Zakład Podstaw Kontrukcji

ITLiMS, MEiL, PW

Podstawy Konstrukcji Maszyn

Rok akademicki 2022/2023, semestr zimowy

**Projekt Chwytaka**

Sprawozdanie z procesu projektowego

Autor

Jakub Głowacki

Spis treści

[1 Wstęp 3](#_Toc121352515)

[2 Założenia 3](#_Toc121352516)

[3 Schemat kinematyczny oraz statyka 4](#_Toc121352517)

[3.1 Schemat Kinematyczny 4](#_Toc121352518)

[3.2 Statyka 5](#_Toc121352519)

[3.3 Dobór siłownika 7](#_Toc121352520)

[3.4 Dodatkowe części 8](#_Toc121352521)

[4 Wytrzymałość elementów 8](#_Toc121352522)

[4.1 Cięgna 8](#_Toc121352523)

[4.1.1 Sworznie 8](#_Toc121352524)

[4.1.2 Tuleje ślizgowe 9](#_Toc121352525)

[4.1.3 Ściskanie/rozciąganie 10](#_Toc121352526)

[4.1.4 Wyboczenie 10](#_Toc121352527)

[4.2 Blok 11](#_Toc121352528)

[4.2.1 Sworzeń siłownika 11](#_Toc121352529)

[4.2.2 Analiza MES 11](#_Toc121352530)

[4.3 Łyżka 12](#_Toc121352531)

[4.4 Siłownik 13](#_Toc121352532)

[4.4.1 Sworzeń dolny siłownika 13](#_Toc121352533)

[4.4.2 Sworzeń montażowy stelaża 13](#_Toc121352534)

[5 Wykonanie i złożenie elementów 14](#_Toc121352535)

[5.1 Łyżka 15](#_Toc121352536)

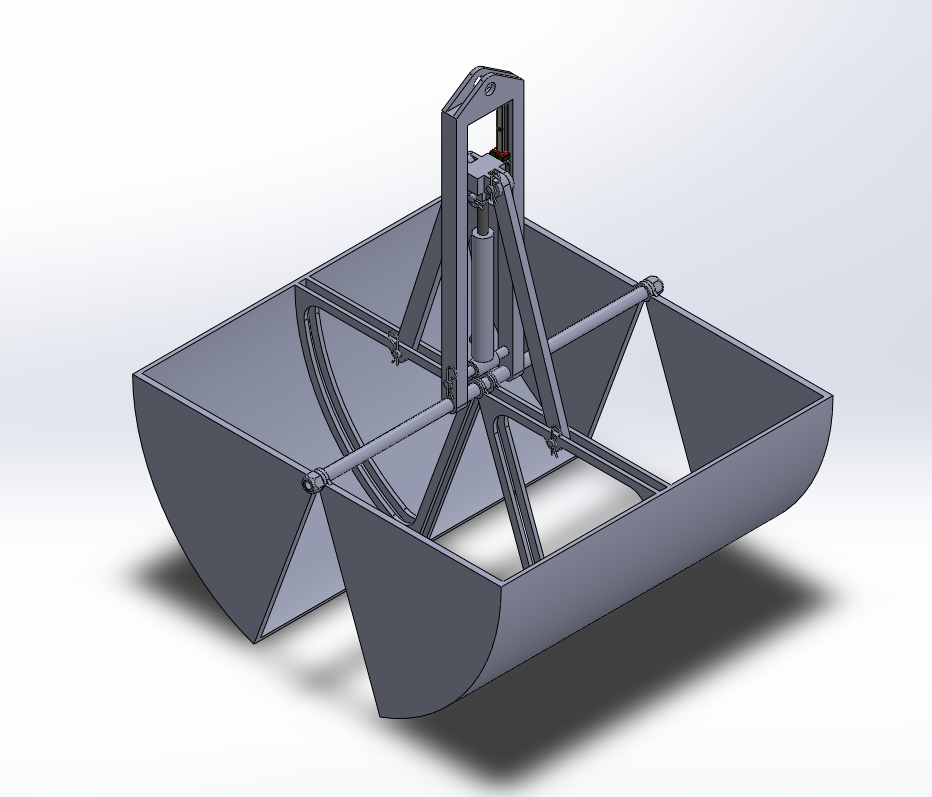
[5.2 Stelaż 16](#_Toc121352537)

[5.3 Blok przenoszący siły 17](#_Toc121352538)

[6 Załączniki 17](#_Toc121352539)

# Wstęp

Chwytak miał spełniać zadanie przenoszenia piasku w drobnych pracach budowlanych. Do zastosowania w koparkach kołowych takich jak Komatsu 98MR-6. Praca odbywa się w różnych warunkach atmosferycznych, może występować wilgoć, pył oraz zmienne temperatury. Wymagana jest instalacja hydrauliczna do działania siłownika.



