



DOKUMENTACJA TECHNICZNA ALGORYTMU STERUJĄCEGO

PROJEKT ROBOTA PORUSZAJĄCEGO SIĘ PO SCHODACH W RAMACH
KURSU PODSTAW MECHATRONIKI

Jakub Kokosiński
Karolina Michalak
Michał Banach

Spis treści

Cel projektu – sekcja informatyków	2
Kamienie milowe sekcji informatyków.....	2
Opis elementów wejścia/wyjścia	2
Rozmieszczenie elementów robota	2
Przyjęty system oznaczeń urządzeń wejść i wyjść.....	2
Stałe używane w algorytmie.....	3
Zbiorczy spis stałych	3
Opis poszczególnych stałych	3
Zmienne używane w algorytmie	6
Zbiorczy spis zmiennych	6
Opis poszczególnych zmiennych	6
Kalibracja – opis.....	8
Przypadek 1:	8
Przypadek 2:	8
Przypadek 3:	8
Ruch w górę po schodach - opis	10
1. Kalibracja	10
2. Podjazd do stopnia	10
3. Podnoszenie pierwszego segmentu	10
4. Wjazd pierwszego segmentu na stopień.....	11
5. Podnoszenie drugiego segmentu	12
6. Wjazd drugiego segmentu na stopień.....	12
7. Podnoszenie trzeciego segmentu.....	13
8. Sprawdzenie odległości	13
9. Wjazd trzeciego segmentu na stopień	14
Ruch w dół po schodach - opis	14
1. Podjazd do krawędzi stopnia.....	14
Odjazd w bezpieczną pozycję	14
Kalibracja	15
Podjazd do krawędzi.....	15
2. Opuszczanie trzeciego segmentu	15
3. Zjazd drugiego segmentu ze stopnia.....	16
4. Opuszczanie drugiego segmentu.....	16
5. Zjazd pierwszego segmentu ze stopnia	16
6. Opuszczanie pierwszego segmentu.....	17

7. Zakończenie programu	17
Założenia dodatkowe	18
Kalibracja – schemat blokowy	19
Ruch w górę po schodach – schemat blokowy.....	21
Ruch w dół po schodach – schemat blokowy.....	23
Możliwości przyszłej rozbudowy	27

Cel projektu – sekcja informatyków

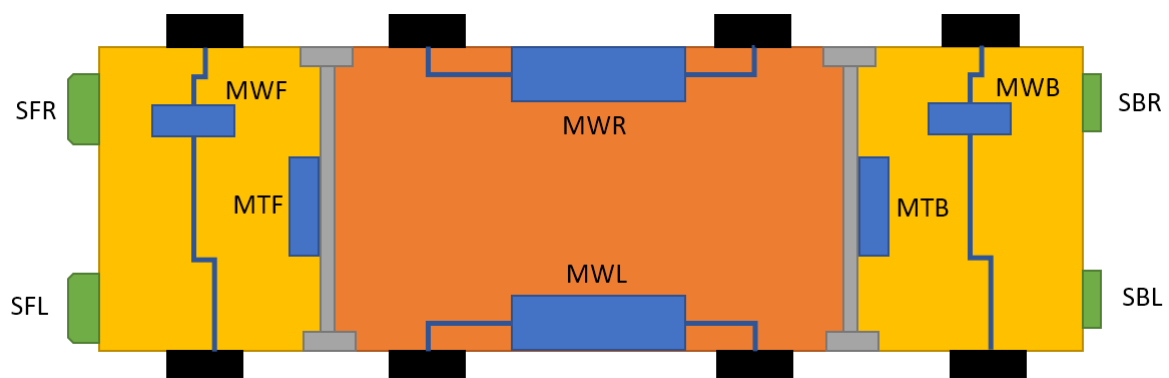
Wykonanie oraz udokumentowanie algorytmu sterującego trzysegmentowym robotem poruszającym się po schodach w górę i w dół.

Kamienie milowe sekcji informatyków

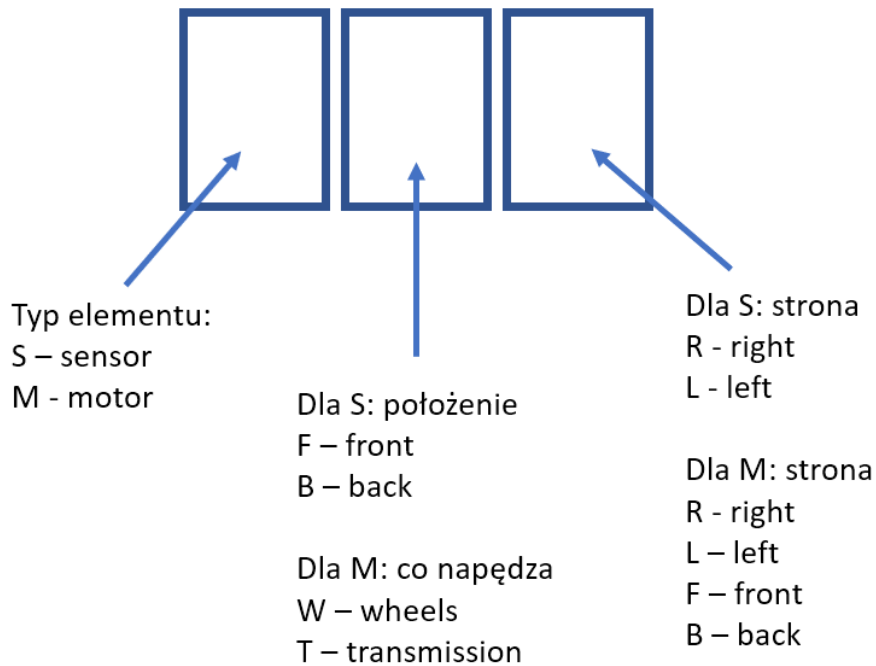
- **Określenie funkcjonalności robota,**
- Określenie parametrów pracy,
- Opracować czytelne nazwy zmiennych oraz stałych,
- **Wykonanie schematu blokowego procesu wchodzenia,**
- **Wykonanie schematu blokowego procesu schodzenia,**
- Wykonanie schematu blokowego procesu kalibracji,
- Uwzględnienie w powyższych schematach sytuacji prowadzących do błędów lub sytuacji niestabilnych,
- Opracować dokumentację techniczną algorytmu sterującego.

Opis elementów wejścia/wyjścia

Rozmieszczenie elementów robota



Przyjęty system oznaczeń urządzeń wejść i wyjść



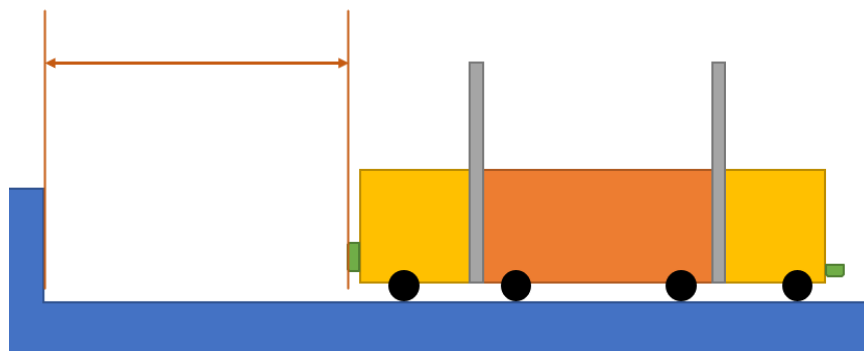
Stałe używane w algorytmie

Zbiorczy spis stałych

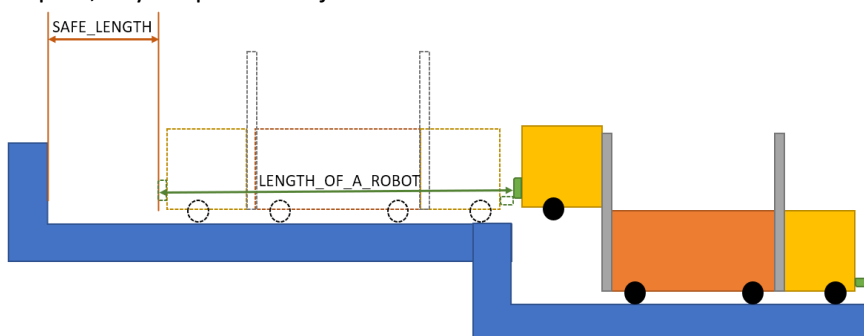
- SAFE_DISTANCE_IN_FRONT_OF_STEP,
- SAFE_LENGTH,
- NUMBER_OF_VERTICAL_TURNS_FOR_CLEARANCE
- MAX_OF_VERTICAL_TURNS,
- NUMBER_OF_HORIZONTAL_TURNS_FOR_APPROACH,
- NUMBER_OF_HORIZONTAL_TURNS_FOR_FIRST_MODULE,
- NUMBER_OF_HORIZONTAL_TURNS_FOR_SECOND_MODULE,
- LENGTH_OF_A_ROBOT,
- LENGTH_OF_FIRST_MODULE,
- LENGTH_OF_SECOND_MODULE,
- LENGTH_OF_THIRD_MODULE,
- LENGTH_OF_INFINITY,
- BACK_CLEARANCE;

Opis poszczególnych stałych

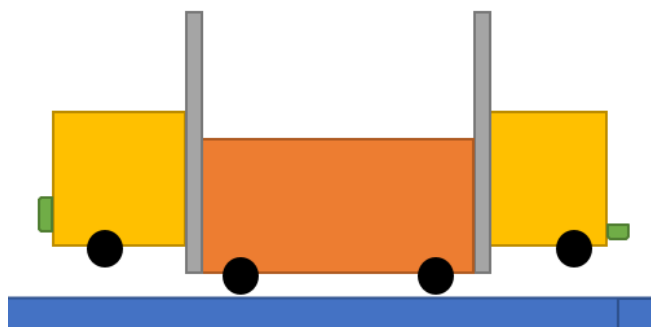
- SAFE_DISTANCE_IN_FRONT_OF_STEP – minimalna odległość do następnego stopnia na jaką robot może się zbliżyć z włączonymi czujnikami SFR i SFL. Dalej czujniki mogą wychwycić błąd.



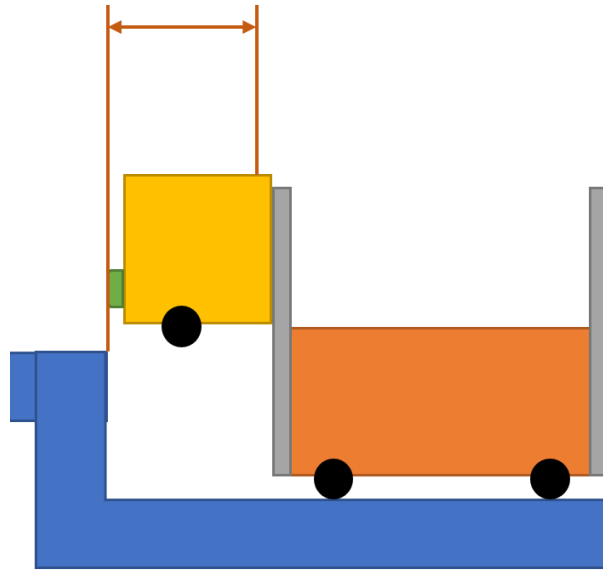
- **SAFE_LENGTH** – minimalna długość (pomijając **LENGTH_OF_A_ROBOT**) jaką musi mieć następny stopień, aby bezpiecznie wjechać.



