

# TEHNOLOGIJA IZRADE INTERMEDULARNOG ČAVLA

---

**Ležaić, Nataša**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:121978>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-02**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
PROIZVODNO STROJARSTVO

NATAŠA LEŽAIĆ

**TEHNOLOGIJA IZRADE  
INTRAMEDULARNOG ČAVLA**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2024.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
NAZIV STUDIJA

NATAŠA LEŽAIĆ

**TEHNOLOGIJA IZRADE  
INTRAMEDULARNOG ČAVLA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:  
Tomislav Božić, dipl.ing.stroj.

KARLOVAC, 2024.

## IZJAVA:

Izjavljujem da sam ja – studentica Nataša Ležaić, OIB: 45430373776, matični broj: 0110613064, upisana kao apsolventica akademske godine 2023/2024., izradila ovaj rad samostalno, koristeći se znanjem stečenim tijekom obrazovanja te uz stručnu pomoć i vođenje mentora Tomislava Božića dipl.ing.stroj., kojem se ovim putem zahvaljujem. Zahvaljujem se i tvrtki Instrumentaria d.d. na pomoći te mojoj obitelji na podršci tijekom studiranja.

Nataša Ležaić

U Karlovcu, 27.08.2024. god.

---

# **SAŽETAK**

## **TEHNOLOGIJA IZRADE INTRAMEDULARNOG ČAVLA**

Tema završnog rada je "Tehnologija izrade intramedularnog čavla". Ovim radom je objašnjeno što je intramedularni čavao, kako se proizvodi, te koja je indikacija za ugradnju istog. Strojstvo u medicini je dugo zastupljeno obzirom da su implantati za osteosintezu kod prijeloma izrađeni od materijala titanske legure Ti-4Al-6V, tretirani postupkom anodizacije prema standardu ISO 5832-3. Također je objašnjeno koju svrhu ima zaštita površine postupkom anodizacije.

Ključne riječi: Intramedularni čavao, tibijalni čavao, tehnologija izrade, anodizacija

## **SUMMARY**

### **Production technology of intramedullary nail**

The topic of the final paper is "Production technology of intramedullary nail". This paper explains what is intramedullary nail, what is the technological process and also what is indication for use. Mechanical engineering is long represented in medicine considering that implants for osteosynthesis are made of titanium alloy (Ti-4Al-6V) treated by titanium color anodizing process, which implant material meets requirements of ISO 5832-3. Also the paper explains what is the purpose of anodizing process.

Key words: Intramedullary nail, tibial nail, production technology, anodization

## SADRŽAJ

POPIS SLIKA.....	1
POPIS TABLICA.....	3
POPIS OZNAKA.....	4
1. UVOD.....	5
2. KARAKTERISTIKE TIBIJALNOG ČAVLA.....	9
2.1. Tehničke karakteristike.....	9
2.2. Karakteristike materijala.....	14
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	22
3.1. Tehnološki proces.....	22
3.2. Anodizacija.....	24
3.3. Priprema materijala.....	27
3.4. Postupak anodizacije.....	32
3.5. Nesukladnosti i pogreške pri izvođenju anodizacije.....	38
4. ZAKLJUČAK.....	39
LITERATURA.....	40

## POPIS SLIKA

Slika 1. Prirodni ćelijasti materijali: .....	5
Slika 2. Prikaz strukture kosti (lijevo) i metalne pjene (desno).....	6
Slika 3. Zubni implantat izrađen od Ti pjene .....	7
Slika 4. Tibijalni čavao .....	8
Slika 5. Vijak kapa .....	9
Slika 6. Vijak za zaključavanje .....	10
Slika 7. Vijak za zaključavanje sa djelomičnim navojem.....	10
Slika 8. Vijak za kompresiju kosti.....	10
Slika 9. Instrument set za tibijalni čavao .....	11
Slika 10. Tablica naziva instrumenata .....	12
Slika 11. Statički ili dinamički postavljeni vijci bez postavljenih proksimalnih vijaka .....	13
Slika 12. Statički ili dinamički postavljeni vijci s postavljenim proksimalnim vijcima.....	13
Slika 13. Certifikat.....	17
Slika 14. Certifikat.....	17
Slika 15. Certifikat.....	18
Slika 16. Certifikat.....	18
Slika 17. Ulazna kontrola .....	19
Slika 18. Specifikacija materijala .....	20
Slika 19. Specifikacija materijala .....	21
Slika 20. Tehnološki proces.....	22
Slika 21. Tehnološki proces.....	23
Slika 22. Manifestacija debljine sloja .....	24
Slika 23. Uzorci nakon anodizacije .....	25
Slika 24. Korištenje zaštitne opreme .....	27
Slika 25. Uređaj KKS-H7-120 .....	28
Slika 26. KKS uređaj za ultrazvučno odmašćivanje .....	29
Slika 27. Dekapiranje.....	30
Slika 28. Smjesa kiselina za dekapiranje i vodovodna voda.....	31
Slika 29. Ispravljač i kadica s elektrolitom.....	32
Slika 30. Postavljanje bakrenih žica .....	33
Slika 31. Držači proizvoda prilikom anodizacije .....	33



Slika 32. Primjer postavljenih parametara .....	34
Slika 33. KKS linija za ultrazvučno odmašćivanje.....	35
Slika 34. Intramedularni čavao nakon postupka anodizacije .....	35
Slika 35. Morsko plava.....	36
Slika 36. Nebesko plava .....	36
Slika 37. Zlatno žuta .....	37
Slika 38. Ljubičasta.....	37
Slika 39. Zelena.....	37

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Zahtjev za kemijski sastav.....	15
Tablica 2. Vlačna svojstva.....	16
Tablica 3. Parametri za postupak anodizacije.....	26

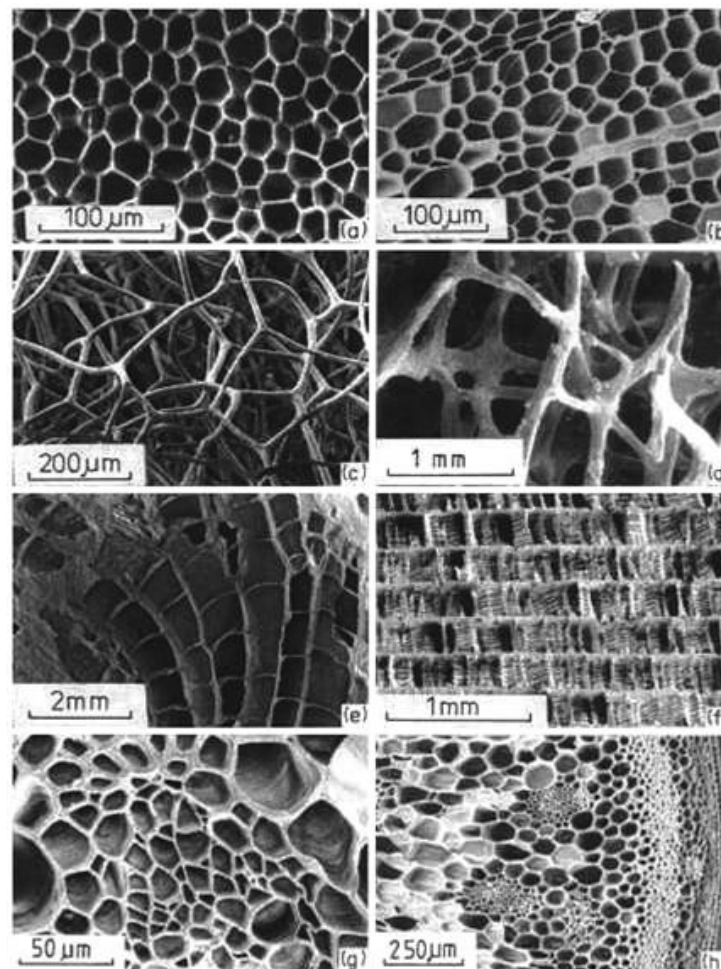
## POPIS OZNAKA

Oznaka	Mjerna jedinica	Opis
L	mm	dužina
Ø	mm	promjer
s	nm	debljina oksidnog sloja
U	V	napon
I	A	jakost električne struje

## 1. UVOD

Strojarstvo ima široku primjenu u medicini tako što se pomoću različitih materijala i postupaka obrade želi se postići što bolja struktura materijala slična ljudskoj kosti koja se zbog svojih svojstava može koristiti kao implant pri čemu se utječe na kvalitetu života čovjeka. Pa tako primjenu nalazi u području stomatologije (titanski implanti, metalne pjene..), ortopedskoj kirurgiji (implant kuka, pločice, intramedularni čavli i sl.) koji pomažu u oporavku pacijenta ili u potpunosti zamjenjuju i preuzimaju funkciju tog dijela tijela kao na primjer kuk.

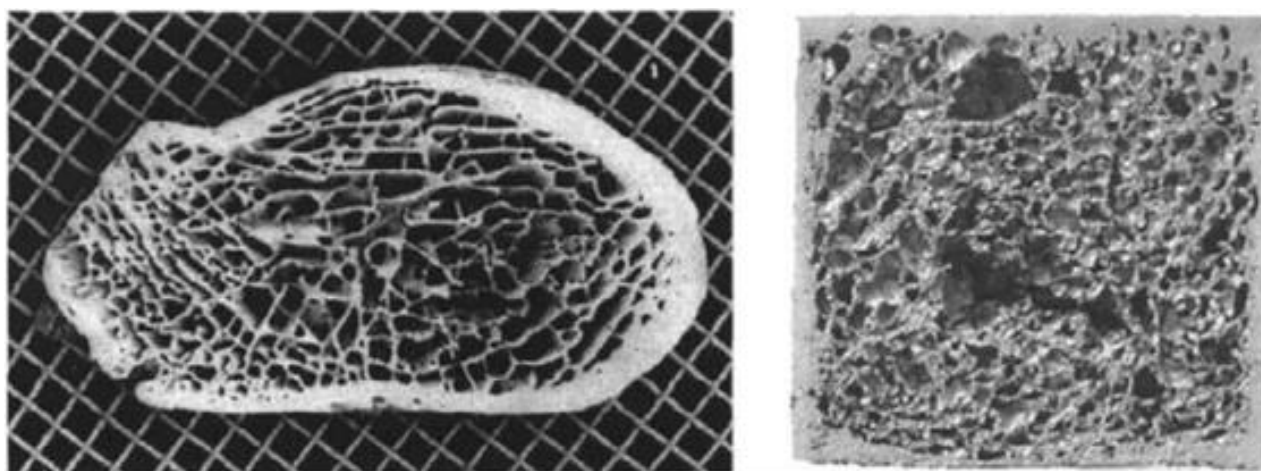
Jedan od primjera su metalne pjene, takav oblik materijala koji je nastao oponašanjem strukture i svojstava prirodnih ćelijastih materijala kao što su kamen, drvo, koralj, kost, itd., a čija su svojstva prilagođena okolnim uvjetima.



