

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Katedra informačních technologií

Informační technologie v digitální stomatologii

Bakalářská práce

Autor: Monika Černá, DiS.
Studijní obor: Informační management

Vedoucí práce: prof. RNDr. Peter Mikulecký, Ph.D.

Hradec Králové

Duben 2023

Prohlášení: Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně, s použitím uvedené literatury a pramenů nacházejících se v seznamu použité literatury.

V Hradci Králové dne 27.4.2023

Monika Černá

Poděkování: Ráda bych poděkovala prof. RNDr. Peteru Mikuleckému, Ph.D. za odborné vedení, naslouchání, trpělivost a ochotu podělit se o cenné rady při psaní bakalářské práce. Také děkuji doc. Ing. Haně Tomáškové, Ph.D. za vnuknutí nápadů k rozvedení praktické části. To největší poděkování věnuji mé rodině a mému partnerovi Tomášovi, kteří mě plně podporovali a vnitřně motivovali v průběhu celého studia na vysoké škole.

Anotace

Cílem bakalářské práce je popsat digitální technologie CAD/CAM se zaměřením na stomatologii a porovnat konvenční stomatologické procesy výroby s moderními pokrokovými postupy. V první části práce je popsáno využití CAD/CAM systému v dentálním odvětví a jeho fungování. Jsou zde představeny revoluční technologie v laboratorním i ordinačním sektoru, které významně šetří čas, materiál a zvyšují efektivitu práce. Znázorňuje i produktové portfolio s nejvyužívanějšími materiály. V druhé části bakalářské práce jsou vypracované procesní diagramy, na které navazuje demonstrace převádění sádrových modelů do digitální podoby z reálné praxe a modelaci zubní náhrady ve 3D programu. Porovnává také zubní programy ExoCAD a DentalWings. V závěru je uvedeno celkové zhodnocení konvenčních a moderních postupů zhotovování a je zde nastíněn další předpokládaný vývoj dentálních technologií.

Klíčová slova

Digitální stomatologie, digitalizace, moderní technologie, stomatologie 4.0, CAD/CAM, skener, 3D tisk, frézování

Annotation

The bachelor thesis aims to describe digital CAD/CAM technologies focusing on dentistry and to compare conventional dental manufacturing processes with modern advanced techniques. The first part of the thesis describes the use of CAD/CAM in the dental industry and its operation. Revolutionary technologies in the laboratory and office sector that significantly save time, material and increase work efficiency are presented. It also illustrates the product portfolio with the most used materials. In the second part of the bachelor thesis, process diagrams are developed, followed by a demonstration of converting plaster models into digital form from actual practice and modelling a denture in a 3D program. It also compares the dental programs ExoCAD and DentalWings. It concludes with an overall assessment of conventional and modern fabrication techniques and outlines further anticipated developments in dental technologies.

Keywords

Digital dentistry, digitization, modern technology, dentistry 4.0, CAD/CAM, scanner, 3D printing, milling

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíle a metodika.....	3
3	CAD/CAM.....	4
3.1	Historie CAD/CAM.....	4
3.2	CAD/CAM ve stomatologii.....	6
4	Komparace tradičního a moderního zhotovení zubních náhrad.....	7
4.1	Tradiční postup zhotovení zubních náhrad.....	7
4.2	Moderní postup zhotovení zubních náhrad – Full Digital Workflow.....	8
5	Stomatologie 4.0.....	11
5.1	Umělá inteligence v zubním lékařství a současné trendy.....	11
5.2	Umělá inteligence ve stomatologii.....	12
5.2.1	Ortodoncie.....	12
5.2.2	Parodontologie.....	13
6	3D tisk v dentální sféře.....	14
6.1	SLA – Stereolitografie.....	14
6.2	DLP – Digital Light Processing.....	15
6.3	Proces 3D tisku.....	15
6.4	SLM – Selective Laser Melting.....	16
6.5	PJ – PolyJet Printing – Stratasys.....	17
7	Produktové portfolio a typy protetických materiálů.....	18
7.1	Oxid zirkoničitý – ZrO ₂ (Zirkon).....	18
7.2	Chromkobalt laserem sintrovaný - CoCr.....	21
7.3	Chromkobalt frézovaný - CoCr.....	22
7.4	Titan - Ti.....	23

7.5	Polymery frézované a 3D tisk - PMMA	24
8	Skenery v zubní laboratoři	25
8.1	Laboratorní skenery	25
8.2	Intraorální skenery – nová etapa digitální stomatologie	27
9	Firemní procesy z obecného pohledu	28
9.1	Kolaborační diagramy	28
9.2	Diagram 1 – workflow zhotovení zubní náhrady tradičním způsobem	32
9.3	Diagram 2 - workflow zhotovení zubní náhrady za účasti frézovacího centra ..	34
9.4	Diagram 3 – workflow zhotovení zubní náhrady prostřednictvím IOS za účasti frézovacího centra	35
10	Demonstrace skenování – převádění sádrových modelů do digitální podoby	37
11	Koncept modelace zubní náhrady a komparace zubních programů	45
12	Shrnutí	48
13	Závěr	49
14	Seznam použité literatury	50
15	Slovník odborných slov	56
	Seznam obrázků	59
	Seznam tabulek	61

1 Úvod

Zubní lékařství za poslední léta procházelo a stále prochází revolučním obdobím, které přineslo změny jak v ordinacním, tak v laboratorním sektoru. Konvenční postupy zhotovení stomatologických náhrad nahradily moderní postupy zhotovení, a to především kvůli CAD/CAM systémům čili počítačem podporovanému navrhování a počítačem podporované výrobě.

Stomatologie, jakožto lékařský obor, se zabývá prevencí, diagnostikou a léčbou tvrdých i měkkých zubních tkání a mnoha dalšími. Můžeme ji klasifikovat do několika podoborů, jako je např. záchovná stomatologie, implantologie, ortodontie, parodontologie či protetická stomatologie. Právě protetickou stomatologií se budeme zabývat zevrubněji, protože představuje náhrady poškozených částí zubů, nebo zcela chybějících zubů. Často se protetická náhrada zhotovuje na implantáty, které má již zákazník (pacient) voperované v dutině ústní. Lze však nahradit i kompletně celý chrup.

Zhotovení zubů s nejvyšší možnou přesností za krátkou dobu je dnes už v mnoha zubních laboratořích a ordinacích samozřejmostí. Digitální stomatologie spočívá především v převádění informací do digitálního formátu a následném zhotovení zubní náhrady pomocí 3D tisku, frézování či laserového sintrování. Na základě získaných dat od zubního lékaře (fyzických/digitálních) zubní technik zhotovuje pro pacienta kompletně celou náhradu. Dnes většina zubních techniků využívá 3D modelovací programy, které poskytují sofistikované funkcionality, aby se docílilo co nejlepšího možného výsledku s funkčními i estetickými vlastnostmi výrobku. Stejně tak záleží na správně zvoleném materiálu a jeho příslušném zpracování, jinými slovy každý výrobní postup má indikovaný příslušný materiál.

Práce je rozdělena do dvou částí. První, teoretická část, se zabývá počítačem podporovaným navrhováním a počítačem podporovanou výrobou. Je zde popsán současný stav nejmodernějších používaných technologií propojených s umělou inteligencí ve Stomatologii 4.0. Dále je v ní přehled jednotlivých typů výroby náhrad včetně přehledu nejvyužívanějších funkčních i estetických materiálů, včetně jejich zpracování.

Vzhledem k tomu, že lidé běžně nemají možnost nahlédnout do světa zubních techniků, jsou zde zároveň popsány praktické informace o nejdůležitějších částech náhrady, které mohou reálně posloužit každému člověku.

Druhá, praktická část, se zaměřuje na modelaci diagramů podnikových procesů z obecného pohledu. Další část je věnována zhotovení reálné zubní náhrady pro zákazníka (pacienta), kterou jsem osobně zhotovovala prostřednictvím CAD/CAM systému. Demonstruje převod fyzického sádrového modelu do virtuální podoby a samotnou modelaci ve 3D programu. V závěru praktické části jsou porovnávány dentální 3D modelovací programy a zdůrazněny jejich výhody a nevýhody. K dispozici je také vypracovaný slovník odborných slov.

2 Cíle a metodika

Cílem práce je představit široké veřejnosti využití informačních technologií v dentální sféře a popsat moderní technologické procesy výroby zubních náhrad v oblasti stomatologie. Vzhledem k úzké spolupráci zubního technika a zubního lékaře, práce znázorňuje uplatnění digitálních technologií jak v laboratorním, tak v ordinacním sektoru a umožní nám pohled do rozsáhlého světa zubních specialistů a pochopit tak spolupráci mezi nimi.

K sestavení teoretické části je využita odborná literatura, jako jsou stomatologické časopisy, elektronické vědecké články z českých i zahraničních zdrojů či osobní konzultace s vedoucím výroby ve výrobním centru stomatologických náhrad a zdravotnických pomůcek v České republice.

V praktické části jsou namodelovány podnikové procesy pomocí procesních diagramů z obecného pohledu. Diagramy graficky znázorňují procesy, které se realizují v průběhu zhotovování zubních náhrad. V další kapitole praktické části je zevrubně rozebrána i demonstrována část diagramu, v níž se převádějí fyzické sádrové modely do virtuální podoby a na které se následně modeluje dentální náhrada ve 3D programu. U výroby zubní náhrady jsem reálně participovala a kapitola je obohacena o fotodokumentaci. Na základně nabytých zkušeností a informací jsou porovnány nejrozšířenější 3D modelovací programy, které jsou využívány při výrobě nejen v České republice, ale i ve světě.

3 CAD/CAM

Zkratka CAD/CAM charakterizuje akronym sousloví Computer Aided Design a Computer Aided Manufacturing – počítačem podporované navrhování a počítačem podporovaná výroba. Jak už ze samotného názvu pramení, jedná se o sofistikovaný systém, který využívá počítačového softwaru k návrhu konkrétního konceptu výrobku a následného zhotovení pomocí počítačem řízeného přístroje. Dentální firmy běžně nabízejí chytré CAD/CAM řešení pro laboratoře i ordinace, od extraorálních či intraorálních skenerů, přes softwary pro řízenou implantologie až po frézování nebo 3D tisk výrobku. CAD/CAM není jen jedno zařízení (3D tiskárna, obráběcí stroj, software, ...), ale sjednocené, vzájemně propojené systémy, které jsou využívány v laboratořích i ordinacích. Cílem je sjednotit (integrovat) tyto systémy do jednoho virtuálního prostředí, v němž budou informace o zákazníkovi (pacientovi) a jeho léčbě jednoduše a rychle k dispozici. Informace tak mohou mezi sebou sdílet zubní lékař, zubní technik, i zákazník. [1]

3.1 Historie CAD/CAM

Historie zubního lékařství je stará jako lidská civilizace v dávných dobách. Hippokrates a Aristoteles napsali mnoho o zubních onemocněních a jejich léčbě. S rozvojem civilizace se do stomatologie postupně dostávaly stále nové a nové poznatky, jako např. komerční výroba porcelánových zubů Samuelem Stocktonem nebo zavedení amalgámu Crawcoursem. Všechny tyto přínosy způsobili revoluci v oblasti stomatologie.

Samotná historie CAD/CAM je velice stará. Podle důkazů se používal CAD/CAM už v dávných dobách (Egypt, Řecko, Řím). Dokonce i Leonardo da Vinci ve svých dílech ukázal používání v té době moderních grafických konvencí.

Za člověka, který stojí za moderním CAD softwarem může být považován velký matematik Euklidés Alexandrijský, protože dnešní CAD software je založen na Euklidových axiomech a postulátech, které položily základy euklidovské geometrie. Dr. Patrick J. Hanratty je nazýván otcem CAD/CAM, protože navrhl první numericky řízený CAM, který byl pojmenován Pronto. [2]

Zavedení CAD/CAM v zubním lékařství začíná prací Dr. Dureta v roce 1971. Pořídil optický otisk preparovaného (obroušeného) zubu po jeho zbroušení a následně pomocí tohoto otisku zhotovil korunku numericky řízeným strojem. Později Dr. Duret pracoval se svými spolupracovníky na systému Sophera a zavedl jej do praxe, bohužel však nebyl tento systém lidmi obecně přijat.

Následně v roce 1985 představil Mormann první komerčně navržený CAD/CAM systém a dal mu název CEREC. Po sejmutí digitálního otisku z intraorální kamery zhotovil inlay z keramického bloku, což bylo v porovnání se snímáním otisku preparovaného (abutmentového) zubu poněkud jednodušší. Nyní se tento systém úspěšně používá po celém světě pro zhotovování korunek, inlayí, onlayí, atd. Tedy fixních, snímatelných, ale i podmíněně snímatelných náhrad (implantátů).

V polovině 80. let vyvinul Dr. Andersson systém Procera. Z materiálů měly dříve jedno z největších zastoupení zlaté slitiny, ale kvůli růstu cen zlata museli lidé přemýšlet o materiálech jiných. Při používání chromkobaltových slitin docházelo často k alergickým reakcím, proto přišel Dr. Andersson s nápadem pracovat s titanem, který je zdravotně nezávadný. [2]

3.2 CAD/CAM ve stomatologii

Stejně jako je náš běžný život obklopen moderními technologiemi, tak je i stomatologie obohacena o nové trendy, jež jsou neustále na vzestupu. Spolupráce mezi zubním technikem, zubním lékařem a zákazníkem zde probíhá stejně, jako při konvenčních postupech zhotovování zubních náhrad, až na to, že je výměna informací i dat rychlejší, přesnější a efektivnější. CAD/CAM se vyznačuje vysokou přesností a hlavní výhodou této technologie je rychlost – výrazně šetří čas lékařům, zubním technikům i zákazníkovi, protože počet návštěv v ordinaci je snížen na minimum.

CAD/CAM modernizuje tradiční postupy zhotovování stomatologických náhrad a posouvá je do virtuální sféry pomocí počítačového softwaru. Do této sféry se vpravuje hmotný model pomocí tzv. skenování a na základě vzniklých dat (skenů) se může digitálně navrhnout požadovaná náhrada ve 3D programu. Pomocí strojů je zubní technik poté schopen přenést data z virtuálního návrhu do reality, a tak vytvořit skutečnou náhradu (např. anatomickou korunku ze zirkonu).

Při navrhování zubní technik nesmí opomenout hlavně funkční a estetické atributy. Náhrada musí být primárně funkční, aby zákazníkovi navrátila, pokud možno co největší komfort a nezpůsobila mu žádné zdravotní komplikace. Ve stomatologii se touto metodou nejvíce zhotovují např. kovové či zirkonové konstrukce („jádro“ resp. „kostra“ můstku nebo korunky). [3]

4 Komparace tradičního a moderního zhotovení zubních náhrad

V následující podkapitole budou nastíněny dřívější postupy zhotovování zubních náhrad a dnešní kompletní digitální pracovní postupy, tzv. Full Digital Workflow. Jsou zde poznamenána i nejdůležitější místa na zubní náhradě, kterým je potřeba věnovat velkou pozornost po celou dobu výroby, aby byla zachována funkčnost i estetika náhrady. Tyto informace mohou prakticky posloužit i laikům, ke kterým se tyto informace mnohdy nedostanou.

4.1 Tradiční postup zhotovení zubních náhrad

U konvenčního postupu zhotovování zubních náhrad se v prvopočátku v ordinaci obrousí (preparuje) nežádoucí část zubu a zubní lékař následně otiskuje horní i dolní čelisti pacienta. Pro mnoho z nich to může být značně nepohodlné, a to zvláště v případě, pokud mají silný dávkový reflex. Otisky z otiskovací hmoty se ve stanoveném čase musí odeslat do laboratoře zubnímu technikovi, aby je mohl odlít ze sádky. Pokud zubní laboratoř sousedí přímo s ordinací lékaře, odpadá zde čas pro odesílání a doručování otisků.

Zubní technik odlitý pracovní model dále používá pro samotné zhotovení náhrady. Při konvenčním zhotovení není možné náhradu vyrobit bez sádkového modelu. Pracovní model vyžaduje mnoho úprav, např. separování modelu, obnažení napreparovaného zubu pro lepší přístup pracovního pole, izolace sádky, ... Po všech úpravách následuje vosková modelace všech plošek zubu do anatomického tvaru.

Nejdůležitější části modelace jsou:

1. Dosed korunky, tj. krček náhrady, respektive místo, kde korunka přesně dosedá na obroušený zub. Tato část musí být vymodelována zcela přesně podél celého obvodu, aby se pod náhradu nedostávaly zbytky potravy, které by mohly způsobit zánět. Aby zubní technik mohl precizně vymodelovat krček, musí být precizně obroušen (napreparován) již od samotného lékaře. Ten následně fyzicky nebo virtuálně vytvoří otisky, které slouží jako vstupní data zubnímu technikovi.

Dosed korunky má vliv také na samotnou funkčnost, protože pokud náhrada dobře nedosedá v místě krčkového uzávěru, může prasknout při žvýkání.

2. Druhým velmi důležitým místem na náhradě jsou body kontaktu. Jedná se o místo, kde se korunka dotýká zprava i zleva svého sousedního zubu. Jakmile by se náhrada sousedních zubů nedotýkala, docházelo by k inklinaci zubů do mezery a tím pádem k posunu skusu.

3. Třetí stěžejní část je modelace náhrady v místě skusu – zákazníkovi náhrada nesmí pocitově ani funkčně vadit při žvýkání nebo v klidové poloze a zároveň nesmí chybět ve skusu (být nízká). Musí přesně dokusovat do místa, aby měl zákazník co nejlepší možné anatomické postavení. [4]

Zubní technik se dále zaměřuje při modelaci na funkční a estetická pravidla pro modelování a jakmile je hotov, vosková korunka se dále zbaví mastnoty a zalije do laboratorní pomůcky zvané kyveta (forma). Kyveta se i s korunkou vypálí ve vypalovací peci a následně odlije v licím přístroji pomocí odstředivé síly – tzn. že se pod tlakem vlije roztavený kov do vypálené dutiny, kde byl před tím vosk, a to vše při teplotách 980°C. Dalším způsobem je vtlačování materiálu do dutiny. Následuje proces chladnutí, vyjmutí z formy, ve které je náhrada, opískování, dosazení náhrady na sádrový model a opracování frézami její vnější části. V poslední fázi je nutné korunku vyleštit do vysokého lesku. Korunka se odevzdá do ordinace ke zkouše a v případě, že je vše v pořádku, může ji lékař cementovat do úst.