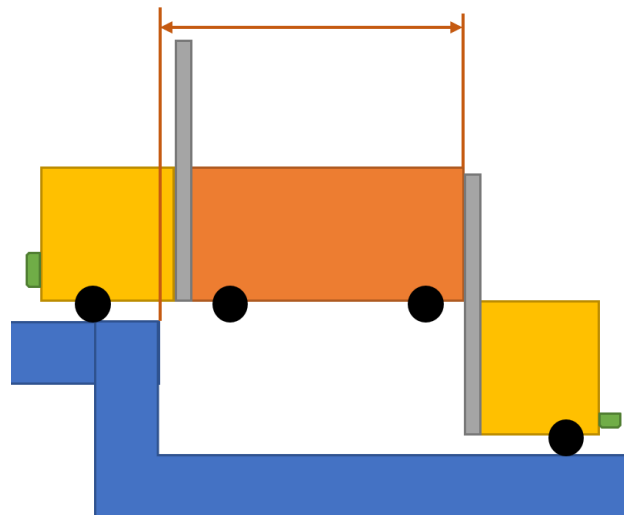
- **MAX_OF_VERTICAL_TURNS** – maksymalna liczba obrotów jakie mogą wykonać silniki MTF oraz MTB. Odpowiada maksymalnej wysokości na jaką można podnieść dowolny segment.
- **NUMBER_OF_VERTICAL_TURNS_FOR_CLEARANCE** – liczba obrotów jaką muszą wykonać silniki MTF i MTB, aby podnieść segment pierwszy i trzeci na niewielką odległość.



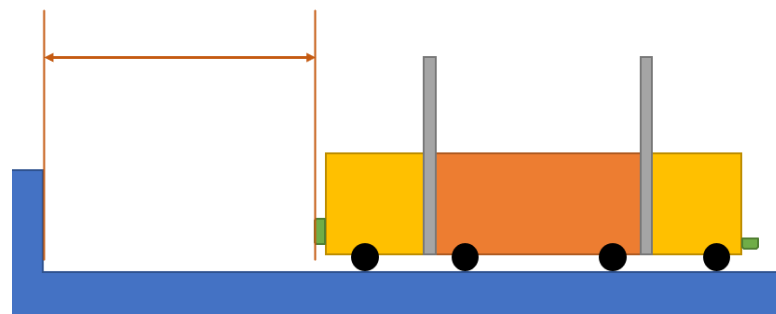
- **NUMBER_OF_HORIZONTAL_TURNS_FOR_FIRST_MODULE** – liczba obrotów silników MWF, MWR, MWL, MWB potrzebna do wjazdu pierwszego segmentu na stopień (pokonania odległości zaznaczonej na rysunku) – wykorzystywana, gdy nie można skorzystać z czujników.



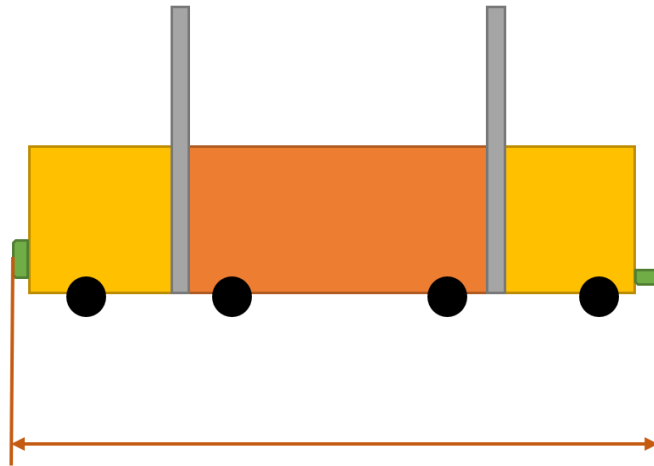
- NUMBER_OF_HORIZONTAL_TURNS_FOR_SECOND_MODULE - liczba obrotów silników MWF, MWR, MWL, MWB potrzebna do wjazdu drugiego segmentu na stopień (pokonania odległości zaznaczonej na rysunku) – wykorzystywana, gdy nie można skorzystać z czujników.



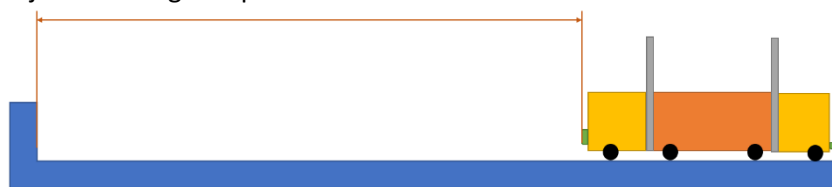
- NUMBER_OF_HORIZONTAL_TURNS_FOR_APPROACH – liczba obrotów, jaką muszą wykonać silniki MWF, MWR, MWL, MWB, aby robot zbliżył się do stopnia z odległości SAFE_DISTANCE_IN_FRONT_OF_STEP.



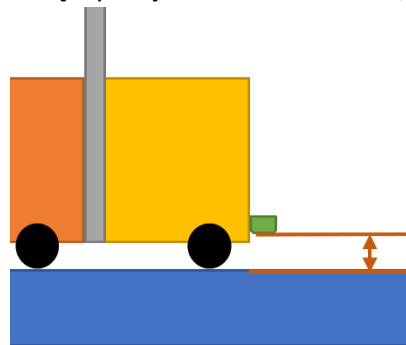
- LENGTH_OF_A_ROBOT – całkowita długość robota.



- LENGTH_OF_FIRST_MODULE – długość pierwszego segmentu.
- LENGTH_OF_SECOND_MODULE – długość drugiego segmentu.
- LENGTH_OF_THIRD_MODULE – długość trzeciego segmentu.
- LENGTH_OF_INFINITY – odległość do następnego stopnia, która uznana jest za zbyt dużą – robot nie podjedzie do tego stopnia.



- BACK_CLEARANCE – odległość między czujnikami SBR oraz SBL, a podłożem.



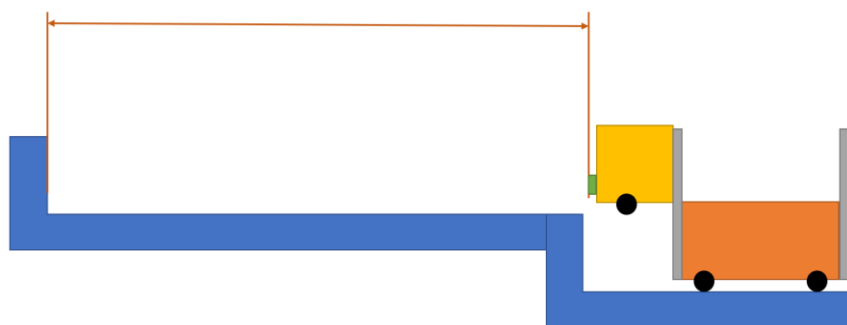
Zmienne używane w algorytmie

Zbiorczy spis zmiennych

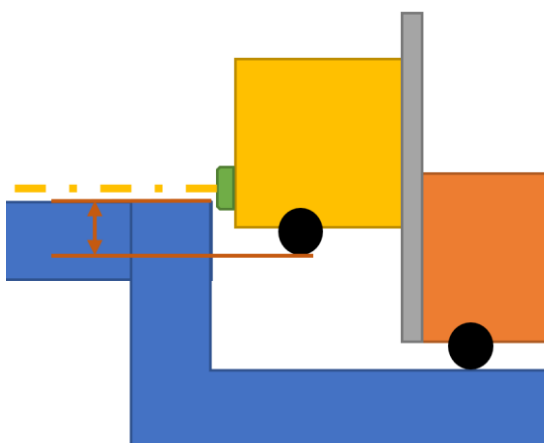
- length_of_next_step,
- number_of_vertical_turns,
- number_of_turns_for_step_height,
- number_of_steps,
- tab_length_to_edge[20];

Opis poszczególnych zmiennych

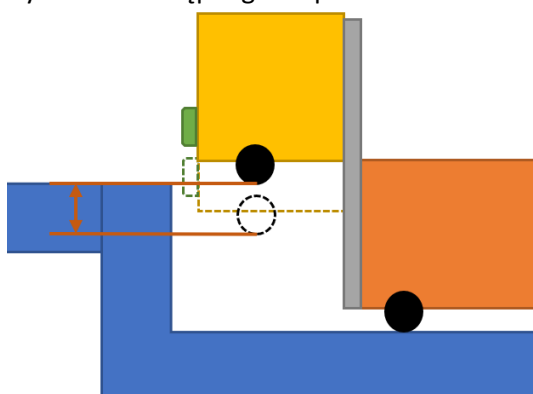
- length_of_next_step – zmierzona całkowita długość następnego stopnia.



- `number_of_vertical_turns` – przechowuje liczbę obrotów silnika MTF potrzebną do podniesienia pierwszego segmentu na wysokość (zaznaczoną na rysunku) umożliwiającą bezpieczny wjazd.



- `number_of_turns_for_step_height` – liczba obrotów potrzebna, aby koła (jakiegokolwiek modułu) znalazły się na wysokości następnego stopnia



- `number_of_steps` – przechowuje liczbę pokonanych stopni. Zwiększana podczas wchodzenia. Wykorzystywana podczas schodzenia.
- `tab_length_to_edge[20]` – tablica zawierająca odległość dla każdego stopnia jaka musi zostać zmierzona przez czujniki SFR i SFL, aby trzeci stopień „wisiał” w powietrzu i był gotowy do opuszczenia na poprzedni stopień.

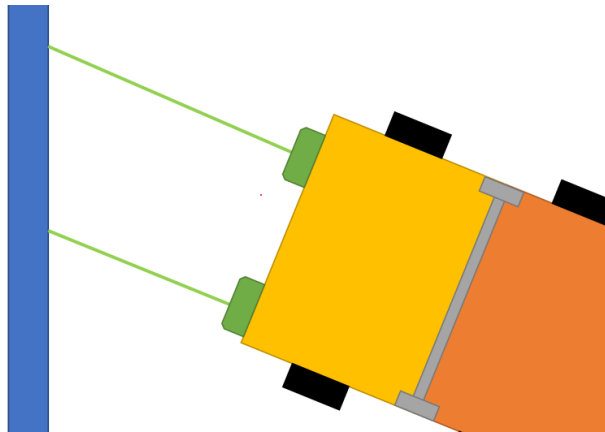
Kalibracja – opis

Przypadek 1:

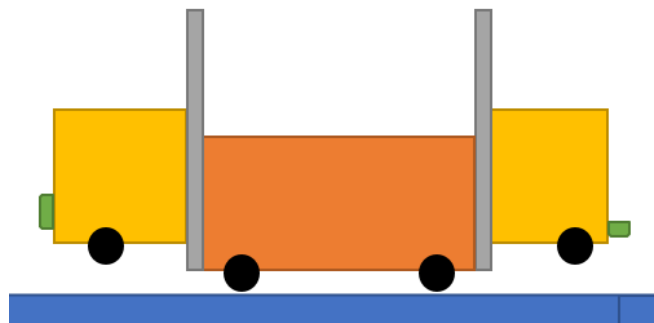
Gdy zmierzona odległość przez czujniki SFR i SFL jest równa LENGTH_OF_INFINITY lub czujniki pokazują błąd program kończy działanie.

