



Wrocław, 01.02.2022 r.

PROJEKT IMPLANTU KRAŻKA MIĘDZYKRĘGOWEGO

z systemem mocowania w trzonie

Implanty i sztuczne narządy

Projekt implantu krążka międzykręgowego z systemem mocowania w trzonie

Patryk Olearczyk 261089
Ania Sałaciak 261097

Biomechanika inżynierska

grupa:
Środa 9:15-11:00

Spis treści

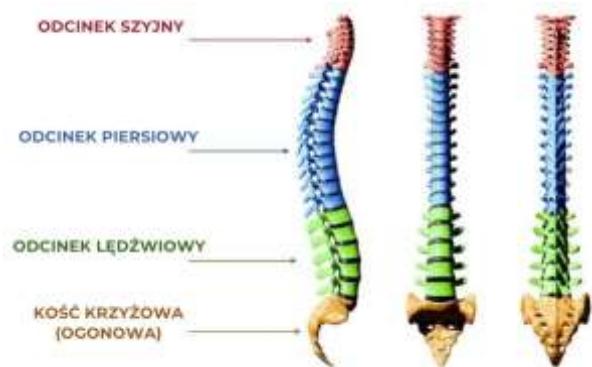
1. Wstęp – anatomia, biomechanika i problematyka medyczna
1.1. Anatomia	2
1.2. Biomechanika.....	3
1.3. Problematyka medyczna	4
1.4. Typy zabiegów wszczepienia implantu.....	5
1.5. Ryzyko i możliwe powikłania pozabiegowe.....	7
2. Analiza istniejących konstrukcji – przegląd rozwiązań.....
2.1. Implanty z możliwością rozszerzania (<i>Elsa Spacer, Magnify S</i>)	7
2.2. Implanty dwuczęściowe (Intercontinental Plate – Spacer, Idys – LLIF 3DTi).....	9
2.3. Implant redukujący kręgozmyk (Monument Anterior Spondylolisthesis Reduction System)	11
2.4. Hedron.....	12
2.5. Narzędzia stosowane podczas zabiegów	12
3. Projektowany implant.....
3.1. Wymagania.....	13
3.2. Funkcje.....	13
3.3. Założenia konstrukcyjne	13
4. Propozycje rozwiązań konstrukcyjnych.....
4.1. Model 1 (<i>Balonik</i>)	14
4.2. Model 2 (<i>Lewarek</i>).....	15
4.3. Model 3	15
4.4. Mocowanie (żaba)	15
4.5. Mocowanie (krab)	16
4.6. Kryteria wyboru	16
5. Obliczenia wytrzymałościowe.....
5.1. Granice wytrzymałości.....	17
5.2. Obliczenia ramion środkowego elementu	17
5.3. Obliczenia średnicy środkowego elementu.....	19
5.4. Obliczenia ściskanych podpór.....	19
5.5. Obliczenia wału skrętnego	20
5.6. Obliczenia wytrzymałościowe	22
6. Bibliografia.....	23

1. Wstęp - anatomia, biomechanika i problematyka medyczna

1.1. Anatomia:

Kręgosłup jest zbudowany z kręgów oraz dysków (krążków międzykręgowych), które są połączone za pomocą stawów. Wyróżniamy 7 kręgów szyjnych, 12 kręgów piersiowych, 5 kręgów lędźwiowych, 5 kręgów krzyżowych - zrosniętych z sobą i tworzących kość krzyżową oraz kość guziczną zbudowaną z 4-5 zrosniętych kręgów.

W płaszczyźnie strzałkowej wyraźnie widoczne cztery krzywizny: lordozy (wygięcie do przodu) szyjna i lędźwiowa oraz kifozy (wygięcie do tyłu) piersiowa i krzyżowa.



Rys. 1.1.1. Odcinki kręgosłupa ^[1].

Funkcje kręgosłupa:

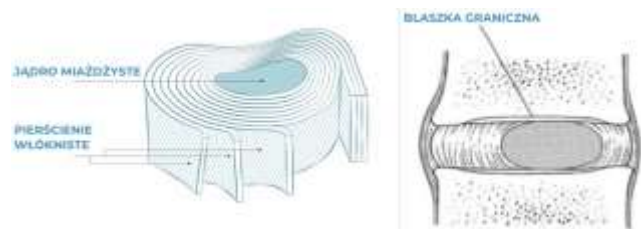
- utrzymywanie pionowej sylwetki oraz równowagi,
- amortyzuje obciążenia w osi długiej ciała,
- stanowi rusztowanie dla narządów wewnętrznych klatki piersiowej i brzucha,
- umożliwia wykonywanie ruchów szyi i tułowia we wszystkich trzech płaszczyznach,
- chroni tkankę nerwową rdzenia kręgowego.

Rdzeń kręgowy, znajduje się w kanale kręgowym. Otoczony jest przez worek oponowy, wypełniony płynem mózgowo-rdzeniowym, dzięki czemu rdzeń kręgowy pozostaje odżywiony i dodatkowo chroniony.

Budowa krążka

Każdy z elementów krążka międzykręgowego pełni ważną funkcję:

- jądro miażdżyste – dzięki niemu może nastąpić zmiana ustawienia trzonów kręgów w różnych kierunkach, ale w ograniczonym zakresie kątowym,
- amortyzuje napięcia i naciski, przenosi je równomiernie na wszystkie strony: na pierścień włóknisty i płytki chrzęstne trzonów kręgowych,
- blaszki graniczne – chronią trzon kręgu przed przedostaniem się do niego jądra miażdżystego, równomiernie przenoszą oraz przejmują część obciążeń, które przenosi kręg,
- pierścień włóknisty - odpowiada za utrzymanie w odpowiednim położeniu jądra miażdżystego i zapewnienie wytrzymałości na siły rozciągające ^{[3] [4]}.



Rys. 1.1.2. Budowa krążka ^[2].

Tabela 1.1.1. Tabela z wysokościami krążka ^[4].

Krążek	Wysokość krążka [mm]	
	Mężczyźni	Kobiety
T12/L1	5,6 ± 1,1	4,8 ± 0,8
L1/L2	6,9 ± 1,3	5,8 ± 0,9
L2/L3	8,1 ± 1,4	6,9 ± 1,1
L3/L4	8,7 ± 1,5	7,6 ± 1,2
L4/L5	9,2 ± 1,6	8,5 ± 1,6
L5/S1	8,8 ± 1,6	8,6 ± 1,8

Średnica krążka międzykręgowego mieści się w granicach 30 - 50 mm w przypadku zdrowego dorosłego.

1.2. Biomechanika

Biomechanika kręgosłupa na przykładzie kręgosłupa lędźwiowego.

W skład odcinka lędźwiowego kręgosłupa wchodzi 5 kręgów o masywnych trzonach. Wyrostki stawowe są ustawione niemal pionowo, w związku z czym znajdujące się na nich powierzchnie stawowe przebiegają w płaszczyźnie strzałkowej. W efekcie ograniczają rotację, a poszerzają zakres zgięcia i wyprostu. Odcinek lędźwiowy posiada największą wytrzymałość. Jego siła nośna wynosi przeciętnie około 400 kg.

Oś poszczególnych ruchów kręgosłupa znajduje się w środku jądra miażdżystego i przemieszcza się wraz z tym jądrem – do przodu podczas przeprostu i do tyłu w czasie zgięcia. W związku z tym zaburzenie funkcji podporowej jądra to zawsze początek patologii kręgosłupa.

Podczas stałego nadmiernego nacisku jądro traci umiejętność wchłaniania wody i ulega zniszczeniu. Pozycją, w której krążek międzykręgowy poddawany jest największemu naciskowi (często stałemu), jest siedzenie z tzw. przygarbieniem. Niemal równie szkodliwą dla krążka pozycją jest zginanie odcinka lędźwiowego kręgosłupa podczas stania na nogach prostych w kolanach.