Slika 1. Prirodni ćelijasti materijali:

- a) pluto; b) balza; c) spužva; d) kost; e) koralj; f) riblja kost; g) list irisa; h) stabljika biljke [2]

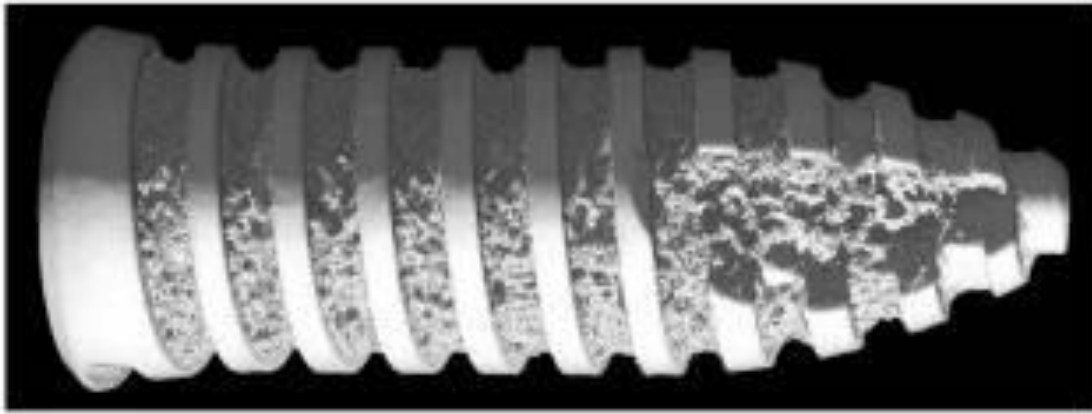
Karakterizira ih visoka poroznost od 40 do 90 %, dobra električna vodljivost, vatrootpornost, niska gustoća, , odlično prigušuje energiju udara, vibracija i zvuka, ima prilagodljiva toplinska svojstva, visoku krutost kod sendvič konstrukcija. Ima široku primjenu u građevinskoj industriji, automobilskoj industriji, zrakoplovstvu, a ima potencijala i u medicini.



**Slika 2. Prikaz strukture kosti (lijevo) i metalne pjene (desno) [9]**

Mogu se proizvesti iz gotovo svih vrsta materijala koji postoje u obliku praha, ali danas su komercijalno dostupne uglavnom metalne pjene na bazi aluminijske (Al) i nikla (Ni). Po posebnoj narudžbi proizvode se i pjene na bazi olova (Pb), magnezija (Mg), cinka (Zn), bakra (Cu), titana (Ti), čelika, bronce, čak i zlata (Au).

Imaju veliki potencijal primjene u medicini kao implantat ukoliko zadovolji nekoliko kriterija kao što su veličina, oblik, čvrstoća, poroznost te bio-kompatibilnost koja je ključna za povezivanje sa kostima. Također su zbog svoje strukture i svojstva idealne za izradu implanta kostiju i kukova jer se modul elastičnosti prilagođava poroznosti koja odgovara prirodnoj kosti, dok kod čvrstih metalnih implantata i kosti postoji visok stupanj elastične neusklađenosti. Implantati koji se proizvode od metalnih pjena na bazi titana pokazuju odlična svojstva bio-kompatibilnosti, jedan od primjera je zubni implantat.



**Slika 3. Zubni implantat izrađen od Ti pjene [1]**

Također titan i njegove legure nalaze svoju primjenu i u ortopedskoj kirurgiji pomoću različitih postupaka obrade i zaštite na više načina. Jedan od takvih primjera je intramedularni čavao.

Intramedularni čavao je implant koji se koristi preko 40 godina u ortopedskoj kirurgiji, izrađen je od materijala titanske legure Ti-4Al-6V tretirane postupkom anodizacije titana za koji materijal su se vršila istraživanja te se utvrdila njegova biokompatibilnost, da uporabom takve vrste materijala nema neželjene reakcije na ljudsko tijelo. Proizvod je izrađen od legure titana tako da se postignu mehanička svojstva koja udovoljavaju zahtjevima ISO 5832-3.

Svrha takvih implanta je poboljšanje kvalitete života pacijenta tako što će se osteosintezom postići spajanje koštanih fragmenata kod loše sraslih prijeloma, prijeloma natkoljениčne kosti ili potkoljениčne kosti tibije, a ovim radom će biti obuhvaćen tibijalni čavao prikazan slikom 4.



**Slika 4. Tibijalni čavao [9]**

Dizajniran je tako da se postigne optimalna učinkovitost u kirurškoj tehnici i oporavku pacijenta. Cilj takvog dizajna je postići da postupak ugradnje čavla bude jednostavan uz minimalni invazivni pristup te da bude u skladu sa zatvorenom tehnikom rada koja u konačnici smanjuje traumu, gubitak krvi i rizik od infekcije.

## 2. KARAKTERISTIKE TIBIJALNOG ČAVLA

### 2.1. Tehničke karakteristike

Tibijalni čavao tvrtke Instrumentaria d.d. koristi se za osteosintezu prijeloma, otvorenih i zatvorenih, pseudoartroza a također i za loše srasle prijelome potkoljenice.

Proizvodi se u različitim dužinama, od 260 mm do 440 mm, također promjer čavla može biti od Ø9 do Ø14 te proksimalni promjer od Ø11.5 do Ø14, kanulirani je zbog lakše ugradnje. Intramedularni čavli i vijci anodiziraju se u plavu boju kako je definirano radnom uputom tvrtke Instrumentaria d.d.

Tibijalni sustav sastoji se od intramedularnog čavla, vijaka i instrumenata za operativni zahvat koji su dizajnirani tako da omogućе stabilnu unutarnju fiksaciju za prijelom potkoljenične kosti.

Kod postupka ugradnje koriste se vijci kojim se zaključava implant, a to su:

- vijak kapa (završni vijak) za produljenje čavla - sprječava uraštanje i olakšava vađenje čavla, može biti u 4 veličine, a dužina se određuje prema dubini postavljenog čavla, prikazan na slici 2.
- vijak za zaključavanje, Ø5,0 mm, može biti dužine od 20 mm do 110 mm, prikazan na slici 3,
- za zaključavanje s djelomičnim navojem, Ø5,0 mm, može biti dužine od 20 do 110 mm, prikazan na slici 4,
- vijak za kompresiju kosti, prikazan na slici 5.



Slika 5. Vijak kapa [3]