Przypadek 2:

Gdy zmierzona odległość przez czujnik SFR nie jest równa odległości zmierzonej przez czujnik SFL następuje kalibrowanie.



Silniki MTF i MTB wykonują NUMBER_OF_VERTICAL_TURNS_FOR_CLEARANCE obrotów. Segment pierwszy i trzeci zostają lekko podniesione.



Jeżeli odległość SFL jest mniejsza od odległości SFR robot musi się obrócić w lewą stronę. Silnik MWL kręci się w tył, a MWR w przód do momentu, gdy odległości zmierzone przez czujniki SFR i SFL będą sobie równe.

Jeżeli odległość SFL jest większa od odległości SFR robot musi się obrócić w prawą stronę. Silnik MWL kręci się w przód, a MWR w tył do momentu, gdy odległości zmierzone przez czujniki SFR i SFL będą sobie równe.

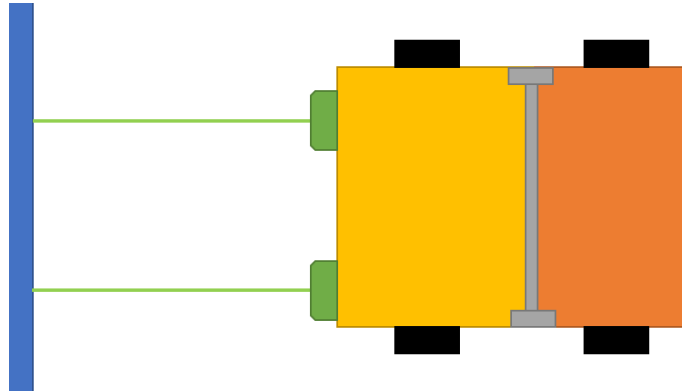
Po dokonanej kalibracji silniki MTF i MTB opuszczają segmenty pierwszy i trzeci.

Koniec kalibracji.

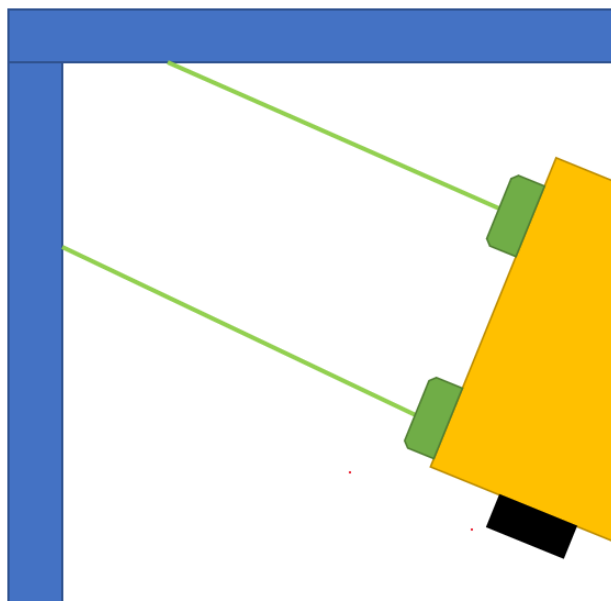
Przypadek 3:

Gdy zmierzona odległość przez czujniki SFR i SFL jest równa i skończona mogą wystąpić dwa przypadki:

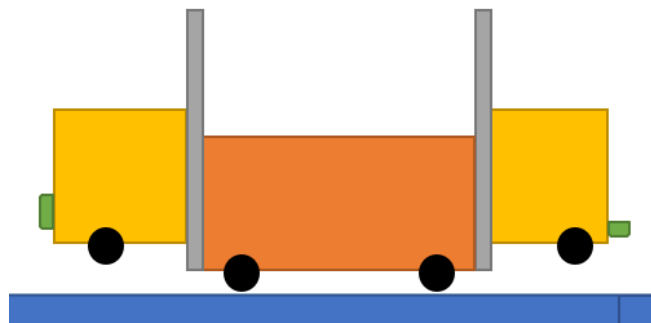
A) Robot jest ustawiony w prawidłowej pozycji:



B) Robot jest zwrócony w stronę narożnika:



Aby wykluczyć przypadek B Silniki MTF i MTB wykonują `NUMBER_OF_VERTICAL_TURNS_FOR_CLEARANCE` obrotów. Segment pierwszy I trzeci zostają lekko podniesione.



Robot zaczyna obracać się w lewą stronę – MWL kręci się do tyłu, MWR do przodu.

Jeżeli odczyt czujnika SFR się zwiększa, a czujnika SFL zmniejsza to jesteśmy pewni, że wystąpił przypadek B. W takim wypadku robot kontynuuje obrót w lewo do momentu, gdy zarówno odczyt z czujnika SFR, jak i SFL maleje.

Jeżeli odczyt czujników SFR i SFL się zwiększa wystąpił przypadek A.

Zarówno dla przypadku A, jak i B obrót jest podtrzymywany do momentu zrównania się odczytanych wartości czujników SFR i SFL. Następnie segmenty pierwszy i trzeci zostają opuszczone przy użyciu silników MTF i MTB.

Koniec Kalibracji.

Ruch w górę po schodach - opis

1. Kalibracja

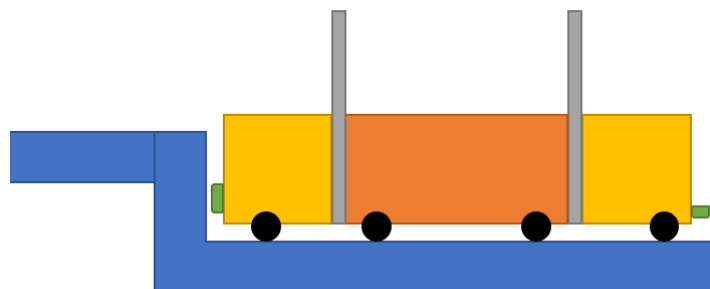
Na początku programu kalibracja uwzględnia wszystkie trzy przypadki.

Jeżeli kalibracja dotyczy następnego stopnia (kolejna iteracja algorytmu) rozpatrywany jest tylko przypadek 2.

2. Podjazd do stopnia

Jeżeli odległość zmierzona przez czujniki SFR i SFL jest większa niż odległość `SAFE_DISTANCE_IN_FRONT_OF_STEP` robot podjeżdża do stopnia. Silniki MWF, MWB, MWR i MWL kręcą się do przodu.

Jeżeli odległość zmierzona przez czujniki SFR i SFL jest równa `SAFE_DISTANCE_IN_FRONT_OF_STEP` to silniki MWF, MWB, MWR i MWL rozpoczynają (lub podtrzymują) obracanie się w przód do momentu wykonania `NUMBER_OF_HORIZONTAL_TURNS_FOR_APPROACH`. Następuje wyłączenie silników.



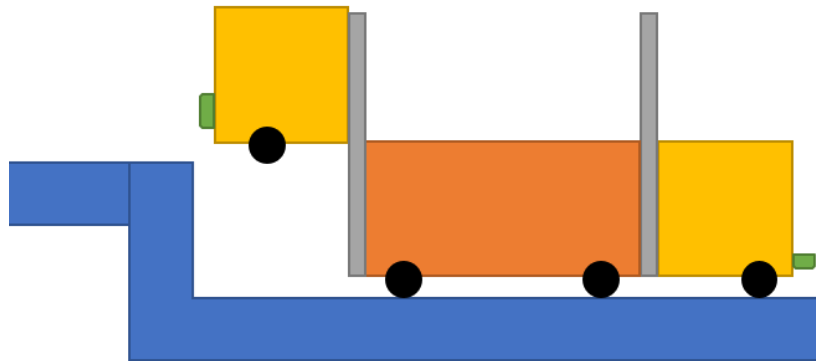
Położenie robota po udany podjeździe do stopnia.

Jeżeli czujniki SFR i SFL odczytują błąd następuje koniec programu – wystąpił błąd.

3. Podnoszenie pierwszego segmentu

Silnik MTF porusza segment pierwszy do góry. Gdy czujniki SFR i SFL zmierzają odległość równą lub większą od $(LENGTH_OF_A_ROBOT + SAFE_LENGTH)$. Silnik wykonuje jeszcze odmierzoną ilość obrotów zapisaną w zmiennej `number_of_vertical_turns` i zatrzymuje się. Ilość wykonanych obrotów

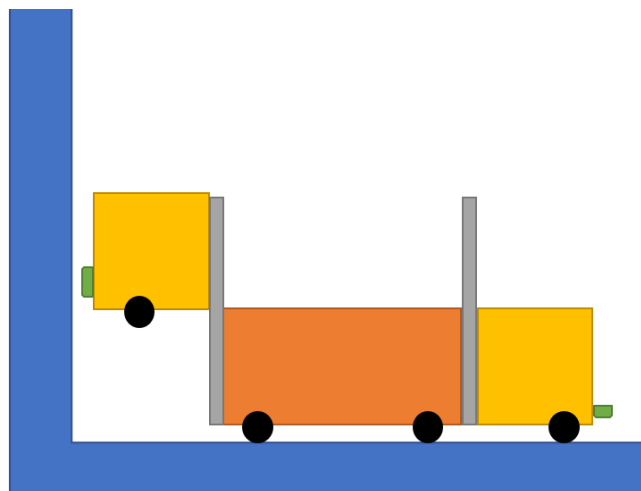
zostaje zapisana jest w zmiennej `number_of_turns_for_step_height` (zmienna uwzględnia dodatkowe obroty ze zmiennej `number_of_vertical_turns`).



Położenie robota po udany podniesieniu pierwszego segmentu.

Gdy czujniki SFR i SFL nie wykryją żądanej odległości (tzn. odczyt będzie mniejszy niż $(\text{LENGTH_OF_A_ROBOT} + \text{SAFE_LENGTH})$) przed wykonaniem przez silnik MTF liczby obrotów równej $(\text{MAX_OF_VERTICAL_TURNS} - \text{number_of_vertical_turns})$ silnik MTF zaczyna się kręcić w drugą stronę do momentu całkowitego opuszczenia pierwszego segmentu.

W tym wypadku za wysoki stopień jest traktowany jako przeszkoda. Robot kończy proces wchodzenia po schodach i przechodzi do schodzenia.

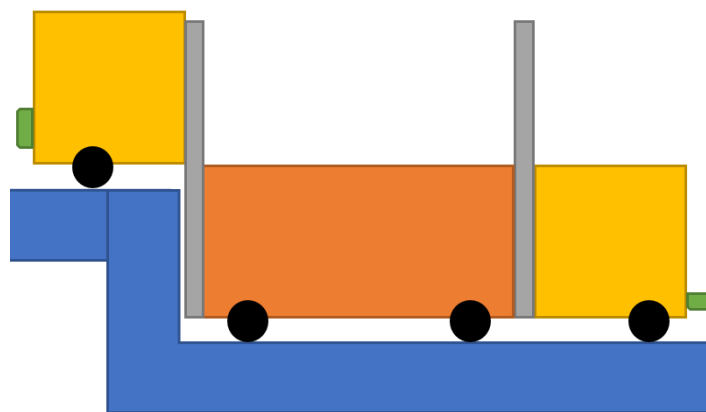


Robot napotkał przeszkodę, np. ścianę.

4. Wjazd pierwszego segmentu na stopień

Jeżeli odległość jest mierzalna: Robot zapisuje odczyt z czujników SFR i SFL w zmiennej `length_of_next_step`. Robot zaczyna podjeżdżać – silniki MWF, MWR, MWL i MWB kręcą się w przód. Silniki kończą pracę, gdy odczyt z czujników wyniesie $(\text{length_of_next_step} - \text{LENGTH_OF_FIRST_MODULE})$.

