

Politechnika Warszawska

WYDZIAŁ MECHANICZNY
ENERGETYKI I LOTNICTWA



Instytut Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej

Praca przejściowa inżynierska

na kierunku Robotyka i Automatyka
w specjalności Robotyka

Projekt wstępny autonomicznego wózka paletowego

Mikołaj Cebula

Numer albumu 304486

promotor
Grzegorz Kamiński

WARSZAWA 2023

Spis treści

1. Wstęp	5
2. Aktualne rozwiązania	6
2.1. Wózek autonomiczny AIV	6
2.2. Wózki autonomiczne Yale	7
2.3. Podsumowanie aktualnych rozwiązań	8
3. Cele i zakres projektu	9
4. Założenia projektu	9
5. Geometria i obliczenia kinematyki robota	10
5.1. Mechanizm podnoszenia ładunku	10
5.2. Napęd główny robota	13
5.2.1. Dobór kół	13
5.2.2. Dobór silnika i przekładni	14
6. Obliczenia wytrzymałościowe wałków	16
6.1. Wałek A i D	17
6.2. Wałek B i C	18
6.3. Wałek E	19
7. Obliczenia łożyskowań	20
7.1. Łożyskowanie A i D	21
7.2. Łożyskowanie B i C	22
7.3. Łożyskowanie E	23
8. Wybór czujników	24
8.1. Czujniki mierzące odległość	24
9. Podsumowanie	25
Bibliografia	27
Spis rysunków	28
Spis tabel	28

1. Wstęp

Robotyka jest prężnie rozwijająca się dziedziną nauki. W ostatnich latach jesteśmy świadkami powstania wielu nowych rozwiązań takie jak drony, autonomiczne samochody, itp. Nie zwracamy już szczególnej uwagi na użytkowanie robotów, ponieważ stało się to codziennością. Aktualnie nie wystarczy, że dany proces jest zautomatyzowany. Coraz więcej uwagi poświęca się systemom umożliwiającym autonomiczną pracę maszyn [1]. Jednak jest wiele dziedzin przemysłu i logistyki, które odstają w tym aspekcie. Dużo czasu poświęca się na transportowanie wyrobów między stanowiskami zakładów produkcyjnych. Takie czynność można równie dobrze wykonywać za pomocą platform mobilnych.

Całą pracę podzielono na osiem etapów. Pierwszym z nich jest przeprowadzenie rozpoznania w aktualnych rozwiązaniach. Następnie określenie celów i założeń projektu. Czwartym etapem jest dobranie geometrii i na jej podstawie wybór odpowiednich napędów. Następną częścią są obliczenia wytrzymałościowe wałków użytych w robocie. Kolejno dobrano łożyska oraz zaproponowano czujników umożliwiającym bezpieczne poruszanie się robota. Ostatnim etapem jest podsumowanie pracy.

2. Aktualne rozwiązania

Na rynku istnieje już kilka rozwiązań. Posiadają one wiele zalet, ale nie są wolne od wad. Przykładami takich konstrukcji są:

2.1. Wózek autonomiczny AIV



Rysunek 2.1. Robot mobilny firmy AIV

Największą zaletą tego rozwiązania firmy AIV (rys. 2.1) są niewielkie wymiary (nie przekraczają one znacząco gabarytów ładunku). Jednak ta konstrukcja posiada wiele wad. Jedną z nich jest konieczność zastosowania stacji do pobierania/odkładania ładunku. Wymaga to przystosowanie infrastruktury i modyfikacji istniejących maszyn. Można je jednak wykorzystać jako stacje służące do ładowania platformy [2]. W tabeli 2.1 przedstawiono parametry robota firmy AIV.

Tabela 2.1. Parametry robota AIV

Udźwig	1000 kg
Prędkość	5 km/h
Przewożony ładunek	Dostosowany do palet euro
Wymiary [dł. x szer. x wys.]	1200 mm x 800 mm x 300 mm

2.2. Wózki autonomiczne Yale



Rysunek 2.2. Robot mobilny firmy Yale

Firma Yale postawiła na wielofunkcyjność swojego produktu. Oferuje on prace w dwóch trybach: autonomicznym, jak i manualnym. Dzięki zastosowaniu takiego rozwiązania zwiększono użyteczność robota. Jednak wymusiło to zwiększenie gabarytów urządzenia, co może uniemożliwić pracę na niewielkiej powierzchni. Dodatkowo zmniejsza to znacząco mobilność platformy i wymusza dostosowanie miejsca pracy do możliwości robota. Dużą uwagę zwracają bardzo duże udźwigi robotów sięgające nawet 7000 kg. Zaletą tego rozwiązania jest również brak dodatkowej infrastruktury umożliwiającej podniesienie ładunku. Platforma za pomocą wideł podnosi ładunek z podłoża [3]. W tabeli 2.2 przedstawiono parametry robota firmy AIV.

Tabela 2.2. Parametry robota Yale

Udźwig	7000 kg
Wysokość podnoszenia	120 mm
Przewożony ładunek	Dostosowany do palet euro
Wymiary [dł. x szer.]	ok. 4000 mm x 1500

2.3. Podsumowanie aktualnych rozwiązań

Obecnie przedstawiane rozwiązania przez producentów mają wiele zalet jak i wad. Umożliwiają pracę w trybie autonomicznym, jak i manualnym (Yale 2.2). Charakteryzują się niewielkimi gabarytami(AIV 2.1). Jednak brakuje rozwiązania, które umożliwi przewożenie elementów o masie większej niż 1 tona i jednocześnie nie przekraczają swoimi gabarytami znacząco gabarytów palety euro.

3. Cele i zakres projektu

Projekt ma na celu stworzenie robota mobilnego. Jego zadaniem jest transportowanie ładunków bez czynnego udziału człowieka. Za pomocą czujników i oprogramowania miałby wybrać optymalną drogę, bezpiecznie dla siebie i otoczenia przewieźć obiekt do miejsca docelowego. Prace nad takim robotem można podzielić się na dwa etapy. Pierwszym z nich jest mechanika pojazdu, która gwarantuje wysoką mobilność oraz umiejscowienie wszystkich podzespołów. Drugim etapem jest dobór elementów układu sterowania i stworzenie programu sterującego. Dodatkowo należy zapewnić kontrolowanie wszystkich podzespołów i możliwość komunikacji z jednostką centralną.