Rysunek - wizualizacja chwytaka

# Założenia

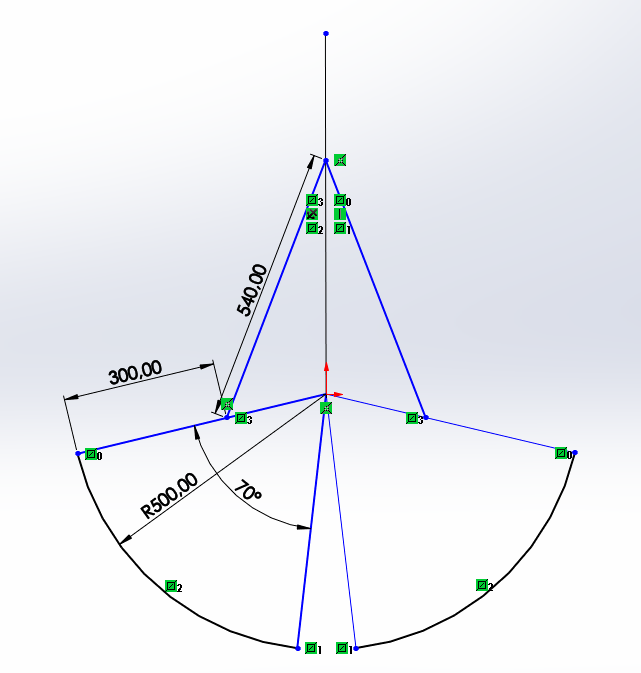
Aby zdefiniować proces projektowania potrzeba było założeń projektowych. Zaliczono do nich:

* pojemność użyteczna chwytaka – powyżej 100L,
* użycie tylko jednego siłownika w mechanizmie,
* możliwie jak największe ograniczenie wysokości całkowitej,
* moment domykający równy 1kNm,
* odporność na zniszczenie w przypadku zacisku na kamieniu,
* maksymalne przyspieszenia poruszające chwytakiem, oraz otwierające/zamykające chwytak nie większe niż 1G.

# Schemat kinematyczny oraz statyka

## Schemat Kinematyczny

Biorąc pod uwagę wymaganą pojemność i opierając się o wiedzę na temat dostępnych siłowników, przystąpiłem do stworzenia schematu kinematycznego siłownika. Rdzeniem mechanizmu jest siłownik montowany jednym końcem w osi obrotu łyżek, a drugim końcem do bloku przenoszącego siły napędowe na cięgna. Następnie będą one odpowiednio rozwierały, lub zwierały chwytak.



Rysunek - schemat kinematyczny

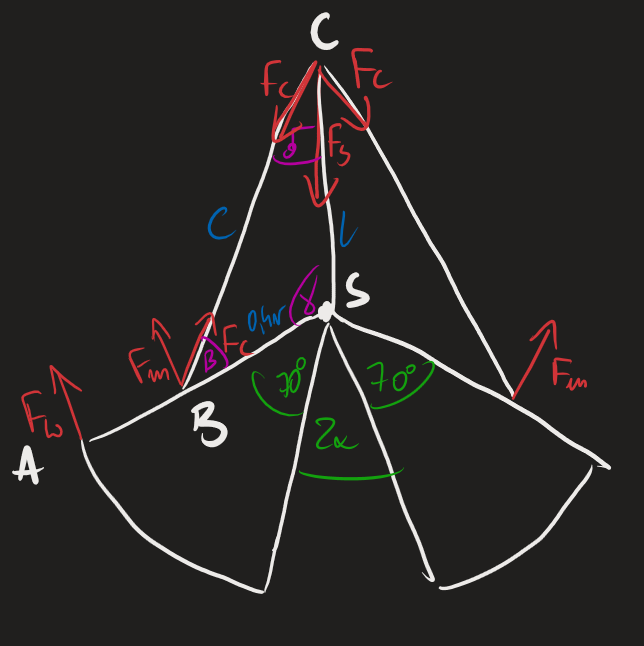
Taki mechanizm pozwala nam na zminimalizowanie wysokości całego projektu – będzie ona równa promieniowi łyżki, długości maksymalnej siłownika oraz wysokości części montażowej. Dodatkowo można bardzo łatwo manipulować zmianami w geometrii projektu. Z łatwością da się zmieniać długość cięgien, oraz miejsce połączenia sworzniowego z cięgnem.