**Slika 6. Vijak za zaključavanje [3]**

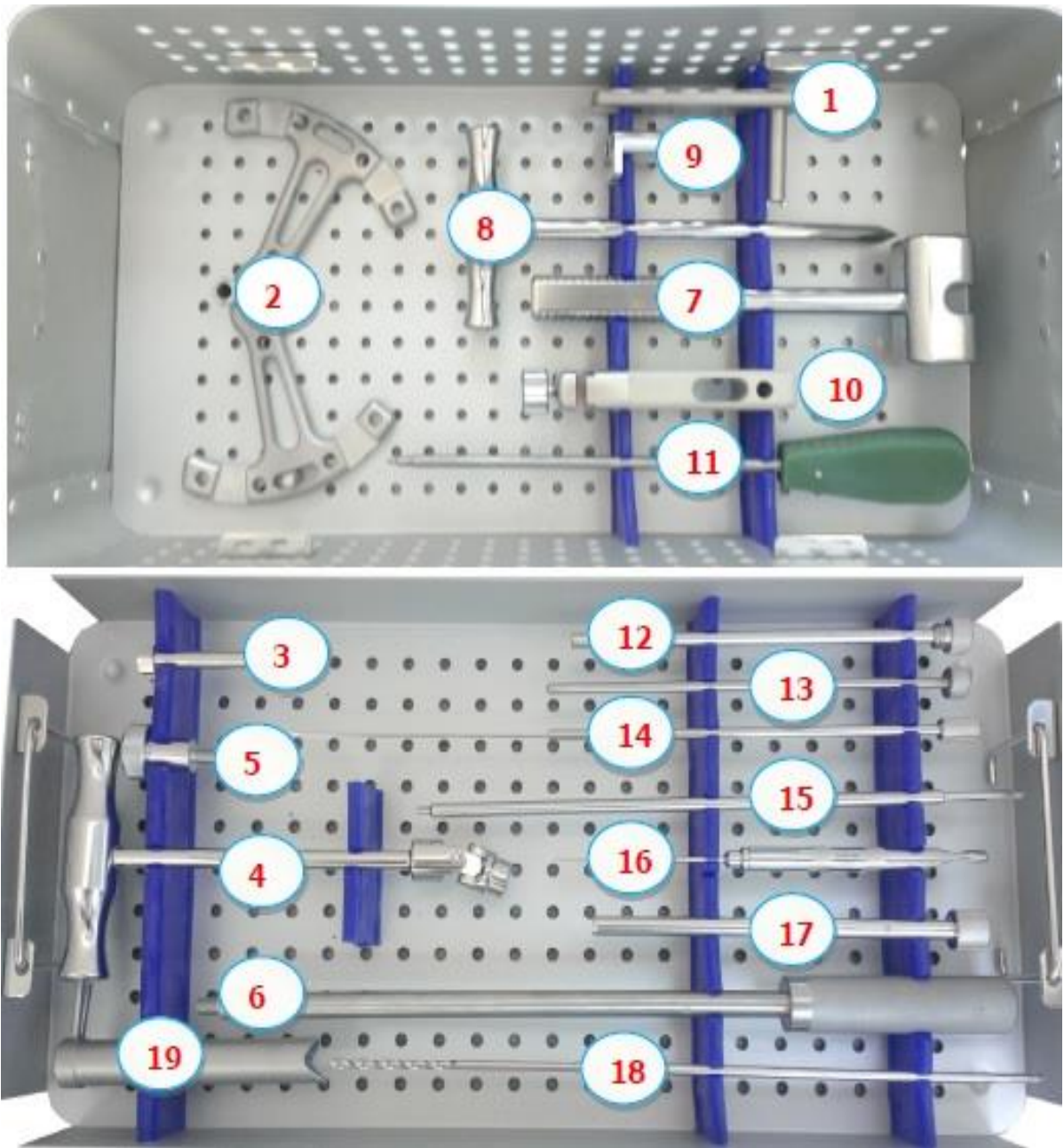


**Slika 7. Vijak za zaključavanje sa djelomičnim navojem [3]**



**Slika 8. Vijak za kompresiju kosti [3]**

Operativni zahvat izvodi se pomoću instrument seta, prikazanog slikom 6., prema točno definiranoj proceduri, pa tako se i prilikom proizvodnje seta za izvođenje operacija prilikom međufazne i završne kontrole izvode postupci kao i prilikom operacije ne bi li se uočili i otklonili nedostaci i nesukladnosti. Iz tog razloga radnik koji radi kontrolu nad proizvodnjom je educiran i dobro upućen kako se koristi koji dio. Također je kod kontrole takvih proizvoda jako važno znati tolerancije (gornje i donje) svakog dijela da se ne dogodi da jedan dio nakon izrade nije kompatibilan sa drugim. Slika 7. prikazuje tablicu naziva pojedinog instrumenta za izvođenje operativnog zahvata ugradnje tibijalnog čavla.



Slika 9. Instrument set za tibijalni čavao [3]

	Naziv proizvoda	Product Name
1	Nosač medijalne vodilice	Medial insertion handle
2	Nosač vodilice	Semi circular insertion handle
3	Vijak M8x1, L=76 mm	Connecting screw M8
4	Zglobni ključ	Socket wrench
5	Nabijač tibijalnog čavla	Tibial impactor
6	Izvlakač tibijalnog čavla	Hammer guide
7	Čekić s utorom	Slot hammer
8	Zakrivljeno šilo	Curved Awl
9	Umetak vodilice	Aiming plate
10	Ciljnik vodilice / Vijak M8	Aiming Guide
11	Izvijač za vijke SW 3.5 , L=335 mm	Screwdriver SW 3.5, L=335 mm
12	Vodilica svrdla Ø7/Ø5.2	Drill Bit Sleeve
13	Šilo Ø5	Ø5 Awl
14	Dubinomjer – čavao tibijalni	Proximal depth gauge
15	AO Izvijač za vijke SW3.5,L=300mm	AO Screwdriver SW 3.5, L=335 mm
16	Dubinomjer veći	Distal depth gauge
17	Štitnik mekog tkiva	Soft tissue protector
18	Svrdlo Ø4.2x347 mm – AO nastavak	AO Drill bit Ø4.2x347 mm
19	Vodilica fleksibilnog svrdla Ø17	Reamer Sleeve

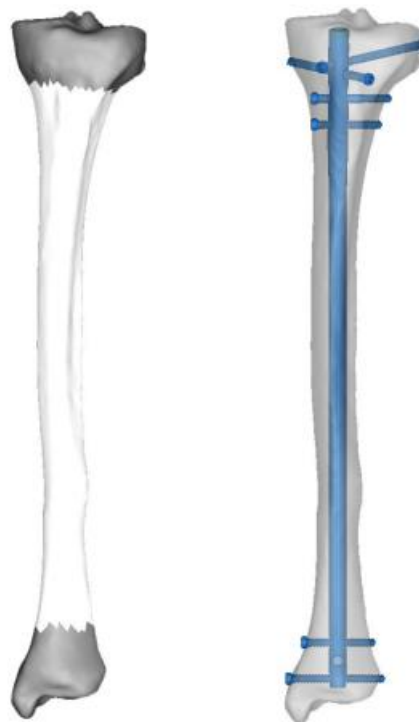
Slika 10. Tablica naziva instrumenata [3]

Vijci se mogu postavljati na različite načine a ovisi o vrsti prijeloma. Pa tako razlikujemo slijedeće načine postavljanja statički ili dinamički proksimalnih vijaka a oni mogu biti bez postavljenih proksimalnih vijaka ili sa postavljenim proksimalnim vijcima.

Indikacija za postavljanje statički ili dinamički proksimalnih vijaka bez postavljenih proksimalnih vijaka ugrađuje na srednju trećinu potkoljenice te distalnu trećinu do 3 cm od skočnog zgloba kako je prikazano slikom 11., te sa postavljenim proksimalnim vijcima indikacijsko područje se proširuje na prijelome proksimalne trećine potkoljenice, pa i na intraartikularne prijelome što prikazuje slika 12.



Slika 11. Statički ili dinamički postavljeni vijci bez postavljenih proksimalnih vijaka [3]



Slika 12. Statički ili dinamički postavljeni vijci s postavljenim proksimalnim vijcima [3]

## 2.2. Karakteristike materijala

U industriji medicinskih proizvoda jedan od uvjeta je da materijali od kojih su izrađeni budu biokompatibilni. To su oni materijali koji dolaze u kontakt sa tkivima, stanicama ili tjelesnim tekućinama. Svrha implanta je da zamijeni funkciju dijela na kojem se vrši operativni zahvat, primjenjuje se kod pseudoartroza a također i za loše srasle prijelome potkoljenice.

Kako je široka primjena takvih proizvoda materijal od kojih su izrađeni mora također zadovoljavati određena svojstva i to biokompatibilnost, otpornost na koroziju (što znači da ne smiju biti podložni koroziji obzirom da dolaze u dodir sa živim tkivom), netoksičnost (vrlo važna karakteristika takvih materijala s obzirom na činjenicu da oslobađanje metalnih iona i drugih produkata može doći do pojave alergija i sl.), čvrstoća i žilavost (njihove vrijednosti moraju biti dovoljno visoke zbog ograničenosti prostorom kod ugradnje implanta pa tako i veličine odnosno dimenzije samog implanta), niske vrijednosti modula elastičnosti (za materijale koji se danas koriste u ovoj grani medicine, viši je 5 do 10 puta od modula elastičnosti kosti, što posljedično znači opterećenje kosti zbog razlike modula elastičnosti metalnog materijala i kosti koji dolaze kontakt), te izdržljivost (naročito je važna za one implante koji su ugrađeni da bi zamijenili funkciju tog dijela pa bi tako tijekom svog životnog vijeka trebali nesmetano funkcionirati).

Biokompatibilnim materijalima smatramo materijale koji se koriste za proizvodnju implanta koji dolaze u kontakt sa tkivima, tjelesnim tekućinama te stanicama. Biokompatibilnost se ispituje kako bi se utvrdila potencijalna toksičnost kao posljedica tjelesnog kontakta s materijalom ili medicinskim proizvodom. Od nekoliko vrsta materijala koji se koriste za implante, titan se koristi u industriji medicinskih proizvoda više od 40 godina zbog lakoće, niskog modula elastičnosti, velike čvrstoće i otpornosti na koroziju. Biokompatibilnost legure titana se očituje u tome da dolazi do spontanog stvaranja sloja oksida kada materijal dolazi u kontakt sa kisikom. Tako oblikovani sloj je tanak i sprječava daljnju koroziju te poboljšava biokompatibilnost. Dodatna biofunkcionalnost legure titana postiže se povećanjem debljine oksidnog sloja pomoću elektrokemijske anodizacije.

Materijali koji se koriste za implante moraju ispuniti kriterije standarda kao što je ISO 5832-3. ISO standard 5832-3 odnosi se na kirurške implantate, metalne materijale, a 3. dio se odnosi na kovanu leguru titana koja sadrži 6% aluminija i 4% vanadija. Nekoliko je zahtjeva koji se moraju ispuniti i to:

- Kemijski sastav,

**Table 1 — Chemical composition**

<b>Element</b>	<b>Compositional limits mass fraction %</b>
Aluminium	5,5 to 6,75
Vanadium	3,5 to 4,5
Iron	0,3 max.
Oxygen	0,2 max.
Carbon	0,08 max.
Nitrogen	0,05 max.
Hydrogen	0,015 max. <sup>a</sup>
Titanium	Balance
<sup>a</sup> Except for billets, for which the maximum hydrogen content shall be of a mass fraction of 0,010 %.	

Tablica 1. Zahtjev za kemijski sastav [3]

- Mehanička svojstva i to:

- vlačna svojstva,



**Table 2 — Mechanical properties of wrought titanium 6-aluminium 4-vanadium alloy in annealed condition**

Material shape	Tensile strength $R_m$ MPa	Proof strength or yield strength $R_{p0.2}$ MPa	Percentage elongation after fracture <sup>a</sup> A %	Mandrel diameter for bend test  mm
Sheet and strip <sup>c</sup>	≥860	≥780	≥8	10 × $t^b$
Bar <sup>c</sup>	≥860	≥780	≥10	not applicable

<sup>a</sup> The original gauge length  $L_0$  equal to  $(5,65 \times \sqrt{S_0})$  or 50 mm, where  $S_0$  is the original cross-sectional area in square millimetres. The original gauge length chosen for testing shall be reported with the test results.

<sup>b</sup>  $t$  is the thickness of the sheet or strip.