Kluczowe dla przenoszenia obciążeń działających na kręgosłup jest miejsce, w którym ostatni kręg lędźwiowy łączy się z kością krzyżową. Miejsce to ma kształt wygiętego ku przodowi klina, zbudowanego z 5 zrośniętych ze sobą kręgów. Razem z dwiema kośćmi biodrowymi i kością krzyżową tworzą miednicę – podstawę i rusztowanie kręgosłupa – na którą przenoszone są wszystkie obciążenia. Przenoszenie obciążeń odbywa się w specyficznym miejscu, ponieważ lordoza lędźwiowa przechodzi tu w kifozę krzyżową. Zmiana ustawienia kręgosłupa i klinowaty, bardzo wysoki od przodu krążek międzykręgowy zapewniają temu miejscu duży zakres ruchomości. Jednocześnie kumulują się tu obciążenia przenoszone przez cały kręgosłup. W związku z tym zmiany pozycji, wykonywane czynności i wydłużanie ramienia dźwigni są w tym rejonie najwyraźniej odczuwalne.

Jeżeli chodzi o ruchomość kręgosłupa, ta różni się w zależności od czynników, takich jak wiek czy płeć. Na 405 ochotnikach w wieku od lat 14 do lat 86 przeprowadzono badania. Dane zostały podzielone ze względu na płeć i wiek. U młodych ludzi stopień zgięcia kręgosłupa wynosił około 73 stopni, a u najstarszych około 40 stopni. Dla statystycznego dorosłego kąt ten to około 60 stopni, przy czym należy pamiętać, że każdy krąg ma osobny zakres ruchomości. Przykładowo średnia kąta zgięcia w kręgu L4 - L5 to około 14,5 stopnia u kobiet i 13,4 stopnia u mężczyzn. Pomimo braku dokładnych informacji co do ruchomości każdego kręgu, łatwo da się oszacować, że średnia wartość kąta zgięcia w odcinku lędźwiowym waha się między 10 a 12 stopni ^{[5] [6]}.

Tabela 1.2.1. Maksymalne i minimalne mediany zakresu ruchu w odcinku lędźwiowym kręgosłupa u wszystkich badanych (grupy wieku badanych 16 – 90 r.ż.) [7].

RUCH	MĘŻCZYŹNI		KOBIETY	
	WARTOŚĆ MAKSYMALNA (MEDIANA WARTOŚCI; STOPNIE)	WARTOŚĆ MINIMALNA	WARTOŚĆ MAKSYMALNA (MEDIANA WARTOŚCI; STOPNIE)	WARTOŚĆ MINIMALNA
Zgięcie	73	40	68	40
Wyprost	29	7	28	6
Zgięcie boczne w prawo	28	15	27	14
Zgięcie boczne w lewo	28	16	28	18
Rotacja osiowa w prawo	7	7	8	8
Rotacja osiowa w lewo	7	7	6	6

Różnice u kobiet i mężczyzn

Kręgosłup w odcinku lędźwiowym różni się nieco u mężczyzn i kobiet. W wyniku ewolucji, kobiety posiadają większą możliwość wygięcia w odcinku lędźwiowym. Powodem tego jest ciężar, który występuje u kobiet w ciąży. Powoduje on przesunięcie się środka ciężkości do przodu. Aby prościej było utrzymać równowagę oraz odciążyć mięśnie pleców, wychylają się do tyłu. U kobiet, w ugięciu odcinka lędźwiowego biorą udział trzy kręgi, a u mężczyzn tylko dwa. Dodatkowo różni się budowa stawów, pomiędzy tymi właśnie kręgami [8].

1.3. Problematyka medyczna

Choroby krążka

Przyczynami wprowadzenia implantu są:

- różnego rodzaju choroby zwyrodnieniowe krążków międzykręgowych np. dehydratacja, która wynika z odwodnienia wnętrza dysku, przepuklina, czyli przesunięcie się jądra poza jego dopuszczalne normy (wyciśnięcie na zewnątrz),
- chirurgia rewizyjna - polega na ponownym dokonaniu zabiegu, w miejscu, w którym wcześniej była już wykonywana operacja [9].

W przypadku nadmiernej ruchomości kręgosłupa, kolejnych (rewizyjnych) zabiegów operacyjnych oraz istnienia przemieszczeń kręgów (kręgozmyk) konieczne jest zastosowanie implantów w celu zmniejszenia przemieszczenia chorego segmentu ruchowego kręgosłupa i jego stabilizacji.

Wskazania

Wskazaniami do wykonania zabiegu są m.in.:

- choroby zwyrodnieniowe krążków międzykręgowych (DDD – Degenerative Disc Disease),
- chirurgia rewizyjna,
- niestabilności kręgów,
- urazy kręgosłupa,
- kręgozmyki,
- nowotwory.

Przeciwwskazania

Lista przeciwwskazań jest długa. Niektóre mogą całkowicie wykluczyć pacjenta z poddania się operacji, niektóre zmniejszyć szanse na powodzenie zabiegu. Każdy pacjent musi zostać rozpatrzony indywidualnie. Do zabiegu pacjent może zostać dopuszczony po ocenie dokonanej przez anestezjologa. W tym celu osoba podlegająca operacji musi wykonać kilka badań m.in.: morfologię krwi obwodowej, grupy krwi oraz czynnika Rh, EKG czy badanie układu krzepnięcia (APTT, INR).

Przeciwwskazaniem do wykonania zabiegu może być:

- infekcja w miejscu wykonywania zabiegu,
 - ciąża,
 - duża otyłość,
 - alergia na materiał implantu,
 - niewystarczająca jakość kości dla stabilnego zamocowania implantów,
 - zaburzenia ukrwienia,
 - znaczne zniekształcenie anatomiczne wywołane wrodzonymi nieprawidłowościami,
 - gorączka,
 - objawy miejscowego zapalenia,
 - niechęć przestrzegania zaleceń pooperacyjnych
- oraz wiele innych.

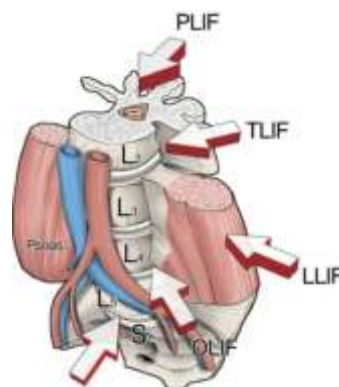
Operacja wszczepienia implantu międzykręgowego powinna być ostatecznością. Jeżeli stan pacjenta pogarsza się i powoduje ciągły dyskomfort w życiu codziennym, może zostać przeprowadzona operacja. Do takiego stanu może doprowadzić zmiażdżenie krążka lub pojawienia się przepukliny krążka międzykręgowego. Takie przypadki mogą powodować mocne osłabienie nóg pacjenta oraz ciągły ból w nerwach ^[10].

1.4. Typy zabiegów wszczepienia implantu

Celem operacji jest przywrócenie krążkowi międzykręgowemu jego naturalnego kształtu, zdejmując w ten sposób nacisk ze rdzenia kręgowego.

Operacje wszczepu implantu dzieli się na 5 podstawowych typów:

- ALIF (anterior lumbar interbody fusion) – jest to przednia, lędźwiowa stabilizacja międzytrzonowa, która polega na dojściu zaotrzewnowym do kręgosłupa. Szczególne zastosowanie znajduje w przypadku leczenia odcinków kręgosłupa na poziomie dysków L4 – L5, a także L5 – S1. Zaletą tej metody jest pozycja leżąca na plecach podczas zabiegu, ponieważ ułatwia ona dostęp do chorego miejsca bez potrzeby preparowania worka oponowego oraz korzeni nerwowych. Nie pozostawia również blizny w kanale kręgowym, zachowuje mięśnie przykręgosłupowe, a także posiada największy procent osiągnięcia zrostu kostnego.
- PLIF (posterior lumbar interbody fusion) – jest to tylna, lędźwiowa stabilizacja międzytrzonowa, która polega na odsunięciu worka oponowego wraz z nerwami na bok w celu uwidocznienia zwyrodniałego krążka i usunięcia go z dojścia „na wprost”
- TLIF (transforaminal lumbar interbody fusion) – jest to boczna, lędźwiowa stabilizacja międzytrzonowa, podczas której usuwany jest staw międzykręgowy. Metoda ta nie wymaga otwarcia kanału



Rys. 1.4.1. Obrazowe przedstawienie miejsc wprowadzania implantów metodą PLIF, TLIF, LLIF, OLIF.

kręgowego. TLIF tylko nieznacznie różni się od metody PLIF, przy czym charakteryzuje się mniejszą inwazyjnością.