Dodatkowo wyliczam ruchliwość mechanizmu, zakładając że mechanizm posiada 3 człony, 4 pary kinematyczne V klasy, ze wzoru:

Co oznacza, że wymagany będzie jeden siłownik do pełnego sterowania chwytakiem.

## Statyka

Po wprowadzeniu siły wymaganej do zamknięcia/rozwarcia chwytaka równej 1kN, możemy przystąpić do obliczania sił w poszczególnych węzłach, tak jak przedstawiono na rysunku.



Rysunek - siły w węzłach

Oznaczenia:

* FW – siła wymagana do zamknięcia rozwarcia
* FM – siła tworząca moment w skorupie łyżki ze względu na pracę cięgna
* FC – siła ściskająca/rozciągająca cięgno
* FS – siła z jaką działa siłownik

Najpierw obliczam wymaganą siłę obracającą łyżkę:

Wyznaczam kąt γ w zależności od kąta rozwarcia:

Następnie mogę wyprowadzić funkcję długości siłownika od kąta γ:

Obliczam teraz zależność siły w cięgnie od siły nadającej moment:

Wartość sin znajduję przy pomocy twierdzenia sinusów:

Co daje nam wzór na siłę w cięgnie:

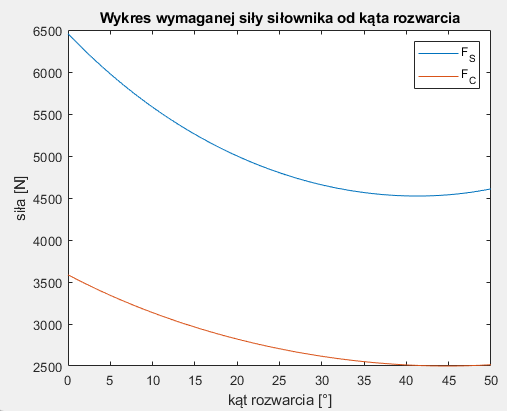
W końcu liczę siłę siłownika:

Również z twierdzenia sinusów znajduję wartość sin dzięki któremu później wyliczam cos:

Podstawiam cos oraz FC do wzoru na FS otrzymując wzór na funkcję FS():

Uwzględniając, że , mogę wyznaczyć wykres siły wymaganej od kąta rozwarcia w oprogramowaniu MATLAB.

Dla kątów rozwarcia od otrzymujemy następujący wykres.

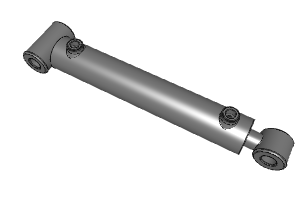


Rysunek wykres FS()

Jak widać największa występująca siła jest nieco mniejsza od 6500N. Dodatkowo, uwzględniając, że cięgno będzie montowane w punkcie odsuniętym od linii ruchu bloku przenoszącego siły, ze względu na geometrię tego bloku, możemy przyjąć, że siły nie będą przekraczać 6,5kN. Posłuży nam to w następnych analizach wytrzymałościowych.

## Dobór siłownika

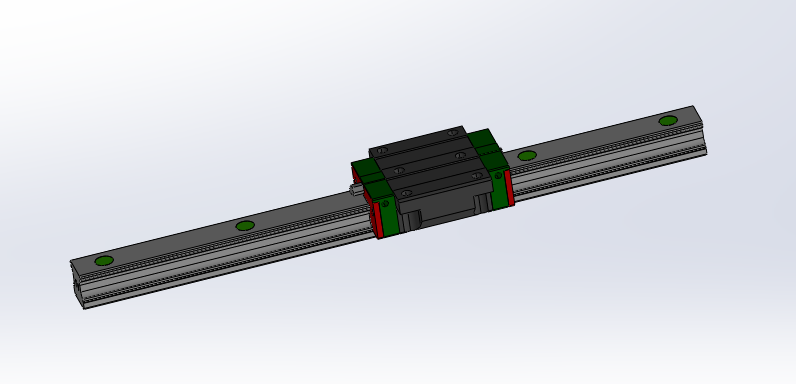
Zważywszy na wymaganą geometrię, siły oraz charakter działania wybrany zostaje siłownik marki ANR Engineering o numerze katalogowym C043220150, znaleziony przeze mnie na stronie Traceparts.com.



