

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická

Medicinální využití titanu a jeho slitin v oblasti ústní, čelistní a obličejové  
chirurgie a spondylochirurgie

Bakalářská práce

University of Pardubice  
Faculty of Chemical Technology

Applications of titan and titan alloys in oral and maxillofacial surgery and spine  
surgery

Bachelor thesis

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická  
Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Tereza Olbrechtová**  
Osobní číslo: **C21040**  
Studijní program: **B0531A130012 Farmakochemie a medicínální materiály**  
Téma práce: **Medicínální využití titanu a jeho slitin v oblasti ústní, čelistní a obličejové chirurgie a spondylochirurgie**  
Téma práce anglicky: **Applications of titan and titan alloys in oral and maxillofacial surgery and spine surgery**  
Zadávací katedra: **Ústav organické chemie a technologie**

## Zásady pro vypracování

1. Literární rešerše zaměřená na obecné vlastnosti a výrobu vysoce čistého titanu a jeho slitin,
2. Literární rešerše zaměřená na využití titanu v oblasti ústní, čelistní a obličejové chirurgie a spondylochirurgie,
3. Výsledky zpracujte formou závěrečné práce v souladu se Směrnicí UPCE č. 7/2019 "Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací" v platném znění.

Rozsah pracovní zprávy: **dle potřeby**  
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:  
veškerá dostupná odborná literatura

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Marek Bouška, Ph.D.**  
Katedra polygrafie a fotofyziky

Datum zadání bakalářské práce: **29. února 2024**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **1. července 2024**

**prof. Ing. Petr Němec, Ph.D.** v.r.  
děkan

L.S.

**prof. Ing. Miloš Sedlák, DrSc.** v.r.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 29. února 2024

## Prohlášení

Prohlašuji:

Práci s názvem Medicinální využití titanu a jeho slitin v oblasti ústní, čelistní a obličejové chirurgie a spondylochirurgie jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše. Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 1. 7. 2024

Tereza Olbrechtová v.r.

## **Poděkování**

Na tomto místě bych poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce, panu doc. Ing. Marku Bouškovi, Ph.D., za cenné rady, velmi rychlou komunikaci a čas strávený při vedení této práce.

## **Anotace**

Tato bakalářská práce se zabývá obecným medicínálním využitím titanu v různých odvětvích chirurgie. V úvodu práce jsou popsány základní vlastnosti titanu a jeho nejvýznamnějších slitin. Dále je v práci popsána biokompatibilita titanu. Poté jsou jednotlivé kapitoly věnovány ústní, čelistní a obličejové chirurgii a spondylochirurgii.

## **Klíčová slova**

titan, slitiny, implantáty, biokompatibilita titanu, chirurgie

## **Title**

Applications of titan and titan alloys in oral and maxillofacial surgery and spine surgery

## **Annotation**

This bachelor's thesis deals with the general medical use of titanium in various fields of surgery. The introduction describes the basic properties of titanium and its most significant alloys. Furthermore, the thesis discusses the biocompatibility of titanium. Then, the individual chapters are devoted to oral, maxillofacial surgery, and spinal surgery.

## **Key words**

titanium, alloys, implants, biocompatibility of titanium, surgery

# Obsah

|   |    |
|---|----|
| Seznam obrázků a tabulek .....                                      | 9  |
| Seznam zkratk a značek .....  | 11 |
| Úvod.....   | 12 |
| 1. Vlastnosti titanu .....  | 13 |
| 1.1. Fyzikální vlastnosti .....                                     | 13 |
| 1.2. Mechanické vlastnosti.....                                     | 14 |
| 1.3. Chemické vlastnosti.....                                       | 14 |
| 2. Výroba titanu .....  | 15 |
| 2.1. Výroba kovového titanu.....                                    | 15 |
| 2.2. Tavení kovového titanu do ingotů .....                         | 15 |
| 3. Titanové slitiny .....   | 17 |
| 3.1. Slitiny typu $\alpha$ .....                                    | 17 |
| 3.2. Slitiny typu $\beta$ .....                                     | 18 |
| 3.3. Slitiny typu $\alpha+\beta$ .....                              | 18 |
| 3.3.1. Slitina Ti-6Al-4V a její vlastnosti.....                     | 18 |
| 3.3.2. Slitina Ti-6Al-7Nb a její vlastnosti.....                    | 19 |
| 3.3.3. Slitina Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo a její vlastnosti.....            | 20 |
| 4. Biokompatibilita titanu .....                                    | 21 |
| 5. Titanové implantáty .....  | 22 |
| 6. Titanové implantáty využívané v ústní a čelistní chirurgii ..... | 23 |
| 6.1. Zubní implantáty.....  | 23 |
| 6.1.1. Endoseální implantáty.....                                   | 24 |
| 6.1.1.1. Válcový implantát.....                                     | 24 |
| 6.1.1.2. Transmandibulární implantát .....                          | 25 |
| 6.1.2. Subperiostální implantáty .....                              | 26 |
| 6.2. Čelistní implantáty.....                                       | 27 |

|   |    |
|---|----|
| 6.2.1. Náhrada čelistního kloubu .....                        | 27 |
| 6.2.1.1. Titanový implantát vytvořený pomocí 3D tisku .....   | 28 |
| 7. Titanové implantáty využívané v obličejové chirurgii ..... | 30 |
| 7.1. Titanové destičky .....                                  | 30 |
| 7.2. Titanové sítěky .....                                    | 31 |
| 8. Titanové implantáty ve spondylochirurgii .....             | 32 |
| 8.1. Náhrady meziobratlových plotének .....                   | 32 |
| 8.2. Titanové šrouby a tyče .....                             | 34 |
| Závěr .....   | 36 |
| Použitá literatura .....                                      | 37 |

## Seznam obrázků a tabulek

|   |    |
|---|----|
| Obrázek 1 - Rutil.....  | 13 |
| Obrázek 2 – Ilmenit .....   | 13 |
| Obrázek 3 - Sfén .....  | 13 |
| Obrázek 4 - Perovskit .....   | 13 |
| Obrázek 5 - Zavedený endoseální implantát v horní čelisti místo chybějících horních řezáků<br>..... | 24 |
| Obrázek 6 - Implantace válcového implantátu .....   | 25 |
| Obrázek 7 - Transmandibulární implantát .....   | 26 |
| Obrázek 8 - Subperiostální implantát .....  | 26 |
| Obrázek 9 - Titanová spodní čelist vytvořena pomocí 3D tisku.....                                   | 29 |
| Obrázek 10 - Titanové destičky umístěné na kostech.....   | 30 |
| Obrázek 11 - Titanová síťka.....  | 31 |
| Obrázek 12 - Titanová síťka v rekonstrukci očnice .....   | 31 |
| Obrázek 13 - Titanová meziobratlová ploténka .....  | 33 |
| Obrázek 14 - Titanová ploténka vložená mezi obratle .....   | 33 |
| Obrázek 15 - Pedikulární šroub .....  | 35 |
| Obrázek 16 - Polyaxiální šroub .....  | 35 |
| Obrázek 17 - Monoaxiální šroub .....  | 35 |
| Obrázek 18 - Korekce deformace páteře pomocí tyčí a šroubů.....                                     | 35 |
| <br>  |    |
| Tabulka 1 - Složení slitiny Ti-6Al-4V [21].....   | 19 |
| Tabulka 2 - Složení slitiny Ti-6Al-7Nb [26].....  | 20 |
| Tabulka 3 - Složení slitiny Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo [29] .....   | 20 |

## **Seznam zkratk a značek**

Ti – Titan

TMK – temporomandibulární kloub

3D – trojrozměrný

MRI – magnetická rezonance

CT – výpočetní tomografie

## Úvod

Titan a jeho slitiny představují materiály, které našly místo v moderní medicíně, zejména v oblasti ústní, čelistní a obličejové chirurgie a spondylochirurgie. Tento kov, známý svou pevností, nízkou hmotností a biokompatibilitou, se stal velmi důležitým prvkem v konstrukci lékařských implantátů a protetických náhrad. V současné době se titan používá v různých formách a slitinách, které jsou různě upravovány pro specifické lékařské aplikace, významně se tak zvyšuje úspěšnost chirurgických zákroků a zlepšuje se kvalita života pacientů.

Biokompatibilita je jedním z nejdůležitějších faktorů při výběru materiálů pro lékařské aplikace. Titan je známý svou schopností integrovat se s kostní tkání prostřednictvím procesu známého jako oseointegrace. Tento proces umožňuje, aby se titanové implantáty pevně spojily s kostí. Díky tomu je titan preferovaným materiálem pro zubní implantáty, kostní šrouby, desky a další ortopedické aplikace.

V oblasti ústní, čelistní a obličejové chirurgie je titan často používán pro výrobu zubních implantátů, které nahrazují chybějící zuby a zajišťují jejich funkčnost a estetiku. Titanové implantáty se také používají při rekonstrukčních operacích, kde pomáhají obnovit strukturu a funkci čelistí a obličeje po úrazech nebo v důsledku onemocnění. V těchto případech je klíčové, aby implantáty byly nejen pevné, ale také dobře tvarovatelné a schopné podporovat hojení tkání.

Spondylochirurgie je obor, který se zabývá chirurgickými zákroky na páteři. V ní se titanové implantáty používají k stabilizaci a fúzi páteřních obratlů. Titanové šrouby a tyče jsou navrženy tak, aby poskytovaly potřebnou podporu pro páteř a zároveň umožňovaly určitou flexibilitu a podporovaly přirozený pohyb a srůstání kostní tkáně. Tyto implantáty musí být navrženy tak, aby vydržely značné mechanické zatížení a zároveň byly biokompatibilní, což minimalizuje riziko rejekce nebo infekce.

Práce je zaměřena jak na konkrétní medicínské aplikace titanu a jeho slitin v uvedených chirurgických odvětvích, tak i na mechanické a biologické vlastnosti, techniky výroby titanu, detaily o jeho biokompatibilitě a na výhody, které přicházejí s použitím implantátů vyrobených z titanu.