Konvenční postup je časově náročnější, protože každý krok vyžaduje svůj čas, např. tuhnutí sádry, vypalování náhrady v kyvetě, odlití z kovu a následné chladnutí, ... Zubní technik musí plánovat svoji činnost tak, aby mu kroky na sebe plynule navazovaly a neztrácel čas čekáním při dílčích fázích. Je zde vyšší riziko pochybení lidského faktoru nebo přístroje. U každého kroku se může stát, že se náhrada poškodí nebo znehodnotí a s přibývajícími kroky toto riziko stoupá. [5] [6]

4.2 Moderní postup zhotovení zubních náhrad – Full Digital Workflow

Můžeme si představit, že zákazník přichází do ordinace s funkčním i estetickým problémem, protože mu zcela chybí jeden zub. S lékařem zvolí variantu ošetření

pomocí implantátu, na kterém bude korunka. Aby lékař získal klinické informace o zákazníkovi, je zapotřebí použít intraorální skener (IOS), obličejový skener nebo CT. Získaná data jsou uložena do cloudu softwaru, kde k nim mají přístup i lidé v laboratoři. Zubní technik si data stáhne do svého dentálního softwaru a bude tak mít přístup k informacím o zákazníkovi (jméno, indikace, rozsah a umístění náhrady, požadovaný materiál, barva, ...).

Technikem vymodelovaný návrh ve 3D programu se před výrobou zašle lékaři ke schválení. Zubní lékař si návrh stáhne z úložiště do speciálního chirurgického softwaru, aby mohl naplánovat vhodnou polohu implantátu s ohledem na protetickou náhradu. Zároveň je u implantologických prací často navržena i implantační šablona, která je určena k přesnému zavedení implantátu do požadované pozice. Data, která obsahují finální vizualizaci, jsou prostřednictvím téhož úložiště odeslána, např. do výrobního centra ke zpracování. [7]

V případě, že zákazník přichází s problémem chybějící části zubu, ale kořen má zachovalý a v pořádku, je postup téměř identický. Lékař oskenuje zákazníkovi ústa intraorálním skenerem, aby získal vstupní data, která následně nahraje do úložiště, nebo je pošle zubnímu technikovi přes úschovnu ke stažení do laboratoře, kde si data nahraje do svého softwaru. Pakliže jsou data z IOS v pořádku, může je technik dále zpracovat a vytvořit zubní náhradu, kterou po vymodelování zašle ke zhlédnutí zubnímu lékaři na počítač, mobil či tablet, aby si návrh prohlédl ve 3D zobrazení. V této fázi je možné přidat poslední požadavky a koncept modelace případně upravit (např. změnit tvar zubu).

Pokud s návrhem lékař souhlasí, korunka může do výroby ve výrobním centru. Po zhotovení se fyzický výrobek odešle zubnímu technikovi do konvenční zubní laboratoře k finalizaci (dobarvení korunky + nanesení glazury) a odevzdá se do ordinace.

Moderní metoda má mnoho výhod nejen pro zákazníka, ale i pro práci laboratoře a ordinace. Výrazně šetří čas všem stranám, zákazníkovi odpadá mnoho dalších návštěv, jelikož je skenování IOS jednorázové, odpadá nezbytně nutné otiskování čelistí (téměř nemožné u lidí s dávivým reflexem), odeslání dat přes internet je okamžité a jsou zároveň zálohována, šetří se výrazně pomocnými materiály, snižuje se produkce laboratorního i ordinářního odpadu a navrženou náhradu je možné

odeslat do mobilu ke shlédnutí lékaři, ať je kdekoliv. Náhrada je přesnější, rychleji zhotovená a program v průběhu modelace hlídá parametry, které je nutné dodržet. CAD/CAM postupy redukuje výskyt lidských chyb v ordinaci i laboratoři, avšak za předpokladu, že se správně používají. Dále je zde možnost digitálního předoperačního plánování (v případě aplikace implantátů), které zajišťuje správné situování implantátu, čímž pomáhá mladým i zkušeným lékařům. Pro zubní lékaře začátečníky je dentální technologie dosti užitečný nástroj, jelikož jim pomáhá začlenit základní estetická pravidla, jako jsou proporce a pozice zubu, design a barva. Tím tak zjednodušuje postup ošetření a redukuje potenciální chyby a komplikace.

Ačkoliv digitální postupy změnilo provedení zubních náhrad za poslední roky mílovými kroky, je stále zapotřebí lidského faktoru. Řecký lékař Dr. Stavros Pelekanos i mnoho dalších lékařů tvrdí, že stroje nikdy nemohou nahradit lidskou ruku. Šikovnost a manuální zručnost nadaného zubního technika jsou pro přirozeně vypadající zubní náhrady zcela nezbytné (zejména v případě jednočlenné korunky stojící vedle přirozených zubů). Každý případ je totiž individuální a je potřeba k němu tak přistupovat a vnímat ho. Faktory určující úspěch a přirozený vzhled náhrady spočívají ve funkčních vlastnostech, citu pro estetiku, šikovném zubním technikovi, řádné komunikaci mezi lékařem a zubním technikem včetně jejich znalostí z oblasti biologie, anatomie, morfologie zubů a pečlivé manipulace s tvrdými i měkkými tkáněmi. [8]

5 Stomatologie 4.0

5.1 Umělá inteligence v zubním lékařství a současné trendy

Systémy založené na umělé inteligenci (UI) jsou doplňkovými nástroji, které usnadňují lékařům práci při stanovení onemocnění (diagnostice), pomáhají při diagnostikování onemocnění v raných fázích a celkově zdokonalují péči i ošetřování. V posledních letech metody strojového a hlubokého učení výrazně ovlivnily lékařské a stomatologické obory, což pomohlo přeměnit konvenční stomatologické technické postupy v automatické, a to jak ordinační, tak i laboratorní.

Použití umělé inteligence se ale zároveň zatím zcela nepromítlo ve všech specializacích zubního lékařství. Umělá inteligence s sebou nese i nedůvěru, např. kvůli přesnosti nástrojů UI. V praxi se často můžeme setkat se širokou rozmanitostí doporučení a rad od lékařů včetně různého výkladu téhož rentgenového snímku, z čehož pramení obava z ne zcela přesné a správné interpretace problému UI. Dále také ještě není kompletně vyřešen problém související s kvalitou a dostupností veřejných databází. [9]

Nejznámější podobory UI jsou strojové učení (Machine Learning-ML) a hluboké učení (Deep Learning-DL). Aby byly stroje schopny samostatného učení z dat a mohly vykonávat konkrétní úkol, využívají algoritmus strojového učení (Supervised). Tyto algoritmy lze trénovat pro prediktivní úkoly.

Základní struktury hlubokého učení jsou umělé neuronové sítě (ANN), což jsou vrstvy jednoduchých zpracovatelských jednotek – neuronů, které jsou prostřednictvím vážených spojení za sebou postupně poskládány.

Hluboké učení zároveň vyžaduje obrovské množství dat, aby mohlo navrátit přesnou hodnotu. Obrovské množství shromážděných dat je důležité proto, aby měl stroj dostatek informací a mohl na základě nich vyhodnocovat. Čím více získaných dat bude mít, tím přesnější výsledek může navrhnout.

Inovace technologií UI (strojového učení a hlubokého učení) představují velký modernizační pokrok v oblasti medicíny, oboru stomatologie i zdravotnictví. Rozmach počítačových technologií pomohl při klasifikaci onemocnění, léčbě osob

na dálku, rychlejšímu vývoji farmak nebo asistenci robotů, tedy počítačových programů, které sbírají a zpracovávají data v průběhu léčby. Právě léčba na dálku s pomocí asistence robotů (botů) a nositelných senzorů, spočívá ve shromažďování dat a odesílání údajů lékařům o pacientově krevním tlaku, teplotě či srdečním tepu. Dále došlo k digitalizaci lékařských i dentálních snímků. K získávání přehledu o vnitřních strukturách lidského těla pro účely analýzy a diagnostiky slouží radiologické snímky. Pod obrazovou modalitou si můžeme představit například magnetickou rezonanci (MRI), která se používá v medicíně a stomatologii k odhalování nemocí. Panoramatické rentgenové snímky poskytují vnitřní pohled na strukturu úst a kefalometrické rentgenové snímky zobrazují celý pohled na jednu stranu obličeje a krku. [10]

5.2 Umělá inteligence ve stomatologii

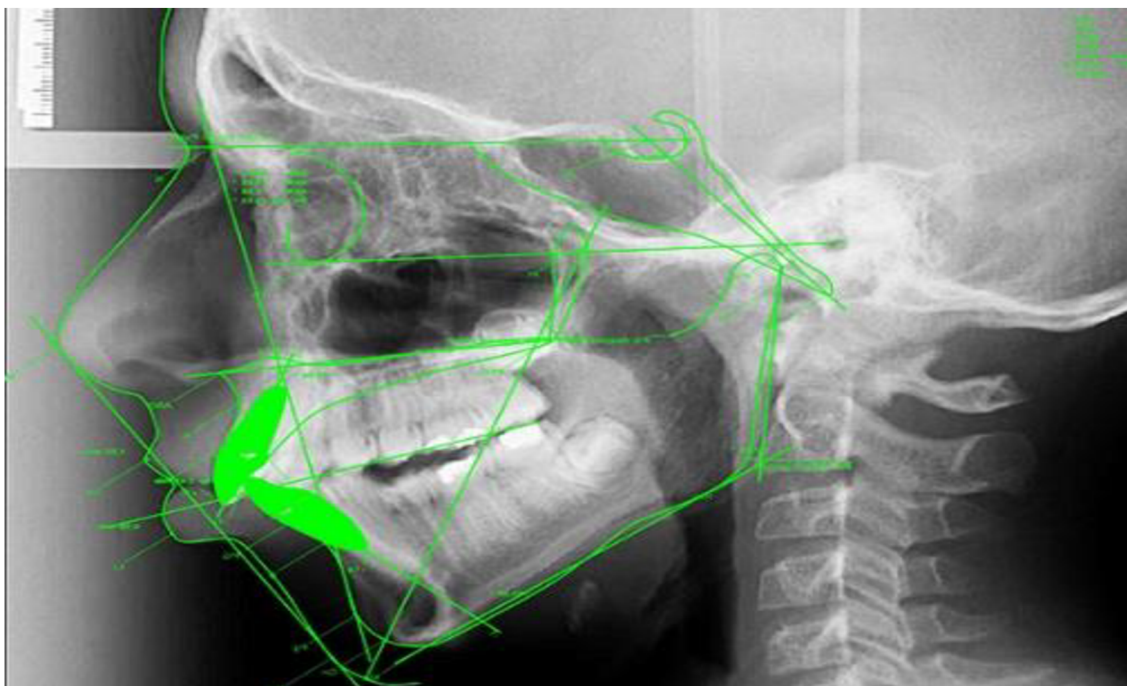
5.2.1 Ortodontie

Ortodontie je specializovaným nastavbovým oborem ve stomatologii, který se zabývá prevencí, diagnózou a léčbou anomáliemi v postavení zubů a čelistí, jejíž cílem je zuby posunout do správného postavení a uvést čelisti do správné polohy, aby byla zajištěna maximální funkčnost a estetika. [11]

Realizace léčby trvá poměrně dlouhou dobu, jelikož spočívá v tahu a tlaku na jednotlivé zuby a přestavba tkání si vyžaduje dostatek času na změny. Vzhledem k této skutečnosti byla technologie UI jednoznačně využita k identifikaci konečné podoby zubů a zobrazení výsledku pacientovi. Pomáhá při rozhodování u extrakce zubu, predikci ortognátní chirurgie (operace čelistí), nebo přispívá k analýze kefalometrických orientačních bodů na telerentgenovém snímku. Kefalometrické orientační body jsou zanesené body (reprezentující tečky) na telerentgenu z profilu, které se spojí a vytvoří přímku. Na základě vzdálenosti proporčních bodů se určí buď fyziologický, nebo patologický stav. Patologie se vymykají normálním hodnotám a představují tak problém. [12]

5.2.2 Parodontologie

Parodont neboli závěsný aparát zubu, je tkáň, která obklopuje a fixuje zub. Onemocnění parodontu je jedním z nejrozšířenějších onemocnění dutiny ústní, které postihuje lidstvo. Je výsledkem zánětu neléčených dásní, která zapříčiňuje úbytek kosti a tím pádem ztrátu zubů. V důsledku toho byla vyvinuta automatizovaná metoda detekce a imitace ztráty kosti parodontu podle stanovených kritérií Světového semináře 2017. V praxi se detekují hranice (meze), a poté se na základě analýzy procentuální míry úbytku kosti automaticky klasifikuje každý zub. Jinými slovy dojde k určení procenta ztráty periodontální kosti a stanovení stadia parodontitidy (zánět v okolí zubu). [13] [14]



Obrázek 1 Telerentgenový snímek [12]

6 3D tisk v dentální sféře

3D tisk je univerzální technologie, která zrychluje výrobní čas, zvyšuje výrobní kapacitu a může se využít k tisku široké škále hmot. Materiály mohou vzájemně měnit skupenství a přeměňují se buď fyzikální, nebo chemickou cestou. V praxi se touto univerzální metodou přeměňuje materiál v pevný stav, avšak záleží na tom, jaké měřítko má tisknutý objekt (mikroskopické, nebo enormní velikosti).

Pokud jsou vyžadovány změny tvaru 3D modelu, lze jednoduše přemodelovat jeho návrh/modelaci ve 3D programu. Oproti tomu odlévání formy vyžaduje jak čas na změnu tvaru odborníkem, tak i vyšší finanční náklady. Pokud je potřeba změnit formu, stojí to mnohem více, než upravit či změnit 3D návrh.

Princip 3D tisku spočívá v aditivní výrobě, kdy materiál postupně roste do požadovaného tvaru. Zprvu je digitální model nutné horizontálně separovat na jednotlivé vrstvy, aby se v samotném 3D tisku mohly tyto jednotlivé nánosy na sebe postupně vrstvit. 3D tiskárna má oproti běžné tiskárně navíc osu Z, která udává prostorový rozměr a s jejíž pomocí může objekt růst vertikálně.

Základní princip tedy spočívá v postupném vrstvení předem digitálně vytvořených vrstev, které vzniknou rozřezáním 3D modelu s jeho následným tiskem. Pro představu si můžeme vizualizovat „salámový řez“, kdy ho virtuálně celý nakrájíme na jednotlivé plátky a fyzicky ho složíme zpátky do požadovaného tvaru.
[15] [16]

6.1 SLA – Stereolitografie

SLA tiskárny jsou založeny na využití UV laseru a tekutého fotopolymeru. Jedná se o jeden z nejstarších typů 3D tiskáren (původně se začaly používat ve šperkařství). Při tisku je využíváno postupného vytvrzování resinu (fotoreaktivní pryskyřice) laserem, aplikovaným lampou nebo diodou. Není zde struna, ale kapalina, která je fotocitlivá pouze na UV světlo. SLA tiskárny jsou určeny pro 3D tisk drobných modelů. Jsou přesnější a dokážou vytvořit velmi malé detaily nebo hladké povrchy ve všech osách, protože vytvrzování probíhá pouze laserovým paprskem, který má plochu v řádech setin milimetru. Laser tak musí všechny plochy vyřádkovat

(vyšrafovat), z čehož vyplývá, že samotný proces je závislý na jeho rychlosti. Rychlost dále souvisí s optikou, elektronikou či samotným ovládáním. Nevýhodou je finanční náročnost. [17]

6.2 DLP – Digital Light Processing

DLP funguje na principu, při němž je celá tisková plocha v jedné vrstvě najednou osvětlována strukturovaným UV světlem. Opět zde najdeme fotocitlivý resin jako u SLA. Výhodou je, že přes optiku ve spodní části tiskárny se vysvítí světlo z čipu přes optickou čočku na celou tiskovou plochu. Přesnost je však závislá na rozlišení čipu.

Tím vytvrzujeme výrobky v rámci celé tiskové plochy ve stejném čase. Výhodou tohoto typu je rychlost. Např. máme-li dvě plochy o stejné velikosti, tak DLP tiskárna plochu vytiskne cca za 5 vteřin, zatímco SLA tiskárna plochu tiskne 30 vteřin. Velmi záleží na cílové skupině, která bude zařízení používat. DLP je využíván např. ve šperkařství, jelikož se v tomto oboru pracuje s velmi malými detaily na výrobcích. Ve stomatologii se tato metoda 3D tisku nevyužívá, protože tisk u zubních modelů trvá velmi dlouho. Mezi materiály, které se běžně tisknou patří plast, kov (chrom, hliník, kobalt, měď, ocel, titan), beton, jídlo pro kosmonauty, modelína, keramika (hrnčíčky či vázy), ... [18] [19]

6.3 Proces 3D tisku

Zprvu se musí důkladně rozmíchat pryskyřice, která bude mít dokonale promíseny všechny složky. Pro tyto účely může být použita míchačka, která zajistí, aby měla pryskyřice optimální konzistenci před tiskem. Do menší nádoby se nalije vrstva tekuté pryskyřice, do které je také vložena tisková základna (destička/podložka). Nádoba má funkci zásobníku pro tisk a její dno je průhledné, aby se ze spodní části mohla vytvrzovat hmota. Aby se nevytvrdila celá, destička se smočí na velikost vrstvy a zastaví se ve vzdálenosti tloušťky tisknuté vrstvy.