Rysunek - model siłownika ANR Engineering

## Dodatkowe części

Ze względu na obowiązek stabilizowania ruchu siłownika, wymagana jest prowadnica liniowa. Zgodnie z analizą geometryczną wybrana zostaje szyna wraz z wózkiem marki HIWIN. Jako, że nie będzie przenosić wysokich naprężeń, wybrany zostaje podstawowy rodzaj wózka o wymiarach pasujących do bloku. Uwzględnione zostały warunki w jakich pracuje chwytak, więc wózek będzie miał dodatkowe zabezpieczenia przed pyłem. Dokładna nota katalogowa prowadnicy wraz z wózkiem znajduje się w załącznikach.



Rysunek - prowadnica HIWIN

# Wytrzymałość elementów

## Cięgna

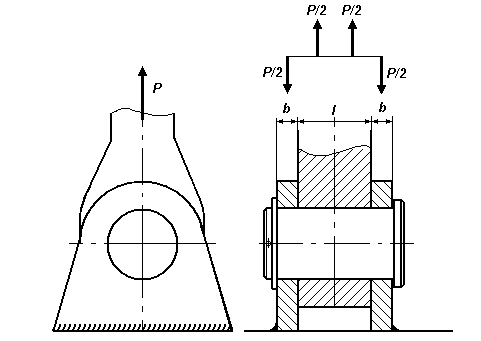
Pamiętając o tym, że siła w cięgnie wyraża się wzorem:

Mogę obliczyć naprężenia ściskające/rozciągające w cięgnie, siłę krytyczną wyboczenia, oraz wymaganą grubość sworznia.

### Sworznie

Materiałem sworznia będzie stal nierdzewna 316l, co daje nam granicę plastyczności równą

Przyjmuje wartości według schematu poniżej:



Rysunek - połączenie sworzniowe luźne

* - siła w cięgnie
* *-* grubość ucha
* - grubość cięgna
* - maksymalne naprężenia w sworzniu

Wzór na naprężenia wyraża się następująco:

Co można przekształcić na wzór na minimalną grubość sworznia:

Przyjmuję uwzględniając współczynnik bezpieczeństwa równy 0,6, że sworzeń będzie miał średnicę równą 16mm.

Znając materiał ucha (stal konstrukcyjna S355, Re=470MPa), możemy obliczyć minimalną grubość ucha:

1mm

Czyli 10mm grubości ucha jest wystarczające.

### Tuleje ślizgowe

Według normy katalogowej tuleje te mogą wytrzymać naprężenia ściskające równe 78MPa. W celu sprawdzenia wytrzymałości przyjmuję model, w którym cała siła obciążająca rozkłada się równomiernie na ¼ obwodu. Wektory skierowane są wzdłuż promieni. Obszar, na który przypadać będzie siła ściskająca można wyznaczyć wzorem:

Gdzie:

* – średnica zewnętrzna
* – długość tulei
* – ilość tulei w jednym połączeniu

Wraz ze wzorem na naprężenia ze względu na ściskanie dostajemy następujące wyniki:

Wyliczone naprężenia nie przekraczają granicy wytrzymałości elementu.

### Ściskanie/rozciąganie

Naprężenia ze względu na rozciąganie/ściskanie wyrażają się wzorem:

Przyjmuje dane materiałowe dla stali konstrukcyjnej S355, a przekrój poprzeczny za prostokąt o wymiarach .

### Wyboczenie

W przypadku ściskania występuje możliwość wyboczenia. Możemy rozpatrzeć dwa przypadki. Pręt zamocowany w dwóch podstawach obrotowych dla zginania w płaszczyźnie XY, oraz pręt zamocowany z dwóch stron w ścianie dla zginania w płaszczyźnie XZ. Schemat cięgna widać na rysunku 6.