Niniejsza praca ogranicza się do mechanicznego etapu projektowania. Wykonana zostanie pierwsza wersja robota oraz częściowa dokumentacja techniczna [4]. Projekt ograniczono do:

- doboru mechanizmów, napędów,
- zaproponowania czujników.

Robot składa się z systemu podnoszącego ciężar i układu umożliwiającego przemieszczanie. Ważnym aspektem jest odpowiednie zaplanowanie rozmieszczenia czujników, umożliwiających bezpieczną i autonomiczną pracę. Aby to uzyskać należy zastosować odpowiednią geometrię platformy, która umożliwi wykorzystanie wszystkich parametrów zastosowanych czujników.

4. Założenia projektu

Konstrukcja mechaniczna robota mobilnego zakłada się z korpusu zawierającego wszystkie elementy nośne i mocujące, napędu, układu sterowania oraz mechanizm podnoszenia ładunku. Ponadto należy zagwarantować odpowiednią dynamikę i wytrzymałość konstrukcji. W związku z tym w tabeli 4.1 przedstawiono wszystkie przyjęte założenia projektowe:

Tabela 4.1. Założenia projektowe

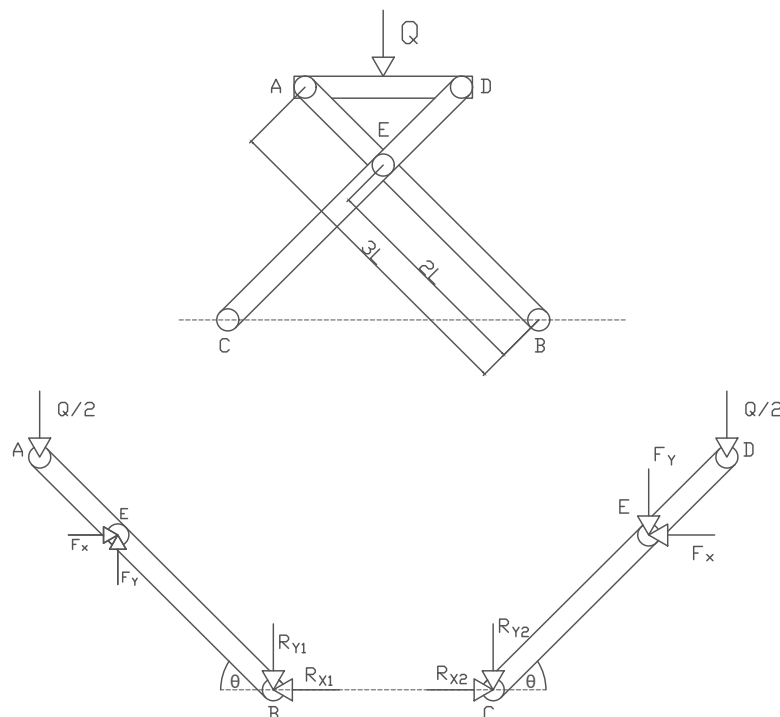
Masa własna robota	300-500 kg
Udźwig	1000 – 1500 kg
Maksymalna prędkość	1,4 m/s
Wymiary [dł. x szer. x wys.]	ok. 1400 x 1000 x 400 mm
Przewożony ładunek	Dostosowany do palet euro
Wysokość podnoszenia	50 mm
Bezawaryjność robota	150000 h

5. Geometria i obliczenia kinematyki robota

Ten etap podzielono na dwie części. Pierwszą jest mechanizm podnoszenia i opuszczania ładunku. Drugą jest zaplanowanie umiejscowienie kół napędowych i podporowych, mechanizmu podnoszenia. Na podstawie obliczeń kinematycznych dobrane zostaną napędy.

5.1. Mechanizm podnoszenia ładunku

Jako mechanizm podnoszenia ładunku wybrano mechanizm nożycowy. Takie rozwiązanie umożliwia zastosowanie dużo mniejszych i mniej energochłonnych napędów, poprzez manipulacje wymiarami geometrycznymi ramion. Zdecydowano się na podzielenie ramion w stosunku 1/3 do 2/3, dzięki czemu utrzymano kompromis między mocą napędu, a zakresem pracy podnośnika [5].



Rysunek 5.1. Schemat kinematyki podnośnika

Za pomocą powyższego schematu, można zapisać następujące równania:

$$\Sigma F_{x1} = F_x - R_{x1} = 0 \quad (5.1)$$

$$\Sigma F_{y1} = \frac{-Q}{2} + F_y + R_{y1} = 0 \quad (5.2)$$

$$\Sigma M_B = \frac{Q}{2} \cdot 3 \cdot L \cdot \cos \theta - F_y \cdot 2 \cdot L \cdot \cos \theta - F_x \cdot 2 \cdot L \cdot \sin \theta = 0 \quad (5.3)$$

$$\Sigma F_{x2} = -F_x + R_{x2} = 0 \quad (5.4)$$

$$\Sigma F_{y2} = \frac{-Q}{2} - F_y + R_{y2} = 0 \quad (5.5)$$

$$\Sigma M_A = -\frac{Q}{2} \cdot 3 \cdot L \cdot \cos \theta - F_y \cdot 2 \cdot L \cdot \cos \theta + F_x \cdot 2 \cdot L \cdot \sin \theta = 0 \quad (5.6)$$