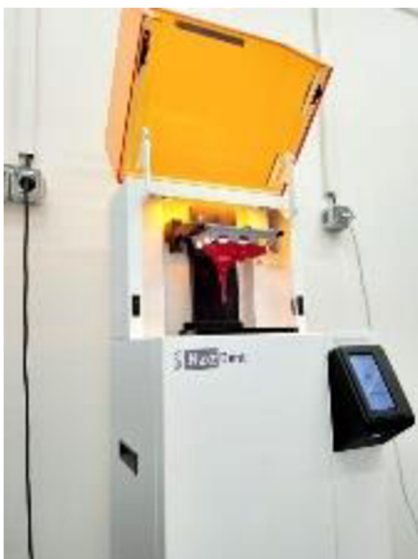
Destička se po dobu tisku smáčí do pryskyřice a po každém jejím smočení je ozářena ostrým paprskem a tím dojde ke ztuhnutí a uchycení. Jakmile je jedna vrstva ztuhlá,

pozvedne se tisková destička o její výšku. Tímto způsobem se tiskne daný objekt. Nesmí se však zapomenout na podpůrné trny (supporty), na kterých je postaven. Podpůrné trny také zajišťují stabilitu objektu po dobu tisku. Pokud by zde nebyly, výrobek by se přímo dotýkal destičky a při oddělení by došlo k jeho poškození nebo by se vůbec nevytiskl. [18] [20]

6.4 SLM – Selective Laser Melting

Princip spočívá v postupném tavení kovového prášku laserem, při kterém se vytváří jednotlivé vrstvy a dochází k přeměně prášku v taveninu, která následně ztuhne. Po nanesení další vrstvy se proces opakuje a taví se k předchozí vrstvě. Řádkování je stejné jako u SLA, to jediné mají společné. Laser nevydává ultrafialové záření, ale bílé světlo.

Pro shrnutí je tedy vrstva prášku laserem roztavena, čímž se spojí s předchozí vrstvou a v následující vrstvě je opět nanesen prášek, který se roztaví a „přivaří“. Výhodou tohoto procesu je, že je prášek recyklovatelný. Je tedy ekonomický i ekologický a má malé množství odpadu. Oproti tomu kovové obrábění produkuje velké množství odpadu, přístroj vyžaduje neustálou výměnu fréz, protože se časem otupí a může obráběcí stroj poškodit. [18] [21]



Obrázek 2 3D tisk v praxi [22]



Obrázek 3 SLM-Selective Laser Melting [23]

6.5 PJ – PolyJet Printing – Stratasys

Funguje na principu UV citlivého resinu, ale také jako inkoustová tiskárna. V tiskové hlavě desítky otvorů, kterými je postupně po kapičkách nanášen materiál na jednotlivou vrstvu. Po aplikaci materiálu následuje osvětlení světlem z UV lampy, která je součástí tiskové hlavy a pohybuje se spolu s ní nad tištěnou plochou. Další vrstva klesne o tloušťku předchozí tenké plochy a nanese se nová rovina kapiček z tiskových hlav, kterých je zhruba 8.

Výhodou je vysoké rozlišení, umožňuje velmi jemné výtisky, ale 3D tisk trvá velmi dlouho. Předností tohoto typu je, že každá hlava může mít jiný materiál. V jedné vrstvě se může tisknout i několik hmot dohromady (stejně jako u barevných tiskáren). Výsledkem tisku je např. kompletní hasičská maska. Pro výrobu protetických výrobků však tento typ není vhodný, jelikož výrobci zatím nemají biokompatibilní materiály. [18] [24]

7 Produktové portfolio a typy protetických materiálů

V následující kapitole je představeno několik protetických materiálů, které se běžně využívají ve stomatologické praxi a je zde i přehled finálních výrobků, které je možné při stávající úrovni technologií zhotovit. Materiály musí splňovat přísné požadavky, jako je např. zdravotní nezávadnost, nealergenní, netoxické, stále v dutině ústní, splňovat estetické i funkční požadavky, ... [25] V současné době se nejvíce využívá zirkon, chrom-kobalt, titan a polymerní methylnmetakrylát.

7.1 Oxid zirkoničitý – ZrO₂ (Zirkon)

Zirkon-oxidová keramika ZrO₂ neboli zirkon, je v současnosti nejpoužívanější keramický materiál pro zhotovení fixních náhrad. Konkrétní užití zirkonů se liší podle požadavků na estetiku a mechanické vlastnosti. Obecně jsou zirkony zcela biokompatibilní a lze je použít v mnoha indikacích. Jejich barvení je realizováno průmyslovým barvením, nebo tradiční namáčecí technikou.

V porovnání s metalokeramickou náhradou je až o 25% lehčí. Mezi jeho hlavní přednost patří nízká hmotnost, přesto je však velmi pevný. Dosahuje pevnosti 1100 MPa. Následně jsou zde představeny různé typy zirkonů včetně jejich indikací. Zirkon je materiál pevný a tvrdý, ale zároveň velmi křehký. Proto musí výsledná náhrada odpovídat optimálním parametrům, jako je síla stěn korunek, rozsah, tvar, počet mezičlenů (nahrazuje zcela chybějící zub v zubním můstku) a plocha spoju (spoj spojuje jednotlivé zuby v můstku).

Typy zirkonů:

- Monochromatický zirkon-probarvený jedním odstínem, vysoká translucence
- Polychromatický zirkon-probarvený v pěti vrstvách, vysoká translucence
- Zirkon MAX-ve vrstvách probarvený, minimálně 45% translucence
- Opákní zirkon-má zvýšenou schopnost pohlcovat světlo (opacitu) [26]

Monochromatický zirkon

Tento typ zirkonu je v celém objemu probarvený jen jedním odstínem, využívá se k výrobě konstrukcí (redukované anatomické tvary náhrad), na které se posléze vrství ručně estetický materiál-keramika. Jeho velmi vysoká pevnost umožňuje zhotovovat můstky v celém rozsahu čelisti. Není však probarvený v několika

vrstvách, proto je jeho nevýhodou nižší estetika u anatomických prací. Zubní technik musí na monochromatické anatomické náhrady nanášet glazuru a tím dobarvit individuálně každou korunku. Pevnost polychromatického zirkonu v ohybu je 1100 MPa.

Nejčastější aplikace: kapna (zmenšený anatomický tvar), anatomická či fazetová korunka a můstek, teleskopická korunka, inlay, onlay, abutment s vlepeným interface. [26]

Polychromatický zirkon

Je charakteristický svým probarvením v 7 odstupňovaných barvách, které jsou u krčku zubu nejtmaší a u incize (hrany) nebo okluzní plošky (žvýkácí plochy) nejsvětlejší. Tím je zaručená estetika, jelikož hloubkové probarvení působí esteticky mnohem lépe, než samotný jednobarevný zirkon (monochromatický). Zub působí vitálněji. Pevnost polychromatického zirkonu v ohybu je 800-1100 MPa.

Nejčastější aplikace: anatomická korunka, fazetová korunka, anatomický můstek, redukovaný můstek, fazetový můstek, inlay, onlay, inlayový můstek, můstek adhezivní, abutment s vlepeným interface, šroubovaná korunka či můstek s vlepeným interface (šroubované náhrady jsou nesené implantáty). [26]

Zirkon MAX

Zirkon MAX je určen pro plně anatomické korunky a můstky, maximálně o 3 členech ve frontálním úseku chrupu (předním), tak i v laterálním úseku chrupu (postranním). Zirkon MAX lze srovnávat s Lithium-disilikátovou keramikou, která se vyznačuje velmi vysokou estetikou. Pevnost v pohybu je 500 MPa. Frézuje se nástrojem o průměru 0,3 mm, což zajistí detailně propracované fisury (zubní rýhy).

Nejčastější aplikace: anatomická korunka, fazetová korunka, anatomický můstek, fazetový můstek, abutment s vlepeným interface, inlay, onlay.

Opákní zirkon

Opákní zirkon je vhodný zejména pro diskolorované (částečně nebo zcela odbarvené či zbarvené) zuby-pahýly. Zbarvené mohou být např. kvůli vrozeným poruchám skloviny, ale i kouření, pití červeného vína či kávy. Dále se tento typ zirkonu hodí na kapny (zmenšeniny korunky), které jsou lepené na umělou část

zubu nesenou implantátem, tzv. abutmenty nebo titanové interface. Zirkony se opracovávají diamantovými nástroji s přívodem vodního chlazení. [26]

Nejčastější aplikace: zhotovení redukovaných korunek a můstků, adhezivní můstky, zásuvný spoj, kořenová nástavba. [27]



Obrázek 4 Monochromatický zirkon [28]



Obrázek 5 Polychromatický zirkon [28]



Obrázek 6 Zirkon MAX [28]



Obrázek 7 Opákní zirkon [28]



Obrázek 8 Konstrukce ze zirkonu [28]



Obrázek 9 Nanášení estetického materiálu na konstrukci [29]

Typ zirkonu Pevnost v ohybu Probarvenost Aplikace

ZrO ₂ monochromatický	1100 MPa	Neprobarven - 1 vrstva	Univerzální aplikace - anatomická/fazetová korunka či můstek, inlay, onlay
ZrO ₂ polychromatický	800-1100 MPa	Probarven - 7 odstupňovaných barev/vrstev, hloubkově probarven	Anatomická/fazetová korunka či můstek, inlay, onlay,...
ZrO ₂ MAX	500 MPa	Probarven	anatomická korunka nebo můstek, onlay, onlay,...
ZrO ₂ opákní	1100 MPa	Neprobarven - 1 vrstva	kapny (redukované anatomické tvary - vnitřek korunky, překryje tmavý zub)

Tabulka 1 Přehled vlastností dentálních materiálů zirkonu-oxid zirkoničitý.

Zdroj: Vlastní zpracování

7.2 Chromkobalt laserem sintrovaný - CoCr

CoCr laserem sintrovaný je moderní technologie 3D tisku kovového prášku – Direct Metal Laser Sintering DMS-je velmi přesná metoda zhotovování s jejíž prostřednictvím je možné zhotovit tvary, které není možné vyrobit klasickým frézováním. Kovový prášek je nanášen v tenkých vrstvách a spékán silným laserem na nosnou desku. Výrobek je neporézní, přesný a slinutý.

Výrobky jsou po sintrování dále žíhány, což přispívá k jejich větší stabilitě, odolává vysokým teplotám při napalování keramiky (zubní technik nanáší na kovové jádro náhrady keramiku jakožto estetický materiál).

V současné době je ruční odlévání kovových náhrad spíše na úpadku a nahrazuje ho velmi efektivní laserové sintrování, které patří mezi nejvýhodnější a nejlevnější metodu výroby CAD/CAM kovové konstrukce. Tato výrobní technika nabízí větší přesnost a lepší vlastnosti. Kov, který je laserem sintrováný, je naprosto rovnocenný frézovanému kovu. Minimální síla stěny náhrady je 0,45 mm. Konstrukce se mohou svařovat laserem nebo letovat.

Nejčastější aplikace: redukovaná nebo fazetová korunka či můstek, anatomická korunka nebo můstek, třmenová můstková konstrukce, teleskopické korunky, kořenová nástavba, skelet. [30]

Zpracování: pískování pískem, párování, pálení v keramické peci.

7.3 Chromkobalt frézovaný - CoCr

CoCr frézovaný je vhodný pro šroubované implantologické práce s přímým integrálním dosedem. Frézování je nejpřesnější metoda pro zhotovení metalových konstrukcí z průmyslově zhotovených materiálů. Jeho nevýhodou je vyšší cena při zhotovení výrobku, jelikož je výroba nákladnější a méně efektivnější – má větší poměr odpadu a musí se počítat s limitními parametry kvůli velikosti disku (viz. následující obrázek). Konstrukce lze svařovat laserem, obloukem, nebo letovat. Minimální síla kapen je 0,45 mm.

Nejčastější aplikace: používá se především na náhrady nesené implantáty-šroubovaná korunka, šroubovaný můstek, šroubovaný třmen. Teleskopické korunky jsou složeny ze 2 dílů, které do sebe musí přesně zapadnout, aby mohly držet pomocí frikce-tření. Tento způsob výroby zajistí maximální přesnost.

Dále je možné zhotovit i neimplantologické náhrady, jako je např. kapna, fazetová a redukovaná korunka, anatomická korunka, fazetový a redukovaný můstek, anatomický můstek, inlay, kořenová nástavba, adhezivní můstek,... Výsledný výrobek by byl však mnohem dražší a na funkčnosti náhrady by to vliv nemělo. Proto se volí u méně náročných náhrad spíše laserové sintrování – 3D tisk kovového prášku, který má poněkud méně nákladnější výrobu. [31]

7.4 Titan - Ti

Ti se nejčastěji používá na konstrukce s přímým integrálním dosedem na implantáty, jelikož má vysokou pevnost a nízkou hmotnost (zhruba poloviční oproti chromkobaltu CoCr). Hodí se téměř pro všechny typy náhrad. Minimální síla kapen je 0,45 mm. Konstrukce lze svařovat laserem, obloukem, nebo letovat.

Nejčastější aplikace: šroubovaná korunka nebo můstek, šroubovaný třmen, anatomická, fazetová, redukovaná korunka nebo můstek, teleskopická korunka, inlay, kořenová nástavba, adhezivní můstek. [32]



Obrázek 10 Chromkobalt laserem sintrovaný [30]



Obrázek 11 Chromkobalt frézovaný [31]



Obrázek 12 Frézovaný titan [32]



Obrázek 13 Titanový frézovaný šroubovaný třmen s trny [32]

7.5 Polymery frézované a 3D tisk - PMMA

Polymery jsou materiály na bázi polymerního methylnmetakrylátu PMMA a aplikují se zejména v případě provizorních (dočasných) náhrad. Používají se především v překlenovacím období, tzn. od nabroušení zubu do doby, než se zhotoví definitivní fixní náhrada. Zpracování polymerů je rychlé, jednoduché a málo nákladné. Mohou se také využít jako spalitelný model rozsáhlejších náhrad, např. u složitých skeletů, které se posléze manuálně zalijí do formy v laboratoři a odlíjí v licím přístroji. PMMA může být využit jako výztuha snímatelných náhrad nebo jejich báze (tělo). Moderně se zpracovávají metodou CAD/CAM prostřednictvím technologií frézování a 3D tisku. Při frézování se opracuje pětiosými HSC frézami do průmyslově zhotovených disků. PMMA má životnost až 12 měsíců v ústech.

Nejčastější aplikace: anatomické a redukované korunky či můstky, modely.

Opracování: tvrdokovovými frézami, čištění ultrazvukem, opatrné párování a pískování, sterilizace roztokem alkoholu. [33], [34]



Obrázek 14 3D tisk z PMMA [35]

8 Skenery v zubní laboratoři

Skener je hardwarové vstupní zařízení, které umožňuje transponování 2D nebo 3D modelu do digitální podoby. V zubní praxi jsou využívány laboratorní i ordinační skenery. Laboratorní skener je určen zubnímu technikovi k běžnému používání v praxi, pokud chce fyzický sádrový model převést do virtuální podoby. V dentálním softwaru dále zhotoví fixní či snímatelnou náhradu, kterou následně zhmotní pomocí 3D tisku, laserového sintrování nebo frézování.

Skenery od firmy Dental Wings jsou zatím nejprodávanější v České republice a na Slovensku, zatímco ve světě má častější zastoupení firma Smart Optics. Výhoda obou značek tkví v propracovaném systému uživatelské podpory, kompletním překladu do českého jazyka, otevřený export souboru STL nebo PLY a kompatibilitě s intraorálními skenery (využívány v ordinaci). Mají snadno dostupný servis a přístup k validovaným výrobním procesům předních světových společností v oboru a disponují podporou fixních i snímatelných náhrad.

8.1 Laboratorní skenery

Laboratorní skenery Smart Optics 10 skenují s přesností 4 mikrometry (měřené a certifikované dle metodiky ISO 12836) a skenují v barvě s texturou i polychromatickým světlem. Disponují 4 kamerami s rozlišením 2 x 3,2 Mpx a 2 x 1,0 Mpx. Nastavení prostorové osy Z je řízeno umělou inteligencí, a tak se výška skenování přizpůsobuje skenované zakázce. Pro rychlejší a pohodlnější manipulaci je možnost zařízení ovládat přes dotykovou obrazovku včetně ovládání gesty. Lze skenovat více zakázek najednou, což je výhodné především proto, že technik nemusí vyčkávat s další zakázkou v případě čekání na upřesnění požadavků od lékaře. Další možností je skenování samotných otisků, zubní technik nepotřebuje sádrový model, ale stačí pouze otisk z laboratoře (například při zhotovení kořenové inlaye). Alternativní způsob získání dat do skeneru je nahrání intraorálních skenů zhotovených přímo v ordinaci.

Vzhledem k prašnému prostředí v laboratoři jsou laboratorní skenery chráněny proti prachu a odleskům speciálním ochranným víkem. Skenování lesklých předmětů vyžaduje zvláštní úpravu povrchu, aby nedošlo k znehodnocení skenu.

Proto se nejčastěji na vnější plochy rovnoměrně nanese speciální prášek pomocí spreje. [36]

Skener od společnosti Dental Wings Open System je optický skener, který disponuje 3 kamerami, 5 osami a modrým laserem. Je s ním možné skenovat modely, ale také otisky z ordinace s přesností 15 mikrometrů (15 μm). [37] [38]



Obrázek 15 Laboratorní skenery Smart Optics [36]



Obrázek 16 Laboratorní skener Dental Wing [37]

8.2 Intraorální skenery – nová etapa digitální stomatologie

V současnosti mnoho laboratoří prošlo kompletní digitalizací a tradiční otiskování do otiskovacích hmot (silikon, alginát) je na sestupu a je pro laboratoře druhořadou záležitostí. Konvenční otisk se musí vždy odeslat do laboratoře zubnímu technikovi, aby z otisku odlil sádrový model, a to v omezeném čase, jinak by se otisk zdeformoval. Na sádrovém modelu se poté v zubní laboratoři zhotovuje náhrada.

Prodej intraorálních skenerů (IOS) je v současné době na trhu velice žádaný. Zubní lékař si prostřednictvím IOS zaznamená situaci v ústech zákazníka a získá tak přímo digitální otisk, jehož data pošle do laboratoře zubnímu technikovi ke zpracování. Data jsou nahrána technikem do softwaru a může tak vytvořit ryze virtuální 3D model, na kterém bude modelovat 3D náhradu.