<sup>c</sup> The maximum diameter or thickness is equal to 75 mm.

**Tablica 2. Vlačna svojstva [3]**

- ne smije biti pukotina

Prilikom ispitivanja postupkom savijanja lima ili šipke gore navedene legure titana, ne smije doći do pojave pukotine na vanjskoj površini ispitnog uzorka.

- mikrostruktura.

Za svaki od zahtjeva određivanja sukladnosti su definirane metode ispitivanja, te na koji način se pripremaju ispitni uzorci za određivanje mehaničkih svojstava.

S obzirom na navedene zahtjeve prilikom narudžbe sirovine za izradu implanta dobavljač dostavlja i certifikat koji specificira karakteristike materijala prema zahtjevima standarda ISO 5832-3, prikazano slikama 13. - 16.

QUALITY CERTIFICATE

DATE:

Page 1 of 1

TRAFAT S.R.L.  
Zona Industriale San Lorenzo - 80131 NAPOLI (ITALY)  
Tel: +39 0714 7561 Fax: +39 0714 742 240  
email: info@trafat.com http://www.trafat.com

CUSTOMER:

TRAFAT ORDER: 8118 0112017  
REFERENCE: 000043 08 dated 03/11/2017  
PO: 2000447

HEAT NUMBER: CV52794 ALLOY: TITANIUM GRADE 23, Ti 6Al 4V ELI  
MATERIAL: BARS SPECIFICATION: ASTM B366-03/ASTM F136-03B/ISO 5-2004

CHARACTERISTICS OF THE SUPPLY (NOMINAL)

Thickness	Length	Weight Kg	Surface Finish	Reference	Surface roughness					
18,000 mm	2000 - 3200 mm	815,8	Perforated/Polished	47	Ra 0,2 µm					
HEAT CHEMICAL COMPOSITION										
	Al %	C %	F %	Fe %	N %	O %	S %	H %	RES. MAX %	TUN
STD limits	3,50	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,01	0,01	0,1	BALANCE
CV52794	4,49	0,037	0,08	0,053	0,009	0,035	0,08	0,01	0,1	BALANCE
	0,47	0,030	0,09	0,053	0,009	0,035	0,01	0,01	0,1	BALANCE

MECHANICAL / PHYSICAL PROPERTIES AT ROOM TEMPERATURE OF THE SUPPLIED PRODUCTS

IDENTIFICATION	REFERENCE STANDARD	Tensile Strength MPa		Yield (0,2% offset) MPa	Reduction of Area %	Elongation %	Gage Length (mm)	R.R.T
		STD limits	min					
CV52794-0B	ASTM B366-03A, F136-03 4D	982	982	918	51,7	16,4	12,50	1
CV52794-0E	EN EN ISO 6892-1:2001, EL ON 2D	982	982	918	51,7	13,7	12,50	1

Heat Treatment: ANNEALED 705°C 1 H + AIR COOLING  
 U-T Test: 100% AMS 2431E CL AA  
 S-Tension Test: 75°C±5°C  
 Maximum Carbon: 1 max/min

Macrostructure: See Below  
 Eddy Current Test: No defect, 100% inspected

Ballistics penetration - See material

Notes: Details to be examined. First melt and Y.A. controlled by TRAFAT, Napoli, Italy. Hot rolled, annealed and cold finished bars. Bars 100% visually inspected. No alpha case on bar surface. Macrostructure: Alpha-Beta Globular A1 as per ISO 20160:2004 and 43TC.2.

We hereby certify that the relevant material was produced, sampled, inspected and tested in accordance with the technical specifications and all conforms to the requirements of the purchase order. The present document is in compliance with ISO 9001:2008 inspection certificate (Type 3.1). The data were elaborated in the CERTIFICATE from the heat number of the bar. Certified copies can be provided on request. The present document can be reproduced only in full and upon authorization by TRAFAT S.R.L. - 3 changes inside the two lower quarters of the page height - Reproduction rights reserved - Copy length

Laboratory Manager

COMPANY WITH QUALITY SYSTEM CERTIFIED BY DNV - AS/NZS ISO 9001

COMPANY WITH QUALITY SYSTEM CERTIFIED BY DNV - ISO 9001

Technology Director

Slika 13. Certifikat [3]

INSPECTION CERTIFICATE

Drawn:

Date:

Packing List No:

Contract No:

Customer No:

Condition:

ANNEALED & CENTERLESS GROUND (COLD)

No.	Type of Steel	Heat No.	Quantity		Length (mm)	Pcs	Weight (KGS)	Body Hardness									
			Size (mm)	Length (mm)													
802	ASTM F136	T7110G	Ø18,11	3650-	3625	76	197										
802			Ø18,14	3400-					3830	76	196						
			TOTAL		2 BUNDLES	152	327										
Heat No.	Chemical Composition											Mechanical Properties (Type of Specimen)				ASTM	HEAT TREATMENT °C
	C	Si	Mn	P	S	V	Al	Ti	O	N	Fe	H	0,2%YS	Tensile Strength	Elongation		
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	MPa	MPa	%	%	Value
	MAX					35-	550-		MAX	MAX	MAX	MAX	MIN	MIN	MIN	MIN	
T7110G	≤ 1					15	550		12	5	25	12	790	860	10	25	
T7110L	≤ 1					15	550	HAL	12	1	18	≤ 1	850	904	17	50	
						15	550	HAL	11	1	18	≤ 1	830	920	18	60	
Hardenability (End Quenching Method)																	
Remarks: MICRO STRUCTURE TEST: GOOD A1, ULTRASONIC TEST: GOOD																	

It is hereby certified that the above results are true and correct in every detail.

Hobinski Plant.

Chief of Quality Assurance Service

Slika 14. Certifikat [3]



NO. \_\_\_\_\_  
 DATE \_\_\_\_\_

PRODUCT ANALYSIS  
 H 8122  
 X1000  
 171100 4 015.14  
 171100 3 016.11

171100 WE CERTIFY THE MATERIAL ALSO MEETS  
 171100 1000632 PARTS, 057202 PARTS AND EN10204-3.1.B.

Chief of Quality Assurance Section

Slika 15. Certifikat [3]

INSPECTION CERTIFICATE											
CERTIFICATE No _____ date _____				Contract _____							
Purchaser / Quality/qty _____				Condition of delivery _____				Terms of delivery _____			
Item No	Q. No	Weight (kg)	Object				Dimensions (mm) or Drawing No		Heat No		Lot No
	206	206	BAR				dia 12 x 2000-3000				
Chemical Composition, %											in part, %
Requirements	Al	V	O <sub>2</sub>	Fe	C	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	Sulfur, %		As	
ASME 900-2	5.5	3.5	max	max	max	max	max	0.03	0.005	0.005	
ASME 900-3	5.00	4.5	0.13	0.25	0.08	0.25	0.005				
TOP	4.21	4.13	0.110	0.17	0.023	0.008	0.002				
BOTTOM	4.98	4.07	0.118	0.15	0.021	0.008	0.002				
Requirements	ASME 900-1	Tensile strength	Elongation	Reduction	Yield strength	Fracture toughness	Heat treatment	Microstructure testing As per ETTG 3 Level 10A1			
ASME 900-1	MPa	MPa	%	%	MPa	KIC	T, C	Microstructure testing As per ETTG 2 Fig. A4, A5, ASTM F 136-02a par. 9.1, 9.3 (free from alpha-case)			
ASME 900-2	MPa	MPa	%	%	MPa			Ultrasonic inspection As per AMS - S70 2154 (1996) C.A. Longitudinal wave, Type 1.			
ASME 900-3	MPa	MPa	%	%	MPa			By using this, subject to inspection or non-destructive testing, the supplier certifies that the material is conforming with the technical specifications of the contract, unless otherwise specified, and that, if applicable, the material has been subjected to the specified tests in every respect with the relevant technical specifications, drawing, and relevant standards and regulations in force.			
								Microstructure testing As per ETTG 2 Fig. A4, A5, ASTM F 136-02a par. 9.1, 9.3 (free from alpha-case)			
								Ultrasonic inspection As per AMS - S70 2154 (1996) C.A. Longitudinal wave, Type 1.			
								By using this, subject to inspection or non-destructive testing, the supplier certifies that the material is conforming with the technical specifications of the contract, unless otherwise specified, and that, if applicable, the material has been subjected to the specified tests in every respect with the relevant technical specifications, drawing, and relevant standards and regulations in force.			
								Microstructure testing As per ETTG 2 Fig. A4, A5, ASTM F 136-02a par. 9.1, 9.3 (free from alpha-case)			
								Ultrasonic inspection As per AMS - S70 2154 (1996) C.A. Longitudinal wave, Type 1.			
Prepared by	Dushko A.A.		signature		date						

Slika 16. Certifikat [3]

Prilikom zaprimanja sirovine za izradu proizvoda potrebno je ispuniti popratnu listu odnosno izvještaj o ulaznoj kontroli na kojoj je naveden datum zaprimanja, količina koja je došla, tko je pregledao i odobrio ulaz. Svaki prijem robe je vezan za narudžbu te je također potrebno pregledati odgovaraju li zaprimljene količine naručenima, te ukoliko postoje neke nesukladnosti u materijalu takva roba se vraća dobavljaču te se navodi kolika količina je prihvaćena a koliko je odbijeno.

Uz navedeni izvještaj potrebno je staviti dokumentaciju specifikacije materijala i certifikate koji su došli za navedeni materijal.