Obraz zawierający narzędzie

Opis wygenerowany automatycznie

Rysunek – cięgno

Siłę wybaczającą krytyczną opisujemy wzorem:

Dla tego przypadku mamy następujące wartości:

* - moduł Younga
* - grubość przekroju poprzecznego
* - szerokość przekroju poprzecznego
* - moment bezwładności dla osi Z
* - moment bezwładności dla osi Y
* - długość swobodna dla wyboczenia w stronę osi Y
* - długość swobodna dla wyboczenia w stronę osi Z

Z czego możemy policzyć siłę krytyczną dla obu przypadków:

Skąd widać, że wyboczenie nie wystąpi.

## Blok

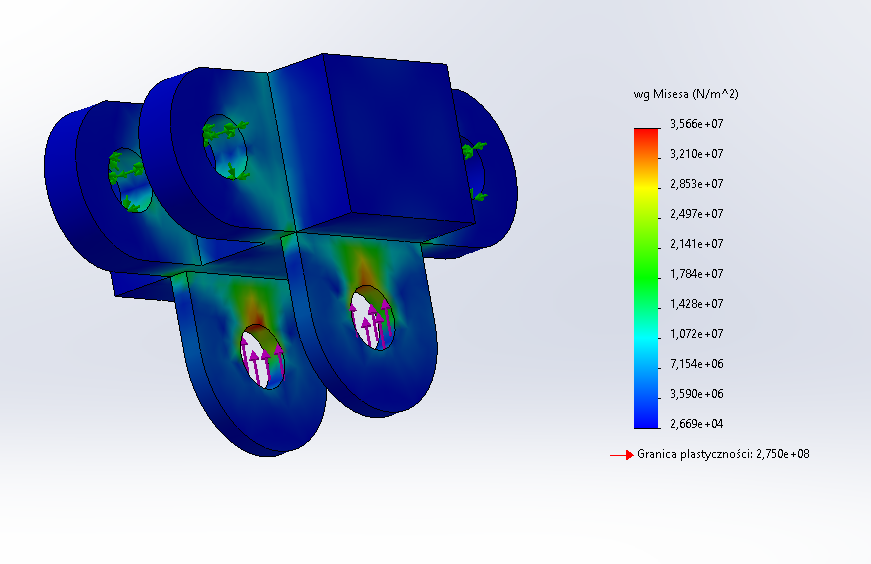
### Sworzeń siłownika

Analogicznie jak w przypadku cięgna wyliczam minimalną grubość sworznia. Wymiary oraz charakterystyka materiału jest identyczna, z wyjątkiem parametrów „l”, który teraz jest równy 30mm, oraz „b” 5mm.

Znów możemy przyjąć średnicę sworznia 16mm.

### Analiza MES

Dodatkowo wykonałem analizę obciążenia bloku, którą widać na rysunku poniżej.



Rysunek - MES dla bloku

Naprężenia nie przekraczają 36MPa, czyli nie jest przekroczona granica plastyczności

## Łyżka

Łyżka została przeze mnie zbadana dla dwóch konfiguracji. Jedną z nich jest zamknięcie się na nieodkształcalnym kamieniu, drugą jest obciążenie piaskiem oraz docisk momentem. Wyniki prezentują się następująco:

Obraz zawierający tekst, koperta

Opis wygenerowany automatycznie

Rysunek - obciążanie piaskiem i dociskiem

Obraz zawierający tekst, stacjonarne, koperta, grafika wektorowa

Opis wygenerowany automatycznie

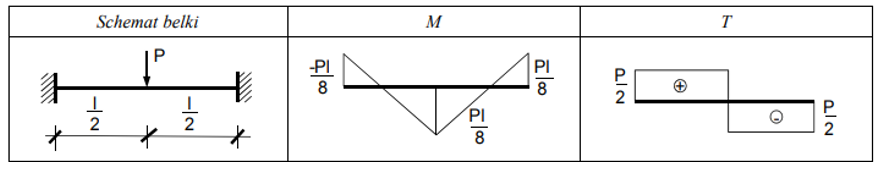
Rysunek - zamknięcie się na kamieniu

W pierwszym przypadku naprężenia maksymalne wynoszą 61MPa, w drugim natomiast 75MPa, co nie przekracza granicy plastyczności. Przyspieszenie chwytaka nie przekracza 1G, dlatego sytuacja w której łyżka zmienia swoją prędkość obrotową nie będzie wykazywała naprężeń większych od naprężeń statycznych.