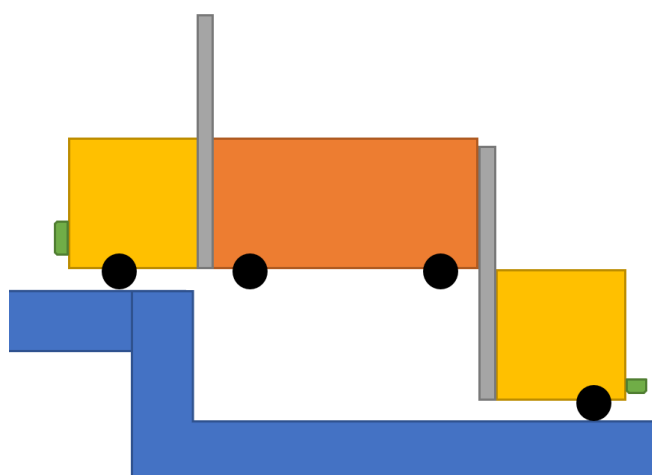
Jeżeli odległość jest niemierzalna: Robot zaczyna podjeżdżać – silniki MWF, MWR, MWL i MWB kręcą się w przód. Silniki kończą pracę, gdy wykonają liczbę obrotów zapisanych w stałej: `NUMBER_OF_HORIZONTAL_TURNS_FOR_FIRST_MODULE`.



Położenie robota po udany wjeździe pierwszego segmentu na stopień.

5. Podnoszenie drugiego segmentu

Silniki MTF oraz MTB wykonują `number_of_turns_for_step_height` obrotów podnosząc drugi segment. Po wykonaniu żądanej ilości obrotów silniki przestają się kręcić.

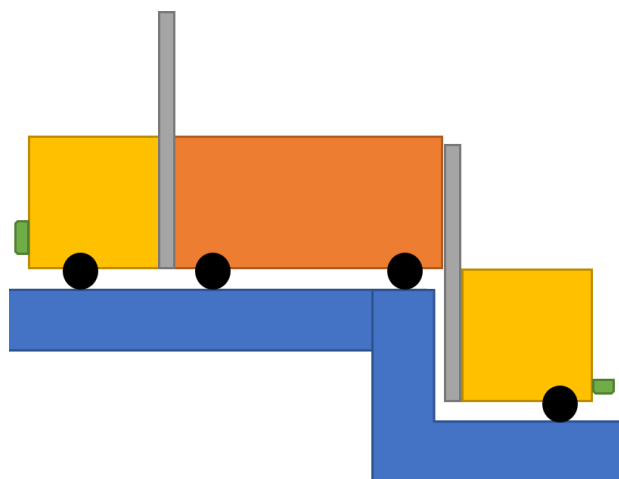


Segment numer dwa podniesiony i gotowy do wjazdu na stopień.

6. Wjazd drugiego segmentu na stopień

Jeżeli odległość jest mierzalna: Robot zaczyna podjeżdżać – silniki MWF, MWR, MWL i MWB kręcą się w przód. Silniki kończą pracę, gdy odczyt z czujników SFR i SFL wyniesie $(\text{length_of_next_step} - \text{LENGTH_OF_FIRST_MODULE} - \text{LENGTH_OF_SECOND_MODULE})$.

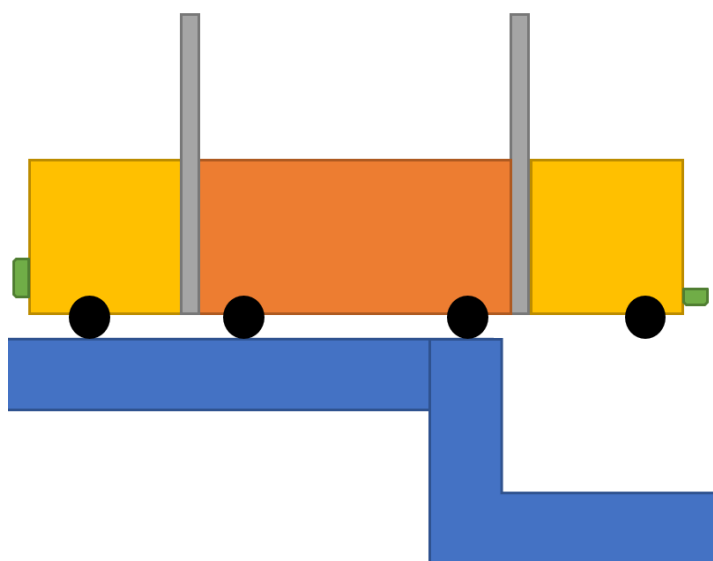
Jeżeli odległość jest niemierzalna: Robot zaczyna podjeżdżać – silniki MWF, MWR, MWL i MWB kręcą się w przód. Silniki kończą pracę, gdy wykonają liczbę obrotów zapisaną w stałej: `NUMBER_OF_HORIZONTAL_TURNS_FOR_SECOND_MODULE`.



Drugi segment po wjeździe na stopień.

7. Podnoszenie trzeciego segmentu

Silnik MTB wykonuje `number_of_turns_for_step_height` obrotów podnosząc drugi segment. Po wykonaniu żądanej ilości obrotów silnik przestaje się kręcić.



Pozycja robota po podniesieniu trzeciego segmentu.

W tej pozycji robot zapisuje zmierzoną odległość z czujników SFR i SFL do tablicy `tab_length_to_edge[i]`, gdzie `i` to numer stopnia.

Po zakończeniu kroku zmienna `number_of_steps` zostaje zwiększona o 1.

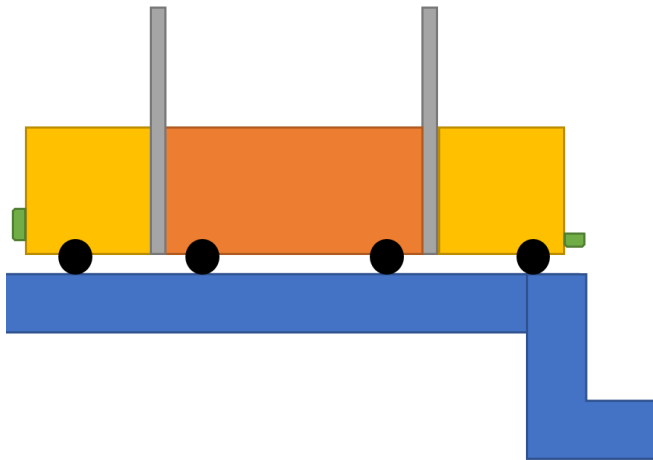
8. Sprawdzenie odległości

Czujniki SFR i SFL mierzą odległość. Jeżeli jest większa lub równa stałej `LENGTH_OF_INFINITY` proces wchodzenia zostaje zakończony – robot zaczyna schodzić.

Jeżeli odległość jest mniejsza, robot przechodzi do kolejnego etapu wchodzenia po schodach.

9. Wjazd trzeciego segmentu na stopień

Robot zaczyna podjeżdżać – silniki MWF, MWR, MWL i MWB kręcą się w przód. Silniki kończą pracę, gdy odczyt z czujników SFR i SFL wyniesie ($\text{length_of_next_step} - \text{LENGTH_OF_A_ROBOT}$).



Robot w całości na następnym stopniu.

Kroki od 1. do 9. są powtarzane do momentu wystąpienia jednego z warunków końcowych (krok 3. lub 8.) lub gdy zmienna `number_of_steps` osiągnie wartość równą 10. Po spełnieniu tego warunku proces wchodzenia po schodach zostaje zakończony.

Ruch w dół po schodach - opis

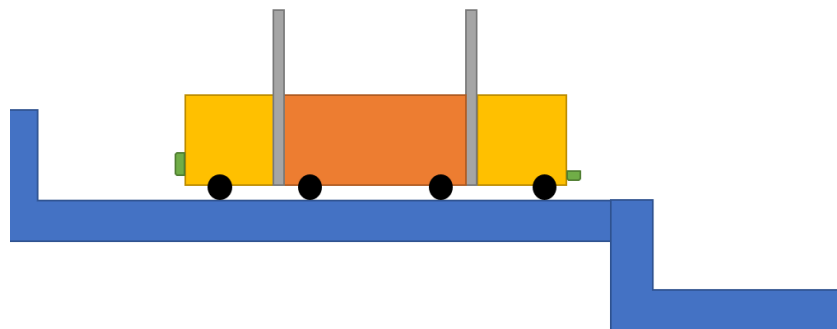
1. Podjazd do krawędzi stopnia

Gdy robot znajduje się już przy krawędzi należy przejść do następnego kroku. Taka sytuacja ma miejsce, gdy proces wchodzenia został zakończony w kroku 8.

Odjazd w bezpieczną pozycję

Silniki MWF, MWB, MWR i MWL kręcą się w tył do momentu, gdy wykonają `NUMBER_OF_HORIZONTAL_TURNS_FOR_APPROACH` obrotów.

Robot znajduje się w bezpiecznej pozycji i może rozpocząć kalibrację.



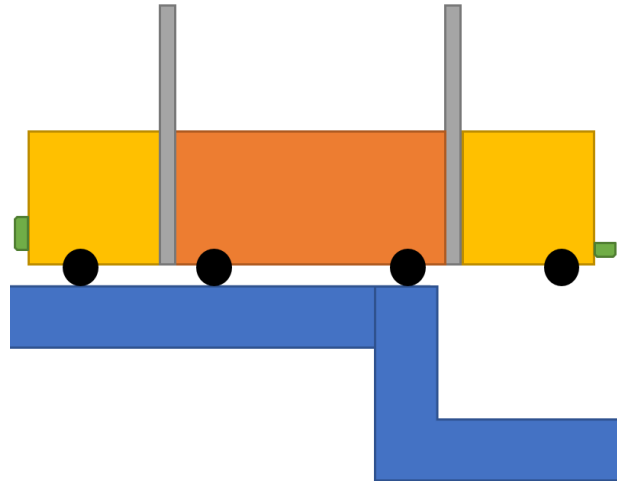
Bezpieczna pozycja.

Kalibracja

Kalibracja polega na sprawdzeniu tylko przypadku drugiego z algorytmu *Kalibracja*.

Podjazd do krawędzi

Silniki MWF, MWB, MWR i MWL kręcą się w tył do momentu, gdy czujniki SFR i SFL zmierzają odległość równą $tab_length_to_edge[i]$ dla odpowiadającego stopnia. Silniki zostają wyłączone.

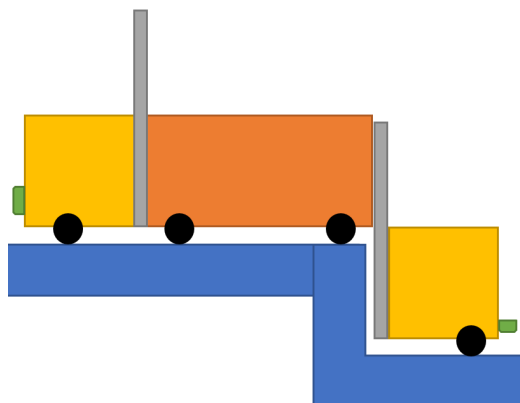


Pozycja robota po podjechaniu do krawędzi.