V porovnání s klasickou metodou otiskování je skenování intraorálním skenerem daleko rychlejší, přesnější a eliminuje nepříjemné pocity. Je možné oskenovat jednotlivé zuby nebo celé čelisti. Kompletní otisk čelisti je provedený za dvě až tři minuty, včetně výpočtu modelu. Skenování těles (zubů) realizují senzory s vysokým rozlišením a světlem krátké vlnové délky, které zaznamenají až 1 000 000 3D bodů za 1 sekundu. Data jsou propočítána velmi přesně, což zajišťuje optická vysokofrekvenční kontrastní analýza a objekty tak mohou být skenovány až do hloubky přes 22 mm. Tento paprsek snadno prostoupí do hlubokých struktur u nabroušených zubů (preparací), nebo kolem dásně. Skeny jsou ostré i ve velkých hloubkách, což zajišťuje podrobnější 3D model. Lékař proces skenování sleduje v reálném čase a výsledky může ihned vyhodnotit.

Zákazníci mají vysokou úroveň pohodlí. Technologie intraorálních skenerů se používá ve většině stomatologických oborů. Kromě přesných snímků původních zubů i těch obroušených, je možné kvalitně skenovat i ostatní materiály používané ve stomatologii. Implantologové digitálně otiskují oblasti s implantáty nebo bezzubé oblouky, ortodontisté zase velmi kladně hodnotí výsledky skenů měkkých tkání (dásní). [39]

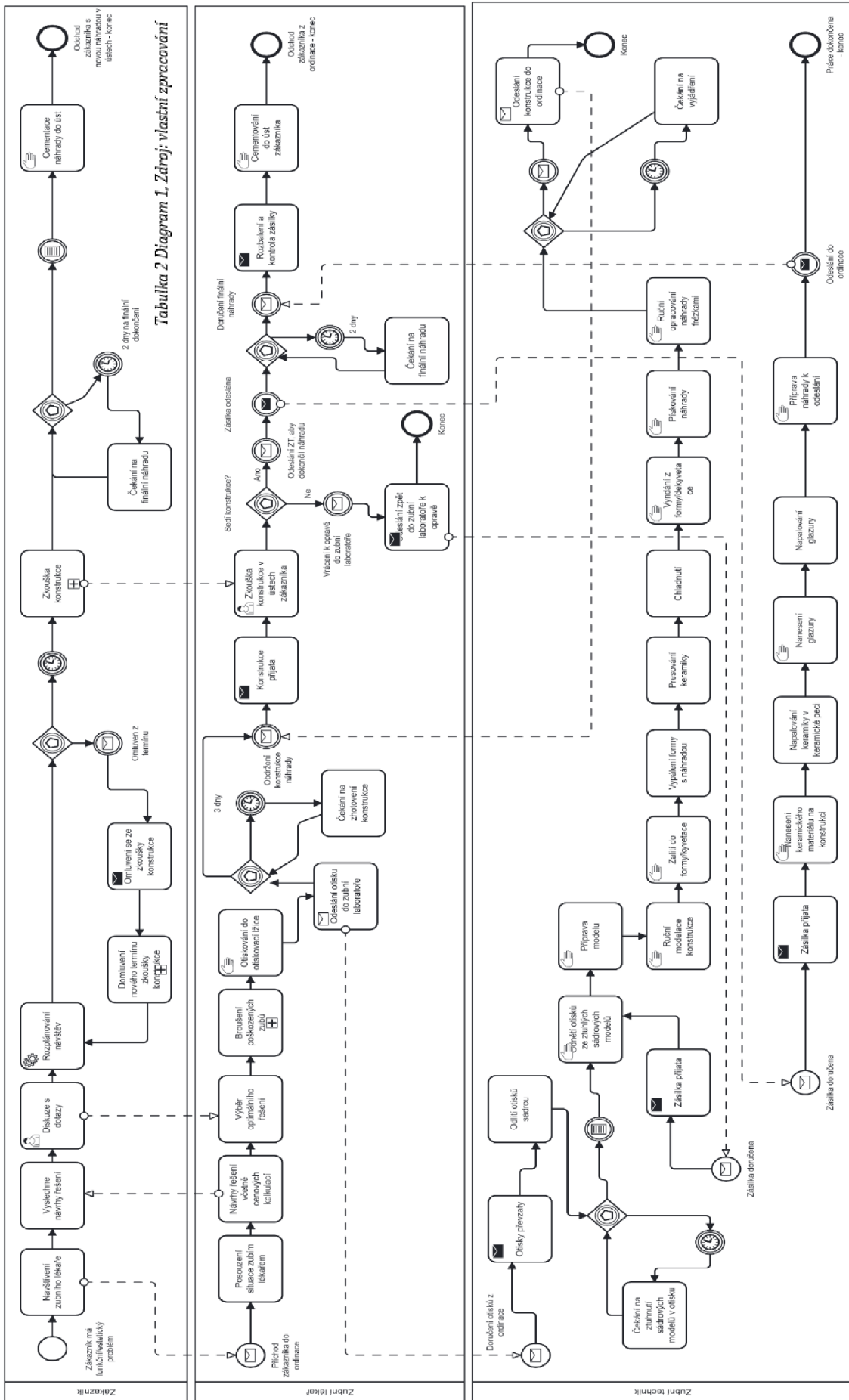
9 Firemní procesy z obecného pohledu

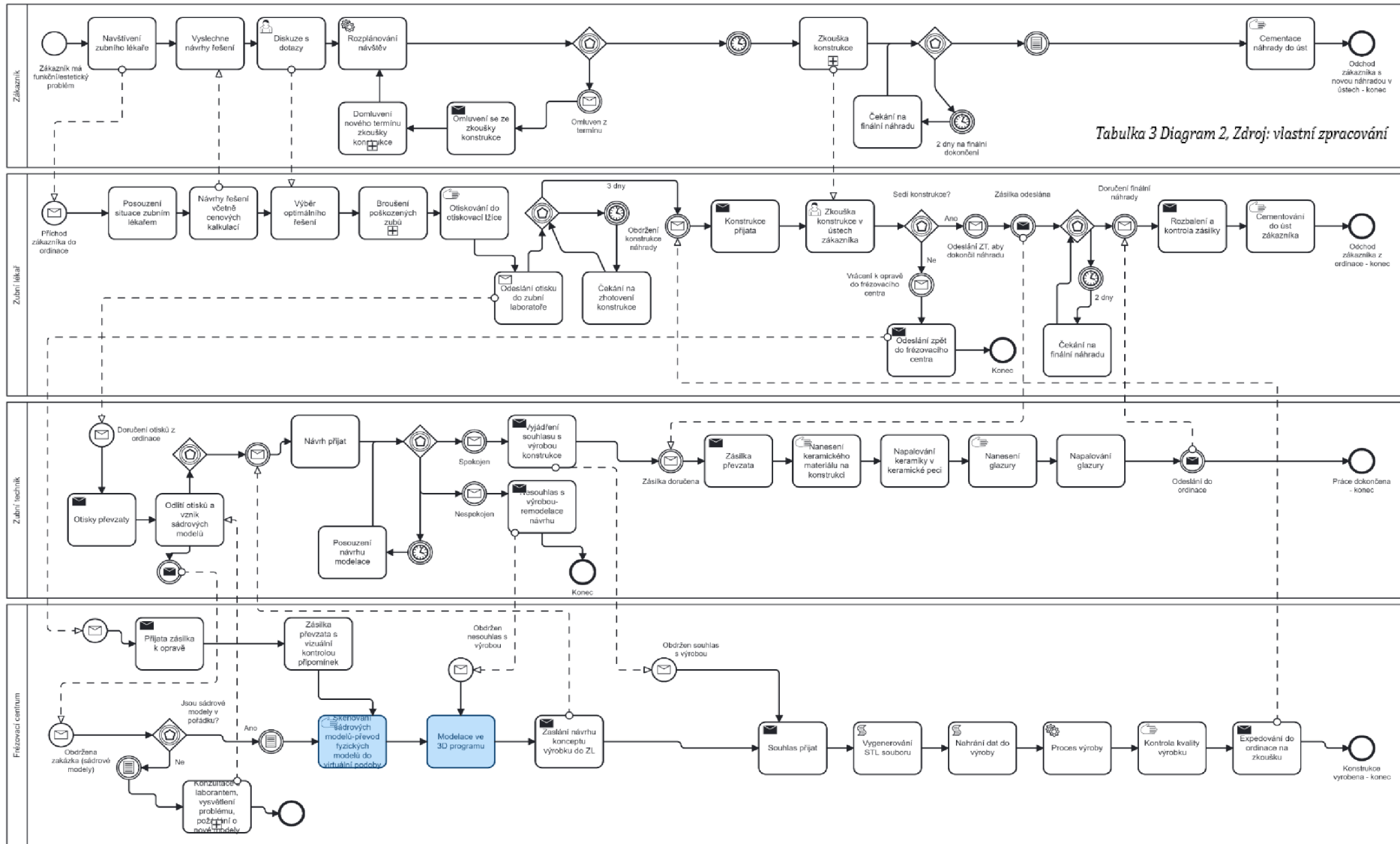
9.1 Kolaborační diagramy

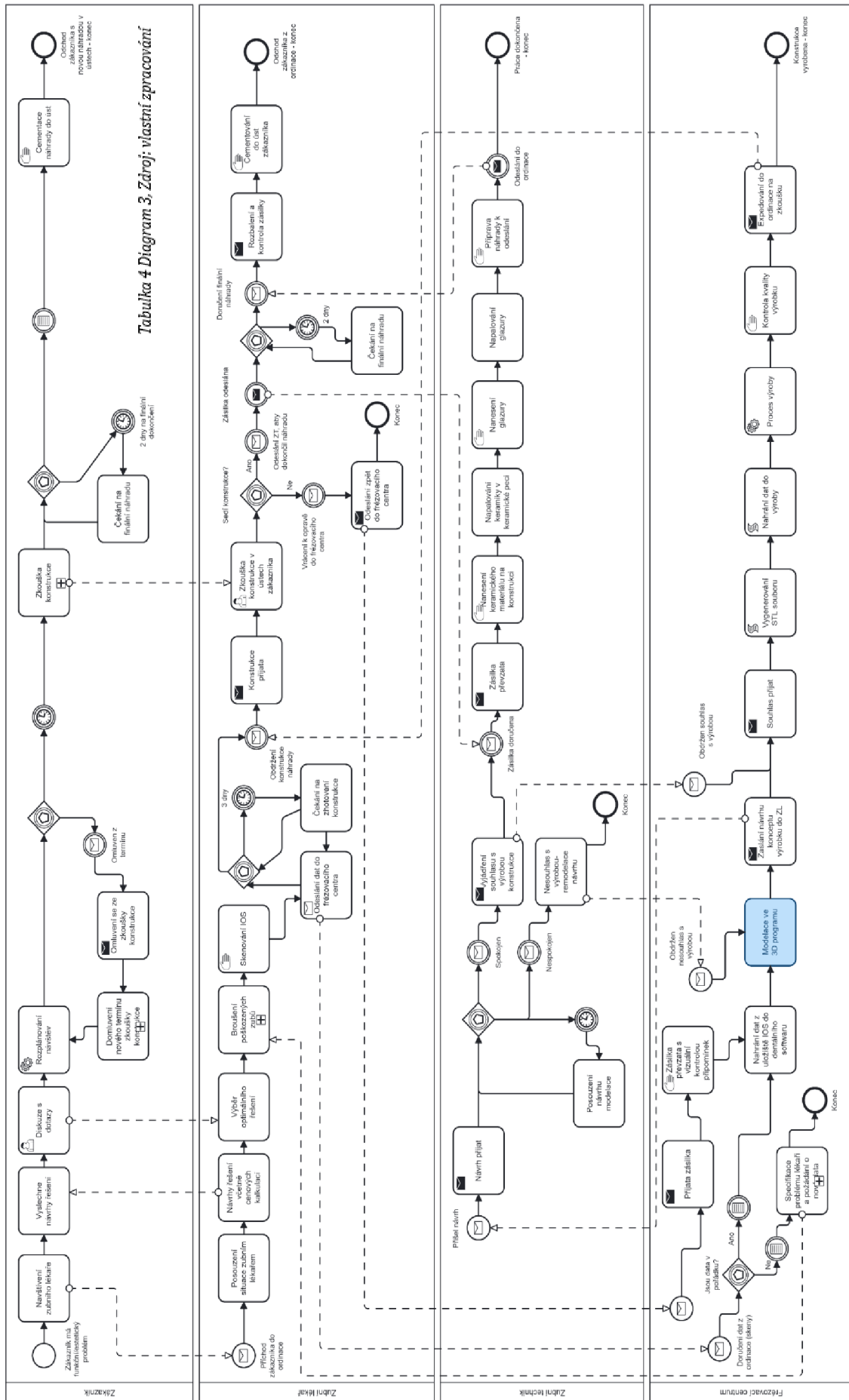
V následující kapitole bude znázorněna modelace podnikových procesů pomocí procesních kolaboračních diagramů, které představují formální popis návazností daných událostí, aktivit, úloh/úkolů, tzv. „Workflow“, jenž působí ve vybraném prostředí z obecného pohledu. Procesy pokrývají zubotechnickou oblast a specializují se na úzkou skupinu lidí, kteří participují u výroby těchto náhrad. Jednotlivé elementy jsou vzájemně propojeny spojením sekvenčních toků a toků zpráv, zajišťující postup zpráv a výměnu informací.

Cílem vytvořených diagramů je graficky znázornit a poukázat právě na tok informací spolupracujících procesů, a také na vzájemnou kooperaci mezi zubním technikem, zubním lékařem, zákazníkem a frézovacím centrem. Entita Frézovací centrum zde představuje jakousi roli prostředníka, která nepřijde do styku se zákazníkem. Byl zde vybrán záměrně takový výrobek-zubní náhrada, který je zhotoven z části ve frézovacím centru a z části v zubní laboratoři. Frézovací centrum zhotoví konstrukci zubní náhrady, která zatím nemá plnohodnotný anatomický tvar (vyrobena např. z kovu nebo ze zirkonu). Zubní technik náhradu v laboratoři dohotoví (nanese na povrch konstrukce estetický materiál dle požadavku zákazníka, přičemž může využít své cítění pro estetiku).

Diagramy graficky znázorňují snadno srozumitelné procesy, které se reálně uskutečňují při výrobě téměř každé zubní náhrady fixní, nebo snímatelné. V případě porovnání diagramů bez participace entity „Frézovací centrum“ nebo s jeho participací je dobře vidět, jak stroje plynule nahrazují lidskou činnost a eliminují nutnost laboratoře disponovat veškerým strojovým vybavením. Výrazně také spoří čas zubním technikům a urychluje odeslání zubního komponentu do ordinace. Technologie a digitalizace poskytuje příležitost vzniku a růstu novým pracovním příležitostem, např. k obsluze obráběcích strojů nebo k manipulaci s výrobky z 3D tiskárny. Úlohový (Task) proces výroby (např. 3D tisk nebo laserové sintrování) je konkretizován v teoretické části. Elementy „Skenování sádrových modelů-převod fyzických modelů do virtuální podoby“ a „Modelace ve 3D programu“ jsou detailně rozebrány a demonstrovány na reálném případu v následujících kapitolách.







Modely posloupnosti aktivit v notaci BPMN znázorňují, jakým způsobem na sebe navazují definované úlohy v průběhu výroby zubní náhrady. Zachycují největší rozdíly mezi tradičními postupy a těmi novodobými. Vše je modelováno pomocí BPMN notace.

Pools = představují role, společnosti nebo skupinu

Lanes = reprezentují dílčí subjekty v rámci organizace

Swimlanes = dráha subjektů zobrazených uvnitř jednotlivých skupin/pools

Events = odehrávající se události (kolečko)

Tasks = odehrávající se úlohy nebo úkoly (obdélníky)

Event-Based Gateway = brána, která je založená na událostech, dále větví procesy, sleduje zachycování událostí nebo přijímání úloh

Sequence Flow = černá vyplněná šipka

Message Flow = přerušovaná šipka

V diagramech jsou použity zahajující události (Start Events), které reprezentují počáteční proces pro příchod Zákazníka, doručení otisků či dat z ordinace do laboratoře, nebo obdržení sádrových modelů z laboratoře do frézovacího centra. Vždy má jeden odchozí sekvenční tok (Sequence Flow) a zároveň do něho žádný sekvenční tok nevstupuje. Jelikož jsou na začátku použity zahajovací elementy, jsou na konci vlákna umístěny také ukončovací události (End Events) pro ukončení procesu, tj. pro odchody Zákazníka z ordinace, nebo po dokončené práci některých z entit.

9.2 Diagram 1 – workflow zhotovení zubní náhrady tradičním způsobem

První diagram představuje 3 entity – Zákazníka, Zubního lékaře a Zubního technika. Zákazník má problém, se kterým zašel k lékaři, čímž inicioval proces. Právě příchod Zákazníka do ordinace inicioval start i druhé entity Zubní lékař. Prvotní úlohy (Tasks) představují komunikaci mezi Zákazníkem a Zubním lékařem. Po úloze Otiskování do otiskovací lžice se zapojí do procesu i třetí entita Zubní technik. Zatímco má Zubní lékař použit časovou událost (Times Intermediate Event),

na diagramu si můžeme všimnout, že entitu Zubního technika čeká zdlouhavý postup složený z několika úkolů (Tasks), a je zde velké riziko, že se při každém kroku může náhrada znehodnotit např. v manuálním úkolu (Manual Task) Ruční modelace náhrady.

Fyzické objekty v diagramu např. konstrukce, putují z laboratoře do ordinace skrze odesílající události (Message Intermediate Event), které zajišťují odeslání nebo přijetí zprávy, a jsou také vždy spjaty s tokem zpráv (Message Flow). V ordinaci dojde ke zkoušce náhrady v ústech Zákazníka. Tam můžeme narazit na větvení procesu, který je vyjádřen skrze bránu (Event-Based Gateway). Má vždy 2 výstupní sekvenční toky (Sequence Flow), přičemž rozhodování probíhá pomocí cílových událostí (Events).

Cílové události nemají žádné další vstupní sekvenční toky, ani je mít nesmí. Jedná se např. o Čekání na finální dohotovení náhrady nebo Omluvení se ze zkoušky konstrukce. V případě, že náhrada není zhotovena správně, je odeslána zpět k opravě do laboratoře skrze událost to zpráv (Message Intermediate Event). Pokud je vše v pořádku, je taktéž odeslána do laboratoře, ale k pouhé finalizaci (nanesení estetického materiálu). Dokončená náhrada putuje opět do ordinace, aby ji lékař mohl Zákazníkovi napevno začlenit do úst.