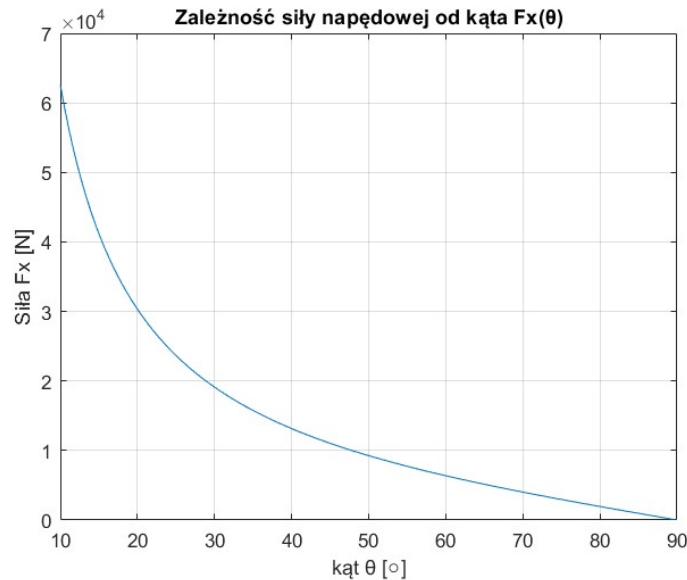
Z powyższych równań wynika, że:

$$F_x = R_{x1} = R_{x2} = \frac{3}{4} \cdot \frac{Q}{\tan \theta} \quad (5.7)$$

$$F_y = 0 \quad (5.8)$$

$$R_{y1} = R_{y2} = \frac{Q}{2} \quad (5.9)$$

Wykorzystując program MALTAB obliczono powyższe funkcje i wyniki przedstawiono na wykresie. Początkowo przyjęto, że $\theta \in (10, 90^\circ)$. Dzięki czemu możliwe jest znalezienie optymalnego zakresu kąтового oraz długości ramion L pod względem potrzebnej siły napędowej.



Rysunek 5.2. Wykres siły napędowej mechanizmu

Pracę podnośnika podzielono na dwa etapy. Pierwsza część to podniesienie ramion z położenia spoczynkowego do ładunku oraz drugą podczas której podnośnik wykonuje właściwą pracę. Z rysunku 5.2 wywnioskowano, że siła F_x jaką musi wygenerować napęd

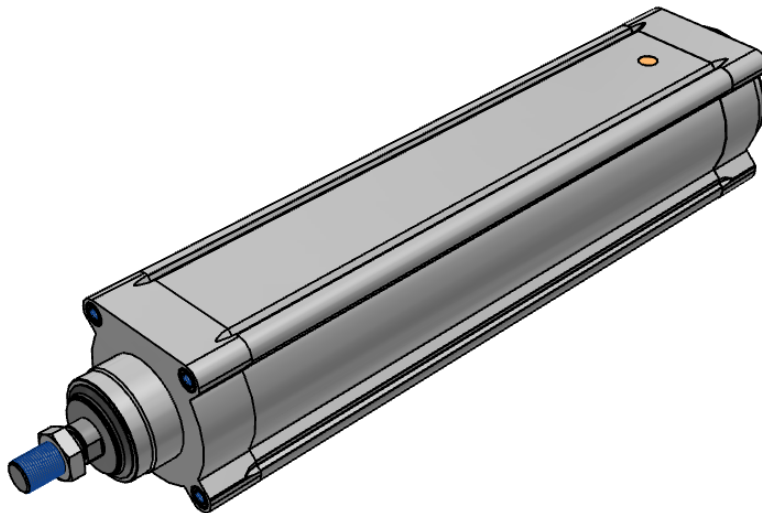
jest mniejsza od podnoszonego ciężaru dla kąta $\theta \in (45^\circ, 90^\circ)$. Na tej podstawie dobrano długości ramion, która wynosi 450 mm. W tabeli 5.1 zamieszczono parametry pracy podnośnika.

Tabela 5.1. Zakres pracy podnośnika

	Stan spoczynkowy	Kontakt z ładunkiem	Maks. praca mech.
Kąt $\theta [^\circ]$	36,6	54,9	68,4
Wysokość $h [\text{mm}]$	0	100	50
Zakres napędu $x_1 [\text{mm}]$	481,7	344,7	221,2

Jako napęd podnośnika zdecydowano się na zastosowanie siłownika elektrycznego. Z wykresu 5.2 odczytano, że maksymalna siła jaką należy wygenerować równa się 7756,4 N. Podczas doboru siłownika zastosowano współczynnik bezpieczeństwa równy 1,8 [6]. Na tej podstawie dobrano siłownik ESBF-BS-100-300-40P firmy Festo o następujących parametrach:

- skok: 300 mm,
- maksymalna siła posuwy F_x : 14 500 N,
- masa: 11 kg.



Rysunek 5.3. Siłownik napędzający podnośnik

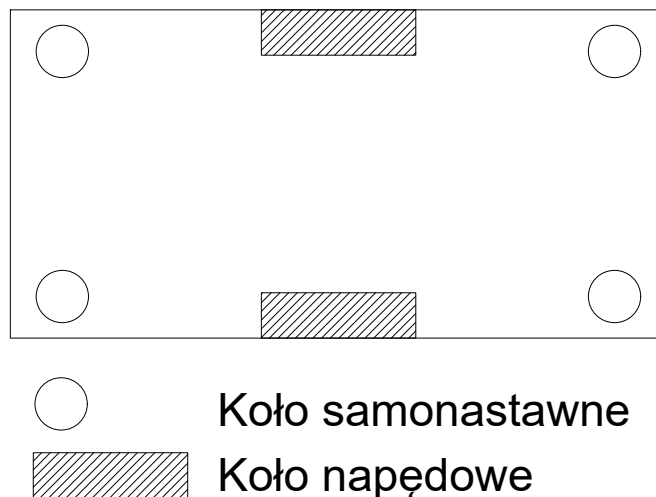
5.2. Napęd główny robota

Projektowana platforma jest robotem klasy (2,0). Oznacza to, że robot posiada dwa stopnie swobody oraz nie zastosowano kół kierowanych (skrętnych). Odpowiednią mobilność uzyskano poprzez wyposażenie robota w dwa silniki, które niezależnie sterują kołami napędowymi.

Pracę nad głównym napędem rozpoczęto od zaplanowania rozmieszczenia i doboru kół. Następnie wybrano silniki napędowe oraz przekładnie.

5.2.1. Dobór kół

Projektując robota zdecydowano się na zastosowanie dwóch kół napędowo-sterujących oraz czterech kół podporowych-samonastawnych.



Rysunek 5.4. Schemat rozmieszczenia kół

Takie rozwiązanie umożliwia równomierne rozłożenie masy transportowanego ładunku i zapewnia stabilność robota. Centralne umiejscowienie kół napędowo-sterujących zapewnia odpowiednią mobilność i sterowalność. Kluczowymi aspektami jakimi kierowano się podczas doboru była średnica i maksymalna nośność koła.