2. Opuszczanie trzeciego segmentu

Gdy czujniki SBR i SBL zmierzają odległość większą niż $BACK_CLEARANCE$ silnik MTB rozpoczyna opuszczanie trzeciego segmentu. Silnik zostaje wyłączony, gdy zmierzona odległość jest równa $BACK_CLEARANCE$. Liczba wykonanych obrotów zostaje zapisana w zmiennej $number_of_turns_for_step_height$.

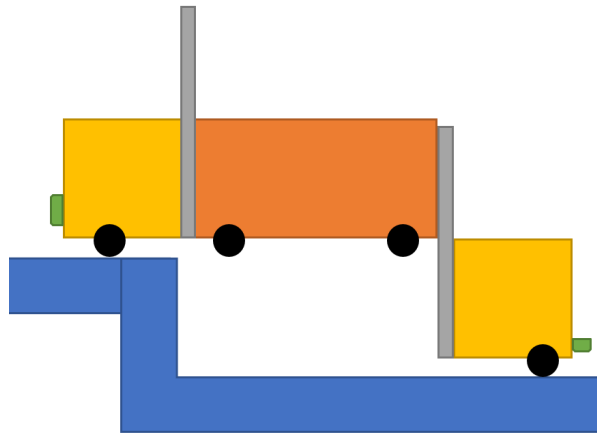
Gdy zmierzona odległość będzie mniejsza lub równa stałej $BACK_CLEARANCE$ wystąpił błąd – robot kończy pracę.



Pozycja robota po opuszczeniu trzeciego segmentu.

3. Zjazd drugiego segmentu ze stopnia

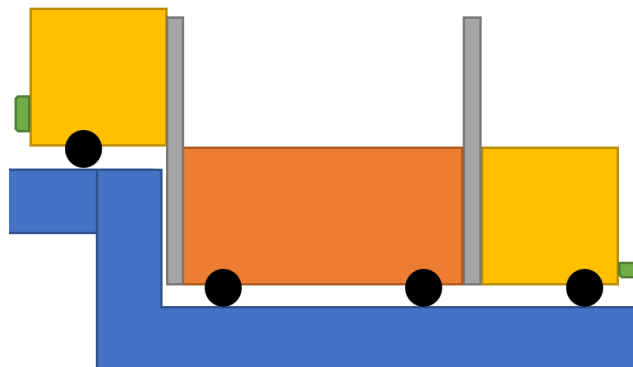
Silniki MWF, MWR, MWL i MWB kręcą się w tył. Gdy czujniki SFR i SFL zmierzą odległość równą ($LENGTH_OF_SECOND_MODULE + tab_length_to_edge[i]$) silniki zostają wyłączone.



Robot po zjeździe drugiego segmentu ze stopnia.

4. Opuszczanie drugiego segmentu

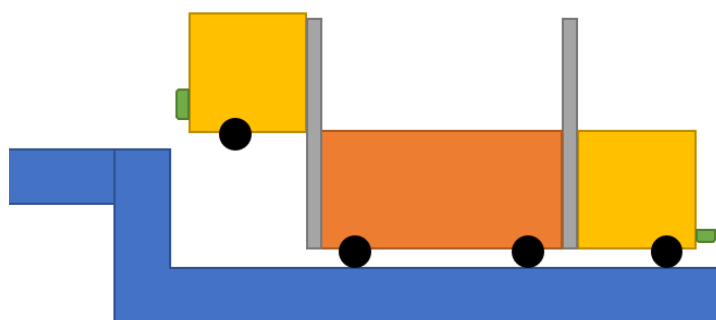
Silniki MTF oraz MTB wykonują $number_of_turns_for_step_height$ obrotów opuszczając drugi segment.



Pozycja robota po opuszczeniu drugiego segmentu.

5. Zjazd pierwszego segmentu ze stopnia

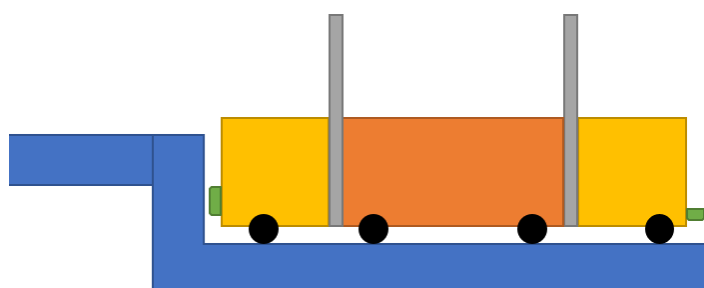
Silniki MWF, MWR, MWL i MWB kręcą się w tył. Gdy czujniki SFR i SFL zmierzą odległość równą ($LENGTH_OF_FIRST_MODULE + LENGTH_OF_SECOND_MODULE + tab_length_to_edge[i]$) silniki zostają wyłączone.



Robot po zjeździe pierwszego segmentu ze stopnia.

6. Opuszczanie pierwszego segmentu

Silnik MTF wykonuje `number_of_turns_for_step_height` obrotów opuszczając pierwszy segment.

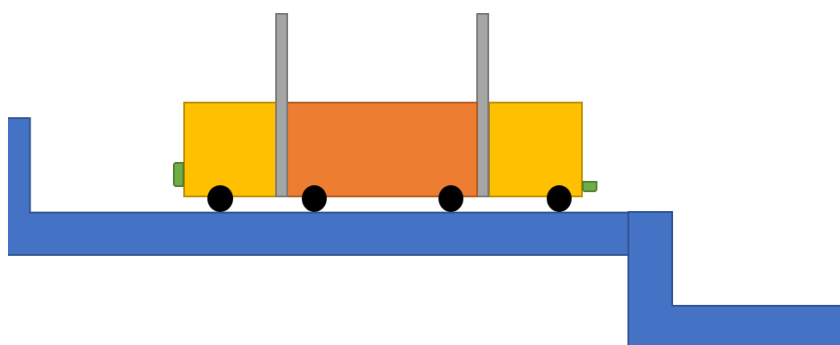


Pozycja robota po zjeździe ze stopnia.

Kroki 1-6 są powtarzane, aż robot pokona i stopni – znajdzie się w pozycji początkowej.

7. Zakończenie programu

Na sam koniec robot odjeżdża od stopnia na bezpieczną odległość. Silniki MWF, MWR, MWL i MWB kręcą się w tył do momentu, gdy wykonają `NUMBER_OF_HORIZONTAL_TURNS_FOR_APPROACH` obrotów.



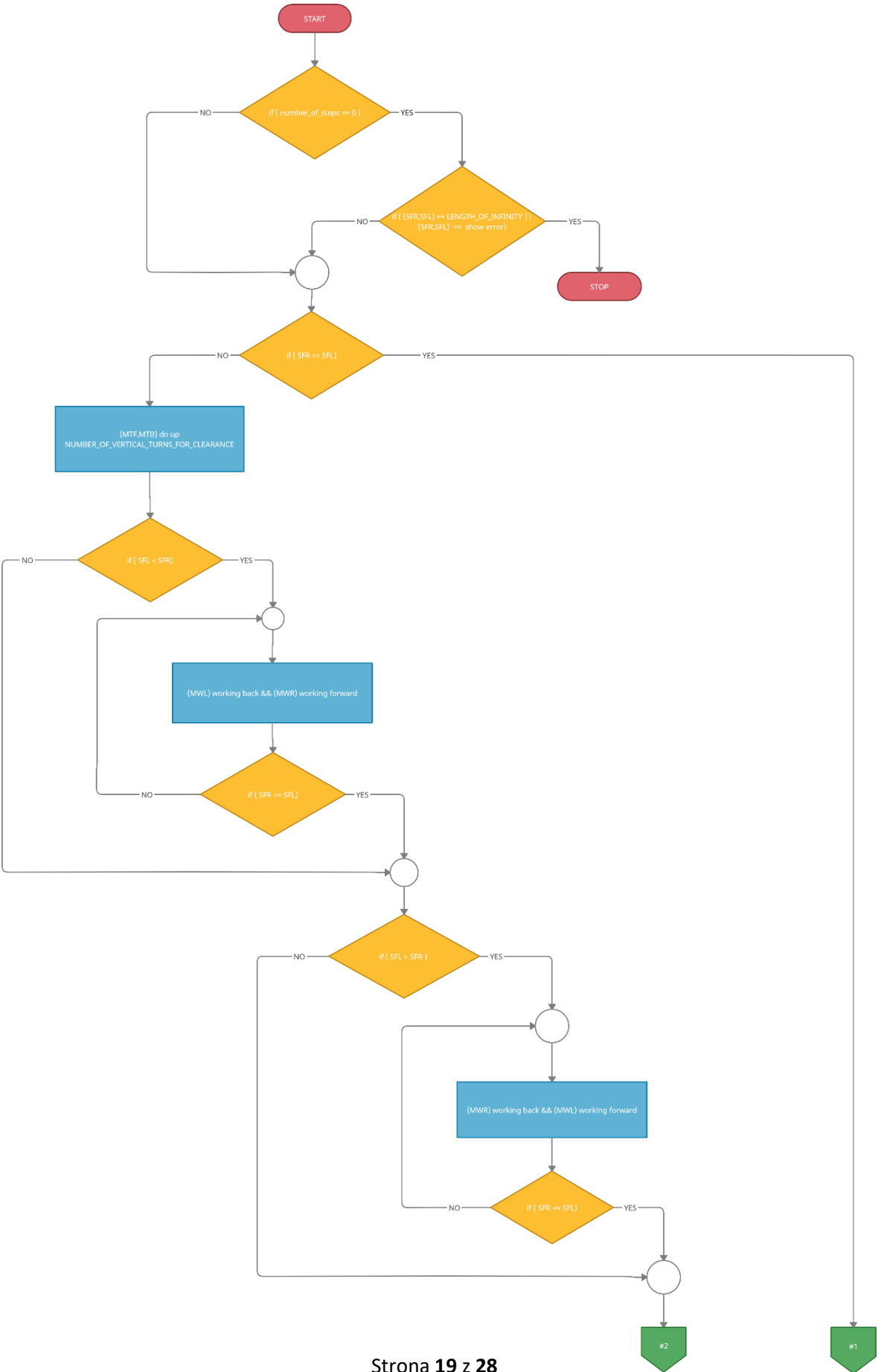
Robot po odjechaniu na bezpieczną odległość. Pozycja, w jakiej robot kończy pracę.