- OLIF (oblique lateral lumbar interbody fusion) – jest to skośno – boczna stabilizacja międzykręgowa, która jest najmniej inwazyjną techniką, którą stosuje się z dostępu skośnego przedniobocznego.
- LLIF (lateral lumbar interbody fusion) /XLIF (extreme lateral lumbar interbody fusion) – to operacje polegające na zespoleniu kości kręgow, dzięki bocznemu dostępowi. Technikę LLIF nie znajduje zastosowania dla kręgów L5/S1 z powodu niekorzystnego położenia grzebienia biodrowego.

Metody te stosuje się różnie, w zależności od miejsca, w które ma zostać wszczepiony implant. Dla przykładu operacja ALIF ma przewagę podczas operowania krążka L5/S1, ponieważ nie napotyka na talerz biodrowy, utrudniający dostęp w pozostałych metodach.

W przypadku wszczepienia implantu międzykręgowego (cage) odcinka lędźwiowego z systemem mocowania w trzonie możliwe są jedynie operacje PLIF i ALIF ^[11].

Operacje te odbywają się w podobny sposób. W operacji PLIF otwierany jest od tyłu dostęp do kręgosłupa, po czym wkręcone zostają śruby, których rolą jest umożliwienie rozsunęcia kręgów do optymalnej pozycji do operacji i możliwość utrzymania stabilnej pozycji kręgosłupa po zakończeniu operacji. Następnie zostają wycięte fragmenty kręgów, które stoją na drodze do krążka międzykręgowego. Przed wycięciem otworu w krążku międzykręgowym koniecznym jest odsunięcie rdzenia międzykręgowego przy pomocy specjalistycznego uchwytu. W krążku wycięty zostaje otwór, a następnie częściowo usunięta zostaje tkanka. W powstałą przestrzeń może zostać włożony implant, wypełniony materiałem kostnym. Procedurę powtarza się po drugiej stronie kręgosłupa, a następnie przestrzeń wypełnia się materiałem kostnym co wspomaga integrację kręgów ^[12].



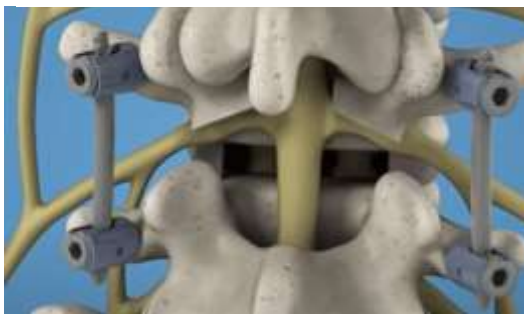
Rys. 1.4.2. Odsunięcie rdzenia kręgowego.



Rys. 1.4.3. Usunięcie kawałka krążka międzykręgowego.



Rys. 1.4.4. Wstawienie implantu.



Rys. 1.4.5. Zabezpieczenie po zabiegu ^[13].

1.5. Ryzyko i możliwe powikłania pozabiegowe

Podczas operacji mogą pojawić się efekty niepożądane, m. in.:

- infekcja - ryzyko infekcji jest bardzo niskie i wynosi między 1-2%. Ryzyko to jest zwiększone dla palaczy, ludzi otyłych, cukrzyków lub pacjentów, którzy byli poddani wcześniejszym procedurom. Tacy pacjenci są uprzednio ostrzegani o takim ryzyku,
- zerwanie worka oponowego / wyciek płynu mózgowo-rdzeniowego - podczas operacji może zdarzyć się naderwanie worka oponowego. W takiej sytuacji konieczne jest jego załatanie, a kilkudniowy pobyt pod obserwacją profesjonalistów, którzy muszą upewnić się, że worek oponowy nie otworzył się ponownie,
- nieprawidłowe/niepełne zrośnięcie się kości - proces zrośnięcia się kości powinien trwać około roku. Czasami proces ten nie jest, możliwy lub utrudniony. Takie problemy mogą pojawić się u palaczy.,
- uszkodzenie nerwów - Podczas przesuwania worka oponowego może nastąpić lekkie uszkodzenie rdzenia kręgowego. Jeżeli nastąpi takie uszkodzenie, może pojawić się problem z poruszaniem stopami oraz mogą pojawiać się bóle,
- uporczywy ból - operacja wszczepienia implantu nie jest operacją leczącą. Jeżeli rdzeń kręgowy został uszkodzony pod wpływem nacisku krążka międzykręgowego, jego leczenie może być niemożliwe ^[14].



Rys. 1.5.1. Powikłania pooperacyjne – zerwanie worka oponowego ^[14].

2. Analiza istniejących konstrukcji – przegląd rozwiązań

Tabela 2.1. Przykładowe wymiary implantów typu Cage ^[15].

	głębokość (mm)	szerokość (mm)	wysokość (mm)	lordoza (stopień)	powierzchnia (mm ²)	projekt
Anterior lumbar interbody cage (ALIF)	27	37	12	0	436	
Lateral lumbar interbody cage	18	55	12	0	587	

Dokonano podziału ze względu na typ operacji:

- ALIF – operacja wszczepienia implantu krążka międzykręgowego z dostępem od przodu, wykonywana najczęściej na odcinku L5/S1,
- LLIF – operacja wszczepienia implantu krążka międzykręgowego z dostępem od boku.

2.1. Implanty z możliwością rozszerzania

Elsa spacer

Elsa Spacer to implant międzytrzonowy ze zintegrowanym mocowaniem, który jest wszczepiany do kręgosłupa metodą LLIF. Implant może zostać zastosowany w kilku miejscach między kręgami L2-S1 i pomaga w przypadku powstania choroby zwyrodnieniowej dysku. Spośród innych implantów wyróżnia go jego budowa, która pozwala na modyfikację jego wysokości w pewnym zakresie. Jego podstawowa wysokość wynosi od 7 do 14 mm (najczęściej około 9 mm), i istnieje możliwość rozszerzenia rozstawu jego podstaw w zakresie od 5° do 20° lub 10° do 30°. Na rynku istnieje wiele różnych modeli Spacer'a Elsa, gdzie najczęściej zmienianym wymiarem jest jego długość, wahająca się między 35 do 65 mm. Szerokość implantu w większości modeli wynosi 20 mm.



Rysunek 2.1.1. Implant krążka międzykręgowego Spacer Elsa ^[16].

W implancie można zauważyć charakterystyczne dla mocowanych w trzonie implantów otwory. Zaznaczone na rysunku 2.1. numerem **1** otwory służą do mocowania śrub do trzonu kręgosłupa. Śruby te mają mniej więcej 35-40 mm długości i są wszczepiane pod kątem 35°. Otwór **2** pojawia się w implancie w celu umożliwienia wciśnięcia do jego wewnętrznej przestrzeni materiału kostnopodobnego, która w późniejszym etapie pozwoli na łatwiejszą osteogenezę. Pod numerem **3** widoczna jest śrubka, która steruje zmianą wysokości implantu, pozwalając zmienić jego wysokość od razu po wszczepieniu do krążka międzykręgowego.



Rys. 2.1.2. Zakres kątów Spacer Elsa ^[16].

Opisane powyżej procesy wkręcania śrub, rozszerzania implantu i wtryskiwania tkanki kostnej wymagają innego narzędzia do operacji. Rozszerzanie następuje w momencie włożenia implantu na jego miejsce, przy użyciu jednego narzędzia. Następnie należy wyjąć przyrząd, umieścić urządzenie do wtryskiwania materiału kostnopodobnego. Kolejne narzędzie będzie potrzebne, aby zamocować śruby w trzonie kręgosłupa. Taka ilość narzędzi może sprawiać komplikacje podczas operacji, dlatego warto byłoby spróbować ograniczyć tę liczbę do minimum ^{[16] [17]}.