		Datum	
	ISO 9001:2008/13485:2003 QM dokumentacija	Verzija	
<b>OB : Izvještaj o ulaznoj kontroli</b>		Šifra	
		Stranica	1 od 1

<b>IZVJEŠTAJ O ULAZNOJ KONTROLI</b>				BROJ IZVJEŠTAJA:	
<b>PODACI O MATERIJALU</b>					
BROJ MATERIJALA	NAZIV MATERIJALA			DATUM ZAPRIMANJA	
31-02-366	Šipka Ø 18 ISO 5832-3				
LOT BROJ MATERIJALA	BROJ NARUDŽBE	BROJ ZAPISNIKA	ID DOBAVLJAČA	ZAPRIMLJENA KOLIČINA	
<b>KRITERIJI KONTROLE (PREMA SPECIFIKACIJI MATERIJALA-RU)</b>					
6-8.2-8.2-RU-01					
<b>KONTROLA DOKUMENTACIJE</b>					
<small>(Verifikacija pripadajuće dokumentacije)</small>					
NACRTI I SPECIFIKACIJE	OK <input checked="" type="checkbox"/>	NE <input type="checkbox"/>	NE POSTOJI <input type="checkbox"/>		
IDENTIFIKACIJSKA OZNAKA MATERIJALA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
CERTIFIKAT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IZVJEŠTAJ O ISPITIVANJU	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
OZNAKE I PAKIRANJE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
ODOBRENI DOBAVLJAČ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
ZAPISNIK O PRIJEMU	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
ROK TRAJANJA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
KONTROLIRAO:	POTPIS:		DATUM:		
<b>KONTROLA MATERIJALA</b>					
Za rezultate kontrole i ispitivanja pogledaj listu rezultata ( _____ )					
ZAPRIMLJENA KOLIČINA:	PREGLEDANA KOLIČINA:		ODBIJENA KOLIČINA:		
KONTROLIRAO:	POTPIS:		DATUM:		

Slika 17. Ulazna kontrola [3]

Svaki proizvod ima svoj kataloški broj pa se tako sirovina za izradu proizvoda naručuje korištenjem kataloških brojeva. Za svaki kataloški broj su navedene točno određene specifikacije materijala pa je tako prilikom ulaska sirovine također potrebno provjeriti odgovaraju li podaci i certifikati.

			<b>TEHNIČKI PODACI</b> OB specifikacija materijala		Datum:
			ISO 9001:2000 / 13485:2003 QM dokumentacija		Verzija:
					Šifra:
					Stranica 1 od 1
Izradio:	Potpis	Datum:	Naziv proizvoda: <b>ISO 5832-3, šipka Ø 12h11, Rm=950-1000N/mm<sup>2</sup></b>		SKLADIŠNI (kataloški) broj proizvoda:
Pregledao:			Naziv (engleski, trgovački, drugi standard):		Veza s dokumentom:
Odobrio:			<b>W.Nr. 3.7165, TiAl6V4</b>		
Proizvod naručiti prema:					
Standard:			ISO 5832-3		
Dimenzije:			Ø 12h11x3000 mm		
Stanje kvalitete površine:					
Materijal – proizvod se naručuje za (Kataloški broj – naziv proizvoda):					
Posebni zahtjevi:			Rm=950-1000 N/mm <sup>2</sup>		
Crtič:					
Dobavljač:					
I.					
Oznaka	Promjena		Datum	Proveo	

Slika 18. Specifikacija materijala [3]

		Date/Datum:	
		Version/Verzija:	
	<b>EN ISO 13485:2016 / MDD 93/42 EEC</b>		Code/Šifra: TM-05
	Technical File – Intramedullary Nails		Page/Stranica: A-09-3

			<b>TEHNIČKI PODACI</b> OB specifikacija materijala	Datum:
			ISO 9001:2000 / 13485:2003 QM dokumentacija	Verzija:
				Šifra: 5-7.3-7.3-OB-03
				Stranica 1 od 1
	Potpis	Datum:	Naziv proizvoda: ISO 5832-3, šipka Ø 18h9, Rm=950-1000N/mm <sup>2</sup>	SKLADIŠNI (kataloški) broj proizvoda:
Izradio:			Naziv (engleski, trgovački, drugi standard):	Veza s dokumentom:
Pregledao:			W.Nr. 3.7165, TiAl6V4	
Odobrio:				
Proizvod naručiti prema:				
Standard:		ISO 5832-3		
Dimenzije:		Ø 18h9x3000 mm		
Stanje kvalitete površine:				
Materijal – proizvod se naručuje za (Kataloški broj – naziv proizvoda):				
Posebni zahtjevi:		Rm=950-1000 N/mm <sup>2</sup> ; Rp02≥690 N/mm <sup>2</sup>		
Crtež:				
Dobavljač:				
1.				
Oznaka	Promjena	Datum	Proveo	

Slika 19. Specifikacija materijala [3]

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

#### 3.1. Tehnološki proces

Proizvodnja tibijalnog intramedularnog čavla je definirana tehnološkim procesom po operacijama te se sastoji od rezanja šipke na određenu dužinu te potom obradom materijala na CNC strojevima, tokarilici i glodalici, savijanjem a sve sukladno nacrtima. Dalje slijedi poliranje, nakon čega se provodi međufazna kontrola proizvoda te eventualno uklanjanje nesukladnosti ukoliko je moguće.

Nakon međufazne kontrole ukoliko nije potrebna dorada proizvod se označava laserom načinom kako je određeno radnom uputom te se provodi postupak anodizacije u plavu boju.

Operation Nr.	Operation	Operation description
10	Cutting	Material Ti ISO 5832-3, Ø12, cut
20	Drilling	Drill hole through the body of the nail.
30	Turning	Refer to drawing 07.830T260IL01.
40	Turning	Refer to drawing 07.830T260IL01.
50	Turning	Refer to drawing 07.830T260IL01.
60	Turning	Furbish the tip of the nail, face the furbished side, chamfer edge of the hole
70	Turning	According to the drawing
80	Milling	Drill and chamfer all holes Mill four axial slots Refer to drawing 07.830T260IL02.
90	Degreasing	Degrease according to 5-7.3-7.3-RU-19.
100	Deburring	Deburr all holes, slots
110	Bending	Bend the nail according to the drawing. Use tool SA01-07.830.01T260 and SA02-07.830.01T260, and templates ŠB01-07.830T260 and ŠB02-07.830T260.
120	Milling	Drill remaining hole
130	Deburring	Deburr drilled hole and slot.
140	Polishing	Polish the nail.
150	Degreasing	Degrease according to 5-7.3-7.3-RU-07.
160	Furbishing	Chamfer all sharp edges
170	Polishing	Fine polish the nail.
180	Degreasing	Degrease according to 5-7.3-7.3-RU-08.
190	Control	Control 6-8.2-8.2-OB-03.
200	Laser labelling	Label the nail according to the drawing.
210	Degreasing	Degrease according to 5-7.3-7.3-RU-08.
220	Anodization	Anodize the nail according to 5-7.3-7.3-RU-31, parameters: colour blue, voltage 30 V.

Slika 20. Tehnološki proces [3]

230	Degreasing	Degrease according to 5-7.3-7.3-RU-08.
240	Control	Final control 6-8.2-8.2-OB-04.
250	Packing	Pack the nail for sterilization according to 7-7.1-7.1.RU-03.
260	Sterilizing	Sterilize using gamma rays.
270	Testing	Sterilization testing.

**Slika 21. Tehnološki proces [3]**

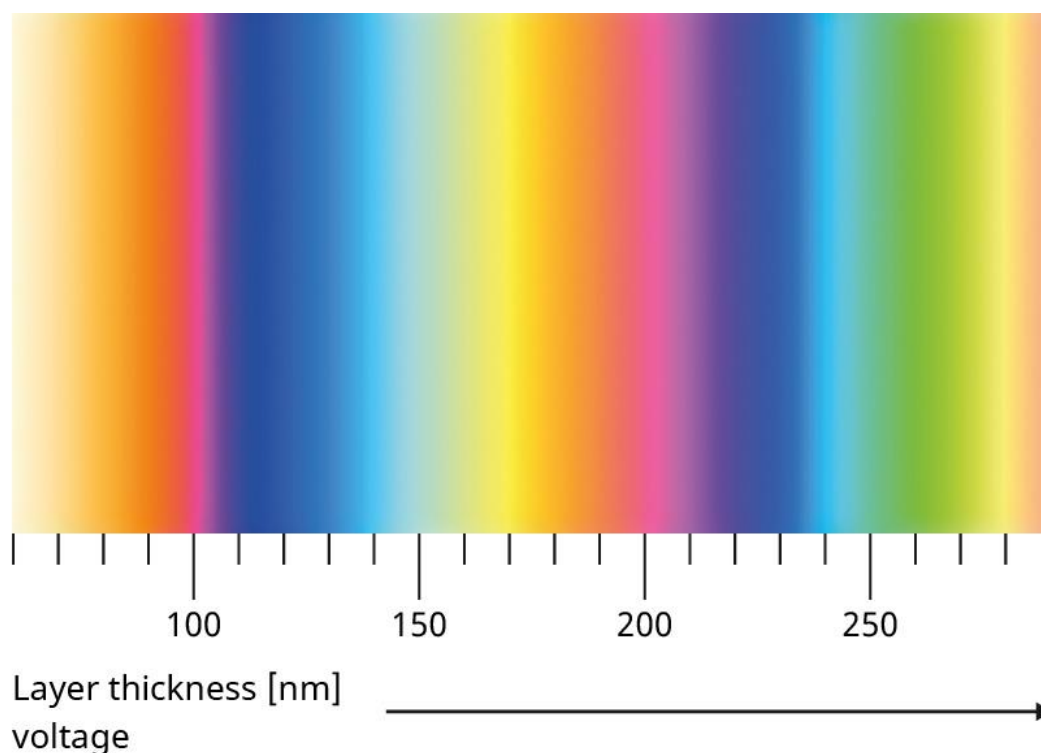
Nakon postupka anodizacije provodi se završna kontrola proizvoda vizualnom metodom te se utvrđuje je li anodna prevlaka kontinuirana, glatka, lijepo prijanja na bazi metala, je li jednolike teksture i izgleda, bez spaljenih ili praškastih područja, te ukoliko nije potrebna dorada implant se pakira također prema definiranoj uputi te se šalje na postupak sterilizacije gama zrakama. Nakon postupka sterilizacije vrši se testiranje sterilizacije te je gotov proizvod spreman za isporuku kupcu.