9.3 Diagram 2 - workflow zhotovení zubní náhrady za účasti frézovacího centra

Druhý diagram představuje 4 entity – Zákazníka, Zubního lékaře, Zubního technika a Frézovací centrum. Model posloupnosti aktivit je hodně podobný prvnímu. Liší se pouze rozdílem, že entita Zubní technik zašle fyzické sádrové modely do frézovacího centra pomocí odesílající události a toku zpráv (Message Intermediate Event a Message Flow). V prvním diagramu entita Zubní technik na odlitý sádrový model ručně zhotovovala konstrukci.

Frézovací centrum nabízí široké spektrum výrobků. Zde je však vybrána ta část, která se v praxi využívá nejčastěji ke zhotovení konstrukce náhrady, což je redukovaný anatomický tvar, na který technik posléze ručně vrství estetický materiál.

Entita Frézovací centrum je iniciována obdržetím zakázky. Následuje větvení procesních vláken symbolizováno bránou založenou na událostech (Event-Based Gateway). Je zde vyhodnocována kvalita sádrového modelu. Pokud je zdařilá, pokračuje se dál ve zpracování modelu, a pokud je kvalita nedostačující, vrací se model zpět do entity Zubní technik pomocí odesílající události (Message Intermediate Event) a celý proces se opakuje znovu.

3D návrh konceptu konstrukce je skrze médium zaslán do zubní laboratoře, kde se posuzuje modelace z 3D programu. Pokud má návrh kladný ohlas, dojde k souhlasu s výrobou, vygenerování STL souboru a nahrání dat do výroby. Pakliže má entita zubní technik další požadavky, náhradu není problém přemodelovat. Hotový fyzický výrobek se skrze zasílající událost (Message Intermediate Event) zašle do zubní ordinace, kde také figuruje entita Zákazník.

Proces se opět větví a je zde kladen důraz na bezproblémové pasování v ústech. Jestliže náhrada v ústech nepasuje, putuje fyzický výrobek zpět do entity Frézovací centrum a pakliže je vše v pořádku, putuje do entity Zubní technik. V laboratoři se aplikuje estetický materiál a náhrada se odešle do ordinace přes odesílající událost (Message Intermediate Event). Sekvenční tok ho zavede do ukončující události (End Event) a jeho proces je u konce. Entita Zubní lékař přijme náhradu, nacementuje ji

do úst a je téměř u konce procesu. Poslední událost se ukončí zákaznickým odchodem z ordinace.

Zasílání zakázek od entity Zubní technik do entity Frézovací centrum je výhodné hlavně z toho důvodu, že zubním technikům výrazně šetří čas a v určité míře také finance. Existují laboratoře, které nemají takový obrat, aby si mohly dovolit koupit výkonné počítače se speciálními softwary, příslušenství nebo výrobní stroje. Pořizovací cena je vysoká a každý program dále vyžaduje zakoupení licencí a dokoupení modulů ne jednotlivé typy náhrad. V tu chvíli je z pohledu zubní laboratoře ekonomičtější zasílat výrobky do entity Frézovací centrum, které vyrábí 1 000 zubů denně.

9.4 Diagram 3 - workflow zhotovení zubní náhrady prostřednictvím IOS za účasti frézovacího centra

Třetí diagram představuje 4 entity – Zákazníka, Zubního lékaře, Zubního technika a Frézovací centrum. V tomto diagramu je proces výroby nejrychlejší, protože klasické otiskování do otiskovací lžice odpadá a hraje zde roli Frézovací centrum.

Proces opět začne tím, že má zákazník funkční nebo estetický problém, proto navštíví svého lékaře. To způsobí iniciaci procesu. Posléze je vyvolána i druhá entita Zubní lékař. Po informačních úlohách (Tasks) reprezentujících komunikaci mezi entitami následuje úloha skenování intraorálním skenerem (Skenování IOS).

Získaná data z IOS se zašlou entitě Frézovací centrum, která data vyhodnotí. Můžeme si všimnout, že entita Zubní technik zde zatím nehraje žádnou roli. Nekvalitní data jsou zaslána zpět a je požádáno o data nová. Kvalitní data jsou ponechána a dále zpracována.

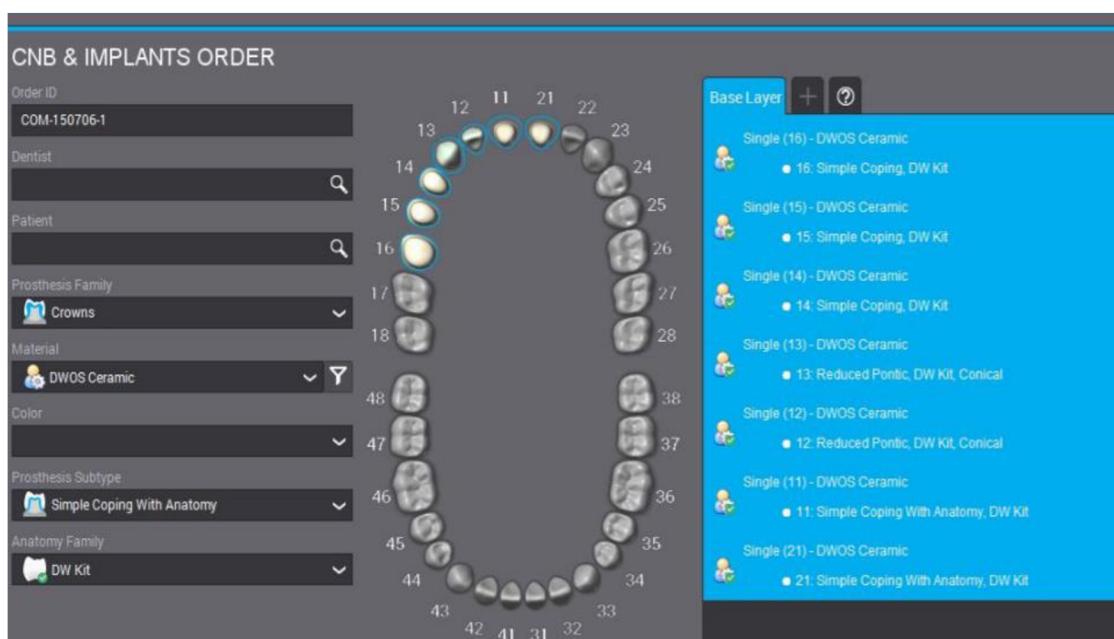
Návrh konceptu výrobku je zaslán skrze určité médium entitě Zubní technik a návrh je posuzován. Pakliže byl návrh schválen, je vygenerován STL soubor a data jsou nahrána do výroby ke zpracování. V opačném případě je vrácen entitě Frézovací centrum zpět na začátek a celý proces se vykonává znovu. Fyzický výrobek se expeduje do ordinace ke zkoušce přes odesílající události a tok zpráv (Message Intermediate Event a Message Flow).

Při zkoušce dojde k větvení procesů (Event-Based Gateway). Jestliže náhrada v ústech nepasuje, je vrácena zpět k opravě. Pokud je vše v pořádku, je zaslána entitě Zubní technik, aby nanesla estetický materiál na konstrukci a náhrada tak měla plnohodnotný anatomický tvar. Proces pro entitu Zubní technik se uzavře tím, že odešle hotovou zubní náhradu do ordinace. Entita Zubní lékař přijme zásilku se zubní náhradou a aplikuje ji do úst. Odchodem zákazníka z ordinace jsou procesy dokončeny.

10 Demonstrace skenování – převádění sádrových modelů do digitální podoby

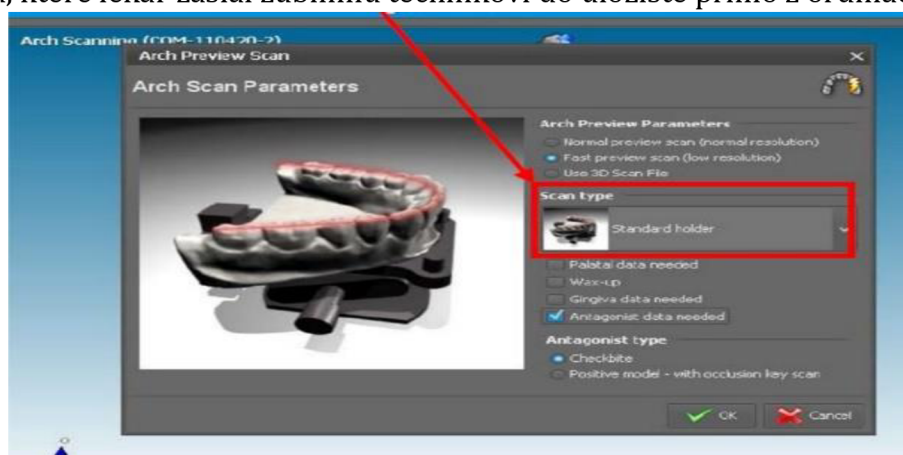
Hardwarové vstupní zařízení umožňuje skenovat fyzické stomatologické sádrové modely a následně je převádět do digitální podoby.

Každý zákazník (pacient) má svoji vytvořenou zakázku s přiděleným ID, ve které je nutné uvést indikaci, materiál, typ náhrady, popřípadě barvu a anatomii zubů.



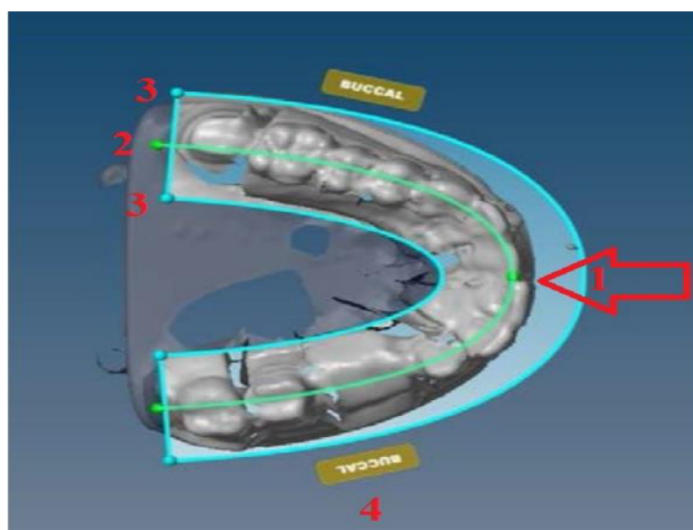
Obrázek 17 Vytvoření zakázky [40]

Při každém skenování optickým skenerem se každý fyzický objekt (sádrový model) přichytí na skenovací otočné rameno v příslušném směru, aby mohl být celý osvětlen modrým laserem. Právě v tomto kroku je také možné načíst data z intraorálního skeneru, které lékař zaslal zubnímu technikovi do úložiště přímo z ordinace.



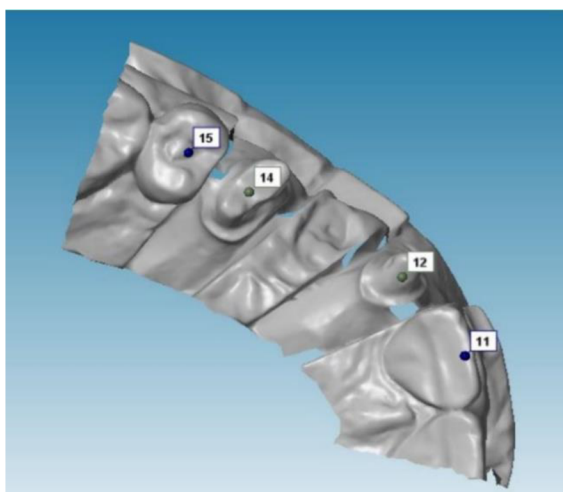
Obrázek 18 Volby parametrizace skenování zubního oblouku [40]

Výseč se zpravidla nasměruje na plochu, která má být oskenována. Modré a zelené body označují místa, např. mezi středními řezáky, které dělí chrup na dvě poloviny, nebo ukončují zadní části postranního úseku. Pakliže je čelist menší, není problém skenovací plochu zmenšit. Vnější ani vnitřní plochy zubního oblouku by neměly být ničím zakryty. Na lesklé předměty (implantáty), je potřeba nanést tenkou vrstvu spreje nebo speciálního skenovacího vosku, aby došlo ke zmatnění povrchu. V průběhu skenování lesklých předmětů se modré světlo odrazí od lesklého předmětu a dojde k znehodnocení skenu, což způsobí tzv. artefakty.



Obrázek 19 Vyznačení skenovaného prostoru [40]

Na prvním viditelném objektu se definuje zubní oblouk – zuby (členy), na které přijde náhrada, mezičleny, sousední zuby, dásněň. Pakliže by se zuby definovaly nesprávně, software není schopen rozeznat jejich správnou polohu a plynulost zubního oblouku by byla narušena. Zakázku by bylo nutné opravit nebo vytvořit novou.

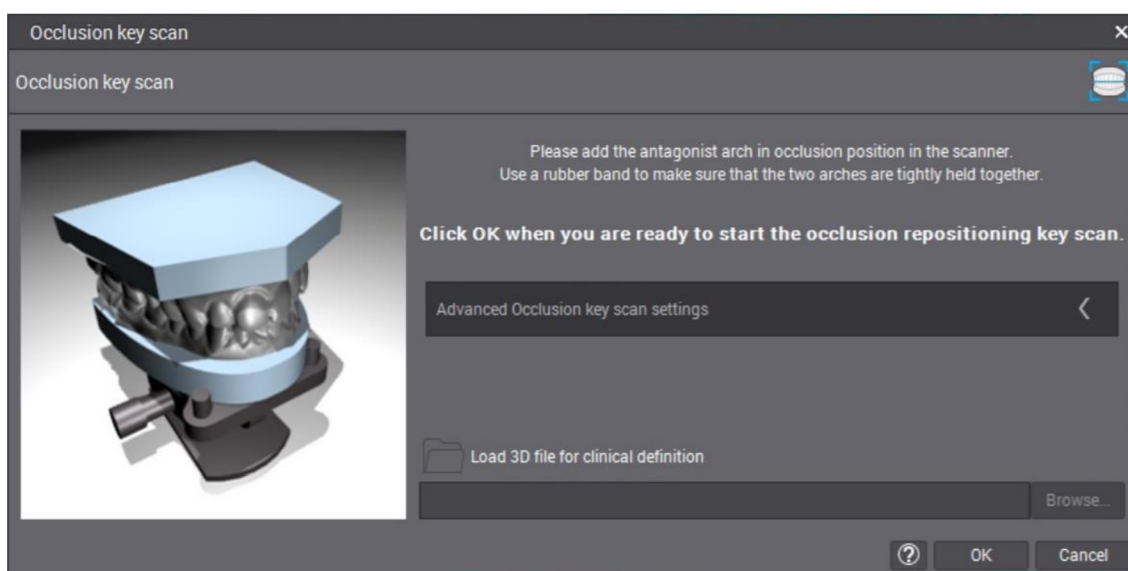


Obrázek 20 Definice zubního oblouku [40]

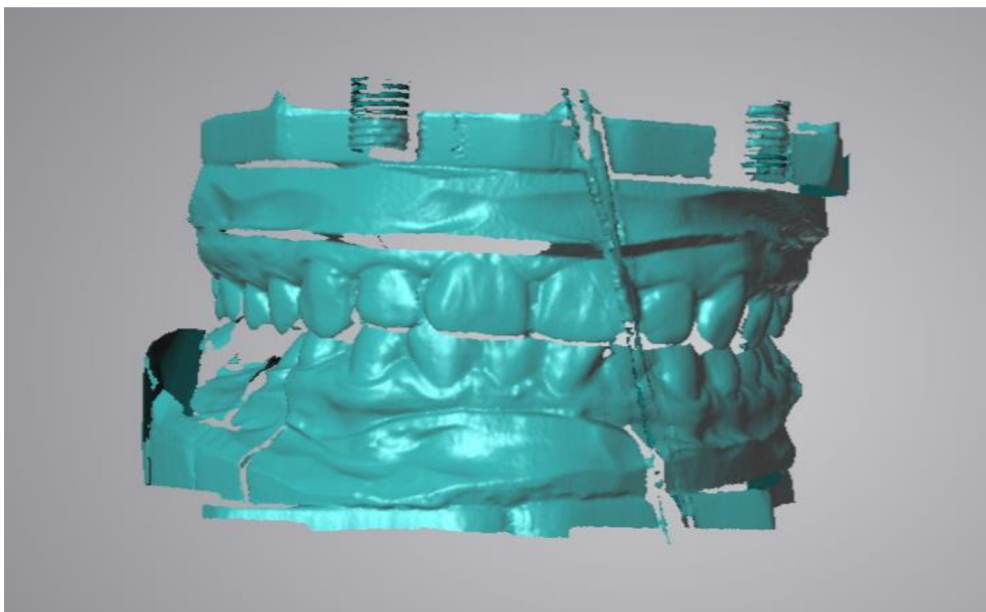
Na pracovní model se připevní protilehlá čelist, tzv. antagonista. Je důležité, aby pracovní model, který byl naskenován jako první, nezměnil polohu, a to kvůli správnému polohování čelisti. V této fázi je nutné mít správně nastavené oba zubní oblouky tak, jako tomu je reálně v pacientových ústech, resp. ve stejné poloze, jako když skousne čelisti k sobě. U rozsáhlejších náhrad se použije tzv. okluzní registrát ve formě vosku nebo silikonu, který se získá z ordinace.

Pacient skousne vosk nebo silikon přes obroušené zuby (pahýly) a lékař získá vzdálenost mezičelistních vztahů. Pokud jsou zbroušeny zuby, které drží skus, může při skousnutí dojít k přiblížení čelistí příliš blízko k sobě, protože je obroušené zuby nezastaví v přirozené poloze. Nemají se o co zastavit, jestliže tvrdá tkáň z obroušených zubů chybí, což by způsobilo, že by výsledná náhrada mohla být nízká.