Magnify S

Magnify S to całkowicie tytanowa, rozszerzalna konstrukcja, mocowana w trzonie kręgosłupa metodą ALIF. Jego głównym celem jest maksymalna dekompresja w miejscu wszczepienia, przywrócenie naturalnej wysokości dysku i umożliwienie jak najszybszej fuzji z tkanką kostną. Konstrukcja *Magnify* jest bardzo zbliżona do *Elsa Spacer*'a. Posiada takie same otwory na śruby czy wtryskiwanie materiału kostnego. Jest również rozszerzany w momencie wszczepienia go do kręgosłupa. W przeciwieństwie do poprzedniego implantu, *Magnify S* posiada tylko trzy podstawowe wymiary, które zawiera tabela 2.1.1. Śruby w *Magnify S* mają długość od 30 do 35 mm i są mocowane pod kątem od 30° do 35°. Analogicznie w operacji wszczepienia potrzebnych jest wiele różnych narzędzi ^{[18] [19]}.



Rys. 2.1.3. Implant krążka międzykręgowego *Magnify S* ^[18].

Tabela 2.1.1. Rozmiary implantu Magnify S.

Długość [mm]	Szerokość [mm]	Wysokość [mm]	Kąt wkręcania śruby [°]
25, 26, 29	31,34, 39	8 – 21	35 – 40

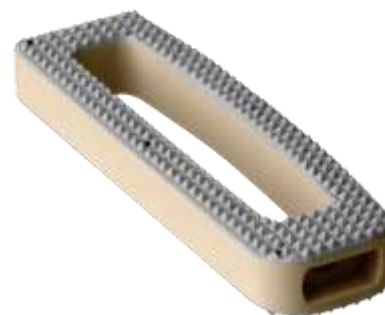
2.2. Implanty dwuczściowe

Intercontinental Plate – Spacer

Intercontinental Plate – Spacer to implant, który charakteryzuje się minimalną inwazyjnością podczas operacji z dostępem bocznym, lędźwiowej stabilizacji międzytrzonowej. Implant dostępny jest w różnych rozmiarach oraz geometrii, dzięki czemu dopasowuje się do indywidualnych, anatomicznych potrzeb pacjenta. Występujące na górnej i dolnej powierzchni podcięcia zazębiają się z sąsiadującymi kręgami, tak aby utrudnić wysunięcie się implantu. Podkładka wykonana jest z materiału PEEK, który jest niewidoczny podczas prześwietlenia rentgenowskiego, dlatego stosuje się warstwę ze stopu tytanu bądź znaczniki tantalowe, zgodnie z normami ASTM F136, F560, F1295 i F2026. Implant wykonywany jest metodą obróbki skrawaniem CNC. Podczas zabiegu płytki oraz podkładki dystansowa umieszczane są w przestrzeni krążka międzykręgowego, co ma za zadanie zminimalizować zakłócenia występujące w anatomii pacjenta. Implant stosuje się wraz z dwoma śrubami ze stopu tytanu, które odpowiednio dociskają implant tak, aby wspomóc zrośnięcie się implantu oraz kręgu. Podkładka dystansowa *TransContinental M* oraz płytki *InterContinental* są dostarczane jako dwa oddzielne produkty, które składane są przed umieszczeniem w przestrzeni międzykręgowej ^[20].



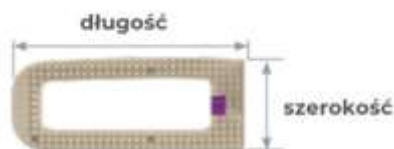
Rys. 2.2.1. Implant krążka międzykręgowego *Intercontinental Plate – Spacer* ^[20].



Rys. 2.2.2. Podkładka dystansowa *TransContinental* ^[20].

Tabela 2.2.1. Wymiary podkładki dystansowej *TransContinental* ^[21].

Długość [mm]	Szerokość [mm]	Wysokość [mm]
35, 40, 45, 50, 55 (dodatkowo dostępne 60)	20	8, 9, 11, 13, 15 (dodatkowo dostępne 17).



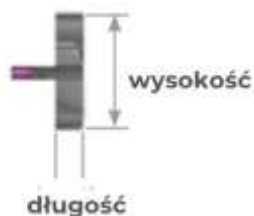
Rys. 2.2.3. Długość i szerokość płytki dystansowej ^[21].



Rys. 2.2.4. Wysokość płytki dystansowej ^[21].

Tabela 2.2.2. Wymiary płytki InterContinental ^[22].

Długość [mm]	Szerokość [mm]	Wysokość [mm]
5	20	8, 9, 11, 13, 15 (dodatkowo dostępne 17).



Rys. 2.2.5. Długość i wysokość płytki ^[22].



Rys. 2.2.6. Szerokość płytki ^[22].



Rys. 2.2.7. Kąt płytki ^[22].

Tabela 2.2.3. Wymiary śrub ^[20].

Długość [mm]	Średnica [mm]	Kąt [°]
30, 35, 40, 45, 50, 55 (dodatkowo dostępny 60)	5,5	<ul style="list-style-type: none"> Zmienny: od 9 do 24, Stały: 18.

Śruby samogwintujące wykonywane są ze stopu tytanu, zgodnie z normami ASTM F136 i F1295. Są dostępne z powłoką hydroksyapatytową (HA) bądź bez niej, zgodnie z normą ASTM F1185. Służą do mocowania w sąsiednich trzonach kręgów, tak aby odpowiednio jest ustabilizować ^[20].



Rys. 2.2.8. Wprowadzone do kręgów śruby ^[20].

Idys – LLIF 3DTi

Idys – LLIF 3DTi jest implantem z wkłesłą konstrukcją płytki z konfiguracją dwuśrubową, który zapewnia szeroki zakres kątów. Ułatwia to wprowadzanie śrub, szczególnie w przypadku nietypowej anatomii pacjenta. Wypukły profil Cage'a dopasowuje się do kręgów pacjenta, tym samym zapewniając lepszą stabilność. Idys – LLIF 3DTi posiada wkręty samogwintujące oraz samowierzące, a także jednoetapowy mechanizm blokujący o wysokiej efektywności. Implant wykonywany jest technologią 3DTi, która polega na selektywnym topieniu sproszkowanego tytanu



Rys. 2.2.9. Implant międzykręgowy Idys – LLIF 3DTi ^[23].

za pomocą lasera. Dzięki temu powstała struktura naśladująca ludzką kość beleczkową, w tym cechy mikrostrukturalne, które sprzyjają gojeniu oraz łączeniu się materiałów. Chropowata powierzchnia ułatwia integrację oraz zwiększa stabilność, a powstała porowatość wspomaga wrastaniu kości ^[23] ^[24].

2.3. Implant redukujący kręgozmyk

Monument Anterior Spondylolisthesis Reduction System

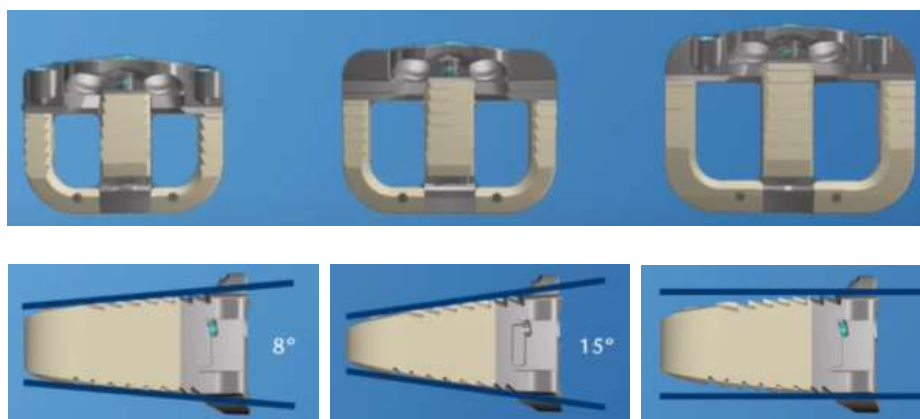
Monument Anterior Spondylolisthesis Reduction System to unikalny system ALIF, który posiada wbudowany mechanizm, którego celem jest redukcja kręgozmyku. Dodatkowo implant posiada funkcję samoblokującą, która blokuje się po osiągnięciu pożądanej redukcji. Monument wykonany jest z materiału PEEK oraz tytanu. Na swojej powierzchni posiada ząbki, dzięki którym, tak jak w przypadku *Intercontinental Plate – Spacer* lepiej zazębia się z sąsiadującymi kręgami. Implant dostępny jest w różnych rozmiarach, wysokościach, a także kątach, aby dokładniej dopasować się do kształtu kręgów ^[25].