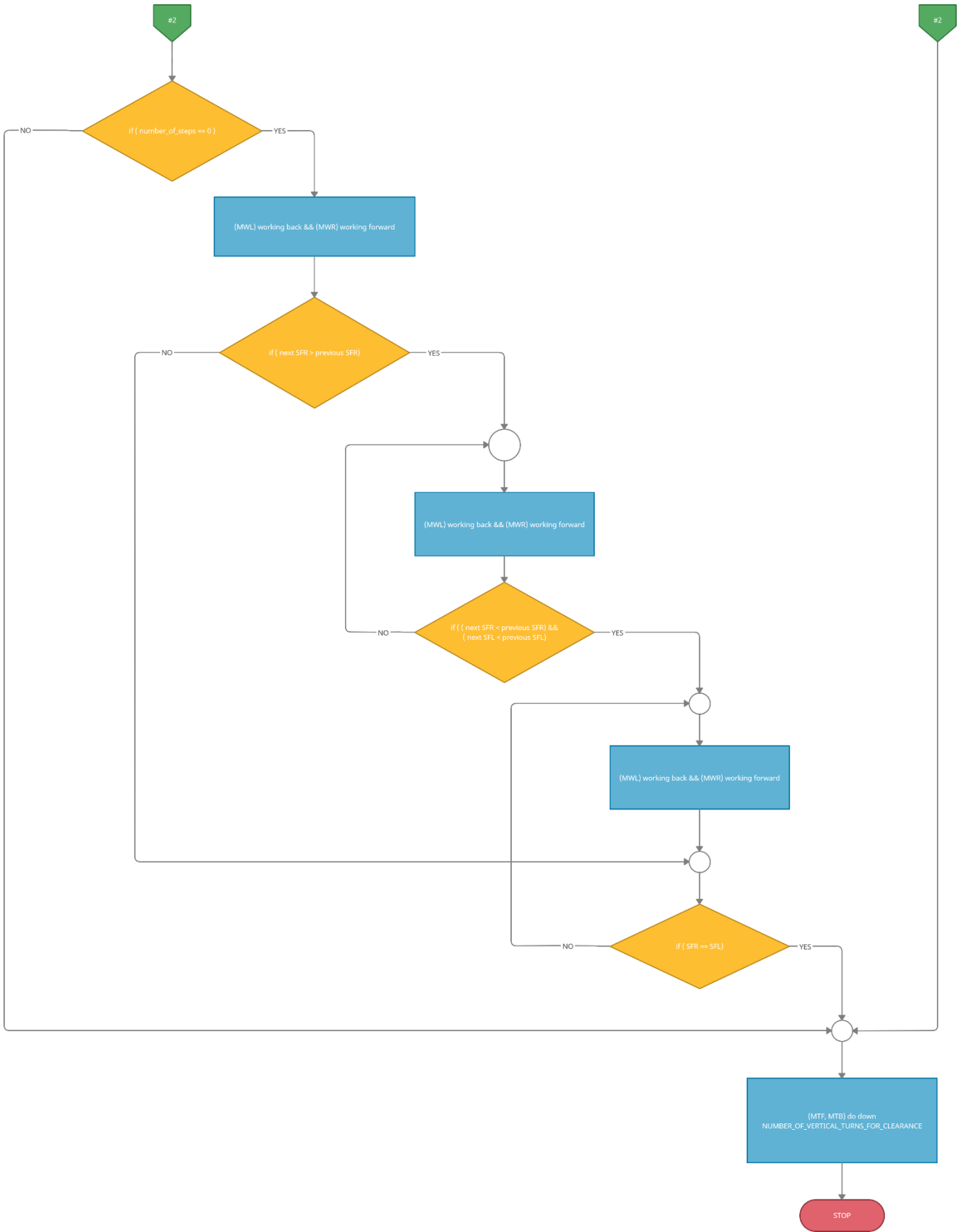
Następuje koniec programu.

Założenia dodatkowe

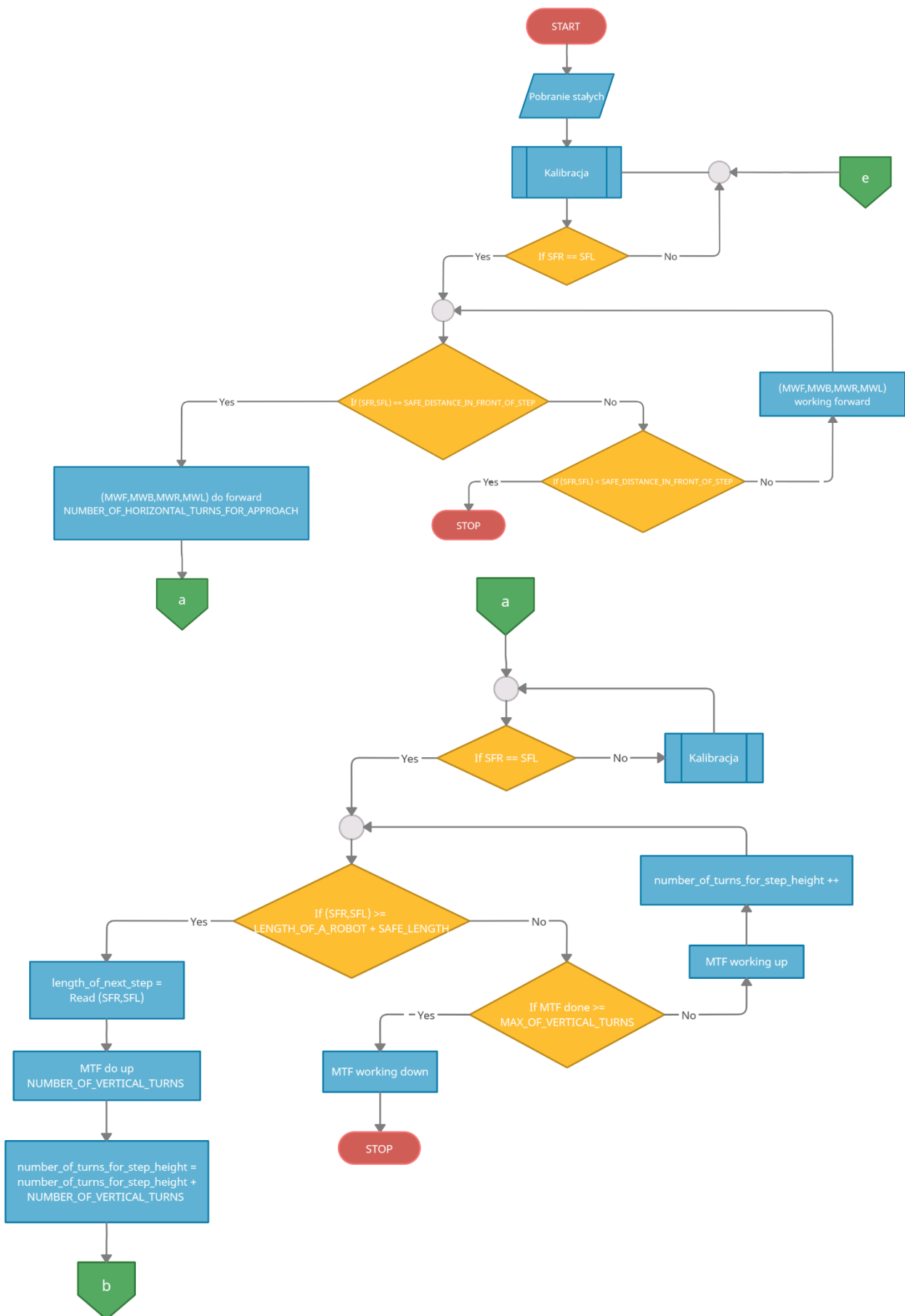
Jeżeli w trakcie wykonywania programu odczyt z czujnika SFR nie jest równy odczytowi z czujnika SFL (lub SBL oraz SBR) robot zatrzymuje pracę – wyłącza wszystkie silniki. Po 5 sekundach odległość zostaje zmierzona ponownie. Jeżeli odczyty są sobie równe robot wznawia pracę w miejscu, w którym ją przerwał. Jeżeli nie – następuje koniec programu – wystąpił błąd.

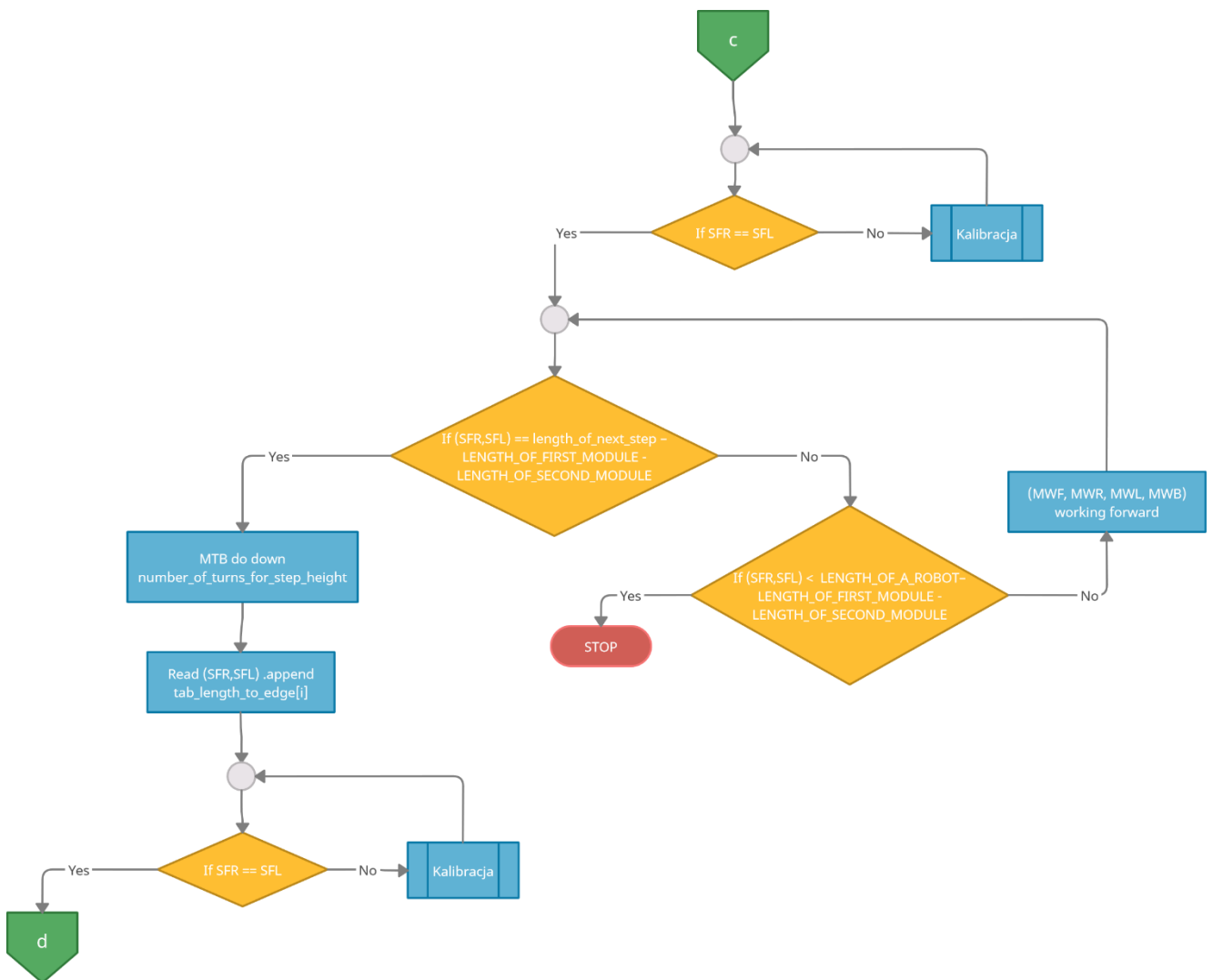
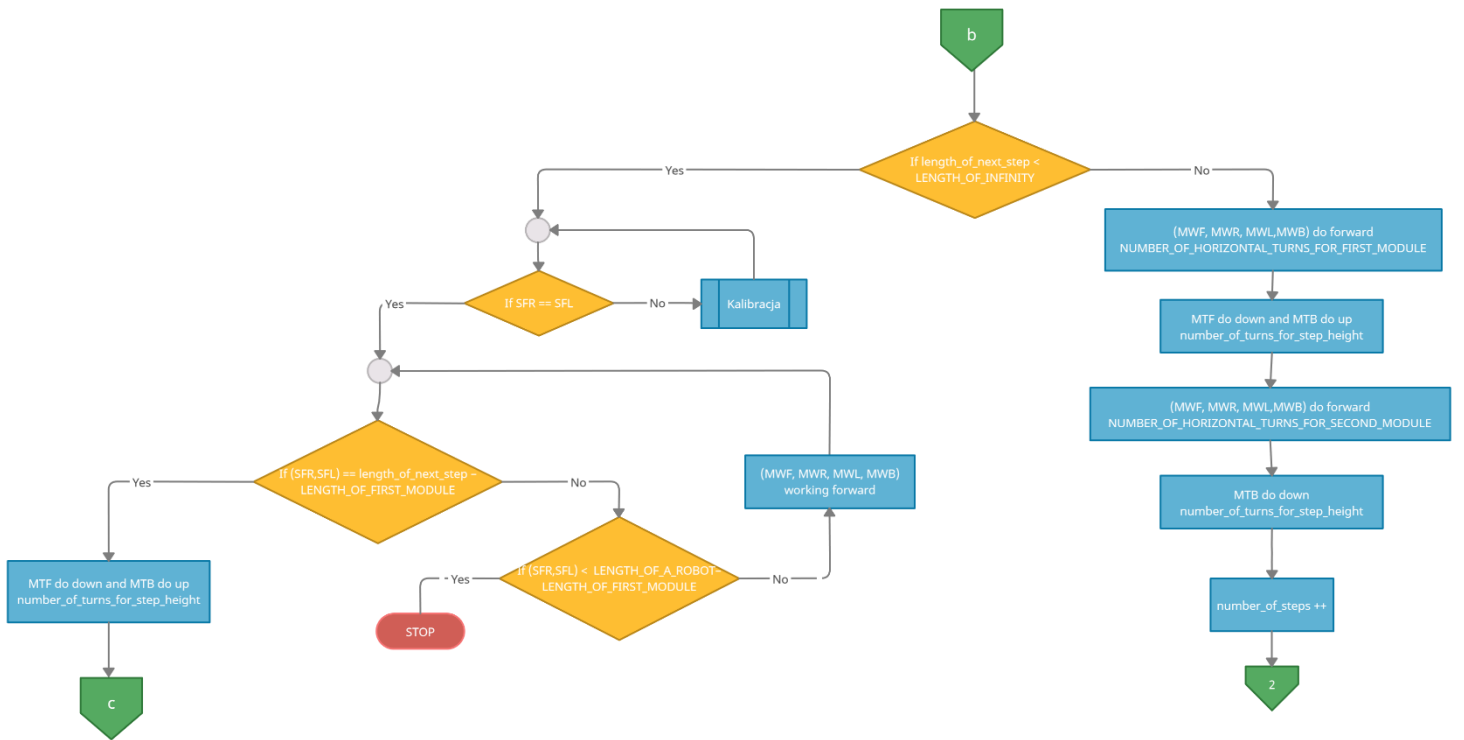
Kalibracja – schemat blokowy