Na początku projektowania założono, że maksymalna masa całkowita robota wraz z ładunkiem wynosi 2000 kg. Jednak podczas wyliczania minimalnej nośności kół należy zastosować odpowiedni współczynnik bezpieczeństwa, który w tym wypadku wynosi $\mu=1,5$ [7],[8].

Na tej podstawie można obliczyć nośność pojedynczego koła:

$$T = \frac{Q * \mu}{n}, \quad (5.10)$$

$$T = 500 \text{ kg}, \quad (5.11)$$

gdzie T-nośność pojedynczego koła, Q-maksymalna masa całkowita robota z ładunkiem, μ -współczynnik bezpieczeństwa, n-liczba kół.

Podczas wyboru średnicy kół zwrócono uwagę na środowisko, w którym będzie eksploatowany robot. Przeznaczony został do pracy w zamkniętym pomieszczeniu, w którym wysokość przeszkód (progów, itp.) nie przekracza 10 mm. Na tej podstawie dobrano koła o średnicy 200 mm [5],[6].

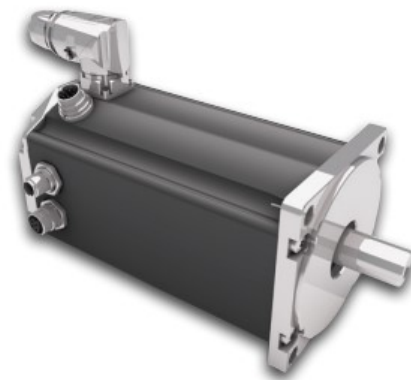
5.2.2. Dobór silnika i przekładni

Jako napęd główny wybrano silnik bezszczotkowy, prądu stałego BLDC. Głównymi argumentami przemawiającymi za tym rozwiązaniem są:

- wysoki stosunek mocy do masy,
- wysoka sprawność na poziomie 85-90%,
- prosty układ sterowania,
- niski moment rozruchowy.

Niestety poprzez zastosowanie magnesów trwałych cena takiego rozwiązania jest wysoka. Jednak zapewnia długotrwałą i bezawaryjną pracę. W robocie zastosowano dwa silniki BG 95x80 firmy Dunkermotoren o następujących parametrach [9]:

- moc: 1127 W,
- znamionowa prędkość obrotowa: $3870 \frac{1}{min}$,
- znamionowy moment obrotowy: 2,57 Nm,
- masa: 5,1 kg.



Rysunek 5.5. Główny napęd robota

Aby zapewnić odpowiednią dynamikę i założoną prędkość robota (4.1) konieczne jest zastosowanie przekładni. Dzięki takiemu rozwiązaniu zredukowano prędkość obrotową oraz jednocześnie zwiększono wyjściowy moment obrotowy.

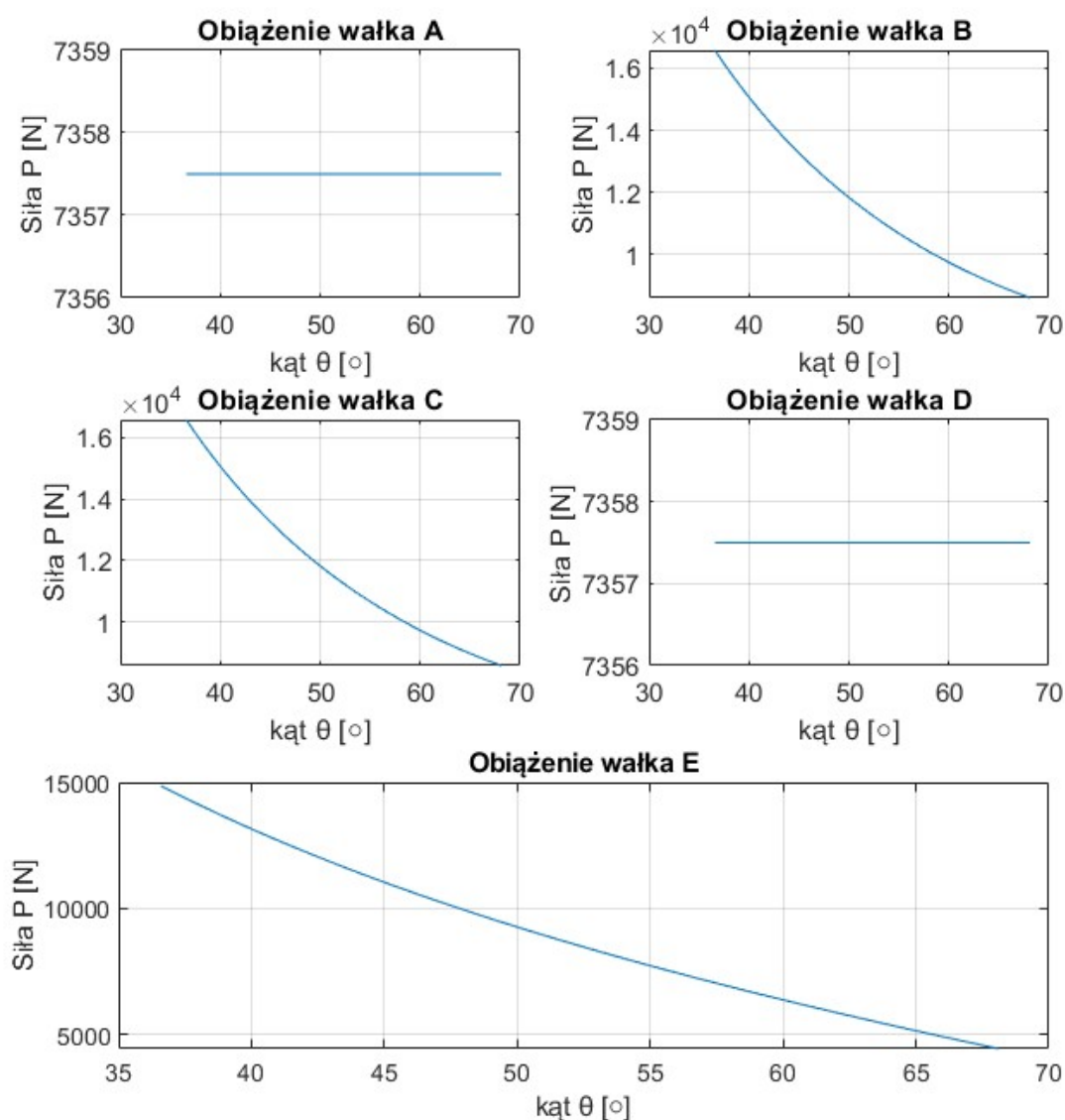
Zdecydowano się na przekładnię planetarną. Charakteryzuje się ona wysoką sprawnością, niską awaryjnością, cichą pracą oraz niską bezwładność. Umożliwia ona precyzyjne sterowanie robotem i niewielkie straty energii. Z powodu wysokich wymagań projektowych i zintegrowania wielu elementów zębatych zdecydowano się na zastosowanie przekładni firmy Tramec [10]. Na podstawie założenia maksymalnej prędkości robota i dobranej średnicy koła obliczono przełożenie przekładni:

$$\mu_1 = \frac{\omega \cdot d}{2 \cdot V} = 9,29 \quad (5.12)$$

,gdzie ω -prędkość obrotowa silnika, V -maksymalna prędkość robota, d -średnica koła napędowego.

6. Obliczenia wytrzymałościowe wałków

W tym rozdziale przeprowadzono obliczenia wytrzymałościowe wałków wykorzystanych w robocie. Zamodelowane zostały jako zginane belki. W celu obliczenia rozkładu sił (6.1) i momentów na długości danego wałka skorzystano z internetowego kalkulatora [11]. Określono sposoby podparcia belki a także wartości sił. W miejscach, gdzie wałek otacza łożysko przyłożono siły skupione wartości równej obciążeniu łożyska. Dzięki tym obliczeniom dobrano grubości wałków [12].



Rysunek 6.1. Wykres sił zastępczych dla poszczególnych wałków

W celu sprawdzenia wytrzymałości na zginanie danego wałka obliczono maksymalne naprężenie zginające wałek. Musi być mniejsze od dopuszczalnego maksymalnego naprę-

żenia zginającego $k_g=130$ MPa.

Do wyznaczenia maksymalnych naprężeń zginających można wykorzystać następujący wzoru:

$$\sigma_{x,max} = \frac{M_{g,max}}{W} \leq k_g$$

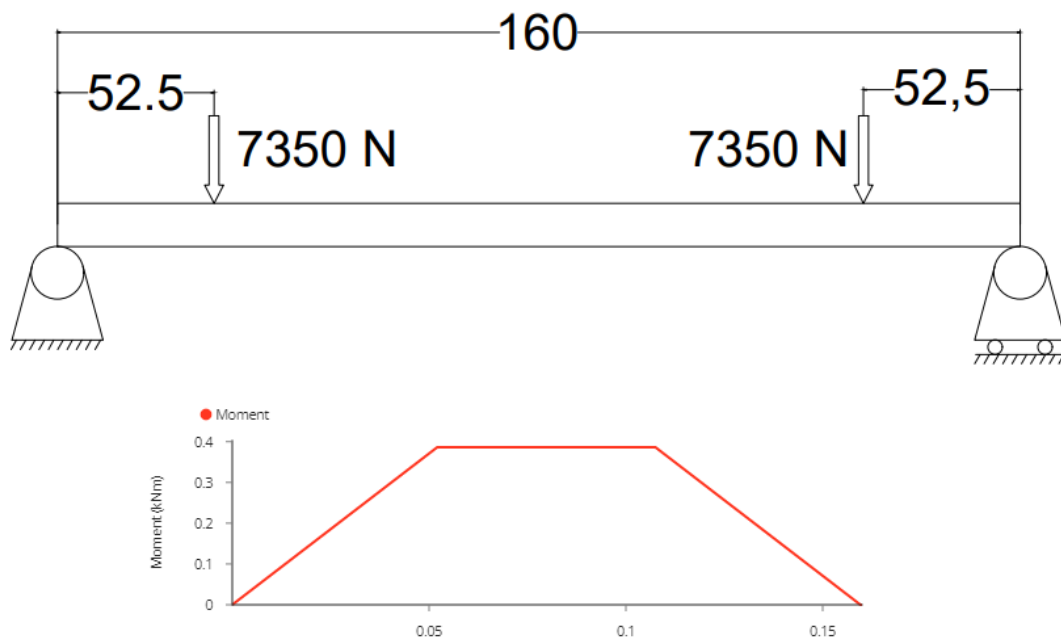
Wałki mają przekrój kołowy, więc wskaźnik bezwładności wynosi:

$$W_x = \frac{\pi * d^3}{32}$$

Dzięki tym wzorom można obliczyć minimalną średnicę poszczególnych wałków:

$$d \leq \sqrt[3]{\frac{32 * M_{g,max}}{\pi * k_g}}$$

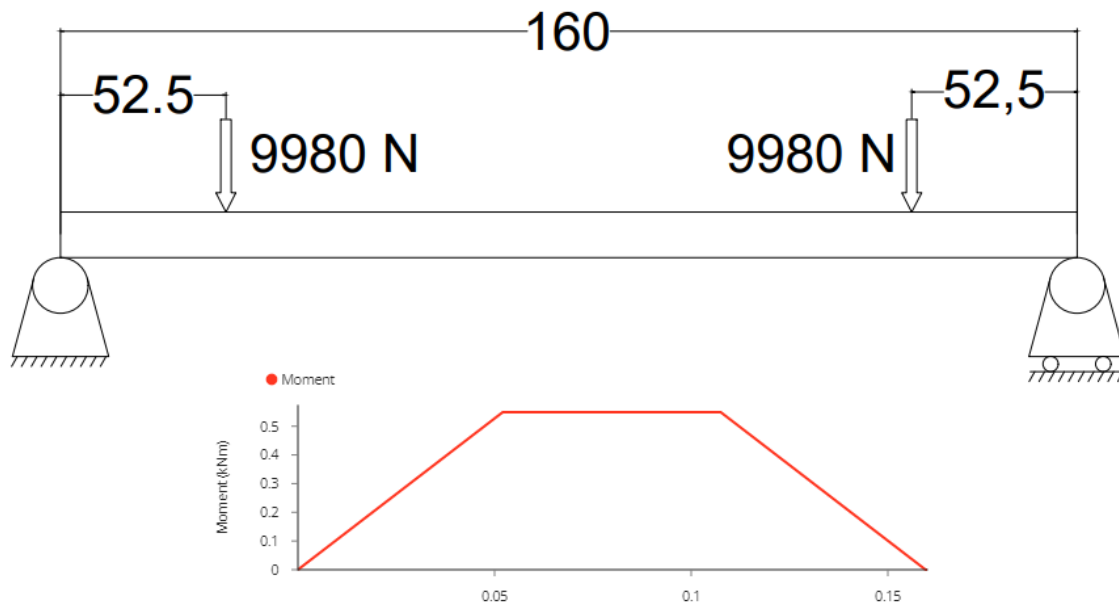
6.1. Wałek A i D



Rysunek 6.2. Wykres rozkładu momentu gnącego w wałków A

Ze względu na to samo obciążenie oraz długość wałka wałka A i D zdecydowano się na użycie takiej samej średnicy. Na powyższym wykresie 6.2 przedstawiono rozkład momentu gnącego w wałku. Wykorzystano go do policzenia minimalnej średnicy wałka, która wynosi $d_{ADmin} = 31,2$ mm. Natomiast w konstrukcji użyto wałka o średnicy $d_{AD} = 35$ mm.

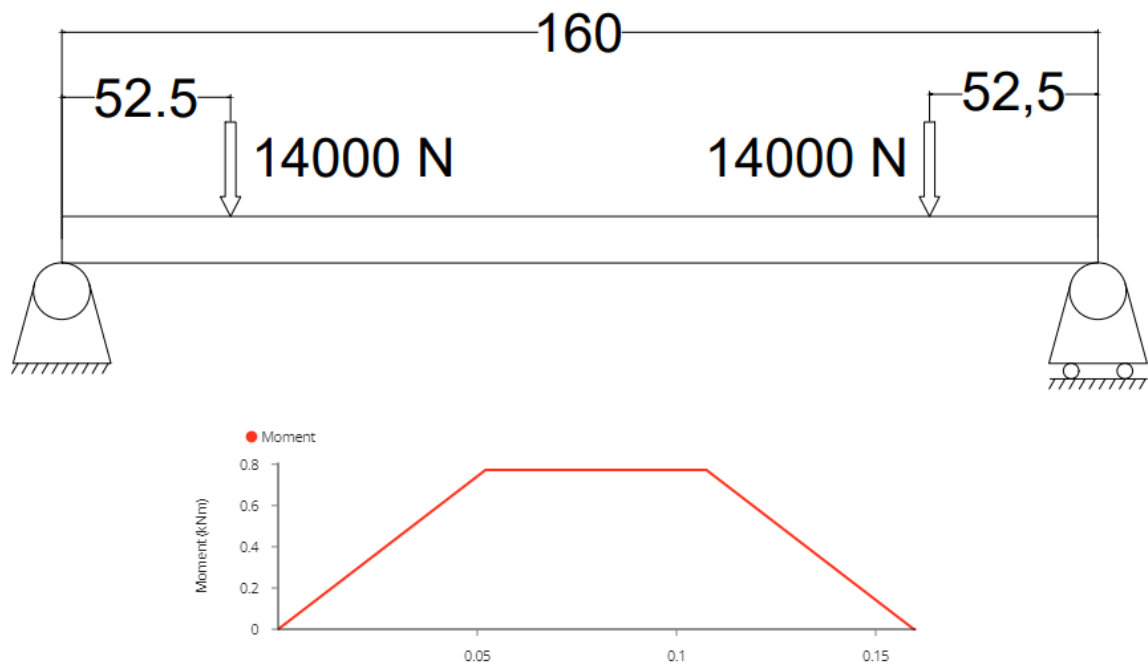
6.2. Wałek B i C



Rysunek 6.3. Wykres rozkładu momentu gnącego w wałków B i C

Ze względu na to samo obciążenie oraz długość wałka wałka B i C zdecydowano się na użycie takiej samej średnicy. Na powyższym wykresie 6.3 przedstawiono rozkład momentu gnącego w wałku. Wykorzystano go do policzenia minimalnej średnicy wałka, która wynosi $d_{BCmin} = 35 \text{ mm}$. Natomiast w konstrukcji użyto wałka o średnicy $d_{BC} = 40 \text{ mm}$.

6.3. Wałek E



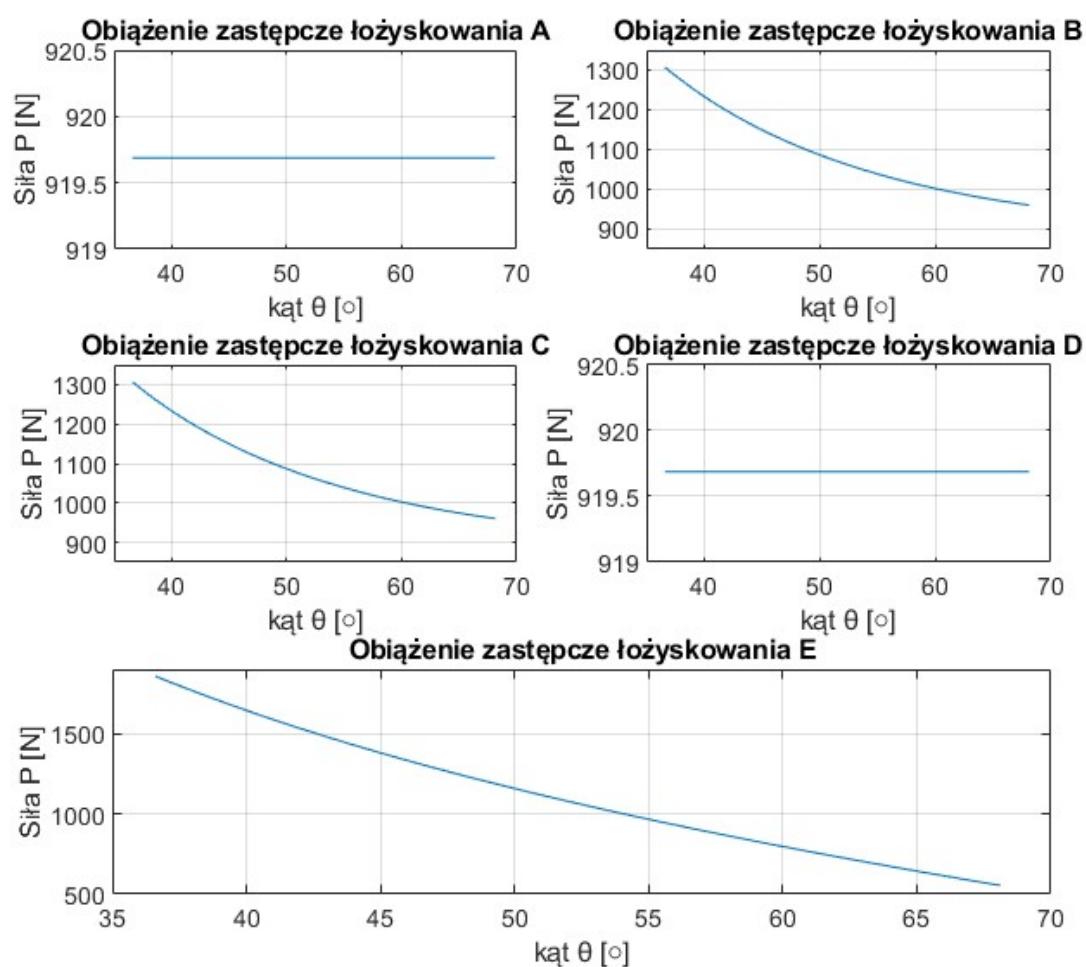
Rysunek 6.4. Wykres rozkładu momentu gnącego w wałków E