Rys. 2.3.1. Implant krążka międzykręgowego Monument Anterior Spondylolisthesis Reduction System ^[25].

Tabela 2.3.1. Wymiary implantu Monument Anterior Spondylolisthesis Reduction System ^[25].

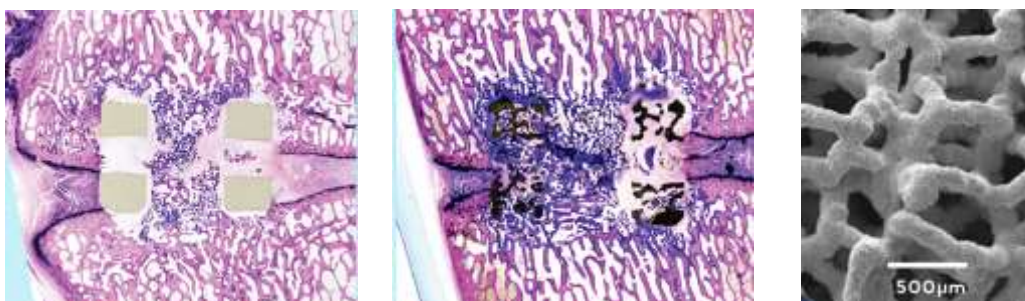
Wymiary [mm]	Profil [°]	Wysokość [mm]
25x31, 26x34, 29x39	8, 15	11, 13, 15, 17



Rys. 2.3.2. Implant międzykręgowy Monument Anterior Spondylolisthesis Reduction System ^[25].

2.4. Hedron

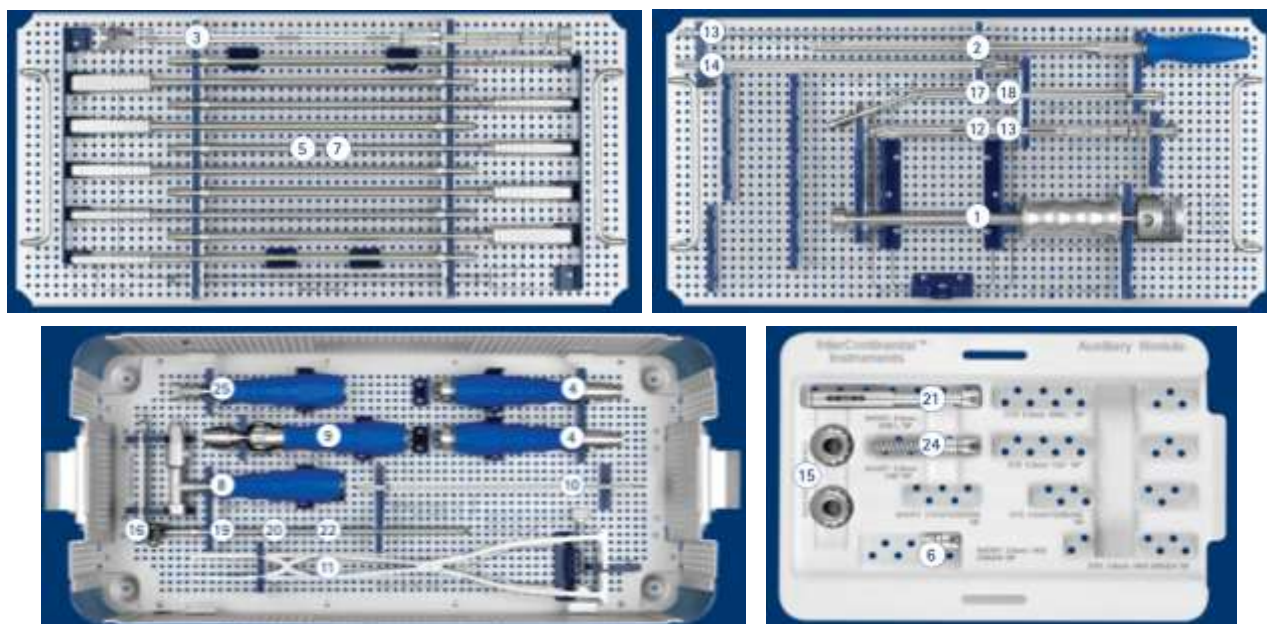
Hedron jest firmą, która zajmuje się produkcją tytanowych elementów implantów. Przy użyciu technologii druku 3D wykonują jedne z najbardziej zbliżonych do rzeczywistej kości gąbczastej struktur. Wyposażone są w biomimetyczne porowate rusztowanie, dzięki któremu tworzą wytrzymałą podstawę o bardzo dobrej biogodności. Według producentów sztywność implantu porównywalna jest do kości beleczkowej, a duża porowatość (70%) pozwala przyspieszyć proces osteogenezy, a także zwiększyć wytrzymałość [26].



Rys. 2.4.1. Struktura tytanowych elementów [26].

2.5. Narzędzia stosowane podczas zabiegów

Podczas zabiegów, w zależności od typu operacji oraz implantu, można korzystać z wielu narzędzi bądź z mniejszej grupy. W przypadku implantu *Intercontinental Plate – Spacer* posiada on swój własny zestaw widoczny na rysunku 2.5 [20].



Rys. 2.5.1. Zestaw narzędzi InterContinental [20].

Retraktor Mars

Retraktor Mars jest narzędziem stosowanym do montażu implantu Elsa. Posiada wymienne uchwyty o długościach od 40 do 170 mm, w zależności od potrzeb chirurga. Uchwyty wykonywane są z materiału widocznego podczas badania rentgenowskiego. Dzięki dwóm mocowaniom, z których przednie wysuwa uchwyt, a tylne wsuwa go z powrotem, narzędzie posiada bardzo łatwy sposób sterowania środkową częścią. *Retraktor Mars* jest również wyposażony w źródło światła, które zwiększa widoczność podczas operacji. Każdy z uchwytów może być poruszany niezależnie, a zakres ruchu wynosi: 60 mm i kąt 20° podczas odwodzenia ^[27].

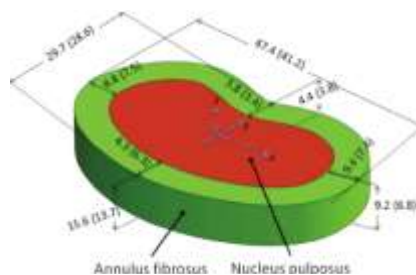


Rys. 2.5.2. Retraktor Mars ^[27].

3. Projektowany implant

3.1. Wymagania

Projektowany implant musi posiadać wymiary odpowiadające naturalnym wymiarom krążka L4/L5. Dodatkowo musi zachować odpowiednią sztywność oraz krzywiznę, zbliżoną do naturalnej krzywizny kręgosłupa, a także umożliwiać osteosyntezę.



Rys. 3.1.1. Wymiary krążka ^[28].

3.2. Funkcje

Funkcje, które musi spełniać projektowany implant:

- likwidowanie dolegliwości bólowych,
- umożliwienie zrośnięcia się sąsiadujących ze sobą kręgów, dzięki odpowiednio dobranemu materiałowi (osteogeneza),
- stabilizacja odcinka lędźwiowego.

3.3. Założenia konstrukcyjne

a) Przeznaczenie:

Osobą, dla której dedykowany jest implant jest mężczyzna w średnim wieku (50 – 60 lat), ważący około 120 kg, który posiada aktywny tryb życia.

b) Umiejscowienie:

Implant umieszczany będzie w odcinku L4/L5 (odcinek lędźwiowy) podczas operacji typu ALIF (dostęp przedni).

c) Mechanizmy implantu:

- możliwość rozszerzania się krążka ($5 - 30^\circ$),
- mocowanie śrub do trzonu,
- możliwość wtryskiwania materiału kostnego.

d) Obciążenie:

- zginanie, skręcanie, ściskanie, nacisk, 450 kg. max obciążenie,
- masa człowieka: 120 kg.



Rys. 3.2.1. Obciążenie podczas przyjmowania różnych pozycji ciała ^[29].

e) Materiały:

Podczas doboru materiałów wzięto pod uwagę biogodność, własności mechaniczne oraz wytrzymałościowe, okres stosowania, a także ekonomiczność. Ze względu na te cechy wybrano:

- Polieteroeteroketon (PEEK),
- fosforan wapnia,
- tytan.