## 1. Vlastnosti titanu

Titan nepatří mezi vzácné prvky na Zemi, obsah v zemské kůře je 0,61 %, takže je 10. nejrozšířenější kov na naší planetě. V přírodě se vyskytuje v různých formách sloučenin, proto je výroba nutná z jeho rud. Nejvýznamnější rudy jsou například rutil ( $\text{TiO}_2$ ; obr. 1), ilmenit ( $\text{FeTiO}_3$ ; obr. 2), sfěn ( $\text{CaTiSiO}_5$ ; obr. 3) a perovskit ( $\text{CaTiO}_3$ ; obr. 4) [1]



Obrázek 1 - Rutil [2]



Obrázek 2 – Ilmenit [1]



Obrázek 3 - Sfěn [4]



Obrázek 4 - Perovskit [5]

### 1.1. Fyzikální vlastnosti

Čistý titan je šedý až stříbřitě bílý metalický přechodný kov s protonovým číslem 22. Jeho hustota při 25 °C činí 4,51 g/cm<sup>3</sup>, což ho řadí mezi středně těžké kovy. Atomová hmotnost je 4,506 g/mol, to znamená, že má titan relativně nízkou hmotnost v porovnání s ostatními kovy. Kombinace této hmotnosti a hustoty zajišťují titanu vynikající pevnost a odolnost. Teplota tání je 1677 °C, takže i při vysokých teplotách zůstává pevným materiálem. Vyskytuje se ve dvou modifikacích –  $\alpha\text{Ti}$  a  $\beta\text{Ti}$  a tím se řadí mezi alotropické prvky.  $\alpha\text{Ti}$  je v šesterečné krystalické mřížce (HCP) a vyskytuje se pod teplotou 882 °C.

Nad teplotou 882 °C je titan v modifikaci  $\beta$ Ti a je v kubické prostorově centrované mřížce (BCC). Z hlediska magnetických vlastností se titan řadí mezi kovy nemagnetické. Tato vlastnost je důležitá v odvětví elektroniky při výrobě elektronických zařízeních, při nich je důležitá nízká magnetická odezva. Tepelná vodivost je v porovnání s ostatními kovy vysoká, 17-22 W/m·K, takže titan dobře přenáší teplo. [6, 7, 8]

## **1.2. Mechanické vlastnosti**

Jedna z klíčových mechanických vlastností titanu je jeho pevnost. Pevnost je obvykle definována jako maximální tahové napětí, které materiál dokáže vydržet, než dojde k jeho zdeformování, a je měřena v tahových testech. Je to relativně tvrdý materiál, na Mohsově stupnici tvrdosti dosahuje hodnot kolem 9, to znamená, že je o něco tvrdší než například ocel. Díky této vysoké tvrdosti je odolný vůči mechanickému poškození a poškrábání. Další výborná mechanická vlastnost je jeho elasticita, což je schopnost materiálu deformovat se pod tlakem a poté se vrátit do původního tvaru, jakmile je tlak odstraněn. Elasticita je ovlivněna krystalickou strukturou titanu, jeho teplotou a rychlostí zatížení. [7, 9]

## **1.3. Chemické vlastnosti**

Titan se vyznačuje svou vysokou odolností vůči korozi. Jeho povrch je schopen tvořit ochrannou vrstvu  $\text{TiO}_2$ , která brání pronikání korozivních látek do materiálu, jako jsou voda, kyseliny a zásady. Jeho reaktivita je závislá na jeho povrchu. Práškový Ti je pyroforický (samozápalný), kompaktní Ti nereaguje s kyselinami, při zvýšené teplotě se slučuje s několika nekovy. S kyslíkem poskytuje oxidy, s vodíkem hydridy, s uhlíkem, dusíkem a borem intersticiální karbidy, nitrily a boridy. [10, 11]

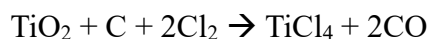
## 2. Výroba titanu

Titan se v přírodě vyskytuje v různých sloučeninách. Nejznámější sloučeniny titanu jsou rutil, ilmenit, perovskit a sfen. Titan se zde vyskytuje buď ve formě oxidu TiO<sub>2</sub>, nebo ve formě různých křemičitanů apod. Výrobní proces titanu můžeme popsat v těchto krocích:

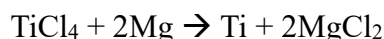
- výroba kovového titanu (redukce titanové rudy na nečistou formu Ti a její následné čištění)
- tavení kovového titanu do ingotů
- přetváření ingotů na polotovary (tyče, desky, dráty, ...) [12]

### 2.1. Výroba kovového titanu

Nejprve se při výrobě kovového titanu musí odstranit kyslík z rudy, a to tak, že nejprve se vyrobí TiCl<sub>4</sub>, který se poté redukuje na čistý Ti.



Typické rudy pro výrobu TiCl<sub>4</sub> jsou rutil a ilmenit. Tyto rudy se v zařízení, které se mohou přirovnat k vysoké peci, musí smíchat s práškovým uhlím a tato směs se zahřívá na teplotu okolo 700 °C. Směs se poté v elektrické peci chloruje a vzniká TiCl<sub>4</sub>. Nejčastější způsob, jak z TiCl<sub>4</sub> získat čistý Ti, je Krollův proces. TiCl<sub>4</sub> reaguje s hořčíkem pod ochrannou atmosférou inertního plynu (aby se zabránilo reakci s kyslíkem a dusíkem). Chlor se naváže na hořčík a na stěnách nádoby zůstane izolovaný titan, který se může dále zpracovávat.



Další způsob získání čistého Ti je elektrolýza. Principem je vyloučení titanu pomocí bezkyslíkatých solí. Elektrolytem je lázeň SrCl<sub>2</sub> nebo NaCl o teplotě přibližně 800 °C. Používá se jedna ocelová katoda, která má tvar uzavřené nádoby, a dvě grafitové anody. Titan se poté usazuje právě na stěnách katody. [11, 12, 13]

### 2.2. Tavení kovového titanu do ingotů

*Obloukové tavení ve vakuu*

Obloukové tavení je jedna z nepoužívanějších metod hlavně pro slitiny titanu, na které jsou kladeny velké nároky. Jde o roztavení titanu elektrickým obloukem a jeho následné

chlazení ve vodě, aby titan ztuhl ve tvar ingotu. Výsledný produkt disponuje vysokou čistotou dobrou kontrolou tavení. Nevýhoda je ovšem složitost obloukové pece. [13, 14, 15]

#### *Tavení v elektronové peci*

Tahle možnost tavení se provádí pomocí elektronových paprsků. Kinetická energie elektronů se při dopadu mění na teplo a kovový titan se tím zahřívá. Výsledné ingoty také disponují svými dobrými vlastnostmi a vysokou kvalitou. [13, 14, 15]

### 3. Titanové slitiny

V oblasti zdravotnictví se často setkáváme s aplikací titanových slitin, neboť exkluzivní kombinace jejich charakteristik odpovídá normám pro biokompatibilitu, odolnost a mechanickou robustnost, které jsou klíčové pro použití v lidském organismu. Slitiny titanu můžeme zařadit do několika kategorií, a to slitiny typu  $\alpha$ ,  $\alpha+\beta$  a  $\beta$ . Toto označení charakterizuje typ a množství legujících prvků, které jsou ve slitině obsaženy. Do slitin typu  $\alpha$  se přidávají prvky jako je hliník, kyslík a dusík, stabilizují tzv.  $\alpha$  fázi. Obecně se  $\alpha$  slitiny nedají tepelně zpracovávat, ale lze je velmi snadno svařovat. Mají střední odolnost a dobrou tažnost a pružnost. Do  $\beta$  slitin se přidává například vanad, niob, tantal, železo, molybden, chrom a měď. Tyto slitiny lze na rozdíl od  $\alpha$  slitin velmi dobře tepelně zpracovávat.  $\alpha+\beta$  slitiny mají svou strukturu ze dvou fází  $\alpha$  a  $\beta$ . Jsou dobře tepelně zpracovatelné, ale nemají tak dobrou mez tečení při vysoké teplotě jako slitiny  $\alpha$ . Slitina, která dominuje svou rozšířeností, je Ti-6Al-4V, jejíž výjimečná rezistence proti koroznímu napadání je doprovázena odpovídající pevností. Za zmínku stojí také slitiny typu Ti-6Al-7Nb a Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo, které mají své uplatnění především v oblasti výroby implantátů či náhrad kloubů. Využití titanových slitin se také rozpíná do sféry dentálních implantátů, chirurgického náčiní či ortopedických pomůcek, kde vlastnosti jako vysoká pevnost ve spojení s nízkou hmotností usnadňují manipulaci a minimalizují potenciální rizika spojená s lékařskými zákroky. Svým mimořádným spektrem kvalit se titanové slitiny stávají součástí progresivní medicíny a mají zásadní vliv na zvyšování životní úrovně pacientů. [16, 17]

#### 3.1. Slitiny typu $\alpha$

Historie titanových slitin  $\alpha$  sahá až do 20. století, kdy byly objeveny a začaly být používány díky svým vlastnostem. Průmyslová výroba titanových slitin začala ve 40. a 50. letech a od té doby prošly tyto materiály neustálým vývojem a zdokonalením, aby splňovaly stále narůstající požadavky moderního průmyslu a technologií. Mikrostruktura titanových slitin  $\alpha$  je charakterizována rozložením a velikostí fází v materiálu. Tato struktura může být ovlivněna různými faktory, jako jsou teplota a rychlost chladnutí během procesu výroby nebo jakost vstupních surovin. Během fázových transformací dochází ke změnám ve struktuře materiálu v závislosti na teplotě a tlaku. Titanové slitiny  $\alpha$  nacházejí široké uplatnění v průmyslu díky svým výborným vlastnostem, jako je vysoká pevnost, odolnost proti korozi a nízká hmotnost. Jejich schopnost odolávat extrémním teplotám a tlakům je klíčová pro bezpečný a spolehlivý provoz leteckých prostředků. Díky nim jsou letadla lehčí, což přináší

úspory paliva a snižuje jejich ekologický dopad. Titanové slitiny jsou rovněž oblíbené pro svou odolnost vůči mořské vodě a chemikáliím, což je důležité pro letadla provozovaná nad oceány. [18, 19]

### **3.2. Slitiny typu $\beta$**

Mechanické vlastnosti titanových slitin  $\beta$  jsou důležitým faktorem při jejich použití v průmyslových aplikacích. Pevnost a tažnost těchto slitin jsou klíčové parametry, které ovlivňují jejich schopnost odolávat mechanickému zatížení. Lze je snadno získat, když budeme zvyšovat obsah  $\beta$  stabilizujících prvků. Korozní vlastnosti titanových slitin  $\beta$  jsou klíčovým faktorem pro určení jejich trvanlivosti a použitelnosti v různých prostředích díky tvorbě stabilní ochranné oxidové vrstvy na povrchu materiálu. Jsou využívány ve výrobě letadel, jelikož dokážou snižovat hmotnost letadla a zároveň zachovat jeho pevnost a odolnost. Další výhodou těchto slitin je jejich dobrá tvárnost a svařitelnost. [20, 22]