Naopak když pacient neskousne s dostatečnou intenzitou-nedokousne, čelisti budou od sebe příliš vzdáleny. Náhrada by podle falešně vysokého registrátu byla příliš vysoká a ve skutečnosti by v ústech nepasovala z důvodu moc velké výšky. Proto lékař musí velice pečlivě získat mezičelistní vztah v ordinaci tak, aby odpovídal reálné situaci. V tomto kroku se musí zubní technik plně spoléhat na zubního lékaře, že vztah mezičelistních vztahů odebral správně a čelisti jsou tak ve správné poloze.

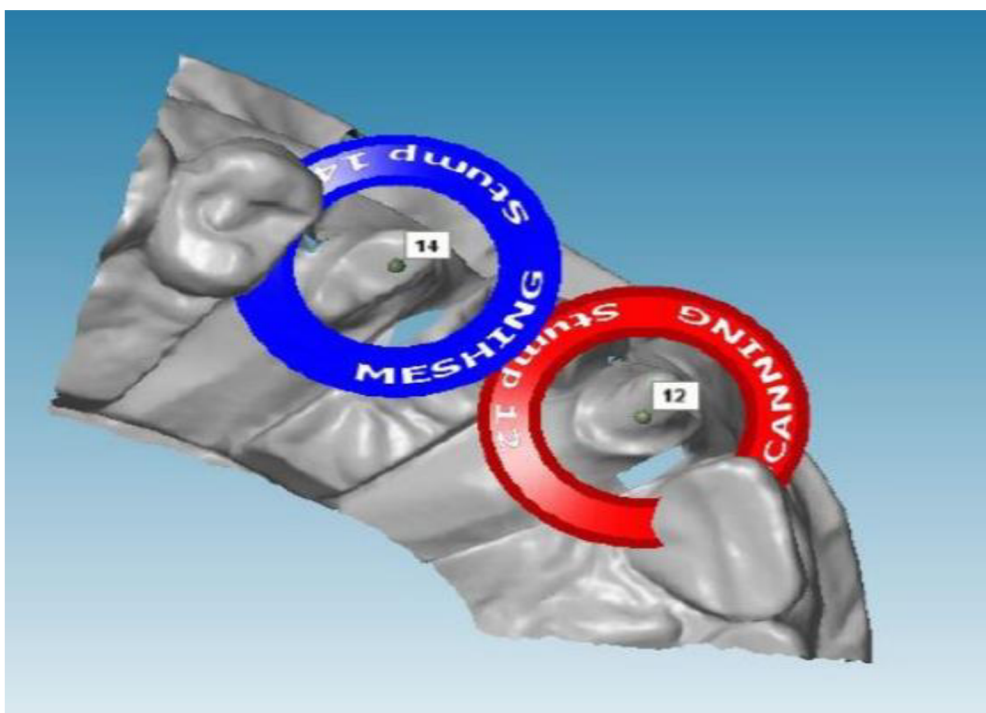


Obrázek 21 Skenování mezičelistních vztahů [40]



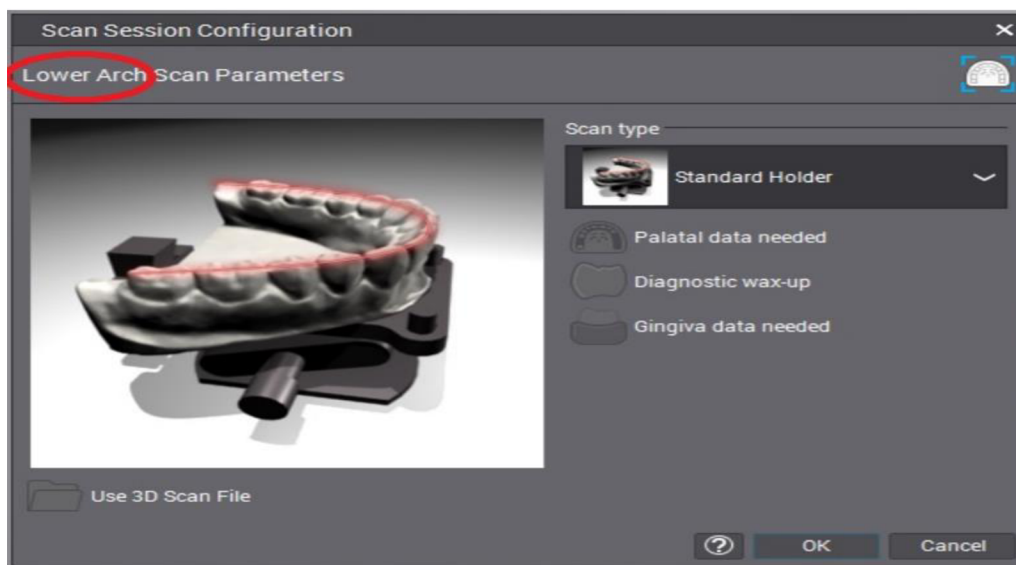
Obrázek 22 Sken horní i dolní čelisti ve skusu [40]

Dále jsou skenovány jednotlivé pahýly (obroušené zuby), a to buď na pracovním modelu, pokud to umožňuje situace, anebo na tzv. multi-destičce. Multi-destička je určena k preciznímu oskenování zbroušených zubů, kde bude finální náhrada.



Obrázek 23 Podrobný sken obroušených zubů – pahýlů [40]

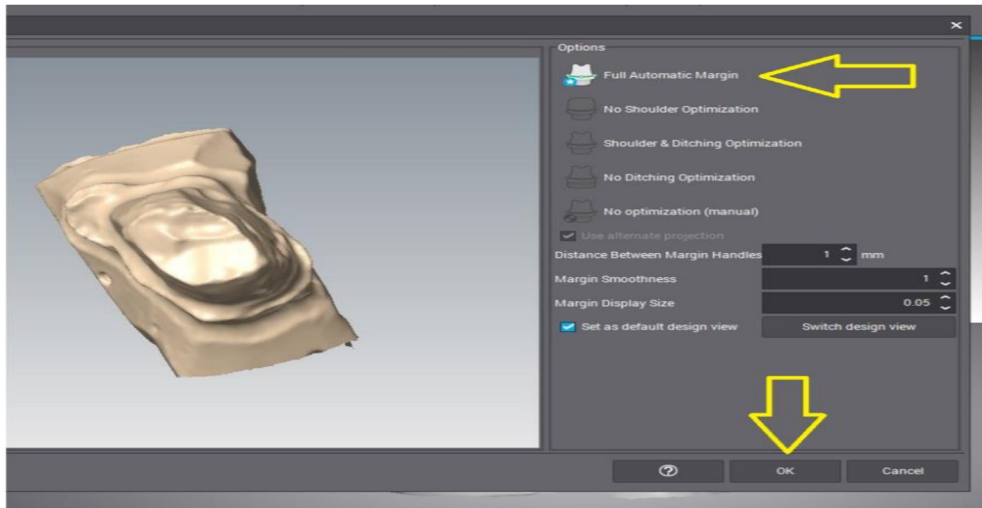
Dolní čelist se skenuje stejným způsobem jako pracovní čelist. Opět se označí skenovací plocha tak, aby byly snímány všechny plochy zubů. Střed výseče představuje bod mezi středními řezáky a za posledními zadními zuby.



Obrázek 24 Skenování protilehlé čelisti – antagonista [40]

V dalším kroku se detekuje krčkový uzávěr u všech preparovaných zubů, tzn. místo, kde musí náhrada přesně dosednout na pahýl. Detekce probíhá automaticky nebo manuálně. Tento krok musí být provedený velmi precizně, jelikož se od něho odvíjí přesnost dosedu náhrady na obroušený zub. U krčkové linie nesmí být žádná vada, nebo odštipnuté místo (pahýl by byl nepoužitelný a pacient by musel znovu přijít do ordinace na otiskování, protože s touto vadou nelze dále pokračovat).

Pro technika je krčkový uzávěr, dále také hranice preparace/krček/schůdek, nejdůležitější místo ve spodní části zubu. Dosed na schůdek musí být maximálně přesný, aby náhrada mohla správně fungovat a neulpívaly v daném místě žádné části potravy. Místo se pak špatně čistí a mohl by zde vzniknout zánět. Aby technik mohl vymodelovat přesný krček v oblasti schůdku, musí být přesně a rozpoznatelně napreparovaný již od lékaře z ordinace – v případě preparace na schůdek.



Obrázek 25 Detekce krčkového uzávěru - dosed náhrady na zub [40]

Aby zubní náhrada šla nasadit do úst, musí mít vhodný úhel a směr nasazení. V průběhu skenování se nastavuje individuální nebo shodná osa nasazení pro budoucí náhradu. Nastavit osu nasazení jedné sólo korunky je poměrně snadné, ale nastavit shodnou nebo téměř shodnou osu pro celý zubní oblouk už může být složitější.

Program nám automaticky nastaví 0° po naskenování pahýlu. Tolerance sklonu je 20° , v praxi je však doporučováno spíše 15° pro každý zub. Jestliže je zhotovován můstek, musí být individuální osy nastavené tak, aby splňovaly úhel do 15° , s maximálním rozdílem jednotlivých os do 5° . Problematické je nastavení os s nerovnoběžnými rozbíhavými pahýly neboli disparalelními. Nelze u nich zajistit stejnou osu nasazení s úhlem maximálně do 15° , protože jsou pahýly odkloněné moc sebe, tvoří jakési „véčko“ nebo jsou naopak velmi skloněné k sobě a vytváří pomyslnou „stříšku“.



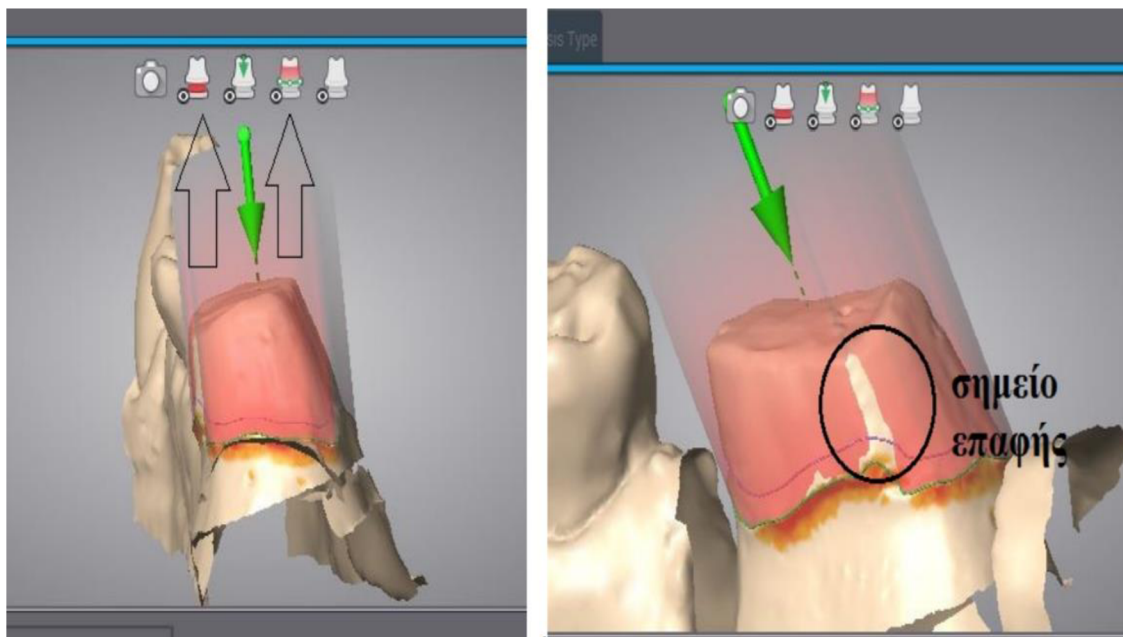
Obrázek 26 Nastavení osy nasazení náhrady [40]

Zde je demonstrován případ, kde se nachází nezdařená preparace. Ideálně má být zub zbroušen do kónusu – ve spodní části nejširší a směrem k vrchní části zubu nejužší.

Při pohledu na pahýl shora by správně měl být vidět krček cirkulárně kolem dokola. Na obrázku je vidět podsekřivá preparace od zubního lékaře, kde šířka obroušeného zubu je ve spodní části užší než v jeho horní části. Právě po nasazení náhrady pod nejširší částí obroušeného zubu vznikne prostor, do kterého by se mohla dostávat potrava. V případě broušení zubů, na které přijde zubní náhrada, jsou tato tzv. podsekřivá místa nežádoucí.

V černém kolečku se nachází místo, které vyčnívá z kónického, kuželovitého tvaru ven. Náhrada pod tímto místem nebude těsnit, ale bude odstupovat v místě u krčkového uzávěru, kde bude ulpívat potrava, což vede k množení bakterií. Jinými slovy, zakroužkované místo je v tomto místě širší, než je krček.

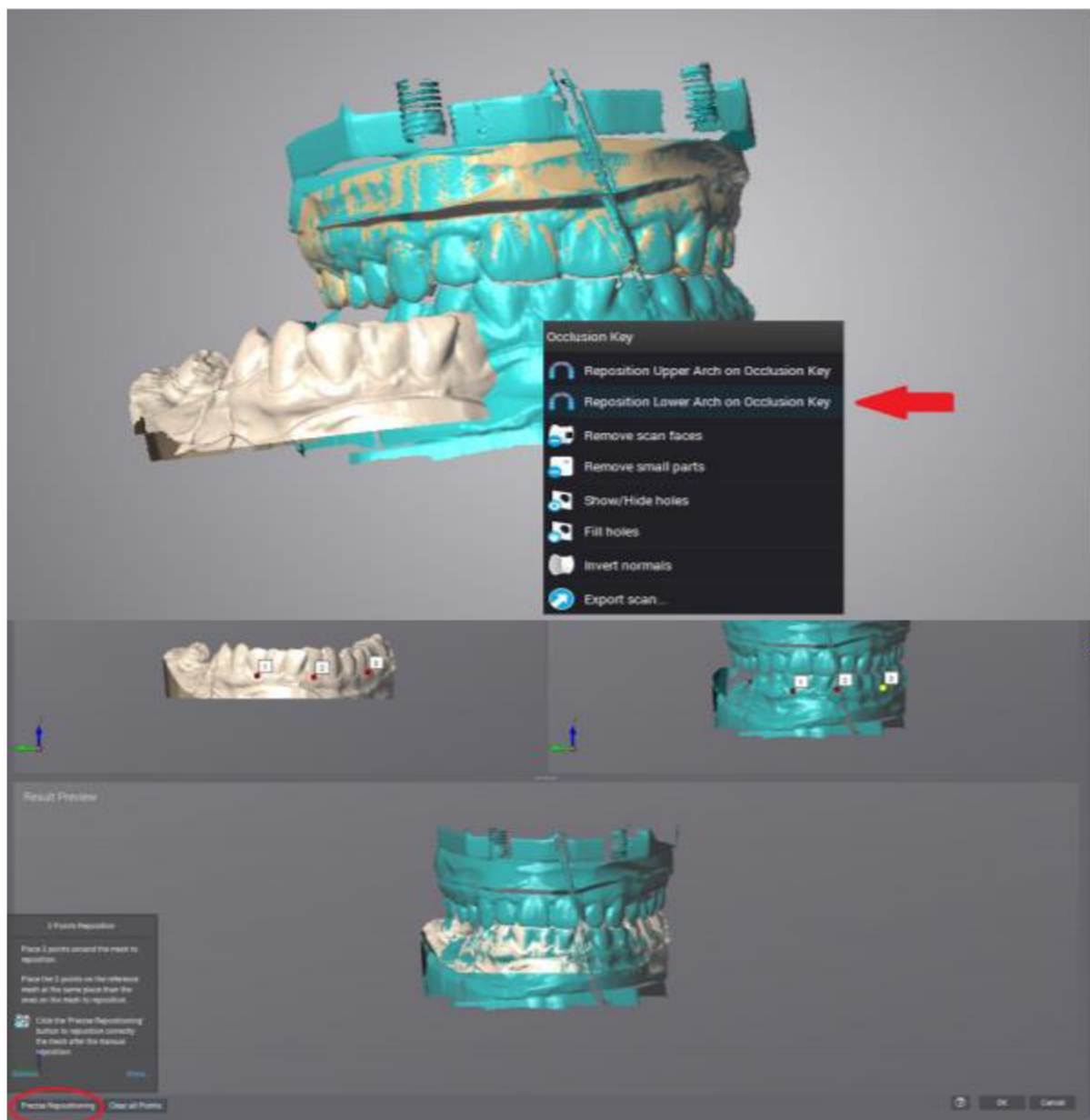
Program si s tímto problémem dokáže poradit. Jsou zde dvě funkce, první dovolí vyblokovat podsekřivá místa. Vyblokováná část v korunce bude chybět a ta půjde snáz nasadit, protože program jednoduše odstraní spodní část korunky. Náhrada ale nebude u krčkového uzávěru těsnit tak, jako při správné kónické preparaci. Druhou možností je, že se nevykryjí podsekřiviny, náhrada by se tedy při nasazení zastavila o vyčnívající podsekřivé místo. Tento problém pak musí vyřešit lékař nebo zubní technik. Pramení však ze špatné prvotní preparace.



Obrázek 27 Podsekřivá preparace, kvůli které bude problém s nasazením [40]

V posledním kroku se přiřadí antagonální model k naskenovanému mezičelistnímu vztahu. Aby modelace korunky zubním technikem byla správná a byla pacientovi modelována na míru, je nezbytné takzvaně napolohovat protilehlou čelist tak, aby korespondovala s mezičelistním vztahem. To zajistí správnou modelaci výšky náhrady.

Na skenu mezičelistního vztahu a antagonálního modelu se najdou tři stejné body, které se k sobě přiřadí, čímž vzniknou barevně prolínající se modely. Pracovní model není nutné polohovat, jelikož se s ním začínalo skenovat a poté se na něj připevnil antagonista, tudíž se nezměnila jeho poloha. Modely se nahrají do dentálního softwaru.