## Siłownik

### Sworzeń dolny siłownika

Jako model przyjmuje belkę unieruchomioną obustronnie w ścianie, w której środku jest przyłożona siła punktowa, jak na rysunku poniżej.



Rysunek - model belki oraz rozkład momentu i siły

Aby obliczyć naprężenia maksymalne wykorzystam wzór na naprężenia od momentu zginającego:

Gdzie:

* - siła maksymalna siłownika
* - długość sworznia między utwierdzeniami
* - maksymalny moment gnący
* - promień sworznia
* - moment bezwładności

Skąd dostajemy wynik:

Jest to poniżej granicy plastyczności dla stali S355J2G4. Jednak element ten będzie najbardziej narażony w modelu na zniszczenie ze względu na wytrzymałość zmęczeniową (naprężenia robocze bardzo bliskie granicy plastyczności materiału). W kolejnej iteracji projektu na pewno postarałbym się zmniejszyć naprężenia, oraz prawdopodobnie zmieniłbym sposób montażu siłownika ze strony łyżek.

### Sworzeń montażowy stelaża

Cały siłownik montowany będzie do wysięgnika koparki przy pomocy połączenia sworzniowego mocującego stelaż (opcjonalnie pośrednio przez rotator, jednak połączenie sworzniowe w obu przypadkach ma taki sam rozmiar).

Modeluje połączenie sworzniowe w analogiczny sposób jak w przypadku cięgien oraz sworznia górnego siłownika.

Dane:

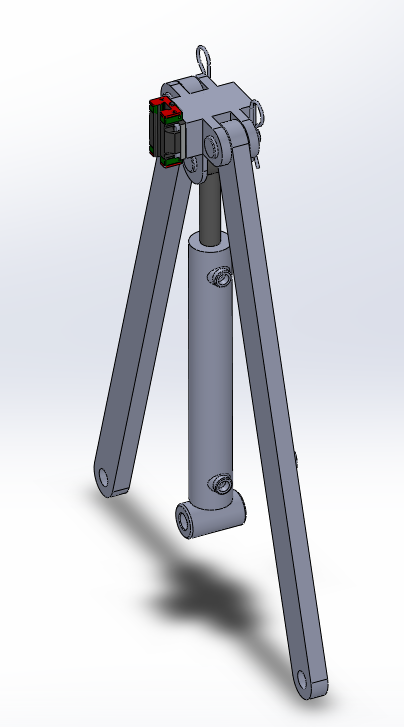
* - całkowita masa chwytaka (właściwości masy Solidworks)
* - przyspieszenie ziemskie
* - siła w cięgnie
* *-* grubość ucha
* - grubość cięgna
* - maksymalne naprężenia w sworzniu

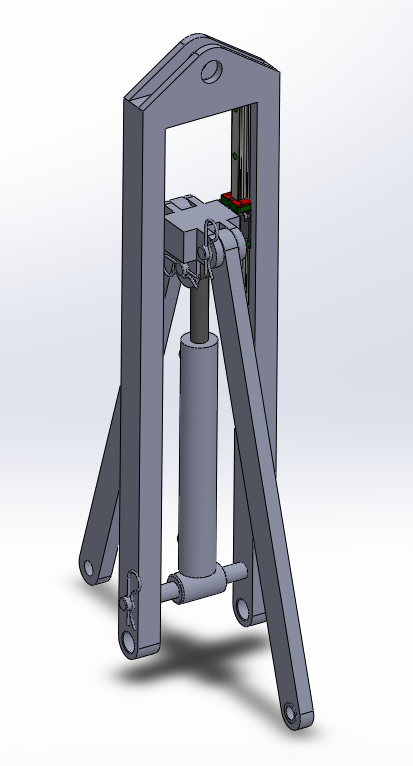
Ponownie wykorzystując wzór na minimalną średnicę sworznia uzyskujemy wynik:

Co jest dużo mniejsze od założonej średnicy równej 28mm. Dzięki temu można pominąć w obliczeniach siły bezwładności chwytaka, ze względu na maksymalne przyspieszenia nie większe niż 1G.