Na powyższym wykresie 6.4 przedstawiono rozkład momentu gnącego w wałku. Wykorzystano go do policzenia minimalnej średnicy wałka, która wynosi $d_{Emin} = 39,3 \text{ mm}$. Natomiast w konstrukcji użyto wałka o średnicy $d_E = 40 \text{ mm}$.

7. Obliczenia łożyskowań

W tym rozdziale dobrano łożyska. W tym celu przeprowadzono niezbędne obliczenia i na tej podstawie wybrano łożyska z katalogu SKF[13]. Poniższe oznaczenia są zgodne z wcześniejszymi schematami mechanizmu i napędu robota. W celu zapewnienia niezawodnego użytkowania przyjęto czas pracy platformy na poziomie $L_h=150000$ h. Aby zapewnić cichą pracę łożysk zastosowano współczynnik bezpieczeństwa równy $n=2$ [12],[13].

Na łożyska w mechanizmie nie działają siły równoległe do wałów, więc zastępcze obciążenia składają się tylko z reakcji prostopadłych. W zależności od miejsca obciążenia zmieniają się lub są stałe. Przedstawiono je na wykresie 6.1.



Rysunek 7.1. Wykres sił zastępczych dla poszczególnych wałków

7.1. Łożyskowanie A i D

Ze względu na takie same obciążenie i charakter pracy w obu miejscach zastosowano takie same łożyska kulkowe skośne SKF 7207 ACCBM. O takim wyborze zdecydowały obliczenia, których zadaniem było pokazanie minimalnej nośności spoczynkowej C_0 . Łożyska te obciążone są jedynie poprzecznie. Ze względu na zastosowanie dwóch podnośników na każdy podest i podwójnego łożyskowania na każde łożysko działa siła równa $\frac{1}{16}Q$. Na tej podstawie wyliczono nośność pojedynczego łożyska:

$$C_0 = \frac{n \cdot P \cdot f_h \cdot f_d}{f_t}, \quad (7.1)$$

gdzie:

P -obciążenie zastępcze w punkcie łożyskowania w [N],

f_h - współczynnik zależny od przewidywanego czasu pracy łożyska,

f_d -współczynnik zależny od zmiennych obciążeń dynamicznych,

f_t -współczynnik zależny od temperatury pracy łożyska.

$$P = \frac{1}{16} \cdot Q = 919,687 \text{ N} \quad (7.2)$$

Wartość współczynnika f_h obliczono następująco:

$$f_h = \sqrt[3]{\frac{L_h}{500}} = 6,694 \quad (7.3)$$

Przy charakterystyce pracy platformy $f_d=1$, a współczynnik f_t dla temperatur do 120°C równa się 1. Zatem wymagana nośność wynosi $C_0=12,5 \text{ kN}$, a zastosowane łożysko na je na poziomie $23,2 \text{ kN}$.



Rysunek 7.2. Łożysko A i D

7.2. Łożyskowanie B i C

Ze względu na takie same obciążenie i charakter pracy w obu miejscach zastosowano takie same łożyska. Siła poprzeczna składa się z dwóch składowych. W taki przypadku obciążenie zastępcze obliczono wykorzystując maksymalne wartości sił występujących w układzie:

$$P = \frac{P_{min} + 2 \cdot P_{max}}{3} = 1191,6N \quad (7.4)$$

Pozostałe obliczenia wykonano analogicznie jak w poprzednim podpunkcie, a cała reszta składowych równania 6.1 pozostały bez zmian. Obliczona nośność wynosi 16 kN. Zdecydowano się na zastosowanie łożyska skośnego w obudowie 7208 ACCBM. Nośność statyczna wykorzystanego łożyska wynosi $C_0=29$ kN.



Rysunek 7.3. Łożysko B i C

7.3. Łożyskowanie E

W tym przypadku zastosowano łożysko kulkowe skośne 7208 ACCBM. Siła zastępcza składa się tylko z siły prostopadłej do wału. Jest ona zmienna i obliczono ją za pomocą równania 6.4.

$$P = 1423,1 N \quad (7.5)$$

Pozostałe obliczenia wykonano analogicznie jak w poprzednim podpunkcie, a cała reszta składowych równania 6.1 pozostały bez zmian. Nośność zastosowanego łożyska wynosi 29 kN.



Rysunek 7.4. Łożysko E

8. Wybór czujników

Podczas konstruowania robota mobilnego ważnym aspektem jest dobranie czujników zapewniających bezpieczne przemieszczanie się robota. Jest to konieczne na tym etapie projektowania, ponieważ trzeba zaplanować ich właściwe rozmieszczenie.

Roboty bardzo często współpracują z ludźmi, co powoduje wiele niebezpiecznych sytuacji wynikających z nieuwagi, zmęczenia, przyzwyczajenia. Z tego powodu robot musi cały czas sprawdzać swoje otoczenie. W projektowanym robocie przewidziano dwustopniową ochronę.