Obrázek 28 Přiřazení skenů - antagonálního modelu k mezičelistním vztahům [40]

11 Koncept modelace zubní náhrady a komparace zubních programů

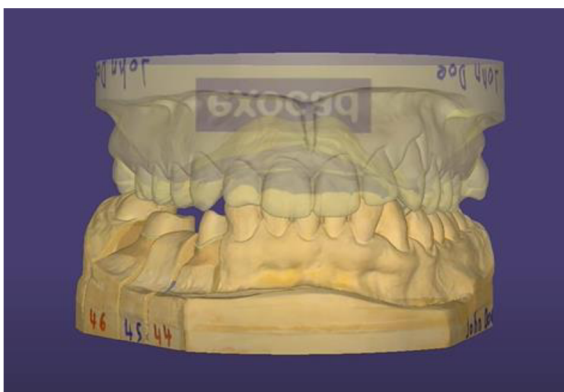
Modelace náhrady probíhá v uživatelsky přívětivém CAD prostředí. Cílem modelace je vytvarovat funkční a estetickou náhradu, která se modeluje pomocí mnoha funkcionalit. Výběr přirozené anatomie zubů se odvíjí od fyziognomie a věku pacienta tak, aby odpovídaly co nejpřirozenějšímu vzhledu pacienta. Další parametrické přizpůsobení pomáhá při docílení přirozeného vzhledu (hluboké zubní štěrby a ostré hrbolky typické pro mladistvější vzhled, nebo naopak zaoblenější hrbolky s menší hloubkou zubních štěrbin pro dospělé).

Existuje mnoho knihoven zubů, které obsahují zuby různých tvarů, velikostí, se specifickým zaoblením hrbolků či ostrotí hran, ... Knihovny zubů, ale i materiálů jsou otevřené a volně dostupné. Pouze vhodně zvolit knihovnu zubů však není dostačující. Každý člověk má individuální chrup a je zapotřebí další modelace, aby finální náhrada seděla na míru. Programy nabízejí funkcionality pro morfologii, jako je zmenšení, či zvětšení zubů, rotaci kolem své osy, tvarování objektu do požadovaného tvaru, přidání, či odebrání materiálu nebo jeho zahlazování. Po finální modelaci je návrh uložen a vygenerován ve formátu STL. Data ve formátu STL jsou připraveny do výroby, například pro 3D tisk, laserové sintrování nebo frézování).

Program Exocad realisticky vykresluje modelaci, což je vhodné zejména pro vizualizaci dat z CT. Zároveň má bohatší výběr z již zmíněných knihoven a přizpůsobuje modelaci anatomie zubů v reálném čase při každém pohybu zubu, tzn. že v průběhu modelace se náhrada mění dynamicky vůči svému protilehlému zubu v opačné čelisti. To je z časového hlediska velmi výhodné. Program Dental Wings nepřizpůsobuje změnu tvaru v reálném čase. Exocad umožňuje pohyby čelistí a automaticky rozpozná rysy obličeje pomocí umělé inteligence. Rysy obličeje jsou detekovány automaticky, aby se automatizoval návrh úsměvu a rychleji se dospělo k estetickému návrhu.

Pro shrnutí mají oba programy intuitivní uživatelské rozhraní, jsou logické a konzistentní. Uživatelsky přívětivějším je spíše program Exocad, jelikož obsahuje průvodce v průběhu celého modelování, využívá umělou inteligenci nebo disponuje

praktickým dotykovým ovládáním. Z hlediska modelace fixních náhrad má sofistikovanější funkcionality oproti Dental Wings, skener skenuje objekty rychleji a s větší přesností (4 mikrometry) a má více kamer. Naskenované objekty mají barevnou povrchovou strukturu. Je však finančně náročnější a při modelaci snímatelných náhrad (např. skelety), je modelace komplikovanější. Pro modelování snímatelných náhrad je vhodnější vybrat program Dental Wings.



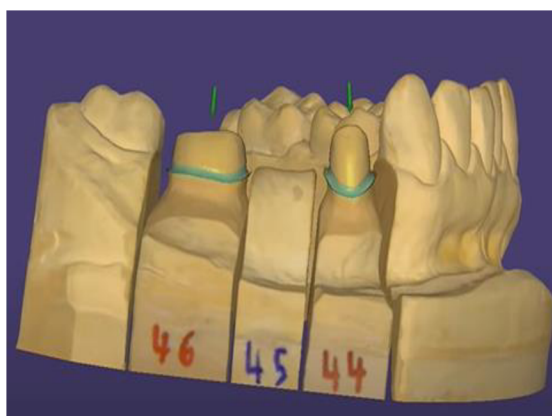
Obrázek 29 Definování preparovaných zubů 44, 46 a mezičlenu 45 [41]



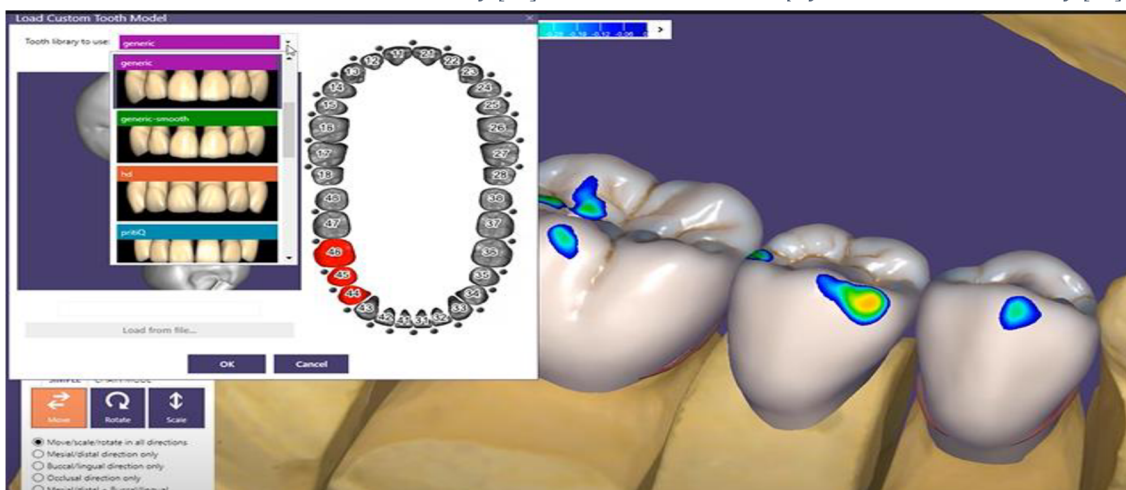
Obrázek 30 Viditelná linie dosedu náhrady [41]



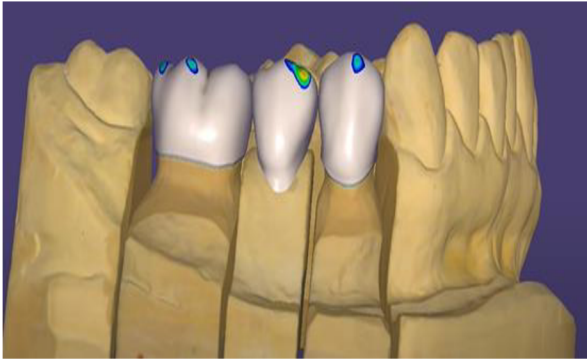
Obrázek 31 Pohled shora-směr nasazení náhrady [41]



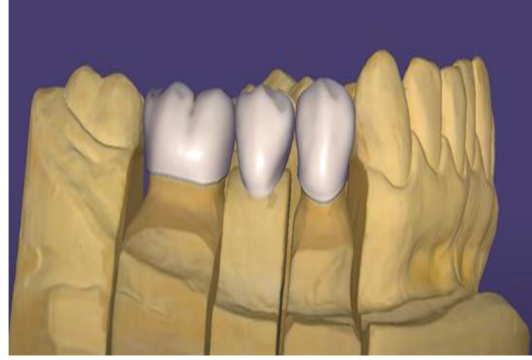
Obrázek 32 Zelené šipky = směr nasazení náhrady [41]



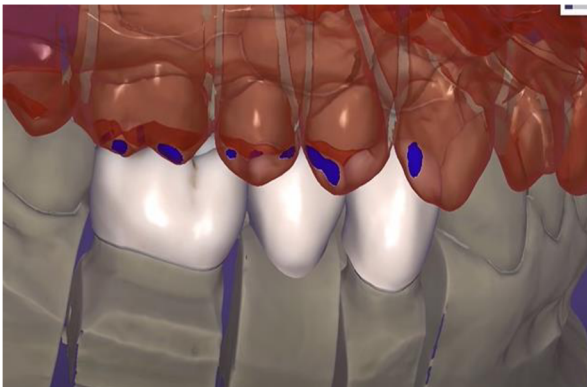
Obrázek 33 Modelace náhrady [41]



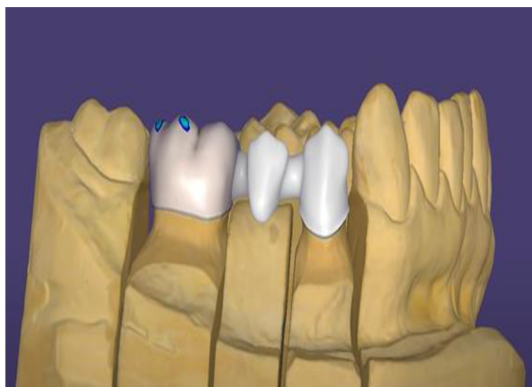
Obrázek 34 Odstranění artikulačních překážek [41]



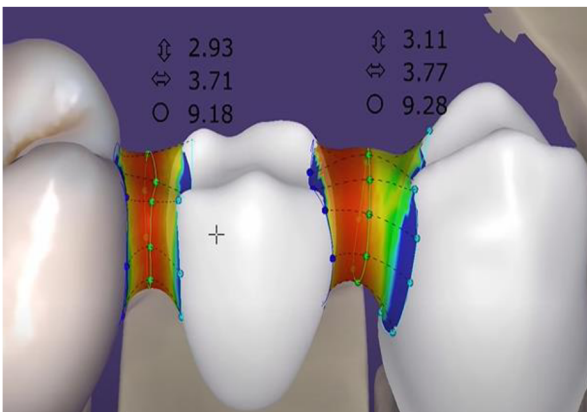
Obrázek 35 Vyartikulovaná místa náhrady [41]



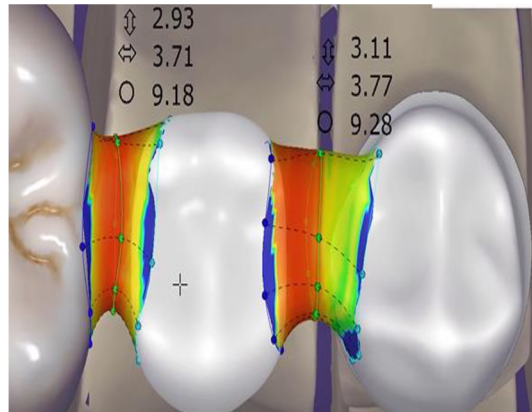
Obrázek 36 Optimální skus s protilehlými zuby [41]



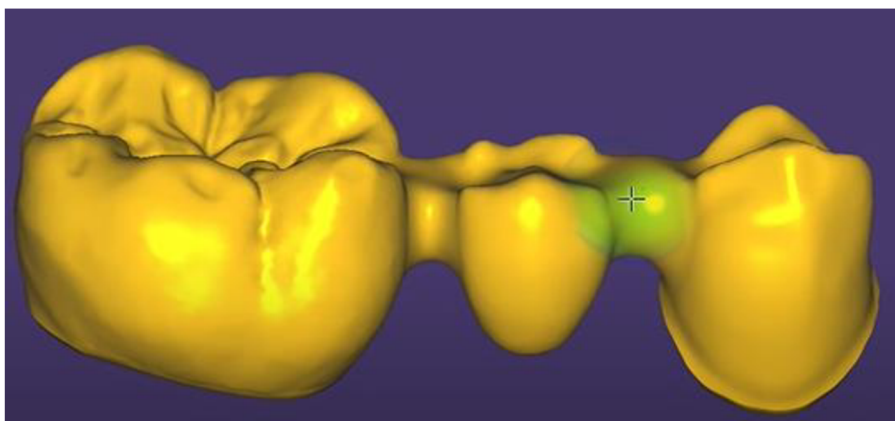
Obrázek 37 Redukce zubů 44 a 45 [41]



Obrázek 38 Modelace spojovacích částí náhrady [41]



Obrázek 39 Pohled shora při modelaci spojů [41]



Obrázek 40 Finální úpravy povrchu náhrady [41]

12 Shrnutí

Bakalářská práce ukazuje, nakolik lze moderní technologie CAD/CAM systému použít ve stomatologii, a jak moc ovlivnily práci zubních techniků i zubních lékařů napříč různými specializacemi. Práce znázornila a popsala fungování podnikových procesů, které se uskutečňují v průběhu zhotovování fixních zubních náhrad, a to formou diagramů. Dále práce zdokumentovala moderní postup zhotovení zubních náhrad, včetně porovnání 3D modelovacích programů. Viděli jsme, že modelování ve 3D programu s následným 3D tiskem je dnes už běžnou záležitostí a praxe dokazuje, že digitální technologie velmi zasahují do zubotechnického odvětví, protože šetří čas, zvyšují efektivitu práce a umožňují náhradu zhotovit s maximální přesností.

13 Závěr

Moderní technologie ve světě zubních odborníků značně ovlivnili jejich každodenní práci. V protetické stomatologii jsou laboratorní a ordinační činnosti velice úzce spjaty a recipročně se ovlivňují.

V důsledku neustálých inovací jsou konvenční způsoby zhotovení zubních náhrad postupně nahrazovány digitálními technologiemi. Vzhledem k digitalizaci napříč všemi obory se dá přepokládat, že se i v tomto oboru budou odehrávat inovace i nadále. Jestliže chtějí být zubní laboratoře i ordinace v budoucnosti úspěšnými, měli by inovace a jejich implementaci brát v potaz a neizolovat se od nich.

V současnosti se CAD/CAM softwary a s tím spojené příslušenství, laboratorní i ordinační skenery, dentální materiály, 3D tiskárny, frézy a jiné výrobní zařízení neustále vylepšují. Pracovní postupy i procesy mají integrované řešení, je zde však mnoho prostoru pro růst a další sjednocení přístupů. Nyní se pracuje na tom, aby v budoucnu bylo v digitální stomatologii více platforem, které nabídnou kompaktnější a ucelenější ošetření, aby se eliminovala zdlouhavá a oddělená řešení, která doposud nebyla optimálně propojena, což by mělo zásadní vliv na efektivitu mezioborových interakcí.

Velký potenciál proměnit fungování digitální stomatologie mají „internet of things“ nebo „big data“. V souvislosti s tím by se mohlo navázat na informační digitální technologie se zaměřením na stomatologii 4.0, ve smyslu detekce zubního kazu, využití umělé inteligence v systému detekce rakoviny dutiny ústní nebo přesnější predikce rizik a výsledků účinnosti zubních implantátů, např. v odhalení úbytku kostní hmoty v oblasti zubů, a to formou diplomové práce.

Cílem této bakalářské práce bylo popsat informační technologie v digitální stomatologii a vytvořit procesní digramy znázorňující výměnu informací mezi entitami 4 entitami (Zákazník, Zubní lékař, Zubní Technik a Frézovací centrum). Cílem bylo také demonstrovat modelaci zubí náhrady ve 3D programu. Tento cíl byl splněn.

14 Seznam použité literatury

1. Krastev, Tihomir, Payer, Michael a Krastev, Zhivko. The Utilisation of CAD/CAM Technology Amongst Austrian Dentists: A Pilot Study. *International Dental Journal*. [Online] 21. říjen 2022. [Citace: 16.]
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020653922002246>.
2. Irfan, Umer bin, Aslam, Kashif a Nadim, Rizwan. A REVIEW ON CAD CAM IN DENTISTRY. [Online] 26. říjen 2019. [Citace: 1. duben 2023.]
<http://archive.jpda.com.pk/wp-content/uploads/2016/05/article2-15-3.pdf>.
3. J., Šebek. „3D technologie“ ve stomatologii. Praha - Stomatologická klinika – maxilofaciální chirurgie : autor neznámý, 19. leden 2019.
4. Mazánek, Jiří. *Zubní lékařství*. U průhonu 22, Praha 7 : Grada Publishing, 2014. ISBN 978-80-247-3534-4.
5. Bittner, Jiří, Vacek, Mojmír a Novák, Josef. *Stomatologické protézy 1*. V Hradci Králové a v Praze : Avicenum, 1982 .
6. Bittner, Jiří, a další. *Zhotovování stomatologických protéz 2*. Praha 1 : Avicenum, 1985. 08-048-84.
7. Heřmánek, Michal. Rozhovor s Michalem Heřmánkem. *StomaTeam*. Digital international magazine of digital dentistry, 2018, Sv. 1, 1.
8. Pelekanos, Stavros. Rozhovor se Stavrosem Pelekanosem. *StomaTeam*. Digital international magazine of digital dentistry, 2018, Sv. 1, 1.
9. El Joudi, Niama Assia, a další.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050922015915>.
Procedia Computer Science. [Online] 2022. [Citace: březen. 1 2023.]
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050922015915>.
10. Cattaneo, Paolo M. a Cornelis, Marie A. Digital workflows in orthodontic postgraduate training. *Seminars in Orthodontics*. [Online] 22. prosinec 2022. [Citace: 28. březen 2023.]
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1073874622000780>.