Rys. 3.2.2. Tytan firmy Hedron ^[26].

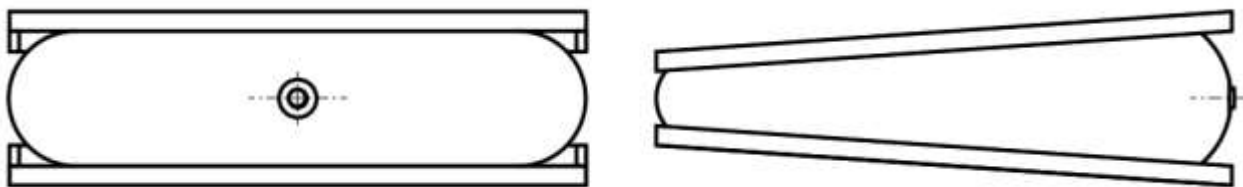
f) Wymiary:

Założono, że implant nie przekroczy następujących wymiarów:

- Wysokość (H) - 9 mm
- Długość (L) - 30 mm
- Szerokość (G) - 40 mm

4. Propozycje trzech rozwiązań konstrukcyjnych

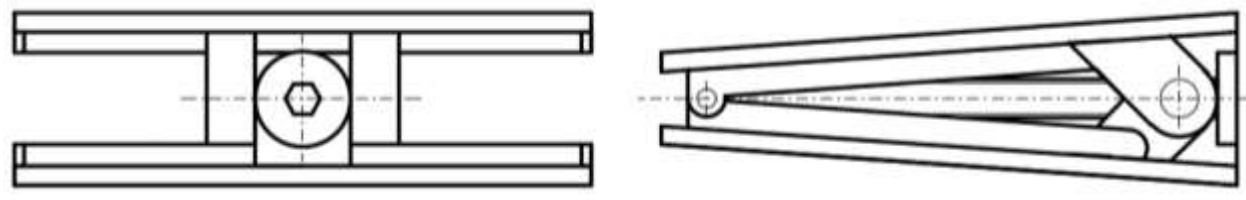
4.1. Model 1 (Balonik)



Rys. 4.1.1. Model 1 – balonik.

Model 1 składa się ze specjalnie ukształtowanego balonika, który po wypełnieniu odpowiednim płynem bądź gazem przyjmie wymagany kształt.

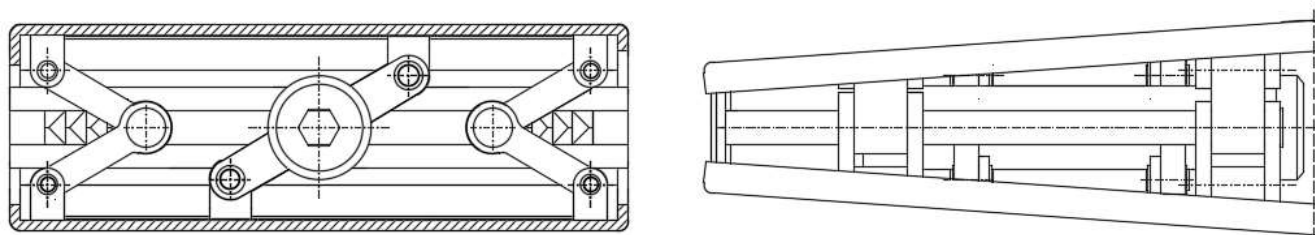
4.2. Model 2 (Lewarek)



Rys. 4.1.2. Model 2 – lewarek.

Model 2 działa na zasadzie tradycyjnego lewarka. Regulacja wysokości odbywa się za pomocą śruby, którą kręci się w nagwintowanym otworze.

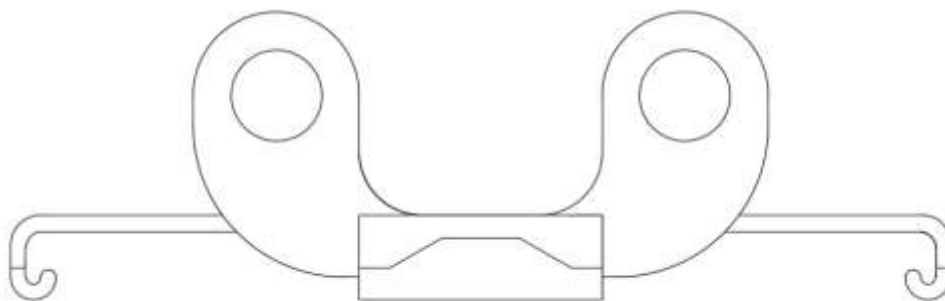
4.3. Model 3



Rys. 4.1.3. Model 3.

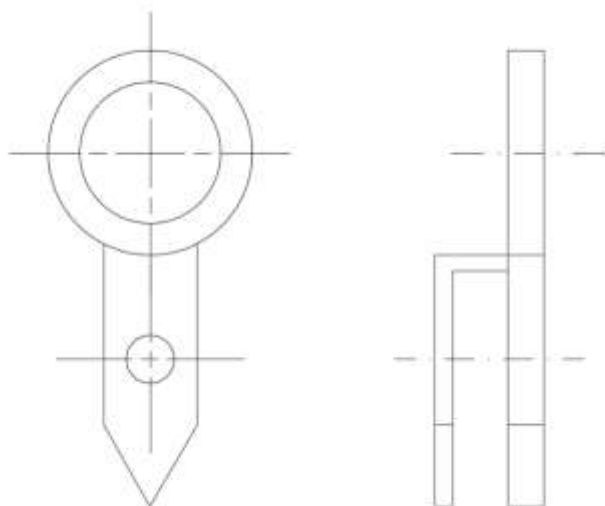
Model 3 jest najbardziej skomplikowanym mechanizmem spośród wszystkich trzech propozycji. Posiada 6 podpór, blokujące ząbki oraz elementy umożliwiające regulację wysokości.

4.4. Mocowanie (żaba)



Rys. 4.1.4. Mocowanie – żaba.

4.5. Mocowanie (krab)



Rys. 4.1.5. Mocowanie – krab.

4.6. Kryteria wyboru:

Tabela 4.6.1. Kryteria wyboru implantów.

Kryteria:	Model 1 (Balonik)	Model 2 (Lewarek)	Model 3
1. Regulacja wysokości (0 – 2)	1	2	2
2. Dostępność materiału (0 – 2)	0	2	2
3. Sposób blokowania mechanizmu (0 – 2)	0	2	1
4. Przestrzeń na wypełnienie materiałem kostnym (0 – 2)	0	1	2
5. Stałość kąta przy zmiennej wysokości (0 – 2)	1	0	2
Suma	2	7	9

1. Regulacja wysokości (0 – 2)

Model 1, w porównaniu do pozostałych konstrukcji ma najbardziej ograniczoną regulację wysokości, ze względu na brak stabilności oraz nieprzewidywalne zachowanie się materiału podczas napełniania (przyznano 1 punkt). Model 2 oraz Model 3 cechują się dokładniejszą regulacją wysokości, dzięki bardziej złożonej konstrukcji (przyznano 2 punkty).

2. Dostępność materiału (0 – 2)

Ze względu na brak materiału posiadającego odpowiednie własności i właściwości mechaniczne, Modelowi 1 przyznano 0 punktów. Model 2 oraz Model 3 mogą być wykonane np. z PEEK bądź stopu tytanu, dzięki czemu przyznano im 2 punkty.

3. Sposób blokowania mechanizmu (0 – 2)

Model 1 nie posiada blokowania mechanizmu (przyznano 0 punktów). Model 2 posiada najprostszy sposób blokowania mechanizmu, ze względu na zasadę działania lewarka (przyznano 2 punkty). Blokada Modelu 3 jest bardziej skomplikowana, ponieważ wymaga dodatkowych elementów, które będą współpracować z częściami regulującymi wysokość (przyznano 1 punkt).

4. Przestrzeń na wypełnienie materiałem kostnym (0 – 2)

Model 1 posiada najmniejszą przestrzeń, do której można by było wprowadzić materiał kostny (przyznano 0 punktów). Model 2, w porównaniu do Modelu 3 ma mniej miejsca, dlatego przyznano odpowiednio 1 i 2 punkty.