### **3.3. Slitiny typu $\alpha+\beta$**

$\alpha+\beta$  slitiny jsou skupinou titanových slitin, které obsahují jak  $\alpha$ , tak  $\beta$  fázi.  $\alpha$  a  $\beta$  fáze jsou základními stavebními jednotkami titanových slitin.  $\alpha$  fáze má hexagonální kubickou krystalovou strukturu, je měkká a duktilní, zatímco  $\beta$  fáze má kubickou krystalovou strukturu a je tvrdá a křehká. Poměr  $\alpha$  a  $\beta$  fází ovlivňuje mechanické vlastnosti slitin, jako je pevnost, tažnost a tvrdost. Titanové slitiny typu  $\alpha+\beta$  jsou známé svými vynikajícími mechanickými a chemickými vlastnostmi, které je činí žádaným materiálem v mnoha odvětvích průmyslu. Jejich schopnost odolávat korozi a vysokým teplotám je významná pro letectví a medicínu, zatímco kombinace pevnosti, houževnatosti a nízké hmotnosti je dobrá pro vysokozátěžové součásti. Chemické vlastnosti ovlivňují jejich korozi a reaktivitu v různých prostředích. Proces výroby titanových slitin typu  $\alpha+\beta$  zahrnuje několik důležitých kroků, mezi které patří příprava vstupních materiálů, tavení, formování a tepelné zpracování. Tyto slitiny jsou obvykle připravovány z čistých kovů, jako je titan, hliník a vanad, které jsou pečlivě vybrány pro dosažení požadovaných mechanických vlastností. Dalším důležitým faktorem je správné složení slitiny, které je klíčové pro dosažení optimální kombinace  $\alpha$  a  $\beta$  fází. [7, 23]

#### **3.3.1. Slitina Ti-6Al-4V a její vlastnosti**

Slitina Ti-6Al-4V, známá také jako Titan Grade 5, se skládá z 90 % titanu, 6 % hliníku a 4 % vanadu a patří do kategorie  $\alpha+\beta$ . Kompletní složení této slitiny je uvedeno

v tabulce č. 1 níže. Tato unikátní kombinace prvků dává slitině vynikající mechanické vlastnosti, jako je vysoká pevnost, dobrá únavová odolnost a výborná odolnost vůči korozivním prostředím. Tato slitina se stala velmi populární v různých odvětvích průmyslu, včetně leteckého průmyslu, medicíny, automobilového průmyslu a průmyslové výroby. Hlavní složky slitiny Ti-6Al-4V jsou vybrány tak, aby maximalizovaly její mechanické vlastnosti a zajišťovaly stabilitu struktury při vysokých teplotách. Hliník zvyšuje pevnost a tvrdost slitiny, zatímco vanad přidává odolnost a houževnatost. Slitina se hojně využívá v medicíně, protože její vlastnosti jsou ideální pro lékařské aplikace. Jedním z hlavních důvodů využívání v medicíně je její vysoká biokompatibilita, což znamená, že tato slitina je dobře snášena lidským organismem a nezpůsobuje alergické reakce nebo záněty. Dále je odolná proti korozi, což je v medicíně klíčové pro zajištění dlouhodobého bezpečného používání například v implantátech. Tato slitina je také velmi pevná a odolná vůči opotřebení a mechanickému namáhání, což je důležité při stavbě protéz a nástrojů. Je široce využívána v ortopedii, stomatologii a pro výrobu implantátů, nástrojů a přístrojů, které musí být odolné, spolehlivé a bezpečné pro pacienta. [17, 20]

*Tabulka 1 - Složení slitiny Ti-6Al-4V [21]*

| Procentuální zastoupení prvků ve slitině Ti-6Al-4V |             |            |           |            |             |                      |
|--|-------------|------------|-----------|------------|-------------|----------------------|
| Al   | V           | Fe         | O         | C          | N           | Ti                   |
| 5,5 - 6,5 %  | 3,5 - 4,5 % | max. 0,3 % | max. 0,2% | max 0,08 % | max. 0,05 % | zbytek (cca 81-91 %) |

### 3.3.2. Slitina Ti-6Al-7Nb a její vlastnosti

Slitina Ti-6Al-7Nb, která se také řadí do kategorie  $\alpha+\beta$ , byla vyvinuta především pro medicínské použití jako náhrada za slitinu Ti-6Al-4V, protože vanad se může jevit jako cytotoxický. První výzkumy na slitině Ti-6Al-7Nb se zaměřovaly na její mechanické vlastnosti a biokompatibilitu. Postupem času byly provedeny další studie, které zkoumaly chemické složení, fyzikální vlastnosti a korozní odolnost této slitiny. Díky svým vlastnostem se Ti-6Al-7Nb stala preferovanou volbou pro různé lékařské implantáty a ortopedická zařízení. Tato slitina obsahuje přibližně 6 % hliníku a 7 % niobu, zatímco zbytek je tvořen titanem – přesné složení slitiny je uvedeno v tabulce č. 2 níže. Přítomnost hliníku a niobu vede k tvorbě pevného roztoku v titanu, což zlepšuje mechanické vlastnosti. Hliník zvyšuje pevnost a tvrdost slitiny, zatímco niob pomáhá zvyšovat korozní odolnost a biokompatibilitu, nevyvolává žádné výrazné imunitní nebo alergické reakce. Její povrch je schopen interagovat s tkání, které umožňuje rychlé a kvalitní hojení. Slitina je také inertní vůči biochemickým

procesům v těle a dlouhodobá přítomnost v organismu nezpůsobuje toxické účinky. V medicíně se také využívá výhoda nízké hustoty slitiny, která snižuje tlakovou zátěž na kostní tkáň a přispívá k rychlejší rehabilitaci pacientů. [17, 24, 25]

*Tabulka 2 - Složení slitiny Ti-6Al-7Nb [26]*

| Procentuální zastoupení prvků ve slitině Ti-6Al-7Nb, |             |             |           |            |             |                     |
|--|-------------|-------------|-----------|------------|-------------|---------------------|
| Al   | Nb          | Fe          | O         | C          | N           | Ti                  |
| 5,5 - 6,5 %  | 6,5 - 7,5 % | max. 0,25 % | max. 0,2% | max 0,08 % | max. 0,05 % | zbytek (cca 86-88%) |

### 3.3.3. Slitina Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo a její vlastnosti

Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo je titanová slitina, která obsahuje 6 % hmotnostního podílu hliníku, 2 % cínu, 4 % zirkonia a 2 % molybdenu. Je známá svými výjimečnými mechanickými vlastnostmi. Vykazuje vysokou pevnost a tvrdost, což ji činí ideální volbou pro aplikace vyžadující odolnost vůči mechanickému namáhání. Díky přítomnosti titanu a hliníku je tato slitina také lehká, což z ní dělá vhodnou pro použití ve vzdušném a kosmickém průmyslu. Příměsi zirkonia a molybdenu přispívají k vysoké teplotní odolnosti slitiny, čímž umožňují její použití v extrémních podmínkách. Korozní odolnost slitiny Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo je jednou z jejích klíčových vlastností. Vysoký obsah zirkonia a molybdenu vytváří pasivní ochrannou vrstvu na povrchu slitiny, která brání pronikání agresivních prostředí do materiálu a prodlužuje tak životnost slitiny. Využívá se v medicíně pro výrobu implantátů, pacemakerů a dalších lékařských nástrojů díky své biokompatibilitě a odolnosti proti koroznímu působení tělesných tekutin. [27, 28]

*Tabulka 3 - Složení slitiny Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo [29]*

| Procentuální zastoupení prvků ve slitině Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo |             |             |             |            |             |                     |
|---|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|---------------------|
| Al  | Sn          | Zr          | Mo          | O          | Fe          | Ti                  |
| 5,5 - 6,5 %   | 1,8 - 2,2 % | 3,6 - 4,4 % | 1,8 - 2,2 % | max 0,15 % | max. 0,25 % | zbytek (cca 84-87%) |

## 4. Biokompatibilita titanu

Titan je materiál s výbornou biokompatibilitou, která je dána jeho schopností minimalizovat negativní reakce v biologických tkáních. Při interakci s těmito tkáněmi dochází k tvorbě ochranné vrstvy oxidu, která podporuje hojení a integraci implantátu. Důležitou roli hraje i povrchová úprava materiálu, jako je například aplikace biokompatibilních povlaků nebo texturace povrchu ke zlepšení adheze a interakce s tkáněmi. Biokompatibilita titanu se testuje různými způsoby – nejznámější jsou testy *in vitro*, *in vivo* a klinické testování.

*In vitro* testování biokompatibility je důležitým krokem při posuzování reakce buněk na titanové materiály. Testy zahrnují expozici buněk titanovým vzorkům v laboratorních podmínkách (*in vitro* totiž můžeme přeložit jako „ve zkumavce“) a sledování jejich chování a reakcí. Tento typ testování umožňuje detailní zkoumání biokompatibility titanu na buněčné úrovni, které může poskytnout detailní informace o možných toxických nebo biokompatibilních vlastnostech materiálu. Výsledky *in vitro* testů mohou posloužit k predikci mezibiologických reakcí, které by mohly nastat při aplikaci titanu v těle člověka.

*In vivo* studie biokompatibility jsou klíčové pro posouzení reakce těla na titanové implantáty. Tyto studie se často zaměřují na zánětlivou reakci, hojení ran a integraci implantátu s okolními tkáněmi. Výsledky *in vivo* testů poskytují cenné informace o dlouhodobé biokompatibilitě a jeho bezpečnosti pro pacienty. Různé parametry, jako je oseointegrace u kostních implantátů nebo tkáňová reakce u měkkých tkání, jsou sledovány a analyzovány v různých typech živočichů, aby bylo možné o jeho biokompatibilitě získat komplexní povědomí.

Aktuální trendy ve výzkumu biokompatibility titanu se zaměřují na vývoj nových povrchových úprav, které zlepšují biologickou interakci titanu s tkáněmi a snižují riziko zánětů či rejekcí. Taky se zkoumá možnost kombinace titanu s různými biomolekulami či léčivými, které by podpořily regeneraci tkání a zlepšily proces hojení. Za zmínku stojí také vývoj biodegradovatelných titanových implantátů, které by se postupně rozkládaly v těle a eliminovaly potřebu druhé operace na jejich odstranění. [15, 17, 30, 31]

## 5. Titanové implantáty

Titanové implantáty jsou v současné době stále častěji využívány k nahrazení nebo opravě poškozených částí těla. Jsou využívány v mnoha oblastech medicíny, kde jejich vlastnosti umožňují efektivní léčbu různých onemocnění a poranění. Tyto implantáty jsou uplatňovány jak v ortopedii, tak i v stomatologii, neurochirurgii, kardiovaskulární medicíně a dalších oborech. Historie sahá až do počátku 20. století, kdy byly prováděny první experimenty s titanem v chirurgii. Průlomovým okamžikem pro vývoj těchto implantátů bylo objevení jejich biokompatibility a schopnosti spojení s kostní tkání. Od té doby prošly titanové implantáty rozsáhlým vývojem z hlediska tvarů, velikostí a specifických vlastností. Titanové implantáty se dělí dle aplikace, přičemž jednou z hlavních kategorií jsou ortopedické implantáty, které jsou využívány k náhradě kloubů nebo fixaci zlomenin kostí. Dále se setkáváme s dentálními implantáty, které slouží k nahrazení ztracených zubů a stabilizaci zubních protéz. Existují i titanové implantáty využívané v plastické chirurgii, neurochirurgii nebo veterinářství.