### 3.2. Anodizacija

Postupak anodizacije je elektrokemijski postupak pasivizacije koji se koristi za oblikovanje oksidnog sloja na površini implanta pomoću struje i napona.

U industriji medicinskih implanta titana ili titanskih legura obično se vrši anodizacija tipa II ili anodizacija tipa III. Proizvod anodiziran tipom II karakterizira siva boja, a koristi se radi svojstva otpornosti na trošenje.

Intramedularni čavao tretiran je anodizacijom tipa III, odnosno anodizacijom u boji. Dobivena boja temelji se na debljini oksidnog filma na površini legure ( $\text{TiO}_2$ ) koji raste tijekom procesa anodizacije. Budući da se debljina oksidnog sloja može kontrolirati, može se stvoriti širok spektar boja bez upotrebe boja.



Slika 22. Manifestacija debljine sloja [8]

Reflektiranjem svjetlosti pod različitim kutovima od dobivenog oksidnog sloja i osnovnog metala dolazi do interferencije svjetlosnih refleksija koje uzrokuju percepciju boje. Debljina oksidnog sloja proizvoda koji nije anodiziran (s) obično iznosi od 20 do 25 nm.



Slika 23. Uzorci nakon anodizacije [3]

Tri glavna svojstva se poboljšavaju ovim postupkom a to su zaštitni, funkcionalni i dekorativni učinci. Zaštitni učinak poboljšava kemijsku otpornost, zaštitu od korozije, trenja, habanja i tvrdoću. Funkcionalni učinak poboljšava interakciju s drugim materijalima (metalima, biološkim tkivom, kostima), te također omogućava tijekom operacija povezati određeni vijak sa određenim instrumentom. Dekorativni učinak omogućuje različite boje, svjetline.

Debljina sloja dobivenog ovim postupkom ovisi o boji i može varirati od 20 do 250-300 nm a što se postiže različitim naponom u rasponu od 10 do 120 V u kiselj otopini elektrolita. Za ovaj postupak su definirani parametri za dobivanje određene boje pri određenom naponu.




Tablica s popisom programa		
PROGRAM (M)	NAPON(V)	STRUJA(A)
M1	77,7	3,100
M2	30,4	3,500
M3	37,0	4,000
M4	60,0	4,000
M5	109,0	4,000
M6	100,00	4,000

Tablica 3. Parametri za postupak anodizacije [3]

### 3.3. Priprema materijala

Prilikom izvođenja postupka anodizacije potrebno je pridržavati se sigurnosnih protokola kao što je koristiti zaštitnu opremu kao zaštitne naočale, rukavice i sl. kako je određeno radnom uputom.

Broj	Postupak		Odgovorna osoba	Obavijestiti u slučaju nesukladnosti	
0.	<b>OSOBNJA ZAŠTITNA OPREMA-kod rada s dušičnom kiselinom 20-60 % -tnom</b>				
	Zaštita očiju i lica	Zaštitne naočale koje dobro prijanjaju uz kožu lica i ne dozvoljavaju strujanje aerosola. Kod potencijalno veće opasnosti od prskanja uporaba vizira koji štiti oči i kožu lica (HRN EN 166). U slučaju pojave maglice preporuča se uporaba zaštitne maske za cijelo lice (HRN EN 136)		Galvanizer	Voditelj
	Zaštita kože				
	Zaštita ruku:	Upotreba zaštitnih rukavica od butila, nitrila, vitona, neorena (480 min, stupanj penetracije 6) (HRN EN 374)			
	Zaštita tijela:	U normalnim uvjetima rada pamučna radna odjeća dugih rukava i nogavica, prikladna obuća koja obuhvaća cijelo stopalo (HRN EN 340) (HRN ISO 13832). Prema potrebi i pregača od kemijski otpornog materijala. U slučaju težih uvjeta rada ili nekontroliranog istjecanja upotrijebiti zaštitno odijelo za tekuće kemikalije (HRN 1405)			
	Zaštita dišnog sustava	U slučaju lošeg provjetravanja (prekoračenje GVT) zaštitna maska za cijelo lice (HRN EN 136) s filtrom B. U ekstremnim slučajevima kada je koncentracija vrlo visoka ili se sumnja da je koncentracija kisika u zraku manja od 17% koristiti samostalni uređaj za disanje s otvorenim krugom na stlačeni zrak (HRN EN 137).			
Termičke opasnosti kemikalija je negoriva	Piktogrami opasnosti: 	Oznaka opasnosti <b>Opasnost</b>	Oznake upozorenja <b>H 314</b> Uzrokuje teške opekline i ozljede oka <b>H 290</b> Može nagrizzati metale <b>EUH 071</b> Nagrizajuće za dišni sustav		
1.	<b>PRIPREMA SMJESE dušične i fluorovodične kiseline za dekapiranje titanskih proizvoda</b>		Galvanizer	Voditelj	
2.	<b>Dekapiranje titanskih proizvoda prije postupka anodizacije</b>		Galvanizer	Voditelj	

Slika 24. Korištenje zaštitne opreme [3]

Prije samog postupka potrebno je pripremiti površinu materijala. Proces odmašćivanja izvodi se na KKS liniji za ultrazvučno odmašćivanje, oznake KKS-H7-120, a prije same anodizacije također je potrebno pripremiti smjese dušične i flourovodične kiseline za dekapiranje titanskih proizvoda i dvije posude s vodovodnom vodom kako je to definirano radnom uputom.



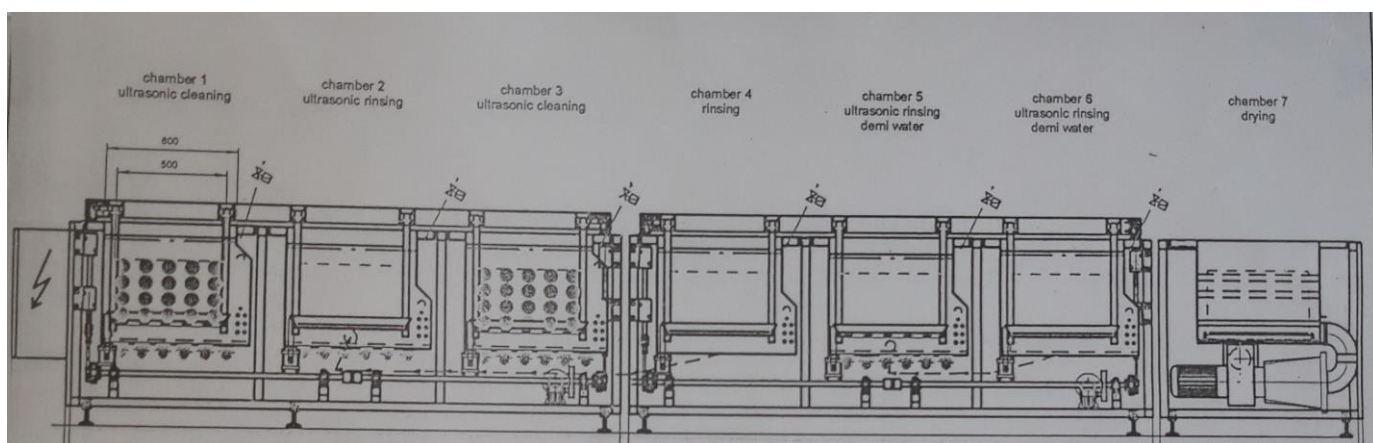
Slika 25. Uređaj KKS-H7-120 [9]

KKS-H7-120 uređaj sastoji se od 7 posuda za rad a to su:

1. posuda s alkalnom (lužnatom) vodenom otopinom za odmašćivanje (otopina BIS O 2700 alkalnog sredstva za odmašćivanje), 50-70°, s ultrazvukom,
2. posuda s vodovodnom vodom za ispiranje, 40-50°, s ultrazvukom,
3. posuda s kiselim vodenom otopinom za odmašćivanje (otopina BIS KOMBI 25 kiselog sredstva za odmašćivanje), 50-70°, s ultrazvukom,
4. posuda s vodovodnom vodom za ispiranje,
5. posuda s demineraliziranom vodom, s ultrazvukom,
6. posuda s demineraliziranom vodom,
7. posuda - sušionik.

Nakon što se izvršila priprema posuda s alkalnom vodenom otopinom za odmašćivanje i posuda s kiselim vodenom otopinom za odmašćivanje prema radnoj uputi, može se početi sa odmašćivanjem proizvoda.