5. Stałość kąta przy zmiennej wysokości (0 – 2)

Model 1 charakteryzuje się małą zmianą kąta podczas zamiany wysokości (przyznano 1 punkt). Model 2, ze względu na konstrukcję nie ma możliwości, aby istniał stały kąt (przyznano 0 punktów). Model 3 ma najbardziej korzystną konstrukcję, biorąc pod uwagę kryterium.

Tabela 4.6.2. Kryteria doboru mocowania.

Kryteria	Mocowanie 1 (żaba)	Mocowanie 2 (krab)
Sposób mocowania śrub do implantu (0 – 2)	2	1
Sposób mocowania śrub do kręgów (0 – 2)	2	2
Suma	4	3

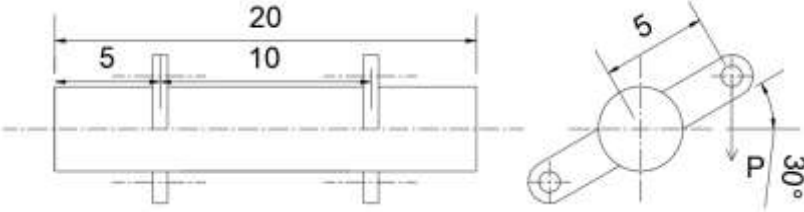
1. Sposób mocowania śrub do implantu (0 – 2)

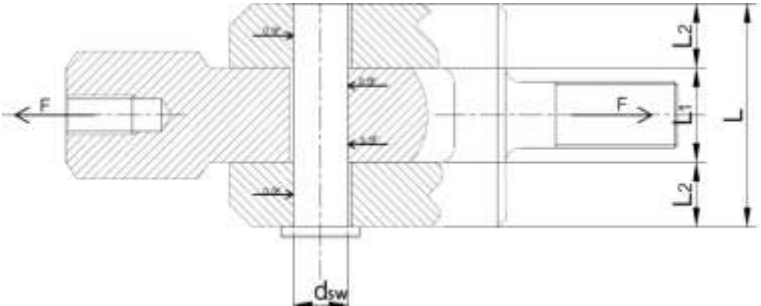
Mocowaniu 2, ze względu na potrzebę użycia dodatkowych wkrętów, przyznano 1 punkt. Mocowanie 1 otrzymało 2 punkty, dzięki mechanizmowi działającemu na zasadzie "trytyki".

2. Sposób mocowania śrub do kręgów (0 – 2)

Obu implantom przyznano 2 punkty.

Dane	Obliczenia	Wyniki
$m_{max} = 450 \text{ kg}$	<p>5. Obliczenia wytrzymałościowe</p> <p>Na podstawie wcześniej przyjętych założeń, przyjęto maksymalne obciążenie $m_{max} = 450 \text{ kg}$.</p> <p>Obliczono siłę obciążającą:</p> $F = m_{max} \cdot g = 450 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 4414 \text{ N}$ <p>Gdzie:</p> <ul style="list-style-type: none"> - m – masa [kg] - g – przyspieszenie ziemskie $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$ 	$F = 4414 \text{ N}$

<p> $R_m = 1030 \text{ MPa}$ $x_e = 2$ </p> <p> $R_m = 1030 \text{ MPa}$ $x_e = 2$ </p> <p> $R_m = 1030 \text{ MPa}$ $x_e = 2$ </p> <p> $F = 4414 \text{ N}$ $F_{\frac{1}{6}} = 735,75 \text{ N}$ $\alpha = 30^\circ$ </p>	<p>Elementy wykonane zostały ze stopu tytanu o wytrzymałości $R_m = 1030 \text{ MPa}$.</p> <p>5.1. Granice wytrzymałości</p> <p>Współczynnik bezpieczeństwa przyjęto jako $x_e = 2$.</p> <p>Obliczono granicę wytrzymałości na zginanie:</p> $k_g = \frac{1,19 \cdot R_m}{x_e} = \frac{1,19 \cdot 1030}{2} = 612,85 \text{ [MPa]}$ <p>Obliczono granicę wytrzymałości na ścinanie oraz skręcanie:</p> $k_s = \frac{0,62 \cdot R_m}{x_e} = \frac{0,62 \cdot 1030}{2} = 319,3 \text{ [MPa]}$ <p>Obliczono granicę wytrzymałości na rozciąganie i ściskanie:</p> $k_r = \frac{R_m}{x_e} = \frac{1030}{2} = 515 \text{ [MPa]}$ <p>5.2. Obliczenia ramion środkowego elementu</p> <p>Obliczenia przekroju ramienia elementu:</p>  <p><i>Rys. 4.2.1. Schemat środkowego elementu implantu.</i></p> <p>Siła F rozłożona jest łącznie na 6 podpór, dlatego jej wartość wynosi:</p> $F_{\frac{1}{6}} = \frac{F}{6} = \frac{4414}{6} = 735,75 \text{ [N]}.$ <p>Element jest zginany siłą równą:</p> $F_{\frac{1}{6x}} = F_{\frac{1}{6}} \cdot \sin \alpha = 735,75 \cdot \sin 30^\circ = 367,9 \text{ [N]}$ $k_g \geq \frac{M_g}{W_x} = \frac{F_{\frac{1}{6x}} \cdot r_2 \cdot 6}{b_2 \cdot h_2^2}$ <p>Gdzie:</p> <ul style="list-style-type: none"> - k_g – naprężenia dopuszczalne na zginanie, - M_g – maksymalny moment gnący, 	<p> $k_g = 612,85 \text{ MPa}$ </p> <p> $k_s = 319,3 \text{ MPa}$ </p> <p> $k_r = 515 \text{ MPa}$ </p> <p> $F_{\frac{1}{6}} = 735,75 \text{ N}$ </p> <p> $F_{\frac{1}{6x}} = 367,9 \text{ N}$ </p>
--	---	--

$F_{\frac{1}{6}} = 735,75 \text{ N}$	<p>Obliczono podpory na wytrzymałość na ściskanie:</p> $k_r \geq \frac{F_{\frac{1}{6}}}{S_3} = \frac{F_{\frac{1}{6}}}{b_3 \cdot h_3}$ <p>Gdzie:</p> <ul style="list-style-type: none"> - S_3 – pole przekroju, - h_3 - wysokość obliczonego przekroju, - b_3 – szerokość obliczonego przekroju. <p>Przyjęto $b_3 = \frac{1}{3} \cdot h_3$.</p> $k_r \geq \frac{3 \cdot F_{\frac{1}{6}}}{h_3^2} \Rightarrow h_3 \geq \sqrt{\frac{3 \cdot F_{\frac{1}{6}}}{k_r}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 735,75}{515}} = 2,07 \text{ mm}$ <p>Przyjęto $h_3 = 2,55 \text{ mm}$ i $b_3 = 0,85 \text{ mm}$.</p> <p>5.5. Obliczono wał skrętny</p>  <p><i>Rys. 5.5.1. Rysunek podglądowy połączenia typu sworzeń.</i></p> <p>Warunek wytrzymałości sworznia na zginanie:</p> $Mg_{max} = \frac{1}{2} \cdot F_{\frac{1}{6}} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot L_2 + \frac{1}{4} \cdot L_1 \right) = \frac{1}{8} \cdot F_{\frac{1}{6}} \cdot (2 \cdot L_2 + L_1)$ $L_1 = (1,5 \div 1,7) \cdot d_{sw}$ $L_2 = (0,3 \div 0,5) \cdot L_1$ <p>Przyjęto:</p> $L_1 = 1,5 \cdot d_{sw}$ $L_2 = 0,3 \cdot L_1$ $L = L_1 + 2 \cdot L_2 = 1,5 \cdot d_{sw} + 2 \cdot 0,3 \cdot 1,5 \cdot d_{sw} = 2,4 \cdot d_{sw}$ $Mg_{max} = \frac{1}{8} \cdot F_{\frac{1}{6}} \cdot 2,4 \cdot d_{sw}$	<p>$h = 2,55 \text{ mm}$ $b = 0,85 \text{ mm}$</p>
--------------------------------------	---	---

