>Tab. 3-1</b> Základní parametry přístroje .....	49
<b>Tab. 3-2</b> Rozdílná specifikace mezi panoramatickým a 3D snímkem [40].....	49
<b>Tab. 3-3</b> Výčet norem vztahujících se na dentální rentgeny [41] .....	50
<b>Tab. 4-1</b> Srovnání silných a slabých stránek variant .....	61

## 14 SEZNAM PŘÍLOH

Zmenšený sumarizační poster (A4)

Zmenšený designérsky poster (A4)

Zmenšený technický poster (A4)

Zmenšený ergonomický poster (A4)

Fotografie modelu v rozpracovaném stavu

Samostatné přílohy:

Sumarizační poster (A1)

Designérský poster (A1)

Technický poster (A1)

Ergonomický poster (A1)

Model (M 1:3)



# 15 ZMENŠENÉ POSTERY

design dentálního rentgenu  
sumarizační poster



pacient a rentgen

## lunio

Koncept dentálního rentgenu přináší inovativní řešení, jehož hlavní výhodou je zlepšení uživatelské zkušenosti jak pacienta, tak obsluhy v průběhu vyšetření. Toho bylo docíleno díky novému návrhu kinematoběžného řešení, usnadnění interakce obsluhy s pacienty a minimalistickým intuitivním ovládaním.

Skenovací hlava je výškově polohovatelná a umožňuje tak snížení pacienta v sedle a ve stoje. Přístup pacientů na invalidním vozíku je zajištěn pomocí sklápěcího sedátka a pro zdravotnický personál je obsluha zařízení zjednodušena díky minimalistickému ovládaní. Barevné řešení podporuje funkčnost a jednoduchost přístroje.



polohování přístroje



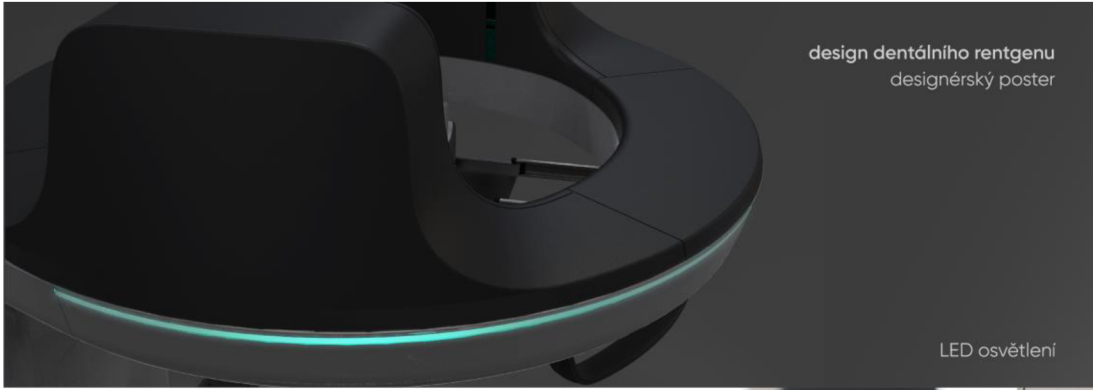
DESIGN PANORAMATICKÉHO DENTÁLNÍHO RENTGENU S 3D ZOBRAZENÍM / Diplomová práce / Autorka: Bc. Martina Ondráková / Vedoucí práce: doc. Ing. arch. Jan Rajlich / VUT v Brně / FS / UK / CPD / 2020/2021

VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ INŽENÝRSTVÍ  
V BRNĚ

FAKULTA STROJNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV  
KONSTRUOVÁNÍ

Ústav  
Integrovaného  
Designu



design dentálního rentgenu  
designérský poster

LED osvětlení

# lunio

Koncept dentálního rentgenu přichází s inovativním tvarováním. Zdraví a příjemná záření obíhají dokola kolem hlavy pacienta a kruhová dráha tohoto rotačního pohybu je výchozím bodem pro tvarové řešení.

Návrh tvarování logicky spojuje funkční části do celku. V rotační části se ukrývá zdroj a přijímač záření. Spodní stabilní část kruhové obrůbky je přirozeně velkým zrobením propojena s podstavovou nohou v zadní části. Sklápecí sedátko je součástí podstavné nohy.