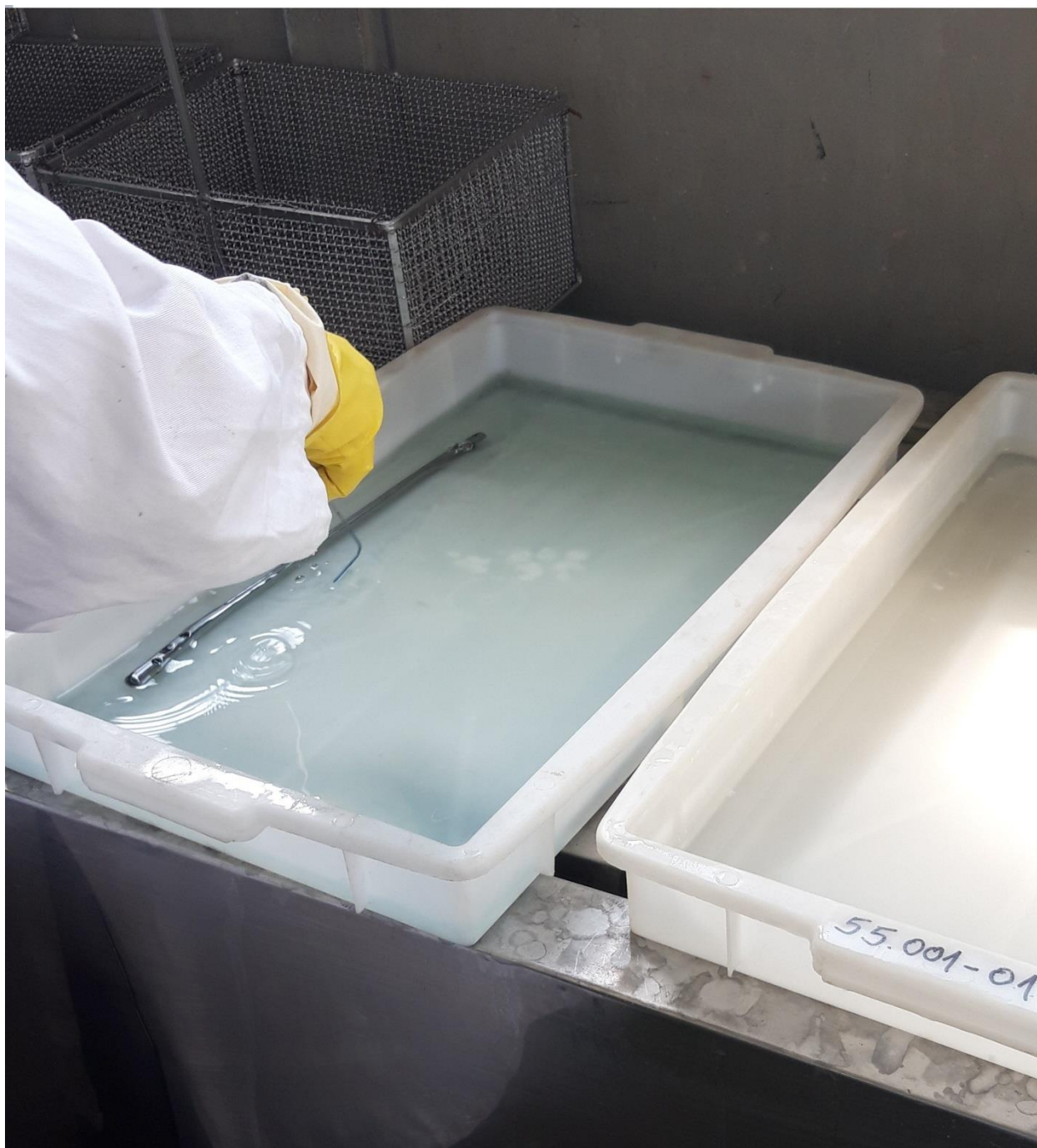
Proizvode složene u košaru stavljamo u posudu 1. s lužnatom vodenom otopinom za odmašćivanje s uključenim ultrazvukom od 80 Hz sa strane i sa dna. Nakon toga se prenose iz posude 1. u posudu 2. te slijedi ultrazvučno ispiranje u vodovodnoj vodi. Nakon pet minuta slijedi prebacivanje u posudu 3. za odmašćivanje kiselim otopinom, potrebno je uključiti ultrazvuk od 80 Hz sa strane i sa dna. Nakon odmašćivanja u posudi 3. vraćamo proizvode u posudu 2. ponovno na ultrazvučno ispiranje u vodovodnoj vodi. Kada je završilo ultrazvučno ispiranje u posudi 2. proizvode prenosimo u posudu 4. na ispiranje u vodovodnoj vodi. Nakon posude 4. slijedi ispiranje demineraliziranom vodom s ultrazvukom u posudi 5. te u konačnici ispiranje u posudi 6. demineraliziranom vodom, u svakoj od posuda po 5 minuta.



Slika 26. KKS uređaj za ultrazvučno odmašćivanje [9]

Nakon postupka odmašćivanja slijedi dekapiranje titanskih proizvoda prije postupka anodizacije prikazano slikom 21. Postupak dekapiranja obavezan je za proizvode koji se anodiziraju.





Slika 27. Dekapiranje [9]

Prethodno odmašćeni proizvodi se stavljaju u prethodno pripremljenu smjesu kiselina, lagano se pomiču metalnim štapićem po plastičnoj posudi sve do trenutka dok ne budu jednolično prekriveni sa mjehurićima. Pojavom mjehurića se prekida reakcija dekapiranja, proizvod se uranja u vodovodnu vodu, u dvije posude.



**Slika 28. Smjesa kiselina za dekapiranje i vodovodna voda [9]**

Vrijeme trajanja postupka dekapiranja titanskih proizvoda je kratko i to je nekoliko sekundi. Kraj procesa je kada dođe do promjene boje površine iz sjajne u matiranu određuje se vizualnom metodom. Nakon što je dekapiranje gotovo vrši se ispranje u vodovodnoj vodi i u destiliranoj vodi te je proizvod spreman za proces anodizacije i montira se na titanske žice – držače za anodizaciju.

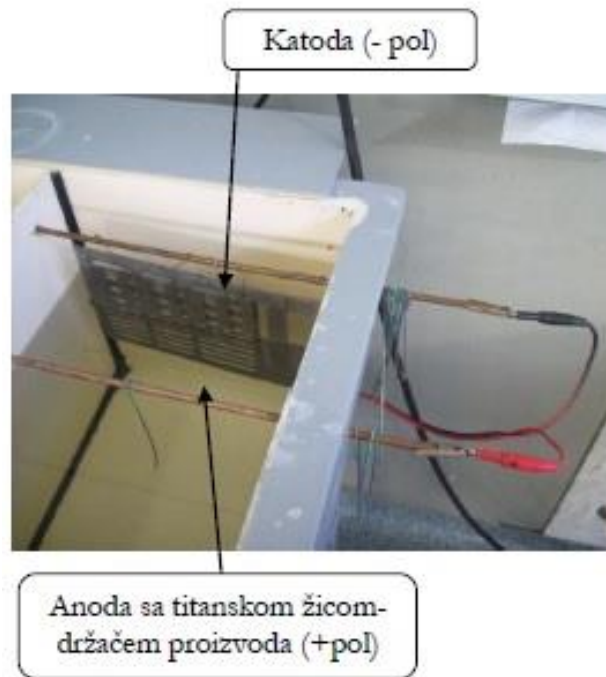
### 3.4. Postupak anodizacije

Postupak anodizacije je definiran radnom uputom, a ovaj eksperiment se provodio u tvrtci Instrumentaria d.d.. Anodizacija se provodi u 5% fosornoj kiselinu. Pored kadice s elektrolitom za anodizaciju potreban je i ispravljač za anodizaciju titanskih proizvoda koji pretvara izmjeničnu u istosmjernu struju, oznake EA-PS 8160-04. Ispravljač služi za reguliranje napona i jačine struje.



Slika 29. Ispravljač i kadica s elektrolitom [9]

Prilikom pripreme prije samog postupka potrebno je postaviti vodiče na bakrene šipke i paziti na polove. Implant koji se stavlja na titansku žicu koja drži proizvod je pozitivna elektroda, odnosno anoda.



Slika 30. Postavljanje bakrenih žica [9]



Slika 31. Držači proizvoda prilikom anodizacije [9]



Obzirom da tvrtka Instrumentaria d.d. osim intramedularnih čavala proizvodi i druge vrste implanta, kao što su pločice, različiti spongiozni i kortikalni vijci, distalni vijci, troch čavli itd. za svaku grupu tih proizvoda je definirano u koju boju će se anodizirati i kojim parametrima. Iz radnog postupka je potrebno pronaći grupu proizvoda s popisom proizvoda i parametrima boja oksidnih slojeva i vrijednostima napona koje se primijenjuju.

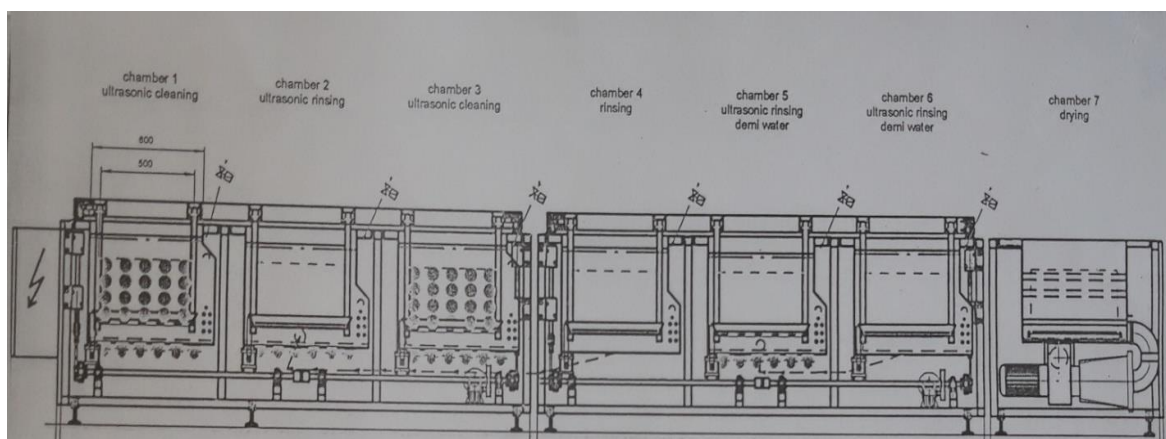
Potrebno je izabrati odgovarajući program prema gore navedenoj tablici 3. potom podesiti napon te ugaziti ispravljač.