<div data-bbox="102 262 284 323" data-label="Equation-Block"> $F_{\frac{1}{6}} = 735,75$ </div> <div data-bbox="102 978 292 1064" data-label="Equation-Block"> $k_r = 571,45 \text{ MPa}$ </div> <div data-bbox="87 1108 292 1167" data-label="Equation-Block"> $F_{\frac{1}{6}} = 735,75 \text{ N}$ </div>	<div data-bbox="328 193 855 228" data-label="Text"> <p>Warunek wytrzymałościowy na nacisk ucha:</p> </div> <div data-bbox="695 237 906 331" data-label="Equation-Block"> $p = \frac{F_{\frac{1}{6}}}{d_u \cdot L_1} \leq k_n$ </div> <div data-bbox="496 340 1096 445" data-label="Equation-Block"> $\frac{F_{\frac{1}{6}}}{d_u \cdot L_1} = \frac{735,75}{1,7 \cdot 2,55} \approx 170 \text{ [MPa]} \leq 519,5 \text{ [MPa]}$ </div> <div data-bbox="328 478 570 512" data-label="Text"> <p>Warunek spełniony.</p> </div> <div data-bbox="328 564 862 598" data-label="Text"> <p>Warunek wytrzymałości na rozciąganie ucha:</p> </div> <div data-bbox="657 609 950 703" data-label="Equation-Block"> $\sigma = \frac{F_{\frac{1}{6}}}{A} \leq k_r \rightarrow A \geq \frac{F_{\frac{1}{6}}}{k_r}$ </div> <div data-bbox="599 711 993 753" data-label="Equation-Block"> $k_r = 0,55 \cdot Re = 571,45 \text{ [MPa]}$ </div> <div data-bbox="328 798 415 831" data-label="Text"> <p>Gdzie:</p> </div> <div data-bbox="328 848 885 892" data-label="Text"> <p>- k_r – naprężenia dopuszczalne na rozciąganie.</p> </div> <div data-bbox="628 900 964 978" data-label="Equation-Block"> $A \geq \frac{735,75}{571,45} \approx 1,29 \text{ [mm}^2\text{]}$ </div> <div data-bbox="570 987 1023 1031" data-label="Equation-Block"> $A = (a - d_u) \cdot L_1 = (a - 1,7) \cdot 2,55$ </div> <div data-bbox="540 1039 1052 1117" data-label="Equation-Block"> $(a - 1,7) \cdot 2,55 \geq 1,29 \rightarrow a \geq \frac{1,29}{2,55} + 1,7$ </div> <div data-bbox="701 1125 891 1167" data-label="Equation-Block"> $a \geq 2,21 \text{ [mm]}$ </div> <div data-bbox="328 1228 1008 1272" data-label="Text"> <p>Warunek spełniony dla $a \geq 2,21$, przyjęto $a = 2,30 \text{ mm}$.</p> </div> <div data-bbox="328 1306 760 1350" data-label="Section-Header"> <h3>5.6. Obliczenia wytrzymałościowe</h3> </div> <div data-bbox="328 1392 1125 1436" data-label="Text"> <p>W celu uzyskania luzu na sworzniu otwór powiększono o 0,10 mm.</p> </div> <div data-bbox="591 1470 1008 1806" data-label="Diagram"> </div> <div data-bbox="686 1831 920 1875" data-label="Caption"> <p>Rys. 5.6.1. Długości L2.</p> </div>	<div data-bbox="1315 651 1505 737" data-label="Equation-Block"> $k_r = 571,45 \text{ MPa}$ </div> <div data-bbox="1315 1167 1498 1211" data-label="Equation-Block"> $a = 2,30 \text{ mm}$ </div>
--	--	--

$F_{\frac{1}{6}} = 735,75 \text{ N}$	<p>Warunek wytrzymałościowy na nacisk otworu widełek:</p> $p = \frac{F_{\frac{1}{6}}}{d_w \cdot 2 \cdot L_2} \leq k_n$ $\frac{735,75}{1,8 \cdot 2 \cdot 0,77} = 265,4 [\text{MPa}] \leq 519,5 \text{ MPa}$ <p>Warunek spełniony.</p> <p>Warunek wytrzymałości widełek na rozciąganie:</p> $\sigma = \frac{F_{\frac{1}{6}}}{A} \leq k_r \rightarrow A \geq \frac{F_{\frac{1}{6}}}{k_r}$ $A \geq \frac{735,75}{571,45} = 1,29 [\text{mm}^2]$ $A = 2 \cdot (b - d_u) \cdot L_2$ $(b - 1,8) \cdot 0,77 \geq 1,29 \text{ mm}^2 \rightarrow b \geq \frac{1,29}{0,77} + 1,8 [\text{mm}]$ $b \geq 3,48 [\text{mm}]$ <p>Warunek spełniony dla $b \geq 3,48 \text{ mm}$, przyjęto $b = 3,5 \text{ mm}$.</p>	$A = 1,29 \text{ mm}^2$ $b = 3,5 \text{ mm}$
--------------------------------------	---	---

6. Bibliografia:

- [1] <https://www.mp.pl/cukrzyca/aktywnosc-fizyczna/103625,bole-kregoslupa-a-cukrzyca>
- [2] <https://onsensleeping.com/blog-o-spaniu/dyskopatia>
- [3] <https://www.crsclinic.pl/baza-wiedzy/dysk-krazek-miedzykregowy/>
- [4] https://www.researchgate.net/figure/Horizontal-diameter-of-the-pedicles-of-the-lumbar-vertebrae-mm_tbl2_272193704
- [5] <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30579030/>
- [6] <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2970111/>
- [7] https://www.researchgate.net/figure/Dimensions-and-representative-design-of-ALIF-LLIF-TLIF-and-PLIF-cages-used-in-the-study_tbl2_329435648
- [8] <https://wiadomosci.dziennik.pl/nauka/artykuly/65786,ewolucja-zadbala-o-kobiety.html>
- [9] https://www.rehab.pl/choroby-i-objawy/dyskopatia-kregoslupa-objawy-leczenie-rehabilitacja/dyskopatia-na-poziomie-l4-l5/#Operacja_kregoslupa_ledzwiowego
- [10] https://chm.eu/uploads/IFU_017_koszyki_miedzykregowe_www_PL_01-18.pdf
- [11] <https://www.asianspinejournal.org/m/journal/view.php?number=1267>
- [12] <https://atlanticspinespecialists.com>

- [13] https://www.youtube.com/watch?v=Q6SWIFd2PNQ&ab_channel=AtlanticSpineCenter
- [14] <https://fizjomind.pl/2020/06/01/powiklania-po-operacji-kregoslupa/>
- [15] <https://www.semanticscholar.org/paper/Lumbar-intervertebral-disc-space-height-in-disc-and-Lee-Shin/3de7059ea32d946f330a4b64ab1c53928808861>
- [16] <https://myhealthbox.eu/en/globus-medical-elsa-atp-spacer-system/5572278>
- [17] https://www.odtmag.com/contents/view_breaking-news/2018-04-06/globus-medical-launches-elsa-expandable-lateral-spacer-system/
- [18] <https://thespinemarketgroup.com/magnify-s-2/>
- [19] https://www.youtube.com/watch?v=KQPBPhen-tg&ab_channel=SPINEMarketGroup
- [20] https://biolapsa.com/wp-content/uploads/2020/10/InterContinental_TechniqueGuide.pdf
- [21] <https://www.globusmedical.com/products/transcontinental-lateral-lumbar-interbody-spacer/>
- [22] <https://www.globusmedical.com/products/intercontinental-integrated-lateral-interbody-spacer/>
- [23] <https://www.clariance-spine.com/us/our-technologies/>
- [24] <https://www.clariance-spine.com/us/product/idys-llif-3dti/>
- [25] <https://www.globusmedical.com/products/monument-anterior-spondylolisthesis-reduction-system/>
- [26] <https://www.globusmedical.com/hedron/>
- [27] <https://www.globusmedical.com/products/mars-3v/>
- [28] https://www.researchgate.net/figure/Shape-and-dimensions-in-mm-for-the-L4-L5-first-numbers-and-L5-S1-second-numbers-within_fig2_282711408
- [29] <https://rehabilitacjaswoszowice.pl/pozycja-ciala-a-obciazenie-kregoslupa/>