Rarevné řešení zdůrazňuje funkčnost rotační části. LED osvětlení v barevném odstínu informuje o průběhu rentgenového snímku.



madlo



celkový pohled

DESIGN PANORAMATICKÉHO DENTÁLNÍHO RENTGENU S 3D ZOBRAZENÍM / Diplomová práce / Autorka: Bc. Martina Ondrková / Vedoucí práce: doc. Ing. arch. Jan Rajlich / VUT v Brně / FS / UK / OPD / 2020/2021

**T** VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ INŽENÝRSTVÍ  
V BRNĚ

ÚSTAV  
KONSTRUOVÁNÍ

úřad  
průmyslového  
designu

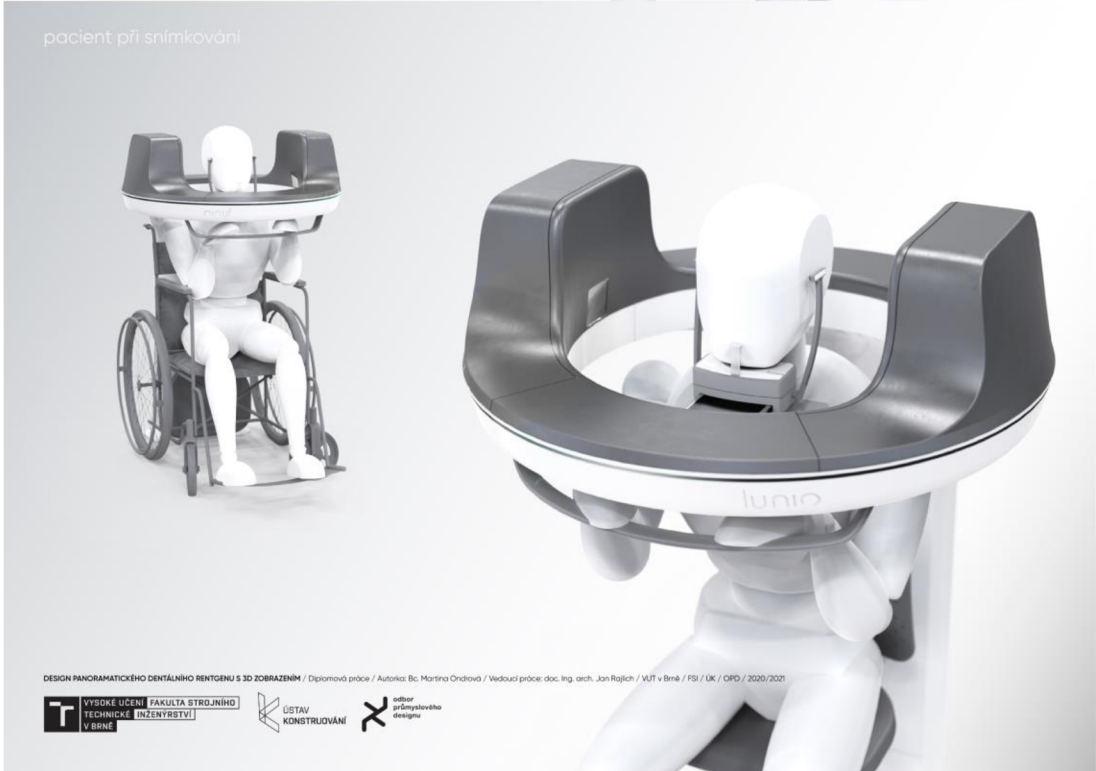


# lunio

Hlavním cílem práce bylo umožnit snímání pacienta v sedě, jelikož je v této poloze stabilní. Dále také zajistit přístup všech pacientů k přístroji a to včetně pacientů na vozíku. To je v návrhu umožněno pomocí sklápěcího sedátka.

Obsluha přístroje je ulehčena zjednodušeným ovládním, které místo integrovaného displeje nabízí přenosný ovladač se základními funkcemi. Součástí návrhu je vysunutelná podpěra brady se stabilizací spánku pacienta.

pacient a obsluha



vnitřní uspořádání



lunio

Navržený koncept kinematického řešení využívá obecně známých technologických principů a přichází s řešením, které se liší od konkurenčních přístrojů na trhu. Hlavní výhodou je intuitivní použití rentgenu jak pacientem, tak obsluhou.

Součástí návrhu je způsob kotvení přístroje, sklápění sedátka i návrh vnitřní konstrukce s umístěním jednotlivých komponentů.

sedátko



DESIGN PANORAMATICKÉHO DENTÁLNÍHO RENTGENU S 3D ZOBRAZENÍM / Diplomová práce / Autorka: Bc. Martina Ondrová / Vedoucí práce: doc. Ing. arch. Jan Rajlich / VUT v Brně / F8 / UK / OPD / 2020/2021

VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ INŽENÝRSTVÍ  
V BRNĚ

FAKULTA STROJNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV  
KONSTRUOVÁNÍ

ústav  
průmyslového  
designu

## 16 FOTOGRAFIE MODELU

Fotografie modelu v rozpracovaném stavu.