Proces výroby titanových implantátů se odehrává postupně ve více krocích. Iniciálně se vyrábějí slitiny titanu, které jsou následně upravovány do finálního tvaru prostřednictvím různých technologických postupů, jako jsou obrábění, tažení či lisování. Tyto tvarované materiály jsou pak vystaveny procesu tepelného zpracování, který je nezbytný pro zajištění jejich mechanické odolnosti a trvanlivosti. Finální fází je povrchová úprava implantátů, například pomocí anodické oxidace, což je klíčové pro zvýšení biokompatibility materiálu. [7, 17, 32]

## 6. Titanové implantáty využívané v ústní a čelistní chirurgii

Titanové implantáty se v ústní chirurgii používají k nahrazení chybějících zubů nebo jako podpora pro zubní náhrady. Využití titanu v zubním lékařství vychází z objevu Dr. Per-Ingvara Brånemarka, který jako první popsal oseointegraci – přímé propojení mezi kostí a titanovým povrchem. Tento zásadní objev nejenže zásadně změnil oblast zubních implantátů, ale také otevřel možnosti pro aplikaci titanu v ortodontických zařízeních (jako jsou například rovnátka). Implantáty jsou vyráběny buď z čistého titanu, nebo z jeho slitin s hliníkem nebo vanadem. Jelikož se dobře pokrývá vrstvou oxidů, tak má antibakteriální účinky. Jeho nevýhoda je však špatná odlévatelnost. Ústní prostředí je velmi náročné pro zubní implantáty a ortodontická zařízení, protože tam jsou značné výkyvy pH v důsledku konzumace různých potravin a nápojů. Kyseliny z potravin mohou ničit zubní sklovinu a potenciálně ovlivnit povrch zubních zařízení. Odolnost titanu proti korozi je proto zásadní, zabraňuje degradaci implantátu a zajišťuje dlouhodobou stabilitu. V zubním lékařství se používá jak komerčně čistý titan, tak i jeho slitiny.

*Komerčně čistý titan* – jeho výhodou je velká flexibilita, využití jako dočasné korunky nebo můstky, částečné protézy.

*Slitiny typu  $\beta$*  – jsou využívány primárně pro zubní dráty díky jejich mechanickým vlastnostem (hlavně díky jejich modulu pružnosti a deformovatelnosti).

*Ti-6Al-4V*: využívá se pro aplikace, které vyžadují vysokou pevnost – kostní desky, šrouby a držáky pro ortopedická zařízení.

*Nitinol* – využívá se vlastností tvarové paměti a superelastivity, vhodný pro ortopedické oblouky, ortodontické pružiny a expanzní zařízení. [33]

### 6.1. Zubní implantáty

Titanové zubní implantáty se staly standardem pro náhradu chybějících zubů, hlavně ve formě pilířů. Aplikace těchto pilířů zahrnuje jejich chirurgické umístění do čelistní kosti, kde se postupem času integrují s okolní kostní tkání a zvyšují tak svou stabilitu. Tato integrace vytváří pevný základ pro protetické zuby a obnovuje mechanickou sílu. Horní část implantátu (korunka) je vyrobená z keramických nebo kompozitních materiálů a zajišťuje estetiku a funkčnost. Zubní implantáty nejen zlepšují žvýkání a řeč, ale také zabraňují úbytku kostní hmoty, čímž přispívají k zachování struktury obličeje a celkového zdraví dutiny ústní. [33]

### 6.1.1. Endoseální implantáty

Endoseální implantáty, jinak taky nitrokostní, jsou typem titanových implantátů, které se umísťují přímo do kosti čelisti a slouží k upevnění zubních náhrad (obr. 5). Jsou nejrozšířenějšími zubními implantáty, můžeme je rozdělit do několika skupin, podle toho, jaký tvar a velikost má část, která se vpravuje přímo do kosti – žiletkové (vyráběny z oceli) a válcové (z titanu), a poté transmandibulární, diskové a bikortikální, které už se dnes tolik nepoužívají. Implantáty jsou navrženy tak, aby simulovaly přirozenou kostru zubu a umožnily pevné spojení mezi kostí a náhradou zubu. Díky tomu poskytují pacientům lepší funkci a estetiku než jiné typy implantátů. Proces aplikace endoseálních implantátů vyžaduje přesnou chirurgickou techniku a pečlivou předoperační přípravu. [34, 35, 36]



*Obrázek 5 - Zavedený endoseální implantát v horní čelisti místo chybějících horních řezáků [34]*

#### 6.1.1.1. Válcový implantát

V některé literatuře se také můžeme setkat s pojmem mrkvový implantát. Tento druh je nejrozšířenější a nejpoužívanější. Jedná se o válec o průměru 3-6 mm a délce 6-20 mm a můžeme ho rozdělit na dvě části – fixturu a abutment.

##### *Fixtura*

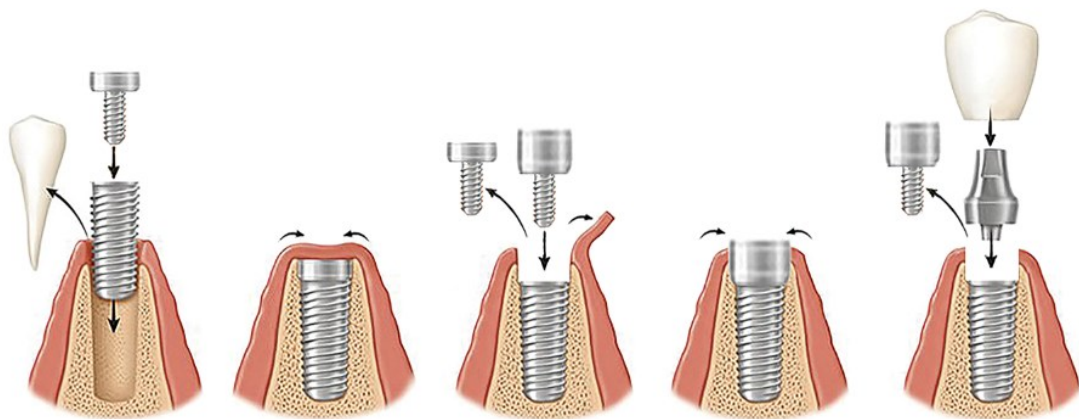
Neboli nitrokostní část implantátu. Je zavedená celá do čelistní kosti a je opatřena závitem. Má tvar válce a je proto ideální jako náhrada kořene zubu. Jak bylo výše zmíněno, hlavní způsob začlenění implantátu do kosti je oseointegrace, která je tím větší, čím větší je hrubost povrchu. Povrchová úprava titanových implantátů hraje klíčovou roli v procesu oseointegrace. Různé druhy povrchových úprav, jako je například aplikace speciálních povrchových vrstev (pokrývání hydroxyapatitem) nebo mikrostrukturace, mohou významně

ovlivnit schopnost implantátů růst do kostní tkáně. Správná povrchová úprava může zlepšit adhezi buněk k implantátu a podpořit lepší výsledky oseointegrace. Proto je důležité pečlivě vybírat povrchovou úpravu v závislosti na konkrétních klinických potřebách a individuálních charakteristikách pacienta. Povrchové úpravy jsou také důležité, protože v ústním prostředí se vyskytují bakterie, které se mohou usazovat na povrchu a vytvářet tak biofilmy. Právě tyto úpravy snižují riziko tvorby těchto filmů. Kvůli těmto potřebným úpravám jsou titanové implantáty ve srovnání například s ocelí drahé.

#### *Abutment*

Neboli spojovací část implantátu (zvaný pilíř nebo podpěra). Je nasazován na fixturu a vyčnívá do ústní dutiny. Abutment je pak jakousi imitací zubu nad dásní, na kterou se následně našroubuje buď provizorní plastová korunka (suprakonstrukce), nebo keramická, která je trvalá.

Válcové implantáty se aplikují ve dvou fázích (obr. 6). Nejdříve se chirurgicky zavede fixtura do předem vytvořeného otvoru v čelistní kosti. Doba vhojení trvá přibližně 3-4 měsíce, pokud je implantát zaveden do mandibuly (dolní čelist), pokud je implantát zaveden do maxily (horní čelist) tak rekonvalescence může trvat až 6 měsíců. Během této doby dochází k oseointegraci. Po skončení této doby následuje druhá chirurgická fáze, kdy se fixtura spojí s dutinou ústní vhojovacím válečkem, který se po vytvoření slizniční manžety nahradí abutmentem, na který se našroubuje keramická korunka. [35, 37, 38, 39]

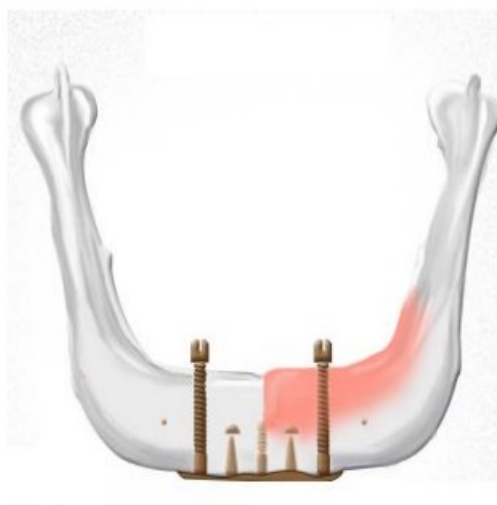


*Obrázek 6 - Implantace válcového implantátu [36]*

#### **6.1.1.2. Transmandibulární implantát**

Transmandibulární implantáty (obr. 7) jsou technicky náročné a jejich zavedení vyžaduje celkovou anestezii. Skládají se z bazální desky umístěné na spodní části dolní čelisti, ze které do ústní dutiny vyčnívají titanové čepy nesoucí suprakonstrukci. Deska se

nachází pouze mezi foramina mentale (dva malé otvory nacházející se na přední části dolní čelisti) a umožňuje upevnění můstku nebo hybridní náhrady. [35]