11. Velký lékařský slovník. [Online] 1998-2023. [Citace: 12. únor 2023.] <https://lekarske.slovníky.cz/pojem/ortodoncie>.
12. <https://zoboestetika.si/>. *Zoboestetika Estetsko zobozdravstvo in ortodontija*. [Online] [Citace: 18. duben 2023.] https://zoboestetika.si/wp-content/uploads/2016/02/rtg_telerentgen_meritve_02_0555x473.jpg.
13. El Joudi, Niama Assia , Othmani , Mohammed Bennani a Bourzgui, Farid. Review of the role of Artificial Intelligence in dentistry: Current applications and trends. *Procedia Computer Science*. [Online] 2022. [Citace: 13. Únor 2023.] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050922015915>.
14. Velký lékařský slovník . [Online] 1998-2023. [Citace: 28. březen 2023.] <https://lekarske.slovníky.cz/pojem/parodont>.
15. Alharbi, Nawal, Wismeijer, Daniel a Osman, Reham B. Additive Manufacturing Techniques in Prosthodontics: Where Do We Currently Stand? A Critical Review. *The International Journal of Prosthodontics* . [Online] říjen 2017. [Citace: 27. březen 2023.] <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28750105/>.
16. Průša, Josef. Co je 3D tisk. [Online] [Citace: 26. březen 2023.] <https://josefprusa.cz/o-3d-tisku/>.
17. Kessler, A., Hickel, R. a Reymus, M. 3D Printing in Dentistry-State of the Art. *Operative Dentistry*. [Online] Únor 2020. [Citace: 27. březen 2023.] <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31172871/>.
18. NextDent™ 5100. *Microdent chytré řešení pro zubní laboratoře*. [Online] [Citace: 26. říjen 2022.] <https://www.microdent.cz/kategorie-produktu/pro-laboratore/#vyrobni-zarizeni>.
19. Jiumeng, Zhang, a další. Digital Light Processing Based Three-dimensional Printing for Medical Applications. *International Journal of Bioprinting*. [Online] 28. Listopad 2019. [Citace: 27. březen 2023.] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7415858/>.
20. Ferrano, Fabian, Wachter, Tizian a Fateri, Miranda. Process-Structure Coupled Simulation of Additive Manufactured Components. *MDPI Open Access Journals* .

- [Online] 14. únor 2023. [Citace: 27. březen 2023.] <https://www.mdpi.com/2073-4360/15/4/949>.
21. Yadroitsev, I. a Smurov, I. Selective laser melting technology: From the single laser melted track stability to 3D parts of complex shape. *Physics Procedia*. [Online] 2010. [Citace: 27. březen 2023.] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389210005092>.
22. <https://www.microdent.cz/>. *Microdent chytré řešení pro zubní laboratoře*. [Online] [Citace: 15.. duben 2023.] https://www.microdent.cz/wp-content/uploads/2017/08/Frezovany-zirkon_Diamond-zirconia.pdf.
23. <https://www.microdent.cz/>. *Microdent chytré řešení pro zubní laboratoře*. [Online] [Citace: 16.. duben 2023.] <https://www.microdent.cz/produkt/cocr-frezovany-2/#view-1>.
24. PolyJet. *Stratasys*. [Online] [Citace: 27. březen 2023.] <https://www.stratasys.com/en/stratasysdirect/technologies/3d-printing/polyjet/>.
25. Bittner, Jiří. *Protetická technologie*. Brno : IOV SZP, 1989. str. 148. 80-7013-013-1.
26. Frézovaný zirkon. *Microdent chytré řešení pro zubní laboratoře*. [Online] [Citace: 30. 8 2020.] <https://www.microdent.cz/produkt/zirkon/>.
27. Frézovaný zirkon. *Microdent chytré řešení pro zubní laboratoře*. [Online] [Citace: 27. březen 2023.] <https://www.microdent.cz/produkt/zirkon/>.
28. <https://www.microdent.cz/>. *Microdent chytré řešení pro zubní laboratoře*. [Online] [Citace: 15.. duben 2023.] <https://www.microdent.cz/produkt/zirkon/#view-7>.
29. *Pinterest*. [Online] [Citace: 17.. duben 2023.] <https://cz.pinterest.com/pin/187603140720791227/?mt=login>.
30. CoCr laserem sintrovaný. *Microdent chytré řešení pro zubní laboratoře*. [Online] [Citace: 27. březen 2023.] <https://www.microdent.cz/produkt/cocr-laserem-sintrovany/>.

31. Frézovaný CoCr. *Microdent chytré řešení pro zubní laboratoře*. [Online] [Citace: 28. únor 2023.] <https://www.microdent.cz/produkt/cocr-frezovany-2/>.
32. Frézovaný titan. *Microdent chytré řešení pro zubní laboratoře*. [Online] [Citace: 27. únor 2023.] <https://www.microdent.cz/produkt/titan/>.
33. Polymery. *Microdent chytré řešení pro zubní laboratoře*. [Online] [Citace: 15. března 2023.] <https://www.microdent.cz/produkt/polymery/>.
34. NextDent C&B MFH (provizorní náhrady). *Microdent chytré řešení pro zubní laboratoře*. [Online] [Citace: 15. březen 2023.] <https://www.microdent.cz/produkt/3d-tisk-provizornich-nahrad-nextdent-cb-mfh/>.
35. *Microdent chytré řešení pro zubní laboratoře*. [Online] [Citace: 17.. duben 2023.] https://www.microdent.cz/wp-content/uploads/2017/08/letak_3D_2018_tisk_fogra39-srpen-2018.pdf.
36. Smart Optics 10. *Microdent chytré řešení pro zubní laboratoře*. [Online] [Citace: 22. únor 2023.] <https://www.microdent.cz/produkt/smart-optics-10/>.
37. DWOS (Dental Wings Open System). *Microdent chytré řešení pro zubní laboratoře*. [Online] [Citace: 22. únor 2023.] <https://www.microdent.cz/produkt/dwos-dental-wings-open-system/>.
38. *Digital Solutions for Laboratories*. 2251, av Letourneux, Montréal, Canada : Dental Wings Inc., 2018.
39. Dano, David a Miller, Ben. Rychlý a elegantní ordinační pracovní postup . [editor] Čelko Martin. *StomaTeam*. Digital international magazine of digital dentistry, 2018, Sv. 1, 1, str. 56.
40. Panos Ptinis and Dimitra Kalinteri. Dental Wings Inc. . *DWOS*. [Online] [Citace: 17.. duben 2023.] <http://www.stroumbos.com/images/DOCS/DWOS%20manual%20english.pdf>.
41. Exocad. *Exocad GmbH*. [Online] 5.. srpen 2018. [Citace: 18.. duben 2023.] <https://www.youtube.com/watch?v=tAU4HZojSek>.

42. <https://www.microdent.cz/>. *Microdent the CAD/CAM Company*. [Online] [Citace: 21.. červen 2020.] <https://www.microdent.cz/kategorie-produktu/pro-laboratore/#vyrobní-zarizení>.
43. DWOS manual english.pdf. *DENTAL WINGS user manual*. [Online] [Citace: 30.. 8. 2020.]
<http://www.stroumbos.com/images/DOCS/DWOS%20manual%20english.pdf>.
44. <https://www.microdent.cz/>. *Microdent Chytré řešení pro zubní laboratoře*. [Online] [Citace: 15.. srpen 2021.] <https://www.microdent.cz/pro-verejnost/3d-tisk-v-praxi/>.
45. <https://www.microdent.cz/>. *Microdent TheCAD/CAM Company*. [Online] [Citace: 1.. 8. 2021.] <https://www.microdent.cz/produkt/3d-tiskarna-nextdent-5100/>.
46. <https://www.zirkonzahn.com>. *ZirkonZahn*. [Online] [Citace: 30.. 8. 2020.]
<https://www.zirkonzahn.com/us/faq/dental-technical-tips/zirconia-abutments-on-titanium-bases>.
47. <https://www.atlantacenterforcosmeticdentistry.com/>. *Atlanta Center For Cosmetic Dentistry*. [Online] [Citace: 30.. 8. 2020.]
<https://www.atlantacenterforcosmeticdentistry.com/services-we-offer/technology-services/zirconia-crowns/>.
48. Dental Wings Inc. Dental Wings.
https://ifu.dentalwings.com/ifu/dwos/7series/7Series_IFU_v3.2.2_DE_2018-08-13_low.pdf. [Online] [Citace: 18.. 4. 2023.]
https://ifu.dentalwings.com/ifu/dwos/7series/7Series_IFU_v3.2.2_DE_2018-08-13_low.pdf.
49. *Microdent chytré řešení pro zubní laboratoře*. [Online] [Citace: 16.. duben 2023.]
<https://www.microdent.cz/kategorie-produktu/prodej/laboratorni-skenery/>.
50. *DDS.WORLD*. [Online] [Citace: 14.. duben 2023.]
<https://www.dds.world/product/7series-model-impression-scanner/>.

51. <https://www.microdent.cz/>. *Microdent chytré řešení pro zubní laboratoře*. [Online] [Citace: 16.. duben 2023.] <https://www.microdent.cz/produkt/titan/#view-1>.
52. <https://www.microdent.cz/>. *Microdent chytré řešení pro zubní laboratoře*. [Online] [Citace: 16.. duben 2023.] <https://www.microdent.cz/produkt/cocr-laserem-sintrovany/#view-1>.
53. <https://www.microdent.cz/>. *Microdent chytré řešení pro zubní laboratoře*. [Online] [Citace: 15.. duben 2023.] <https://www.microdent.cz/produkt/3d-tiskarna-nextdent-5100/#view-3>.
54. <https://www.kulzer.cz/>. *Kulzer*. [Online] [Citace: 17.. duben 2023.] <https://www.kulzer.cz/file/273.pdf>.
55. <https://www.microdent.cz/>. *Microdent chytré řešení pro zubní laboratoře*. [Online] [Citace: 17.. duben 2023.] <https://www.microdent.cz/wp-content/uploads/2019/11/letak-Zirkon-max-2019-tisk.pdf>.
56. <https://www.microdent.cz/>. *Microdent chytré řešení pro zubní laboratoře*. [Online] [Citace: 17.. duben 2023.] <https://www.microdent.cz/wp-content/uploads/2018/10/3D-tisk-II.generace.pdf>.
57. *Microdent chytré řešení pro zubní laboratoře*. <https://www.microdent.cz/>. [Online] [Citace: 17.. duben 2023.] <https://www.microdent.cz/produkt/zirkon/#view-4>.

15 Slovník odborných slov

Abutment – část umělého zubu, která je spojena s implantátem, teprve na ni je (na)cementována náhrada

Adhezivní můstek – fixní náhrada cementována na minimálně preparované zuby, výhodou je malá ztráta tvrdých zubních tkání (skloviny)

Anatomická korunka – má plnohodnotný anatomický tvar

Antagonista – protilehlý zub/zuby, protilehlý sádrový model (opačná čelist na kterou nezhotovujeme náhradu)

CEREC – význam akronymu je „Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics“, což znamená „Úsporné restaurování estetické keramiky u křesla“, propracovaný systém počítačové 3D modelace, který spočívá ve 3D modelaci protetické práce následném vyfrézování z keramického bloku desítek minut vyrobí

CT – počítačová tomografie, radiologická vyšetřovací metoda

Disparalelní – nesouměrný, používá se ve spojitosti s osou nasazení budoucí náhrady, pokud jsou pahýly moc skloněny k sobě nebo odkloněny od sebe, je velmi obtížné najít optimální osu nasazení pro všechny pahýly, často je zapotřebí opětovná návštěva pacienta v ordinaci a úprava jeho pahýlů (které byly už jednou nabroušeny). U jedné korunky to v naprosté většině není žádoucí, u 10členného můstku ano.

Fazetová korunka – složena z více materiálů – kov + keramika, kov zajistí mechanickou odolnost a keramika z vnější strany estetiku

Fixní náhrada – je pevně spojena (nacementována) s přirozenými zuby pacienta, doplňuje část zubu nebo celý zub, náhrady samostatně stojících zubů se nazývají zubní korunky, náhrady skupiny zubů se nazývají zubní můstky

Gingiva – dásněň

Inlay – laboratorně zhotovená výplň, nahrazuje mezizubní rýhy i část hrbolků

Kapna – vnitřní plášť korunky, tenká vrstva kryjící povrch obroušeného zubu

Knihovna zubů – shromažďuje a uchovává zuby různých anatomií, obsahuje kompletní data pro celý systém implantátů (soubory STL), včetně skenovacích těles nebo konfiguračních dat

Kořenová nástavba – doplňuje kořenovou i korunku kovovou část zubu (pahýlu)

Mezičlen – člen fixního můstku, který nahrazuje ztracený zub, musí splňovat funkční i estetické vlastnosti

Modalita – digitální diagnostické zařízení, používá se ve zdravotnictví, jedná se například o CT nebo ultrazvuk

Okluzní registrát - slouží ke kontrole správného a přirozeného skusu pacienta, pokud má zubní technik správnou polohu obou čelistí, zhotoví tak náhradu optimální výšky (jestliže pacient nedokousne, náhrada bude moc vysoká a v ordinaci se bude muset snižovat broušením).

Onlay – nahrazuje téměř celou žvýkací plochu

Osa nasazení – směr, ve kterém se bude nasazovat náhrada

Podmínečně snímatelná náhrada – šroubována náhrada zhotovená na zubní implantáty, po odšroubování ji lze sundat

Podsekřivé místo – místo, které není preparováno do kónusu, ale opačně než je konický tvar, nežádoucí u preparace zubů na zubní náhradu, může vést k retenci potravy a tím i k množení bakterií

Preparace – broušení zubu, cílem je zajistit dostatečný prostor pro protetický materiál, probíhá v ordinaci různými brousky

Redukovaná korunka – zmenšená kopie anatomického tvaru zubu

Retence – schopnost spojit či zadržet materiál

Skelet – částečná snímatelná náhrada většího rozsahu, vyztužující litá kovová konstrukce s umělými zuby

Snímatelná náhrada – nahrazuje zuby, dásně a patro, lze ji opětovně vyjímat z úst, zuby v náhradě jsou prefabrikované, a to jsou zhotoveny z pryskyřice nebo keramiky

STL – formát souborů uplatňovaných ve 3D tisku a počítačovém projektování – CAD, význam zkratky znamená „Standartní jazyk trojúhelníku“

Šroubovaná korunka – anatomická korunka s otvorem pro šroubek, korunka se připevní k implantátu, její výhodou je snadné sundání v případě opravy

Teleskopická korunka – skládá se ze dvou částí, primární a sekundární, funguje na principu frikce

Titanový interface – část připevňující se k implantátu a na bázi interface se přilepí protetická práce, interface zajišťuje vyšší přesnost a živostnost náhrady

Zásuvný spoj – attachment, kotevní prvek, který slouží ke spojení zubní náhrady s pilířovou konstrukcí

Seznam obrázků

Obrázek 1 Telerentgenový snímek	13
Obrázek 2 3D tisk v praxi	16
Obrázek 3 SLM-Selective Laser Melting	16
Obrázek 4 Monochromatický zirkon	20
Obrázek 5 Polychromatický zirkon	20
Obrázek 6 Zirkon MAX.....	20
Obrázek 7 Opákní zirkon	20
Obrázek 8 Konstrukce ze zirkonu.....	20
Obrázek 9 Nanášení estetického materiálu na konstrukci	20
Obrázek 10 Chromkobalt laserem sintrovaný	23
Obrázek 11 Chromkobalt frézovaný	23
Obrázek 12 Frézovaný titan	23
Obrázek 13 Titanový frézovaný šroubovaný třmen s trny	23
Obrázek 14 3D tisk z PMMA	24
Obrázek 15 Laboratorní skenery Smart Optics	26
Obrázek 16 Laboratorní skener Dental Wing	26
Obrázek 17 Vytvoření zakázky	37
Obrázek 18 Volby parametrizace skenování zubního oblouku	37
Obrázek 19 Vyznačení skenovaného prostoru	38
Obrázek 20 Definice zubního oblouku	38
Obrázek 21 Skenování mezičelistních vztahů	39
Obrázek 22 Sken horní i dolní čelisti ve skusu	40
Obrázek 23 Podrobný sken obroušených zubů – pahýlů	40
Obrázek 24 Skenování protilehlé čelisti – antagonista	41

Obrázek 25 Detekce krčkového uzávěru - dosed náhrady na zub	42
Obrázek 26 Nastavení osy nasazení náhrady	42
Obrázek 27 Podsekřivá preparace, kvůli které bude problém s nasazením	43
Obrázek 28 Přiřazení skenů - antagonistního modelu k mezičelistním vztahům	44
Obrázek 29 definování preparovaných zubů 44, 46 a mezičelnu 45.....	46
Obrázek 30 viditelná linie dosedu náhrady.....	46
Obrázek 31 pohled shoda-směr nasazení náhrady.....	47
Obrázek 32 zelené šipky=směr nasazení náhrady.....	47
Obrázek 33 modelace náhrady.....	46
Obrázek 34 Odstranění artikulačních překážek.....	47
Obrázek 35 Vyartikulovaná místa náhrady	47
Obrázek 36 optimální skus s protilehlými zuby	47
Obrázek 37 redukce zubů 44 a 45.....	47
Obrázek 38 Modelace spojovacích částí náhrady.....	47
Obrázek 39 pohled shora při modelaci spojů.....	47
Obrázek 40 Finální úpravy povrchu náhrady.....	47

Seznam tabulek

Tabulka 1 Přehled vlastností dentálních materiálů zirkonu-oxid zirkoničitý	21
Tabulka 2 Diagram 1 – workflow zhotovení zubní náhrady tradičním způsobem....	29
Tabulka 3 Diagram 2 – workflow zhotovení zubní náhrady za účasti frézovacího centra	30
Tabulka 4 Diagram 3 – workflow zhotovení zubní náhrady prostřednictvím IOS za účasti frézovacího centra	31



Zadání bakalářské práce

Autor:	Monika Černá
Studium:	I2200258
Studijní program:	B0688A140001 Informační management
Studijní obor:	Informační management
Název bakalářské práce:	Informační technologie v digitální stomatologii
Název bakalářské práce AJ:	Information Technologies in Digital Stomatology

Cíl, metody, literatura, předpoklady:

Cílem práce je představit široké veřejnosti využití informačních technologií v dentálním průmyslu a popsat moderní technologické procesy výroby v odvětví stomatologie. Práce se zaměří na implementaci digitálních technologií do konvenčních stomatologických procesů včetně porovnání tradičních a moderních metod zhotovení zubních náhrad. Bude demonstrováno převádění fyzických modelů do virtuální podoby, modelace ve 3D programu Dental Wings Open System s následnými druhy výroby (3D tisk, laserové sintrování, frézování). V práci budou porovnány nejrozšířenější programy v České republice a uvedený přehled finálních výrobků, které je možné při stávající úrovni technologií zhotovit.

Dodá zadavatel

Zadávací pracoviště: Katedra informačních technologií,
Fakulta informatiky a managementu

Vedoucí práce: prof. RNDr. Peter Mikulecký, Ph.D.

Datum zadání závěrečné práce: 15.10.2021