Slika 32. Primjer postavljenih parametara [9]

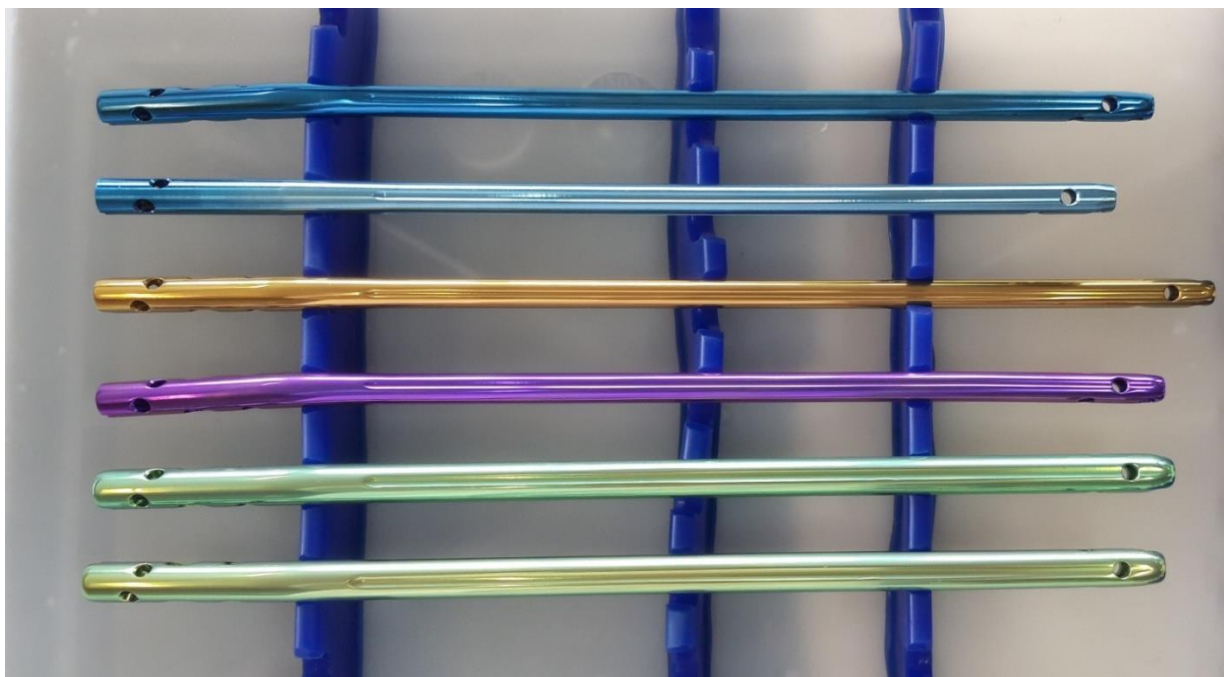
Kada je napon podešen proizvod se postavlja na bakrenu šipku, nakon što je ispravljač upaljen šipka se uranja u elektrolit. Tijek se prati otprilike jednu minutu odnosno kada počinje formiranje sitnih mjehurića, dolazi do promjene boje i pada vrijednost struje. Kraj postupka je vidljiv kada praćenjem vrijednosti struje na donjem zaslonu ispravljača struja prestane padati, odnosno kada se ustabili na neku vrijednost, postupak anodizacije je gotov. Kada se struja u amperima ustali na minimumu, te kada je dobivena željena boja oksidnog sloja, proces je završen.

Nakon završenog procesa anodizacije ostaci fosforne kiseline se ispiru u vodi te se potom odnose u KKS liniju za ultrazvučno čišćenje, KKS H7-120 na završnu obradu.



Slika 33. KKS linija za ultrazvučno odmašćivanje [9]

Nakon ispiranja u običnoj vodi u posudi 4. pri 40 - 50 °C, vrši se ultrazvučno ispiranje u demineraliziranoj vodi pri 40 - 50 °C u posudi 5. te nakon toga ispiranje u demineraliziranoj vodi pri 40 - 50 °C u posudi 6. Nakon ispiranja potrebno je osušiti ostatke vode (kapljice vode ne smiju ostati na proizvodu), gotovi proizvod se stavlja u čiste posude s poklopcima te prosljeđuje na slijedeću operaciju prema tehnološkom postupku, odnosno završnoj kontroli.



Slika 34. Intramedularni čavao nakon postupka anodizacije [9]

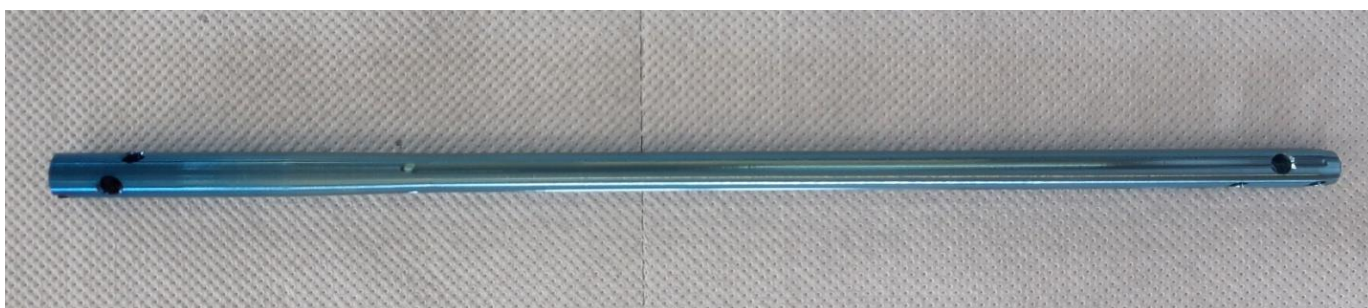
Kako je ranije navedeno, boja materijala ovisi o jačini napona. Sa naponom od 16 V može se postići brončana boja i ona ima najtanji sloj, a da bi se postigao najdeblji sloj koristi se napon od 107 V i on je zelene boje. Debljina tog oksidnog sloja mjeri se u nanometrima. Prema izvršenom eksperimentalnom dijelu postupka anodizacije u tvrtci Instrumentarija d.d., navedena tvrtka za svoje proizvode koristi 5 različitih boja a to su, morsko plava, nebesko plava, zlatno žuta, ljubičasta i zelena.

Morsko plava prva je boja koja je dobivena postupkom anodizacije tip III i ona ima najtanji sloj, koristili smo napon od 30 V i jakost struje 4,000 A, ona se koristi za anodizaciju upravo intramedularnog tibijalnog čavla.



**Slika 35. Morsko plava [9]**

Slijedeća boja koja je postignuta je ledeno plava, za navedenu boji potreban je napon od 37 V i jakost struje 3,500 A.



**Slika 36. Nebesko plava [9]**



Slijedeća boja je zlatno žuta, za tu boju potrebno je podesiti napon od 60 V i jakost struje od 4,000 A.



**Slika 37. Zlatno žuta [9]**

Nakon zlatno žute u spektru boja slijedi ljubičasta te je za tu boju korišten napon od 77 V i jakost struje od 3,100 A.



**Slika 38. Ljubičasta [9]**

Posljednja boja koja je dobivena postupkom anodizacije je zelena, korišten je napon od 107 V i jakost struje 4,000 A.



**Slika 39. Zelena [9]**

### 3.5. Nesukladnosti i pogreške pri izvođenju anodizacije

Prilikom procesa anodizacije moguće su nesukladnosti u dobivanju neujednačene boje ili ne dolazi do samog procesa. To se najčešće događa kod nekih vrsta malih kortikalnih vijaka gdje u glavi šesterokuta može postajati mogućnost zaostajanja mjehurića zraka te tada šesterokut neće biti anodiziran, te se manifestira kao pojava mjehurića u kupki.

Ako dođe do pogreške prilikom izvođenja postupka, kao na primjer dobivena je pogrešna boja, tu grešku je moguće ispraviti tako što se površina ponovno očisti visokoalkalnim sredstvom, ponovno izvrši postupak pripreme površine i na kraju opet postupak anodizacije.

Kako je napon povezan sa dobivanjem određene boje, jakost struje s druge strane određuje vrijeme trajanja tog postupka. Ukoliko se poveća jakost struje stvaranje oksidnog sloja će se brže odvijati, ali ako bude prevelika brzina stvaranja tog sloja postoji mogućnost da će doći do diskontinuiteta u boji.

## 4. ZAKLJUČAK

Za razvoj proizvoda u medicinske svrhe uzima se u obzir više faktora, kako sa tehnološke strane kako da se što jednostavnije proizvede uz što manje troškova i u skladu sa tržišta također se uzima u obzir i sama funkcionalnost, odnosno da kirurzima koji izvode operativni zahvat bude što jednostavnije za ugradnju navedenog implanta uz što jednostavniju tehniku izvođenja zahvata korištenjem instrument seta. Zato je postupak anodizacije titana vrlo važan proces, jer u samoj praksi prilikom izvođenja operativnog zahvata u ortopedskoj medicini olakšava identifikaciju različitih komponenti i smanjuje rizik od nepravilnog odabira implantata ili komponenata. Osim toga kako se često navodi, da bi se neki materijal koristio u implant on, uz druge zahtjeve, mora biti i biokompatibilan.

Ovim postupkom se dodatno postiže biokompatibilnost samog proizvoda te u konačnici utječe direktno na pacijenta time što se smanjuje mogućnost za različite komplikacije prilikom oporavka od traume, dakle poboljšava kvalitetu života.

## LITERATURA

[1] Metalne pjene, dostupno na:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5456484/>, pristupljeno 20.08.2024.

[2] Marija Puškarić: *Metalne pjene*, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2020

[3] Izvadak iz Instrumentaria tehničke dokumentacije: *TM 05\_Intramedullary\_Nails\_version\_6.1* izdana 14.09.2018, *Appendix 6 - Surgical Technique – Nails*, *TM-05\_Intramedullary\_Nails\_version\_6.1* izdana 14.09.2018., *Material specifications, ISO-5832-3-2021, Technological process, 5-7.3-RU-06 Anodizacija titanskih proizvoda ver.0.2, 5-7.3-RU-23 Otapanje okujine i dekapiranje Ti legura ver.0.3*, preuzeto 21.05.2023.

[4] <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb%3A4167/datastream/PDF/view>, pristupljeno 01.07.2023.

[5] <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb%3A6309/datastream/PDF/view>, pristupljeno 01.07.2023.

[6] <http://metalpedia.asianmetal.com/metal/titanium/application.shtml>,

pristupljeno 01.07.2023.

[7] <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1299>,

pristupljeno 02.07.2023.

[8] <https://kks-surfacetreatment.com/en/expertise/color-anodizing/>,

pristupljeno 02.07.2023.

[9] Slike korištene iz vlastitog izvora