*Obrázek 7 - Transmandibulární implantát [40]*

### **6.1.2. Subperiostální implantáty**

Tyto implantáty (obr. 8) se zavádějí mezi dásně a čelistní kost, do které ale nedosahuje. Toto umístění umožňuje stabilní fixaci u pacientů s nedostatečnou kostní rezervou nebo s problémy kvalitou kosti. Tento typ implantátů je ideální pro pacienty, kteří nejsou vhodnými kandidáty pro endoseální implantáty kvůli nedostatečné výšce kosti nebo při atrofii čelistní kosti. Jsou zhotovovány na základě otisku kosti. Konstrukce bývá často rozšířena a zasahuje tak i do okolních oblastí kolem místa zamýšlené implantace budoucího zubu. Subperiostální implantáty umožňují upevnění zubních náhrad s minimálními chirurgickými zákroky a představují alternativu ke kostním štěpům nebo transplantacím kostí. Pro dosažení optimálních výsledků vyžaduje tento typ implantátů důkladné předoperační plánování a precizní chirurgický postup. [35, 40, 41]



*Obrázek 8 - Subperiostální implantát [40]*

## 6.2. Čelistní implantáty

V ortopedické čelistní chirurgii se titan používá k výrobě náhrad kostí, fixačních šroubů a dlah pro léčbu zlomenin a degenerativních onemocnění. Jeho vysoká pevnost a biokompatibilita umožňuje úspěšné rehabilitace a dlouhodobou stabilitu a funkci kostí. Titanové ortopedické implantáty jsou klíčovým nástrojem pro obnovu funkce a pohyblivosti čelistí po chirurgických zákrocích. Možnosti náhrady čelistní kosti zahrnují autologní transplantaci, alogenní transplantaci a použití syntetických materiálů. Tyto metody jsou využívány k obnově a rekonstrukci čelistní kosti v případě ztráty z různých důvodů. Každá možnost má své vlastní výhody a nevýhody a vhodnost volby závisí na konkrétní situaci a potřebách pacienta.

### *Autologní transplantace*

Je to metoda náhrady čelistní kosti, při které je tělo pacienta zdrojem kostní tkáně pro transplantaci. Tato metoda je vhodná pro regeneraci kostní tkáně s minimálním rizikem odmítnutí, protože kostní tkáň pochází z vlastního těla pacienta. Mezi nevýhody patří nutnost druhé chirurgické oblasti pro získání kostní tkáně a delší doba hojení.

### *Alogenní transplantace*

Postup, při kterém je čelistní kost nahrazena kostní tkání získanou od dárce. Tato metoda eliminuje potřebu druhé chirurgické oblasti pro získání transplantátu, ale může vést k riziku odmítnutí transplantované tkáně. Je také důležité provést pečlivou shodu mezi dárce a příjemcem kostní tkáně, aby se minimalizovalo riziko komplikací.

### *Transplantace využívající syntetické materiály*

Syntetické materiály pro náhradu čelistní kosti jsou umělé materiály, které jsou navrženy tak, aby co nejlépe simulovaly strukturu a funkci skutečné kostní tkáně. Tyto materiály mají výhodu, že není nutné provádět druhou chirurgickou oblast pro získání transplantátu a mohou být lépe přizpůsobeny potřebám pacienta. Avšak mohou být spojeny s rizikem infekce nebo odmítnutí tělem. [42, 43]

### 6.2.1. Náhrada čelistního kloubu

Čelistní kloub, jinak také kloub temporomandibulární (TMK), zajišťuje spojení mezi dolní čelistí a lebeční spodinou. Toto spojení je zajištěno pomocí kloubních plotének, které zajišťují pohyb ústy. I když je TMK rozměrově malý, je to jeden z nejsložitějších a nejvíce namáhaných kloubů v lidském těle. Indikace pro totální náhradu čelistního kloubu zahrnují pokročilá stadia artrózy čelistního kloubu, traumatická poranění, resekce kloubních hlavice nebo selhání předchozích operací. Kontraindikace mohou zahrnovat aktivní infekce v oblasti

kloubu, nedostatečnou kostní kvalitou, neurologické poruchy nebo výraznou nedostatečnou funkčnost čelistních svalů. Je důležité podrobně vyhodnotit každého jednotlivého pacienta, aby bylo možné správně posoudit vhodnost totální náhrady čelistního kloubu. V ortopedii jsou vlastnosti titanu důležité pro jeho schopnost odolávat nárokům a povaze pohybu čelistních kloubů. Díky své hladké povrchové struktuře se snižuje opotřebení protézy a zvyšuje se dlouhodobá spolehlivost. [42, 44]

#### **6.2.1.1. Titanový implantát vytvořený pomocí 3D tisku**

Ve spolupráci Nizozemského onkologického institutu a společnosti Mobius 3D Technology byla po několikaletém výzkumu poprvé implantována pacientovi s rakovinou hlavy a krku titanová spodní čelist, která byla vytvořena pomocí 3D tisku (obr. 9). Tyto implantáty jsou vyrobeny především z titanové slitiny Ti-6Al-4V. Nádory v oblasti spodní čelisti se často léčí odstraněním části čelistní kosti (mandibuly). Pokud je to možné, mandibula se rekonstruuje kostí z jiného místa těla, obvykle z lýtkové kosti. Nevýhodou těchto rekonstrukčních metod je jejich složitost, potřeba cévních anastomóz a komplikace v místě dárcovské kosti. Čelist byla kompletně rekonstruována na základě 3D MRI a CT skenů pacienta. Nová 3D tištěná mandibula přesně odpovídá defektu, má tvar a váhu původní mandibuly. Implantát je mnohem silnější díky optimálnímu rozložení sil a vylepšené technice upevnění. Má mřížkovou strukturu uvnitř, která zajišťuje, že je lehký a zároveň pevný, a implantát již nemůže prasknout. Díky inovativní orientaci fixačních šroubů zůstává implantát pevně na místě a tlak na sliznici nebo kůži je rovnoměrněji rozložen. 3D tištěné implantáty mají několik výhod oproti klasickým transplantacím, několik z nich je zmíněno níže.

##### *Estetická stránka výkonu*

Jednou z hlavních výhod 3D tištěných implantátů mandibuly je jejich schopnost zajistit estetický výsledek. Po rekonstrukci mandibuly často hrozí, že pacienti zůstanou s deformovaným obličejem a viditelnými jizvami, což může negativně ovlivnit jejich duševní stav. 3D tištěné implantáty však umožňují obnovit původní obličejovou strukturu, čímž zvyšují sebevědomí pacientů a umožňují jim vést běžný život.

##### *Perfektní přizpůsobení implantátu*

Díky technologii 3D tisku je možné navrhnout implantáty mandibuly přesně podle anatomie pacienta. Perfektní přizpůsobení těchto implantátů umožňuje pacientům zachovat přirozené ústní pohyby při jídle a žvýkání, což představuje významný úspěch v rekonstrukci čelisti.

### *Rychlá rekonvalescence*

Další výhodou je zvýšená přesnost rekonstrukce mandibuly. 3D tištěný implantát vytvořený specificky pro pacienta eliminuje potřebu štěpu kosti a zkracuje dobu zotavení o několik měsíců. Tím se snižuje riziko zánětu a pacientovi se umožňuje mnohem rychlejší zotavení.

### *Kratší doba operace*

Tradiční volně prováděná chirurgie je náročný zákrok, který často vyžaduje ohýbání a modelování implantátů standardní velikosti přímo na operačním stole, aby se přizpůsobily anatomii pacienta. To prodlužuje dobu operace, což znamená, že pacient musí strávit více dní na jednotce intenzivní péče nebo v nemocnici. S 3D tištěnými implantáty operace trvá jen několik hodin a doba zotavení je výrazně kratší.

### *Přesná resekce (vyříznutí části kosti)*

3D tištěné implantáty činí rekonstrukční chirurgii pro pacienty méně bolestivou. Pokud má pacient například nádor na dolní čelisti a je nutná rekonstrukční chirurgie, lékaři musí odstranit nádor, což často vyžaduje odstranění levé strany čelisti, včetně mnoha zubů. Díky 3D vizualizaci mohou lékaři přesně vidět problém. Mohou vytvořit 3D tištěné chirurgické šablony a titanové destičky pro přesnou rekonstrukci čelisti. Čelist může být následně rekonstruována pomocí části pacientovy lýtkové kosti. Zatímco tradiční rekonstrukce čelisti obvykle vyžaduje několik operací, technologie 3D tisku umožňuje provést vše najednou, což způsobuje menší poškození pacienta. [45, 46]



*Obrázek 9 - Titanová spodní čelist vytvořena pomocí 3D tisku [44]*

## 7. Titanové implantáty využívané v obličejové chirurgii

Obličejová chirurgie se zabývá léčbou poranění, vývojových anomálií a estetických problémů obličeje. V posledních desetiletích zaznamenala obrovský technologický pokrok, který umožňuje využití titanových implantátů jako standardní metody léčby. První klinické využití titanových implantátů bylo při léčbě zlomenin kostí a následně se rozšířilo i do oblasti obličejové chirurgie. Patří sem například titanové destičky, šrouby, dráty nebo síťky. Díky své vysoké odolnosti, nízké hmotnosti a schopnosti srůstat s tkáněmi se titan stal součástí chirurgické praxe v léčbě obličejových poranění a deformací. Indikace pro použití titanových implantátů v obličejové chirurgii zahrnují například fraktury obličejových kostí, kde je nutné obnovit anatomickou strukturu kostí a stabilizovat je. [47]

### 7.1. Titanové destičky

Titanové minidestičky (obr. 10) se běžně používají při léčbě maxilofaciální osteosyntézy (chirurgický postup používaný k fixaci a stabilizaci kostí obličeje a čelisti po zlomeninách nebo jiných poraněních). Jsou využívány v případech, kdy je potřeba zajistit přesné spojení pohnutých kostí. Mimo léčbu zlomenin obličejových kostí se titanové destičky využívají i v ortognátní chirurgii při korekci obličejových deformací. Pokrok v oblasti 3D tisku a počítačem asistované chirurgie přinesl nové možnosti v používání titanových destiček. Systémy umožňují vytváření pacient-specifických implantátů a nástrojů, což zvyšuje přesnost a efektivitu chirurgických zákroků. Titanové destičky jsou ke kosti připevněny pomocí šroubů, které jsou také vyrobeny z titanu, popřípadě jeho slitin. Destičky a šrouby jsou umístěny na kost přes řezy v ústech nebo přes záhyby kůže na obličeji. [48, 49]