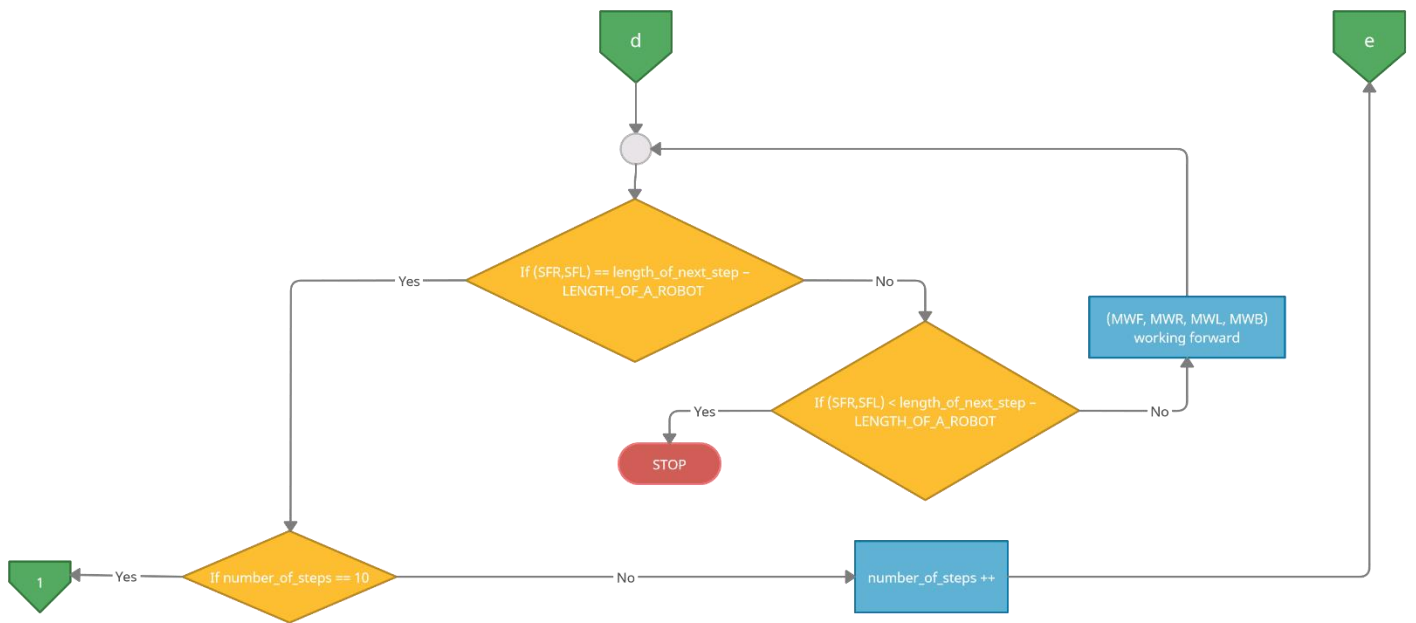




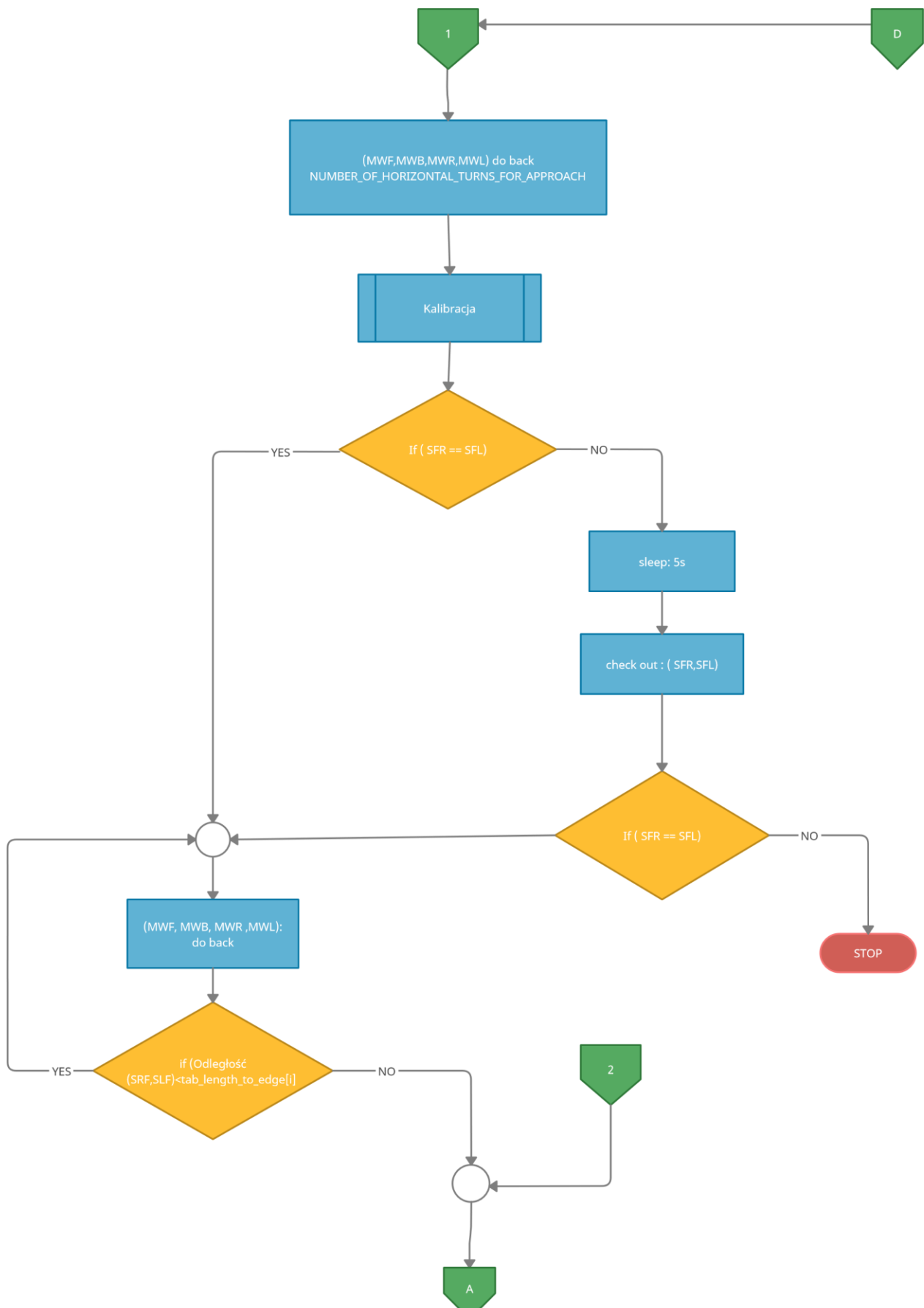
Ruch w górę po schodach – schemat blokowy