# Wykonanie i złożenie elementów

Ogólny proces złożenia chwytaka składa się z trzech kroków, gdy części są już wytworzone. Dokładne instrukcje wytwarzania poszczególnych części znajdować się będą w następnych podrozdziałach.

Obraz zawierający tekst

Opis wygenerowany automatycznieW celu złożenia chwytaka w pierwszej kolejności należy połączyć elementy stelaża, tj. wkręcić prowadnice, oraz przykręcić wózek prowadnicy do bloku. Przy montowaniu cięgien pamiętać należy o włożeniu między każdy sworzeń a cięgno dwóch tulei ślizgowych kołnierzowych. Wózek wraz z blokiem wsuwamy w prowadnicę. Dolną część siłownika montujemy poprzez długi sworzeń , który centrowany jest dwoma tulejami dystansowymi.

Rysunek 13 - stelaż

Rysunek 15 - złożenie stelaża z siłownikiem

Rysunek 14 - blok z siłownikiem

W następnym kroku należy trzpieniem chwytaka połączyć dwie łyżki oraz stelaż, jednocześnie wkładając go w odpowiednie tuleje dystansowe (z zewnątrz tuleje 343,5mm, wewnątrz 31,5mm). Następnie z obu stron blokujemy ruch trzpieniowi wzdłuż osi obrotu przy pomocy dwóch nakrętek samohamownych M24. Ostatnim krokiem jest złączenie cięgien z łyżkami przy pomocy sworzni, pamiętając jednocześnie o tulejach ślizgowych.

Obraz zawierający akcesorium

Opis wygenerowany automatycznie

Rysunek - pełne złożenie

## Łyżka

Łyżka chwytaka wykonana jest taki sposób, aby można było stosować dokładnie ten sam model dwukrotnie w celu złożenia chwytaka. Wykonana jest z arkusza stali konstrukcyjnej S355J2G4 o grubości 10mm. Najpierw arkusz blachy o wymiarach 900x611mm gięty jest wzdłuż krótszej krawędzi na 70-stopniowy łuk koła. Następnie spawane są do niego boki, oraz żebra, w których występuje otwór na sworzeń. Służyć on będzie do przenoszenia siły napędowej z siłownika.

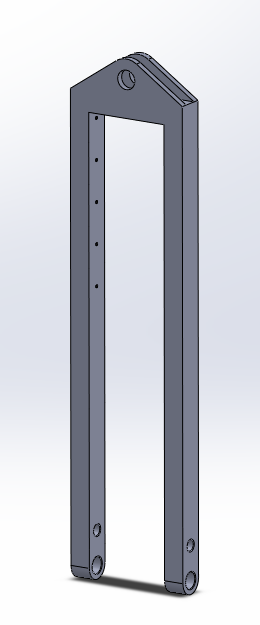
Obraz zawierający stacjonarne, futerał

Opis wygenerowany automatycznie

Rysunek - łyżka

## Stelaż

Jest on spawany z dwóch długich belek o zaokrąglonym końcu, oraz jednej krótszej. Dospawane zostają ucha do montażu sworzniowego. Następnie ze względu na wymóg współosiowości wiercone są otwory na trzon, sworzeń dolny siłownika oraz sworzeń montażowy chwytaka. W ostatnim kroku wiercone oraz gwintowane są otwory montażowe prowadnicy w jednej z dłuższych belek stelaża.



Rysunek - stelaż

## Blok przenoszący siły

Do nawierconego oraz nagwintowanego wcześniej bloku spawane są ucha do połączeń sworzniowych. W następnej kolejności pary uch są jednocześnie wiercone oraz wykańczane ze względu na potrzebę zachowania współosiowości otworów.

Obraz zawierający tekst, wyroby metalowe, sprzęt

Opis wygenerowany automatycznie

Rysunek - blok

# Załączniki

* PKR-JG\_00.00
* PKR-JG\_01.00
* PKR-JG\_01.01
* PKR-JG\_01.02
* PKR-JG\_01.03
* PKR-JG\_01.04
* PKR-JG\_02.00
* PKR-JG\_02.01
* PKR-JG\_02.02
* PKR-JG\_02.03
* PKR-JG\_02.04
* PKR-JG\_03.00
* PKR-JG\_03.01
* PKR-JG\_03.02
* PKR-JG\_03.03
* PKR-JG\_03.04
* Dokumentacja Siłownika
* Dokumentacja Prowadnicy HIWIN