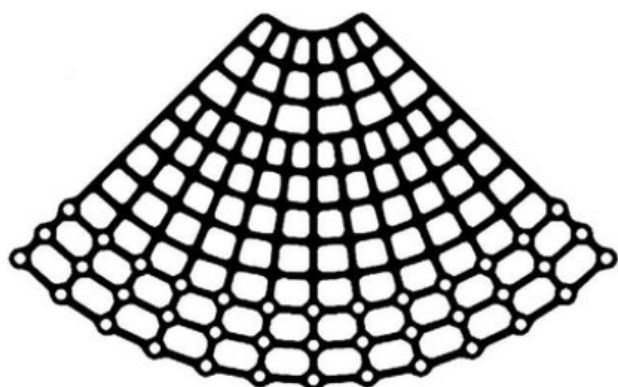
Obrázek 10 - Titanové destičky umístěné na kostech [48]

## 7.2. Titanové síťky

Jinak také titanová mřížka (obr. 11). Je vyrobena ze slitiny Ti-6Al-4V. a používá se k opravě defektů lebky, které vznikly v důsledku traumatu, zranění nebo chirurgického zákroku. Tato síťka poskytuje strukturální podporu a pomáhá obnovit tvar a integritu lebky. Je individuálně přizpůsobena konkrétnímu defektu a zajišťuje přesnou a bezpečnou rekonstrukci. Dále se využívá v kranioplastice, což je chirurgický postup při výměně části lebky. Jedno z největších uplatnění má titanová síťka při rekonstrukci spodiny očníce (obr. 12). Výhodou titanových sítěk je také jejich odolnost vůči mechanickému zatížení a možnost tvarovat je dle konkrétních potřeb a anatomie pacienta, což zvyšuje úspěšnost léčby a obnovení původního pohybu.

Při výrobě titanových sítěk se využívají různé techniky, které zahrnují laserové řezání, elektrojiskrové obrábění, chemickou erozi nebo 3D tisk. Laserové řezání je oblíbenou metodou pro výrobu titanových sítěk, kde je možné dosáhnout přesných a jemných řezů. Elektrojiskrové obrábění je také často používanou metodou, která umožňuje tvarování materiálu podle specifických požadavků. Chemická eroze je další technikou, která umožňuje výrobu titanových sítěk s velmi jemnými a detailními strukturami. 3D tisk se stává stále populárnější volbou pro výrobu titanových sítěk díky své schopnosti vytvářet komplexní geometrické tvary.

Mimo obličejovou chirurgii se titanové síťky hojně využívají v kardiovaskulární medicíně. Síťky jsou vhodné pro aplikace ve stentování a využívají se jako stenty při léčbě cévních onemocnění. Jsou schopny podporovat a udržovat průchodnost cév, což je klíčové pro zlepšení prokrvení a minimalizaci rizika krevních sraženin. Díky svým vlastnostem představují titanové stenty účinnou a trvanlivou léčebnou metodu pro pacienty trpící kardiovaskulárními onemocněními. [50, 51, 52]



Obrázek 11 - Titanová síťka [53]



Obrázek 12 - Titanová síťka v rekonstrukci očníce [53]

## **8. Titanové implantáty ve spondylochirurgii**

Spondylochirurgie je obor chirurgie zaměřený na léčbu onemocnění páteře a míchy. Tento obor se zabývá chirurgickým řešením degenerativních onemocnění, traumatických zranění, nádorů, deformit a dalších stavů páteře. Jedná se o velmi specifickou oblast chirurgie vyžadující odborné znalosti a specializované vybavení.

Historie spondylochirurgie sahá tisíce let zpět, kdy lidé prováděli jednoduché chirurgické zákroky na páteři. Avšak moderní spondylochirurgie začala nabývat na významu až ve 20. století s rozvojem chirurgických technik a technologií. S postupem času došlo k výraznému pokroku v oblasti nástrojů, implantátů a postupů, což umožňuje pacientům získat lepší výsledky a rychlejší rehabilitaci.

Titan se ve spondylochirurgii využívá jako materiál pro různé typy implantátů a nástrojů díky své biokompatibilitě a pevnosti. Může být použit pro výrobu náhrad meziobratlových plotének, které pomáhají obnovit pohyblivost krčních, hrudních nebo bederních obratlů. Dále se titan využívá při fixaci obratlů pomocí šroubů a hřebů, které zajišťují stabilizaci páteře při chirurgickém zákroku. [54, 55]

### **8.1. Náhrady meziobratlových plotének**

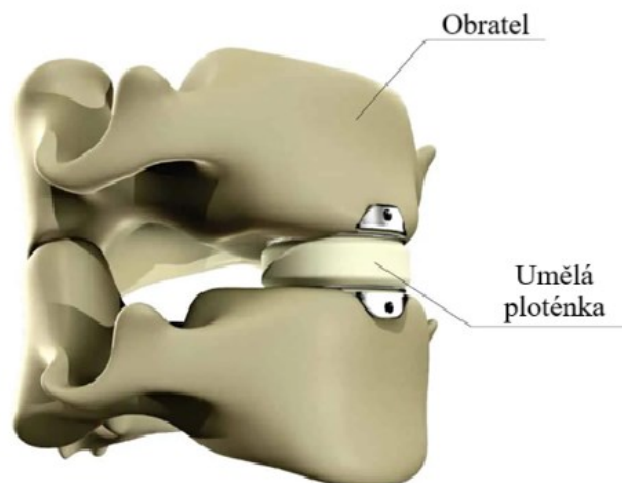
Meziobratlové ploténky fungují jako tlumiče nárazů mezi jednotlivými obratli páteře, což umožňuje flexibilitu a pohyblivost. Degenerace plotének může vést k bolestem zad a omezené pohyblivosti. Operace, při níž dochází k výměně meziobratlové ploténky, může být zvažena, pokud se bolest zad nezlepší konzervativní léčbou. Ne každý, kdo pociťuje bolesti i po vyzkoušení nechirurgických metod, je vhodným kandidátem na operaci. Kromě přetrvávající bolesti musí být zdrojem potíží jedna nebo dvě degenerativní ploténky, což se určuje pomocí diagnostických testů a fyzického vyšetření. Pro pacienty, kteří splňují tato a další kritéria, zůstává bederní fúze nejčastější možností léčby bolesti zad. Fúze je proces spojování obratlů tak, aby se uzdravily jako jedna pevná kost, čímž se eliminuje bolestivý pohyb. Existuje několik různých náhrad plotének, z nichž každá je unikátní, ale všechny se snaží nahrazovat velikost a funkci normální meziobratlové ploténky. Některé ploténky jsou vyrobeny z kovu, zatímco jiné jsou kombinací kovu a plastu, podobně jako náhrady kloubů v koleně a kyčli. Používané materiály zahrnují jak lékařský plast (polyetylen) a lékařskou slitinu kobaltu a chromu, tak především titan (obr.13). Titanové meziobratlové ploténky mají několik výhod, jako je vysoká pevnost, nízká hmotnost, odolnost vůči korozi a schopnost propustit rentgenové paprsky. Nicméně, nevýhodou titanových meziobratlových plotének

může být vyšší cena a obtíže s možnou revizí v případě nutnosti. Většina pacientů může očekávat zlepšení bolesti zad a snížení disabilit v týdnech až měsících po operaci. Výměna ploténky ale bohužel nezajišťuje kompletní odstranění bolesti.

Budoucnost vývoje meziobratlových plotének z titanu je zaměřena na neustálé inovace a zlepšování vývoje meziobratlových implantátů. Jednou z oblastí je vylepšení designu a struktury plotének, aby byly ještě lépe přizpůsobeny anatomii páteře a zároveň poskytovaly maximální podporu a stabilitu. S rozvíjejícím se 3D tiskem se do budoucnosti předpokládá výroba komplexnějších a ještě přesnějších plotének. [56, 57]



Obrázek 13 - Titanová meziobratlová ploténka [57]



Obrázek 14 - Titanová ploténka vložená mezi obratle [57]

## 8.2. Titanové šrouby a tyče

Titanové tyče a šrouby hrají klíčovou roli ve spondylochirurgii. Tyto implantáty jsou nezbytné pro stabilizaci páteře, podporu hojení a obnovu funkce páteře po různých typech operací. Titanové implantáty se používají k nápravě deformit páteře (obr. 18), jako je skolióza nebo kyfóza. Stabilizace páteře umožňuje správné zarovnání a podporuje hojení v požadované poloze. Titanové tyče a šrouby jsou zásadními komponentami při chirurgické léčbě skoliózy. Skolióza je deformita páteře charakterizovaná abnormálním laterálním zakřivením. Chirurgický zákrok, jehož cílem je narovnat a stabilizovat páteř, často zahrnuje použití titanových implantátů. Jsou navrhovány tak, aby odpovídali potřebám pacienta. Tyče musí mít skvělou tvárnost, aby je chirurg mohl jakkoliv tvarovat. Pro zlepšení biokompatibilních vlastností se tyče mohou speciálně povrchově upravovat. Šrouby slouží k připevnění tyčí k páteři a je jich několik druhů. Pedikulární šrouby (obr. 15) jsou navrženy tak, aby byly zavedeny do pediklů obratlů, což poskytuje pevnou fixaci. Jsou vyráběny v různých průměrech a délkách, aby odpovídaly velikosti obratlů a anatomii pacienta. Polyaxiální šrouby (obr. 16) umožňují určitý stupeň pohyblivosti hlavy šroubu vůči jeho tělu, což usnadňuje správné umístění tyčí a jejich uchycení. Monoaxiální šrouby (obr. 17) jsou pevné a poskytují stabilnější fixaci tam, kde je potřeba pevné uchycení bez pohyblivosti.

Titanové šrouby se v léčbě skoliózy často porovnávají s kovovými a polymerovými alternativami. Kovové šrouby mají výhodu větší pevnosti, ale mohou způsobit alergické reakce a interferovat s magnetickou rezonancí. Na druhou stranu polymerní šrouby jsou lehčí a méně náchylné k alergiím, ale mají nižší mechanickou pevnost. Titanové šrouby se nacházejí někde mezi těmito dvěma alternativami, nabízejí dobrý kompromis mezi pevností a biokompatibilitou. Jejich dlouhodobé chování v těle je příznivé a mají menší výskyt komplikací než jiné materiály, což je důležité pro úspěšnost léčby skoliózy. [58, 59, 60]



Obrázek 15 - Pedikulární šroub [61]



Obrázek 16 -  
Polyaxiální šroub [62]



Obrázek 17 -  
Monoaxiální  
šroub [63]



Obrázek 18 - Korekce deformace páteře pomocí tyčí a šroubů

## Závěr

Titan se díky svým vlastnostem stal nedílnou součástí dnešní medicíny. Tato práce se zaměřila na odvětví ústní, čelistní, obličejové chirurgie a spondylochirurgie.