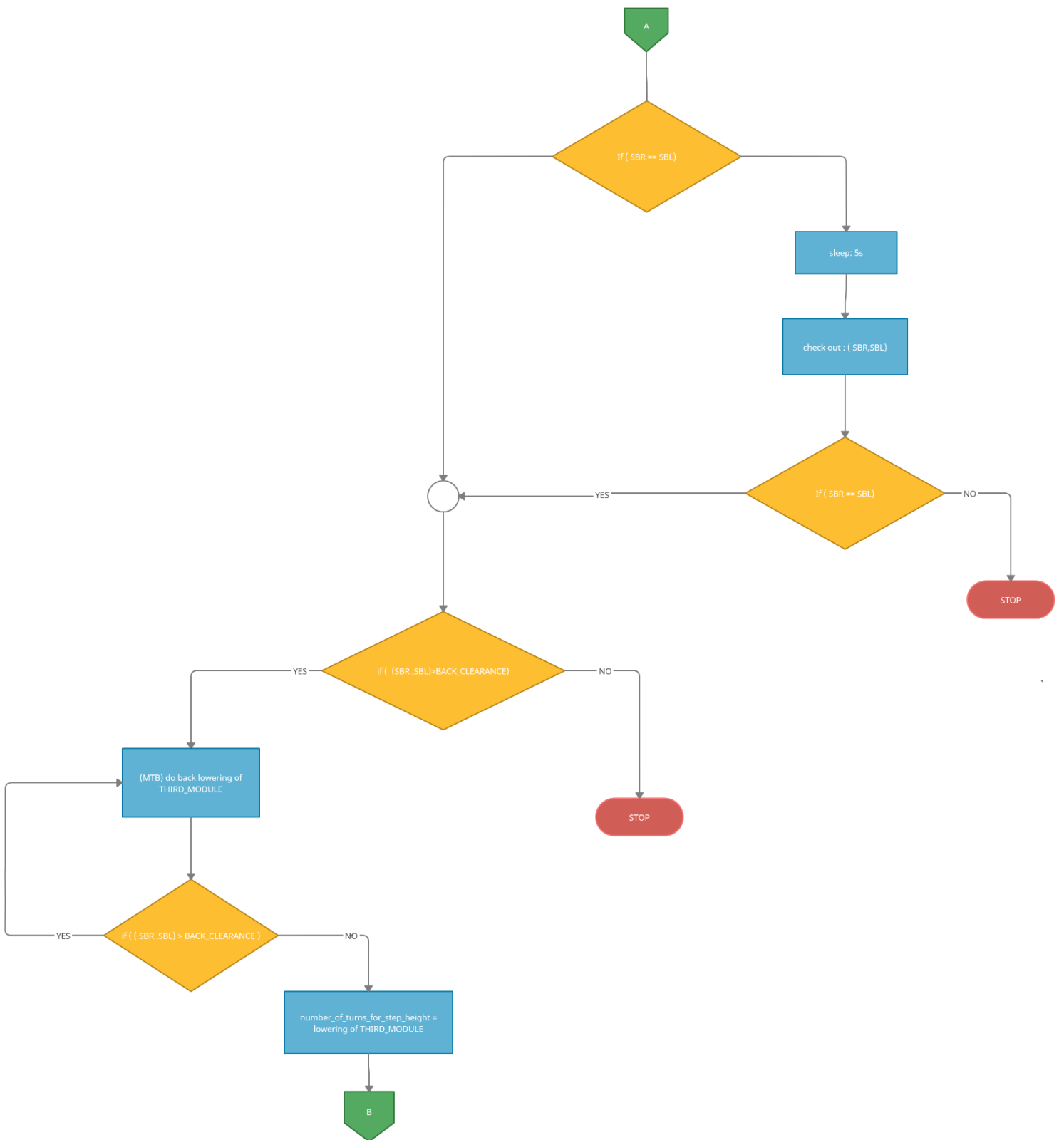


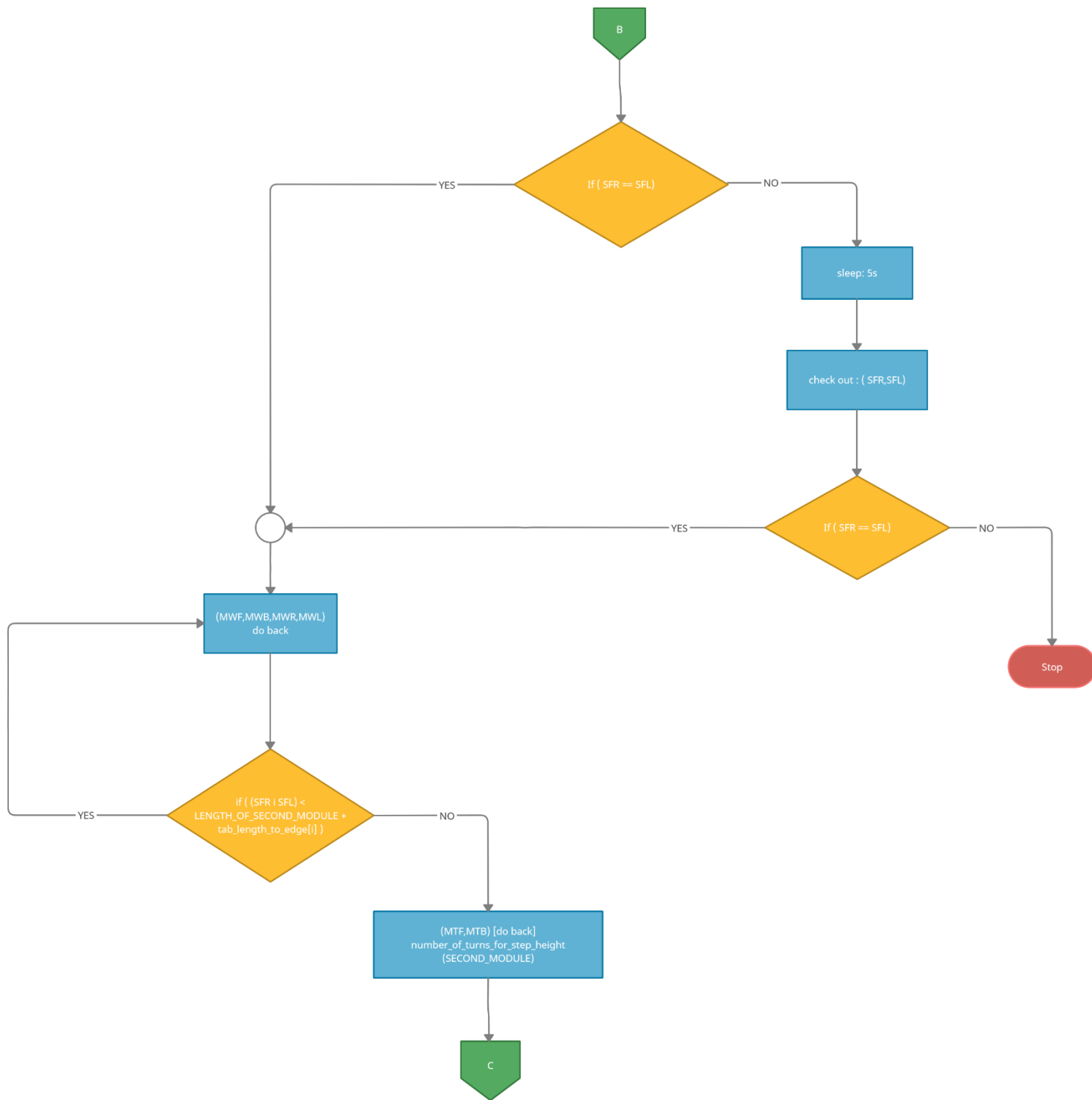


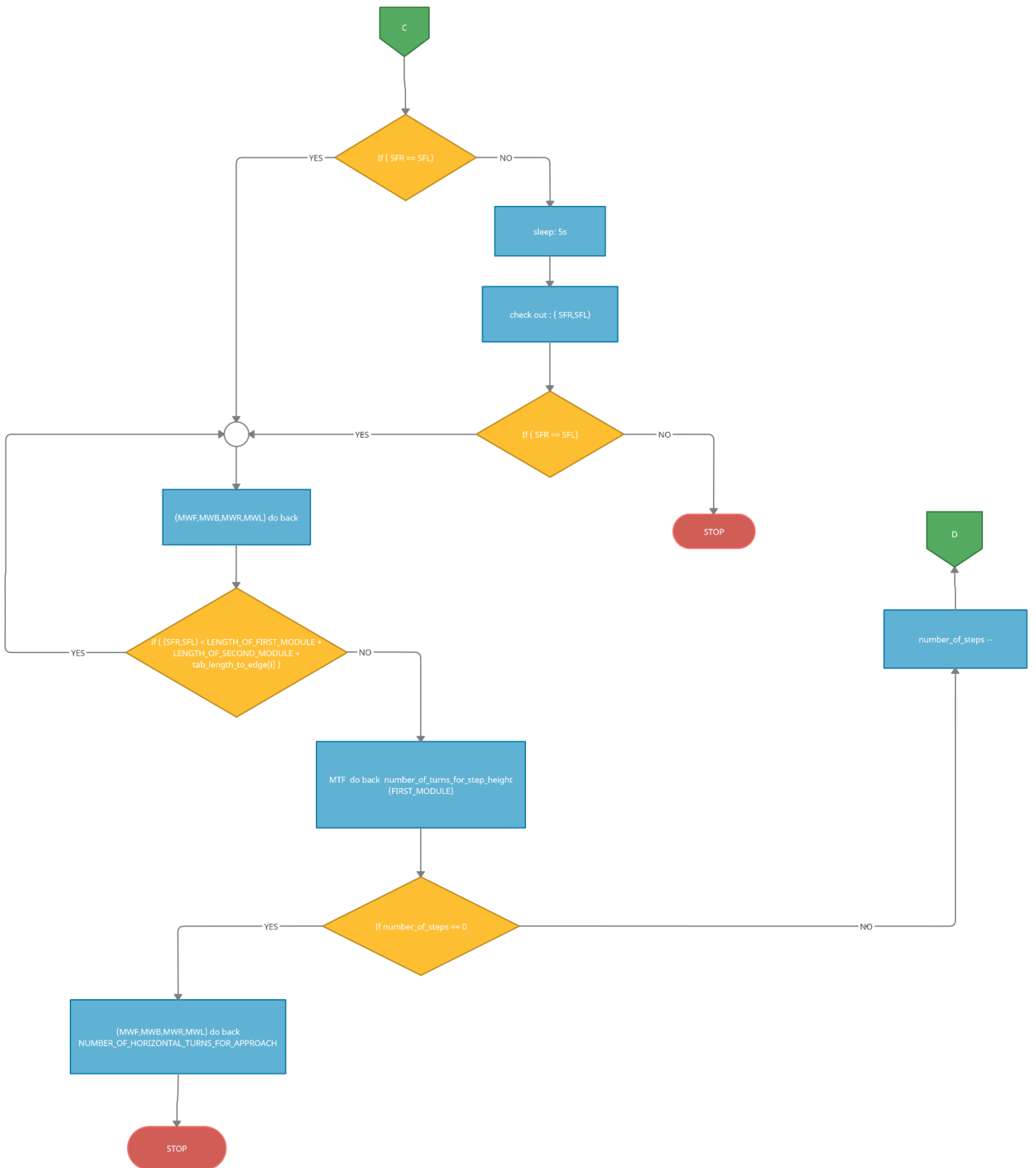


Ruch w dół po schodach – schemat blokowy









Możliwości przyszłej rozbudowy

Powyższą ideę robota chodzącego po schodach można rozbudować na wiele sposobów.

Jednym z nich jest dodanie funkcji pokonywania półpięter – schody zakręcają o 90 stopni w prawo lub lewo. Można tego dokonać poprzez zamianę pozycji jednego z czujników SBL lub SBR tak,

aby pole jego widzenia było równoległe do podłoża. W ten sposób robot może oszacować, która odległość jest mniejsza (z przodu, czy z tyłu). Jest to o tyle wartościowa informacja, że po obróceniu się robota o 90 stopni na szczycie schodów może on podjąć decyzję, w którą stronę kontynuować proces wchodzenia, np. do bliższej ściany.

Takie umiejscowienie jednego z tylnych czujników daje też możliwość ciągłego monitorowania odległości segmentu trzeciego do potencjalnej przeszkody. Wykorzystując tę informację robot nie musi wracać do pozycji początkowej, lecz może kontynuować proces schodzenia, aż do wyczerpania się schodów.

Znając dokładny rozkład masy robota można zmodyfikować algorytm sterujący tak, aby robot mógł poruszać się po węższych stopniach. Jeżeli segment drugi będzie zdecydowanie cięższy od segmentu pierwszego i drugiego można zmniejszyć wymaganą długość stopnia z $LENGTH_OF_A_ROBOT$ do $(LENGTH_OF_FIRST_MODULE + LENGTH_OF_SECOND_MODULE)$. W takiej sytuacji segment trzeci będzie mógł znajdować się w powietrzu podczas unoszenia segmentu pierwszego na wysokość następnego stopnia.