Pierwszym stopniem są czujniki bezkontaktowe. Do projektu wybrano skaner laserowy 2D. Ma on aktualizować mapę trasy. Dzięki takiemu rozwiązaniu robot otrzymuje informacje o przeszkodach i zmianach na trasie. Na etapie projektowania konstrukcji należy dobrać odpowiednie czujniki i zapewnić jak największe wykorzystanie ich parametrów poprzez dopracowanie odpowiedniej geometrii robota.

Drugim stopniem ochrony są zderzaki kontaktowe. Ich zadaniem jest zatrzymanie robota w momencie dotknięcia przeszkody, gdy zawiedzie ochrona bezkontaktowa. Robot otrzymuje informację z czujników kontaktu zamontowanych w zderzakach.

8.1. Czujniki mierzące odległość

Zdecydowano się na zastosowanie skanera laserowego 2D TIM781S-2174104 firmy SICK[14]. Wybrany czujnik charakteryzuje się następującymi parametrami:

- Kąt otwarcia: 270° ,
- Częstotliwość skanowania: 15 Hz,
- Rozdzielczość kątowna: $0,33^{\circ}$,
- Zakres pracy: 0,05 m, ..., 25 m,
- Strefa martwa: 0 m, ..., 0,05m.



Rysunek 8.1. Skaner TIM781S-2174104 firmy SICK

9. Podsumowanie

W ramach podstawionego tutaj zagadnienia zaproponowano rozwiązania umożliwiające skonstruowanie autonomicznego robota mobilnego. W tym celu wykonano niezbędne obliczenia kinematyki, dobrano mechanizm podnoszenia ładunku oraz napęd robota. W kolejnym etapie przeprowadzono obliczenia wytrzymałościowe łożysk. Następnie wybrano niezbędne czujniki.

Można stwierdzić, że zaproponowane rozwiązania spełniają postawione założenia (4.1). Jednak w celu dopracowania projektu należałoby wykonać następne iteracje projektu, umożliwiające dopracowanie konstrukcji. Najwięcej uwagi wymaga przeprojektowanie geometrii robota. Jest to konieczne w celu zoptymalizowania napędów mechanizmu podnośnika oraz wykorzystania parametrów czujników.

W kolejnym etapie pracy nad projektem należy zwrócić uwagę na zapewnienie odpowiedniego czasu pracy. Z tego powodu należy zagłębiać się w temacie baterii oraz głównego napędu robota. Podczas wyboru należałoby wziąć pod uwagę gabaryty, masę, pojemność baterii oraz jakie możliwości dynamiczne oferujeabrany silnik.

Cały robot wymaga optymalizacji gabarytów. Zmieszczenie wszystkich podzespołów robota w jego bryle wymaga dużo przestrzeni, jednak zbyt duże wymiary robota uniemożliwią mu swobodne poruszanie się.

Praca pokazującą jak szeroki zakres wiedzy oraz umiejętności wymaga projektowanie robotów. Projekt wymaga wielu iteracji oraz kompromisów podczas doboru poszczególnych podzespołów.

Bibliografia

- [1] A. K. Tyagi i S. U. Aswathy, „Autonomous Intelligent Vehicles (AIV): Research statements, open issues, challenges and road for future”, *International Journal of Intelligent Networks*, t. 2, s. 83–102, sty. 2021, ISSN: 2666-6030. DOI: 10.1016/J.IJIN.2021.07.002.
- [2] „Strona internetowa firmy Promag”, Dostęp zdalny (30.08.22): <https://promag.pl>, 2022.
- [3] „Strona internetowa firmy EMTOR”, Dostęp zdalny (30.08.22): <https://www.emtor.pl>, 2022.
- [4] T. Dobrzański, *Rysunek techniczny maszynowy*. WNT, 2015.
- [5] A. Saxena, „Deriving a Generalized, Actuator Position-Independent Expression for the Force Output of a Scissor Lift”.
- [6] A. Kowalewski, „Zabezpieczenia w podnośnikach nożycowych”, <https://www.launch.pl/grafika//oferta/podnosniki/art201111.pdf>.
- [7] „Katalog firmy Blickle”, Dostęp zdalny (30.08.22): <https://www.blickle.pl/produkty/przewodnik>, 2022.
- [8] „Katalog firmy Elesa”, Dostęp zdalny (30.08.22): <https://www.elesa-ganter.pl>, 2022.
- [9] „Katalog firmy Dunkermotoren”, Dostęp zdalny (30.08.22): <https://www.dunkermotoren.com/en>, 2022.
- [10] „Katalog firmy Tramec”, Dostęp zdalny (30.08.22): <https://www.tramec.it>, 2022.
- [11] „Kalkulator belek onlin”, Dostęp zdalny (30.08.22): <https://clearcalcs.com/freetools/beam-analysis/au>, 2022.
- [12] L. W. Kurmaz, *Projektowanie węzłów i części maszyn*. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2011.
- [13] „Katalog firmy SKF”, Dostęp zdalny (30.08.22): <https://www.skf.com/pl>, 2022.
- [14] „Katalog firmy SICK”, Dostęp zdalny (30.08.22): <https://www.sick.com>, 2022.

Spis rysunków

2.1	Robot mobilny firmy AIV	6
2.2	Robot mobilny firmy Yale	7
5.1	Schemat kinematyki podnośnika	10
5.2	Wykres siły napędowej mechanizmu	11
5.3	Siłownik napędzający podnośnik	12
5.4	Schemat rozmieszczenia kół	13
5.5	Główny napęd robota	14
6.1	Wykres sił zastępczych dla poszczególnych wałków	16
6.2	Wykres rozkładu momentu gnącego w wałków A	17
6.3	Wykres rozkładu momentu gnącego w wałków B i C	18
6.4	Wykres rozkładu momentu gnącego w wałków E	19
7.1	Wykres sił zastępczych dla poszczególnych wałków	20
7.2	Łożysko A i D	21
7.3	Łożysko B i C	22
7.4	Łożysko E	23
8.1	Skaner TIM781S-2174104 firmy SICK	24

Spis tabel

2.1	Parametry robota AIV	6
2.2	Parametry robota Yale	8
4.1	Założenia projektowe	9
5.1	Zakres pracy podnośnika	12