Jedním z nejvýznamnějších aspektů titanu a jeho slitin je jejich biokompatibilita. Titan je považován za materiál, který tělo velmi dobře snáší, což snižuje riziko imunitních reakcí a zánětů. Kromě toho je titan odolný vůči korozi, což je klíčové pro dlouhodobou stabilitu implantátů v těle. Tyto vlastnosti činí titan a jeho slitiny ideálním materiálem pro medicínské aplikace, kde je vyžadována dlouhodobá spolehlivost a bezpečnost. Korozivzdornost titanu je velmi důležitá hlavně v prostředí lidského těla, které velmi snadno může způsobit korozi mnoha jiných materiálů.

V oblasti ústní, čelistní a obličejové chirurgie je titan a jeho slitiny využíván nejen při náhradě chybějících jednotlivých zubů, ale také pro transplantaci celých kostí nebo kloubů, které byly deformovány různými vlivy, jako jsou úrazy nebo různá traumata. Titanové implantáty jsou úspěšné díky své schopnosti oseointegrace, což je proces, kdy kostní tkáň přirozeně srůstá s povrchem implantátu. Tento proces minimalizuje riziko odmítnutí implantátu a zvyšuje jeho dlouhodobou stabilitu. Díky těmto vlastnostem mohou pacienti s titanovými implantáty dosáhnout vysoké kvality života s minimálními komplikacemi. Titanové slitiny navíc umožňují výrobu velmi přesných a individuálně přizpůsobených implantátů, což je klíčové pro úspěch rekonstrukčních operací v oblasti obličeje a čelistí.

V oblasti spondylochirurgie, což je specializace zaměřená na chirurgické zákroky na páteři, jsem se zaměřila na použití titanových tyčí a šroubů při operacích skoliózy a dalších páteřních deformit. Díky svým mechanickým vlastnostem a schopnosti podporovat přirozený pohyb páteře jsou titanové implantáty nezbytné pro korekce páteře a stabilizace obratlů.

Titan a jeho slitiny představují základní stavební kámen moderní medicíny. Díky neustálému výzkumu a technologickému pokroku se možnosti využití titanu dále rozšiřují, což přináší nové perspektivy a zlepšení léčebných postupů. Budoucnost medicínálního využití titanu je velmi slibná a očekává se, že jeho role bude nadále růst s objevováním nových aplikací a zdokonalováním stávajících technologií.

## Použitá literatura

- [1] Titanium and titanium alloys: fundamentals and applications. Editor Christoph LEYENS, editor M. PETERS. Weinheim: Wiley-VCH, 2003. ISBN 3527305343.
- [2] Kámen rutil – přírodní surový minerál. Online. Drahé kameny online. 2024. Dostupné z: <https://www.drahekamenyonline.cz/rutil/>. [cit. 2024-04-03].
- [3] Ilmenit. Online. Energetické kameny. 2024. Dostupné z: <https://www.energetickekameny.cz/krystalove-vyznamy/mineraly-podle-barev/cerna-je-barvou-smutku-boreni-a-znovunastoleni/ilmenit/>. [cit. 2024-04-03].
- [4] Minerály Petřvald – léčivé květy z hlubin Země. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.mineralypetrvald.cz/Titanit.html>. [cit. 2024-05-16].
- [5] Drahokams. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.drahokams.com/produkt/perovskit-3/>. [cit. 2024-05-16].
- [6] BALATU, Madalina Simona a VIZUREANU, Petrica. Titanium-Based Alloys for Biomedical Applications. 74. Materials Research Forum, 2020. ISBN 2471-8890.
- [7] BRODSKÝ, Petr. Obrábění titanových slitin moderními nástroji. Online, Diplomová práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2020. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/90075/F2-DP-2020-Brodsky-Petr-Diplomova%20prace.pdf?sequence=-1>. [cit. 2024-04-03].
- [8] Titan, jeho slitiny a intermetalika pro biologické a průmyslové aplikace. Online, Bakalářská práce. Brno: Vysoké technické učení v Brně, 2013. Dostupné z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=67908](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=67908). [cit. 2024-04-17].
- [9] LÍPA, Václav. Kompozity s kovovou maticí vyráběné technologií odlévání. Online, Diplomová práce. Praha: Vysoké učení technické v Praze, 2022. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/103892>. [cit. 2024-04-23].
- [10] KRCHOVÁ, Michaela. Hodnocení buněčného chování v závislosti na odlišné mikro/nanostrukturaci povrchu slitin titanu. Online, Diplomová práce. Brno: Masarykova univerzita, 2022. Dostupné z: [https://is.muni.cz/th/kpot7/Pro\\_VEREJNOST\\_DP\\_Krchova\\_final.pdf](https://is.muni.cz/th/kpot7/Pro_VEREJNOST_DP_Krchova_final.pdf). [cit. 2024-04-23].

- [11] TOUŽÍN, Jiří. Stručný přehled chemie prvků. 1. Knihovnicka.cz. Brno: Tribun EU, 2008. ISBN 978-80-7399-527-0.
- [12] SEDLÁČEK, Vladimír. Titan a jeho slitiny: výroba, zpracování a použití: výroba, zpracování a použití. Řada hutnické literatury. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963.
- [13] DONACHIE, Matthew J. Titanium: a technical guide. 2nd ed. Materials Park: ASM International, 2000. ISBN 08-717-0686-5.
- [14] KLAPKOVÁ, Alena. Mechanické vlastnosti titanových slitin. Bakalářská práce. Brno: VUT Brno, 2012.
- [15] MAMRILLA, Dávid Mamrilla. Návrh a výroba přípravků pro technologické zkoušky SPM leštění. Bakalářská práce. Praha: ČVUT v Praze, 2019.
- [16] BOCCHETTA, Patrizia; CHEN, Liang-Yu; TARDELLI, Juliana Dias Corpa; REIS, Andréa Cândido dos; ALMERAYA-CALDERÓN, Facundo et al. Passive Layers and Corrosion Resistance of Biomedical Ti-6Al-4V and  $\beta$ -Ti Alloys. Online. Coatings. 2021, roč. 11, č. 5, s. 487. ISSN 2079-6412. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/coatings11050487>. [cit. 2024-04-28].
- [17] KLIMTOVÁ, Kristýna. VYUŽITÍ ANORGANICKÝCH MATERIÁLŮ PRO VÝROBU KLOUBNÍCH NÁHRAD A IMPLANTÁTŮ V MEDICÍNĚ. Online, Bakalářská práce. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2023. Dostupné z: [https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/82008/KlimtovaK\\_VyuzitiAnorganickych\\_MB\\_2023.pdf?sequence=1](https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/82008/KlimtovaK_VyuzitiAnorganickych_MB_2023.pdf?sequence=1). [cit. 2024-04-28].
- [18] SEMIATIN, S. L. An Overview of the Thermomechanical Processing of  $\alpha/\beta$  Titanium Alloys: Current Status and Future Research Opportunities. Online. Metallurgical and Materials Transactions A. 2020, roč. 51, č. 6, s. 2593-2625. ISSN 1073-5623. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11661-020-05625-3>. [cit. 2024-05-16].
- [19] GUO, Baoqi a JONAS, John J. Dynamic transformation during the high temperature deformation of titanium alloys. Online. Journal of Alloys and Compounds. 2021, roč. 884, č. 10, s. 138047. ISSN 09258388. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.161179>. [cit. 2024-05-16].
- [20] PITCHI, Chennakesava Sai; PRIYADARSHINI, Amrita; SANA, Ganesh a NARALA, Suresh Kumar Reddy. A review on alloy composition and synthesis of  $\beta$ -Titanium alloys for biomedical applications. Online. Materials Today: Proceedings. 2020, roč. 26, č. 2, s. 3297-3304. ISSN 22147853. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.468>. [cit. 2024-05-16].

- [21] *CYNFM*. Online. 2024. Dostupné z: <http://cz.cynfm.com/>. [cit. 2024-06-08].
- [22] BERAN, Petr. Hodnocení mikrostruktury 3D tištěné slitiny TiNbTaSn po tepelném zpracování. Online, Bakalářská práce. Praha: Vysoké učení technické v Praze, 2022. Dostupné z: [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/103620/F2-BP-2022-Beran-Petr-BP\\_Beran\\_Hodnoceni\\_mikrostruktury\\_3D\\_tistene\\_slitiny\\_TiNbTaSn\\_po\\_Tepelnem\\_zpracovani.pdf?sequence=-1](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/103620/F2-BP-2022-Beran-Petr-BP_Beran_Hodnoceni_mikrostruktury_3D_tistene_slitiny_TiNbTaSn_po_Tepelnem_zpracovani.pdf?sequence=-1). [cit. 2024-04-28].
- [23] WILLIAMS, James C. a BOYER, Rodney R. Opportunities and Issues in the Application of Titanium Alloys for Aerospace Components. Online. *Metals*. 2020, roč. 10, č. 6, article 705. ISSN 2075-4701. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/met10060705>. [cit. 2024-05-17].
- [24] HEIN, Maxwell; KOKALJ, David; LOPES DIAS, Nelson Filipe; STANGIER, Dominic; OLTMANN, Hilke et al. Low Cycle Fatigue Performance of Additively Processed and Heat-Treated Ti-6Al-7Nb Alloy for Biomedical Applications. Online. *Metals*. 2022, roč. 12, č. 1, s. 122. ISSN 2075-4701. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/met12010122>. [cit. 2024-04-28].
- [25] ASHIDA, Maki. Effects of High-Pressure Torsion on Mechanical Properties of Biocompatible Ti-6Al-7Nb Alloy. Online. *MATERIALS TRANSACTIONS*. 2023, roč. 64, č. 8, s. 1784-1790. ISSN 1345-9678. Dostupné z: <https://doi.org/10.2320/matertrans.MT-MF2022045>. [cit. 2024-04-28].
- [26] *BojiMetal*. Online. 2024. Dostupné z: <https://cz.bojimetal-ti.com/>. [cit. 2024-06-08].
- [27] ZÁSTAVA, Vojtěch. Vliv orientace krystalografických zrn na oxidaci beta-titanových slitin. Online, Diplomová práce. Praha: Vysoké učení technické v Praze, 2020. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/89804/F2-DP-2020-Zastava-Vojtech-Vliv%20orientace%20krystalograficky%20zrn%20na%20oxidaci%20beta-titanovych%20slitin.pdf?sequence=-1>. [cit. 2024-05-15].
- [28] ŽILINSKÝ, Martin. PŘÍPRAVA OBJEMOVÝCH MATERIÁLŮ NA BÁZI MG-TI METODAMI PRÁŠKOVÉ METALURGIE. Online, Diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2020. Dostupné z: [https://theses.cz/id/aeqy68/Diplomov\\_prce\\_ilinsk.pdf](https://theses.cz/id/aeqy68/Diplomov_prce_ilinsk.pdf). [cit. 2024-05-15].
- [29] *Weldaloy*. Online. 2024. Dostupné z: <https://weldaloy.com/>. [cit. 2024-06-08].

- [30] ALBRECHTOVÁ, Barbara. *IN VITRO METODY A JEJICH RELEVANCE VŮČI SITUACI IN VIVO – NOVÉ TRENDY V EXPERIMENTECH S TKÁŇOVÝMI KULTURAMI*. Online, Bakalářská práce. Brno: Masarykova univerzita, 2013. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/q4j6c/BPHDIS.pdf>. [cit. 2024-05-29].
- [31] JONÁKOVÁ, Miroslava. *Medicínální použití titanu*. Online, Bakalářská práce. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2017. Dostupné z: [https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/69054/JonakovaM\\_MedicinalniPouziti\\_PN\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/69054/JonakovaM_MedicinalniPouziti_PN_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [cit. 2024-05-29].
- [32] SOKL, Antonín. *Druhy stentů a jejich využití v oblasti medicíny*. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2017.
- [33] MARIN, Elia a LANZUTTI, Alex. Biomedical Applications of Titanium Alloys: A Comprehensive Review. Online. *Materials*. 2024, roč. 17, č. 1, s. 114. ISSN 1996-1944. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ma17010114>. [cit. 2024-06-08].
- [34] *Současná implantologie*. Online. In: Angis. 2020. Dostupné z: <https://www.angis.cz/soucasna-implantologie/>. [cit. 2024-06-13].
- [35] *Zubní implantát*. Online. In: WikiSkripta. 2022. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Zubni%AD\\_implant%A1t](https://www.wikiskripta.eu/w/Zubni%AD_implant%A1t). [cit. 2024-06-13].
- [36] JIANG, Xunyuan; YAO, Yitong; TANG, Weiming; HAN, Dongmei; ZHANG, Li et al. Design of dental implants at materials level: An overview. Online. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*. 2020, roč. 108, č. 8, s. 1634-1661. ISSN 1549-3296. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/jbm.a.36931>. [cit. 2024-06-13].
- [37] *Válcový implantát*. Online. WikiSkripta. 2020. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/V%Alcov%BD\\_implant%A1t](https://www.wikiskripta.eu/w/V%Alcov%BD_implant%A1t). [cit. 2024-06-13].
- [38] *Jaké jsou druhy implantátů?* Online. Zubní implantáty. 2021. Dostupné z: <https://zubni-implantaty.com/vse-o-implantatech/druhy-implantatu/>. [cit. 2024-06-13].
- [39] *Zubní implantáty*. Online. Zuby.cz. 2021. Dostupné z: <https://www.zuby.cz/zubni-implantaty>. [cit. 2024-06-13].
- [40] ŠILINGOVÁ, Lucie. *Měření adheze tenkých vrstev*. Online, Bakalářská práce. Praha: Vysoké učení technické v Praze, 2021. Dostupné z: [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/97025/F2-BP-2021-Silingova-Lucie-Bakalarska\\_prace\\_Silingova.pdf?sequence](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/97025/F2-BP-2021-Silingova-Lucie-Bakalarska_prace_Silingova.pdf?sequence). [cit. 2024-06-14].

- [41] ANITUA, Eduardo; EGUIA, Asier; STAUDIGL, Christoph a ALKHRAISAT, Mohammad Hamdan. Clinical performance of additively manufactured subperiosteal implants: a systematic review. Online. *International Journal of Implant Dentistry*. 2024, roč. 10, č. 1. ISSN 2198-4034. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s40729-024-00521-6>. [cit. 2024-06-14].
- [42] *Totální náhrada čelistního kloubu v MEDIN Orthopaedics*. Online. Axiom Tech. 2012. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/25764n-totalni-nahrada-celistniho-kloubu-medin-orthopaedics>. [cit. 2024-06-21].
- [43] *Typy, dárci a indikace k transplantacím*. Online. Linkos. 2024. Dostupné z: <https://www.linkos.cz/pacient-a-rodina/lecba/jak-se-lecit/transplantace-krvetvornych-bunek/typy-darci-a-indikace-k-transplantacim/>. [cit. 2024-06-21].
- [44] RAJKUMAR, A. a SIDEBOTTOM, A.J. Prospective study of the long-term outcomes and complications after total temporomandibular joint replacement: analysis at 10 years. Online. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2022, roč. 51, č. 5, s. 665-668. ISSN 09015027. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2021.07.021>. [cit. 2024-06-21].
- [45] *A novel 3D printed titanium jaw implant after partial lower jaw resection*. Online. Health-Holland. 2024. Dostupné z: <https://www.health-holland.com/project/2019/a-novel-3d-printed-titanium-jaw-implant-after-partial-lower-jaw-resection>. [cit. 2024-06-21].
- [46] NETHERLANDS CANCER INSTITUTE. *First successful operation with custom 3D-printed titanium lower jaw*. Online. Medical press. 2022. Dostupné z: <https://medicalxpress.com/news/2022-08-successful-custom-3d-printed-titanium-jaw.html>. [cit. 2024-06-21].
- [47] BLATOŇOVÁ, Kateřina. *Studie využití chirurgického monofilamentu z polydioxanonu pro 3D tisk vstřebatelných ortopedických implantátů*. Online, Diplomová práce. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2022. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/server/api/core/bitstreams/d97208b9-0d08-4196-805e-3efd8cf4bc95/content>. [cit. 2024-06-22].
- [48] WILDE, Frank a SCHRAMM, Alexander. *Patient Specific Orthognathic Plates*. Online. AO Foundation. 2017. Dostupné z: <https://www.aofoundation.org/approved/approvedsolutionsfolder/2018/patient-specific-orthognathic-plates#>. [cit. 2024-06-22].

- [49] TEL, Alessandro; KORNFELLNER, Erik; MOSCATO, Francesco; VINAYAHALINGAM, Shankeeth; XI, Tong et al. Optimizing efficiency in the creation of patient-specific plates through field-driven generative design in maxillofacial surgery. Online. *Scientific Reports*. 2023, roč. 13, č. 1, s. 12082. ISSN 2045-2322. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-39327-8>. [cit. 2024-06-22].
- [50] BONNET, Camille; POTTIER, Thomas a LANDON, Yann. Development of a multi-scale and coupled cutting model for the drilling of Ti-6Al-4V. Online. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 2021, roč. 35, s. 526-540. ISSN 17555817. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2021.08.007>. [cit. 2024-06-22].
- [51] MOTTL, Radovan. *Zlomeniny spodiny očnice*. Online, Disertační práce. Hradec Králové: Univerzita Karlova, 2021. Dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/152304/140094729.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [cit. 2024-06-22].
- [52] *Jaké jsou aplikace Gr5 Medical Titanium Mesh v lidské lebce?* Online. Yunch Titanium. 2023. Dostupné z: <http://m.cz.yunchtitanium.com/info/what-are-the-applications-of-gr5-medical-titan-83733186.html>. [cit. 2024-06-22].
- [53] ELLIS, Edward a MESSO, Elias. Use of nonresorbable alloplastic implants for internal orbital reconstruction. Online. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2004, roč. 62, č. 7, s. 873-881. ISSN 02782391. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.joms.2003.12.025>. [cit. 2024-06-22].
- [54] O'HAVER, Christina. *The Evolution of Spine Surgery: Ancient Egypt to the Present*. Online. Barrow Neurological Institute. 2016. Dostupné z: <https://www.barrowneuro.org/about/news-and-articles/in-the-news/evolution-of-spine-surgery/>. [cit. 2024-06-23].
- [55] *Spinal implants*. Online. UVA Health. 2024. Dostupné z: <https://uvahealth.com/services/spine/spinal-implants>. [cit. 2024-06-23].
- [56] *Artificial Disk Replacement in the Lumbar Spine*. Online. Ortho Info. 2021. Dostupné z: <https://orthoinfo.aaos.org/en/treatment/artificial-disk-replacement-in-the-lumbar-spine/>. [cit. 2024-06-23].
- [57] *What is a Cervical Disc Replacement?* Online. BioSpine Institute. 2019. Dostupné z: <https://www.biospine.com/spine-procedures/minimally-invasive/disc-replacement/>. [cit. 2024-06-23].

- [58] WARBURTON, Andrew; GIRDLER, Steven J.; MIKHAIL, Christopher M.; AHN, Amy a CHO, Samuel K. Biomaterials in Spinal Implants: A Review. Online. *Neurospine*. 2020, roč. 17, č. 1, s. 101-110. ISSN 2586-6583. Dostupné z: <https://doi.org/10.14245/ns.1938296.148>. [cit. 2024-06-23].
- [59] *Spinal fusion - series—Pedicle screw*. Online. Medline Plus. 2023. Dostupné z: [https://medlineplus.gov/ency/presentations/100121\\_6.htm](https://medlineplus.gov/ency/presentations/100121_6.htm). [cit. 2024-06-23].
- [60] VAIDYA, Rahul; ONWUDIWE, Ndidi; ROTH, Matthew a SETHI, Anil. Monoaxial Pedicle Screws Are Superior to Polyaxial Pedicle Screws and the Two Pin External Fixator for Subcutaneous Anterior Pelvic Fixation in a Biomechanical Analysis. Online. *Advances in Orthopedics*. 2013, roč. 2013, s. 1-6. ISSN 2090-3464. Dostupné z: <https://doi.org/10.1155/2013/683120>. [cit. 2024-06-23].
- [61] *Thoraco-lumbar pedicle screw*. Online. MedicalExpo. 2024. Dostupné z: <https://www.medicalexpo.com/prod/s33-spine/product-4579965-1114798.html>. [cit. 2024-06-23].
- [62] *Titanium Polyaxial Pedicle Screw*. Online. Indiamart. 2024. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/polyaxial-pedicle-screw-2851327207330.html>. [cit. 2024-06-23].
- [63] *Monoaxial Pedicle screws*. Online. Indiamart. 2024. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/monoaxial-pedicle-screws-2853654111430.html>. [cit. 2024-06-23].